

## KOLON KESİT PARAMETRELERİNİN PREFABRİK SANAYİ YAPILARININ HASAR GÖREBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

Ali Haydar KAYHAN\*, Şevket Murat ŞENEL

\*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, DENİZLİ  
Tel: 0 258 2963393 (Ali Haydar KAYHAN)  
e-mail: hkayhan@pau.edu.tr

Alınış: 30 Temmuz 2008  
Kabul Ediliş: 1 Eylül 2008

**Özet:** Bu çalışmada Türkiye'deki tek katlı prefabrik sanayi yapıları için hasar olasılık eğrileri analitik yolla elde edilmiştir. Kolon kesit parametrelerinin hasar görebilirliğe etkisinin değerlendirilebilmesi amacıyla kolon boyutu, boyuna donatı oranı, etriye aralığı parametrelerine bağlı olarak 8 tipik prefabrik sanayi yapısı modeli kullanılmıştır. Doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz için 28 depreme ait 360 ivme kaydı seçilmiştir. Yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen PGV seçilmiştir. Yapısal tepki parametresi olarak kritik kesitte beton ve çeliğin birim şekil değiştirmelerine bağlı olarak hesaplanan yatay deplasman kullanılmıştır. Seçilen parametrelerin, prefabrik yapıların hasar görebilirliği üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal ötesi analiz, hasar görebilirlik eğrileri, prefabrik sanayi yapıları

### Effect of Column Section Parameters on Fragility of Precast Industrial Buildings

**Abstract:** The aim of this study to obtain analytical fragility curves for precast industrial buildings in Turkey. In order to determine the effect of column section parameters on fragility curves, 8 typical precast buildings are considered according to column section, longitudinal reinforcement ratio and stirrup spacing. 360 ground motions, selected from 28 different earthquakes, are used for nonlinear time history analysis. Using the structural response parameters and ground motion parameter PGV, fragility curves are constructed assuming two-parameter lognormal distribution. Lateral displacement is selected as structural response parameter. Fragility curves are suggested for immediate occupancy, life safety and collapse prevention damage levels. Results show that, concerned parameters affect fragility of precast industrial buildings.

**Keywords:** Nonlinear analysis, fragility curves, precast industrial buildings

### Giriş

Dünyada meydana gelen depremler önemli can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Bu sebeple, yeni yapıların depreme dayanıklı tasarımı yanında mevcut yapıların deprem performansının ve deprem riskinin değerlendirilmesi konusu da günümüzde büyük önem kazanmıştır. Depremlerden dolayı yapılarda meydana gelebilecek hasarın ve olası kayıpların tahmini, kayıpları azaltmak amacıyla yerel, bölgesel ya da ülke çapında alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından çok önemlidir.

Hasar görebilirlik eğrileri, depremden dolayı, yapılarda değişik seviyelerde hasar görebilme olasılığını tahmin etmek amacıyla yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır ve eğrilerin türetilmesinde kullanılacak verilerin elde edilmiş biçimine bağlı olarak ampirik ya da analitik olarak isimlendirilmektedir. Ampirik eğrilerin oluşturulmasında, deney sonuçlarının ya da geçmiş depremlerde gözlenen yapısal hasarların dağılımı dikkate alınmakta iken (Yamazaki ve ark., 2000; Basoz ve Kiremidjian, 1997, Shinozuka ve ark., 2000a; Rossetto ve Elnashai, 2003; Kircher ve ark., 1997) analitik yöntemde ise yapısal modellerin doğrusal ötesi analizleri neticesinde elde edilen veriler kullanılmaktadır. Analitik yöntem kullanılarak, betonarme binalar, yığma binalar ve köprüler için önerilen hasar olasılık eğrileri literatürde yer almaktadır (Karim ve Yamazaki, 2001; Shinozuka ve ark., 2000b; Karimi ve Bakshi, 2006; Erberik ve Elnashai, 2004). Türkiye'de hasar görebilirlik eğrileri ile ilgili çalışmalarda genel olarak mevcut betonarme yapılar dikkate alınmıştır [Kirçil ve Polat, 2006; Akkar ve ark., 2005; Erberik, 2007; Ay ve ark., 2006]. Hasar görebilirlik matematiksel olarak Denklem 1'de verilen koşullu olasılık ifadesi ile gösterilebilir:

$$\text{Hasar Görebilirlik} = P[R \geq r | I] \quad (1)$$

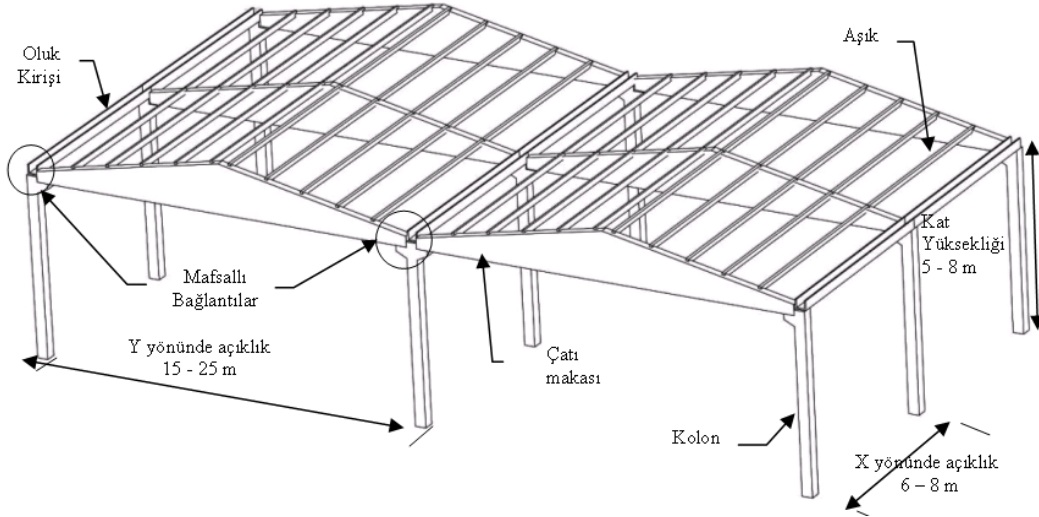
Denklem 1'de  $R$  analiz sonucu hesaplanmış yapısal tepkiyi ve  $r$  öngörülen hasar seviyesi için yapısal tepkinin limit değerini ifade etmektedir.  $I$  ise yapısal tepkinin, hasar seviyesine ait limit değeri aşma olasılığının hesaplanması amacıyla rastgele değişken olarak kullanılan yer hareketi parametresidir.

Türkiye'de mevcut sanayi yapılarının %90'ı prefabrik taşıyıcı sisteme sahiptir (Karaesmen, 2001). Bu yapılar hızlı imalat ve sanayi yapılarının ihtiyaç duyduğu geniş açıklık imkanları dolayısıyla özellikle 1980'lerin başından itibaren tercih edilmiştir. Sanayi yapılarının tasarımında 1998 yılına kadar 1975 tarihli Afet Yönetmeliği (AY75, 1975), 1998 yılından 2007 yılına kadar ise 1998 tarihli Afet Yönetmeliği (AY98, 1998) kullanılmıştır. 1998 Adana ve 1999 Marmara depremleri prefabrik sanayi yapılarının hasar görmelerine ve bu yapıların da deprem performanslarının sorgulanmasına sebep olmuştur (Ataköy, 1999; Posada ve Wood, 2002; Sezen ve Whittaker, 2006; Arslan ve ark., 2005). Olası depremlerde prefabrik sanayi yapılarında meydana gelecek hasarlar, can kaybının yanı sıra önemli ekonomik kayba sebep olacaktır.

Bu çalışmanın amacı tek katlı prefabrik sanayi yapıları için hasar görebilirlik eğrilerini analitik olarak elde etmek ve kolon davranışını etkileyen parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Bu amaçla kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı ve etriye aralığı parametrelerine bağlı olarak 8 tipik sanayi yapısı modeli oluşturulmuştur. Yapısal tepki doğrusal ötesi dinamik analiz ile elde edilmiştir. Doğrusal ötesi dinamik analiz için 28 depreme ait toplam 360 ivme kaydı kullanılmıştır. Yapısal tepki parametresi olarak yatay deplasman kullanılmıştır. Yatay deplasmanların hemen kullanım (MN), can güvenliği (GV) ve göçmenin önlenmesi (GÇ) hasar seviyelerine ait limit değerleri, kolon alt uçlarındaki kritik kesitte beton ve çeliğin birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak Deprem Yönetmeliği'nde (DY06, 2006) tanımlanan şekilde kullanılmıştır. Lognormal dağıldığı kabul edilen PGV değerine bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

### PREFABRİK YAPILAR VE DEPREMLERDE GÖZLENEN HASARLAR

Fabrikasyon üretim tekniği ve bu tür yapıların kullanım amaçlarındaki benzerlikler sebebiyle beton ve donatı sınıfı, aks açıklıkları, kolonlardaki düşük eksenel yük seviyeleri gibi pek çok yapısal özellik birbirine benzemektedir. Bu tür yapıların tasarımda kullanılan kriterler özellikle AY98 ile önemli değişikliklere uğramıştır. Büyüyen deprem kuvvetleri ve getirilen görelî deplasman sınırlamaları sebebiyle 1998 sonrası tasarım kuralları daha büyük kolon boyutlarını gerekli hale getirmiştir. Artan kolon boyutları hem rijitliği, hem de sistemin taban kesme kapasitesini arttırmıştır.



Şekil 1. Tek katlı prefabrik sanayi yapısının tipik yapısı

Tek katlı sanayi yapıları, çubuk elemanlardan (kolon, çatı makası, aşık ve oluk) oluşan taşıyıcı sisteme sahiptir (Şekil 1). Planda genellikle dikdörtgen forma sahip olan sanayi yapıları, çatı makası düzlemi yönünde (Y yönü) tek ya da çok açıklıklı, çatı makası düzlemine dik yönde (X yönü) ise çok açıklıklı olarak inşa edilmektedir. Yatay ve düşey yükler temele ankastre bağlanan kolonlar tarafından taşınmaktadır. Çatı makası ve oluk kirişleri kolonlara iki uçlarından mafsallı olarak bağlanmaktadır. Aşıklar ise çatı makalarına mafsallı olarak bağlanmaktadır. Dolayısıyla çatı düzlemindeki tüm bağlantılar mafsallı yani moment aktarmayan şekildedir. Çatı kaplaması olarak hafif malzemeler (alüminyum sac vs.) bina dış aks cephelelerinin kapatılmasında da genellikle prefabrik paneller tercih edilmektedir.

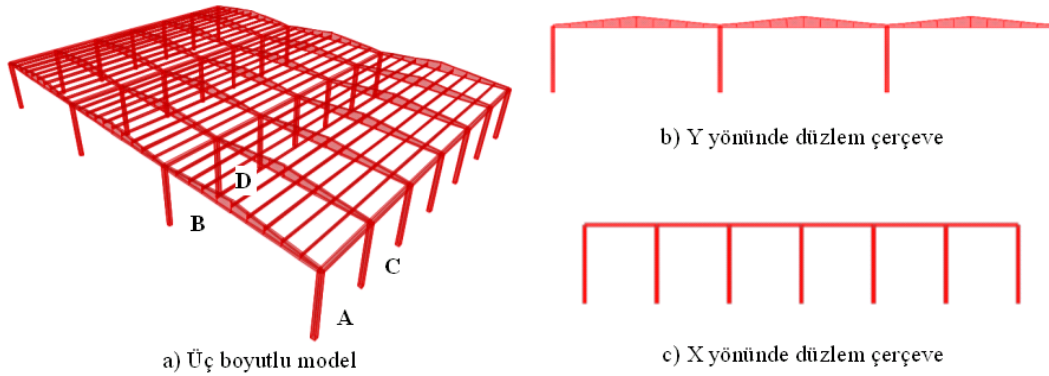
Çatı düzlemindeki bağlantıların mafsallı olması sebebiyle, çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedir. Bu sebeple, prefabrik sanayi yapılarının üç boyutlu analizi uygun olmamaktadır. Dolayısıyla bu tür yapıların tasarımı ya da analizi kendisini oluşturan düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınarak yapılmaktadır.

1998 Adana ve 1999 Marmara depremleri prefabrik sanayi yapılarının hasar görmelerine ve bu yapıların da deprem performanslarının sorgulanmasına sebep olmuştur. Marmara depremleri sonrasında yapılan bir çalışmada Türkiye Prefabrik Birliği'ne üye kuruluşların Adapazarı'nda yapmış oldukları 98 sanayi tesisinin 16'sında toptan göçme 8'inde ise kısmi göçme belirlenmiştir (Ataköy, 1999). Aynı çalışmada birlik üyesi kuruluşların İzmit yöresindeki üretiminin %3'ünün depremden ağır ya da orta derecede hasar gördüğü belirtilmektedir. Marmara bölgesindeki prefabrik yapı hasarları ile ilgili başka bir çalışmada sadece Adapazarı Organize Sanayi Bölgesi'nde tamamen veya kısmen göçen sanayi tesisi oranının %80'e ulaştığı belirtilmektedir (Ersoy ve ark., 2000). 1998 Ceyhan depreminden sonra yapılan incelemede, tek katlı prefabrik sanayi yapılarında ortaya çıkan hasarların, genelde birleşim bölgelerindeki projelendirme ve detaylandırma yetersizliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Zorbozan ve ark., 1998). Tek katlı sanayi yapılarında gözlenen hasar türlerinin şu başlıklar altında toplandığı belirtilmiştir:

- Kolonların ayakta kaldığı ama çatı elemanlarının birleşim yetersizliği sebebiyle düştüğü görülmüştür.
- Kolonların yatay rijitlik yetersizliği sebebiyle kısmen ya da tamamen göçme oluştuğu görülmüştür.
- Göçme olmasa bile kolonlarda ciddi yanıl ötelenmeler gözlenmiştir.

### ÇERÇEVELERİN KAPASİTE EĞRİLERİ

Şekil 2'de tipik üç boyutlu prefabrik sanayi yapısı ve çalışmada kullanılan düzlem çerçeveler görülmektedir. Herhangi bir prefabrik sanayi yapısında birbirinden farklı dört tipik çerçeve bulunmaktadır. Bu çerçeveler X-İç, X-Dış, Y-İç ve Y-Dış çerçeveleridir. X yönündeki iç çerçeveler B-D kolonlarından, dış çerçeveler ise A-C kolonlarından oluşmaktadır. Y yönünde ise iç çerçeveler C-D, dış çerçeveler A-B kolonlarından oluşmaktadır. Bir prefabrik yapıda kolonlar buldukları çerçevedeki yere göre farklı eksenel yük etkisi altındadır.



Şekil 2. Prefabrik sanayi yapısı ve düzlem çerçeveler

Çalışmada, prefabrik yapıların hasar görebilirliğinin değerlendirilmesi yanında, yönetmeliklerin gerektirdiği dayanım, rijitlik ve süneklik parametreleri üzerinde etkili olduğu bilinen ve tasarım aşamasında karar verilen parametrelerin prefabrik binaların hasar görebilirliği üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Bu amaçla kolon enkesit boyutu, etriye aralığı ve boyuna donatı oranı parametreleri değişken olarak alınmış ve bu parametrelerin sınır değerleri mevcut prefabrik sanayi yapılarının büyük kısmını temsil edecek şekilde seçilmiştir.

Prefabrik sanayi yapısı stoğu yapısal özellikleri dikkate alınarak 8 tipik sanayi yapısı kullanılmıştır. Tipik yapılar X yönünde 6 açıklık (açıklıklar 7.5m) ve Y yönünde 3 açıklığa (açıklıklar 20m) sahiptir (Şekil 2). Y yönünde açıklıklar 750cm, X yönünde açıklıklar 2000cm'dir. Betonun basınç dayanımı  $f_c=30$  MPa, boyuna ve enine donatı akma dayanımı  $f_y=420$  MPa kabul edilmiştir. Etriye çapı 8mm'dir. Kolonların yüksekliği 600cm olarak seçilmiştir.

Kolon kapasite eğrilerinin belirlenmesi amacıyla değişken parametreler olarak kolon enkesit boyutu (B), boyuna donatı oranı ( $\rho_l$ ) ve etriye aralığı (S) parametreleri kullanılmıştır. Mevcut yapı stoğu dikkate alınarak kolon enkesit boyutu 35x35cm ve 45x45cm, boyuna donatı oranı %1 ve %2, etriye aralığı 10cm ve 20cm seçilmiştir.

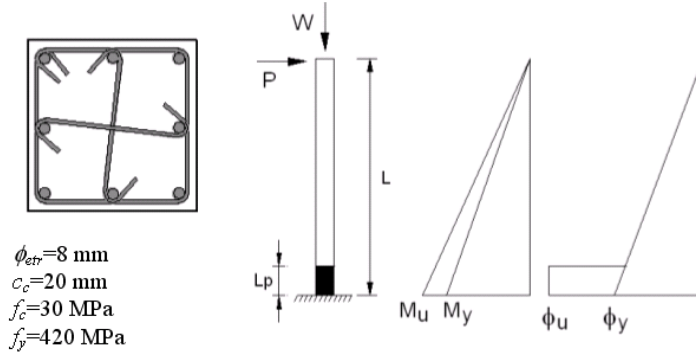
### Kolonların Kapasite Eğrisi

Kolonların alt ucundaki plastik mafsallık bölgesinde moment eğrilik ilişkisinin elde edilmesi amacıyla sargılı beton gerilme şekil değiştirme ilişkisi için Geliştirilmiş Kent-Park modeli (Park ve ark., 1982), çelik gerilme-şekil ilişkisi

için pekleşmeli Mander modeli (Mander, 1984) kullanılmıştır. Kolonların aksenal yükleri sabit yükler ve hareketli yüklerinin toplamı ile elde edilmiştir.

Şekil 3'te kesit donatı düzeni verilen kolonların moment-eğrilik ilişkisi,  $W$  düşey ve  $P$  yatay yüküne maruz konsol kolonda plastik mafsalsal kabulü ile hesaplanmıştır.  $L_p$  plastik mafsalsal boyunu göstermektedir ve kolonun eğilmeye çalışan boyutunun yarısı olarak alınmıştır (Moehle, 1992).  $\phi_y$  akma anındaki eğrilik,  $\phi_u$  ise nihai eğrilik değerini göstermektedir.  $M_y$  ve  $M_u$  sırasıyla akma ve nihai moment değerlerini ifade etmektedir.

Kolonun kapasite eğrisinin elde edilmesi amacıyla moment-eğrilik ilişkisi iki doğrulu hale getirilmiştir. Elastik ötesi rijitlik değeri sıfır kabul edilmiştir. Kesitin akma momenti, betonun şekil değiştirmesinin  $\epsilon_c = 0.004$  olduğu noktadaki moment olarak kabul edilmiştir. Kesitin akma eğrilik, Denklem 2 ile hesaplanmıştır:



Şekil 3. Kolon donatı düzeni ve konsol kolonda plastik mafsalsal kabulü

$$\phi_y = \frac{M_y}{EI_{eff}} \quad (2)$$

Denklem 2'de  $EI_{eff}$ , değeri efektif eğilme rijitliğini ifade etmektedir. Efektif eğilme rijitliğinin hesabında kesit efektif atalet momenti, DY06'da belirtildiği gibi brüt ataletin 0.4 katı alınmıştır. Kesitin eğrilik değerine bağlı olarak elastik ve plastik deplasman değerleri Denklem 3 ile hesaplanmıştır. Kolonun yatay yük taşıma kapasitesi Denklem 4 ile hesaplanmıştır. Şekil 4'te moment-eğrilik ilişkisi ile uyumlu kapasite eğrisi gösterilmiştir. Kapasite eğrisi elde edilen kolonun kütle, yatay dayanım oranı, efektif eğilme rijitliği değerleri de belirlenmiş olduğundan, kolon tek serbestlik dereceli olarak temsil edilebilecektir.

$$\Delta_{el} = \left( \phi_y \frac{L}{2} \right) \frac{2L}{3} \quad (3a)$$

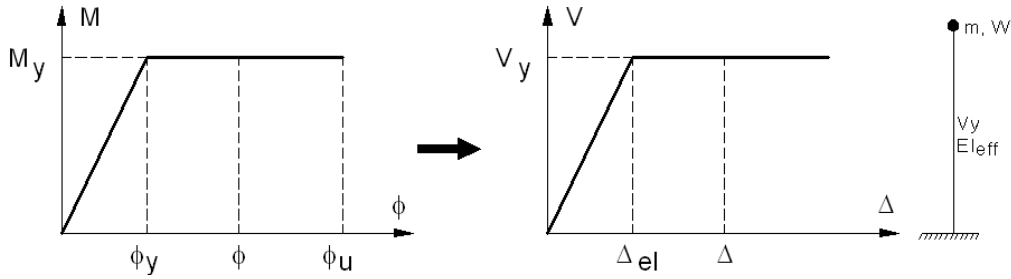
$$\Delta_{pl} = (\phi - \phi_y) L_p \left( L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (3b)$$

$$V_y = \frac{M_y}{L} \quad (4)$$

#### Kolonlarda Hasar Seviyeleri ve Deplasman Limitleri

Hasar seviyelerinin tanımlanması, hasar görebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında önemli aşamalardan birisidir. Hasar seviyelerine ait limit durumların değeri, oluşturulacak görebilirlik eğrilerini doğrudan etkileyecektir. Prefabrik yapı kolonlarının hasar durumlarının tespiti için kritik kesitteki birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak DY06'da tanımlanan hasar bölgeleri dikkate alınmıştır: minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar ve göçme. MN, GV ve GÇ olarak adlandırılan hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri DY06'da söz konusu hasar seviyeleri için tarif edilen beton ve çelik şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Beton ve çelik için tarif edilen birim şekil değiştirmelere bağlı limitlerden hangisine önce ulaşıyorsa, o noktadaki eğrilik değeri, kesitin ilgili hasar

seviyesine ait limit eğrilik değeri olarak kabul edilmiştir. Eğer MN hasar seviyesi aşıyorsa kesit belirgin hasar bölgesinde, GV hasar seviyesi aşıyorsa kesit ileri hasar bölgesinde ve GÇ hasar seviyesi aşıyorsa kesit göçme bölgesinde sayılmaktadır.



Şekil 4. Moment-eğrilik ilişkisi ile uyumlu kolon kapasite eğrisi

#### Çerçevelerin Kapasite Eğrileri

Değişken parametrelere bağlı olarak oluşturulan 8 farklı modele ait toplam 32 kolonun moment-eğrilik ilişkisi hesaplanmış ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Çizelge 1'de 8 tipik model ve her bir modelde kolonlara ait değişken parametrelerin aldığı değerler görülmektedir. Tipik sanayi yapılarının etiketleri değişken parametrelerin değerlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Örneğin Tablo 1'de B1S1R1 etiketi ile ifade edilen kolonun enkesit boyutu 35x35cm, etriye aralığı 10cm ve boyuna donatı oranı %1 iken, B2S2R1 nolu kolonun enkesit boyutu 45x45cm, etriye aralığı 20cm ve boyuna donatı oranı %1'dir. X yönünde 6 açıklık (açıklıklar 7.5m) ve Y yönünde 3 açıklığa (açıklıklar 20m) sahip 8 tipik modelde (Şekil 2) betonun basınç dayanımı  $f_c=30$  MPa, boyuna ve enine donatı akma dayanımı  $f_y=420$  MPa kabul edilmiştir. Etriye çapı 8mm'dir. Kolonların yüksekliği 600cm olarak seçilmiştir. Kolonlar için Şekil 3'te verilen donatı düzeni kullanılmıştır.

Her bir yapı modelinde dört farklı çerçeveye ait (X-İç, X-Dış, Y-İç, Y-Dış) kapasite eğrileri çerçeveyi oluşturan kolonların kapasite eğrileri kullanılarak elde edilmiştir. Çerçevelerin kapasite eğrileri, yatay yük kapasitesi, akma deplasmanı ve maksimum deplasman ile temsil edilmiştir.

Çizelge 1. Dikkate alınan yapı modellerinde kolonların parametre değerleri

Modeller	B cm	S cm	$\square l$ %
B1S1R1	35X35	10	1
B1S2R1	35X35	20	1
B2S1R1	45X45	10	1
B2S2R1	45X45	20	1
B1S1R2	35X35	10	2
B1S2R2	35X35	20	2
B2S1R2	45X45	10	2
B2S2R2	45X45	20	2

Çerçeve yatay yük kapasitesi, çerçevede yer alan kolonların yatay yük kapasiteleri toplamına eşittir. Çerçeve akma deplasmanı, kolonların akma deplasmanları ortalamasına eşittir. Çerçevenin toplam kütlesi kolon üst ucunda hesaplanan kütlelerin toplamına, toplam ağırlığı ise kolon üst ucunda hesaplanan eksenel yüklerin toplamına eşittir. Kolon üst ucundaki kütle, çatı düzlemindeki yüklerden dolayı oluşan kütleyle, kolon kütlesinin yarısı ilave edilerek hesaplanmıştır. Çerçevenin yatay rijitliği, çerçeve yatay yük kapasitesinin, çerçeve akma deplasmanına bölümü ile elde edilmiştir. Çerçevenin periyodu ise çerçeve rijitliği ve çerçeve kütlesi kullanılarak hesaplanmıştır. Çerçevenin yatay yük dayanım oranı, çerçeve yatay yük kapasitesinin, çerçeve toplam ağırlığına bölümü ile bulunmuştur.

**Çizelge 2.** B1S1R1 modelini oluşturan çerçevelerin kapasite eğrileri üzerinde veriler

Çerçeveler	V <sub>y</sub>	W	□ <sub>el</sub>	□ <sub>MN</sub>	□ <sub>GV</sub>	□ <sub>GÇ</sub>	T	V <sub>y</sub> /W
	kN	kN	cm	cm	cm	cm	s	%
Y-DIŞ	67.80	632.01	7.62	10.37	21.53	30.56	1.69	10.73
Y-İÇ	74.82	970.45	8.41	10.24	22.55	29.92	2.10	7.71
X-DIŞ	117.67	1058.81	7.56	9.39	21.47	30.50	1.66	11.11
X-İÇ	137.18	1999.34	8.82	11.90	24.12	30.32	2.27	6.86

Çizelge 2’de örnek olarak B1S1R1 modelinde yer alan dört tipik çerçevenin kapasite eğrisi ve eğri üzerinde hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri verilmiştir. Çizelge 2’de ayrıca her bir çerçevenin tek serbestlik dereceli olarak analiz edilebilmesi için kullanılacak periyot ( $T$ ) ve yatay dayanım oranları ( $V_y/W$ ) verilmiştir. Efektif rijitlik katsayısı da dikkate alındığında prefabrik yapılar temsil eden çerçevelerin periyotlarının 1.0s’den büyük olduğu söylenebilir. İç çerçevelerde kütlelerin daha fazla olması sebebiyle,  $T$  daha büyük ve buna bağlı olarak deplasman talebi daha fazla olacaktır. Aynı zamanda iç çerçevelerde  $V_y/W$  değeri de dış çerçevelere göre daha düşüktür. Dolayısıyla bir prefabrik yapıda iç çerçevelerin dış çerçevelere göre daha kritik olduğu söylenebilir. Bu sebeple çalışmanın bundan sonraki kısmında bütün hesap ve değerler iç çerçeveler için verilmiştir.

Öte yandan X yönündeki çerçevelerin periyotlarının Y yönündeki çerçevelere göre daha büyük olduğu, yatay dayanım oranlarının ise daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Bu durumun tipik modelin X ve Y yönlerindeki açıklık sayılarına bağlı olarak değişeceğini söylemek mümkündür. Çalışmanın esas amacı parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisinin değerlendirilebilmesidir. Bu sebeple bu andan itibaren hesaplar sadece bir yönde yapılacak (X yönü seçilmiştir) ve verilecektir.

#### İVME KAYITLARI VE DOĞRUSAL ÖTESİ DİNAMİK ANALİZ

Tek serbestlik dereceli olarak temsil edilen çerçevelerin dinamik analizi için 28 depreme ait 360 ivme kaydı kullanılmıştır. Kayıtlar PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veri Bankası’ndan (<http://peer.berkeley.edu/smcat/>) alınmıştır. Depremlerin büyüklüğü 5.4 ile 7.7 arasında değişmektedir. İvme kayıtlarının %97’sinde faya olan en yakın mesafe 30km’nin altındadır. Tek serbestlik dereceli sistemlerin dinamik analizleri için Sap2000 programı kullanılmıştır.

PGV, periyodun özellikle büyük olduğu yapılarda, elastik ötesi deplasman talebi ile iyi bir ilişki göstermektedir [Akkar ve ark., 2005; Akkar ve Özen, 2005]. Bu sebeple yer hareketi parametresi olarak PGV seçilmiştir. İvme kayıtları PGV değerlerine göre 12 gruba ayrılmıştır (her grup için PGV aralığı 5 cm/s). İvme kayıtlarının 288’i orijinal olarak kullanılmıştır. 72 kayıt ise özellikle PGV’nin büyük değerleri için gerekli sayıda veri oluşturmak amacıyla ölçeklendirilmiştir.

#### PREFABRİK YAPILARIN HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ

Doğrusal ötesi dinamik analiz sonuçlarına bağlı olarak her bir çerçeve için hasar görebilirlik eğrileri PGV değerine bağlı olarak elde edilmiştir. Herhangi bir çerçeve için analiz sonucu elde edilen maksimum deplasman talebi, çerçevelerin hasar seviyelerine ait limit deplasmanlar ile karşılaştırılarak çerçevenin hasar durumu belirlenmiştir. Bu şekilde her bir PGV grubu ve her bir hasar seviyesi için hasar oranları hesaplanmıştır.

Hesaplanan hasar oranları kullanılarak, iki parametrelili lognormal dağılım kabulü ile hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Lognormal dağılımın parametreleri  $\lambda$  (ortalama) ve  $\zeta$ , (standart sapma) en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir. Lognormal dağılım kabulü için, hasar seviyelerinin kümülatif aşılma olasılığı Denklem 6 ile verilmektedir.

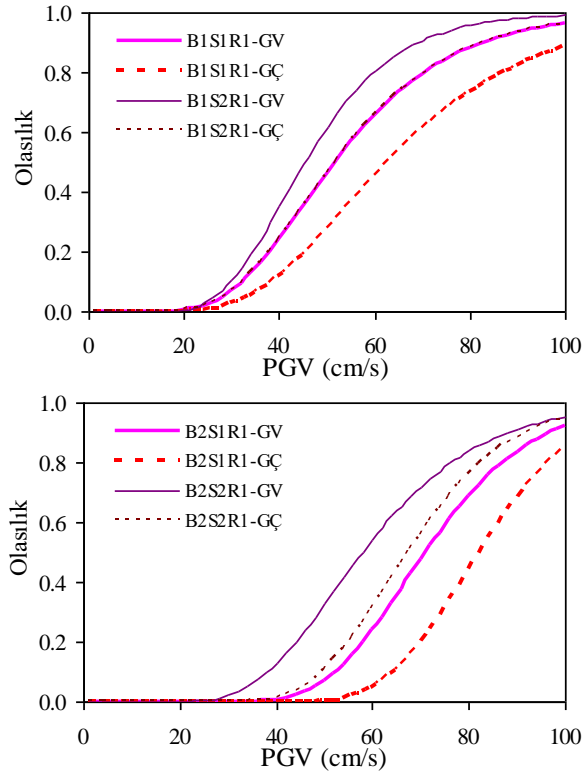
$$Pr = \Phi \left[ \frac{\ln X - \lambda}{\zeta} \right] \quad (6)$$

Denklem 6’da  $\Phi$  standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu, X lognormal dağılım yer hareketi parametresini (PGV) göstermektedir. Çizelge 3’te prefabrik sanayi yapısı modelleri için hesaplanan lognormal dağılım parametreleri verilmiştir. Dikkate alınan kesit parametrelerinin, özellikle kritik hasar seviyeleri olan GV ve GÇ hasar seviyeleri için lognormal dağılım parametreleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

**Çizelge 3.** Prefabrik Çerçeveler İçin Hasar Görebilirlik Eğrilerinin Parametreleri

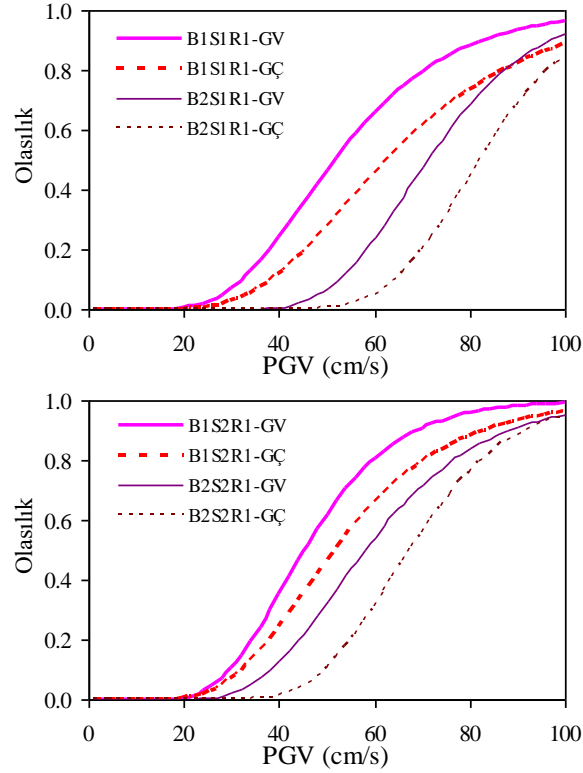
Modeller	MN		GV		GÇ	
	$\lambda$	Z	$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$
B1S1R1	3.383	0.435	3.945	0.367	4.141	0.385
B1S2R1	3.383	0.435	3.813	0.329	3.945	0.367
B2S1R1	3.362	0.460	4.264	0.239	4.409	0.190
B2S2R1	3.388	0.446	4.058	0.328	4.212	0.240
B1S1R2	3.667	0.372	4.050	0.340	4.224	0.376
B1S2R2	3.648	0.377	3.900	0.369	4.015	0.360
B2S1R2	3.778	0.484	4.412	0.239	4.476	0.179
B2S2R2	3.796	0.468	4.211	0.293	4.306	0.224

Değişken olarak kullanılan parametrelerin hasar olasılıkları üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla tüm modellere ait grafiklerin verilmesi yerine, örnek olarak, seçilen bazı modeller için GV ve GÇ hasar seviyelerine ait hasar görebilirlik eğrileri verilmiştir.

**Şekil 5.** Etriye aralığının hasar görebilirlik eğrilerine etkisi

Etriye aralığının artması periyot ve buna bağlı olarak talebi ciddi olarak etkilememekte ancak hasar seviyelerine ait limit deplasman değerlerini azaltmaktadır. DY06'da, tasarımda öngörülen minimum sargı donatısına sahip olmayan kesitlerde, belirgin hasar ve ileri hasar seviyeleri için beton birim şekil değiştirme limit değerleri azaltılmaktadır. Bu ise bahsedilen hasar seviyelerine ait kesit eğrilik değerinin ve buna bağlı olarak kolon yatay deplasman değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla etriye aralığının artması hasar seviyelerinin PGV'ye bağlı aşılma olasılığını artırmaktadır. Şekil 5'te B1S1R1-B1S2R1 ile B2S1R1-B2S2R1 modelleri için örnek olarak verilen eğriler

incelendiğinde etriye aralığının hasar seviyelerinin aşılma olasılığına etkisi açık olarak görülmektedir. Örneğin  $PGV=40\text{cm/s}$  olduğunda B1S1R1 modeli için %35 olan ileri hasar görme olasılığı B1S2R1 modeli için %73'e çıkmaktadır. Bu değişimin sebebi sadece etriye aralığının artmasıdır. Aynı modeller için göçme olasılığı ise %12'den %24'e çıkmaktadır. B1S2R1 modeli, mevcut yapı stoğu içerisinde oldukça fazla sayıda yer almaktadır.  $PGV=40\text{cm/s}$  için dahi %24 göçme olasılığı oldukça yüksek bir olasılık olarak dikkat çekmektedir. Şekil 5'te B2S1R1 ve B2S2R1 için verilen eğriler incelendiğinde de etriye aralığının artmasının, hasar seviyelerinin aşılma olasılığını artırdığı görülmektedir. Örneğin  $PGV=60\text{cm/s}$  için,  $S=10\text{cm}$  olduğunda %5 olan göçme olasılığı  $S=20\text{cm}$  olduğunda %31'e çıkmaktadır.

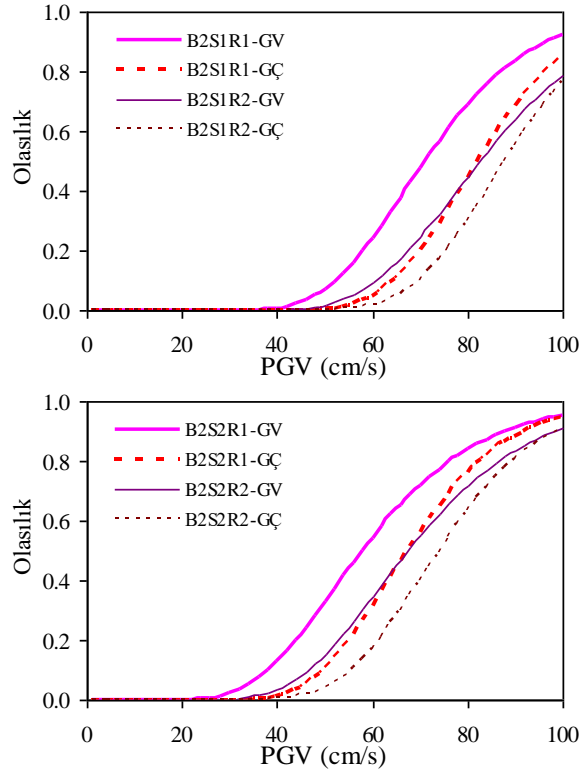


Şekil 6. Kolon enkesit boyutunun hasar görülebilirlik eğrilerine etkisi

Kolon enkesit boyutu, hasar görülebilirliği ciddi olarak etkileyen parametrelerden birisidir. Enkesit boyutunun artması ile maksimum deplasman talebi ile kuvvetli bir ilişkisi bulunan periyot değeri azalmaktadır (rijitlik artmakta). Bu da hasar seviyelerinin aşılma olasılığının kolon boyutunun artması ile azalmasına sebep olmaktadır. Kolon enkesit boyutunun etkisini değerlendirmek amacıyla seçilen B1S1R1-B2S1R1 ve B1S2R1-B2S2R1 örnek modelleri için GV ve GÇ hasar seviyelerine ait eğriler Şekil 6'da verilmiştir. Örnek modeller için verilen eğriler, hasar seviyelerinin aşılma olasılığı üzerinde kolon enkesit boyutunun etkisini göstermektedir. Örneğin  $PGV=60\text{cm/s}$  olduğunda B1S1R1 modeli için sırasıyla %66 ve %45 olan ileri hasar görme ve göçme olasılıkları, B2S1R1 modeli için %24'e ve %5'e düşmektedir. Benzer şekilde  $PGV=60\text{cm/s}$  olduğunda B1S2R1 modeli için sırasıyla %80 ve %66 olan ileri hasar görme ve göçme olasılıkları, B2S2R1 modeli için %54'e ve %31'e düşmektedir.

Şekil 7'de boyuna donatı oranının, seçilen örnek modellere ait GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılığı üzerindeki etkisi görülmektedir. Boyuna donatı oranının artması hem çerçeve kapasitesinin artmasına hem de hasar seviyelerine ait limit eğrilik değerlerinin artmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla donatı oranının artması, hasar seviyelerinin aşılma olasılığının azalmasına sebep olmaktadır. Ancak periyodun yüksek olduğu yapılar için eş deplasman prensibine uygun şekilde, çerçeve kapasitesinin talep üzerindeki etkisi azalmaktadır. Sonuç olarak, boyuna donatı oranının hasar görülebilirlik eğrisi üzerindeki etkisi, etriye aralığı ya da kolon enkesit boyutu kadar belirgin değildir.





Şekil 7. Boyuna donatı oranının hasar görebilirliğe etkisi

## SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye’de ekonomik üretimin büyük çoğunluğunun yapıldığı prefabrik sanayi yapıları için hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiş ve kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı ve etriye aralığı parametrelerinin, hasar görebilirliğe etkisi incelenmiştir. Mevcut yapı stoğundan yola çıkarak, incelenen parametrelerin değişim aralıkları belirlenmiş ve eğriler bu parametrelere bağlı olarak oluşturulan 8 tipik tek katlı sanayi yapısı için elde edilmiştir.

Kolon enkesit boyutunun artması, etriye aralığının azalması ya da boyuna donatı oranının artması prefabrik sanayi yapılarında belirgin ve ileri hasar seviyelerinin aşılma (ileri hasar görme ve göçme) olasılıklarının azalmasına sebep olmaktadır. Kolon enkesit boyutu kolonun rijitliğini, etriye aralığı kolonun sünekliğini, boyuna donatı oranı ise kolonun dayanımını etkilemektedir. Rijitlik ve süneklik üzerinde etkili olan kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı, hasar görebilirlik üzerinde daha etkili olan parametreler olarak belirlenmiştir.

Mevcut prefabrik yapı stoğu içerisinde özellikle kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı açısından değerlendirildiğinde, hasar görme ihtimali yüksek olan yapılar bulunmaktadır. Bu yapıların deprem performanslarının iyileştirilmesi amacıyla, rijitliği ve sünekliği artıracak yönde alınacak önlemlerin daha etkili olacağı söylenebilir.

Tipik olarak sadece 8 model incelenmiş olmasına rağmen, prefabrik yapıların hasar görme olasılıkları üzerinde ele alınan yapısal parametrelerin ve yer hareketi parametresinin etkisi görülebilmektedir. Çalışmanın parametrelerin farklı değerleri için genişletilmesi ve mevcut prefabrik yapı stoğuna uygulanması ile prefabrik sanayi yapılarında olası depremlerde meydana gelebilecek hasarların tahmininde hasar görebilirlik eğrilerinin kullanılabilmesi mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Akkar, S. and Özen, Ö., Effect of Peak Ground Velocity on Deformation Demands for SDOF Systems, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34: 1551-1571, 2005.
- Akkar, S., Sucuoğlu, H., Yakut, A., Displacement-Based Fragility Functions for Low and Mid-Rise Ordinary Concrete Buildings, *Earthquake Spectra*, 21(4):901-27, 2005.
- Arslan M.H., Korkmaz, H.H., Gulay, F.G., Damage and Failure Pattern of Prefabricated Structures after Major Earthquakes in Turkey and Shortfalls of The Turkish Earthquake Code, *Engineering Failure Analysis*, 13:537-557, 2005.

- Ataköy, H., 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve TPB Üyeleri Tarafından Yapılan Prefabrikasyon Yapılar, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı:52-53, 1999.
- Ay, B.Ö., Erberik, M.A., Akkar, S., Fragility Based Assessment of The Structural Deficiencies in Turkish RC Frames Structures, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, N:593, 2006, Geneva, Switzerland.
- AY75, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1975, Ankara.
- AY98, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998, Ankara.
- Basoz, N. and Kiremidjian, A.S., Evaluation of Bridge Damage Data Form The Loma Prieta and Northridge, CA Earthquakes, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 127, 1997.
- DY06, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2006, Ankara.
- Erberik, M.A., Fragility-Based Assessment of Typical Mid-rise and Low-rise RC Buildings in Turkey, *Engineering Structures*, 30:1360-1374, 2007.
- Erberik, M.A. and Elnashai, A.S., Fragility Analysis of Flat-Slab Structures, *Engineering Structures*, 26:937-948, 2004.
- Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, *10. Prefabrikasyon Sempozyumu*, 2000, İstanbul.
- Karaesmen, E., Prefabrication in Turkey: Facts and Figures, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, 2001, Ankara.
- Karim, K.R. and Yamazaki, F., Effect of Earthquake Ground Motions on Fragility Curves of Highway Bridge Piers Based on Numerical Simulation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30:1839-1856, 2001.
- Karimi, K. and Bakhshi, A., Development of Fragility Curves for Unreinforced Masonry Buildings Before and After Upgrading Using Analytical Method, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, N:107, 2006, Geneva, Switzerland.
- Kircher, C.A., Nassar, A.A., Kustu, O., Holmes, W.T., Development of Building Damage Functions for Earthquake Loss Estimation, *Earthquake Spectra*, 13(4): 663-681, 1997.
- Kırçıl, M.S. ve Polat, Z., Fragility Analysis of Mid-Rise RC Frame Buildings, *Engineering Structures*, 28(9):1335-1345, 2006.
- Mander JB., Seismic Design of Bridge Piers. Research Report 84-2. Christchurch (New Zealand): Department of Civil Engineering, University of Canterbury, 1984.
- Moehle, J., Displacement Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes, *Earthquake Spectra*, 8(3), 403-428, 1992.
- Park, R., Priestley, M.J. and Gill, W.D., Ductility of Square Confined Concrete Columns, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol.108, No. ST4, pp. 929- 950, 1982.
- Park, Y.J. and Ang, Ah. S., Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 111(4):740-757, 1985.
- Posada, M. and Wood, S.L., Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey, *7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 2002, Boston.
- Rossetto, T. and Elnashai, A., Derivation of Vulnerability Functions for European-Type RC Structures Based on Observational Data, *Engineering Structures*, 25:1241-1263, 2003.
- Rubinstein, R.Y., Simulation and The Monte Carlo Method, John Wiley & Sons, 1989, New York.
- Sezen, H. and Whittaker A.S., Seismic Performance of Industrial Facilities Affected by the 1999 Turkey Earthquake, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol:20, No:1, 2006.
- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J., Naganuma, T., Statistical Analysis of Fragility Curves, *Journal of Engineering Mechanics*, 126(12): 1224-1231, 2000a.
- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Kim, H.K., Kim, S.H., Nonlinear Static Procedure for Fragility Curve Development, *Journal of Engineering Mechanics*, 126(12):1297-1295, 2000b.
- Yamazaki, F., Motomura, H., Hamada, T., Damage Assessment of Expressway Networks in Japan Based on Seismic Monitoring, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No:551, 2000.
- Zorbozan, M., Barka, G. ve Sarıfakıoğlu, F., Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı 48, 1998.