

Moment Aktaran ve Merkezi Çaprazlı Çok Katlı Çelik Yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Tasarımı (TBDY-2018)

Burcu YILDIZHAN SAĞER*¹ ORCID 0000-0001-6632-1550
Beytullah TEMEL¹ ORCID 0000-0002-1673-280X

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 25.01.2022

Kabul tarihi: 30.11.2022

Atıf şekli/ How to cite: YILDIZHAN SAĞER, B., TEMEL, B., (2022). Moment Aktaran ve Merkezi Çaprazlı Çok Katlı Çelik Yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Tasarımı (TBDY-2018). Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1017-1029.

Öz

Bu çalışmada, moment aktaran ve merkezi çaprazlı çok katlı çelik yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre tasarımı yapılmıştır. 5 ve 10 katlı konut tipi binaların boyutlandırılmasında Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği 2016 (ÇYTHYE-2016) ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kullanılmıştır. 5 katlı yapıların doğrusal deprem yükü hesaplarında Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, 10 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Yapılarda Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemine göre yük birleşimleri oluşturularak tasarım yapılmıştır. Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran ve merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 ve 10 katlı binaların modellemesi ve yapısal analizlerinde SAP2000 v.20.0 paket programından faydalanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok katlı çelik yapılar, Moment aktaran sistem, Merkezi Çaprazlı Sistem, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Yük ve dayanım katsayıları yöntemi

Design of Moment Resisting and Centrally Braced Steel Structures According to Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018)

Abstract

In this study, the design of moment resisting and concentrically braced multi-storey steel structures is made based on the Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018). Design Rules of Calculation and Construction Requirements of Steel Structures Codes-2016 and Turkish Building Earthquake Code-2018 are used for the designing of 5 and 10-story type of residential buildings. The Equivalent Seismic Load Method has been used for linear earthquake load calculations of 5-story building and also Mode Combination Method has been used for 10-story building. These structures have been designed by generating load combinations according to the Load and Resistance Factor Design Method. SAP2000 v.20.0 program has been used for design and structural analysis of moment-resisting and concentrically braced steel frame systems with high ductility levels.

Keywords: Multi-story steel structures, Moment resisting system, Concentrically braced system, Turkish Building Earthquake Code-2018, Load and resistance factor design method

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Burcu YILDIZHAN SAĞER, burcuyildizhansager@gmail.com

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve 2016 Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği esaslarına göre tasarımı yapılan süneklik düzeyi yüksek 5 ve 10 katlı moment aktaran ve merkezi çaprazlı yapı sistemlerinin analiz sonuçlarının kendi aralarında karşılaştırılarak, moment aktaran sistem ile merkezi çaprazlı sistemin avantaj ve dezavantajlarının incelenmesidir.

Süneklik düzeyi yüksek beş katlı çelik yapılar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre on katlı çelik yapılar Mod Birleştirme Yöntemine göre analiz edilmiş olup dört farklı yapı örneğinin güncel yönetmelikler çerçevesinde irdelenmiş olması bu çalışmanın önemini göstermektedir.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı ve moment aktaran çelik yapıların Elazığ ilinde 38.604675° enleminde ve 39.28091° boylamında inşa edileceği varsayılmış olup, binalar “çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar” olan ZC yerel zemin sınıfındadır.

5 ve 10 katlı tasarlanan binaların birbirine dik her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden teşkil edilmiştir. Aydınoglu ve arkadaşları [1], süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulması halinde dahi sistemde önemli seviyede dayanım kaybı olmayacak şekilde boyutlandırılmasının yapılmasının gerekliliğinden bahsetmiştir.

T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü ile İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi arasındaki protokolle hazırlanan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Uygulama Kılavuzu”nda [2], ÇYTHYE-2016 Yönetmeliği esaslarına yönelik yapı elemanları ve birleşimlerine ait örnekler Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik

Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımları ile ele alınarak çözümlenmiştir.

Yorgun ve arkadaşları [3] tarafından hazırlanan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Ders Notları”nda ÇYTHYE-2016 yönetmeliği maddeleri açıklanmış, maddeler ile ilgili örneklere yer verilmiştir.

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası tarafından 2018 tarihinde yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim El Kitabında [4], Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine ait bölümler ele alınmış ve örnekler çözülmüştür. TBDY-2018 Bölüm 9 “Deprem Etkisi Altında Çelik Binaların Tasarımı için Özel Kurallar” başlığı altında süneklik düzeyi yüksek moment aktaran, merkezi çaprazlı ve dışmerkez çaprazlı üç farklı çelik çerçeveli bina sistemi ele alınmış; bu binalara ait taşıyıcı sistem hesabı ve tasarımı Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılmıştır.

Tütüncü [5], yüksek lisans tez çalışmasında çok katlı çelik bir yapının TBDY-2018’e göre tasarımı ele almıştır. Tasarımı yapılan çelik yapı 10 katlı olup; boyuna yönde süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı çerçevelerden, enine yönde süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerden oluşturulmuştur. Yapı, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre tasarlanmış, Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemine göre hesapları yapılmıştır. Yapı analizlerinde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Öz [6] tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerden oluşan 5 katlı bir yapı ele alınmış; bu yapıların Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemine (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) Yöntemine göre tasarımı yapılmıştır. Yapı analizlerinde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Uz [7] tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde çok katlı bir çelik yapının TBDY-2018 ve

ÇYTHYE-2016 yönetmelikleri kullanılarak modellenmesi ele alınmıştır. Çalışmada, 5 katlı ve 13 katlı moment aktaran, X çapraz sistemli ve V çapraz sistemli yapılar tasarlanmıştır; yapıların performansları incelenmiştir. Bu yapıların analizleri ETABS programında yapılmıştır.

Noori ve Doori [8] tarafından yayımlanan makalede, farklı gözenekli çelik petek kirişlerin statik davranışları incelenerek benzer üniform yayılı yükler ve sınır şartları içinde en iyi performansı gösteren kiriş tipinin hangisi olduğu araştırılmıştır.

Lemonis, Hatzigeorgiou ve Asteris [9] tarafından yayımlanan makalede moment aktaran çerçevelerin kiriş kolon bağlantı noktalarındaki enerji dağılımları incelenmiştir.

Sadeghinezhad, Kheyroddin ve Mortezaei [10] tarafından yayımlanan makalede ise sünek olmayan mevcut betonarme çerçevenin doğrudan bağlantı ile çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilmesi ele alınmıştır. Çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilen betonarme çerçevelerin rijitlik, taşıma kapasitesi ve enerji sönümlemesinin artışları incelenmiştir.

5 ve 10 katlı tasarlanan bina örneklerinde genel analiz yöntemi kullanılarak, sonlu elemanlar paket programı SAP2000 [11] yardımı ile tasarımlar yapılmıştır. Genel analiz yöntemi tüm çelik yapı sistemlerinin stabilite tasarımına uygulanabilmekte olup, bu yöntem ile gerekli dayanımın hesabı ikinci mertebeye hesap uygulanarak elde edilmektedir. Sistem hesabında, geometrik ön kusurlar için kullanılan fiktif yükler ÇYTHYE-2016 6.2.2.2'de açıklandığı gibi şekil değiştirmemiş orjinal sistem üzerine etkitilecektir. Fiktif yükler, her kat düzeyinde sisteme etkitilecek olup bu yükler yapı sistemine etkiyen tüm düşey ve yatay yük birleşimlerine eklenecektir.

Binalar her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmakta olup basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulmasında dahi sistemde önemli

derecede dayanım kaybı oluşturmayacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Kullanım amacı konut olarak tasarlanan binalara ait gerekli dayanımı belirlemek amacıyla karakteristik yüklere uygulanacak yük birleşimlerinde Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemi (YDKT) kullanılmıştır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine [12] göre tasarlanan 5 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, 10 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında ise Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.

Celep ve Kumbasar [13], eşdeğer deprem yükü yönteminin taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği sınırlı olan binalar için üç yöntemin (mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında çözümlene yöntemine göre) en kullanışlı ve faydalısı olarak belirtmişlerdir. Boyutlamada kapasite kavramının kullanılması, sünekliğin kontrollü şekilde istenilen yerlerde oluşmasının sağlanması ve istenmeyen güç tükenmesi şekillerinin önlenmesi koşulu ile bu yöntem daha karmaşık çözümlere ihtiyaç duyulmaksızın uygulanabilmektedir. Özellikle taşıyıcı sistemi düzenli olan yapılarda yapı davranışını iyi temsil eder.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, binaların kolon ve kirişleri I kesitli profillerden, çaprazlar ise kutu profillerden oluşturulmuştur. Kolonlar S355 yapısal çelik sınıfında olup, Çelik Yapılar Yönetmeliği Tablo 2.1A'ya göre karakteristik akma gerilmesi (F_y) 355 N/mm² ve çekme dayanımı (F_u) 510 N/mm² değerindedir. Kirişler ve çaprazlar ise S275 yapısal çelik sınıfında olup karakteristik akma gerilmesi (F_y) 275 N/mm² ve çekme dayanımı 430 N/mm²'dir. Çapraz kiriş kolon birleşimlerinde ve çapraz uç birleşimlerinde bulon sınıfı 10.9 olup yüksek dayanımlıdır. E550 kaynak metal sınıfı seçilmiştir.

Kiriş, kolon ve döşeme elemanlarından oluşan bina örneklerinde kiriş ve kolon kesit boyutları kendi

uzunluklarından göreceli olarak daha küçük olup kirişler kolonlara bulonlarla bağlanmış ve düzlem çerçeve sistemler oluşturulmuştur. Modelleme aşamasında kirişler çubuk eleman, döşemeler ise plak eleman olarak eşit karesel parçalara ayrılmış ve sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Kolonlar zemine ankastre mesnetlenmiş ve döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmiştir.

Yükler ve Kullanılan Standartlar: Yapıların tasarımı ve yapı elemanlarının boyutlandırılmasında karakteristik yük değerleri olarak “TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” standardından [12] faydalanılmıştır. Kar yükü hesabında “TS EN 1991-1-3”[14], rüzgar yükü hesabında “TS EN 1991-1-4” [15] standartları kullanılmıştır. Deprem yüklerinin hesabında ve karakteristik değerlerin belirlenmesinde “2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ilgili maddeleri kullanılmıştır.

Yük Birleşimleri: Sabit ve hareketli yükler ile deprem ve rüzgar yüklerinin belirlenmesi ve bu yüklerin birleştirilerek bina taşıyıcı sistemine etkilmesi ÇYTHYE-2016 5.3.1, TBDY-2018 4.4 ve 9.2.5 maddelerine uygun olarak gerçekleştirilecektir. Binalara ait çelik yapı elemanlarının tasarımı *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemine (YDKT)* göre yapılacak olup, bu tasarım yönteminde gerekli dayanım ÇYTHYE-2016 5.3.1’de ve TBDY-2018 4.4’te belirtilen yük birleşimleri kullanılacaktır.

Yapısal Analizler: Yapıların analizi ve tasarımında 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, boyutlandırılmasında 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik esas alınmıştır. Yapının tasarımında her iki yönetmelikte de belirtilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi kullanılmıştır. Modelleme ve yapısal analizler SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

Yapısal analizler sonrasında görelî kat ötelemelerinin kontrolü ve ikinci mertebeye etkilerinin kontrolleri yapılmıştır.

Celep ve Kumbasar [16], deprem yükleri altındaki katlar arası yer değiştirmelerin ve bunlardan oluşan kat toplam yatay yer değiştirmelerinin özellikle narin yapılarda hesap edilmesinin taşıyıcı olmayan elemanda hasarın sınırlandırılması ve ikinci mertebeye etkilerinin gözönüne alınması açısından gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Yatay yer değiştirmeler sonucu ortaya çıkan ve düşey yüklerin ek eğilme momenti oluşturmasına sebep olan bu duruma P-Δ etkisi denmektedir.

P-Δ etkileri ikinci mertebeye etkiler olup bazı durumlarda çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Mertol ve Mertol [17], yüksek yapılarda kat yer değiştirmesi büyük olan ve burulma etkisinin önemli olduğu yerlerde, kat yer değiştirmeleri daha fazla büyüyeceğinden ikinci mertebeye etkilerinin dikkate alınmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Çelik yapılar, betonarme yapılara kıyasla daha narin yapıda ve genellikle daha fazla yükseklikte tasarlandığından, P-Δ etkileri yani ikinci mertebeye etkileri daha ön plandadır.

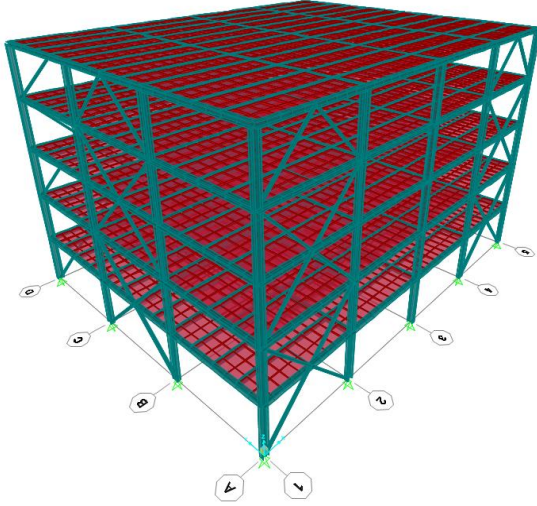
3. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, dört farklı örnek problem çözülmüştür.

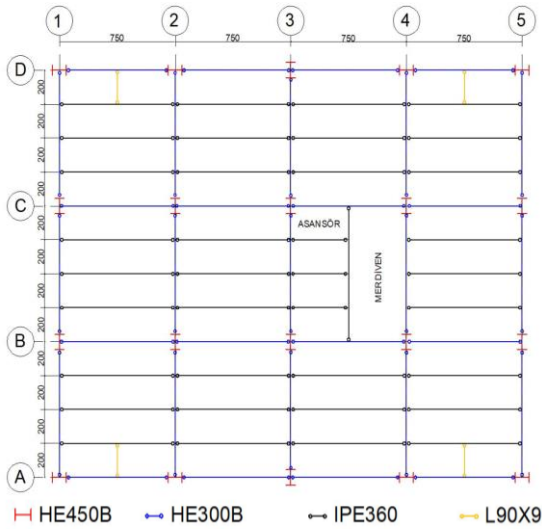
Örnek 1: Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı 30 metre boyunda 24 metre eninde olup, x yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. 2 metre aralıklarla ikincil kirişler oluşturulmuş olup, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Kirişlerin kolonlara ve çaprazların düğüm noktalarına bağlantısı mafsallıdır. Kolonlar +0.00 kotunda temele her iki eksen yönünde mafsallı mesnetlenmiştir. Binanın tipik kat yüksekliği 4 metredir.

Konut olarak tasarlanan 5 katlı yapıda kolonlar HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir.



Şekil 1. 5 katlı yapının 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli



Şekil 2. 5 Katlı Yapıya ait Normal Kat Planı

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler değişken kesitli kutu profiller olup, A ve D akslarında 140x140x14,2 mm, 140x140x12,5 mm, 140x140x10 mm, 125x125x8 mm ve 125x125x6,3 mm; 1 ve 5 akslarında 160x160x16 mm, 160x160x14,2 mm, 140x140x12,5 mm, 125x125x8 mm'dir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yan destek elemanları ve çapraz kutu profiller S275 çelik sınıfındadır.

Sabit ve Hareketli Yükler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 5 katlı yapıya ait toplam sabit yük normal katlarda 4,90 kN/m² çatı katında ise 4,0 kN/m²'dir. Hareketli yük hesap değeri oda, koridor ve çatıda 2 kN/m² olarak alınmış ve alansal üniform yayılı yük olarak modele tanımlanmıştır. Normal katlarda dış duvar yükü 3 kN/m, Çatı katında parapet yükü 2 kN/m hesaplanmış ve çizgisel üniform yayılı yük olarak sisteme modeline aktarılmıştır. Maksimum kar yüksekliği 0,80 m olarak alındığından karakteristik zemin kar yükü (S_k) değeri 2 kN/m³ * 0,80 m * 0,80 = 1,30 kN/m² olarak hesaplanmıştır.

Elazığ ilinde bulunan 5 katlı yapının tasarımı için rüzgar yüklerinin belirlenmesinde TS EN 1991-1-4 Standardı kullanılmıştır. TS EN 1991-1-4 Standardına göre konut olarak kullanılan yapıya ait katlara etkiyen toplam rüzgar kuvveti değerleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. b=24m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (x doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	50,27
4. kat	4,00	100,55
3. kat	4,00	100,55
2. kat	4,00	100,55
1. kat	4,00	100,55
Toplam		452,47

Çizelge 2. b=30m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (y doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	62,84
4. kat	4,00	125,69
3. kat	4,00	125,69
2. kat	4,00	125,69
1. kat	4,00	125,69
Toplam		565,59

Deprem Yükleri

5 katlı binanın kullanım amacı konut olduğundan bina kullanım sınıfı BKS=3 ve bina önem katsayısı ise I=1'dir.

Çizelge 3. 38.604675° enlemi ve 39.280981° boylamında bulunan 5 katlı merkezi çaprazlı çelik yapıya ait AFAD deprem haritasından elde edilen bilgiler

Deprem yer hareketi düzeyi	DD2
Yerel zemin sınıfı	ZC
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1,114
1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,307
Kısa per. böl. için yerel zemin etki katsayısı (F_s) değeri	1,20
1 sn periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1) değeri	1,50
$S_{DS}=S_s * F_s$ kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	1,34
$S_{D1}=S_1 * F_1$ 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	0,46

Çizelge 3'te bilgileri verilen binanın, bina kullanım sınıfı BKS=3 ve kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_{DS}=1,34$ olduğundan deprem tasarım sınıfı DTS=1 olmaktadır.

Deprem tasarım sınıfı DTS=1 olan binanın toplam yükseklği $17,5 < H_N=20 \leq 28$ olduğundan bina yükseklik sınıfı BYS=5 olmaktadır.

DTS=1 ve deprem yer hareket düzeyi DD2 için normal performans hedefi kontrollü hasar (KH), değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarımdır (DGT).

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde i'inci kata etkileyen fiktif yükü gösteren F_{fi} değerini bulmak için, F_0 yerine herhangi bir değer verilebileceği belirtilmiş olup 5 katlı çelik bina için F_0 değeri 500 kN alınarak, katlara etkileyen F_{fi} fiktif kuvveti değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Merkezi çaprazlı 5 katlı çelik yapıda katlara ait fiktif kuvvet F_{fi} değerleri

Kat no	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i H_i$ (kNm)	F_{fi} (kN)
Çati	3808,8	20	76176,00	153,87
4	4284	16	68544,00	138,45
3	4284	12	51408,00	103,84
2	4284	8	34272,00	69,23
1	4284	4	17136,00	34,61
Toplam	20945		247536,00	500,00

Çizelge 5. X Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(x)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(x)$

Kat no	$F_{fi}^{(x)}$	$d_{fi}^{(x)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(x)2}$	$F_{fi}^{(x)} d_{fi}^{(x)}$
Çati	153,87	0,0038	388,26	0,00559	0,58362
4	138,45	0,0031	436,70	0,00410	0,42408
3	103,84	0,0022	436,70	0,00205	0,22502
2	69,23	0,0013	436,70	0,00077	0,09166
1	34,61	0,0005	436,70	0,00012	0,01800
Toplam	500,00			0,01262	1,34238

Çizelge 6. Y Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(y)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(y)$

Kat no	$F_{fi}^{(y)}$	$d_{fi}^{(y)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(y)2}$	$F_{fi}^{(y)} d_{fi}^{(y)}$
Çati	153,87	0,0054	388,26	0,01149	0,83720
4	138,45	0,0043	436,70	0,00823	0,60116
3	103,84	0,0031	436,70	0,00426	0,32429
2	69,23	0,002	436,70	0,00170	0,13665
1	34,61	0,0008	436,70	0,00027	0,02710
Toplam	500,00			0,02596	1,92641

Çizelge 5'e göre x doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p = 2\pi \left[\frac{\sum m_i x d_{fi}^2}{\sum F_{fi} x d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (2)$$

$$T_p(x) = 2\pi \left[\frac{0,01262}{1,34238} \right]^{1/2} = 0,6091 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(x)} = 1,4x0,08x(20)^{3/4} = 1,0592 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4x T_{pA}^{(x)} \text{ olduğundan } T_p^{(x)} = 0,6091 \text{ sn'dir.}$$

Çizelge 6'ya göre Y doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(y) = 2\pi \left[\frac{0,02596}{1,92641} \right]^{1/2} = 0,7293 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(y)} = 1,4x0,08x(20)^{3/4} = 1,0592 \text{ sn}$$

$T_p^{(y)} < 1,4x T_{pA}^{(y)}$ olduğundan $T_p^{(y)} = 0,7293$ sn'dir.

Düzensizlik Kontrolleri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı dikdörtgen plana sahip olup A3 planda çıkıntılarının bulunması düzensizlik durumu bulunmamaktadır. Yapıda döşemede boşluk alanları toplamı brüt kat alanının üçte birinden daha az olduğundan A2 döşeme süreksizliği de yoktur.

Düşeyde düzensizlik durumlarından B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) betonarme binalarda geçerli olduğundan söz konusu çelik yapı için bu düzensizlik türü irdelenmeyecektir. Yapıda çelik kolonların bazı katlarda kaldırılması veya çelik kirişlere oturtulması gibi düşeyde süreksizlik yaratacak B3 türü düzensizlik bulunmamaktadır. A1 türü burulma düzensizliği ve B2 türü rijitlik düzensizliğine ait sonuçlar Çizelge 7 ve Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. X ve Y doğrultuları için A1 türü burulma düzensizliği

Kat	$\Delta_i^{(x)}$ maks	$\Delta_i^{(x)}$ ort	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta_i^{(y)}$ maks	$\Delta_i^{(y)}$ ort	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,000730	0,00069	1,0526	≤ 2	0,00111	0,00105	1,0572	≤ 2
4	0,000916	0,00087	1,0505	≤ 2	0,00128	0,0012	1,0612	≤ 2
3	0,000875	0,00083	1,0517	≤ 2	0,00129	0,00122	1,0607	≤ 2
2	0,000838	0,00080	1,0521	≤ 2	0,00127	0,00119	1,0611	≤ 2
1	0,000545	0,00052	1,0501	≤ 2	0,00083	0,00079	1,0591	≤ 2

Çizelge 8. X ve Y doğrultuları için B2 türü rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)

Kat	$(\Delta_i(x)/h_i)$ ort	$(\Delta_{i-1}(x)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta_i(y)/h_i)$ ort	$(\Delta_{i-1}(y)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-4	0,000173	-	-	≤ 2	0,00026	-	-	≤ 2
4-3	0,000218	0,00022	0,7953	≤ 2	0,0003	0,0003	0,8731	≤ 2
3-2	0,000208	0,00021	1,0481	≤ 2	0,00031	0,00031	0,9848	≤ 2
2-1	0,000199	0,00020	1,0446	≤ 2	0,0003	0,0003	1,0218	≤ 2
1-Zemin	0,000130	0,00013	1,5347	≤ 2	0,0002	0,0002	1,5181	≤ 2

Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı

Merkezi çaprazlı çelik çerçevesi 5 katlı yapıda eşdeğer deprem yükü hesabı için ilk olarak toplam yatay eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

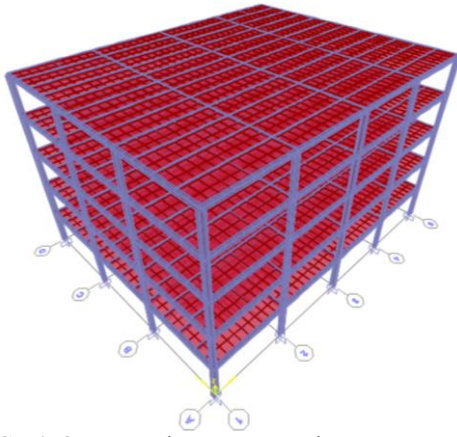
V_{IE} hesaplanmış, daha sonra bu kuvvet katlara dağıtılarak katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yükleri F_{IE} bulunmuştur. (x) ve (y) yönlerine ait katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü değerleri Çizelge 9'da yer almaktadır.

Çizelge 9. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü değerleri

KAT	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i H_i$ (kNm)	$w_i H_i / \sum w_j H_j$	$F_{IE}(x)$	$F_{IE}(y)$
Çatı	3808,8	20	76176	0,3077	1056,73	882,60
4	4284	16	68544	0,2769	844,00	704,93
3	4284	12	51408	0,2077	633,00	528,70
2	4284	8	34272	0,1385	422,00	352,46
1	4284	4	17136	0,0692	211,00	176,23
Σ	20944,8		247536	1	3166,7417	2644,9230

Örnek 2: Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Bu örnekteki yapı ilk örnekteki yapı ile benzer özelliklerde olup, merkezi çaprazlar iptal edilmiş; moment aktaran çerçeve sisteme dönüştürülmüştür.



Şekil 3. 5 Katlı moment aktaran yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli

5 katlı moment aktaran çerçeve yapıda ana çerçeve kirişlerin kolonlara bağlantısı, kolon zayıf eksen doğrultusunda mafsallı, kuvvetli eksen doğrultusunda ankastre olarak bağlanmıştır. Kolonlar $\pm 0,00$ kotunda temele ankastre mesnetlenmiştir.

Yapının (x) ve (y) doğrultularındaki hakim doğal titreşim periyodu Rayleigh teoremi ile 1,9976 sn olarak hesaplanmıştır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$$

$$T_{pA} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$T_p > 1,4xT_{pA}$ olduğundan $T_p^{(x)} = T_p^{(y)} = 1,0592 \text{ sn}$ olarak alınacaktır.

Çizelge 10 ve 11'den yapıda A1 ve B2 türü düzensizliklerin bulunmadığı görülmektedir.

Çizelge 10. X ve Y Doğrultuları için A1 türü burulma düzensizliği

Kat	$\Delta i^{(x)}$ maks	$\Delta i^{(x)}$ ort	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta i^{(y)}$ maks	$\Delta i^{(y)}$ ort	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,005415	0,00507	1,0671	≤ 2	0,00461	0,00406	1,1356	≤ 2
4	0,008311	0,00780	1,0652	≤ 2	0,00706	0,00621	1,1376	≤ 2
3	0,010550	0,00991	1,0647	≤ 2	0,00895	0,00785	1,1399	≤ 2
2	0,010791	0,01014	1,064	≤ 2	0,0091	0,00798	1,1409	≤ 2
1	0,006163	0,00580	1,0625	≤ 2	0,00515	0,00451	1,1406	≤ 2

Çizelge 11. X ve Y doğrultuları için B2 türü rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)

Kat	$(\Delta i(x)/h_i)$ ort	$(\Delta i-1(x)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta i(y)/h_i)$ ort	$(\Delta i-1(y)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-4	0,001278	-	-	≤ 2	0,00102	-	-	≤ 2
4-3	0,001951	0,00195	0,655	≤ 2	0,00155	0,00155	0,6535	≤ 2
3-2	0,002831	0,00283	0,689	≤ 2	0,00196	0,00196	0,7911	≤ 2
2-1	0,002536	0,00254	1,1166	≤ 2	0,002	0,002	0,9838	≤ 2
1-Zemin	0,001450	0,00145	1,7485	≤ 2	0,00113	0,00113	1,7683	≤ 2

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizler ile görelî kat ötelemeleri ve ikincil mertbe etkileri kontrolleri yapılmış, yönetmelik koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Görelî kat ötelemesi değerlerinin yönetmelik koşullarını sağlamaması nedeniyle, sistem rijitliği

arttırılarak analizler tekrarlanmıştır. Etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertbe gösterge değerlerine ait sonuçlar "Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar" bölümünde verilmiştir.

Sistem Rijitliği Arttırılmış Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı Sisteminin Analizi

Sistem rijitliğini arttırmak için, ana kirişlerin hepsi kolonlara rijit bağlanmış, betonarme döşeme kalınlığı artırılmıştır. Kolon, ana giriş, ikincil döşeme kirişleri ve yanal destek elemanlarına ait kullanılan profillerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Bina hakim doğal titreşim periyodu Rayleigh teoremi ile,

$$T_p(x) = 2\pi \left[\frac{0,32254}{6,82695} \right]^{1/2} = 1,366 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} > 1,4x T_{pA}^{(x)} \text{ olduğundan } T_p^{(x)} = 1,0592 \text{ sn'dir.}$$

$$T_p(Y) = 2\pi \left[\frac{0,15551}{4,7398} \right]^{1/2} = 1,138 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(y)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$$T_p^{(y)} > 1,4x T_{pA}^{(y)} \text{ olduğundan } T_p^{(y)} = 1,0592 \text{ sn'dir.}$$

Etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye gösterge değerlerine ait sonuçlar "Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar" bölümünde verilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek 5 katlı moment aktaran çelik çerçevesel yapının rijitliği artırılarak TBDY-2018, 4.9.1.6 maddesi koşulunun sağlandığı ve katlara ait görelî kat ötelemeleri değerinin 0,008 sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. İkinci mertebeye gösterge değerlerinde ise en büyük değer yapının ikinci katında çıkmış olup sınır koşul değerlerini sağladığı görülmüştür. Rijitliğin artırılması ile ikinci mertebeye değerlerinde büyük oranda düşüş gözlemlenmiştir.

Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizler sonucunda her iki yapı modeli için katlara göre yer değiştirme u_b , etkin görelî kat ötelemeleri

ve ikinci mertebeye etkilerine $\theta_{II,i}$ ait sonuçlar Çizelge 12, Çizelge 13 ve Çizelge 14'te bir araya getirilmiştir.

Çizelge 12. (X) yönü katlara göre yerdeğiştirmeler

Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran	Moment aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,025787	0,0424	0,095307
4 (2723)	0,020755	0,0378	0,082583
3 (1730)	0,014603	0,03	0,063097
2 (737)	0,008895	0,019	0,038736
1 (6991)	0,003465	0,0082	0,01403

Yapısal analizler ile görelî kat ötelemelerinin kontrolü ve ikinci mertebeye etkilerinin kontrolleri yapılmıştır. Kontrollerde (X) ve (Y) doğrultuları için en büyük etkin görelî kat ötelemeleri değerleri 0,008 değerini aşmamalıdır.

Çizelge 13. (X) yönü etkin görelî kat ötelemeleri

Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,00223	0,00326	0,00901
4 (2723)	0,00272	0,00552	0,01379
3 (1730)	0,00253	0,00779	0,01725
2 (737)	0,00240	0,00765	0,01749
1 (6991)	0,00153	0,00580	0,00993

Çizelge 14. (X) Yönü İkinci Mertebeye Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$

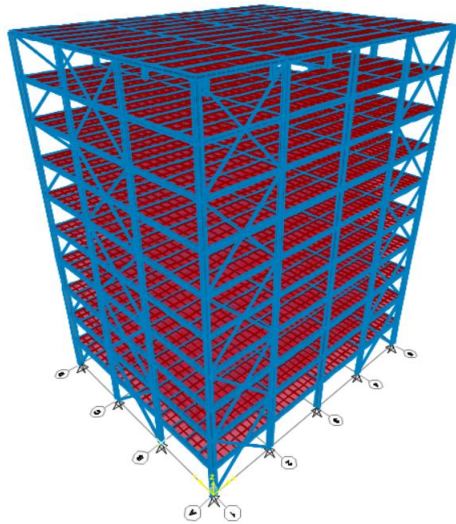
Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran	Moment aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,000624899	0,004592312	0,012765645
4 (2723)	0,000928183	0,009370088	0,023139773
3 (1730)	0,001016038	0,014395829	0,033695115
2 (737)	0,00112242	0,018701514	0,039779941
1 (6991)	0,000858165	0,015758499	0,026684331

(X) yönü katlara göre yer değiştirme ve ikinci mertebeye gösterge değerleri sonuçları incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür.

(X) yönü etkin görel kat ötelemeleri sonuçları incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde ortaya çıktığı, sınır koşul olan 0,008 değerine çok yaklaştığı görülmüştür.

Örnek 3: Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Konut olarak tasarlanan 10 katlı yapıda kolonlar 1-3. katlar arası HE600B, 4-10. katlar arası HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ise değişken kesitli kutu profiller olup A ve D akslarında 1-3 katları arası 160x160x16mm, 4-6 katları arası 140x140x14.2 mm, 7-9 katları arası 140x140x12,5 mm ve 10. katta 120x120x6 mm'dir. 1 ve 5 akslarında ise 1-3 katları arası 180x180x20 mm, 4 ve 5. Katlarda 160x160x14.2 mm, 6-8 katları arası 140x140x12.5 mm, 9. katta 140x140x10 mm ve 10. katta 120x120x6 mm'dir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları ve çapraz kutu profiller S275 çelik sınıfındadır. Yapının analizi ve tasarımında Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi ve Modal Analiz Yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4. 10 Katlı yapının 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli

SAP2000 programında (X) ve (Y) yönlerinde yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri cephe kolonlarına yayılı yük olarak etkitilecek olup hesaplar buna göre yapılmıştır.

(X) Yönü Rüzgar Kuvveti

Rüzgar basınç yönü;

$$w(24)=0,870 \times 8,00 \times 1,1=7,66 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 8,00 \times 1,1=9,34 \text{ kN/m}$$

Rüzgar emme yönü;

$$w(24)=0,870 \times 8,00 \times 0,2=1,39 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 8,00 \times 0,2=1,70 \text{ kN/m}$$

(Y) Yönü Rüzgar Kuvveti

Rüzgar basınç yönü;

$$w(30)=0,952 \times 7,50 \times 1,1=7,85 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 7,50 \times 1,1=8,75 \text{ kN/m}$$

Rüzgar emme yönü;

$$w(30)=0,952 \times 7,50 \times 0,2=1,43 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 7,50 \times 0,2=1,59 \text{ kN/m} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

TBDY-2018, 4.8.1.2 maddesine göre Mod Birleştirme Yönteminde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamı bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmamalıdır. Ayrıca katkısı %3'ten büyük olan tüm modlar hesaba katılacaktır.

Çizelge 15. Merkezi çaprazlı 10 katlı yapıya ait periyod değerleri ve kütle katılım oranları

MOD	Period	UX	UY	ΣUX	ΣUY
	sn				
1	1,694176	2E-07	0,6832	0,000	0,683
2	1,362557	0,68972	2E-07	0,690	0,683
3	0,930528	1E-06	5E-06	0,690	0,683
4	0,455875	1,4E-08	0,2138	0,690	0,897
5	0,364669	0,20217	7E-09	0,892	0,897
6	0,293333	5,8E-06	1E-07	0,892	0,897
7	0,279767	1,1E-06	8E-05	0,892	0,897
8	0,274398	0,06003	9E-07	0,952	0,897
9	0,266984	2,1E-07	0,0332	0,952	0,930
10	0,255797	9,4E-07	0,0197	0,952	0,950

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(40)^{3/4} = 1,272 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

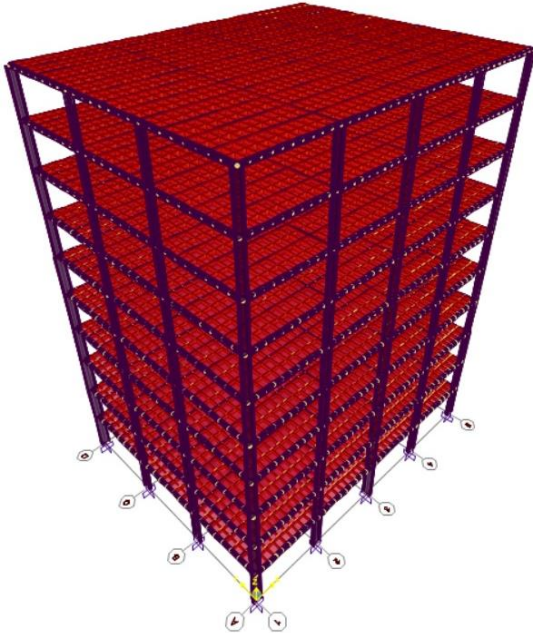
$$T_p^{(x)} = 1,363 \text{ sn'dir.}$$

$$T_p^{(y)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

$$T_p^{(y)} = 1,694 \text{ sn'dir.}$$

Örnek 4: Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Bu örnekteki yapı *Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Çelik Yapı örneği* ile benzer özelliklerde olup, merkezi çaprazlar iptal edilmiş; moment aktaran çerçeve sisteme dönüştürülmüştür. Konut olarak tasarlanan 10 katlı moment aktaran çelik çerçeve yapıda kolonlar 1-3 katları arası HE900B, 3-6 katları arası HE800B, 7-10 katları arası HE650B olarak tasarlanmıştır. Ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları S275 çelik sınıfındadır.



Şekil 5. 10 katlı moment aktaran yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli

Çizelge 16. Moment aktaran çelik çerçeve 10 katlı yapıya ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları

MOD	Period	UX	UY	ΣUX	ΣUY
	sn				
1	1,994877	0,78389	2E-06	0,784	0,000
2	1,51576	1,6E-06	0,7832	0,784	0,783
3	1,387653	1,4E-06	0,0018	0,784	0,785
4	0,650423	0,10406	2E-07	0,888	0,785
5	0,501567	1,3E-07	0,1062	0,888	0,891
6	0,453511	9,1E-08	5E-05	0,888	0,891
7	0,365745	0,04118	4E-08	0,929	0,891
8	0,283166	2,4E-08	0,0411	0,929	0,932
9	0,254571	2,8E-07	3E-06	0,929	0,932
10	0,243786	0,02366	1E-08	0,953	0,932
11	0,19221	5,2E-09	0,0226	0,953	0,955

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(40)^{3/4} = 1,272 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

$$T_p^{(x)} = 1,363 \text{ sn'dir.}$$

$$T_p^{(y)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

$$T_p^{(y)} = 1,694 \text{ sn'dir.}$$

Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 10 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar

Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 10 katlı her iki yapı modeli için elde edilen katlara göre yer değiştirme u_i , etkin göreceli kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye etkilerine θ_{ii} , i ait sonuçlar Çizelge 17, Çizelge 18 ve Çizelge 19'da bir araya getirilmiştir.

Çizelge 17. (X) yönü katlara göre yerdeğiştirmeler, u_i

Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran (Tam rijit)
Çatı (493)	0,046708	0,062421
9 (9602)	0,041105	0,060889
8 (8609)	0,035513	0,058026
7 (7596)	0,029826	0,053608
6 (6577)	0,024363	0,047574
5 (3716)	0,019038	0,040562
4 (2723)	0,014208	0,032437
3 (1730)	0,009338	0,0233
2 (737)	0,005698	0,01388
1 (6991)	0,002138	0,005025

Çizelge 18. (X) yönü etkin görel kat ötelemeleri

Kat	Merkezi çaprazlı $\lambda(\delta_i(x)/h_i)$	Moment aktaran (Tam rijit) $\lambda(\delta_i(x)/h_i)$
Çatı (493)	0,00248	0,00108
9 (9602)	0,00247	0,00203
8 (8609)	0,00252	0,00313
7 (7596)	0,00242	0,00427
6 (6577)	0,00236	0,00496
5 (3716)	0,00214	0,00575
4 (2723)	0,00215	0,00647
3 (1730)	0,00161	0,00667
2 (737)	0,00158	0,00627
1 (6991)	0,00095	0,00356

Çizelge 19. (X) yönü ikinci mertebe etkisi değerleri, $\theta_{II,i}$

Kat	Merkezi çaprazlı $\theta_{II,i}$	Moment aktaran (Tam rijit) $\theta_{II,i}$
Çatı (493)	0,0255	0,0420
9 (9602)	0,0355	0,0539
8 (8609)	0,0334	0,0593
7 (7596)	0,0352	0,0623
6 (6577)	0,0316	0,0603
5 (3716)	0,0284	0,0610
4 (2723)	0,0248	0,0610
3 (1730)	0,0154	0,0582
2 (737)	0,0151	0,0515
1 (6991)	0,0086	0,0296

(X) yönü katlara göre yer değiştirme sonuçları, görel kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değerleri incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür. 10 katlı moment aktaran çerçeve sistemli yapı örneğinde (X) yönünde ikinci mertebe sınır değerinin aşıldığı gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 5 ve 10 katlı moment aktaran ve merkezi çaprazlı dört yapının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve 2016 Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği esaslarına göre tasarımları yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Moment aktaran çerçeve sistemlere ait (X) ve (Y) yönündeki bina hakim doğal titreşim periyodu, merkezi çaprazlı sistemlere ait bina periyotlarından daha uzun çıkmıştır.
- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre analizi yapılan 5 katlı yapı modellerinin taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri incelendiğinde, merkezi çaprazlı sistemde bu kuvvetlerin 2 kat kadar fazla olduğu görülmüştür.
- Mod Birleştirme Yöntemine göre analizi yapılan 10 katlı yapı modellerinin taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen deprem kuvvetleri incelendiğinde, merkezi çaprazlı sistemde bu kuvvetlerin daha büyük olduğu görülmüştür.
- (X) ve (Y) yönü katlara göre yer değiştirme sonuçları incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür.
- (X) ve (Y) yönü etkin görel kat ötelemeleri incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde ortaya çıktığı, sınır koşul olan 0,008 değerine çok yaklaştığı görülmüştür.
- (X) ve (Y) yönü ikinci mertebe gösterge değerlerine ait sonuçlar incelendiğinde, moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde bu değerlerin sınır değere daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. 10 katlı moment aktaran çerçeve sistemli yapı örneğinde (X) yönünde ikinci mertebe sınır değerinin aşıldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada dört farklı yapı örneği incelenmiş ve merkezi çaprazlı sistemlerde TBDY-2018 yönetmelik sınır koşul değerlerinin daha kolay sağlandığı görülmüştür. Merkezi çaprazların kullanımı ile kolonların daha küçük kesitlerle tasarlanabildiği ve daha ekonomik sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Özellikle kat yüksekliği arttıkça merkezi çaprazların ilavesi sistem rijitliklerinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Aydınoğlu, M.N., Özer, E., Celep, Z., Özaydın K., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Eğitim Semineri, 143.
2. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Ankara, 448.
3. Yorgun, C., Topkaya, C., Vatansever, C., 2017. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Eğitim Ders Notları. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Ankara, 472.
4. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim Kitabı, Ankara, Z-I-3/24.
5. Tütüncü, B., 2019. Çok Katlı Bir Çelik Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e Göre Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 179.
6. Öz, D., 2018. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları Doğrultusunda Çelik Yapıların Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 171.
7. Uz, A., 2020. Çok Katlı Bir Çelik Yapının TBDY-2019 ve Çelik Yapılar Yönetmeliği-2016 Kullanılarak Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Eskişehir, 61.
8. Noori, A.R., Doori, S.G., 2021. Finite Element Approach for the Bending Analysis of Castellated Steel Beams with Various Web Openings. ALKU Journal of Science, e-ISSN: 2667-7814.
9. Lemonis, M.E., Hatzigeorgiou, G.D., Asteris, P.G., 2022. Seismic Behaviour of Irregular Steel Frames with Beam and Joint Energy Dissipation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 107052.
10. Sadeghinezhad, S., Kheyroddin, A., Mortezaei, A., 2021. Strengthening of Vulnerable RC Moment Resisting Frames Using Direct Internal Connection of X-Steel Bracing. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 65(4), 1174–1189.
11. SAP2000 v20.0, 2019. Structural Analysis Program Berkeley, California.
12. TBDY-2018, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 394.
13. Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi Profesörleri, İstanbul, 700.
14. TS 498 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. TS EN 1991-1-3, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
16. TS EN 1991-1-4, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgar Etkileri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
17. Mertol A., Mertol H.C., 2002. Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Ankara, 644.

