

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI GEOMETRİ VE TAŞIYICI
SİSTEMLERE SAHİP ÇELİK YAPILARIN
TASARIMI

Rojhat EVGİ

Ekim, 2022

İZMİR

FARKLI GEOMETRİ VE TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı, Yapı Programı**

Rojhat EVGİ

Ekim, 2022

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Rojhat EVGİ, tarafından **DOÇ. DR. EGEMEN TEOMETE** yönetiminde hazırlanan
**“FARKLI GEOMETRİ VE TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP ÇELİK
YAPILARIN TASARIMI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği
açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Egemen TEOMETE

Yönetici

Doç. Dr. Mutlu SEÇER

Jüri üyesi

Prof. Dr. Serap KAHRAMAN

Jüri üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen ve yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Egemen TEOMETE' ye teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında, çelik yapılar hakkındaki bilgi ve birikimini benimle paylaşarak tez çalışmama yaptığı katkılardan dolayı Doç. Dr. Mutlu Seçer' e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan yapısal analizler için zaman ayırıp sorularıma cevap veren Dr .Özgür BOZDAĞ' a teşekkür ederim.

Rojhat EVGİ

FARKLI GEOMETRİ ve TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

ÖZ

Yapısal çelik malzeme sahip olduğu yüksek dayanım, süneklik ve Türkiye’ de en çok kullanılan yapı malzemesi olan betona göre daha hafif birim hacim ağırlık gibi özellikleri ile alternatif bir yapı malzemesidir. Bu nedenle yapısal çelik malzeme ile oluşturulan taşıyıcı sistemlerin yatay ve düşey yükler altında gösterdiği davranışın iyi bilinmesi Türkiye’ de yapısal çeliğin daha fazla kullanılmasına katkı sağlayacaktır. Çelik binalarda yatay yüklere karşı farklı tipte taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında moment aktaran çelik çerçeveler, merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ve dış merkez çaprazlı çelik çerçeveler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, biri planda ‘L’ şeklinde geometriye sahip 10 katlı çelik bir bina ile bu özelliğe ek olarak düşeyde de düzensizlik içeren başka bir çelik bina önce moment aktaran çelik çerçeveler ile tasarlanıp boyutlandırılmış daha sonra ise bu iki yapısal çelik model kesit optimizasyonu yapılarak merkezi çelik çaprazlı çerçeveler ile yeniden tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında toplamda 8 adet çelik bina incelenmiş olup tasarım ve boyutlandırma hesapları TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018’ ya göre yapılmıştır. Yapısal analizlerde Sap2000v19 yazılımı kullanılmıştır. Yapısal analizler sonucunda moment aktaran çerçeveler ile modellenen çelik binalar ile merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ile tasarlanan çelik binalar taşıyıcı sistem ağırlığı, periyot ve kat yerdeğiştirmeleri gibi parametreler açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Düzensiz çok katlı çelik yapı, moment aktaran çerçeve, merkezi çaprazlı çelik çerçeve, yapısal analiz, çelik yapılar

DESIGN OF STEEL STRUCTURES WITH DIFFERENT GEOMETRY AND STRUCTURAL SYSTEMS

ABSTRACT

Structural steel material is an alternative building material with its features such as high strength, ductility and lighter unit volume weight than concrete which is the most used building material in Turkey. For this reason, knowing the behaviour of bearing systems formed with structural steel material under horizontal and vertical loads will contribute to the use of structural steel more in Turkey. Different types of bearing systems are used against horizontal loads in steel buildings. Among these, moment resisting frames, central braced frames and eccentric braced frames are widely used. In this study, 10 story steel buildings, one of which has an 'L' shaped geometry in plan, and another steel building with vertical irregularity in addition to this irregularity were designed with moment resisting frames and then two steel structures were modeled with central steel braced frames by optimizing the sections. Within the scope of the study a total of 8 steel buildings were examined and the design and sizing calculations were made according to TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018. Sap2000v19 software was utilized for structural analysis. As result of the structural analyses, the steel buildings modeled with moment resisting frames and the steel buildings designed with central braced systems were compared in terms of parameters such as load-bearing system weight, period and floor displacements.

Keywords: Irregular multi-story steel building, moment resisting frame, central braced frame, structural analysis, steel structures

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
BÖLÜM İKİ – YAPI MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI.....	3
2.1 İncelenen Çelik Binaların Genel Özellikleri	3
2.2 Yükler.....	14
2.2.1 Sabit ve Hareketli Yükler.....	14
2.2.2 Rüzgar Yükleri.....	15
2.2.3 Deprem Karakteristikleri.....	22
2.2.3.1 Düzensizlik Kontrolleri.....	24
2.2.3.1.1 A1 Burulma Düzensizliği	24
2.2.3.1.2 B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği.....	30
2.2.3.1.3 A2, B1, B3 Düzensizlikleri	31
2.2.3.1.4 A3 Planda Çıkıntılar Bulunması.....	31

2.2.3.2 Binaların Ağırlık ve Periyot Hesabı.....	32
2.2.3.3 Deprem Yükünün Hesabı.....	37
2.2.4 Yük Birleşimleri.....	38
2.3 Yapısal Analiz ve Boyutlandırma.....	40
2.3.1 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü.....	40
2.3.2 Boyutlandırma Hesapları.....	45
2.3.2.1 Moment Aktaran Çerçeve Kolonlarının Hesabı.....	45
2.3.2.2 Moment Aktaran Çerçeve Kirişlerinin Hesabı.....	49
2.3.2.3 Çaprazların Hesabı.....	52
2.3.2.4 Çaprazlı Çerçeve Kolonlarının Hesabı.....	53
2.3.2.5 Çaprazlı Çerçeve Kirişlerinin Hesabı.....	58
BÖLÜM ÜÇ– YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA	60
BÖLÜM DÖRT – SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Ref1 kat planı.....	4
Şekil 2.2 Ref1 3d görünüm.....	5
Şekil 2.3 Ref1-T1 kat planı.....	5
Şekil 2.4 Ref1-T1 3d görünüm	6
Şekil 2.5 Ref1-T2 kat planı.....	6
Şekil 2.6 Ref1-T2 3d görünüm	7
Şekil 2.7 (a) Ref2 1. ve 6. katlar arası kat planları, (b) Ref2 7. ve 10. katlar arası kat planları.....	7
Şekil 2.8 Ref2 3d görünüm.....	8
Şekil 2.9 (a) Ref2-T1 1. ve 6. katlar arası kat planları (b) Ref2-T1 7. ve 10. katlar arası kat planları.....	8
Şekil 2.10 Ref2-T1 3d görünüm	9
Şekil 2.11 (a) Ref2-T2 1. ve 6. katlar arası kat planlar, (b) Ref2-T2 7. ve 10. katlar arası kat planları.....	9
Şekil 2.12 Ref2-T2 3d görünüm	10
Şekil 2.13 Ref1 modeli x doğrultusu için 1.durumda rüzgar basıncı etkileyen.....	17
Şekil 2.14 Ref1 modeli x doğrultusu için 2.durumda rüzgar basıncı etkileyen cephe...	17
Şekil 2.15 Ref1 modeli y doğrultusu için rüzgar basıncı etkileyen cephe.....	18
Şekil 2.16 (a) Ref2 x doğrultusunda rüzgar yükü etkileyen cephe, (b) Ref2 y doğrultusunda rüzgar yükü etkileyen cephe.....	21
Şekil 2.17 Yatay elastik tasarım spektrumu.....	22
Şekil 2.18 A3 düzensizliği kontrolü için kat planı.....	32
Şekil 3.1 Ref1 ve türev modellerine etkileyen deprem kuvvetleri (M.B.Y) (kN).....	63
Şekil 3.2 Ref1 ve türev modellerinin x yönü kat yerdeğiştirmeleri (m).....	63

Şekil 3.3 Ref1 ve türev modellerinin y yönü kat yerdeğiştirmeleri (m).....	64
Şekil 3.4 Ref1 ve türev modellerinde x yönünde oluşan devrilme momentleri.....	67
Şekil 3.5 Ref1 ve türev modellerinde y yönünde oluşan devrilme momenti.....	68
Şekil 3.6 Ref2 ve türev modellerine etkiyen deprem kuvvetleri (M.B.Y) (kN).....	70
Şekil 3.7 Ref2 ve türev modellerinin x yönü kat yerdeğiştirmeleri (m).....	71
Şekil 3.8 Ref2 ve türev modellerinin y yönü kat yerdeğiştirmeleri (m).....	71
Şekil 3.9 Ref2, Ref2-T1 ve Ref2-T2 modelleri için x ve y yönü devrilme momenti.	74
Şekil 3.10 Modellerin periyotlarının karşılaştırılması.....	77
Şekil 3.11 Modellerin deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması	78

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Ref1 ve türev modellerinde kullanılan kolon profilleri.....	11
Tablo 2.2 Ref2 ve türev modellerinde kullanılan kolon profilleri.....	12
Tablo 2.3 Ref1 türev modellerinde kullanılan çapraz profilleri.....	12
Tablo 2.4 Ref2-T1 modelinde kullanılan çapraz profilleri.....	13
Tablo 2.5 Ref2-T2 modelinde kullanılan çapraz profilleri.....	14
Tablo 2.6 Normal kat döşemesi yükleri.....	15
Tablo 2.7 Çatı Döşemesi yükleri.....	15
Tablo 2.8 Ref1 ve türev modellerine x doğrultusu için 1.durumda etkiyen rüzgar kuvvetleri.....	19
Tablo 2.9 Ref1 ve türev modellerine x doğrultusu için 2.durumda etkiyen rüzgar kuvvetleri.....	20
Tablo 2.10 Y doğrultusu rüzgar kuvvetleri.....	20
Tablo 2.11 Ref2 ve türev modellerine etkiyen rüzgar kuvvetleri.....	21
Tablo 2.12 Zemin etki katsayısı ve spektral ivme değerleri.....	23
Tablo 2.13 Deprem hesabı parametreleri.....	23
Tablo 2.14 Ref1 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	24
Tablo 2.15 Ref1-T1 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	25
Tablo 2.16 Ref1-T2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	25
Tablo 2.17 Ref1-T1v2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	26
Tablo 2.18 Ref1-T2v2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	27

Tablo 2.19 Ref2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	27
Tablo 2.20 Ref2-T1 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	28
Tablo 2.21 Ref2-T2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	29
Tablo 2.22 Ref1 ve türev modelleri için B2 türü rijitlik düzensizliği kontrolü.....	30
Tablo 2.23 Ref2 ve türev modelleri için B2 türü rijitlik düzensizliği kontrolü.....	31
Tablo 2.24 Bina ağırlıkları.....	33
Tablo 2.25 Ref1 modal analiz sonuçları.....	34
Tablo 2.26 Ref1-T1 modal analiz sonuçları.....	35
Tablo 2.27 Ref2 modal analiz sonuçları.....	35
Tablo 2.28 Ref2-T1 modal analiz sonuçları.....	36
Tablo 2.29 Binaların hakim periyotları.....	37
Tablo 2.30 Binalara etkiyen deprem yükleri.....	38
Tablo 2.31 Ref1 modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü.....	41
Tablo 2.32 Ref1-T1 ve Ref1-T2 modelleri etkin görelî kat öteleme kontrolü.....	42
Tablo 2.33 Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 modelleri etkin görelî kat öteleme kontrolü....	43
Tablo 2.34 Ref2 ve Ref2-T1 modelleri etkin görelî kat öteleme kontrolü.....	44
Tablo 2.35 Ref2-T2 modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü.....	45
Tablo 2.36 Ref1-T1 modeli çapraz elemanlar için olası çekme ve basınç kuvveti dayanımları.....	54

Tablo 3.1 Ref1 ve türev modelleri için ağırlık,periyot ve deprem kuvveti değerleri....	60
Tablo 3.2 Ref1 ve türev modellerin en büyük etkin görelî kat öteleme değerleri.....	64
Tablo 3.3 Ref1 ve türev modellerin eksantrisite değerleri.....	65
Tablo 3.4 Ref1, Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 x yönü çaprazlı çerçeve sonuçları.....	66
Tablo 3.5 Ref1 Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 y yönü çaprazlı çerçeve sonuçları.....	67
Tablo 3.6 Ref2 ve türev modelleri için ağırlık, periyot ve deprem kuvveti değerleri.....	69
Tablo 3.7 Ref2 ve türev modellerin en büyük etkin görelî kat öteleme değerleri.....	72
Tablo 3.8 Ref2 ve türev modellerin eksantrisite değerleri.....	72
Tablo 3.9 Ref2,Ref2-T1, Ref2-T2 x yönü moment değerleri.....	73
Tablo 3.10 Ref2, Ref2-T1, Ref2-T2 y yönü moment değerleri.....	74
Tablo 3.11 Ref1 ve Ref2 modellerinin karşılaştırılması.....	75
Tablo 3.12 Türev modellerin karşılaştırılması.....	76
Tablo 4.1 Ref1 ve türev modelleri için maliyet değerleri.....	81
Tablo 4.2 Ref2 ve türev modelleri için maliyet değerleri.....	82

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Aktif fay kuşağı üzerinde yer alan Türkiye’ de güvenli yapılar inşaa etmek hayati derecede önemli bir konudur. Yapı tasarımında güvenlik faktöründe öncelikle, kullanılan malzemenin dayanımı belirleyici olmaktadır. Yapısal tasarımda güvenlikten sonra en önemli unsur tasarımın ekonomik olmasıdır. İnşaat mühendisliğinde yapıların ekonomik tasarımında malzemenin ve taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı hesaplarda dikkate alınmaktadır. Yapısal çelik malzeme sahip olduğu yüksek dayanım, homojen ve elastik olma, süneklik gibi önemli avantajlar sayesinde en çok kullanılan yapı malzemesi olan betona karşı önemli bir alternatif malzemedir (Akbaş ve Eğilmez, 2018). Türkiye’ de yapısal çelik kullanımı özellikle maliyetten dolayı sınırlı kalmaktadır. Yapısal çelik Türkiye’ de çoğunlukla sanayi türü yapılarda kullanılmakta olup konut ve ticari yapılarda kullanımı çok sınırlıdır (Aydın ve Günaydın, 2019)

Çelik malzemesi basınç ve çekme gerilmesi altında aynı davranışı gösterir ve büyük şekil değiştirme kapasitesine sahiptir. Aynı zamanda yüksek süneklik ve dayanım sayesinde çelik yapılar deprem etkilerini karşılamada üstünlük gösterirler (Celep, 2019). Çelik malzeme homojen olma özelliğiyle yük altında davranışı yüksek derecede öngörülebilirdir. Çelik yapıların deprem yüklerine karşı tasarımında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında moment aktaran çerçeveler, merkezi çaprazlı ve dış merkezli çelik çaprazlı çerçeveler vardır. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler çelik yapı tasarımında sık kullanılan taşıyıcı sistem türüdür (Eşsiz, 2005). Merkezi çelik çaprazlı çerçeveler performans ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Şeker ve diğer, 2021). Merkezi çaprazlı çerçevelerde sistem, çapraz elemanların basınç altında burkulması ile dahi sistemde önemli derecede dayanım kaybı oluşmayacak şekilde boyutlandırılmaktadır (Darılmaz, 2019). Moment aktaran çerçevelerde yatay kuvvetlere karşı dayanım kolon ve kiriş elemanlarda oluşan eğilme momenti ve kesme kuvveti ile kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki şekil değiştirme kapasitesi ile sağlanır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, planda ve düşeyde düzensizlikler içeren çelik binalarda çapraz elemanların yapısal davranışı nasıl etkilediği araştırılmıştır. Önce moment aktaran çelik çerçeveler ile teşkil edilen çelik binaların gerekli boyutlandırma hesapları yapıldıktan sonra bu yapısal modellerin taşıyıcı sistem elemanları optimize edilerek binalara çelik çapraz elemanlar eklenmiştir. Daha sonra ise moment aktaran çerçeveler ile oluşturulan modeller ile çaprazlı çerçeveler ile modellenen çelik binaların yapısal davranış parametreleri kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında, düzensiz bina olarak farklı taşıyıcı sistemlere sahip iki referans model oluşturulmuştur. Birinci referans model sadece planda düzensizlik içermekte olup, bu çelik bina için TBDY Şekil 3.3' te A3 türü düzensizlik içeren binalar arasında gösterilen, planda 'L' şeklinde geometrik özelliğe sahip 10 katlı çelik bir bina seçilmiştir. İkinci referans model ise, birinci referans modelde mevcut olan plandaki düzensizliğe ek olarak düşeyde de düzensizlik oluşturularak, planda 'L' şeklinde olan kollardan biri 6 katlı, diğer kol ise 10 katlı olacak şekilde modellenmiştir. Çalışma kapsamında, 2 adet moment aktaran çelik bina ve 6 adet merkezi çaprazlı çelik bina olmak üzere toplamda 8 adet çelik binanın tasarım ve boyutlandırma hesapları TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018 esaslarına göre yapılmıştır. Binaların yapısal analizleri Sap2000v19 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen çelik binalarda burulma düzensizliği ve planda çıkıntı yapan yapı kısımlarından dolayı A3 türü düzensizlik bulunmaktadır. Bu nedenle deprem yükü hesaplarında doğrusal deprem hesabı yöntemi olan mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Modellerin Sap2000v19 ile yapılan yapısal analizlerinde binalardaki düzensizliklerden dolayı döşemelere herhangi bir diyafram tanımı yapılmaksızın bütün yapısal modellerde taşıyıcı sistemler diyaframsız çözülmüştür. İncelenen modellerin yapısal analizleri sonucunda çelik binalar yapı ağırlığı, periyot, deprem yükü, kat yerdeğiştirmeleri ve maliyet açısından kıyaslanmıştır.

BÖLÜM İKİ

YAPI MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

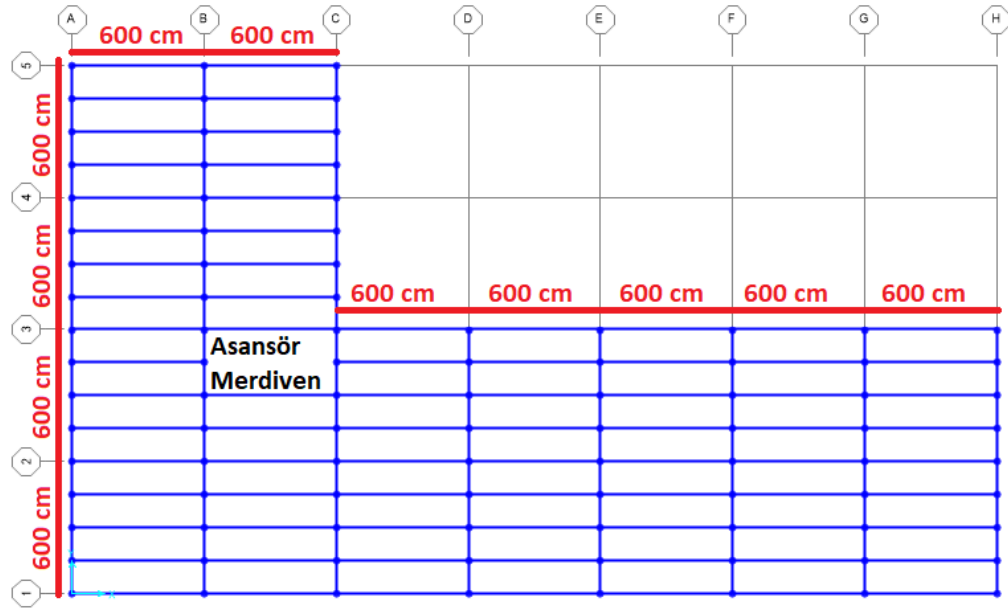
2.1 İncelenen Çelik Binaların Genel Özellikleri

Bu tez çalışmasında incelenen çelik binaların işyeri olarak kullanılacağı öngörülmüştür. Binaların konum olarak İzmir ili, Bayraklı ilçesinde 38.45386 Enlem ve 27.17667 Boylamında yer alan ‘Folkart İkiz Kuleleri’ konumunda inşa edileceği varsayılmıştır. Çalışmada farklı geometrik özelliklere sahip Ref1 ve Ref2 adındaki iki çelik bina referans modeller olarak ele alınmış olup bu referans modellerden de türev modeller oluşturularak toplamda 8 adet yapısal model incelenmiştir. Ref1 modelinden türetilen modeller Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 olarak adlandırılmış olup Ref2 modelinden türetilen modeller ise Ref2-T1 ve Ref2-T2 olarak adlandırılmıştır. Referans modeller (Ref1 ve Ref2) süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçevelerden teşkil edilmiştir. Türev modeller ise (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2, Ref2-T1, Ref2-T2) referans modellere merkezi çelik çapraz elemanlar eklenip yeniden kesit optimizasyonu yapılarak elde edilen süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ile tasarlanmıştır.

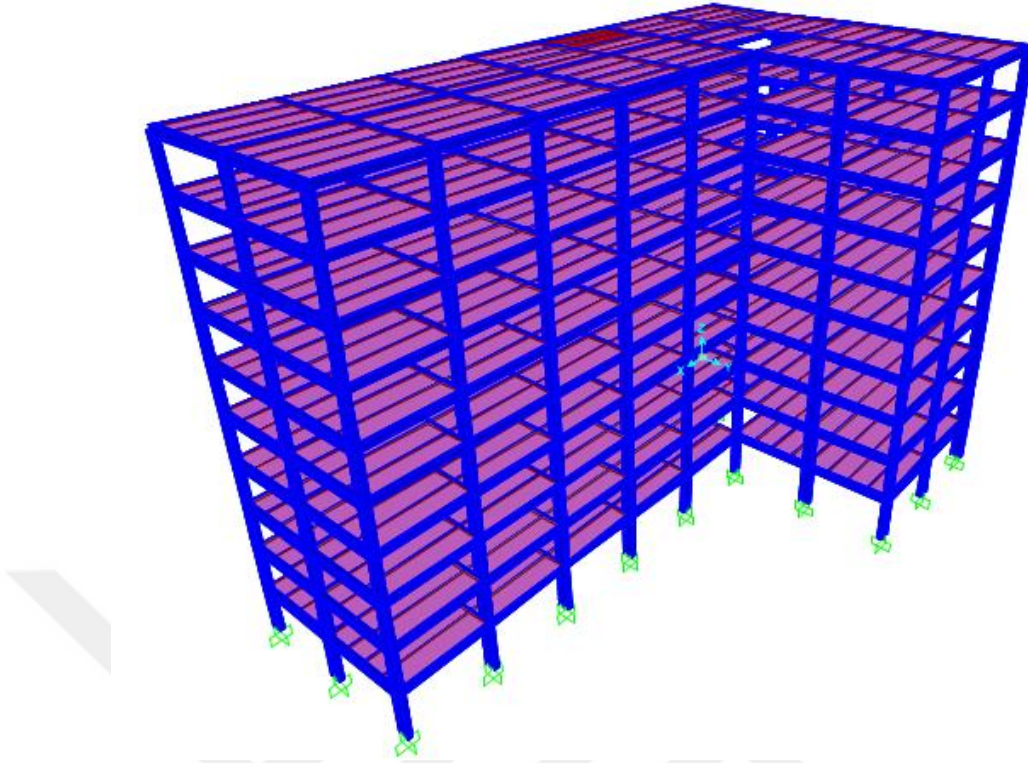
Ref1 (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2) ve türev modelleri planda ‘L’ şeklinde geometriye sahip ve 10 katlı olup, x yönünde 42 metre uzunlukta ve 7 açıklıktan, y yönünde ise 24 metre uzunluğunda ve 4 açıklıktan oluşmakta olup, bütün açıklıklar 6 metre ve her katın yüksekliği 3 metredir. Ref2 (Şekil 2.7 ve 2.8) ve türev modelleri ise yine planda ‘L’ şeklinde geometriye sahip olup, bu yapısal modellerin bir kolu 10 katlı diğer kolu ise 5 katlı ve her katın yüksekliği 3 metre olup, bütün açıklıklar 6 metredir. Bu modeller 7. kata kadar x yönünde 42 metre uzunluğunda ve 7 açıklık, y yönünde ise 24 metre uzunluğunda ve 4 açıklıktan oluşmaktadır. 7.kattan itibaren modellerin x yönündeki uzunluğu 12 metre ve 2 açıklıklı olmaktadır.

Ref1 modeline çapraz elemanlar eklenerek oluşturulan Ref1-T1 modeli (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4), çapraz elemanların Ref1 modelinde en büyük kesme kuvvetini alan kolonların bulunduğu çerçevelere eklenerek x ve y yönünde 6’şar adet olmak üzere toplamda 12 adet çaprazlı çerçeve oluşturularak modellenmiştir. Ref1-T2 modeli

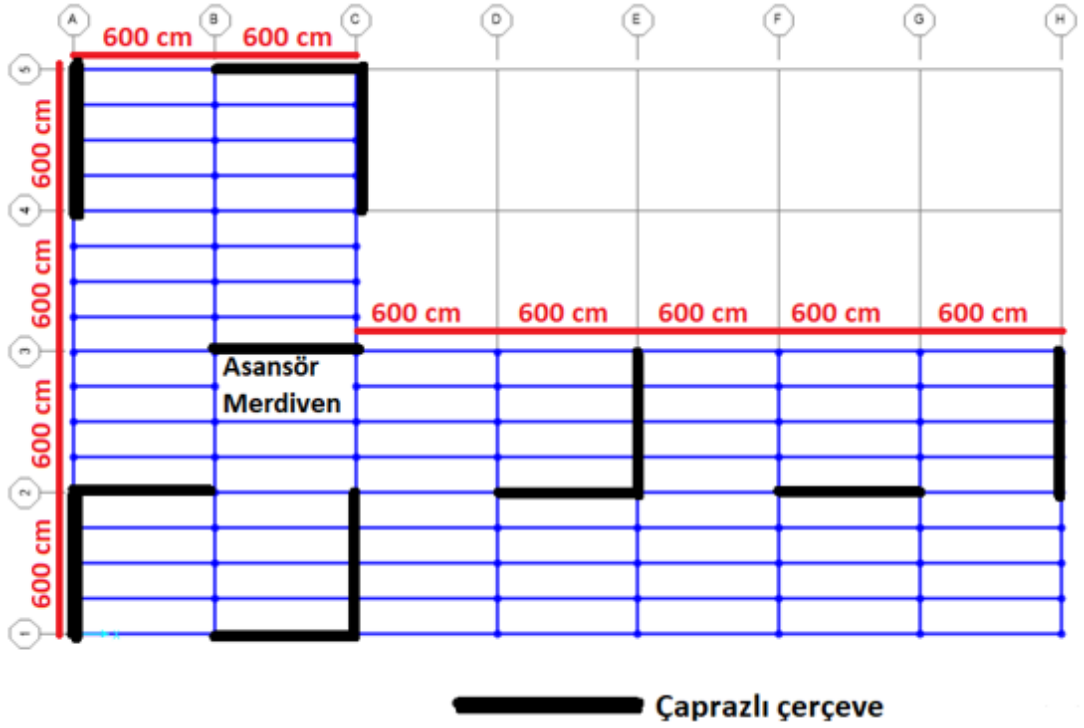
(Şekil 2.5 ve Şekil 2.6), Ref1 modelinde en büyük kesme kuvveti alan dış cephe kolonlarının bulunduğu çerçevelere eklenerek x ve y yönünde 6'şar adet olmak üzere toplamda 12 adet çaprazlı çerçeve oluşturularak modellenmiştir. Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 modelleri ise sırasıyla Ref1-T1 ve Ref1-T2 modellerinde kolon profilleri değiştirilerek tasarlanmıştır. Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 modellerinde kullanılan kolon profillerinin yük/kapasite oranları 1 yani sınır değere ulaşmaktadır, bu durumda da yönetmelikteki sınır koşulları sağlasa da güvenli tarafta kalmak adına bu iki model için kolon profillerinin kesitleri büyütülerek Ref1-T1 ve Ref1-T2 modelleri oluşturulmuştur. Ref2 modelinden türetilen Ref2-T1 modeli (Şekil 2.9 ve Şekil2.10), çapraz elemanların Ref2 modelinde en büyük kesme kuvvetini alan kolonların bulunduğu çerçevelere eklenerek, x ve y yönünde 6'şar adet olmak üzere toplamda 12 adet çaprazlı çerçeve teşkil edilerek modellenmiştir. Ref2-T2 modeli (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12), Ref2 modelinde en büyük kesme kuvvetini alan dış cephe kolonlarının bulunduğu çerçevelere eklenerek, x ve y yönünde 6'şar adet olmak üzere toplamda 12 adet çaprazlı çerçeve oluşturularak modellenmiştir.



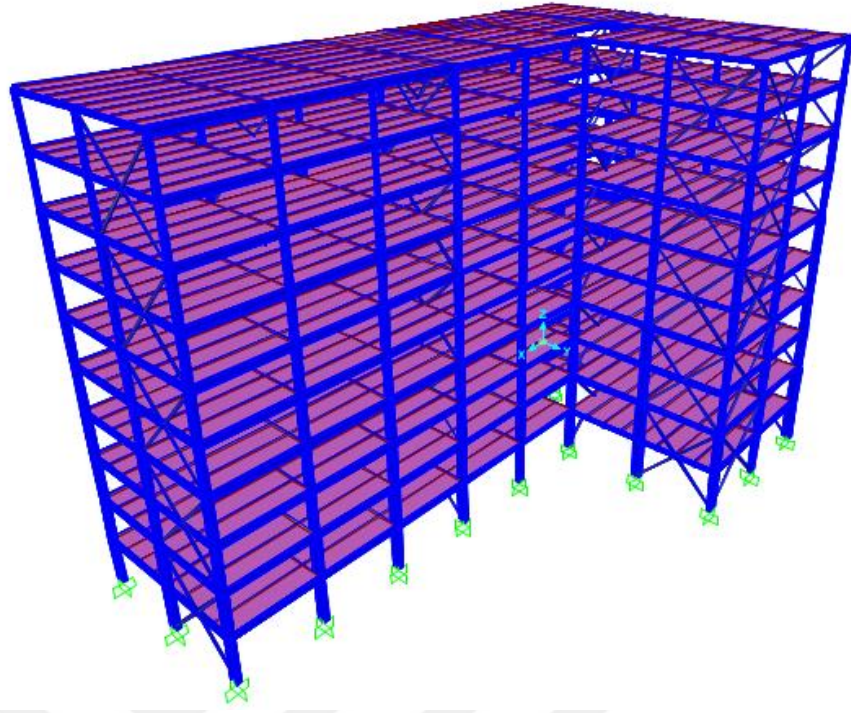
Şekil 2.1 Ref1 kat planı



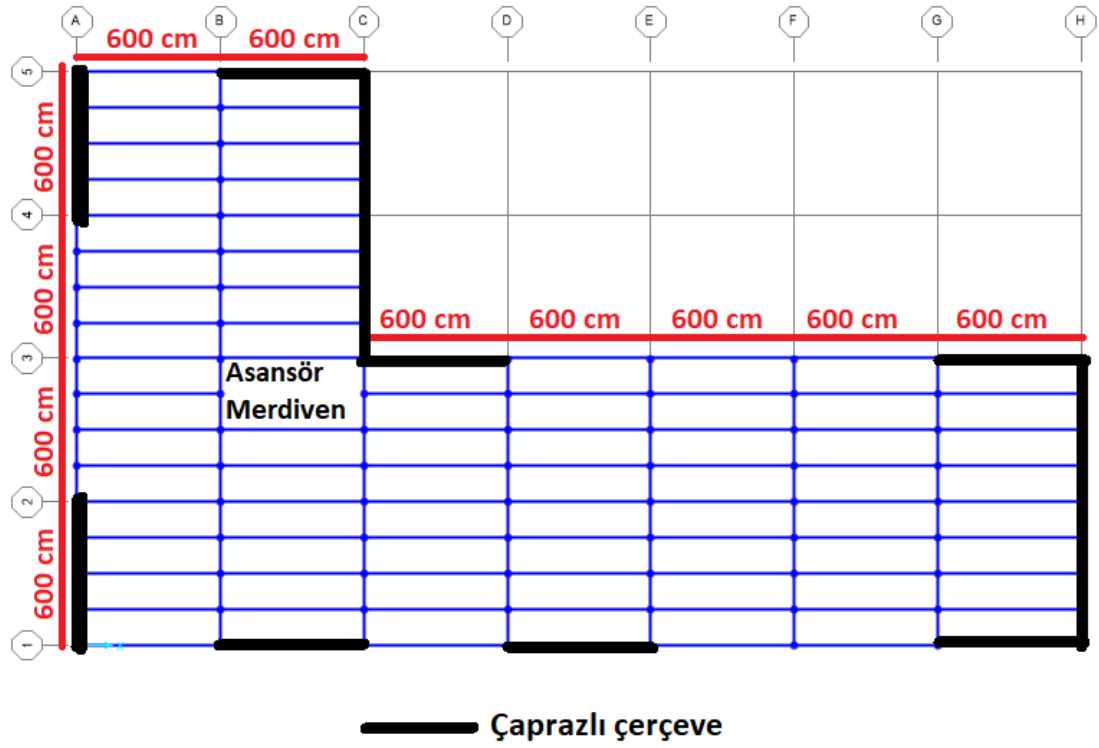
Şekil 2.2 Ref1 3d görünüm



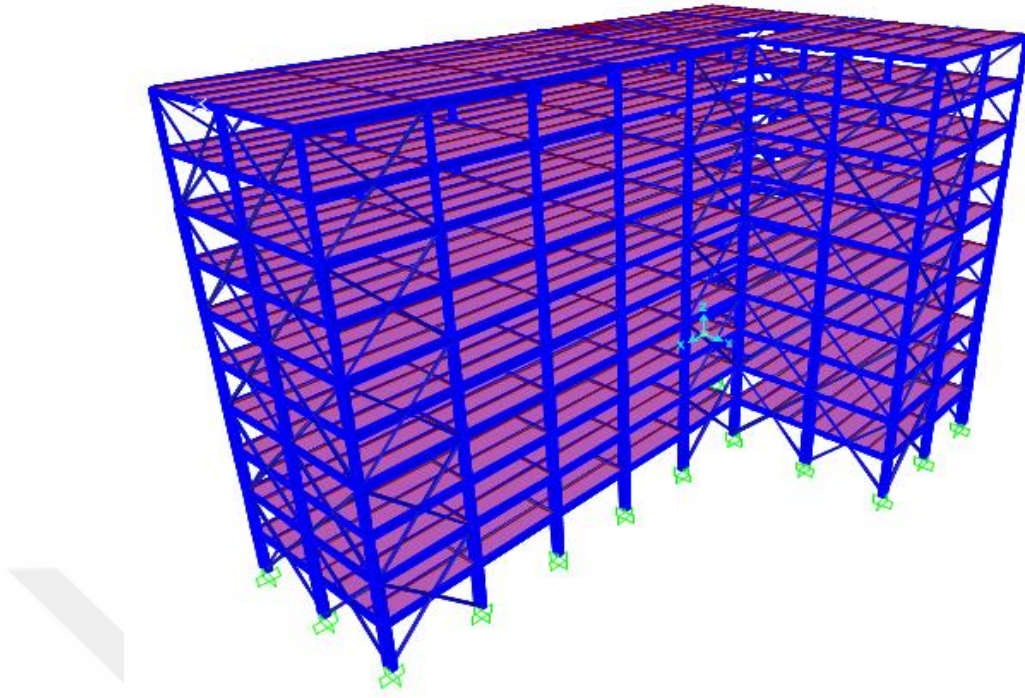
Şekil 2.3 Ref1-T1 kat planı



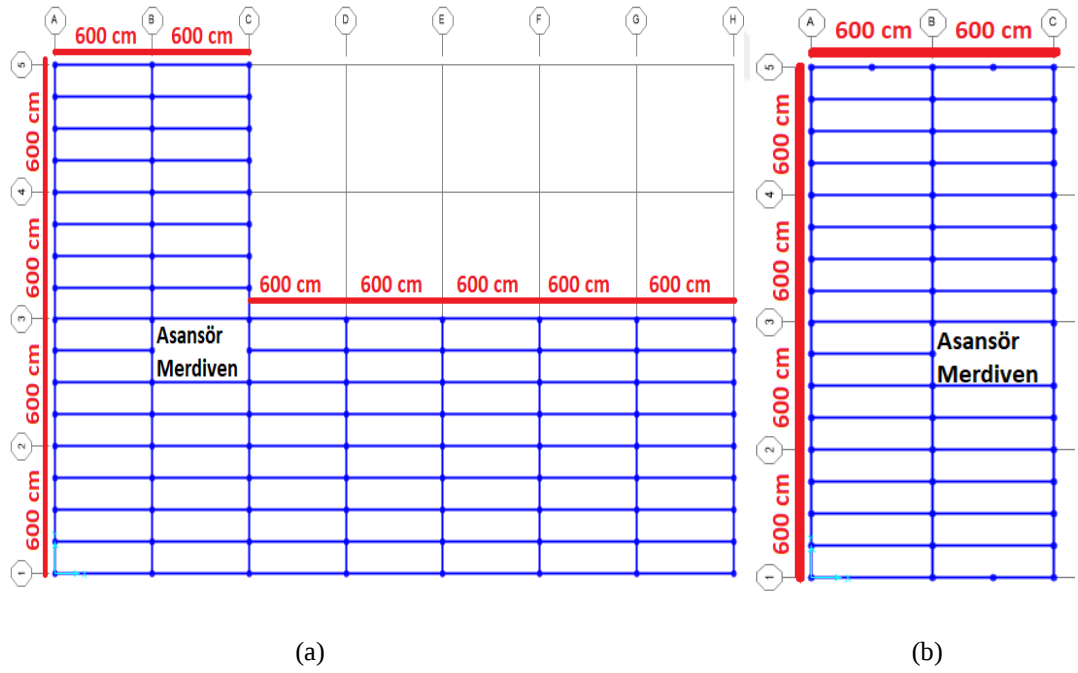
Şekil 2.4 Refl-T1 3d görünüm



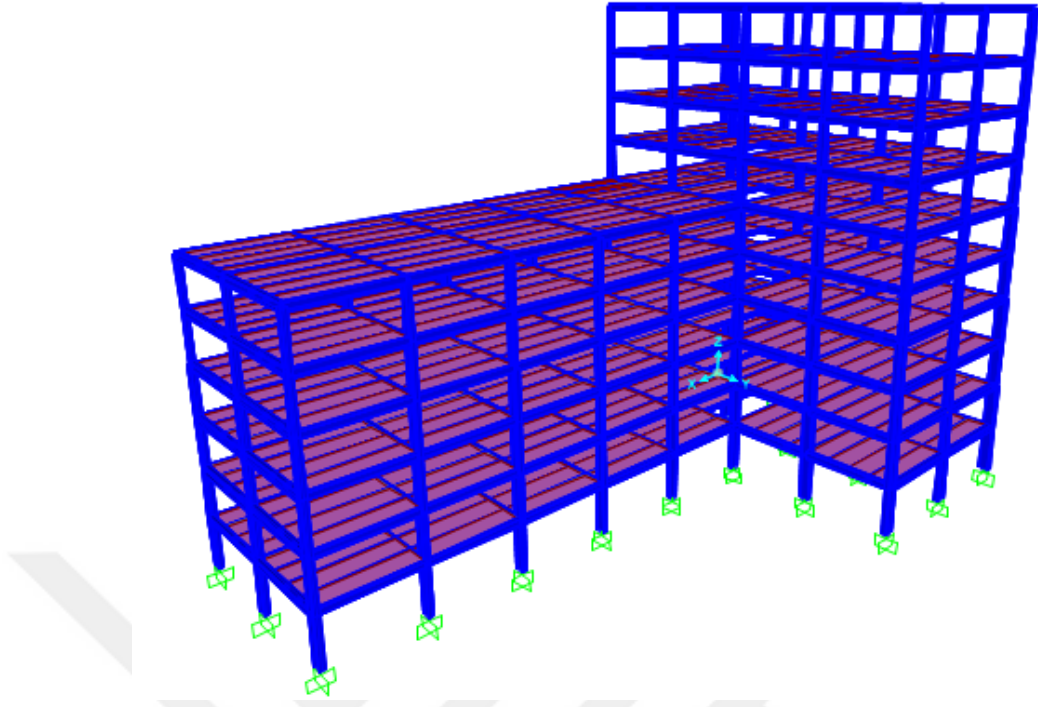
Şekil 2.5 Refl-T2 kat planı



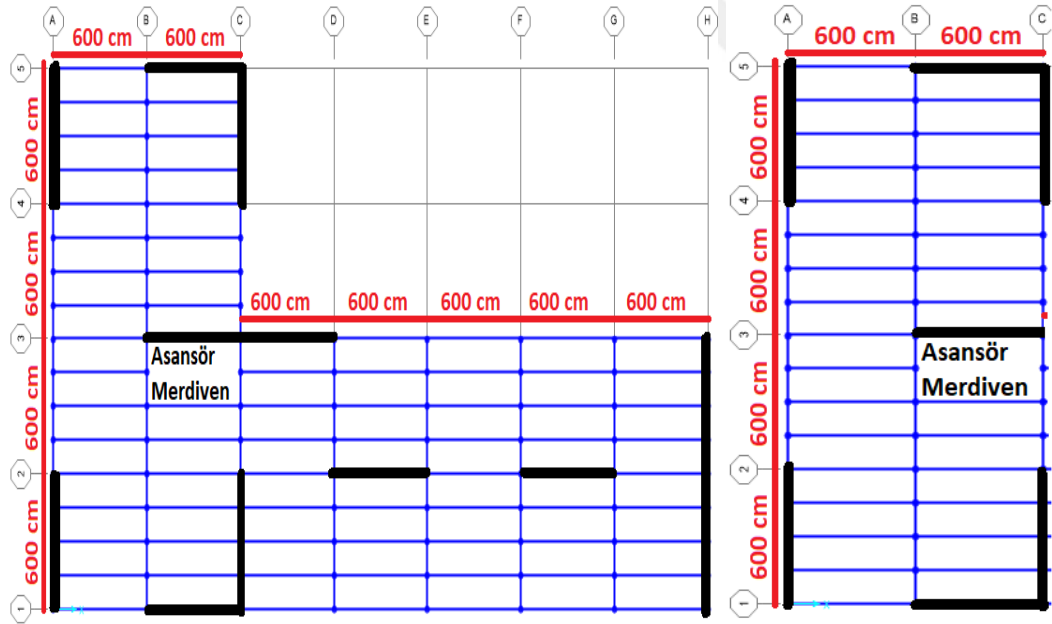
Şekil 2.6 Ref1-T2 3d görünüm



Şekil 2.7 (a) Ref2 1. ve 6. katlar arası kat planları , (b) Ref2 7. ve 10. katlar arası kat planları



Şekil 2.8 Ref 2 3d görünüm

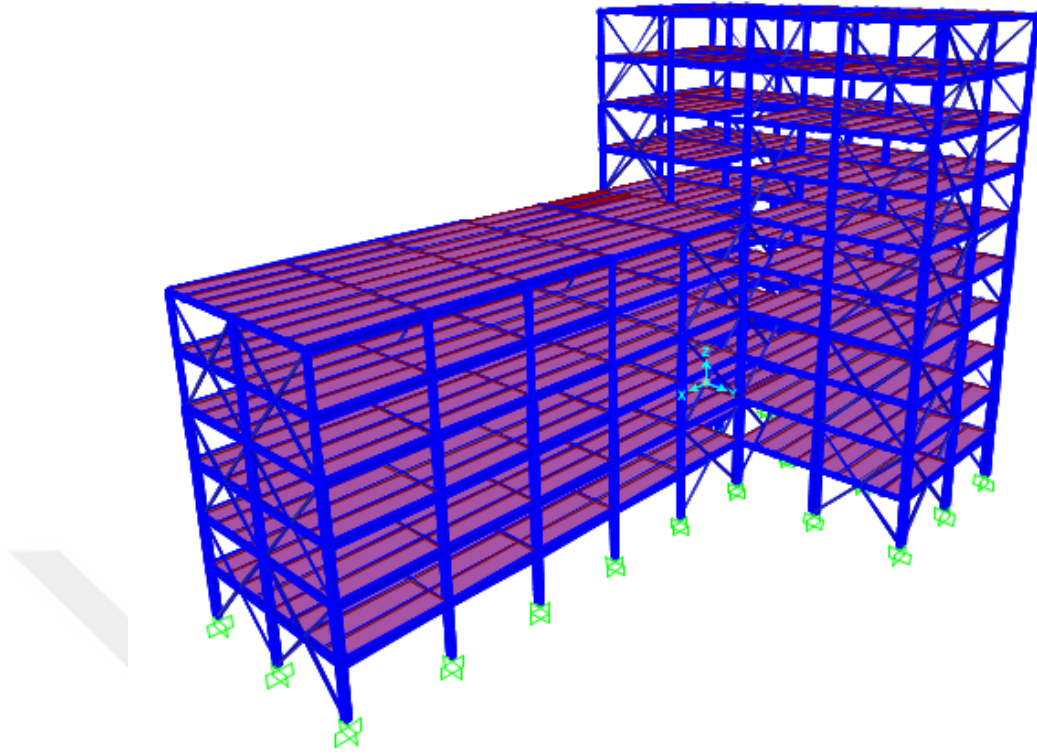


— Çaprazlı çerçeve

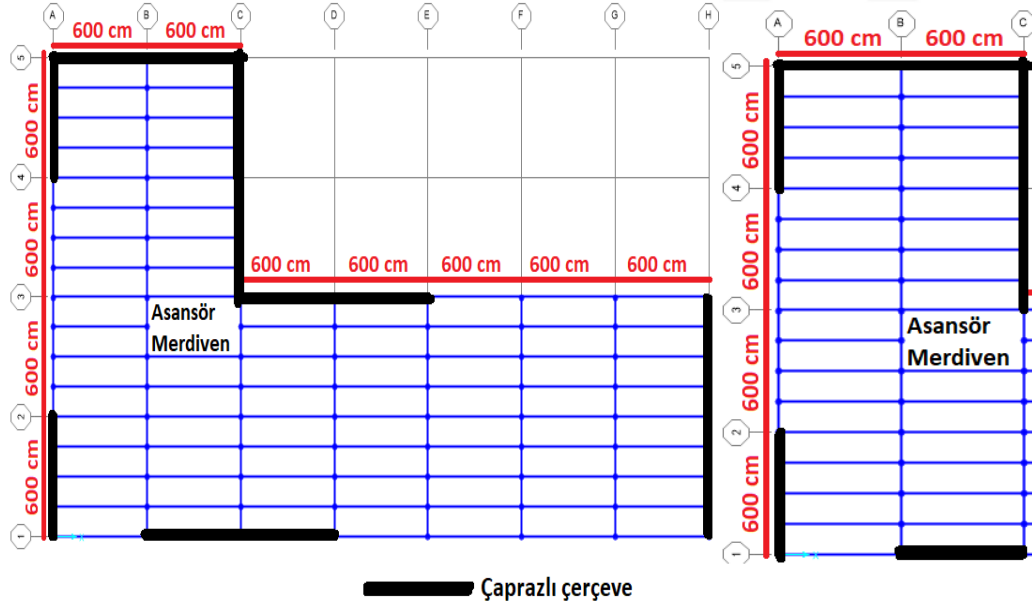
(a)

(b)

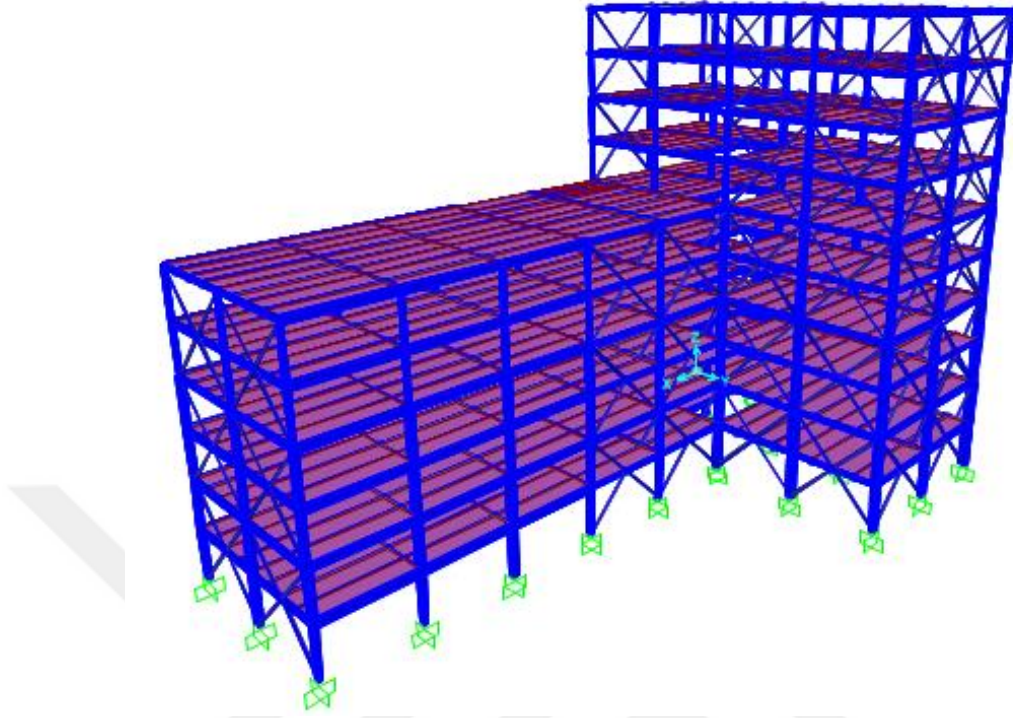
Şekil 2.9 (a) Ref2-T1 1. ve 6. katlar arası kat planları (b) Ref2-T1 7. ve 10. katlar arası kat planları



Şekil 2.10 Ref2-T1 3d görünüm



Şekil 2.11 (a) Ref2-T2 1. ve 6. katlar arası kat planları (b) Ref2-T2 7. ve 10. katlar arası kat planları



Şekil 2.12 Ref2-T2 3d görünüm

Bütün modellerde kolon ve kiriş elemanlar için HEB, HEA profilleri, çapraz elemanlar için ise boru profiller kullanılmıştır. İncelenen modellerde kolonlar ve çaprazlar için kullanılan profil kesitleri Tablo 2.1, Tablo 2.2, Tablo 2.3, Tablo 2.4 ve Tablo 2.5 te verilmektedir. Her modelde kolon profilleri iki katta bir değiştirilmiştir. Türev modellerde çapraz elemanlar için kullanılan profiller, her katta düşey ve yatay yükler nedeniyle etkiyen kesit tesirleri altında, eleman kapasitesini büyük oranda kullanacak şekilde optimize edilerek seçilmiştir. Ref2-T1 ve Ref2-T2 modellerinde, Tablo 2.4 ve Tablo 2.5’ te görüldüğü gibi, aynı kat içinde, isimleri verilen akslarda etkiyen yüklerden dolayı çapraz eleman kesitleri değiştirilmiştir. Tüm modellerde tali kirişler için IPE 270 profili, iki ucundan mafsallı bağlanan kirişler için IPE 400 profili kullanılmıştır. Ref1 modelinde ana taşıyıcı kirişler için HEA500 ve Ref2 modelinde ise HEA450 profili kullanılmıştır. Çaprazlı çerçevelerden oluşturulan bütün türev modellerde ise HEA220 profili kullanılmıştır. Tüm modellerde 1,5 m aralıklar ile oluşturulan tali kirişler ana taşıyıcı kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Kirişlerin kolonlara bağlantısı, güçlü eksenlerde rijit, zayıf eksenlerde mafsallı olarak

modellenmiştir. Kolonlar temele her iki yönde rijit olarak bağlanmıştır. Çapraz elemanların kolon ve kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Modellerin yapısal analizlerinde döşemeler kabuk elemanlar ile modellenmiş olup yükler döşemelere etkilmiştir. Modellerde merdiven boşlukları bırakılmıştır. İncelenen modellerin plandaki simetrik olmayan geometrilerinden dolayı modellerde herhangi bir diyafram varsayımı yapılmayarak, bütün yapısal modeller diyaframsız olarak analiz edilmiştir. Bütün modellerde kolonlar için S355, kiriş ve çapraz elemanlar için S275 çelik sınıfı malzeme kullanılmıştır.

Tablo 2.1 Ref1 ve türev modellerinde kullanılan kolon profilleri

Kat	Kolon Profilleri				
	Ref1	Ref1-T1	Ref1-T2	Ref1-T1v2	Ref1-T2v2
10	HEB550	HEB220	HEB220	HEB220	HEB220
9	HEB550	HEB220	HEB220	HEB220	HEB220
8	HEB600	HEB300	HEB300	HEB280	HEB280
7	HEB600	HEB300	HEB300	HEB280	HEB280
6	HEB650	HEB400	HEB400	HEB360	HEB360
5	HEB650	HEB400	HEB400	HEB360	HEB360
4	HEB700	HEB500	HEB500	HEB450	HEB450
3	HEB700	HEB500	HEB500	HEB450	HEB450
2	HEB800	HEB650	HEB650	HEB550	HEB550
1	HEB800	HEB650	HEB650	HEB550	HEB550

Tablo 2.2 Ref2 ve türev modellerinde kullanılan kolon profilleri

Kat	Ref2		Ref2-T1		Ref2-T2	
	10 katlı	6 katlı	10 katlı	6 katlı	10 katlı	6 katlı
10	HEB400		HEB200		HEB200	
9	HEB400		HEB200		HEB200	
8	HEB450		HEB260		HEB260	
7	HEB450		HEB260		HEB260	
6	HEB550	HEB400	HEB360	HEB220	HEB360	HEB220
5	HEB550	HEB400	HEB360	HEB220	HEB360	HEB220
4	HEB650	HEB500	HEB450	HEB340	HEB450	HEB340
3	HEB650	HEB500	HEB450	HEB340	HEB450	HEB340
2	HEB700	HEB600	HEB550	HEB400	HEB550	HEB400
1	HEB700	HEB600	HEB550	HEB400	HEB550	HEB400

Tablo 2.3 Ref1 türev modellerinde kullanılan çapraz profilleri

Kat	Çapraz Profileri
10	114 * 8
9	127 * 8
8	133 * 8
7	139,7 * 10
6	152 * 10
5	159 * 10
4	159 * 10
3	168,3 * 10
2	168,3 * 12
1	168,3 * 12

Tablo 2.4 Ref2-T1 modelinde kullanılan çapraz profilleri

Kat	apraz Profilleri				
	X yönü			Y yönü	
	10 katlı	6 katlı	3 / C-D aksı	10 katlı	6 katlı
10	127 * 8			114,3 * 6	
9	133 * 8			114,3 * 8	
8	139,7 * 10			127 * 8	
7	152 * 10			133 * 8	
6	152 * 10	114,3 * 8	152 * 10	139,7 * 10	114,3 * 8
5	152 * 10	127 * 8	152 * 10	152 * 10	127 * 8
4	159 * 10	133 * 8	152 * 10	159 * 10	133 * 8
3	159 * 10	139,7 * 10	159 * 10	159 * 10	139,7 * 10
2	168,3 * 10	159 * 10	159 * 10	168,3 * 10	159 * 10
1	168,3 * 10	159 * 10	168,3 * 10	168,3 * 10	159 * 10

Tablo 2.5 Ref2-T2 modelinde kullanılan çapraz profilleri

Kat	Çapraz Profilleri					
	X yönü				Y yönü	
	10 katlı	6 katlı	1 / B - C aksı	1 / C - D aksı	10 katlı	6 katlı
10	114,3 * 8		139,7 * 10		114,3 * 6	
9	127 * 8		152 * 10		114,3 * 8	
8	133 * 8		168,3 * 10		127 * 8	
7	139,7 * 10		168,3 * 10		133 * 8	
6	152 * 10	133 * 8	152 * 10	152 * 10	139,7 * 10	114,3 * 8
5	152 * 10	139,7 * 10	152 * 10	152 * 10	152 * 10	127 * 8
4	159 * 10	152 * 10	159 * 10	152 * 10	159 * 10	133 * 8
3	159 * 10	159 * 10	159 * 10	159 * 10	159 * 10	139,7 * 10
2	168,3 * 10	159 * 10	168,3 * 10	159 * 10	168,3 * 10	152 * 10
1	168,3 * 10	168,3 * 10	168,3 * 10	168,3 * 10	168,3 * 10	159 * 10

2.2 Yükler

2.2.1 Sabit ve Hareketli Yükler

Çalışma kapsamında incelenen bütün modellerde sabit ve hareketli yükler için ‘‘TS-498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri’’ standardı kullanılmıştır. Normal kat döşemesi ve çatı katı döşemesine gelen sabit ve hareketli yükler sırasıyla Tablo 2.6 ve Tablo 2.7 de verilmektedir. Taşıyıcı sistem ağırlığı Sap2000 programı ile hesaplanıp yüklere ilave edilmiştir. Tüm modeller için normal katlarda dış duvar yükü 3,6 kN/m, çatı katında 2 kN/m olarak alınmıştır. Yine tüm modeller için kar yükü 1 kN/m² olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 2.6 Normal kat döşemesi yükleri

Yük	Ağırlık (kN/m ²)
Kaplama	0,5
Trapez sac + betonarme döşeme	3,1
Asma tavan + tesisat	0,5
Bölme duvarlar	1
Toplam sabit yük	5,1
Hareketli yük	2

Tablo 2.7 Çatı Döşemesi yükleri

Yük	Ağırlık (kN/m ²)
Kaplama	0,5
Trapez sac + betonarme döşeme	3,1
Asma tavan + tesisat	0,5
izolasyon	0,4
Toplam sabit yük	4,5
Hareketli yük	1

2.2.2 Rüzgar Yükleri

Çelik binaların rüzgar yükleri TS EN 1991-1-4 yönetmeliği kullanılarak hesaplanmıştır. Yapıların arazi kategorisi TS EN 1991-1-4 Çizelge (4.1) e göre IV olarak varsayılmış olup, bu kategoriye ait arazi parametreleri için $z_0 = 1.0$ m ve $z_{min} = 10$ m olarak alınmıştır.

Ref1 ve türev modellerde (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2) yerden yükseklik, $z = 30$ m olduğundan, TS EN 1991-1-4 Denk 4.5 ve Denk 4.6 verilen sırasıyla arazi katsayısı, k_r ve engebелilik katsayısı $c_r(z)$, $z_{0,II} = 0,05$ olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$z_{\min} = 10 \text{ m} < 30 < z_{\max} = 200 \text{ m}$$

$$k_r = 0,234$$

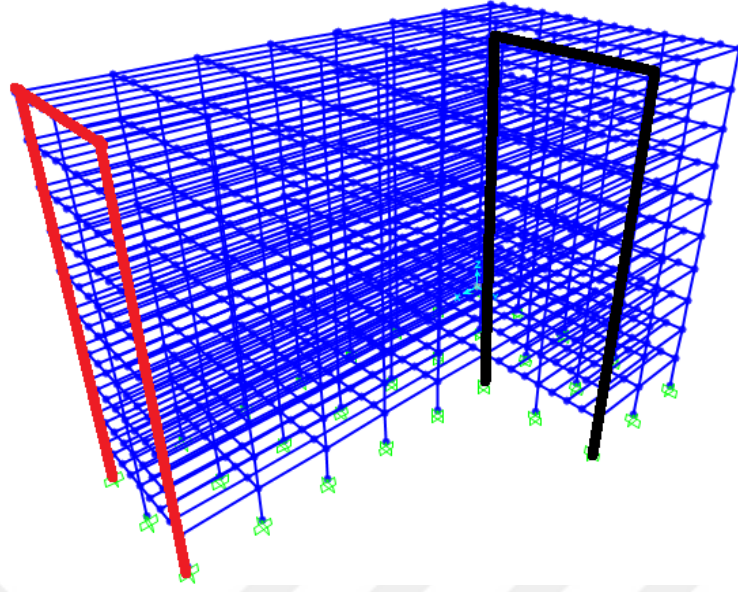
$$c_r(z) = 0,795$$

Hesaplanan bu değerler TS EN 1991-1-4 Denk 4.3' te yerine yazıldığında, 30 m yükseklik için rüzgar hızı $V_m(z) = 22,26 \text{ m/sn}$ olarak hesaplanmıştır. TS EN 1991-1-4 Denk 4.7 ile 30 metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$ ise 0.294 olmak üzere, TS EN 1991-1-4 Denk 4.8' de verilen tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı, $q_p(z) = 0,947 \text{ kN/ m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

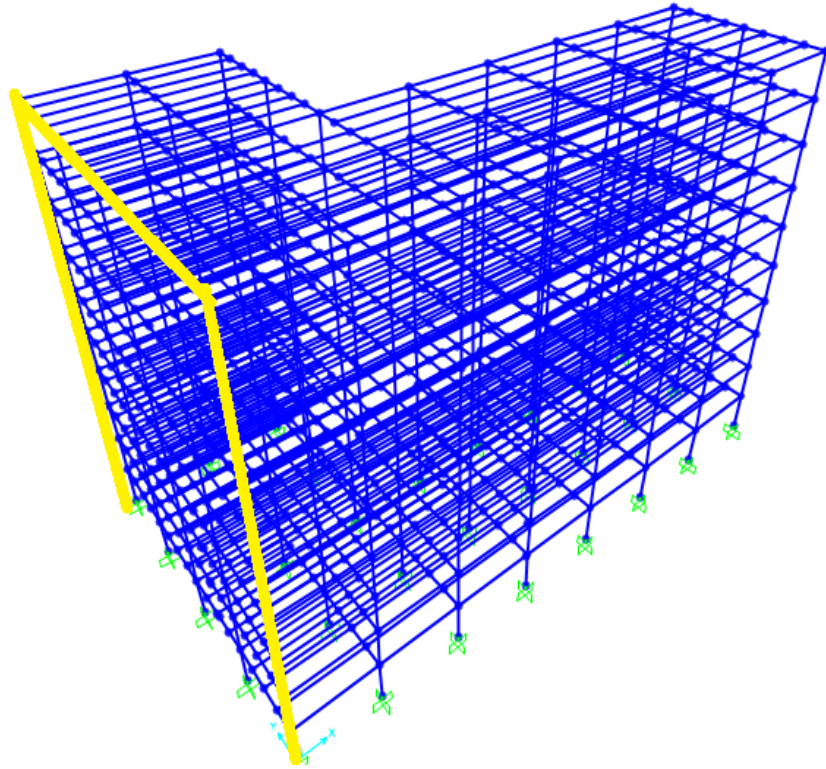
Bina cephelerine etkiyen dış ve iç rüzgar basınçları sırasıyla TS EN 1991-1-4 de Denk 5.1 ve Denk 5.2 ile verilmektedir. Yüzeylere etkiyen net rüzgar basıncı Denk 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$w = q(z) \times C_{pnet} \quad (2.1)$$

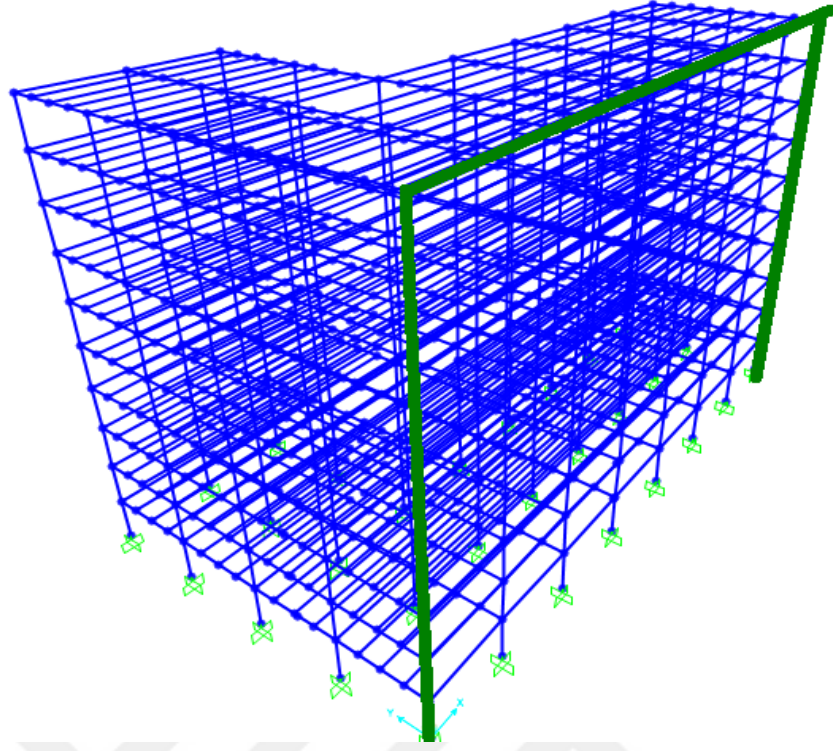
Rüzgar basıncının hesaplanması için, TS EN 1991-1-4 7.2.2 ' de verilen rüzgar etkime bölgelerinde kullanılmak üzere TS EN 1991-1-4 Çizelge 7.1 ile dış basınç katsayısı, C_{pe} ve iç basınç katsayısı C_{pi} , rüzgarın binaya etkime bölgelerine göre değişen h ve d boyutlarına bağlı olarak belirlenir. İç basınç katsayıları, TS EN 1991-1-4 7.2.9 da tavsiye edilen değerler olarak +0.2 ve -0.3 katsayılarından en elverişsiz durumu oluşturan değerler alınmıştır. İncelenen çelik binaların geometrilerinden dolayı x ve y doğrultuları için zıt yönlerde farklı ölçülerde bina cephelerine rüzgar basıncı etkimektedir. Burada izlenilen yol, modellerin her iki doğrultusunda, en büyük rüzgar kuvvetlerinin meydana geldiği cepheler dikkate alınmıştır. Refl ve türev modelleri için Şekil 2.13 te gösterildiği gibi x doğrultusunda 1.durumda etkiyen rüzgar, binanın kırmızı ve siyah çerçeveler ile belirtilen cephelerine etkimektedir. Şekil 2.14' te ise 2.durumda binaya yine x doğrultusunda etkiyen rüzgar, binanın sarı çerçeve ile belirtilen cephesine etkimektedir. Y doğrultusunda zıt yönlerde etkiyen rüzgar basıncı için hesap yapıldığında Şekil 2.15' te gösterildiği gibi yeşil çerçeve ile gösterilen binanın 7 açıklıklı cephesinde daha büyük rüzgar kuvvetleri oluşmaktadır.



Şekil 2.13 Ref1 modeli x doğrultusu için 1.durumda rüzgar basıncı etkiyen cepheler



Şekil 2.14 Ref1 modeli x doğrultusu için 2.durumda rüzgar basıncı etkiyen cephe



Şekil 2.15 Ref1 modeli y doğrultusu için rüzgar basıncı etkiyen cephe

Şekil 2.13' te kırmızı çerçeve ile belirtilen cepheye etkiyen rüzgar basıncı için, $b=12$ m, $d=30$ m, $h = 30$ m için h/d oranı için; $0,25 < 30 / 30 = 1 \leq 1$ olarak elde edildiğinden ve cephede üniform yayılı olmayan rüzgar yükü oluşacak olup ($h = 30$ m $> 2 \times 12 = 24$ m), 15 m, 18 m, 21 m, ve 24 m yükseklik için de rüzgar yükleri hesaplanacaktır. Dış basınç katsayısı c_{pe} rüzgar yaklaşma yönünde 0.8, rüzgar uzaklaşma yönünde -0.5 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde siyah çerçeve için ise, $b = 12$ m, $d = 12$ m, $h = 30$ m olmak üzere h/d oranı;

$1 < 30 / 12 = 2,5 \leq 5$ olarak elde edilmiştir.

Bu nedenle cephede üniform yayılı olmayan rüzgar yükü oluşmaktadır ($h = 30$ m $> 2 \times 12 = 24$ m). Bu nedenle 15 m, 18 m, 21 m, ve 24 m yükseklik için de rüzgar yükleri hesaplanacaktır. Dış basınç katsayısı c_{pe} , rüzgar yaklaşma yönünde 0.8, rüzgar uzaklaşma yönünde -0.7 olarak belirlenmiştir. Şekil 2.16 da verilen şekilde, sarı çerçeveli cepheye etkiyen rüzgar basıncı için boyutlar; $b = 24$ m, $d = 12$ m $h = 30$ m olarak alınıp h/d oranı;

$1 < 30 / 12 = 2,5 \leq 5$ olarak elde edilip, üniform yayılı rüzgar yükü oluşmaktadır.

Dış basınç katsayısı c_{pe} rüzgar yaklaşma yönünde 0.8 rüzgar uzaklaşma yönünde -0.7 olarak belirlenmiştir. Şekil 2.17 de, yeşil çerçeve ile belirtilen cephe için $b = 12$ m, $d = 12$ m, $h = 30$ m olarak boyutlar alınıp h/d oranı; $1 < 30 / 12 = 2,5 \leq 5$ olarak elde edilip, dış basınç katsayısı c_{pe} rüzgar yaklaşma yönünde 0.8, rüzgar uzaklaşma yönünde -0.7 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen katsayılar doğrultusunda belirtilen çerçevelere etkiyen rüzgar basınçları Tablo 2.8, Tablo 2.9 ve Tablo 2.10' da verilmektedir.

Tablo 2.8 Refl ve türev modellerine x doğrultusu için 1.durumda etkiyen rüzgar kuvvetleri

Kat	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	Kırmızı Çerçeve (kN)	Siyah Çerçeve (kN)
10	3	12	44,36	51,19
9	3	12	44,36	51,19
8	3	12	40,64	46,89
7	3	12	38,32	44,22
6	3	12	35,89	41,41
5	3	12	33,04	38,12
4	3	12	29,60	34,15
3	3	12	29,60	34,15
2	3	12	29,60	34,15
1	3	12	29,60	34,15
Toplam			355,01	409,62
Taban kesme kuvveti			355,01+ 409,62 = 764, 63 kN	

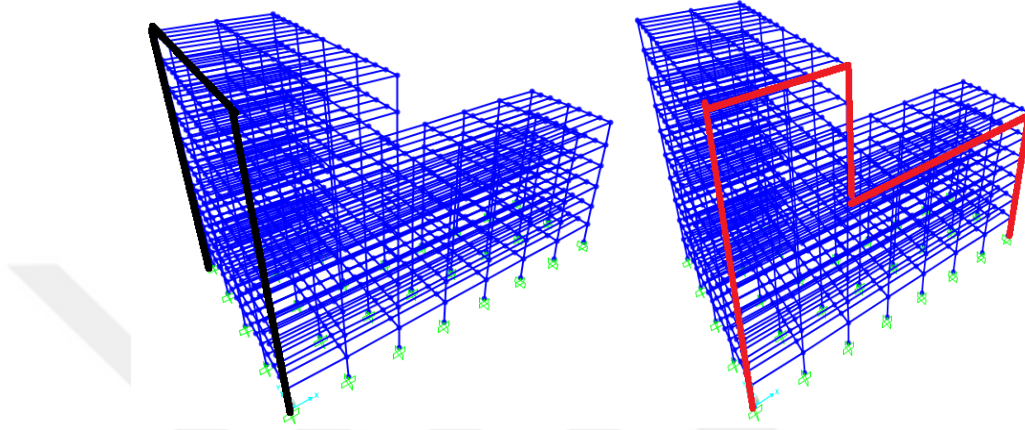
Tablo 2.9 Ref1 ve türev modellerine x doğrultusu için 2.durumda etkiyen rüzgar kuvvetleri

Kat	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	Sarı Çerçeve (kN)
10	3	24	102,38
9	3	24	102,38
8	3	24	102,38
7	3	24	102,38
6	3	24	102,38
5	3	24	102,38
4	3	24	102,38
3	3	24	102,38
2	3	24	102,38
1	3	24	102,38
Toplam (taban kesme kuvveti)			1023,8

Tablo 2.10 Y doğrultusu rüzgar kuvvetleri

Kat	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	Yeşil çerçeve (kN)
10	3	42	179,17
9	3	42	179,17
8	3	42	179,17
7	3	42	179,17
6	3	42	179,17
5	3	42	179,17
4	3	42	179,17
3	3	42	179,17
2	3	42	179,17
1	3	42	179,17
Toplam (taban kesme kuvveti)			1791,7

Ref2 ve türev modellerinde (Ref2-T1 ve Ref2-T2) oluşan rüzgar kuvvetleri için x ve y doğrultularında en büyük rüzgar kuvvetlerinin olduğu cepheler dikkate alınmıştır. Şekil 2.16 da Ref2 modeli için x doğrultusunda ve y doğrultusunda dikkat alınan cepheler sırasıyla siyah çerçeve ve kırmızı çerçeve belirtilmiştir. Ref2 ve türev modelleri için hesaplanan deprem kuvvetleri Tablo 2.11 de verilmektedir.



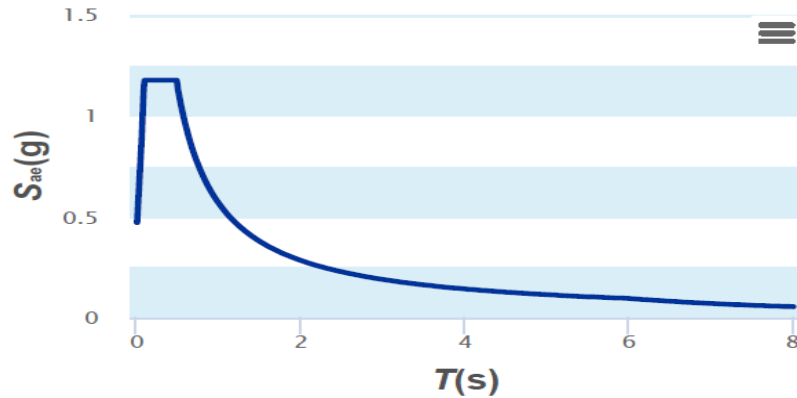
Şekil 2.16 (a) Ref2 x doğrultusunda rüzgar yükü etkiyen cephe, (b) Ref2 y doğrultusu rüzgar yükü etkiyen cephe

Tablo 2.11 Ref2 ve türev modellerine etkiyen rüzgar kuvvetleri

Kat	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	X doğrultusu (siyah çerçeve) kN	Y doğrultusu (kırmızı çerçeve) kN
10	3	12	102,38	44,36
9	3	12	102,38	44,36
8	3	12	102,38	44,36
7	3	12	102,38	44,36
6	3	12	102,38	144,96
5	3	12	102,38	144,96
4	3	12	102,38	144,96
3	3	12	102,38	144,96
2	3	12	102,38	144,96
1	3	12	102,38	144,96
Toplam			1023,8	1047,2

2.2.3 Deprem Karakteristikleri

Deprem yükü hesaplarında, TBDY Bölüm 4.8 de detayları verilen doğrusal deprem hesabı yöntemi olan mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması için gereken tepki spektrumu TBDY Bölüm 3.3.3 dikkate alınarak oluşturulmuştur. Binaların İzmir ili, Bayraklı ilçesinde 38.45368 Enlem ve 27.17664 Boylamında yer alacağı varsayılarak zemin sınıfı ZD olarak seçilmiş olup, yerel zemin sınıfı için spektral ivme değerleri AFAD tarafından hazırlanan web sitesinden elde edilmiştir (Şekil 2.17). Sırasıyla Tablo 2.12 ve Tablo 2.13’ te binaların inşa edileceği konuma ait AFAD web uygulamasından elde edilen veriler ve deprem hesabı parametreleri verilmektedir. Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen deprem yükü, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan deprem kuvveti ile karşılaştırılarak, TBDY Bölüm 4.8.4 de verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı ile büyütülmüştür. Bölüm 4.8.4’ e göre büyütme katsayısının, A1 türü düzensizlik içeren binalarda 0,90 alınması gerekir. Bu çalışmada deprem kuvveti büyütme katsayısı, güvenli tarafta kalmak adına 0,95 olarak alınmıştır. Deprem hesaplarında düşey deprem etkisi, TBDY Bölüm 4.4.3.1’ de verilen elemanların hiçbirisi çalışma kapsamında incelenen binalarda olmadığı için, özel bir hesap yapılmaksızın TBDY Bölüm 4.4.3.2’ de verilen Denk 4.10 ile hesaplanmış olup, yük kombinasyonlarında sabit yük terimi ile birleştirilmiştir. İncelenen çelik binalar için performans hedefi; normal performans hedefi, kontrollü hasar (KH) ve değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarım olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.17 Yatay elastik tasarım spektrumu

Tablo 2.12 Zemin etki katsayısı ve spektral ivme değerleri

Yerel zemin sınıfı	ZD
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1.116
1.0 saniye periyot için harita spektral ivmesi (S_1)	0.275
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})	1.176
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivmesi (S_{D1})	0.564
Yerel zemin etki katsayısı (F_s)	1.05
Yerel zemin etki katsayısı (F_1)	2.05
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı – DD3 (S_{DS})	0,610
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivmesi – DD3 (S_{D1})	0.249
PGA = 0.455 PGV = 27.682	
$T_A = 0,0959$ sn $T_B = 0,479$ sn $T_L = 6$ sn	

Tablo 2.13 Deprem hesabı parametreleri

Veriler	Ref1 Ref2	Çaprazlı modeller
Bina kullanım sınıfı - BKS (TBDY Tablo 3.1)	3	3
Bina Önem Katsayısı - I (TBDY Tablo 3.1)	1	1
Deprem Tasarım Sınıfı - DTS (TBDY Tablo 3.2)	DTS-1	DTS-1
Deprem Yer Hareketi Düzeyi (TBDY Tablo 3.4)	DD-2	DD-2
Bina Yükseklik Sınıfı – BYS (TBDY Tablo 3.3)	4	4
Deprem yükü azaltma katsayısı (TBDY Tablo 4.1)	8	5
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (TBDY Tablo 4.1)	3	2
Performans hedefi (TBDY Tablo 3.4 a)	Normal performans ve KH	
Tasarım yaklaşımı (TBDY Tablo 3.4 a)	Dayanıma göre tasarım	

2.2.3.1 Düzensizlik Kontrolleri

2.2.3.1.1 A1 türü burulma düzensizliği kontrolü : Burulma düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta aynı doğrultu için hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesinin ortalama görelî kat ötelemesine oranını ifade eden ' ρ_{bi} ' katsayısının 1,2' den büyük olması ile oluşan düzensizlik durumudur. Mod birleştirme yöntemi ile elde edilen deprem kuvvetleri altında yapılan yapısal sistem analizleri ile her kat için hesaplanan ' ρ_{bi} ' katsayıları x ve y yönü için olmak üzere bütün modeller için Tablo 2.14' ten Tablo 2.21' e kadar olan tablolarda verilmektedir. Katların yerdeğiştirme değerleri, taşıyıcı sistem elemanların kesit boyutlandırma hesapları yapıldıktan sonra yapılan yapısal analizler sonucunda elde edilmiştir.

Tablo 2.14 Ref1 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(x)}$	$(\Delta_i^{(y)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(y)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(y)}$	Koşul
10	0,0015	0,0014	1,021	0,0019	0,0015	1,289	1,2
9	0,0023	0,0023	1,012	0,0030	0,0023	1,286	1,2
8	0,0031	0,0030	1,014	0,0039	0,0031	1,283	1,2
7	0,0038	0,0037	1,018	0,0048	0,0037	1,291	1,2
6	0,0043	0,0042	1,017	0,0055	0,0042	1,291	1,2
5	0,0049	0,0048	1,019	0,0062	0,0048	1,296	1,2
4	0,0051	0,0050	1,027	0,0065	0,0050	1,302	1,2
3	0,0052	0,0051	1,024	0,0067	0,0051	1,316	1,2
2	0,0045	0,0043	1,029	0,0058	0,0044	1,329	1,2
1	0,0024	0,0023	1,039	0,0031	0,0023	1,346	1,2

Tablo 2.15 Ref1-T1 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	($\Delta_i^{(x)}$)_{max} (m)	($\Delta_i^{(x)}$)_{ort} (m)	$p_{bi}^{(x)}$	($\Delta_i^{(Y)}$)_{max} (m)	($\Delta_i^{(Y)}$)_{ort} (m)	$p_{bi}^{(y)}$	Koşul
10	0,0051	0,0046	1,099	0,0068	0,0053	1,278	1,2
9	0,0061	0,0056	1,090	0,0079	0,0063	1,270	1,2
8	0,0062	0,0057	1,090	0,0082	0,0064	1,273	1,2
7	0,0061	0,0056	1,089	0,0080	0,0062	1,281	1,2
6	0,0059	0,0054	1,089	0,0079	0,0062	1,286	1,2
5	0,0056	0,0052	1,085	0,0075	0,0058	1,293	1,2
4	0,0055	0,0050	1,084	0,0075	0,0058	1,300	1,2
3	0,0047	0,0044	1,078	0,0064	0,0049	1,305	1,2
2	0,0041	0,0038	1,075	0,0055	0,0043	1,294	1,2
1	0,0022	0,0020	1,071	0,0029	0,0023	1,228	1,2

Tablo 2.16 Ref1-T2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	($\Delta_i^{(x)}$)_{max} (m)	($\Delta_i^{(x)}$)_{ort} (m)	$p_{bi}^{(x)}$	($\Delta_i^{(Y)}$)_{max} (m)	($\Delta_i^{(Y)}$)_{ort} (m)	$p_{bi}^{(y)}$	Koşul
10	0,0057	0,0052	1,095	0,0061	0,0037	1,629	1,2
9	0,0068	0,0062	1,092	0,0070	0,0047	1,484	1,2
8	0,0069	0,0063	1,100	0,0073	0,0049	1,470	1,2
7	0,0066	0,0061	1,090	0,0070	0,0049	1,440	1,2
6	0,0064	0,0059	1,092	0,0070	0,0049	1,438	1,2
5	0,0057	0,0055	1,031	0,0065	0,0047	1,375	1,2

Tablo 2.16 devamı

4	0,0060	0,0054	1,083	0,0065	0,0048	1,358	1,2
3	0,0058	0,0046	1,074	0,0055	0,0043	1,274	1,2
2	0,0050	0,0040	1,068	0,0048	0,0038	1,262	1,2
1	0,0042	0,0020	1,078	0,0027	0,0023	1,169	1,2

Tablo 2.17 Ref1-T1v2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(x)}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(Y)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(Y)}$	Koşul
10	0,0052	0,0047	1,099	0,0069	0,0055	1,269	1,2
9	0,0062	0,0057	1,091	0,0080	0,0063	1,261	1,2
8	0,0063	0,0058	1,091	0,0083	0,0066	1,262	1,2
7	0,0061	0,0056	1,089	0,0080	0,0063	1,270	1,2
6	0,0059	0,0054	1,09	0,0079	0,0062	1,276	1,2
5	0,0056	0,0052	1,086	0,0074	0,0058	1,284	1,2
4	0,0055	0,0050	1,085	0,0074	0,0058	1,291	1,2
3	0,0047	0,0043	1,079	0,0064	0,0049	1,301	1,2
2	0,0041	0,0038	1,075	0,0056	0,0043	1,299	1,2
1	0,0022	0,0021	1,069	0,0030	0,0024	1,244	1,2

Tablo 2.18 Ref1-T2v2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(x)}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(Y)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(Y)}$	Koşul
10	0,0059	0,0054	1,100	0,0062	0,0038	1,639	1,2
9	0,0069	0,0063	1,096	0,0071	0,0047	1,501	1,2
8	0,0070	0,0064	1,103	0,0075	0,0050	1,479	1,2
7	0,0067	0,0061	1,094	0,0071	0,0049	1,452	1,2
6	0,0065	0,0059	1,096	0,0071	0,0049	1,455	1,2
5	0,0060	0,0055	1,088	0,0066	0,0047	1,390	1,2
4	0,0058	0,0054	1,086	0,0066	0,0048	1,374	1,2
3	0,0049	0,0046	1,077	0,0055	0,0043	1,286	1,2
2	0,0043	0,0040	1,071	0,0049	0,0039	1,272	1,2
1	0,0023	0,0021	1,079	0,0027	0,0024	1,150	1,2

Tablo 2.19 Ref2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(x)}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(Y)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(Y)}$	Koşul
10	0,0027	0,0026	1,023	0,0025	0,0022	1,103	1,2
9	0,0042	0,0042	1,009	0,0041	0,0038	1,088	1,2
8	0,0051	0,0049	1,033	0,0048	0,0047	1,030	1,2
7	0,0055	0,0051	1,076	0,0058	0,0053	1,092	1,2
6	0,0048	0,0043	1,100	0,0061	0,0037	1,668	1,2
5	0,0054	0,0050	1,041	0,0069	0,0046	1,502	1,2

Tablo 2.19 devamı

4	0,0056	0,0052	1,036	0,0071	0,0050	1,434	1,2
3	0,0049	0,0055	1,023	0,0073	0,0053	1,371	1,2
2	0,0026	0,0048	1,017	0,0065	0,0048	1,350	1,2
1	0,0054	0,0026	1,008	0,0035	0,0027	1,314	1,2

Tablo 2.20 Ref2-T1 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(x)}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(Y)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(Y)}$	Koşul
10	0,0062	0,0061	1,008	0,0073	0,0062	1,182	1,2
9	0,0074	0,0074	1,005	0,0080	0,0068	1,174	1,2
8	0,0070	0,0070	1,001	0,0082	0,0070	1,176	1,2
7	0,0066	0,0065	1,009	0,0080	0,0068	1,174	1,2
6	0,0055	0,0051	1,092	0,0076	0,0046	1,638	1,2
5	0,0051	0,0050	1,031	0,0067	0,0047	1,446	1,2
4	0,0050	0,0049	1,013	0,0066	0,0047	1,404	1,2
3	0,0044	0,0044	1,003	0,0054	0,0041	1,308	1,2
2	0,0042	0,0042	1,003	0,0050	0,0040	1,272	1,2
1	0,0025	0,0025	1,026	0,0028	0,0025	1,099	1,2

Tablo 2.21 Ref2-T2 modeli A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat	$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(x)}$	$(\Delta_i^{(y)})_{\max}$ (m)	$(\Delta_i^{(y)})_{\text{ort}}$ (m)	$\rho_{bi}^{(y)}$	Koşul
10	0,0090	0,0059	1,533	0,0056	0,0051	1,102	1,2
9	0,0105	0,0071	1,474	0,0065	0,0058	1,104	1,2
8	0,0102	0,0071	1,444	0,0068	0,0062	1,101	1,2
7	0,0088	0,0063	1,400	0,0069	0,0062	1,113	1,2
6	0,0049	0,0041	1,207	0,0063	0,0042	1,511	1,2
5	0,0048	0,0041	1,160	0,0060	0,0044	1,369	1,2
4	0,0047	0,0041	1,149	0,0059	0,0044	1,328	1,2
3	0,0046	0,0040	1,135	0,0053	0,0041	1,289	1,2
2	0,0046	0,0040	1,128	0,0050	0,0040	1,242	1,2
1	0,0028	0,0026	1,095	0,0031	0,0027	1,175	1,2

Çelik binaların burulma düzensizliği kontrolleri için yukarıdaki tablolar incelendiğinde, Ref1 ve türev modellerinde x yönündeki burulma düzensizliği katsayıları sınır değer olan 1.2' nin altında kalırken, y yönünde burulma düzensizliği katsayıları 1.2' den büyük çıkmaktadır yani Ref1 ve türev modellerde y yönünde burulma düzensizliği vardır. Ref2 ve türev modelleri içinse, Ref2 ve Ref2-T1 modellerinde yine x yönünde burulma düzensizliği oluşmazken, y yönünde burulma düzensizliği oluşmaktadır. Ref2-T2 modelinde ise x yönünde 6. ve 10.katlar arasında, y yönünde ise 2. ve 6.katlar arasında burulma düzensizliği katsayısı değerleri sınır değeri geçmekte ve burulma düzensizliği oluşmaktadır. TBDY madde 3.6.2.1' de belirtildiği gibi A1 ve B2 türü düzensizlikler deprem yükü hesap yönteminin seçiminde etken olan düzensizliklerdir.

2.2.3.1.2 B2 türü rijitlik düzensizliği kontrolü : Binalarda rijitlik düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir katta hesaplanan ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst ve ya bir alt katta hesaplanan ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı ρ_{ki} ’nin 2’den büyük olması durumunda oluşan düzensizlik durumudur. Tablo 2.22 ve Tablo 2.23’te her iki doğrultu için yapılan hesaplarda en büyük değerlerin elde edildiği doğrultudaki sonuçlar verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde hiçbir modelde rijitlik düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 2.22 Ref1 ve türev modelleri için B2 türü rijitlik düzensizliği kontrolü

	Ref1		Ref1-T1		Ref1-T2		Ref1-T1v2		Ref1-T2v2	
Kat	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y
10	0,83	0,64	0,83	0,85	0,84	0,79	0,84	0,86	0,85	0,86
9	0,98	0,77	0,98	0,97	0,98	0,95	0,98	0,97	0,98	0,97
8	1,02	0,82	1,02	1,04	1,03	1,02	1,03	1,05	1,04	1,05
7	1,03	0,88	1,03	1,01	1,04	1,00	1,03	1,02	1,04	1,02
6	1,05	0,89	1,05	1,06	1,06	1,03	1,05	1,07	1,07	1,07
5	1,02	0,95	1,02	1,00	1,03	0,98	1,02	1,00	1,03	1,00
4	1,16	0,99	1,16	1,17	1,16	1,11	1,16	1,18	1,17	1,18
3	1,15	1,17	1,15	1,16	1,17	1,13	1,13	1,13	1,15	1,13
2	1,88	1,86	1,88	1,82	1,93	1,66	1,85	1,79	1,91	1,79
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 2.23 Ref2 ve türev modelleri için B2 türü rijitlik düzensizliği kontrolü

	Ref2		Ref2-T1		Ref2-T2	
KAT	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y	ρ_{ki}^X	ρ_{ki}^Y
10	1,58	1,69	0,83	0,91	0,82	0,87
9	1,18	1,24	1,04	0,97	1,02	0,94
8	1,04	1,14	1,07	1,02	1,12	0,98
7	0,85	0,69	1,28	1,47	1,54	1,48
6	1,15	1,26	1,02	0,99	0,99	0,95
5	1,05	1,08	1,01	0,99	0,99	0,98
4	1,05	1,07	1,10	1,13	1,02	1,08
3	0,88	0,90	1,05	1,04	0,99	1,02
2	1,84	1,76	1,70	1,58	1,56	1,51
1	-	-	-	-	-	-

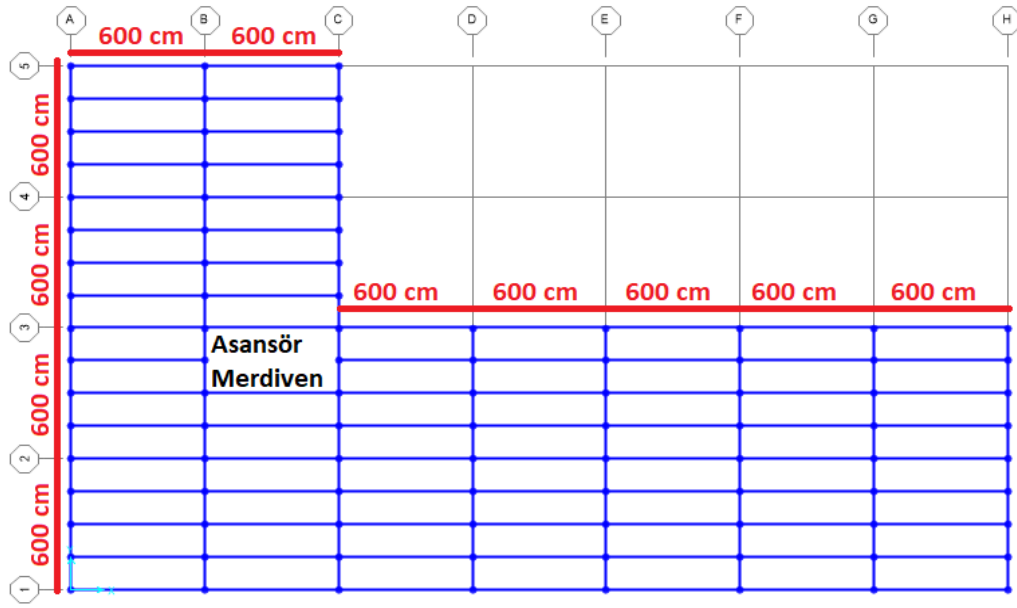
2.2.3.1.3 A2, B1 ve B3 türü düzensizliklerin kontrolü : Binaların herhangi bir katında merdiven ve asansör boşlukları dahil olmak üzere boşluk alanları toplamı kat brüt alanın 1/3' ünden fazla olmaması ve döşeme düzlem içi rijitliğinde ani azalmaların olmamasından dolayı A2 türü düzensizlik yoktur. B1 türü komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) çelik yapılarda geçerli değildir. B3 türü taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği durumu da incelenen binalarda yoktur.

2.2.3.1.4 A3 türü düzensizlik kontrolü : Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının % 20' sinden daha büyük olma durumudur.

Şekil 2.18’ de verilen kat planında görüldüğü gibi, binanın x doğrultusu için, C ve H aksları arasındaki boyut 30 m ve aynı doğrultuda binanın toplam uzunluğu 42 m ve binanın y doğrultusu için, 3 ve 5 aksları arasındaki mesafe 12 m ve y doğrultusunda binanın toplam uzunluğu 24 m olup aşağıdaki gibi kontrol edildiğinde binalarda A3 türü düzensizlik olduğu görülmektedir.

$30\text{ m} > 0,2 \times 42 = 8,4\text{ m}$ (x doğrultusu)

$12\text{ m} > 0,2 \times 24 = 4,8\text{ m}$ (y doğrultusu)



Şekil 2.18 A3 düzensizliği kontrolü için kat planı

TBDY madde 3.6.2.2’ de A3 türü düzensizlik bulunan binalarda, kat döşemelerinin iki boyutlu levha (membran) veya kabuk sonlu elemanlar ile modellenmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında incelenen çelik binaların döşemeleri Sap2000v19 yazılımında kabuk sonlu elemanları ile modellenmiştir.

2.2.3.2 Binaların Ağırlık ve Periyot Hesabı

Bina ağırlığını elde etmek için kat ağırlıkları Denklem 2.2 ile hesaplanmıştır. Bu denklemde w : kat ağırlığı, G_i : kat sabit yükleri, Q_i : kat hareketli yükleri n : hareketli yük katılım katsayısını ifade etmektedir. ‘ n ’ hareketli yük kütle katılım katsayısı 0,3 olarak alınmıştır. Tablo 2.24’ te binaların ağırlık ve kütle değerleri verilmektedir.

$$m_i = w_i / g = (G_i + n \times Q_i) / g \quad (2.2)$$

Tablo 2.24 Bina ağırlıkları

Model	W (kN)	m (kN-s²/m)
Ref1	47372,50	4829,0
Ref1-T1	44877,21	4574,64
Ref1-T2	44877,21	4574,64
Ref1-T1v2	44755,28	4562,21
Ref1-T2v2	44755,28	4562,21
Ref2	36591,15	3729,98
Ref2-T1	34914,53	3559,08
Ref2-T2	34919,33	3559,56

İncelenen çelik binaların periyotları Sap2000v19 ile hesaplanmıştır. Yapılan modal analiz sonucunda Ref1 modeli için 20. modda (Tablo 2.25) , Ref2 modeli için ise (Tablo 2.27) 16. modda % 95 kütle katılım oranı elde edilmiştir. Ref1 ve Ref2 türev modellerinde ise (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2, Ref2-T1, Ref2-T2) 80 mod hesaplanmasına rağmen % 95 kütle katılım oranına ulaşamamıştır. Tablo 2.26’ da Ref1-T1 modeli için, Tablo 2.28’ de ise Ref2-T1 modeli için 65. ve 80. modlar arası kütle katılım değerleri verilmektedir. Deprem yükü hesaplarında mod birleştirme yöntemi ile elde edilen sonuçlara eşdeğer deprem yükü yöntemine göre büyütme katsayısı uygulanmıştır. Tüm modeller için hesaplanan periyotlar Tablo 2.29’ da verilmektedir. Elde edilen periyotlar, TBDY-2018 madde 4.7.3.2’ de belirtildiği üzere madde 4.7.3.4 te verilen Denk 4.27 ile hesaplanan ampirik hakim doğal titreşim periyodunun 1.4 katından daha büyük alınmayacaktır. Bu nedenle, TBDY Denk 4.27’ de verilen C_t katsayısı çelik binalar için 0,08 alınarak ampirik hakim doğal titreşim periyodu T_{pA} aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$T_{pA}^X = T_{pA}^Y = 0,08 \times 30^{(3/4)} \times 1.4 = 1,436 \text{ sn}$$

UX : x yönündeki ilgili modda yapının harekete katılan etkin kütlesi

UY : y yönündeki ilgili modda yapının harekete katılan etkin kütlesi

ΣUX : x yönündeki ilgili modda yapının harekete katılan toplam etkin kütlesi

ΣUY : y yönündeki ilgili modda yapının harekete katılan toplam etkin kütlesi

Tablo 2.25 Ref1 modal analiz sonuçları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	ΣUX	ΣUY
1	1,443677	0,00028	0,72604	0,00028	0,72604
2	1,403711	0,77478	0,00051	0,77506	0,72655
3	1,170519	0,00076	0,04831	0,77582	0,77486
4	0,468547	0,00033	0,09917	0,77615	0,87403
5	0,455798	0,10587	0,00053	0,88201	0,87456
6	0,3764	0,00023	0,00771	0,88224	0,88227
7	0,263708	0,00026	0,03927	0,8825	0,92154
8	0,254802	0,043	0,00036	0,9255	0,9219
9	0,208373	0,00016	0,00304	0,92566	0,92494
10	0,177396	2,91E-05	0,0226	0,92569	0,94754
11	0,168854	0,02494	6,12E-05	0,95062	0,94761
12	0,157306	1,60E-05	1,51E-06	0,95064	0,94761
13	0,14967	1,27E-07	3,03E-06	0,95064	0,94761
14	0,147746	8,40E-08	4,14E-07	0,95064	0,94761
15	0,138018	0,00014	0,00116	0,95078	0,94877
16	0,134691	1,15E-05	5,67E-06	0,95079	0,94878
17	0,133037	9,55E-07	7,11E-06	0,95079	0,94878
18	0,131382	3,90E-08	4,05E-05	0,95079	0,94882
19	0,131005	1,91E-05	1,04E-05	0,95081	0,94883
20	0,13081	7,36E-08	0,01462	0,95081	0,96346

Tablo 2.26 Ref1-T1 modal analiz sonuçları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	ΣUX	ΣUY
65	0,14257	0,00015	0,00014	0,92856	0,93173
66	0,142381	8,49E-06	5,25E-06	0,92857	0,93174
67	0,140953	2,14E-06	1,14E-06	0,92857	0,93174
68	0,140842	1,33E-06	0,00013	0,92857	0,93187
69	0,14073	1,19E-05	0,00051	0,92859	0,93238
70	0,140595	3,48E-06	0,00015	0,92859	0,93253
71	0,140375	2,87E-05	3,60E-05	0,92862	0,93256
72	0,140266	2,40E-05	0,00067	0,92864	0,93324
73	0,139867	2,09E-06	6,81E-06	0,92864	0,93324
74	0,139216	3,68E-05	2,54E-06	0,92868	0,93324
75	0,138926	2,35E-06	2,76E-05	0,92868	0,93327
76	0,138155	3,76E-06	9,57E-06	0,92869	0,93328
77	0,137612	8,96E-07	6,81E-05	0,92869	0,93335
78	0,137471	1,04E-05	0,00085	0,9287	0,9342
79	0,137352	2,18E-06	0,00024	0,9287	0,93444
80	0,137263	3,68E-06	4,25E-05	0,9287	0,93448

Tablo 2.27 Ref2 modal analiz sonuçları

Mod	Periyot	UX	UY	ΣUX	ΣUY
1	1,464319	0,03002	0,52564	0,03002	0,52564
2	1,342363	0,68026	0,03709	0,71028	0,56274
3	0,920578	0,01054	0,1723	0,72082	0,73504
4	0,613061	1,07E-05	0,0843	0,72083	0,81934
5	0,574021	0,12116	0,00238	0,84199	0,82172
6	0,491143	0,00158	0,02372	0,84357	0,84544
7	0,301528	0,06256	0,00211	0,90612	0,84755

Tablo 2.27 devamı

8	0,301347	0,00304	0,05976	0,90917	0,90731
9	0,255274	8,85E-06	0,0055	0,90917	0,91281
10	0,214308	0,00178	0,01452	0,91095	0,92733
11	0,203946	0,02137	0,00064	0,93233	0,92797
12	0,182209	1,45E-08	0,00398	0,93233	0,93195
13	0,163447	8,33E-06	8,64E-06	0,93233	0,93196
14	0,157549	0,0013	0,02354	0,93363	0,9555
15	0,155315	1,26E-06	9,44E-06	0,93363	0,95551
16	0,150886	0,02478	0,00109	0,95841	0,9566

Tablo 2.28 Ref2-T1 modal analiz sonuçları

Mod	Periyot	UX	UY	ΣUX	ΣUY
67	0,140303	1,44E-05	2,22E-05	0,92868	0,93908
68	0,140206	1,24E-05	1,75E-05	0,92869	0,93909
69	0,139984	2,20E-05	3,52E-05	0,92871	0,93913
70	0,139734	2,58E-05	0,0003	0,92874	0,93943
71	0,139489	1,51E-06	4,53E-07	0,92874	0,93943
72	0,139035	7,92E-06	6,11E-05	0,92875	0,93949
73	0,138715	7,31E-06	6,49E-05	0,92876	0,93956
74	0,138283	1,11E-05	3,37E-05	0,92877	0,93959
75	0,137922	2,51E-07	6,71E-07	0,92877	0,93959
76	0,137908	3,20E-06	1,12E-06	0,92877	0,93959
77	0,137488	1,95E-06	5,61E-10	0,92877	0,93959
78	0,136946	1,06E-05	4,49E-05	0,92878	0,93964
79	0,136758	6,77E-07	6,73E-06	0,92878	0,93964
80	0,136461	4,72E-06	1,17E-05	0,92879	0,93965

Tablo 2.29 Binaların hakim periyotları

Model	T _X (sn)	T _Y (sn)	T _{Pa} ^{X,Y} (sn)	Esas alınan hakim periyot	
				T _x (sn)	T _y (sn)
Ref1	1,404	1,444	1,436	1,404	1,436
Ref1-T1	1,045	0,979	1,436	1,045	0,979
Ref1-T2	1,061	0,891	1,436	1,061	0,891
Ref1-T1v2	1,075	1,006	1,436	1,075	1,006
Ref1-T2v2	1,093	0,911	1,436	1,093	0,911
Ref2	1,342	1,464	1,436	1,342	1,436
Ref2-T1	0,839	0,931	1,436	0,839	0,931
Ref2-T2	0,776	0,826	1,436	0,776	0,826

2.2.3.3 Deprem Yüğü Hesabı

Aşağıda Ref1 modeli için eşdeğer deprem yükü yöntemiyle binaya gelen deprem yükü hesabı verilmektedir. Tablo 2.30' da incelenen tüm binalar için hesaplanan deprem kuvvetleri verilmektedir.

$$W_{Ref1} = 47372,50 \text{ kN}$$

$$m_{Ref1} = 47372,50 / 9,81 = 4829,01 \text{ kN-s}^2 / \text{m}$$

X yönü için taban kesme kuvveti hesabı :

$$T_A = 0,0959 \text{ sn}$$

$$T_B = 0,479 < T_P^X = 1,404 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn}$$

$$S_{ae}(T_P^X) = S_{D1} / T_P^X = 0,564 / 1,404 = 0,402$$

$$S_{aR}(T_P^X) = S_{ae}(T_P^X) / R_a(T_P^X) = 0,402 / 8 = 0,050$$

$$V_{te}^X = 4829,0 \times 9,81 \times 0,050 \geq 0,04 \times 1 \times 1,176 \times 4829,01 \times 9,81$$

$$V_{te}^X = 2382,84 \text{ kN} \geq 2228,40 \text{ kN}$$

Y yönü için taban kesme kuvveti hesabı :

$$T_A = 0,0959 \text{ sn}$$

$$T_B = 0,479 < T_P^X = 1,436 \text{ sn} < T_L = 6 \text{ sn}$$

$$S_{ae}(T_P^Y) = S_{D1} / T_P^Y = 0,564 / 1,436 = 0,393$$

$$S_{aR}(T_P^Y) = S_{ae}(T_P^Y) / R_a(T_P^Y) = 0,393 / 8 = 0,0491$$

$$V_{te}^Y = 4829,0 \times 9,81 \times 0,0491 \geq 0,04 \times 1 \times 1,176 \times 4829,01 \times 9,81$$

$$V_{te}^Y = 2326 \text{ kN} \geq 2228,40 \text{ Kn}$$

Tablo 2.30 Binalara etkiyen deprem yükleri

Model	Eşdeğer deprem yükü yöntemi (kN)		Mod birleştirme yöntemi (kN)	
	V_{te}^X	V_{te}^Y	V_{tx}^X	V_{ty}^Y
Ref1	2382,84	2326	2263,70	2209,70
Ref1-T1	4844,16	5170,74	4601,95	4912,20
Ref1-T2	4771,11	5681,43	4532,55	5397,35
Ref1-T1v2	4726,96	5048,40	4490,61	4795,98
Ref1-T2v2	4618,84	5541,60	4416,18	5264,57
Ref2	1922,26	1796,43	1826,15	1706,61
Ref2-T1	4694,11	4230,26	4459,41	4018,73
Ref2-T2	5075,90	4768,64	4822,10	4530,21

2.2.4 Yük Kombinasyonları

Yapısal modellerin analizinde, ÇYTHYE-2018 ve TBDY-2018' e uygun olarak Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi kullanılarak yük kombinasyonları oluşturulmuştur.

2.2.4.1 Düşey yük birleşimleri

$$1.4(G + N_G)$$

$$1.2(G + N_G) + 1,6(Q_r + N_{Qr})$$

$$1.2(G + N_G) + 1,6(S + N_S)$$

$$1.2(G + N_G) + 1,6(Q + N_Q) + 0,5(Q_r + N_{Q_r})$$

$$1.2(G + N_G) + 1,6(Q + N_Q) + 0,5(S + N_S)$$

$$1.2(G + N_G) + 1,6(Q_r + N_{Q_r}) + 1,0(Q + N_Q)$$

$$1.2(G + N_G) + 1,6(S + N_S) + 1,0(Q + N_Q)$$

2.2.4.2 Düşey yük + deprem yükü birleşimleri

$$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm E_d^X \pm 0.3E_d^Y$$

$$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm 0.3E_d^X \pm E_d^Y$$

$$0.665G \pm E_d^X \pm 0.3E_d^Y$$

$$0.665G \pm 0.3E_d^X \pm E_d^Y$$

2.2.4.3 Düşey yük rüzgar yükü birleşimleri

$$1.2G + 1.6Q_r + 0,2S \pm 0.8W$$

$$1.2G + 1.0Q + 0,5 Q_r \pm 1.6W$$

$$0.9G \pm 1.6W$$

2.2.4.4 Düşey yük + arttırılmış deprem yükü birleşimleri

$$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm 3(E_d^X \pm 0.3E_d^Y)$$

$$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm 3(0.3E_d^X \pm E_d^Y)$$

$$0.665G \pm 2(E_d^X \pm 0.3E_d^Y)$$

$$0.665G \pm 2(0.3E_d^X \pm E_d^Y)$$

G : sabit yük

Q : normal kat hareketli yük

Q_r : çatı katı hareketli yük

S : kar yükü

E^X : x doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükü

E^Y : y doğrultusunda yapıya etkiyen deprem yükü

W : rüzgar yükü

N : fiktif yük

N_G, N_Q, N_{Q_r}, ve N_S fiktif yükleri ÇYTHYE Denk (6.1) ile hesaplanmıştır.

2.3 Yapısal Analiz ve Boyutlandırma

Binaların taşıyıcı sistem elemanlarının gerekli dayanımları, ÇYTHYE-2018 doğrultusunda azaltılmış rijitlikler ve ikinci mertebe etkiler göz önüne alınarak genel analiz yöntemi ile elde edilmiştir. Geometrik ön kusurların dikkate alınması için hesaplara katılan fiktif yükler, ikinci mertebe yerdeğiştirme değerlerinin birinci mertebe yerdeğiştirme değerlerine oranı olan B_2 katsayısının 1.7’ den küçük olduğu için sadece düşey yük kombinasyonlarında kullanılmıştır. İkinci mertebe etkileri, yaklaşık ikinci mertebe analizi ile dikkate alınmıştır. Binaların kat öteleme kontrolleri ise taşıyıcı sistem elemanlarının azaltılmamış rijitlikleri ile yapılmıştır. Yapısal analizler Sap2000v19 programı ile gerçekleştirilmiştir.

2.3.1 Etkin Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

Etkin göreli kat ötelemesi kontrolleri, TBDY Bölüm 4.9.1’e göre azaltılmış deprem yükleri altında yapılmıştır. Herhangi bir kat için herhangi bir kolon veya perde elemanının azaltılmış göreli kat ötelemesi değeri Denklem 2.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (2.3)$$

Bu denklemdeki u_i ve u_{i-1} değerleri ardışık iki kattaki herhangi bir kolon veya perde elemanı için azaltılmış deprem yükleri altında oluşan en büyük yatay yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Binanın herhangi bir katındaki bir kolon veya perde için etkin göreli kat ötelemesi değeri ise tipik x deprem doğrultusu için Denklem 2.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\delta_i^X = (R / I) \times \Delta_i^{(X)} \quad (2.4)$$

Her iki deprem doğrultusu için herhangi bir kattaki i’ inci kolon veya perde için Denk 2.4 ile hesaplanan etkin göreli kat ötelemesi değerlerinin en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(X)}$, Denk 2.5 ile verilen sınır koşulu sağlamalıdır.

$$\lambda \times (\delta_{i,max}^{(X)}) / h_i \leq 0,0016 \times \kappa \quad (2.5)$$

Denklem 2.5’ te verilen ‘ κ ’ değeri 0,5 olarak alınmıştır. λ katsayısı Denklem 2.6 ile gözönüne alınan deprem doğrultusu için hakim titreşim periyoduna bağlı olarak DD3

deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin DD2 düzeyi için hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine oranı olarak elde edilir.

$$\lambda^{(X)} = S_{ae}(T^{(X)})_{DD-3} / S_{ae}(T^{(X)})_{DD-2} \quad (2.6)$$

Her iki doğrultu içinde hesaplanan λ değerleri aşağıda verilmektedir.

$$\lambda^{(X)} = \lambda^{(Y)} = 0,442$$

Tüm modeller için etkin görel kat ötelemesi kontrolleri Tablo 2.31 - Tablo 2.35 aralığındaki tablolarda verilmektedir. Tablo 2.31’ de Ref1 modeli için etkin görel kat öteleme değerleri detaylı olarak verilmiş olup diğer modeller için sadece kat yerdeğiştirmeleri ve en büyük kat öteleme değerleri verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bütün modellerde etkin görel kat öteleme değerlerinin, sınır değer olan 0,008’ den küçük olduğu ve koşulu sağladığı görülmektedir.

Tablo 2.31 Ref1 modeli etkin görel kat öteleme kontrolü

Kat	u_i^X (m)	Δ_i^X (m)	δ_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta_i}{h}$	u_i^Y (m)	Δ_i^Y (m)	δ_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta_i}{h}$
10	0,037	0,0014	0,0113	0,0016	0,0474	0,0019	0,0153	0,0022
9	0,035	0,0023	0,0187	0,0027	0,0455	0,0030	0,0241	0,0035
8	0,033	0,0030	0,0246	0,0036	0,0425	0,0039	0,0315	0,0046
7	0,030	0,0038	0,0304	0,0044	0,0386	0,0048	0,0386	0,0056
6	0,026	0,0043	0,0345	0,0050	0,0337	0,0054	0,0437	0,0064
5	0,022	0,0048	0,0389	0,0057	0,0283	0,0061	0,0492	0,0072
4	0,017	0,0051	0,0410	0,0060	0,0221	0,0065	0,0523	0,0077
3	0,012	0,0052	0,0418	0,0061	0,0156	0,0066	0,0535	0,0078
2	0,006	0,0044	0,0357	0,0052	0,0089	0,0057	0,0462	0,0068
1	0,002	0,0024	0,0192	0,0028	0,0031	0,0031	0,025	0,0037

Tablo 2.32 Ref1-T1 ve Ref1-T2 modelleri etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	Ref1-T1				Ref1-T2			
	X		Y		X		Y	
	u_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta i}{h}$	u_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta i}{h}$	u_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta i}{h}$	u_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta i}{h}$
10	0,051	0,0037	0,0679	0,0050	0,0556	0,0042	0,0604	0,0045
9	0,046	0,0045	0,0618	0,0058	0,0499	0,0050	0,0543	0,0051
8	0,040	0,0046	0,0538	0,0060	0,0431	0,0051	0,0474	0,0054
7	0,034	0,0045	0,0456	0,0059	0,0362	0,0049	0,0401	0,0052
6	0,028	0,0043	0,0377	0,0058	0,0296	0,0047	0,0331	0,0052
5	0,022	0,0041	0,0298	0,0055	0,0232	0,0044	0,0261	0,0048
4	0,016	0,0040	0,0223	0,0055	0,0172	0,0043	0,0196	0,0048
3	0,011	0,0035	0,0148	0,0047	0,0114	0,0037	0,0131	0,0041
2	0,006	0,0030	0,0084	0,0041	0,0064	0,0031	0,0075	0,0036
1	0,002	0,0016	0,0029	0,0021	0,0022	0,0016	0,0027	0,0020

Tablo 2.33 Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 modelleri etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	Ref1-T1v2				Ref1-T2v2			
	X		Y		X		Y	
	u_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta i}{h}$	u_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta i}{h}$	u_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta i}{h}$	u_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta i}{h}$
10	0,052	0,0038	0,0688	0,0051	0,0563	0,0043	0,0612	0,0046
9	0,047	0,0045	0,0619	0,0059	0,0504	0,0051	0,0550	0,0052
8	0,040	0,0046	0,0539	0,0061	0,0435	0,0052	0,0479	0,0055
7	0,034	0,0045	0,0456	0,0059	0,0365	0,0049	0,0405	0,0052
6	0,028	0,0044	0,0376	0,0058	0,0298	0,0048	0,0333	0,0052
5	0,022	0,0041	0,0298	0,0055	0,0233	0,0044	0,0263	0,0048
4	0,017	0,0040	0,0224	0,0055	0,0173	0,0043	0,0197	0,0049
3	0,011	0,0034	0,0149	0,0047	0,0115	0,0036	0,0131	0,0040
2	0,006	0,0030	0,0086	0,0041	0,0065	0,0032	0,0076	0,0036
1	0,002	0,0016	0,0030	0,0022	0,0023	0,0017	0,0027	0,0020

Tablo 2.34 Ref2 ve Ref2-T1 modelleri etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	Ref2				Ref2-T1			
	X		Y		X		Y	
	u_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta i}{h}$	u_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta i}{h}$	u_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta i}{h}$	u_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta i}{h}$
10	0,046	0,0031	0,0538	0,0025	0,0536	0,0045	0,0657	0,0054
9	0,043	0,0049	0,0517	0,0043	0,0476	0,0054	0,0584	0,0059
8	0,039	0,0060	0,0480	0,0056	0,0403	0,0052	0,0504	0,0061
7	0,034	0,0065	0,0433	0,0069	0,0332	0,0049	0,0421	0,0059
6	0,028	0,0056	0,0375	0,0073	0,0266	0,0041	0,0341	0,0056
5	0,024	0,0061	0,0313	0,0080	0,0211	0,0038	0,0265	0,0050
4	0,019	0,0064	0,0244	0,0072	0,0160	0,0037	0,0198	0,0049
3	0,013	0,0066	0,0183	0,0077	0,0110	0,0033	0,0132	0,0040
2	0,008	0,0058	0,0118	0,0077	0,0066	0,0031	0,0078	0,0037
1	0,003	0,0031	0,0052	0,0062	0,0024	0,0018	0,0028	0,0020

Tablo 2.35 Ref2-T2 modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	Ref2-T2			
	X		Y	
	u_i^X (m)	$(\lambda_i^X) \frac{\delta i}{h}$	u_i^Y (m)	$(\lambda_i^Y) \frac{\delta i}{h}$
10	0,065	0,0067	0,0575	0,0042
9	0,056	0,0077	0,0518	0,0048
8	0,045	0,0075	0,0454	0,0050
7	0,035	0,0065	0,0386	0,0051
6	0,026	0,0036	0,0316	0,0047
5	0,021	0,0035	0,0253	0,0044
4	0,0167	0,0035	0,0193	0,0043
3	0,0119	0,0034	0,0134	0,0039
2	0,0074	0,0034	0,0081	0,0037
1	0,0028	0,0021	0,0031	0,0023

2.3.2 Boyutlandırma Hesapları

2.3.2.1 Moment Aktaran Çerçeve Kolonlarının Hesabı

Bu bölümde sadece örnek olarak Ref1 modelinde 1.katta en büyük kesit tesirlerinin etkidiğı kolon elemana ait boyutlandırma hesapları verilecek olup, Ref1 modelinin diğêr katlarındaki kolonların ve Ref2 modelinin kolonları için örnek olarak verilen hesapların aynı şekilde yapılmasıyla elde edilen etki/kapasite sonuçları verilecektir.

Tasarım dayanım kontrolleri TBDY 9.3.1.3'e göre ve ÇYTHYE Bölüm 6.3' te detayları verilen genel (doğrudan) analiz yöntemi ile yapılacaktır. Yöntem gereğince azaltılmış eleman rijitlikleri kullanılacak olup, ikinci mertebe etkiler ise ÇYTHY

Bölüm 6.5’ te detayları verilen yaklaşık ikinci mertebe analizi yöntemi ile dikkate alınacaktır.

Kolonlar için gerekli dayanımlar deprem etkisini de içeren aşağıdaki yük birleşimi ile elde edilmiştir.

$$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm E_d^X \pm 0.3E_d^Y$$
$$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm 0.3E_d^X \pm E_d^Y$$

Gerekli eğilme momenti, M_r ve gerekli eksenel kuvvet dayanımı, P_r sırasıyla Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 ile hesaplanmıştır.

$$M_r = B_1 \times M_{nt} + B_2 \times M_{1t} \quad (2.7)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 \times P_{1t} \quad (2.8)$$

Bu denklemlerde M_{nt} ve P_{nt} sırasıyla yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde YDKT yük birleşimi altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti ve eksenel basınç kuvvetidir. Bu iç kuvvetler sadece düşey ($1.435G + 1.0 Q + 0,2S$) yüklerden elde edilen iç kuvvetlerdir. M_{1t} ve P_{1t} ise sırasıyla yatay ötelenmesi önlenmemiş sistemde YDKT yük birleşimi altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti ve eksenel basınç kuvvetidir. Bu iç kuvvetler sadece yatay yüklerden ($\pm E_d^X \pm 0.3E_d^Y$) elde edilen iç kuvvetlerdir.

Ref1 modelinde 1.katta en büyük kesit tesirlerine maruz kalan kolon, D/2 akslarının kesişiminde yer alan kolondur ve bu kesit tesirleri x yönünde etkimektedir. 1. ve 2. katlarda kolon kolonlar için HEB800 profili kullanılmıştır. Enkesit özellikleri aşağıda verilmiştir.

$$I_x = 359100 \text{ cm}^4 \quad I_y = 14900 \text{ cm}^4 \quad J = 946 \text{ cm}^4 \quad C_w = 21840000 \text{ cm}^6$$
$$W_{ex} = 8977 \text{ cm}^3 \quad W_{px} = 10230 \text{ cm}^3 \quad A = 33420 \text{ mm}^2 \quad d = 800 \text{ mm}$$
$$h = 674 \text{ mm} \quad b_f = 300 \text{ mm} \quad t_f = 33 \text{ mm} \quad t_w = 17,5 \text{ mm}$$
$$i_x = 327,8 \text{ mm} \quad i_y = 66,8 \text{ mm}$$

Bu kolon için ilgili yük birleşimine ait sadece düşey yükler ($1.435G + 1.0 Q + 0,2S$) altında oluşan eksenel basınç kuvveti ve eğilme momenti değerleri aşağıda verilmektedir.

$$P_{nt} = 3673,06 \text{ kN (Basınç)}$$

$$M_{ntx,alt} = 1,84 \text{ kNm} \quad M_{ntx,üst} = -10,19 \text{ kNm}$$

Aynı kolon için sadece yatay yükler altında ($\pm E_d^X \pm 0.3E_d^Y$) elde edilen kesit tesirleri aşağıda verilmektedir.

$$P_{1t} = 283,46 \text{ kN}$$

$$M_{1tx,alt} = -486,36 \text{ kNm} \quad M_{1tx,üst} = 44,02 \text{ kNm}$$

ÇYTHYE 6.5.2.1 ve 6.5.2.2' e göre yaklaşık ikinci mertebe analizi için B_1 ve B_2 sırasıyla Denklem 2.9 ve Denklem 2.10 ile hesaplanmıştır.

$$B_1 = C_{mx} / (1 - \alpha P_{rx} / P_{elx}) \quad (2.9)$$

$$C_{mx} = 0,6 - 0,4 \times (1,84 / 10,19) = 0,181$$

$$P_{rx} = P_{nt} + P_{1t} = 3673,06 + 283,46 = 3956,52 \text{ Kn}$$

$$P_{elx} = (0,8 \times 200000 \times 359100 \times 10^4 \times \pi^2) / (1 \times 3000)^2 = 630075,55 \text{ kN}$$

$$B_1 = 0,182 \text{ olarak elde edilir.}$$

$$B_1 = 0,182 < 1 \text{ olduğundan, } B_1 \text{ katsayısı 1 alınacaktır.}$$

$$B_2 = 1 / (1 - \alpha P_{katx} / P_{e,katx}) \quad (2.10)$$

$$P_{e,katx} = (R_{mx} \times H_x \times L) / \Delta_{Hx}$$

$$R_{mx} = 0,87$$

$$H_x = 2263,7 \text{ kN}$$

$$\Delta_{Hx} = 0,0024 \text{ m}$$

$$P_{e,katx} = 2461013 \text{ kN}$$

$$P_{katx} = 59310,14 \text{ kN}$$

$$B_{2,x} = 1,026 \text{ olarak elde edilir.}$$

$B_{2,x} = 1,026 < 1,7$ olduğundan fiktif yüklerin sadece düşey yükleri içeren yük birleşimlerinde dikkate alınması uygundur. Elde edilen büyütme katsayıları sonucunda incelenen kolon için gerekli dayanımlar aşağıda hesaplanmıştır.

$$M_r = 1 \times 10,19 + 1,026 \times 486,36 = 509,20 \text{ kNm}$$

$$P_r = 3673,06 + 1,026 \times 283,46 = 3963,89 \text{ kN}$$

Eğilme rijitliği azaltılması kontrolü aşağıdaki gibi yapıldığında ;

$$P_{ns} = 355 \times 33420 \times 10^{-3} = 11864,10 \text{ kN}$$

$\alpha P_r / P_{ns} = 1 \times 3963,89 / 11864,10 = 0,334 < 0,5$ olduğundan eğilme rijitliğinin sadece 0,80 ile çarpılarak azaltılması uygundur.

$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm 3(E_d^X \pm 0.3E_d^Y)$ yük birleşimi altında eğilme momenti dayanımı dikkate alınmaksızın sadece gerekli eksenel kuvvet dayanımı, P_{uc} ,

$$P_{uc} = 3673,06 + 3 \times (1,026 \times 283,46) = 4545,55 \text{ kN olarak elde edilmiştir.}$$

Kolon enkesitinin başlık ve gövde parçalarının süneklik düzeyi yüksek enkesit olarak kullanımının uygunluğunu belirlemek için TBDY 9.3.1 uyarınca ve TBDY Tablo 9.3' e göre gerekli kontroller yapılmış olup kesitin süneklik düzeyi yüksek enkesit için verilen sınır değerleri sağladığı belirlenmiştir.

Kolonun tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Kolonun zayıf (y eksen) eksen etrafında eğilmeli burkulma durumu belirleyici olduğu için sadece zayıf eksen için hesaplar verilmiştir.

$K_y = 1$ (Genel analiz yöntemi uygulandığı için burkulma boyu değeri 1 alınmaktadır)

$$L_{cy} / i_y = 1 \times 3000 / 66,8 = 44,91$$

Y eksen etrafında elastik burkulma gerilmesi, F_{ey}

$$F_{ey} = \pi^2 \times 200000 / (44,91)^2 = 978,68 \text{ MPa}$$

Kritik burkulma gerilmesi, F_{cry}

$$F_{cry} = (0,658^{355 / 978,68}) \times 355 = 304,96 \text{ MPa}$$

$$P_n = 304,96 \times 33420 \times 10^{-3} = 10191,76 \text{ kN}$$

Tasarım eksenel kuvvet dayanımı, P_d

$$P_d = 0,9 \times 10191,76 = 9172,59 \text{ kN}$$

Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$L_b = 3000 \text{ mm (Stabilité bağlantısı ile desteklenmeyen uzunluk)}$$

$$L_p = 2790,55 \text{ mm (Akma sınır durumu için desteklenmeyen uzunluk)}$$

$L_b > L_p$ olduğundan, yanal burulmalı burkulma durumu için sınır uzunluğun (L_r) hesaplanması gerekir.

$$L_r = 8676,52 \text{ mm}$$

$L_p < L_b < L_r$ olduğundan karakteristik eğilme momenti dayanımı ÇYHTYE Denklem 9.3 ile hesaplanacaktır. ÇYHTYE Denklem 9.3' ile hesaplanan eğilme momenti, akma sınır durumu için hesap edilen eğilme momenti, M_n ' den büyük olduğu için hesaplarda, M_n değeri kullanılacaktır.

$$M_n = 355 \times 10230 \times 10^{-3} = 3631,65 \text{ kNm}$$

Tasarım eğilme momenti dayanımı M_{dy} ,

$$M_{dy} = 0,90 \times 3631,65 = 3268,49 \text{ kNm}$$

Eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti altında tasarım dayanımı kontrolü,

$$P_r / P_d = 3963,89 / 9172,59 = 0,43 > 0,20 \text{ olduğundan,}$$

$$(3963,89 / 9172,59) + (8/9) \times (509,20 / 3268,49) = 0,585 < 1 \text{ (uygun)}$$

Sadece eksenel basınç kuvveti etkisi altında kontrol;

$$P_d = 9172,59 \text{ kN} > P_{uc} = 4545,55 \text{ kN}$$

Kolonun kesme kuvveti dayanımı V_n , Denklem 2.11 ile hesaplanmıştır.

$$h / t_w = 684 / 17,5 = 38,51 < 2,24 \sqrt{(200000 / 355)} = 53,17 \text{ olduğundan,}$$

$$\Phi_v = 1 \text{ (YDKT)} \quad C_{v1} = 1 \text{ alınacaktır.}$$

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \quad (2.11)$$

$$V_n = 2512,34 \text{ kN}$$

Tasarım kesme kuvveti dayanımı, V_d

$$V_d = \Phi_v \times V_n$$

$$V_d = 2512,34 \text{ kN}$$

Kolona $1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm E_d^X \pm 0.3E_d^Y$ yük birleşiminden gelen kesme kuvveti, V_y

$$V_y = 153,36 \text{ kN}$$

$$V_y / V_d = 153,36 / 2512,34 = 0,061 < 1 \text{ (uygun)}$$

2.3.2.2 Moment Aktaran Çerçeve Kirişlerinin Hesabı

Ref1 modelinde moment aktaran kiriş elemanlara etkiyen kesit tesirleri incelendiğinde en elverişsiz durum 3.katta yer alan 4-5 / A aksları arasındaki HEA500 kirişinde oluşmaktadır. Bu kirişe etkiyen en elverişsiz kesit tesirleri y doğrultusunda etkiyen deprem yükleri altında oluşmaktadır. Kolon elemanların tasarım dayanım kontrolünde yapıldığı gibi kirişlerde de genel analiz yöntemi gereği azaltılmış rijitlikler ve ikinci mertebe etkiler göz önüne alınarak dayanım kontrolleri yapılmıştır. Kirişler için eksenel yük düzeyi çok küçük olduğu için eksenel basınç dayanımı kontrolü ihmal edilmiştir. Kirişler için yapılan enkesit kontrollerinde TBDY 9.3.1 uyarınca ve TBDY Tablo 9.3' te verilen λ_{hd} sınır değerlerinin aşılmadığı ve süneklik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşulları sağladığı belirlenmiştir.

3.kat 4-5 / A aksları arasında yer alan HEA500 kirişinde düşey yükler (1.435G + 1.0 Q + 0,2S) altında oluşan kesit tesirleri aşağıda verilmiştir.

$$M_{nt} = 75,24 \text{ kNm}$$

$$V_{nt} = 47,95 \text{ kN}$$

$$P_{nt} = 1,37 \text{ kN}$$

Yatay yükler ($\pm 0,3 E_d^X \pm E_d^Y$) altında oluşan en elverişsiz kesit tesirleri aşağıda verilmiştir.

$$M_{nt} = 285,21 \text{ kNm}$$

$$V_{nt} = 87,96 \text{ kN}$$

$$P_{nt} = 9,36 \text{ kN}$$

Kiriş için gerekli dayanımların belirlenmesi için yaklaşık ikinci mertebe analizi ile belirlenmesi gereken B_1 ve B_2 büyütme katsayıları, önceki bölümde verilen moment aktaran kolon tasarım kontrollerinde olduğu gibi belirlenmiştir. Burada hesap adımları verilmemiş olup, sadece elde edilen sonuçlar verilmektedir.

$$B_1 = 1$$

$$B_2 = 1,035$$

Kiriş ucundaki gerekli eğilme momenti dayanımı, M_y ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$M_y = 75,24 + 1,035 \times 285,21 = 370,43 \text{ kNm}$$

Kiriş için yapılacak tasarım dayanım kontrollerinde sadece eğilme momenti durumu için kontrol yapılacak olup, aksenal basınç dayanımı kontrolü ihmal edilecektir. Modelde moment aktaran kirişlere 1.5 m aralıklarla döşeme kirişleri bağlanmıştır. Bu nedenle kirişin desteklenmeyen en uzun parçasının boyu 1500 mm dir. TBDY 9.2.8.1 (a) ‘ ya göre süneklik düzeyi yüksek kirişlerin alt ve üst başlıklarının desteklendiği noktalar arasındaki uzaklık olan L_b ‘ nin sağlanması gereken koşul aşağıda incelenmiştir.

$$L_b < (0,086 \times i_y \times E) / F_y$$

$$L_b = 1500 \text{ mm} < (0,086 \times 72,4 \times 200000) / 275 = 4528.30 \text{ mm (uygun)}$$

Kiriş tasarım eğilme momenti kontrolü esas olarak kirişin yanal olarak desteklenmeyen her bir parçası için ayrı ayrı yapılmalıdır. Ancak bu kontrol, kirişin desteklenmeyen en büyük parçası olan, L_b için yapılması yeterlidir.

$$L_b = 1500 \text{ mm} < L_p = 1,76 \times 72,4 \times \sqrt{200000 / 275} = 3436 \text{ mm}$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımının elde edilmesinde akma sınır durumu belirleyicidir ve bu dayanım ÇYTHYE Denk 9.2 ile hesaplanmaktadır.

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 275 \times 3949 \times 10^{-3} = 1085,98 \text{ kNm}$$

Tasarım eğilme momenti dayanımı, M_{dy} ,

$$M_{dy} = 0,9 \times 1085,98 = 977,38 \text{ kNm olmaktadır.}$$

Tasarım eğilme momenti dayanımı kontrolü,

$$M_u / M_d = 370,43 / 977.38 = 0,38 < 1 \text{ (uygun)}$$

Kesme kuvveti dayanımı kontrolü için karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$V_n = 0,6 \times 275 \times 390 \times 12 \times 1,0 \times 10^{-3} = 772.2 \text{ kN}$$

Tasarım kesme kuvveti dayanımı, V_d aşağıda hesaplanmıştır.

$$V_d = 772.2 \times 0,9 = 694,98 \text{ kN}$$

$1.435G + 1.0 Q + 0,2S \pm 0,3 E_d^X \pm E_d^Y$ altında gerekli kesme kuvveti dayanımı, V_u aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$V_u = 47,95 + 87,96 = 135,91 \text{ kN}$$

Tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü,

$$V_u / V_d = 135,91 / 694,98 = 0,196 < 1 \quad (\text{uygun})$$

ÇYTHYE 15.1 uyarınca kirişte kullanılabilirlik sınır durumu kontrolü (sehim kontrolü) yapılması gerekmektedir. Sehim kontrolü $G + Q$ yük birleşimi altında değerlendirilmektedir. Yerdeğiştirme sınır değeri olarak $L / 300$ değeri esas alınmaktadır.

$$\Delta_{\text{maks}} = 0,00051 \text{ m} \quad L = 6 \text{ m} \quad \Delta_{\text{maks}} / L = 0,00051 / 6 < 1 / 50 \quad (\text{uygun})$$

2.3.2.1 Çaprazların Hesabı

Dayanım kontrolleri yapılacak çapraz eleman, Ref2-T2 modelinde 7.katta 1 / B – C aksları arasında yer alan çapraz elemanlardır. Çapraz eleman iki ucu mafsallı olarak teşkil edildiği için çaprazda yalnızca eksenel basınç ve çekme kuvveti oluşmaktadır.

Kullanılan çapraz profili 168,3 x 10 boru profil olup, enkesit özellikleri aşağıda verilmektedir.

$$F_y = 275 \text{ N / mm}^2 \quad A = 4973 \text{ mm}^2 \quad D = 168,3 \text{ mm}$$

$$L = 4242,6 \text{ mm} \quad t = 10 \text{ mm} \quad i_x = i_y = 56,1 \text{ mm}$$

Çapraz elemanda düşey yükler ($1.435G + 1.0 Q + 0,2S$) altında oluşan eksenel kuvvet, $P_{nt} = 85,37 \text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır.

Yatay yükler ($\pm E_d^X \pm 0,3 E_d^Y$) altında çapraz elemanda hesaplanan eksenel kuvvet, $P_{1t} = 782,78 \text{ kN}$ dur.

Gerekli eksenel kuvvet dayanımı, P_r 'nin Denklem 2.12 ile belirlenmesi için genel analiz yöntemi gereği B_2 büyütme katsayılarının hesap edilmesi gerekir.

$$P_r = P_{nt} + B_2 \times P_{1t} \quad (2.12)$$

$$B_2 = 1 / (1 - \alpha P_{katx} / P_{e,katx})$$

$$P_{e,katx} = (R_{mx} \times H_x \times L) / \Delta_{Hx}$$

$$R_{mx} = 1 \quad (\text{Çaprazlı çelik çerçevelerde } P_{mf} = 0 \text{ olması nedeniyle})$$

$$H_x = 4822,10 \text{ kN}$$

$$\Delta_{Hx} = 0,0092 \text{ m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$P_{e,katx} = 1572423,91 \text{ kN}$$

$$B_2 = 1,039$$

Gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_r aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$P_r = 81,37 + 1,039 \times 782,78 = 894,57 \text{ kN}$$

Çapraz elemanın enkesit kontrolleri aşağıdaki gibi yapılmış olup, çapraz elemanın süneklik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşulları sağladığı görülmüştür.

$$D / t = 168,3 / 10 = 16,83 \leq \lambda_d = 0,038 \times (200000 / 275)^{1/2} = 27,64$$

Çapraz elemanın tasarım eksenel basınç dayanımı, P_d 'nin hesabı aşağıda verilmektedir. ÇYTHYE 8.2.1' e göre eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak karakteristik basınç dayanımı P_n aşağıda hesaplanmıştır.

$$\lambda = 4242,6 / 56,1 = 75,63 < 4,71 \times (200000 / 275)^{1/2}$$

$$F_e = (\pi^2 \times 200000) / 75,63^2 = 345,10 \text{ N / mm}^2$$

$$F_{cr} = 0,658^{(275 / 345,1)} \times 275 = 197,0 \text{ N / mm}^2$$

$$P_n = 4973 \times 197,0 \times 10^{-3} = 979,68 \text{ kN}$$

$$P_d = 0,9 \times 979,68 = 881,71 \text{ kN}$$

$$P_r / P_d = 894,57 / 881,71 = 1,01 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

2.3.2.2 Merkezi Çaprazlı Çerçeve Kolonlarının Hesabı

TBDY 9.2.6 ve TBDY 9.6.2.2 uyarınca kolonların boyutlandırılmasında TBDY 9.2.5.1 de belirtilen yük kombinasyonlarda deprem etkilerinin *dayanım fazlalılığı katsayısı D* ile büyütülerek elde edilen etkilere göre gerekli dayanımlar elde edilecektir ancak bu iç kuvvetler *kapasite tasarım ilkesi* gereği olarak *akma (mekanizma) durumu ile uyumlu* iç kuvvetlerden daha büyük alınmayacaktır. Kolon, kiriş ve birleşimlerin

akma (mekanizma) durumu ile uyumlu iç kuvvetlerin elde edilebilmesi için sistemdeki çapraz elemanların iç kuvvetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu iç kuvvetler aşağıda sırasıyla denklemleri verilen olası aksel çekme kuvveti dayanımı T (Denklem 2.13), burkulma anına karşı gelen olası aksel basınç kuvveti dayanımı P_1 (Denklem 2.14) ve burkulma sonrası oluşan olası aksel basınç kuvveti dayanımı P_2 (Denklem 2.15) değerleridir. R_y değeri S275 sınıfı malzeme için TBDY Tablo 9.2 'de 1.3 olarak verilmektedir.

$$T = R_y F_y A_g \quad (2.13)$$

$$P_1 = 1.14 F_{cre} A_g \quad (2.14)$$

$$P_2 = 0,30 (1.14 F_{cre} A_g) \quad (2.15)$$

Mekanizma durumlarında sistemin aksel basınç kuvveti etkisi altında çapraz elemanların burkulma anına karşılık gelen tipik mekanizma durumu ve çapraz elemanların burkulması sonrasında plastikleşmesi ile oluşan tipik mekanizma durumu olmak üzere iki durum söz konusudur. Her iki durum içinde kolon, kiriş ve birleşimler için oluşacak aksel kuvvetler, yukarıda ifade edilen çapraz eleman iç kuvvetleri dikkate alınarak denge denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır.

Ref1-T1 modeli için her katta çapraz elemanlara ait hesaplanan iç kuvvetler Tablo 2.36' da verilmektedir.

Tablo 2.36 Ref1-T1 modeli çapraz elemanlar için olası çekme ve basınç kuvveti dayanımları

Kat	Çapraz Eleman	$R_y F_y A_g$ (kN)	$1.14 F_{cre} A_g$ (kN)	$0,30 (1.14 F_{cre} A_g)$ (kN)
10	114,3 x 8	955,24	545,54	163,66
9	127 x 8	1069,28	702,12	210,64
8	133 x 8	1123,27	776,21	232,86
7	139,7 x 10	1456,81	1043,93	313,18
6	152 x 10	1594,81	1233,04	369,91
5	159 x 10	1673,46	1341,15	402,34
4	159 x 10	1673,46	1341,15	402,34

Tablo 2.36 devamı

3	168.3 x 10	1777,85	1483,31	444,99
2	168.3 x 12	2106,39	1743,52	523,06
1	168.3 x 12	2106,39	1743,52	523,06

Tablo 2.36' da çapraz elemanlar için verilen iç kuvvet değerleri kullanılarak, kiriş orta noktasında birleşen çaprazların meydana getirdiği bileşke düşey kuvvetler ve bu kuvvetlerin kiriş uçlarında oluşturduğu kesme kuvvetleri, her iki mekanizma durumu için de denge denklemleri yardımıyla ayrı ayrı bulunarak kolonlar için mekanizma durumu ile uyumlu aksenal çekme ve basınç kuvveti dayanımları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenirse, mekanizma durumu ile uyumlu en elverişsiz kolon aksenal basınç kuvveti, birinci durum için (burkulma anı) $P_{1Emh} = 8485,20$ kN olarak edilmiştir. Mekanizma durumu ile uyumlu en elverişsiz iç kuvvetlerin elde edilmesinden sonra dayanım fazlalığı katsayısı (D) ile artırılmış deprem yükleri altında kolon iç kuvvetleri hesaplanıp iki durum için kıyaslama yapılacaktır. Merkezi çaprazlı çerçeve kolon hesabı için Ref1-T1 modelinde 1. kat D/2 akslarında yer alan kolon ve Ref2-T1 modelinde 1. kat B/3 akslarında yer alan kolon elemanlar incelenecektir.

Ref1-T1 modeli 1.kat D/2 kolonu için profil HEB650 olup, enkesit özellikleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 I_x &= 210600 \text{ cm}^4 & I_y &= 13980 \text{ cm}^4 & J &= 739,2 \text{ cm}^4 & C_w &= 13360000 \text{ cm}^6 \\
 W_{ex} &= 6480 \text{ cm}^3 & W_{px} &= 7320 \text{ cm}^3 & A &= 28630 \text{ mm}^2 & d &= 650 \text{ mm} \\
 h &= 534 \text{ mm} & b_f &= 300 \text{ mm} & t_f &= 31 \text{ mm} & t_w &= 16 \text{ mm} \\
 i_x &= 271,2 \text{ mm} & i_y &= 69,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

1. Kat D/2 kolonu için, sadece düşey yükler altında (1.435G + 1.0 Q + 0,2S) oluşan aksenal basınç kuvveti, P_{nt} ,

$$P_{nt} = 3209,57 \text{ kN dur.}$$

İlgili yük birleşiminin sadece yatay yükleri etkisinde ($\pm E_d^X \pm 0,3 E_d^Y$) oluşan aksenal basınç kuvveti P_{1t} ve moment M_{1t} ,

$P_{1t} = 2082,89 \text{ kN}$ $M_{1t} = 271,77 \text{ kNm}$ olarak elde edilmiştir.

Gerekli aksenal basınç kuvveti dayanımı, P_r 'nin hesabında (Denklem 2.16) B_1 , düşey yüklerden dolayı oluşan yatay yer değiştirmeler çok küçük olduğu için dikkate alınmamıştır.

$$P_r = P_{nt} + B_2 \times P_{1t} \quad (2.16)$$

B_2 katsayısı, bir önceki bölümde detayları verilen çapraz eleman boyutlandırma hesaplarında olduğu gibi Refl-T1 modeli için aynı hesaplar yapılarak 1,01 olarak elde edilmiştir.

$P_r = 3209,57 + 1,01 \times 2082,89 = 5313,29 \text{ kN}$ olarak elde edilmiştir.

ÇYTHYE 6.2.3 (b)' ye göre düşey yük kontrolü yapıldığında,

$$P_{ns} = 355 \times 28630 \times 10^{-3} = 10163,65 \text{ kN}$$

$\alpha P_r / P_{ns} = 1 \times 5313,29 / 10163,65 = 0,52 \leq 0,50$ olarak kabul edilip hesaplar tekrarlanmamıştır.

Dayanım fazlalığı katsayısı ile arttırılmış deprem etkileri altında hesaplanan kolon iç kuvvetleri TBDY 9.6.2.4 uyarınca, kapasite tasarım ilkesi gereği olarak, mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerden daha büyük alınmayacaktır. Buna göre, ikinci mertebe etkiler dikkate alınarak ve dayanım fazlalığı katsayısı ile arttırılmış deprem kuvveti, P_{Emh} ve mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvet, P_{1Emh} kıyaslandığında,

$$P_{Emh} = 1,01 \times 2 \times 2082,89 = 4207,44 \text{ kN} \leq P_{1Emh} = 8485,20 \text{ kN}$$

kolon için dayanım kontrolleri dayanım fazlalığı katsayısı ile arttırılmış deprem kuvvetleri altında kontrol edilecektir. Aşağıda tasarım dayanımının belirlenmesine yönelik hesaplar verilmektedir.

TBDY 9.6.2.1 TBDY Tablo 9.3' te verilen sınır değerler dikkate alınarak yapılan enkesit kontrollerinde kesitin süneklik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşulları sağladığı belirlenmiştir.

Zayıf eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumu için hesap yapıldığında,

$$K_y = 1$$

$$L_{cy} / i_y = 1 \times 3000 / 69,7 = 43,04$$

Y ekseninde elastik burkulma gerilmesi, F_{ey}

$$F_{ey} = \pi^2 \times 200000 / (43,04)^2 = 1065,50 \text{ MPa}$$

Kritik burkulma gerilmesi, F_{cry}

$$F_{cry} = (0,658^{355 / 1065,50}) \times 355 = 308,81 \text{ MPa}$$

$$P_n = 308,81 \times 28630 \times 10^{-3} = 8841,35 \text{ kN}$$

Tasarım eksenel kuvveti dayanımı, P_d

$$P_d = 0,9 \times 8841,35 = 7957,22 \text{ kN}$$

$$P_{uc} / P_d = (3209,57 + 1,01 \times 2 \times 2082,89) / 7957,22$$

$$P_{uc} / P_d = 0,93 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

Ref2-T1 modeli 1.kat B/3 kolonu için tasarım dayanım kontrolü için Ref1-T1 modeli D/2 kolonu için yapılan hesaplar aynı şekilde yapılmış olup burada sadece sonuçlar verilecektir. Tasarım dayanımı kontrolü yapılacak olan kolon için en elverişsiz kesit tesirleri x yönünde oluşmaktadır.

1. Kat B/3 kolonu için, sadece düşey yükler altında ($1.435G + 1.0 Q + 0,2S$) oluşan eksenel basınç kuvveti, P_{nt} ,

$$P_{nt} = 2450,07 \text{ kN dur.}$$

İlgili yük birleşiminin sadece yatay yükleri etkisinde ($\pm E_d^X \pm 0,3 E_d^Y$) oluşan eksenel basınç kuvveti, P_{1t} ,

$$P_{1t} = 2003,83 \text{ kN olarak elde edilmiştir.}$$

$$B_2 = 1,02$$

$$P_r = 2450,07 + 1,02 \times 2003,83 = 4493,98 \text{ kN}$$

Tasarım dayanım kontrolü için mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvet ve dayanım fazlalığı katsayısı ile arttırılmış deprem kuvvetleri karşılaştırılmış olup dayanım kontrolleri arttırılmış deprem kuvvetleri altında yapılacaktır. Tasarım dayanımı, belirleyici olan zayıf eksen için hesaplanmıştır.

$$F_{ey} = 1130,67 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = 311,28 \text{ MPa}$$

$$P_n = 7906,51 \text{ kN}$$

$$P_d = 7115,86 \text{ Kn}$$

$$P_{uc} / P_d = (2450,07 + 2 \times 1,02 \times 2003,83) / 7115,86 = 0,92 < 1 \quad (\text{uygun})$$

2.3.2.2 Çaprazlı Çerçeve Çaprazların Orta Noktalarına Bağlandığı Kirişlerin Hesabı

Ref1-T1 modelinde 7.katta D-E aksları arasında yer alan kiriş için tasarım dayanım kontrolleri yapılacaktır. Kiriş dayanım kontrolü, TBDY 9.6.2.3' e göre mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetler dikkate alınarak yapılacaktır. Aşağıda sözkonusu kiriş için sabit ve hareketli yükler altında oluşan iç kuvvetler verilmiştir.

$$M_G = 8,51 \text{ kNm} \quad V_G = 13,20 \text{ kN}$$

$$M_Q = 3,13 \text{ kNm} \quad V_Q = 4,87 \text{ kN}$$

$$M_S = 0,045 \text{ kNm} \quad V_S = 0,023 \text{ kN}$$

Mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerin elde edilebilmesi için incelenen kirişe alt ve üst katlardan bağlanan çapraz elemanların iç kuvvetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. İki mekanizma durumu için de çapraz iç kuvvetleri belirlenip, bu iki durum arasından en elverişsiz kuvvetlerin olduğu durum dikkate alınarak gerekli dayanım elde edilmektedir.

İncelenen kirişe bağlanan çapraz elemanlar 139,7*10 ve 133*8 olup, bu çaprazlar için olası eksenel çekme ve basınç kuvvetleri, bir önceki bölümde verilen kolon hesaplarında elde edilmişti. Aşağıda, en elverişsiz kesit tesirlerinin elde edildiği çapraz elemanların burkulması sonrasında oluşan mekanizma durumu için çapraz elemanlarda oluşan iç kuvvetlerden dolayı kirişe etkiyen dengelenmemiş kuvvetler verilmiştir.

$$P_{y,2} = 179,03 \text{ kN}$$

$$V_{Emh} = 89,52 \text{ kN}$$

$$M_{Emh} = 268,55 \text{ kNm}$$

$$P_{x,2} = 146,30 \text{ kN}$$

Kiriş için çaprazların mekanizma durumuna göre en elverişsiz yük kombinasyonu altında ($1.435G + 1.0 Q + 0,2S + E_{Emh}$) oluşan kesit tesirleri aşağıda verilmektedir.

$$V_u = 1,435 \times (13,20) + 1 \times (4,87) + 0,2 \times (0,023) + 89,52 = 113,34 \text{ kN}$$

$$M_u = 1,435 \times (8,51) + 1 \times (3,13) + 0,2 \times (0,045) + 268,55 = 283,90 \text{ kNm}$$

$$P_u = 1,435 \times (0) + 1 \times (0) + 0,2 \times (0) + 146,30 = 146,30 \text{ kN}$$

Kirişin alt ve üst başlıklarda yanal doğrultuda desteklendiği noktalar arasındaki en büyük uzaklık, TBDY 9.2.8.2 (b)' e göre kontrol edilmesi gerekir.

$$L_b = 3000 \text{ mm} \leq 0,086 \times 55,1 \times (200000 / 275) = 3446,25 \text{ mm} \text{ (uygun)}$$

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesinde, kiriş üst başlığı kiriş boyunca betonarme döşemeye bağlı olduğundan basınç başlığı mesnet noktaları arasında sürekli olarak desteklidir ve bundan dolayı yanal burulmalı burkulma sınır durumunun incelenmesine gerek yoktur. Bu durumda akma sınır durumu için kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$M_n = 275 \times 1777 \times 10^{-3} = 488,68 \text{ kNm}$$

$$M_d = 0,9 \times 488,68 = 439,81 \text{ kNm}$$

Kiriş tasarım basınç dayanımı da kolon elemanlarda olduğu gibi hesaplanarak, $P_d = 1240,07 \text{ kN}$ olarak elde edilmiştir.

Tasarım dayanımı kontrolü;

$$P_u / P_d = 146,30 / 1240,07 = 0,12 < 0,2 \text{ olduğundan}$$

$$P_u / 2P_d + M_u / M_d = 146,30 / 2 \times 1240,07 + 283,90 / 488,68$$

$$P_u / 2P_d + M_u / M_d = 0,64 < 1 \text{ (uygun)}$$

Tasarım kesme kuvveti dayanımı kontrolü;

$$V_n = 0,6 \times 275 \times 198 \times 11 \times 1 \times 10^{-3} = 359,37 \text{ kN}$$

$$V_d = 0,9 \times 359,37 = 323,43 \text{ kN}$$

$$V_u / V_d = 113,34 / 323,43 = 0,35$$

Sehim kontrolü ;

$$\Delta_{maks} = 0,003 \text{ m}$$

$$\Delta_{maks} = 3 \text{ mm} < 3000 / 300 = 10 \text{ mm (uygun)}$$

BÖLÜM ÜÇ

YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında incelenen 8 adet çelik bina için yapılan düzensizlik kontrolleri sonucunda, binaların kat planlarında y yönündeki düzensizlik ve düşeydeki düzensizliklerden dolayı bütün modellerde burulma düzensizliği ve yapısal modellerin planlarındaki çıkıntı boyutlarından dolayı A3 türü düzensizlik vardır. Ref1 modelinde burulma düzensizliği y yönünde oluşurken x yönünde burulma düzensizliği oluşmamaktadır. Ref1 modeline merkezi çapraz elemanlar ilave edilip kesit optimizasyonu yapılarak tekrar oluşturulan türev modellerde de (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2) burulma düzensizliği sadece y yönünde oluşmaktadır. Ref2 modelinde burulma düzensizliği y yönünde 1. ve 6. katlar arasında oluşurken x yönünde burulma düzensizliği oluşmamaktadır. Ref2-T1 modelinde burulma düzensizliği y yönünde 2. ve 6. katlar arasında oluşurken x yönünde oluşmamaktadır. Ref2-T2 modelinde ise burulma düzensizliği x yönünde 6. ve 10. katlar arasında, y yönünde ise 2. ve 6. katlar arasında oluşmaktadır.

Tablo 3.1’ de Ref1 ve türev modelleri için yapı ağırlıkları, taşıyıcı sistem ağırlıkları, periyot değerleri, eşdeğer deprem yükü yöntemi (E.D.Y.Y) ve mod birleştirme yöntemi (M.B.Y) ile hesaplanan deprem kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Ref1 ve türev modelleri için ağırlık, periyot ve deprem kuvveti değerleri

Modeller	Ref1	Ref1-T1	Ref1-T1v2	Ref1-T2	Ref1-T2v2
Yapı ağırlığı (kN)	47372,50	44877,21	44755,28	44877,21	44755,28
Taşıyıcı sistem ağırlığı (kN)	6801,34	4306,05	4184,12	4306,05	4184,12
Periyot (X) (sn)	1,404	1,045	1,075	1,061	1,093

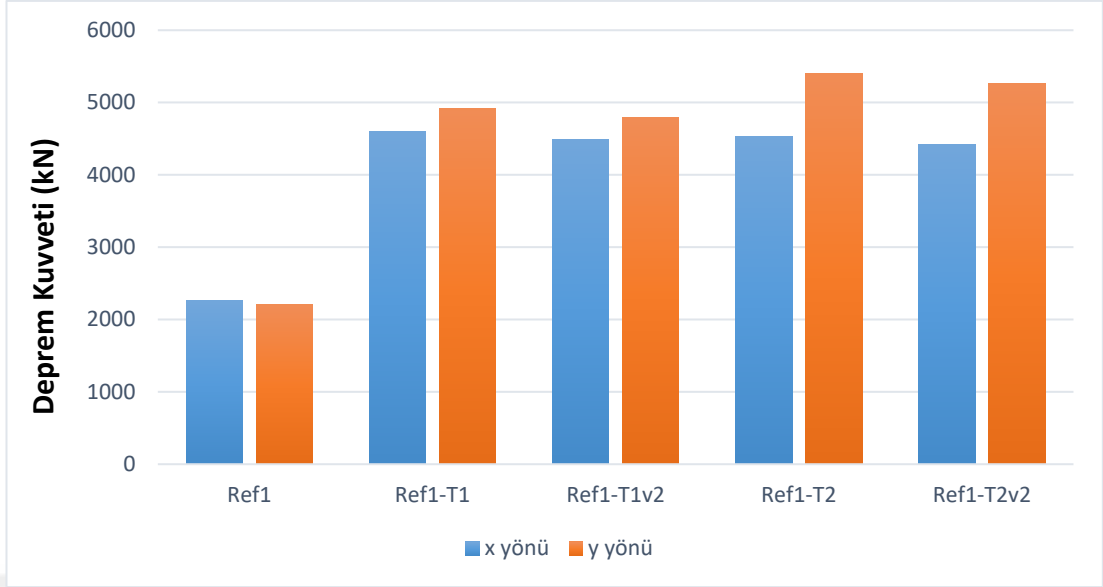
Tablo 3.1 devamı

Periyot (Y) (sn)	1,444	0,979	1,006	0,891	0,911
E.D.Y.Y (X) (kN)	2382,86	4844,16	4726,96	4771,11	4618,84
E.D.Y.Y (Y) (kN)	2326,0	5170,74	5048,4	5681,43	5541,6
M.B.Y (X) (kN)	2263,71	4601,95	4490,61	4532,55	4416,18
M.B.Y (Y) (kN)	2209,70	4912,2	4795,98	5397,35	5264,57

Tablo 3.1 incelendiğinde; Merkezi çaprazlı çerçeveler ile modellenen türev modellerin (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2) ağırlıkları Ref1 modeline göre daha azdır. Bunun sebebi; türev modellerde deprem kuvvetlerinin büyük bir kısmının çapraz elamanların aksenal yük taşıma kapasitesi ile karşılanması nedeniyle kolon ve kiriş elemanlara deprem yüklerinden dolayı etkiyen kesit tesirlerinin önemli oranda azalmakta ve bu durum, Ref1 modelinde kullanılan kolon kiriş profillerine göre türev modellerde daha hafif kesitlerin kullanılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle türev modellerde taşıyıcı sistem ağırlığı, moment aktaran çerçeveler ile teşkil edilen Ref1 modeline göre daha hafif olmaktadır. Ref1-T1 ve Ref1-T2 modellerinin taşıyıcı sistem ağırlığı Ref1 modeline göre % 36,7 daha hafif olarak elde edilirken, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 modellerinde bu oran % 38,5 tir. Türev modeller içinde Ref1-T1 v2 ve Ref1-T2v2 modellerinde kullanılan kolon profilleri gelen yükler altında aşırı zorlanmakta olup özellikle 1. ve 2. kattaki kolon elemanlar için kullanılan HEB550 profiller birçok kolon için tasarım dayanım kontrolünü sağlamamaktadır. Bu nedenle Ref1-T1 ve Ref1-T2 modellerinde kolon elemanlar için kullanılan profiller büyütülmüştür. Burada önemli olan durum ise, çapraz elemanların binanın dış cephe kolonları arasında kullanıldığı Ref1-T2v2 modelinde kolonlar, Ref1-T1v2 modeline göre daha az zorlanmaktadır ve tasarım dayanım kontrolünü sağlamayan kolon eleman sayısı çok azdır. Bunun sebebi, Ref1-T1v2 modelinde binanın iç bölümünde yer alan kolon elemanların, çapraz elemanların varlığından dolayı gelen çok büyük deprem

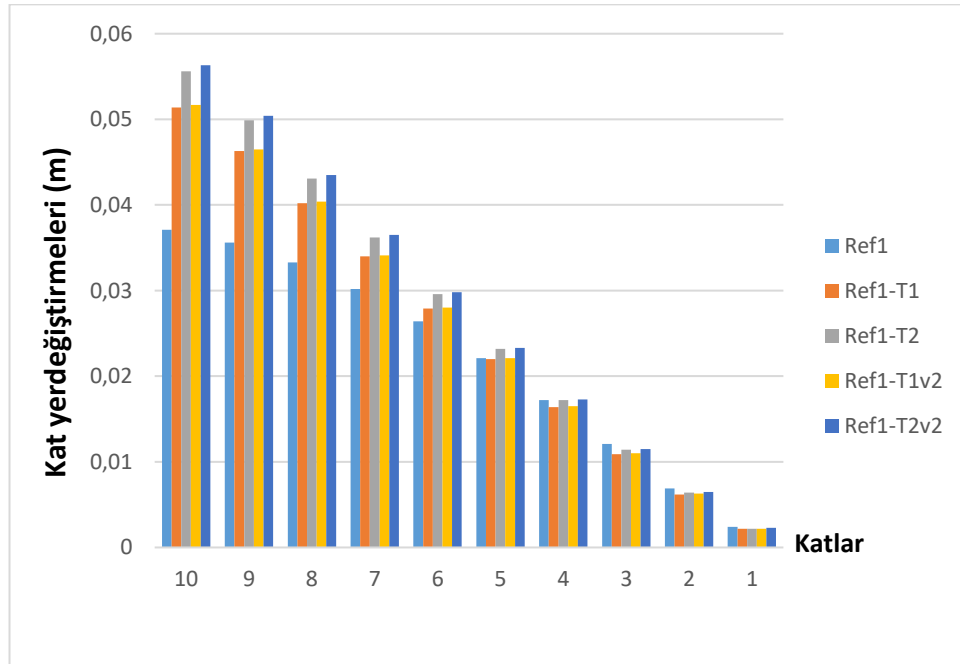
yükünün yanında, düşey yüklerden kaynaklanan büyük eksenel kuvvetler altında olmasıdır. Fakat Ref1-T2v2 modelinde çapraz elemanların binanın dış cephelerindeki kolonlara bağlanmasından dolayı, dış cephe kolonları sadece, deprem yükünden kaynaklanan büyük eksenel kuvvetleri taşımakta, düşey yüklerden kaynaklanan eksenel kuvvetlerin ise iç bölümünde yer alan kolonlara göre yaklaşık yarısını taşımaktadır.

Yine Tablo 3.1’ de periyot değerleri incelendiğinde; türev modellerin periyot değerlerinin Ref1 modeline göre yaklaşık % 25 oranında azaldığı görülmektedir. Bunun temel sebebi, türev modellerdeki çapraz elemanların yapıya kattığı rijitlikten kaynaklanmaktadır. Türev modellerde taşıyıcı sistem elemanları için kullanılan profillerin Ref1 modeline göre daha küçük kesitler olması ve türev modellere etkileyen deprem yüklerinin Ref1 modeline göre çok daha büyük olmasına rağmen, türev modellerde kullanılan çapraz elemanlardan dolayı periyot değerleri, Ref1 modeline göre ortalama dörtte bir oranında azalmaktadır. En düşük periyot değeri ise x yönünde Ref1-T1 modelinde y yönünde ise Ref1-T2 modelinde oluşmaktadır. Yapı ağırlığı, periyot ve spektral ivme değerleri ile hesaplanan deprem kuvvetleri kıyaslandığında; türev modellere, yapı ağırlıkları Ref1 modeline göre daha az olmasına rağmen daha büyük deprem yükleri etkimektedir (Şekil 3.1). Bu durumun sebepleri, türev modellerin çapraz elemanların etkisinden dolayı Ref1 modeline göre daha düşük periyot değerlerine sahip olması ve deprem yükü azaltma katsayısının çapraz elemanlar ile tasarlanan türev modellerde 5, moment aktaran çerçeveler ile tasarlanan Ref1 modelinde ise 8 olarak alınmış olmasıdır. Yapılarda deprem yükleri ile oluşan atalet kuvvetleri, rijitlik artışı ve azalan periyot (salınım) değerlerinden dolayı artmaktadır. Periyot değerlerine paralel olarak, x yönünde en büyük deprem kuvveti Ref1-T1 modelinde, y yönünde ise Ref1-T2 modelinde oluşmaktadır.



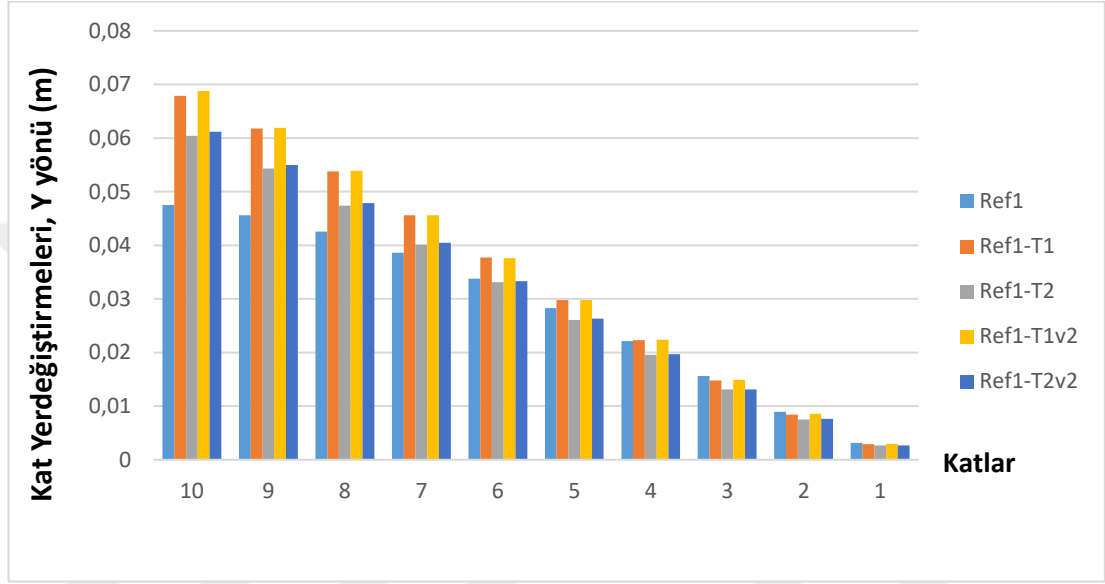
Şekil 3.1 Ref1 ve türev modellerine etkiyen deprem kuvvetleri (M.B.Y) (kN)

Şekil 3.2’ de mod birleştirme yöntemi sonucunda Ref1 ve türev modellerinde (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2) katların x yönünde yaptığı yerdeğiştirmeler verilmektedir. En büyük yerdeğiştirme değerleri 5. ve 10. katlar arasında Ref1-T2 ve Ref1-T2v2 modellerinde, en az ise Ref1 modelinde oluşmaktadır. 1. ve 4. katlar arasında ise en büyük yerdeğiştirmeler Ref1 modelinde, en az yerdeğiştirmeler ise Ref1-T1 modelinde meydana gelmektedir.



Şekil 3.2 Ref1 ve türev modellerinin x yönü kat yerdeğiştirmeleri (m)

Şekil 3.3’ te Ref1 ve türev modellerinde (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2) katların y yönünde yaptığı yerdeğiştirmeler verilmektedir. En büyük yerdeğiştirme değerleri 4. ve 10. katlar arasında Ref1-T1 ve Ref1-T1v2 modellerinde diğer katlarda Ref1 modelinde oluşmaktadır. En az yerdeğiştirme değerleri 7. ve 10. katlar arasında Ref1 modelinde, 1. ve 6. katlar arasında ise en az yerdeğiştirme değerleri Ref1-T2 modelinde oluşmaktadır.



Şekil 3.3 Ref1 ve türev modellerinin y yönü kat yerdeğiştirmeleri (m)

Tablo 3.2’ de Ref1 ve türev modellerinde etkin görelî kat ötelemesi kontrolü ile x ve y yönleri için elde edilen en büyük değerler verilmiştir. Tablo 3.2 incelendiğinde, Ref1 modelinde en büyük değer 3. katta, türev modellerde ise (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2) 8.katta elde edilmiştir.

Tablo 3.2 Ref1 ve türev modellerin en büyük etkin görelî kat öteleme değerleri

Modeller	x yönü	y yönü
Ref 1	0,0061	0,0078
Ref 1-T1	0,0046	0,0060
Ref1-T2	0,0051	0,0054
Ref1-T1v2	0,0046	0,0061
Ref1-T2v2	0,0052	0,0055

Bütün modellerde en büyük değerler y yönünde elde edilmiştir. En büyük değerler Ref1 modelinde, en küçük değerler ise x yönünde Ref1-T1 ve Ref1-T1v2, y yönünde ise Ref1-T2 modelinde elde edilirken, genel olarak bütün modellerde elde edilen değerlerin 0.008 olan sınır değere yakın olduğu görülmektedir.

İncelenen yapısal modellerin geometrik olarak planda ve düşeyde düzensiz olmalarından dolayı fikir edinmek amacıyla eksantrisite değerleri de hesaplanmıştır. Tablo 3.3 te Ref1 ve türev modeller için el hesabı ve Etabs yazılımı ile hesaplanan eksantrisite değerleri verilmektedir. El hesabı yapılırken kütle merkezleri Sap2000v19 yazılımı ile elde edilmiştir. Ref1 modelinde ise moment aktaran çerçevelerin rijitlik merkezi, betonarme yapılarda izlenen yöntem kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3 Ref1 ve türev modellerin eksantrisite değerleri

Kat	Ref1		Ref1-T1		Ref1-T2		Ref1-T1v2		Ref1-T2v2	
	El hsb (m)	Etabs (m)	El hsb (m)	Etabs (m)	El hsb (m)	Etabs (m)	El hsb (m)	Etabs (m)	El hsb (m)	Etabs (m)
10	2,99	2,72	2,75	1,12	1,12	6,22	1,71	1,1	1,13	6,11
9	3,05	2,67	2,78	1,22	1,03	5,64	1,84	1,20	1,06	5,60
8	3,17	2,70	2,79	1,28	1,86	5,08	0,92	1,27	1,60	5,06
7	3,17	2,73	2,78	1,38	1,57	4,51	1,24	1,37	1,39	4,51
6	3,26	2,78	2,79	1,49	2,54	3,82	0,80	1,50	2,14	3,86
5	3,26	2,86	2,78	1,60	2,45	3,15	0,75	1,64	2,08	3,18
4	3,33	2,96	2,78	1,71	3,63	2,46	2,27	1,77	3,08	2,45
3	3,33	3,13	2,77	1,76	3,49	1,85	2,07	1,88	2,98	1,81

Tablo 3.3 Ref1 devamı

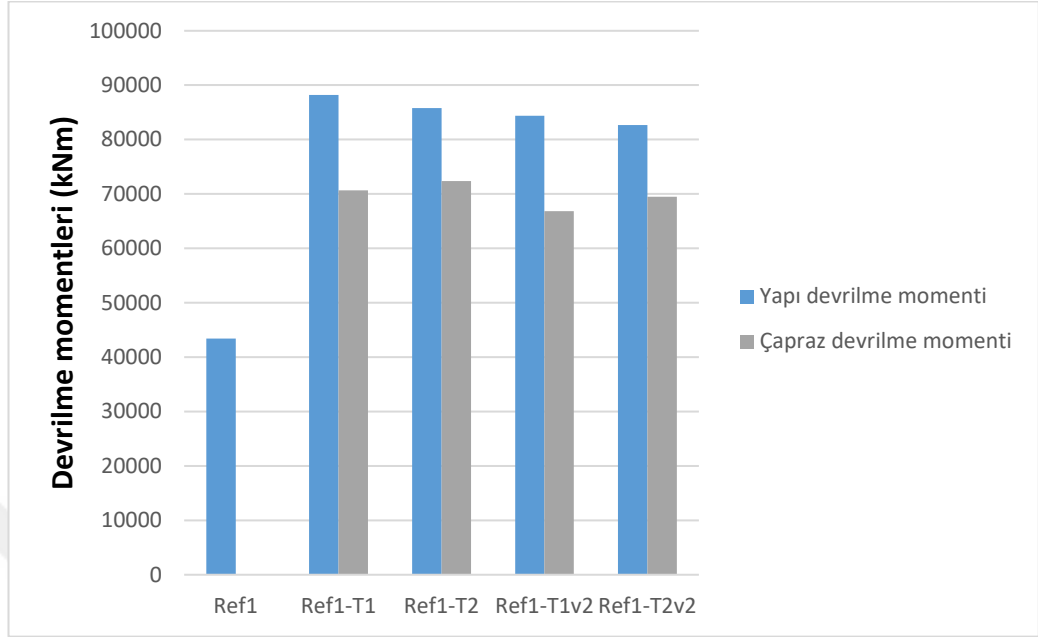
2	3,44	3,34	2,78	1,56	0,75	1,37	2,78	1,80	0,74	1,28
1	3,44	3,63	2,77	0,69	0,75	1,45	2,77	1,07	0,74	1,18

Tablo 3.3’ te verilen eksantrisite değerleri incelendiğinde, el hesabı ve Etabs sonuçları arasında farklar oluşmaktadır. Özellikle Ref1-T2 ve Ref1-T2v2 modellerinde çok büyük farklar çıkmaktadır. Bu modellerde el hesabı sonucunda eksantrisite değerleri çok küçük iken Etabs sonuçları 6 m’ ye kadar çıkmaktadır. El hesabı sonuçları ile Etabs yazılımının sonuçları arasında böyle farkların çıkmasının sebebi rijitlik merkezinin hesaplanma yönteminden kaynaklanmaktadır. Rijitlik merkezinin daha doğru bir yaklaşımla hesabı, incelenen model sayısının fazla olması ve zaman tasarrufu sağlayabilmek adına yapılmamıştır. İki yöntem arasında en tutarlı sonuçların elde edildiği model Ref1 modelidir.

Tablo 3.4, Şekil 3.4, Tablo 3.5 ve Şekil 3.5’ te Ref1, Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 modelleri için çaprazlı çerçevelere ait sonuçlar verilmektedir.

Tablo 3.4 Ref1, Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 x yönü çaprazlı çerçeve sonuçları

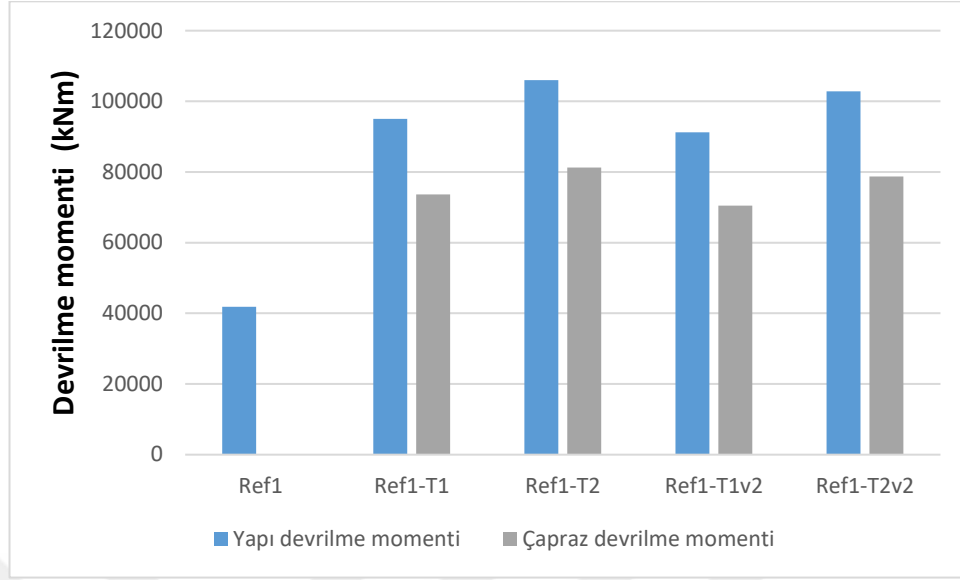
	Ref1	Ref1-T1	Ref1-T2	Ref1-T1v2	Ref1-T2v2
Bina devrilme momenti (kNm)	43423,85	88202,1	85765,56	84376,20	82673,90
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti (kNm)	Çapraz yok	70637,47	72365,20	66862,86	69498,23
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti oranı	Çapraz yok	80,09	84,38	79,24	84,06
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti (kN)	Çapraz yok	4326,46	4046,32	4227,6	4039,28
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti oranı	Çapraz yok	0,94	0,89	0,94	0,91



Şekil 3.4 Ref1 ve türev modellerinde x yönünde oluşan devrilme momentleri

Tablo 3.5 Ref1,Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2 ve Ref1-T2v2 y yönü çaprazlı çerçeve sonuçları

	Ref1	Ref1-T1	Ref1-T2	Ref1-T1v2	Ref1-T2v2
Bina devrilme momenti (kNm)	41809,38	95081,31	106035,1	91273,82	102807,74
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti (kNm)	Çapraz yok	73655,83	81298,24	70485,44	78712,98
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti oranı	Çapraz yok	77,47	76,67	77,22	76,56
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti (kN)	Çapraz yok	4490,73	5002,01	4438,98	4997,6
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti oranı	Çapraz yok	91,42	92,68	92,56	94,93



Şekil 3.5 Ref1 ve türev modellerinde y yönünde oluşan devrilme momentleri

Tablo 3.4 ve Şekil 3.4 incelendiğinde, x yönünde en büyük bina devrilme momentleri R1-T1 modelinde, en az R1-T2v2 modelinde oluşmaktadır. Çaprazlı çerçeveler en büyük devrilme momentini R1-T2 modelinde, en az ise R1-T1v2 modelinde almaktadır. X yönünde binalarda oluşan devrilme momentlerinin yaklaşık o/o 80' ini çaprazlı çerçeveler karşılamaktadır. R1-T1 ve R1-T1v2 modellerinde çaprazlı çerçeveler aynı oranda kesme kuvvetleri almaktadır. En az oran R1-T2 modelindedir. X yönünde çaprazlı çerçeveler tüm modellerde yaklaşık o/o 90 mertebelerinde kesme kuvvetlerini karşılamaktadır.

Tablo 3.5 ve Şekil 3.5 ' te y yönünde oluşan momentler incelenirse, en büyük bina devrilme momentleri R1-T2 modelinde, en az ise R1-T1v2 modelinde oluşmaktadır. Çaprazlı çerçevelerin aldığı en büyük devrilme momenti oranı R1-T1 modelinde, en az ise R1-T2v2 modelinde almaktadır. R1-T2 modelinde en büyük devrilme momenti oluşurken çaprazlı çerçevelerin en büyük devrilme momenti oranı R1-T1 modelinde olmaktadır. Y yönünde binalarda oluşan devrilme momentlerinin yaklaşık o/o 77' sini çaprazlı çerçeveler karşılamaktadır. R1-T2v2 modelinde çaprazlı çerçeveler en büyük kesme kuvveti oranına sahiptir. En az oran R1-T1 modelindedir. Y yönünde çaprazlı çerçeveler tüm modellerde yaklaşık o/o 92 oranında kesme kuvvetlerini karşılamaktadır.

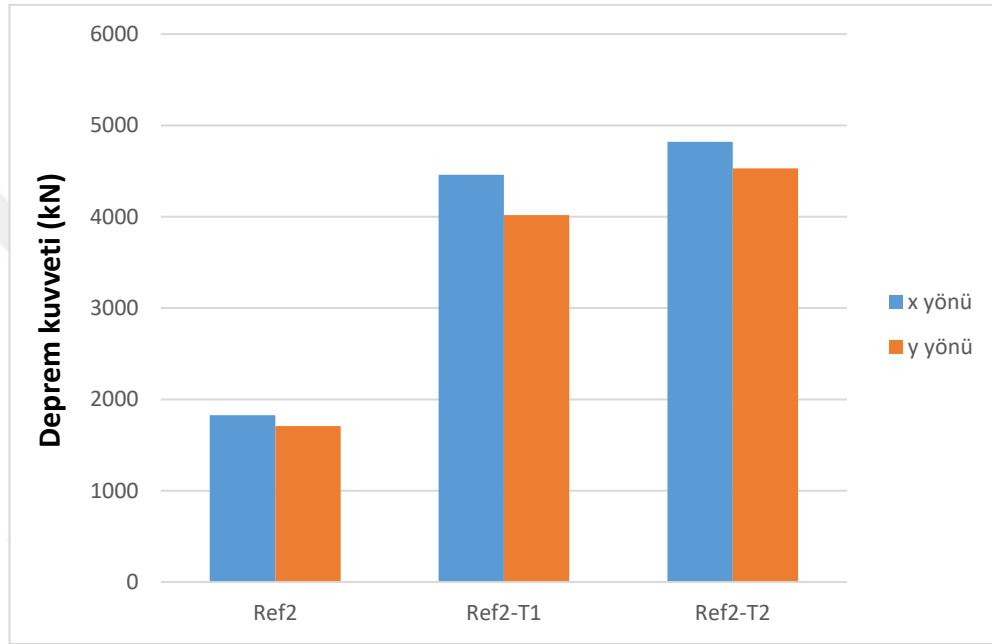
Tablo 3.6’ da Ref2 ve türev modelleri için ağırlık, periyot ve deprem kuvvetleri verilmektedir. Ref1 ve türev modellerinde bahsedildiği gibi bu modellerde de çapraz elemanların deprem kuvvetleri altında eksenel yük kapasitelerinden dolayı taşıyıcı sistem elemanların profilleri küçültülmüş ve yapı ağırlıkları azaltılmıştır. Ref2-T1 ve Ref2-T2 modelleri arasındaki ağırlık farkının sebebi Ref2-T2 modelinde dış cephelere yerleştirilen çaprazlı çerçeveler Ref2-T1 modeline göre daha büyük deprem kuvvetleri altında çalışmaktadır. Bu nedenle Ref2-T2 modelinde çapraz elemanların kesitleri daha büyük seçilmiştir.

Tablo 3.6 Ref2 ve türev modelleri için ağırlık, periyot ve deprem kuvveti değerleri

Modeller	Ref2	Ref2-T1	Ref2-T2
Yapı ağırlığı (kN)	36591,15	34914,53	34919,33
Taşıyıcı sistem ağırlığı (kN)	4894,83	3218,21	3223,01
Periyot (X) (sn)	1,342	0,839	0,776
Periyot (Y) (sn)	1,464	0,931	0,826
E.D.Y.Y (X) (kN)	1922,26	4694,11	5075,9
E.D.Y.Y (Y) (kN)	1796,43	4230,26	4768,64
M.B.Y (X) (kN)	1826,15	4459,41	4822,10
M.B.Y (Y) (kN)	1706,61	4018,73	4530,21

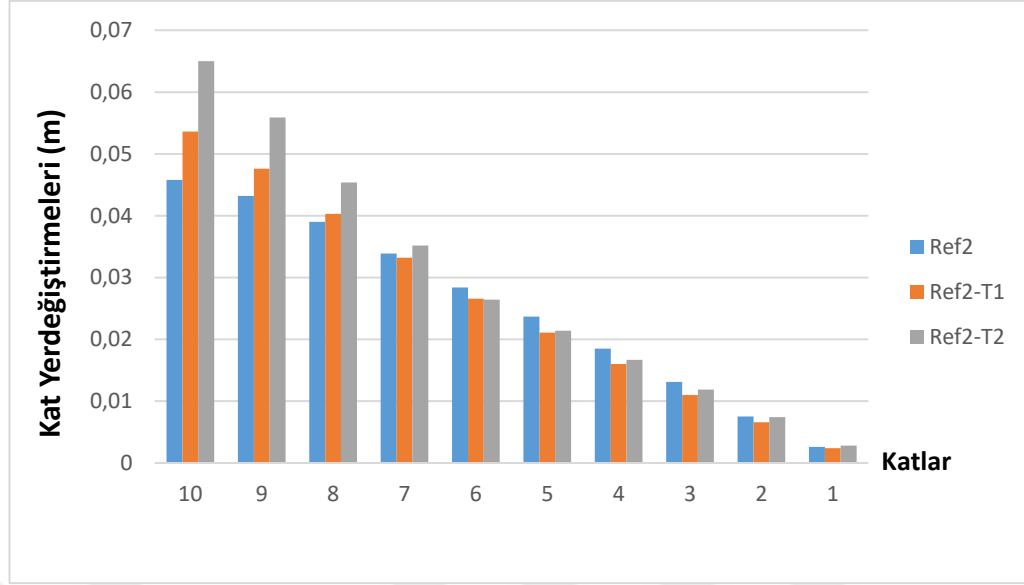
Ref2 ve türev modelleri için periyot değerleri incelendiğinde, türev modellerdeki periyot değerleri Ref2 modeline göre oldukça azalmaktadır. Her iki yön için de en düşük periyotlar Ref2-T2 modelinde oluşmaktadır. Ref2-T2 modelinin periyotları x yönünde yaklaşık o/o 39, y yönünde ise yaklaşık o/o 47 azalmıştır. Türev modellerde,

kullanılan çapraz elemanlar dolayı rijitlik önemli oranda artmıştır. Tablo 3.6 ve Şekil 3.6 incelendiğinde deprem kuvvetlerinde de yine periyot değerlerine paralel bir durum söz konusudur. En büyük deprem kuvvetleri Ref2-T2 modelinde oluşmuştur. Düşük periyot değerleri ve deprem yükü azaltma katsayısının 5 alınması, türev modellerde deprem kuvvetlerinin çok büyük değerler almasına neden olmaktadır. En yüksek oran x yönünde Ref2-T2 modeli için, $5075,9 / 1922,26 = 2,64$ değerini almaktadır.

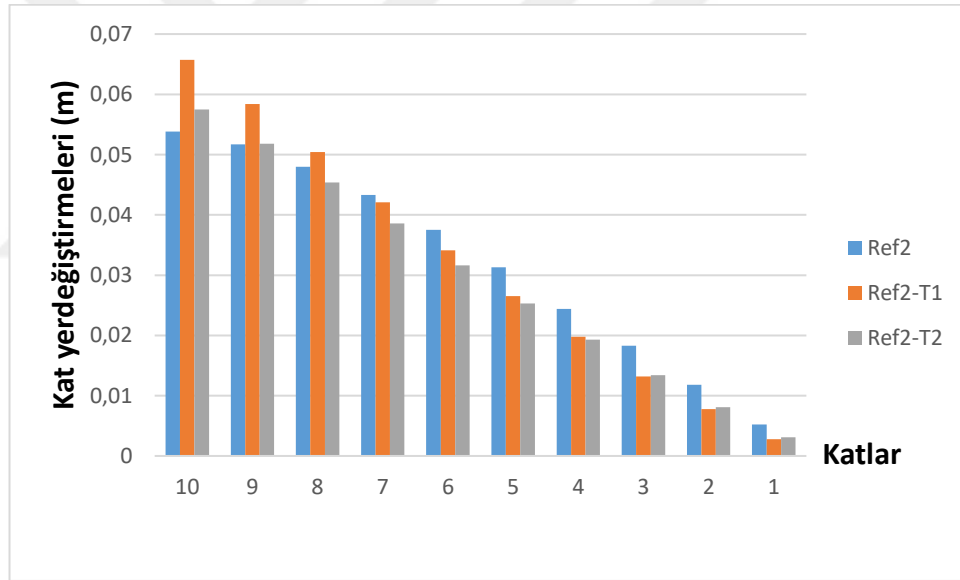


Şekil 3.6 Ref2 ve türev modellerine etkiyen deprem kuvvetleri (M.B.Y) (kN)

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’ de Ref2, Ref2-T1 ve Ref2-T2 modellerinin sırasıyla x ve y yönlerindeki her kat için elde edilen en büyük yerdeğiştirmeler verilmiştir. Şekil 3.7 incelendiğinde, x yönünde en büyük kat yer değiştirmeler 7. ve 10. katlar arasında Ref2-T2 modelinde, 1. ve 6. katlar arasında ise Ref2 modelinde oluşmaktadır. Çaprazlı modellerde, moment aktaran modele göre x yönünde çatı katı deplasmanı artmaktadır. Bu artış oranı Ref2’ ye göre Ref2-T1 modelinde yaklaşık o/o 17, Ref2-T2 modelinde ise o/o 42 dir. Ref2-T2 modelinde son katlarda yerdeğiştirmeler önemli oranda artmaktadır.



şekil 3.7 Ref2 ve türev modellerinin x yönü kat yerdeğiştirmeleri (m)



şekil 3.8 Ref2 ve türev modellerinin y yönü kat yerdeğiştirmeleri (m)

şekil 3.8’ de verilen y yönü kat yerdeğiştirmeleri incelendiğinde, y yönünde en büyük kat yer değiştirmeler 8. ve 10. katlar arasında Ref2-T1 modelinde, 1. ve 7. katlar arasında ise Ref2 modelinde oluşmaktadır. Y yönünde de x yönünde olduğu gibi çaprazlı modeller en büyük tepe deplasmanlarını yapmaktadır. Çatı katında yerdeğiştirme artış oranı R2-T1 modelinde o/o 22, R2-T2 modelinde ise yaklaşık o/o 8 dir.

Tablo 3.7’ de Ref2 ve türev modellerinde x ve y yönleri için etkin görelî kat ötelemesi kontrolü ile elde edilen en büyük değerler verilmiştir. X yönünde en büyük görelî kat öteleme değerleri Ref2-T2 modelinde, y yönünde ise Ref2 modelinde elde edilmiştir. Genel olarak üç modelde de elde edilen değerler sınıra (0,008) yakın mertebelere sahiptir.

Tablo 3.7 Ref2 ve türev modellerin en büyük etkin görelî kat öteleme değerleri

Modeller	x yönü	y yönü
Ref 2	0,0066	0,0080
Ref 2-T1	0,0054	0,0061
Ref2-T2	0,0077	0,0051

Tablo 3.8’ de Ref2 ve türev modeller için elle hesap ve Etabs yazılımı ile hesaplanan eksantrisite değerleri verilmiştir. Ref2 ve türev modeller, hem planda hem de düşeyde düzensizliklere sahip olması açısından oldukça düzensiz yapısal modellerdir.

Tablo 3.8 Ref2 ve türev modellerin eksantrisite değerleri

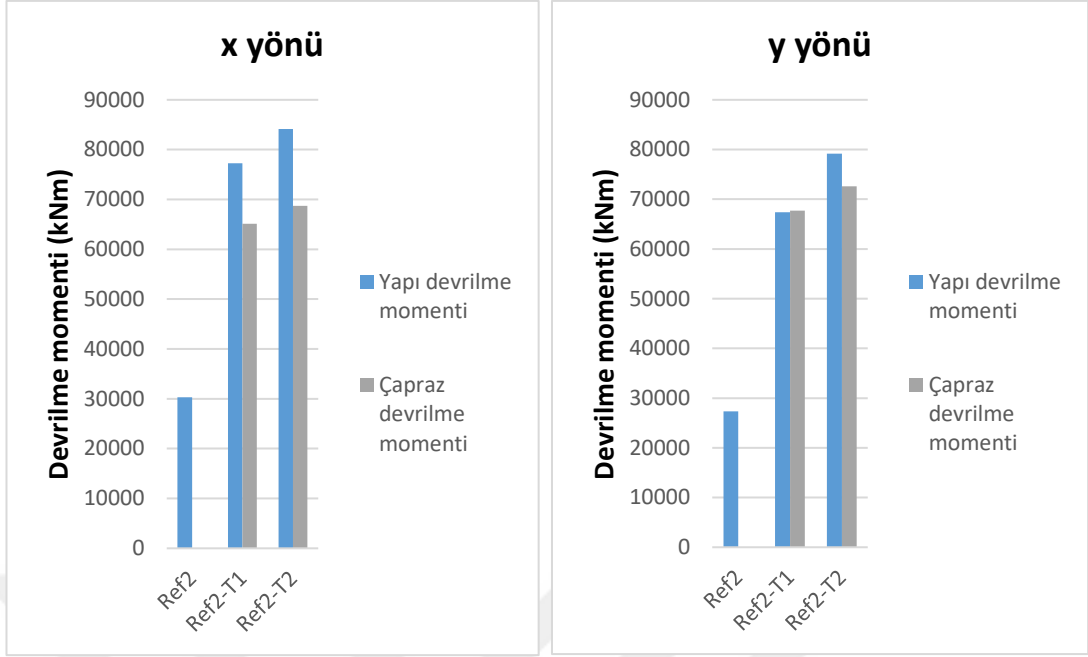
Kat	Ref2		Ref2-T1		Ref2-T2	
	El hsb (m)	Etabs (m)	El hsb (m)	Etabs (m)	El hsb (m)	Etabs (m)
10	1,92	1,77	0,37	6,01	4,02	7,66
9	1,90	2,92	0,33	6,56	3,99	7,35
8	2,01	4,95	0,61	7,48	3,99	7,30
7	2,01	8,79	0,57	9,14	3,99	8,16
6	4,57	2,50	1,73	2,52	3,61	3,46
5	5,82	1,48	2,73	1,88	4,45	3,34
4	5,49	1,72	1,67	1,47	4,20	3,06
3	5,50	1,53	1,79	1,27	3,60	3,11
2	4,74	1,33	2,63	1,16	3,88	2,85
1	4,74	1,65	2,58	1,08	3,35	2,44

Etabs yazılımı bu modeller için büyük mertebelerde eksantrisite değerleri hesaplamaktadır. Binaların özellikle 6. kattan itibaren kat planı alanlarının azalarak devam etmesi nedeniyle Etabs yazılımı 7.katta çok büyük eksantrisite değerleri hesaplamaktadır. Elle yapılan hesaplarda ise bu düzensizlikler hesaplara dahil edilmemiş olup, kat planı bağımsız olarak dikkate alınmıştır. Bu nedenle elle hesap ve Etabs yazılımı arasında büyük farklar oluşmaktadır. Binaların oldukça düzensiz olmasından dolayı Etabs yazılımından elde edilen sonuçlar fikir edinmek adına önemlidir.

Tablo 3.9, Tablo 3.10 ve Şekil 3.9’ de Ref2-T1 ve Ref2-T2 modelleri için bina ve çaprazlı çerçeve devrilme momentleri ile çaprazlı çerçeve kesme kuvvetleri verilmektedir. Ref2-T1 modelinde çaprazlı çerçeveler x yönünde bina devrilme momentinin o/o 84’ ünü karşılarken, y yönünde bina devrilme momentinin hepsini almaktadır.

Tablo 3.9 Ref2, Ref2-T1, Ref2-T2 x yönü moment değerleri

	Ref2	Ref2-T1	Ref2-T2
Bina devrilme momenti (kNm)	30300,30	77258,28	84165,79
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti (kNm)	Çapraz yok	65107,37	68705,27
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti oranı	Çapraz yok	84,27	81,63
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti (kN)	Çapraz yok	4175,23	4362,10
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti oranı	Çapraz yok	93,62	90,46



Şekil 3.9 Ref2, Ref2-T1 ve Ref2-T2 modelleri için x ve y yönü devrilme momentleri

Tablo 3.10 Ref2, Ref2-T1, Ref2-T2 y yönü moment değerleri

	Ref2	Ref2-T1	Ref2-T2
Bina devrilme momenti (kNm)	27366,50	67387,05	79171,96
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti (kNm)	Çapraz yok	67678,92	72598,28
Çaprazlı çerçeve devrilme momenti oranı	Çapraz yok	100	92,70
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti (kN)	Çapraz yok	4362,03	4611,08
Çaprazlı çerçeve kesme kuvveti oranı	Çapraz yok	100	98

Ref2-T2 modelinde çaprazlı çerçeveler x yönünde bina devrilme momentinin yaklaşık o/o 82' sini karşılarken, y yönünde o/o 93' ünü karşılamaktadır. İki modelde de x ve y yönü için çaprazlı çerçeveler, binaya gelen kesme kuvvetinin neredeyse hepsini karşılamaktadır. Ref2-T1 ve Ref2-T2 modellerinde, katların düzensizliğinden dolayı

etkiyen deprem kuvvetleri altında en büyük çapraz eksenel kuvvetleri x yönünde 6. ve 7. katlarda yani kat planlarının değiştiği kesitlerde meydana gelmektedir. Bu nedenle bu katlarda kullanılan çapraz profillerin kesitleri büyütülmüştür.

Tablo 3.11’ de Ref1 ve Ref2 modellerinin kıyaslanması amacıyla ağırlık, periyot ve deprem yükleri verilmektedir. İki model arasındaki farklılıklar kat geometrilerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Ref2 modelinde 6.kattan sonra kat planı azaldığı için yapı ağırlığı azalmakta ve dolayısıyla deprem yükü de azalmaktadır. Fakat periyotlar arasında çok büyük farklar yoktur. Ref2 modelinde 6.kattan sonraki bina kısmının salınımı bina davranışını belirleyen temel faktördür ve y yönünde Ref2 periyodu Ref1 den büyüktür.

Tablo 3.11 Ref1 ve Ref2 modellerinin karşılaştırılması

	Ref1	Ref2
Yapı ağırlığı (kN)	47372,5	36591,15
Taşıyıcı sistem ağırlığı (kN)	6801,34	4894,83
Periyot (X) (sn)	1,404	1,342
Periyot (Y) (sn)	1,444	1,464
E.D.Y.Y (X) (kN)	2382,86	1922,26
E.D.Y.Y (Y) (kN)	2326	1796,43
M.B.Y (X) (kN)	2263,71	1826,15
M.B.Y (Y) (kN)	2209,70	1706,61

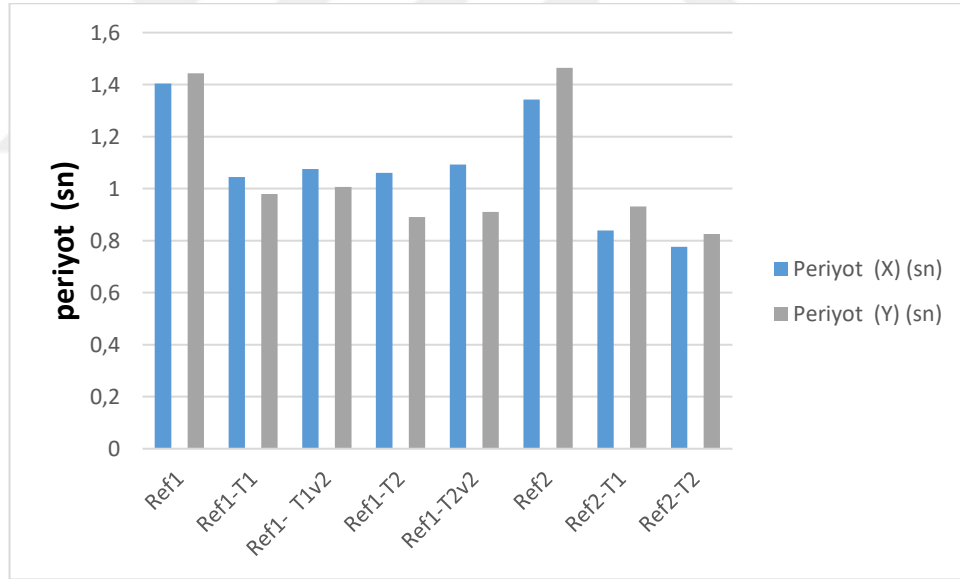
Tablo 3.12’ de türev modeller arasında kıyaslama yapılmaktadır. Buradaki kıyas, referans modellere eklenen çapraz elamanların ve kesit optimizasyonu sonucunda elde edilen taşıyıcı sistemlerin türetildikleri referans modellere göre davranış parametreleri arasında yapılmaktadır.

Tablo 3.12 Türev modellerin karşılaştırılması

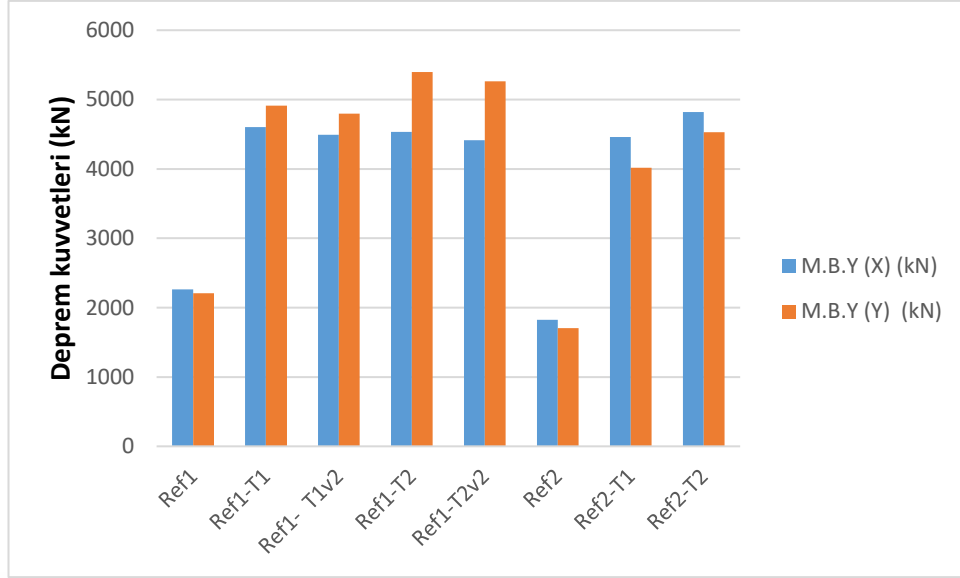
	Ref1- T1	Ref1- T1v2	Ref1- T2	Ref1- T2v2	Ref2- T1	Ref2- T2
Yapı ağırlığı (kN)	44877,21	44755,28	44877,21	44755,28	34914,53	34919,33
Taşıyıcı sistem ağırlığı (kN)	4306,05 (o/o 36)	4184,12 (o/o 38)	4306,05 (o/o 36)	4184,12 (o/o 38)	3218,21 (o/o 34)	3223,01 (o/o 34)
Periyot (X) (sn)	1,045	1,075	1,061	1,093	0,839	0,776
Periyot (Y) (sn)	0,979	1,006	0,891	0,911	0,931	0,826
E.D.Y.Y (X) (kN)	4844,16	4726,96	4771,11	4618,84	4694,11	5075,9
E.D.Y.Y (Y) (kN)	5170,74	5048,4	5681,43	5541,6	4230,26	4768,64
M.B.Y (X) (kN)	4601,95	4490,61	4532,55	4416,18	4459,41	4822,10
M.B.Y (Y) (kN)	4912,2	4795,98	5397,35	5264,57	4018,73	4530,21

Tablo 3.12’ de çapraz elemanların eklenmesi ve yeniden kesit optimizasyonu yapılarak elde edilen türev modellerin türetildikleri referans modellere göre kıyaslandığında taşıyıcı sistem ağırlığında oluşan azalma yüzde (o/o) olarak taşıyıcı

sistem ağırlığı kısmında parantez içinde verilmektedir. Buna göre en hafif taşıyıcı sistemler Ref2 modelinden türetilen Ref2-T1 ve Ref2-T2 modelinde elde edilmektedir. Periyot değerleri incelendiğinde, türetildiği referans modele göre periyodu en çok düşen model x yönünde o/o 39, y yönünde ise o/o 47 azalma ile Ref2-T2 modelidir (Şekil 3.10). Ref1 türev modellerinde ise Ref1 modeline göre periyodu en çok düşen model x yönünde o/o 25 azalma ile Ref1-T1, y yönünde ise o/o 38 azalma ile Ref1-T2 modelidir. Dolayısıyla Ref2 modelinden türetilen çaprazlı modellerde (Ref2-T1 ve Ref2-T2) çaprazlı çerçeveler Ref1 türev modellerine göre yapılara daha büyük rijitlik sağlamıştır. Deprem kuvvetleri kıyaslandığında x yönünde en büyük deprem yükünün oluştuğu model R2-T2 modelidir (Şekil 3.11). Yapı ağırlığı Ref1 türev modellerine göre daha az olmasına rağmen periyot değerinin çok düşük olmasından dolayı en büyük deprem yükü R2-T2 modelinde oluşmaktadır. Y yönü kıyaslandığında en küçük periyot R2-T2 modelinde olmasında rağmen yapı ağırlığından dolayı en büyük deprem yükü R1-T2 modelinde oluşmaktadır.



Şekil 3.10 Modellerin periyotlarının karşılaştırılması



Şekil 3.11 Modellerin deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması

Türev modellerde katların yaptığı yerdeğiştirmeler incelendiğinde, hem Ref1 hem de Ref2 den türetilen çaprazlı modellerde referans modellere göre daha büyük tepe deplasmanlar oluşmaktadır. Çaprazlı modeller de periyot değerleri referans modellere göre daha küçük iken, kat yerdeğiştirmeleri artmaktadır. Fakat bu durumun oluşmasındaki önemli husus, türev modellerde taşıyıcı sistem elemanlarda kullanılan profillerin kesitlerinin küçültülmesidir ve bu durum yapı ağırlığının o/o 34 mertebelerine kadar azaltılmaktadır. Çaprazlı türev modellerin bu özellikleri, hem dayanım kontrolleri hem de görelî kat öteleme değerleri açısından TBDY koşullarını sağlamaktadır.

İki referans modele göre türetilen çaprazlı modeller, çaprazlı çerçevelerin deprem kuvvetleri altında gösterdiği davranış açısından da karşılaştırılmıştır. İlgili tablolar incelendiğinde, her iki yönde de Ref1 modelinden türetilen çaprazlı modellerde Ref2 türev modellerine göre daha büyük devrilme momentleri oluşmaktadır. X yönünde hem Ref1 türev modelleri hem de Ref2 türev modellerinde çaprazlı çerçeveler yaklaşık olarak aynı oranda deprem yükünden kaynaklanan devrilme momentlerini karşılamaktadır. Y yönünde büyük farklar bulunmaktadır. Ref1 türev modellerinde çaprazlı çerçeveler yapıya gelen devrilme momentinin yaklaşık o/o 77' sini karşılarken Ref2 türev modellerinde çaprazlı modeller yapı devrilme momentinin neredeyse tamamını taşımaktadır.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, işyeri amacıyla kullanılacağı varsayılan farklı plan ve geometrilere sahip moment aktaran çerçevelerden oluşan iki çelik bina (Ref1 ve Ref2) ve bu çelik binalara çapraz elemanlar eklenerek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ile oluşturulan 6 çelik bina olmak üzere toplamda 8 adet yapı, TBDY-2018 ve ÇYTHY-2016 esaslarına göre tasarım ve boyutlandırma hesapları yapılmıştır. Bütün yapısal modellerin aynı konumda inşaa edileceği düşünülerek, deprem yüklerinin hesaplanması amacıyla, konum bilgileri ile AFAD uygulamasından gerekli ivme değerleri alınmıştır. Yapısal analizler Sap2000v19 ile yapılmıştır. Rüzgar yüklerinin hesabı için TS EN 1991-1-4 yönetmeliği esas alınmıştır. Bütün modellerde taşıyıcı sistem elemanları boyutlandırılırken ayrıntıları ÇYTHYE’ de verilen genel (doğrudan) analiz yöntemi kullanılmıştır. Yöntem gereği hesaplamalarda azaltılmış rijitlikler ve ikinci mertebe etkiler göz önüne alınmıştır.

Bütün modellerde kiriş ve kolonlar için HEA ve HEB profiller, çapraz elemanlar için ise boru profiller kullanılmıştır. Ana taşıyıcı kirişler kolon elemanlara kolonların güçlü yönlerinde rijit bağlanmış olup diğer bütün birleşimler mafsallı olarak modellenmiştir. Bütün modellerde temel birleşimleri her iki yönde ankastre mesnet olarak teşkil edilmiştir. Türev modellerde (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2, Ref2-T1 ve Ref2-T1-2) kolon ve kiriş elemanlar için kullanılan profiller, türetildikleri referans modellere göre (Ref1 ve Ref2) küçültülerek bir kesit optimizasyonu yapılmıştır. İncelenen bütün yapısal modeller tasarlanırken taşıyıcı sistem elemanlarının profillerinin seçiminde, tasarım dayanım kontrolleri ve görelî kat öteleme kontrolleri TBDY’ de belirtilen şartları sağlayacak şekilde olabildiğince hafif kesitlerin seçilmesi ile taşıyıcı sistemin ağırlığını azaltmak hedeflenmiştir.

İncelenen yapısal modeller planda ‘ L ’ şeklinde geometriye sahip olup aynı zamanda Ref2 ve türev modellerinde ise kat planları 6. kattan itibaren azalmaktadır. Bu geometrik özelliklerden dolayı incelenen bütün yapısal modellerde burulma düzensizliği ve plandaki çıkıntı yapan yapı kısımlarından dolayı A3 türü düzensizlik vardır. Bu düzensizliklerden dolayı incelenen binaların, Sap2000v19 yazılımı ile yapılan yapısal analizlerinde modellere herhangi bir diyafram tanımlanmamış ve

taşıyıcı sistemler diyaframsız çözülmüştür. Binaların deprem yükü hesabında doğrusal hesap yöntemi olan mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. TBDY' de mod birleştirme yöntemi sonuçlarının eşdeğer deprem yükü yöntemi ile karşılaştırılması ve gerekirse büyütme katsayısı uygulanarak sonuçların büyütülmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle çalışma kapsamında incelenen yapısal modellerin mod birleştirme yöntemi ile analizi sonucu elde edilen sonuçlar, güvenli tarafta kalmak adına modellerdeki düzensizliklerden dolayı TBDY ilgili maddesinde belirtildiği üzere eşdeğer deprem yükü yöntemine göre o/o 95 büyütülmüştür.

Çalışma kapsamında incelenen modeller için Sap2000v19 yazılımı ile modal analiz yapıldığında Ref1 modeli için 20. modda, Ref2 için ise 16.modda toplam kütle katılım oranı o/o 95 seviyesine ulaşılırken, türev modellerde ise 80 modda dahi o/o 95 seviyesine ulaşamamıştır. İkinci bölümde Ref1-T1 ve Ref2-T1 modelleri için verilen modal analiz sonuçları incelendiğinde çapraz elamanların yapıya kattığı rijitlikten dolayı yüksek modlarda yapının titreşime katılan kütle değerlerinin çok küçük mertebelerde kaldığı görülmektedir.

Yapısal analiz sonuçlarına göre moment aktaran çerçeve sistemde yer alan taşıyıcı eleman ile çaprazlı çerçeve sistemde yer alan taşıyıcı eleman arasında, etkiyen kesit tesirlerinin nasıl bir değişim gösterdiği üzerine örnek olarak çalışmanın ikinci bölümünde verilen kolon boyutlandırma hesaplarında, Ref1 ve Ref1-T1 modelinde 1.kat D / 2 kolonu için verilen iç kuvvetleri incelenebilir. Burada çaprazlı çerçevede yer alan kolon için deprem yükünden kaynaklanan eksenel kuvvetler çok büyük oranda artarken eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri azalmaktadır. Bu durum, referans modellere göre bütün türev modellerde çaprazlı çerçeve elemanları için aynı olmaktadır. Çaprazlı çerçevelerin deprem yüklerinin büyük bir kısmını karşılamasından dolayı türev modellerde çapraz eleman içermeyen çerçeve elemanlar neredeyse tamamen düşey yükler altında çalışıp deprem kuvvetlerinin etkisi altında olmazken, çaprazlı çerçeve elemanları ise deprem yükünden kaynaklanan iç kuvvetleri taşımaktadır.

Moment aktaran çerçeveler ile modellenen Ref1 ve Ref2 modellerinde TBDY hükümleri gereği taşıyıcı sistem davranış katsayısı 8 olduğundan bu modellerde taşıyıcı sistem elemanların tasarımında görelî kat öteleme kontrolleri, tasarım

dayanımı kontrollerine göre daha belirleyici olmaktadır. Çünkü bu modellerde yatay ve düşey yükler altında taşıyıcı sistem elemanları kapasitelerinin yaklaşık yarısını kullanırken görelî kat öteleme değerleri sınır değeri olan 0,008' e yakın mertebelerdedir.

Fakat çaprazlı çerçeveler ile oluşturulan türev modellerde referans modellere göre daha küçük profiller kullanılmasına rağmen, taşıyıcı sistem davranış katsayısının 5 olması ve çapraz elemanların eksenel yük taşıma kapasiteleri sayesinde görelî kat öteleme değerleri TBDY' de belirtilen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Çaprazlı çerçevelerin bu özelliğinden dolayı, Ref1 türev modellerinde (Ref1-T1, Ref1-T2, Ref1-T1v2, Ref1-T2v2) yaklaşık o/o 36, Ref2 türev modellerinde ise (Ref2-T1, Ref2-T2) yaklaşık o/o 34 daha hafif taşıyıcı sistemler elde edilmesiyle, çaprazlı çerçeveler moment aktaran çerçevelere göre ekonomik anlamda büyük avantajlar sağlamaktadır. Maliyetler hakkında genel bir fikir edinmek amacıyla, çalışmanın üçüncü bölümünde Tablo 3.12 ' de verilen, incelenen çelik binaların taşıyıcı sistem ağırlıkları ile 2022 yılı için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanmış olan 'İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayiç Listeleri'nde verilen birim fiyatların çarpılması ile elde edilen maliyet değerleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2' de verilmektedir. Çalışma kapsamında binaların yapısal analizlerinde temeller dikkate alınmadığı için Tablo 4.1 ve Tablo 4.2' de verilen maliyet değerlerine bina temelleri dahil değildir.

Tablo 4.1 Ref1 ve türev modelleri için maliyet değerleri

	Ref1	Ref1-T1	Ref1-T2	Ref1-T1v2	Ref1-T2v2
Maliyet (TL)	13.943.794,40	8.828.065,63	8.828.065,63	8.578.090,35	8.578.090,35
Birim fiyat	20.501,53 TL / ton				

Tablo 4.2 Ref2 ve türev modelleri için maliyet değerleri

	Ref2	Ref2-T1	Ref2-T2
Maliyet (TL)	10.035.155,30	6.597.826,10	6.607.666,84
Birim fiyat	20.501,53 TL / ton		

Çaprazlı çerçevelerin eklenmesiyle türev modellerde referans modellere göre büyük rijitlik artışları olmaktadır. Çaprazların binalara kattığı rijitlik açısından türev modeller kıyaslandığında Ref2 modelinden türetilen çaprazlı çerçevelerdeki rijitlik artışı Ref1 türev modellerine göre daha büyük olmaktadır. Ref2-T2 modelinde periyot, Ref2 modeline göre x yönünde o/o 42, y yönünde ise o/o 43 azalmaktadır. Ref2-T1 ve Ref2-T2 modelinde düşey düzensizlik nedeniyle 7.katta yer alan çapraz elemanlar, diğer katlarda yer alan çapraz elemanlara göre en büyük eksenel kuvvetleri taşımaktadır. Bu nedenle bu kattaki çapraz profillerin kesitleri büyük seçilmiştir. Periyot ve yapı ağırlığına bağlı olarak hesaplanan deprem kuvvetleri incelendiğinde türev modellerde, periyotların azalmasından dolayı referans modellere göre deprem kuvvetleri daha büyük olmaktadır.

Yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde periyotların aksine türev modellerde kat yerdeğiştirmeleri artmaktadır. Ama bu yerdeğiştirme sonuçlarının, türev modellerde taşıyıcı sistem ağırlığının önceki yorumda belirtildiği gibi önemli oranda azalması göz önünde tutularak değerlendirilmesi gerekir. Türev modellerde periyodun azalması ve deprem yükü azaltma katsayısının 5 alınmasından dolayı yapı ağırlığı azalmasına rağmen deprem kuvvetleri önemli oranda artmaktadır ve taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinin küçülmesi ile kat yerdeğiştirmeleri artmaktadır. Fakat bu yerdeğiştirme değerleri ile görelî kat öteleme kontrollerinde sınır koşullar aşılmamaktadır. Türev modellerdeki görelî kat öteleme değerleri de daha hafif taşıyıcı sistem elde edilmesi amacıyla referans modellerde olduğu gibi sınır değerlere yakın mertebelerde edilmiştir.

Çaprazlı çerçevelerin yapıya gelen devrilme momentlerini karşılamada en büyük oran Ref2 türev modellerinde elde edilmiştir. X yönüne Ref1 ve Ref2 türev modellerinde çaprazlı çerçeveleri bina devrilme momentlerini yaklaşık o/o 80 oranında karşılarken, y yönünde Ref2 türev momentleri neredeyse tamamını karşılamaktadır. Çaprazlı çerçevelerin binalarda karşıladığı yatay kuvvet ve devrilme momenti oranlarının TBDY Madde 4.3.2.4 ve Madde 9.6.1.2 gereği kontrol edilmesi gerekmektedir. Yapılan kontrollerde belirtilen maddelerde verilen sınır değerlerin aşılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada incelenen yapısal modellerin doğrusal olmayan davranışları incelenmemiştir. Farklı bir çalışmada TBDY' de ayrıntıları verilen doğrusal olmayan itme analizleri ile zaman tanım alanında analizler ile bu çelik modellerin doğrusal olmayan davranışları incelenip karşılaştırma yapılabilir.

Çalışma kapsamında yapısal modellere temel dahil edilmemiştir. Aynı çalışmada yapısal modellere temel eklenerek temel-yapı etkileşimi incelenebilir.

KAYNAKLAR

Agheyere A. O. ve Vigil J. (2018). *Çelik Yapı Tasarımı Uygulamaya Yönelik Bir Yaklaşım* (1.Baskı) Çevirenler : Akbaş B. ve Eğilmez O. Ö. , Nobel Akademik Yayıncılık

Aydın M. R. ve Günaydın A. (2019). *Çelik Yapılar Tasarım Kuralları ve Uygulama Örnekleri* (4.Baskı), Birsen Yayınevi

Aydinoğlu M. N., Özer E., Celep Z. Ve Özaydın K. (2018) *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) Eğitim El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Celep Z. (2019). *Deprem Mühendisliğini Giriş ve Deprem Dayanıklı Yapı Tasarımı* (7.Baskı), Beta Basım Yayım Dağıtım

Çevre Şehircilik Bakanlığı (2017) *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Uygulama Kılavuzu*, Ankara.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022) *İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayiç Listeleri*, 2022/2, Ankara

Darılmaz K. (2019). *Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş*,
Birsen Yayınevi.

ÇYTHYE (2018). *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair
Yönetmelik 2016*, Çevre Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Eşsiz Ö. (2005) Deprem Bölgelerindeki Çelik Çapraz Çerçeve Sistemlerin Avantajları,
Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.

Özmen G., Orakdöğen E., Darılmaz K. (2018) *Örneklerle Sap2000v20*,
Birsen Yayınevi.

Sap2000 Analysis Reference Manual (1998) *Computer and Structures Inc. Berkley,
California*.

Şeker O., Şişman Ö. A. ve Akbaş B. (2021). Depreme dayanıklı çelik merkezi çaprazlı
çerçeve tasarımında güncel kapasite tasarımı yaklaşımının tasarımının irdelenmesi,
Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 37(2), 739-756.

TBDY (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi
Başkanlığı, Ankara.

TS EN 1991-1-4 (2007) *Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgar Yükleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 498 (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

