



TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİNDEKİ STATİK ESASLI PERFORMANS BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

(COMPARISON OF STATIC BASED PERFORMANCE EVALUATION METHODS IN TURKISH EARTHQUAKE CODE)

Kaan TÜRKER*

ÖZET/ABSTRACT

2007 Türkiye deprem yönetmeliğinin yürürlüğe girmesiyle birlikte, mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesinde ve değerlendirilmesinde yaygın olarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDYY) ve Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (AEDYY) kullanılmaya başlanmıştır. İki yöntem arasında dayandıkları esaslar bakımından önemli farklılıklar bulunmasına karşılık, yönetmelikte bu yöntemlerin seçimiyle ilgili herhangi bir koşul bulunmamaktadır. Bu nedenle iki yöntemin sonuçları arasındaki uyum bina performans değerlendirmelerinin doğru yapılabilmesi bakımından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, farklı deprem düzeyleri için iki yöntemin sonuçları karşılaştırılarak aralarındaki uyum incelenmiş ve elde edilen sonuçlardan yararlanarak EDYY'nin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Yöntemler betonarme bir bina çerçevesi üzerinde, üç (orta, şiddetli ve çok şiddetli) farklı deprem düzeyi için uygulanmış, kesit hasar düzeyleri, görelî kat ötelemeleri ve çerçeve performans düzeyleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, eleman uçlarındaki sargılama durumunun etkisi de incelenmiştir. Deprem düzeyi (sistemdeki plastikleşme düzeyi) arttıkça yöntemlerin sonuçları arasındaki uyumun azaldığı belirlenmiştir. Eleman uçlarındaki sargılama durumunun iki yöntemin sonuçları arasındaki uyum üzerinde çok etkili olduğu belirlenmiştir.

With come into force of Turkish Seismic Rehabilitation Code 2007 (TSRC), Equivalent Seismic Load Method (ESLM) and Incremental Equivalent Seismic Load Method (IESLM) have been begun to use in seismic performance evaluation of existing RC buildings. Although the essentials of these methods are very different, a precondition related to election of the methods are not present in the TSRC. Therefore, consistency of the methods have an importance for a valid seismic performance evaluation. In this study, comparing the ESLM and IESLM results, consistency between two methods is investigated for different earthquake hazard levels. And usability of ESLM is assessed by utilizing from the obtained results. The methods are compared on a RC building frame system for three earthquake levels in terms of section damage levels, story drifts and frame global performance levels. In addition, the effect of confinement on members is investigated. The results show that consistency of ESLM and IESLM results is decreasing while the earthquake level (plastification level in system) is increasing. In addition, it is seen that the confinement on members is very effective on consistency of methods.

ANAHTAR KELİMELEK/KEYWORDS

Deprem performansı, Betonarme bina, Doğrusal statik yöntem, Doğrusal olmayan statik yöntem
Seismic performance, RC building, Linear static method, Non-linear static method

* Balıkesir Ün., Müh.-Mim. Fak., İnşaat Müh. Böl., Çağış, BALIKESİR

1. GİRİŞ

ABD’de yaşanan depremler sonucu, yaklaşık onbeş yıl önce ortaya çıkan performansa dayalı tasarım/değerlendirme yaklaşımı bugün oldukça yaygınlaşmış ve çağdaş ülkelerin deprem yönetmeliklerinde yer almaya başlamıştır. Dünyadaki bu gelişmeye paralel olarak, 2007 yılında Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY) de betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan, statik ve dinamik esaslı hesap yöntemlerine yer verilmiştir (DBYBHY, 2007).

TDY’nde binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen yöntemler, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Doğrusal elastik yöntemler grubunda EDYY ve *Mod Birleştirme Yöntemi* (MBY) adı altında iki yöntem bulunmaktadır. Doğrusal elastik olmayan yöntemler grubunda ise AEDYY *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* (AMBY) ve *Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi* (ZTAAY) adı altında üç yöntem yer almaktadır. EDYY ve AEDYY statik esaslı yöntemler olup yönetmeliğe göre sadece yapı davranışında birinci (temel) modun hakim olduğu binalarda kullanılabilir. Diğer yöntemler ise dinamik/yarı dinamik esaslı olmaları nedeniyle yüksek modların etkin olduğu binalarda da kullanılabilir.

TDY’de yer alan yöntemler arasında, doğrusal elastik EDYY ve doğrusal elastik olmayan AEDYY, mevcut binaların büyük çoğunluğuna uygulanabilir özellikte olmaları nedeniyle pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

EDYY, doğrusal elastik teoriyi ve kuvvete dayalı bir yaklaşımı esas almakta, AEDYY ise doğrusal elastik olmayan teoriyi ve şekildeğiştirmeye dayalı bir yaklaşımı esas almaktadır. Dayandıkları teorik esaslar bakımından karşılaştırıldığında AEDYY ile deprem etkisi altındaki bina davranışının gerçeğe daha yakın olarak elde edilebildiği, EDYY’inde ise yöntemin bazı eksiklikleri nedeniyle gerçek davranıştan belirli ölçüde uzaklaşıldığı söylenebilir.

Performans esaslı benzer yöntemlerin yer aldığı ASCE/SEI 41-06 ve EUROCODE 8 gibi standartlarda doğrusal elastik teoriye dayanan basitleştirilmiş yöntemlerin kullanımının çeşitli parametrelere (bazı yapısal düzensizlik durumlarının bulunması, hasar düzeyini ifade eden talep/kapasite değerleri) göre sınırlandırıldığı görülmektedir (ASCE/SEI 41-06, 2007; CEN, 2005). TDY’nde ise doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin kullanımı ile ilgili herhangi bir ön koşul bulunmamaktadır. Bu nedenle özellikle EDYY’nin farklı yapı sistemleri üzerinde incelenerek yetersizliklerinin ortaya konması, bina performans değerlendirmelerinin daha doğru yapılabilmesi bakımından önem arz etmektedir.

EDYY ve AEDYY’nin karşılaştırmalı olarak incelendiği çalışmalarda, genel olarak doğrusal elastik EDYY’nin doğrusal elastik olmayan AEDYY’ne göre daha elverişsiz hasar durumları verdiği belirlenmiştir (Kaya, 2006; Uygun ve Celep, 2007; Sucuoğlu, 2007, Şengöz ve Sucuoğlu, 2009). Çalışmalarda genellikle belirli bir deprem seviyesi ve buna karşılık gelen hasar düzeyleri için karşılaştırmalar yer almakta, hafif/orta hasar düzeyleri ve ileri hasar düzeyleri için söz konusu yöntemlerin değerlendirilmesi bulunmamaktadır.

EDYY ve AEDYY arasındaki temel farklılıklardan birisi, deprem etkisi altında kesitler/elemanlar arasındaki yeniden dağılım etkisinin AEDYY’nde göz önüne alınmasına karşılık, EDYY’nde alınmamasıdır. Taşıma kapasitesine ulaşan kesitlerde eğilme rijitliği çok küçük değerlere düşmektedir. Bu nedenle deprem esnasında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan kesit tesirlerinin dağılımı sürekli olarak değişim gösterir (Paulay ve Priestley, 1992). Bu yeniden dağılım etkisinin göz ardı edilmesi, deprem nedeniyle taşıyıcı elemanlarda oluşan şekildeğiştirme ve dayanım taleplerinin belirlenmesinde önemli hatalara yol açabilmektedir. EDYY’de depremden oluşan kesit tesirleri ve hasar düzeyleri elemanların elastik (başlangıç) rijitlikleri gözönüne alınarak belirlendiğinden söz konusu yeniden dağılım etkisi göz ardı

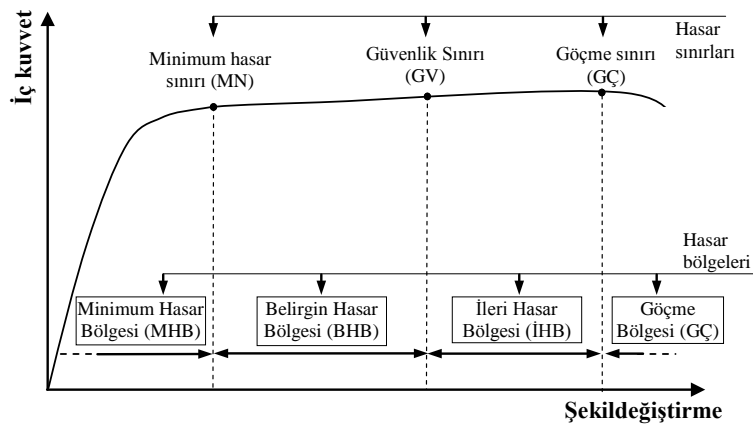
edilmiş olmaktadır. AEDYY’de ise deprem yüklerinin artımsal olarak uygulanması ve taşıma kapasitesine ulaşan (plastikleşen) elemanlardaki rijitlik değişimlerinin dikkate alınması sayesinde yeniden dağılım etkisi gözönüne alınabilmektedir.

Yeniden dağılımın bir taşıyıcı sistemin deprem performansı üzerindeki etkisi sistemin kapasitesine ve maruz kaldığı depremin büyüklüğüne bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Deprem esnasında sistemde plastikleşen kesit/eleman sayısı arttıkça yeniden dağılımın etkisi de artmaktadır. Buna bağlı olarak bu tür sistemlerde doğrusal elastik EDYY’nin geçerliliğinin azalacağı söylenebilmektedir.

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemdeki plastikleşme düzeyinin dolayısıyla yeniden dağılımın iki yöntemin sonuçları arasındaki farklara olan etkisi incelenmiştir. Böylece farklı hasar düzeyleri için EDYY’nin geçerliliği (kullanılabilirliği) değerlendirilmiştir. Bu amaçla altı katlı bir betonarme bina çerçevesi üzerinde, TDY’de tanımlanan üç farklı deprem düzeyi için EDYY ve AEDYY uygulanmış ve kesit hasar bölgeleri, göreceli kat ötelemeleri ve çerçeve performans düzeyleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, eleman uçlarındaki sargılama durumunun hasar düzeylerine ve performans düzeylerine olan etkisi de incelenmiştir.

2. 2007 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Bina deprem performansı, belirli bir deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasarların türlerine, düzeylerine ve binadaki dağılımlarına bağlı olarak belirlenen bir bina güvenliğini ifade etmektedir. Binalar için standart bir güvenlik tanımı yapabilmek amacıyla, 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği’nde (TDY), binalara gelebilecek deprem etkileri, elemanlarda oluşabilecek hasar türleri, düzeyleri ve bu hasarların dağılımlarına bağlı olarak belirlenen bina performans düzeyleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (DBYBHY, 2007). Binaların kullanım amacı ve türüne bağlı olarak sahip olması gereken en düşük deprem performansı düzeyleri de yönetmelikte belirtilmiştir. Deprem etkisi altında, kesme kırılması oluşmayan elemanların belirli bir eğilme şekildeğişmesi kapasitesine sahip oldukları kabul edilmekte ve bu elemanlar *sünek* olarak nitelendirilmektedir. Deprem etkisi altında kesme kapasitesi yetersiz olduğu için kesme kırılması oluşan elemanlar *gevrek* olarak nitelendirilmektedir. Sünek elemanlar için yönetmelikte verilen hasar sınırları ve hasar bölgeleri şematik iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntısı üzerinde gösterilmiştir (DBYBHY, 2007) (Şekil 1).



Şekil 1. Sünek elemanlar için kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

TDY’nde binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen doğrusal elastik yöntemler (EDYY ve MBY), doğrusal elastik teoriye dayanan kuvvet esasl

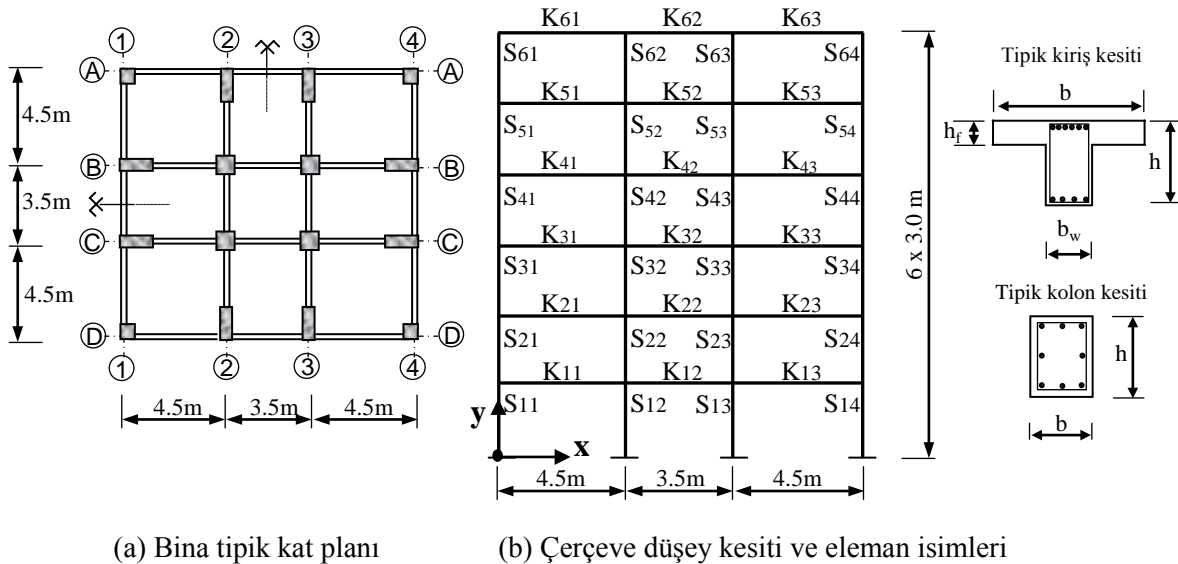
yöntemlerdir. Bu yöntemlerde, doğrusal elastik davranan yapıya etkiyecek deprem yükleri altında, kritik kesitlerde oluşacak kesit tesirleri ve kesit kapasitelerinden yararlanarak kesitlerdeki süneklik taleplerinin yaklaşık olarak elde edilmesi ve bunların kesit şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak hasar düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Esasen yapı kapasitesine bağımlı olan deprem yükleri yerine elastik deprem yüklerinin kullanılması, bu yüklerin tamamının aynı anda taşıyıcı sisteme etkiltilerek kesitler/elemanlar arasındaki yeniden dağılım etkisinin ihmal edilmesi ve kesitlerdeki süneklik taleplerinin kuvvet esaslı bir yaklaşımla temsil ediliyor olması bu yöntemlerin temel eksiklikleri arasında bulunmaktadır. Bu eksiklikleri nedeniyle doğrusal elastik yöntemlerde gerçek davranıştan belirli ölçüde uzaklaşıldığı bilinmektedir.

Statik esaslı doğrusal elastik olmayan yöntemde (AEDYY), deprem etkilerinin kapasite ile uyumlu olarak sisteme etkiltilmesi, artımsal analiz sayesinde yeniden dağılım etkisinin göz önüne alınması ve eleman hasar kontrollerinin direkt olarak şekil değiştirme talepleri (plastik dönme, birim şekil değiştirme) ile yapılması deprem etkisi altındaki davranışın daha gerçekçi olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, TDY’nde yer alan AEDYY’ne benzer statik esaslı doğrusal elastik olmayan yöntemler ile planda ve düşeyde düzensizliği bulunmayan az ve orta katlı yapılar için gerçek deprem davranışa yakın sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir (Mwafy ve Elnashai, 2001; Krawinkler ve Seneviratna, 1998; Lawson vd., 1994).

3. SAYISAL İNCELEMELER

3.1. İncelenen Taşıyıcı Sistemin Özellikleri

EDYY ve AEDYY’nin karşılaştırılması altı katlı, düzenli ve her iki doğrultuda simetrik betonarme bir binanın bir orta aks çerçevesi üzerinde yapılmıştır. Binanın tipik kat planı, incelenen tipik iç aks çerçevesinin geometrik özellikleri ve eleman isimleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bina tipik kat planı ve incelenen çerçevenin özellikleri

Kirişlerde sabit ($G=4.5 \text{ kN/m}^2$) ve hareketli ($Q=2.0 \text{ kN/m}^2$) döşeme yüklerinden aktarılan yükler ile duvar yükleri (2.75 kN/m) bulunmaktadır. Ayrıca kolon-kiriş birleşim noktalarında, çerçeveye dik doğrultudaki kiriş yükleri temsil eden tekil yükler bulunmaktadır. Bina tasarımında 1975 deprem yönetmeliği esas alınmış ve beton sınıfı C16, beton çeliği sınıfı S220 olarak seçilmiştir (ABYBHY, 1975). Tasarımda *deprem bölge katsayısı* $C_0=0.1$, *yapı önem katsayısı* $I=1.0$, *yapı tipi katsayısı* $K=1.0$, *zemin cinsi* II-a olarak alınmıştır (ABYBHY, 1975). Eleman enkesit özellikleri Çizelge 1 ve 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kiriş özellikleri

Kat	Kiriş adı	Kesit	Boyutlar		Boyuna Donatı	
			b_w (cm)	h (cm)	üst	alt
1	K11	Sol uç	30	60	6 ϕ 20	4 ϕ 20
		Sağ uç	30	60	5 ϕ 20	3 ϕ 20
	K12	Sol uç	30	60	5 ϕ 20	3 ϕ 20
2	K21	Sol uç	30	60	6 ϕ 20	4 ϕ 20
		Sağ uç	30	60	5 ϕ 20	4 ϕ 20
	K22	Sol uç	30	60	5 ϕ 20	4 ϕ 20
3	K31	Sol uç	30	60	6 ϕ 20	4 ϕ 20
		Sağ uç	30	60	4 ϕ 20	3 ϕ 20
	K32	Sol uç	30	60	4 ϕ 20	3 ϕ 20
4	K41	Sol uç	30	50	5 ϕ 20	3 ϕ 20
		Sağ uç	30	50	4 ϕ 20	2 ϕ 20
	K42	Sol uç	30	50	4 ϕ 20	2 ϕ 20
5	K51	Sol uç	30	50	6 ϕ 16	3 ϕ 16
		Sağ uç	30	50	5 ϕ 16	3 ϕ 16
	K52	Sol uç	30	50	5 ϕ 16	3 ϕ 16
6	K61	Sol uç	30	50	4 ϕ 16	3 ϕ 16
		Sağ uç	30	50	4 ϕ 16	3 ϕ 16
	K62	Sol uç	30	50	4 ϕ 16	3 ϕ 16

$h_f=12\text{cm}$ $b=102\text{cm}$ (kenar aç.) $b=72\text{cm}$ (orta aç.)

Çizelge 2. Kolon özellikleri

Kat	Kolon adı	Boyutlar (cm)		Boyuna Donatı
		b	h	
1	S11, S14	70	30	8 ϕ 20
	S12, S13	50	50	8 ϕ 20
2	S21, S24	70	30	8 ϕ 20
	S22, S23	50	50	8 ϕ 20
3	S31, S34	70	30	8 ϕ 20
	S32, S33	50	50	8 ϕ 20
4	S41, S44	60	30	8 ϕ 18
	S42, S43	40	40	8 ϕ 20
5	S51, S54	60	30	8 ϕ 18
	S52, S53	40	40	8 ϕ 20
6	S61, S64	60	30	8 ϕ 18
	S62, S63	40	40	8 ϕ 20

Kiriş ve kolon uç bölgelerindeki sargılama durumu (sargı donatısı miktarı) her iki yöntemde de kesit hasar düzeylerini etkileyen tek parametredir. Çalışmada sargılama durumunun etkisini de incelemek amacıyla tüm değerlendirmeler uygun sargı şartlarını sağlayan ve sağlamayan iki farklı durum için yapılmıştır. Birinci durumda TDY’deki sargılama koşulunu sağlayacak şekilde kiriş ve kolonlarda $\phi 8/20$ çift kollu etriye bulunduğu, ikinci durumda ise sargılama şartını sağlayacak şekilde kirişlerde $\phi 8/10$ çift kollu etriye, kolonlarda $\phi 10/6$ çift kollu etriye ve iki doğrultuda birer $\phi 10$ çiroz bulunduğu kabul edilmiştir.

3.2. Analiz Özellikleri ve Gözönüne Alınan Deprem Düzeyleri

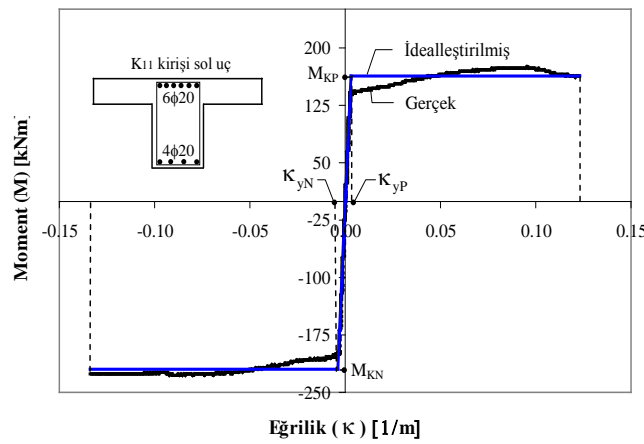
EDYY ve AEDYY’ne ait kesit tesirlerinin belirlenmesinde II. Mertebe (P- Δ) etkileri göz önüne alınmıştır. Her iki yöntemde de TDY’de önerilen etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan analizlerde, yığılı plastik davranış (plastik mafsall/kesit) modeli esas alınmıştır (DBYBHY, 2007). Plastik mafsallardaki Moment-Eğrilik ($M-\kappa$) bağıntısının belirlenmesinde TDY’de önerilen sargılı/sargısız beton ve çelik gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları esas alınmıştır. ($M-\kappa$) bağıntıları, idealleştirme ve gerçek bağıntı altında kalan alanların eşitliği sağlanacak şekilde ve *ideal-elasto-plastik* olarak idealleştirilmiştir (Şekil 3).

Kolonlarda taşıma kapasiteleri için moment (M) ve normal kuvvet (N) karşılıklı etki diyagramları esas alınmış ve birim şekildeğiştirme taleplerinin belirlenmesinde, ilgili normal kuvvet talebi için elde edilen (M- κ) bağıntıları göz önüne alınmıştır.

Çerçevenin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde SAP2000 Yapı Analiz programından, kesit analizlerinde ise XTRACT kesit analiz programından yararlanılmıştır (CSI, 2005; ISS, 2001).

Çalışmada, TDY'de tanımlanan, 50 yılda aşılma olasılıkları % 50, % 10 ve % 2 olan üç deprem düzeyi (D1, D2, D3) göz önüne alınmıştır. Binanın, 2007 Deprem Yönetmeliğine göre birinci derece deprem bölgesinde bulunduğu ve yerel zemin sınıfının Z2 olduğu kabul edilerek, öncelikle aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depremine (D2) ait ivme spektrumu belirlenmiştir. Daha sonra bu spektrum ordinatlarının 0.5 katı ve 1.5 katı için spektrumlar türetilerek aşılma olasılıkları sırasıyla % 50 (D1) ve % 2 (D3) olan depremlere ait ivme spektrumları elde edilmiştir (DBYBHY, 2007).



Şekil 3. Gerçek ve idealleştirilmiş moment-eğrilik bağıntısı (K11 kirişi, sol uç)

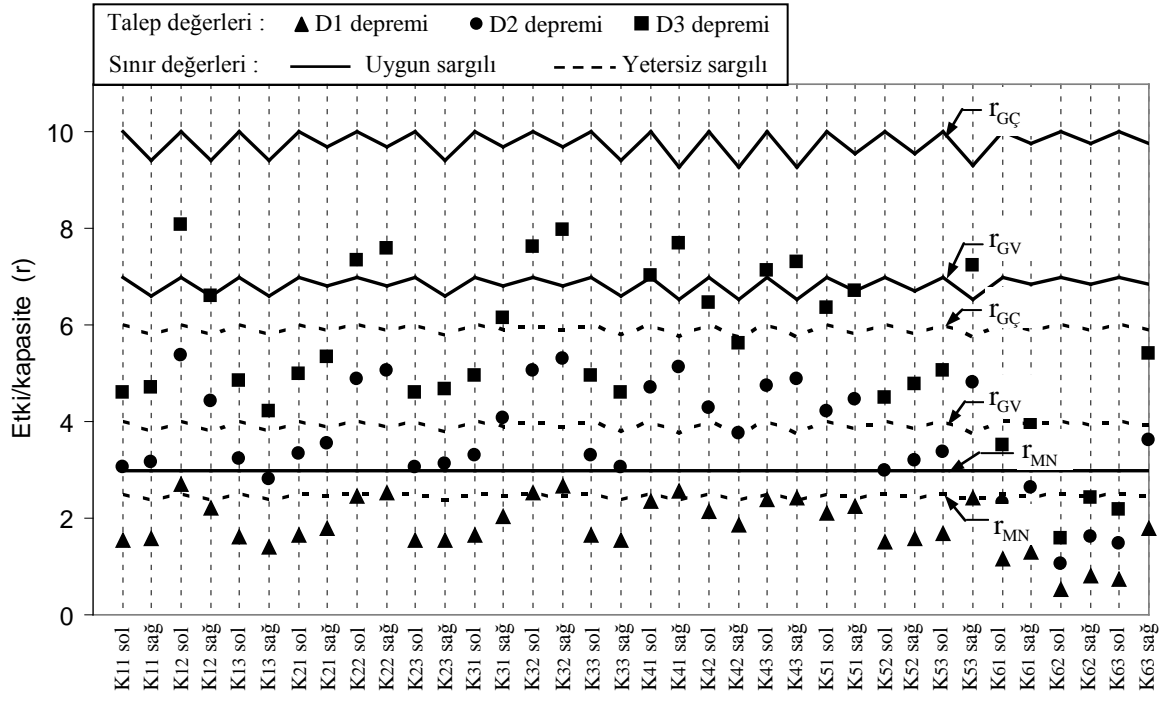
4. ANALİZ SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Her bir deprem düzeyi için iki yöntemden (EDYY ve AEDYY) elde edilen maksimum kesme kuvveti talepleri, TS 500 esas alınarak belirlenen kesme kuvveti kapasiteleri ile karşılaştırılarak elemanların kırılma türleri kontrol edilmiştir (TS 500, 2000). Tüm kirişlerin ve kolonların kırılma türünün sünek (eğilme kırılması) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, tüm birleşimlerde yönetmeliğe göre kesme kırılması kontrolleri yapılmış ve gevrek olarak hasar gören birleşim bulunmadığı belirlenmiştir. Çalışmada (+x) yönündeki deprem performanslarına ait sonuçlar sunulmuştur (Şekil 2).

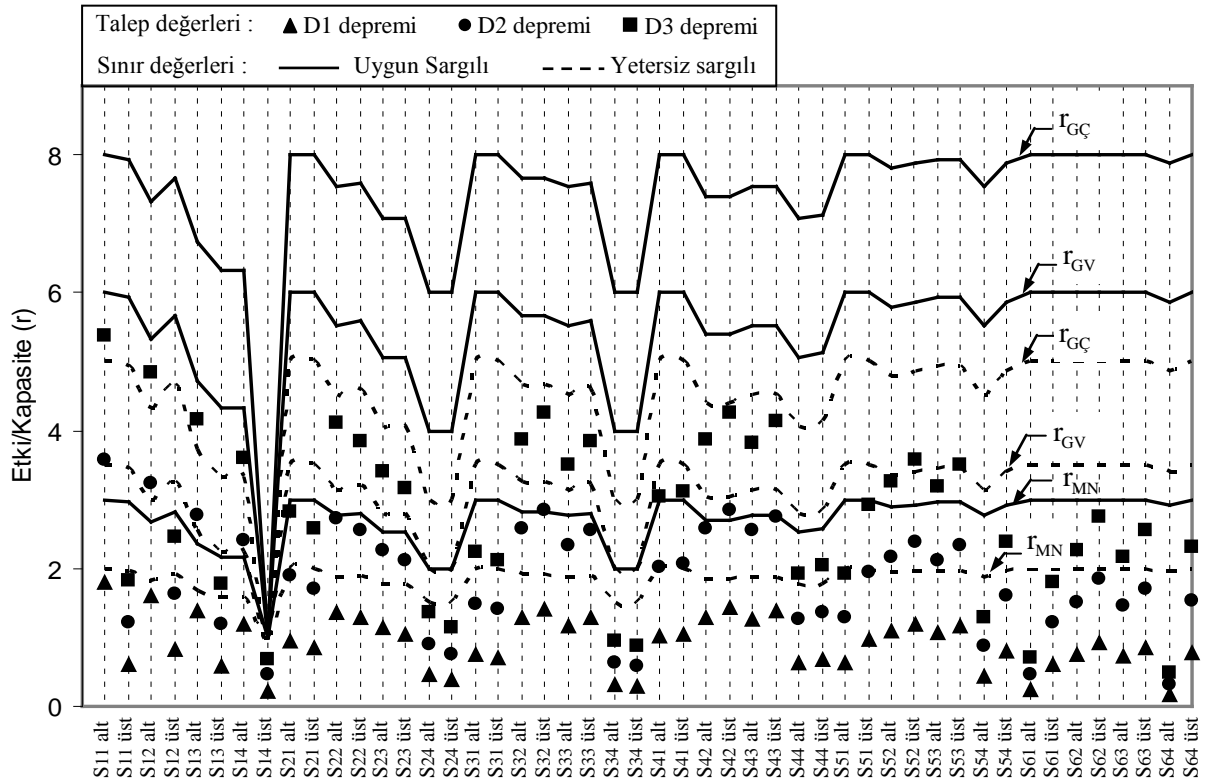
4.1. EDYY'ne ait Sonuçlar

EDYY'ne göre, sistemin düşey yükleme (1G+0.3Q) ve her bir deprem düzeyine ait eşdeğer elastik deprem yükleri için *doğrusal elastik statik* analizleri yapılmıştır. Kirişler ve kolonlar için elde edilen talep *etki/kapasite* (r) değerleri ile kesit özelliklerine göre belirlenen sınır *etki/kapasite* (r_{MN} , r_{GV} , $r_{GÇ}$) değerleri Şekil 4-5'de grafik olarak gösterilmiştir.

EDYY'ne göre, D1 depreminden itibaren için çok sayıda kiriş ve kolon kesitinde taşıma kapasitesine ulaşarak ($r \geq 1.0$) hasarların oluştuğu ve deprem seviyelerine bağlı olarak bu hasarların arttığı gözlenmektedir. Sargılama durumunun sünek kesitlerdeki hasar bölgesi sınırlarını (özellikle GV ve GÇ sınırlarını) önemli ölçüde arttırdığı görülmektedir (Şekil 4-5).



Şekil 4. EDDY'ne ait etki/kapasite talepleri ve sınır değerleri (kirişler)



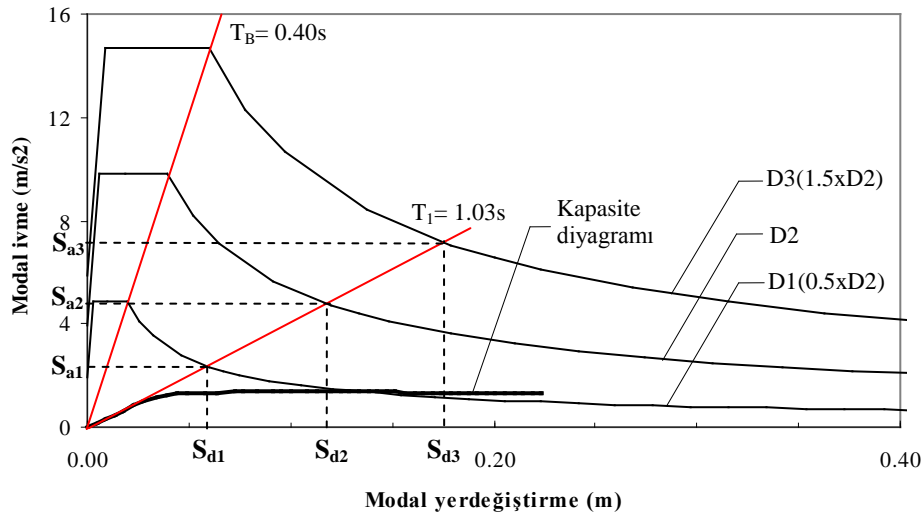
Şekil 5. EDDY'ne ait etki/kapasite talepleri ve sınır değerleri (kolonlar)

4.2. AEDYY'ne ait Sonuçlar

AEDYY'ne göre sistemin düşey yükler (1.0G+0.3Q) altında monoton artan yatay deprem yükleri için *doğrusal olmayan statik analizleri* yapılmıştır. Deprem yüklerini temsilen birinci (temel) mod ile uyumlu yatay yük dağılımı esas alınmıştır. Çerçevenin birinci moduna ait özellikler Çizelge 3'de verilmiştir. Her bir deprem düzeyi için çerçevenin maksimum tepe yerdeğiştirmesi talebi yönetmelikte öngörülen *eşit yerdeğiştirme kuralı* ile belirlenmiştir (DBYBHY, 2007). Talep spektrumları, çerçeveye ait modal kapasite diyagramı ve her bir deprem düzeyi için elde edilen modal (spektral) ivme ve yerdeğiştirme talepleri, Şekil 6'da spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatında gösterilmiştir. Modal talepler ve çerçeveye ait yerdeğiştirme ve dayanım (taban kesme kuvveti) taleplerinin sayısal değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Çerçevenin birinci moduna ait özellikleri

Çerçeve periyodu (T_1) (s)	Tepe genliđi ($\Phi_{1,tepe}$)	Modal katkı çarpanı (Γ_1)	Etkin modal kütle (M_{x1}) (kNs ² /m)	Modal kütle katılım oranı
1.03	0.026	52.29	309	0.761



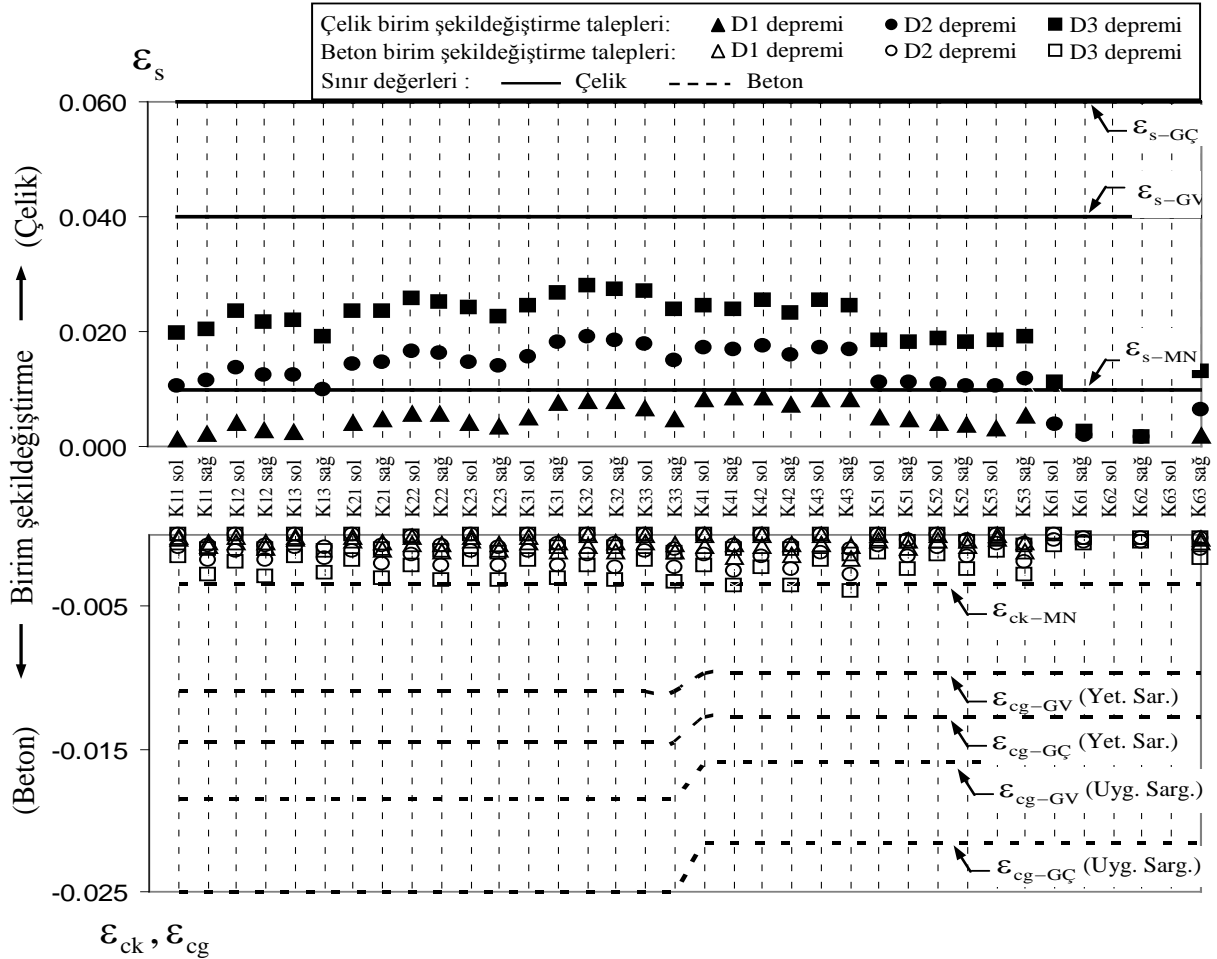
Şekil 6. Çerçevenin modal kapasite diyagramı ve çerçeveye ait spektral talepler

Çizelge 4. Çerçeveye ait spektral (modal) ve gerçek talepler

Deprem düzeyi	Spektral ivme (S_a) (m/s ²)	Spektral yerdeğiřtirme (S_d) (m)	Çerçeve tepe yerdeğiřtirmesi (m)	Çerçeve taban kesme kuvveti (kN)
D1	2.3	0.0619	0.0831	710.5
D2	4.6	0.1237	0.1662	1421.1
D3	6.9	0.1856	0.2493	2131.6

Üç deprem düzeyi (D1, D2, D3) için, plastikleşen kiriş ve kolon kesitlerinde elde edilen maksimum *çelik birim uzaması* (ϵ_s), *kabuk betonu birim kısalması* (ϵ_{ck}) ve *sargılı göbek betonu birim kısalması* (ϵ_{cg}) talepleri ve sınır birim şekildeğiştirme değerleri (ϵ_{s-MN} , ϵ_{s-GV} , $\epsilon_{s-GÇ}$, ϵ_{ck-MN} , ϵ_{cg-GV} , $\epsilon_{cg-GÇ}$) Şekil 7-8'de gösterilmiştir.

AEDYY'ne göre, kiriş kesitlerinde çelik *birim uzama talebinin* (ϵ_s) hasar düzeyini belirleyici olduğu, bu nedenle sargı durumunun etkili olmadığı görülmektedir. Kolonlarda göbek betonu *birim kısalma talebinin* (ϵ_{cg}) hasar düzeyini belirleyici olduğu, bu nedenle sargılama durumunun kesit hasar düzeyleri üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir (Şekil 7-8).



Şekil 7. AEDYY'ne göre plastikleşen kiriş uçlarındaki birim şekil değiştirme talepleri ve sınır değerleri

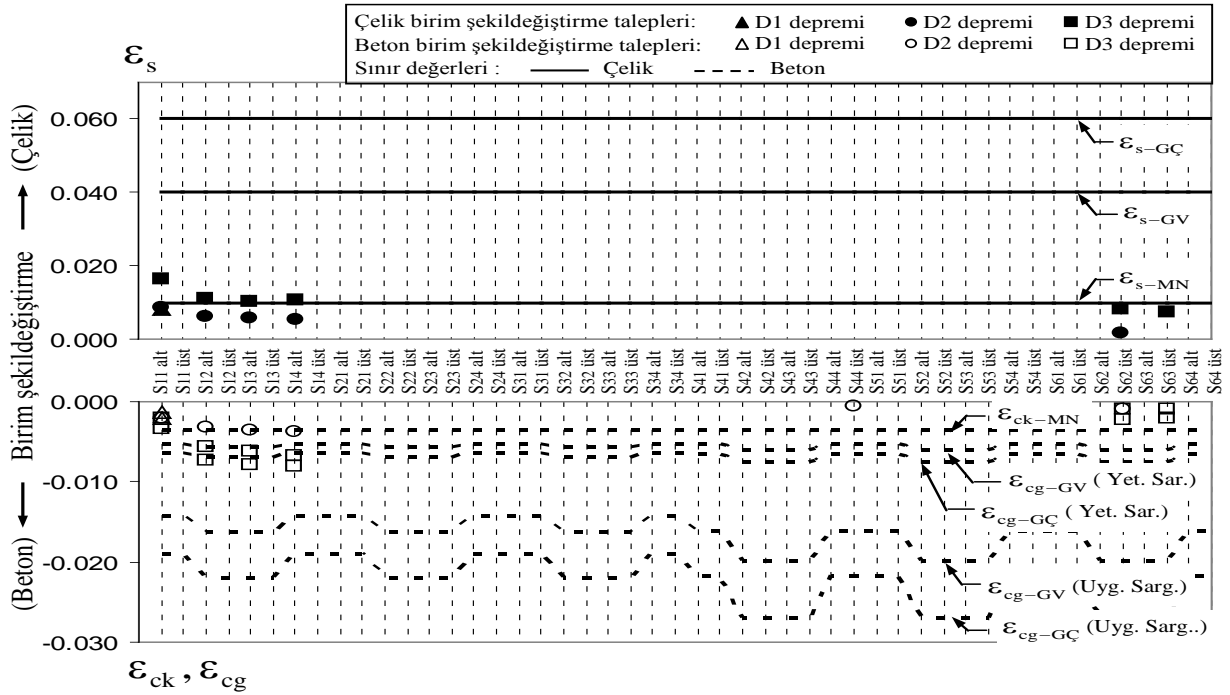
4.3. Kesit Hasar Düzeylerinin Karşılaştırılması

EDYY ve AEDYY ile üç deprem düzeyi için kiriş ve kolon kritik kesitlerinde hesaplanan *etki/kapasite* (r) değerleri ve beton/çelik maksimum *birim şekil değiştirme* değerleri (ϵ_s , ϵ_{ck} , ϵ_{cg}), yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak her bir yöntem için kesit hasar bölgeleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır (Şekil 9-12).

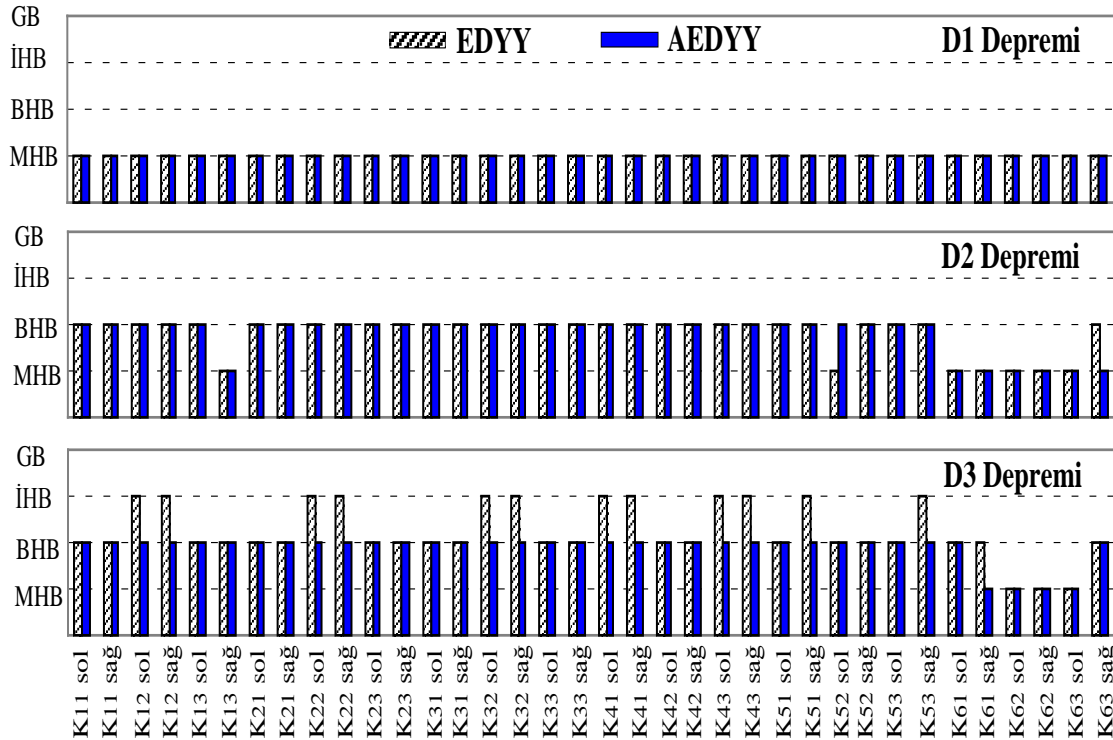
AEDYY'nin hemen hemen hiçbir durumda EDYY'den daha elverişsiz (fazla) hasar durumu vermediği görülmektedir (Şekil 9-12). D1 deprem düzeyi için iki yöntemin kesit hasar bölgeleri uygun sargılı ve yetersiz sargılı durumların her ikisi için de tamamen aynı elde edilmektedir. Deprem düzeyinin artmasına bağlı olarak kesitlerdeki hasar düzeylerinde farklılıklar oluşmaya başlamakta ve büyük şekil değiştirmelerin meydana geldiği D3 depreminde farklar oldukça artmaktadır.

İki yöntemden elde edilen kesit hasar bölgeleri arasındaki farkın uygun sargılı durumlarda en fazla bir hasar bölgesi kadar olduğu, yetersiz sargılı durumlarda bazı kesitlerde iki hasar

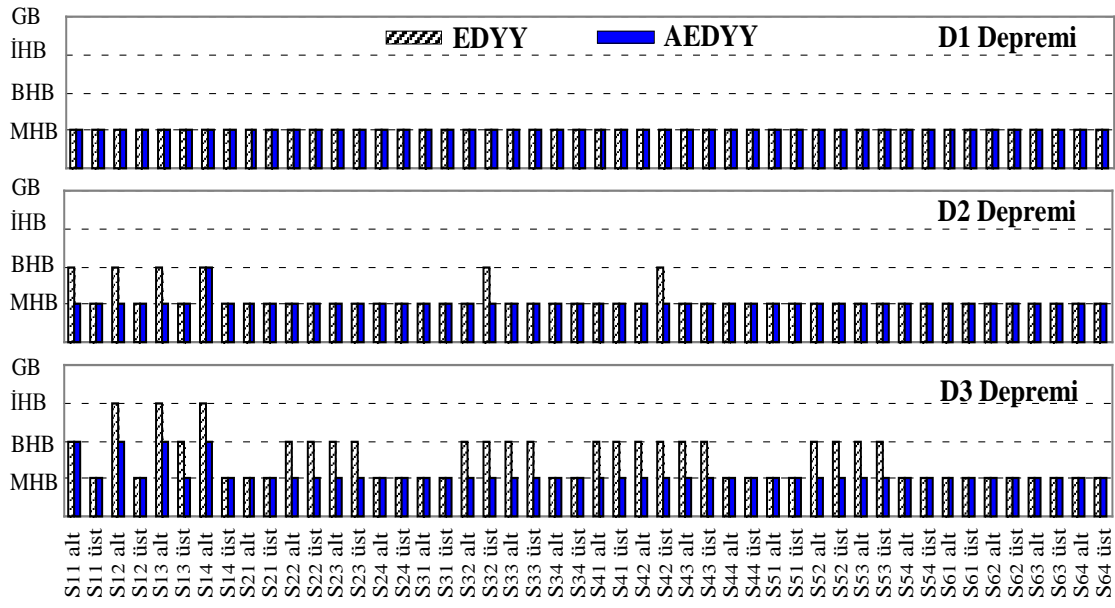
bölgesine çıkabildiği görülmektedir (Şekil 9-12). Kesit hasar bölgelerindeki farklılıkların sistemin belirli bir bölgesinde toplanmadığı tüm katlarda benzer olduğu söylenebilmektedir.



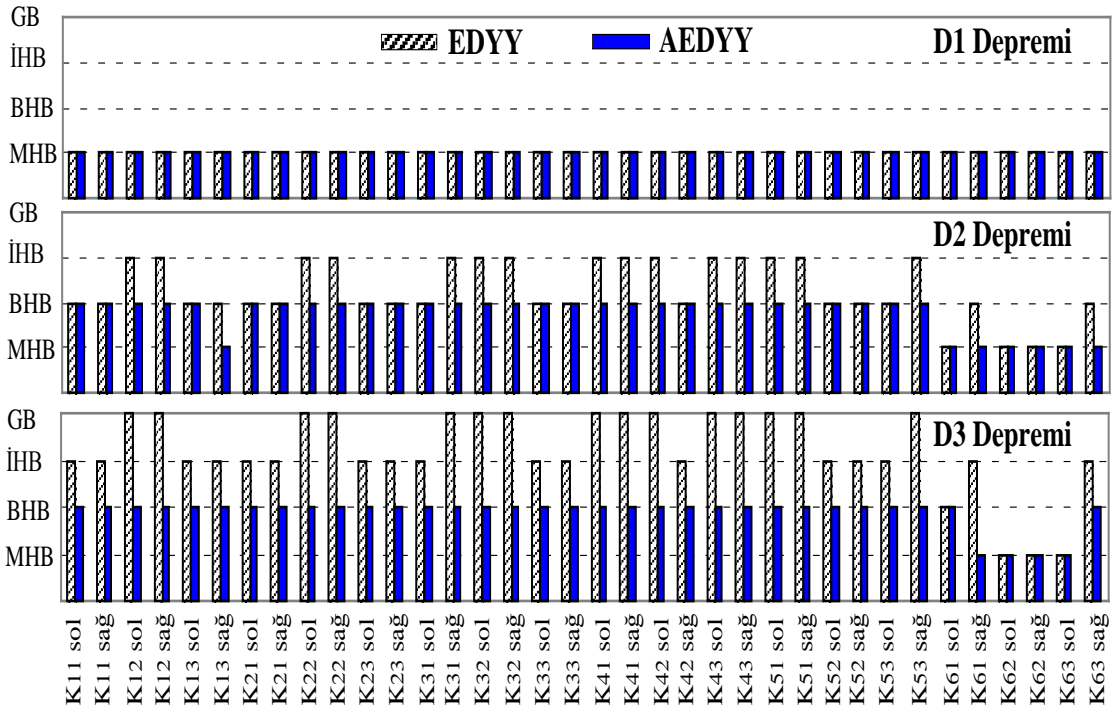
Şekil 8. AEDDY'ne göre plastikleşen kolon uçlarındaki birim şekil değiştirme talepleri ve sınır değerleri



Şekil 9. Uygun sargılı duruma ait kiriş kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması

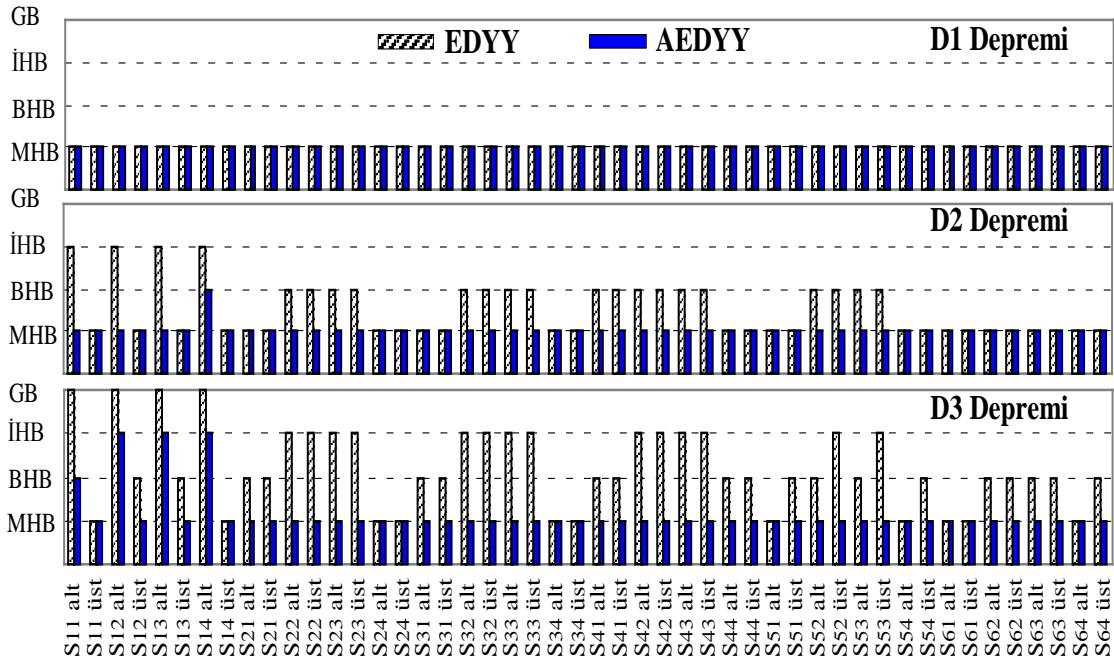


Şekil 10. Uygun sargılı duruma ait kolon kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması

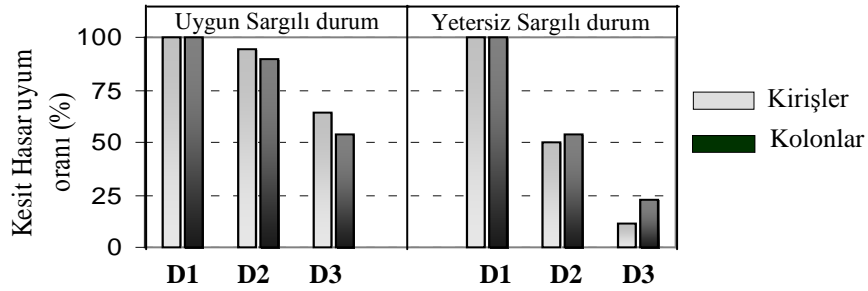


Şekil 11. Yetersiz sargılı duruma ait kiriş kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması

İki yöntemden elde edilen sonuçlar arasındaki farkları ve uyumu değerlendirmek amacıyla, her bir deprem düzeyine ait kiriş ve kolon kesit hasarları için, $(\text{Aynı hasarlı kesit sayısı} \times 100 / \text{Toplam kesit sayısı})$ ile ifade edilen *kesit hasar uyum oranları* hesaplanmıştır (Şekil 13). Uyum oranları kiriş ve kolon uç kesitleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 12. Yetersiz sargılı duruma ait kolon kesit hasar bölgelerinin karşılaştırılması



Şekil 13. Kiriş ve kolon kesitlerindeki hasar uyum oranlarının karşılaştırılması

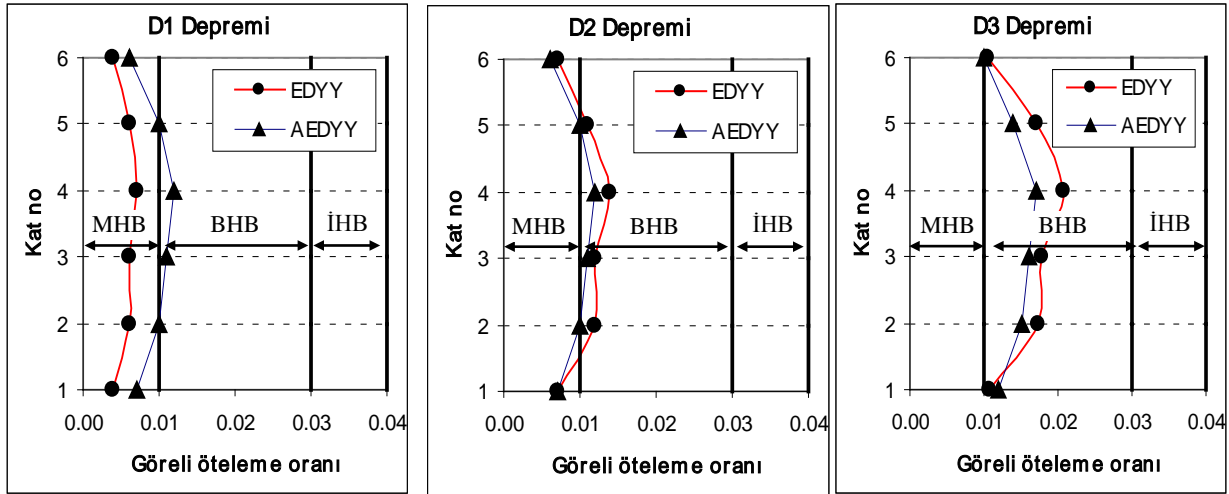
İki yöntem arasındaki uyum oranları için yapılan karşılaştırmalardan, kiriş ve kolon kesit hasar düzeylerindeki uyum oranlarının genel olarak benzer olduğu söylenebilmektedir (Şekil 13). Orta şiddetli depremi temsil eden D1 depreminde plastikleşmelerin (şekildeğiştirmelerin) çok düşük olması ve buna bağlı olarak yeniden dağılımın etkili olmaması nedeniyle iki yöntem arasındaki uyumun % 100 olduğu görülmektedir. Şiddetli depremi temsil eden D2 depreminde, plastikleşmelerin artmasına bağlı olarak uyumun azaldığı gözlenmektedir. Plastikleşmelerin en yüksek olduğu D3 depreminde, uygun sargılı durumda uyum oranının yaklaşık %50'ler seviyesine indiği, yetersiz sargılı durumda ise %25'lerin altına düştüğü görülmektedir. Sargılama durumunun hasar uyum oranlarını önemli düzeyde etkilediği söylenebilmektedir (Şekil 13).

4.4. Görelî Kat Ötelemesi Oranlarının Karşılaştırılması

EDYY'ne göre, kolonlarda etki/kapasite (r) oranlarının yanı sıra maksimum görelî kat ötelemesi oranlarına göre de eleman hasarlarının belirlenmesi ve en elverişsiz olanlarının göz önüne alınması gerekmektedir. Çalışmada, EDYY'nden elde edilen görelî öteleme oranları kolon hasar düzeylerinin belirlenmesinde göz önüne alınmış, ayrıca doğrusal olmayan analizden (AEDYY) elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 14).

D1 ve D2 depremleri için uygun sargılı durumlarda görece öteleme değerlerinin etki/kapasite oranlarından elde edilen hasarlar ile uyumlu olduğu, D3 Depreminde ise uygun sargılı ve yetersiz sargılı durumların her ikisinde de etki/kapasite (r) oranlarının daha elverişsiz hasar değerleri vererek belirleyici olduğu görülmektedir. Özellikle yetersiz sargılı durumda, etki/kapasite oranları ile görece öteleme oranlarının işaret ettiği hasar düzeyleri arasında büyük uyumsuzluk gözlenmektedir (Şekil 11-12, Şekil 14).

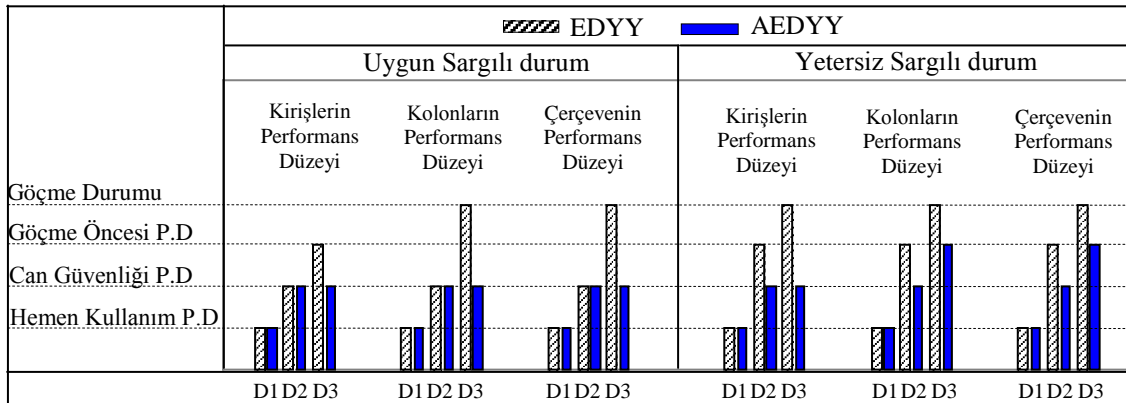
EDYY ve AEDYY'nden elde edilen görece kat ötelemesi oranları karşılaştırıldığında, EDYY'nin D1 depremi için AEDYY'ne göre düşük öteleme değerleri verdiği, D2 ve D3 depremleri için oldukça uyumlu öteleme oranları elde edildiği görülmektedir (Şekil 13). Bu sonuca paralel olarak, EDYY'ndeki görece öteleme oranlarının işaret ettiği kolon hasar düzeylerinin, AEDYY'ndeki etki/kapasite hasar oranları ile daha uyumlu olduğu söylenebilmektedir (Şekil 8-11, Şekil 13).



Şekil 14. Görece öteleme oranlarının karşılaştırılması

4.5. Çerçeve Performans Düzeylerinin Karşılaştırılması

Her iki yöntemden elde edilen kesit hasar bölgeleri yönetmelikte öngörüldüğü gibi kat bazında kirişler ve kolonlar için ayrı ayrı değerlendirilerek her bir deprem düzeyi için çerçeve (bina) performans düzeyleri elde edilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Kiriş, kolon (kat bazında) ve çerçeve performans düzeylerinin karşılaştırılması

Uygun sargılı durumda D1 ve D2 depremleri için her iki yöntemden aynı performans düzeyi elde edilirken, D3 depremi için EDYY, AEDYY'ne göre çok elverişsiz bir performans durumu ortaya koymaktadır (Şekil 15). Yetersiz sargılı durumda, sadece D1 depremi için her iki yöntemden aynı performans düzeyi elde edilirken, D2 ve D3 depremlerinde EDYY bir performans düzeyi kadar daha elverişsiz sonuçlar vermektedir. Ayrıca, D3 depreminde çerçeve performansının belirlenmesinde etkili olan eleman türünün (kiriş, kolon) de tam olarak uyummadığı görülmektedir. Deprem düzeyi arttıkça kesit hasar düzeylerine paralel olarak iki yöntemden elde edilen çerçeve genel (global) performans düzeyleri arasındaki farkların da arttığı ve bu farkların iki düzey kadar olabildiği görülmektedir (Şekil 15).

5. SONUÇLAR

Çalışmada, 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yer alan EDYY ile AEDYY farklı deprem düzeyleri için karşılaştırılarak sonuçları arasındaki uyum incelenmiş ve elde edilen sonuçlardan yararlanarak EDYY'nin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir (DBYBHY, 2007). Sayısal inceleme 1975 Deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış altı katlı bir betonarme çerçeve üzerinde yapılmıştır. Çalışmada, DBYBHY'de tanımlanan, 50 yılda aşılma olasılıkları % 50, %10 ve %2 olan üç deprem düzeyi (D1, D2, D3) için iki yöntemin karşılaştırmaları yapılmıştır. D1 ve D3 depremleri birinci derece deprem bölgeleri için öngörülen tasarım ivme spektrumundan türetilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- İki yöntemden elde edilen kesit hasar bölgeleri arasındaki farkın uygun sargılı durumda en fazla bir hasar bölgesi kadar olduğu, yetersiz sargı durumunda bazı kesitlerde iki hasar bölgesine çıkabildiği belirlenmiştir.
- İki yöntemden elde edilen kesit hasar düzeylerine ilişkin uyum oranları çerçeve genel performans düzeylerine de benzer şekilde yansımaktadır. Deprem düzeyi arttıkça iki yöntemden elde edilen çerçeve genel (global) performans düzeyleri arasındaki farkların da arttığı ve bu farkların iki düzey kadar olabildiği görülmektedir.
- Kiriş ve kolon kesitlerindeki hasar uyum oranlarında belirgin bir farklılık gözlenmemekte tüm deprem düzeyleri için benzer uyum oranları elde edilmektedir.
- Eleman uçlarındaki sargılama durumunun uygun olması kesit hasar bölgelerine ait sınırları genişlettiği için iki yöntem arasındaki farkları azaltıcı yönde etki göstermektedir. Buna rağmen plastik şekildeğiştirmelerin büyük olması durumunda (D3 depremi için) kiriş ve kolon kesit hasarlarındaki uyum yaklaşık % 50'ler seviyesine düşebilmektedir.
- EDYY'nde kolon hasarlarını belirlemede kullanılan görelî öteleme oranı kriterinin, etki/kapasite oranı kriterine göre AEDYY ile daha uyumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
- İki yöntemin sonuçları arasında düşük deprem düzeyi için tam uyum elde edilirken deprem düzeyi arttıkça uyumun azaldığı görülmüştür. Bu durum EDYY'nde göz önüne alınmayan yeniden dağılım etkisinin düşük hasar düzeyine maruz kalacak binalarda ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu, büyük hasar düzeylerine (büyük şekildeğiştirmelere) maruz kalacak binalarda ise önemli mertebelerde hatalara yol açabileceğini göstermektedir.

Dayandığı esaslar nedeniyle AEDYY sonuçları referans alınarak EDYY'nin kullanılabilirliği değerlendirildiğinde; EDYY genel olarak, AEDYY ile aynı veya daha elverişsiz hasar durumları vermektedir. Bu sonuç EDYY'nin bazı eksikliklerine rağmen performans değerlendirmelerinde emniyetsiz bir durum ortaya koymadığını göstermektedir. Bununla birlikte, çeşitli nedenlerle deprem sonrası ileri düzeyde hasara maruz kalacak binalarda EDYY'nin çok elverişsiz hasar dağılımları ortaya koyabileceği anlaşılmaktadır. Bu hasar dağılımlarından yararlanarak yapılacak değerlendirmelerin ve güçlendirme işlemlerinin önemli ölçüde hatalı ve ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkarabileceği söylenebilmektedir.

EDYY'nin performans değerlendirmelerinde kullanılabilirlik sınırlarının ortaya konması amacıyla, düzenli ve düzensiz farklı yapı sistemleri (perde-çerçeve sistemler vb.) için çeşitli parametrelere (malzeme kalitesi, sargı durumu, eksenel yük düzeyi, kesme kuvveti düzeyi vb.) göre incelemeler yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ABYYHY (1975): "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- ASCE/SEI 41-06 (2007): "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", American Society of Civil Engineers, Reston.
- CEN (2005): "Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings", Comité Européen de Normalisation, Bruxelles.
- CSI (2005): "SAP2000, Structural Analysis Program", Berkeley, California.
- DBYBHY (2007): "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- ISS (2001): "XTRACT, Cross Section Analysis Program".
- M. P. Kaya (2006): "Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması Üzerine Sayısal Bir İnceleme", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- H. Krawinkler, G. D. P. K. Seneviratna (1998): "Pross and Cons of A Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation", Engineering Structures, sf. 452.
- R. S. Lawson, V. Vance, H. Krawinkler (1994): "Nonlinear Static Push-over Analysis-Why, When, and How?", Proceedings of Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 1, sf. 283.
- A. M. Mwafy, A. S. Elnashai (2001): "Static Pushover Versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings", Engineering Structures, 23, sf. 407.
- T. Paulay, M. J. N. Priestley (1992): "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", Wiley.
- H. Sucuoğlu (2007): "Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi" Türkiye Mühendislik Haberleri, 445, sf. 24-36.
- A. Şengöz., H. Sucuoğlu (2009): "Deprem Yönetmeliğinde Yer Alan "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi" Yöntemlerinin Artıları ve Eksileri" İMO Teknik Dergi, 20, sf. 4609-4633.
- TS500 (2000): "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- G. Uygun, Z. Celep (2007): "Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği 2007'deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi" Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007, sf. 269-279.