

# BİR OKUL BİNASININ TASARIMI VE DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

*Alperen Turkyay 1, Kadir Guler 2*

Original scientific paper

Bu çalışmada, dört katlı çerçeve ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir okul binasının tasarımı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)'nin 2. ve 3. bölümlerine ve Türk Standardı 500 (TS 500)'e göre yapılmıştır. Bu okul binası taşıyıcı sisteminin deprem performansı, tasarım (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem) ve şiddetli (50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem) deprem için, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (itme analizi) kullanılarak, DBYBHY 2007'nin 7. bölümüne göre ve 2007 yılında yayınlanan Mevcut Binaların Sismik İyileştirilmesi (ASCE 41-06) standardına göre değerlendirilmiştir. ASCE 41-06 ve DBYBHY 2007'ye göre deprem performansının belirlenmesi için SAP2000 yapısal analiz ve RESPONSE2000 kesit analizi programları kullanılarak sayısal çözümlenmeler yapılmıştır. Sayısal sonuçlar ve yapılan değerlendirmeler tablo ve şekillerde verilmiş ve konu tartışılmıştır. Sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Statik İtme Analizi; Yapı tasarımı; Yapıların Deprem Performansı.

## 1 Giriş

Son zamanlarda dünya genelinde meydana gelen yıkıcı depremler, depreme dayanıklı yapı tasarımını ve mevcut yapıların deprem performansı değerlendirmesini her geçen gün daha da önemli hale getirmiştir. Tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde son zamanlardaki gelişmelere bağlı olarak kuvvete dayalı tasarımın yanı sıra performansa dayalı tasarım da ön plana çıkmaktadır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramından genel olarak, oluşma olasılıkları belirli deprem etkileri altında, yapının süneklik kapasitesinin, yapının kullanım amacı ve tasarım ömrü gibi faktörler dikkate alınarak belirlenen bir performans talebine göre tasarlanması ve değerlendirilmesi anlaşılmaktadır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilk olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde, 1996 yılında çıkan Betonarme Binaların Sismik Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi (ATC 40) [1] ve 2000 yılında yayınlanan Binaların Sismik İyileştirilmesi için Öncelikli ve Açıklamalar (FEMA 356) [2] gibi standartlarda geniş bir şekilde yer almıştır. Türkiye'de ise 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) [3] ile yönetmeliğimizde mevcut binaların değerlendirilmesine yer verilmiştir.

Mevcut deprem yönetmeliklerinde, yapıların tasarımı ve değerlendirilmesinde, doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal hesap yöntemlerinde kuvvete dayalı bir tasarım yaklaşımı söz konusudur. Bu tasarım yaklaşımlarında davranış spektrumundan elde edilen deprem yükleri, süneklik düzeyine göre deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltıldıktan sonra doğrusal elastik davranış esasına göre analiz edilir. Analiz sonucu elde edilen kesit tesirlerine göre kesitlerin dayanım yeterliliği irdelenir. Kuvvet esaslı olarak, tasarımın yanı sıra sismik performans değerlendirilmesi de yapılabilmektedir. Bu yöntem, azaltılmamış deprem etkisinde yapının taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan etkilerin, elemanların kapasitelerine oranının sınır değerlerle karşılaştırılması şeklinde olmaktadır. Bir deprem etkisi altında yapı davranışının doğrusal elastik olması, sistemde hiçbir hasarın meydana gelmemesi anlamına gelmektedir ki, çok şiddetli

depremler altındaki deprem yükleri hesaba katıldığında, elastik deprem yükleri çok büyük olacağından ekonomik bir tasarım yapmak mümkün olmamaktadır. Yönetmeliklerde lineer elastik hesap sonucu elde edilen değerlerin deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak idealleştirilmesinin nedeni de, yukarıda belirtilen şiddetli depremlerde kullanıcıların can güvenliğini sağlamak kaydı ile bina taşıyıcı sisteminde belirli bir düzeydeki hasara bilerek izin verilmesidir. Diğer bir deyişle, bina, taşıyıcı sisteminin bazı elemanlarının doğrusal olmayan davranış göstermesine, dolayısıyla sünek davranışa, izin verecek şekilde tasarlanır. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinde ise şekil değiştirmeye (performansa) dayalı bir tasarım ve değerlendirme söz konusudur. Bu yöntemde temel amaç, dayanıma göre tasarımın aksine, öncelikle taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesinin doğrusal olmayan analiz ile elde edilmesi daha sonra süneklik isteminin elde edilmesidir. Şekil değiştirmeye göre tasarım veya değerlendirmede süneklik isteminin hesapla elde edilebilmesi, yapı taşıyıcı sistem elemanlarında göz önüne alınan deprem etkisi altında meydana gelecek hasar dağılımının ve büyüklüğünün sayısal olarak belirlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Doğrusal elastik olmayan analizler sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen birim şekil değiştirmeler veya plastik dönmeler hesaplanarak, yönetmeliklerde verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak yapının performansı hakkında bilgi edinilir [4-8].

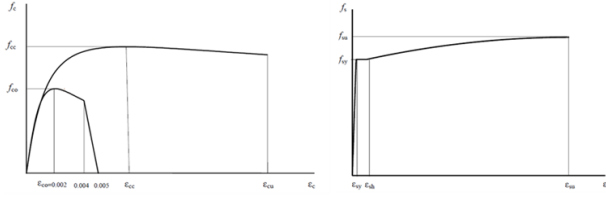
Bu çalışmada, dört katlı betonarme bir okul binasının tasarımı DBYBHY 2007 ve Türk Standardı 500 (TS 500)'e [9] göre yapılmış, daha sonra binanın deprem performansı DBYBHY 2007'de yer alan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Binanın performans değerlendirilmesi hem tasarım depremine göre, hem de şiddetli depreme göre yapılmıştır. Ayrıca, performans değerlendirilmesi, Mevcut Binaların Sismik İyileştirilmesi (ASCE 41-06) [10] standardına göre de yapılmıştır. Her iki standart kullanılarak elde edilen sonuçlar tablo ve şekillerde verilmiş, konu tartışılmıştır.





modele girilmiştir. Malzeme dayanımları olarak tasarım esnasında kullanılan dayanımlar mevcut beton dayanımı ve mevcut çelik dayanımı olarak kullanılmıştır.

SAP2000 ve RESPONSE2000 programlarına, malzeme modeli olarak Mander beton modeli [21] ve pekleşmeli elastoplastik çelik modeli tanımlanmıştır.



Şekil 8. Malzeme Modelleri

### 3.1.3 Plastik Mafsalların Sisteme Atanması

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında eğilme momenti, elemanların eksen boyu boyunca değişir. Elemanların davranışları, küçük moment değerlerinde doğrusal elastik olurken, özellikle mesnede yakın bölgelerde büyük eğilme momentlerinin de etkisiyle davranış doğrusal elastik olmaz ve plastik dönmeler meydana gelir. İşte bu doğrusal elastik olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal elastik olarak davrandığının kabul edildiği hipoteze plastik mafsallara hipotezi denir. Bu doğrusal elastik olmayan şekil değiştirmelerin oluştuğu kesitlere ise plastik mafsallara denir. Oluşacak olan plastik mafsallar genellikle taşıyıcı elemanların uç kısımlarında ve orta noktalarında oluşur. Fakat sistemin stabilitesini etkileyen mafsallar uç noktadaki mafsallardır. Eleman uç noktaları arasında kalan sistem ise doğrusal elastik davranır [22,23].

Başka bir deyişle; deprem etkisi ve düşey yükler altındaki bir kesitte, oluşan küçük moment değerleri için kesitin lineer elastik davranacağı, eğilme momentinin büyük olduğu mesnede yakın bölgelerde meydana gelen çatlaklar ile kesitin eğilme rijitliğinin azalacağı ve eğriliğin bu çatlak kesitlerinde büyük olacağı söylenebilir. Eğriliğin büyük olacağı bu bölgelerde plastik dönmeler daha etkili olur. Bu plastik dönmelerin, plastik mafsalları boyu  $L_p$  olan bir bölgede yoğunlaştırılması plastik mafsalları kabulü olarak adlandırılır. DBYBHY 2007’de plastik mafsalları boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısı olarak alınması gerektiği belirtilmiştir [24].

Yukarıdaki açıklamalar dikkate alınarak SAP2000 programında plastik mafsallar taşıyıcı sistem elemanlarının deprem sırasında en çok zorlanan uç bölgelerinde tanımlanmıştır. Plastik mafsallar tanımlanırken hem eğilme momenti hem de normal kuvvete maruz kalan düşey taşıyıcı elemanlarda P-M-M mafsalları, eksenel kuvvet düzeyi oldukça düşük olan kirişlerde ise M3 mafsalları atanmıştır.

### 3.1.4 Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliklerinin Hesabı

Çatlamamış kesitlere ait  $(EI)_0$  eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı  $(G+nQ)$  ile kolon ve perdeler için  $N_D$  eksenel basınç kuvvetleri hesaplanmıştır. Bu eksenel kuvvetler ile DBYBHY 2007’de aşağıdaki

gibi verilen formüller yardımıyla  $(EI)_e$  etkin eğilme rijitlikleri hesaplanmıştır.

Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (DBYBHY 2007):

- Kirişlerde  $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$
- Kolon ve perdelerde:
  - o  $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$  ise  $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$
  - o  $N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$  ise  $(EI)_e = 0.80 (EI)_0$

Yapılan hesaplarda  $(EI)_e/(EI)_0$  oranı; 1. kat kolonlarında 0.45 ve 0.42, diğer kat kolonlarında 0.40, perdelerde ise tüm katlarda 0.40 olarak elde edilmiştir. Kirişlerin etkin eğilme rijitlikleri de eğilme rijitliklerinin %40’ı olarak hesap edilmiştir.

### 3.1.5 İtme Analizinde Kullanılacak Yük Vektörünün Hesabı

Etkin eğilme rijitliklerine göre model güncellendikten sonra, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre, analizler tekrarlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda çatlamış ve çatlamamış kesitlere ait binanın birinci modunun titreşim periyotları aşağıda verilmiştir.

Çatlamamış Kesitlerde:

$$Y \text{ doğrultusu } T1(y) = 0.328 \text{ s,}$$

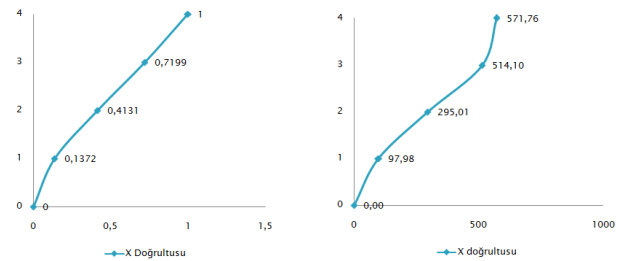
$$X \text{ doğrultusu } T1(x) = 0.307 \text{ s}$$

Çatlamış Kesitlerde:

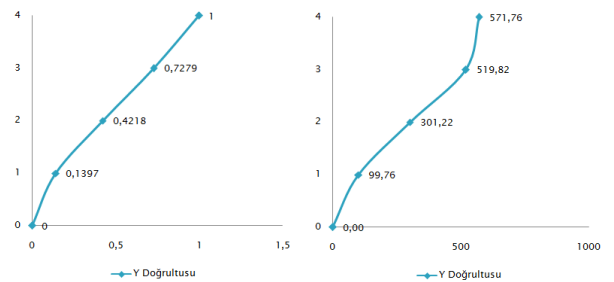
$$Y \text{ doğrultusu } T1(y) = 0.479 \text{ s,}$$

$$X \text{ doğrultusu } T1(x) = 0.445 \text{ s}$$

Artımsal itme analizine başlamadan önce, artımsal itme analizinin başlangıç koşullarını oluşturacak kütlelerle uyumlu düşey yüklerin  $(G+nQ)$  göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Daha sonra, her iki doğrultuda, birinci doğal titreşim modu ile kat kütlelerinin çarpımı ile orantılı olacak şekilde yüklemeler altında itme analizi yapılmıştır. Birinci doğal titreşim modu ile kat kütlelerinin çarpımı ( $m_i \phi_i$ ) ile orantılı olacak şekilde oluşturulan, artımsal itme analizinde kullanılan yük vektörleri aşağıdaki şekiller ile verilmiştir.



Şekil 9. X Doğrultusu Mod Şekli ve Yük Vektörü



Şekil 10. Y Doğrultusu Mod Şekli ve Yük Vektörü

### 3.1.6 Doğrusal Olmayan Spektral Yer Değiştiriminin Hesabı

En son itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait maksimum modal yer değiştirme (modal yer değiştirme istemi)  $d_1^{(p)}$ , doğrusal olmayan spektral yer değiştirme  $S_{di1}$ 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (1)$$

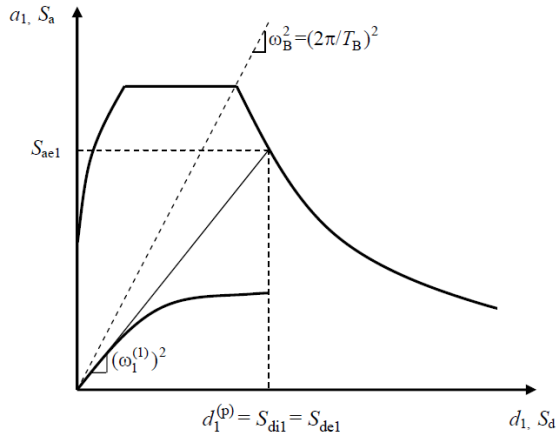
Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme,  $S_{di1}$ , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (linear) spektral yer değiştirme  $S_{de1}$ 'e bağlı olarak aşağıdaki denklem ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2)$$

Doğrusal elastik (linear) spektral yer değiştirme  $S_{de1}$ , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme  $S_{ae1}$ 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(w_1^{(1)})^2} \quad (3)$$

Spektral yer değiştirme oranı  $C_R$ , başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki  $T_B$ 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda  $C_R = 1.0$  alınarak hesap yapılır (Şekil 11). Spektral yer değiştirme oranı, başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki  $T_B$ 'den daha kısa olması durumunda ise ardışık yaklaşımla hesaplanır.



**Tablo 2.** Hedef Tepe Yer Değiştirme Değerleri

	$T_1$ (s)	$w_1$ (rad/s)	$A_0$	I	S(T)	A(T)	$S_{ae}$ (m/s <sup>2</sup> )	$S_{de}$ (m)	$S_{di}$ (m)	$U_N$ (m)
Tasarım Depremi (X Doğrultusu)	0.445	14.11	0.4	1	2.294	0.918	9.00122	0.04524	0.04524	0.0621
Şiddetli Deprem (X Doğrultusu)	0.445	14.11	0.4	1	3.441	1.376	13.50184	0.06782	0.06782	0.09311
Tasarım Depremi (Y Doğrultusu)	0.479	13.12	0.4	1	2.164	0.866	8.4929	0.04936	0.04936	0.06752
Şiddetli Deprem (Y Doğrultusu)	0.479	13.12	0.4	1	3.247	1.299	12.73936	0.074	0.074	0.10127

**Şekil 11.** Spektral Yer Değiştiriminin Bulunması

Her iki doğrultuda da başlangıç periyodu  $T_B$ 'den büyük olduğundan, eşit yer değiştirme kuralınca  $C_{R1} = 1.0$  alınarak  $S_{di1} = S_{de1}$  olarak alınmıştır. Tasarım depremi ve şiddetli deprem için hesaplanan doğrusal olmayan spektral yer değiştirme ve hedef tepe yer değiştirme değerleri ile bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan modal katkı çarpanı  $\Gamma_1$ , etkin kütle  $M_1$  değerleri Tablo 1-2 ile verilmiştir. Çizelgede kullanılan modal katkı çarpanı  $\Gamma_1$ , etkin kütle  $M_1$  ve itme analizi sonrasında elde edilen itme eğrisinden modal kapasite eğrisine dönüşümde kullanılacak olan modal ivme  $a_1^{(i)}$ , modal yer değiştirme  $d_1^{(i)}$  değerlerinin hesabında kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir.

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (4)$$

$$M_1 = \frac{\left( \sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (5)$$

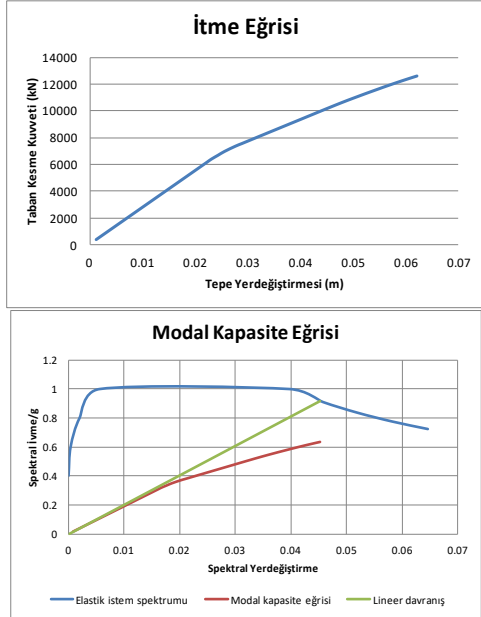
$$a_1^{(i)} = \frac{V_1^{(i)}}{M_1} \quad (6)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{N1}^{(i)}}{\Phi_{N1} \Gamma_1} \quad (7)$$

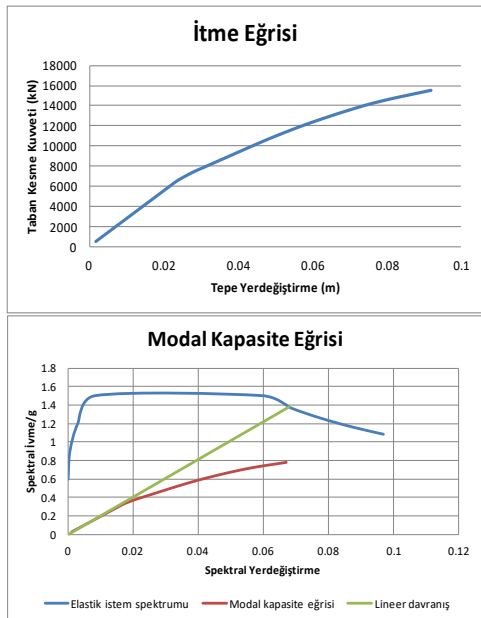
**Tablo 1.** Modal Katkı Çarpanı ve Etkin Kütle Değerleri

	$\Gamma_1$	$M_1$ (ton)
X Doğrultusu	1.3729	2030.31
Y Doğrultusu	1.36791	2041.69

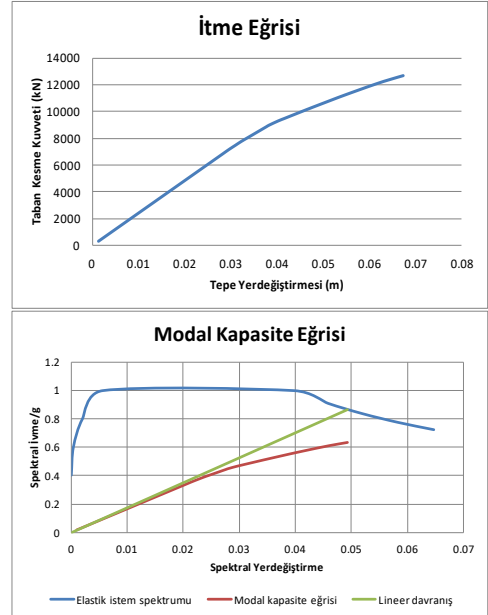
Hesaplanan tepe yer değiştirme istemleri kullanılarak binada itme analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda her iki doğrultu için, tasarım ve şiddetli deprem etkisi altında, elde edilen itme eğrileri ve modal kapasite eğrileri Şekil 12-15’de, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik mafsallar ise Şekil 16-19’da verilmiştir.



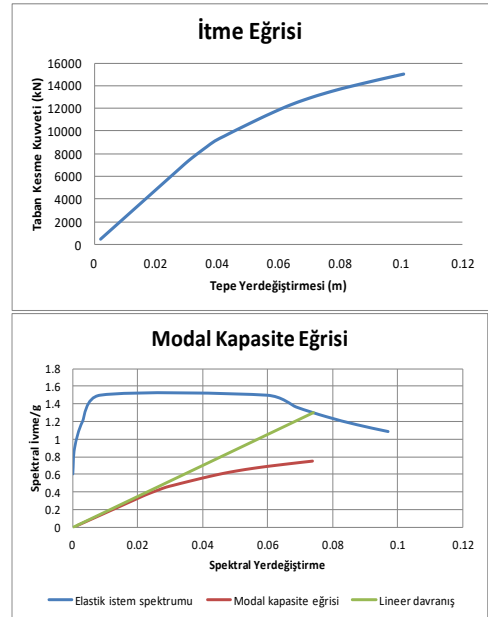
Şekil 12. Tasarım Depremi İçin X Doğrultusundaki İtme ve Modal Kapasite Eğrileri



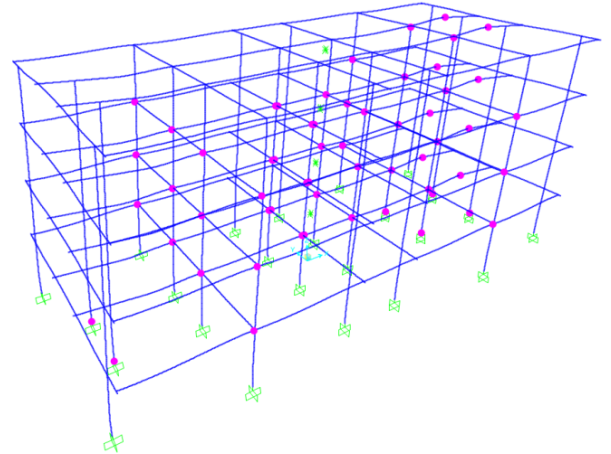
Şekil 13. Şiddetli Deprem İçin X Doğrultusundaki İtme ve Modal Kapasite Eğrileri



Şekil 14. Tasarım Depremi İçin Y Doğrultusundaki İtme ve Modal Kapasite Eğrileri

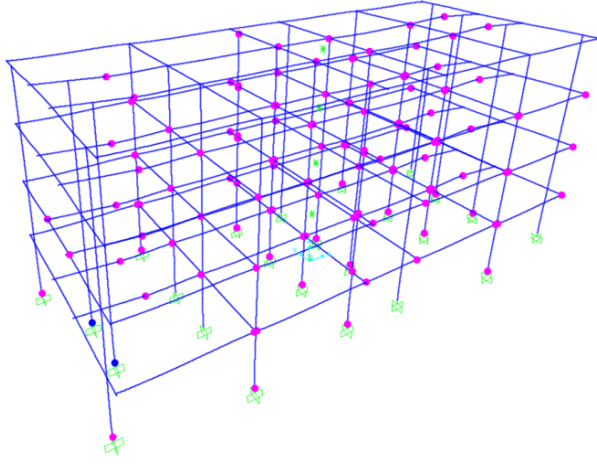


Şekil 15. Şiddetli Deprem İçin Y Doğrultusundaki İtme ve Modal Kapasite Eğrileri

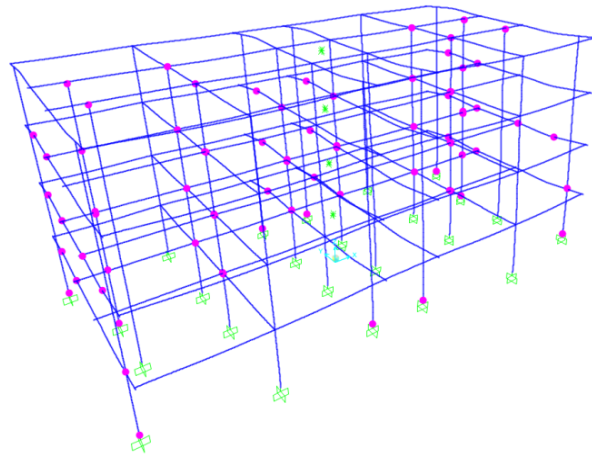


Şekil 16. X Doğrultusunda Tasarım Depremi Etkisinde Oluşan Plastik Mafsallar

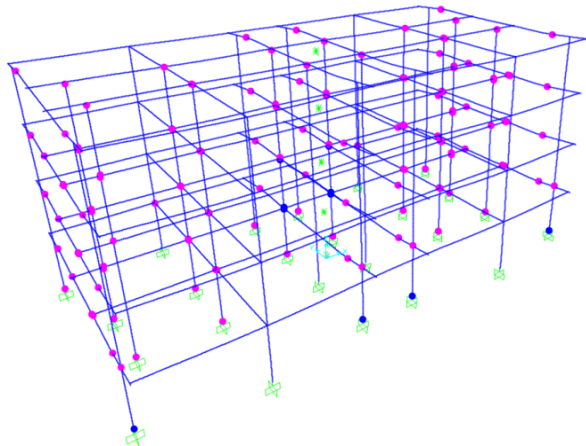




Şekil 17. X Doğrultusunda Şiddetli Deprem Etkisinde Oluşan Plastik Mafsallar



Şekil 18. Y Doğrultusunda Tasarım Depremi Etkisinde Oluşan Plastik Mafsallar



Şekil 19. Y Doğrultusunda Şiddetli Deprem Etkisinde Oluşan Plastik Mafsallar

### 3.1.7 Gevrek Davranışa İlişkin İç Kuvvet İstemlerinin İç Kuvvet Kapasiteleri ile Karşılaştırılması

Doğrusal olmayan itme analizinde hesaplanan tepe yer değiştirme istemine karşı gelen itme adımıdaki elemanların kesme kuvveti değerleri yönetmeliklere göre belirlenen kesme kuvveti dayanımları ile karşılaştırılmıştır. Tasarım depremi altında elemanlarda

oluşan kesme kuvveti değerlerinin eleman kapasitelerini aşmadığı, yani elemanların sünek davranış sergilediği tespit edilmiştir. Şiddetli deprem altında kolon ve perdelerde oluşan kesme kuvveti değerlerinin elemanların kapasitelerini aşmadığı (sünek davranış sergilediği), kirişlerden ise K1 isimli kirişlerden 6 tanesinde, K2 isimli kirişlerden 18 tanesinde oluşan kesme kuvveti değerlerinin elemanların kapasitelerini aştığı (gevrek davranış sergilediği) tespit edilmiştir.

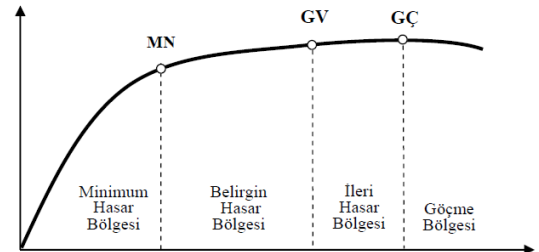
### 3.1.8 Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Hasar Durumlarının Belirlenmesi

DBYBHY 2007’de, plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanları için, Tablo 3 ile verilen kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) ve 4 farklı hasar bölgesi öngörülmüştür (Şekil 20). Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar bölgelerinin yüzdelere göre de, binalar için performans düzeyleri belirlenmiştir. Bir okul binası, yönetmeliğe göre tasarım depremi etkisinde hemen kullanım performans düzeyini, şiddetli deprem etkisinde ise can güvenliği performans düzeyini sağlamalıdır.

Tablo 3. Kesit Şekil Değiştirme Üst Sınırları

	$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_{cg}$	$\epsilon_s$
Kesit minimum hasar sınırı (MN)	0.0035		0.01
Kesit güvenlik sınırı (GV)		$0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135$	0.04
Kesit göçme sınırı (GÇ)		$0.004+0.014(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.018$	0.06

#### İç Kuvvet



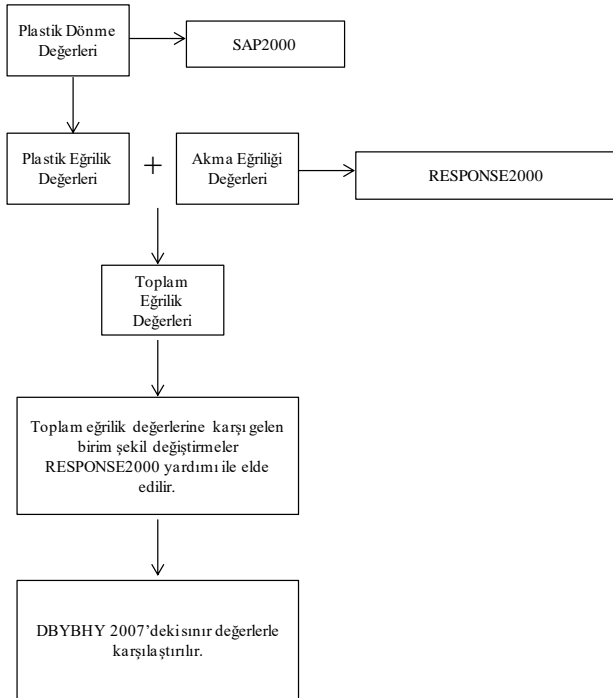
Şekil 20. Hasar Bölgeleri

Okul binası taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumlarının belirlenmesinde, SAP2000 programında yapılan analizler sonucunda elde edilen plastik mafsallarda oluşan plastik dönme değerleri ( $\Theta_p$ ), plastik eğrilik değerlerine ( $\phi_p$ ) dönüştürülmüştür. Daha sonra RESPONSE2000 programı yardımıyla tüm kesitlere ait akma eğriliği değerleri elde edilmiş, bu değerler sayesinde de kesitlere ait toplam eğrilik değerleri elde edilmiştir (Denklem 8-9). Daha sonra RESPONSE2000 programı kullanılarak toplam eğrilik değerlerine karşılık gelen

birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen birim şekil değiştirme değerleri de yönetmelik şekil değiştirme üst sınırları ile karşılaştırılarak taşıyıcı sistem elemanlarına ait hasar durumları belirlenmiştir. Yapılan hesap adımları tasarım depremi ve şiddetli deprem için ayrı ayrı yapılmış ve her iki deprem türü için de bina performans seviyesi belirlenmiştir. Şekil 21’de hasar durumlarının belirlenmesi için kullanılan akış şeması verilmiştir.

$$\phi_p = \theta_p / L_p \quad (8)$$

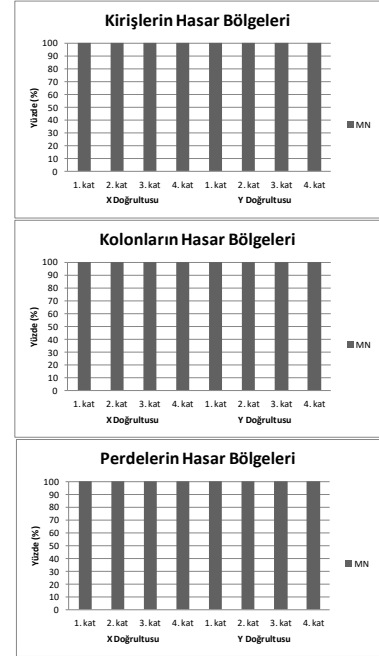
$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (9)$$



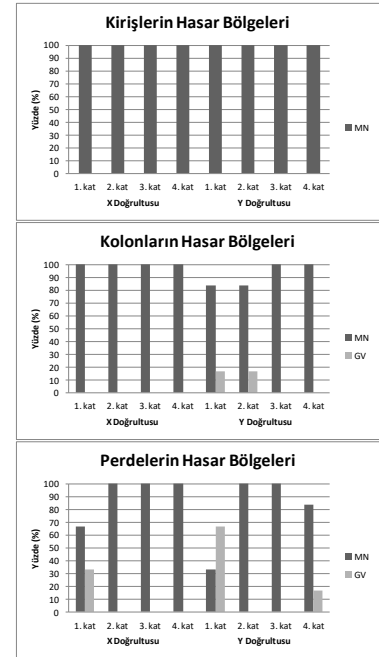
Şekil 21. Eleman Hasar Durumu İçin Akış Şeması

Tasarım depremi etkisinde yapılan analizler sonucunda, tüm taşıyıcı sistem elemanlarının minimum hasar bölgesinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 22). Bundan dolayı, her iki deprem doğrultusu için binanın tasarım depremi etkisinde DBYBHY 2007’nin okul binalarından istediği hemen kullanım performans düzeyini sağladığı görülmüştür.

Şiddetli deprem etkisinde yapılan analizler sonucunda ise, gevrek olarak hasar gören kirişlerin DBYBHY 2007’de belirtildiği üzere güçlendirilmeleri şartı ile kirişlerin tamamı minimum hasar bölgesinde kaldığından, kolonlar da her hangi bir katta ileri hasar bölgesine geçmediğinden, 2. kattaki iki kolonun y doğrultusunda her iki ucunda da minimum hasar sınırı aşılmış olsa da, yapılan hesaplamalar sonucunda bu iki kolon tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin toplamının o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %12 olduğundan, diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesinde olduğundan dolayı, bina iki doğrultu için de deprem yönetmeliğinin şiddetli deprem için okul binalarından istediği performans seviyesi olan can güvenliği performans düzeyini sağlamaktadır.



Şekil 22. Tasarım Depremi Etkisinde Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Hasar Bölgeleri



Şekil 23. Şiddetli Deprem Etkisinde Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Hasar Bölgeleri

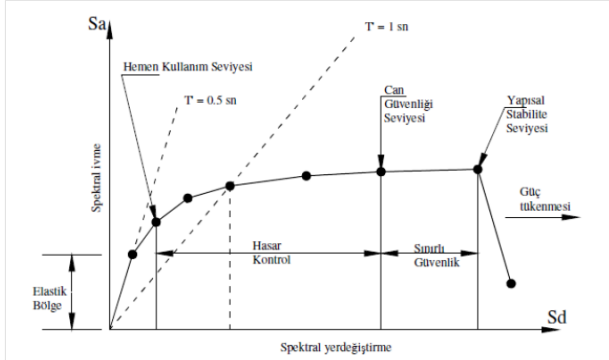
### 3.2 Deprem Performansının ASCE 41-06’ya Göre Değerlendirilmesi

ASCE 41-06, DBYBHY 2007’de olduğu gibi depremleri 50 yılda aşılma olasılıklarına göre sınıflandırmıştır: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (SE, servis veya kullanım depremi), 50 yılda aşılma olasılığı %20, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (BSE-1, tasarım depremi veya temel güvenlik depremi 1), 50 yılda aşılma olasılığı %2 (BSE-2, en büyük deprem veya temel güvenlik depremi 2).

Standart, taşıyıcı sistem elemanları için dört performans seviyesi ve iki performans aralığı, taşıyıcı olmayan elemanlar içinde beş performans seviyesi belirlemiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının performans



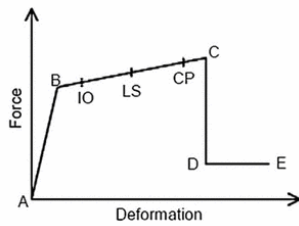
seviyeleri: hemen kullanım (S-1), can güvenliği (S-3), göçmenin önlenmesi (S-5), göçme (S-6) ve performans aralıkları: hasar kontrol (S-2), sınırlı güvenlik (S-4) (Şekil 24) olarak tanımlanmıştır. Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri: kullanıma devam (N-A), hemen kullanım (N-B), can güvenliği (N-C), azaltılmış hasar (N-C), performansın dikkate alınmadığı seviye (N-E) olarak verilmiştir. Yapıların toplam performans seviyelerine ise, standarttaki çizelgeden yararlanılarak, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden sonra karar verilmektedir.



Şekil 24. Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Bina performans seviyesinin belirlenmesinde ASCE 41-06 ile DBYBHY 2007'de paralellik sağlamak maksadıyla, ASCE 41-06'da bina performans seviyesi sadece taşıyıcı sistem elemanlarının hasar seviyeleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. DBYBHY 2007 göz önünde bulundurulurken, ASCE 41-06'daki bina performans seviyeleri: kullanıma devam ve hemen kullanım bina performans seviyeleri (taşıyıcı sistem elemanlarının S-1 hasar seviyesine sahip olması durumunda), can güvenliği bina performans seviyesi (taşıyıcı sistem elemanlarının en kötü S-3 hasar seviyesine sahip olması durumunda), göçmenin önlenmesi bina performans seviyesi (taşıyıcı sistem elemanlarının en kötü S-5 hasar seviyesine sahip olması durumunda) olarak verilmiştir.

Şekil 25 ile standarttaki genelleştirilmiş yük şekil değiştirme eğrisi verilmektedir. Taşıyıcı sistem elemanları için plastik mafsallik özelliklerinin atanması bu şekilde gösterilen parametrelere dayalı olarak yapılmaktadır [25]. SAP2000 programı da Şekil 25'deki eğriden yararlanarak, standardın sınır değerlerini kullanarak taşıyıcı sistem elemanları için hasar seviyelerini belirlemektedir (Şekil 26).



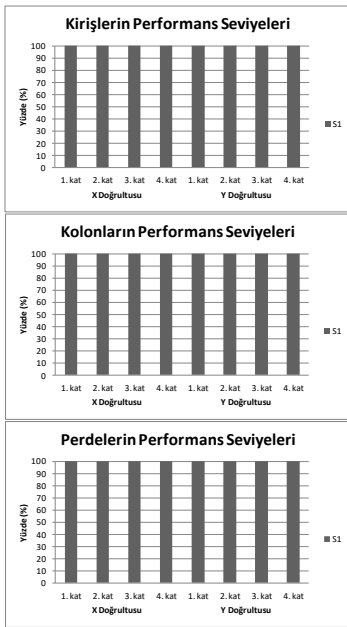
Şekil 25. Kesit Davranışı

Şekil 26. SAP2000 Programı ASCE 41-06 İçin Örnek Moment Dönme İlişkisi

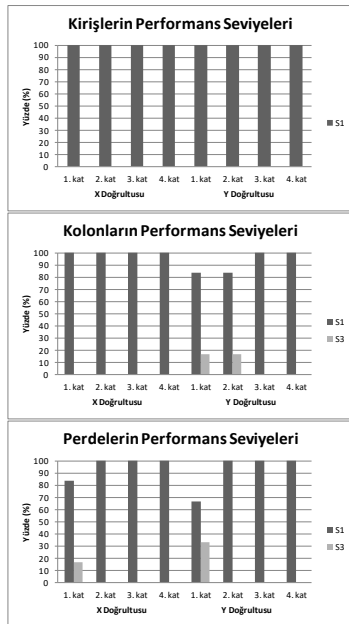
Yapılan çalışmada, SAP2000 programı yardımı ile hesaplanan plastik dönme değerleri, standardın hasar seviyeleri için belirlemiş olduğu plastik dönme sınır değerleri ile karşılaştırılmış, böylece taşıyıcı sistem elemanları için hasar seviyelerine karar verilmiştir. SAP2000, elemanlar için standartta verilen tabloları kullanarak hasar seviyelerinin sınır değerlerini belirlemektedir. Bu sınır değerleri belirlenirken gerektiğinde doğrusal enterpolasyon yapılmaktadır. Program belirlemiş olduğu sınır değerlere göre de eleman performans seviyelerine otomatik olarak karar vermektedir. Programın belirlemiş olduğu sınır değerler ve bütün taşıyıcı sistem elemanlarının hasar seviyeleri, hesaplanan plastik dönme değerleri yardımıyla standarttan kontrol edilmiş ve doğruluğu belirlenmiştir. Yapılan hesap adımları tasarım depremi ve en büyük (şiddetli) deprem için ayrı ayrı yapılmış ve her iki deprem türü için de bina performans seviyesi belirlenmiştir.

Tasarım depremi etkisinde yapılan analizler sonucunda, tüm taşıyıcı sistem elemanlarının hemen kullanım performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir (Şekil 27). Bundan dolayı bina, tasarım depremi etkisinde ASCE 41-06'ya göre hemen kullanım performans düzeyini sağlamıştır.

Şiddetli deprem etkisinde yapılan analiz sonucunda, X doğrultusunda kirişlerin tamamının hemen kullanım performans seviyesini sağladığı, kolonların tamamının hemen kullanım performans seviyesini sağladığı, perdelerden 1. katta 2 perdenin can güvenliği performans seviyesini sağladığı, geri kalan tüm perdelerin ise hemen kullanım performans seviyesini sağladığı; Y doğrultusunda ise kirişlerin tamamının hemen kullanım performans seviyesini sağladığı, kolonlardan 1. katta 2 kolonun, 2. katta 2 kolonun can güvenliği performans seviyesini sağladığı, geri kalan kolonların tamamının hemen kullanım performans seviyesini sağladığı, perdelerden 1. katta 4 perdenin can güvenliği performans seviyesini sağladığı, geri kalan tüm perdelerin ise hemen kullanım performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir (Şekil 28). Dolayısıyla bina şiddetli deprem etkisinde ASCE 41-06'ya göre can güvenliği performans düzeyini sağlamaktadır.



Şekil 27. Tasarım Depremi Etkisinde Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Performans Seviyeleri



Şekil 28. Şiddetli Deprem Etkisinde Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Performans Seviyeleri

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, dört katlı perde ve çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir okul binasının, DBYBHY 2007 bölüm iki ve bölüm üçe göre tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan bu okul binasının deprem performansının değerlendirilmesi, DBYBHY 2007 ve ASCE 41-06'ya göre doğrusal olmayan analiz yöntemi (artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi) kullanılarak yapılmıştır. Binanın taşıyıcı sisteminin tasarımında ve deprem performansı analizlerinde SAP2000 programı, kesit analizi hesaplarında ise RESPONSE2000 programından faydalanılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Doğrusal hesapla doğrusal olmayan hesaplardaki taban kesme kuvvetleri birbirleri ile karşılaştırıldığında, doğrusal olmayan hesaptaki taban kesme kuvvetinin

doğrusal hesaptakinin yaklaşık iki katı olduğu görülmüştür. Bu artan taban kesme kuvvetinin sebebi ise yük artım adımları ile birlikte kapasitelerine ulaşan kesitlerde plastik mafsal oluşması ve bu kesitlerde plastik mafsal oluşmasından sonra gelen yüklerin diğer kesitlerce ortaklaşa paylaşılarak sistem dayanımının artmasıdır. Ayrıca beton ve çeliğin tasarım hesaplarında azaltılmış olan dayanımları da taban kesme kuvvetinin doğrusal hesapta daha küçük çıkmasının sebebidir.

- Tasarım depremi için yapılan analizler ile şiddetli deprem için yapılan analizler karşılaştırıldığında, oluşan plastik mafsal sayısının arttığı, plastik dönme değerlerinin ve oluşan birim şekil değiştirmelerin arttığı belirlenmiştir.
- Düşey taşıyıcı elemanlarda, yatay taşıyıcı elemanlara göre oluşan plastik mafsal sayısı oldukça azdır. Bu da binanın sünek davranışını itme analizi esnasında yansıttığını ve kolonların kirişlerden daha güçlü olması ilkesinin sağlandığını göstermiştir.
- Tasarım depremi için binadaki bütün eleman hasar sınırları minimum hasar bölgesinde kalmıştır. Bina, DBYBHY 2007'de öngörülmesi gibi tasarım depremi etkisinde hemen kullanım performans düzeyini sağlamaktadır.
- Şiddetli deprem etkisinde ise bina DBYBHY 2007'de belirtildiği üzere, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri şartı ile yönetmeliğin öngördüğü gibi can güvenliği performans düzeyini sağlamaktadır. Fakat betonarme tasarımı DBYBHY 2007'ye göre süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan kirişlerden bazılarının, DBYBHY 2007, 7. bölüme göre şiddetli deprem için, kesme kuvveti kapasitelerinin son itme adımında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinden küçük olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı da bu kirişler, şiddetli deprem için gevrek olarak hasar görmüştür. Bu husus tasarımı yapılırken hedef performans seviyesinin de göz önünde bulundurularak tasarımı yapılması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca bu husus, kirişlerin yönetmeliğe uygun olarak dayanım bazıları tasarlanmasına rağmen, şiddetli deprem etkisinde yapılan performans değerlendirilmesinde kirişlerden bazılarının yönetmeliğin öngördüğünün aksine gevrek olarak hasar gördüğünü ortaya çıkarmıştır. Gevrek olarak hasar gören kirişlerin çoğunun perdelerle bağlanan kirişler olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yük aktarımı esnasında elemanlarda oluşabilecek kesit tesirlerinin dikkate alınarak, perde boyutları ile bu perdelerle bağlanan kirişlerin boyutlarının çok iyi hesap edilmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.
- Tasarım depremi için ASCE 41-06 standardına göre yapılan performans değerlendirilmesinde, DBYBHY 2007'de olduğu gibi yapının hemen kullanım performans seviyesini sağladığı, şiddetli deprem için ASCE 41-06 standardına göre yapılan performans değerlendirilmesinde, DBYBHY 2007'de olduğu gibi binanın can güvenliği performans seviyesini sağladığı görülmüştür. Şiddetli deprem için ASCE 41-06 standardına göre hesaplanan eleman hasar durumları ile DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan eleman hasar durumlarının, bazı elemanlarda farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu farklılık gösteren elemanlar incelendiğinde, hasar durumlarını belirlemek için hesaplanan değerlerin yönetmeliklerdeki hasar

sınırlarına çok yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı DBYBHY 2007’de belirgin hasar bölgesinde bulunan bazı elemanlar, ASCE 41-06

standardında hemen kullanım hasar bölgesinde kalmıştır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Eleman Hasar Durumundaki Farklılık İçin Örnek

Label SAP2000	Plastik Dönme ( $\theta$ ) (rad)	$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_s$	DBYBHY 2007 (MN)		ASCE 41-06 (S-1)
				$\epsilon_{cu}$	$\epsilon_s$	( $\theta$ ) (rad)
145	0.004675	0.00372	0.00922	0.0035	0.01	0.005

## 5 Kaynaklar

- [1] Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, Applied Technology Council, California, ABD, 1996.
- [2] Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Washington, ABD, 2000.
- [3] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [4] Aydınoğlu, M.N., Celep, Z., Özer, E., Sucuoğlu, H., Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.
- [5] Canbay, E., Özcebe, G., Sucuoğlu, H., Wasti, T., Ersoy, U., Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara, 2008.
- [6] Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul, 2007.
- [7] Sucuoğlu, H., Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirilmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri / Sayı 444-445- 2006 / 4-5., 24-36, 2007.
- [8] Celep, Z., Gençoğlu, M., Betonarme Yapılarda Şekil Değiştirmeye Dayalı Tasarım ve Değerlendirme, Prof. Dr. Nahit Kumbasar Betonarme Yapılar Semineri Bildiriler Kitabı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [9] Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS 500, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [10] Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE 41-06, American Society of Civil Engineers, Washington DC, ABD, 2007.
- [11] Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS 498, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [12] Structural Analysis Program, SAP 2000 V15.1, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, ABD, 2011.
- [13] Uçar, T., Seçer, M., Beton Sınıfının Yapı Performans Seviyesine Etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, İstanbul, 2007.
- [14] Kasil, B., Celep, Z., A Comparative Study for Seismic Safety Evaluation of a Concrete Building According to the Methods Given in the Turkish Seismic Code (2007), 8th International Congress on Advances in Civil Engineering, Eastern Mediterranean University, Famagusta, North Cyprus, 2008
- [15] Şengöz, A., Sucuoğlu, H., 2007 Deprem Yönetmeliğinde Yer Alan “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi” Yöntemlerinin Artıları ve Eksileri, İMO Teknik Dergi, cilt 20, sayı 1, 4609-4633, 2009.\*
- [16] Güler, K., Güler, M.G., Taşkın, B., Altan, M., Performance Evaluation of a Vertically Irregular RC Building, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.
- [17] İnel, M., Bilgin, H., Özmen, H.B., Orta Yükseklikli Betonarme Binaların Türkiye’de Yaşanan Son Depremlerdeki Performansı, İMO Teknik Dergi, cilt 19, sayı 1, 4319-4331, 2008.
- [18] Darılmaz, K., Betonarme Düzlem Çerçeve Bir Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle Performans değerlendirilmesi, İMO İstanbul Bülten, 94, s. 18-22, 2008.
- [19] Sectional Analysis Program, RESPONSE 2000, University of Toronto, Toronto.
- [20] Fahjan, Y.M., Başak, K., Kubin, J., Tan, M.T., Perdeli Betonarme Yapılar İçin Doğrusal Olmayan Analiz Metotları, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 2011.
- [21] Mander, J.B., Priestly, M.J.N., and Park, R., Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Division ASCE, 114(8): pp. 1804-1826, 1988.
- [22] Celep, Z., Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [23] Arslan, M.H., Köroğlu, M.A., Köken, A., Binaların Yapısal Performansının Statik İtme Analizi İle Belirlenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2) 71-84, 2008.
- [24] Celep, Z., Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [25] Çavdar, Ö., Bayraktar, A., Pushover and Nonlinear Time History Analysis Evaluation of a RC Building Collapsed During The Van (Turkey) Earthquake on October 23, 2011, Natural Hazards, volume 70, issue 1, pp. 657-673, 2014.

### Authors' addresses

**Alperen Turkey<sup>1</sup>, Research Assistant (Corresponding Author)**

Cumhuriyet University  
Faculty of Engineering, Civil Engineering  
aturkay@cumhuriyet.edu.tr

**Kadir Güler<sup>2</sup>, Professor**

İstanbul Technical University  
Faculty of Civil Engineering, Civil Engineering  
kguler@itu.edu.tr