MODELLEME TEKNİKLERİNİN MEVCUT BİNALARIN DEPREM PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

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: smsenel@pau.edu.tr

ÖZET:

Mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi konusu ülkemizde ve dünyada önemini arttırarak tartışılmaya devam edilmektedir. Konu ile ilgili ülkemizde yapılmış ve yapılmakta olan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda mevcut binaların doğrusal olmayan analiz modelleri hazırlanırken farklı yaklaşımlar ve yöntemler kullanılabilmektedir. Daha ziyade eğilme etkilerini yansıtabilmek için hesaplanan plastik mafsalların kritik kesitlere atanması ile oluşturulan doğrusal olmayan bina modellerinde oluşan yerdeğiştirme talepleri hesaplanmakta ve binanın deprem performansına karar verilmektedir.
Özellikle son 25 yılda yaşadığımız deprem felaketleri ise mevcut bina stoğumuzun malzeme, işçilik ve detaylandırma kalitesi açısından önemli sorunlara sahip olduğunu göstermiştir. Yaşanan depremler mevcut binalarımızın önemli bir kısmının eğilme etkileri ile değil, kesme etkileri ile gevrek bir biçimde hasar aldığını göstermiştir. Ortaya çıkan bu durum sadece eğilme etkilerini yansıtan plastik mafsalları kullanarak hazırlanan bina modellerinin hesabından elde edilen sonuçların ne kadar güvenilir olduğu sorusunu ortaya çıkarmaktadır. Bu soruya cevap verebilmek amacıyla 1998 deprem yönetmeliğinden önce inşa edilmiş dört adet mevcut betonarme binanın projeleri incelenmiş ve yapısal özellikleri belirlenmiştir. Kolonlara ve kirişlere ait moment-eğrilik analizleri yapılmış ve DBYYHY-2007 yönetmeliğine uygun olarak eleman hasar sınırları belirlenmiştir.
Binalara ait doğrusal olmayan analiz modelleri hazırlanırken üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilkinde bütün elemanlara ait eğilme ve kesme mafsalları tek tek hesaplanmış ve analiz modeline tanımlanmıştır. İkinci yöntemde eğilme mafsalları tüm elemanlara, kesme mafsalları ise sadece kolonlara atanmıştır. Üçüncü ve son yöntemde ise kesme mafsalları hiçbir yapı elemanı için kullanılmamış, bina analizi sadece eğilme etkileri göz önüne alınarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kesme mafsallarının binanın yerdeğiştirme kapasitesi ve dolayısı ile de deprem performansı üzerinde önemli sonuçları olduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Mevcut betonarme binalar, plastik mafsal, deprem performansı, doğrusal olmayan analiz.

1. GİRİŞ

Özellikle son yıllarda şiddetli depremler sebebi ile meydana gelen hasarlar, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi ile ilgili çalışmaların önemini arttırmıştır. özellikle 1950 li yıllardan sonra kentlerin nüfusunun hızla artması, artan talebi karşılayabilmek için çok sayıda binanın yeterli proje, malzeme ve işçilik kalitesinden ve denetimden yoksun bir biçimde hızla inşa edilmesi mevcut binalar ile ilgili bugünkü sorunlarımızın önemli sebeplerindendir.

2007 yılında ilan edilen türk deprem yönetmeliği mevcut binalarımızın deprem performansının belirlenmesi konusunda yapılması gereken işlemlerin tarif edildiği ilk teknik şartname niteliğindedir. Bu şartnamenin yedinci bölümünde doğrusal ve doğrusal ötesi olmak üzere iki ayrı hesap yöntemi tarif edilmekte ve mevcut binaların deprem performansının nasıl belirleneceği açıklanmaktadır.
Doğrusal Elastik Yöntem ile performans hesabının kuvvet tabanlı bir değerlendirme yöntemi olduğunu söylemek mümkündür. Doğrusal olmayan yöntem ise yerdeğiştirme esaslı bir değerlendirme yapmayı gerektirmektedir ve analiz modelleri hazırlanırken doğrusal ötesi bina davranışı genellikle eğilme etkilerinin göz önüne alındığı plastik mafsalların kritik kesitlere atanması ile temsil edilmektedir.

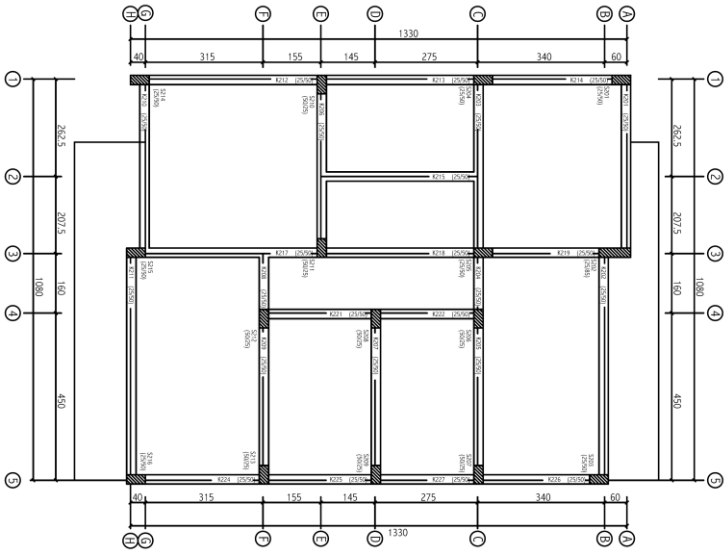
Ülkemizde meydana gelen şiddetli depremler sebebiyle oluşan hasarlar, betonarme binaların genellikle eğilme etkileri ile sünek hasar görmek yerine kesme etkisi ile gevrek hasar aldığını göstermektedir. Bununla birlikte analiz programlarında meydana gelen yakınsama problemlerini en aza indirebilmek, bina modelini hazırlamak için gereken iş yükünü hafifletmek ve kimi zamanda sünek bir davranış elde edebilmek gibi gerekçeler ile kuvvet tabanlı kesme mafsallarının pek çok uygulamacı tarafından kullanılmadığı görülmektedir. Bu ise hazırlanan bina modellerinin ve bu modellerin hesabından elde edilen sonuçların güvenilirliği konusunda kuşkuların artmasına sebep olmaktadır.

Bu türden şüphelerin ne derecede geçerli olduğunu araştırabilmek için kesme ve eğilme mafsallarının bir arada kullanıldığı bina modelleri ile sadece eğilme mafsallarının kullanıldığı bina modelleri oluşturulmuş ve elde edilen hesap sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Gerçekçi bir karşılaştırma yapabilmek için halen kullanılmakta olan ve 1975 Afet yönetmeliğine (ABYYHY-1975,1975) göre tasarlanan 4, 5, 6 ve 9 katlı olmak üzere 4 adet mevcut betonarme bina seçilmiş, projeleri incelenmiş ve yapısal özellikleri belirlenmiştir. Seçilen her binaya ait taşıyıcı sistem modelleri oluşturulurken eğilme ve kesme masallarının bir arada kullanımları göz önüne alınarak üç farklı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemlerin tamamında kullanılan eğilme mafsalları hesaplanırken binalara ait proje bilgilerinden faydalanılmış, moment-eğrilik analizleri yardım ile Türk deprem yönetmeliğine uygun şekilde eleman hasar sınırları belirlenmiştir. Bina bazında özdeş olan eğilme mafsalları her üç yöntemde de aynen kullanılmıştır. Analiz modellerinin hesabı sırasında takip edilen ilk yöntemde kesme mafsalları hem kolon, hem de kirişler için hesaplanmış ve bina modeline atanmıştır. İkinci yöntemde ise kesme mafsalları sadece kolonlara atanmıştır. Üçüncü ve son yöntemde ise sadece eğilme mafsalları göz önüne alınmış ve kesme mafsalları kullanılmamıştır. Yapılan analizler sonucunda sadece eğilme mafsallarından oluşan modellerin kesme mafsallı modellere göre daha yüksek dayanım ve yerdeğiştirme kapasitelerine ulaştığı gözlenmiştir.

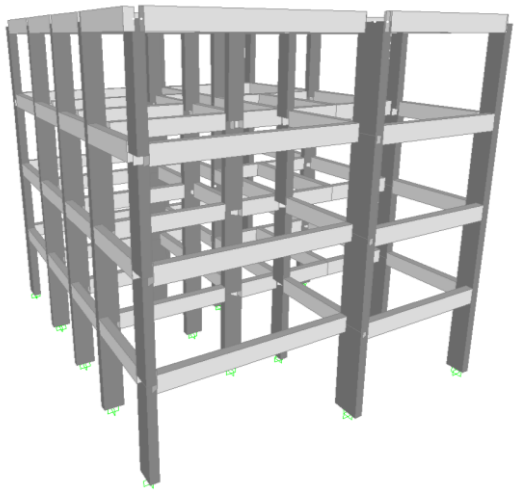
2. ANALİZ MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

Mevcut betonarme yapı stokumuzun büyük bir bölümü 1975 yönetmeliğine (ABYYHY-1975, 1975) göre tasarlanan yapılardan oluşmaktadır. Bu yüzden çalışma kapsamında ele alınan binaların mevcut bina stoğunun özelliklerini yansıtması için 1975 yönetmeliğine göre tasarlanan ve halen kullanılmakta olan binalardan olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen binaların projeleri incelenmiş, yapısal özellikleri belirlenmiştir. Aşağıdaki şekilde incelenen 4 katlı mevcut yapıya ait örnek kalıp planı verilmiştir.



Şekil 1. Örnek 4 katlı modele ait kalıp planı

Çalışma kapsamında ele alınan binaların doğrusal olmayan analiz modelleri SAP2000 (SAP2000, CSI) programı ile hazırlanmıştır. Yapılan proje incelemeleri sırasında binaların BS16 beton sınıfı ve S220 donatı çeliği ile tasarlandığı belirlenmiş, mevcut malzeme dayanımları ve proje bilgileri esas alınarak bina modelleri hazırlanmıştır. Dört katlı örnek binaya ait üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli aşağıda gösterilmiştir.

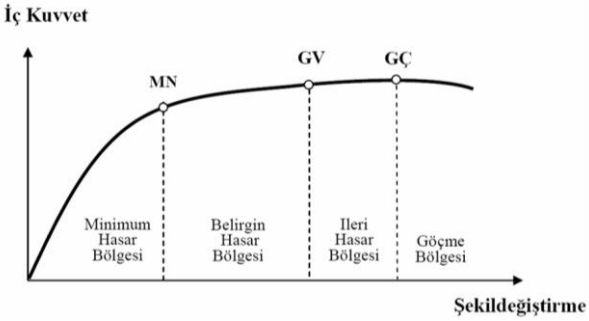


Şekil 2. Örnek 4 katlı modele ait doğrusal olmayan analiz modelie

Kolon ve kirişlere ait eğilme rijitlikleri belirlenirken 2007 Yönetmeliği'nin 7. Bölümünde verilen (EI_e) yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımın uygulanabilmesi için gereken eksenel yükler hesaplanırken binaların sismik ağırlık kombinasyonu dikkate alınmış ve kolonlara gelen eksenel yük değerleri belirlenmiştir. Kolon ve kirişlere ait eğilme mafsallarının hesabı için moment eğrilik analizlerinden yararlanılmıştır. Analizler sırasında sargılı beton davranışı geliştirilmiş Kent ve Park Modeli (Park vd., 1982) ile temsil edilmiştir. Hesaplamalar sırasında kolaylık sağlanması için moment eğrilik grafikleri iki doğrulu hale getirilmiştir. Kesitin nominal akma anına karşılık gelen moment ve eğrilik değerleri M_{ny} ve $\varnothing_{ny}$ ile temsil edilmiştir. Kesit akma momentleri hesaplanırken (M_{ny}), betondaki birim kısalmanın (ε_c) 0.004 olduğu seviye göz önüne alınmıştır. Donatının aktığı veya kabuk

betonun döküldüğü (ε_{cu}=0.002) şekildeğiştirme anına (hangisine önce ulaşılıyorsa) karşılık gelen eğrilik değerinden ($\varnothing_y$) geçirilen doğrunun moment kapasitesine (M_{ny}) ulaştığı noktadaki eğrilik ise kesitin nominal akma eğriliği ($\varnothing_{ny}$) olarak tarif edilmiştir. Takip edilen prosedür ile ilgili ayrıntılar Priestley vd., 2007 tarafından yapılan çalışmada bulunabilir. Betonarme kolon kesitlerinin akma sonrası kalıcı deformasyon bölgesindeki hasar sınırlarının ve hasar bölgelerinin tarifi için 2007 Deprem Yönetmeliğinde verilen şekildeğiştirme tabanlı tanımlamalardan yararlanılmıştır (DBYYHY-2007, 2007).

2007 tarihli deprem yönetmeliği ile ortaya çıkan en köklü değişiklik, mevcut binalarda performans hesabını belirleyen düzenlemelerin bulunduğu 7. bölüm ile ilgilidir. Doğrusal olmayan hesap sırasında kullanılan ve betonarme elemanlarda kesit hasar sınırlarının hesabını belirleyen kurallar bu köklü değişikliklere örnek olarak gösterilebilir. Şekil 3'de 2007 Deprem Yönetmeliğinde verilen kesit hasar sınırları ile bu sınırlar arasında kalan hasar bölgeleri gösterilmiştir(DBYYHY-2007, 2007). Yine aynı yönetmelik hükümlerine göre sözü edilen kesit hasar sınırlarının beton ve donatıda izin verilen şekildeğiştirmeler cinsinden ifadesi ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. DBYYHY-2007'de betonarme elemanlarda kesit hasar sınırları ile tarif edilen hasar bölgeleri

Tablo 1. DBYBHY-2007'de verilen hasar sınırlarına karşılık gelen şekildeğiştirmeler

Kesit Hasar Sınırı	**Beton**	**Donatı**
Minimum Hasar Sınırı (MN)	$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$	$(\varepsilon_s)_{MN} = 0.01$
Güvenlik Sınırı (GV)	$(\varepsilon_c)_{GV} = 0.0035 + 0.01(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}}) \le 0.0135$	$(\varepsilon_s)_{GV} = 0.04$
Göçme Sınırı (GÇ)	$(\varepsilon_c)_{GÇ} = 0.004 + 0.014(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}}) \le 0.018$	$(\varepsilon_s)_{GÇ} = 0.06$

DBYYHY-2007'de hasar sınırlarındaki betona ve donatıya ait şekildeğiştirme değerleri hesaplanırken kesitte bulunan enine donatının hacimsel oranı(ρ_s) ve kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı(ρ_{sm}) değerleri hesaplanmıştır. Yukarıda tarif edilen ve kesit hasar sınırlarını tanımlayan MN, GV ve GÇ eğriliklerinin gösterimleri de yine Şekil 4 üzerinde verilmiştir. Yukarıda anlatılan bu işlem tüm kolon ve kiriş kesitleri için tekrarlanmış ve kolon ve kirişlere ait moment-eğrilik kapasiteleri ($\varnothing_{MN}$, $\varnothing_{GV}$, $\varnothing_{GÇ}$) belirlenmiştir. Kesme mafsallarının hesabı için ise TS 500'de (2000) verilen denklemlere göre hesaplanmıştır.

$$V_r = 0.8V_{cr} + V_w \tag{1}$$

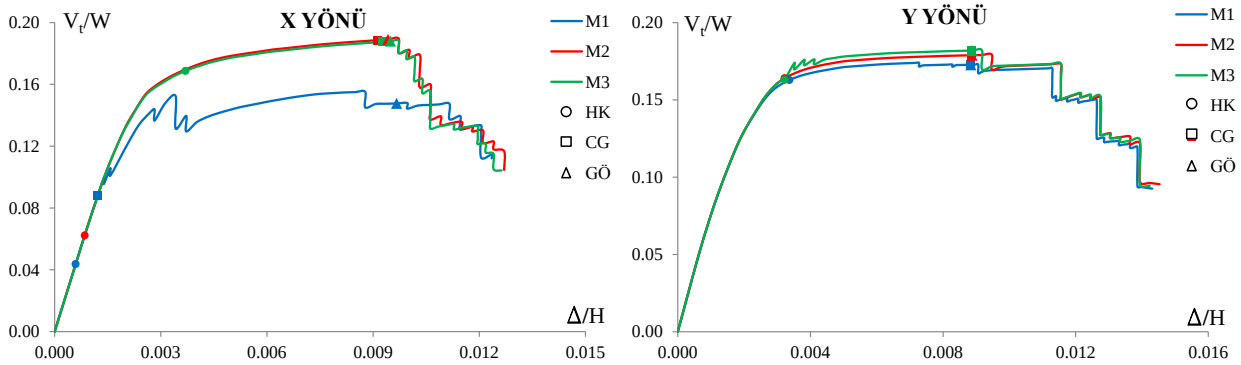
$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d\left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right) \tag{2}$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \tag{3}$$

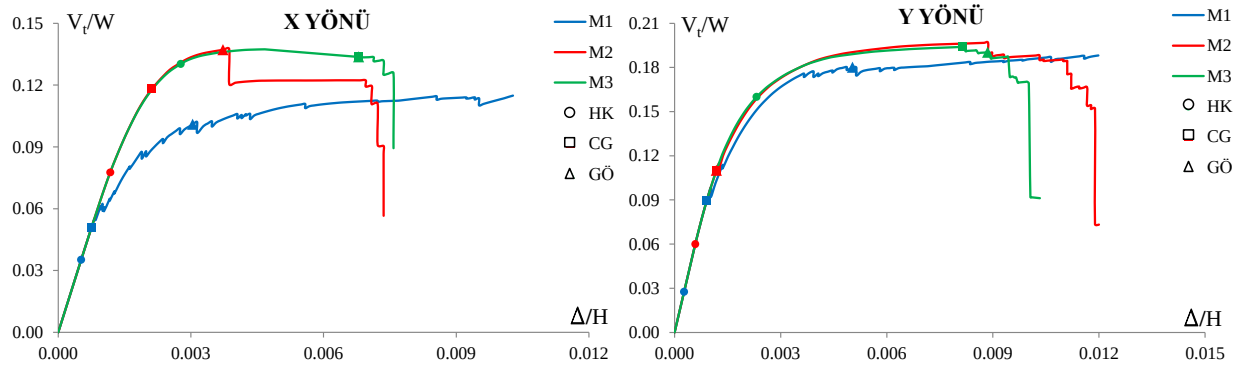
Eğilme mafsallarının hesabından sonra bu mafsalların kritik kesitlere atanması ile ilgili çalışmalara geçilmiştir. Plastik dönmelerin hesabı sırasında mafsal uzunluğu olarak kesit yüksekliğinin yarısı alınmıştır. Seçilen her bir binanın doğrusal olmayan analizleri sırasında için 3 farklı yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde (M1) kolon ve kirişler için hesaplanan kesme ve eğilme mafsalları hem kolonlara, hem de kirişlere atanarak bina modelleri hazırlanmıştır. İkinci yöntemde (M2) kolonlara eğilme ve kesme mafsalları tanımlanmış fakat kirişler için sadece eğilme mafsalları tanımlanmıştır. Üçüncü ve son yöntemde (M3) ise kolon ve kirişler için eğilme mafsalları tanımlanmış, kesme mafsalları ise hiçbir yapı elemanı için tanımlanmamıştır. Statik ittirme analizleri sırasında birinci titreşim modu ile uyumlu yük deseni kullanılmıştır.

3. BİNA KAPASİTE EĞRİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

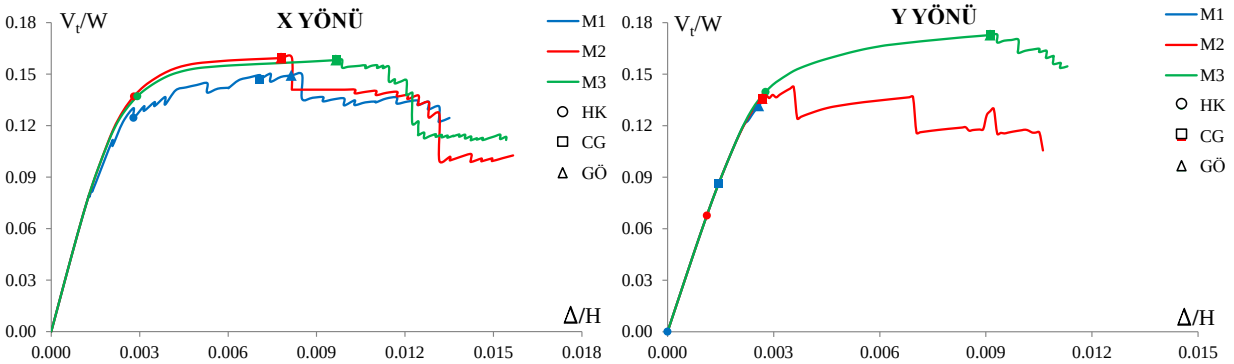
Kapasite eğrilerinin belirlenmesi için takip edilen hesap yöntemi, her binanın iki yönü için (X ve Y) ayrı ayrı ele alınmıştır. Bulunan kapasite eğrileri düşeyde bina ağırlığına ve yatayda ise bina yüksekliğine bölünerek birimsiz hale getirilmiştir. Her iki yöndeki kapasite eğrilerinin bulunmasından sonra 2007 Deprem Yönetmeliği'nin 7. Bölümünde yer alan Hemen Kullanım(HK), Can Güvenliği(CG) ve Göçme Öncesi(GÖ) Performans Düzeylerine karşılık gelen ötelenme oranları hesaplanmıştır. Aşağıdaki şekillerde statik ittirme analizleri sonucunda elde edilen kapasite eğrileri X ve Y yönleri için ayrı ayrı verilmiştir. Hesaplanan performans düzeyleri kapasite eğrilerinin üzerinde gösterilmiştir.



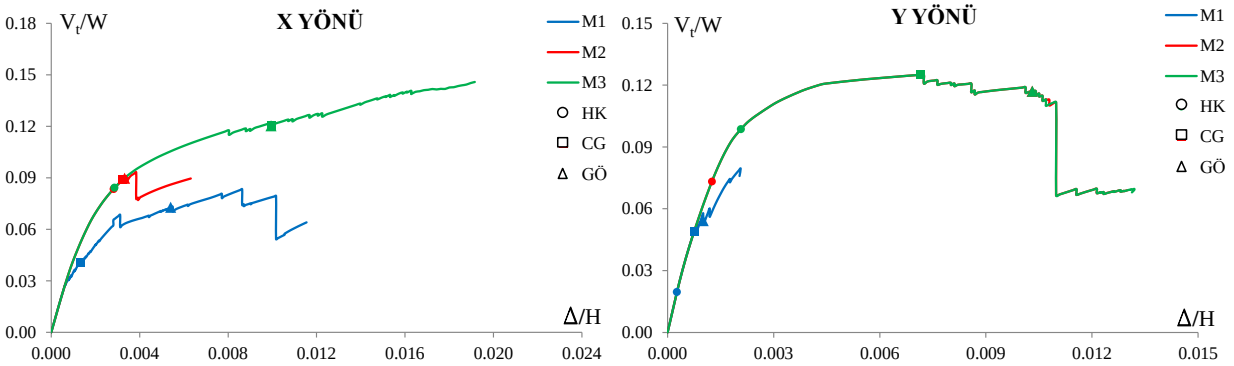
Şekil 4. Mevcut 4 katlı binaya ait kapasite eğrileri ve hasar düzeyleri



Şekil 5. Mevcut 5 katlı binaya ait kapasite eğrileri ve hasar düzeyleri

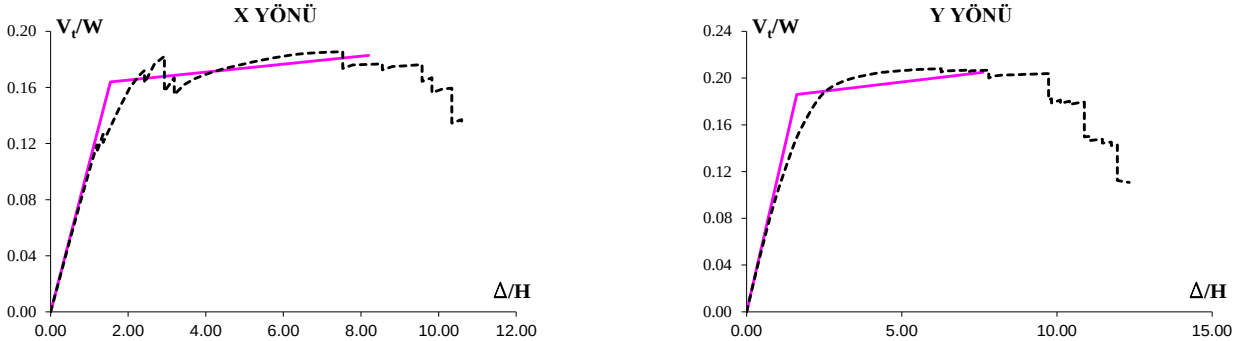


Şekil 6. Mevcut 6 katlı binaya ait kapasite eğrileri ve hasar düzeyleri



Şekil 7. Mevcut 9 katlı binaya ait kapasite eğrileri ve hasar düzeyleri

Hesaplanan kapasite eğrileri daha sonraki aşamalarda yapılacak hesaplamalar sırasında işlem kolaylığı sağlayabilmek için iki doğrulu hale getirilmiştir. Bunun için ATC-40 (1996) belgesinde verilen yaklaşım esas alınmıştır. Şekil 8'de 4 katlı bina modelinin X ve Y yönlerinde M1 yöntemi ile yapılan hesabından elde edilen ve iki doğrulu hale getirilen kapasite eğrileri verilmiştir. ATC-40 yaklaşımı ile iki doğrulu hale getirilen kapasite eğrileri kullanılarak binalara ait dayanım kapasitesi ($V_{t(y)}$), akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) ve maksimum yerdeğiştirme değeri ($\Delta_u=\Delta_{GÖ}$) bulunmuştur. Akma ve maksimum yerdeğiştirme değerlerinin bu şekilde hesabından sonra yerdeğiştirme süneklikleri hesaplanmıştır (Denklem 4). Dört katlı bina için hesaplanan dayanım ve süneklik değerleri Tablo 2 üzerinde gösterilmiştir. 3 farklı yöntem ile (M1, M2, M3) bulunan kapasite eğrilerinin tamamı benzer şekilde iki doğrulu hale getirilmiş ve söz konusu bu değerler ele alınan binaların tümü için hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 2'ye eklenmiştir.



Şekil 8. Mevcut 4 katlı binaya ait her iki yön için iki doğrulu kapasite eğrileri

$$\mu = \frac{\Delta_{GÖ}}{\Delta_y} \tag{4}$$

Tablo 2. Bina modelleri için hesaplanan dayanım ve süneklik değerleri

Kat Sayısı	Analiz Yönü	Yöntem	W (ton)	Periyot (sn)	PF	Alfa (a)	$V_{t(y)}/W$	$V_{t(u)}/W$	Δ_y (cm)	Δ_u (cm)	Δ_{talep} (cm)	μ
4	X	M1	653.71	0.62	1.31	0.84	0.137	0.153	2.02	10.70	9.23	5.30
4	Y	M1	653.71	0.59	1.30	0.84	0.155	0.171	2.11	9.89	8.80	4.70
4	X	M2	653.71	0.62	1.31	0.84	0.163	0.189	2.40	10.50	9.23	4.38
4	Y	M2	653.71	0.59	1.30	0.84	0.155	0.181	2.09	9.90	8.80	4.73
4	X	M3	653.71	0.62	1.31	0.84	0.161	0.188	2.37	10.60	9.23	4.46
4	Y	M3	653.71	0.59	1.30	0.84	0.159	0.182	2.15	9.90	8.80	4.60
5	X	M1	1757.32	0.75	1.29	0.82	0.067	0.101	1.45	4.50	11.67	3.09
5	Y	M1	1757.32	0.60	1.29	0.81	0.146	0.180	2.06	7.50	8.93	3.65
5	X	M2	1757.32	0.75	1.29	0.82	0.114	0.137	2.48	5.50	11.67	2.22
5	Y	M2	1757.32	0.60	1.29	0.81	0.064	0.110	0.90	1.70	8.93	1.90
5	X	M3	1757.32	0.75	1.29	0.82	0.125	0.138	2.73	10.10	11.67	3.70
5	Y	M3	1757.32	0.60	1.29	0.81	0.173	0.190	2.45	13.19	8.93	5.39
6	X	M1	1745.48	0.77	1.33	0.79	0.124	0.149	3.12	13.60	12.12	4.36
6	Y	M1	1745.48	0.78	1.33	0.77	0.075	0.131	1.99	4.30	12.34	2.16
6	X	M2	1745.48	0.77	1.33	0.79	0.137	0.159	3.43	13.10	12.12	3.82
6	Y	M2	1745.48	0.78	1.33	0.77	0.095	0.136	2.50	4.40	12.34	1.76
6	X	M3	1745.48	0.77	1.33	0.79	0.140	0.158	3.50	16.20	12.12	4.63
6	Y	M3	1745.48	0.78	1.33	0.77	0.145	0.173	3.83	15.30	12.34	3.99
9	X	M1	2533.49	1.14	1.36	0.79	0.047	0.073	2.64	14.14	19.32	5.36
9	Y	M1	2533.49	0.89	1.37	0.78	0.029	0.054	1.00	2.60	14.27	2.60
9	X	M2	2533.49	1.14	1.36	0.79	0.049	0.090	2.74	8.69	19.32	3.17
9	Y	M2	2533.49	0.89	1.37	0.78	0.111	0.121	3.83	26.91	14.27	7.03
9	X	M3	2533.49	1.14	1.36	0.79	0.085	0.120	4.75	25.90	19.32	5.46
9	Y	M3	2533.49	0.89	1.37	0.78	0.111	0.121	3.83	26.92	14.27	7.03

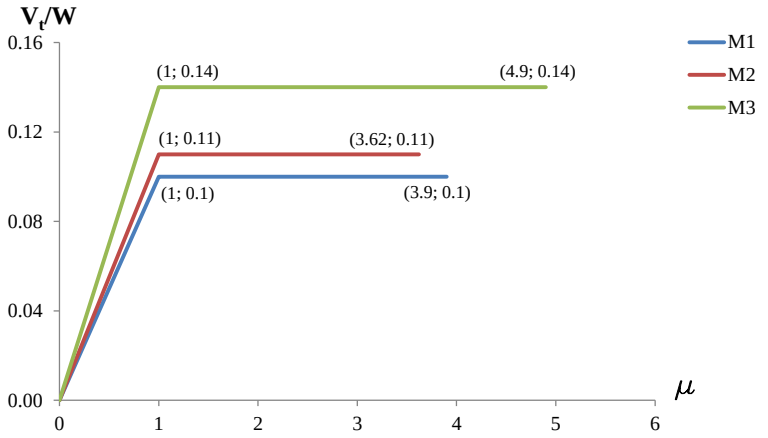
Süneklik (μ) ve dayanım kapasitelerinin ($V_{t(y)}$) hesabından sonra bulunan bu değerler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle doğrusal olmayan analiz modellerinin hesabı sırasında takip edilen yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Üç yöntem ile bulunan sonuçlar süneklik ve dayanım açısından sıralanmıştır. Ayrıca en küçük dayanım ve rijitlik durumuna karşılık gelen değer birim kabul edilmiş ve diğer değerlerin bu birim değere bölünmesi ile birlikte elde edilen sonuçlar oransal katsayılar cinsinden ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tüm modeller için bulunan dayanım ve süneklik değerlerinin sıralaması ve katsayı değerleri

Model No	Kat Sayısı	Analiz Yönü	Yöntem	μ	Vt(y)/W	Süneklik		Dayanım	
						Sıralama	Katsayı	Sıralama	Katsayı
1	4	X	M1	5.30	0.14	$\mu_{M1}>\mu_{M3}>\mu_{M2}$	1.21	$Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}$	1.00
1	4	X	M2	4.38	0.16	$\mu_{M1}>\mu_{M3}>\mu_{M2}$	1.00	$Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}$	1.19
1	4	X	M3	4.46	0.16	$\mu_{M1}>\mu_{M3}>\mu_{M2}$	1.02	$Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}$	1.18
2	5	X	M1	3.09	0.07	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.39	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.00
2	5	X	M2	2.22	0.11	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.00	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.70
2	5	X	M3	3.70	0.13	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.67	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.88
3	6	X	M1	4.36	0.12	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.14	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.00
3	6	X	M2	3.82	0.14	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.00	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.10
3	6	X	M3	4.63	0.14	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.21	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.12
4	9	X	M1	5.36	0.05	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.69	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.00
4	9	X	M2	3.17	0.05	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.00	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.04
4	9	X	M3	5.46	0.09	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.72	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.80
1	4	Y	M1	4.70	0.16	$\mu_{M2}>\mu_{M1}>\mu_{M3}$	1.02	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}>Vt(y)_{M2}$	1.01
1	4	Y	M2	4.73	0.15	$\mu_{M2}>\mu_{M1}>\mu_{M3}$	1.03	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}>Vt(y)_{M2}$	1.00
1	4	Y	M3	4.60	0.16	$\mu_{M2}>\mu_{M1}>\mu_{M3}$	1.00	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}>Vt(y)_{M2}$	1.03
2	5	Y	M1	3.65	0.15	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.92	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}>Vt(y)_{M2}$	2.29
2	5	Y	M2	1.90	0.06	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.00	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}>Vt(y)_{M2}$	1.00
2	5	Y	M3	5.39	0.17	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	2.84	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}>Vt(y)_{M2}$	2.73
3	6	Y	M1	2.16	0.08	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.23	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.00
3	6	Y	M2	1.76	0.09	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	1.00	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.25
3	6	Y	M3	3.99	0.15	$\mu_{M3}>\mu_{M1}>\mu_{M2}$	2.27	$Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M2}>Vt(y)_{M1}$	1.92
4	9	Y	M1	2.60	0.03	$\mu_{M3}=\mu_{M2}>\mu_{M1}$	1.00	$Vt(y)_{M2}=Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}$	1.00
4	9	Y	M2	7.03	0.11	$\mu_{M3}=\mu_{M2}>\mu_{M1}$	2.70	$Vt(y)_{M2}=Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}$	3.83
4	9	Y	M3	7.03	0.11	$\mu_{M3}=\mu_{M2}>\mu_{M1}$	2.70	$Vt(y)_{M2}=Vt(y)_{M3}>Vt(y)_{M1}$	3.83

Sıralamalara bakıldığında kiriş ve kolonlarda kesme mafsalı olmadan hazırlanan modellerin (M3) dayanım kapasiteleri açısından en yüksek sonuçları verdiği görülmektedir. M3 yönteminde kolon ve kirişlerde kesme etkileri göz ardı edildiği için, binalar göz önüne alınan performans seviyelerine sadece eğilme davranışı ile ulaşmaktadır (Bkz. Tablo4). Benzer şekilde M3 yöntemi ile hazırlanan modeller süneklik kapasiteleri açısından da daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Kesme mafsallarının kullanılmadığı modellerde Göçme Öncesi Performans Düzeyi ($\Delta_{GÖ}$) daha yüksek yerdeğiştirme seviyelerinde oluşmaktadır (Bkz. Tablo3). 2007 Deprem Yönetmeliğinde göçme öncesi performans seviyesi tarif edilirken iki şartın sağlanması gerektiği belirtilmektedir. Bunlardan ilki uygulanan deprem doğrultusu için kirişlerin en fazla %20'sinin göçme bölgesine olması şartıdır. İkinci şart ise kolon ve/veya perde elemanlarının göçme bölgesinde olmaması şartıdır. Bu iki koşul ile bulunan yerdeğiştirmelerin küçük olanı göçme öncesi performans düzeyini belirlemektedir. Yapılan incelemeler

öncelikle kirişlerde kesme etkileri ile hasar oluştuğunu, ancak deprem yönetmeliğinde belirtilen "*ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir*" şartında belirtilen %20 seviyesinin genelde aşılmadığı tespit edilmiştir. Bu durum ise kolonların daha fazla yerdeğiştirme yapabilmesine imkan sağlamıştır. Her üç yöntem ile belirlenen dayanım ve süneklik kapasitelerinin ortalamaları hesaplanmıştır. Bu üç yöntemden elde edilen ortalama dayanım ve süneklik değerlerinin ortalamaları Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi en yüksek dayanım ve süneklik kapasitesi hiçbir taşıyıcı elemanında kesme mafsalı olmayan modellerde (M3) gözlenmiştir. Tablo 3'te verilen ortalama değerler M1 yöntemine göre yapılan modelleme işleminden elde edilen ortalama sünekliğin M2 yöntemine göre hesaplanandan biraz daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte Şekil 9'da gösterilen gerek ortalama yatay dayanım, gerekse de süneklik katsayıları M1 ve M2 yöntemlerinden elde edilen ortalama sonuçlar arasında büyük farklılıklar bulunmadığını göstermektedir. Kolonlarda ve kirişlerde kesme mafsallarının bulunmadığı M3 yönteminden elde edilen sonuçlar ise hem yatay dayanım, hem de süneklik açısından M1 ve M2 yöntemlerinden ortalama olarak 1.3~1.4 kat daha yüksek dayanım ve süneklik değerlerinin hesaplanabileceğini göstermektedir. Kısa kirişlerin ve/veya kısa kolonların varlığı bina bazında elde edilen sonuçların büyük oranda değişmesine sebep olabilmektedir. Ortalama değerlerin kullanılması ile bu türden binaya özel problemlerden kaynaklanan etkilerin azaltılması hedeflenmiştir.



Şekil 9. Mevcut 4 katlı binaya ait her iki yön için iki doğrulu kapasite eğrileri

4. ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada doğrusal ötesi analiz için kullanılan modelleme tekniklerinin bina performansının hesabı üzerindeki etkilerini inceleyebilmek amacıyla farklı kat sayılarına sahip 4 adet betonarme bina ele alınmıştır. Seçilen betonarme binalar 1975 Afet Yönetmeliğine göre tasarlanmıştır ve halen de kullanılmaktadır. Binalara ait doğrusal olmayan analiz modelleri hazırlanırken üç farklı yaklaşım belirlenmiştir. Bu yaklaşımlardan ilkinde kesme ve eğilme mafsalları bütün taşıyıcı sistem elemanlarına atanmıştır. İkinci yöntemde ise eğilme mafsalları tüm elemanlara, kesme mafsalları ise sadece kolonlara atanmıştır. Üçüncü ve son yöntemde ise binayı oluşturan bütün taşıyıcı sistem elemanlarına sadece eğilme mafsalları atanmış, hiçbir elemana kesme mafsalı atanmadan bina modelleri oluşturulmuştur. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar kesme mafsalları kullanılmadan hazırlanan bina modellerinin gereke yatay dayanım, gerekse de süneklik açısından 1.3~1.4 kat daha yüksek sonuçlar verdiğini göstermiştir. Binaya ait yatay dayanım ve süneklik kapasitelerinin bu derecelerde yüksek tahmin edilmesi bina performansının tahmini bakımından gereğinden daha iyimser bir tablonun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu türden problemlerin önlenebilmesi için doğrusal olmayan bina modellerinin hazırlanması ile ilgili prosedürlerin daha net bir biçimde tarif edilmesi ve gevrek kırılmayı yansıtmak konusunda daha gerçekçi hesaplamalar yapmamıza imkan verecek olan kesme mafsallarının mutlaka analiz modellerinde kullanılması gerektiği 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.

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.

Priestley M.J.N., Calvi M.C., Kowalsky M.J. (2007). Displacement Based Seismic Design of Structures, IUSS Press, Pavia.

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

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