YAPISAL PARAMETRELERİN TEK KATLI MAFSALLI PREFABRİK BİNALARIN HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ş.M. Şenel[1], M. Palanci[2], Y. Yılmaz[3] ve A. Kalkan[4]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
[2] *Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
[3] *Yüksek lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
[4] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
Email: smsenel@pau.edu.tr

ÖZET:

1998 Adana–Ceyhan ve 1999 Marmara ve Düzce depremleri, büyük çoğunluğu prefabrik yapılardan oluşan sanayi yapılarının önemli ölçüde hasar görmesine ve büyük ekonomik kayıpların oluşmasına sebep olmuştur. Yaşanan kayıpların büyüklüğü, büyük çoğunluğu prefabrik binalardan oluşan ve aktif deprem bölgeleri üzerinde bulunan mevcut sanayi yapısı stoğunun ivedilikle elden geçirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yapılan çalışmada, Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan prefabrik sanayi yapıları incelenmiş, 100'den fazla binanın yapısal özellikleri (kolon boyutu, boyuna ve enine donatı oranları, bina yüksekliği v.b.) yerinde yapılan envanter çalışmaları ile belirlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak binaları temsil eden doğrusal olmayan analiz modelleri hazırlanmış ve binalara ait kapasite eğrileri hesaplanmıştır. Her bina için elde edilen bu eğriler sayesinde binalara ait dayanım, rijitlik ve süneklik kapasiteleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar yatay dayanım oranlarının (V_t/W) %10-%30, süneklik kapasitelerinin (μ) 1.3-3.5 ve titreşim periyotlarının ise 1-2.8 sn arasında değiştiğini göstermektedir. Söz konusu binalarda meydana gelen yerdeğiştirme talepleri çok sayıda deprem kaydı kullanılarak belirlenmiştir. Kayıtlar maksimum yer hızlarına göre 3 gruba (hafif, orta ve şiddetli depremler) ayrılmıştır. Yeterli ve yetersiz rijitlik, dayanım ve süneklik guruplarını temsil edebilmek amacıyla her yapısal parametre sınıfı iki alt guruba ayrılmış ve böylelikle tek katlı prefabrik bina stoğunu temsil ettiği düşünülen sekiz ayrı durum elde edilmiştir. Yapısal parametrenin her bir hasar düzeyi üzerindeki etkileri her bir gurubu temsil eden hasar görebilirlik eğrilerinin kendi aralarında karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. Böylelikle binaların deprem performansı üzerinde hangi yapısal parametrelerin daha etkili olduğu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ileri hasar seviyelerinde sünekliğin ve yatay dayanım kapasitesinin çok daha etkili olduğunu göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Prefabrik binalar, doğrusal olmayan dinamik analiz, hasar görebilirlik.

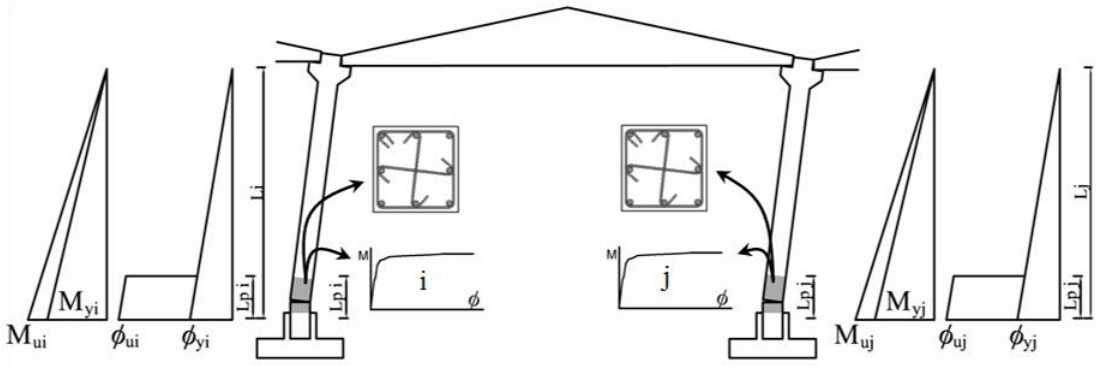
1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir bölümü aktif deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Yaşanan depremler neticesinde özellikle yerleşim birimlerinde ve sanayi yapılarının yoğun olarak bulunduğu bölgelerde önemli miktarda can ve mal kayıplarının oluşmasına sebep olmuştur. Ülkemizin önemli sanayi tesislerinin bulunduğu bölgeleri vuran 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde prefabrik sanayi yapılarının önemli ölçüde hasar görmesi sonucunda telafisi mümkün olmayan ekonomik kayıplar meydana gelmiş, bu durum prefabrik yapıların deprem güvenliği ile ilgili tartışmaların ve araştırmaların artmasına sebep olmuştur. Okumakta olduğunuz bildiri bu kapsamdaki bir araştırmadan elde edilen sonuçları içermektedir. Yürütülen çalışma kapsamında söz konusu depremlerden etkilenen bölgelerin oldukça uzağında bulunan ve ülkemizin önemli sanayi şehirlerinden biri olan

Denizli'nin en büyük, ege bölgesinin ise önemli sanayi alanlarından biri durumundaki Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde (DOSB) bulunan bütün prefabrik binalar incelenmiştir. İncelenen alan 1. derece deprem bölgesinde bulunmasına rağmen henüz şiddetli bir deprem yaşamamıştır. Prefabrik binalarda hasar ile ilişkilendirilen yapısal özelliklerin ve bu özelliklerden kaynaklanan sorunların belirlenebilmesi için saha ve büro çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar sonucu bölgede incelenen sanayi yapılarının %70-80'inin prefabrik binalardan oluştuğu, bu yapıların ise çok büyük bir çoğunluğunun özellikle 1998 yılından önce inşa edilen mafsal birleşimli tek katlı binalar olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma kapsamında DOSB'de yer alan 98 adet tek katlı prefabrik binanın verileri kullanılmıştır.

2. BİNALARA AİT KAPASİTE EĞRİLERİNİN HESABI

Mevcut binaların yapısal özelliklerinin belirlenmesinden sonra binaları oluşturan kolonların dayanım ve deformasyon kapasiteleri hesap edilmiştir. Söz konusu kapasitelerin hesabı için prefabrik kolonlarda meydana gelen eksenel kuvvet seviyelerinin belirlenmesi, bunun için ise binalara ait taşıyıcı sistem modellerinin oluşturulması gerekmektedir. 98 adet binanın sistem modelinin hazırlanmasının ardından yapılan moment eğrilik analizleri ile plastik mafsal özellikleri belirlenmiştir. Analizler sırasında sargılı beton davranışı geliştirilmiş Kent ve Park Modeli (Park vd., 1982) ile temsil edilmiştir. Son olarak DBYBHY-2007'de (DBYBHY-2007, 2007) belirtilen şekildeğiştirme değerlerini esas alarak hasar sınırlarının ve hasar bölgelerinin hesabı yapılmıştır. Tek katlı ve mafsallı prefabrik bir binaya ait taşıyıcı sistemin örnek gösterimi, konsol şeklinde çalışan prefabrik kolonların her birinde kolon yüksekliği boyunca meydana gelen eğilme momentlerinin ve eğriliklerin değişimi ile kolon tabanlarında oluşan plastik mafsal bölgelerinin konumu Şekil 1 üzerinde gösterilmektedir.

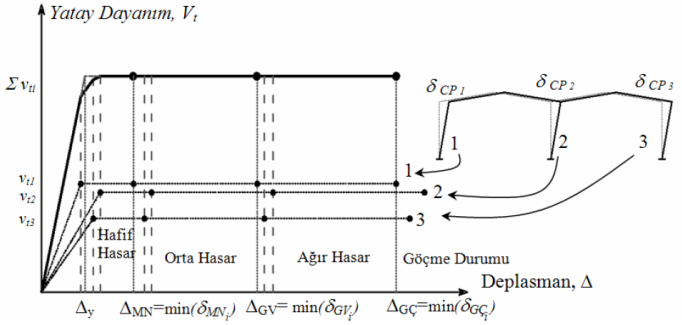


Şekil 1. Tek katlı prefabrik yapı çerçevesini oluşturan kolonların davranışı

Tek katlı prefabrik binalardaki kolonların kesit hasar sınırlarının eğrilikler cinsinden ifade edilmesinden sonra, eleman hasar sınırlarının yerdeğiştirmeler cinsinden ifade edilmesi ile ilgili çalışmalara geçilmiştir. Konsol şeklinde çalışan tek eğrilikli kolonların tabanında meydana gelen plastik mafsallar yardımı ile yerdeğiştirme yapan prefabrik binanın görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Akma anına ve kesit göçme sınırına (GÇ) karşılık gelen ve kolon tepesinde meydana gelen yerdeğiştirmeler de yine bu şekil üzerinde gösterilmiştir. Söz konusu yerdeğiştirmelerin hesabı için moment-alan teoremlerinden faydalanılmıştır. Kolonların yerdeğiştirme kapasitelerini ve binanın süneklik kapasitesini belirleyen en önemli faktörlerden biri plastik mafsal bölgesinin uzunluğudur. Bu çalışmada plastik mafsal uzunluğu, kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır. Prefabrik binayı meydana getiren kolonların her biri için moment eğrilik analizleri tekrarlanmış ve kolonlarda MN, GV ve GÇ sınırlarına karşılık gelen yerdeğiştirmeler hesaplanmıştır. Konsol şeklinde çalışan prefabrik kolonların moment kapasitelerine karşılık gelen kesme kapasiteleri Denklem 1'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

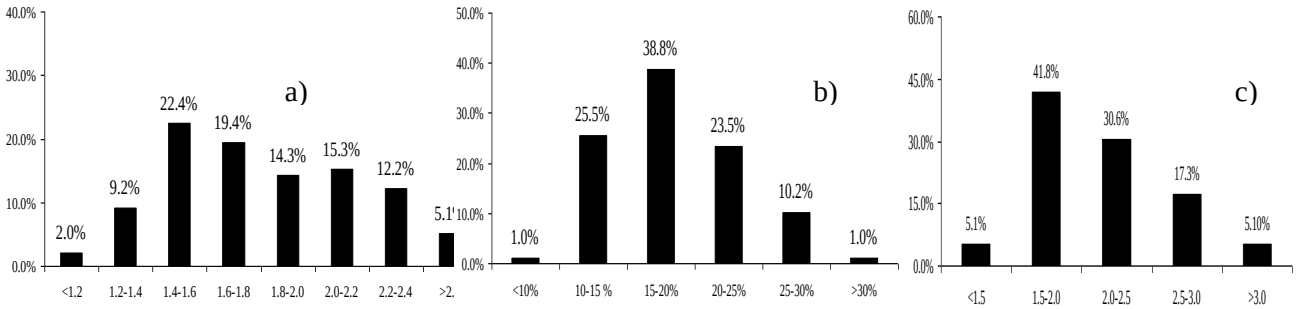
$$v_{t_i} = \frac{M_{ui}}{L_i} \tag{1}$$

Prefabrik binayı meydana getiren betonarme kolonların dayanım ve yerdeğiştirme kapasitelerinin belirlenmesinden sonraki aşamayı, bu binalara ait kapasite eğrilerinin hesabı ile ilgili çalışmalar oluşturmuştur. Konsol şeklinde çalışan prefabrik kolonların tepe noktalarında aynı yerdeğiştirmeleri yaptıkları kabul edilmiştir. Yapılan bu kabulün sağladığı basitleştirmeden yararlanılarak binanın taban kesme kuvveti kapasitesi, kolonların kesme kapasitelerinin toplanması ile hesaplanmıştır (Şekil 2). Hafif hasar, orta hasar, ağır hasar ve göçme ile tarif edilen bina performans aralıklarına karşılık gelen yerdeğiştirme sınırları (Δ_{MN}, Δ_{GV} ve $\Delta_{GÇ}$), her bir kolonda meydana gelen δ_{MN}, δ_{GV} ve $\delta_{GÇ}$ yerdeğiştirmelerinin en küçüğü göz önüne alınarak belirlenmiştir. Prefabrik binayı oluşturan kolonların boyut, eksenel kuvvet ve enine ve boyuna donatı oranlarının genellikle birbirine yakın olması, bu kolonlarda hesaplanan eleman hasar sınırlarının da birbirine yakın çıkmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden, akma, MN, GV ve GÇ sınırlarına karşılık gelen kolon yerdeğiştirmelerinin büyük dağılımlar içermediğini belirtmekte fayda vardır.



Şekil 2. Mafsallı prefabrik binalarda eleman kapasitesinden sistem kapasitesinin ve performans bölgelerinin elde edilmesinin şematik gösterimi (Şenel ve Palanci, 2010).

DOSB'nde bulunan 98 adet tek katlı prefabrik binanın kapasite eğrileri elde edildikten sonra, bu yapılara ait yatay dayanım oranlarının (V_t/W), birinci doğal titreşim periyodlarının (T_1) ve süneklik kapasitelerinin (μ_Δ) dağılımları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Titreşim periyodlarının hesabı yapılırken, bina rijitliği kapasite eğrisinin elastik bölgedeki eğiminden hesaplanmıştır. Yüksek titreşim periyodları, geçmiş depremlerden sonra özellikle vurgulanan yetersiz yanal rijitlik probleminin Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan binalar açısından da geçerli olduğunu göstermektedir. 1.5 ile 3.5 arasında değişen yerdeğiştirme sünekliği katsayıları ise esas itibari ile akma anına karşılık gelen ötelenme seviyelerinin yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Genellikle %10 ile %25 arasında değişen Vt/W oranları prefabrik binalarda yatay dayanım oranlarının çok düşük seviyelerde olmadığını göstermektedir.



Şekil 3. 98 adet tek katlı binada a) Periyot, b) Yatay Dayanım Oranı, c) Süneklik dağılımları

3. TEK KATLI PREFABRİK BİNALARDA YERDEĞİŞTİRME TALEBİNİN HESABI

Mevcut yapıların performansa dayalı tasarımının ve değerlendirilmesinin iki temel parametresini talep ve kapasite oluşturmaktadır. Bu parametrelerden talep, yapı da deprem sebebiyle oluşan yer değiştirme ihtiyacını, kapasite ise yapının ulaşabileceği yer değiştirme değerini temsil etmektedir. çalışma kapsamında ele alınan 98 adet tek katlı binanın, analizler sonucunda elde edilen kapasite eğrilerinin ve hasar sınırlarını temsil eden limit yerdeğiştirme değerlerinin belirlenmesinden sonra, deprem sebebiyle oluşacak maksimum yerdeğiştirme talepleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile elde edilmiştir. Analizler Bispec (Hachem, BiSpec) programı ile yapılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı değerlendirmeler yapabilmek amacıyla mümkün olduğu kadar çok sayıda ivme kaydı seçilmiştir. Hesaplamalar sırasında 364 adet ivme kaydı kullanılmıştır. İvme kayıtlarının 292'si orijinal halleri ile kullanılmış, seçilen 72 kayıt ise özellikle maksimum yer hızının (MYH) büyük değerleri için gerekli sayıda veri oluşturmak amacıyla ölçeklendirilerek elde edilmiştir. Tek katlı prefabrik yapılara ait yatay dayanım oranları bilindiğinden "Bispec" programı ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılırken her bina yatay dayanım oranları ve periyodları ile temsil edilmiştir. Literatürde bulunan bazı çalışmalar (Akkar ve Özen, 2005; Akkar ve Küçükdoğan, 2008) özellikle periyodu 1.0 saniyenin üzerinde olan yapılarda doğrusal olmayan yer değiştirme talebi ile MYH arasında iyi bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu sebeple hasar görebilirlik eğrileri hazırlanırken depremin parametresi olarak MYH göz önüne alınmış, yer hızları 20 ile 80 cm/s arasında değişen kayıtlar seçilmiştir. İvme kayıtları seçilirken MYH açısından mümkün olduğunca düzgün bir dağılımın elde edilmesine özen gösterilmiştir. Başka bir ifade ile seçilen ivme kayıtlarının belirli bir hız bölgesinde yığılmasına izin verilmemiş ve bütün hız bölgelerinde benzer sayıda kaydın bulunması sağlanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için seçilen kayıtlar hızlarına göre 12 gruba ayrılmıştır (Tablo 1). Binaların zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılırken doğrusal olmayan bina davranışı ideal elastoplastik çevrim modeli ile temsil edilmiştir.

Tablo 1. Maksimum yer hızı gruplarına ait kayıt sayısı, ortalama, standart sapma değerleri

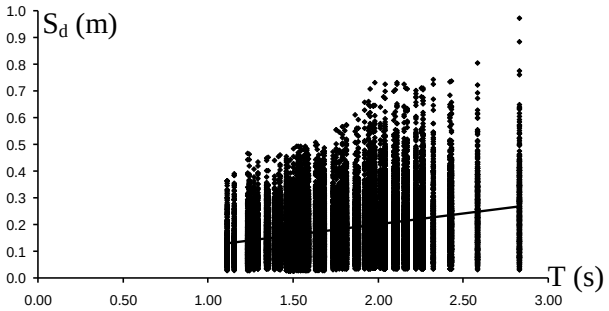
Grup	Alt-Üst Sınır	Kayıt Sayısı	Ort. MHY	Std. Sapma
MHY1A	<25.00	29	21.69	1.21
MHY1B	25.00-30.00	31	27.31	1.5
MHY1C	30.00-35.00	34	32.05	1.48
MHY1D	35.00-40.00	30	37.35	1.49
MHY2A	40.00-45.00	30	41.77	1.28
MHY2B	45.00-50.00	30	47.15	1.54
MHY2C	50.00-55.00	30	52.16	1.47
MHY2D	55.00-60.00	30	57.18	1.32
MHY3A	60.00-65.00	30	62.07	1.14
MHY3B	65.00-70.00	30	67.52	0.97
MHY3C	70.00-75.00	30	72.55	0.75
MHY3D	>75.00	30	77.31	1.09

Seçilen 98 adet tek katlı mafsallı prefabrik binanın her biri 364 adet ivme kaydı kullanılarak analiz edilmiş ve toplamda 35672 adet yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Elde edilen bu yerdeğiştirme taleplerinin bina periyodlarına göre dağılımları Şekil 4'te gösterilmektedir.

4. PREFABRİK SANAYİ YAPILARI İÇİN HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ

Hasar görebilirlik eğrileri, belirli bir tehlike seviyesinde belirli bir hasar düzeyine ulaşılması veya aşılması olasılığını tarif etmek için kullanılan eğrilerdir. İncelemeye konu olan prefabrik binalar açısından durumu ele alacak olursak, tehlike ile kastedilen depremdir. Risk altındaki bir binanın hasar görebilirlik eğrileri, bu binada deprem hareketi sebebiyle oluşan yerdeğiştirme taleplerinin, önceden belirlenen hasar sınırlarına ait

yerdeğiştirme değerlerini aşmasının birikimli olasılığını tarif etmektedir. Matematiksel olarak hasar görebilirlik Denklem 2'de olduğu gibi ifade edilebilir.



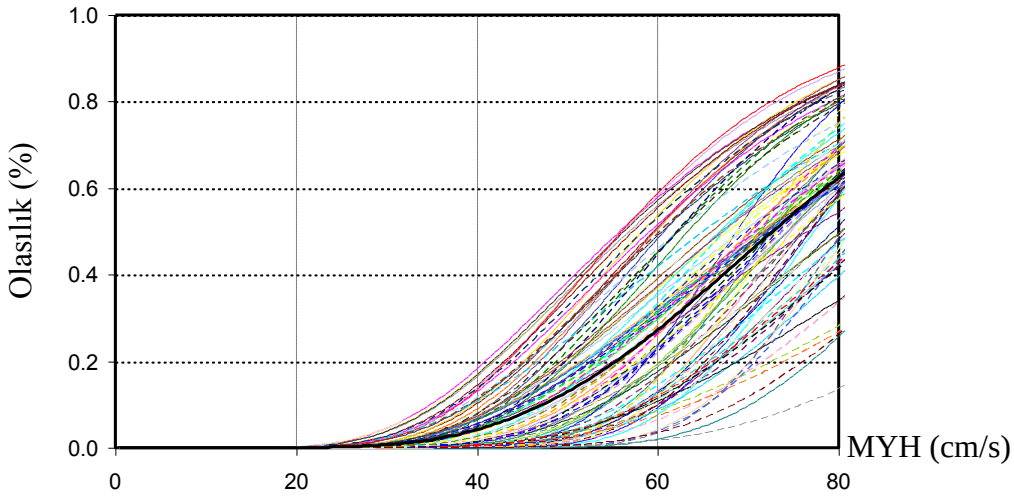
Şekil 4. Oluşan yerdeğiştirme taleplerinin bina periyodlarına göre dağılımı

$$\text{Hasar Görebilirlik} = P\left[R \geq r \middle| I\right] \tag{2}$$

Denklem 2'de, R analiz sonucunda hesaplanmış talebi, r ise öngörülen hasar seviyesi için yapısal tepkinin sınır değerini ifade etmektedir. I ise yapısal talebin hasar seviyesini aşma olasılığının hesaplanması amacıyla rastgele değişken olarak kullanılan yer hareketi parametresidir. Bu çalışmada, yapısal tepki olarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler ile elde edilen maksimum yerdeğiştirme talepleri ve yer hareketi parametresi olarak da lognormal dağıldığı kabul edilen MYH kullanılmıştır. İki parametreli lognormal dağılımın kabulü için, belirli bir hasar seviyesine karşılık gelen birikimli aşılma olasılığı Denklem 3 kullanılarak belirlenmiştir. Denklemde yer alan ifade standart normal birikimli dağılım fonksiyonunu göstermektedir.

$$\text{Pr} = \Phi\left[\frac{\ln MYH - \mu}{\sigma}\right] \tag{3}$$

Elde edilen aşılma oranları kullanılarak iki parametreli lognormal dağılım kabulü ile hasar görebilirlik eğrisi parametreleri olan ortalama (μ) ve standart sapma (σ) değerleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İncelenen 98 adet tek katlı binanın farklı dayanım, rijitlik ve süneklik kapasitelerine sahip olması, bu binalarda benzer deprem talepleri (MYH) altında oldukça değişken hasar olasılıklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Ortaya çıkan bu değişkenliğin ve saçılımın boyutlarını tarif edebilmek amacıyla tek katlı binaların tümü için benzer hasar sınırlarını aşma durumunda oluşan hasar görebilirlik eğrileri hesaplanmış ve toplu halde gösterilmiştir. 98 adet tek katlı binada GV sınırının aşılması ile ağır hasar ve üzerinde hasar görme riskini tarif eden eğriler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Tek katlı prefabrik yapılarda güvenlik sınırının (GV) aşılması olasığını gösteren hasar görebilirlik eğrileri

5. HASAR GÖREBİLİRLİK EĞRİLERİ İLE YAPISAL PARAMETRELER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

Yapılan bu çalışmada binaların kapasite eğrilerini tarif eden yatay dayanım, rijitlik ve süneklik kapasiteleri binalara ait yapısal parametreler olarak ele alınmıştır. Söz konusu parametrelere ve bu parametrelerin incelenen binalarda nasıl temsil edileceğine karar verilirken uygulama kolaylığı ön planda değerlendirilmiştir.

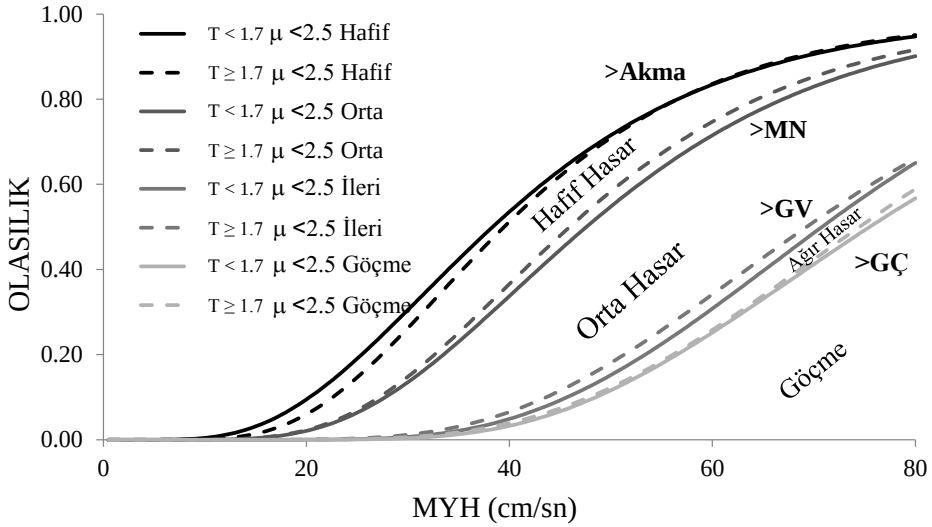
5.1. Rijitlik ve Sünekliğin Hasar Görebilirlik İle İlişkisinin Değerlendirilmesi

Bina rijitliği ile ilişkili olan titreşim periyodu deprem sebebiyle meydana gelen yerdeğiştirme talebinin hesabı üzerinde doğrudan etkilidir ve bu yüzden de yapısal paramtre olarak ele alınmıştır. Bina rijitliği hesaplanırken kolon akma yerdeğiştirmesi ve yatay dayanım kapasitesinden yararlanılmıştır. Kolon boyu ve kesit yüksekliği bilinen prefabrik kolonların akma yerdeğiştirmesi yeterli yaklaşıklıkla tahmin edilebilmektedir. Genellikle minimum boyuna donatı oranına sahip kolonların akma dayanımlarının da aynı şekilde kestirilebilmesi, peryodun hesabını belirleyen parametrelerin ve dolayısı ile bina titreşim peryodunun tahmini açısından kolaylık sağlamaktadır. Tek katlı prefabrik yapılar için hesaplanan periyotlara bakılmış ve binaları birbirinden ayırmak için 1.7 s'nin alınabileceği belirlenmiştir.

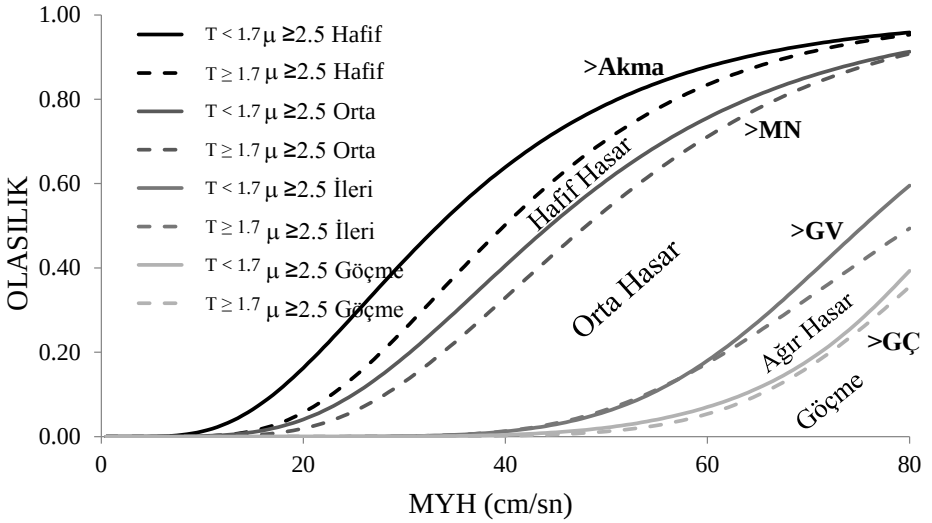
Yapılan incelemeler, özellikle yetersiz sünekliğe sahip binalarda görülen hasar seviyelerinin, yeterli sünekliğe sahip binalara göre (özellikle ağır hasar ve göçme durumları için) daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sebeple süneklik parametresi, hasar görebilirlik ve yapısal parametreler arasındaki ilişki araştırılırken ortak parametre olarak kullanılmıştır. Kapasite eğrilerinin hesabından sonra bütün binaların süneklik seviyeleri elde edilmiştir. 98 adet binadan elde edilen süneklik değerlerine bakılarak yeterli-yetersiz sünekliğe sahip binaları birbirinden ayırmak için yerdeğiştirme sünekliği eşik değerinin 2.7 alınabileceği belirlenmiştir. Yukarıdaki paragraflarda tarif edilen açıklamalardan yola çıkılarak bu parametrelerin kullanılabileceği 4 bina grubu elde edilmiştir.

$T < 1.7s \quad \mu < 2,5$: Düşük Periyot - Düşük Süneklik
$T \geq 1.7s \quad \mu < 2,5$: Yüksek Periyot - Düşük Süneklik
$T < 1.7s \quad \mu \geq 2,5$: Düşük Periyot - Yüksek Süneklik
$T \geq 1.7s \quad \mu \geq 2,5$: Yüksek Periyot - Yüksek Süneklik

Söz konusu bina grupları için bütün hasar seviyelerine ait hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiş ve Şekil 6-Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi sünekliğin yetersiz olduğu bina gruplarında periyodun hasar görebilirlik üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Yeterli sünekliğin temsil edildiği bina gruplarına ait hasar görebilirlik eğrileri ise Şekil 7'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar yeterli süneklik gurubundaki binalar açısından da özellikle ileri hasar seviyeleri açısından titreşim peryodunun ayırt edici bir katkısının olmadığını göstermiştir. .



Şekil 6. Yetersiz süneklik ve periyodun hasar görebilirlik eğrisi üzerindeki etkisi



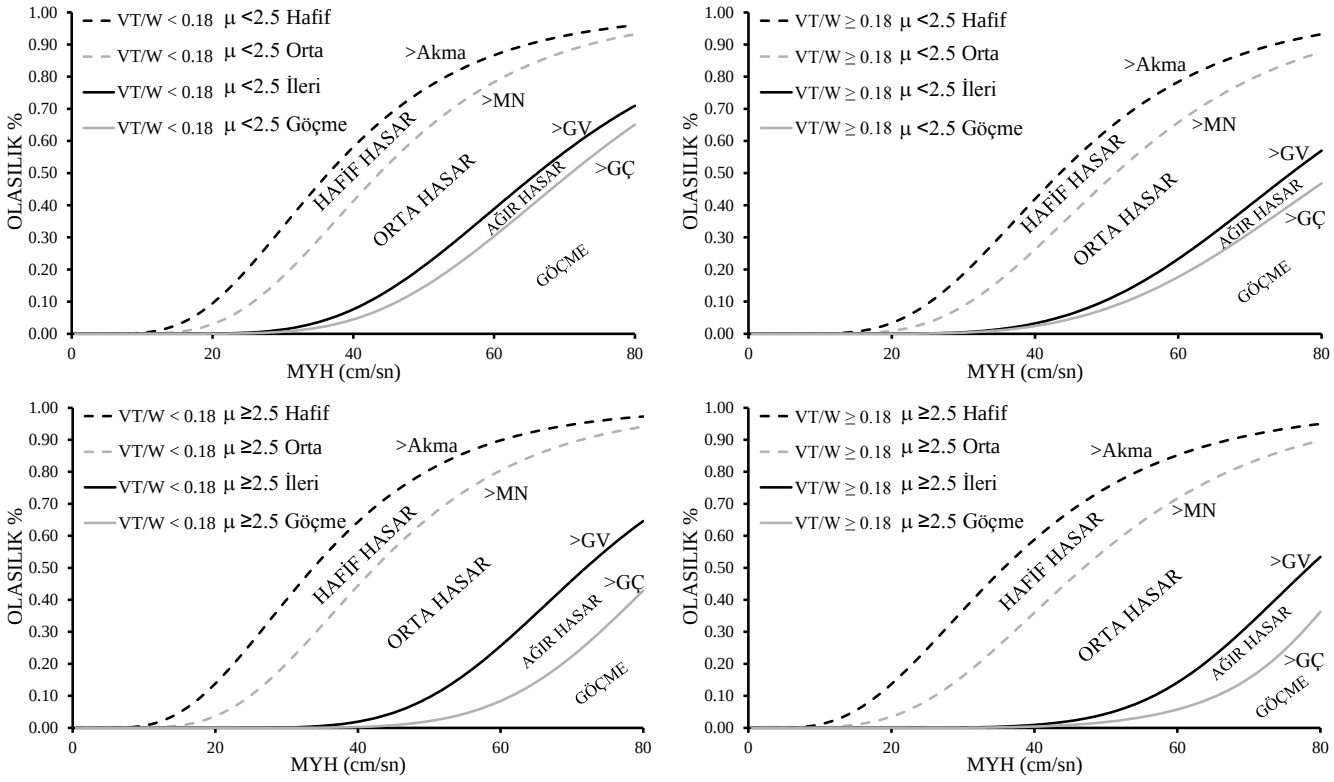
Şekil 7. Yeterli süneklik ve periyodun hasar görebilirlik eğrisi üzerindeki etkisi

5.2. Yatay Dayanım Oranı ve Sünekliğin Hasar Görebilirlik ile İlişkisinin Değerlendirilmesi

Prefabrik binalarda kullanılan kolon kesitlerinin ve yüksekliklerinin, beton ve donatı sınıflarının ve bina ağırlıklarının kolayca belirlenebilir olması, bu parametrelere bağlı olarak hesaplanan yatay dayanım oranlarının tahmin edilebilmesi açısından kolaylık sağlamaktadır. Binalara ait yatay dayanım oranının (Vt/W) yapısal parametre olarak ele alınmasının öncelikli sebebi budur. Farklı yatay dayanım oranları ve süneklik (ortak parametre) sınıflarına sahip olacak şekilde yeniden tasnif edilen bina guruplarının tarifi ise aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$V_t/W < 0,18$ $\mu < 2,5$: Düşük Dayanım - Düşük Süneklik
$V_t/W \geq 0,18$ $\mu < 2,5$: Yüksek Dayanım - Düşük Süneklik
$V_t/W < 0,18$ $\mu \geq 2,5$: Düşük Dayanım - Yüksek Süneklik
$V_t/W \geq 0,18$ $\mu \geq 2,5$: Yüksek Dayanım - Yüksek Süneklik

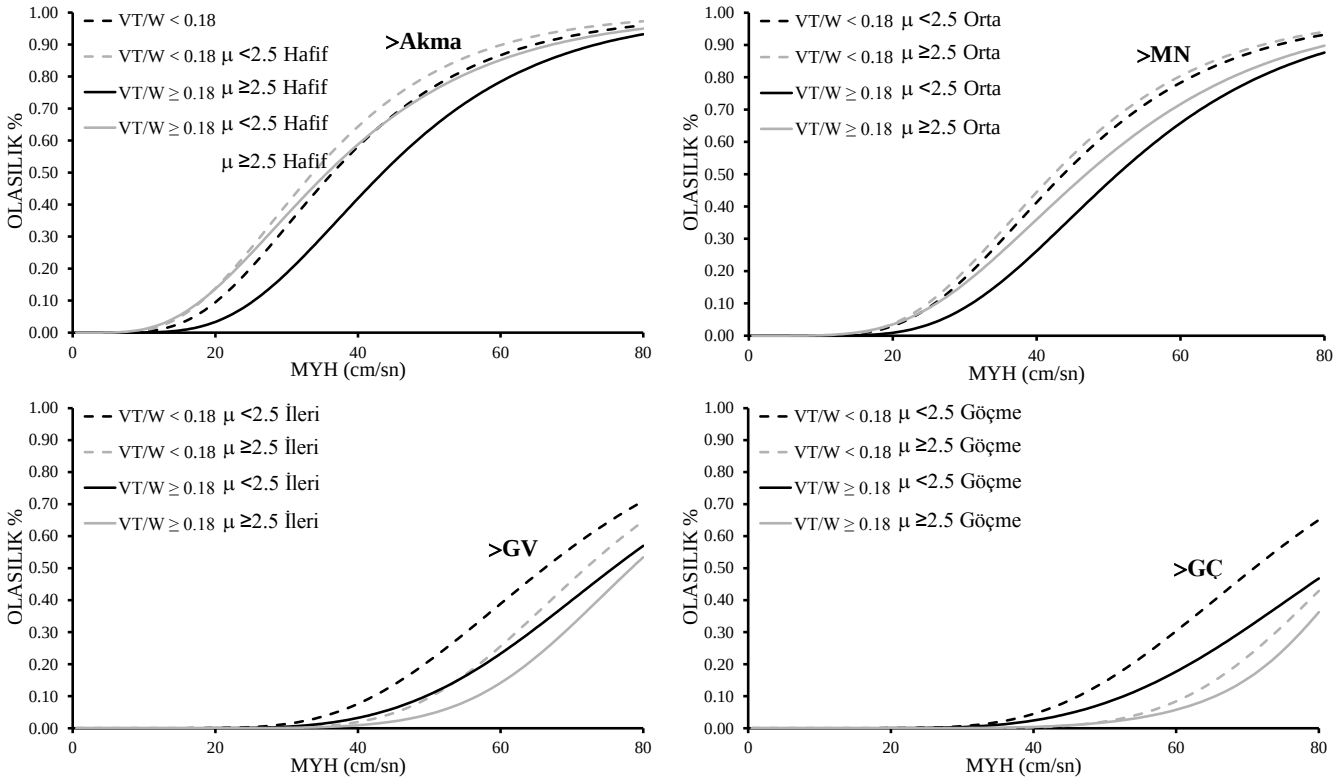
Yukarıda verilen ve dayanım ve sünekliğe göre sınıflandırılan bina gruplarının her biri için bütün hasar seviyelerindeki hasar görebilirlik eğrileri elde edilmiş ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 2'de gösterilen ve deprem yönetmeliğimize göre belirlenen hasar sınırları ve hasar bölgeleri aşağıdaki hasar görebilirlik eğrileri üzerinde de gösterilmiştir. Beklendiği üzere en yüksek hasar olasılıkları hem yetersiz dayanım, hem de yetersiz sünekliğe sahip bina gurubunda oluşmaktadır. Hasar görebilme olasılığının bütün hasar seviyelerinde en düşük olduğu bina grubu ise, yine beklendiği üzere dayanım ve sünekliği yüksek bina grubudur. Süneklik sabit alınıp, yatay dayanım oranının artması bütün hasar seviyeleri için hasar görebilirlik eğrilerini aşağıya doğru çekmektedir. Bu sebeple yatay dayanım oranlarının yüksek olduğu binalarda hasar görme olasılıkları azalmaktadır. Dayanım oranları sabit alınıp sünekliğin artırılması durumunda ise özellikle ileri ve göçme hasar seviyelerinde hasar görebilme olasılıkları önemli ölçüde azalmaktadır.



Şekil 8. Dayanım ve sünekliğin oluşturduğu bina gruplarının hasar görebilirlik eğrileri

Şekil 9'da sabit hasar bölgeleri için dayanım ve sünekliğin oluşturduğu bina gruplarının hasar görebilirlik eğrileri gösterilmiştir. Söz konusu şekillerde gösterilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi hafif hasar durumu (>akma) için elde edilen ortalama eğriler birbirine oldukça benzerdir. Başka bir ifadeyle hafif hasar durumu için hasar olasılıklarını belirleyen esas parametre yatay dayanım oranıdır ve süneklik parametresinin bu hasar durumu üzerindeki etkisi son derece sınırlıdır.

Orta hasarı tarif eden eğriler minimum hasar sınırının aşılmasına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yönetmelikte minimum hasar sınırı ise beton ve donatı için verilen sabit şekildeğiştirme seviyeleri ile tarif edilmektedir. GV ve GÇ sınırlarının aşılması durumlarına karşılık gelen ağır hasar ve göçme durumları ise yönetmelikte verilen tarif gereğince enine donatı oranına (yani etriye sıklaştırmasına) bağlı olarak değişmektedir. Bu ise farklı enine donatı oranları için hesaplanan hasar görebilirlik eğrilerinin de farklılaşmasına ve enine donatının etkinliğinin artmasına sebep olmaktadır. Yatay dayanım oranının yüksek olması söz konusu bina gruplarının hasar görme olasılığını düşürmektedir.



Şekil 9. Hasar seviyeleri için bina alt gruplarından elde edilen hasar görebilirlik eğrileri

6. SONUÇLAR

Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan 98 adet tek katlı prefabrik yapının proje verileri kullanılarak doğrusal olmayan analiz modelleri hazırlanmış ve binalara ait kapasite eğrileri hesaplanmıştır. Her bina için elde edilen bu eğriler sayesinde binalara ait dayanım, rijitlik ve süneklik kapasiteleri belirlenmiştir. Kapasite bilgilerinin elde edilmesiyle binalar yeterli ve yetersiz rijitlik, dayanım ve süneklik guruplarına ayrılmış ve böylelikle tek katlı prefabrik bina stoğunu temsil ettiği düşünülen sekiz ayrı durum elde edilmiştir. Yapısal parametrenin her bir hasar düzeyi üzerindeki etkileri, her bir gurubu temsil eden hasar görebilirlik eğrilerinin kendi aralarında karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Yatay dayanım oranının tek katlı prefabrik yapılarda oluşan bütün hasar seviyeleri üzerinde en etkili yapısal parametre olduğu belirlenmiştir.

- Süneklik parametresinin özellikle yönetmelikte verilen (enine donatıya bağlı olan ve olmayan hasar sınırları yüzünden) ağır hasar ve göçme durumlarında etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Tek katlı binalar üzerinde yapılan çalışmalar bina periyodunun hasar görebilirlik eğrilerinin ayrıştırılması konusunda sanıldığı kadar etkili bir parametre olmadığını göstermiştir.
- Elde edilen sonuçlar yatay dayanım oranının hafif ve orta hasar durumlarını tarif etmek için yeterli bir parametre olarak kullanılabileceğini ancak ağır hasar ve göçme durumlarını tarif etmek için tek başına yeterli olmadığını ve süneklik üzerinden bir sınıflandırmanın da yapılması gerektiğini açık bir biçimde göstermiştir.
- Sünekliğin yetersiz olduğu ($\mu<2.5$) binalarda Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme sınırı (GÇ) birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ancak, sünekliğin artması ile birlikte GV ve GÇ seviyelerinin birbirinden uzaklaştığı belirlenmiştir.
- Benzer yatay dayanım oranına sahip binalarda sünekliğin, orta hasar durumu için belirgin bir etkisinin bulunmadığı gözlenmiştir. Ancak yüksek dayanıma oranına sahip binalarda orta hasar görme olasılığının daha düşük olduğunu söylemek mümkündür.
- Deprem yönetmeliğinde ileri hasar ve göçme sınırı için enine donatı oranına göre yapılan şekil değiştirme tariflerinin, süneklik üzerinden yapılan, hasar görebilirlik eğrilerinin etkilediğini ve enine donatı oranına duyarlı hale gelmesine sebep olduğu belirlenmiştir.
- Ağır hasar ve göçme durumları için sünekliğin etkili bir parametre olduğu, hatta daha düşük hasar seviyelerine (hafif hasar, orta hasar) kıyasla etkinliğinin daha da yüksek olduğu gözlenmiştir.
- İleri hasar seviyelerinde süneklik ve yatay dayanım kapasitesi parametrelerinin çok daha etkili olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 110M255 nolu proje kapsamında TUBİTAK tarafından desteklenmektedir. Ayrıca saha çalışmaları sırasında Türkiye Prefabrik Birliği ve Denizli Organize Sanayi Bölge Müdürlüğünden destek alınmıştır. Yazarlar, destek ve katkılarından dolayı bütün kuruluşlara teşekkür etmektedir

KAYNAKLAR

Akkar, S., Özen, Ö., (2005). Effect of peak ground velocity on deformation demands for sdof systems, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **34**, 1551-1571.

Akkar, S., Küçükdoğan, B., (2008). Direct use of PGV for estimating peak nonlinear oscillator displacements, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **37:12**, 1411-1433.

DBYYHY-2007 (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Hachem M.M., BiSpec, http://eqsols.com/default.aspx

Park R., Priestley M.J.N., Gill W.D. (1982), Ductility of Square-Confined Concrete Columns, Journal of Structural Divisin-ASCE, 108: (ST4), 929–950.

Şenel, S., Palanci, M., Structural Aspects and Seismic Performance of One Story Precast Buildings in Turkey, J. Perform. Constr. Facil. doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000316.