Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 27(3), 264-273, 2021

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Taşıyıcı sistemi beton dolgulu kompozit kolonlar ve çelik kirişlerden oluşan çok katlı bir binanın tasarımı ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi

Design and nonlinear time history analysis of a multi-story building with concrete filled composite columns and steel beams

Cüneyt VATANSEVER[1*], *Yunus Emre ŞİMŞEK*[2]

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
cuneyt.vatansever@itu.edu.tr

[2]Türkiye Proje Yönetimi, Turner International, İstanbul, Türkiye.
ymr.simsek@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 03.09.2019 Düzeltme Tarihi/Revision: 27.06.2020 doi: 10.5505/pajes.2020.91043
Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2020 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışma, taşıyıcı sistemini beton dolgulu kompozit kolonlar ile çelik kirişler içeren süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerin oluşturduğu çok katlı bir binanın, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2016 (ÇYTHYE 2016) ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) esaslarına uygun olarak tasarımını ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri ile bu analizler sonunda elde edilen sonuçların tartışılmasını kapsamaktadır. Analizler 11 adet deprem yer hareketi ivme kaydı kullanılarak ETABS ve OpenSEES bilgisayar yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik mafsal dönmeleri esas alınarak değerlendirilmektedir. Ayrıca plastik dönme değerlerine göre kiriş ve kolonların hasar durumları belirlenerek bina taşıyıcı sisteminin deprem performansı da araştırılmıştır. Diyafram elemanlarının boyutlandırılmasında esas alınan kat hizası kesme kuvvetleri (diyafram kuvvetleri), TBDY 2018 çerçevesinde irdelenmiştir. Her iki bilgisayar yazılımı ile elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak aralarındaki tutarlılık değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: OpenSEES, Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, Kompozit kolon.

Abstract

This study presents the results of nonlinear time history analyses of a multi-story building with structural system having highly ductile moment resisting frames composed of concrete filled composite columns and steel beams, which was designed per Turkish Code for Design and Construction of Steel Structures 2016 and Turkish Seismic Code for Buildings 2018. The nonlinear analyses were carried out with ETABS and OpenSEES using 11 earthquake ground motion records. The results of the analyses are evaluated on the basis of plastic rotations occurred in the beams and columns hinges. In addition, according to the values of plastic rotations, damage levels of beams and columns were determined and the seismic performance of the structural system of the building was also investigated. Shear forces acting on each floor (diaphragm forces) considered for the design of the diaphragm elements were also examined within the Turkish Seismic Code for Buildings 2018. The consistency between the analyses results from both computer softwares were comparatively assessed.

Keywords: OpenSEES, Nonlinear time history analysis, Composite column.

1 Giriş

Binalar yükseldikçe, özellikle deprem etkilerinin etkin bir şekilde karşılanabilmesi için dayanımları yüksek kolonların kullanılma gerekliliği artmaktadır [1]. Çelik binalarda kolonlar için yüksek dayanım, yüksek akma dayanımına sahip çelik malzeme sınıfının ve/veya daha büyük enkesit alanına sahip profillerin kullanılması ile sağlanırken, betonarme binalarda bu durum yüksek basınç dayanımına sahip beton malzeme sınıfının ve/veya daha büyük enkesit alanına sahip kolonların kullanılması ile sağlanmaktadır. Ayrıca, çeliğin yüksek akma dayanımı ile betonun büyük basınç dayanımından tek bir enkesit oluşturarak da yararlanmak mümkündür. Bu şekilde oluşturulan enkesitler; çelik gömme veya beton dolgulu kompozit enkesitler, bu enkesitlerle oluşturulan kolonlar da kompozit kolonlar olarak adlandırılır [2].

Gerek çelik gerekse betonarme binalarda kolonların dayanımlarının, daha büyük enkesit alanları oluşturmadan, çelik ve betondan (veya betonarmeden) oluşan kompozit enkesitler kullanılarak da gereken düzeyde arttırılması sağlanabilir. Bununla birlikte, deprem yüklerinin karşılanması için sadece moment aktaran çelik çerçevelerden yararlanılması halinde, özellikle göreli kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin sınırlandırılması bakımından gereken rijitlik, kompozit kolonların kullanılması ile daha etkin bir biçimde sağlanabilmektedir. Büyük eksenel kuvvet dayanımına ihtiyaç duyulan merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin kolonları için gereken dayanım da kompozit kolonlar oluşturularak elde edilebilir [3].

Günümüzde özellikle yüksek sünek ve yüksek basınç dayanımı gerektiren elemanlarda betonarme kesit yerine kompozit kesitlerin kullanılması hız ve ekonomi yönünden daha avantajlıdır [4]. Özellikle beton dolgulu boru enkesitli kompozit elemanlarda, çelik profilin beton için sürekli bir sargı oluşturması betonun; dayanımının ve sünekliğinin artmasına,

*Yazışılan yazar/Corresponding author

beton da çelik profilin yerel burkulmasının önlenmesine yardımcı olmaktadır.

Kompozit enkesitli elemanların kullanıldığı yatay yük taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi, bu tür sistemlerin sağladığı avantajların değerlendirilmesinde en etkin yöntemdir. Kompozit enkesitli kolon ve kirişlerden oluşan çok katlı moment aktaran bir çerçevenin deprem etkileri altında tasarımını ve performansının değerlendirilmesini kapsayan araştırmada [5], doğrusal olmayan statik itme analizlerden yararlanılmış ve doğru bir performans değerlendirmesi için, kiriş-kolon birleşim bölgelerinin şekildeğiştirme durumları ile kiriş ve kolon enkesitlerinin plastik dönme kapasitelerinin doğru bir şekilde tanımlanması gerektiği belirtilmiştir. Benzer şekilde, çelik-beton kompozit bir çerçevenin doğal titreşim özellikleri ile deprem etkisi altında doğrusal olmayan davranışının statik ve dinamik analizler yapılarak incelendiği çalışmada [6]; kompozit kirişlerdeki kayma birleşiminin şekildeğiştirme durumunun, sistem davranışını önemli derecede etkilediği vurgulanmıştır.

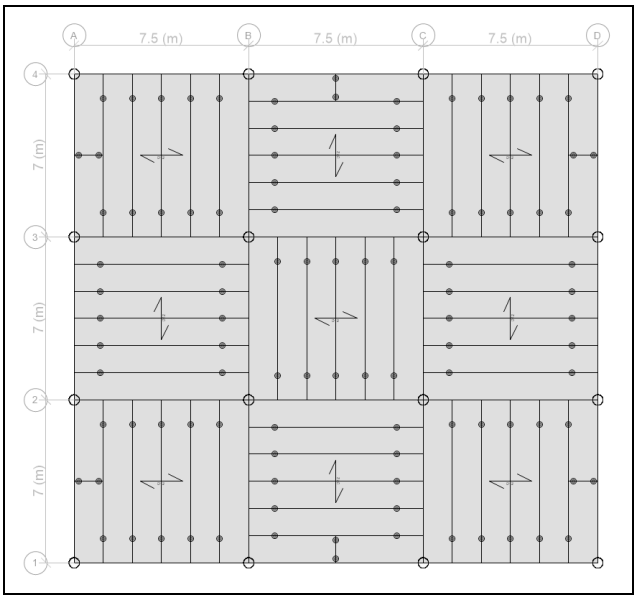
Kompozit enkesitli elemanlar; eleman bazında yürütülecek çalışmalar için sonlu elemanlar yöntemi uygulanarak hassas bir şekilde modellenebilmektedir. Ancak, taşıyıcı sistem bazında daha hızlı ve olabildiğince hassas analizler için bu elemanların kesit hücresi (lif) modeli ile temsil edilmesi, daha pratik bir yöntem olarak görünmektedir [7].

Bu çalışma kapsamında, taşıyıcı sistemini beton dolgulu kompozit kolonlar ile çelik kirişler içeren süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerin oluşturduğu çok katlı bir binanın, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2016 (ÇYTHYE 2016) [2] ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) [8] esaslarına uygun olarak tasarımı ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik mafsal dönmeleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca kat hizası kesme kuvvetleri (diyafram kuvvetleri) elde edilerek bu kuvvetlerin bina yüksekliği boyunca yayılışı ve değerleri TBDY 2018 kapsamında irdelenmiştir.

2 Model bina

Binanın kolonları, beton dolgulu boru enkesitli kompozit kolonlardır. Kirişler I-enkesitli elemanlar kullanılarak boyutlandırılmıştır. Tüm çerçeve kirişleri kolonlara moment aktaracak şekilde bağlanmaktadır. Kat döşemeleri ana ve ikincil (tali) kirişlere mesnetlenen trapez enkesitli sac levhalar üzerinde teşkil edilen yerinde dökme betonarme döşeme sisteminden oluşmaktadır. Ayrıca, çerçeve kirişlerinin alt başlığının yanal doğrultuda desteklenmesi amacıyla ilave tali kirişler kullanılmıştır. İkincil kirişler çerçeve kirişlerine moment aktarmayan basit birleşimler yardımıyla bağlanmaktadır. Kolonlar temele her iki doğrultuda da ankastre olarak mesnetlenmektedir. İkincil kirişlerin yerleşimi (Şekil 1), çerçeve kirişlerine etkiyen düşey yüklerin aynı mertebede dağılması sağlanacak şekilde, şaşırtmalı olarak düzenlenmiştir. Çerçeve kirişlerinin alt başlıklarının yanal olarak desteklenmesi amacıyla kullanılan kısa tali kirişlerin döşeme yüklerini aktarmadığı varsayılmıştır.

Zeminden itibaren toplam yüksekliği 25m olan model bina, 7 kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri ilk katta 4m, diğer katlarda ise 3.5m olarak belirlenmiştir. Model bina x-doğrultusunda 3 adet 7.5 m'lik açıklıktan, y-doğrultusunda ise 3 adet 7m'lik açıklıktan oluşmaktadır. Bu durumda toplam genişlik x-doğrultusunda 22.5 m, y-doğrultusunda ise 21 m olmaktadır.



Şekil 1. Tipik kat planı.

Figure 1. Typical floor plan.

Model bina, zemin değerleri bilinen, İstanbul İli Bakırköy İlçesi Yeşilköy Mahallesi'nde bulunan bir arsa üzerinde inşa edilecek şekilde konumlandırılmıştır (Enlem: 40.988540 Boylam: 28.823481). Bu coğrafi konumdaki zemin koşullarının ZC zemin koşulları ile uyumlu olduğu varsayılmıştır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının çelik sınıfı S275 [2], çelik-beton kompozit enkesitli kolonlarda beton sınıfı C35 [9] olarak belirlenmiştir. Binanın yapısal elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan üç boyutlu analitik model, Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Üç boyutlu analitik model.

Figure 2. 3D analytical model.

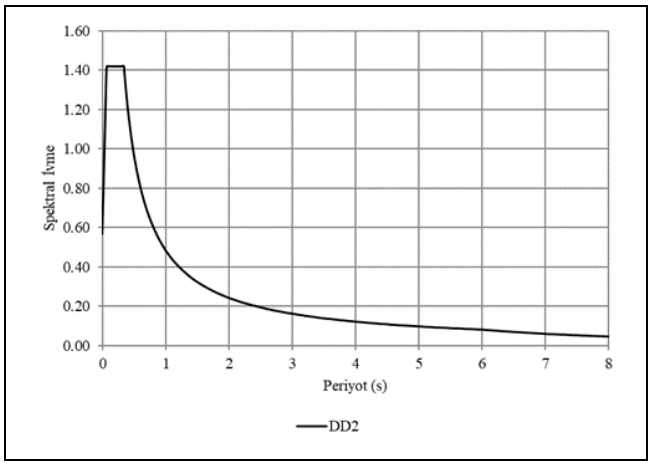
Analitik modelin geliştirilmesinde ETABS (**E**xtended **T**hree-dimensional **A**nalysis of **B**uilding **S**ystems) [10] bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır.

2.1 Taşıyıcı sistem tasarımı

Taşıyıcı sistemi oluşturan kiriş ve kolonların boyutlandırılması ETABS [10] bilgisayar yazılımı ile ÇYTHYE 2016 Yönetmeliği esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için yazılım kapsamı içinde tasarım standardı olarak yer alan ve ÇYTHYE 2016 Yönetmeliği ile uyumlu olan AISC 360-10 [11] göz önünde tutulmuştur.

Yapısal elemanların kendi ağırlıkları bilgisayar yazılımı tarafından otomatik olarak dikkate alınmaktadır. Toplam sabit yük 2.5 kN/m² olarak, hareketli yük ise 2.0 kN/m² olarak alınmıştır.

Deprem yüklerinin belirlenebilmesi için gereken elastik tasarım spektral ivmeleri doğal titreşim periyoduna göre TBDY 2018 Denk.(2.2) yardımıyla hesaplanmıştır. Yatay elastik tasarım spektrumu (Şekil 3) 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ve ZC yerel zemin sınıfına bağlı olarak elde edilmiştir. Yatay elastik tasarım spektrumunun oluşturulması için spektral ivme katsayılarının ve zemin etki katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Harita spektral ivme değerleri, model bina için seçilen coğrafik konuma göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları [12] kullanılarak belirlenmiştir. Yerel zemin etki katsayıları ise, TBDY 2018 Bölüm 2.3.3'e uygun olarak, yerel zemin sınıfı ile kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları ve 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları esas alınarak elde edilmiştir. Sönüm oranı %5 olarak alınmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları [12] kullanılarak, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, $S_S = 1.183$, 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, $S_1 = 0.323$, en büyük yer ivmesi, $PGA = 0.486g$ ve en büyük yer hızı, $PGV = 29.644\ cm/s$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. DD-2 deprem düzeyi yatay elastik tasarım spektrumu.

Figure 3. Elastic design response spectrum in horizontal direction at seismic level SL-2.

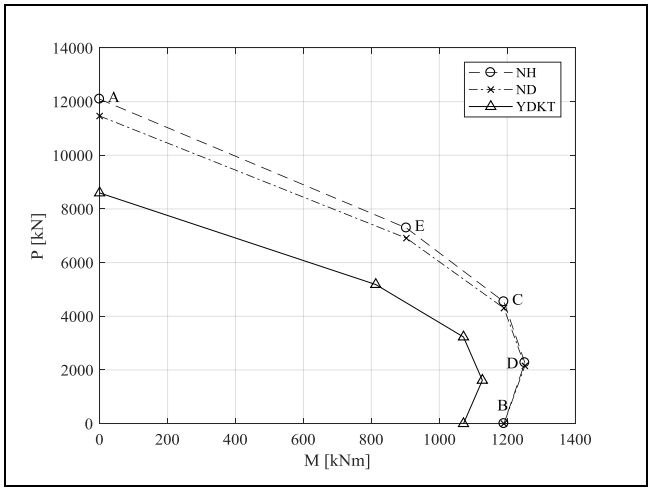
Bina kullanım amacı konut olarak düşünüldüğünden bina önem katsayısı, $I = 1$, bina kullanım sınıfı, $BKS = 3$ olarak belirlenmiştir. Hareketli yük kütle katılım katsayısı, TBDY 2018 Tablo 4.3'e göre, $n = 0.30$ olarak elde edilmektedir. Deprem tasarım sınıfı (DTS), BKS ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre, $DTS = 1$ olarak bulunmuştur. Bina yüksekliğinin 25m ve DTS'nin 1'e eşit olması nedeniyle, bina yükseklik sınıfı, $BYS = 5$ olarak belirlenmektedir. Bina taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek beton dolgulu kompozit kolonlu moment aktaran çerçevelerden, bu çerçevelerin kirişleri de I-enkesitli çelik elemanlardan oluşmaktadır. Buna göre, TBDY 2018 Bölüm 4.3.2.2 uyarınca, kolonları kompozit enkesitli olan sistemlerde, çelik taşıyıcı sistemler için verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R ve dayanım fazlalığı katsayısı, D kullanılacaktır. Bu durumda, bu bina için, TBDY 2018 Tablo 4.1'e göre, deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle taşındığı binalar için verilen $R = 8$ ve $D = 3$ katsayıları esas alınacaktır.

Deprem hesabı için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılması öngörülmüştür. Böylece, genel analiz yönteminin gereği olan, taşıyıcı sistem elemanlarına uygulanacak rijitlik azaltması ve buna bağlı olarak doğrusal olmayan ikinci mertebe analizlerin gerçekleştirilmesi kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu durumda, binanın birbirine dik her iki doğrultudaki hakim doğal titreşim periyotları, azaltılmamış eleman rijitlikleri kullanılarak elde edilmiş ve katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri hesaplanmıştır. Bina taşıyıcı sistemi, TBDY 2018 4.4.3.1'de belirtilen ve analizlerde düşey elastik ivme spektrumu kullanılmasını gerektiren taşıyıcı sistem özelliklerine sahip olmadığından; düşey deprem etkisi TBDY 2018 4.4.3.2'de sabit yük (G) ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayının (S_{DS}) fonksiyonu şeklinde tanımlanan denklem kullanılarak dikkate alınmıştır.

Model binanın taşıyıcı sistem elemanlarının gerekli dayanımları, stabilite tasarım esaslarına uygun olarak elde edilmiştir. Yapı sistemlerinde stabilite tasarımı, ikinci mertebe teorisi'ne göre analiz yapılmasını öngörmektedir. Bunun için eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin göz önüne alınması gerekmektedir. Boyutlandırma da bu şekilde hesaplanan iç kuvvet değerlerinin, elemanların mevcut dayanımları ile karşılaştırılmasını gerektirmektedir. Kolonların montaj aşamasında düşey doğrultudan sapması şeklinde tanımlanan geometrik ön kusur, fiktif yükler kullanılarak temsil edilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının gerekli dayanımlarının hesabı için Genel Analiz Yöntemi, boyutlandırma için ise Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin gereği olarak, yatay yük taşıyıcı sistemin tüm elemanlarının (bu örnekte, kompozit kolonlar ve çerçeve kirişlerinin) eksenel ve kayma rijitlikleri ile çerçeve kirişlerinin eğilme rijitlikleri, ÇYTHYE 6.2.3 uyarınca, 0.8 katsayısı ile çarpılarak azaltılmıştır. Kompozit kolonların eğilme rijitliklerine uygulanan azaltma katsayısı ise, ÇYTHYE 6.2.3(b) ve 12.2.5(d) uyarınca, 0.8×0.8 = 0.64 olarak elde edilmektedir.

ETABS [10] bilgisayar yazılımı ile gerçekleştirilen analizler sonunda elde edilen x- ve y-doğrultularındaki hakim doğal titreşim periyotları sırasıyla, 2.71 sn ve 2.65 sn olarak elde edilmiştir. Toplam bina ağırlığı 22892 kN olarak, taban kesme kuvvetleri ise x- ve y-doğrultuları için 1268 kN olarak hesaplanmıştır. Taban kesme kuvvetlerinin hesabında esas alınan hakim doğal titreşim periyodu, her iki doğrultu için de TBDY 2018 4.7.3.4 ile elde edilen ampirik periyodun 1.4 katı olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, düzgün bir geometriye sahip bina taşıyıcı sisteminin deprem etkileri altında planda ve düşeyde herhangi bir düzensizlik içermediği gözlenmiştir. Etkin göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerinin, TBDY 2018 4.9'da tanımlanan sınır değerleri aşmadığı görülmüştür.

Kolonlar, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE) Yönetmeliği 2016 12.3.2'ye uygun olarak boyutlandırılmıştır [2]. Kolon enkesitinin eksenel kuvvet-eğilme momenti etkileşim diyagramı için plastik gerilme dağılımı yönteminin kullanıldığı ÇYTHYE Tablo 12.5'ten (Şekil 4) yararlanılmıştır. Ayrıca, TBDY 2018 9.11.4.2'ye uygun olarak, tüm kompozit kolonların eksenel basınç kuvvetlerinin seviyeleri, $N_{dm} \leq 0.40P_{no}$ koşulunu sağlamaktadır.



Şekil 4: Kompozit kolon için karşılıklı etki diyagramları.

Figure 4. M-P interaction diagrams of composite column.

Tüm beton dolgulu kompozit kolonların enkesitleri için 457×20 (dış çap×cidar kalınlığı) boru enkesitli elemanlar kullanılmıştır. Ana kirişler IPE 400 olarak belirlenmiştir. İkincil kirişler ise, IPE 240 profili ile boyutlandırılmıştır.

Moment aktaran çerçevelerin tasarımı, TBDY 2018 9.11.2.2 uyarınca, her bir deprem doğrultusu için tüm kiriş-kolon düğüm noktalarında kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu sağlanacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4'te beton dolgulu kompozit kolon için verilen eğilme momenti-eksenel basınç kuvveti karşılıklı etki diyagramları görülmektedir. Boyutlandırmada esas alınan karşılıklı etki diyagramı, YDKT eğrisi ile gösterilmektedir. NH ve ND ile gösterilen eğriler sırasıyla, narinliğin dikkate alınmadığı ve alındığı durumlar için kompozit kolonun eğilme momenti-eksenel basınç kuvveti etkileşim ilişkisini göstermektedir.

2.2 Taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan analitik modelleri

ÇYTHYE 2016 Yönetmeliği [2] ile TBDY 2018'e [8] uygun olarak boyutlandırılan model binanın taşıyıcı sisteminin, tasarım depremi altında doğrusal olmayan davranışı, ETABS [10] ve OpenSEES (**Open** **S**ystem for **E**arthquake **E**ngineering **S**imulation) [13] bilgisayar yazılımları kullanılarak geliştirilen analitik modellerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılarak incelenmiştir. Tüm analizlerde ikinci mertebe etkilerin dikkate alınması sağlanmıştır. Yazılımların analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Moment aktaran çerçevelerin kolon ve kirişlerinin doğrusal olmayan davranışı, her iki yazılımda da yığılı plastik davranış yaklaşımı esas alınarak temsil edilmektedir. Buna göre, ETABS [10] yazılımı ile geliştirilen analitik modelde, kiriş ve kolon uçlarında enkesitlerin doğrusal olmayan davranışlarını temsil eden plastik mafsallar tanımlanmıştır. OpenSEES [13] modelindeki kiriş ve kolonların plastik davranışları için ise, kesit hücresi (lif) modelinin kullanıldığı, enkesit yüksekliğinin yarısı kadar bir boya sahip eleman uç bölgeleri oluşturulmuştur. Bu bölgeler yığılı plastik davranış yaklaşımını temsil eden bölgeler olarak teşkil edilmiştir. Buna göre, kiriş ve kolonların bu bölgelerdeki enkesitleri sonlu sayıdaki lif elemandan oluşmaktadır. Bu durumda, kompozit enkesiti oluşturan beton ve çelik enkesit parçaları arasında aderansın tam olarak sağlandığı varsayılmaktadır. Bu bölgelerdeki plastik davranış, malzeme karakteristiklerine göre OpenSEES [13] yazılımı tarafından doğrudan doğruya belirlenmektedir. Bu nedenle ETABS [10] yazılımında olduğu gibi, enkesite ve malzeme davranışına dayalı, dolaylı bir plastik mafsal davranış modelinin kullanılmasına gerek yoktur. Plastik mafsalların uzunlukları, enkesit yüksekliklerinin yarısına eşit olarak alınmıştır. Döşemeler doğrudan analitik modellere dahil edilmemiş, ancak her bir kat düzlemi içinde rijit diyafram oluşturdukları varsayılmıştır. Döşemeler vasıtasıyla etkiyen düşey yükler, çerçeve kirişlerinin yükleri olarak, düzgün yayılı yükler ve ikincil kirişler vasıtasıyla aktarılan tekil yükler şeklinde tanımlanmıştır.

Çelik ve beton malzemenin doğrusal olmayan davranış modelleri, beklenen malzeme dayanımları ile oluşturulmuştur. Bu dayanımlar için TBDY 2018 Tablo 5.1 kullanılmıştır. Buna göre, betonun karakteristik basınç dayanımı ve S275 çelik sınıfının karakteristik akma dayanımı için öngörülen beklenen malzeme dayanımları sırasıyla, $1.3f_{ck}$ ve $1.3F_y$ olarak dikkate alınmaktadır. Çelik malzemenin doğrusal olmayan davranışı, 0.01 oranında bir pekleşme esas alınarak temsil edilmiştir.

ETABS [10] yazılımında çelik malzeme, beklenen akma ve çekme dayanımlarına karşı gelen birim şekildeğiştirmeler tanımlanarak modellenmiştir. OpenSEES [13] yazılımında ise benzer modelleme için *"Steel02"* malzeme modeli kullanılmıştır. Beton malzemesinin gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi her iki yazılımda da $0.10f_{ck}$ çekme dayanımı esas alınarak oluşturulmuştur. Beton malzeme davranışı ETABS [10] yazılımında, beklenen beton dayanımlarına karşı gelen birim şekildeğiştirmeler esas alınarak modellenmiştir. OpenSEES'de [13] ise beton malzemenin doğrusal olmayan davranışı için *"Concrete02"* modeli kullanılmıştır.

OpenSEES [13] bilgisayar yazılımı ile hazırlanan hesap modelinde çerçevelerin kirişleri ve kolonları için *"beamWithHinges"* kütüphane elemanından yararlanılmıştır. Bu eleman modeli plastik mafsal uzunluğunun tanımlamasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, kiriş ve kolon uçlarında tanımlanan plastik mafsal bölgeleri dışındaki eleman parçası doğrusal elastik bir davranış sergilemektedir.

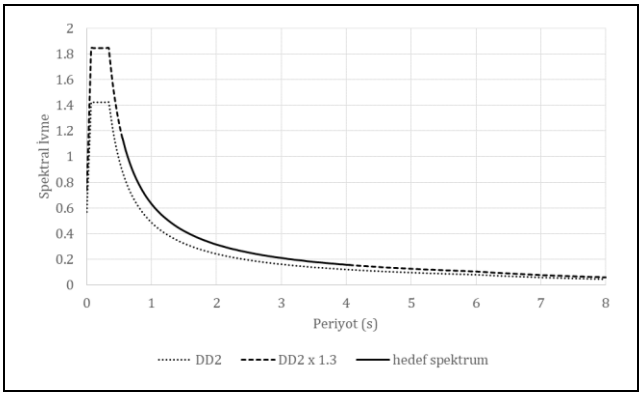
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin her biri, sabit düşey yük etkisi altında, yatay düzlemde birbirine dik doğrultuda eş zamanlı olarak etkiyen iki deprem yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Düşey yük değeri, depremde etkin olan kat ağırlığı olarak, sabit yükler artı hareketli yükün %30'u şeklinde dikkate alınmaktadır. Analizler iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama sabit düşey yükler altında doğrusal olmayan analiz, ikinci aşama ise, ilk aşamanın son adımının ikinci aşamanın başlangıç adımı olarak dikkate alındığı deprem yer hareketlerinin uygulama aşamasıdır. Deprem yer hareketleri 11 adet yer hareketi çiftinden oluşmaktadır. Her bir yer hareketi çiftini oluşturan bileşenin, TBDY 2018 5.7.2.1 uyarınca, binanın her iki yatay asal ekseni doğrultusunda da etkimesi gerektiğinden, toplam analiz sayısının, 11×2=22 adet olması gerekmektedir. Bu durumda sismik istem değerleri

(burada göreli kat ötelemelerinin açıları ve plastik mafsal dönmeleri), 22 adet analiz sonucunun ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Mevcut deprem kayıtları kullanılarak seçilen her bir yer hareketi çiftinin, tasarım depremi olarak nitelendirilen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan 475 yıl dönüş periyotlu deprem spektrumu ile benzeşmesi sağlanmıştır. Bu yer hareketi kayıtları altında yürütülen analizler sonunda, kontrollü hasar hedef performansı koşulları değerlendirilmiştir.

3 Deprem yer hareketi ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi

Yapıların performans düzeyleri, şiddetli ve çok şiddetli depremlerin etkisi altında, doğrusal olmayan taşıyıcı sistem modelleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yardımı ile değerlendirilebilmektedir. Böyle bir değerlendirme için, tasarım spektrumu ile uyumlu olacak şekilde seçilen ve ölçeklendirilen yer hareketi kayıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için de, yerel deprem koşulları ile uyumlu gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirilerek kullanılması önerilmektedir [14]. Model bina için "Pasific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Gorund Motion Database" içeriğinde bulunan ve DD-2 düzeyindeki elastik ivme spektrumu ile uyumlu olan deprem yer hareketi kayıtları kullanılmıştır [15]. Deprem yer hareketi kayıtları seçilirken, esas alınan hususlar; depremin büyüklüğü (6.5-7.5Mw), aktif fay düzlemine uzaklık (≈15 km), kırılma mekanizması (doğrultu atımlı) ve yerel zemin koşulları (ZC) olarak sıralanabilir. Deprem yer hareketi kayıtları, TBDY 2.5.2.1(b)'ye uygun olarak basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Bu durumda üç boyutlu hesap için, her bir deprem kaydı takımının bileşke yatay spektrumlarının ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten küçük olmaması kuralı esas alınmıştır. Bileşke yatay spektrum, her bir deprem yer hareketi kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir. Buna göre, hedef spektrum değerleri, %5 sönüm oranına sahip tasarım elastik ivme spektrumlarının genliklerinin 1.3 katı alınarak hesaplanmıştır. Şekil 5 deprem kaydı takımlarının ölçeklendirilmesi için kullanılacak hedef spektrum eğrisini göstermektedir. Bu işlemlerde binanın hakim doğal tireşim periyodu 2.71 sn. olarak alınmıştır.



Şekil 5. Deprem yer hareketlerinin belirli periyot aralığı için ölçeklendirilmesi.

Figure 5. Scaling of earthquake ground motions for a certain time interval.

Ölçeklendirme katsayılarının belirlenmesi için aşağıdaki işlem sırası izlenmiştir.

- Bileşke yatay spektrumların elde edilmesi,
- Bileşke yatay spektrumlarının ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten küçük olmaması sağlanacak şekilde ölçek katsayılarının belirlenmesi.

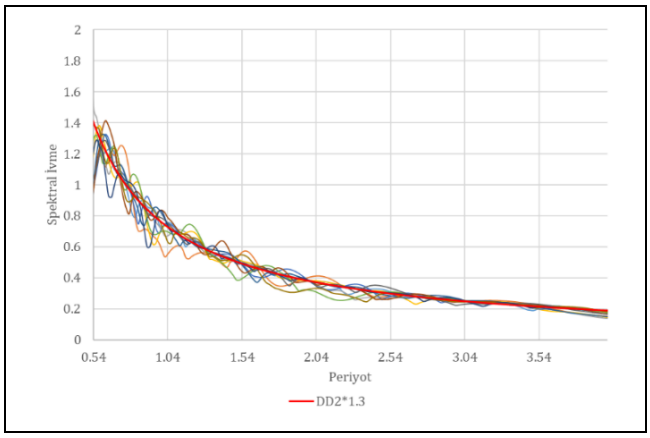
Buna göre, DD-2 deprem düzeyini temsil etmek amacıyla belirlenen deprem yer hareketi kayıtları ve her bir deprem kaydı takımı için uygulanan ölçek katsayıları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Deprem yer hareketleri ve ölçek katsayıları.

Table 1. Earthquake ground motions and scale factors.

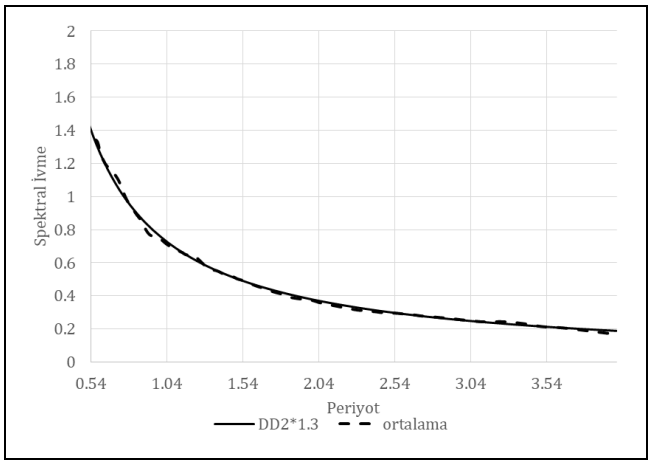
Deprem Yer Hareketi	Ölçek Katsayısı
Landers-Amboy	2.46
Landers-Barstow	2.71
Landers-Fort Irwin	5.21
Kocaeli-Arçelik	3.60
Kocaeli-İznik	2.19
Düzce-Kütahya	6.74
Düzce-Mudurnu	6.41
Hector Mine-Joshua Tree	2.75
Hector Mine-Morongo	3.58
Hector Mine-North Shore	3.89
El Mayor-Cucapah, Mexico	5.23

Deprem kaydı takımını oluşturan her bir bileşen ölçek katsayısı ile çarpılarak büyütülmüştür. Şekil 6, $0.2T_p$ (0.2×2.71=0.54sn) ile $1.5T_p$ (1.5×2.71=4.07sn) arasında ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ve yatay elastik tasarım spektrumu genliklerinin 1.3 kat büyütülen değerlerinin periyoda bağlı değişimini göstermektedir. Ortalama spektrumun genliklerinin hedef spektrum genlikleri ile uyumu Şekil 7'de gösterilmiştir. Buna göre, bileşke spektrumların belirli periyotlar arasındaki genliklerinin ortalamasının tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'ten daha küçük olmaması kuralının sağlandığı görülür.



Şekil 6. Hedef spektrumun 1.3 katı ve ölçeklendirilmiş deprem yer hareketi kayıtları.

Figure 6. Target response spectrum amplified by 1.3 and scaled earthquake ground motions.



Şekil 7. Hedef spektrum ve ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarına ait spektrumların ortalaması.

Figure 7. Target response spectrum and average of scaled earthquake ground motions.

4 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

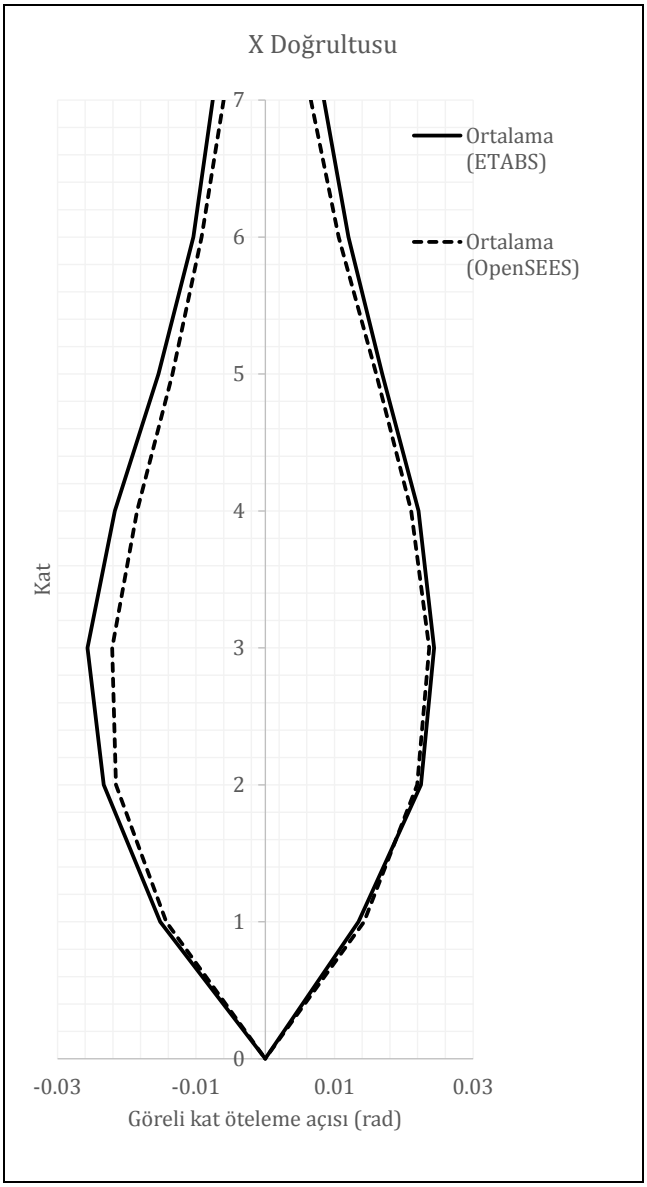
Model binanın deprem performansı, mevcut binaların taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altında değerlendirilmesi için öngörülen kurallar esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kurallar için TBDY 2018 Bölüm 15 ve EK 5C'den yararlanılmıştır.

Model bina taşıyıcı sisteminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri, taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda, birbirine dik yatay iki doğrultudaki 11 adet deprem yer hareketi çifti uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, yer hareketi çiftlerinin 90° döndürülerek de uygulanmasını gerektirdiğinden toplam, 11×2=22 adet analiz yapılmıştır.

Analiz sonuçları, plastik mafsal dönmeleri esas alınarak değerlendirilmektedir. Ayrıca plastik dönme değerlerine göre kiriş ve kolonların hasar durumları belirlenerek bina taşıyıcı sisteminin deprem performansı da araştırılmıştır. Bu değerlendirme ve araştırma, 11×2 deprem yer hareketi kaydı kullanılarak elde edilen sonuçların ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte her iki bilgisayar yazılımı ile elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak aralarındaki tutarlılık değerlendirilmiştir.

Şekil 8, ETABS [10] ve OpenSEES [13] modellerinin analizleri sonunda hesaplanan ortalama maksimum ve minimum göreli kat ötelemelerinin açılarını göstermektedir.

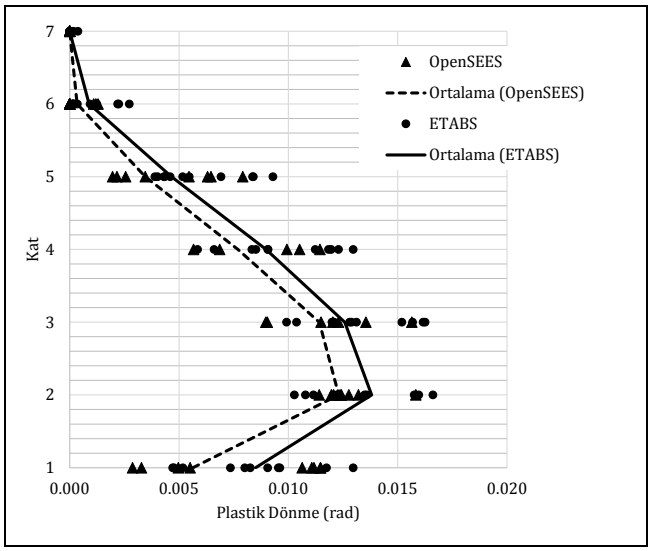
Göreli kat ötelemelerinin açıları, TBDY 2018 Bölüm 15 kapsamında, mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesi amacıyla doğrudan kullanılmamaktadır. Bunun yerine eleman enkesitlerinin plastik dönme talepleri esas alınmaktadır. Göreli kat ötelemelerinin açıları arasındaki uyum (Şekil 8), analitik modeller geliştirilirken her iki yazılımda uygulanan esasların ve yöntemlerin birbiriyle tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu değerler arasındaki küçük farklar, temel olarak her iki yazılımda da yığılı plastik şekil değiştirme yaklaşımının esas alınmasına rağmen, OpenSEES [13] yazılımında kiriş ve kolonların plastik davranışlarının kesit hücresi (lif) modeli ile temsil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, ETABS [10] yazılımında kompozit enkesitli kolonların rijitlikleri, çelik enkesit parçaları ile beton enkesit parçalarının, belirlenen esas malzeme türüne (beton veya çelik) göre birbirlerine dönüştürülmesi sonucunda elde edilmektedir. OpenSEES [13] yazılımında ise, çelik ve beton enkesit parçaları, aralarında tam bir aderans olduğu varsayılarak ayrı ayrı modellenebildiğinden, rijitlikler her bir enkesit parçası için bağımsız olarak hesaba katılmaktadır.



Şekil 8. ETABS ve OpenSEES x-doğrultusu göreli kat öteleme açılarının karşılaştırılması.

Figure 8. Comparison between drift ratios for x-direction of ETABS and OpenSEES.

Bina deprem performans düzeyi, hasar bölgelerine göre eleman performanslarına karar verilmesi ile belirlenebilmektedir. Eleman performanslarını gösteren hasar bölgeleri, sınırlı (SHB), belirgin (BHB), ileri (İHB) hasar bölgeleri ve göçme bölgesi olmak üzere, dört bölge şeklinde tanımlanmaktadır [5]. Bu durumda, elemanların hasar durumu için kirişlerin ve kolonların uçlarında oluşan plastik mafsalların dönme değerlerinin elde edilmesi ve sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Buna göre, Şekil 9'da tipik bir kirişin (A/2 ve A/3 arasındaki kiriş) bir ucunda elde edilen plastik dönme değerlerinin katlar boyunca değişimi gösterilmektedir.



Şekil 9. Tipik bir kirişin (A/2 ve A/3 arasındaki kiriş) katlara göre bir ucuna ait plastik dönmeleri.

Figure 9. Plastic end rotations of a typical beam (beam between A/2 and A/3) versus floor levels.

Şekil 9 incelendiğinde, ETABS [10] ve OpenSEES [13] yazılımları ile elde edilen ortalama dönme değerlerinin birbirleriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Her bir deprem analizine göre elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde hiçbir kiriş ileri hasar bölgesi içinde yer almamaktadır. Aynı kirişe (A/2 ve A/3 arasındaki kiriş) ait dönme değerleri ve hasar bölgeleri, ivme spektrumu ortalama ivme spektrumuna en yakın olan Düzce-Kütahya deprem kaydı için Tablo 2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

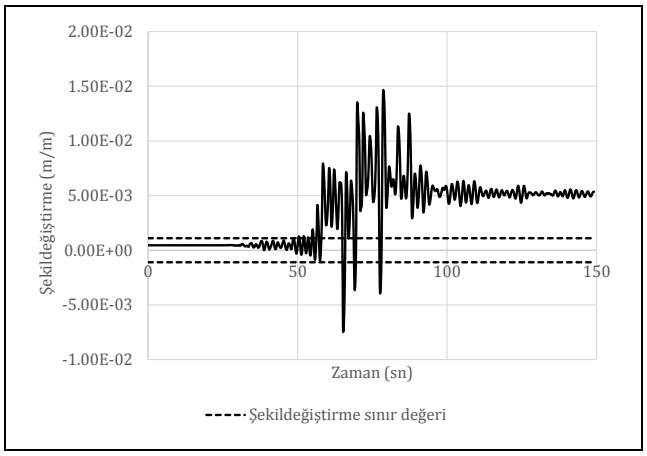
Tablo 2. Tipik bir kirişin dönme değerleri ve hasar bölgeleri.

Table 2. Plastic rotations of a typical beam and damage zones.

Kat	OpenSEES Dönme (rad)	Hasar Bölgesi	ETABS Dönme (rad)	Hasar Bölgesi
1	0.002879	SHB	0.008009	SHB
2	0.012425	BHB	0.013579	BHB
3	0.013549	BHB	0.013118	BHB
4	0.011444	BHB	0.009075	SHB
5	0.007915	SHB	0.004332	SHB
6	0.000000	SHB	0.000091	SHB
7	0.000000	SHB	0.000002	SHB

Şekil 10, Düzce-Kütahya deprem kaydının uygulandığı analiz sonucuna göre, 4. kat B/3 – B/4 aksları arasındaki tipik bir çelik kirişe ait birim şekildeğiştirmelerin zamana bağlı değişimini göstermektedir. Bu eğriden kiriş enkesitinde plastik şekildeğiştirmelerin %1.5 değerine ulaştığı ve kalıcı şekildeğiştirmelerin oluştuğu görülmektedir.

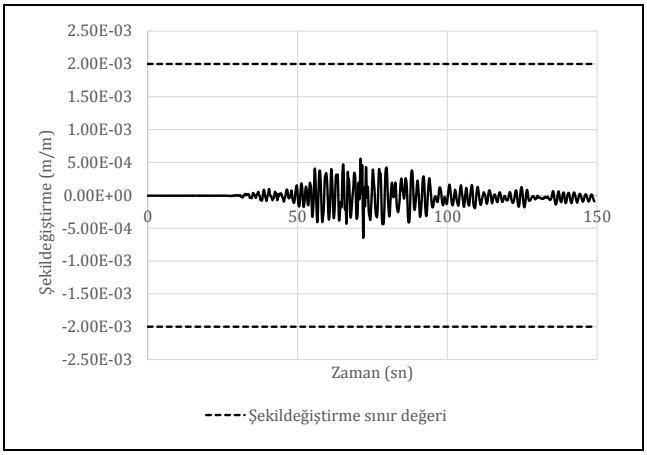
Bina taşıyıcı sisteminin kompozit kolonlarının hasar durumu, her iki yazılım sonuçları da incelenerek değerlendirilmiştir. ETABS [10] yazılımının analiz sonuçlarına göre, kolonların hiç birinde herhangi bir plastik mafsal oluşumu gözlenmemiştir. OpenSEES [13] modelinin analiz sonuçlarına göre hasar durumu, kolonların en çok zorlanan enkesitlerine ait birim şekildeğiştirmeler elde edilerek araştırılmıştır. Kompozit kolonların enkesitlerine ait birim şekildeğiştirmelerin zamana bağlı değişimi, çelik ve beton enkesit parçaları için ayrı ayrı elde edilmiştir.



Şekil 10. Tipik bir çelik kirişin (4. kat B/3-B/4 kirişi) çelik enkesit parçasına ait birim şekildeğiştirme-zaman eğrisi.

Figure 10. Strain versus time curve of the cross-sectional element of a typical steel beam (beam B/3-B/4 at 4. Floor).

Şekil 11, Düzce-Kütahya deprem kaydının uygulandığı analiz sonucuna göre, tipik bir kompozit kolonun (B/3 kolonu) boru enkesitli çelik parçasına ait birim şekildeğiştirmelerin zamana bağlı değişimini göstermektedir.

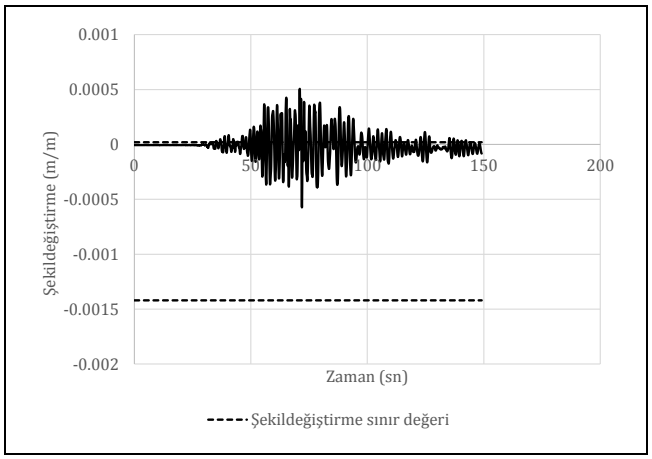


Şekil 11. Tipik bir kompozit kolonun (B/3 kolonu) çelik enkesit parçasına ait birim şekildeğiştirme-zaman eğrisi.

Figure 11. Strain versus time curve of the steel cross-sectional element of a composite column (column B/3).

Şekil 11'e göre, kompozit kolonun boru enkesitli çelik parçasında elastik sınırın aşılmadığı görülmektedir. Aynı deprem kaydı altında kompozit kolonun beton parçası için elde edilen sonuçlar ise, Şekil 12'de gösterilmektedir. Eğri incelendiğinde beton enkesit parçasındaki şekildeğiştirmelerin çekme etkisinde elastik sınırı aştığı, ancak basınç bölgesinde birim şekildeğiştirmelerin elastik bölgede kaldığı gözlenmektedir. Betonun çekme dayanımının ihmal edilebileceği göz önünde tutulduğunda, kompozit kolonlarda herhangi bir plastik şekildeğiştirme oluşmadığı belirtilebilir.

Eğriler incelendiğinde, kolonlarda herhangi bir plastik şekildeğiştirme oluşmadığı, her iki yazılımın da birbirleriyle tutarlı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

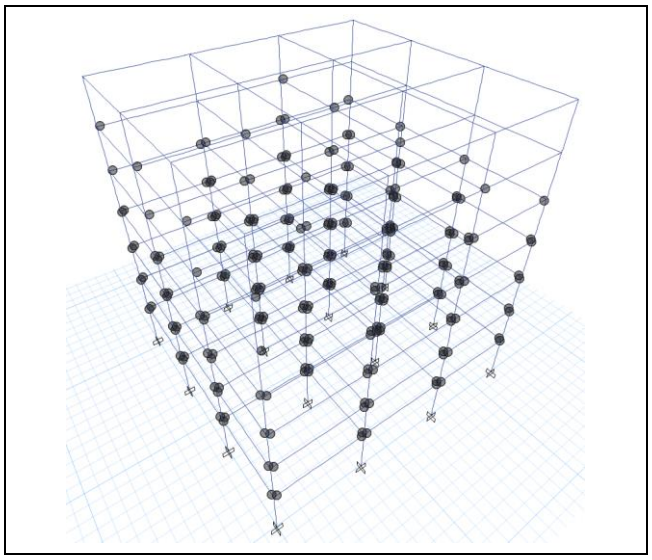


Şekil 12. Tipik bir kompozit kolonun (B/3 kolonu) beton enkesit parçasına ait birim şekildeğiştirme-zaman eğrisi.

Figure 12. Strain versus time curve of the concrete cross-sectional element of a composite column (column B/3).

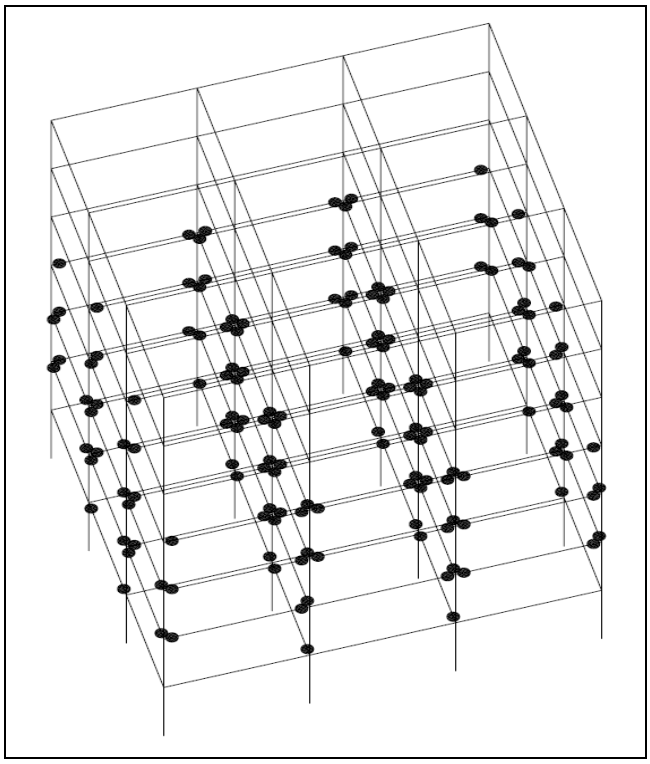
Tüm kiriş-kolon düğüm noktalarında kuvvetli kolon-zayıf kiriş koşulu sağlandığından ve çelik boru enkesitin sargı özelliğinin betona sağladığı süneklik [16] nedeniyle, kolon panel bölgesinin, bina hasar durumunun belirlenmesine etkisi göz önüne alınmamıştır. Böylece, ileri hasar bölgesinde hiç bir kirişin bulunmadığı ve kolonların beklendiği gibi elastik bölge içinde kaldığı göz önüne alındığında, binanın başlangıçta öngörüldüğü gibi, kontrollü hasar performans seviyesini sağladığı anlaşılmaktadır.

Düzce-Kütahya deprem kaydı etkisinde ETABS [10] yazılımı ile elde edilen plastik mafsal dağılımı, bina taşıyıcı sistemi üzerinde olmak üzere, Şekil 13'te gösterilmiştir. Şekil 14'te ise, aynı deprem kaydı altında OpenSEES [13] yazılımı ile elde edilen plastik mafsal dağılımı görülmektedir. Bu dağılımlara göre, plastik şekildeğiştirmelerin kiriş uçlarında yığıldığı ve kolonların elastik kaldığı gözlenmektedir. Bu durum, süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveler için TBDY 2018'de öngörülen doğrusal olmayan davranışın sağlandığını göstermektedir.



Şekil 13. ETABS ile elde edilen plastik mafsal dağılımı.

Figure 13. Distribution of plastic hinges obtained by ETABS.



Şekil 14. OpenSEES ile elde edilen plastik mafsal dağılımı.

Figure 14. Distribution of plastic hinges obtained by OpenSEES.

Her bir kat seviyesinde etkiyen kesme kuvvetlerinin (diyafram kuvvetlerinin) kat hizalarındaki diyaframları oluşturan elemanlar tarafından güvenli bir şekilde taşınması ve aktarılması gerekmektedir [8]. TBDY 2018 kapsamında diyafram başlıkları ve diyafram dikmeleri (aktarma elemanları) olarak tanımlanan bu elemanların boyutlandırılmasında kullanılacak iç kuvvetler için diyafram kuvvetleri, taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki analizlerinde kullanılan ve bina yüksekliği boyunca üçgen formda dağılan kat kesme kuvvetleri olarak esas alınmaktadır.

Ancak çok katlı binalarda yüksek modların etkisi nedeniyle her bir kat diyaframı farklı davranış gösterdiğinden, her bir diyafram için, o kata ait en büyük ivme değerinde oluşan diyafram kuvvetinin dikkate alınması gerekmektedir [17]. Bu durumda diyafram kuvvetlerinin dağılımı, deprem sırasında plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği bir taşıyıcı sistemde, üniforma yakın bir dağılım şeklinde ve daha büyük değerler alarak oluşmaktadır. Ancak, her bir kattaki en büyük ivme değeri, farklı zamanlarda meydana geleceği için bu kuvvetlerin düşey elemanların tasarımında kullanılmasının, aşırı oranda güvenli tarafta kalacağı da gözden kaçmamalıdır. Bu nedenle, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının boyutlandırılmasında; TBDY 2018'de öngörülen, bina yüksekliği boyunca üçgen formdaki yük dağılımnın kullanılması uygun olmakla birlikte, aynı yüklerin ve dağılımın diyafram elemanlarının tasarımında da kullanılması uygun olmayacaktır. Bu durumda, Denk.1'den yararlanılabilir [18].

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} w_i} w_{px} \quad (1)$$

Buradaki F_{px}, F_i, w_{px} ve w_i sırasıyla, diyafram tasarım kuvvetini, i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem kuvvetini, kat diyafram

ağırlığını ($w_{px} = w_i$) ve i'inci kat ağırlığını göstermektedir. Ayrıca, $0.2S_{DS}Iw_{px} \leq F_{px} \leq 0.4S_{DS}Iw_{px}$ koşulunun da sağlanması gerekmektedir [18]. Buna göre, model binanın katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri ile diyafram tasarım yükleri Tablo 3'te verildiği gibi elde edilmektedir.

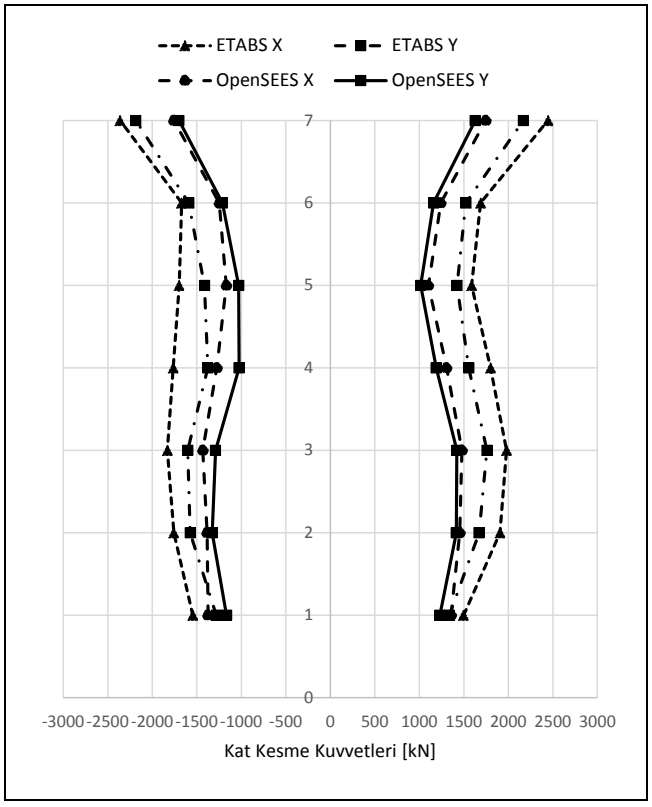
Tablo 3 incelendiğinde; diyafram elemanlarının tasarımında esas alınacak diyafram tasarım kuvvetlerinin $0.2S_{DS}Iw_{px}$ ile hesaplanan minimum değerler olduğu görülmektedir. Ayrıca diyafram dikmelerinin (aktarma elemanlarının) boyutlandırılmasında bu kuvvetlerin dayanım fazlalığı katsayısı, D ile arttırılması gerektiği de unutulmamalıdır [8].

Tablo 3. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri ve diyafram tasarım kuvvetleri.

Table 3. Equivalent lateral loads at floor levels and diaphragm design forces.

Kat	Eşdeğer Deprem Yükleri F_i(kN)	Diyafram Tasarım Kuvvetleri F_{px}(kN)	$0.2S_{DS}Iw_{px}$ (kN)	$0.4S_{DS}Iw_{px}$ (kN)
7	363	363	927	1854
6	254	308	927	1854
5	213	277	927	1854
4	171	250	927	1854
3	130	226	927	1854
2	89	203	927	1854
1	48	183	939	1854

Deprem yer hareketi kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonunda elde edilen kat kesme kuvvetleri Şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. Analiz sonuçlarına göre kat kesme kuvvetleri.

Figure 15. Story shear forces from analyses.

Şekil 15 incelendiğinde, diyafram kuvvetlerinin bina yüksekliği boyunca dağılımının üniform bir dağılıma yaklaştığı ve diyafram dikmelerinin tasarımında esas alınacak eksenel kuvvet (3.0×927=2781kN) ile tutarlı olduğu görülmektedir. Ancak TBDY 2018 uyarınca, bu elemanlar için eksenel kuvvet, $D \times F_i$ şeklinde elde edilen diyafram kuvveti etkisi altında hesaplanmaktadır.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada, birbirine dik her iki doğrultuda taşıyıcı sistemi beton dolgulu kompozit kolonlar ile çelik kirişlerden oluşan, süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveli bir binanın tasarımı ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ETABS [10] ve OpenSEES [13] bilgisayar yazılımlarından yararlanılmıştır. Binanın deprem performansı, analizler sonunda elde edilen plastik dönmelerin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

Göreli kat ötelemeleri incelendiğinde, en büyük değerlerin orta katlarda yığıldığı gözlenmektedir. Bu durumun kirişlerde oluşan plastik mafsalların dönme miktarları ile uyumlu olduğu, başka bir deyişle, plastik mafsal dönmelerinin orta katlarda daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Kirişlerin hasar düzeylerinin sınırlı ve belirgin hasar bölgelerinde kaldığı gözlemlenmektedir.

Kolonlarda herhangi bir düzeyde bir hasar oluşmamaktadır. Böylece, kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun sağlanması ile birlikte kolonların elastik kalmasının da sağlandığı görülmektedir.

Kirişlerin hasar durumlarına göre binanın, TBDY 2018 Bölüm 15.8'de belirtilen performans düzeylerinden, başlangıçta öngörülen kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı anlaşılmaktadır.

ETABS [10] ve OpenSEES [13] modellerinin analiz sonuçları karşılaştırıldığında, kirişlere ait plastik mafsalların dönme miktarlarının birbirleriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Ancak, ETABS [10] yazılımı ile elde edilen plastik mafsal dönmelerinin OpenSEES [13] yazılımı ile elde edilen plastik mafsal dönmelerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum, yazılımlarda farklı modelleme yöntemlerinin uygulanmasından kaynaklanmaktadır.

Diyafram elemanlarının boyutlandırılmasında esas alınacak diyafram tasarım kuvvetlerinin, katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri olarak dikkate alınması uygun bir yaklaşım olarak görünmemektedir. Bu kuvvetlerin, katlara ait en büyük ivme değerlerinde oluşan diyafram kuvvetleri olarak hesaplanması gerekmektedir. Bu durumda, TBDY 2018'de diyafram kuvvetlerinin hesabı için bir düzenleme yapılması önerilmektedir.

6 Conclusions

In this study, the building whose structural system is composed of special moment frame with steel beams and composite columns in both orthogonal directions was designed and nonlinear time history analyses of the building were carried out using ETABS [10] and Open SEES [13]. Seismic performance of the building was assessed considering the average of plastic rotations.

When the story drifts are examined, the maximum drifts are accumulated in the middle stories. It is seen that this situation is compatible with the rotational amounts of the plastic hinges formed in the beams, in other words, the plastic hinge rotations

take larger values in the middle floors. It is observed that the damage levels of the beams remain in limited and significant damage regions.

There is no damage to the columns at any level. Thus, it is seen that the columns remain elastic as well as the condition that the columns are stronger than the beams.

It is understood that the building satisfies the damage control performance level, as specified in the TSCB (Turkish Seismic Code for Buildings) Section 15.8, according to the damage levels of the beams.

When the analysis results of ETABS [10] and OpenSEES [13] models are compared, it is seen that the rotational amounts of the plastic hinges of the beams are consistent with each other. However, it has been observed that the plastic hinge rotations obtained by the ETABS [10] are larger than the plastic hinge rotations obtained by the OpenSEES [13]. This is attributed to the application of different modeling methods in softwares.

It does not seem to be an appropriate approach to consider the diaphragm design forces as equivalent seismic loads acting on each floor to design the diaphragm elements. These forces must be calculated as the forces corresponding to the peak response accelerations of the floors. Therefore, it is recommended that TBDY 2018 be revised to appropriately calculate the diaphragm forces and to design the diaphragm elements for acceptable internal forces.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Cüneyt VATANSEVER fikrin oluşması, tasarımın yapılması, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında; Yunus Emre ŞİMŞEK literatür taraması, analizlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 References

[1] Schneider SP, Kramer DR, Sarkkinen DL. “The design and construction of concrete-filled steel tube column frames”. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, BC, Canada, 1-6 August 2004.

[2] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik”. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2016.

[3] Shanmugam NE, Lakshmi B. “State of the art report on steel-concrete composite columns”. *Journal of Constructional Steel Research*, 57, 1041-1080, 2001.

[4] Uy B. “Ductility, strength and stability of concrete-filled fabricated steel box columns for tall buildings”. *The Structural Design of Tall Buildings*, 7, 113-133, 1998.

[5] Pecce M, Amadio C, Rossi F, Rinaldin G. “Non-Linear behaviour of steel-concrete composite moment resisting frames”. *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24-28 September 2012.

[6] Zona A, Barbato M, Conte JP. “Nonlinear seismic response analysis of steel-concrete composite frames”. *Journal of Structural Engineering*, 134(6), 986-997, 2008.

[7] Spacone E, El-Tawil S. “Nonlinear analysis of steel-concrete composite structures: state of the art”. *Journal of Structural Engineering*, 130(2), 159-168, 2004.

[8] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.

[9] Türk Standartları Enstitüsü. “TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.

[10] Extended Three-Dimensional Analysis of Building. Systems. “Computers and Structures, Inc. ”https://www.csiamerica.com/products/etabs (02.07.2018).

[11] American Institute of Steel Construction. “Specification for Structural Steel Buildings”. Illinois, USA, 360, 2010.

[12] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları”. https://tdth.afad.gov.tr/ (05.03.2018).

[13] Open System for Earthquake Engineering Simulation. “Pacific Earthquake Engineering Center (PEER)”. https://opensees.berkeley.edu/ (02.07.2018).

[14] Chopra KA. Dynamics of Structure: Theory and Aplications to Earthquake Engineering. 2nd ed. New Jersey, USA, Prentice Hall, 2001.

[15] Pasific Earthquake Engineering Research Center (PEER). “Gorund Motion Database”. https://ngawest2.berkeley.edu/ (01/04/2018).

[16] Zhang D, Gao S, Gong J. “Seismic behavior of steel beam to circular CFST column assemblies with external diaphragms”. *Journal of Constructional Steel Research*, 76, 155-166, 2012.

[17] Sabelli R, Sabol TA, Easterling WS. “Seismic Design of Composite Steel Deck and Concrete-Filled Diaphragms”. National Institute of Standards and Technology, Maryland, USA, Technical Brief, 5, 2011.

[18] American Society of Civil Engineers, Structural Engineering Institute. “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”. Virginia, USA, 7, 2016.