

## Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri

Ali Haydar KAYHAN\*  
Şevket Murat ŞENEL\*\*

### ÖZ

Bu çalışmada mevcut prefabrik sanayi yapıları için hasar olasılık eğrileri analitik yolla elde edilmiştir. Bu amaçla kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı, kolon yüksekliği ve etriye aralığı parametrelerine bağlı olarak 16 tipik prefabrik sanayi yapısı modeli kullanılmıştır. Doğrusal ötesi dinamik analiz için 28 depreme ait 360 ivme kaydı kullanılmıştır. Yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen maksimum yer hızı (MYH) seçilmiştir. Yapısal tepki parametresi olarak yatay deplasman kullanılmıştır. Kolonların hasar durumları ve hasar seviyeleri “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” dikkate alınarak tanımlanmıştır. Hasar seviyelerine ait sınır değerleri, kolon alt uçlarındaki kritik kesitte beton ve çeliğin birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı parametrelerinin hasar görülebilirlik üzerinde daha etkin olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Prefabrik sanayi yapıları, hasar görülebilirlik eğrileri, doğrusal ötesi analiz

### ABSTRACT

#### Fragility Curves for Single Story Precast Industrial Buildings

In this study, fragility curves for existing precast industrial buildings were calculated. Depending on the structural parameters such as column section dimension, longitudinal reinforcement ratio, column height and stirrup spacing, 16 typical building models were used. A total of 360 ground motions from 28 earthquakes were used for nonlinear time history analysis. Peak ground velocity, which is assumed to have lognormal distribution, is chosen as the ground motion parameter. Lateral displacement was selected as structural response parameter. Damage states and damage levels for columns were defined according to Turkish Earthquake Code. Limit displacements for damage levels were calculated based on the concrete strain and longitudinal reinforcement at the critical section of columns. Results show that column section dimension and stirrup spacing is more effective on fragility.

**Key words:** Precast industrial buildings, fragility curves, nonlinear analysis.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 08.01.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - hkayhan@pau.edu.tr

\*\* Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - smsenel@pau.edu.tr

## **1. GİRİŞ**

Depremlerden dolayı mevcut yapılarda meydana gelen hasarlar ve bu hasarlara bağlı can ve mal kayıpları, yeni yapıların depreme dayanıklı tasarımı yanında mevcut yapıların deprem performansının ve deprem riskinin değerlendirilmesi konusunun da önemini artırmıştır. Mevcut yapılarda, depremlerde meydana gelecek olası hasar ve kayıpların tahmin edilmesi, kayıpları azaltmak amacıyla alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından gereklidir.

Hasar görebilirlik eğrileri deprem etkisine maruz yapılarda meydana gelebilecek olası hasarları tahmin etmek amacıyla yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Eğriler genel olarak ampirik ya da analitik olarak elde edilmektedir. Ampirik eğrilerin oluşturulmasında, deney sonuçlarının ya da geçmiş depremlerde gözlenen yapısal hasarların dağılımı dikkate alınmaktadır [1-5]. Analitik eğrilerin oluşturulmasında ise yapısal modellerin doğrusal ötesi analizleri neticesinde elde edilen veriler kullanılmaktadır [6-13].

Türkiye’de hasar görebilirlik eğrileri ile ilgili çalışmalarda genel olarak mevcut betonarme yapılar dikkate alınmıştır [10-13]. Türkiye’deki sanayi yapılarının %90’ı prefabrik taşıyıcı sisteme sahiptir [14]. Bu yapılar hızlı imalat ve sanayi yapılarının ihtiyaç duyduğu geniş açıklık imkanları dolayısıyla tercih edilmektedir. Prefabrik sanayi yapılarının tasarımında 1998 yılına kadar 1975 tarihli “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” [15], 1998 yılından “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”in [16] yürürlüğe girdiği 2007 yılına kadar ise 1998 tarihli “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” [17] dikkate alınmıştır. 1998 Adana ve 1999 Marmara depremlerinden sonra prefabrik sanayi yapılarında gözlenen hasarlar, bu yapıların deprem performanslarının ciddi olarak sorgulanmasına sebep olmuştur [18-23]. Sanayi yapılarında meydana gelecek hasarlar can kaybının yanı sıra ciddi ekonomik kayba sebep olacaktır. Dolayısıyla Türkiye’deki prefabrik sanayi yapılarının deprem riskinin ortaya konması, gerekli önlemlerin alınması bakımından önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki sanayi yapılarının büyük kısmını oluşturan tek katlı prefabrik sanayi yapıları için hasar görebilirlik eğrilerini analitik olarak elde etmek ve yapısal parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Bu amaçla değişken olarak seçilen kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı, kolon yüksekliği ve etriye aralığı parametrelerine bağlı olarak 16 tipik prefabrik sanayi yapısı modeli oluşturulmuştur. Prefabrik yapı modellerini oluşturan kolonların hasar durumlarının tespiti için “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” (DBYBHY) ile tanımlanan hasar durumları kullanılmıştır: minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar ve göçme. Hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri, DBYBHY’te söz konusu hasar seviyeleri için tarif edilen beton ve çelik şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Hasar görebilirlik eğrilerinin türetilmesi için yatay ötelenme sebebiyle meydana gelebilecek hasarlar dikkate alınmıştır. Yapısal tepki parametresi olarak kullanılan yatay deplasmanların hesabı için 28 depreme ait 360 ivme kaydı kullanılarak doğrusal ötesi dinamik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilmiş, lognormal dağıldığı kabul edilen maksimum yer hızı (MYH) değerine bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Lognormal dağılımın parametreleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir.

## 2. ANALİTİK HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ

Bir yapının hasar görebilirliği, gözönüne alınan herhangi bir deprem için yapılarda değişik seviyelerde hasarın meydana gelebilme olasılığıdır. Hasar görebilirlik matematiksel olarak koşullu olasılık ifadesi ile gösterilir:

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

Denklem 1’de R analiz sonucu hesaplanmış yapısal tepkiyi ve r öngörülen hasar seviyesi için yapısal tepkinin minimum değerini ifade etmektedir. I ise yapısal tepkinin hasar seviyesini aşma olasılığının hesaplanması amacıyla rastgele değişken olarak kullanılan yer hareketi parametresidir.

Analitik hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilebilmesi için, yapısal modellerin analizi sonucunda elde edilen yapısal tepkinin dağılımı dikkate alınmaktadır. Farklı yapı türleri için hasar görebilirlik eğrilerinin önerildiği çalışmalarda dikkate alınan yapı türüne uygun analiz yöntemi, yer hareketi parametresi ve hasar parametresi seçilmektedir.

Karim ve Yamazaki köprüler için hasar görebilirlik eğrisi önerdikleri çalışmalarında [6] hasar parametresi olarak Park-Ang modelini [24] seçmişler ve doğrusal ötesi dinamik analiz yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen PGA ve MYH kullanılmıştır. Karim ve Yamazaki bir önceki çalışmanın devamı sayılabilecek çalışmalarında yer hareketi parametresi olarak PGA ve MYH’nin yanında SI parametresini de dikkate almışlardır [25].

Köprüler ile ilgili olarak iki farklı analitik yaklaşımla, doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz ve doğrusal ötesi statik analiz yaklaşımı ile hasar görebilirlik eğrilerinin türetildiği çalışmada hasar parametresi olarak kesit süneklik talebi, yer hareketi parametresi olarak PGA kullanılmıştır [7]. Köprüler için önerilen ampirik ve analitik hasar görebilirlik eğrilerinin istatistiksel analizini konu alan bir başka çalışmada da hasar parametresi olarak süneklik talebi seçilmiştir [3].

Karimi ve Bakhshi yığma yapılar için yaptıkları çalışmada yer hareketi parametresi olarak CAV ve hasar parametresi olarak Park-Ang modelini kullanmıştır [8].

Kirişsiz döşeme sistemine sahip orta yükseklikteki yapılar için hasar görebilirlik eğrilerinin önerildiği çalışmada, hasar parametresi olarak görel kat ötelenmesi oranı ve yer hareketi parametresi olarak lognormal dağılıma uyduğu varsayılan  $S_d$  kullanılmıştır [9].

Büyük bir bölümü deprem riski altında bulunan Türkiye’de özellikle mevcut betonarme binaların ele alındığı hasar görebilirlik eğrileri literatürde yer almaktadır. Kirçil ve Polat, İstanbul’daki orta yükseklikteki binalar için hasar parametresi olarak görel kat ötelenmesi oranını kullanmıştır [10]. Çalışmada lognormal dağıldığı kabul edilen PGA,  $S_a$  ve  $S_d$  parametrelerine bağlı olarak hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar için hasar görebilirlik eğrilerinin önerildiği başka bir çalışma Akkar vd [11] tarafından yapılmıştır. Çalışmada yer hareketi parametresi olarak MYH ve hasar parametresi olarak görel kat ötelenme oranı seçilmiştir. Erberik [12] ise 1999 Marmara depremi sonrasında yapılan gözlem çalışmaları sonucu elde edilen bina ve hasar verilerini, betonarme binalar için önerdiği hasar görebilirlik eğrileri ile elde ettiği sonuçlarla

### *Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri*

karşılaştırmıştır. Çalışmada yer hareketi parametresi olarak MYH ve hasar parametresi olarak görelî ötelenme oranı seçilmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki tek katlı prefabrik sanayi yapıları için hasar görebilirlik eğrilerini elde etmek amacıyla analitik yaklaşım kullanılmıştır. Yer hareketi parametresi olarak lognormal dağıldığı kabul edilen MYH, hasar parametresi olarak yatay deplasman seçilmiştir. Hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesinde izlenen adımlar şu şekildedir:

- Analiz için seçilen ivme kayıtları MYH değerlerine göre gruplandırılmıştır.
- Her bir prefabrik yapı modeli için kapasite eğrisi elde edilmiş ve hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri, kapasite eğrisi üzerinde belirlenmiştir.
- Yapıyı temsil eden tek serbestlik dereceli sistemin periyot ve yatay dayanım oranı belirlenmiştir.
- Tek serbestlik dereceli sistemin ivme kayıtlarına ait maksimum deplasman talepleri, doğrusal ötesi dinamik analiz ile belirlenmiştir.
- Deplasman talepleri, öngörülen hasar seviyelerine ait limit deplasman değerleri ile karşılaştırılarak yapıların hasar durumları tespit edilmiştir.
- Hasar seviyelerinin aşılma oranı MYH gruplarına bağlı olarak elde edilmiştir.
- MYH'ye bağlı olarak çizilecek hasar görebilirlik eğrilerinin parametreleri en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir.

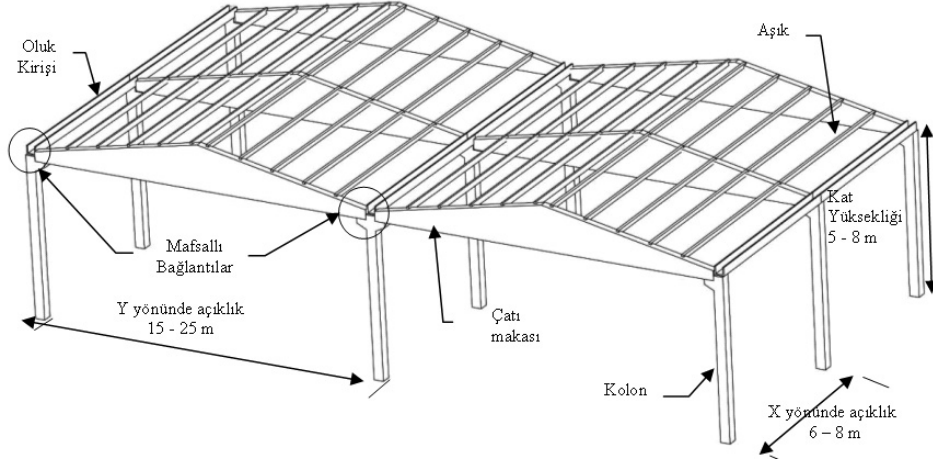
Eğrilerin oluşturulması için izlenen adımlar ile ilgili olarak ayrıntılı bilgi Kayhan tarafından yapılan doktora tez çalışmasında yer almaktadır [26].

### **3. PREFABRİK SANAYİ YAPILARI VE GÖZLENEN HASARLAR**

Türkiye'de sanayi yapılarının büyük bir kısmı prefabrikasyon teknolojisi ile üretilmektedir ve büyük oranda tek katlıdır [14]. Tek katlı sanayi yapıları kolon, çatı makası, aşık ve oluklardan oluşan çerçeve tipi taşıyıcı sisteme sahiptir (Şekil 1). Bu yapılar planda genellikle dikdörtgen forma sahip olup çatı makası düzlemi yönünde (Y yönü) tek ya da çok açıklıklı, çatı makası düzlemine dik yönde (X yönü) ise çok açıklıklı olarak inşa edilmektedir. Yapıya etkiyen yatay ve düşey yükler temele ankastre olarak bağlanan kolonlar tarafından taşınmaktadır. Çatı makasları ve oluklar kolonlara mafsallı olarak bağlanmaktadır. Aşıklar ise çatı makaslarına mafsallı olarak bağlanmaktadır. Çatı düzlemindeki bağlantıların mafsallı olması sebebiyle yapıyı oluşturan çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedir. Bu sebeple bu tür yapıların analiz ve tasarımı düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınarak yapılmaktadır. Çatı kaplaması olarak hafif malzemeler (alüminyum saç vs.) tercih edilmekte, bina dış aks cephelerinin kapatılmasında da genellikle prefabrik paneller kullanılmaktadır. [20].

Bu çalışmada, prefabrik sanayi yapılarının hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesinin yanısıra, bu yapıların dayanım, rijitlik ve süneklik özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinen ve tasarım aşamasında karar verilen bazı parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı, kolon yüksekliği ve etriye aralığı parametreleri değişken olarak alınmış ve bu parametrelerin alt ve üst değerleri

mevcut prefabrik sanayi yapılarının büyük bir kısmını temsil edecek şekilde seçilmiştir. Denizli ve çevresinde bulunan 100'den fazla prefabrik sanayi yapısının tasarım projeleri incelenmiş, söz konusu değişkenler hazırlanan veritabanlarına eklenmiştir.



Şekil 1 - Tipik tek katlı prefabrik sanayi yapısı

Tasarım projelerinden elde edilen bilgilere göre genel olarak kare enkesite sahip kolonların enkesit boyutları büyük oranda 35x35 ile 45x45cm arasındadır. Etriye donatısı çapının, incelenen yapıların tamamına yakınında 8mm olduğu belirlenmiştir. Kolonların sarılma bölgesinde etriye aralığının, 1998 öncesi yapılan yapılarda 10cm ile 20cm arasında değiştiği, 1998 sonrası yapılan yapılarda ise 10cm olduğu tespit edilmiştir. Yapıların büyük bir kısmında kolon boyuna donatı oranı yapım yılı ve kolon boyutundan bağımsız olarak %1 ile %2 arasında değişmektedir. Kolon yüksekliği 500cm-800cm arasındadır. Boyuna donatı sınıfı olarak S420 seçilmektedir. Tasarım beton dayanımı 25MPa ile 35MPa arasındadır.

Prefabrik sanayi yapılarında, 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde yaygın ve ciddi hasarlar meydana geldiği gözlenmiştir. 1999 Marmara depremleri sonrasında, Türkiye Prefabrik Birliği'ne üye kuruluşların Adapazarı'nda yapmış olduğu 98 sanayi tesisinin 16'sında toptan göçme 8'inde ise kısmi göçme belirlenmiştir [18]. Marmara bölgesindeki prefabrik yapı hasarları ile ilgili başka bir çalışmada Adapazarı Organize Sanayi Bölgesi'nde tamamen veya kısmen göçen sanayi tesisi oranının %80'e ulaştığı belirtilmektedir [23]. 1998 Ceyhan depreminden sonra yapılan incelemede, prefabrik sanayi yapılarında ortaya çıkan hasarların sebepleri arasında birleşim bölgelerinde, projelendirme ve detaylandırma ile ilgili yetersizliklerin de bulunduğu belirtilmiştir [22].

Adana ve Marmara depremleri sonrasında prefabrik yapıların davranışları, bu yapılarda gözlenen hasarlar ve sebepleri konusunda çalışmalar yapılmıştır. Posada ve Wood [19] tarafından yapılan çalışmada özellikle kolon rijitliğinin prefabrik yapıların deprem performansı üzerinde çok etkili olduğu ve sadece kolon boyutlarını arttırmanın bile ilerde

### *Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri*

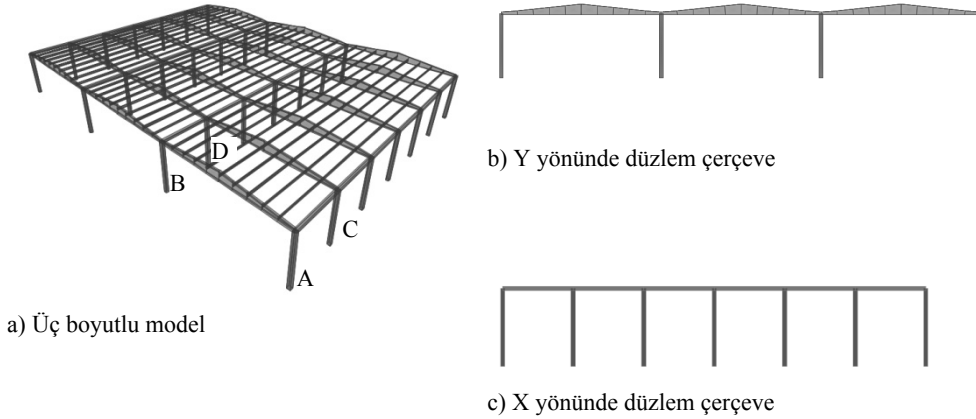
oluşabilecek hasarların azalmasını sağlayacağı ileri sürülmüştür. Yılmaz [27] prefabrik sanayi yapılarının birleşimine gelen kuvvetleri ve yatay ötelenme açısından bu yapıların davranışını incelemiştir. Arslan vd. [21] prefabrik yapılarda meydana gelen hasarlar ve sebeplerini değerlendirmiş, gözlenen yetersizliklerin giderilmesi amacıyla kolonlar ve birleşim bölgeleri ile ilgili güçlendirme önerilerini sunmuştur.

Depremlerden sonra yapılan incelemeler, tek katlı prefabrik sanayi yapılarında gözlenen hasarların yatay ötelenmeler sebebiyle meydana gelen hasarlar ve birleşim bölgesindeki yetersizlikler nedeniyle oluşan hasarlar olarak sınıflandırılabilceğini göstermektedir. Bu çalışmada birleşim bölgesi yetersizliği ile ilgili hasarlar kapsam dışında bırakılmış ve kolonların yatay ötelenmelerine bağlı hasarlar dikkate alınmıştır.

## **4. PREFABRİK SANAYİ YAPILARININ KAPASİTE EĞRİSİ**

### **4.1 Yapısal Model**

Çatı düzlemindeki bağlantıların mafsallı olması sebebiyle, çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedir. Dolayısıyla bu tür yapıların tasarımı ya da analizi kendisini oluşturan iki boyutlu düzlem çerçeveler ayrı ayrı dikkate alınarak yapılmaktadır. Şekil 2’de üç boyutlu tipik prefabrik sanayi yapısı ve yapıyı oluşturan çerçeveler görülmektedir. Herhangi bir prefabrik sanayi yapısında birbirinden farklı dört tipik düzlem çerçeve bulunmaktadır. Bu çerçeveler X-İç, X-Dış, Y-İç ve Y-Dış çerçeveleridir. Her bir tipik model için analizler bu dört çerçeve dikkate alınarak yapılmıştır. 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. A, B, C ve D kolonları çerçevelerin içindeki yerlerine bağlı olarak farklı eksenel yük etkisindedir.



*Şekil 2: Prefabrik sanayi yapısı ve düzlem çerçeveler*

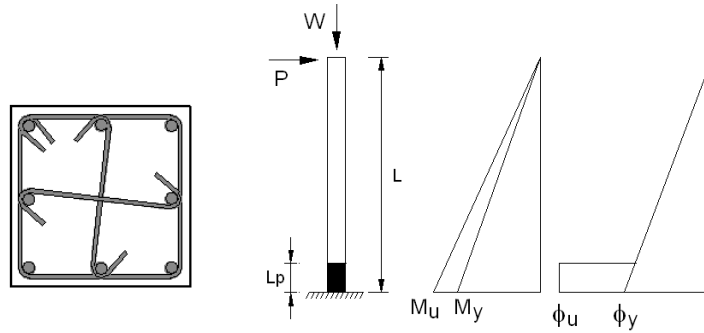
Hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesi amacıyla X yönünde 6 açıklık ve Y yönünde 3 açıklığa sahip, 16 tipik sanayi yapısı modeli kullanılmıştır. Tipik modellerde açıklıklar X yönünde 2000cm ve Y yönünde 750cm'dir. Betonun basınç dayanımı 30MPa, boyuna ve enine donatı akma dayanımı 420MPa kabul edilmiştir. Etriye çapı 8mm'dir. Prefabrik yapıların rijitlik, dayanım ve süneklikleri üzerinde etkili olduğu bilinen parametreler kolon enkesit boyutu (B), boyuna donatı oranı ( $\rho_l$ ), kolon yüksekliği (L) ve etriye aralığı (S) değişken olarak kullanılmıştır. Değişken parametrelerin alt ve üst değerleri, mevcut yapı stoğundan elde edilen veriler dikkate alınarak belirlenmiş ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Değişken parametreler ve değerleri

B	$\rho_l$	S	L
cm	%	cm	cm
35x35	1	10	600
45x45	2	20	800

#### 4.2 Kolonların Moment-Eğrilik İlişkisi ve Kapasite Eğrisi

Şekil 3'te enine ve boyuna donatı düzeni verilen kolonların moment-eğrilik ilişkisi, W düşey ve P yatay yüküne maruz konsol kolonun alt ucunda plastik mafsallı kabulü ile hesaplanmıştır.  $L_p$  plastik mafsallı boyunu göstermektedir ve DBYBHY'te kolonun eğilmeye çalışan boyutunun yarısı olarak önerilmiştir.  $\phi_y$  kolonun akma anındaki eğrilikliğini,  $\phi_u$  ise kolonun nihai eğrilik değerini göstermektedir.  $M_y$  ve  $M_u$  sırasıyla akma anındaki ve nihai moment değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3: Konsol kolonda plastik mafsallı kabulü ve kolon boyuna ve enine donatı düzeni

Moment eğrilik ilişkisinin elde edilmesi için sargılı beton gerilme şekil değiştirme ilişkisi olarak Geliştirilmiş Kent-Park modeli [28], çelik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi olarak pekleşmeli Mander modeli [29] kullanılmıştır. Tipik modellerde yer alan kolonların alt ucunda aksel yükler (N), sabit yükler ve hareketli yüklerin toplamı olarak elde edilmiştir.

### *Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri*

Sabit yükler, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların ağırlıkları ile çatıda 20 kg/m<sup>2</sup> kaplama ağırlığıdır. Hareketli yük olarak kar yükü 75 kg/m<sup>2</sup> alınmıştır.

Kolonun kapasite eğrisinin elde edilmesi amacıyla moment-eğrilik ilişkisi iki doğrulu hale getirilmiştir. Elastik ötesi rijitlik değeri sıfır kabul edilmiştir. Kesitin akma momenti (M<sub>y</sub>) betonun şekil değiştirmesinin ε<sub>c</sub>=0.004 olduğu noktadaki moment olarak kabul edilmiştir. Kesitin akma eğriliği, Denklem 2 ile hesaplanmıştır:

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

Denklem 2'de EI<sub>eff</sub> değeri efektif eğilme rijitliğini ifade etmektedir. DBYBHY'te eksenel yük düzeyi %10'un altında olan kolonlar için efektif eğilme rijitliğinin hesabında kesit efektif atalet momenti, brüt ataletin 0.40 katı alınmaktadır. Prefabrik tek katlı sanayi yapılarında kolonların eksenel yük düzeyleri düşüktür. Bu çalışmada dikkate alınan tipik yapılardaki tüm kolonlarda eksenel yük düzeyi %10'un altındadır. Bu sebeple efektif eğilme rijitliğinin hesabında 0.40 katsayısı kullanılmıştır.

Şekil 3'te verilen konsol kolonun üst ucunda elastik ve plastik deplasman değerleri kesit eğrilik değerlerine bağlı olarak Denklem 3a ve Denklem 3b ile hesaplanmıştır.

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

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

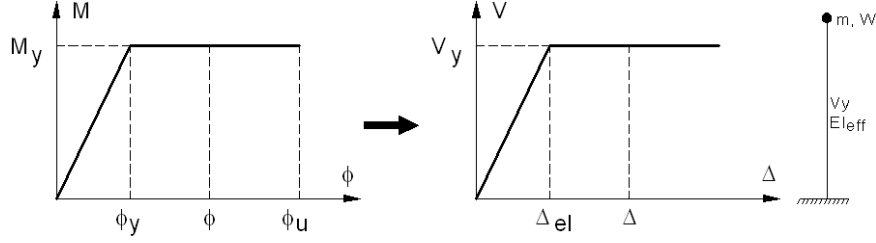
Denklem 3a ve Denklem 3b'de, φ değeri elastik ötesi herhangi bir eğrilik değerini göstermektedir. Kolon üst ucundaki toplam deplasman değeri Denklem 4 ile kolonun yatay yük taşıma kapasitesi ise Denklem 5 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta = \Delta_{el} + \Delta_{pl} \quad (4)$$

$$V_y = \frac{M_y}{L} \quad (5)$$

Şekil 4'te iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile uyumlu olarak elde edilen kapasite eğrisi gösterilmiştir. Kapasite eğrisi elde edilen kolon için kütle, yatay dayanım, efektif eğilme rijitliği değerleri de belirlenmiş olduğundan, kolon tek serbestlik dereceli olarak temsil edilebilecektir.

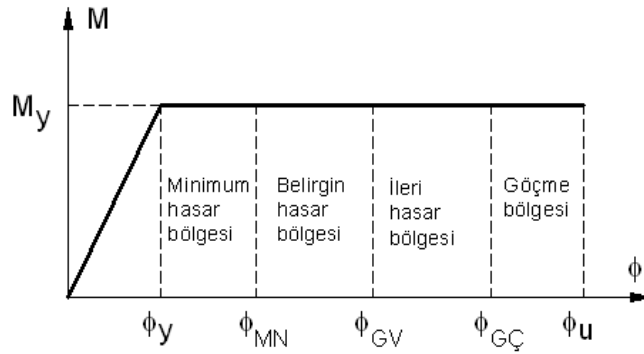




Şekil 4: Moment-eğrilik ilişkisi ile uyumlu kolon kapasite eğrisi

### 4.3 Hasar Bölgeleri ve Hasar Seviyeleri

Hasar seviyelerinin tanımlanması, hasar görebilirlik eğrilerinin oluşturulmasında önemli aşamalardan birisidir. Hasar seviyelerinin tanımlanmasında kullanılacak parametre ve hasar seviyelerine ait limit durumların değeri, oluşturulacak hasar görebilirlik eğrilerini doğrudan etkileyecektir. Bu çalışmada, prefabrik yapı kolonlarının hasar durumlarının tespiti için kritik kesitteki birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak DBYBHY’te 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 DBYBHY’te 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. Moment-eğrilik ilişkisi üzerinde hasar bölgeleri ve hasar seviyeleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5: Kesit hasar bölgeleri ve hasar seviyeleri

#### 4.4 Çerçeveslerin Kapasite Eğrilerinin Elde Edilmesi

Değişken parametrelere bağlı olarak oluşturulan 16 farklı modele ait 64 kolonun moment-eğrilik ilişkisi hesaplanmış ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Tablo 2’de 16 tipik modele verilen etiket ve her bir modelde değişken parametrelerin aldığı değerler görülmektedir.

Tablo 2: Dikkate alınan yapı modellerinde kolonların parametre değerleri

Model	B	L	S	$\rho_l$	Model	B	L	S	$\rho_l$
	cm	cm	cm	%		cm	cm	cm	%
B35L6S10R1	35X35	600	10	1	B35L8S10R1	35X35	800	10	1
B35L6S20R1	35X35	600	20	1	B35L8S20R1	35X35	800	20	1
B45L6S10R1	45X45	600	10	1	B45L8S10R1	45X45	800	10	1
B45L6S20R1	45X45	600	20	1	B45L8S20R1	45X45	800	20	1
B35L6S10R2	35X35	600	10	2	B35L8S10R2	35X35	800	10	2
B35L6S20R2	35X35	600	20	2	B35L8S20R2	35X35	800	20	2
B45L6S10R2	45X45	600	10	2	B45L8S10R2	45X45	800	10	2
B45L6S20R2	45X45	600	20	2	B45L8S20R2	45X45	800	20	2

Tablo 3’te kolonların ve çerçeveslerin kapasite eğrilerinin elde edilmesi için yapılan işlemleri açıklamak üzere örnek olarak seçilen B35L6S10R1 nolu modelde yer alan kolonların moment-eğrilik analizi sonucu elde edilen  $M_y$  ve  $\phi_y$  değerleri ile MN, GV ve GÇ hasar seviyelerine ait plastik eğrilik limitleri verilmiştir.

Tablo 3: B35L6S10R1 nolu modeli oluşturan kolonların moment-eğrilik ilişkisi verileri

Kolon	$M_y$	$\phi_y$	$\phi_{MN,PL}$	$\phi_{GV,PL}$	$\phi_{GÇ,PL}$
	kNm	rad/m	rad/m	rad/m	rad/m
A	95.61	0.01162	0.02690	0.13643	0.22503
B	107.79	0.01230	0.03025	0.15010	0.22871
C	102.96	0.01214	0.01789	0.13865	0.22665
D	121.50	0.01203	0.03059	0.15480	0.21101

A, B, C ve D nolu kolonlar için Tablo 3’te verilen değerler kullanılarak akma deplasmanları, yatay yük taşıma kapasiteleri ve kapasite eğrisi üzerinde MN, GV ve GÇ hasar seviyelerine ait plastik ve toplam deplasmanlar hesaplanmış ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4: B35L6S10R1 modelini oluşturan kolonlarda hasar seviyelerine ait limit deplasmanlar

Kolon	$V_y$ <i>kN</i>	$\Delta_{el}$ <i>cm</i>	$\Delta_{MN,PL}$ <i>cm</i>	$\Delta_{GV,PL}$ <i>cm</i>	$\Delta_{GÇ,PL}$ <i>cm</i>	$\Delta_{MN}$ <i>cm</i>	$\Delta_{GV}$ <i>cm</i>	$\Delta_{GÇ}$ <i>cm</i>
A	15.93	7.2	2.7	13.9	22.9	9.9	21.1	30.1
B	17.96	8.1	3.1	15.3	23.3	11.2	23.4	31.4
C	17.16	7.7	1.8	14.1	23.1	9.5	21.8	30.8
D	20.25	9.1	3.1	15.8	21.5	12.2	24.9	30.6

Her bir yapı modelinde dört farklı çerçeveye ait (X-İç, X-Dış, Y-İç, Y-Dış) kapasite eğrileri, ilgili çerçeveyi oluşturan kolonların kapasite eğrileri kullanılarak elde edilmiştir. Çerçevelere ait kapasite eğrisinin ve hasar seviyelerine ait deplasmanların belirlenmesinde şu kabuller yapılmıştır: Çerçevenin yatay yük kapasitesi, çerçeveyi oluşturan kolonların yatay yük kapasiteleri toplamına eşittir. Tipik modelleri oluşturan kolonların yapı içerisindeki yerlerine bağlı olarak eksenel yük düzeyleri farklıdır ancak enkesit boyutları ve donatı düzenleri aynıdır. Dolayısıyla çerçeveyi oluşturan kolonların Denklem 2 ve Denklem 3a ile hesaplanan akma deplasmanı değerleri birbirine yakındır. Bu sebeple çerçeve akma deplasmanı, çerçeveyi oluşturan kolonların akma deplasmanları ortalamasına eşit alınmıştır. Çerçevenin toplam kütlesi kolonların üst ucunda hesaplanan kütlelerin toplamına, toplam ağırlığı ise kolonların üst ucunda hesaplanan eksenel yüklerin toplamına eşittir. Çerçevenin yatay ötelenme rijitliği, çerçeve yatay yük kapasitesinin, çerçeve akma deplasmanına bölümü ile elde edilmiştir. Çerçevenin periyodu ise çerçevenin yatay ötelenme rijitliği ve kütlesi kullanılarak hesaplanmıştır. Çerçevenin yatay yük dayanım oranı, çerçeve yatay yük kapasitesinin, çerçeve toplam ağırlığına bölümü ile bulunmuştur. Çerçeve kapasite eğrisi üzerinde akma deplasmanının belirlenmesinden sonra, her bir hasar seviyesine ait deplasman sınırının belirlenmesinde, o çerçeveyi oluşturan kolonlar içerisinde ilgili hasar seviyesi için en düşük plastik deplasman değerine sahip olan kolon dikkate alınmıştır.

B35L6S10R1 nolu modelde yer alan çerçeveler için kapasite eğrisi ve eğri üzerinde hasar seviyelerine ait deplasmanlar hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te ilk satırda yer alan Y-Dış çerçevesi ile ilgili değerlerin nasıl hesaplandığını örnek olması açısından açıklanmıştır. Seçilen tipik modeller Y yönünde 3 açıklığa sahiptir. Buna göre Y-Dış çerçevesinde 2 adet A ve 2 adet B kolonu (toplam 4 kolon) bulunmaktadır (Şekil 2). Y-Dış çerçevesi için  $V_y=67.80\text{kN}$  değeri Tablo 4'te A ve B kolonları için hesaplanan  $V_y$  değerlerinin 2 ile çarpılarak toplanması ile elde edilmiştir. Y-Dış çerçevesi için akma deplasmanı  $\Delta_y=7.7\text{cm}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer çerçeve üzerinde yer alan 2 adet A ve 2 adet B kolonu için Tablo 4'te verilen elastik deplasmanların ağırlıklı ortalamasıdır. MN hasar seviyesine ait plastik deplasman A kolonu için 2.7cm, B kolonu için 3.1cm'dir. O halde çerçeve aktıktan sonra 2.7cm deplasman yaptığı anda MN hasar seviyesinin aşıldığı varsayılacaktır. Aynı şekilde GV hasar seviyesine ait plastik deplasman A kolonu için 13.9cm ve B kolonu için 15.3cm'dir. Çerçevenin GV hasar seviyesine ait sınır deplasman değerini de daha düşük plastik deplasman değerine sahip A kolonu belirleyecektir. O halde Y-Dış çerçevesinin MN ve GV hasar seviyeleri toplam deplasman

### Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri

limiti sırasıyla 10.4cm ve 21.6cm'dir. Çerçevenin GÇ hasar seviyesine ait deplasman limiti de benzer şekilde 30.6cm olarak hesaplanmıştır. Çerçevenin yatay ötelenme rijitliği  $V_y/\Delta_y$  8.80kN/cm bulunur. Çerçevenin ağırlığı  $W=632.01$ kN ve çerçeve kütlesi  $m=0.64$ kN.s<sup>2</sup>/cm bulunur. Dolayısıyla çerçevenin efektif titreşim periyodu  $T_{eff}=1.70$ s olarak hesaplanır. Çerçevenin yatay dayanım oranı ise  $V_y/W=0.107$  olarak hesaplanmıştır. Böylece çerçevenin tek serbestlik dereceli olarak analiz edilebilmesi için kullanılacak periyot ( $T_{eff}$ ) ve yatay dayanım oranı ( $V_y/W$ ) hesaplanmış olmaktadır. Burada açıklandığı şekilde 16 tipik modele ait 64 çerçeve için kapasite eğrileri elde edilmiştir.

Tablo 5: B35L6S10R1 modelini oluşturan çerçevelerin kapasite eğrileri üzerinde veriler

Çerçeve	$V_y$	$W$	$\Delta_y$	$\Delta_{MN}$	$\Delta_{GV}$	$\Delta_{GÇ}$	$T_{eff}$	$V_y/W$
	kN	kN	cm	cm	cm	cm	s	%
Y-DIŞ	67.80	632.01	7.7	10.4	21.6	30.6	1.70	10.7
Y-İÇ	74.82	970.45	8.4	10.2	22.5	29.9	2.09	7.7
X-DIŞ	117.67	1058.81	7.6	9.4	21.5	30.5	1.66	11.1
X-İÇ	137.18	1999.34	8.8	11.9	24.1	30.3	2.27	6.9

Tablo 5 incelendiğinde iç çerçevelerin periyotlarının dış çerçevelerin periyotlarından daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi iç çerçevelerde kolonların aksenal yük düzeylerinin ve dolayısıyla çerçeve kütlesinin daha fazla olmasıdır. Öte yandan iç çerçevelerde yatay dayanım oranı da ( $V_y/W$ ) dış çerçevelere göre daha düşüktür. Özellikle periyodu daha büyük olan iç çerçevelerde deprem dolayısıyla maksimum deplasman talebi de daha büyük olacaktır. Periyot ve yatay dayanım oranı beraber düşünüldüğünde herhangi bir prefabrik yapıda yatay ötelenme ile ilgili hasarlar açısından iç çerçevelerin daha kritik olduğu söylenebilir. Bu durumda prefabrik yapının deprem performansının değerlendirilmesinde daha kritik olan iç çerçevelerin dikkate alınması uygun olacaktır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında bütün hesap ve değerler iç çerçeveler için verilmiştir.

Tablo 6'da tipik yapı modellerine ait iç çerçevelerin periyot ve yatay dayanım oranı değerleri verilmiştir. Tablo 6'da görüldüğü gibi çerçevelerin rijitliği ile ilgili parametreler kolon enkesit boyutu ve kolon yüksekliği değiştiğinde çerçeve periyodu değişmektedir. Kolon boyuna donatı oranının değişmesi ise esas olarak çerçevenin yatay dayanım oranı üzerinde etkili olmaktadır. Tablo 6'da sadece etriye aralığı  $S=10$ cm olan modeller verilmiştir. Çünkü Tablo 6'da yer alan modeller için  $S=20$ cm olduğunda da hemen hemen aynı periyot ve yatay dayanım oranları elde edilmektedir. Etriye aralığı, periyot ve yatay dayanım oranı üzerinde belirgin bir etkiye sahip değildir ama çerçevenin sünekliği üzerinde yani hasar seviyelerine ait limit deplasmanlar üzerinde etkilidir.

Tablo 6'da prefabrik yapılarda dikkate alınan parametrelerin yapıyı büyük oranda temsil eden alt ve üst değerleri kullanılarak elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bu açıdan bakıldığında mevcut tek katlı prefabrik sanayi yapılarında çerçeve efektif titreşim periyotlarının her zaman 1.0s'nin üzerinde olacağı söylemek mümkündür. Benzer şekilde

tek katlı prefabrik sanayi yapılarını temsil eden çerçevelerin yatay dayanım oranlarının da %5 ile %25 arasında olabileceği söylenebilir.

Tablo 6: X ve Y yönünde iç çerçevelerin  $T_{eff}$  ve  $V_y/W$  değerleri

Model	Y-İç		X-İç		Model	Y-İç		X-İç	
	$T_{eff}$	$V_y/W$	$T_{eff}$	$V_y/W$		$T_{eff}$	$V_y/W$	$T_{eff}$	$V_y/W$
	s	%	s	%		s	%	s	%
B35L6S10R1	2.10	7.71	2.27	6.86	B45L6S10R1	1.28	14.76	1.39	12.99
B35L6S10R2	2.10	12.33	2.27	10.77	B45L6S10R2	1.28	24.91	1.39	21.62
B35L8S10R1	3.25	5.75	3.52	5.12	B45L8S10R1	2.00	10.93	2.16	9.65
B35L8S10R2	3.25	9.17	3.52	8.02	B45L8S10R2	2.00	18.39	2.16	16.01

## 5. KULLANILAN İVME KAYITLARI VE DİNAMİK ANALİZ

Tek serbestlik dereceli olarak temsil edilen çerçevelerin maksimum deplasman taleplerinin belirlenmesi ve kapasite eğrisi ile karşılaştırılması amacıyla doğrusal ötesi dinamik analiz yöntemi seçilmiştir. İstatistiksel değerlendirme amacıyla mümkün olduğu kadar fazla sayıda deplasman talebi elde etmek için 28 depreme ait toplam 360 ivme kaydı kullanılmıştır. Kayıtlar PEER'dan [30] alınmıştır. Seçilen depremlerin büyüklüğü 5.4 ile 7.7 arasında değişmektedir. Seçilen ivme kayıtlarının kaydedildiği istasyonların %97'sinde faya olan en yakın mesafe 30km'nin altındadır.

MYH, periyodun özellikle 1.0s'den büyük olduğu yapılarda, elastik ötesi deplasman talebi ile iyi bir ilişki göstermektedir [11, 31]. Bu sebeple yer hareketi parametresi olarak MYH seçilmiştir. İvme kayıtları MYH değerlerine göre 12 gruba ayrılmıştır (her grup için MYH aralığı 5 cm/s). İvme kayıtlarının 288'i orijinal halleri ile kullanılmıştır. 72 kayıt ise özellikle MYH'nin büyük değerleri için gerekli sayıda veri oluşturmak amacıyla ölçeklendirilmiştir. Ölçekleme için kullanılan maksimum katsayı 1.54'tür. Ölçekleme için kullanılacak katsayının, doğrusal ötesi analizler için 2'yi geçmemesi önerilmektedir [32]. Tablo 7'de ivme gruplarına ait kayıtların sayısı ile MYH değerlerinin ortalama ve standart sapması (cm/s) verilmiştir. Hasar olasılık eğrilerinin elde edilmesi amacıyla her bir MYH grubu, ortalama değeri ile temsil edilmiştir.

Tek serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal ötesi davranışı plastik mafsallar ile tanımlanmış ve doğrusal ötesi dinamik analiz için Sap2000 programı [33] kullanılmıştır. Sayısal integasyon için ortalama ivme metodu seçilmiştir [34]. Kolonların eksenel yük düzeyleri %10'un altında olduğu için çevrimsel davranış ideal-elastoplastik davranış ile temsil edilmiştir. Sönüm oranı %5 alınmıştır.

## Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri

Tablo 7: MYH gruplarına ait kayıt sayısı, ortalama, standart sapma değerleri

Grup	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kayıt Sayısı	32	31	29	30	33	26	29	31	29	28	32	30
Ortalama	22.0	27.8	32.5	37.7	42.4	47.7	52.2	57.3	62.3	67.6	72.6	77.3
Std. Sapma	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4	1.5	1.1	0.9	0.9	1.1

## 6. PREFABRİK SANAYİ YAPILARI İÇİN HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ

Doğrusal ötesi dinamik analiz sonuçlarına bağlı olarak her bir çerçeve için hasar görebilirlik eğrileri MYH değerine bağlı olarak elde edilmiştir. Hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesi için uygulanan adımların açıklanması amacıyla örnek çerçeve olarak B35L6S10R1 modeline ait X-İç çerçevesi kullanılmıştır. Bu çerçeveye ait  $T_{eff}=2.27s$  ve  $V_y/W=\%6.86$  idi (Tablo 6). Ayrıca bu çerçevede MN, GV ve GÇ hasar seviyeleri için deplasman limitleri 11.9cm, 24.1cm ve 30.3cm olarak hesaplanmıştır (Tablo 5). İvme kayıtlarının her biri için maksimum deplasman talebi hesaplanmış ve hasar seviyelerine ait deplasman limitleri ile karşılaştırılarak çerçevenin hasar durumuna karar verilmiştir.

Tablo 8’de ivme gruplarında yer alan kayıtların her biri için elde edilen sonuçlar verilmiştir. MN, GV ve GÇ seviyelerine ait aşılma sayıları, MYH grubunda yer alan ivme kayıtlarının kaç tanesi için maksimum deplasman talebinin ilgili hasar seviyesini aştığını belirtmektedir. Örneğin 3 nolu MYH grubunda yer alan 29 ivme kaydı ile yapılan analiz sonucunda bu kayıtlardan 14 tanesinde MN seviyesi, 3 tanesinde GV seviyesi ve 1 tanesinde GÇ seviyesi aşılmaktadır. Aşılma sayılarının grupta yer alan ivme kaydı sayısına bölümü ile de aşılma oranları elde edilmektedir. Yine 3 nolu MYH grubunu dikkate alırsak MN, GV ve GÇ hasar seviyelerine ait aşılma oranları, bu hasar seviyelerine ait aşılma sayılarının (sırasıyla 14, 3 ve 1) gruptaki ivme kaydı sayısı 29’a bölünmesi ile elde edilmiştir.

Yukarıda açıklandığı şekilde tüm çerçeveler ve hasar seviyeleri için MYH değerine bağlı olarak aşılma oranları elde edilmiştir. Hesaplanan aşılma oranları kullanılarak, iki parametrelili lognormal dağılım kabulü ile hasar görebilirlik eğrilerinin parametreleri  $\lambda$  (ortalama) ve  $\zeta$  (lognormal standart sapma) en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir. En küçük kareler yönteminde MYH değerlerine bağlı olarak elde edilen aşılma oranları ile,  $\lambda$  ve  $\zeta$  parametrelerine sahip olarak lognormal dağıldığı varsayılan MYH değerlerinin aşılma oranları arasındaki farkların kareleri toplamının minimum edilmesi hedeflenmektedir.

İki parametrelili lognormal dağılım kabulü için, belirli bir hasar seviyesinin kümülatif aşılma olasılığı Denklem 6 ile ifade edilmektedir.

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

Tablo 8: B35L6S10R1 modeli X-İç çerçevesi için aşılma sayıları ve oranları

MYH			Aşılma Sayısı			Aşılma Oranı		
Grup	Ortalama	n	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
1	21.92	32	10	0	0	0.313	0.000	0.000
2	27.29	31	14	1	0	0.452	0.032	0.000
3	31.84	29	14	3	1	0.483	0.103	0.034
4	37.32	30	18	5	1	0.600	0.167	0.033
5	41.77	33	28	10	5	0.848	0.303	0.152
6	47.12	26	24	11	6	0.923	0.423	0.231
7	52.13	29	29	15	12	1.000	0.517	0.414
8	57.69	31	29	17	12	0.935	0.548	0.387
9	62.06	29	27	20	15	0.931	0.690	0.517
10	67.59	28	27	22	12	0.964	0.786	0.429
11	72.54	32	31	27	20	0.969	0.844	0.625
12	77.28	30	29	26	24	0.967	0.867	0.800

Tablo 9: X yönündeki iç çerçeveler için hasar görülebilirlik eğrilerinin parametreleri

Modeller	MN		GV		GÇ	
	$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$
B35L6S10R1	3.383	0.435	3.945	0.367	4.141	0.385
B35L6S20R1	3.383	0.435	3.813	0.329	3.945	0.367
B45L6S10R1	3.362	0.460	4.264	0.239	4.409	0.190
B45L6S20R1	3.388	0.446	4.058	0.328	4.212	0.240
B35L6S10R2	3.667	0.372	4.050	0.340	4.224	0.376
B35L6S20R2	3.648	0.377	3.900	0.369	4.015	0.360
B45L6S10R2	3.778	0.484	4.412	0.239	4.476	0.179
B45L6S20R2	3.796	0.468	4.211	0.293	4.306	0.224
B35L8S10R1	3.600	0.369	3.990	0.448	4.212	0.524
B35L8S20R1	3.595	0.380	3.891	0.371	3.990	0.448
B45L8S10R1	3.621	0.425	4.355	0.283	4.525	0.298
B45L8S20R1	3.671	0.423	4.238	0.363	4.297	0.319
B35L8S10R2	3.827	0.427	4.237	0.612	4.303	0.598
B35L8S20R2	3.794	0.417	4.039	0.514	4.203	0.665
B45L8S10R2	3.964	0.400	4.484	0.377	4.564	0.321
B45L8S20R2	3.988	0.380	4.256	0.350	4.301	0.317

### Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri

Denklem 6'da  $\Phi$  standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu, X lognormal dağılan yer hareketi parametresini göstermektedir. Prefabrik yapı modellerini temsil eden iç çerçevelere ait hasar görebilirlik eğrilerinin parametreleri X yönündeki çerçeveler için Tablo 9'da ve Y yönündeki çerçeveler için Tablo 10'da verilmiştir.

### 7. DEĞİŞKEN PARAMETRELERİN HASAR GÖREBİLİRLİĞE ETKİSİ

Tablo 9 ve Tablo 10 beraber incelendiğinde X ve Y yönleri için elde edilen parametre değerlerinin her bir çerçeve ve hasar seviyesi için birbirine yakın olduğu görülmektedir. Analiz için kullanılan tipik modellerin X yönünde 6 ve Y yönünde 3 açıklığa sahip olduğu hatırlanmalıdır. X ve Y yönlerinde seçilecek açıklık sayılarının değişmesi hem çerçevelere ait kapasite eğrilerinin hem de maksimum deplasman taleplerinin değişmesine yol açacaktır. Dolayısıyla elde edilen verilere bakarak herhangi bir analiz yönünün diğerine göre daha kritik olduğunu söylemek mümkün değildir. Öte yandan çalışmanın amacı değişken parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu sebeple çalışmanın bu kısmında, parametrelerin etkisinin değerlendirilmesi amacıyla sadece X yönündeki eğriler dikkate alınmıştır.

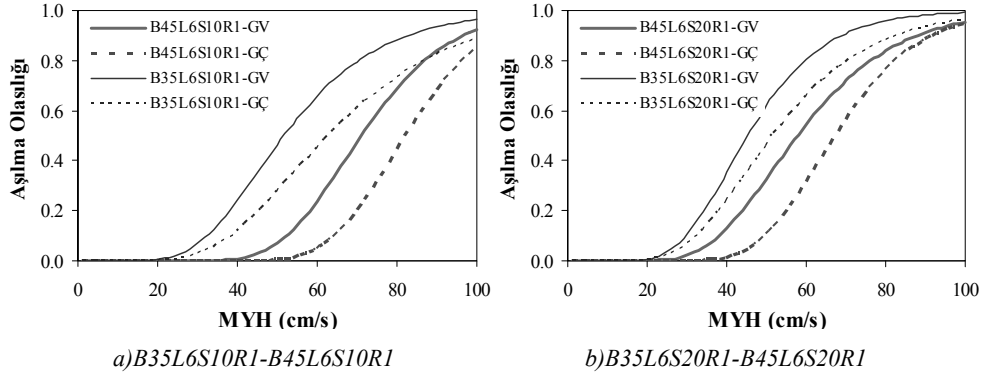
Tablo 10: Y yönündeki iç çerçeveler için hasar görebilirlik eğrilerinin parametreleri

Modeller	MN		GV		GÇ	
	$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$
B35L6S10R1	3.271	0.449	3.942	0.348	4.236	0.471
B35L6S20R1	3.352	0.446	3.844	0.364	3.998	0.385
B45L6S10R1	3.462	0.498	4.291	0.229	4.452	0.184
B45L6S20R1	3.482	0.500	4.093	0.292	4.235	0.259
B35L6S10R2	3.653	0.450	4.144	0.356	4.242	0.311
B35L6S20R2	3.686	0.464	4.003	0.371	4.104	0.354
B45L6S10R2	3.921	0.435	4.407	0.250	4.409	0.106
B45L6S20R2	3.916	0.442	4.277	0.290	4.323	0.250
B35L8S10R1	3.616	0.389	4.040	0.455	4.248	0.523
B35L8S20R1	3.585	0.397	3.941	0.424	4.040	0.455
B45L8S10R1	3.630	0.432	4.411	0.348	4.421	0.182
B45L8S20R1	3.634	0.447	4.217	0.365	4.315	0.343
B35L8S10R2	3.794	0.378	4.220	0.515	4.333	0.559
B35L8S20R2	3.813	0.376	4.025	0.464	4.201	0.549
B45L8S10R2	4.003	0.417	4.425	0.233	4.534	0.237
B45L8S20R2	4.025	0.404	4.360	0.396	4.025	0.404

Tablo 9 ve Tablo 10'dan görüldüğü gibi lognormal dağılım parametreleri yapısal parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Yani, prefabrik yapının rijitliği, sünekliği ve



dayanımı üzerinde etkili olduğu bilinen yapısal parametreler hasar görebilirliği de etkilemektedir. Parametrelerin etkisinin değerlendirilmesi amacıyla bütün modeller ve bütün hasar seviyelerine ait eğrilerin kullanılması yerine seçilen örnek modeller için GV ve GÇ hasar seviyelerine ait eğriler kullanılmıştır. Verilen şekillerde sürekli çizgiler GV hasar seviyesinin, kesikli çizgiler ise GÇ hasar seviyesinin aşılma olasılığını temsil etmektedir.



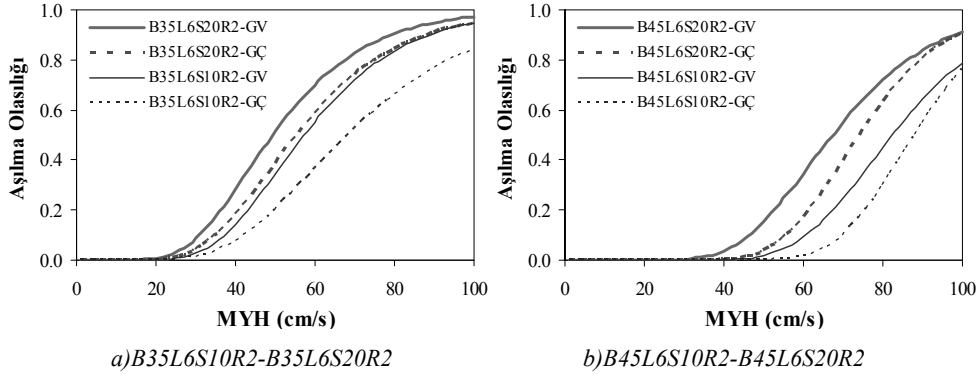
Şekil 6: Kolon enkesit boyutunun hasar görebilirlik üzerindeki etkisi

Kolon enkesit boyutu hasar görebilirliği etkileyen parametrelerden birisidir. Kolon enkesit boyutunun değişmesi çerçevenin rijitliğinin ve dayanımının artmasına, sünekliğinin ise azalmasına sebep olmaktadır. Özellikle çerçeve rijitliğinin ve periyodunun değişmesi maksimum deplasman talebini ve çerçeve performansını ciddi olarak etkilemektedir. Kolon enkesit boyutunun etkisini değerlendirmek amacıyla seçilen örnek modeller için GV ve GÇ hasar seviyelerine ait eğriler Şekil 6a-6b'de verilmiştir. Şekil 6a'da B35L6S10R1 ve B45L6S10R1 modellerine ait eğriler görülmektedir. Görüldüğü gibi kolon boyutunun artması hem GV hem de GÇ hasar seviyelerinin MYH'ye bağlı aşılma olasılıklarının azalmasına sebep olmaktadır. Örneğin MYH=60cm/s olduğunda B=35x35cm enkesit boyutuna sahip modelde GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları sırasıyla %66 ve %45 iken, B=45x45cm olduğunda aynı olasılıklar sırasıyla %25 ve %5 olmaktadır. Benzer durum Şekil 6b'de verilen B35L6S20R1 ve B45L6S20R1 modellerine ait eğriler için de görülmektedir. Örnek olarak yine MYH=60cm/s seçilirse, B=35x35cm enkesit boyutuna sahip modelde GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları sırasıyla %80 ve %66 iken, B=45x45cm olduğunda aynı olasılıklar sırasıyla %54 ve %31 olmaktadır. Şekil 6a ve Şekil 6b'de MYH=60cm/s değeri için özetlenen sonuçlar beraber değerlendirildiğinde etriye aralığının da etkisi görülmektedir. Şekil 6a'da S=10cm olan etriye aralığı Şekil 6b'de S=20cm olduğunda çerçevelerin MYH'ye bağlı hasar görme olasılıkları artmaktadır.

Çalışmada kullanılan etriye düzeni için S=20cm olduğunda kesitte bulunan sargı donatısı oranı DBYBHY'te yer alan ve tasarımda kullanılması gereken minimum sargı donatısı oranından daha az olmaktadır. Bu durumda etriye aralığının artması yani sargı donatısı oranının azalması, DBYBHY'te tanımlanmış olan GV ve GÇ hasar seviyelerine ait limit eğrilik ve buna bağlı olarak hesaplanan limit deplasman değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Sonuç olarak etriye aralığının artması kesit sünekliğinin azalmasına ve hasar seviyelerine ait aşılma olasılıklarının artmasına sebep olmaktadır.

### Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri

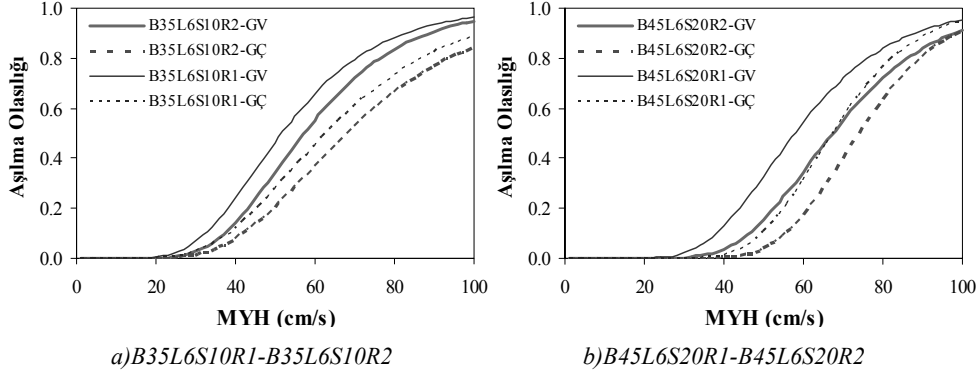
Şekil 7a ve Şekil 7b’de etriye aralığının hasar görebilirlik üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 7a’da B35L6S10R2 ve B35L6S20R2 modellerine ait eğriler karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi etriye aralığının artması yani sargı donatısı oranının azalması ile hem GV hem de GÇ hasar seviyelerinin MYH’ye bağlı aşılma olasılıkları artmıştır. Örneğin MYH=60cm/s olduğunda S=10cm olan modelde GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları sırasıyla %55 ve %37 iken, S=20cm olduğunda aynı olasılıklar sırasıyla %70 ve %59’a yükselmektedir. Benzer etki Şekil 7b’de verilen B45L6S10R2 ve B45L6S20R2 modellerine ait eğriler karşılaştırıldığında da görülmektedir. MYH=60cm/s seçilirse, S=10cm için GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları sırasıyla %9 ve %2 iken S=20cm olduğunda aynı olasılıklar sırasıyla %35 ve %17’ye yükselmektedir. Şekil 7b’de S=10cm için hasar seviyelerinin bu kadar düşük olmasının sebebi, aynı zamanda kolon enkesit boyutunun da B=45x45cm olmasıdır. Burada da kolon enkesit boyutu ve etriye aralığının beraber hasar görebilirliği ne kadar etkiledikleri net olarak görülmektedir.



Şekil 7: Etriye aralığının hasar görebilirlik üzerindeki etkisi

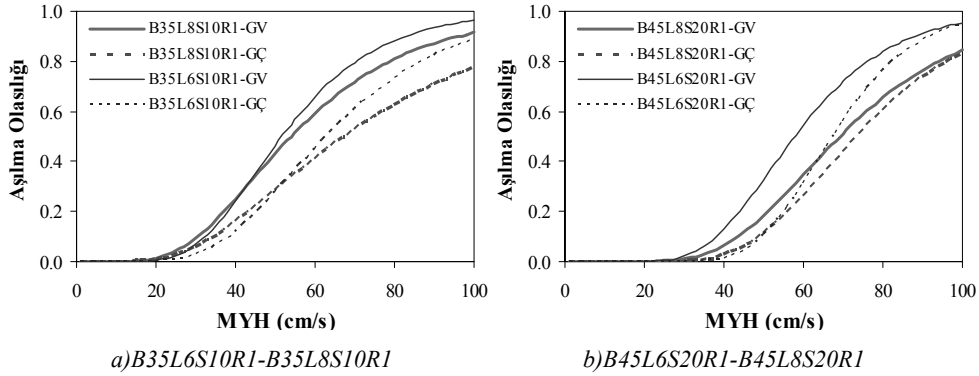
Boyuna donatı oranının artması çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini yani dayanımını artırmaktadır. Bu durumda Denklem 2 ve Denklem 3a ile hesaplanan akma deplasmanı artmış olmaktadır. Böylece hasar seviyelerine ait limit deplasmanlar da boyuna donatının artması ile artmış olmaktadır. Maksimum deplasman talebini etkileyen çerçeve rijitliği üzerinde boyuna donatının oranının belirgin bir etkisi yoktur. Dolayısıyla boyuna donatı oranının artması hasar seviyelerinin aşılma olasılığının azalmasına sebep olmaktadır. Boyuna donatı oranının hasar görebilirlik üzerindeki etkisi, kolon enkesit boyutu ya da etriye aralığının etkisine göre daha düşük seviyede kalmaktadır.

Şekil 8a ve Şekil 8b’de, seçilen örnek modellerde boyuna donatı oranının hasar görebilirlik eğrisi üzerindeki etkisi verilmiştir. Şekil 8a’da B35L6S10R1 ve B35L6S10R2 modellerine ait eğriler görülmektedir. Hem GV hem de GÇ hasar seviyelerinin MYH’ye bağlı aşılma olasılıklarının boyuna donatı oranının artması ile azaldığı görülmektedir. Örneğin MYH=60cm/s olduğunda  $\rho_f$ =%1 donatı oranına sahip modelde GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılıkları sırasıyla %66 ve %45 iken,  $\rho_f$ =%1 olduğunda aynı olasılıklar sırasıyla %55 ve %37’ye düşmektedir. Benzer etki Şekil 8b’de verilen B45L6S20R1 ve B45L6S20R2 modellerine ait eğriler için de görülmektedir.



Şekil 8: Boyuna donatı oranının hasar görülebilirlik üzerindeki etkisi

Kolon yüksekliğinin artması çerçeve rijitliğinin azalmasına ve titreşim periyodunun artmasına sebep olmaktadır. Periyodun artması ise maksimum deplasman talebinin artmasına yol açmaktadır. Öte yandan kolon yüksekliğinin artması Denklem 2 ve Denklem 3a ile hesaplanan akma deplasmanının da artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla çerçeveler için akma deplasmanı ve plastik deplasmanın toplamı olarak elde edilen hasar seviyelerine ait limit deplasmanlar artmış olmaktadır. Bilindiği gibi çerçevenin hasar durumu ise hem maksimum deplasman talebine hem de hasar seviyelerine ait limit deplasmanlara bağlı olarak belirlenmektedir. Limit deplasmanlardaki artış, maksimum deplasman talebindeki artışa göre çerçevelerin hasar durumu üzerinde daha fazla etkili olmaktadır. Sonuç olarak kolon yüksekliğinin artması hasar seviyelerinin aşılma olasılığının azalmasına sebep olmaktadır. Elde edilen bu sonucun, analizlerde kullanılan  $L=600\text{cm}$  ve  $L=800\text{cm}$  değerleri için geçerli olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 9: Kolon yüksekliğinin hasar görülebilirlik üzerindeki etkisi

### *Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri*

Şekil 9a-9b'de kolon yüksekliğinin hasar görebilirliğe etkisinin görülmesi amacıyla, seçilen örnek modeller için GV ve GÇ hasar seviyelerine ait eğriler verilmiştir. Şekil 9a'da B35L6S10R1 ve B35L8S10R1 modellerine ait eğriler görülmektedir. Görüldüğü gibi GV hasar seviyesi için MYH=40cm/s, GÇ hasar seviyesi için MYH=50cm/s değerinden daha büyük MYH değerleri için L=800cm olması durumunda hasar seviyelerinin aşılma olasılığı azalmaktadır. Şekil 9b'de ise MYH'nin hemen hemen tüm değerleri için L=800cm olması durumunda GV ve GÇ hasar seviyelerinin aşılma olasılıklarının daha düşük olduğu görülmektedir.

## **8. SONUÇLAR**

Prefabrik tek katlı sanayi yapıları için hasar görebilirlik eğrilerinin elde edilmesi ve değişken olarak seçilen kolon enkesit boyutu, kolon boyuna donatı oranı, kolon yüksekliği ve etriye aralığı parametrelerinin hasar görebilirliğe etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

Değişken olarak seçilen tüm parametreler prefabrik sanayi yapılarının hasar görebilirliğini etkilemektedir. Ancak prefabrik yapının rijitlik ve sünekliği üzerinde etkili olan parametreler hasar görebilirliği daha fazla etkilemektedir. Kolon enkesit boyutunun yani rijitliğin değişmesi maksimum deplasman talebinin, etriye aralığının yani sünekliğin değişmesi ise deplasman kapasitesinin değişmesine sebep olmaktadır. Yapının performansı ve hasar görebilirliği de deplasman talebi ve deplasman kapasitesinin karşılaştırılması ile belirlenmektedir. Dolayısıyla kolon enkesit boyutunun ve etriye aralığının hasar görebilirlik üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut prefabrik yapı stoğu özellikleri dikkate alındığında, kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı açısından hasar görebilme ihtimali yüksek olan prefabrik yapılar bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, mevcut prefabrik sanayi yapılarının hasar görebilirliğinin azaltılması için rijitlik ve sünekliğin artırılması yönünde alınacak önlemlerin daha etkili olacağını göstermektedir.

Kolon enkesit boyutu, kolon boyuna donatı oranı, kolon yüksekliği ve etriye aralığı parametreleri için bu çalışmada alabilecekleri maksimum ve minimum değerler seçilmiştir. Değişken parametrelerin farklı değerleri kullanılarak yapılacak çalışmalar, sözkonusu parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisinin daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır.

### **Semboller**

- $B$  : Kare kolonun enkesit boyutu  
 $CAV$  : Kümülatif mutlak hız  
 $EI_{eff}$  : Prefabrik çerçevenin efektif eğilme rijitliği  
 $I$  : Hasar seviyesinin aşılma olasılığı için kullanılan yer hareketi parametresi  
 $L$  : Kolon yüksekliği

$L_p$	:	Plastik mafsal boyu
$m$	:	Kütle
$M_y$	:	Kolonun akma momenti
$M_u$	:	Kolonun nihai taşıma gücü
$N$	:	Kolonun alt ucunda hesaplanan eksenel yük
$n$	:	Her bir MYH grubundaki ivme kaydı sayısı
$PGA$	:	Maksimum yer ivmesi
$MYH$	:	Maksimum yer hızı
$R$	:	Analiz sonucu hesaplanmış yapısal tepki
$r$	:	Yapısal tepkinin öngörülen hasar seviyesi için minimum değeri
$S$	:	Etriye aralığı
$S_a$	:	Spektral ivme
$S_d$	:	Spektral deplasman
$SI$	:	Tepki spektrumu şiddeti
$T_{eff}$	:	Çerçevelerin efektif titreşim periyodu
$V_y$	:	Yatay yük taşıma kapasitesi
$V_y/W$	:	Yatay dayanım oranı
$W$	:	Kolon üst ucundaki eksenel yük ve çerçevelerin toplam ağırlığı
$\Delta_{el}$	:	Kolonun elastik olarak yapabileceği maksimum deplasman
$\Delta_{GÇ}$	:	İleri hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit deplasman
$\Delta_{GÇ,PL}$	:	İleri hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit plastik deplasman
$\Delta_{GV}$	:	Belirgin hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit deplasman
$\Delta_{GV,PL}$	:	Belirgin hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit plastik deplasman
$\Delta_{MN}$	:	Minimum hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit deplasman
$\Delta_{MN,PL}$	:	Minimum hasar seviyesi için kolon üst ucundaki limit plastik deplasman
$\Delta_{pl}$	:	Kolon üst ucunda plastik deplasman
$\Delta_y$	:	Çerçeve için hesaplanan akma deplasmanı
$\epsilon_c$	:	Betonun birim şekil değiştirmesi
$\Phi$	:	Standart normal dağılım fonksiyonu

*Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri*

$\phi_{GC}$	: İleri hasar seviyesi için kesitteki limit eğrilik
$\phi_{GC,PL}$	: İleri hasar seviyesi için kesitteki limit plastik eğrilik
$\phi_{GV}$	: Belirgin hasar seviyesi için kesitteki limit eğrilik
$\phi_{GV,PL}$	: Belirgin hasar seviyesi için kesitteki limit plastik eğrilik
$\phi_{MN}$	: Minimum hasar seviyesi için kesitteki limit eğrilik
$\phi_{MN,PL}$	: Minimum hasar seviyesi için kesitteki limit plastik eğrilik
$\phi_u$	: Kesit için nihai eğrilik
$\phi_y$	: Kesit için akma anındaki eğrilik
$\rho_l$	: Boyuna donatı oranı
$\zeta$	: Lognormal dağılımın standart sapma parametresi
$\lambda$	: Lognormal dağılımın ortalama parametresi

**Kaynaklar**

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J., Naganuma, T., Statistical Analysis of Fragility Curves, Journal of Engineering Mechanics, 126(12): 1224-1231, 2000.
- [4] Rossetto, T. and Elnashai, A.S., Derivation of Vulnerability Functions for European-Type RC Structures Based on Observational Data, Engineering Structures, 25:1241-1263, 2003.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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, 2000.
- [8] 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, Geneva, Switzerland, 2006.
- [9] Erberik, M.A. and Elnashai, A.S., Fragility Analysis of Flat-Slab Structures, *Engineering Structures*, 26:937-948, 2004.
- [10] Kirçil, M.S. ve Polat, Z., Fragility Analysis of Mid-Rise RC Frame Buildings, *Engineering Structures*, 28(9):1335-1345, 2006.
- [11] Akkar, S., Sucuoglu, H., Yakut, A., Displacement-Based Fragility Functions for Low and Mid-Rise Ordinary Concrete Buildings, *Earthquake Spectra*, 21(4):901–27, 2005.
- [12] Erberik, M.A., Fragility-Based Assessment of Typical Mid-Rise and Low-Rise RC Buildings in Turkey, *Engineering Structures*, 30:1360-1374, 2007.
- [13] 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, Geneva, Switzerland, 2006.
- [14] Karaesmen, E., Prefabrication in Turkey: Facts and Figures, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 2001.
- [15] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1975.
- [16] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2007.
- [17] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1998.
- [18] Ataköy, H., 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve TPB Üyeleri Tarafından Yapı and Prefabricated Structures constructed TPB Prefabrikasyon Yapılar, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı:52-53, 1999.
- [19] Posada, M. and Wood, S., L., Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey, 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Boston, 2002.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Zorbozan, M., Barka, G. ve Sarıfakıoğlu, F., Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı 48, 1998.
- [23] Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, 10. Prefabrikasyon Sempozyumu, İstanbul, Bildiri No:1, 2000.

*Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri*

- [24] Park, Y.J. and Ang, Ah. S., Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 111(4):740-757, 1985.
- [25] Karim, K.R. and Yamazaki, F., A Simplified Method of Constructing Fragility Curves for Highway Bridges, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32:1603-1626, 2003.
- [26] Kayhan, A.H., Mafsallı Prefabrik Yapılar İçin Hasar ve Ekonomik Kayıp Tahmini, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2008.
- [27] Yılmaz, S., Tek Açıklıklı Betonarme Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı ve Türk Deprem Yönetmeliği, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2004.
- [28] 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.
- [29] Mander J.B., Seismic Design of Bridge Piers. Research report 84-2. Christchurch (New Zealand): Department of Civil Engineering, University of Canterbury, 1984.
- [30] PEER Strong Ground Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/>
- [31] 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.
- [32] Fahjan, Y.M., Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 292: 4423-4444, 2008.
- [33] Sap2000 Manual, Computers and Structures, [www.csiberkeley.com](http://www.csiberkeley.com).
- [34] Newmark, N.M., A Method of Computation for Structural Dynamics, *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, 85, pp. 67-94, 1959.