BETONARME PERDE DUVAR ORANININ BİNALARIN SİSMİK PERFORMANSINA ETKİSİ

Ö. Avşar[1], Ö. Yurdakul[2] ve O. Tunaboyu[2]

[1] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir*
[2] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir*
Email: oyurdakul@anadolu.edu.tr

ÖZET:

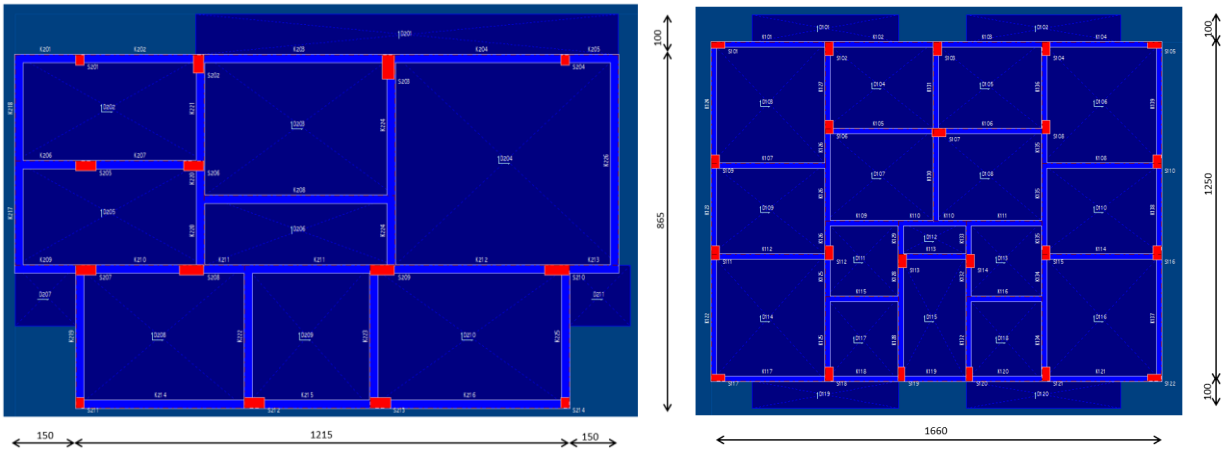
Hasar yapıcı depremler sonrasında yapılan gözlemler neticesinde perde duvarlı betonarme binaların, deprem yüklerinin tamamının kolonlar ve dolgu duvarlarla taşındığı binalara kıyasla daha iyi bir performans sergiledikleri daha önce yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır. Özellikle yapı denetim mekanizmasının tam olarak işletilemediği ya da hiç uygulanmadığı dönemlerde ortaya çıkan deprem güvenliği yetersiz bina stokunda, nadir de olsa bulunan betonarme perdeli binaların çoğunlukla can güvenliği performans seviyesini sağladığı görülmektedir. Bu kapsamda, 17 Ağustos Kocaeli depreminde ağır hasar görmüş ya da yıkılmış 2 adet betonarme bina ele alınmıştır. Statik ve mimari projeleri bulunan bu binaların taşıyıcı sistem geometrisi ve eleman boyutları bilgisi bulunmaktadır. Malzeme bilgisi bulunmayan binaların düz donatılı ve düşük dayanımlı betona sahip oldukları tahmin edilmektedir. Bu çalışmada mimari sisteme etkisi düşünülmeden, binaların her iki doğrultusuna, burulmaya neden olmayacak simetrik perde elemanlar yerleştirilecektir. Binaların 1975 Deprem Yönetmeliğine göre yapıldıkları düşünülerek planda uzunluğu genişliğinin en az 5 katı olan perde elemanlar eklenecektir. Doğrusal olmayan analitik modelleri oluşturulan binaların perdesiz ve perdeli sismik performansları karşılaştırılacak ve değişik perde oranlarının binalardaki sismik performansa etkisi incelenecektir. Böylelikle binaların can güvenliği performans seviyesini sağlamasına imkân verecek kritik perde duvar oranı belirlenecektir. Kocaeli depreminde kaydedilen en büyük yer hareketi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilecektir. Çatı katı ötelemesi ve göreli kat ötelemesi binaların sismik performansının incelenmesinde kullanılacak mühendislik parametreleri olarak ele alınacaktır. Bu çalışma neticesinde belirlenecek kritik perde duvar oranı, mevcut binaların sismik performansının değerlendirmesinde önemli kolaylık sağlayacaktır. Kritik perde oranına sahip mevcut binaların gelecekte olabilecek depremlerde can güvenliği performans seviyesini sağlayıp sağlamayacağı konusunda bir fikir verebilecektir.

ANAHTAR KELİMELER: Perde duvar, doğrusal olmayan analiz, hasarlı yapı, göreli kat ötelemesi, sismik performans.

1. GİRİŞ

Depremler sonrasında yapılan incelemelerde, birçok yapı mevcut deprem yönetmeliğine uygun tasarlansa bile, uygulamada yapılan hatalar ve malzeme kalitesinin yetersizliğinden dolayı bu yapıların sismik performanslarının yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. Çağatay'a (2005) göre ülkemiz yapı stokunu oluşturan yapıların birçoğunun beton dayanımının düşük olması (8-10 MPa), düz donatı kullanılması ve işçilik kalitesinin yetersizliği ele alındığında, yapıların mevcut durumlarıyla hasar yapıcı bir depreme maruz kalmaları halinde yeterli dayanımı ve sünekliliği sağlayamayacağı bilinmektedir. Bu nedenle, yapıların ağır hasar alması ya da toptan göçmesi kaçınılmazdır. Tekel (2006) çalışmasında uygulamada sünek yapı tasarımı ve imalatı ile ilgili ciddi ihmaller ve hatalar yapıldığını vurgulamıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sonrasında yapılan incelemelerde betonarme perde duvara sahip binaların çoğunlukla öngörülen performans değerini sağladıkları gözlenirken,

çerçeveli sistemlerin perde duvarlı binalara kıyasla daha kötü bir performans sergiledikleri görülmüştür. Bunun nedeni perdeli sistemlerin yapıya gelebilecek deprem yüklerinin büyük bir bölümünü karşılaması ve yapım hatalarını çerçeveli sistemlere göre daha fazla tolere edebilmesidir. Bu çalışmada perde duvarların, binaların sismik performansına etkisi araştırılmış ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde yıkılmış veya ağır hasar görmüş iki yapı (Bina 1, Bina 2) incelenmiştir (Şekil 1). Yapıların projelerindeki mevcut ölçüleri, kesit büyüklükleri ve donatıları ele alınarak SAP2000 programı ile modelleri kurulmuştur. Burak ve Çömlekoğlu (2012) %0.5, %1, %1.5 ve %2 perde duvar oranlarının çatı deplasmanına etkisini incelemiştir. Bu çalışmada ise Kocaeli Depremi sonrasında sismik performansının yetersiz olduğu bilinen yapılara farklı oranlarda perde duvar eklenmiştir. Perde duvarın performansa etkisini incelemek için kat alanının %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında perde duvar eklenerek analizler yapılmıştır.



(a) (b)

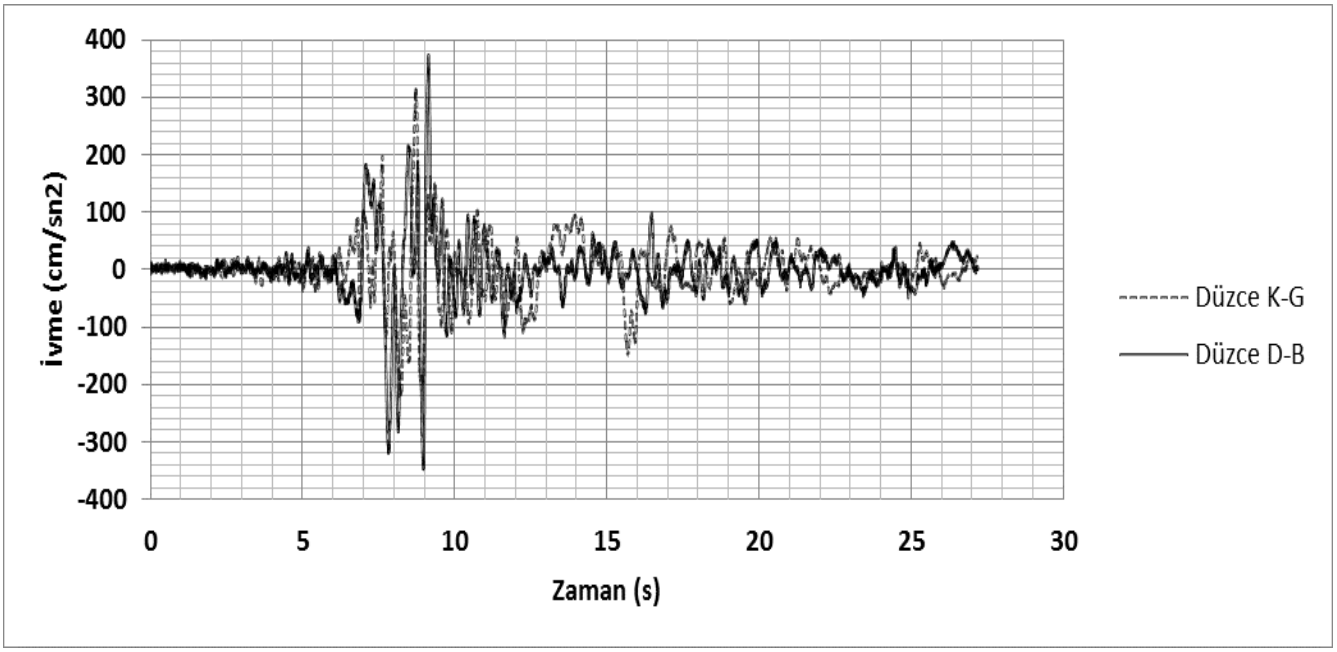
Şekil 1. Binaların normal kat kalıp planları (a) Bina 1 ve (b) Bina 2

Bina 1, zemin + 4 kat şeklide teşkil edilmiş ve zemin kat alanı 105 m^2 normal kat alanı ise 131 m^2'dir. Bina 2, zemin + 4 kat olup yapıda çıkma bulunmamaktadır ve kat alanı 208 m^2'dir. Çalışma kapsamında seçilen iki yapının da zemin katında dükkân olup bina 2'de ara kat vardır. Yıkılmış veya ağır hasar almış yapıların içlerinden mümkün olduğunca düzgün geometriye sahip olanları seçilmiştir. Yapılara perde duvarı normal kat alanlarının belirli oranlarında eklenmiş ve perde duvarı eklenirken mimari detaylar düşünülmemiştir.

2. YÖNTEM

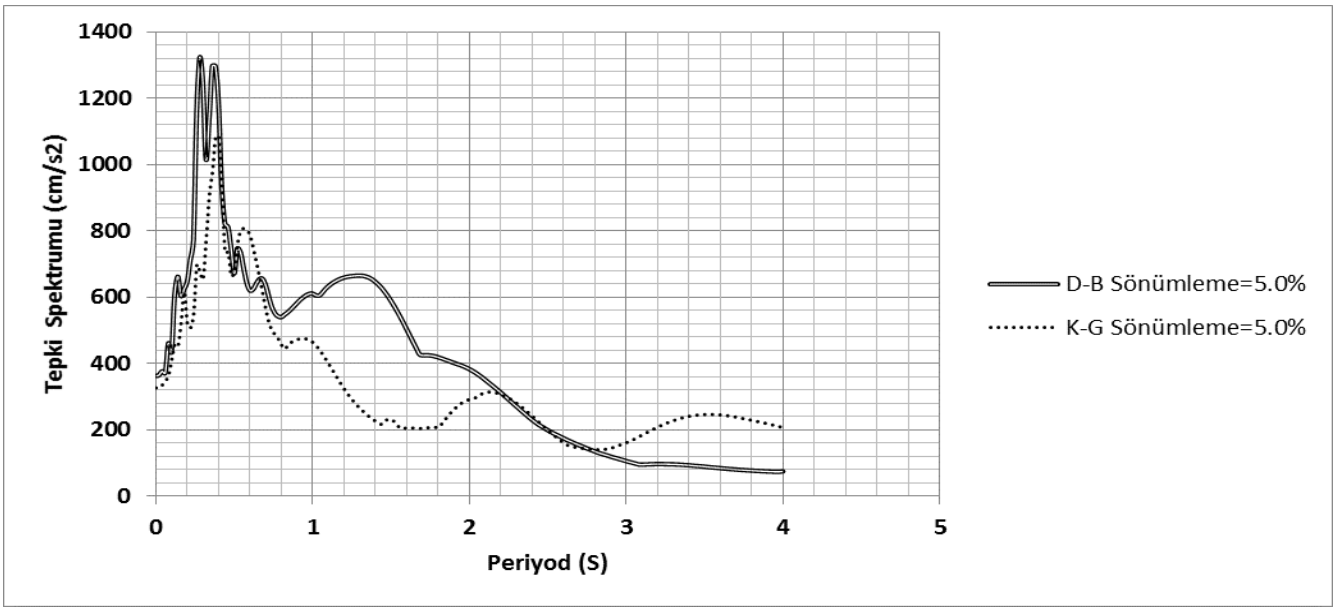
Bu çalışma kapsamında incelenen iki binanın 1999 öncesi yapıldığı bilinmektedir. 1999 öncesi ülkemiz yapı stokunu oluşturan yapılar düşünülerek beton dayanımı C8/10, çelik akma dayanımı ise 220 MPa alınmıştır. Bu çalışmada betonun elastisite modülü Amerikan Beton Enstitüsü'nün (2005) önerdiği değer, $4730xfc^{1/2}$, alınmıştır. Yapıların mevcut halinin modelleri oluşturulduktan sonra her iki doğrultuda yapıların köşelerine simetrik olarak kat alanının %0.5, %1, %1.5, %2 oranlarında perde duvar eklenmiş ve yapıların 1975 yönetmeliğine göre yapıldığı düşünüldüğü için perdenin uzun kenarının kısa kenarına oranı 5/1 olarak alınmıştır. Perdelerin malzeme özellikleri yapının mevcut malzeme özellikleri ile aynı düşünülmüştür. Perde duvarların donatılarını belirlemek için yapıların STA4CAD modelleri kurulmuş ve 1975 Deprem Yönetmeliğine göre sadece düşey yükler altındaki durum için çözümü yapılıp perde donatısı belirlenmiştir. Donatılar seçilirken 1975 Yönetmeliğince belirtilen minimum perde donatı oranı kontrol edilmiş, ayrıca donatılar yapılarda kullanılan mevcut donatılarla benzer olarak seçilmeye çalışılmıştır. Yapılara doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi uygulanmıştır. Seçilen binaların Kocaeli çevresinde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle,

analizlerde Kocaeli Depremi'nde kaydedilen ivme verisinin en büyük yer ivmesi değerine sahip olan Düzce istasyon verisi kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. 1999 Kocaeli Depremi Düzce istasyonu deprem yer hareketi ivme kaydı

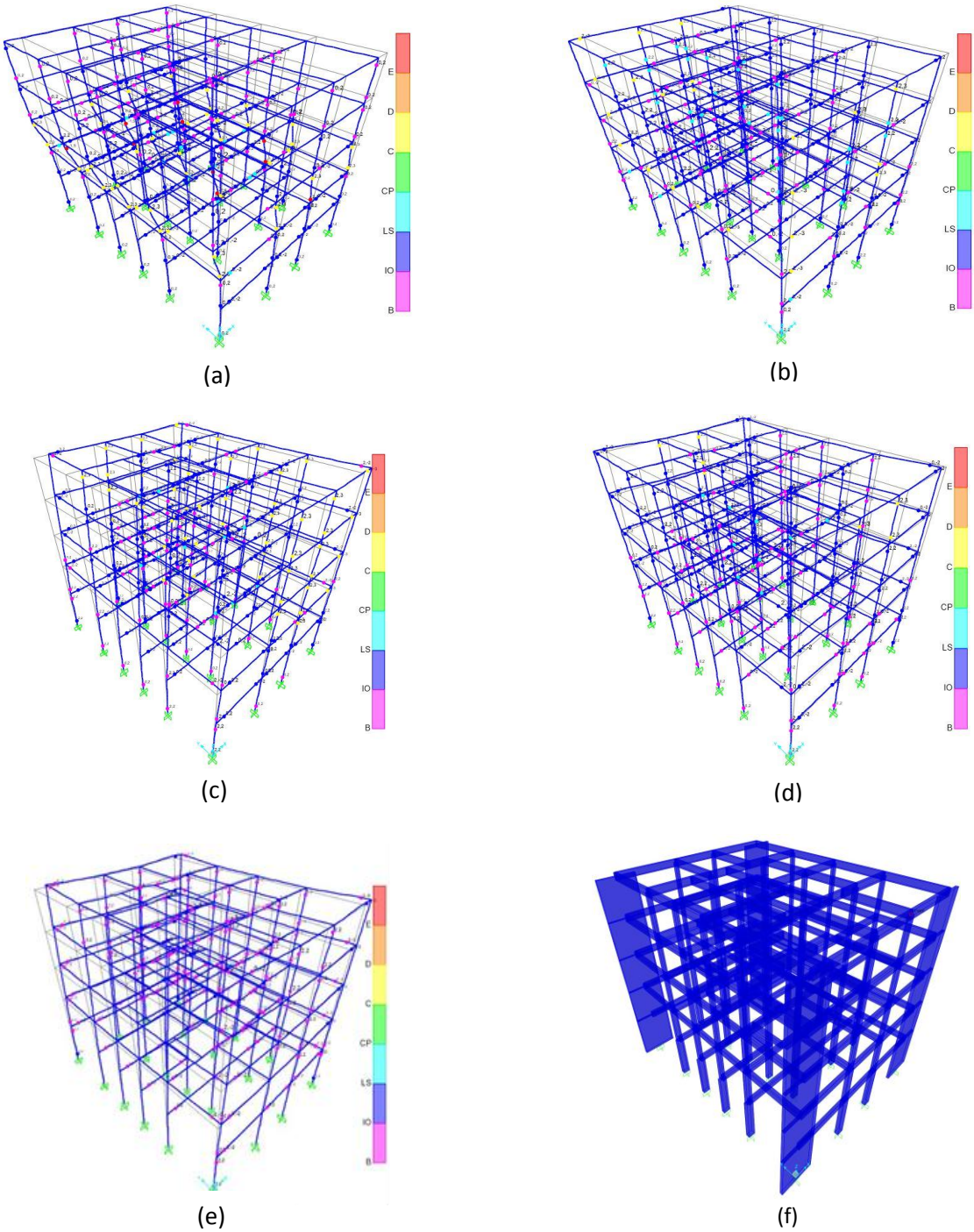
Doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi ile gerçekleştirilen analizler, yapıların her iki asal yönü için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. İki bileşenli deprem kaydının ise tepki spektrumlarında binaların periyoduna karşılık gelen spektral ivmede en büyük değeri veren Doğu-Batı bileşeni altında yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kocaeli Depremi Düzce istasyonu ivme kaydının %5 sönümlü tepki spektrumu

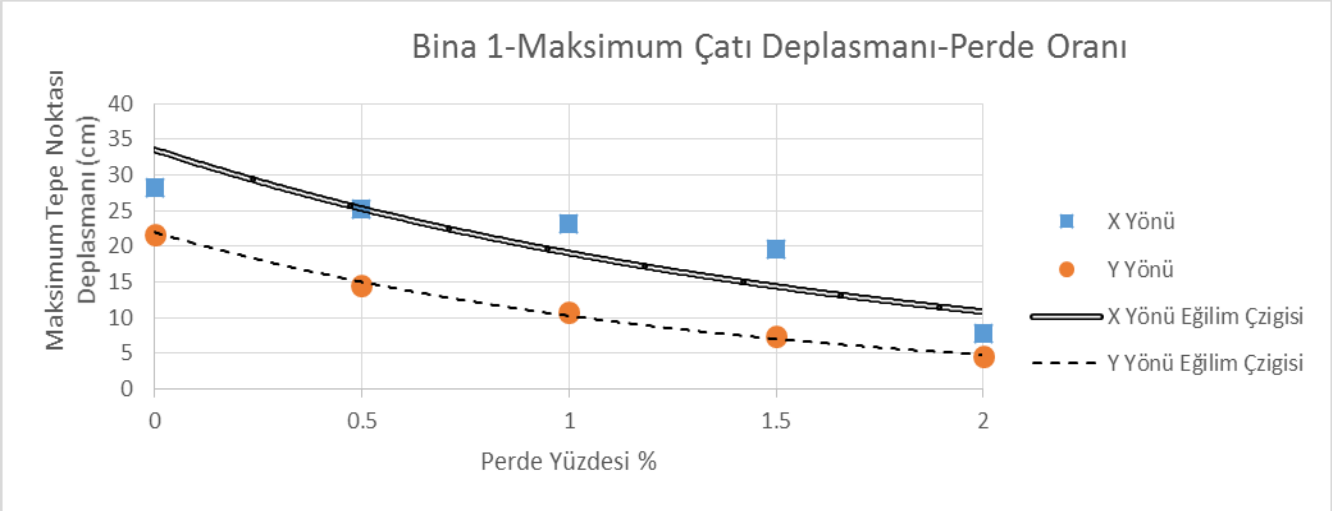
3. ANALİZ

Yapıların x ve y yönlerinde ayrı ayrı doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analizi yapılmış ve yapıların sismik performansları belirlenmiştir (Şekil 4).

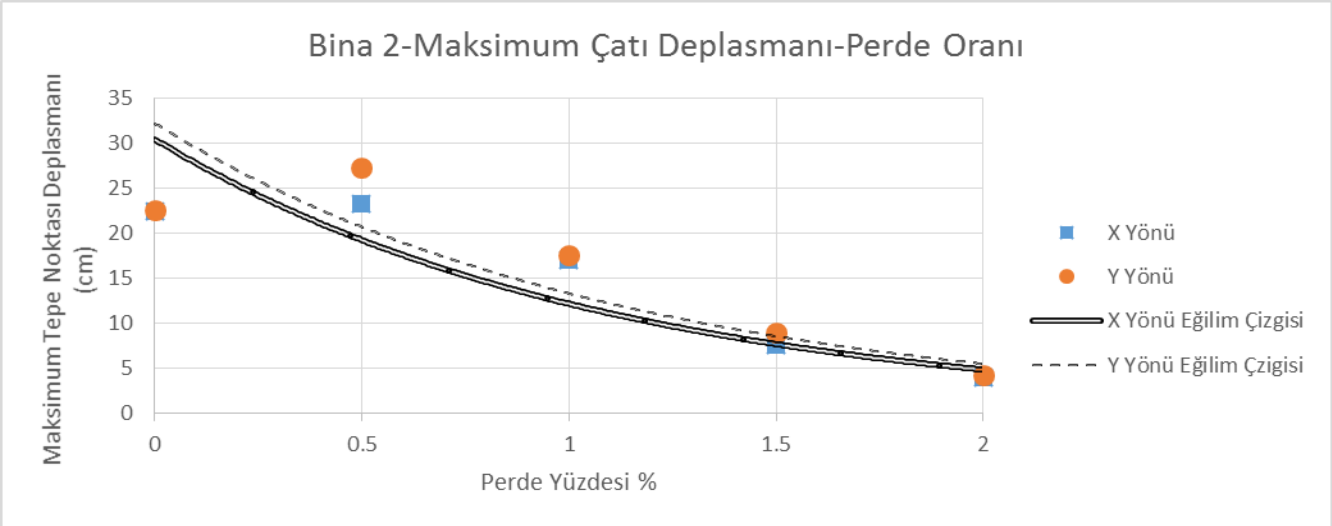


Şekil 4. Bina 2 X yönü (a) çerçeveli yapı (b) %0.5 perde oranı (c) %1 perde oranı (d) %1.5 perde oranı (e) %2 perde oranı performans seviyeleri (f) %1 perdeli yapı 3 boyutlu modeli

Çalışma kapsamında incelenen iki yapının mevcut halinin gerçek sismik performansları bilinmektedir. Her iki binanın da deprem sonrasında yıkılmış veya ağır hasar almış olduğu düşünülürse, analiz sonuçları ile tespit edilen bina performansının deprem sonrası gözlenen bina performansı ile uyumlu olduğu görülmektedir.
%1 perde oranın altında olan modellerde yazılım yakınsama problemleri nedeniyle analizleri tamamlayamazken %1 perde oranı üzeri yapılar analizlerini tamamlayabilmişlerdir.
Yakut ve Soydaş (2010) çalışmalarında perde duvar oranı ile çatı deplasmanı arasındaki ilişkiyi tanımlamış ve perde duvarı oranı arttıkça çatı deplasmanın azaldığını gözlemişlerdir. Analizler sonucunda da benzer bulgulara rastlanmıştır (Şekil 5-6). Bina 1'in perde oranı arttıkça çatı deplasmanında azalma gözlenirken, bina 2'de çatı deplasmanı yapının mevcut halinde %0.5 perde eklenmiş haline göre daha düşük bulunmuştur. Bu durum her ne kadar beklenmeyen bir durum olarak görülse de, bunun sebebi binanın perdesiz, mevcut haliyle depremin ilk saniyelerinde mekanizma durumuna gelerek göçme seviyesine ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla zaman tanım alanında yapılan analizler depremin yaklaşık 7. saniyesinde son bulmaktadır. Eğer mevcut bina analizi devam edebilseydi çok daha büyük tepe noktası yer değiştirme değerlerine ulaşabilecekti. Bu sebeple, Şekil 6'da gösterilen çelişkili durum, perdesiz bina analizinin tamamlanamamasından kaynaklanmaktadır.

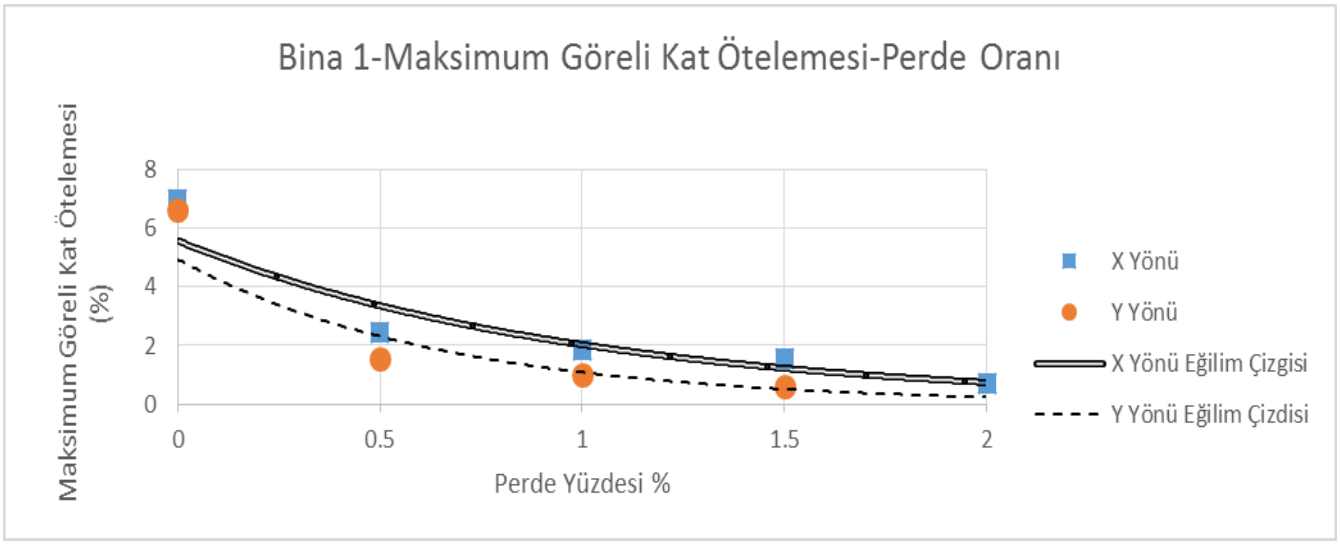


Şekil 5. Bina 1 Maksimum çatı deplasmanı-perde oranı ilişkisi

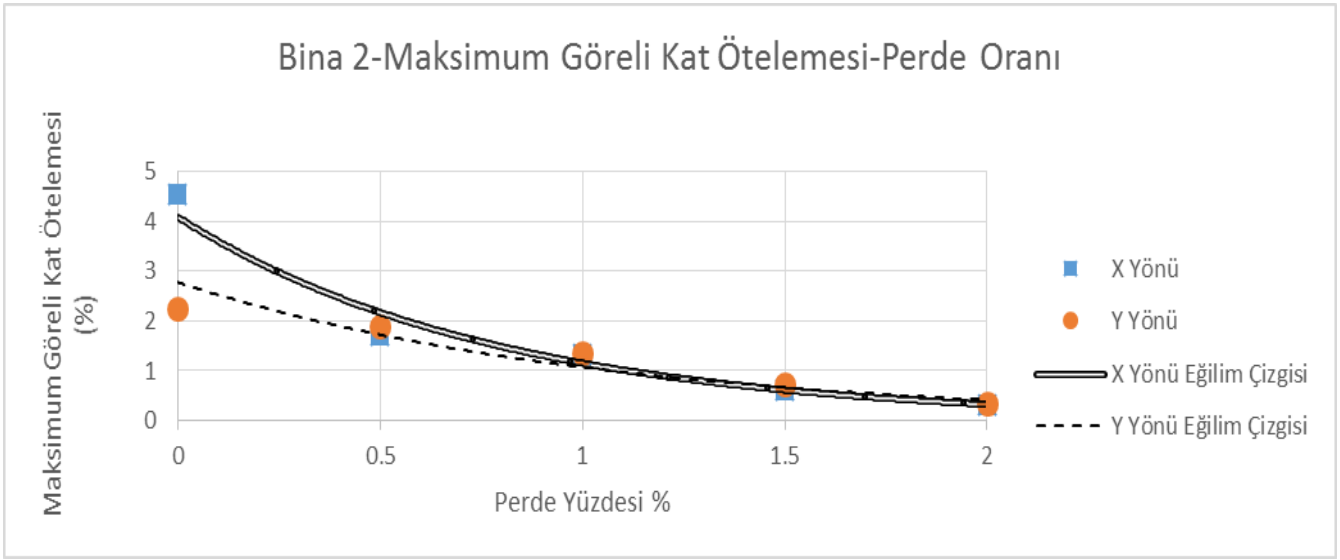


Şekil 6. Bina 2 Maksimum çatı deplasmanı-perde oranı ilişkisi

Tepe noktası yer değiştirmesinde olduğu gibi, göreli kat ötelemesi oranı da perde oranındaki artış ile ters orantılı olarak değişmektedir (Şekil 7-8). Yapılarda perde oranı arttıkça maksimum göreli kat ötelenmesinin oluştuğu katlar üst katlar olmuştur. Bu durum perdeli yapıların konsol elemanlar gibi çalışması şeklinde açıklanabilir. Maksimum göreli kat ötelemesi ile yapılan karşılaştırmalar daha anlamlı sonuçlar vermektedir. Özellikle Deprem Yönetmeliği'nin (2007) yeni tasarlanan betonarme binalar için öngördüğü %2 göreli kat ötelemesi sınırı ve mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılan farklı performans seviyeleri için tarif edilen göreli kat ötelemesi sınır değerleri bu çalışma sonucunda tavsiye edilecek perde oranı değerlerinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Diğer yandan göreli kat ötelemesi kontrolü ile yumuşak kat gibi lokal hasar oluşan kat, doğrudan tespit edilebilmiştir. Örneğin Şekil 6'da Bina 2'deki yumuşak kat oluşumu nedeniyle oluşan deplasman tepe noktası deplasmanı ile belirlenemezken, Şekil-8'de 2. kattaki yumuşak kat nedeniyle oluşan göreli kat deplasmanındaki farklılık açıkça görülmektedir. Benzer durum Bina-1 için de gözlenmiştir.

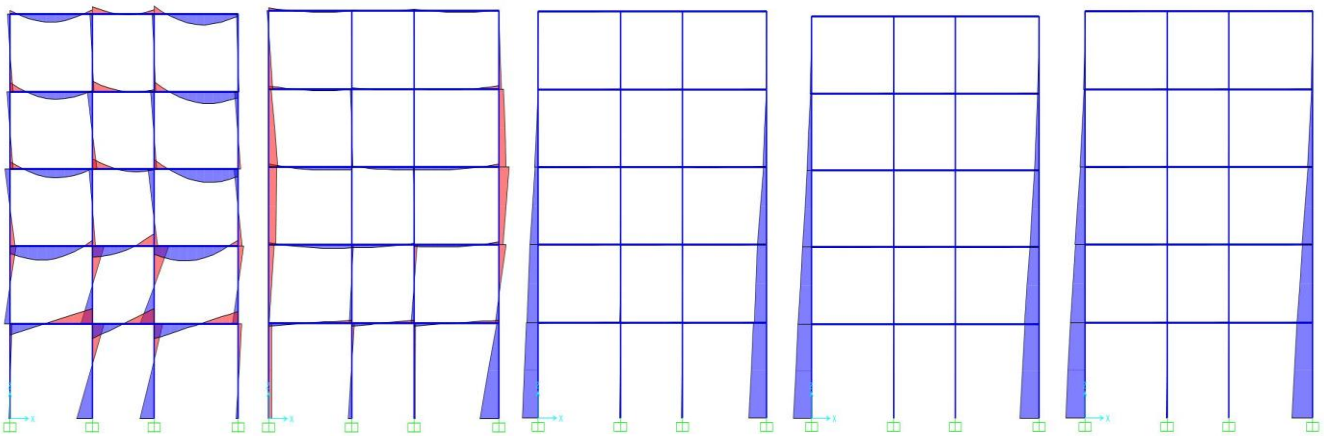


Şekil 7. Bina 1 Maksimum göreli kat-perde oranı ilişkisi



Şekil 8. Bina 2 Maksimum göreli kat-perde oranı ilişkisi

Çalışmanın üçüncü bölümünde perdeli yapı ile çerçeveli yapı arasındaki davranış farklı incelenmiştir. Gülkan ve Utkutuğ'a (2003) göre perde elemanlarının davranış şekli konsol elemanlarına benzer şekilde çalışmalıdır. Analiz sonuçlarında bu davranış gözlenmiştir. Şekil 9'da perde oranı arttıkça yatay kuvvet nedeniyle oluşan momentin ve dolayısıyla kesme kuvvetinin perdeler tarafından karşılandığı görülmektedir. Bu durumun sağladığı en önemli avantaj perde elemanlar haricindeki elemanların deprem etkisi altında çok fazla zorlanmamasıdır. Eğer perde elemanlar da Deprem Yönetmeliği'nin öngördüğü yeterli dayanım ve sünekliliği sağlayacak gerekli detaylara sahip olursa perdeli binaların deprem etkisi altında yönetmeliğin öngördüğü performansı sağlayacaklardır.



(a) (b) (c) (d) (e)

Şekil 9. Bina 1 (a) çerçeveli yapı (b) %0.5 perde oranı (c) %1 perde oranı (d) %1.5 perde oranı (e) %2 perde oranı moment diyagramları

4. SONUÇ

Binaların sismik performansının incelenmesinde kritik perde duvar oranının mevcut binaların değerlendirilmesinde ele alınan temel parametrelerden olan göreli kat ötelemesi ile ilişkisi incelenen iki bina için bulunmuştur. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde %2 göreli kat ötelemesi sınır değer olarak belirlenmiştir. Analizler sonrasında %2 göreli kat ötelemesini sağlayan perde oranı bu iki yapı için %1 olarak bulunmuştur. Bu ilişki kritik perde duvar oranına sahip olan binaların olabilecek depremlerde istenilen performansa ulaşıp ulaşamayacağı hakkında bilgi verebilecektir. Çatı deplasmanı değerlendirilen iki yapıda yine %1 perde oranı kritik bir rakam olarak alınabilir. Fakat binaların sismik performansının değerlendirilmesinde temel parametre göreli kat ötelenmesi alınmalıdır.

İncelenen iki binada %1 ve üzeri perde oranına sahip yapıların davranışının konsol eleman davranışına benzer davranış gözlenmiştir. Bu durum ele alındığında da %1 perde oranı kritik perde oranı olarak belirlenebilir.
Mevcut hali ve farklı perde oranına sahip halinin değerlendirilmeleri yapılan bu iki bina için kritik perde oranı belirlenmiş ve %1 perde oranı olması durumunda bu binaların can güvenliği seviyesini sağlayabileceği öngörülmektedir. Özellikle sınırlı seviyede düzensizliği bulunan, simetrik plana sahip, çok katlı olmayan bu çalışmada incelenmiş binalar gibi basit binaların tasarımında belirli bir orandaki perde oranının zorunlu tutulması gelecekteki yapı sokumuzun güvenliği açısından önemli bir adım olacaktır. Bu çalışma kapsamında sadece 2 bina ile belirlenen %1 perde oranı daha fazla bina üzerinde incelenerek daha da geliştirilmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 080240 nolu Proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Türk Deprem Yönetmeliği. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Tekel, H. (2006). Betonarme yapılarda %1 oranında perde kullanımının değerlendirilmesi. *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri,* 444-445.

Gülkan, P. L. ve Utkutuğ, D. (2003). Okul binalarının deprem güvenliği için minimum dizayn kriterleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 13-22.

Burak, B. ve Cömlekoğlu, H. (2012). Effect of Shear Wall Area to Floor Area Ratio on the Seismic Behavior of Reinforced Concrete Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 10.1061/(ASCE)

Yakut, A ve Soydas, O. (2010). Evaluation of shear wall indexes for RC buildings.*9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, 371.

Çağatay, H. İ. (2005). Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, **12**, 440-452.

American Concrete Institute (ACI). (2005). Building Code Requirements For Structural Concrete ACI, 318-05, Detroit.