

# ÇELİK BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSI BELİRLENEREK 2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ PERFORMANS HEDEFLERİNİN İRDELENMESİ

**Erdal İRTEM, Kaan TÜRKER, Umut HASGÜL**

Balıkesir Üniversitesi, MMF İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çağış Yerleşkesi, Balıkesir

## ÖZET

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde (TDY 2007) bina türü betonarme yapılar için doğrusal ve doğrusal olmayan performans esaslı değerlendirme yöntemlerine yer verilmiş, ancak çelik binaların değerlendirilmesinin, yeni yapılacak binalar için tanımlanan esaslar çerçevesinde yapılabileceği belirtilmiştir. Performans esaslı değerlendirme yöntemlerinin çelik binalara da uygulanabilmesi amacıyla çalışmalar halen sürdürülmektedir. Bu çalışmada boyutlandırılması Türk Standart ve Yönetmeliklerine göre daha önce yapılan tipik bir çelik bina ele alınmış ve farklı deprem seviyeleri için performans düzeyleri belirlenerek TDY 2007'nin ana ilkesi olarak belirtilen performans hedeflerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında öncelikle, FEMA 356'da yer alan performans düzeylerine ait hasar sınır değerlerinden ve TDY 2007'de betonarme binaların değerlendirilebilmesi için öngörülen deprem seviyelerinden yararlanılarak, çelik binalar için hasar düzeyleri ve TDY 2007'deki deprem seviyeleri tanımlanmıştır. Daha sonra, TDY 2007'nin açıklamalı uygulaması amacıyla Türk Standart ve Yönetmeliklerine göre daha önceden boyutlandırılmış tipik bir çelik bina ele alınarak TDY'2007'de belirtilen üç deprem seviyesi için bina performans seviyelerinin belirlenmiştir. Bina performansının belirlenmesinde FEMA 356'da yer alan ve FEMA 440 projesi kapsamında geliştirilen Yerdeğiştirme Katsayıları Yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen çelik binanın iki asal doğrultusundaki taşıyıcı sistemlerinden birinin çerçeve ve diğerinin dış merkez çaprazlı perde çevre sistem olması nedeniyle, her iki doğrultu için oldukça farklı performans düzeyleri elde edilmiştir. Ancak, çalışmada yapılan kabuller altında, her iki doğrultuda da TDY2007'nin ana ilkesi olarak öngörülen performans hedeflerinin sağlandığı belirlenmiştir. Performans düzeyi tanımlamalarına bağlı olarak bina performanslarının değişebileceği bilinmekle birlikte, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, TDY 2007'de öngörülen performans hedefleri ile bu performansların sağlanması amacıyla öngörülen tasarım ilkelerinin uyumunda önemli farklılıklar olabildiğini göstermektedir. Ayrıca, incelenen düzenli binanın iki asal doğrultusunda önemli oranda farklı performans düzeylerinin elde edilmesi, performans esaslı tasarım yaklaşımlarında en elverişsiz doğrultunun belirlenmesi ve iki doğrultulu doğrusal olmayan analiz sonuçları ile performans değerlendirmesinin, farklı özellikteki örnekler üzerinde incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik binalar, performans değerlendirmesi, elastik ötesi statik itme (pushover) analizi, yerdeğiştirme katsayıları yöntemi.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda özellikle kentsel alanlarda meydana gelen depremlerde yapılardaki hasarların çok büyük ekonomik kayıplara neden olması, yürürlükteki mevcut ülke yönetmeliklerin sorgulanmasına neden olmuştur. Bu nedenle, mevcut ülke

yönetmeliklerini irdelemek ve geleneksel dayanım esaslı tasarıma alternatif yaklaşımlar oluşturma fikri zorunlu hale gelmiştir. Bu amaçla başta A.B.D. olmak üzere bir çok ülkede yapıların performans dayalı tasarım ve değerlendirmesini içine alan yönetmelik revizyon çalışmaları başlatılmış ve bu çalışmalar halen sürdürülmektedir.

Performans kriterini esas alan yöntemlerin geliştirilmesine yönelik olarak, Structural Engineers Association of California (SEAOC) tarafından yayınlanan Bluebook (SEAOC, 1999) ve Vision 2000 (SEAOC, 1995), Applied Technology Council (ATC) tarafından ATC 40 (ATC, 1996) ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından FEMA 273 (FEMA, 1997), FEMA 356 (FEMA, 2000) ve FEMA 440 (FEMA, 2005) projeleri başlatılmıştır. Bunun yanı sıra, başta Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California (EERC-UCB), Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) ve Earthquake Engineering Research Institute (EERI) olmak üzere pek çok organizasyon tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

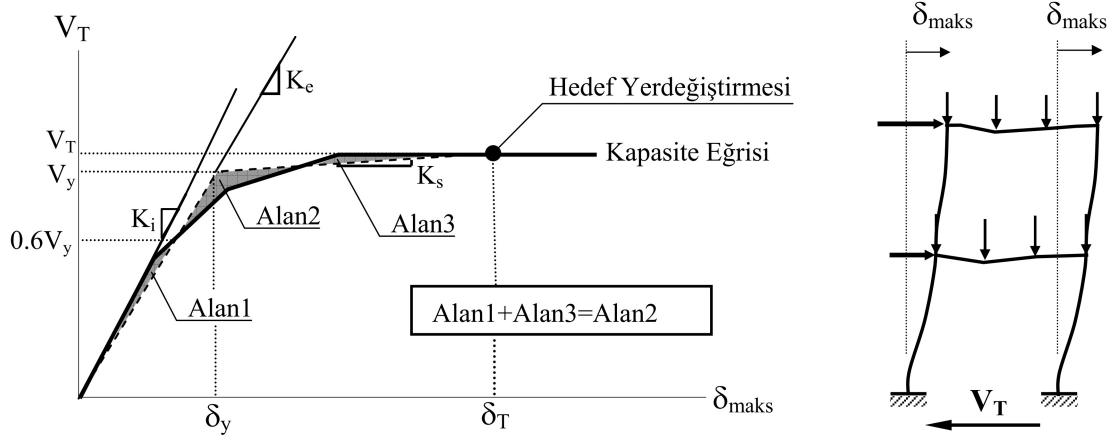
Çağdaş ülke yönetmeliklerinde yapılan çalışmalara paralel olarak benzer bilimsel çalışmalar Türkiye’de de başlatılmış ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliği’nin (TDY 1998) (ABYYHY, 1998) güncellenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunun için hazırlanan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” (DBYBHY, 2007) Mart 2007’de resmen yürürlüğe girmiştir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği’nde (TDY 2007), performans dayalı değerlendirme yapılabilmesi amacıyla, bina türü betonarme yapılar için doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere yer verilmiş, ancak çelik yapıların değerlendirilmesinin yeni yapılacak binalar için tanımlanan esaslar çerçevesinde yapılabileceği belirtilmiştir. Geleneksel deprem tasarımı esasları ile TDY 2007’de ana ilkeler olarak öngörülen performans hedeflerinin kontrolü yapılamamaktadır.

Bu çalışmada, TDY 2007’nin açıklanmalı uygulaması amacıyla daha önce boyutlandırılmış tipik bir çelik binanın (Özer, 2007) üç farklı deprem seviyesi için performans düzeyleri elde edilerek TDY 2007’deki performans hedefleri irdelenmeye çalışılmıştır. İncelenen çelik binanın performans düzeyleri, FEMA 356’da yeralan ve daha sonra FEMA 440 projesi ile geliştirilen Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile belirlenmiştir. Yapı sistemindeki elemanlara ve bina performans düzeylerine ait hasar sınır değerleri için FEMA 356’dan (FEMA, 2000) yararlanılmıştır. Deprem seviyeleri olarak, TDY 2007’nin ana ilkesinde belirtilen orta şiddette deprem, şiddetli deprem (tasarım depremi) ve önemli binaların tasarımında bina önem katsayısı ile göz önüne alınan çok şiddetli deprem esas alınmıştır.

## **2. YERDEĞİŞTİRME KATSAYILARI YÖNTEMİ (YKY)**

Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) diğer doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinde olduğu gibi temel olarak, yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu kapasite eğrisinden yararlanarak göz önüne alınan deprem seviyesi için yapının elastik olmayan maksimum

yerdeğiştirmesinin (yerdeğiştirme talebinin) hesaplanmasını ve bu yerdeğiştirme talebine kadar statik olarak itilmiş yapının performansının (deprem güvenliğinin) belirlenmesini içermektedir. YKY’de, yerdeğiştirme talebi direkt olarak sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bunun için taşıyıcı sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirlenen, yapının periyodu, histeretik davranışın yapı üzerindeki etkisi vb. zellikleri temsil eden katsayılar kullanılmaktadır (FEMA, 2000). YKY ile analizde öncelikle yapı sisteminin kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisi elastik rijitlik ( $K_e$ ) ve elastik sonrası rijitlik ( $K_s$ ) olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilerek (1) bağıntısı ile ( $T_e$ ) efektif periyot ve (2) bağıntısı ile ( $\delta_T$ ) yerdeğiştirme talebi (hedef yerdeğiştirme) hesaplanır (şekil 1). Daha sonra, yerdeğiştirme talebine kadar itilen sistemin kritik kesitlerindeki iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ile yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyesini ifade eden sınır değerler karşılaştırılarak elemanların ve yapının performans düzeyleri belirlenir (FEMA, 2000).



şekil 1. Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1)$$

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 S_a T_e^2 / (4\pi^2) \quad (2)$$

(1) ve (2)’de;

$T_i$  : yapının serbest titreşim analizi ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu,

$K_i$  : yapının elastik başlangıç rijitliği,

$K_e$  : yapının elastik etkin rijitliği,

$C_0$  : iki doğru parçası ile idealleştirilmiş eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayı,

$C_1$  : doğrusal–elastik davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayı,

$C_2$  : histeresis şeklin maksimum yerdeğiştirme davranışı üzerindeki etkisini temsil eden katsayı,

$S_a$  : yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivme

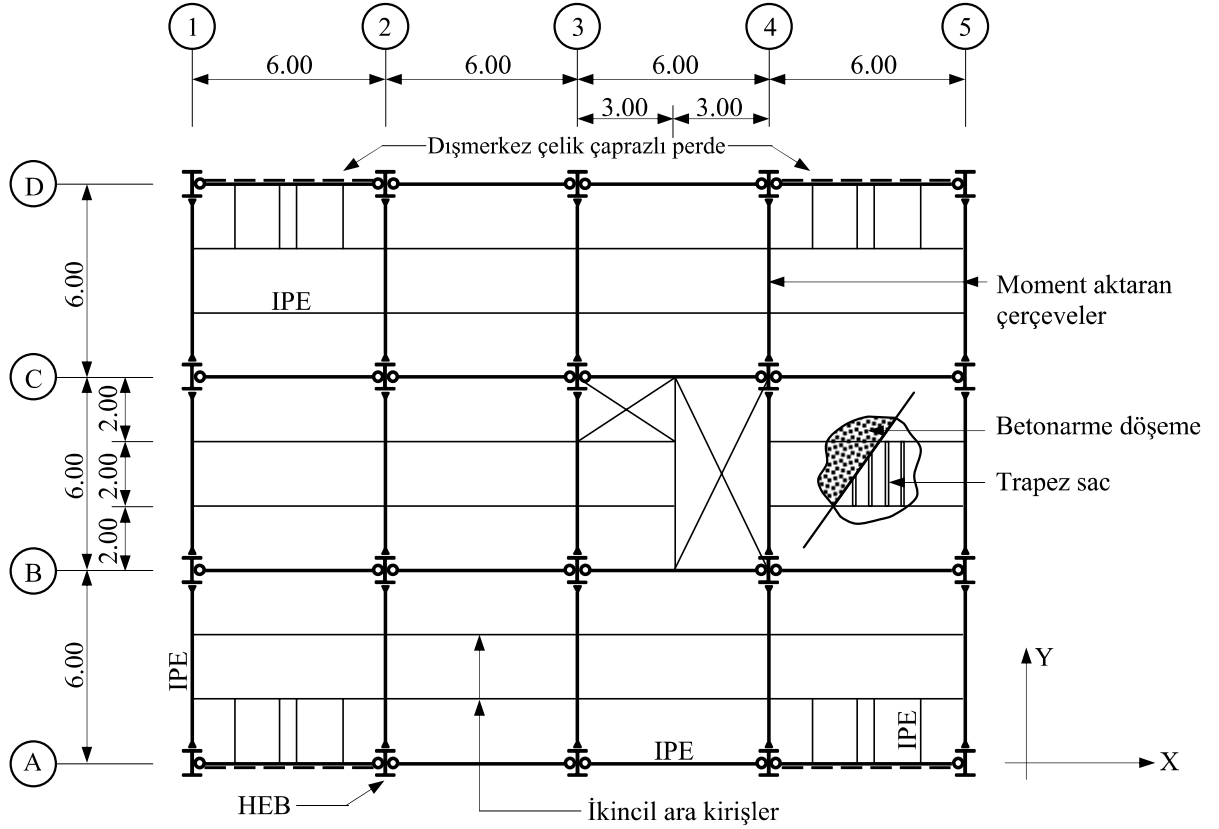
olarak tanımlanmaktadır (FEMA, 2000 ve 2005).

### 3. SAYISAL İNCELEME

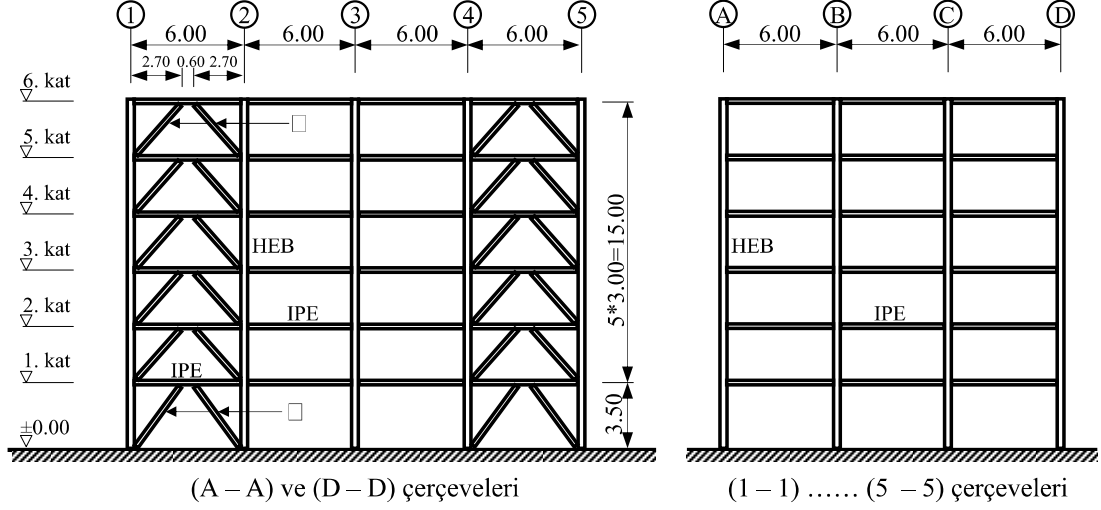
#### 3.1 Çelik Binanın Özellikleri

TDY 2007’de öngörülen performans hedeflerini irdelemek üzere, Özer 2007’de TS 648 (TSE, 1980) ve TDY 2007’ye göre boyutlandırılan, altı katlı düzenli karma taşıyıcı sistemli tipik bir çelik bina ele alınmıştır (Şekil 2, 3) (Tablo 1). Binanın X doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi; süneklik düzeyi yüksek çerçeve ve dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden, Y doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi; süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşmaktadır (Şekil 2, 3). Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profilli sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmektedir. 2.00m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişlerin uçları ana kirişlere mafsalı olarak bağlanmaktadır. Ana çerçeve kirişlerin kolonlara bağlantısı ise kolonların zayıf eksenleri doğrultusunda mafsalı, kuvvetli eksenleri doğrultusunda rijit olarak teşkil edilmiştir (Şekil 2).

Konut veya işyeri olarak planlanan çelik binanın boyutlandırılmasında deprem karakteristikleri; etkin yer ivme katsayısı (birinci derece deprem bölgesi)  $A_0=0.40$ , bina önem katsayısı  $I=1$ , yerel zemin sınıfı Z2 ( $T_A=0.15$  sn,  $T_B=0.40$  sn) olarak alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), X doğrultusunda  $R_x=7$ , Y doğrultusunda  $R_y=8$  alınmıştır.



Şekil 2. Altı katlı çelik binanın normal kat sistem planı



Şekil 3. Çelik binanın X ve Y doğrultusunda tipik sistem enkesiti

Tablo 1. Çelik binanın taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit boyutları

Taşıyıcı Sistem Elemanı	Enkesit Profili
İkincil kirişler (Tüm katlarda)	IPE 270
A, ..., D Aksları ana kirişleri (Tüm katlarda)	IPE 270
1, ..., 5 Aksları ana kirişleri (1., 2. ve 3. katlarda)	IPE 400
1, ..., 5 Aksları ana kirişleri (4., 5. ve 6. katlarda)	IPE 360
±0.00 / +9.50 Kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 400 B
+9.50 / +18.50 Kotları arasındaki tüm kolonlar	HE 360 B
Çelik çapraz elemanlar (tüm katlarda)	□140x140x8

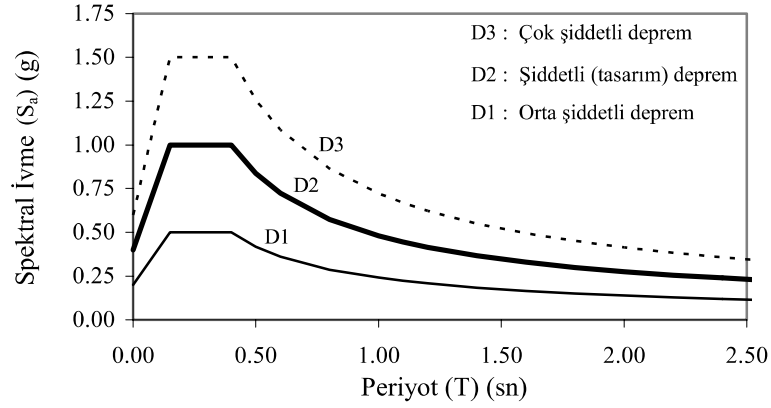
### 3.2 Varsayımlar

Binanın elastik ötesi statik itme (pushover) analizinde plastik şekildeğiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı bunun dışındaki bölgelerde malzeme davranışının doğrusal-elastik olduğu kabul edilmiştir. Plastikleşmenin kirişlerde basit eğilme ile, kolonlarda iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile, elik çapraz elemanlarında ise normal kuvvet etkisi ile oluştuğu kabul edilmiştir. Kolon ve kirişlerin moment-plastik dönme davranış modeli pekleşen-rijit-plastik olarak kabul edilmiş ve buna ait karakteristik değerler (plastikleşme momentleri ve maksimum plastik dönme değerleri) FEMA 356'dan (FEMA, 2000) alınmıştır. elik binanın X doğrultusunda bulunan dışmerkez elik çaprazlar, iki ucu mafsallı çubuk elemanlarla modellenmiş ve bu elemanların eksenel kuvvet-plastik şekildeğiştirme ( $N-\Delta_p$ ) bağıntısına ait karakteristik değerler FEMA 356'dan alınmıştır. elik aprazların kirişle birleştiği bölgelerde kiriş uçlarındaki potansiyel plastik kesitlerde eğilme etkisi göz önüne alınmış ancak, kesme etkisi altında yeterli dayanımına sahip olduğu kabul edilmiştir.

### 3.3 Performans Hedeflerinin Tanımlanması

TDY 2007'de, depreme dayanıklı yapı tasarımıının ana ilkesi; "hafif şiddetdeki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetdeki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanması" olarak tanımlanmıştır (DBYBHY, 2007). Performans hedefleri olarak kabul edilebilecek olan bu ilkelerde, orta şiddetli deprem, çok şiddetli deprem ve ayrıca elik binalar için yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarlara karşılık gelen şekildeğiştirme değerleri tanımlanmamıştır.

İncelenen elik binanın performansının belirlenebilmesi ve buna bağlı olarak TDY 2007'nin performans hedeflerinin irdelenebilmesi için deprem seviyeleri ve şekildeğiştirmeye bağlı hasar sınır değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Çalışmada, TDY 2007'de betonarme binaların değerlendirilmesi kapsamında tanımlanan orta şiddetli deprem, şiddetli deprem (tasarım depremi) ve ayrıca, önemli binaların tasarımında ve değerlendirilmesinde esas alınan çok şiddetli deprem seviyesi kullanılmıştır. Göz önüne alınan deprem seviyeleri için 50 yılda aşılma olasılıkları sırasıyla % 50, %10 ve %2 olarak tanımlanmıştır. Bu depremlere ait ivme spektrumları, tasarım spektrumundan türetilmiştir. Buna göre, orta şiddetli deprem (D1), tasarım depreminin (D2) ivme spektrumunun % 50'si, çok şiddetli deprem ivme spektrumu (D3) ise tasarım depremi (D2) ivme spektrumunun 1.5 katı olarak tanımlanmıştır (şekil 4).

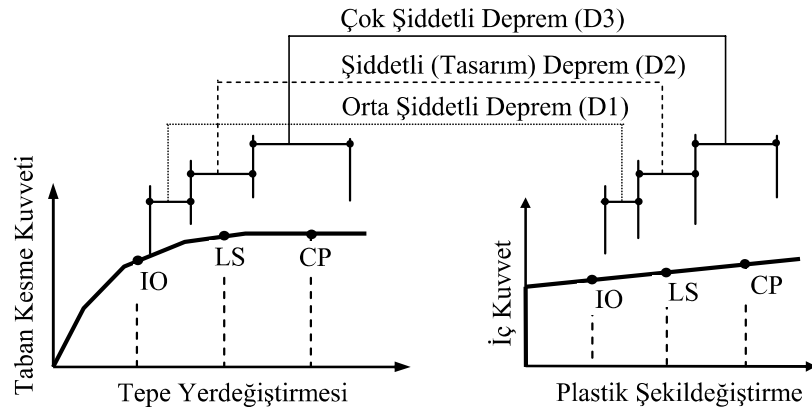


Şekil 4. Deprem seviyelerine ait talep spektrumları

Çalışmada, göz önüne alınan deprem seviyeleri için yapıda oluşması beklenen hasar düzeyi sınırları bakımından FEMA 356'daki (FEMA, 2000) performans düzeylerinden yararlanılmıştır. Buna göre, TDY 2007'de her bir deprem seviyesi için sözle ifade edilen performans tanımlarının, FEMA 356'daki performans düzeylerinden yararlanarak aşağıdaki bölgelerle ifade edilebileceği kabul edilmiştir (Şekil 5).

- Orta şiddetteki depremlerde binanın, hemen kullanım performans düzeyi ile (IO) ile yaşam güvenliği performans düzeyi (LS) arasında {IO~LS} ancak hemen kullanım performans düzeyine (IO) yakın olduğu,
- Şiddetli (tasarım) depremlerde ise binanın, yaşam güvenliği performans düzeyinde (LS) veya ona yakın olduğu,
- Çok şiddetli depremlerde ise binanın, göçme önleme performans düzeyinde (CP) veya onu aştığı

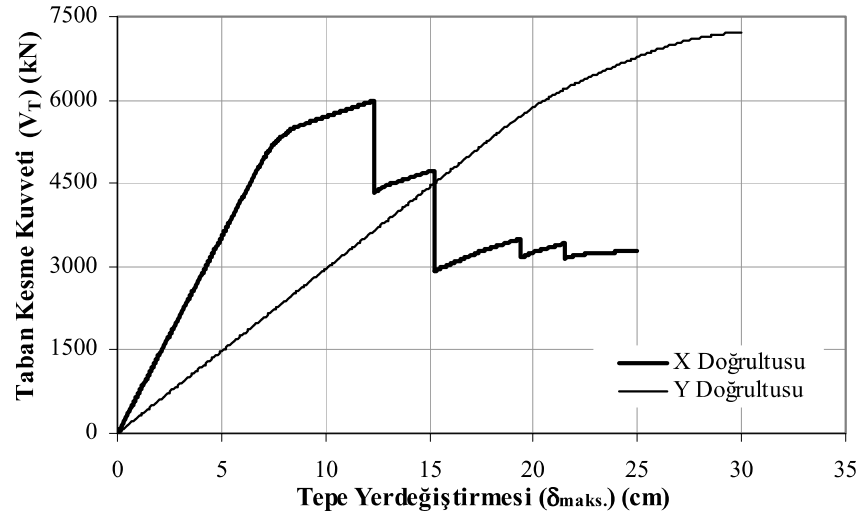
kabul edilmiştir (TDY 2007'nin ana ilkeleri arasında konut veya büro amaçlı binalarda, bu deprem seviyesi için herhangi bir öngörü bulunmamasına rağmen, karşılaştırma amacıyla bu çalışmada sözkonusu deprem seviyesi de göz önüne alınmıştır).



Şekil 5. Deprem seviyelerinin performans düzeyleri ile eşleştirilmesi

### 3.4 Çelik Binanın Kapasite Eğrilerinin Elde Edilmesi

İncelenen çelik binanın yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrilerini elde etmek için, binanın X ve Y doğrultularında sabit düşey yükler ve monoton artan yatay deprem yükleri altında malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elastik ötesi statik itme (pushover) analizleri yapılmıştır (Şekil 6). Depremi temsil eden yatay yük dağılımı olarak, TDY 2007’de verilen eşdeğer deprem yükü dağılımı kullanılmıştır. Çelik binanın kapasite eğrilerinin belirlenmesinde *SAP2000 Yapı Analiz Programı*’ndan yararlanılmıştır (CSI, 2002).

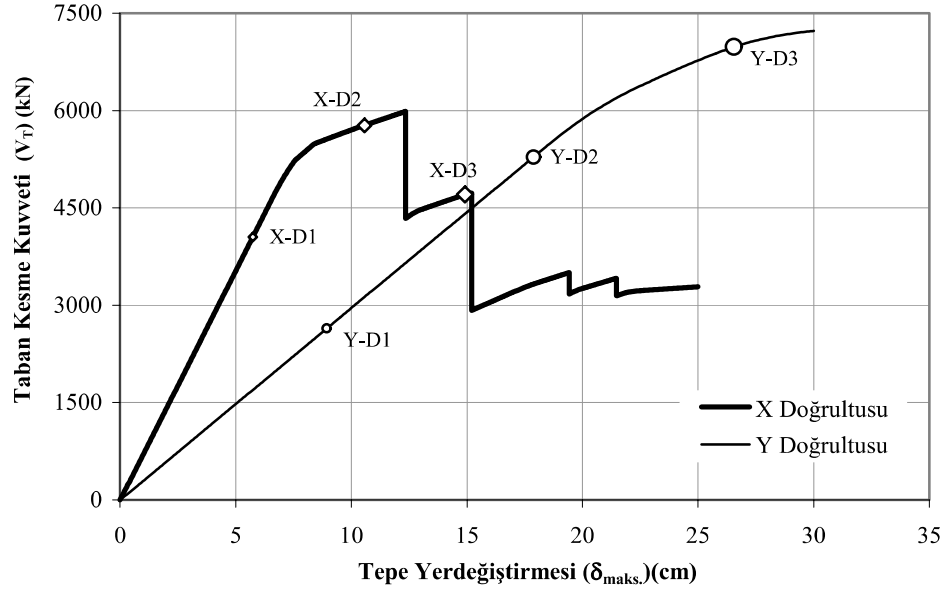


Şekil 6. Çelik binanın X ve Y doğrultularında elde edilen kapasite eğrileri

### 3.5 Çelik Binanın YKY ile Yerdeğiştirme ve Dayanım Taleplerinin Belirlenmesi

İncelenen çelik binanın X ve Y doğrultusunda elde edilen kapasite eğrilerinden yararlanarak, orta şiddetli, şiddetli (tasarım) ve çok şiddetli deprem seviyeleri için YKY ile yerdeğiştirme ve dayanım talepleri belirlenmiş (Şekil 7) ve elde edilen analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. YKY ile yerdeğiştirme talebinin belirlenmesinde, histeretik davranışın maksimum yerdeğiştirme davranışı üzerindeki etkisini temsil eden  $C_2$  katsayısı, incelenen çelik binanın gerçekleşen performans düzeyine bağlı olarak belirlenmiştir. Binanın performansı başlangıçta bilinmediğinden  $C_2$  katsayısı ardışık yaklaşım ile elde edilmiştir.





Şekil 7. Çelik binanın her bir deprem için elde edilen yerdeğiştirme ve dayanım talepleri

Tablo 2. Çelik Binanın X ve Y doğrultularındaki YKY ile elde edilen analiz sonuçları

Deprem Seviyesi	$S_a$ (g)	$C_0$	sonuçları		$T_1 = T_e$ (sn)	$K_i = K_e$ (kN/m)	$\delta_{maks}$ (cm)	$V_T$ (kN)
			$C_1$	$C_2$				
X Doğrultusu								
D1	0.3115	1.342	1.058				5.739	4053
D2	0.6223	1.289	1.016	1.00	0.723	70624	10.576	5772
D3	0.9345	1.199	1.026				14.910	4706
Y Doğrultusu								
D1	0.2238	1.348					8.938	2643
D2	0.4476	1.348	1.00	1.00	1.092	29572	17.876	5286
D3	0.6714	1.335					26.556	6982

### 3.6 Çelik Binanın Performans Düzeylerinin Belirlenmesi

İncelenen çelik bina, TDY 2007'deki üç farklı deprem seviyesi için de YKY ile belirlenen maksimum yerdeğiştirme talebine kadar statik olarak itilmiş ve kritik kesitlerdeki plastik dönme değerleri ile binanın göreceli kat ötelemeleri hesaplanmıştır. Plastik dönme değerleri ve göreceli kat ötelemeleri FEMA 356'da (FEMA, 2000) tanımlanan performans düzeylerine (hemen kullanım düzeyi {IO}, yaşam güvenliği düzeyi {LS} ve göçme önleme düzeyi {CP}) ait sınır değerler ile karşılaştırılarak incelenen çelik binanın performans düzeyleri belirlenmiştir (Şekil 8).

Buna göre, Tablo 3 ve 4'de verilen kiriş ve kolon elemanlarındaki plastik dönme talepleri, ilgili performans düzeylerine ait sınır değerler ile karşılaştırıldığında;

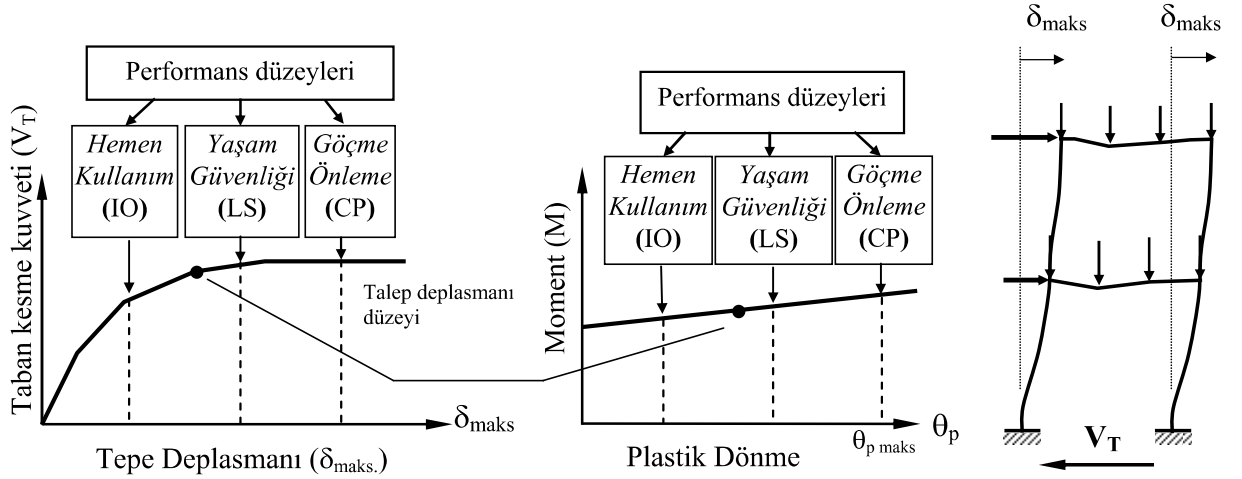
- X doğrultusunda, D1 depreminde kiriş ve kolonların hiçbirinde plastik şekildeğiştirmenin meydana gelmediği, D2 depreminde en büyük plastik dönmenin IO ile LS arasında {IO~LS} olduğu, D3 depreminde ise en büyük plastik dönmenin LS ile CP arasında {LS~CP} olduğu belirlenmiştir (Tablo 3) (şekil 8).
- Y doğrultusunda, D1 ve D2 depremi için kiriş ve kolonların hiçbirinde plastik şekildeğiştirmenin meydana gelmediği, D3 depremi için ise en büyük plastik dönmenin IO'nun altında {<IO} olduğu belirlenmiştir (Tablo 4) (şekil 8).

Tablo 3'de verilen, çelik çaprazlı perdelerdeki çapraz elemanlara ait plastik şekildeğiştirme (kısalma) talepleri ilgili performans düzeylerine ait sınır değerler ile karşılaştırıldığında;

- D1 depreminde çelik çapraz elemanların hiçbirinde plastik şekildeğiştirmenin oluşmadığı; D2 depreminde, 1. ve 2. kattaki çelik çapraz elemanların  $N_b$  burkulma yüküne ulaşmadığı ve en büyük şekildeğiştirmenin IO ve LS arasında {IO~LS} olduğu; D3 depreminde ise, 1. kattaki çelik çapraz elemanların  $N_b$  burkulma yükünü aşarak çok daha fazla plastik şekildeğiştirme yaptığı ve en büyük şekildeğiştirmenin (kısalma) göçme bölgesine {CP<} ulaştığı, buna karşın, 2. kattaki çelik çapraz elemanların  $N_b$  burkulma yüküne ulaşmadığı belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 5'de, çelik binanın X ve Y doğrultularında belirlenen görelî kat öteleme talepleri, ilgili performans düzeylerine ait sınır değerler ile karşılaştırıldığında;

- X doğrultusunda, D1 ve D2 depremlerinde en büyük görelî ötelemenin IO'nun altında olduğu {<IO}, D3 depreminde ise en büyük görelî ötelemenin LS ile CP arasında {LS~CP} olduğu belirlenmiştir (Tablo 5) (şekil 8).
- Y doğrultusunda, D1 depreminde en büyük görelî ötelemenin IO'nun altında olduğu {<IO}, D2 ve D3 depremlerinde ise en büyük görelî ötelemenin IO ile LS arasında {IO~LS} olduğu belirlenmiştir (Tablo 5) (şekil 8).



Şekil 8. İncelenen bina için performans düzeylerinin belirlenmesi

Çelik binanın kiriş, kolon ve çelik çaprazlı perdelerindeki çapraz elemanlar, görelî kat ötelemeleri için elde edilen performans düzeylerinin en elverişsiz olanları esas alınarak, binanın her iki doğrultusu ve gözönüne alınan her üç deprem seviyesi için, bina performans düzeyleri değerlendirildiğinde;

- X doğrultusunda, D1 depremi için hemen kullanım düzeyinin altında {<IO} olduğu, D2 depremi için yaşam güvenliği ile göçme önleme düzeyleri arasında {LS~CP} olduğu, D3 depreminde ise göçme önleme düzeyini aştığı {CP<} belirlenmiştir.
- Y doğrultusunda, D1 depremi için hemen kullanım düzeyinin altında {<IO} olduğu, D2 ve D3 depremlerinde ise hemen kullanım ile yaşam güvenliği düzeyleri arasında {IO~LS} olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3. Çelik Binanın X doğrultusundaki elemanların plastik dönme ve kısalma taleplerine göre performans düzeyleri

Deprem Seviyesi	Kat No	Kat Plastik			Performans Düzeyine göre Plastikleşen Kesit Sayısı												
		Dönme (rad)	Kısalma (cm)		Kiriş				Kolon				Çapraz				
			Kiriş	Kolon	Çapraz	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<	<IO	IO-LS	LS-CP	CP<
D1	1-6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	4-6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
D2	3	0.00172	---	---	6	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	<b>0.00846</b>	---	1.184	---	8	---	---	---	---	---	---	---	4	---	---	---
	1	0.00745	---	<b>1.448</b>	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---	4	---	---
D3	4-6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	3	0.00516	---	---	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	<b>0.01161</b>	---	2.111	---	4	4	---	---	---	---	---	---	---	4	---	---
	1	0.00983	<b>0.00881</b>	<b>7.779</b>	---	4	4	---	16	4	---	---	---	---	---	---	4

Tablo 4. Çelik Binanın Y doğrultusundaki elemanların plastik dönme taleplerine göre performans düzeyleri

Deprem Seviyesi	Kat No	Kat Plastik Dönme (rad)		Performans düzeyine göre plastikleşen kesit sayısı								
		Kiriş	Kolon	Kiriş				Kolon				
				< IO	IO-LS	LS-CP	CP <	< IO	IO-LS	LS-CP	CP <	
D1	1-6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
D2	1-6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
D3	5-6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	4	0.00439	---	15	---	---	---	---	---	---	---	---
	3	0.00782	---	17	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	<b>0.00903</b>	---	24	---	---	---	---	---	---	---	---
	1	0.00521	<b>0.00023</b>	15	---	---	---	---	6	---	---	---

Tablo 5. Çelik Binanın X ve Y doğrultularındaki görel kat ötelemelerine göre performans düzeyleri

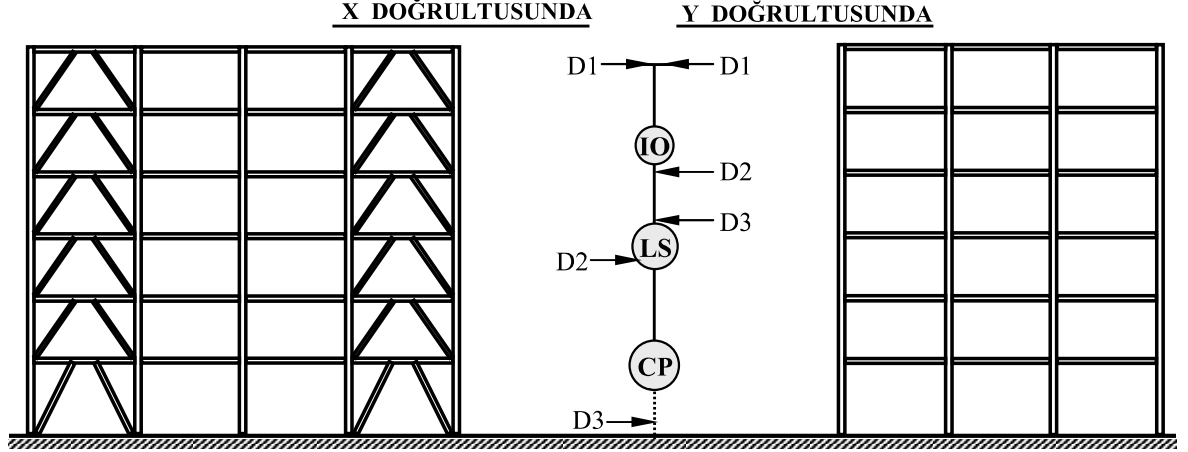
Deprem Doğrultusu	Kat No	Görel Kat Ötelemeleri (%)					
		D1	Performans Düzeyi	D2	Performans Düzeyi	D3	Performans Düzeyi
X	6	0.194	< IO	0.277	< IO	0.243	< IO
	5	0.267	< IO	0.382	< IO	0.328	< IO
	4	0.325	< IO	0.461	< IO	0.395	< IO
	3	0.356	< IO	0.540	< IO	0.484	< IO
	2	<b>0.376</b>	< IO	<b>0.889</b>	< IO	1.141	IO-LS
	1	0.339	< IO	0.837	< IO	<b>2.039</b>	<b>LS-CP</b>
Y	6	0.308	< IO	0.615	< IO	0.846	< IO
	5	0.472	< IO	0.943	< IO	1.347	IO-LS
	4	0.577	< IO	1.154	IO-LS	1.738	IO-LS
	3	<b>0.595</b>	< IO	<b>1.190</b>	<b>IO-LS</b>	<b>1.858</b>	<b>IO-LS</b>
	2	0.592	< IO	1.184	IO-LS	1.802	IO-LS
	1	0.374	< IO	0.748	< IO	1.080	IO-LS

### 3.7 TDY 2007 Performans Hedeflerinin Değerlendirilmesi

2007 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) ana ilkeleri arasında yer alan performans hedefleri, her iki doğrultu için ayrı ayrı elde edilen bina performans düzeyleri ve Bölüm 3.3’de yapılan kabuller çerçevesinde değerlendirildiğinde;

- Orta şiddetli deprem (D1) için, binanın, her iki doğrultuda da aynı performansı gösterdiği ve bu performansların öngörülenin üzerinde (daha iyi) olduğu,
- Şiddetli deprem (tasarım depremi) için, binanın, X ve Y doğrultularındaki performanslarının oldukça farklı olduğu, X doğrultusunda öngörülen performansı sağladığı, buna karşılık Y doğrultusunda ise öngörülenin oldukça üzerinde (daha iyi) bir performans gösterdiği,

- Konut ve büro amaçlı binalar için herhangi bir öngörünün bulunmadığı, ancak bu çalışma kapsamında karşılaştırma amacıyla göz önüne alınan çok şiddetli depremde ise, binanın, X doğrultusunda göçme bölgesine geçerek bu çalışmada öngörülen performansı yaklaşık olarak sağladığı, Y doğrultusunda ise öngörülenin çok fazla üzerinde (daha iyi) bir performans gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Çelik Binanın X ve Y doğrultularındaki performans düzeyleri

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Türk Standart ve Yönetmeliklerine göre önceden tasarlanmış tipik bir çelik bina, bu çalışmada ele alınarak TDY 2007'deki üç farklı deprem seviyesi için performans düzeyleri belirlenmiş ve TDY 2007'deki ana ilkeler arasında yeralan performans hedefleri irdelenmiştir. Bunun için öncelikle, TDY 2007'de üç deprem seviyesi için belirtilen performans hedefleri, FEMA 356'daki performans düzeylerine ait hasar sınır değerlerinden ve TDY 2007'de betonarme binaların değerlendirilmesi için öngörülen deprem seviyelerinden yararlanarak tanımlanmıştır. Çalışmada, TDY 2007'nin açıklamalı uygulaması amacıyla daha önce boyutlandırılmış tipik bir çelik bina ele alınarak, TDY 2007'de belirtilen üç farklı deprem seviyesi için Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (YKY) ile binanın performans düzeyleri belirlenmiştir.

İncelenen çelik binanın, orta şiddetli deprem seviyesi için; binanın birbirine dik her iki doğrultuda da aynı performansı gösterdiği ve bu performansların öngörülenin üzerinde (daha iyi) olduğu, şiddetli deprem (tasarım depremi) seviyesi için; her iki doğrultudaki performanslarının birbirinden oldukça farklı olduğu belirlenmiştir. Buna göre; incelenen çelik bina süneklik düzeyi yüksek çerçeve ve dışmerkez çaprazlı çelik perdelerin bulunduğu (X) doğrultusunda öngörülen performansı sağladığı, buna karşılık süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan (Y) doğrultusunda ise öngörülenin oldukça üzerinde (daha iyi) bir performans gösterdiği belirlenmiştir. TDY 2007'de çok şiddetli deprem seviyesinde konut ve büro amaçlı binalar için bina performansı ile ilgili herhangi bir öngörünün bulunmadığı, ancak bu çalışma kapsamında karşılaştırma amacıyla çelik binanın göz önüne alınan X doğrultusunda göçme bölgesine geçerek bu çalışmada öngörülen performansı yaklaşık olarak sağladığı, Y doğrultusunda ise öngörülenin çok fazla üzerinde (daha iyi) bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, incelenen çelik binanın birbirine dik her iki doğrultuda taşıyıcı sistemlerinin farklı olması nedeniyle, iki doğrultu için oldukça farklı performans düzeyleri elde edilmiştir. Ancak, çalışmada yapılan kabuller çerçevesinde, her iki doğrultuda da TDY2007'nin ana ilkesi olarak öngörülen performans hedeflerinin sağlandığı belirlenmiştir. Performans düzeyi tanımlamalarına bağlı olarak bina performanslarının değişebileceği bilinmekle birlikte, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, TDY 2007'de öngörülen performans hedefleri ile bu performansların sağlanması amacıyla öngörülen tasarım ilkelerinin uyumunda önemli farklılıklar olabildiğini göstermektedir. Ancak, TDY 2007'nin bu konuda ayrıntılı olarak değerlendirilebilmesi için farklı özelliklerde ve çok sayıda çelik bina üzerinde çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılacak benzer çalışmaların, son dönemde geleneksel deprem tasarımına bir alternatif olarak geliştirilmekte olan performansa dayalı tasarım yaklaşımlarına katkısı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, incelenen düzenli çelik binanın iki asal doğrultusunda önemli oranda farklı performans düzeylerinin elde edilmesi, performans esaslı tasarım yaklaşımlarında en elverişsiz doğrultunun belirlenmesi ve iki doğrultulu doğrusal olmayan analiz sonuçları ile performans değerlendirme konularının, çeşitli örnekler üzerinde incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] ABYYHY, 1998, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [2] ATC, 1996, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, ATC 40, Applied Technology Council, Washington, DC., USA, Vol. 1.
- [3] Özer, E., 2007, “Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları”, Yeni Deprem Yönetmeliği ve Uygulamalı Çözümler, Meslek İçi Eğitim Dizisi, TMMOB İMO İzmir Şubesi, Yayın No: 51.
- [4] CSI, 2002, “Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual”, SAP2000 V.8., CSI.
- [5] DBYBHY, 2007, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [6] FEMA, 1997, “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C..
- [7] FEMA, 2000, “Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C..
- [8] FEMA, 2005, “Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”, FEMA 440, ATC-55 Project, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C..
- [9] SEAOC, 1995, “Performance Based Seismic Engineering of Buildings”, Vision 2000, Structural Engineers Association of California.
- [10] SEAOC, 1999, “Recommended Lateral Force Requirements and Commentary”, Blue Book, Seventh Edition, Structural Engineers Association of California, C.A.
- [11] TSE, 1980, “Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, TS 648, Türk Standartları Enstitüsü.