2007 YÖNETMELİĞİNDE TARİF EDİLEN HASAR SINIRLARININ BİNA PERFORMANS DÜZEYLERİ İLE İLİŞKİSİ

Ş.M. Şenel[1], M. Palanci[2], A. Kalkan[3] ve Y. Yılmaz[4]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
[2] *Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
[3] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
[4] *Yüksek lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
Email: mehmetpalanci@gmail.com

ÖZET:

Türk Deprem Yönetmeliği(TDY)-2007'nin yürürlüğe girmesiyle birlikte mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Yönetmelikte yapılan yeni düzenlemeler ile binalara ait performans düzeyleri tarif edilmiş ve bina türüne göre değişen performans hedefleri tanımlanmıştır. TDY-2007'de binaların performans düzeylerini temsil eden "Hemen Kullanım", "Can Güvenliği" ve "Göçmenin Önlenmesi" durumları ise kolon ve kiriş bazında oluşan hasar seviyelerinin dağılımına göre belirlenmektedir. Ancak kolon ve kirişler için birbirinden bağımsız olarak tarif edilen bu sınırların hangi ötelenme düzeylerine karşılık geldiği ve bu sınırların birbiri ile ne derece uyumlu olduğu incelenmesi gereken bir konudur. Literatürde bulunan bazı çalışmalar yönetmelikte getirilen hasar tariflerinin kimi durumlarda uyumsuz sonuçlar verebildiğini göstermektedir. Kolon ve kirişlerde meydana gelen eleman hasar düzeylerinin, binanın hangi ötelenme seviyelerine karşılık geldiğini veya hangi ötelenme seviyelerinde hangi tür eleman hasarlarının oluştuğunu belirleyebilmek amacıyla 1998 yılından önce inşa edilmiş beş adet betonarme bina seçilmiştir. Söz konusu binalar seçilirken bina stoğumuzun büyük çoğunluğunu oluşturan düşük ve orta yükseklikteki, altı katlı ve çerçeve sistem binalar seçilmiştir. Bu binalara ait yapısal özellikler (kolon-kiriş boyutları, malzeme v.b.) mimari ve betonarme projelerden elde edilmiş ve binalar 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Doğrusal olmayan taşıyıcı sistem modeli hazırlanırken hem kesme, hem de eğilme mafsalları göz önüne alınmıştır. Binalara ait kapasite eğrileri ise yapılan statik ittirme analizleri ile elde edilmiştir. Analizler sonucunda binaların ötelenme kapasitelerinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Kolon ve kirişlerin tüm düğümlerinde oluşan hasar düzeyine karşılık gelen çatı yerdeğiştirmesi doğrusal olmayan analizler ile elde edilmiş ve bu yerdeğiştirmeler bina yüksekliğine bölünerek birimsiz hale getirilmiştir. Hesaplanan yerdeğiştirme oranları kullanılarak her hasar düzeyine ait eklenik dağılım fonksiyonları, başka bir ifade ile söz konusu hasar düzeyini aşmanın birikimli olasılıkları hesaplanmıştır. Kolonlar ve kirişler için bulunan değerler incelenmiş ve yönetmelikte verilen hükümler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar kolon ve kirişlere ait ileri hasar ve göçme durumlarının oldukça benzer ötelenme seviyelerinde oluştuğunu göstermiştir. Bu durum ise farklı performans düzeylerinin benzer seviyelerde oluşabildiğine işaret etmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Mevcut betonarme binalar, doğrusal olmayan analiz, performans düzeyi.

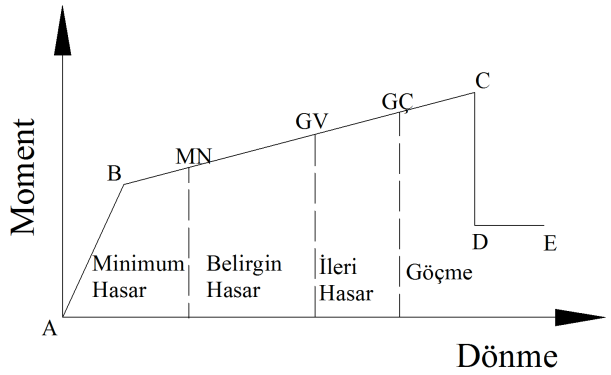
1. GİRİŞ

Ülkemizde bulunan mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesi konusu son yıllarda yaşanan deprem felaketlerinin sebep olduğu ciddi kayıplar sebebiyle önem kazanmıştır. İkibinli yılların başından itibaren artan bu çalışmalar meyvesini vermiş ve 2007 yılında revize edilen Türke Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY-2007, 2007) konu ile ilgili somut hesap yöntemlerinin tarifi yapılmıştır. Bu düzenlemeler ile yapısal elemanlar

(perde, kolon, kiriş) için hasar sınırları ve seviyeleri tarif edilmiştir. Elemanların hasar seviyelerinin tarifinden sonra binaların performans düzeyi ile ilgili bir takım kurallar getirilmiş ve eleman bazlı hasardan sistem bazında performans hesabına geçişin aşamaları tarif edilmiştir. Bu çalışmalar sırasında binaların kullanım amacına ve türüne göre değişen deprem düzeyleri tarif edilmiş ve sağlanması gereken minimum performans hedefleri buna göre belirlenmiştir. Önerilen yöntem esas itibari ile kolon ve kirişlerin hangi oranda hangi hasar bölgesinde olduğuna bakarak bir değerlendirme yapmakta ve bina performansı buna göre belirlenmektedir. Bununla birlikte sözü edilen eleman hasar sınırlarının bina bazında hangi ötelenme oranlarına karşılık geldiği veya geleceği yönünde bir açıklama veya tarif verilmemektedir. Okumakta olduğunuz bu çalışmanın öncelikli amacı eleman bazında oluşan hasar sınırlarının, bina ötelenme oranları bakımından hangi seviyelerde oluştuğunu incelemek ve yönetmelikte verilen koşulların ne anlama geldiğini irdelemektir. Bunun için 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış ve halen kullanılmakta olan 5 adet betonarme bina örnek olarak seçilmiştir. Proje bilgileri elde edilen binaların doğrusal olmayan analiz modelleri bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. Binaların doğrusal olmayan analizleri yapılırken 2007 tarihinde ilan edilen deprem yönetmeliğinde verilen yaklaşım benimsenmiş ve plastik mafsalların hesabı yapılırken bu yönetmelikte verilen hasar sınırları esas alınmıştır. Bina modellerinin kapasite eğrilerinin hesabı için X ve Y yönlerinde statik itme analizleri yapılmıştır. Statik itme analizleri sırasında her kolon ve kirişte, yönetmeliğin tarif ettiği hasar sınırlarının (MN, GV, GÇ) aşıldığı anda oluşan bina yatay ötelenme değeri belirlenmiştir. Elde edilen yerdeğiştirmeler bina yüksekliklerine bölünerek birimsiz hale getirilmiş, kolonlar ve kirişler için tarif edilen bu hasar sınırlarını aşmanın birikimli aşılma olasılıkları çıkarılmıştır. Kolon ve kirişler hesaplanan bu olasılıklar karşılaştırılarak yönetmelikte verilen yaklaşım irdelenmiştir.

2. BETONARME BİNALARIN MODELLENMESİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Kapasite hesaplarının yapılacağı betonarme binalar Sap2000 programı (Sap2000, CSI) kullanılarak modellenmiş ve taşıyıcı elemanların dayanım ve yerdeğiştirme sınırları yapılan moment-eğrilik analizlerinden sonra belirlenmiştir. Analizler sırasında beton davranışı geliştirilmiş Kent-Park (Park vd., 1982) modeli ile tarif edilmiştir. Taşıyıcı elemanların hasar sınırları ise TDY-2007'de tarif edilen kesit birim şekil değiştirme değerleri kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Tipik moment-dönme ilişkisi ve kesit hasar sınırları

Taşıyıcı elemanlara ait moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kolon ve kirişlere ait plastik mafsal özellikleri belirlenmiştir. Plastik mafsal uzunluğu TDY-2007'de tarif edilidiği gibi kesit yüksekliğinin yarısı alınmıştır. Şekil 1'de taşıyıcı elemanlar için hazırlanan plastik mafsallara ait tipik moment-dönme ilişkisi ve kesit hasar sınırları gösterilmiştir. Taşıyıcı elemanlarının doğrusal ötesi kapasiteleri hesaplanırken elemanların kesme kapasiteleri ayrıca belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanların kesme kapasiteleri TS-500 (TS-500, 2000) dikkate alınarak denklem 1 ile hesaplanmış, kolon ve kirişlere kesme mafsalı olarak atanmıştır.

$$V_r = 0.182\sqrt{f_c}\,b_w d\left(1+0.07\frac{N}{A_c}\right)+\frac{A_{sw}}{s}f_y d \qquad (1)$$

Denklemde yer alan f_c ve f_y binanın mevcut beton dayanımını ve yatay donatının akma dayanımı ifade etmektedir. Ayrıca denklemdeki b_w, d kesit yükseklik ve genişliklerini, A_c eleman kesit alanını, N eksenel kuvveti, A_{sw} yatay donatı alanını ve s ise etriye aralığını temsil etmektedir.

Bina periyodları hesaplanırken ölü ve hareketli yükleri dikkate alarak sismik ağırlık hesaplanmıştır. Taşıyıcı elemanların eğilme rijitliklerinin hesabında ise kolonlar için eksenel kuvvet yüzdelerine bağlı olarak hesaplanan çatlamış kesit rijitlikleri, kirişlerde ise çatlamamış kesit rijitliklerinin %40'ı alınarak modellenmiştir.

Konut olarak kullanılan ve 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış olan 5 adet betonarme binanın proje bilgileri kullanılarak yapısal analiz modelleri oluşturulmuştur. Yapılan proje incelemelerinde söz konusu binaların tümünde C16 (16 N/mm^2) sınıfı beton kullanıldığı ve taşıyıcı elemanlarda S220 sınıfı boyuna ve enine donatı kullanıldığı belirlenmiştir. Bu sebeple analizler sırasında beton sınıfı C16 ve çelik malzemesi ise S220 olarak alınmıştır. Proje bilgileri toplanan binaların tümünde kolon ve kirişlerde enine donatı aralığı 200mm alınmıştır. Çalışmada kullanılan betonarme binaların tümünün 6 katlı olduğu ve binaların hiç birinde perde duvar (b/h=1/7) kullanılmadığı tespit edilmiştir.

Binaların proje incelemeleri ile kesit boyutları, bina yüksekliği ve yükler belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bina ağırlıkları, yükseklikleri ve periyotları bina numarasına göre Tablo 1'de verilmiştir.

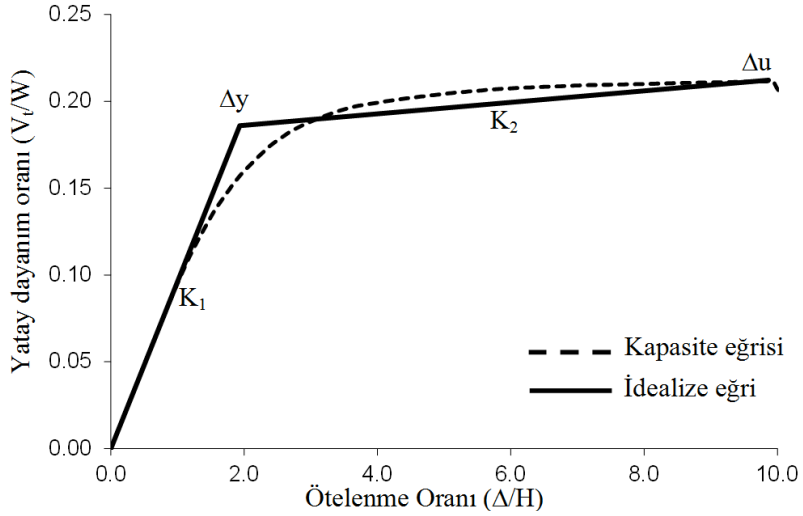
Tablo 1. Betonarme binalara ait yapısal özellikler

Bina No	Yön	Bina Ağırlığı (ton)	Bina yüksekliği (m)	Periyot (s)
1	X	1011.13	17.50	0.752
	Y			0.917
2	X	794.50	16.80	0.634
	Y			0.741
3	X	1352.93	16.80	0.955
	Y			0.846
4	X	952.91	17.50	0.740
	Y			0.981
5	X	964.08	17.50	0.820
	Y			0.927

Tablo 1'deki sonuçlar incelendiğinde bina ağırlıklarının 794 ton ile 1350 ton arasında değiştiği ve bina periyotlarının 0.6-1 saniye arasında olduğu görülmektedir. 2 ve 3 nolu binalarda bina yüksekliği 16.80 m iken diğer binalarda bu değerin 17.50m olduğu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan binaların tamamının 6 katlı olduğu ve konut olarak kullanıldığı düşünüldüğünde, elde edilen sonuçlar esas itibariyle binaların taşıyıcı elemanlarının her iki yöndeki rijitlikleri arasındaki farkı/benzerliği ve binaların kat alanları arasındaki farklılığı göstermesi bakımından önemlidir.

3. BİNALARIN KAPASİTE SONUÇLARI VE YÖNETMELİK TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ

Seçilen binalara ait kapasite eğrileri statik itme analizleriyle hesaplanmıştır. İtme analizleri gerçekleştirilirken binaların hakim modları ile uyumlu olarak hesaplanan itme deseni kullanılmıştır. Ayrıca binaların kapasite eğrileri elde edilirken ikinci mertebe etkileri de dikkate alınmıştır. Elde edilen eğrilerin birimsiz hale getirilmesini sağlamak amacıyla, düşey eksenindeki kuvvetler bina ağırlığına, yatay eksenindeki yer değiştirme değerleri ise bina yüksekliğine bölünmüştür. Ayrıca kapasite eğrileri ATC-40 (ATC-40, 1996) yaklaşımı kullanılarak iki doğrulu hale getirilmiştir. Şekil 2'de kapasite eğrisi ve bu eğrinin iki doğrultu hale dönüştürülmüş şekli verilmektedir.



Şekil 2. Tipik bir kapasite eğrisi ve bilinearizasyonu

Kapasite eğrilerinin iki doğrulu hale getirilmesiyle binalara ait yatay dayanım oranı ile akma anına ve maksimum yer değiştirme kapasitesine karşılık gelen değerler elde edilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan binaların hesabından elde edilen sonuçları kıyaslayabilmek için yaygın olarak kullanılan yapısal parametrelerden bazıları örnek olarak seçilmiş ve Tablo 2'de verilmiştir. Hesaplanan bu değerler ele alınan binaların yatay dayanım oranlarının % 7ile %13 arasında değiştiğini göstermektedir. Deprem mühendisliği hesaplarında yaygın olarak kullanılan modal katılım oranlarının (Pf) ve efektif kütle katılım katsayılarının seçilen binalarda oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Betonarme binalara kapasite sonuçları

Bina No	Yön	V_t/W	Δ_y/H (%)	Δ_u/H (%)	K_2/K_1 (%)	Pf_1	α_1
1	X	0.125	0.165	0.943	1.91	1.324	0.805
	Y	0.072	0.143	1.098	2.60	1.314	0.804
2	X	0.121	0.118	0.905	1.41	1.324	0.805
	Y	0.104	0.136	0.911	4.20	1.316	0.816
3	X	0.080	0.172	0.851	6.09	1.310	0.819
	Y	0.075	0.128	1.042	3.59	1.311	0.815
4	X	0.133	0.165	0.789	3.58	1.308	0.819
	Y	0.089	0.189	0.629	1.40	1.288	0.831
5	X	0.103	0.158	0.783	6.36	1.323	0.822
	Y	0.097	0.191	0.691	5.29	1.307	0.812

3.1. Binaların Performansının Yönetmelik Yaklaşımı Kullanılarak Belirlenmesi

TDY-2007'de (DBYBHY, 2007) betonarme binalar için dört farklı performans bölgesi tarif edilmiştir. Yönetmeliğe göre bu bölgeler "Hemen Kullanım" (HK), "Can Güvenliği" (CG), "Göçmenin Önlenmesi" (GÖ) ve "Göçme" (G) bölgeleridir. Binaların GÖ performansını sağlamaması durumunda Göçme durumunda olduğu kabul edilmektedir. Yukarıda bahsi geçen diğer üç performans düzeyi ise doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen ve her kat seviyesinde oluşan taşıyıcı elemanların hasarlarından yola çıkılarak belirlenmektedir. HK, CG ve GÖ performans düzeyleri için tarif edilen koşullar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. TDY-2007'de tanımlanan performans koşulları

Performans Bölgeleri	Performans bölgeleri için tanımlanan koşullar
Hemen Kullanım (HK)	1. Herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %10'u "belirgin hasar" bölgesindedir. Diğer kirişler "minimum hasar" bölgesindedir. 2. Tüm kolonlar "minimum hasar" bölgesindedir.
Can Güvenliği (CG)	1. Herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %30'u "ileri hasar" bölgesindedir. 2. Herhangi bir katta, "ileri hasar" bölgesinde bulunan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %20'yi aşmamalıdır. En üst katta bu değer %40'ın altında olmalıdır. 3. Herhangi bir katta, alt ve üst ucunda "minimum hasar" sınırı aşılan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır. 4. Hiçbir eleman "göçme" bölgesinde olamaz.
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	1. Herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %20'si "göçme" bölgesindedir. 2. Herhangi bir katta, alt ve üst ucunda "minimum hasar" sınırı aşılan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti oranı %30'u aşmamalıdır. 3. Kolonların hiçbiri "göçme" bölgesinde değildir.

Yönetmelikte HK ve CG performans seviyeleri tarif edilirken "eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmesi kaydı ile" açıklaması yapılmıştır. GÖ performans düzeyi tarif edilirken ise "gevrek olarak hasar gören elemanların göçme bölgesinde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile" ifadesine yer verilmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi bu çalışmanın amacı eleman bazında hasar oluşumları ile bina performans sınırları arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. Bu yüzden çalışma kapsamında ele alınan binaların HK ve CG performans düzeyleri belirlenirken gevrek hasar gören elemanların göçme bölgesinde olduğu kabul edilmiş ve performans sınırları buna göre bulunmuştur. Ayrıca binaların performans sınırları belirlenirken her performans seviyesi için tarif edilen ve Tablo 3'te verilen tüm kriterler dikkate alınmış, elde edilen sonuçların en küçüğü (en kritik olanı) göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Örnek olarak seçilen 5 adet binanın X ve Y yönlerinde yapılan analizleri neticesine ötelenme oranları cinsinden hesaplanan sınır değerler Tablo 4'te verilmiştir.

HK performans seviyesi üzerinde yapılan incelemeler, bu seviyeyi belirleyen kriterin Tablo 3'te verilen 1 nolu koşul (HK-1) olduğunu göstermektedir. Özellikle 1 ve 5 nolu binaların X yönlerinde HK ve CG performans seviyelerinin aynı olduğu ve bu duruma kesme sebebiyle gevrek hasar gören kirişlerin sebep olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Betonarme binaların performans bölgelerinin TDY-2007'ye göre belirlenmesi

Bina No	Yön	HK % (Δ_m/H)	CG % (Δ_{CG}/H)	GÖ % ($\Delta_{GÖ}$/H)
1	X	0.24	0.24	0.76
	Y	0.26	0.40	1.07
2	X	0.09	0.68	0.91
	Y	0.26	0.85	0.85
3	X	0.09	0.10	0.85
	Y	0.24	0.91	1.03
4	X	0.27	0.45	0.67
	Y	0.19	0.20	0.51
5	X	0.14	0.14	0.64
	Y	0.17	0.18	0.22

CG performans seviyesinin kritik olduğu durumlar incelendiğinde bu performans seviyesini kontrol eden kriterin Tablo 3'te verilen 1 nolu koşul (CG-1) olduğu belirlenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde 3 nolu binanın X yönü ile 4 ve 5 nolu binaların Y yönlerinin HK ve CG performans seviyelerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu binalarda HK seviyesinin 1 nolu şart tarafından kontrol edildiği ve bu binalardaki kirişlerin ileri hasar seviyelerinde olduğu, CG-1 şartı için verilen %30 sınırını sağlamadığı belirlenmiştir. Bu sebeple doğrusal olmayan analizin ardışık iterasyonlarında HK-1 ve CG-1 kriterlerinin ardı ardına aşıldığı ve bu performans seviyelerinin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 2 nolu binanın Y yönünde analizinden bulunan sonuçlar CG-4 ve GÖ-3 koşullarının da sağlanmadığını ve bu sebeple CG ve GÖ performans seviyelerinin aynı olduğu tespit edilmiştir.

GÖ performans seviyesi için yapılan incelemelerde ise bu performans seviyesini kontrol eden kriterin Tablo 3'te verilen 3 nolu koşul olduğu belirlenmiştir. Ancak 1 ve 4 nolu binaların X yönü ile 5 nolu binanın Y yönündeki GÖ performans seviyesini 1 nolu şartın belirlediği anlaşılmıştır.

4. BİNA PERFORMANS DÜZEYLERİNİN ELEMAN HASARLARIYLA İLİŞKİLENDİRİLMESİ

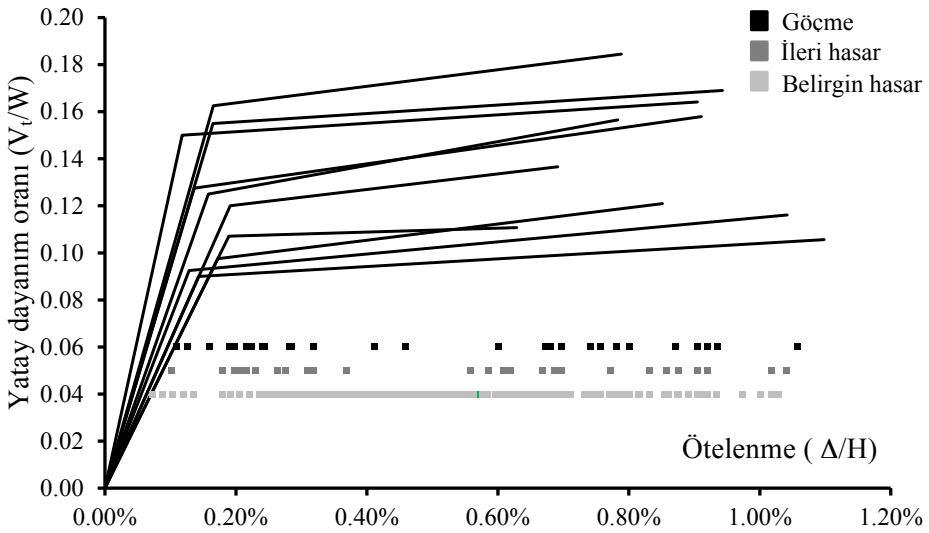
Bu bölümde performans sınırları ile kolon ve kirişlerde hasarın aşılma olasılıklarının arasındaki ilişki irdelenmiştir. İlk olarak, bina performans düzeyleri arasındaki ilişki araştırılmış ve bu amaçla Tablo 4'te verilen ötelenme oranları birbirine oranlanarak performans seviyeleri arasındaki göreli farklar elde edilmiştir. Buna göre, GC/HK ve GÖ/CG değerleri hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde CG ile HK performans seviyeleri arasında ortalama 2.33, GÖ ile CG arasında göreli farkın ise ortalama 2.73 kat fark olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen oransal değerler ayrı ayrı incelendiğinde bazı durumlar haricinde performans seviyeleri arasındaki farkın beklendiği kadar büyük olmadığı görülmüştür. Bu konu ile ilgili daha detaylı bir irdeleme yapmak amacıyla her bir kolonun ve kirişin MN, GV ve GÇ sınırını aştığı anlar ayrı ayrı tespit edilmiş ve bu noktalar kapasite eğrileri üzerinde işaretlenmiştir. Kolonlar ve kirişlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3 üzerinde gösterilmiştir.

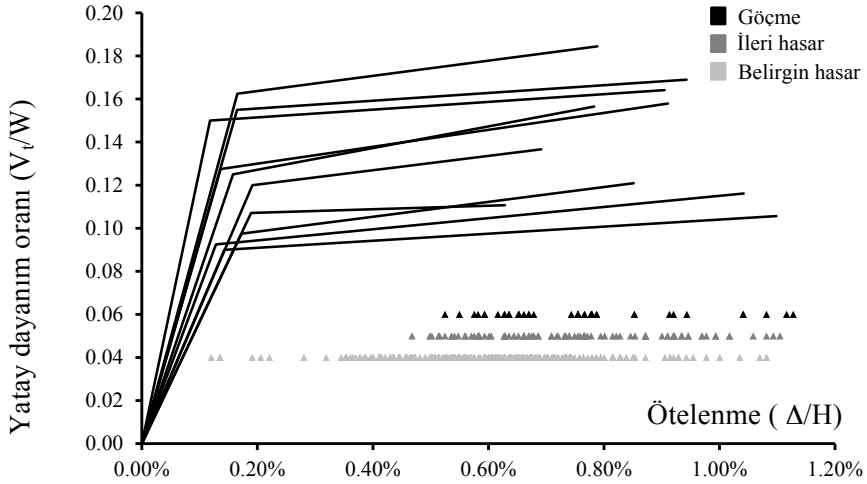
Tablo 5. Betonarme binaların performans seviyelerinin arasındaki göreli oranlar

Bina No	Yön	CG/HK	GÖ/CG
1	X	1.00	3.12
	Y	7.72	1.33
2	X	3.30	1.00
	Y	1.53	2.68
3	X	1.12	8.27
	Y	3.81	1.13
4	X	1.68	1.49
	Y	1.06	2.51
5	X	1.00	4.59
	Y	1.05	1.20

Şekiller incelendiğinde kirişler açısından ileri hasar ve göçme durumlarının oldukça düşük ötelenme seviyelerinde oluşmaya başladığı ve bu durumun özellikle kirişlerin kesme kapasitesinin yetersiz olduğu kritik elemanlarda gerçekleştiği belirlenmiştir. Elde edilen hasarların dağılımlarına bakıldığında, binaların yerdeğiştirme kapasitelerine ulaştığı anlarda bile bazı kirişlerin ancak belirgin hasar bölgesine geçtiği görülmüştür. Kolonlarda ise belirgin hasarın görülmeye başladığı (Şekil 3) en düşük ötelenme değerinin %0.12 olduğu, kirişlerde olduğu gibi kolonlarda da ötelenme kapasitesine ulaşıldığı anda bile belirgin hasara henüz ulaşan elemanlar bulunduğu anlaşılmıştır. Kolonlar için hesaplanan hasar oluşumları arasında basamak şeklinde artarak ilerleyen bir durum olduğu, ileri hasar seviyelerinin daha ileri ötelenme oranlarında oluştuğu görülmüştür. Kirişler açısından ise bu tespiti yapmanın pek de mümkün olmadığı belirgin, ileri hasar ve göçme durumlarının ötelenmeler açısından oldukça değişik ve düzensiz seviyelerde oluştuğu belirlenmiştir.

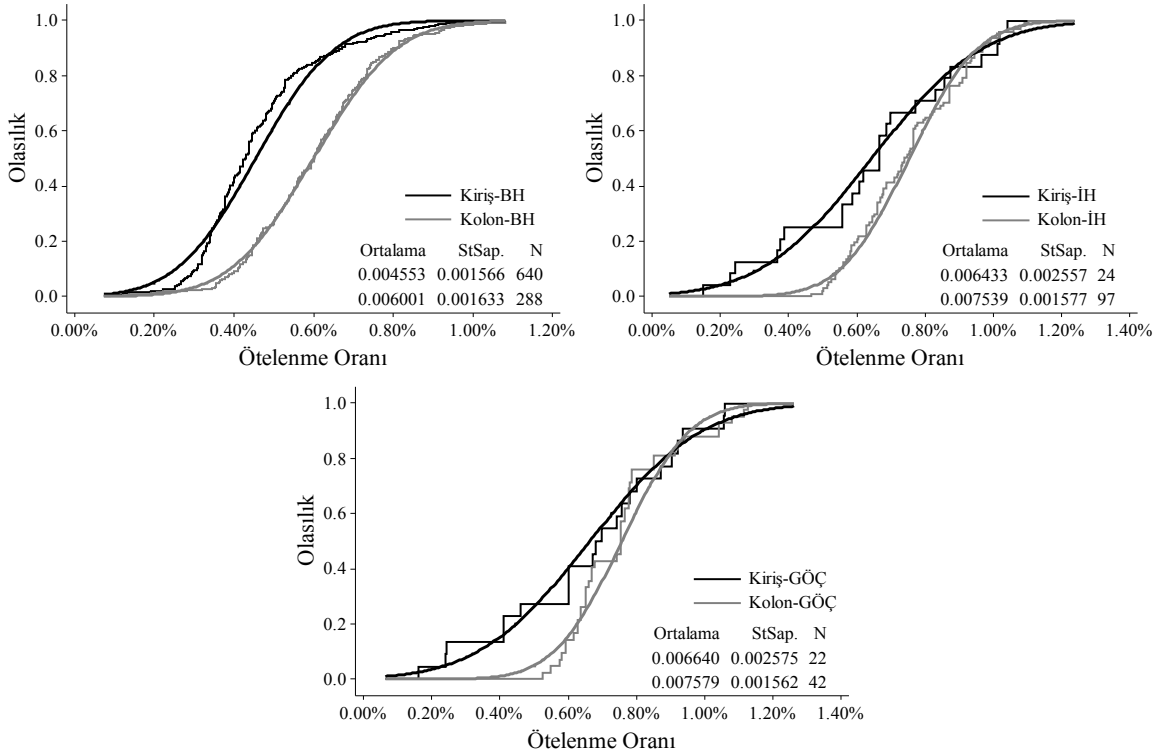


Şekil 2. Tüm binalardaki kiriş hasarlarının ötelenme değerlerinin dağılım



Şekil 3. Tüm binalardaki kolon hasarlarının ötelenme değerlerinin dağılımı

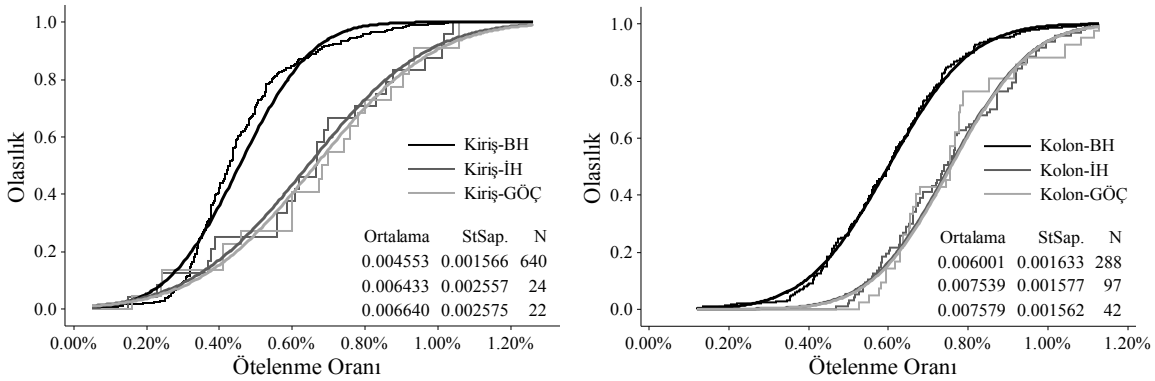
Belirgin hasar, ileri hasar ve göçme bölgesine geçen elemanların hangi oranda ve hangi ötelenme seviyelerinde bu hasar bölgelerine geçtiklerini belirleyebilmek için, bu hasar bölgelerine geçmenin birikimli olasılıkları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar şekil 4'te verilmiştir. Eleman hasarları arasında kıyaslama yapmak ve performans üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla iki ayrı yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde hasar olasılıkları her hasar seviyesi için ayrı hesaplanmış böylelikle kolonlar ve kirişler kendi aralarında kıyaslanmıştır. İkinci yöntemde ise kolonlar ve kirişler ayrı değerlendirilmiş, böylece kolon ve kiriş hasar olasılıkları ile performans seviyeleri arasındaki ilişki araştırılmıştır.



Şekil 4. Kolon ve kirişlerde hasar ötelenmelerinin birikimli olasılıklarının karşılaştırılması

Kolon ve kirişlerde eleman bazındaki hasarlarının birikimli olasılıklarının kıyaslandığı Şekil 4 incelendiğinde "belirgin hasar" (BH) olasılıklarının birbirinden açık bir şekilde ayrıldığı, ancak bu durumun "ileri hasar" (İH) ve göçme durumları için geçerli olmadığı ve bu hasar seviyelerinin birbirlerine yaklaştığı görülmüştür. Elde edilen şekiller yüksek ötelenme değerlerinde kolonların ileri hasar ve göçme olasılıklarının kirişlerden daha yüksek olabileceğine işaret etmektedir. Bu durum, ileri hasar seviyelerinde bina performanslarının kolonlar tarafından kontrol edilebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla performans seviyeleri ile ilgili kriterler belirlenirken bu durumun göz önüne alınması gerekmektedir.

İkinci durumda kolon ve kirişler birbirinden ayrı değerlendirilmiş ve böylece eleman bazındaki hasar seviyelerinin etkinliği incelenmiştir (Şekil 5). Hasar aşılma olasılıkları incelendiğinde hem kiriş hem de kolonlarda ileri hasar ve göçme olasılıklarının birbirilerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Diğer yandan belirgin hasar ve ileri hasar seviyeleri kıyaslandığında özellikle %0.6-%0.8 ötelenme oranlarında bu hasar düzeyleri arasındaki farkın kirişlerde arttığı, kolonlarda ise paralel bir seyir takip ettiği görülmüştür. Elde edilen şekiller (Şekil 4, Şekil 5) incelendiğinde eleman bazındaki hasarları arasındaki farkın belirgin hasar ve ileri hasar ya da belirgin hasar ile göçme arasında olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Kolon ve kirişlerde hasar ötelenmelerinin birikimli olasılıklarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında 1998 yılından önce inşa edilmiş beş adet betonarme bina seçilmiş ve binaların 2007 yönetmeliğine göre performans sınırları belirlenmiştir. Eleman bazındaki hasarlar ile performans sınırları arasındaki ilişkiyi irdelemek amacıyla binaların bütün düğüm noktalarındaki hasarların yerdeğiştirme değerleri doğrusal olmayan analizler yardımıyla bulunmuş ve elde edilen eleman bazındaki hasarların bina performans sınırları ile ilişkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde verilmiştir:

- Çalışmada kullanılan betonarme binaların ötelenme kapasitelerinin %1 gibi oldukça düşük bir seviyede olduğu belirlenmiştir.
- Binaların yönetmelik tabanlı performans sınırları hesaplanırken, HK ve CG performans seviyelerini çoğunlukla kiriş hasarlarını dikkate alan kriterlerin belirlediği, ancak GÖ performans düzeyini ise kolon hasarlarının tarif eden koşulların kontrol ettiği belirlenmiştir.
- Kolon ve kirişlerin hasar dağılımları incelendiğinde, özellikle kirişlerde belirgin hasar görme olasılığının çok düşük ötelenme değerlerinde oluştuğu belirlenmiştir.
- Yüksek ötelenme oranlarında, kolonlarda ileri hasar ve göçme olasılıklarının hızla arttığı ve hatta kiriş hasar olasılıklarından daha yüksek seviyelere çıktığı belirlenmiştir.

- Hem kolonlarda hem de kirişlerdeki ileri hasar ve göçme olasılıklarının birbirine oldukça yakın olduğu hatta örtüştüğü, bu yüzden de farklı performans sınırlarının özdeş ötelenme seviyelerinde oluşabildiği gözlenmiştir. Bu durumun binaların performans seviyeleri ile ilgili kriterlerin belirlenmesi sırasında dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Belirgin hasar için elde edilen birikimli hasar olasılıkları hem ileri hasar, hem de göçme durumları için hesaplanan hasar olasılıkları ile kıyaslandığında, kolon ve kirişlerde için hesaplanan hasar olasılıkları arasında belirgin bir ayrışmanın olduğu ve bu durumun binaların performans sınırları üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

ABYYHY-1975 (1975), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

ATC-40 (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California.

DBYYHY-2007 (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Eurocode 8 (2005). Design of Structures for Earthquake Resistance Part 3:Assement and retrofitting of buildings, European Standards, Brussels.

Park R., Priestley M.J.N., Gill W.D. (1982), Ductility of Square-Confined Concrete Columns, Journal of Structural Divisin-ASCE, 108: (ST4), 929–950.

SAP2000, CSI. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual; Berkeley (CA, USA); Computers and Structures Inc.

Şenel, Ş.M., (2009). 2007 Tarihli Deprem Yönetmeliğinde Tarif Edilen Şekil Değiştirme Tabanlı Hasar Sınırlarının Değerlendirilmesi, Sakarya International Symposium of Earthquake Engineering, 01-03 Ekim 2009, Sakarya, Türkiye.

Şenel, Ş.M., Palanci, M. (2011). Yönetmelik Tabanlı Eleman Hasar Sınırlarının Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 31 Mayıs-03 Haziran 2011, İstanbul, Türkiye.

Şenel, Ş.M., Palanci, M. (2011). Mevcut Prefabrik Binaların Deprem Performanslarının Farklı Yönetmelikler Açısından Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 31 Mayıs-03 Haziran 2011, İstanbul, Türkiye.

TS-500 (2000), "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.