

## PREFABRİKE ENDÜSTRİ YAPILARININ 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİ KOŞULLARINA GÖRE DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ

M.Hakan ARSLAN<sup>1</sup>, Arife AKIN<sup>1</sup>, İ.Hakkı ERKAN<sup>1</sup>, F.Gülten GÜLAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, KONYA

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İSTANBUL

[mharslan@selcuk.edu.tr](mailto:mharslan@selcuk.edu.tr), [arifearslan@selcuk.edu.tr](mailto:arifearslan@selcuk.edu.tr), [hakkierkan1@hotmail.com](mailto:hakkierkan1@hotmail.com), [gulayg@itu.edu.tr](mailto:gulayg@itu.edu.tr)

**ÖZET:** Çalışmada Türkiye’de yaygın olarak üretilmiş olan ve mevcut prefabrikte bina stoğu içerisinde önemli bir yere sahip olan Lambda tipi (kırıklı çerçeve) prefabrikte yapıların 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-2007) kriterlerine göre değerlendirilmesini yapmak amacıyla, 1998 yılında imal edilmiş ve montajı tamamlanmış fakat 1999 depreminde tamamen yıkılmış olan bir örneği değerlendirilecektir. Bu amaç doğrultusunda önce son depremlerde bu tür yapılarda meydana gelen hasarlar ve nedenleri özet olarak verilerek, 2007 yönetmeliğinde prefabrikte betonarme yapıların tasarım ilkelerinde yapılan değişiklikler ve prefabrik yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi konusunda önerilen yaklaşımlar açıklanmıştır. Daha sonra 1998 yönetmeliğine göre tasarlanmış olan prefabrikte sanayi yapısı, yeni yönetmelikte önerilen ‘Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi’ ve ‘Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemlerinden: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ ile SAP2000 programı ile analizleri yapılmıştır. Yapı önce doğrusal elastik yaklaşımla çözümlenerek kolon ve kirişlerin etki/kapasite oranları, yatay yerdeğiştirmeleri ve hasar sınırları bulunmuş, daha sonra SAP2000 programı yardımıyla yapının itme analizi gerçekleştirilerek her iki doğrultudaki kapasite eğrileri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda her iki analiz yöntemine göre de yapının göçme konumunda olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Prefabrikte binalar, deprem hasar seviyeleri, deprem güvenliği, performans düzeyi.

### Seismic Evaluation of A Precast Industrial Building According To The New Turkish Seismic Code

**ABSTRACT:** In order to check the seismic performance of typical two- bay Lambda frames, very commonly used for industrial plants in Turkey, a detailed study on a sample prefabricated structure is performed using the criteria given by the recent Turkish Seismic Code(TEC) issued on March 6th 2007.. At the first part of the paper, the typical damage types in precast systems experienced in past earthquakes and their main causes as well as the new provisions for precast structural systems given in the new code are described and summarized. Then structural and geometric properties of the considered industrial plant are presented which was designed and constructed according to 1998 TEC and totally collapsed in 1999 Marmara Earthquake, after the whole erection process was completed in 1998. For the assessment of its seismic performance level, linear-elastic and non-linear static approaches of the considered prefabricated industrial plant as suggested in the new Turkish Seismic Code are carried out. The demand/ capacity ratios, lateral displacements, and the damage states of the structural members are determined by linear-elastic analysis approach and then, the capacity curves are also obtained in both directions by using static push- over analysis, using SAP2000 software in order to obtain the performance level of the structural system. As a result of this study, the performance level of the sample building is totally collapse level for both analysis methods.

**Keywords:** Precast buildings, seismic damage levels, seismic safety, performance level.

## GİRİŞ

Prefabrike betonarme türü binalar ülkemizde ağırlıklı olarak sanayi yapılarında tercih edilmektedir. Sanayi yapıları üretici firma detaylarına göre değişmekle beraber genellikle üstten mafsallı alttan soket-tekil temelli tek katlı ya da ara katlı ve büyük açıklıklı kolon-kiriş sisteminden oluşmaktadır. Ülkemize 1960'lı yılların sonunda yaygın olarak uygulanmaya başlayan ve sanayi yapıları için çok tercih edilen yapı sistemlerinden biri olan prefabrike betonarme binaların özellikle 1998 deprem yönetmeliği öncesi yapılarının Türkiye gibi topraklarının tamamına yakını deprem kuşağı üzerinde bulunan bir ülkede mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği açısından tehlike içermektedir.

Deprem güvenliği belirlenecek veya güçlendirilecek binalarda taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışı taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı ile gözönüne alınır. Aslında taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışının tek bir katsayı ile hesaba katılması, ilerde yaşanacak depremde meydana gelecek kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin belirlenmesi amacı için mevcut yapıdaki birtakım belirsizlikler nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Sonuçta R katsayısı gibi tek bir katsayıya bağlı inceleme ya aşırı güvenli güçlendirme yapılması sonucunda bina maliyetini gereksiz yükseltmekte ya da bilinçsiz inceleme ve güçlendirme sonucu bölgesel hasarların tetiklenmesi gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Performans kavramı bu eksikliği karşılamak üzere oluşturulmuştur.

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremlerden sonra yapılan yanlış ve yetersiz uygulamaların önüne geçmek amacıyla, 2003 yılında, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili yeni bir bölüm (Bölüm 7) eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmış ve yeni Türk Deprem Yönetmeliği 6 Mart 2007 de (TDY-2007)(2007) yayımlanmıştır.

Bu çalışmada ise TDY-2007'de prefabrike yapılarla ilgili getirilen yeni koşullar

açıldıktan sonra, 1998 yılında yapımı ve montajı tamamlanmış fakat 1999 depreminde tamamen yıkılmış bir örnek prefabrike yapının yönetmelikte önerilen iki ayrı yaklaşımla deprem performansı belirlenmiştir. Öncelikle, TDY-2007 Bölüm 7' ye göre doğrusal elastik hesap yöntemi kullanılarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapı elemanlarının hasar durumu ve etki/ kapasite oranları ve performans düzeyi belirlenmeye çalışılmış, daha sonra doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi yani statik itme analizi (pushover analiz) ile x ve y doğrultularındaki kapasite eğrileri çizilerek yapı performansı incelenmiştir.

## GEÇMİŞ DEPREMLERDE PREFABRİKE ENDÜSTRİ BİNALARININ PERFORMANSI

Prefabrike yapıların beton ve donatı kaliteleri fabrikasyon olarak denetlendiklerinden ve yönetmelik gereği dayanımlarının yüksek olmasından dolayı, malzeme kalitesi olarak istisnalar hariç genelde bir sorunla karşılaşmamaktadır. Deprem yönetmeliklerinin genel felsefesi olan yeterli dayanım, yeterli yanal rijitlik ve yeterli süneklik gibi koşulların sağlanması ise prefabrike yapıların önemli sorunlarıdır. Yapılan araştırmalar (Toniolo 2002, Tezcan ve Boduroğlu 1998), prefabrike yapılarda en önemli sorunun yatay yükün karşılanma sorunu olduğunu göstermiştir. Endüstri tipi tek katlı prefabrike yapılarda özellikle yaygın olarak kullanılan alttan ankastre üstten mafsallı (ters sarkaç tipi) tasarımlar deprem durumunda gelecek olan yatay kuvveti maksimum seviyede deplasmana çeviren ve dolayısıyla yeterli önlem alınmadıysa hasara sebebiyet veren bir karaktere sahiptir.

Son yıllarda oluşan depremler sonucunda prefabrike betonarme yapılarda meydana gelen hasar sebepleri şöyle özetlenebilir;

- Dolu gövdeli eğimli çatı kirişlerinin kolonlarla bağlandığı bölgelerde detaylandırma eksiklikleri,
- Birleşim hesaplarının çerçeveye dik doğrultuda oluşacak atalet kuvvetlerinden doğan devrilme momenti ve kesme kuvvetleri de dikkate alınarak yapılmaması, kullanılacak bağlantı elemanlarının

- çaplarının ve ankraj boylarının bu etkilere göre bulunmamış olması,
- Dilatasyondaki kirişlerin belli bir deplasmana müsaade edebilecek şekilde bağlanmamış ve deprem sırasında oluşacak farklı deplasmanlardan dolayı kirişin mesnetten kurtulmasını önleyecek tedbirlerin alınmamış olması,
- Kolon kesitlerinin özellikle çerçeveye dik yönde yetersiz olması (kolon tasarımlarındaki asimetric yaklaşım) ve içerisinde bulunan donatının çok sık olarak ve yönetmeliklerde verilen maksimum kolon donatı oranına çok yakın olarak tasarlanmış olması,
- Tepe kirişi kolon bağlantısında bağlantı donatısının çapının ve ankraj boyunun yetersiz olması ve kullanılan dolgu malzemesinin istenilen nitelikte olmaması,
- Kolonların narin olması nedeniyle kolon uçlarının yönetmelikte öngörülenden fazla deplasman yapmış olması ve dolayısıyla yapıda aynı deplasmanı yapamayan tali elemanların yapının taşıyıcı sistemine zarar vermiş olması,
- Özellikle iki ve daha fazla açıklıklı yapılarda dış duvarların bulunup iç duvarların olmayışı çerçeveye dik yönde deplasman farklılıkları gibi nedenlerle özellikle 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde ağır hasarlar yaşanmıştır.

Yukarıda bahsedilen hasarlar ve sebeplerinin yanında, özellikle Türk deprem yönetmeliği (TDY-98) (1998), mafsallı bağlantılı çerçevelerde yapı davranış katsayısının ( $R=5$  alınabileceğini öngördüğü deprem yükü azaltma katsayısı ile ilgili de araştırmacıların değişik önerileri olmuştur (Arslan ve diğerleri, 2007).

### **PREFABRİKE BETONARME BİNALAR DEĞİŞEN TDY 2007 KOŞULLARI**

Geçmiş depremlerde yaşanan hasarlar, uygulama ve araştırmacıların önerileri doğrultusunda 2007 Deprem Yönetmeliğinde prefabrikte yapı tasarımı ile ilgili aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır.

- Deprem yüklerinin tamamının üstteki bağlantılarının mafsallı olduğu tek katlı binalarda taşıyıcı sistem davranış katsayısı

1998 yönetmeliğinde 5 iken 2007 yönetmeliğinde 3 olarak alınması gerektiği bildirilmiştir.

- 2007 yönetmeliğine göre bu tür tek katlı binaların içinde, planda binanın oturma alanının %25'inden fazla olmamak kaydı ile, kısmi tek bir ara kat yapılabilir. 1998 yönetmeliğinde ise kısmi ara kat ile ilgili bir koşul verilmemiştir.
- Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında 1998 yönetmeliğinde  $(\Delta_i)_{max} / h_i \leq 0.0035$  şartı varken, 2007 yönetmeliğinde sadece  $(\Delta_i)_{max} / h_i \leq 0.02 / R$  şartı söz konusudur. Bu durumda söz konusu üstten mafsallı tek katlı binalar için yeni yönetmelik yatay deplasman sınırını %90 artırmıştır.
- Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan S420' den daha yüksek dayanımlı olmayan donatı çeliği için deneysel olarak bulunan ortalama kopma dayanımı, yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1.15 katından daha az olmayacaktır. 1998 yönetmeliğinde bu katsayı 1.25 olarak alınmaktaydı.
- Kaynaklı olarak yapılan mafsallı bağlantılar, depremden oluşacak bağlantı kuvvetlerinin en az 2.0 katını, diğer mafsallı bağlantılar ise en az 1.5 katını taşıyacak dayanıma sahip olacaklardır. 1998 yönetmeliğinde bu katsayılar sırasıyla 1.5 ve 1.2 olarak verilmişti. Ayrıca birleşim hesaplarında emniyet gerilmeleri en fazla %15 arttırılabilir.

### **PREFABRİKE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİNDE ESAS ÖLÇÜTLER**

Yeni Deprem Yönetmeliğinde prefabrikte yapılarla ilgili yukarıda belirtilen değişikliklerle beraber yine prefabrikte betonarme binaları da kapsayan mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili yeni bir bölüm (Bölüm 7) eklenmiştir.

2007 Deprem Yönetmeliğine göre (Bölüm 7.1.3.) prefabrikte yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi ya Bölüm 2 ve Bölüm 3 te verilen yeni binaların

tasarım ilkelerine yani Doğrusal Elastik Hesap Yöntemlerine göre ya da yönetmeliğin 7.6 bölümünde verilen doğrusal-elastik olmayan değerlendirme yöntemi ile yapılabilir. Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları "sünek" ve "gevrek" olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir. Kırılma türü eğilme olan yapı elemanı sünek, kesme olan yapı elemanı ise gevrek eleman olarak tanımlanmıştır. Mevcut prefabrike binaların değerlendirilmesi ile ilgili önemli kriterler aşağıda özetlenmiştir

### Binalardan Bilgi Toplanması

Binalardan toplanan bilginin kapsam ve güvenilirliğine bağlı olarak taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanması için yönetmelikte üç bilgi düzeyi tanımlanmıştır. Prefabrike betonarme binalar projeleri ve yapım koşulları konvansiyonel betonarme binalara göre daha net ve belirli olan binalardır. Bu tür binalarda orta bilgi düzeyi yada genellikle kapsamlı bilgi düzeyi kullanılabilir. Dolayısıyla TDY-2007'ye göre bilgi düzeyi katsayısı 0.90 veya 1.00 alınabilir. Eleman kapasitelerinin hesabında malzeme katsayıları ile bölünmeden mevcut malzeme dayanımları kullanılır.

### Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum

Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı'dır (GÇ) (Şekil 1).

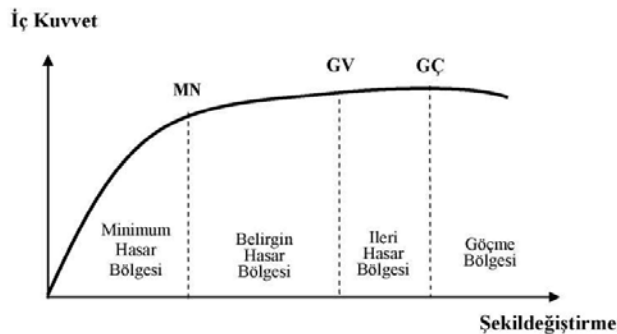
- **Minimum hasar sınırı (MN):** Kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını,
- **Güvenlik sınırı (GV):** Kesitte dayanımın güvenli olarak sağlanabileceği durumda, elastik ötesi davranışın üst sınırını,
- **Göçme sınırı (GÇ):** Kesitin göçme öncesi davranışının üst sınırını tanımlamaktadır.

Kritik kesitleri MN'ye ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesinde, MN ile GV arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesinde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde, GÇ'yi aşan elemanlar ise göçme bölgesinde kabul edilirler. Eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı kesiti belirler. Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitesine ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir. Prefabrike yapılarda özellikle eksenel basınç değerleri çok düşük kaldığı için kapasiteye eğilme etkisi altında ulaşılmaktadır.

### Bina deprem performans seviyeleri

Yeni Yönetmelikte ATC40 (1996) ve FEMA356 (2000) ve FEMA 440 (2005) te verilenlere benzer şekilde deprem etkisi altında oluşması beklenen üç farklı performans düzeyi tanımlanmıştır.

1. Hemen kullanım performans düzeyi (HK)
2. Can güvenliği performans düzeyi (CG)
3. Göçme öncesi performans düzeyi (GÖ)



Şekil 1. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

Figure 1.

Prefabrikte endüstri yapıları için öngörülen minimum performans hedefi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (yaklaşık dönüş periyodu 475 yıl) Can güvenliği (CG) performans düzeyidir. Buna göre mevcut bir yapının değerlendirilmesi için deprem hareketi olarak bina tasarımında kullanılan ivme spektrumu aynen alınır. Eğer endüstri yapısı içinde tehlikeli bir madde bulunuyorsa bu durumda 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depreme göre hesap yapılmalıdır. Diğer bir ifade ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (yaklaşık dönüş periyodu 475 yıl) deprem için hesap yapılır ama Hemen Kullanım (HK) performans düzeyi kabul edilir.

## **PREFABRİKE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİNDE HESAP YÖNTEMLERİ**

### **Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri**

Doğrusal elastik yöntemlerde yapı elemanlarının hasar sınırları elemanın taşıma kapasitelerine ve süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Buna karşılık, deprem talebi için elastik deprem etkileri altında  $R=1$  ve Bina önem katsayısı  $I=1$  alınarak doğrusal teoriye göre iç kuvvetler bulunur. Tek katlı prefabrikte endüstri yapılarında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılır.

Sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin hasar sınırlarını tanımlayan  $r_s$  etki/kapasite oranları, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin, kesit artık eğilme moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık eğilme moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan eğilme momentinin farkıdır. Kiriş elemanların donatı oranı, sargılama durumu ve kesme dayanımına bağlı olarak elde edilen  $r_s$  etki/kapasite oranına göre hasar sınırları belirlenir. Kolon elemanların ise normal kuvvet oranı, sargılama durumu ve kesme dayanımı ile  $r_s$  etki/kapasite oranları ve hasar sınırları belirlenir.

İncelenen yapının her iki yönde de rölatif kat ötelenme oranlarının sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilir (TDY-2007'de Tablo 7.2 ve 7.3).

### **Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri**

Tek katlı prefabrikte yapıların performans değerlendirmesi, 2007 Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılabilir. Bu yaklaşımda sünek davranışlı elemanların plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek elemanların iç kuvvet istemleri hesaplanarak hasar durumları tespit edilir.

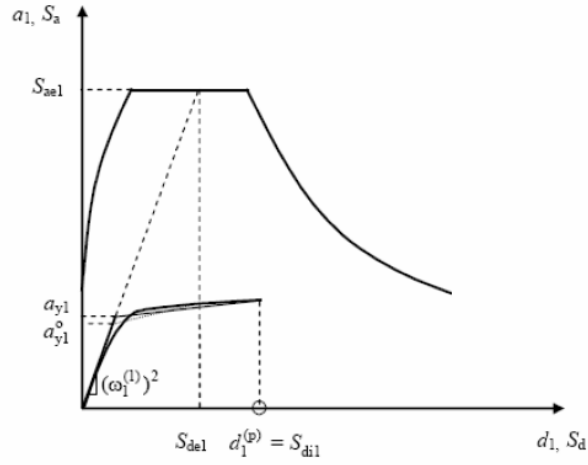
Bu yöntemde periyot-spektral ivme eğrisi ile, taşıyıcı sistemin yük-deplasman eğrisinin aynı eksen takımında gösterimi neticesinde performans noktası bulunur (Şekil 2) . Söz konusu performans noktasında taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların uç kesitlerinin dönme değerleri bulunarak sınır değerlerle kontrol edilir (Tablo 1). Böylece kesit hasar indeksleri de elde edilmiş olur. Kesit hasar dağılımından bina için global değerlendirmeye geçilir.

### **ÖRNEK YAPI VE YENİ YÖNETMELİĞE GÖRE DEĞERLENDİRME**

Çalışmada sayısal uygulama olarak Marmara Bölgesinde 1998 yılında inşa edilip montajı tamamlanmış fakat 1999 Marmara depreminden sonra tamamen yıkılmış olan tek katlı iki açıklıklı lambda tipi prefabrikte yapı sisteminin deprem performansı değerlendirilmiştir. Örnek yapının deprem önce ve sonrası resimleri Şekil 3'de verilmiştir.

Sistemde ana kirişler de açıklık 20.00 metre ve kat yüksekliği ise dere altı – grobeton üzeri 6.00 metredir. Söz konusu çerçeve'de kullanılan beton 30 MPa basınç dayanımlı, donatı çeliği ise etriye ve düz donatılar için 420 MPa çekme dayanımlı olarak düşünülmüştür. Çerçeve aralıkları:7.00 m olup  $g=7.7$  kN/m  $q=3.5$  kN/m alınmıştır (Şekil 4-5, Tablo 2-3).

Yapının kesit özellikleri ve yükleme durumları Şekil 4-5 ve Tablo 2-3'de verilmiştir. Yapı 1. derece deprem bölgesinde bulunmakta olup yerel zemin sınıfı Z3 olarak alınmıştır. Şekil 6'da SAP2000 (2000) programından alınan model görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2. Elastik spektrum eğrisi ve elastik olmayan kapasite eğrisi.

Figure 2.

Tablo 1. Beton ve donatıda şekil değiştirme sınırı.

Table 1.

Şekil Değişirme Sınırı	Hasar Sınırı	
	Betonda Birim Kısılma	Donatıda Birim Kısılma ve Uzama
Minimum hasar sınırı	0.0035	0.010
Güvenlik sınırı	$\min(0.0035+0.010(Q_s/Q_{sm}), 0.0135)$	0.040
Göçme sınırı	$\min(0.0040+0.014(Q_s/Q_{sm}), 0.0180)$	0.060



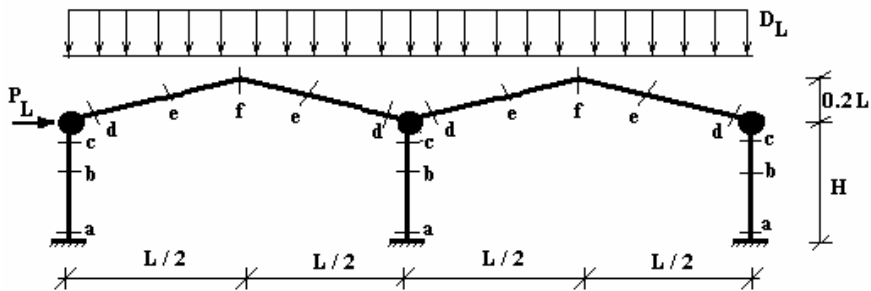
Örnek yapının 1999 Marmara depremi öncesi durumu



Örnek yapının 1999 Marmara depremi sonrası durumu

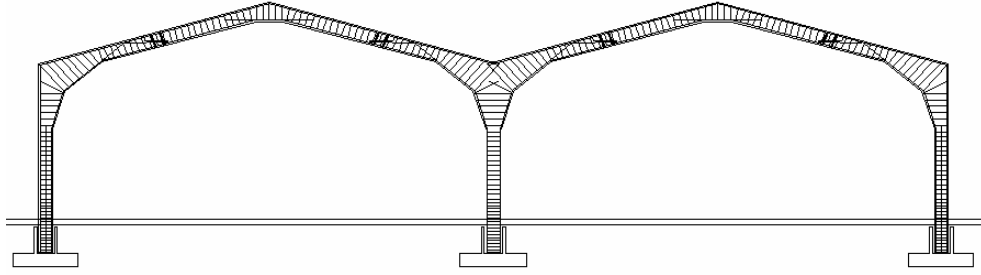
Şekil 3. Örnek yapı (Arslan ve diğerleri, 2007).

Figure 3.



Şekil 4. Örnek yapı yükleme ve kesit bilgileri (Arslan ve diğerleri, 2007).

Figure 4.



Şekil 5. Örnek yapı donatı şeması (Arslan ve diğerleri, 2007).

Figure 5.

Tablo 2. Örnek yapı değerleri.

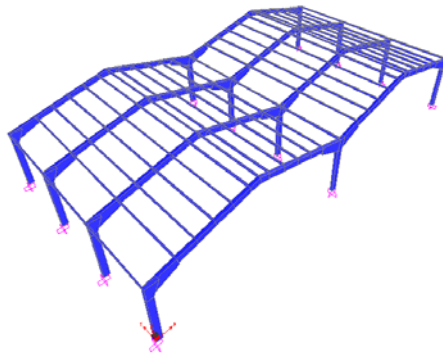
Table 2.

	D <sub>t</sub> (KN/m)
(1.4 G + 1.6Q)	16.38
G+Q±E	11.20

Tablo 3. Örnek yapı kesit boyutları, donatılar ve malzeme özellikleri.

Table 3.

Kesit tipi / Boyutu	Eleman Türü	Donatı Miktarı	Donatı Oranı (●●●)	Boyuna Donatı Akma Dayanımı (MPa)	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Etriye Akma Dayanımı (MPa)
a / 30 x 55	Kolon	10●20 + 2●18	1.89	420	30	420
b / 30 x 55	Kolon	8●20 + 2●18	1.57	420	30	420
c,d / 35 x 109	Kolon-Kiriş	10●20 + 6●18	1.22	420	30	420
e / 30 x 50	Kiriş	4●20 + 2●20	0.69	420	30	420
f / 30 x 50	Kiriş	4●20 + 4●20	0.69	420	30	420



Şekil 6. SAP2000 model görüntüsü.

Figure 6.

### Yönetmelik koşullarına göre elemanların hasar sınırlarının belirlenmesi

#### Doğrusal Elastik Hesap ile Yapı Analizi

Doğrusal elastik yöntemlerde yapı elemanlarının kapasiteleri elemanın taşıma kapasitelerine ve süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Buna karşılık, deprem talebi

için elastik deprem etkileri altında doğrusal teoriye göre hesap yapılır. Çözüm sırasında deprem yükü azaltma katsayısı  $R=1$  alınmıştır.

Çerçeve ana aksı için  $x$ , çerçeveye dik yöndeki aks için  $y$  yönü tanımlaması yapılırsa, her iki doğrultu için etki/kapasite oranları Tablo 4 ve 5’de verilmiştir. Burada sadece ara akstaki çerçeve elemanında kenar ve orta kolon elemanları göz önüne alınmıştır. Tabloda yer alan kısaltmalar sırasıyla,  $M_{Ex}$   $x$  yönünde depremden dolayı oluşan moment,  $M_{Ey}$   $y$  yönünde depremden dolayı oluşan moment,  $M_R$  tasarım momenti,  $M_D$  düşey yüklerden dolayı oluşan moment,  $M_A$  artık moment ve  $r$  etki/kapasite oranlarını göstermektedir.

Kirişler için ise sadece eğilmeye maruz oldukları eksen dikkate alınarak çerçeve ana aksı için hesap yapılmış ve Tablo 6’da ayrıntıları verilmiştir.

**Tablo 4.** Kolonlar için x yönü etki kapasite oranları (çerçeve yönü).

	<i>Table 4.</i>			
	Kenar Kolon		Orta Kolon	
	Alt uç (a)	Üst uç (c)	Alt uç (a)	Üst uç (c)
$M_{Ex}$	9159.34	5832.75	10972.12	9443.71
$M_R$	3300	9800	3300	9800
$M_D$	-3202.09	4594.89	0	0
$M_A=M_R-M_D$	6502.09	5205.11	3300	9800
$r = M_{Ex}/M_A$	1.41	1.12	3.32	0.96
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	MN-GV	MN-GV	MN-GV	MN
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	Belirgin Hasar		Belirgin Hasar	

**Tablo 5.** Kolonlar için y yönü etki kapasite oranları (çerçeveye dik yön).

	<i>Table 5.</i>			
	Kenar Kolon		Orta Kolon	
	Alt uç	Üst uç	Alt uç	Üst uç
$M_{Ey}$	16800	0	16800	0
$M_R$	1650	1700	1650	1700
$M_D$	0	0	0	0
$M_A=M_R-M_D$	1650	1700	1650	1700
$r = M_{Ey}/M_A$	10.18	0	10.18	0
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	GÇ	MN	GÇ	MN
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	Göçme Bölgesi		Göçme Bölgesi	

**Tablo 6.** Kirişler için x yönü etki kapasite oranları (çerçeve yönü).

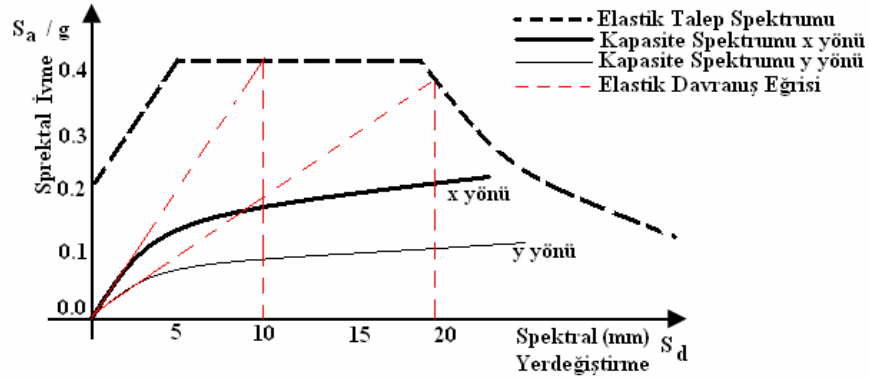
	<i>Table 6.</i>			
	Sağ Açıklık		Sol Açıklık	
	Sol uç (d)	Sağ uç (f)	Sol uç (f)	Sağ uç (d)
$M_{Ex}$	5832.75	4721.85	4721.85	5832.75
$M_R$	2050	2050	2050	2050
$M_D$	-4594.89	-4594.89	-4594.89	-4594.89
$M_A=M_R-M_D$	6644.89	6644.89	6644.89	6644.89
$r = M_{Ex}/M_A$	0.877	0.71	0.71	0.877
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	MN	MN	GÇ	
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	Minimum Hasar Bölgesi		Minimum Hasar Bölgesi	

*Doğrusal Elastik Olmayan Yapı Analizi*

Örnek binanın SAP2000 programında yapılan modellenmesi ve pushover analiz neticesinde her iki yönde de kapasite eğrisi elde edilmiştir (Şekil 7). Kolon ve kirişlerin mafsallaşma bölgelerinde oluşan

deformasyonların sayısal değerleri Tablo 7-9'da verilmiştir. Buradaki değerlendirme Tablo 1'e göre yapılmıştır.





Şekil 7. Sistemin performans noktasının bulunması.

Figure 7.

Tablo 7. Kolonlar için x yönü şekil değiştirme oranları.

Table 7.

	Alt Uç		Üst Uç	
	Betonda Birim Kısalma	Donatıda birim kısalma yada uzaman	Betonda Birim Kısalma	Donatıda birim kısalma yada uzaman
<b>Kenar Kolon</b>	0.0041-GV	0.013-GV	0.0022-MN	0.005-MN
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	GV		MN	
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	Belirgin Hasar Bölgesi			
<b>Orta Kolon</b>	0.0049-GV	0.019-GV	0.0025-MN	0.019-MN
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	GV		MN	
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	Belirgin Hasar Bölgesi			

Tablo 8. Kolonlar için y yönü şekil değiştirme oranları.

Table 8.

	Alt Uç		Üst Uç	
	Betonda Birim Kısalma	Donatıda birim kısalma yada uzaman	Betonda Birim Kısalma	Donatıda birim kısalma yada uzaman
<b>Kenar Kolon</b>	0.0145-GÇ	0.045-GÇ	0.0031-MN	0.007-MN
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	GÇ		MN	
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	İleri Hasar Bölgesi			
<b>Orta Kolon</b>	0.020-GÇ	0.048-GÇ	0.0063-GV	0.009-MN
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	GÇ		GV	
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	İleri Hasar Bölgesi			

Tablo 9. Kirişler için şekil değiştirme oranları.

Table 9.

	Sağ Uç		Sol Uç	
	Betonda Birim Kısalma	Donatıda birim kısalma yada uzaman	Betonda Birim Kısalma	Donatıda birim kısalma yada uzaman
<b>Kiriş</b>	0.0049-GV	0.0013-GV	0.0049-GV	0.0013-GV
<b>Kesit Hasar Durumu</b>	GV		GV	
<b>Eleman Hasar Durumu</b>	Belirgin Hasar Bölgesi			

## SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Çalışmada Türkiye’de yaygın olarak üretilmiş olan ve mevcut prefabrik bina stoğu içerisinde önemli bir yere sahip olan Lambda tipi (kırıklı çerçeve) prefabrik yapıların Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-2007) kriterlerine göre performans değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmede 1998 deprem yönetmeliğine göre tasarlanarak Adapazarı Sanayi bölgesinde inşa edilen örnek bir prefabrik bina alınarak; Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi ve Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemlerinden: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile değerlendirilmiştir.

- Her iki yöntemde de x yönü için hesapta; kenar ve orta kolonlarda belirgin hasar bölgesinde bir performans durumu vardır.
- Lineer yöntemde de y yönü için hesapta; kenar ve orta kolonlarda göçme bölgesi durumu varken lineer olmayan hesapta ileri hasar bölgesinde

bir performans durumu ortaya çıkmıştır.

- Lineer yöntemde de kirişlerde minimum hasar durumu varken, lineer olmayan yöntemde belirgin hasar durumu ortaya çıkmıştır.

Her iki yöntemin uygulanması sonucunda kenar ve orta kolonlar y yönü istikametinde göçme konumundadır. Prefabrik yapıların kurgusu gereği taşıyıcı sistemi oluşturan tüm kolonların aynı özellikte olması sebebiyle de yapısal performans “Göçme Durumu” olarak belirlenmektedir. X yönünde ise “Göçme Öncesi Performans Düzeyi ile Göçme Durumu” arasında yapısal bir performans vardır.

Deprem yönetmeliğinin 7. Bölümüne göre yapılan analizler sonucunda her iki yöntemle de çözümde yapının kullanımının can güvenliği açısından sakıncalı olduğu bir durum ortaya çıkmaktadır. Analiz sonucu ile gerçek deprem sonucu ise yapının 17 Ağustos 1999 depreminde yıkılması ile örtüşmüştür.

## KAYNAKLAR

- Applied Technology Council, ATC-40, 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, vols. 1 and 2. California.
- Arslan M.H. & Korkmaz H.H. & Gulay F.G., (2006), Damage and failure pattern of prefabricated structures after major earthquakes in Turkey and shortfalls of the Turkish Earthquake code, *Engineering Failure Analysis*, 13/4, 537-557.
- Arslan M. H. & Ceylan M. & Kaltakçı M. Y. & Ozbay Y. & Gulay F. G., (2007), Prediction of force reduction factor (R) of prefabricated industrial buildings using neural networks, *Structural Engineering and Mechanics*, 27/2, 117-134.
- FEMA-356, Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings. FEMA, 2000.
- FEMA-440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, FEMA, 2005.
- SAP2000, (2000), Structural Analysis Program, Nonlinear Version 7.12, Computer and structures, Inc. Berkeley, CA, USA.
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (TDY), (1998), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Tezcan S.S. ve M.H.Boduroğlu, “A Reconnaissance Report June 27, 1998 Adana-Ceyhan Earthquake” Turkish Earthquake Foundation Publications,1998. TDV/DR 98-026 Istanbul, August, 10.
- Toniolo G., “The Seismic Design of Pre-cast Concrete Structures in The New Eurocode 8” 17 international congress of the pre-cast concrete industry, 2002, 1-4 May, Istanbul, Turkey.
- Türk Deprem Yönetmeliği (TDY), (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.