

## TEK KATLI, TEK AÇIKLIKLI PREFABRİK SANAYİ YAPILARININ DEPREM PERFORMANSLARININ KAPASİTE SPEKTRUMU YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Haydar KAYHAN<sup>1</sup>, Şevket Murat ŞENEL<sup>1</sup>  
[hkayhan@pamukkale.edu.tr](mailto:hkayhan@pamukkale.edu.tr), [smosenel@pamukkale.edu.tr](mailto:smosenel@pamukkale.edu.tr)

**ÖZ:** Türkiye'deki sanayi yapılarının çoğunluğunu oluşturan tek katlı, mafsallı prefabrik yapıların 1998 Adana ve 1999 Marmara Depremleri sırasında gördüğü ağır hasarın sebepleri, oluşturulan çok sayıdaki bina modelinin doğrusal olmayan analizi yapılarak araştırılmıştır. Beton sınıfı, kolon rijitliği, donatı oranı, zemin sınıfı, kat yüksekliği, makas açıklığı gibi farklı parametrelere sahip tek katlı ve tek açıklıklı prefabrik sanayi yapıları doğrusal olmayan ittirme analizi ile incelenmiş, söz konusu yapılara ait performans noktaları Kapasite Spektrumu Yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanılabilmesi için gereken mafsalların hazırlanması sırasında yukarıda belirtilen parametrelerin mafsal davranışı üzerindeki etkileri gözönüne alınmış ve hazırlanan mafsallar kolonlara atanmıştır. Yapısal bir değerlendirme yapabilmek için elde edilen kapasite eğrileri üzerinde "Hemen Kullanım", "Kontrollü Hasar" ve "Can Güvenliği" performans seviyeleri tarif edilmiş, kapasite ve talebin bulunduğu performans noktalarının hangi seviyelere karşılık geldiği belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına ve elde edilen performans seviyelerine bakılarak seçilen parametrelerin ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda kolon rijitliği ve yerel zemin sınıfı parametrelerinin performans noktası üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kapasite Spektrumu Yöntemi, Prefabrik Sanayi Yapıları

### GİRİŞ

Türkiye'de endüstri yapılarının büyük bir kısmı prefabrikasyon teknolojisi ile inşa edilmektedir. Bu yapılar büyük oranda bir veya iki katlı, büyük açıklıklıkların uçlarında moment taşımayan makaslarla geçildiği çerçeve tipi sistemlerden oluşmaktadır. Kolonlar, temel soketlerine ankastre olarak oturmakta, çatı makasları ise kolonlar üzerine yerleştirilen çelik pimler vasıtasıyla sisteme ilave edilmektedir. Bu şekilde inşa edilen sanayi yapılarının Adana ve Marmara depremlerinde ciddi hasar gördüğü tespit edilmiştir (Ataköy, 1999; Ersoy ve diğ., 2000; Zorbozan ve diğ., 1998).

Bu depremlerden sonra prefabrik yapılarda görülen hasarları ve bunların nedenlerini inceleyen çalışmalar esas itibarıyla iki temel teşhiste birleşmektedir, bunlar; yanal rijitlik yetersizliğinden dolayı kolon alt uçlarında plastik deformasyon ve çatı düzlemindeki elemanların bağlantı noktalarının yetersizliğinden dolayı düşmesi (Ersoy ve diğ., 2000; Posada ve Wood, 2002; Zorbozan ve diğ., 1998). Yapılan bu incelemelerin ardından taşıyıcı sistem davranışının ve detaylandırma koşullarının iyileştirilmesine yönelik öneriler getirilmiştir.

Türkiye'de prefabrik yapılarla ilgili temel esaslar TS500, TS9967 ve AY98 ile tanımlanmıştır. TS500, betonarme yapı sistemlerinin ve elemanlarının kullanım amaç ve süresine uygun güvenlikle tasarlanması ve yapımı ile ilgili kuralları içerirken, TS9967, prefabrike yapı sistemlerinin ve elemanlarının hesap esasları, imalat ve montaj kurallarını içermektedir. Prefabrik sanayi yapılarının tasarım aşamasını kontrol eden en önemli parametre, yönetmelikte de yer alan maksimum deplasman kontrolüdür ve yapı rijitliğini esas olarak belirleyen de bu kriterdir. Modeller hazırlanırken bu kriterin yer almadığı eski yönetmelik şartlarına göre yapılmış bazı mevcut binaların durumunu yansıtabilmek için kolon rijitlikleri göreceli olarak düşük sistemlere de yer verilmiştir.

Gerek 1998 öncesi gerekse 1998 sonrası yapılan prefabrik yapıların deprem performanslarının belirlenmesi, gerek duyulması halinde bazılarının güçlendirilmesi, olası depremlerde can ve mal kaybının azaltılabilmesi için çok önemlidir. Bu çalışmada, mevcut tek katlı sanayi yapılarının büyük bir kısmını temsil edebilecek şekilde oluşturulan modellerin Kapasite Spektrumu Yöntemi ile analizi ve performans seviyelerinin tespiti ile prefabrik yapılarla ilgili çalışmalara katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 20017, Denizli

## KULLANILAN YÖNTEM

Deprem mühendisliğinde özellikle son yıllarda, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde ve yeni yapıların deprem tasarımında *deplasman tabanlı tasarım* ilkesinin esas alınmasını öngörmektedir. Bu yaklaşımı ele alan yöntemlerden birisi Kapasite Spektrumu Yöntemi'dir. Bu yöntemin temel aracı ise statik itme analizi'dir (ATC-40, 1996). Kapasite Spektrumu Yöntemi'nde amaç, belirli bir depremde sistemde oluşacak maksimum plastik şekil değiştirmelere ilişkin talebin belirlenmesi, daha sonra talebin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir. Statik itme analizi ise bu amaç doğrultusunda yapının şekil değiştirme kapasitesinin elde edilmesi için kullanılan bir araçtır. Kritik kesitlerdeki doğrusal ötesi davranışın genellikle plastik mafsallara göre sisteme etki eden yatay yükler adım-adım artırılmakta ve her adımda iç kuvvetler, yerdeğiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanmaktadır.

Kat yüksekliği, zemin sınıfı, beton kalitesi, kolon donatı oranı, çatı makası uzunluğu ve kolon boyutu parametrelerine bağlı olarak oluşturulan modellerin Kapasite Spektrumu Yöntemi ile analizinden 432 performans noktası elde edilmiştir. Çalışmada sadece kolon alt ucundaki mafsallaşma sorunu irdelenmiş, yapı performanslarının belirlenmesinde toplam kat ötelenmesi kullanılmıştır. Plastik mafsallar moment-dönme ilişkisi ile tanımlanmaktadır. Elemanlar için bu ilişkinin oluşturulmasında Geliştirilmiş Kent-Park Modeli (Park ve diğ., 1982) kullanılmıştır. Plastik mafsallı kolon boyutunun yarısı olarak alınmış (Moehle, 1992), plastik mafsallar bu bölgelerin ortasında noktasal olarak tanımlanmıştır.

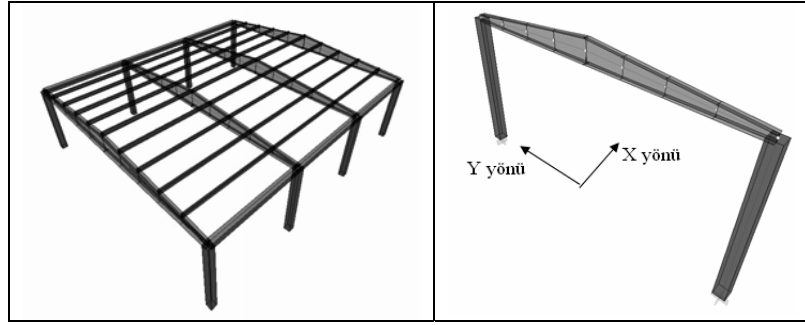
### Kullanılan Veriler

Değişken parametre olarak kullanılacak kat yüksekliği (6m ve 8m), beton sınıfı (BS20 ve BS30), çatı makası uzunluğu (12m, 16m ve 20m), kolon boyutları (35x35cm, 45x45cm ve 55x55cm) ve kolon boyuna donatı oranı (%1, %1.5 ve %2) parametrelerine bağlı olarak toplam 108 model geliştirilmiştir. Modellerde çatı düzlemindeki tüm bağlantılar mafsallı olarak tanımlanmıştır. Her bir model için tüm kolonların boyut ve donatı oranları aynı kabul edilmiştir. Bu modeller için birbirine dik iki yönde (çatı makasına dik yön (X yönü) ve çatı makası düzlemi yönü (Y yönü)) Z2 ve Z3 sınıfı zeminler dikkate alınarak analiz yapılmıştır.

Tablo 1: Analiz Modelleri için Kullanılan Parametreler (Toplam 432 adet)

Kolon Boyutu (cm)	Kat Yüksekliği (cm)	Boyuna Donatı Oranı (%)	Beton Sınıfı	Zemin Sınıfı	Çatı Makası Uzunluğu (m)	Analiz Yönü
35x35	600	1.0	BS20	Z2	12	X
45x45	800	1.5	BS30	Z3	16	Y
55x55		2.0			20	

Yapının çatı düzlemindeki birleşimlerinde moment aktarımı olmamasından dolayı sistemde dinamik açıdan süreksizlik oluşmaktadır. X yönünde aşıklar çerçevelerin bir arada çalışmasına yardımcı olmakta ayrıca bu yöndeki iki kolon aksının kütle ve rijitlik özelliklerinin eşdeğer olmasından dolayı yapının tümünü temsil eden bir mod davranışı elde edilebilmektedir. Ancak Y yönünde kenar ve orta makasların titreşim periyodu farklı olmakta dolayısıyla Y yönünde tüm yapıyı temsil edebilen bir moddan bahsedilememektedir. Bu yüzden Y yönünde yapının üç boyutlu olarak analiz edilebilmesi uygun olmamaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek üzere, üzerindeki yük bakımından diğer kenar makaslara göre daha fazla zorlanan orta makaslardan birisi, üç boyutlu sistemdeki yüklerine eşdeğer olarak yüklenmiş ve Y yönündeki analizler için sadece orta makas ve bu makası taşıyan iki kolondan oluşan iki boyutlu çerçeve kullanılmıştır. Şekil.1'de oluşturulan üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli ile Y yönündeki analizler için kullanılan düzlem çerçeve görülmektedir.



Şekil 1: Oluşturulan iki ve üç boyutlu sanayi yapısı modelleri

## SONUÇLAR

Sonuç olarak, tek katlı ve tek açıklıklı prefabrik sanayi yapılarında, kolon ucunda plastik mafsallaşma açısından çatı makası düzlemi yönünün (Y yönü) daha kritik olduğu saptanmıştır. Performans seviyelerinin kullanılan parametrelere göre sınıflandırılması sonucu, özellikle zemin sınıfı, kolon boyutu ve kat yüksekliği parametrelerinin performans seviyesi üzerinde diğer parametrelere göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. ATAKÖY, H., 1999, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve TPB Üyelerince Yapılan Prefabrike Yapılar, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Yıl 14, Sayı:52-53.
2. ATC-40, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California.
3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1975, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
4. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
5. ERSOY, U., ÖZCEBE, G. ve TANKUT, T., 2000, 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, 10.Prefabrikasyon Sempozyum Bildirileri, Deprem ve Prefabrikasyon, İstanbul.
6. KAYHAN, A. H., 2004, Prefabrik Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Hızlı Değerlendirme Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
7. MOEHLE, J. P., 1992, Displacement Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes, Earthquake Spectra, 8(3), pp. 403-428.
8. PARK, R., PRIESTLEY, M. J. and GILL, W. D., 1982, Ductility of Square Confined Concrete Columns, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.108, No. ST4, pp. 929- 950.
9. POSADA, M. and WOOD, S. L., 2002, Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey, Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 21-25 July, Boston.
10. TS498, 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. TS500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
12. TS9967, 1992, Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar (Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan) Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
13. ZORBOZAN, M., BARKA, G. ve SARIFAKIOĞLU, F., 1998, Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Sayı 48.