



**T.C.  
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ PANELLERİN BİNALARDA DÖŞEME  
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özgül DEMİRAĞ**

**ARALIK 2019  
GÜMÜŞHANE**

**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ PANELLERİN BİNALARDA DÖŞEME**  
**OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özgül DEMİRAĞ**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**"İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı"**  
**Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.12.2019**  
**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 03.01.2020**

**ARALIK 2019**



## KABUL ve ONAY



Doç Dr. Ertekin ÖZTEKİN danışmanlığında **Özgül DEMİRAĞ** tarafından hazırlanan **“ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ PANELLERİN BİNALARDA DÖŞEME OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

**Başkan** : Prof. Dr. Korhan ÖZGAN  
**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ  
**Üye (Danışman)** : Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN

## ONAY

Bu tez **08.01/2020** tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum ***“Alüminyum Köpük Sandviç Panellerin Binalarda Döşeme Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”*** isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim. 24/12/2019

  
Özgül DEMİRAĞ



**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALÜMİNYUM KÖPÜK SANDVIÇ PANELLERİN BİNALARDA DÖŞEME  
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Özgül DEMİRAĞ

Gümüşhane Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN

2019, 90 Sayfa

Bu çalışmada, alüminyum köpük sandviç (AKS) panellerin bina türü yapılarda döşeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kat sayısının kullanılabilirliğe etkisinin görülebilmesi için 5, 10 ve 14 katlı yapılara betonarme plak döşeme, trapez sac ve betonarmeden oluşan kompozit ve AKS plak döşeme sistemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Çalışma kapsamındaki yapı modelleri, betonarme perdeli çerçeve, çelik çaprazlı çerçeve ve betonarme çerçeve taşıyıcı olmak üzere üç farklı sistem olarak ayrı ayrı tasarlanmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen analizler sonrasında, AKS panellerle imal edilen döşeme sistemlerinin yapı ağırlıkları, bina hakim periyotları, kat bazında x ve y yönünde meydana gelen yerdeğiştirmeler, etkin göreceli kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve yapı maliyeti üzerine büyük etkileri olduğu görülmüştür. Betonarme yapılarda kullanılmamış

betonarme plak ve elik yapılarıdaki kompozit döşemelere nazaran birçok üstünlüğü olan AKS döşeme sistemlerinin yeni bir alternatif olduğı görölmüşür.

**Anahtar Kelimeler:** Döşeme sistemleri, Kompozit malzeme, Köpük sandviç panel, Sap2000, Sonlu elemanlar yöntemi, Taşıyıcı sistem.

**ABSTRACT**  
**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF ALUMINIUM FOAM SANDWICH  
PANELS AS STRUCTURAL PLATE IN BUILDINGS**

Özgül DEMİR AĞ

Gumushane University  
The Graduate School of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ertekin ÖZTEKİN  
2019, 90 Pages

In this study, usability of aluminum foam sandwich panels in buildings were investigated. In order to see the effect of storey numbers on the usability the Reinforced concrete plate systems, composite plate system consisting of trapezoidal thin plate sheets and reinforced concrete and aluminum foam sandwich panel systems, buildings having 5, 10 and 14 storey were modelled. Each Buildings models in this study were designed as three separate type structural system which are reinforced concrete frame with shear Wall system, steel frame system with cross bracing and reinforced concrete frame three system s models were designed as three in this study. After the analyzes performed according to Turkish Earthquake Code 2018 in this study, significant effects of the plate systems with aluminum foam sandwich panels were seen on building weights, displacements in x and y

directions at floor levels, effective relative displacements of floors, base shear forces and building costs. Finally, it can be concluded that the floor plates with aluminum foam sandwich panels having some additional advantages were seen as an alternative plate system as per conventional reinforced plate systems and composite plate systems used in steel buildings.

**Keywords :** Plate systems, Composite material, Foam sandwich panel, Sap 2000, Finite element method, Bearing system

## TEŞEKKÜR

“Çok Katlı Binalarda Alüminyum Esaslı Kompozit Döşeme Sistemlerinin Yapısal Davranış Üzerine Etkileri” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca yaptığım çalışmaları özenle takip eden, bilgi birikimi, deneyimi ve hoşgörüsünü esirgemeyen, bana her konuda yol gösteren değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN’e teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve hoşgörü ile yardımlarını esirgemeyip, bana her konuda yol gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Salim Serkan NAS’a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emine ÇORUH ile Sayın Doç. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU’na ve değerli dostlarım Sayın Hediye EZBER, Sayın Aynur TÜRKYILMAZ, Sayın Büşra DEMİRCİ ÇARKACI’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans tez çalışmam esnasında her ihtiyacım olduğunda benden yardımını esirgemeyen sevgili dostum Sayın Arş. Gör. Yusuf KAYA’ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bana yüksek lisans tezi çalışmam esnasında da maddi ve manevi destek olan annem Sevgi DEMİRAĞ, babam Celâl DEMİRAĞ’a, kardeşlerim Miraç ve Serdar DEMİRAĞ’a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Özgül DEMİRAĞ

Gümüşhane, 2019

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	VI
TEŞEKKÜR .....	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kompozit Malzemeler .....	1
1.3. Sandviç Kompozitler .....	5
1.3.1. Sandviç Kompozitlerin Bileşenleri .....	7
1.3.1.1. Köpük Çekirdekler .....	8
1.3.1.2. Metal Köpükler.....	9
1.3.2. Sandviç Kompozitlerin Avantaj ve Dezavantajları .....	13
1.3.3. Sandviç Kompozitlerin Kullanım ve Uygulama Alanları .....	14
1.4. Yapılarda Döşeme ve Döşeme Çeşitleri.....	14
1.4.1. Ahşap Döşemeler .....	15
1.4.2. Çelik Döşemeler .....	15
1.4.3. Betonarme Döşemeler .....	16
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	19
2.1. Betonarme Yapı Modellerinin Tasarımı.....	21
2.1.1. Betonarme Yapı Modellerin Özellikleri.....	21
2.1.2. Malzeme Özellikleri .....	24
2.1.3. Betonarme Yapı Modelleri İçin Yük Hesapları .....	27
2.1.3.1. Betonarme Yapı Modellerinde Düşey Yük Hesabı.....	27
2.1.3.2. Betonarme Yapı Modellerinde Yatay Yük Hesapları .....	28

2.1.4.	Betonarme Yapı Modellerinde Kullanılan Yük Birleşimleri .....	29
2.1.5.	Betonarme Yapı Modellerinde Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması	30
2.1.5.1.	Betonarme Yapı Modellerindeki Döşeme Kalınlıkları .....	31
2.1.5.2.	Betonarme Modellerde Kiriş Enkesit Boyutları .....	33
2.1.5.3.	Betonarme Modellerde Kolon Enkesit Boyutları .....	34
2.1.5.4.	Betonarme Modellerde Perde Kalınlığı .....	35
2.2.	Çelik Yapı Modellerinin Tasarımı .....	36
2.2.1.	Çelik Yapı Modellerinin Özellikleri .....	36
2.2.2.	Malzeme Özellikleri .....	40
2.2.3.	Çelik Yapı Modelleri İçin Yük Hesapları .....	41
2.2.3.1.	Çelik Yapı Modellerinde Düşey Yük Hesabı .....	41
2.2.3.2.	Çelik Çatı Modellerinde Yatay Yük Hesabı .....	43
2.2.4.	Çelik Yapı Modellerinde Kullanılan Yük Birleşimleri .....	43
2.2.5.	Çelik Yapı Modellerinde Taşıyıcı Sistem Elemanları Boyutlandırılması .....	45
2.2.5.1.	Çelik Yapı Modellerindeki Döşeme Kalınlıkları .....	45
2.2.5.2.	Çelik Yapı Modellerinde Kiriş Profili Seçimi .....	47
2.2.5.3.	Çelik Yapı Modellerinde İkincil Kiriş Profili Seçimi .....	47
2.2.5.4.	Çelik Yapı Modellerinde Kolon Profili Seçimi .....	47
2.2.5.5.	Çelik Yapı Modellerinde Çelik Çapraz Profili Seçimi .....	48
3.	BULGULAR .....	49
3.1.	Yapı Ağırlıklarının İrdelenmesi .....	49
3.1.1.	5 Katlı Yapılara Ait Ağırlıkların İrdelenmesi .....	49
3.1.2.	10 Katlı Yapılara Ait Ağırlıkların İrdelenmesi .....	50
3.1.3.	14 Katlı Yapılara Ait Ağırlıkların İrdelenmesi .....	52
3.1.4.	Kat Adedine Bağlı Olarak Yapı Ağırlıklarının İrdelenmesi .....	53
3.2.	Model Periyotlarının İrdelenmesi .....	54
3.2.1.	5 Katlı Yapılara Ait Model Periyotlarının İrdelenmesi .....	54
3.2.2.	10 Katlı Yapılara Ait Model Periyotlarının İrdelenmesi .....	56
3.2.3.	14 Katlı Yapılara Ait Model Periyotlarının İrdelenmesi .....	56
3.2.4.	Kat Adedine Bağlı Olarak Model Periyotlarının İrdelenmesi .....	57
3.3.	Düzlemde Yerdeğiştirmelerin ve Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi ...	59

3.3.1.	5 Katlı Yapılara Ait Yerdeşiştirmelerin ve Etkin Görelİ Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi .....	60
3.3.2.	10 Katlı Yapılara Ait Yerdeşiştirmelerin ve Etkin Görelİ Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi .....	64
3.3.3.	14 Katlı Yapılara Ait Yerdeşiştirmelerin ve Etkin Görelİ Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi .....	69
3.3.4.	Kat Adedine Bağlı Olarak Düzlemde Yerdeşiştirmelerin İrdelenmesi.....	74
3.4.	Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi.....	76
3.4.1.	5 Katlı Yapılara Ait Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi .....	77
3.4.2.	10 Katlı Yapılara Ait Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi .....	78
3.4.3.	14 Katlı Yapılara Ait Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi .....	79
3.4.4.	Kat Adedine Bağlı Olarak Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi .....	80
3.5.	Döşeme Maliyetlerinin İrdelenmesi .....	82
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	84
5.	KAYNAKLAR.....	87
6.	EKLER .....	91
	ÖZGEÇMİş	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	Kompozit malzemeler (Kaya, 2016).....	2
Şekil 1.2.	Sandviç kompozitin genel yapısı .....	6
Şekil 1.3.	Sandviç kompozitin eğilme durumunda taşıdığı yükler (Kara, 2012).....	6
Şekil 1.4.	Açık hücreli (a) ve kapalı hücreli (b) metal köpük (Mutlu, 2011) .....	10
Şekil 1.5.	Metal köpüklerin tipik gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi (Kara, 2012) ....	11
Şekil 1.6.	Betonun tipik gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.....	12
Şekil 2.1.	BBP-5 ve BAP-5'e ait kat planı .....	21
Şekil 2.2.	BBP0-5'e ait kat planı .....	22
Şekil 2.3.	BBP-10 ve BAP-10'a ait kat planı.....	22
Şekil 2.4.	BBP-14 ve BAP-14'e ait kat planı .....	23
Şekil 2.5.	BBP-5 (a) ve BAP0-5'e (b) ait üç boyutlu görünüş .....	23
Şekil 2.6.	BBP-10 ile BAP-10 (a) ve BBP-14 ile BAP-14'e (b) ait üç boyutlu görünüş	24
Şekil 2.7.	Alüminyum köpük sandviç panel (Raeisi vd., 2019) .....	26
Şekil 2.8.	Alüminyum köpük sandviç panele ait gerilme-şekildeğiştirme eğrisi .....	26
Şekil 2.9.	BBP-5, BBP-10 ve BBP-14 modellerine ait normal kat döşeme kesiti.....	32
Şekil 2.10.	BBP-5, BBP-10 ve BBP-14 modellerine ait çatı katı döşeme kesiti .....	32
Şekil 2.11.	BAP-5, BAP0-5, BAP-10, BAP-14, CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 modellerine ait normal kat döşeme kesiti .....	33
Şekil 2.12.	BAP-5, BAP0-5, BAP-10, BAP-14, CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 modellerine ait çatı katı döşeme kesiti.....	33
Şekil 2.13.	Çelik yapı modellerine ait tipik döşeme planı .....	36
Şekil 2.14.	CBP-5 ve CAP-5'e (a), CBP-10 ve CAP-10'a (b),CBP-14 ve CAP-14'e (c) ait A aksı çerçevesi .....	37
Şekil 2.15.	CBP-5 ve CAP-5'e (a), CBP-10 ve CAP-10'a (b),CBP-14 ve CAP-14'e (c) ait B aksı çerçevesi .....	37
Şekil 2.16.	CBP-5 (a) ve CAP-5'in (b) üç boyutlu görünüşü .....	38
Şekil 2.17.	CBP-10 (a) ve CAP-10'un (b) üç boyutlu görünüşü .....	38
Şekil 2.18.	CBP-14 (a) ve CAP-14'e (b) ait üç boyutlu görünüşü .....	39
Şekil 2.19.	CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 modellerine ait normal kat döşeme kesiti.....	46
Şekil 2.20.	CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 modellerine ait çatı katı döşeme kesiti .....	46
Şekil 3.1.	5 Katlı yapı ağırlıkları.....	50

Şekil 3.2.	10 Katlı yapı ağırlıkları.....	51
Şekil 3.3.	14 Katlı yapı ağırlıkları.....	52
Şekil 3.4.	BBP-BAP modelleri arasındaki yapı ağırlığı değişimi (BAP-5).....	53
Şekil 3.5.	BBP-BAP modelleri arasındaki yapı ağırlığı değişimi (BAP0-5).....	53
Şekil 3.6.	CBP-CAP modelleri arasındaki yapı ağırlığı değişimi.....	54
Şekil 3.7.	5 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri .....	55
Şekil 3.8.	10 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri .....	56
Şekil 3.9.	14 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri .....	57
Şekil 3.10.	BBP-BAP modelleri arasındaki titreşim periyodu değişimi.....	58
Şekil 3.11.	CBP-CAP modelleri arasındaki titreşim periyodu değişimi.....	58
Şekil 3.12.	5 Katlı betonarme yapı modellerinin x ve y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri .....	61
Şekil 3.13.	5 Katlı çelik yapı modellerinin x yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri .....	63
Şekil 3.14.	5 Katlı çelik yapı modellerinin y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri .....	63
Şekil 3.15.	10 Katlı betonarme yapı modellerinin x ve y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri .....	65
Şekil 3.16.	10 Katlı çelik yapı modellerinin x yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri ....	68
Şekil 3.17.	10 Katlı çelik yapı modellerinin y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri ....	68
Şekil 3.18.	14 Katlı betonarme yapı modellerinin x ve y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri .....	70
Şekil 3.19.	14 Katlı çelik yapı modellerinin x yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri ....	73
Şekil 3.20.	14 Katlı çelik yapı modellerinin y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri ....	74
Şekil 3.21.	BBP-BAP modelleri için x ve y yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri (BAP-5) .....	75
Şekil 3.22.	BBP-BAP modelleri için x ve y yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri (BAP0-5) .....	75
Şekil 3.23.	CBP-CAP modelleri için x yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri ....	75
Şekil 3.24.	CBP-CAP modelleri için y yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri ....	76
Şekil 3.25.	5 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri .....	78
Şekil 3.26.	10 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri .....	79
Şekil 3.27.	14 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri .....	80
Şekil 3.28.	BBP-BAP modelleri arasındaki x ve y yönündeki taban kesme kuvveti değişimi (BAP-5).....	81
Şekil 3.29.	BBP-BAP modelleri arasındaki x ve y yönündeki taban kesme kuvveti değişimi (BAP0-5).....	81

Şekil 3.30. CBP-CAP modelleri arasındaki x ve y yönündeki taban kesme kuvveti değişimi .....	81
--	----

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 2.1.	Model adlandırmaları .....	19
Tablo 2.2.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin uygulanabileceğı binalar (TBDY-2018) .....	20
Tablo 2.3.	C35 betonunun mekanik özellikleri (TS500-2000).....	25
Tablo 2.4.	B420C sınıfı donatının mekanik özellikleri (TS 708-2016).....	25
Tablo 2.5.	Alüminyum köpük sandviçin mekanik özellikleri (Raeisi vd., 2019).....	27
Tablo 2.6.	BBP-5, BBP-10 ve BBP14 normal kat döşeme yükleri .....	27
Tablo 2.7.	BBP-5, BBP-10 ve BBP-14 çatı katı döşeme yükleri .....	27
Tablo 2.8.	BAP-5, BAP0-5, BAP-10 ve BAP-14 normal kat döşeme yükleri.....	28
Tablo 2.9.	BAP-5, BAP0-5, BAP-10 ve BAP-14 çatı katı döşeme yükleri .....	28
Tablo 2.10.	Döşeme kalınlıkları .....	32
Tablo 2.11.	Kolon boyutları .....	35
Tablo 2.12.	S275 sınıfı çeliğın mekanik özellikleri.....	41
Tablo 2.13.	CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 normal kat döşeme yükleri.....	41
Tablo 2.14.	CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 çatı katı döşeme yükleri .....	42
Tablo 2.15.	CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 normal kat döşeme yükleri .....	42
Tablo 2.16.	CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 çatı katı döşeme yükleri .....	42
Tablo 2.17.	Yüksekliğe bağılı olarak rüzgâr hızı ve emme (rüzgâr basıncı).....	43
Tablo 2.18.	Döşeme kalınlıkları .....	47
Tablo 2.19.	Kolon en kesit profilleri .....	48
Tablo 2.20.	Çapraz en kesit profilleri .....	48
Tablo 3.1.	5 Katlı yapı ağırlıkları .....	50
Tablo 3.2.	10 Katlı yapı ağırlıkları .....	51
Tablo 3.3.	14 Katlı yapı ağırlıkları .....	52
Tablo 3.4.	5 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri .....	55
Tablo 3.5.	10 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri .....	56
Tablo 3.6.	14 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri .....	57
Tablo 3.7.	Betonarme yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri ve sınır periyot değerleri.....	59
Tablo 3.8.	Çelik yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri ve sınır periyot değerleri .....	59
Tablo 3.9.	BBP-5 x ve y yönünde $\pm\%$ 5 kat yerdeğıştirmeleri ve görelı kat ötelemeleri .....	60

Tablo 3.10.	BAP-5 x ve y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve görelı kat ötelemeleri .....	61
Tablo 3.11.	BAP0-5 x ve y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve görelı kat ötelemeleri....	61
Tablo 3.12.	CBP-5 x yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri.....	62
Tablo 3.13.	CBP-5 y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri.....	62
Tablo 3.14.	CAP-5 x yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri ....	62
Tablo 3.15.	CAP-5 y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri ....	63
Tablo 3.16.	BBP-10 x ve y yönündeki $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri.....	64
Tablo 3.17.	BAP-10 x ve y yönündeki $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri.....	65
Tablo 3.18.	CBP-10 x yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri...	66
Tablo 3.19.	CBP-10 y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri...	66
Tablo 3.20.	CAP-10 x yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri ..	67
Tablo 3.21.	CAP-10 y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri ..	67
Tablo 3.22.	BBP-14 x ve y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri.....	69
Tablo 3.23.	BAP-14 x ve y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri.....	70
Tablo 3.24.	CBP-14 x yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri...	71
Tablo 3.25.	CBP-14 y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri...	72
Tablo 3.26.	CAP-14 x yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri ..	72
Tablo 3.27.	CAP-14 y yönünde $\pm\%5$ kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri ..	73
Tablo 3.28.	5 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri.....	77
Tablo 3.29.	10 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri.....	79
Tablo 3.30.	14 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri.....	80
Tablo 3.31.	Betonarme döşeme metraj ve maliyet değerleri .....	82
Tablo 3.32.	Kompozit döşeme metraj ve maliyet değerleri.....	83
Tablo 3.33.	AKS plak döşeme metraj ve maliyet değerleri.....	83

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AKS	: Alüminyum Köpük Sandviç
BAP0-5	: 5 Katlı betonarme çerçeve taşıyıcı ve AKS kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
BAP-5	: 5 Katlı betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı ve AKS kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
BAP-10	: 10 Katlı betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı ve AKS kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
BAP-14	: 14 Katlı betonarme perde-çerçeve taşıyıcı ve AKS kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
BBP-5	: 5 Katlı betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı ve betonarme kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
BBP-10	: 10 Katlı betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı ve betonarme kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
BBP-14	: 14 Katlı betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı ve betonarme kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
CAP-5	: 5 Katlı çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı ve AKS kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
CAP-10	: 10 Katlı çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı ve AKS kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli
CAP-14	: 14 Katlı çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı ve AKS kirişli plak döşeme sistemli yapı modeli.
CBP-5	: 5 Katlı çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı ve kompozit döşeme sistemli yapı modeli
CBP-10	: 10 Katlı çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı ve kompozit döşeme sistemli yapı modeli
CBP-14	: 14 Katlı çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı ve kompozit döşeme sistemli yapı modeli
$C_t$	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
ÇYTHYE-2016	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar
$D$	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
$E$	: Elastisite modülü (MPa)
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(x)}$	: (x) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(y)}$	: (y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(z)}$	: (z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$f_{ck}$	: Beton karakteristik basınç dayanımı
$f_{su}$	: Karakteristik kopma dayanımı
$f_y$	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
$G$	: Ölü yükler
$g$	: Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
GKT	: Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
$h_f$	: Döşeme kalınlığı

$h_{kiriş}$	: Kiriş yüksekliği
$H_N$	: Bina toplam yüksekliği
$I$	: Bina önem katsayısı
$I_x, I_y$	: İlgili asal eksen etrafındaki atalet momenti
$I_n$	: Döşeme kısa doğrultudaki serbest açıklığı
$m$	: Döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı
$m_t$	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi
$Q$	: Hareketli yükleri
$R$	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$S_1$	: 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
$S_{D1}$	: 1.0 saniye periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
$S_{DS}$	: Kısa periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
$T$	: Doğal titreşim periyodu (s)
$T_A$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
$T_B$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
$T_P^{(x)}$	: (x) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu (s)
$V_{IE}^{(x)}$	: (x) deprem doğr. binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (kN)
$w_b$	: Kiriş genişliği
$W_e$	: Eğilme eksen etrafında elastik mukavemet momenti
$W_p$	: Eğilme eksen etrafında plastik mukavemet momenti
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
$\alpha_s$	: Döşemenin sürekli kenar uzunluklarının toplamının tüm kenar uzunluklarına oranı
$\alpha_t$	: Isıl genleşme katsayısı
$\Delta i$	: Binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için azaltılmış görel kat ötelemesi
$\delta i$	: Binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görel kat ötelemesi
$\gamma$	: Birim hacim ağırlığı
$\nu$	: Poisson oranı
$\eta_{bi}$	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Yapılar hizmet süresince deprem, kar, rüzgâr, toprak etkisi, sıvı basıncı ve ısı yükleri gibi dış etki ve yüklere maruz kalmaktadırlar. Bu etkiler içerisinde en şiddetli, beklenmedik ve yıkıcı olan şüphesiz depremdir. Yer hareketlerinin dünyada ve büyük kısmı deprem kuşağında yer alan ülkemizde de meydana getirdiği hasarlar büyük boyuttur.

Yapılara etkiyen deprem kuvvetleri ve bunların karşılanması yapı özelliklerine ve taşıyıcı sistem seçimine bağlıdır. Bununla birlikte planda çıkıntılar bulunması, döşeme süreksizlikleri ve burulma düzensizliği de yapının deprem davranışını etkilemektedir. Yapı elemanlarının kendilerine etkiyen yükleri diğer elemanlara güvenle aktarabilmesi gerekmektedir. Özellikle kat kütlelerinin yoğun olduğu bu yüzden de deprem etkilerine en fazla maruz kalan döşemeler bu kuvvetleri mesnetlendikleri kiriş, kolon veya perdelerle emniyetli bir şekilde iletebilmelidir. Döşeme sistemi seçimi, taşıyıcı sistemin süneklik düzeyini belirleme ve yapıya etkiyen düşey ve yatay yüklerin taşınması açısından önemlidir. Ayrıca seçilen döşeme tipine bağlı olarak, döşeme kalınlığı ve bina yüksekliği gibi etmenler yapı maliyeti üzerinde etkili olmaktadır. Bu yüzden döşemelerin hesap ve tasarımı büyük önem taşımaktadır.

Binalar tasarım aşamasında kullanım amacı, ekonomiklik, inşa edilen bölgenin depremselliği, zemin cinsi ve estetiklik gibi etmenler nedeniyle değişik döşeme türleri ile oluşturulabilmektedir. Tasarlandıkları malzemeye bağlı olarak döşeme özelliği ve taşıyıcı sistem davranışında farklılıklar meydana gelir. Bu nedenle döşeme türlerinin, çalışma prensiplerinin ve imal edildikleri malzeme davranışının iyi bilinmesinin gerekliliği açıktır.

### **1.2. Kompozit Malzemeler**

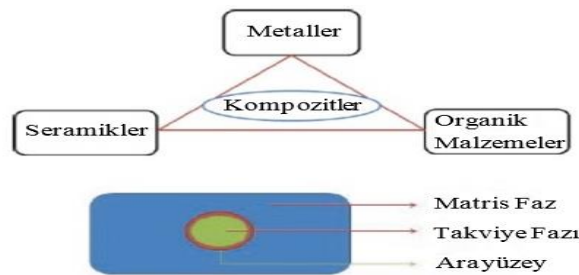
Malzemeler genel olarak metaller, seramikler, polimerler ve kompozit malzemeler olarak 4 ana gruba ayrılmaktadırlar. Her bir grubun birbirlerine karşı birçok üstün ve zayıf yönü vardır. Metaller, kolay şekillendirilebilen, yüksek ısı ve mukavemete dayanıklı olmalarına karşın yüksek yoğunluğa sahip oldukları için ağırdırlar. Polimerler, kimyasal



etkilere dayanıklı, ısı ve elektriksel iletkenlikleri düşük, yoğunluklarının az olması sebebi ile hafif olmalarına karşın yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında yapısal bütünlüklerini kaybederler. Seramikler ise, hafif ve mukavemetleri yüksek olsa da darbe dayanımları az ve gevrek oldukları için kolayca dağılırlar. Yüzyıllardır kullanılan ve artan teknolojik ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen kompozit malzemeler ise farklı türde en az iki bileşenin bir ara yüzey ile makro düzeyde bir araya gelmesi ile meydana gelirler. Kompozit malzemeler bileşenlerinin uzun ömür, hafiflik, yüksek kimyasal ve mekanik dayanım, korozyon direnci gibi üstün özelliklerini aynı anda sergilerler. Matris ve takviye elemanının özellikleri, bu fazların birbirlerine yapışma kabiliyeti ve takviye elemanının dizilişi kompozit malzemenin özelliklerini belirler. Malzeme bilimi ve teknolojisindeki hızlı gelişmelerle birlikte, 1970’li yılların sonları itibariyle kompozit malzemelerin sanayi ve mühendislik uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 1.1’de malzemelerin sınıflandırılması ve kompozit malzemelerin ana yapısı gösterilmektedir.

Günümüzde kompozit malzemeler, maliyetlerin düşürülmesi, verimliliğin artırılması veya hafifliklerine karşın yüksek mukavemetleri gibi üstün özellikleri ile birçok soruna çözüm getirilmesi sayesinde sanayide yaygın bir kullanıma sahiptir. İnşaat ve yapı sektörü, uzay teknolojisi, savunma sanayi ve havacılık sektörü, otomotiv ve taşımacılık sektörü, rüzgâr enerji santralleri (RES), tıp alanı (tıbbi cihazların imalatında), gıda ve tarım sektörü, kimya ve ilaç sanayi, elektrik-elektronik teknolojisi, robot teknolojisi, spor/eğlence sektörü gibi birçok sektörde çok yönlü malzeme olarak sorunlara çözüm getirmektedirler.

Taşıyıcı konstrüksiyon, dış ve iç cephe kaplamaları, dekoratif uygulamalar, çatı kaplama levhaları ve çatı detay profilleri, taşıyıcı profiller, yağmur suyu taşıma sistemleri, muhtelif amaçlı yalıtım işleri, beton kalıpları, prefabrik binalar, köprüler, su tankları, mazgal olukları, yeraltı boruları, rasathane kubbeler vb. kompozit malzemelerin inşaat sektöründeki uygulama alanlarına örnektir.



Şekil 1.1 Kompozit Malzemeler (Kaya, 2016).

Bir kompozit malzeme, katkı malzemeleri eklenebilse de genellikle çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını saran matris malzemesinden meydana gelir. Takviye elemanı olarak değişik yapıda kısa ve uzun elyaflar, öğütölmüş elyaflar ve parçacıklı seramikler kullanılır. Bunların temel işlevi, gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik, tokluk ve dayanımını arttırmaktır. Ayrıca takviye elemanında beklenen özellikler; kompozitin yoğunluğunu düşürmek, sünekliğini arttırmak ve matrisin yüksek sıcaklık özelliklerini iyileştirmektir. Kompozitler esasında karma malzemeler olduklarından, bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris-takviye elemanı çifti seçilir. İstenen şartlar yerine getirilir ve uygulanırsa, hafif alaşımlara yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek özellikler kazandırmak, dayanımlarını arttırmak ve yoğunluklarını düşürmek mümkün olmaktadır (Bolay ve Ögel, 1997).

Kompoziti oluşturan diğer önemli bileşen matristir. Kompozitin, birçok özelliği matrise bağlıdır. Matris malzemelerinin kimyasal dayanımı, korozyon direnci, elektrik ve ısı yalıtımı gibi özellikleri değişiklik gösterebilmektedir. Kompoziti oluşturan en önemli malzeme olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha birçok hayati görevleri vardır. Matris, kompozit malzeme yüzeylerini çatlaklara sebep olabilecek dış ve çevresel etkilere karşı koruyup dayanımlarını arttırmakta, kompozite gelen yükü takviye elemanlarına homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içerisindeki kusurları azaltmaktadır. İlâveten matris, yapı içerisindeki hataların ve çatlakların giderek yayılmasını ve malzeme özelliklerinin değiştirmesini engeller. Aynı zamanda matrissi oluşturan malzeme, uygulamada karşılaşılan yüksek sıcaklık durumlarına karşı da kimyasal ve fiziksel direnç gösterebilmelidir. Bu nedenden dolayı, yüksek performans gerektiren uygulamalarda, kompozitin en önemli yapı taşı olan matrisin tüm özellikleri göz önünde bulundurularak uygun malzeme seçilmesi gerekir (İbrahim vd., 1995; Lubin, 1982; Kalaycıoğlu, 2010).

İçyapılarında birçok malzeme bulunduran kompozitlerin sınıflandırılması pek çok şekilde yapılabilir. En yaygın olan sınıflandırma şekli, kompoziti oluşturan matris ve takviye malzemeye göre yapılır. Kompozit malzemeler matris malzemesi cinsine göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar; polimer, seramik ve metal matrisli kompozitler olarak adlandırılırlar.

Metal matrisli kompozitlerde metal matris malzemeleri kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde matris malzemesi olarak metal alaşımı tercih edilmekle beraber tüm mühendislik malzemeleri de kullanılabilir. Örneğin Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo ve Ni gibi metaller ve alaşımları yeterli mukavemet ve yüksek

süneklik özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen matris malzemeleridir. Metal matrislerle takviye malzemesi olarak karbon veya silikon karbürler kullanılır. Bunlar  $Al_2O_3$ , SiC, Gr, Br,  $TiB_2$ , TiC, WC, W ve C gibi seramik malzemelerdir. Bu sebeple metallerle kolayca bağ oluşturabilirler. Bu malzemeler elyaf parçacık plakalar ya da lifler halinde kompozit malzemeye takviye edilebilir. Bu takviye malzemelerinin matris malzemesi ile uyumlu olması ve malzemeye yüksek elastisite modülü, yüksek çekme mukavemeti, ısı iletkenlik, yüksek ergime sıcaklığı ve düşük yoğunluk gibi özellikler kazandırabilmesi gerekir. Metal matrisli kompozitlerin tekrar üretilebilir olması diğer kompozit malzemelere karşı önemli üstünlüğüdür (Deniz, 2005; Barut, 2015; Karşı, 2016).

Kompozit malzemeler takviye elemanlarına göre ise elyaf takviyeli kompozit malzemeler, parçacık takviyeli kompozit malzemeler ve tabakalı kompozit malzemeler olarak sınıflandırılabilir.

Tabakalı kompozitler en eski ve en geniş kullanım alanına sahip olan kompozit malzeme tipidir. Bu malzemeler için matris malzemesi ile elyaf, çubuk, örgü gibi takviye elemanları birleştirilerek bir kompozit tabaka oluşturulur. Oluşturulan bu kompozit tabakaların birden fazla sayıda birleştirilmesi ile tabakalı kompozit yapı meydana getirilir. Tabakalı kompozitler yüksek mukavemet, yüksek ısı ve korozyon dayanımı, hafiflik gibi özelliklere sahiptirler. (Fidan, 2011; Erbay, 2009; Barut, 2015; Demirel, 2007). Kompozit malzemelerin tabakalı olarak üretilmesiyle; malzemenin mekanik (çekme, eğilme, basınç, çentik darbe, aşınma performansı gibi), fiziksel (ısı ve elektrik iletkenliği, hafiflik gibi) ve kimyasal özelliklerinin(korozyon dayanımı gibi) iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Örneğin iki farklı metal levha bir araya getirilerek istenilen ısı ya da elektrik iletkenliği gibi özelliklerin malzemeye kazandırılabilir. Farklı yönlendirilmiş lif tabakaların bir araya getirilmesi ile istenilen birçok mekanik özelliklerin tek bir malzeme oluşturulması sağlanabilir. Bir metalin farklı bir başka metal malzeme ile kaplanarak korozyon ya da aşınmaya dayanım gibi farklı birçok özelliklere sahip olması sağlanabilir. Tabakalı Kompozitler, metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir (Barut, 2015; Kandemir, 2017; Kaya, 2016).

Tabakalı kompozit grubuna dâhil olan sandviç kompozitler, izotropik veya lif takviyeli rijit tabakalar arasına daha kalın, hafif ve daha az mukavemete sahip farklı formda bir çekirdek malzemesinin yerleştirilmesiyle oluşturulurlar. Düşük özgül ağırlıklarına karşın sahip oldukları rijitlik, yüksek mukavemet, düşük ısı iletkenlik ve

yüksek ısı direnç sandviç kompozitlerin üstün özelliklerine örnek olarak verilebilir. Yine de üretim maliyetinin yüksek oluşu ve tabaka ile çekirdek yüzeylerindeki yapışmanın net olarak incelenemeyişi gibi dezavantajları vardır. Üretim yöntemlerinin çeşitliliğinin artması sonucu sandviç kompozitlerin üretim maliyeti oldukça düşmüştür (Tanatmış,1999; Kara, 2012).

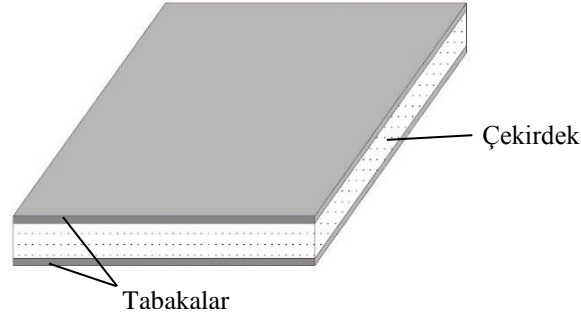
Bu çalışma kapsamında döşeme olarak kullanılan Alüminyum Köpük Sandviç (AKS), metal matrisli ve sandviç şeklinde bir kompozit malzemedir. Alüminyum Köpük Sandviç, alüminyum köpük ve alüminyum kaplama levhasından oluşmaktadır. İlk çağlardan günümüze kadar gelmiş olan kompozit malzemeler oldukça geniş bir alan olup ilerleyen bölümlerde sandviç kompozitler ve çalışmada kullanılan sandviç kompozitin çekirdeğini oluşturan metal köpüğün genel özellikleri incelenmiş, sandviç kompozitin yapısal elemanları olan çekirdekler ile yüzey malzemeleri hakkında bilgiler verilmiştir. Sandviç kompozitlerin kullanıldığı alanlar, avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Daha sonraki bölümde ise bu malzemelerin üretimi hakkında bilgiler sunulmuştur.

### **1.3. Sandviç Kompozitler**

Delau tarafından ilk kez 19. yüzyıl başlarında aralarında belirli bir mesafe bulunan iki yüzeyin bir araya getirilerek kullanımı fikri ileri sürüldüyse de sandviç yapıların, yapı malzemesi olarak yaygın kullanımı 2. Dünya Savaşı esnasında gerçekleşmiştir. Savaş sırasında İngiltere’de malzeme kıtlığı sebebiyle Mosquito uçağı, kaplama tahtası (veneer) ve balsa ağacından çekirdek oluşturularak sandviç yapıda üretilmiştir (Kara, 2012; URL-1).

Sandviç yapı hakkındaki ilk teorik yazılar 2. Dünya Savaşı esnasında yazılmıştır. 1950’lerde sandviç yapının gelişimi özellikle uçak endüstrisinde çekirdek malzemesi olarak kullanılan bal peteğı (honeycomb) malzemeleri üzerine yoğunlaşmıştır. Buna ek olarak, balpeteğinin korozyonla ilgili büyük problemlerinin olması üretim ve uygulamada sınırlamalara neden oluyordu (Kara, 2012; URL-1).

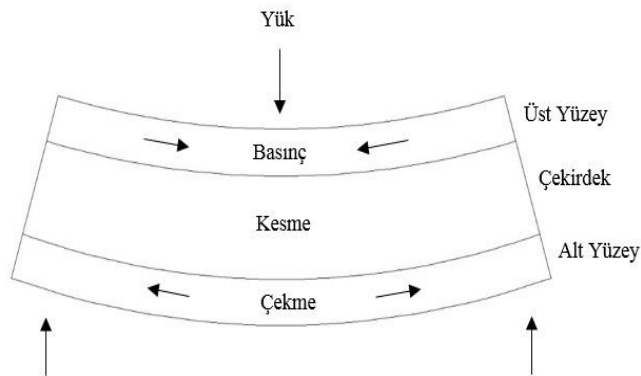
Günümüzde, oldukça fazla sayıda çeşitli cins ve kalitede çekirdek malzemesi üretimi mümkündür. Sandviç kompozitler hafiflik ve yüksek eğilme dayanımları ile teknolojik kompozitlerin en önemli uygulamaları haline gelmiştir.



Şekil 1.2. Sandviç kompozitin genel yapısı

Sandviç kompozit, Şekil 1.2’de de gösterildiği gibi çekirdek ve yüzey tabakası olmak üzere iki temel elemandan meydana gelmektedir. Bazı sandviç kompozitlerde ilave bileşen olarak tabakalar ve çekirdeği yapıştırmak için yapıştırıcı bir tabaka da kullanılabilir. Yapışkan tabakanın kalınlığı, yüzeyin veya çekirdeğin kalınlığından çok daha azdır. Çekirdek ile yüzeylerin özellikleri, bu iki bileşenin bağıl kalınlıkları ve aralarındaki bağın özelliği sandviç kompozitlerin nihai özelliklerini belirler.

Sandviç kompozitlerde yüzey tabakaları atalet momentini artırmak amacıyla birbirlerinden belirli bir mesafede yerleştirilirler ve böylece eğilme rijitliği artırılmış olur. Sandviç kompozitin eğilmesi durumunda yüzeyler basınç ve çekme gerilmelerini, çekirdek malzemesi ise kayma gerilmesini taşır. Buna ek olarak yüzey malzemeleri eğilme durumunda kayma gerilmesini taşırsa da bu durum ihmal edilebilecek ölçüde küçüktür (Kara, 2012; URL-1).



Şekil 1.3. Sandviç kompozitin eğilme durumunda taşıdığı yükler (Kara, 2012)

### 1.3.1. Sandviç Kompozitlerin Bileşenleri

Sandviç kompozit daha önce de belirtildiği gibi başlıca yüzey tabakaları, çekirdek malzemesinden oluşmaktadır ve yapıştırıcı tabaka da bu bileşenlere eklenebilir. Her bir bileşenin kendisine has bir işlevi yerine getirmektedir.

Yüzey elemanı olarak genellikle çelik, paslanmaz çelik, titanyum, alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi metalik malzemeler; cam, kontraplak, ahşap ve fiber takviyeli plastikler gibi metal olmayan yapısal malzemeler kullanılmaktadır. Cam elyaf, aramid elyaf, karbon elyaf, boron elyaf ve diğer plastik elyaflar günümüzde sandviç kompozitlerin yüzeylerinde kullanılmaktadır.

Hem yüzey tabakası hem de çekirdeğin aynı türde malzeme ile imal edilmesi durumunda sandviç kompozitin özelliklerini daha kolayca kontrol etmek mümkündür. Çekirdek ile yüzey arasında daha kuvvetli bir bağ oluşumu ve daha iyi bir yapışma sağlanmış olur.

Yüzey tabakalarını ve çekirdek malzemesini birbirine bağlamak için bir yapıştırıcı tabaka kullanılması durumunda, yapıştırıcı tabakanın hem yüzey tabakaları hem de çekirdek malzemesi ile uyumuna dikkat edilmelidir. Yapıştırıcı malzeme istenilen ölçüde yapışma sağlamalı ve çalışma ortamından etkilenmemelidir. Metalik bileşenler söz konusu olduğunda, yüzey ve çekirdeği bağlamak için kaynak ya da lehim metotları kullanılır. Yapıştırıcıların kullanımı da mümkündür, ancak sadece bileşenlerden bir ya da daha fazlasının kaynak/lehim ısisına dayanıklı olmadığı durumlarla sınırlıdır (Potoğlu, 2012).

Yüzey, dış ortam ile doğrudan temas halinde olduğundan yüzey seçimi çalışma ortamı açısından önemlidir. Uygun yüzey malzemesinin seçimi ile korozyon, ısı transfer ve ısı genleşme karakteristikleri, nem emme gibi sandviç kompozitin birçok özellikleri kontrol edilebilir. Çoğu durumda sandviğin her iki yüzeyi de aynı tiptedir, ancak belli özelliklere bağlı olarak değişik tiplerde olabilir. Sandviç kompozitler, farklı malzeme, kalınlık, lif uyumu, lif hacimsel yoğunluğuna bağlı olarak farklı formlarda olabilir (Gupta, 2003; Potoğlu, 2012).

Yüzey tabakalarından, yüksek çekme ve basınç mukavemeti, yüksek yüzey kalitesi, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek eğilme mukavemeti sağlayan yüksek rijitlik özelliklerine sahip olmaları beklenir (Jappesen, 1997; Middleton, 1990; URL-2; URL-3).

Yüzeyler ve çekirdeğin birlikte hareket etmesini sağlamak için kullanılan yapıştırma tabakaları, çekme gerilmelerini taşıyabilmeli ve yüzeyler ile çekirdek

arasındaki kayma gerilmelerini iletebilmelidir. Bu beklentileri karşılayabilecek birçok çeşit yapıştırıcı bulunmaktadır. Yorulma mukavemeti, ısı mukavemet ve sürünme mukavemeti yapıştırıcılar ile ilgili öncelikli olan özelliklerdir. Sıklıkla kullanılan yapıştırıcılara epoksi reçineler, geliştirilmiş epoksi reçineler, fenolikler, poliüretanlar, akrilatlar, polyester ve vinilester reçineler örnek verilebilir (Jappesen, 1997; Middleton, 1990; URL-3).

İki ince tabaka arasına yerleştirilen çekirdek malzemesi yüzeyler arasındaki mesafeyi koruyacak ve kaymayı önleyecek kadar rijit ve düşük ağırlıklı olmalıdır. Ayrıca sandviç yapıya gereken basınç dayanımını da sağlamalıdır.

Açık ve kapalı hücre yapılı köpükler, balsa ve diğer ağaç türleri gibi düşük yoğunluklu katı malzemeler; bal peteği, ağ çekirdeği gibi hücre formundaki genişlemiş yüksek yoğunluklu malzemeler; kiriş, oluklu levhalar gibi oluklu formdaki genişlemiş yüksek yoğunluklu malzemeler sandviç kompozitlerde çekirdek malzemesi olarak sıkça tercih edilmektedir (Gupta, 2003; Potoğlu, 2012).

Bu çalışmada, çekirdek olarak metalik köpük kullanıldığından köpük çekirdekler ve metal köpükler bir sonraki bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

#### **1.3.1.1. Köpük Çekirdekler**

Köpükler ve diğer yüksek gözenekli malzemeler, fiziksel ve mekanik özelliklerin şaşırtıcı bir kombinasyonuna sahiptir. Örneğin düşük özgül ağırlıklarına rağmen yüksek dayanıklılığa veya yüksek gaz geçirgenliğine sahip olmakla birlikte aynı zamanda yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Bu yüzden doğada, yapısal ve fonksiyonel uygulamalarda bu yapılara (kemik, ağaç vb.) sık rastlanmaktadır. Köpük metaller açık ve ya kapalı gözenekli yapıya sahip olan ve bu özellikleri sayesinde normal metal yapılara göre daha az yoğunluğa sahip olan malzemelerdir (Banhart, 2001; Jinul vd., 2017).

İnsan yapımı hücre malzemeler arasında, polimerik köpükler, teknolojinin hemen hemen her sektöründe kullanılmaktadır. Tek kullanımlık sıcak içecek bardaklarından, hava araçlarındaki çarpma yastıklarına kadar birçok ürün buna örnek olarak gösterilebilir. Seramik köpük malzemeler ise katalitik reaktörler, güneş enerjisi jeneratörleri, dizel egzoz ve döküm filtreleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Fakat yük taşıma gibi bir işlevi olan köpüğün, malzemesi dikkatli seçilmelidir. Çünkü yapısal işlev için polimerlerin dayanımı azdır. Seramik malzemeler ise kırılğan yapıya sahiptir. Bu yüzden köpük

metaller bu tip uygulamalarda avantaj sağlamaktadır (Degischer ve Kristz, 2002; Fischer, 2016).

Metal köpükler düşük yoğunluğun yanı sıra fiziksel, mekanik, termal, elektriksel ve akustik özellikleriyle yeni bir malzeme sınıfıdır. Metal köpükler, yapıldıkları katı metal malzemeye kıyaslandıklarında farklı etkileyici özellikler gösteren devrim niteliğinde malzemelerdir. Metal köpükler alüminyum, titanyum, nikel ve birkaç farklı materyalden yapılır. Sonuçta uygulama alanı, metal köpüğün hangi materyalden yapılacağını belirler (Ashby vd., 2000).

Köpük malzemenin ilk patenti 1948'e (Sosnick) kadar uzansa da geçmişte köpük malzemelerin kalite tutarlılığının olmayışı ve pahalı oluşları bu malzemelere mesafeli bakılmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yüksek yoğunluklu ve yüksek kaliteli hücreli köpüklerin gelişmesi, sandviç yapıların kullanımında oldukça etkili olmuştur. Köpükler, petekler kadar yüksek sertlik ve mukavemet/ağırlık oranına sahip değillerse de peteklere göre daha ekonomik ve makroskobik seviyede katıdırlar. Bu durum sandviç kompozitlerin üretimini kolaylaştırır. Köpükler, yüzey hazırlanma, şekil verme ve yüzey birleştirme açısından oldukça ideal malzemelerdir. Bununla birlikte yüksek termal ve akustik yalıtım özelliği gösterirler. Hafiflik, yüksek termal yalıtım, ekonomik, yüksek basınç dayanımı, nem oluşumunu engelleme ve yüksek korozyon direnç gibi üstün özellikleri sayesinde otomotiv, inşaat, gemicilik, havacılık ve uzay, biyomalzeme ve bunun gibi gelişen sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sığırtmaç vd., 2012; URL-3).

### **1.3.1.2. Metal Köpükler**

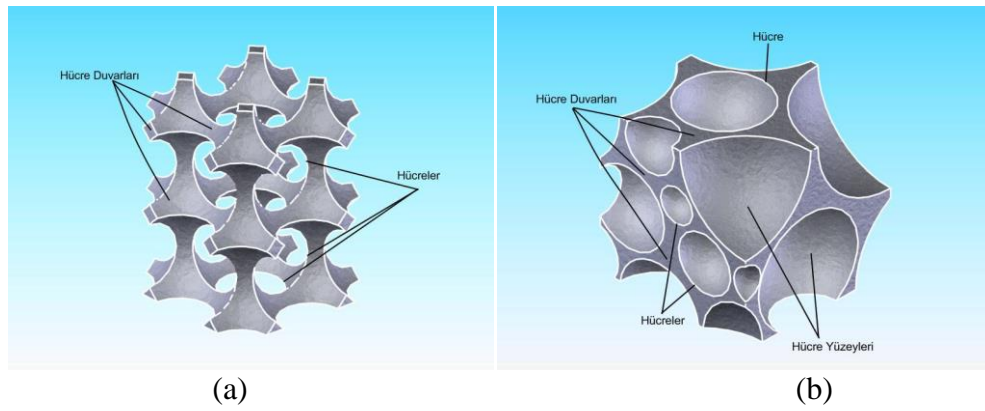
Köpük metaller genelde alüminyum olmak üzere metalden oluşan, büyük oranda gaz ile dolu boşluklar içeren gözenekli yapılardır. Köpük malzemeler doğadaki ağaç, deri, ekmek, sünger, mercan ve kemik gibi gözenekli yapılardan ilham alınarak tasarlanmıştır. İç yapısının gözenekli oluşu yüksek dayanımla birlikte hafiflik, darbelere dayanım, ısı ve ses yalıtımı, düşük manyetik geçirgenlik ve titreşim azaltma gibi özellikler sağlamaktadır. Gözenek boyutu mekanik özelliklere etki etmektedir (Sığırtmaç vd., 2012; Güven 2011).

Metallik köpüklerin birçok mühendislik özellikleri polimer ve seramik tabanlı köpüklere göre iyidir. Yüksek sıcaklıklarda daha stabil durumdadır, daha yüksek yanma dayanımına sahiptir, yanma esnasında toksit duman oluşumu meydana gelmez ve daha rijit



bir yapıya sahiptirler. Ayrıca, herhangi bir kirlenme ve kirlilik problemi oluşturmada %100 geri dönüşümleri mümkündür (Sığırtaç vd., 2012; Borovinsek vd., 2016).

Metal köpükler, yapı içindeki hücrelerin formuna göre açık hücreli ve kapalı hücreli olarak sınıflandırılırlar. Şekil 1.4'te de görüldüğü gibi açık hücreli metal köpüklerde hücreleri birbirinden ayıran hücre yüzeyleri bulunmaz, yapı sadece hücre duvarlarından oluşur ve hücreler arası geçiş vardır. Kapalı hücre metal köpüklerde ise hücreler kapalı ve hücreleri birbirinden ayıran hücre yüzeyleri ve hücre duvarlarından oluşur yani hücreler arası temas yoktur (Mutlu, 2011; Taherishargh vd., 2017).



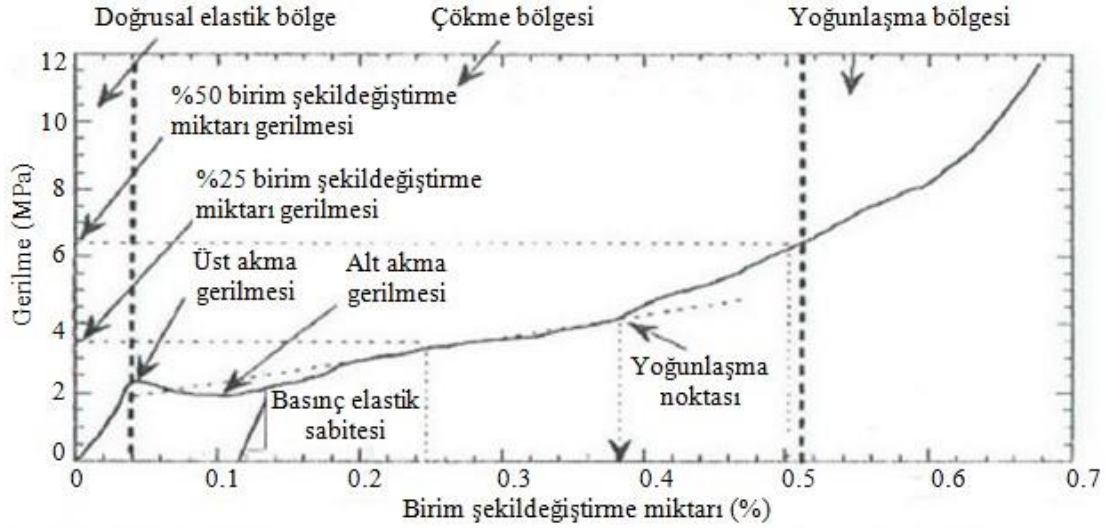
Şekil 1.4. Açık hücreli (a) ve kapalı hücreli (b) metal köpük (Mutlu, 2011)

Kapalı hücreli metal köpükler gaz üfleme, köpürtücü ajan kullanımı, toz metalurjisi ve köpükleşebilen öncülerin kullanılması gibi birçok yöntemle üretilirken açık hücreli metal köpükler ise genellikle hassas döküm yöntemleriyle üretilirler.

Metalik köpüklerin, sahip oldukları karışık mimari ve içyapıdan dolayı sınıflandırılmaları zordur. Yoğunluk ve gözenekliliğe ek olarak gözeneklerin şekli, dağılımı, eğrilik, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey alanı, köpük malzeme özelliklerini oldukça etkilemektedir (Lefebvre vd., 2008). Metalik köpüğü sınıflandırmanın en iyi yolu göreceli yoğunluğu belirlemektir. Göreceli yoğunluk, köpüğün yoğunluğunun, köpüğün hücrelerinin duvarını oluşturan malzemenin yoğunluğuna oranıdır. Bununla birlikte hücresel yapıdaki eşyönsüzlük ve kusurlar da köpük metalin özelliklerine etki eder. Bu kusurlar, kırılmış veya bükülmüş hücre duvarları veya diğerlerinden farklı boyut ve geometrideki hücreler olabilir (Ashby vd., 2000; Broxtermann vd., 2017; Jigh vd., 2017).

Şekil 1.5.'de metalik köpüklere ait basınç yüklemesi altında tipik gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi verilmektedir. Köpük malzemelerin elastisite modülü sabit olmayıp

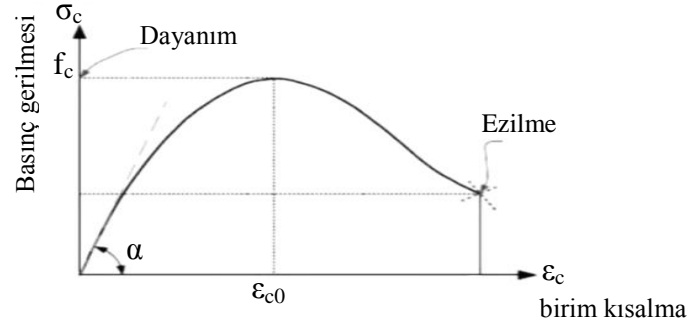
hücrel duvarı oluşturan metalin yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bununla birlikte metal köpüklerin basınç yükü altında sergilemiş oldukları mekanik özellikleri ise göreceli yoğunluklarına ve ana metalin akma gerilmesine bağlıdır (Davies ve Zhen, 1983; Kara, 2012).



Şekil 1.5. Metal köpüklerin tipik gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi (Kara, 2012)

Hücrel yapılar sıkışabilir ve baskı uygulandığında darbe enerjisini plastik deformasyon enerjisine çevirerek gerilme platosu özelliği sergilerler. Gerilme platosu özelliği, malzemenin akma dayanımında çok büyük miktarda şekil değiştirmesine olanak sağlamaktadır. Beton, alüminyum ve çelik gibi hacim (dolu) malzemeler basınç altında bu özelliği göstermezler. Betonun özgül ağırlığı  $2.5 \text{ g/cm}^3$ , çeliğin  $7.8 \text{ g/cm}^3$ , alüminyumun  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , alüminyum köpük metalin ise  $0.4\text{-}1 \text{ g/cm}^3$ 'tür (Sığırtaç vd., 2012).

Şekil 1.6.'da betonun basınç kuvveti uygulandığında gerilme-şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir. Diğer birçok yapı malzemesi gibi, beton da belirli bir dereceye kadar elastik davranış gösterir. Beton, artan basınç yükleri altında belli bir gerilmeye kadar orantılı bir biçimde kısalırken ilerleyen safhalarda eğri doğrusallıktan daha da uzaklaşır. Tepe noktasından itibaren şekil değiştirmeler daha küçük yükler altında devam eder ve gerilmelerdeki çok küçük bir değişim sonucunda dahi daha fazla şekil değiştiremeyerek kırılır.



Şekil 1.6. Betonun tipik gerilme-şekildeğiştirme eğrisi

Hücreli metaller sahip oldukları gözenekler sayesinde, hacim (dolu) malzemelere alışılmamış özelliklere sahiptirler. Ezilebilirler, sıkıştırıldıklarında gerilme platosu özelliği yani malzeme akma dayanımına ulaştıktan sonra ve deformasyon sırasında Poisson oranında değişiklik gösterirler. Mekanik, ısı, akustik ve diğer üstün özellikleri ile hafifliğe aynı anda sahip olması en önemli avantajlarıdır.

Metalik köpüklerle ilgili bilinen ilk çalışma 1926 yılında Miller tarafından gerçekleştirilmiştir. Miller, inert gaz enjeksiyonu veya köpük yapıcı madde ile hafif metallerden kapalı hücreli metalik köpük üretilebileceğini ileri sürmüştür. Sosnick, erimiş alüminyumun içine cıva buharı üfleyerek metalik köpük elde etmiş ve bununla ilgili olarak 1948 ve 1951 yıllarında iki tane patent almıştır. Kapalı hücreli köpük metaller, John C. Elliott tarafından Bjorksten Araştırma Laboratuvarlarında daha da geliştirilmiş ve 1956 yılında patent alınmıştır. İlk örnekler 1950'lerde mevcut olmasına rağmen geçmişte köpüklerin kalite tutarlılığının olmayışı ve masraflı olmaları bu malzemelere mesafeli durulmasına neden olmuştur. 1980'lerin sonlarında metalik köpük araştırmaları dünyada çapında yeniden canlılık kazanmaya başlamış olup metalik köpük özelliklerinin daha tahmin edilebilir, ölçülebilir ve tutarlı olmasıyla kalite tutarlılığı sağlanmıştır. 1990'larda Japonya'daki Shinko Wire şirketi tarafından "Alporas işlemi" olarak bilinen işleme yöntemini geliştirilip ticari üretim başladı (Çağlar, 2009; Sığirtmaç vd., 2012; Banhart vd., 2002; URL-4).

Metalik köpükler tüm bu işlemlerle sürekli geliştirilip iyileştirilerek günümüzde otomotiv, inşaat başta olmak üzere gemicilik, havacılık, biyomalzeme ve bunun gibi birçok gelişen sektörde kullanılmaktadır.

Balkon trabzanları gibi birçok destek elemanı alüminyum köpükten yapılabilir. Günümüzde kullanılan birçok materyal oldukça ağırdır ve yangına dayanıksızdır. Düşük ısı iletkenliği ve yangın direnciyle alüminyum köpükler yangın duvarları ve çıkışları için

ideal birer yapı malzemesi sayılmaktadır. Ayrıca ses yalıtımı ve sönümlemesi sayesinde viyadüklerde, otobanlarda ses emici bariyer olarak kullanılmasına başlanmıştır. Bu noktada, hareketli köprülerin ve prefabrik yapıların inşasında alüminyum köpük kullanımı sisteme oldukça avantajlı özellikler kazandırmaktadır. Alüminyum köpük kullanılarak birçok problem çözülebilir. Alüminyum köpük ya da köpük paneller kullanılarak asansörlerdeki enerji sarfıyatı azaltılabilir. Modern asansörlerin yüksek hızlı olmalarından dolayı ivmelenme ve yavaşlama için hafif yapı önemlidir. Enerji sönümleme ve rijitlik özelliklerinden dolayı alüminyum köpükler mühendislik alanında yaygın olarak kullanılabilir bir malzemedir (Güven, 2011; Giamei vd., 1997).

### **1.3.2. Sandviç Kompozitlerin Avantaj ve Dezavantajları**

AKS kompozitlerin daha hafif, esnek ve uygulama yerine uygun mekanik, ısı, akustik ve manyetik özellikler kazandırılabilir olması açısından diğer kompozitlere ve yapısal malzemelere göre daha fazla dikkat çekmiş ve bir alternatif haline gelmiştir. Bunun en önemli nedenlerine örnek olarak; aynı özgül ağırlıktaki yapısal malzemelere göre basınç ve yorulma dayanımlarının çok daha fazla olması, %25-45 oranında daha hafif olmaları, kolay şekillendirilebilirlik, yüksek ısı yalıtım, korozif direnç, nem direnci, darbe dayanımı, çekme dayanımlarının çelik, alüminyum ve alüminyum alaşımlarına göre 4-6 kat daha fazla olması, rijitliklerinin yoğunluklarına oranla çelik, alüminyum ve alüminyum alaşımlarından 3.5-5 kat daha fazla olması, yorulma mukavemetinin yüksek olması ve geri dönüşümlerinin kolay olması sayılabilir (Kara, 2012; Güler ve Ulay, 2010).

AKS panellerin kullanımını sınırlayan bazı dezavantajları da mevcuttur. En büyük dezavantajlarından biri sandviç kompozitlerin mantığı gereği, yapıyı oluşturan her bir bileşenin olumsuz özellikleri sandviç yapıya da yansımaktır, diğeri ise kompozitlerin üretiminin yüksek maliyetli olmasıdır ancak bağlantı elemanları sayısı ve ağırlıklarındaki azalma göz önünde bulundurulduğunda toplam maliyette bir miktar azalma meydana gelebilecektir. Ayrıca onarımlarının zor olması, tabakalar arasında kalan hava ve gazların malzemenin ömrünü azaltması ve deney yöntemlerinin pahalı olması gibi etmenler sıralanabilir (Kara, 2012; Güler ve Ulay, 2010).

### **1.3.3. Sandviç Kompozitlerin Kullanım ve Uygulama Alanları**

Sandviç malzemeler uygun bileşen kombinasyonu ile yüksek eğilme dayanımı ve rijitlikle beraber hafiflik, ısı ve ses yalıtımı, radar dalgalarına yakalanmaması, uygun aerodinamik yüzeyler oluşturabilmesi, yüksek hızlara dayanım özellikleri gibi üstün özellikleri sayesinde pek çok alanda ihtiyaca cevap vermektedir. Kompozit yapılar üzerindeki araştırma ve geliştirme faaliyetleri gelecek yıllarda sandviç konstrüksiyonların altın dönemlerini yaşayacağını ispatlar niteliktedir. Bu yapıları önemli kılan özelliklerden önceki bölümlerde detaylıca bahsedilmiştir. Bu özelliklere bağlı olarak bu yapıların kullanım alanları olarak havacılık ve uzay endüstrisi, otomotiv endüstrisi, enerji endüstrisi, spor ekipmanları endüstrisi, orman ürünleri endüstrisi, tekne-yat sektörü, denizcilik sektörü, savunma sanayi ve inşaat sektörü örnek gösterilebilir (Kolay, 2005).

### **1.4. Yapılarda Döşeme ve Döşeme Çeşitleri**

Döşemeler, bir boyutu (kalınlığı) diğer iki boyutuna göre (uzunluk ve genişlik) ihmal edilebilecek derece küçük olan yani düzlemsel kabul edilen taşıyıcı elemanlardır. Üzerlerine gelen hareketli ve sabit yükleri, yapının asıl taşıyıcıları olan kirişlere, kolonlara ve perdelerle iletirler. Taşıdıkları hareketli yükün çok fazla değişiklik göstermesi ve bunun belirlenmesindeki güçlükler düşünülerek yükün döşeme üzerinde düzgün olarak yayıldığı kabul edilir. Döşemeler bu yükleri bağlı oldukları taşıyıcılara aktarırken düzlemine dik yükler etkisi altındadır. Döşemelerin yatay yükü aktarmada ve mesnetlendiği taşıyıcılara dağıtmada rijit diyafram özelliği gösterdiği kabul edilir. Döşemelerde rijit diyafram kabulü, yatay yükler altında kendi düzlemi içinde deforme olmadan rijit bir kütle olarak hareket etmesi ve bu kuvvetleri diğer taşıyıcı elemanlara rijitlikleri oranında iletmesini ifade eder. Kirişleri birbirlerine bağlaması yönüyle de döşemeler, yapının rijitliği için oldukça önemli yapı elemanlarıdır. Döşemelerin taşıyıcılık, su ve rutubet yalıtımı, ısı ve buhar denetimi, ses ve yangın denetimi ve üzerinde yer alan işlevlere uygun zemin oluşturarak mekân oluşturma gibi fonksiyonları vardır. Döşemeler yapısı bakımından esas olarak üç kısma ayrılır. Bunlar; ahşap, çelik ve beton döşemelerdir.

#### **1.4.1. Ahşap Döşemeler**

Ahşap döşemeler, ahşap kirişlerin belirli bir ölçü dahilinde aralıklı olarak döşenerek üzerinin ahşap kaplama yapılması ile meydana gelir. Bu tür döşemeler hafif, sıhhi ve görünüşleri güzeldir. Ahşap döşemeler, ahşap karkas sistemlerinin yanında hafif bir konstrüksiyon olması nedeniyle betonarme ve yığma yapılarda da tercih edilmektedir. Yapım sürecinin kısa olması, kolay işlenebilirliği, eğilmeye karşı mukavemeti ve ısı yalıtım değerlerinin yüksek olması avantajlı yönleridir. Bunlara karşın yangına karşı direncinin düşük, ses geçirgenliğinin yüksek ve organik malzeme olması gibi mahsurları da vardır. Ahşap döşemelerde taşıyıcı elemanlar kirişler olduğundan düzenlenmesinde açıklık, aralık, ahşap kiriş boyu ve yük önemli faktörlerdir. Ahşap döşemelerde kirişler eklenmeden kullanıldığı için açıklık ekonomik olarak bulunabilecek en uzun ahşap kiriş boyu ile sınırlıdır. Bu boy serbestliği piyasasında  $L=4.10-4.20$  m arasında değişir. Ahşap kirişler kolay taşınması açısından geçilen açıklıkların kısa yönünde atılır. Ahşap döşemelerde yapının niteliği ve geçilecek açıklıklara bağlı olarak tek kirişli veya çift kirişli olarak tasarlanabilir (Ekinci, 2008).

#### **1.4.2. Çelik Döşemeler**

Çelik, ahşaba göre en küçük kesitte maksimum taşıma gücü sağlar. Tıpkı ahşap döşemelerde yapıldığı gibi, bu tip döşemelerin de küçük açıklık yönünde atılması lazımdır. Kirişler için normal ve başlıklı profiller kullanıldığı gibi özel kromlu profiller ile kafes şeklinde yapılan kirişler de kullanılır (Ekinci, 2008).

Çelik yapılarda uygulanan döşeme sistemleri: ayırık (non-composite) döşeme ve kompozit döşeme sistemi olmak üzere iki ana başlıkta incelenir.

Ayrık (non-composite) döşeme sisteminde döşeme ile döşeme kirişleri bağımsız çalışır. Üç tür uygulama söz konusudur. Birincisi çelik döşeme kirişleri üzerine trapez kesitli levhalar döşenir ve üzerine beton dökülerek döşeme oluşturulur. İkincisinde döşeme kirişleri üzerine ön üretim döşeme elemanları yerleştirilerek döşeme sistemi oluşturulur. Üçüncüsü daha çok hafif çelik yapılarda söz konusu olan çelik döşeme kirişleri üzerine ahşap esaslı malzeme ile kaplama yapılmasıdır. Ayrık döşeme sisteminde sadece düşey yükler çelik kirişlere aktarılır. Yatay yüklerin aktarımı için döşeme düzleminde yatay çapraz sistemi oluşturulmalıdır. Bu sistemde montaj kolaylığı ve yapım hızlılığı olmasına

karşın, kirişler ve döşeme plağı ayrı ayrı boyutlandırıldığından çelik döşeme kirişleri daha büyük kesitli çıkar.

Çelik yapılarda “kompozit döşeme” çelik ve betonun beraber çalıştığı döşemeyi ifade eder. Bu döşeme sisteminde döşeme kirişlerinin döşeme betonu birlikte çalışmanın sağlanması için çelik kirişler üzerine kesme elemanları kaynaklanır (URL-5).

### **1.4.3. Betonarme Döşemeler**

Betonarme döşemeler, mesnetlenme ve yük aktarma durumlarındaki farklılıklarına göre sınıflandırılabilir. Yapı sistemlerinde kullanılan betonarme döşeme türleri, kirişli döşeme, kirişsiz döşeme, dişli döşeme, asmolen döşeme, kaset döşeme olmak üzere beş başlık altında sınıflandırılmıştır.

Döşeme terimi kirişli ve kirişsiz döşemelerde, sadece döşeme plağını, dişli döşemelerde ise plakla birlikte dişleri (küçük kirişleri) de kapsayacak şekilde kullanılmaktadır (Doğangün, 2012).

Kirişli döşeme, en az bir kenarı kirişe oturan 8-20 cm kalınlığında bir plaktır. Döşemelerin mesnetlendiği kirişler, yüklerin döşemeden kolonlara aktarılmasını sağlar. Yükleri ve kenarları çok büyük olmayan hacimlerde (odalarda) genelde tercih edilir. Kısa kenarı 6-7 m olabilir. İnşası kolay ve ekonomiktir. Bu döşeme sistemi, kalıp, donatı yerleştirme ve davranış bakımından sorunsuz olduğundan betonarme yapılarda en çok kullanılan döşeme tipidir (Topçu, 2019; URL-6).

Kirişsiz döşeme, kirişleri olmayan, doğrudan kolonlara oturan 30-40 cm kalınlığında bir plaktır. Mantar döşeme de denir. Yükleri ve kenarları çok büyük olmayan hacimlerde (odalarda) kullanılabilir. Açıklık 9-10 m olabilir. Kalıp işçiliği ve maliyeti azdır. Sarkan kiriş olmadığından alttan bakıldığında düz bir tavan görünür. Bu tür döşemelerde, kolonların plağı delip geçmesi (zımbalama) riski vardır. Ağır yükleri olan döşemelerde (sanayi yapıları, köprü, otopark) zımbalamayı önlemek amacıyla kolona başlık yapılır. İyi bir çerçeve davranışı sergileyemez. Yatay rijitliği düşüktür, depremde davranışı kötüdür.

Dişli (nervürlü) döşeme, 40-70 cm aralıklarla birbirine paralel kirişçiklerin (dişlerin) ana kirişlere oturtulması ve üzerine çok ince bir plak yapılması ile oluşturulan bir döşemedir. Dişlerin genişliği 10-15 cm, yüksekliği 25-35 cm civarındadır. Plak kalınlığı 5-7 cm'dir. Yükleri ve kenarları büyük hacimlerde kullanılabilir. Hacim dikdörtgen ise bir yönde dişli, kare veya kareye yakın ise iki yönde dişli tercih edilir. Bir yönde dişli

döşemenin dış açıklığı 10-12 m, iki yönde dişli döşemenin dış açıklığı 14-15 m olabilir. İyi bir çerçeve davranışı sergileyemez. Yatay rijitliği düşüktür, depremde davranışı kötüdür. Yatay rijitliği artırmak için mutlaka deprem perdeleri düzenlenmelidir.

Asmolen döşeme, Dişler arası asmolen olarak adlandırılan hafif bir malzeme ile doldurulmuş bir veya iki yönde dişli döşemedir. Tavan düz görünür. Yatay rijitliği düşüktür, depremde davranışı iyi değildir. Yatay rijitliği artırmak için mutlaka deprem perdeleri düzenlenmelidir.

Kaset (ızgara) kiriş döşeme, Hacim ortasında kolon istenmeyen çok büyük (sinema salonu, otopark gibi) hacimlerin kapatılmasında kullanılır. Açıklık 15-25 m olabilir. Dişli döşemeler gibi inşa edilir. Dişler yerine normal boyutlu kirişler (tali kirişler) kullanılır. Çevre kirişlere ana kirişler denir, tali kirişler ana kirişlere oturur. Ana kirişlerde büyük burulma momenti oluşur, bu nedenle tali kirişlere nazaran daha geniş (80-100 cm) yapılırlar. Tali kirişler arasındaki mesafe 50-150 cm civarındadır. Sistem ağırdır, kolonlara değil, her iki yönde yerleştirilmiş rijit perdelerle oturtulmalıdır (Topçu, 2019).

### **1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Yapıların, düşey ve yatay yükler altındaki davranışının belirlenmesi gerçeğe uygun, emniyetli ve ekonomik tasarımlar yapabilmek açısından hayati öneme sahiptir. Bu yükler etkisinde yapının davranışı üzerinde etkili olan etmenler; sistem geometrisi, sistemi oluşturan malzeme özellikleri ve sistemin çevre ile etkileşimidir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar, taşıyıcı sistem türü, kullanılan yapı malzemesinin cinsi, yapı geometrisi, döşeme cinsi, yerel zemin koşulları, yapı yüksekliği, taşıyıcı sistem düzensizlikleri, döşeme diyafram modelleri vb. durumların yapısal davranışa etkisinin belirlenmesi yönündedir.

Sanayileşme süreciyle birlikte, enerji ve hammadde ihtiyacının hızla artmasına karşın kaynakların sınırlı oluşu, mevcut malzeme ve tekniklere alternatif olabilecek teknolojilere yönlendirmiştir. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda geleneksel malzemelerden daha üstün nitelikli kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır. Böylece iki veya daha fazla malzemenin mukavemet, hafiflik ve ekonomik oluş gibi en iyi özelliklerini bir araya toplamak mümkün olmuştur.

Bu çalışmada AKS kompozit malzeme ile oluşturulan döşeme sistemlerinin yapısal davranışa etkisi sayısal olarak incelenerek, kullanılabilir olup olamayacağının araştırılması



amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda aynı kat planına sahip, kolon, kiriş ve perde boyutları aynı olacak şekilde üç farklı taşıyıcı sisteme sahip (betonarme çerçeve, betonarme perde-çerçeve ve çelik çapraz-çerçeve) olan üç farklı yapı modeli tasarlanmıştır. Böylece karşılaştırma ölçütü olarak incelenen özelliklerin, sistem davranışına etkilerinin net bir biçimde belirlenmesine olanak tanınmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemli yapılarda kirişli döşeme ve AKS plak döşeme, çelik taşıyıcı sistemli yapılar ise trapez sac ve betonarmeden oluşan kompozit döşeme ve AKS plak döşeme olarak tasarlanmıştır. Yapılar 5, 10 ve 14 katlı olacak şekilde üç farklı kat seviyesi için toplam 13 model oluşturulmuştur. Ardından x ve y doğrultusunda tasarlanan deprem kuvveti ve rüzgâr etkisi altında analizleri yapılmıştır. Yapı ağırlıkları, ilk 3 moda ait periyot değerleri, kat bazında oluşan en büyük yerdeğiştirme değerleri, etkin görelî kat ötelemeleri, tabanda oluşan kat kesme kuvvetleri ve döşeme maliyetleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Taşıyıcı sistemlerin farklı döşeme sistemleri ile tasarlanması ve yapı yüksekliğinin artmasının, çalışmada esas alınan parametrelere olan etkisi, her bir model için ayrı ayrı irdelenmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AKS panellerin döşeme olarak kullanılabilirliği 5, 10 ve 14 olmak üzere 3 farklı kat sayısına sahip betonarme ve çelik binalar üzerinde araştırılmıştır. Bu amaçla taşıyıcı sistemleri betonarme kolon ve kirişlerden oluşan bina modellerine betonarme plak ve AKS plak döşeme sistemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Böylelikle toplam 7 adet betonarme bina sonlu elemanlar analizi yapan (Sap2000 V20.2.0 Öğrenci Sürümü) programda modellenmiştir.

Benzer şekilde taşıyıcı sistemleri çelik kolon, kiriş ve çelik çaprazlardan oluşan bina modellerine de betonarme ile çelik trapez sacdan oluşan kompozit döşeme ve AKS plak döşeme sistemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Toplamda 6 adet çelik bina yukarıda daha önce bahsedilen analiz programında modellenmiştir. Tablo 2.1.'de model özellikleri ve adlandırılmaları verilmiştir.

Tablo 2.1. Model adlandırmaları

Kısaltma Kodu	Taşıyıcı Sistem	Kat Sayısı	Döşeme Sistemi
BBP-5	Betonarme (Perde+Çerçeve)	5	Betonarme Kirişli Plak
BAP-5	Betonarme(Perde+Çerçeve)	5	AKS Plak Döşeme
BAP0-5	Betonarme (Çerçeve)	5	AKS Plak Döşeme
BBP-10	Betonarme (Perde+Çerçeve)	10	Betonarme Kirişli Plak
BAP-10	Betonarme (Perde+Çerçeve)	10	AKS Plak Döşeme
BBP-14	Betonarme (Perde+Çerçeve)	14	Betonarme Kirişli Plak
BAP-14	Betonarme (Perde+Çerçeve)	14	AKS Plak Döşeme
CBP-5	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	5	Kompozit Döşeme
CAP-5	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	5	AKS Plak Döşeme
CBP-10	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	10	Kompozit Döşeme
CAP-10	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	10	AKS Plak Döşeme
CBP-14	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	14	Kompozit Döşeme
CAP-14	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	14	AKS Plak Döşeme

Yukarıda verilen bilgileri özetlemek gerekirse ön tasarımlar hariç genel toplam olarak Tablo 2.1.'de de görülen 13 adet betonarme ve çelik yapı modeline betonarme

kirişli plak döşeme, kompozit döşeme ve AKS plak döşeme sistemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu tablodan da görüleceği üzere, BBP-5, BBP-10 ve BBP-14; sırasıyla 5 katlı, 10 katlı ve 14 katlı betonarme kirişli plak döşemelere sahip bina modellerini, BAP0-5 ile BAP-5, BAP-10 ve BAP-14; sırasıyla 5 katlı, 10 katlı ve 14 AKS plak döşeme sistemlerine sahip betonarme bina modellerini göstermektedir. Ayrıca, CBP-5, CBP-10 ve CBP-14; sırasıyla 5 katlı, 10 katlı ve 14 katlı betonarme ve trapez sacdan oluşan kompozit döşemelere sahip bina modellerini, CAP-5, CAP-10 ve CAP-14; sırasıyla 5 katlı, 10 katlı ve 14 katlı AKS plak döşeme sistemlerine sahip çelik bina modellerini, göstermektedir.

Dayanımına göre tasarım (DGT) yaklaşımında kullanılan doğrusal hesap yöntemleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemleridir. Çalışma kapsamında doğrusal deprem hesabı yöntemi olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi seçilmiştir. Tablo 2.2.'de eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar verilmektedir (TBDY-2018).

Tablo 2.2. Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin uygulanabileceği binalar (TBDY-2018)

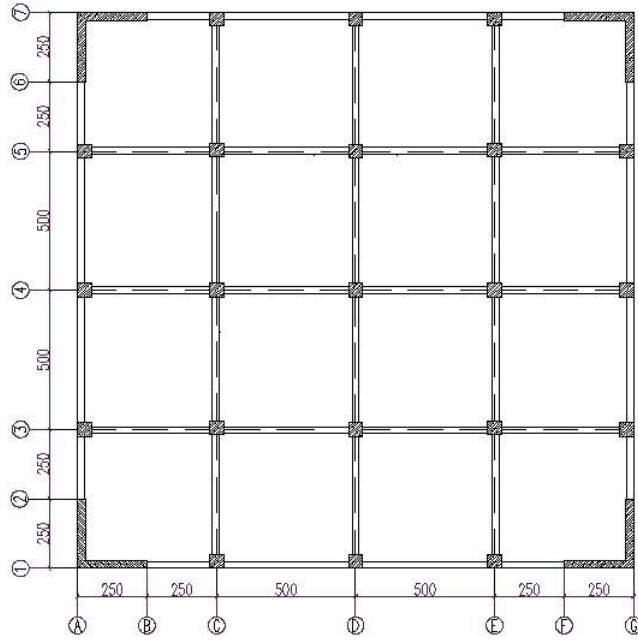
Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS $\geq 4$	BYS $\geq 5$
Diğer tüm binalar	BYS $\geq 5$	BYS $\geq 6$

Deprem tasarım sınıfının (DTS) 3 olması ve çalışmada kullanılan modellerin taşıyıcı sistemlerinde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması nedeniyle eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 5 ve buna bağlı olarak da inşa edilebilecek yapı yüksekliği en fazla 42 m'dir. Tüm bu modellerde kat yüksekliği 3 m olarak seçilmiş ve en yüksek kat sayısı 14 olarak alınmıştır. Kat adedi ve yapı yüksekliğine bağlı etkilerin de görülebilmesi için binalar, 5, 10 ve 14 kat olmak üzere üç farklı kat adediyle modellenmiştir.

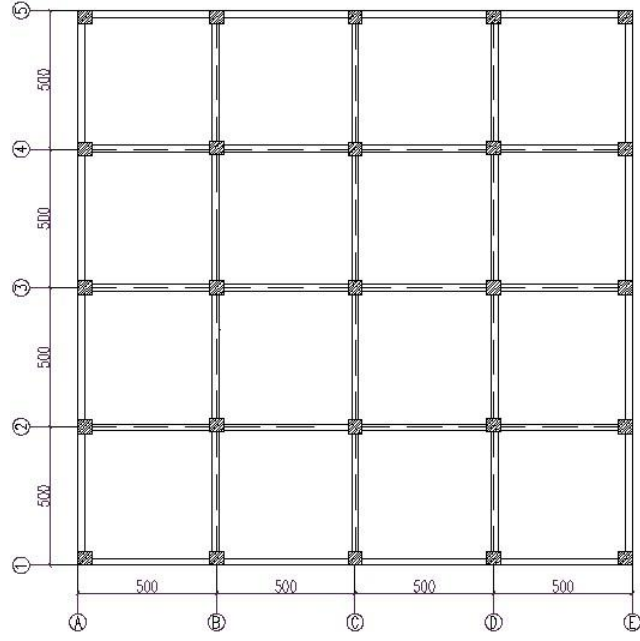
## 2.1. Betonarme Yapı Modellerinin Tasarımı

### 2.1.1. Betonarme Yapı Modellerin Özellikleri

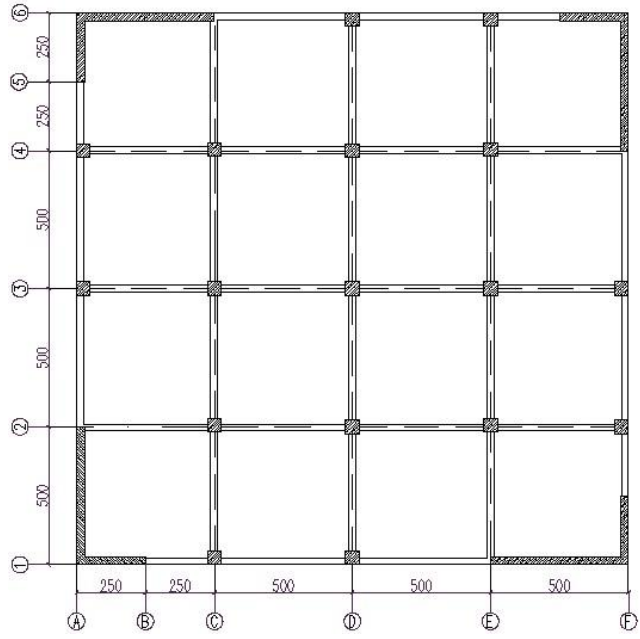
Yapılar, 20.00 m x 20.00 m = 400.00 m<sup>2</sup> oturma alanına sahip olup kullanım amacı konut olarak seçilmiştir. Şekil 2.1., Şekil 2.2., Şekil 2.3. ve Şekil 2.4.'de kat planları ile Şekil 2.5. ve Şekil 2.6.'da üç boyutlu görünüşleri verilen yapılar x ve y yönünde 5 m uzunluğunda 4 açıklıktan oluşmaktadır. Dolayısıyla bu yapılarda bulunan betonarme kirişli döşemelerin her biri çift doğrultuda çalışan döşemedir. Betonarme yapıların taşıyıcı sisteminde, kolonlar kare, perdeler poligon ve kirişler dikdörtgen şeklinde oluşturulmuştur. Bina kat yüksekliği her kat için 3.00 m olarak tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan betonarme binaların tasarım ve boyutlandırılması TBDY-2018 ve TS 500-2000 yönetmelikleri esas alınarak yapılmıştır.



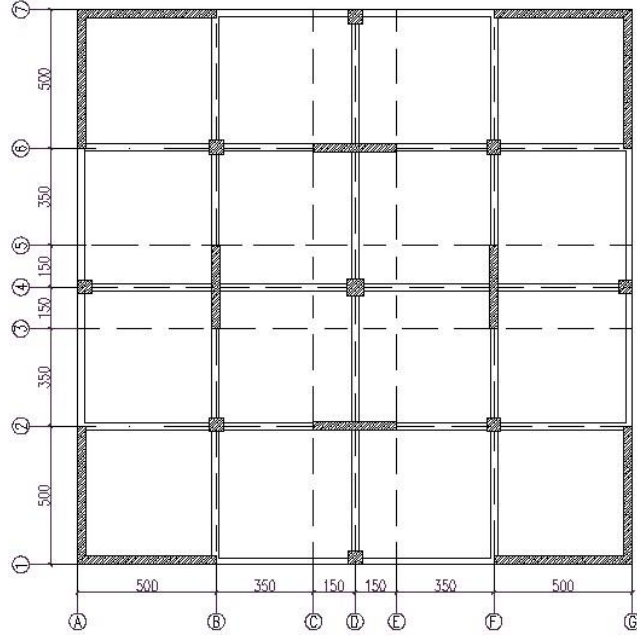
Şekil 2.1. BBP-5 ve BAP-5'e ait kat planı



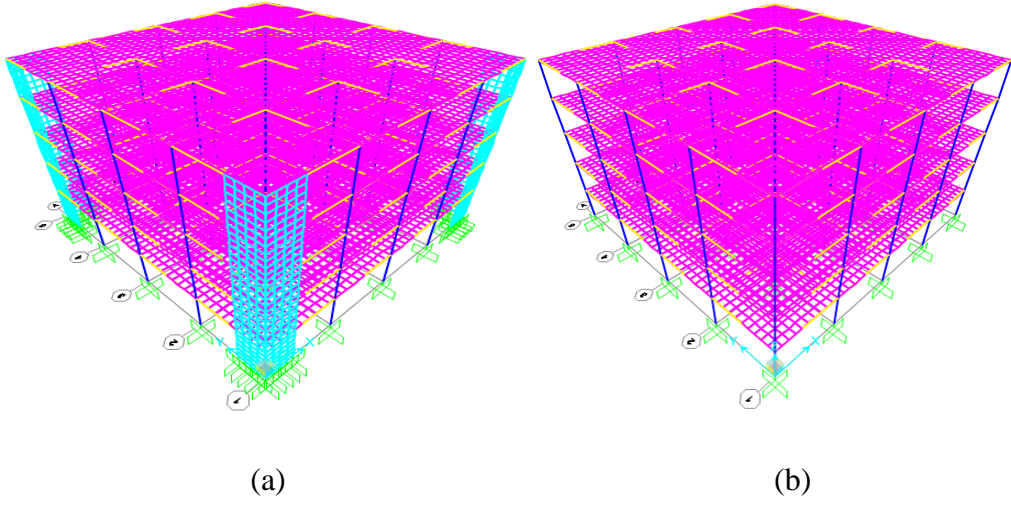
Şekil 2.2. BBP0-5'e ait kat planı



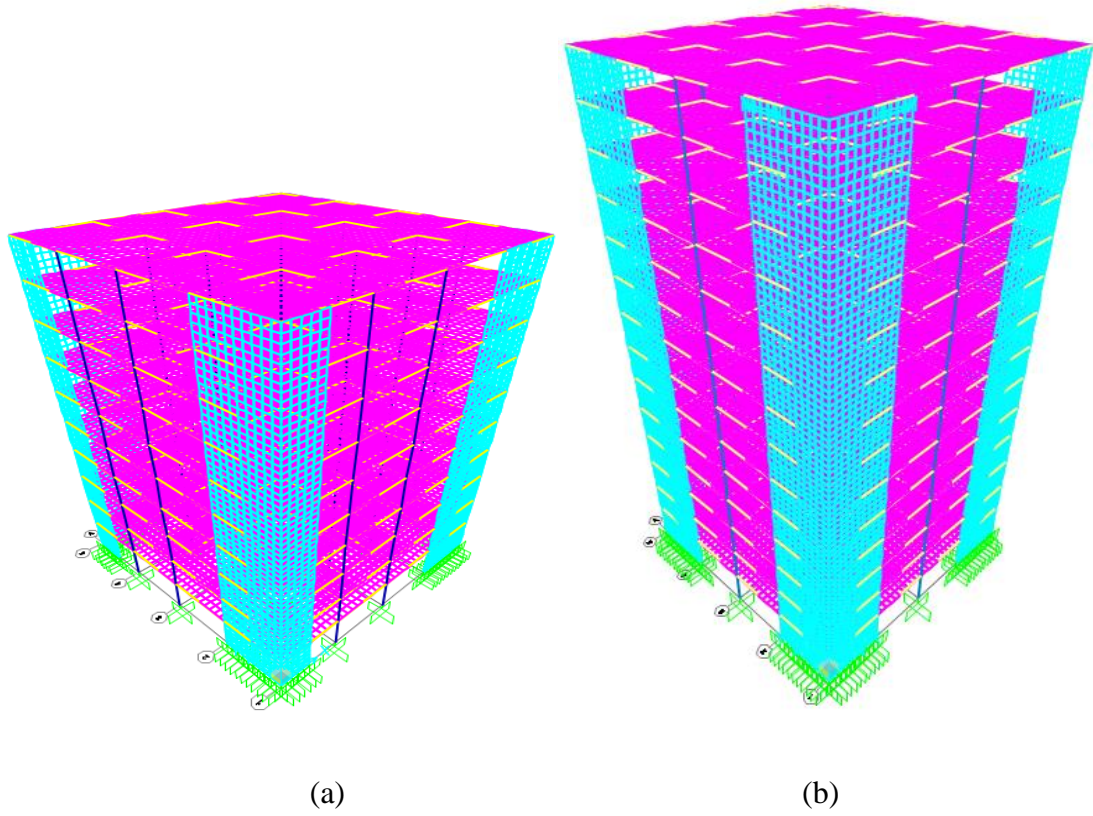
Şekil 2.3. BBP-10 ve BAP-10'a ait kat planı



Şekil 2.4. BBP-14 ve BAP-14'e ait kat planı



Şekil 2.5. BBP-5 (a) ve BAP0-5'e (b) ait üç boyutlu görünüş



Şekil 2.6. BBP-10 ile BAP-10 (a) ve BBP-14 ile BAP-14'e (b) ait üç boyutlu görünüş

Bina kat planlarında çıkıntılarının bulunmaması, döşeme süreksizliklerinin ve döşemelerde boşlukların olmaması, yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleşmesi sebebiyle planda düzensizlik durumları mevcut değildir. Benzer şekilde, taşıyıcı sisteminin düşey elemanlarında ani rijitlik değişimlerinin ve süreksizliklerin olmaması nedeniyle düşey doğrultuda düzensizlik durumları bulunmamaktadır.

### 2.1.2. Malzeme Özellikleri

Betonarme yapı elemanlarında beton sınıfı olarak C35 ve donatı sınıfı olarak B420C seçilmiştir. C35 sınıfı betonun, elastisite modülü ( $E_c$ ) 33000 MPa, Poisson oranı ( $\nu_c$ ) 0.20, birim hacim ağırlığı ( $\gamma_c$ ) 25 kN/m<sup>3</sup>, karakteristik basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ) 35 MPa ve ısıl genleşme katsayısı ( $\alpha_t$ ) 10<sup>-5</sup>/°C olarak kullanılmıştır. C35 betonunun mekanik özellikleri Tablo 2.3.'de belirtilmiştir (TS500-2000).

Tablo 2.3. C35 betonunun mekanik özellikleri (TS500-2000)

Özellik	Değer
Elastisite modülü, $E_c$ (MPa)	33 000
Poisson oranı, $\nu_c$	0.20
Birim hacim ağırlığı, $\gamma_c$ (kN/m <sup>3</sup> )	25
Karakteristik basınç dayanımı, $f_{ck}$ (MPa)	35
Isıl genleşme katsayısı, $\alpha_t$ (1/°C)	$10^{-5}$

B420C sınıfı donatının, elastisite modülü ( $E_s$ ) 200 GPa, Poisson oranı ( $\nu_s$ ) 0.30, ısı genleşme katsayısı ( $\alpha_t$ )  $1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ , karakteristik akma dayanımı ( $f_{yk}$ ) 420 MPa, kopma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranı en az 1.15 ( $f_{su}/f_{yk} \geq 1.15$ ) olduğu için kopma dayanımı ( $f_{su}$ ) 483 MPa olarak alınmıştır. B420C sınıfı donatının karakteristik özellikleri Tablo 2.4.'de gösterilmiştir (TS 708-2016).

Tablo 2.4. B420C sınıfı donatının mekanik özellikleri (TS 708-2016)

Özellik	Değer
Elastisite modülü, $E_s$ (GPa)	200
Poisson oranı, $\nu_s$	0,30
Karakteristik akma dayanımı, $f_{yk}$ (MPa)	420
Kopma dayanımı, $f_{su}$ (MPa)	483
Isıl genleşme katsayısı, $\alpha_t$ (1/°C)	$1.2 \times 10^{-5}$

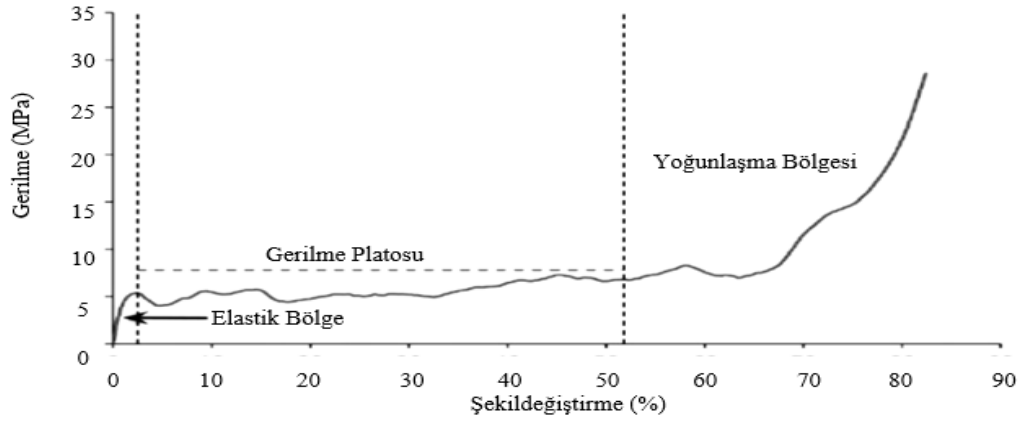
BAP-5 ile BAP0-5, BAP-10, BAP-14 CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 modellerinin döşemeleri Pohltec® Metalfoam GmbH (Köln, Almanya) tarafından üretilen AKS panel (AFS J-30/2) ile tasarlanmıştır. AKS panel iki adet sac levhadan (kaplama sacları) ve alüminyum köpük çekirdekten oluşmaktadır. Kaplama saclarının malzemesi 6082 alüminyum alaşım ve çekirdeğin malzemesi 0.15 göreceli yoğunluğa sahip  $\text{AlMg}_3\text{Si}_6$  köpüktür. AKS panelin kaplama tabakaları ve köpük çekirdek birbirine yapıştırıcı olmadan birleştirilmiştir. Şekil 2.7.'de AKS panel gösterilmektedir (Raeisi vd., 2019).





Şekil 2.7. Alüminyum köpük sandviç panel (Raeisi vd., 2019)

Düşük yoğunlukları ve hücresel yapıları sayesinde, AKS paneller yüksek mukavemet/ağırlık oranına, eşsiz termal ve akustik özellikler sahiptir. Enerji verimliliği, düşük yaşam döngüsü maliyeti, akustik sönümlleme ve darbe enerjisi emilimi sahip oldukları üstün mekanik özellikler arasındadır. Yarı-statik basınç yüklemesi altında AKS panele ait gerilme-şekildeğiştirme eğrisi Şekil 2.8.'de sunulmuştur (Raeisi vd., 2019; Gibson ve Ashby, 1997; Liu vd., 2017; Motz ve Pippan, 2001; Taherishargh vd., 2014).



Şekil 2.8. Alüminyum köpük sandviç panele ait gerilme-şekildeğiştirme eğrisi

Raeisi vd.'nin AKS panel örnekleri ile yapmış oldukları deneysel ve sayısal çalışma dikkate alınarak da malzemeye ait elastisite modülünü (E) 5.58 GPa, Poisson oranı ( $\nu$ ) 0.3, birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ) 6.675 kN/m<sup>3</sup>, olarak kabul edilmiştir. Malzemenin mekanik özellikleri Tablo 2.5.'de belirtilmiştir (Raeisi vd., 2019).

Tablo 2.5. Alüminyum köpük sandviçin mekanik özellikleri (Raeisi vd., 2019)

Özellik	Değer
Elastisite modülü, E (GPa)	5.58
Poisson oranı, $\nu$	0.3
Birim hacim ağırlığı, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	6.675

### 2.1.3. Betonarme Yapı Modelleri İçin Yük Hesapları

#### 2.1.3.1. Betonarme Yapı Modellerinde Düşey Yük Hesabı

Yapı analizinde döşemelere etkiyecek olan düşey hareketli yük değeri TS-498 esas alınarak belirlenmiştir. Döşeme üzerine çatı katı için 1.5 kN/m<sup>2</sup> ve diğer katlarda 2 kN/m<sup>2</sup>'lik hareketli yük atanmıştır. Betonarme plak için normal katlar ve çatı katı döşemesi için döşeme yükleri betonarme perdeli sistemler sırasıyla Tablo 2.6. ve Tablo 2.7.'deki gibidir.

Tablo 2.6. BBP-5, BBP-10 ve BBP14 normal kat döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
Betonarme Plak	3
Kaplama+Şap	1.32
Sıva	0.4
$\Sigma G$	4.72
$\Sigma Q$	2

Tablo 2.7. BBP5, BBP-10 ve BBP-14 çatı katı döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
Betonarme Plak	3
Kaplama+Şap	1.32
Sıva	0.4
İzolasyon	0.08
$\Sigma G$	4.55
$\Sigma Q$	1.5

AKS plak için normal katlar ve çatı katı döşemesi için döşeme yükleri betonarme perdeli ve betonarme çerçeve modellerde sırasıyla Tablo 2.8. ve Tablo 2.9.'da verilmektedir.

Tablo 2.8. BAP-5, BAP0-5, BAP-10 ve BAP-14 normal kat döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
AKS Plak	0.53
Kaplama+Şap	1.32
Sıva	0.4
$\Sigma G$	2.25
$\Sigma Q$	2

Tablo 2.9. BAP-5, BAP0-5, BAP-10 ve BAP-14 çatı katı döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
AKS Plak	0.53
Kaplama+Şap	1.32
Sıva	0.4
İzolasyon	0.08
$\Sigma G$	2.33
$\Sigma Q$	1.5

Duvar yükü kirişler üzerine etkililmiş ve dış cephe ile iç cephe duvarlarından gelen yük sırasıyla 4 kN/m ve 3 kN/m olarak alınmıştır.

### 2.1.3.2. Betonarme Yapı Modellerinde Yatay Yük Hesapları

Yapıların kullanım amacı konut olarak seçilmesi nedeniyle bina önem katsayısı (I) 1 ve hareketli yük katılım katsayısı (n) 0.3 olarak alınmıştır. Taşıyıcı sistem katsayısı (R) betonarme perde-çerçeve sistemlerde 7, betonarme çerçeve sistemlerde 8'dir. Dayanım fazlalığı katsayısı (D) betonarme perde-çerçeve sistemli modellerde 2.5, betonarme çerçeve sistemli modellerde ise 3'tür. Yapı süneklik düzeyi yüksek sistem olarak

tasarlanmıştır. Binaların konumunun Bağlarbaşı Mahallesi, Gümüşhane ve yerel zemin sınıfının ZB olduğu kabul edilmiştir. Tasarım spektral ivme katsayıları, ( $S_{DS}$ ) 0.390 ve ( $S_{D1}$ ) 0.122 olarak kullanılmıştır. Yatay elastik tasarım spektrumu; ( $T_A$ ) 0.063 s ve ( $T_B$ ) 0.314 s olarak belirlenmiştir.

TBDY-2018 Madde 4.6.2.2. uyarınca DTS 3'e göre BYS'nin 5 olması ve yapıların taşıyıcı sistemlerinde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem hesabı yapılmasını olanaklı kılmıştır.

#### **2.1.4. Betonarme Yapı Modellerinde Kullanılan Yük Birleşimleri**

Betonarme taşıyıcı sistemli yapıların projelendirilmesinde, TS-500 ve TBDY-2018 dikkate alınarak yükleme kombinasyonları oluşturulmuştur. TS-500'de öngörülen yük bileşimleri aşağıdaki gibidir.

- 1.4G+1.6Q
- G+Q+E
- 0.9G+E

Bu kombinasyonlarda:

G; ölü yükler,  
Q; hareketli yükleri,  
E; deprem yüklerini ifade etmektedir.

TBDY-2018'e göre birbirine dik iki yatay doğrultuda ( $\pm 5\%$  dış merkezlik dikkate alınarak) ve düşey doğrultuda deprem etkisi göz önüne alınır. Yapıya etkiyen herhangi bir kar yükü, rüzgâr yükü, toprak yükü, akışkan basıncı ve sıcaklık yükü bulunmadığından, bu yükler kombinasyonlara dahil edilmemiştir. Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisinden oluşan kombinasyonlar aşağıda verilmiştir:

##### Düşey deprem etkileri

- $E_d^{(Z)} \approx (2/3) \cdot S_{DS} \cdot G$  (2.1)

### Yatay deprem etkileri

- $E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3.E_d^{(Y)}$  (2.2)

- $E_d^{(H)} = \pm 0.3.E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$  (2.3)

### Deprem+Diğer etkiler

- $G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)}$

- $0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)}$

#### **2.1.5. Betonarme Yapı Modellerinde Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması**

Yapının taşıyıcı sisteminde, düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonlar rijitlik farkını engellemek amacıyla kare, perdeler ise L kesitli oluşturulmuştur. Kirişli plak döşemeli ve kompozit döşemeye sahip tasarımlarda, kirişler yönetmeliklerce sağlanması gereken şartlar sağlanacak şekilde tasarlanmıştır.

Perdeler yeterli rijitliğin ve sünekliğin sağlanmasında, yatay yüklerin karşılanmasında, yanal yerdeğiştirmeyi sınırlamada çerçeve sistemle birlikte etkili bir şekilde kullanılır. TBDY-2018, binaların hakim doğal titreşim periyodu olan  $T_p^{(X)}$ 'in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değerini, ampirik hakim doğal titreşim periyodu  $T_{pA}$  periyodunun 1.4 katından daha fazla olmayacak şekilde sınırlandırmıştır. Bina taban alanı ve yüksekliğine bağlı olarak yalnızca betonarme çerçevelerle bu şartın sağlanması gitgide güçleşmektedir. Bu sebeplerle betonarme çerçeveler, betonarme perdelerle birlikte kullanılmıştır.

Kolon, kiriş, perde ve döşeme gibi taşıyıcı elemanların boyutları ön boyutlandırma aşamasında yaklaşık olarak seçilmiş olup yapılan iterasyon ve çözümlemelerle kesin boyutlar elde edilmiştir. Sap2000 programında, kolon ve kirişler çubuk eleman, perde ve döşemeler ise kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Tüm modeller, burulma etkisine karşı düzlemde simetrik bir plana sahiptir.

### 2.1.5.1. Betonarme Yapı Modellerindeki Döşeme Kalınlıkları

Bu çalışmada betonarme yapı modellerinde tüm döşemeler çift doğrultuda çalışan döşemelerdir. Döşeme kalınlıkları, TS500-2000’de sağlanması gereken sehim şartlarına bağlı olarak belirlenmiştir. İki doğrultuda çalışan betonarme kirişli plak döşeme kalınlıkları aşağıdaki denklem ile belirlenmiştir:

$$h_f \geq \frac{l_n}{15 + \frac{20}{m}} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \quad (2.4)$$

Burada;

$h_f$  : Döşeme kalınlığı,

$l_n$  : Döşeme kısa doğrultudaki serbest açıklığı,

$m$  : Döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı,

$\alpha_s$  : Döşemenin sürekli kenar uzunluklarının toplamının tüm kenar uzunluklarına oranıdır.

Sürekli kenarı en fazla olan D101 döşemesi, döşeme kalınlığı hesabı için esas alınmıştır. Ön boyutlandırmada kiriş genişlikleri 250 mm alınarak D101 döşemesine ait net açıklık 4750 mm olarak belirlenmiştir. Böylelikle D101 döşemesi için:

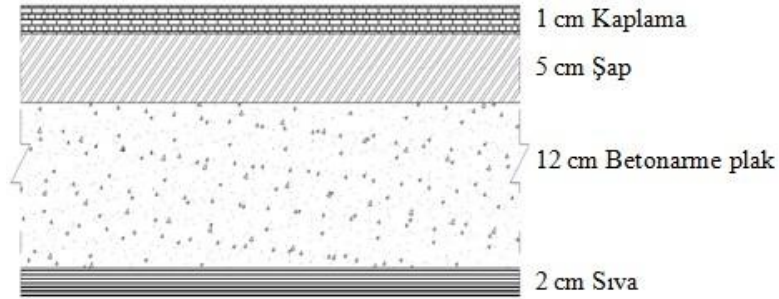
$$h_f \geq \frac{4750}{15 + \frac{20}{1}} \cdot \left(1 - \frac{0.5}{4}\right) = 118.75 \text{ mm olarak hesaplanmıştır.}$$

Kirişli plak sistem, TS-500’de yer alan sehim ve açıklık şartları ile TBDY-2018’deki betonarme döşemelerin aksel yük, kayma ve eğilme etkisi altında etkin kesit rijitlik çarpanlarının 0.25 olduğu göz önünde bulundurularak, döşeme kalınlıkları Tablo 2.10.’da belirtildiği şekilde seçilmiştir. Yapılara ait normal kat ve çatı katı döşeme kesitleri Şekil 2.9., Şekil 2.10, Şekil 2.11. ve Şekil 2.12.’de verilmiştir. Tüm katlarda döşeme kalınlıkları sabit olup hesap kolaylığı açısından, asansör, merdiven ve hava bacası boşlukları hesaba katılmamıştır. Gerçeğe daha yakın sonuç almak için döşemeler yatay ve düşey doğrultuda 0,25 m<sup>2</sup>’lik kare mesh’lere bölünmüştür.

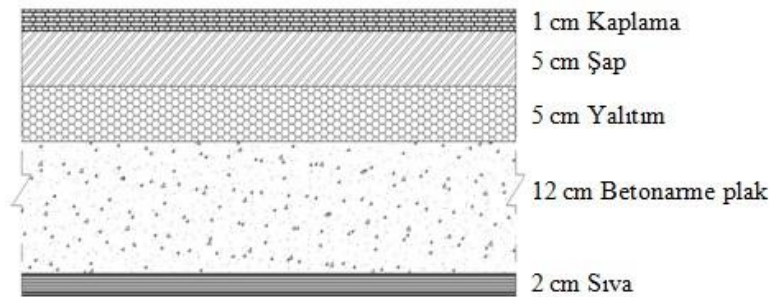
Çalışma kapsamında her bir betonarme bina modeli rijit diyafram ve yarı rijit diyafram kabulüne göre tasarlanmıştır. Ancak elde edilen bulguların birbirine oldukça yakın çıkması sebebiyle tüm yapı modellerinde döşemeler rijit diyafram kabulü ile modellenmiştir.

Tablo 2.10. Döşeme kalınlıkları

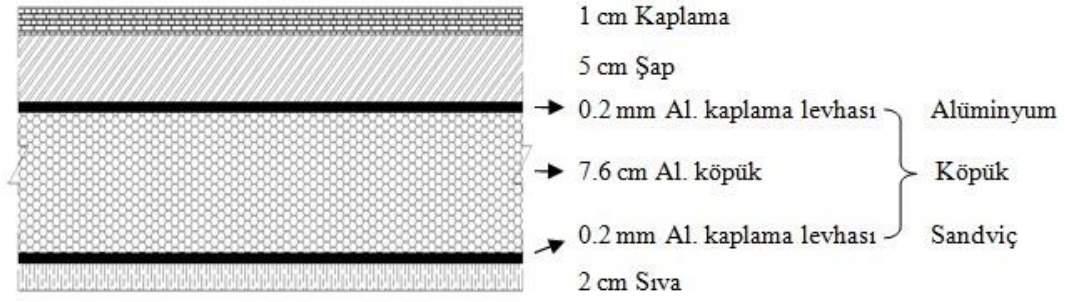
Model	Döşeme kalınlığı, $h_f$ (cm)
BBP-5	12
BAP-5	8
BAP0-5	8
BBP-10	12
BAP-10	8
BBP-14	12
BAP-14	8



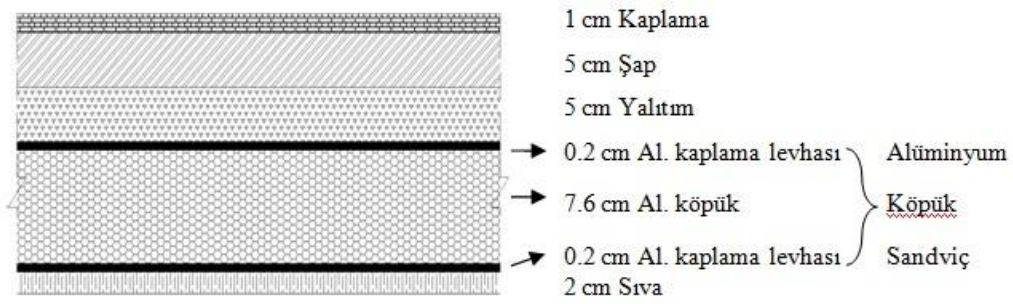
Şekil 2.9. BBP-5, BBP-10 ve BBP-14 modellerine ait normal kat döşeme kesiti



Şekil 2.10. BBP-5, BBP-10 ve BBP-14 modellerine ait çatı katı döşeme kesiti



Şekil 2.11. BAP-5, BAP0-5, BAP-10, BAP-14, CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 modellerine ait normal kat döşeme kesiti



Şekil 2.12. BAP-5, BAP0-5, BAP-10, BAP-14, CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 modellerine ait çatı katı döşeme kesiti

#### 2.1.5.2. Betonarme Modellerde Kiriş Enkesit Boyutları

Çalışma kapsamındaki betonarme yapı modellerine ait kirişlerin boyutlandırılması TS500-2000 ve TBDY-2018 yönetmelikleri esas alınarak yapılmıştır.

$w_b$  : Kiriş genişliği,

$h_{kiriş}$  : Kiriş yüksekliği,

$h_f$  : Döşeme kalınlığını göstermek üzere;

$$w_b \geq 250 \text{ mm (TBDY-2018),} \quad (2.5)$$

$$h_{kiriş} \geq 3 \times h_f = 3 \times 120 = 360 \text{ mm (TBDY-2018),} \quad (2.6)$$

$$h_{kiriş} \geq 300 \text{ mm (TBDY-2018),} \quad (2.7)$$



$$h_{kiriş} \leq 3.5 \times w_b = 3.5 \times 250 = 875 \text{ mm (TBDY-2018)}, \quad (2.8)$$

$$w_b \geq 200 \text{ mm (TS500-2000)} \quad (2.9)$$

şartlarını sağlamalıdır.

Bu şartlar doğrultusunda, tüm betonarme yapı modellerinde kiriş boyutları tüm katlarda 250 mm x 500 mm olarak seçilmiştir.

### **2.1.5.3. Betonarme Modellerde Kolon Enkesit Boyutları**

Çalışmada kullanılan betonarme yapı modellerine ait kolonların boyutlandırılması ve betonarme hesapları ile ilgili hususlar TS500-2000 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre yapılmıştır. En küçük kolon boyutu  $b$  veya  $h$  olmak üzere, TS500-2000’de (2.10) TBDY-2018’de (2.11) ve (2.12) eşitlikleri göz önünde bulundurularak;

$$b \geq 250 \text{ mm (TS500-2000)}, \quad (2.10)$$

$$b \geq 300 \text{ mm (TBDY-2018)}, \quad (2.11)$$

$$b/h < 6 \text{ (TBDY-2018)}, \quad (2.12)$$

şartlarını sağlamalıdır.

Bu şartlara ek olarak eksenel yükler ve deprem kuvvetinden dolayı binalara etkiyecek en büyük normal kuvvet de göz önünde bulundurularak her bir betonarme yapı modelinde tek bir kolon kesiti kullanılmıştır. Ayrıca yapı modellerinin  $x$  ve  $y$  doğrultusunda, kolonlardan meydana gelecek bir rijitlik farkını önlemek amacıyla tüm kolonlar kare olarak tasarlanmıştır. Tablo 2.11’de her bir modelde kullanılan kolon boyutları verilmiştir.

Tablo 2.11. Kolon boyutları

Model	Kolon Adı	Kolon Boyutu (cm)
BBP-14	Tüm Kolonlar	50 x 50
BAP-14	Tüm Kolonlar	50 x 50
BBP-10	Tüm Kolonlar	50 x 50
BAP-10	Tüm Kolonlar	50 x 50
BBP-5	Tüm Kolonlar	40 x 40
BAP-5	Tüm Kolonlar	40 x 40
BAP0-5	Tüm Kolonlar	60 x 60

#### 2.1.5.4. Betonarme Modellerde Perde Kalınlığı

Modellerde TS500-2000 ve TBDY-2018’de verilen perdelerin hesap ve tasarımıyla ilgili (2.13), (2.14) ve (2.15) eşitlikleri kullanılarak perdeler boyutlandırılmıştır. En küçük kolon boyutu b veya h olmak üzere,

$$b \geq 250 \text{ mm (TBDY-2018),} \quad (2.13)$$

$$h \geq \text{kat yüksekliği}/16 \text{ (TBDY-2018),} \quad (2.14)$$

$$b/h \geq 6 \text{ (TBDY-2018),} \quad (2.15)$$

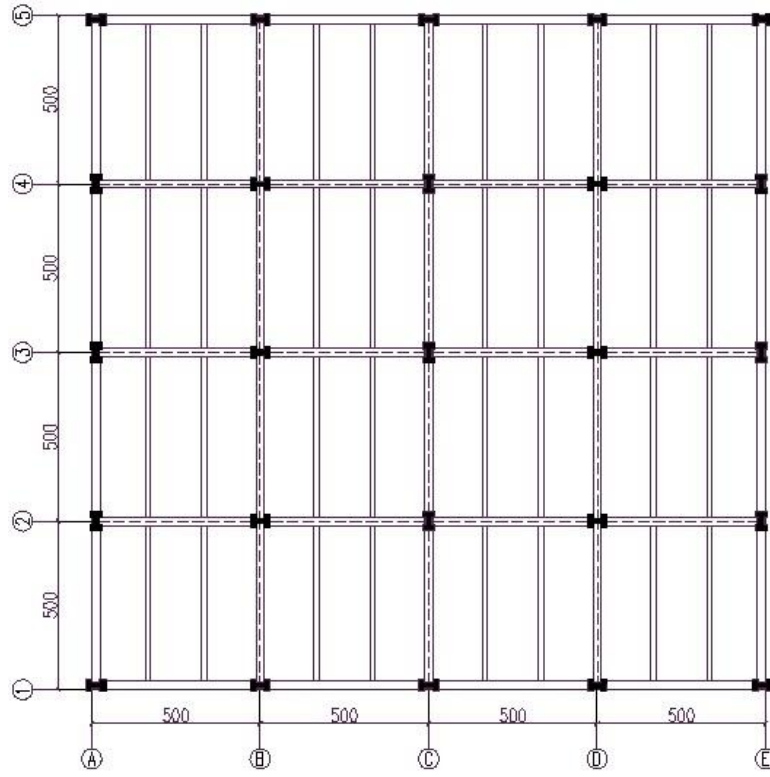
şartlarını sağlamalıdır.

Bu eşitlikler yardımı ile kullanılan tüm modellerde perde kalınlığı 300 mm olarak seçilmiştir. L tipi perdelerin daha fazla kesme kuvveti aldığı ve köşe yerine köşeye yakın planlandığında karşıladığı kesme kuvvetinin arttığı için perdeler L en kesitli tercih edilmiştir (Kasap ve Özyurt, 2012).

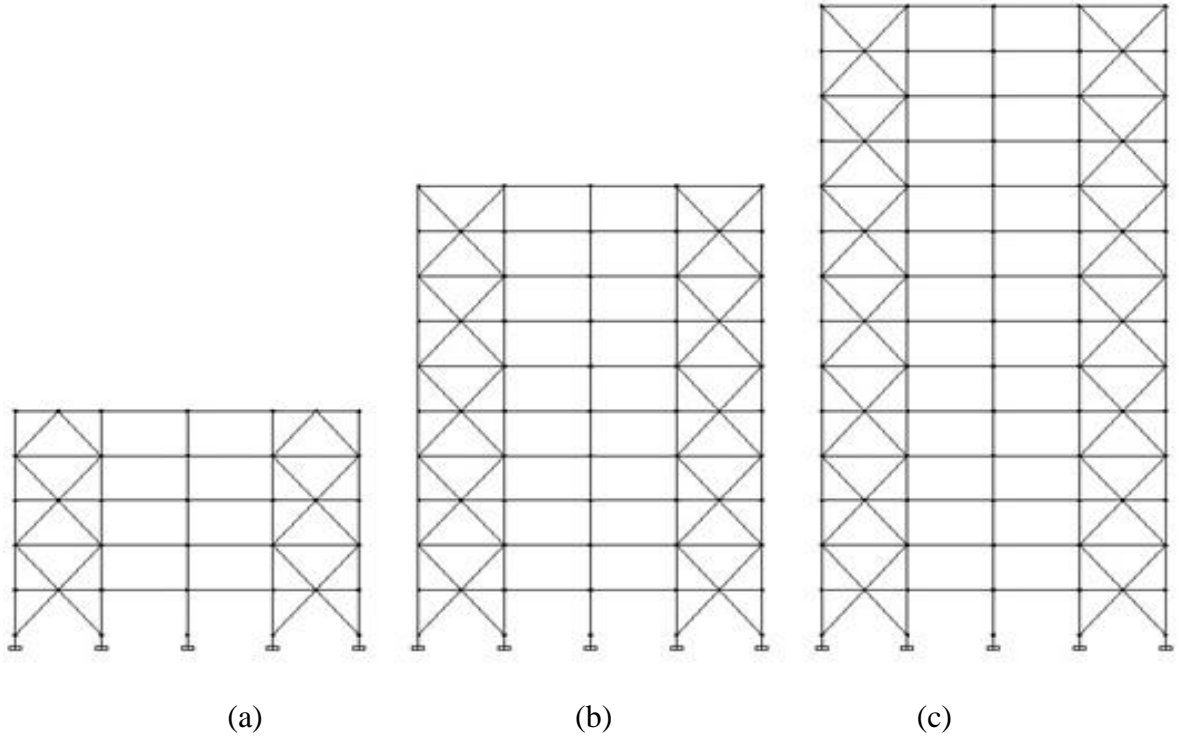
## 2.2. Çelik Yapı Modellerinin Tasarımı

### 2.2.1. Çelik Yapı Modellerinin Özellikleri

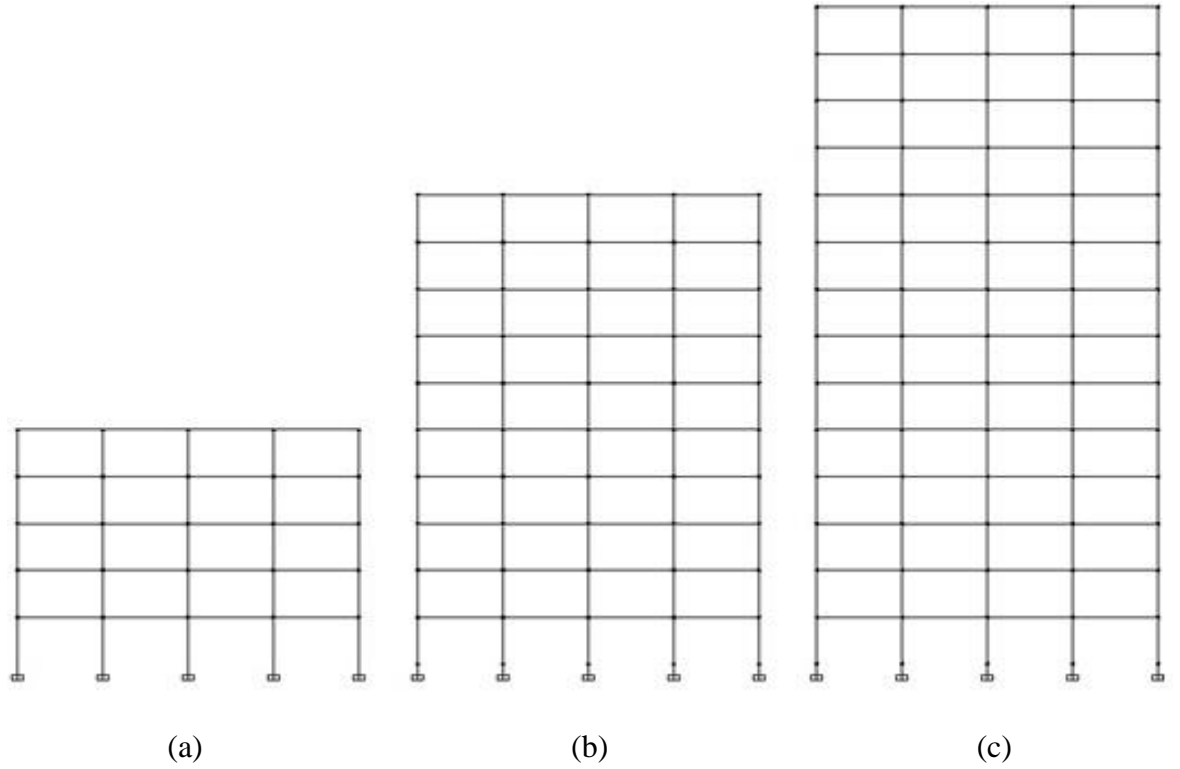
Döşeme planı Şekil 2.13.'te verilen çelik yapı modellerinde kat alanı 400.00 m<sup>2</sup> ve yapı kat geometrisi kare şekilde tasarlanan binaların kullanım amacı konut olarak seçilmiştir. Tüm modellerde kat yüksekliği sabit 3.00 m olup çerçeve görünüşleri Şekil 2.14., ve Şekil 2.15.'de gösterilmiştir. Üç boyutlu görünüşleri Şekil 2.16., Şekil 2.17. ve Şekil 2.18.'de verilen yapılar x ve y yönünde 4'er açıklıktan oluşmaktadır.



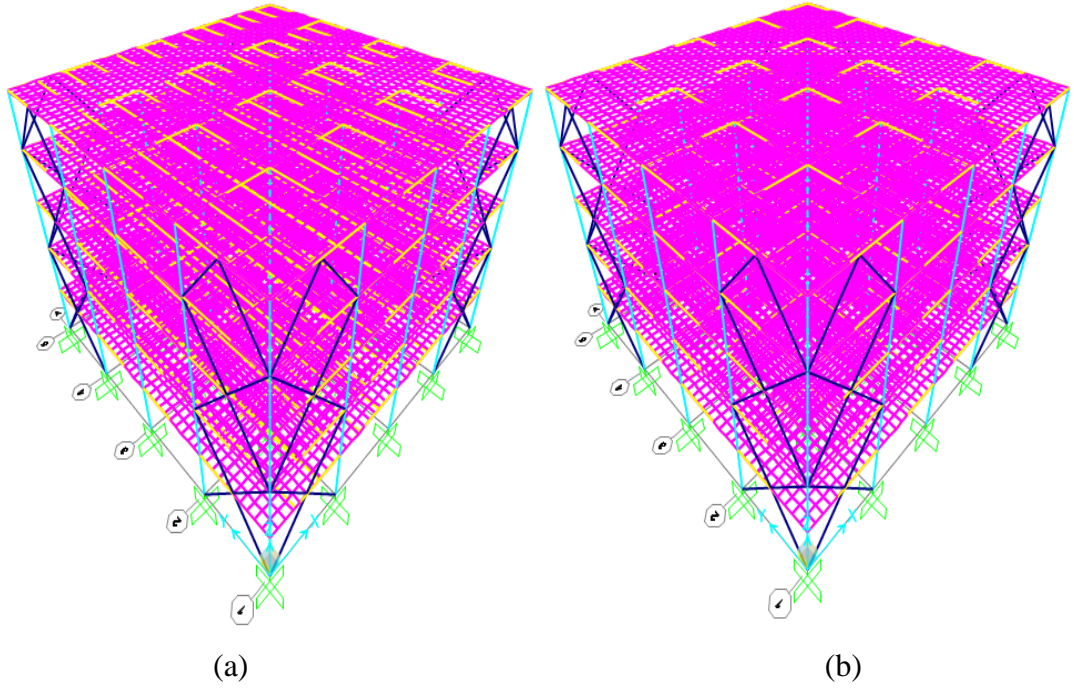
Şekil 2.13. Çelik yapı modellerine ait tipik döşeme planı



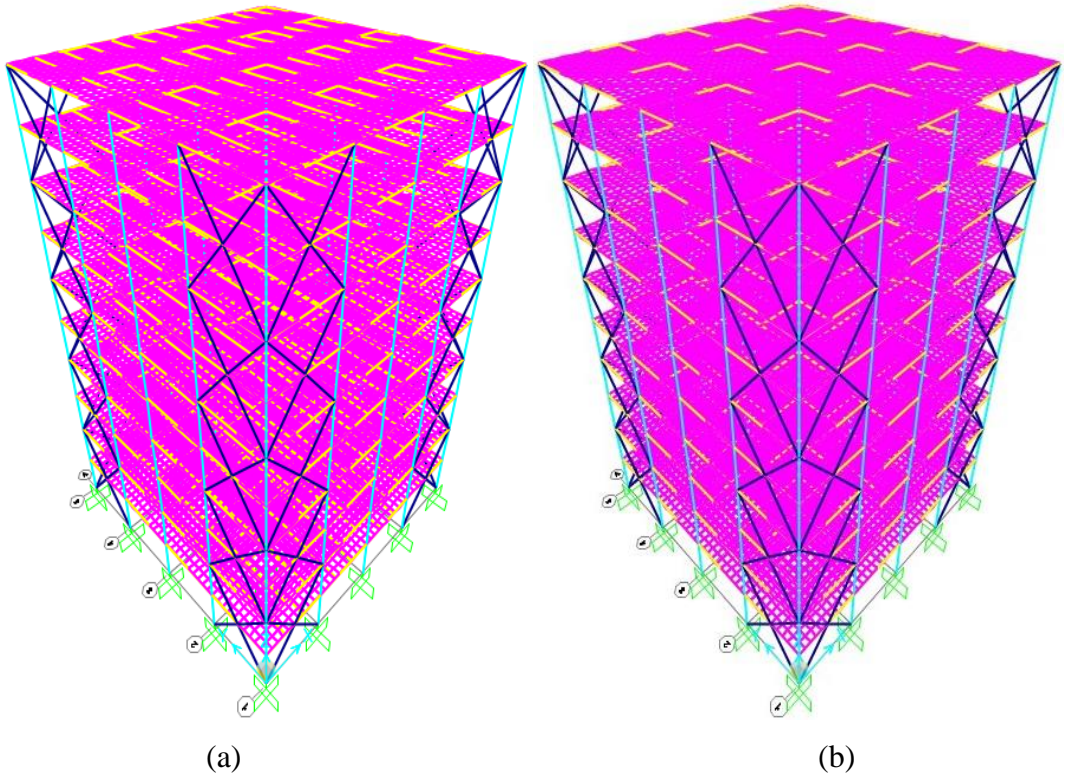
Şekil 2.14. CBP-5 ve CAP-5'e (a), CBP-10 ve CAP-10'a (b), CBP-14 ve CAP-14'e (c) ait A aksı çerçevesi



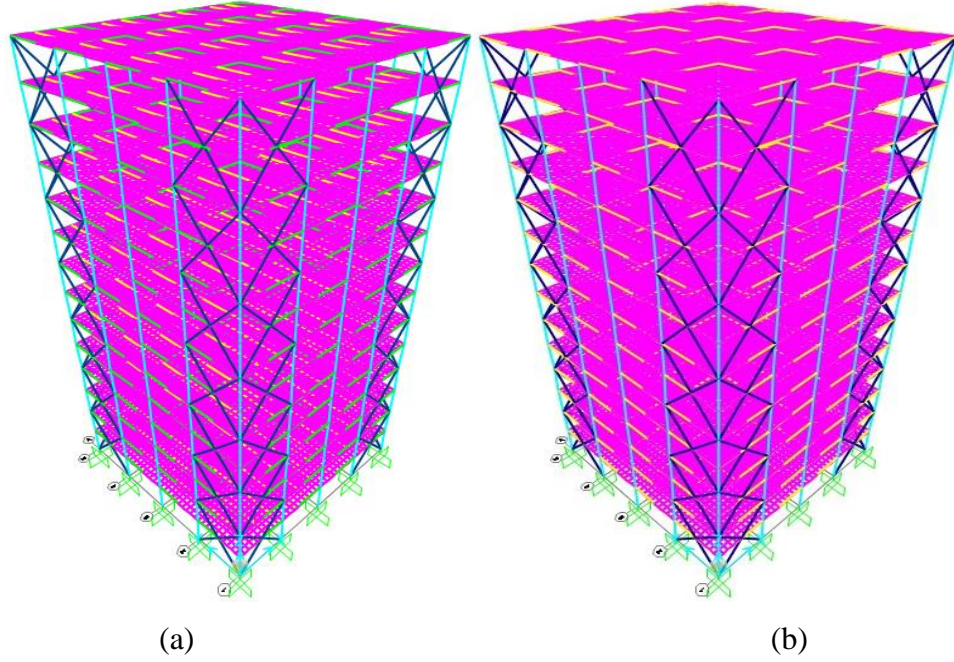
Şekil 2.15. CBP-5 ve CAP-5'e (a), CBP-10 ve CAP-10'a (b), CBP-14 ve CAP-14'e (c) ait B aksı çerçevesi



Şekil 2.16. CBP-5 (a) ve CAP-5'in (b) üç boyutlu görünüşü



Şekil 2.17. CBP-10 (a) ve CAP-10'un (b) üç boyutlu görünüşü



Şekil 2.18. CBP-14 (a) ve CAP-14'e (b) ait üç boyutlu görünüşü

Kat döşemeleri; ikincil kirişlere mesnetlenmiş trapez çelik sac levha ile betonarmeden teşkil edilen kompozit döşeme sistemlerinden ve çerçeve kirişlerine mesnetlenen AKS plak döşeme sistemlerinden meydana gelmiştir. Döşeme sistemleri düzlemi içinde rijit bir diyafram oluşturmuştur ve 1.67 m aralıklarla teşkil eden ikincil kirişler ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Ana kirişlerin kolonlara bağlantısı, kolonların zayıf eksenleri doğrultusunda mafsallı, güçlü eksenleri doğrultusunda rijit olacak şekilde modellenmiştir. Kolonların  $\pm 0.00$  kotunda, temele ankastre olarak mesnetlendiği kabul edilmiştir.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin, moment aktaran çerçevelere kıyasla daha rijit bir davranış ve daha yüksek bir dayanım sergilediği görülmektedir. Ayrıca yanal yüklerin daha etkin karşılanmasında ve yatay yerdeğiştirmelerin sınırlandırılmasında kullanılmaktadırlar. Bu sebeplerle çelik çerçeveler merkezi çaprazlarla birlikte kullanımı tercih edilmiştir. Binanın her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarından; kolon, kiriş ve ikincil kirişler için I kesitli, çaprazlar için kare kutu kesitli profiller tercih edilmiştir. TBDY-2018 ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmelikleri dikkate alınarak ve Avrupa norm profilleri kullanılarak tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır.

Yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleşmesi, bina kat planlarında çukurlukların olmaması, döşemelerde büyük boşlukların ve süreksizliklerin bulunmaması nedeniyle planda düzensizlik durumları bulunmamasına özen göstererek modeller tasarlanmıştır. Modellemede ayrıca taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerinin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca değişiklik göstermemesine de özen gösterilmiştir.

TBDY-2018 4.7.3.2 maddesinde, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binalarda göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunu ifade eden  $T_p^{(X)}$ 'in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri, ampirik hakim doğal titreşim periyodu  $T_{pA}$  periyodunun 1.4 katından daha fazla olmayacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Ampirik hakim doğal titreşim periyodu, bina yüksekliği ( $H_N$ ) ve  $C_t$  katsayısına bağlı olarak (2.16) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır. Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan bir katsayı olan  $C_t$ , taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda 0.1, çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda 0.08, diğer tüm binalarda 0.07 alınmaktadır.

$$T_{pA} = C_t \cdot H_N^{3/4} \quad (2.16)$$

Betonarme binalarda taşıyıcı sistemin perdelerle birlikte çerçevelerden oluşmasına veya yalnızca çerçeveden oluşmasına bağlı olarak  $C_t$  katsayısı farklı değerler alırken çelik yapılarda bu katsayı sabittir. Bu sebeple ampirik hakim doğal titreşim periyodu taşıyıcı sisteme göre farklı değerler almamaktadır. Moment aktaran çerçeveler ile taşıyıcı sistem oluşturulduğunda  $T_{pA}$ 'nın 1.4. $T_{pA}$  sınırı aşıldığı için yeterli rijitliğin sağlanması açısından modellerde yalnızca çaprazlı çerçeveler kullanılmıştır.

### 2.2.2. Malzeme Özellikleri

Çelik yapı sistemlerinin tasarımında S275 yapı çeliği kullanılmıştır. S275 sınıfı çeliğin, elastisite modülü ( $E_s$ ) 200 GPa, Poisson oranı ( $\nu_s$ ) 0.30, ısı genleşme katsayısı ( $\alpha_t$ )  $1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ , akma dayanımı ( $f_y$ ) 275 MPa, çekme dayanımı ( $f_u$ ) 430 MPa ve birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ ) 78.5 kN/m<sup>3</sup> olarak kullanılmıştır. S275 cinsi çeliğin tasarım ve hesaplarda kullanılan mekanik değerleri ilgili bilgi Tablo 2.12.'de verilmektedir (ÇYTHYE-2016).

Tablo 2.12. S275 sınıfı çeliğin mekanik özellikleri

Özellik	Değer
Elastisite modülü, $E_s$ (GPa)	200
Poisson oranı, $\nu_s$	0.30
Birim hacim ağırlığı, $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	78.5
Akma dayanımı, $f_y$ (MPa)	275
Çekme dayanımı, $f_u$ (MPa)	430
Isıl genleşme katsayısı, $\alpha_t$ (1/°C)	$1.2 \times 10^{-5}$

CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 modellerinin döşemelerinde B420C sınıfı donatılı C35 betonu ve CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 modellerinin döşemelerinde ise AKS plak tercih edilmiştir. Bu malzemelere ait mekanik özellikler, Tablo 2.3., Tablo 2.4. ve Tablo 2.5.'de verilmiştir.

### 2.2.3. Çelik Yapı Modelleri İçin Yük Hesapları

#### 2.2.3.1. Çelik Yapı Modellerinde Düşey Yük Hesabı

Döşeme zati yükleri, tüm kat döşemelerinde 7 cm kalınlığında döşeme betonu ve döşeme sacının ağırlıkları program tarafından hesaba katılmıştır. Yapı türü konut olduğu için hareketli yük değeri çatı katı için 1.5 kN/m<sup>2</sup> ve diğer katlarda 2 kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Döşemeler üzerine etkiyen düşey yükler sırasıyla normal kat ve çatı katı için Tablo 2.13.ve Tablo 2.14'de verilmiştir.

Tablo 2.13. CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 normal kat döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
Betonarme Plak + Trapez Sac	1.75
Kaplama	1.10
Sıva	0.4
Asma Tavan	0.2
$\Sigma G$	3.45
$\Sigma Q$	2



Tablo 2.14. CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 çatı katı döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
Betonarme Plak + Trapez Sac	1.75
Kaplama	1.10
Sıva	0.4
Asma Tavan	0.2
İzolasyon	0.08
$\Sigma G$	3.53
$\Sigma Q$	1.5

AKS plaklar için normal katlar ve çatı katı döşeme yükleri çelik yapı modellerinde sırasıyla Tablo 2.15 ve Tablo 2.16’da verilmiştir.

Tablo 2.15. CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 normal kat döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
Alüminyum Köpük Sandviç Plak	0.53
Kaplama+Şap	1.32
Sıva	0.4
$\Sigma G$	2.25
$\Sigma Q$	2

Tablo 2.16. CAP-5, CAP-10 ve CAP-14 çatı katı döşeme yükleri

Yük Bileşeni	Yük Değeri (kN/m <sup>2</sup> )
Alüminyum Köpük Sandviç Plak	0.53
Kaplama+Şap	1.32
Sıva	0.4
İzolasyon	0.08
$\Sigma G$	2.33
$\Sigma Q$	1.5

Duvar yükü kirişler üzerindeki etkililmiş ve dış cephe ile iç cephe duvarlarından gelen yükler sırasıyla 4 kN/m ve 3 kN/m olarak alınmıştır.

### 2.2.3.2. Çelik Çatı Modellerinde Yatay Yük Hesabı

Çelik konstrüksiyonlu yapı modellerine yatay yük kapsamında deprem ve rüzgâr yükleri etkiltilmiştir. Yapılar üzerinde etkin olan deprem ve rüzgâr kuvveti parametreleri aşağıdaki gibidir.

Yapılar konut işlevli tasarlanması nedeniyle bina önem katsayısı (I) 1 ve hareketli yük katılım katsayısı (n) 0.3 olarak alınmıştır. Taşıyıcı sistem katsayısı (R) 6 ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) 2.5 olarak alınmıştır. Yatay yük taşıma sistemi x ve y yönünde, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluştuğundan yapı süneklik düzeyi yüksek sistem olarak tasarlanmıştır. Binaların konumunun Bağlarbaşı Mahallesi, Gümüşhane ve yerel zemin sınıfı ZB olarak kabul edilmiştir. Tasarım spektral ivme katsayıları, ( $S_{DS}$ ) 0.390 ve ( $S_{D1}$ ) 0.122 olarak alınmış ve yatay elastik tasarım spektrumu; ( $T_A$ ) 0.063 s ve ( $T_B$ ) 0.314 s olarak belirlenmiştir.

TBDY-2018 Madde 4.6.2.2. uyarınca DTS 3'e göre BYS'nin 5 olması ve yapıların taşıyıcı sistemlerinde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması sebebiyle eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem hesabı yapılmıştır.

TS-498 yönetmeliği uyarınca rüzgâr yükü  $W=C \times q$  olarak hesaplanmaktadır. C, emme katsayısı olup yönetmelik uyarınca 1.2 olarak alınmıştır. Yapıya etkiyen rüzgâr basıncı (q) yüksekliğe bağlı olarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 2.17. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı ve emme (rüzgâr basıncı)

Zemin Üzerinden Yükseklik (m)	Rüzgâr Hızı, v (m/s)	Emme, q (kN/m <sup>2</sup> )
0-8	28	0.5
9-20	36	0.8
21-100	42	1.1

### 2.2.4. Çelik Yapı Modellerinde Kullanılan Yük Birleşimleri

Yapı sisteminin düşey yükler ile yatay deprem ve rüzgâr kuvvetleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2016'ya uygun olarak, aşağıdaki şekilde birleştirilmiştir.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği'nde dayanım sınır durumuna göre tasarım için Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) veya Güvenlik Katsayıları İle Tasarım (GKT) yöntemleri önerilmektedir. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi çelik yapıların hesabında gittikçe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yöntem, gerek yük etkilerinin gerek dayanımlarının değişkenliğini istatistiksel bir değerlendirmeye hesaba katmakta, ayrıca güvenilirlik açısından bir düzen getirmektedir. Yük dayanım katsayıları ile tasarım ile çelikten %6 ila %10 tasarruf mümkün olabilmektedir (Keyder, 1994). Çalışma kapsamındaki çelik yapıların hesap ve tasarımında YDKT yöntemi tercih edilmiştir. TBDY-2018 ve YDKT yöntemi esas alınarak oluşturulan yük birleşimleri şu şekildedir:

- $1.4G$
- $1.2G + 1.6Q_{\text{ç}}$
- $1.2G + 1.6Q + 0.5Q_{\text{ç}}$
- $1.2G + 1.6Q_{\text{ç}} + Q$
- $1.2G + 1.6Q_{\text{ç}} + 0.8W$
- $1.2G + Q + 0.5Q_{\text{ç}} + 1.6W$
- $1.2G + Q + E$
- $0.9G + 1.6W$
- $0.9G + E$

Bu kombinasyonlarda:

G; toplam ölü yükler,  
Q; hareketli yükleri (çatı hareketli yükü hariç),  
E; deprem yüklerini,  
Q<sub>ç</sub>; çatı hareketli yükü,  
W; rüzgar yükünü ifade etmektedir.

Yapıya etkiyen herhangi bir kar, yağmur ve buz yükü bulunmadığından, bu yükler kombinasyonlara dahil edilmemiştir.

### 2.2.5. Çelik Yapı Modellerinde Taşıyıcı Sistem Elemanları Boyutlandırılması

Bu bölümde CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 modelleri seçilen mimariye göre en uygun taşıyıcı sistem ile boyutlandırılarak tasarlanmıştır. CAP-5, CAP-10, CAP-14 modelleri, döşemeler haricindeki taşıyıcı eleman boyutları değiştirilmeden AKS plak ile tasarlanmıştır.

TBDY-2018, binaların hakim doğal titreşim periyodu olan  $T_p^{(X)}$ 'in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değerini, ampirik hakim doğal titreşim periyodu  $T_{pA}$  periyodunun 1.4 katından daha fazla olmayacak şekilde sınırlandırmıştır. Bina taban alanı ve yüksekliğine bağlı olarak yalnızca çelik çerçevelerle bu şartın sağlanması gitgide güçleşmektedir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, taşıyıcı sistemin rijitleştirilmesinde, yanal yüklerin karşılanmasında ve yatay yerdeğiştirmelerin sınırlandırılmasında kullanılmaktadırlar. Bu nedenle çelik çerçevelerin merkezi çaprazlarla birlikte kullanımı tercih edilmiştir.

Kolon, kiriş, perde ve döşeme gibi taşıyıcı elemanların boyutları ön boyutlandırma aşamasında yaklaşık olarak seçilmiş olup yapılan iterasyon ve çözümlemelerle kesin boyutlar elde edilmiştir. Sap2000 programında, kiriş, çapraz ve kolonlar çubuk eleman, döşemeler ise kabuk eleman olarak tanımlanmıştır.

#### 2.2.5.1. Çelik Yapı Modellerindeki Döşeme Kalınlıkları

Döşeme kalınlıkları, ÇYTHYE'de yer verilen kullanılabilirlik sınır durumları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Hareketli yüklerden oluşan düşey yerdeğiştirmelerin (sehimlerin) açıklığa oranı, kat döşemelerinde 1/360, çatı döşemelerinde 1/240 sınırını aşmayacak ve sabit yükler ve kısa süreli hareketli yükler altında veya uzun süreli hareketli yükler altında aşağıdaki yük birleşimleri dikkate alınarak hesaplanan toplam düşey yerdeğiştirmelerin açıklığa oranı 1/300 sınırını aşmayacak şekilde tasarım gerçekleştirilmiştir.

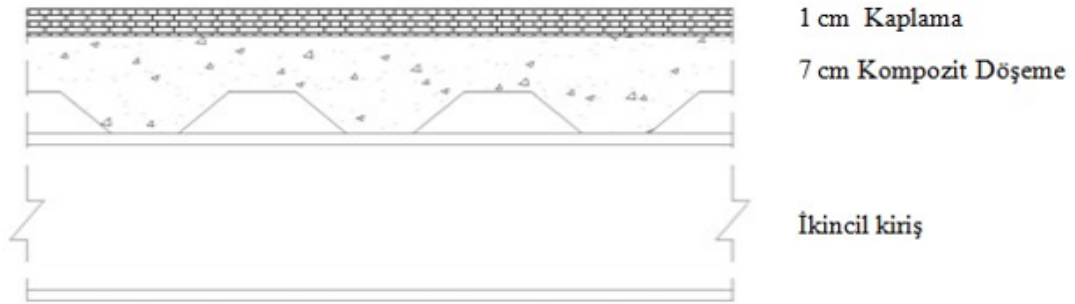
#### Sabit yükler ve kısa süreli hareketli yükler

- $G + Q$
- $G + 0.5 S$

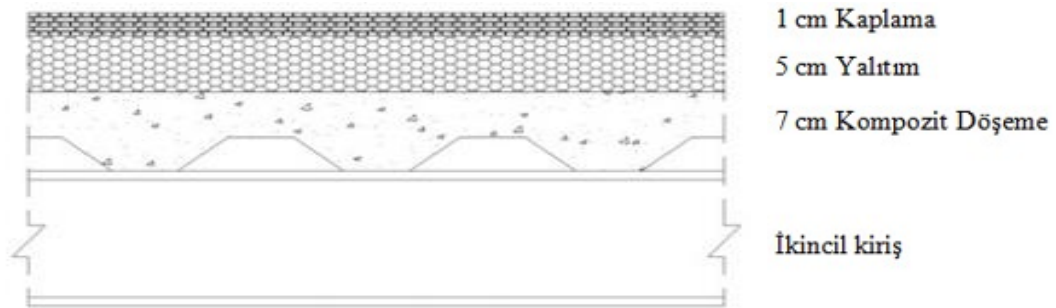
### Sabit yükler ve uzun süreli hareketli yükler

- $G + 0.5 Q$

Tüm katlarda döşeme kalınlıkları aynı seçilmiş ve hesap kolaylığı açısından, asansör, merdiven ve hava bacası boşlukları hesaba katılmamıştır. Gerçeğe daha yakın sonuç almak için döşemeler yatay ve düşey doğrultuda  $0.25 \text{ m}^2$ 'lik kare mesh'lere bölünmüştür. Çalışmada kullanılan her bir çelik yapı modeli rijit diyafram ve yarı rijit diyafram kabulüne göre tasarlanmıştır. Ancak elde edilen bulguların birbirine oldukça yakın çıkması sebebiyle tüm yapı modellerinde döşemeler rijit diyafram kabulü ile modellenmiştir. Yapı modellerine ait normal kat ve çatı katı döşeme en kesitleri Şekil 2.19., Şekil 2.20.'de ve döşeme kalınlıkları Tablo 2.18.'de verilmiştir.



Şekil 2.19. CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 modellerine ait normal kat döşeme kesiti



Şekil 2.20. CBP-5, CBP-10 ve CBP-14 modellerine ait çatı katı döşeme kesiti

Tablo 2.18. Döşeme kalınlıkları

Model	Döşeme kalınlığı, $h_f$ (cm)
CBP-5	7
CAP-5	8
CBP-10	7
CAP-10	8
CBP-14	7
CAP-14	8

#### 2.2.5.2. Çelik Yapı Modellerinde Kiriş Profili Seçimi

Çerçeve kirişleri, sabit yükler ve hareketli yükler (kar yükleri) altında, ÇYTHYE-2016 Bölüm 15.1’de verilen ilgili yük birleşimleri göz önünde tutularak hesaplanan toplam düşey yerdeğiştirmelerin açıklığa oranı  $1/300$  sınır değerini aşmayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Yapılarda kiriş en kesiti için IPE270 profili seçilmiştir.

#### 2.2.5.3. Çelik Yapı Modellerinde İkincil Kiriş Profili Seçimi

Çerçeve kirişlerine mafsallı olarak bağlanan ve deprem yükleri etkisi altında olmayan ikincil kirişler, TBDY-2018 ve YDKT yöntemine göre yatay ve düşey yüklerden oluşan yük birleşimlerinden en elverişsiz olanlarıyla tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır. Nihayetinde çelik yapı modelleri için ikincil kirişler IPE220 profili seçilmiştir.

#### 2.2.5.4. Çelik Yapı Modellerinde Kolon Profili Seçimi

Kolonlar, yatay ve düşey yüklerden oluşan yük birleşimlerinden en elverişsiz olanlarıyla TBDY-2018 ve YDKT yöntemine göre tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır. Tablo 2.19.’da her bir çelik yapı modeline ait kolon en kesit profilleri verilmiştir.

Tablo 2.19. Kolon en kesit profilleri

	Model					
	CBP-14	CAP-14	CBP-10	CAP-10	CBP-5	CAP-5
Köşe Kolonlar	HE220M	HE220M	HE200M	HE200M	HE160M	HE160M
Kenar Kolonlar	HE280M	HE280M	HE220M	HE220M	HE220M	HE220M
İç Kolonları	HE280M	HE280M	HE240M	HE240M	HE220M	HE220M

#### 2.2.5.5. Çelik Yapı Modellerinde Çelik Çapraz Profili Seçimi

Çaprazlar, ÇYTHYE’de yer verilen kullanılabilirlik sınır durumları göz önünde bulundurularak boyutlandırılmıştır. Yatay yerdeğiştirmelerin sınır değeri, binanın türüne ve cephe kaplamaları ile bölme duvarlarının cinsine bağlı olarak değişebilir. Yatay yerdeğiştirme kontrollerinde  $G+0.5Q+W$  yük bileşimi dikkate alınmalıdır. Genel olarak yatay yerdeğiştirme için sınır değer, kat yüksekliğinin veya bina yüksekliğinin (1/400 ile 1/600) katı olarak önerilmektedir. Bu sınır değer, 5 katlı modeller için 25-37.5 mm, 10 katlı modeller için 50-75 mm, 14 katlı modeller için 70-105 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.20.’de her bir çelik çaprazlı çelik yapı modeline ait seçilen çelik çapraz profilleri verilmiştir. Ek-1’de tüm çelik taşıyıcı sistem elemanları için seçilen profillere ait kesit özellikleri sunulmaktadır.

Tablo 2.20. Çapraz en kesit profilleri

Model	Profil
CBP-5	Tubo70x70x4
CAP-5	Tubo70x70x4
CBP-10	Tubo80x80x7.1
CAP-10	Tubo80x80x7.1
CBP-14	Tubo90x90x12.5
CAP-14	Tubo90x90x12.5

### **3. BULGULAR**

Bu bölümde çalışmada dikkate alınan farklı döşeme ve taşıyıcı sistemli, 5, 10 ve 14 katlı yapıların bilgisayar modelleri ile Sap2000 yazılımı yardımıyla “doğrusal elastik analiz yöntemi” ile çözülerek incelenmiştir. Söz konusu yapıların malzeme bilgileri, geometrik modelleri, yüklemeleri ve yükleme birleşimleri hakkında bilgiler Bölüm 2.’de verilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen bulgular ve bu bulguların birbiri ile karıştırılması sonucu elde edilen grafikler ve tablolar sunulmuştur. Döşeme sisteminin değiştirilmesinin yapı davranışı üzerine etkisinin incelenmesi için ilk olarak yapı ağırlıkları ve ilk üç moda ait periyotlar ele alınmıştır. Sonrasında yapıların kat kütle merkezlerine x ve y doğrultusunda  $\pm\%5$  dış merkezlik ile uygulanan deprem yükleri etkisiyle oluşan kat bazında en büyük yerdeğiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Son olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapıların tabanlarında oluşan kesme kuvveti değerleri kıyaslanmıştır.

#### **3.1. Yapı Ağırlıklarının İrdelenmesi**

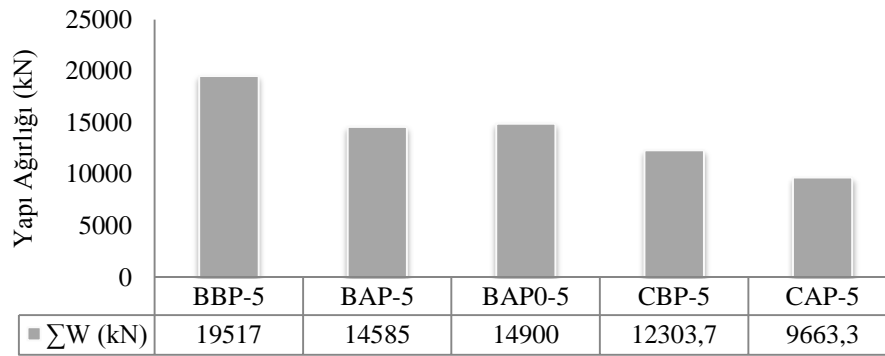
##### **3.1.1. 5 Katlı Yapılara Ait Ağırlıkların İrdelenmesi**

5 katlı yapıların toplam ağırlıklarına ait değerler Tablo 3.1 ve bu değerlerin karşılaştırmalı grafiğı Şekil 3.1.’de verilmiştir. Tablo ve grafikten de anlaşılacağı üzere en fazla ağırlığa sahip olan sistem BBP-5 yani betonarme taşıyıcı ve döşemeli sistemdir. BBP-5 modelini, betonarme çerçeve taşıyıcı ve AKS döşeme sistemli BAP0-5 modeli takip etmekte olup, 3. en ağır bina betonarme çerçeve-perde taşıyıcılı ve AKS döşeme sistemli BAP-5 modelidir. Bu sıralamayı çelik çaprazlı çerçeve ve betonarme döşeme sistemli CBP-5 modeli takip etmektedir ve 5 katlı modeller arasında en az ağırlık CAP-5 modelinde hesaplanmıştır.



Tablo 3.1. 5 Katlı yapı ağırlıkları

Model	Döşeme Kalınlığı (cm)	Yapı Ağırlığı (kN)
BBP-5	12	19517
BAP-5	8	14585
BAP0-5	8	14900
CBP-5	7	12303.7
CAP-5	8	9663.3



Şekil 3.1. 5 Katlı yapı ağırlıkları

Yapılara ait toplam ağırlıkları birbirleriyle oranladığımızda; BBP-5 modeli yerine BAP-5 modeli tercih edilirse yapının toplam ağırlığı %25 azalacaktır. Yine BBP-5 modeli yerine BAP0-5 modeli tercih edilirse yapının toplam ağırlığı %24 azalacaktır. Aynı şekilde CBP-5 modeli yerine CAP-5 modeli tercih edildiğinde toplam ağırlık %21 oranında azalmaktadır.

AKS döşeme sistemi hem yapı ağırlığında azımsanmayacak bir oranda azalış sağlarken hem de 5 katlı yapılarda yaklaşık %2'lük bir farkla çerçeve-perde sistem yerine çerçeve sistemli yapı tasarımına olanak sağlamaktadır.

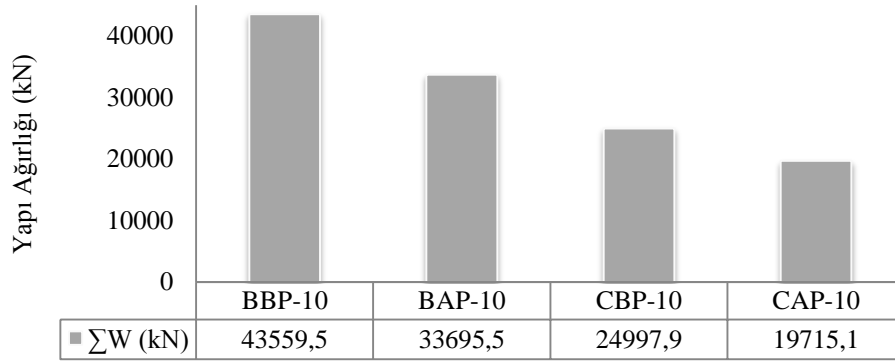
### 3.1.2. 10 Katlı Yapılara Ait Ağırlıkların İrdelenmesi

Kat sayısı 10 olan BBP-10, BAP-10, CBP-10 ve CAP-10 modellerinin toplam ağırlıkları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.2. ve Tablo 3.2.'de gösterilmiştir. Şekil 3.2.'den de görüldüğü gibi, tüm sistemler karşılaştırıldığında en küçük ağırlık değeri AKS döşemeli ve çelik çapraz-çerçeve sistemde oluşurken en büyük ağırlık değeri betonarme döşemeli

perde-çerçeve sistemde meydana gelmektedir. Yine bu şekilden görüldüğü gibi, taşıyıcı sistem sabit kalmak kaydıyla, AKS döşemeli sistemlerin ağırlık değerleri betonarme döşemeli sistemlerinkinden daha küçük olmaktadır. Beklendiği gibi, betonarme taşıyıcı sistemli yapıların ağırlık değerleri çelik taşıyıcı sistemli yapıların değerlerinden daha büyük hesaplanmıştır.

Tablo 3.2. 10 Katlı yapı ağırlıkları

Model	Döşeme Kalınlığı (cm)	Yapı Ağırlığı (kN)
BBP-10	12	43559.5
BAP-10	8	33695.5
CBP-10	7	24997.9
CAP-10	8	19715.1



Şekil 3.2. 10 Katlı yapı ağırlıkları

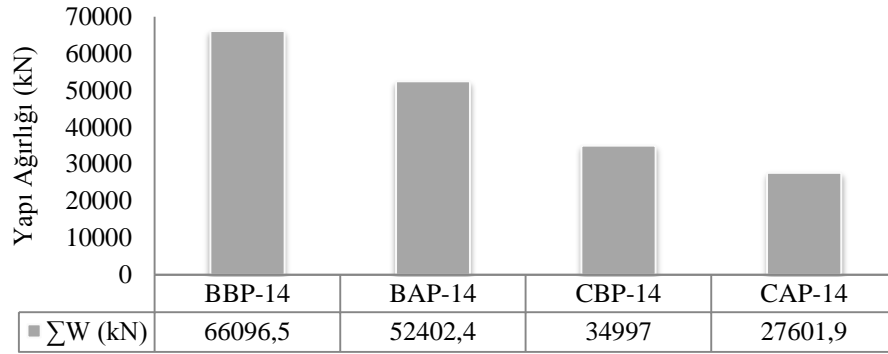
Betonarme döşeme ve perde-çerçeve taşıyıcı sistemli BBP-10 modelinin, AKS döşeme ve betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sistemli BAP-10 modeline göre ağırlığı %23 oranında daha fazla iken; betonarme döşeme ve çelik çapraz-çerçeve taşıyıcı sistemli CBP-10 modelinin, AKS döşeme ve çelik çapraz-çerçeve taşıyıcı sistemli CAP-10 modeline göre ağırlığı %21 oranında daha fazladır.

### 3.1.3. 14 Katlı Yapılara Ait Ağırlıkların İrdelenmesi

BBP-14, BAP-14, CBP-14 ve CAP-14 modellerine ait ağırlık değerleri Tablo 3.3. ve Şekil 3.3.'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre en fazla ağırlık betonarme döşeme ile tasarlanan BBP-14 modelinde çıkmıştır. Bunu sırasıyla AKS döşemeli betonarme perde-çerçeve BAP-14 ve betonarme döşemeli çelik çapraz-çerçeve CBP-14 modeli izlemektedir. Modeller arasında ağırlıkça en küçük değer, 5 ve 10 katlı modellere benzer şekilde CAP-14 modelinde elde edilmiştir.

Tablo 3.3. 14 Katlı yapı ağırlıkları

Model	Döşeme Kalınlığı (cm)	Yapı Ağırlığı (kN)
BBP-14	12	66096.5
BAP-14	8	52402.4
CBP-14	7	34997
CAP-14	8	27601.9

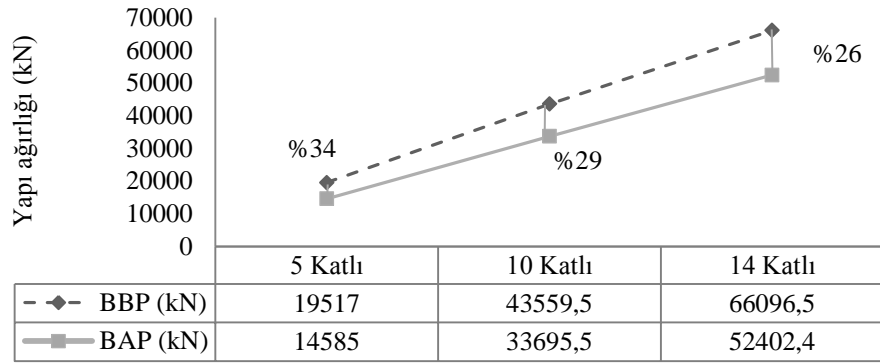


Şekil 3.3. 14 Katlı yapı ağırlıkları

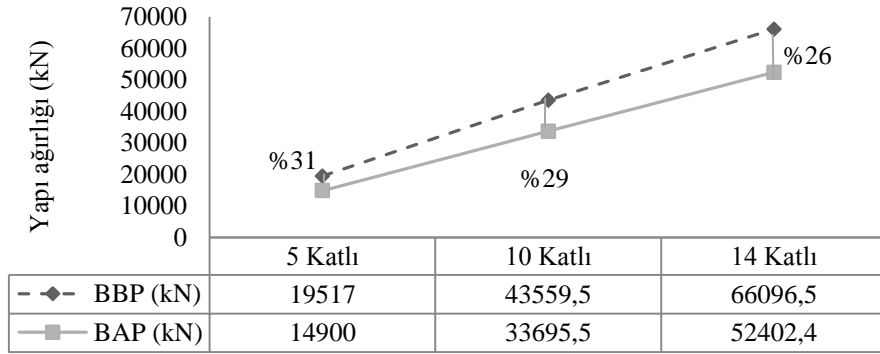
Yapı ağırlıklarını birbirleriyle oranlayacak olursak; BBP-14 modeli yerine BAP-14 modeli seçildiğinde yapının toplam ağırlığında %21 azalma meydana gelmiştir. Benzer şekilde CBP-14 modeli yerine CAP-14 modeli tercih edildiğinde toplam ağırlık %21 oranında azalış meydana gelmiştir.

### 3.1.4. Kat Adedine Bağlı Olarak Yapı Ağırlıklarının İrdelenmesi

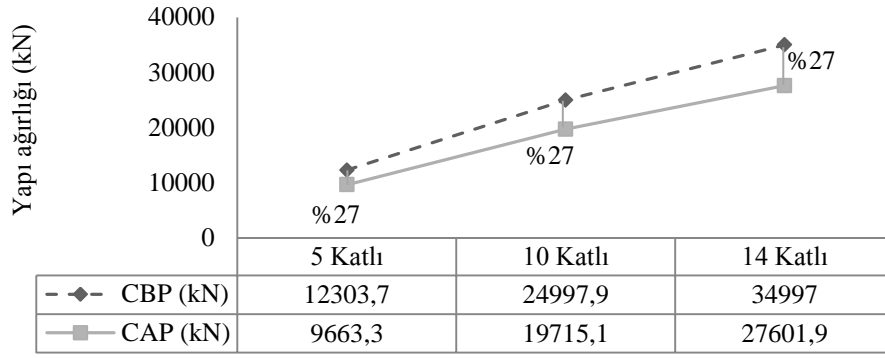
Döşeme ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak yapı ağırlığı değerinin kat sayısına göre değişimi, betonarme taşıyıcı sistemli 5 katlı yapılarda, BBP-5 ve BAP-5 modelleri kıyaslanmak üzere Şekil 3.4’de; BBP-5 ve BAP0-5 modelleri kıyaslanmak üzere Şekil 3.5’de; çelik taşıyıcı sistemli yapılarda ise Şekil 3.6.’da verilmiştir.



Şekil 3.4. BBP-BAP modelleri arasındaki yapı ağırlığı değişimi (BAP-5)



Şekil 3.5. BBP-BAP modelleri arasındaki yapı ağırlığı değişimi (BAP0-5)



Şekil 3.6. CBP-CAP modelleri arasındaki yapı ağırlığı değişimi

Şekil 3.4., Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'dan da görüleceği üzere, betonarme taşıyıcı sistemli yapılardaki ağırlık değişimi değerleri, çelik taşıyıcı sistemli yapılardaki ağırlık değişimi değerlerinden daha büyüktür. Şekil 3.4., Şekil 3.5.'den de anlaşılacağı üzere yapının kat sayısı arttıkça betonarme ve AKS döşeme sistemli yapı ağırlıkları farkı oranı azalmaktadır. Ancak bu fark, betonarme perde-çerçeve sistemli BBP-5 ve çerçeve sistemli BAP0-5 modelleri arasındaki ağırlık farkı, her ikisi de betonarme perde-çerçeve sistemli BBP-5 ve BAP-5 modelleri ağırlık farkına göre daha küçüktür. Bununla birlikte çelik taşıyıcı sistemli modellerdeki ağırlık değişimi 5, 10 ve 14 katlı yapılarda değişmemiştir.

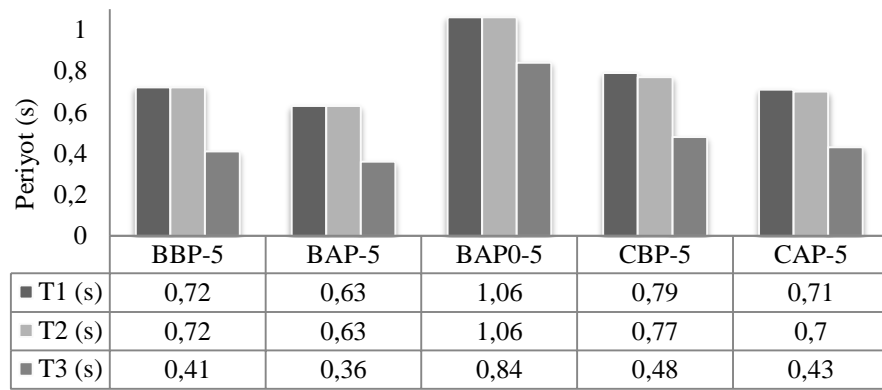
## 3.2. Model Periyotlarının İrdelenmesi

### 3.2.1. 5 Katlı Yapılara Ait Model Periyotlarının İrdelenmesi

Farklı döşeme sistemlerine sahip 5 katlı yapıların bina periyotları tablo ve karşılaştırmalı grafik halinde Tablo 3.4. ve Şekil 3.7'de verilmiştir. Grafik ve tablolarda yapıların farkının daha etkin bir şekilde ortaya konması için ilk üç periyot göz önüne alınmıştır.

Tablo 3.4. 5 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri

	$T_1$ (s)	$T_2$ (s)	$T_3$ (s)
BBP-5	0.72	0.72	0.41
BAP-5	0.63	0.63	0.36
BAP0-5	1.06	1.06	0.84
CBP-5	0.79	0.77	0.48
CAP-5	0.71	0.7	0.43



Şekil 3.7. 5 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri

Bu karşılaştırmaya göre en büyük periyodun AKS döşeme ve betonarme çerçeve sistem ile tasarlanan BAP0-5 modelinde olduğu görülmektedir. İkinci en büyük periyot çelik çaprazlı çerçeve ve betonarme döşeme sistemli CBP-5 modelinde görülmektedir. Bu sıralamayı betonarme döşeme ve perde-çerçeve taşıyıcı sistemli BBP-5 ve AKS döşemeli 5 katlı çelik yapı olan CAP-5 takip etmektedir. En düşük periyot değeri ise BAP-5'e aittir.

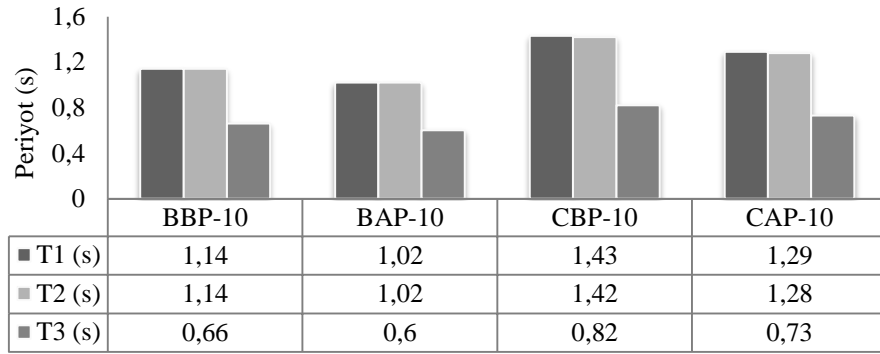
Yapı etkin modu olan 1. moda göre modellerin periyot değerlerini karşılaştıracak olursak betonarme perde-çerçeve taşıyıcılı yapılar AKS döşeme ile tasarlandığında betonarme döşemeli modele göre periyot değeri %12.5 oranında azalmaktadır. BAP0-5 modeline ait hakim periyot değeri, BBP-5 modeline göre %47 daha fazla hesaplanmıştır, AKS döşeme sistemi ile %47'lik bir fark ile betonarme çerçeve taşıyıcı sistem ile tasarımı mümkün kılmaktadır. 5 katlı çelik yapı modellerinde CBP-5 modeli yerine CAP-5 modeli tercih edilecek olursa %10 oranında bir azalış olacaktır.

### 3.2.2. 10 Katlı Yapılara Ait Model Periyotlarının İrdelenmesi

Tablo 3.5 ve Şekil 3.8.'de 10 katlı yapı modellerine ait ilk 3 moda dair bilgiler sunulmuştur. Tablo ve grafikten de anlaşılacağı üzere betonarme ve çelik taşıyıcı sistemli modellerde AKS döşeme sisteminin kullanımı titreşim periyodu değerini azaltmaktadır. Bina hakim periyotlarını kıyasladığımızda BAP-10 modeli 1. periyodunun, BBP-10 modeli periyodundan %10 oranında ve CAP-10 modeli 1. periyodunun, CBP-10 modeli periyodundan %10 oranında daha küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 3.5. 10 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri

	T <sub>1</sub> (s)	T <sub>2</sub> (s)	T <sub>3</sub> (s)
BBP-10	1.14	1.14	0.66
BAP-10	1.02	1.02	0.6
CBP-10	1.43	1.42	0.82
CAP-10	1.29	1.28	0.73



Şekil 3.8. 10 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri

### 3.2.3. 14 Katlı Yapılara Ait Model Periyotlarının İrdelenmesi

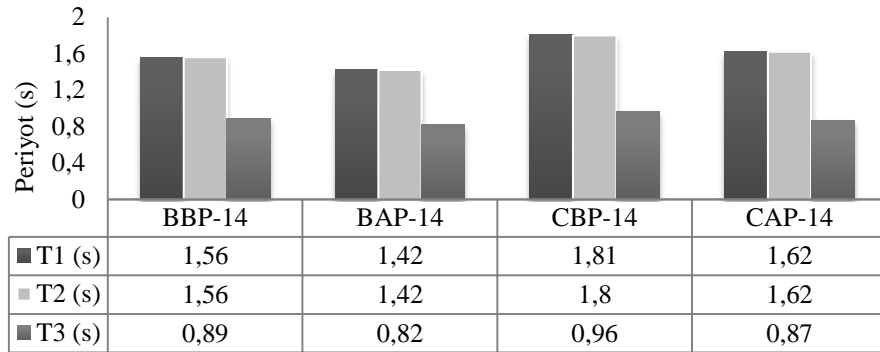
14 katlı yapılara ait bina periyotları karşılaştırmalı grafik halinde Şekil 3.9. ve Tablo 3.6.'da verilmiştir. Bu karşılaştırmaya göre betonarme döşeme ve taşıyıcı sistemli BBP-14 modeline ait titreşim periyodu değeri 1., 2. ve 3. modda da diğer model değerlerinden daha büyük değer almıştır. İkinci en büyük periyodun AKS döşeme ile tasarlanan BAP-14 modelinde olduğu görülmektedir. Üçüncü en büyük periyot değeri CBP-14 modelinde ait

olup 14 katlı yapılarda en küçük yapı periyodu AKS döşeme ve çelik taşıyıcı sistemli CAP-14 modeline aittir.

Yapı etkin modu olan 1. modda 14 katlı modellerin periyot değerlerini kıyasladığımızda, BAP-14 modeli periyodunun, BBP-14 modeli periyodundan %9 oranında ve CAP-14 modeli periyodunun, CBP-14 modeli periyodundan %10 oranında daha küçük çıkmıştır.

Tablo 3.6. 14 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri

	$T_1$ (s)	$T_2$ (s)	$T_3$ (s)
BBP-14	1.56	1.56	0.89
BAP-14	1.42	1.42	0.82
CBP-14	1.81	1.8	0.96
CAP-14	1.62	1.62	0.87

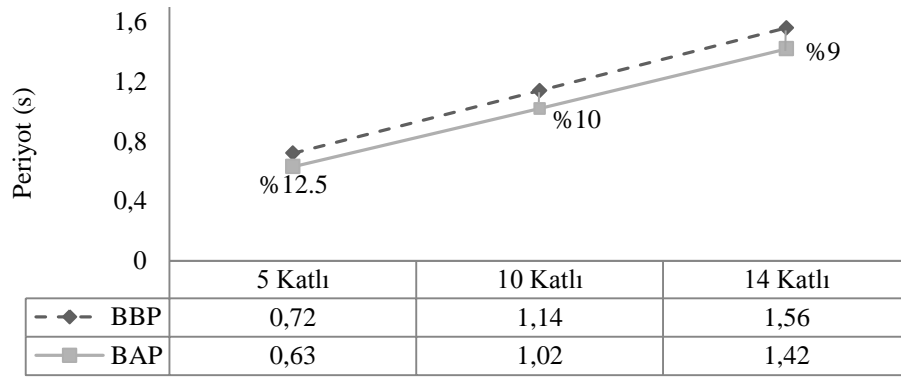


Şekil 3.9. 14 Katlı yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri

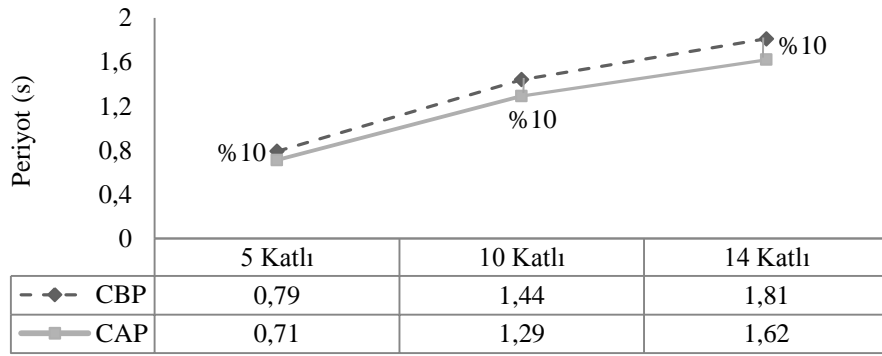
### 3.2.4. Kat Adedine Bağlı Olarak Model Periyotlarının İrdelenmesi

5 katlı yapılarda, BBP-5 ve BAP-5 modelleri kıyaslanmak üzere betonarme taşıyıcı sistemli yapıların döşeme ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak hakim titreşim periyodu değerinin kat sayısına göre değişimi Şekil 3.10'da ve çelik taşıyıcı sistemli yapılarda ise Şekil 3.11.'de verilmiştir.





Şekil 3.10. BBP-BAP modelleri arasındaki titreşim periyodu değişimi



Şekil 3.11. CBP-CAP modelleri arasındaki titreşim periyodu değişimi

Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'den de görüleceği üzere, betonarme taşıyıcı sistemli yapılardaki titreşim periyodu değerleri, çelik taşıyıcı sistemli yapılardaki titreşim periyodu değerlerinden beklenildiği gibi daha büyük çıkmıştır. Betonarme yapılarda kat sayısı arttıkça hakim periyot farkı oranı azalmaktadır. Buna ek olarak çelik taşıyıcı sistemli modellerde yapı periyodu farkı oranı 5, 10 ve 14 katlı yapılarda değişmemiştir.

Tüm betonarme ve çelik yapı modellerinde hakim periyot y yönünde, ikinci modu x yönündedir. Üçüncü mod ise burulma modudur. Her bir yapının periyot ve modal kütle katılım oranlarına dair bilgiler Ek-2'de verilmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi, TBDY-2018 4.7.3.2 maddesi uyarınca, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binalarda göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunu ifade eden  $T_p^{(X)}$ 'in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değerini, ampirik hakim doğal titreşim periyodu  $T_{pA}$  periyodunun 1.4 katından daha fazla olmayacak şekilde sınırlandırmıştır. Tablo 3.7. ve

Tablo 3.8.'de çalışmada dikkate alınan yapı modellerine ait ilk 3 mod için hesaplanan periyot değerleri ve periyotlar için izin verilen sınır değerler ile ilgili topluca bir bilgi sunulmaktadır. Tablolardan da anlaşılabacağı üzere tüm yapı modellerinde sınır değerlerin aşılmamasına özen gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Betonarme yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri ve sınır periyot değerleri

Model	H <sub>N</sub> (m)	C <sub>t</sub>	T <sub>max</sub> (1.4.C <sub>t</sub> .H <sub>N</sub> <sup>3/4</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)
BBP-14	42	0.07	1.62	1.56	1.56	0.89
BAP-14	42	0.07	1.62	1.42	1.42	0.82
BBP-10	30	0.07	1.26	1.14	1.14	0.66
BAP-10	30	0.07	1.26	1.02	1.02	0.6
BBP-5	15	0.07	0.75	0.72	0.72	0.41
BAP-5	15	0.07	0.75	0.63	0.63	0.36
BAP0-5	15	0.1	1.07	1.06	1.06	0.84

Tablo 3.8. Çelik yapıların ilk 3 moduna ait periyot değerleri ve sınır periyot değerleri

Model	H <sub>N</sub> (m)	C <sub>t</sub>	T <sub>max</sub> (1.4.C <sub>t</sub> .H <sub>N</sub> <sup>3/4</sup> )	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)
CBP-14	42	0.08	1.85	1.81	1.8	0.96
CAP-14	42	0.08	1.85	1.62	1.62	0.87
CBP-10	30	0.08	1.44	1.43	1.42	0.82
CAP-10	30	0.08	1.44	1.29	1.28	0.73
CBP-5	15	0.08	0.85	0.79	0.77	0.48
CAP-5	15	0.08	0.85	0.71	0.7	0.43

### 3.3. Düzlemde Yerdeğiştirmelerin ve Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi

Yapıların deprem kuvvetleri etkisinde yapmış oldukları yerdeğiştirme değerleri ve görelî kat ötelemeleri titreşim periyoduna bağlı olarak değişmektedir. Periyot değeri büyük olan yapıların daha fazla yerdeğiştirme yapması ve periyot değeri küçük olan yapıların daha az yerdeğiştirmesi beklenmektedir. Katlarda en büyük yerdeğiştirme son katlarda görülürken en az yerdeğiştirme ise zemin kattadır. Bu durum yapı yüksekliğinin arttıkça rijitliğin azalması ile açıklanabilir ve bu durum, her iki doğrultuda meydana gelen yerdeğiştirmeleri etkiler. Binaların deprem etkisinde yapmış oldukları ötelemeler yapı rijitliği ile doğrudan alakalı olduğundan bu ötelemeler güvenlik açısından deprem

yönetmeliklerince sınırlandırılmaktadır. R, taşıyıcı sistem davranış katsayısı, I, bina önem katsayısı,  $\Delta_i$ , binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi olmak üzere TBDY-2018'de binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi (3.1) eşitliğindeki gibi ifade edilmiştir.

$$\delta_i = (R/I) * \Delta_i \quad (3.1)$$

Yapılara x ve y doğrultusunda tasarlanmış deprem kuvveti etkisi altında katların düzlemde yaptıkları en büyük yerdeğiştirme ve görelî kat öteleme değerlerine ait tablo ve grafikler verilmiş ve elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### 3.3.1. 5 Katlı Yapılara Ait Yerdeğiştirmelerin ve Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi

5 Katlı BBP-5, BAP-5, BAP0-5, CBP-5 ve CAP-5 yapılarına x ve y doğrultusunda etkiyen deprem yüklemeleri sonucunda her bir katın yapmış oldukları en büyük yerdeğiştirme ve etkin görelî kat ötelemesi değerleri betonarme yapı modelleri için Tablo 3.9., Tablo 3.10., Tablo 3.11. ve Şekil 3.12.'de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.9. BBP-5 x ve y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri

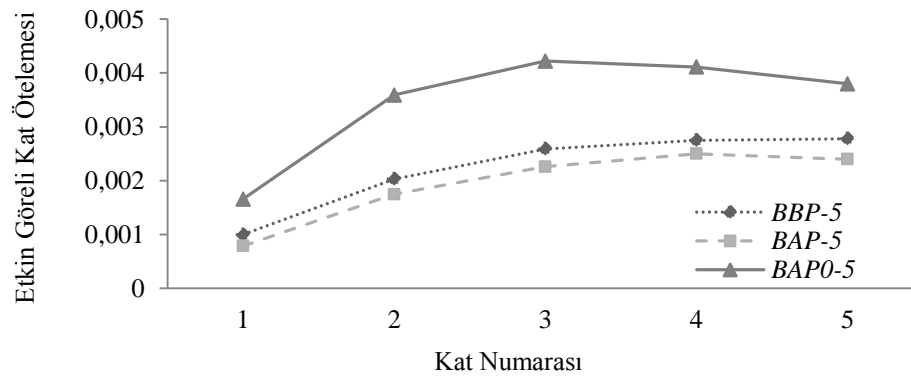
R	I	$\lambda_{x,y}$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta_i = d_i - (d_i - 1)$ (mm)	$\delta_i = (R/I) * \Delta_i$	$\delta_i / h_i$	Kontrol $\delta_i / h_i \leq 0.008$
7	1	0.42	5	3000	4.8	3.61	1.19	8.33	0.0028	✓
7	1	0.42	4	3000	3.61	2.4	1.21	8.47	0.0028	✓
7	1	0.42	3	3000	2.4	1.28	1.12	7.84	0.0026	✓
7	1	0.42	2	3000	1.28	0.41	0.87	6.09	0.0020	✓
7	1	0.42	1	3000	0.41	0	0.41	2.87	0.0010	✓

Tablo 3.10. BAP-5 x ve y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_{x,y}$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_i - 1)$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.008$
7	1	0.42	5	3000	4.15	3.12	1.03	7.21	0.0024	✓
7	1	0.42	4	3000	3.12	2.06	1.06	7.42	0.0025	✓
7	1	0.42	3	3000	2.06	1.09	0.97	6.79	0.0023	✓
7	1	0.42	2	3000	1.09	0.34	0.75	5.25	0.0018	✓
7	1	0.42	1	3000	0.34	0	0.34	2.38	0.0008	✓

Tablo 3.11. BAP0-5 x ve y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_{x,y}$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_i - 1)$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.008$
8	1	0.42	5	3000	7.44	5.82	1.62	11.34	0.0038	✓
8	1	0.42	4	3000	5.82	4.06	1.76	12.32	0.0041	✓
8	1	0.42	3	3000	4.06	2.25	1.81	12.67	0.0042	✓
8	1	0.42	2	3000	2.25	0.71	1.54	10.78	0.0036	✓
8	1	0.42	1	3000	0.71	0	0.71	4.97	0.0017	✓



Şekil 3.12. 5 Katlı betonarme yapı modellerinin x ve y yönündeki etkin görelı kat ötelemeleri

Tablo 3.9., Tablo 3.10., Tablo 3.11. ve Şekil 3.12.'de görüldüğü üzere x ve y doğrultusunda en fazla yerdeğiştirmeyi BAP0-5 modeli yapmıştır. Betonarme taşıyıcı ve döşeme sistemli BAP0-5 modeli düzlemde en büyük yerdeğiştirmesini 7.44 mm ile son katında yapmıştır. BAP0-5 modelini BBP-5 modeli takip etmekte olup x ve y doğrultusunda en büyük yerdeğiştirme değeri 4.8 mm'dir. BAP-5 modeli ise en az

yerdeğiştirme değerine sahiptir ve en büyük yerdeğiştirme değeri son kata ait 4,15 mm'dir. Bu karşılaştırmalar şekil 3.12.'de açıkça görölmektedir.

CBP-5 ve CAP-5 elik yapı modellerine ait her bir katın x ve y doğrultularında yapmış oldukları en büyük yerdeğiştirme ve etkin görelı kat ötelemesi değerleri Tablo 3.12., Tablo 3.13., Tablo 3.14., Tablo 3.15., şekil 3.13. ve şekil 3.14.'de verilmiştir.

Tablo 3.12. CBP-5 x yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_x$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	5	3000	4.69	4.1	0.59	4.13	0.0014	✓
6	1	0.42	4	3000	4.1	3.24	0.86	6.02	0.0020	✓
6	1	0.42	3	3000	3.24	2.2	1.04	7.28	0.0024	✓
6	1	0.42	2	3000	2.2	0.97	1.23	8.61	0.0029	✓
6	1	0.42	1	3000	0.97	0	0.97	6.79	0.0023	✓

Tablo 3.13. CBP-5 y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

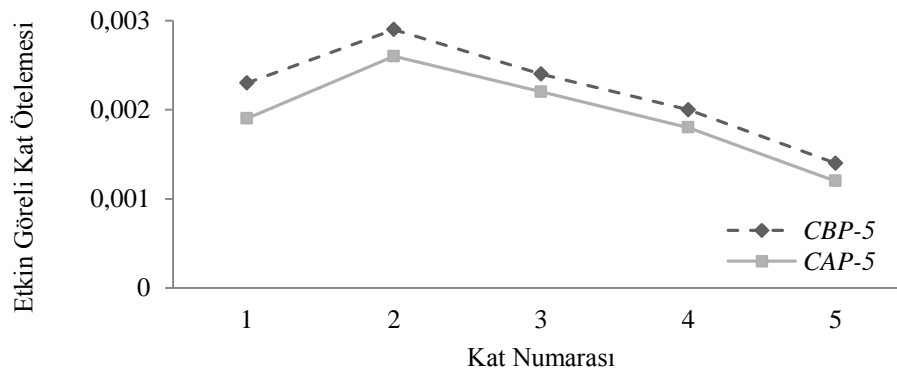
R	I	$\lambda_y$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	5	3000	4.76	4.16	0.6	4.2	0.0014	✓
6	1	0.42	4	3000	4.16	3.3	0.86	6.02	0.0020	✓
6	1	0.42	3	3000	3.3	2.25	1.05	7.35	0.0025	✓
6	1	0.42	2	3000	2.25	1	1.25	8.75	0.0029	✓
6	1	0.42	1	3000	1	0	1	7	0.0023	✓

Tablo 3.14. CAP-5 x yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

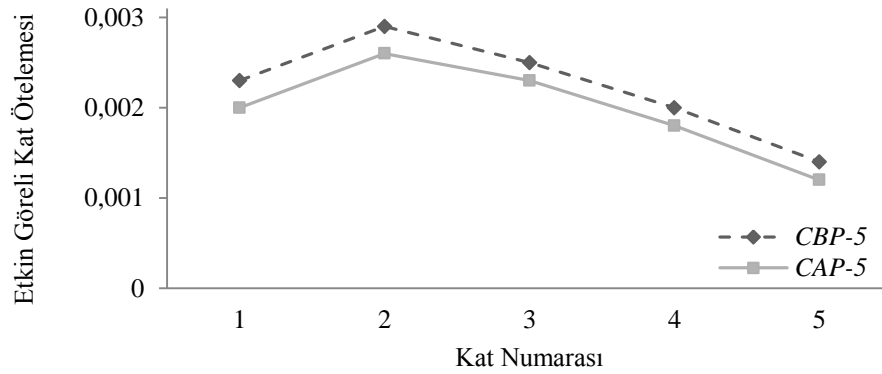
R	I	$\lambda_x$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	5	3000	4.2	3.67	0.53	3.71	0.0012	✓
6	1	0.42	4	3000	3.67	2.88	0.79	5.53	0.0018	✓
6	1	0.42	3	3000	2.88	1.92	0.96	6.72	0.0022	✓
6	1	0.42	2	3000	1.92	0.82	1.1	7.7	0.0026	✓
6	1	0.42	1	3000	0.82	0	0.82	5.74	0.0019	✓

Tablo 3.15. CAP-5 y yönünde  $\pm 5\%$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_y$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	5	3000	4.27	3.74	0.53	3.71	0.0012	√
6	1	0.42	4	3000	3.74	2.95	0.79	5.53	0.0018	√
6	1	0.42	3	3000	2.95	1.97	0.98	6.86	0.0023	√
6	1	0.42	2	3000	1.97	0.85	1.12	7.84	0.0026	√
6	1	0.42	1	3000	0.85	0	0.85	5.95	0.0020	√



Şekil 3.13. 5 Katlı çelik yapı modellerinin x yönündeki etkin görelı kat ötelemeleri



Şekil 3.14. 5 Katlı çelik yapı modellerinin y yönündeki etkin görelı kat ötelemeleri

Çelik yapı modellerinde güçlü yönü x doğrultusunda olan kolon sayısı, güçlü yönü y doğrultusunda olan kolon sayısından daha fazla olduğu için, çelik yapı modellerinin x doğrultusundaki rijitlikleri, y doğrultusundakinden daha fazladır. Bu sebeple, y yönünde

meydana gelen yerdeşiftirmeler x yönündekilere kıyasla daha fazladır. Tablo ve grafiklerden de görüleceği üzere CBP-5 modeli CAP-5 modeline göre x ve y yönünde deprem kuvvetleri etkisiyle daha fazla yerdeşiftirme yapmıştır. Bunun sebebi CBP-5 modelinin yapı ağırlılığının CAP-5 modeline göre daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Tüm betonarme ve elik yapı modellerinde TBDY-2018 göreli kat ötelemeleri şartı her katta sağlanmaktadır.

### 3.3.2. 10 Katlı Yapılara Ait Yerdeşiftirmelerin ve Etkin Göreli Kat telemelerinin İrdelenmesi

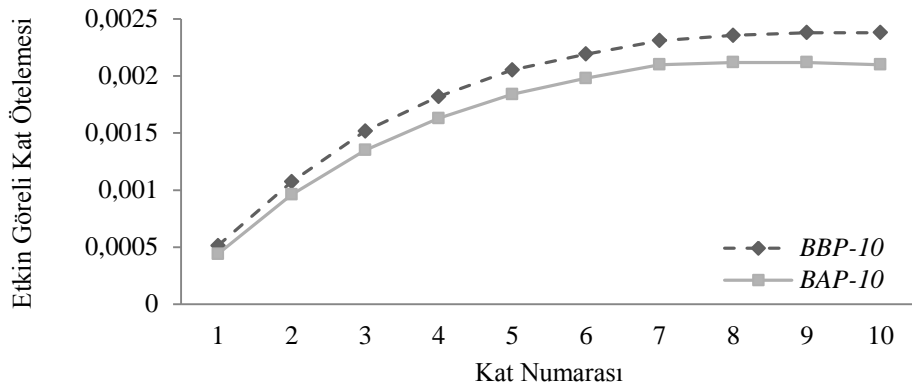
10 Katlı BBP-10, BAP-10, CBP-10 ve CAP-10 yapılarına x ve y doğrultusunda etkiyen deprem yüklemeleri sonucunda her bir katın yapmış oldukları en büyük yerdeşiftirme ve etkin göreli kat ötelemesi değerleri, betonarme yapı modelleri için Tablo 3.16., Tablo 3.17., ve şekil 3.15.'te karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.16. BBP-10 x ve y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeşiftirmeleri ve etkin göreli kat telemeleri

R	I	$\lambda_{x,y}$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.008$
7	1	0.42	10	3000	8.01	7	1.01	7.07	0.002357	√
7	1	0.42	9	3000	7	5.97	1.03	7.21	0.002403	√
7	1	0.42	8	3000	5.97	4.95	1.02	7.14	0.00238	√
7	1	0.42	7	3000	4.95	3.96	0.99	6.93	0.00231	√
7	1	0.42	6	3000	3.96	3.01	0.95	6.65	0.002217	√
7	1	0.42	5	3000	3.01	2.13	0.88	6.16	0.002053	√
7	1	0.42	4	3000	2.13	1.34	0.79	5.53	0.001843	√
7	1	0.42	3	3000	1.34	0.69	0.65	4.55	0.001517	√
7	1	0.42	2	3000	0.69	0.22	0.47	3.29	0.001097	√
7	1	0.42	1	3000	0.22	0	0.22	1.54	0.000513	√

Tablo 3.17. BAP-10 x ve y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_{x,y}$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_i - 1)$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.008$
7	1	0.42	10	3000	7.16	6.25	0.91	6.37	0.002123	√
7	1	0.42	9	3000	6.25	5.33	0.92	6.44	0.002147	√
7	1	0.42	8	3000	5.33	4.42	0.91	6.37	0.002123	√
7	1	0.42	7	3000	4.42	3.52	0.9	6.3	0.0021	√
7	1	0.42	6	3000	3.52	2.67	0.85	5.95	0.001983	√
7	1	0.42	5	3000	2.67	1.88	0.79	5.53	0.001843	√
7	1	0.42	4	3000	1.88	1.18	0.7	4.9	0.001633	√
7	1	0.42	3	3000	1.18	0.6	0.58	4.06	0.001353	√
7	1	0.42	2	3000	0.6	0.19	0.41	2.87	0.000957	√
7	1	0.42	1	3000	0.19	0	0.19	1.33	0.000443	√



Şekil 3.15. 10 Katlı betonarme yapı modellerinin x ve y yönündeki etkin görelı kat ötelemeleri

Betonarme taşıyıcı ve döşeme sistemli BBP-10 modeli düzlemde en büyük yerdeğiştirmesini 8.01 mm ile son katında yapmıştır. BBP-10 modelinin toplam ağırlılığının BAP-10 modelinden daha fazla olması sebebiyle her iki doğrultuda da daha fazla yerdeğiştirme yapmıştır. BAP-10 modeli için x ve y doğrultusunda en büyük yerdeğiştirme değeri ise 7.16 mm'dir. Bu karşılaştırmalar Şekil 3.15.'de açıkça görölmektedir. CBP-10 ve CAP-10 çelik yapı modellerine ait her bir katın düzlemde yapmış oldukları en büyük yerdeğiştirme ve etkin görelı kat ötelemesi değeri Tablo 3.18, Tablo 3.19, Tablo 3.20, Tablo 3.21, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de verilmiştir.



Tablo 3.18. CBP-10 x yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin göreli kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_x$	Kat	hi(mm)	di (mm)	d(i-1) (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	10	3000	9.36	8.58	0.78	5.46	0.00182	√
6	1	0.42	9	3000	8.58	7.69	0.89	6.23	0.00208	√
6	1	0.42	8	3000	7.69	6.74	0.95	6.65	0.00222	√
6	1	0.42	7	3000	6.74	5.77	0.97	6.79	0.00226	√
6	1	0.42	6	3000	5.77	4.77	1	7	0.00233	√
6	1	0.42	5	3000	4.77	3.77	1	7	0.00233	√
6	1	0.42	4	3000	3.77	2.74	1.03	7.21	0.0024	√
6	1	0.42	3	3000	2.74	1.75	0.99	6.93	0.00231	√
6	1	0.42	2	3000	1.75	0.71	1.04	7.28	0.00243	√
6	1	0.42	1	3000	0.71	0	0.71	4.97	0.00166	√

Tablo 3.19. CBP-10 y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin göreli kat ötelemeleri

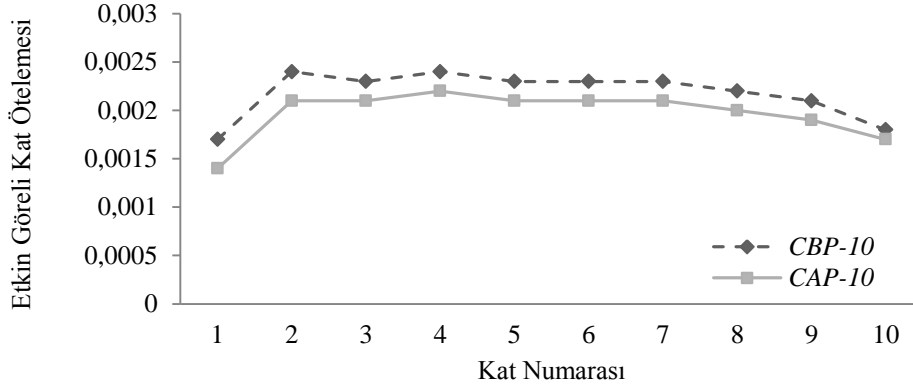
R	I	$\lambda_y$	Kat	hi(mm)	di (mm)	d(i-1) (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	10	3000	9.46	8.68	0.78	5.46	0.00182	√
6	1	0.42	9	3000	8.68	7.78	0.9	6.3	0.0021	√
6	1	0.42	8	3000	7.78	6.82	0.96	6.72	0.00224	√
6	1	0.42	7	3000	6.82	5.84	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	6	3000	5.84	4.83	1.01	7.07	0.00236	√
6	1	0.42	5	3000	4.83	3.83	1	7	0.00233	√
6	1	0.42	4	3000	3.83	2.79	1.04	7.28	0.00243	√
6	1	0.42	3	3000	2.79	1.79	1	7	0.00233	√
6	1	0.42	2	3000	1.79	0.74	1.05	7.35	0.00245	√
6	1	0.42	1	3000	0.74	0	0.74	5.18	0.00173	√

Tablo 3.20. CAP-10 x yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

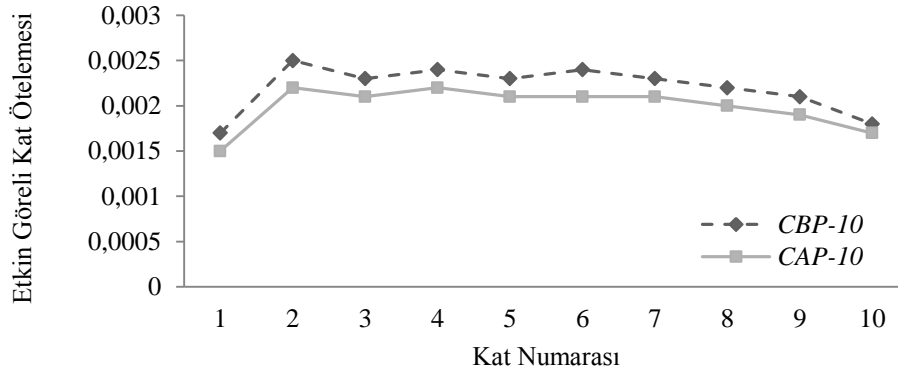
R	I	$\lambda_x$	Kat	hi(mm)	di (mm)	d(i-1) (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	10	3000	8.4	7.69	0.71	4.97	0.00166	√
6	1	0.42	9	3000	7.69	6.88	0.81	5.67	0.00189	√
6	1	0.42	8	3000	6.88	6.02	0.86	6.02	0.00201	√
6	1	0.42	7	3000	6.02	5.14	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	6	3000	5.14	4.24	0.9	6.3	0.0021	√
6	1	0.42	5	3000	4.24	3.34	0.9	6.3	0.0021	√
6	1	0.42	4	3000	3.34	2.41	0.93	6.51	0.00217	√
6	1	0.42	3	3000	2.41	1.53	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	2	3000	1.53	0.61	0.92	6.44	0.00215	√
6	1	0.42	1	3000	0.61	0	0.61	4.27	0.00142	√

Tablo 3.21. CAP-10 y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_y$	Kat	hi(mm)	di (mm)	d(i-1) (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	10	3000	8.47	7.76	0.71	4.97	0.00166	√
6	1	0.42	9	3000	7.76	6.95	0.81	5.67	0.00189	√
6	1	0.42	8	3000	6.95	6.08	0.87	6.09	0.00203	√
6	1	0.42	7	3000	6.08	5.2	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	6	3000	5.2	4.29	0.91	6.37	0.00212	√
6	1	0.42	5	3000	4.29	3.39	0.9	6.3	0.0021	√
6	1	0.42	4	3000	3.39	2.45	0.94	6.58	0.00219	√
6	1	0.42	3	3000	2.45	1.56	0.89	6.23	0.00208	√
6	1	0.42	2	3000	1.56	0.63	0.93	6.51	0.00217	√
6	1	0.42	1	3000	0.63	0	0.63	4.41	0.00147	√



Şekil 3.16. 10 Katlı çelik yapı modellerinin x yönündeki etkin göreli kat ötelemeleri



Şekil 3.17. 10 Katlı çelik yapı modellerinin y yönündeki etkin göreli kat ötelemeleri

CBP-10 ve CAP-10 yapı modellerinin x doğrultusundaki rijitlikleri, y doğrultusundaki rijitliklerinden daha fazla olduğu için, y yönünde meydana gelen yerdeğiştirmeler x yönündekilere kıyasla biraz daha fazladır. Tablo ve grafiklerden de görüleceği üzere CBP-10 modeli CAP-10 modeline göre x ve y yönünde deprem kuvvetleri etkisiyle daha fazla yerdeğiştirme yapmıştır. Bunun sebebi CBP-10 modelinin yapı ağırlığının CAP-10 modeline göre daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Tüm betonarme ve çelik yapı modellerinde TBDY-2018 göreli kat ötelemeleri şartı her katta sağlanmaktadır.

### 3.3.3. 14 Katlı Yapılara Ait Yerdeğiştirmelerin ve Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi

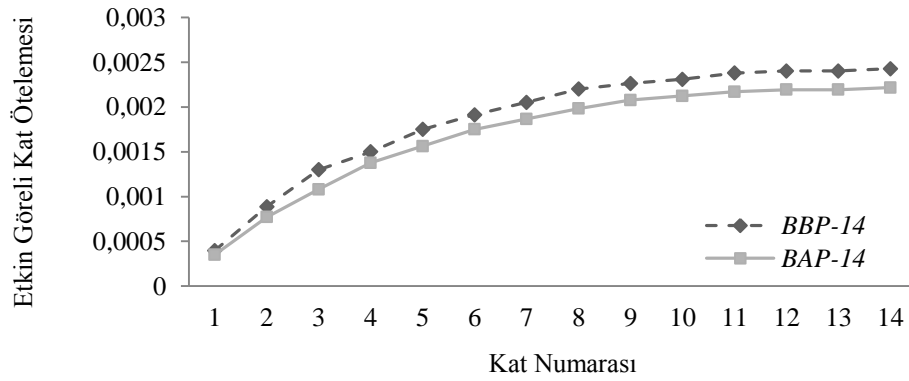
14 Katlı BBP-14, BAP-14, CBP-14 ve CAP-14 yapılarına x ve y doğrultusunda etkiyen deprem yüklemeleri sonucunda her bir katın yapmış oldukları en büyük yerdeğiştirme ve etkin görelî kat ötelemesi değeri betonarme yapı modelleri için Tablo 3.22., Tablo 3.23., Şekil 3.18.'de karşılaştırılmal olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.22. BBP-14 x ve y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelî kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_{x,y}$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.008$
7	1	0.42	14	3000	11.28	10.24	1.04	7.28	0.002427	√
7	1	0.42	13	3000	10.24	9.2	1.04	7.28	0.002427	√
7	1	0.42	12	3000	9.2	8.16	1.04	7.28	0.002427	√
7	1	0.42	11	3000	8.16	7.13	1.03	7.21	0.002403	√
7	1	0.42	10	3000	7.13	6.13	1	7	0.002333	√
7	1	0.42	9	3000	6.13	5.16	0.97	6.79	0.002263	√
7	1	0.42	8	3000	5.16	4.22	0.94	6.58	0.002193	√
7	1	0.42	7	3000	4.22	3.34	0.88	6.16	0.002053	√
7	1	0.42	6	3000	3.34	2.51	0.83	5.81	0.001937	√
7	1	0.42	5	3000	2.51	1.76	0.75	5.25	0.00175	√
7	1	0.42	4	3000	1.76	1.1	0.66	4.62	0.00154	√
7	1	0.42	3	3000	1.1	0.56	0.54	3.78	0.00126	√
7	1	0.42	2	3000	0.56	0.18	0.38	2.66	0.000887	√
7	1	0.42	1	3000	0.18	0	0.18	1.26	0.00042	√

Tablo 3.23. BAP-14 x ve y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_{x,y}$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_i - 1)$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.008$
7	1	0.42	14	3000	10.17	9.23	0.94	6.58	0.002193	√
7	1	0.42	13	3000	9.23	8.28	0.95	6.65	0.002217	√
7	1	0.42	12	3000	8.28	7.34	0.94	6.58	0.002193	√
7	1	0.42	11	3000	7.34	6.41	0.93	6.51	0.00217	√
7	1	0.42	10	3000	6.41	5.5	0.91	6.37	0.002123	√
7	1	0.42	9	3000	5.5	4.61	0.89	6.23	0.002077	√
7	1	0.42	8	3000	4.61	3.76	0.85	5.95	0.001983	√
7	1	0.42	7	3000	3.76	2.96	0.8	5.6	0.001867	√
7	1	0.42	6	3000	2.96	2.21	0.75	5.25	0.00175	√
7	1	0.42	5	3000	2.21	1.54	0.67	4.69	0.001563	√
7	1	0.42	4	3000	1.54	0.95	0.59	4.13	0.001377	√
7	1	0.42	3	3000	0.95	0.48	0.47	3.29	0.001097	√
7	1	0.42	2	3000	0.48	0.15	0.33	2.31	0.00077	√
7	1	0.42	1	3000	0.15	0	0.15	1.05	0.00035	√



Şekil 3.18. 14 Katlı betonarme yapı modellerinin x ve y yönündeki etkin görelı kat ötelemeleri

Betonarme taşıyıcı ve döşeme sistemli BBP-14 modeli düzlemde en büyük yerdeğiştirmesini 11.28 mm ile son katında yapmıştır. BBP-14 modelinin toplam ağırlılığının BAP-14 modelinden daha fazla olması sebebiyle her iki doğrultuda da daha fazla yerdeğiştirmeyi BBP-14 modeli yapmıştır. BAP-10 modeli için x ve y doğrultusunda en büyük yerdeğiştirme değeri ise 10.17 mm'dir. Bu karşılaştırmalar Şekil 3.18.'de açıkça görülmektedir. CBP-14 ve CAP-14 çelik yapı modellerine ait her bir katın düzlemde

yapmış oldukları en büyük yerdeğiştirme ve etkin görelî kat ötelemesi değerleri Tablo 3.24., Tablo 3.25., Tablo 3.26., Tablo 3.27., Şekil 3.19. ve Şekil 3.20.'de verilmiştir.

Tablo 3.24. CBP-14 x yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelî kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_x$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	14	3000	12.45	11.59	0.86	6.02	0.00201	√
6	1	0.42	13	3000	11.59	10.67	0.92	6.44	0.00215	√
6	1	0.42	12	3000	10.67	9.71	0.96	6.72	0.00224	√
6	1	0.42	11	3000	9.71	8.73	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	10	3000	8.73	7.75	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	9	3000	7.75	6.77	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	8	3000	6.77	5.79	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	7	3000	5.79	4.84	0.95	6.65	0.00222	√
6	1	0.42	6	3000	4.84	3.89	0.95	6.65	0.00222	√
6	1	0.42	5	3000	3.89	2.99	0.9	6.3	0.0021	√
6	1	0.42	4	3000	2.99	2.08	0.91	6.37	0.00212	√
6	1	0.42	3	3000	2.08	1.28	0.8	5.6	0.00187	√
6	1	0.42	2	3000	1.28	0.48	0.8	5.6	0.00187	√
6	1	0.42	1	3000	0.48	0	0.48	3.36	0.00112	√

Tablo 3.25. CBP-14 y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

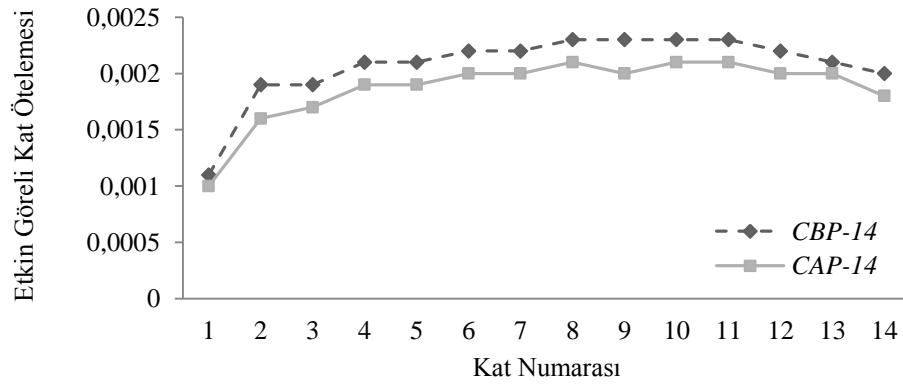
R	I	$\lambda_y$	Kat	hi (mm)	di (mm)	d(i-1) (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	14	3000	12.51	11.66	0.85	5.95	0.00198	√
6	1	0.42	13	3000	11.66	10.73	0.93	6.51	0.00217	√
6	1	0.42	12	3000	10.73	9.77	0.96	6.72	0.00224	√
6	1	0.42	11	3000	9.77	8.79	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	10	3000	8.79	7.79	1	7	0.00233	√
6	1	0.42	9	3000	7.79	6.81	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	8	3000	6.81	5.83	0.98	6.86	0.00229	√
6	1	0.42	7	3000	5.83	4.88	0.95	6.65	0.00222	√
6	1	0.42	6	3000	4.88	3.92	0.96	6.72	0.00224	√
6	1	0.42	5	3000	3.92	3.01	0.91	6.37	0.00212	√
6	1	0.42	4	3000	3.01	2.1	0.91	6.37	0.00212	√
6	1	0.42	3	3000	2.1	1.3	0.8	5.6	0.00187	√
6	1	0.42	2	3000	1.3	0.49	0.81	5.67	0.00189	√
6	1	0.42	1	3000	0.49	0	0.49	3.43	0.00114	√

Tablo 3.26. CAP-14 x yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin görelı kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_x$	Kat	hi (mm)	di (mm)	d(i-1) (mm)	$\Delta i = d_i - (d_{i-1})$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	14	3000	11.12	10.35	0.77	5.39	0.0018	√
6	1	0.42	13	3000	10.35	9.51	0.84	5.88	0.00196	√
6	1	0.42	12	3000	9.51	8.65	0.86	6.02	0.00201	√
6	1	0.42	11	3000	8.65	7.77	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	10	3000	7.77	6.88	0.89	6.23	0.00208	√
6	1	0.42	9	3000	6.88	6.01	0.87	6.09	0.00203	√
6	1	0.42	8	3000	6.01	5.13	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	7	3000	5.13	4.29	0.84	5.88	0.00196	√
6	1	0.42	6	3000	4.29	3.43	0.86	6.02	0.00201	√
6	1	0.42	5	3000	3.43	2.63	0.8	5.6	0.00187	√
6	1	0.42	4	3000	2.63	1.82	0.81	5.67	0.00189	√
6	1	0.42	3	3000	1.82	1.1	0.72	5.04	0.00168	√
6	1	0.42	2	3000	1.1	0.41	0.69	4.83	0.00161	√
6	1	0.42	1	3000	0.41	0	0.41	2.87	0.00096	√

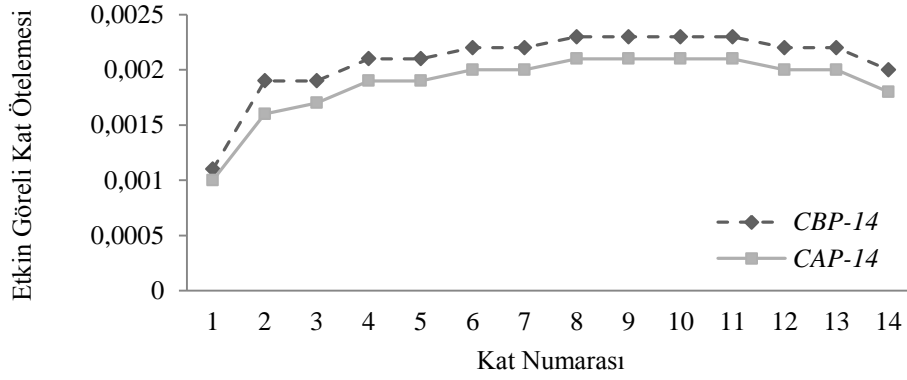
Tablo 3.27. CAP-14 y yönünde  $\pm\%5$  kat yerdeğiştirmeleri ve etkin göreli kat ötelemeleri

R	I	$\lambda_y$	Kat	$h_i$ (mm)	$d_i$ (mm)	$d(i-1)$ (mm)	$\Delta i = d_i - (d_i - 1)$ (mm)	$\delta i = (R/I) * \Delta i$	$\delta i / h_i$	Kontrol $\delta i / h_i \leq 0.004$
6	1	0.42	14	3000	11.16	10.39	0.77	5.39	0.0018	√
6	1	0.42	13	3000	10.39	9.55	0.84	5.88	0.00196	√
6	1	0.42	12	3000	9.55	8.69	0.86	6.02	0.00201	√
6	1	0.42	11	3000	8.69	7.8	0.89	6.23	0.00208	√
6	1	0.42	10	3000	7.8	6.92	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	9	3000	6.92	6.04	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	8	3000	6.04	5.16	0.88	6.16	0.00205	√
6	1	0.42	7	3000	5.16	4.32	0.84	5.88	0.00196	√
6	1	0.42	6	3000	4.32	3.46	0.86	6.02	0.00201	√
6	1	0.42	5	3000	3.46	2.65	0.81	5.67	0.00189	√
6	1	0.42	4	3000	2.65	1.84	0.81	5.67	0.00189	√
6	1	0.42	3	3000	1.84	1.12	0.72	5.04	0.00168	√
6	1	0.42	2	3000	1.12	0.42	0.7	4.9	0.00163	√
6	1	0.42	1	3000	0.42	0	0.42	2.94	0.00098	√



Şekil 3.19. 14 Katlı çelik yapı modellerinin x yönündeki etkin göreli kat ötelemeleri



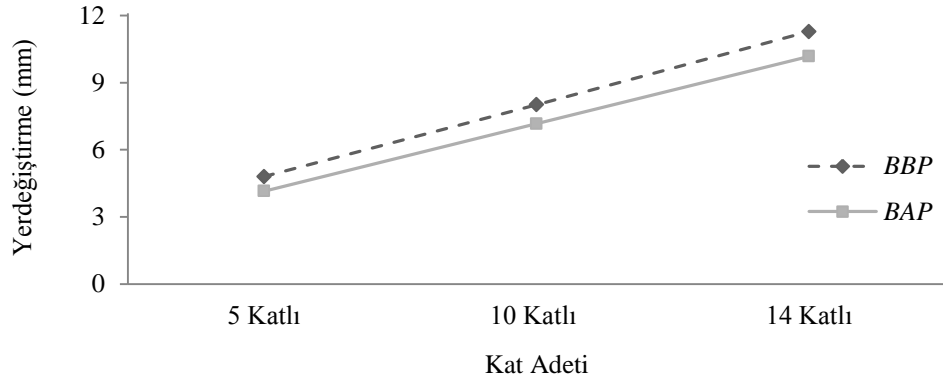


Şekil 3.20. 14 Katlı çelik yapı modellerinin y yönündeki etkin göreli kat ötelemeleri

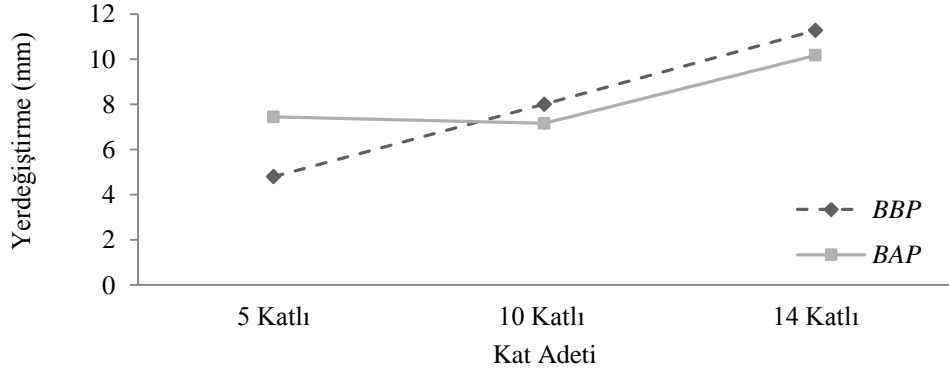
CBP-14 ve CAP-14 yapı modellerinin x doğrultusundaki rijitlikleri, y doğrultusundaki rijitliklerinden daha fazla olduğu için, y yönünde meydana gelen yerdeğiştirmeler x yönündekilere kıyasla biraz daha fazladır. Tablo ve grafiklerden de görüleceği üzere CBP-14 modeli CAP-14 modeline göre x ve y yönünde deprem kuvvetleri etkisiyle daha fazla yerdeğiştirme yapmıştır. Bunun sebebi CAP-14 modelinin yapı ağırlığının CBP-14 modeline göre daha düşük olmasıyla açıklanabilir. Tüm betonarme ve çelik yapı modellerinde TBDY-2018 göreli kat ötelemeleri şartı her katta sağlanmaktadır.

#### 3.3.4. Kat Adedine Bağlı Olarak Düzlemde Yerdeğiştirmelerin İrdelenmesi

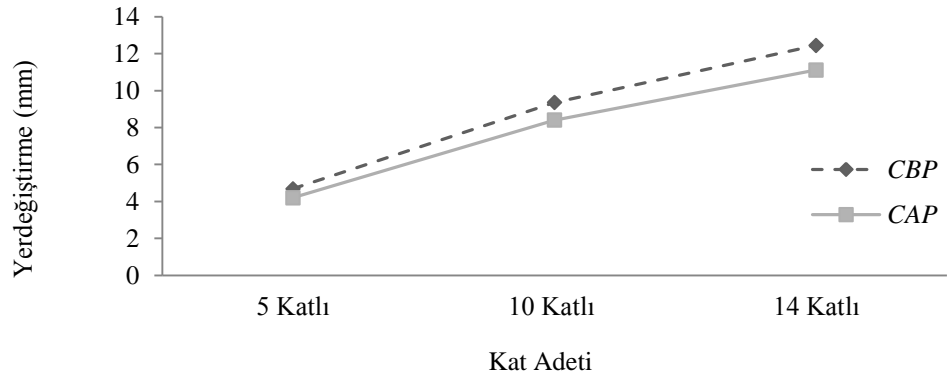
Döşeme ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak kat sayısına göre düzlemde en büyük yerdeğiştirme değerleri, betonarme taşıyıcı sistemli modellerde, BBP-5 ile BAP-5 modelleri kıyaslanmak üzere Şekil 3.21.'de ve BBP-5 ile BAP0-5 modelleri kıyaslanmak üzere ise Şekil 3.22.'de grafik halinde sunulmuştur. Ayrıca çelik taşıyıcı sistemli yapıların kat sayısına bağlı yapmış oldukları en büyük yerdeğiştirme değerleri x doğrultusu için Şekil 3.23'de, y doğrultusu için Şekil 3.24.'te verilmiştir.



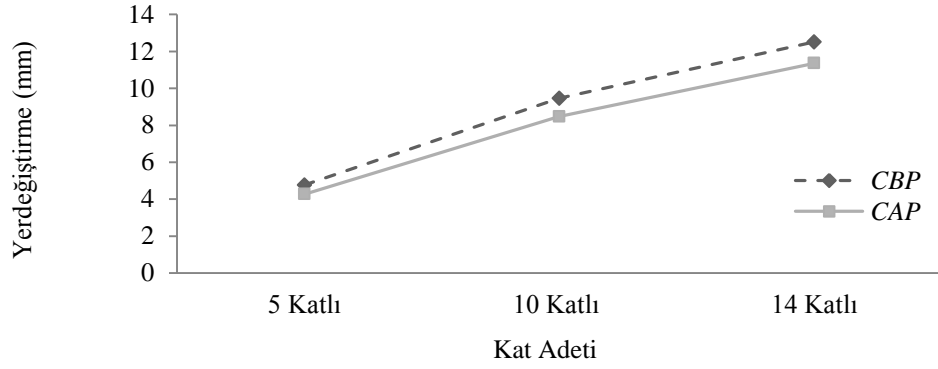
Şekil 3.21. BBP-BAP modelleri için x ve y yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri (BAP-5)



Şekil 3.22. BBP-BAP modelleri için x ve y yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri (BAP0-5)



Şekil 3.23. CBP-CAP modelleri için x yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri



Şekil 3.24. CBP-CAP modelleri için y yönündeki en büyük yerdeğiştirme değerleri

Yapılarda kat sayısı arttıkça yapı ağırlığı artacağı için deprem kuvvetleri etkisi altında her bir deprem doğrultusundaki en büyük yerdeğiştirme miktarının artması beklenmektedir. Şekil 3.21, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24 irdelendiğinde, AKS plak döşeme ile tasarlanan BAP-14, BAP-10, BAP-5, CAP-14, CAP-10 ve CAP-5 modellerinin nispeten daha az yerdeğiştirme yapmış oldukları görülmektedir. Bunun nedeni ise yapı ağırlıklarında açıklandığı gibi AKS plak döşeme kullanımı yapı ağırlığında önemli ölçüde azalma sağlamasıyla açıklanabilir.

Şekil 3.22 ele alındığında BAP0-5 modelinin BBP 5 modeline göre %55 oranında daha fazla yerdeğiştirme yaptığı görülmektedir. BAP 0-5 modeli AKS plak döşeme ile tasarlanmış ve BBP-5 modeline kıyasla daha hafif olmasına rağmen, çerçeve taşıyıcı sistemli olduğundan daha az rijit bir yapıda olup deprem etkisi altında daha fazla yerdeğiştirme yapmıştır.

### 3.4. Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi

Çalışmada dikkate alınan 5, 10 ve 14 katlı yapılar daha önce de belirtildiği gibi Eşdeğer Deprem Yükleme yöntemi ile analiz edilmiştir. Yapı modellerine ait taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $x$  ve  $y$  doğrultusunda da aynı değere sahiptir. (X) deprem doğrultusunda binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) olarak ifade edilen  $V_{te}^{(X)}$  aşağıdaki denklem ile belirlenmektedir (TBDY-2018).

$$V_{te}^{(X)} = m_t \cdot S_{aR} \cdot (T_p^{(X)}) \quad (3.2)$$

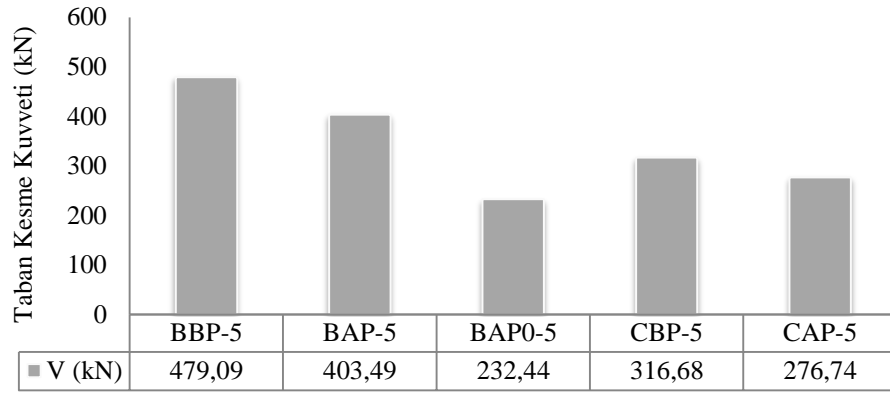
(3.2) eşitliğinde,  $S_{aR}$  azaltılmış tasarım spektral ivmesini,  $T_p^{(X)}$  (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunu ve  $m_t$  binanın toplam kütesini ifade etmektedir. Her iki doğrultuda da tasarlanmış deprem kuvveti etkisi ile farklı döşeme ve taşıyıcı sistemlere sahip yapı modellerine ait hesaplanan taban kesme kuvvetleri değerlerine ait tablo ile grafikler verilmiş ve elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

#### 3.4.1. 5 Katlı Yapılara Ait Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi

5 katlı yapıların taban kesme kuvvetlerine ait değerler Tablo 3.28. ve bu değerlerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 3.25.'te verilmiştir. Yapılara etkiyen taban kesme kuvvetleri, rijitlikleri, titreşim periyotları ve yapı kütlelerine bağlı olarak değişmektedir. Tablo ve grafikten de anlaşılacağı üzere en büyük taban kesme kuvvetine sahip olan sistem BBP-5 yani betonarme taşıyıcı ve döşemeli sistemdir. BBP-5 modelini, betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı ve AKS döşeme sistemli BAP-5 modeli takip etmekte olup, 3. en büyük taban kesme kuvveti değerine sahip çelik çaprazlı çerçeve ve kompozit döşeme sistemli CBP-5 modelidir. Bu sıralamayı çelik çaprazlı çerçeve ve AKS plak döşeme sistemli CAP-5 modeli izlemektedir. BAP0-5 modelinin çerçeve taşıyıcı sistem ile tasarlanması, nispeten yapı rijitliğini azaltmasına karşın toplam ağırlığını da azalttığı için en küçük taban kesme kuvveti değeri bu modelde hesaplanmıştır.

Tablo 3.28. 5 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri

Model	Taban Kesme Kuvveti (kN)
BBP-5	479.089
BAP-5	403.485
BAP0-5	232.44
CBP-5	316.678
CAP-5	276.742



Şekil 3.25. 5 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri

Yapılara ait taban kesme kuvveti değerleri birbirleriyle oranladığımızda; BBP-5 modeli yerine BAP-5 modeli tercih edilirse yapıya etkiyen taban kesme kuvveti %16 azalacaktır. Yine BBP-5 modeli yerine BAP0-5 modeli tercih edilirse yapıya gelen taban kesme kuvveti %51 azalacaktır. Aynı şekilde CBP-5 modeli yerine CAP-5 modeli tercih edildiğinde yapıya etkiyen taban kesme kuvveti %13 oranında azalmaktadır.

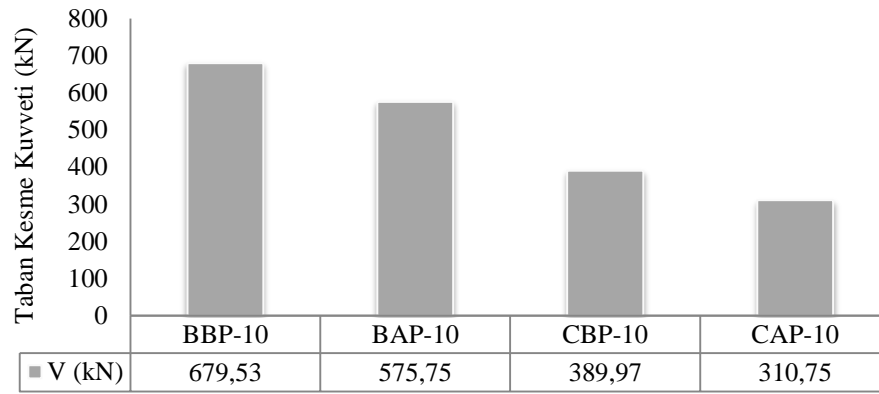
AKS döşeme sistemi hem yapıya etkiyen taban kesme kuvveti azımsanmayacak bir oranda azalış sağlarken hem de 5 katlı yapılarda çerçeve-perde sistem yerine çerçeve sistemli yapı tasarımına olanak sağlamaktadır.

### 3.4.2. 10 Katlı Yapılara Ait Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi

Kat sayısı 10 olan BBP-10, BAP-10, CBP-10 ve CAP-10 modellerinin taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.26. ve Tablo 3.29.'de gösterilmiştir. Şekil 3.26.'dan da görüldüğü gibi, tüm sistemler karşılaştırıldığında en küçük taban kesme kuvveti değeri AKS döşemeli ve çelik çapraz-çerçeve sistemde yani CAP-10 modelinde oluşurken en büyük taban kesme kuvveti değeri ise betonarme döşemeli perde-çerçeve sistemde yani BBP-10 modelinde meydana gelmektedir. Yine bu şekilden görüldüğü gibi, taşıyıcı sistem sabit kalmak kaydıyla, AKS döşemeli sistemlerin taban kesme kuvveti değerleri betonarme döşemeli sistemlerinkinden daha küçük olmaktadır. Beklendiği gibi, betonarme taşıyıcı sistemli yapıların kütleleri çelik taşıyıcı sistemli yapıların değerlerinden daha büyük hesaplandığı için betonarme yapılara etkiyen taban kesme kuvvetleri daha büyüktür.

Tablo 3.29. 10 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri

Model	Taban Kesme Kuvveti (kN)
BBP-10	679.528
BAP-10	575.749
CBP-10	389.967
CAP-10	310.755



Şekil 3.26. 10 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri

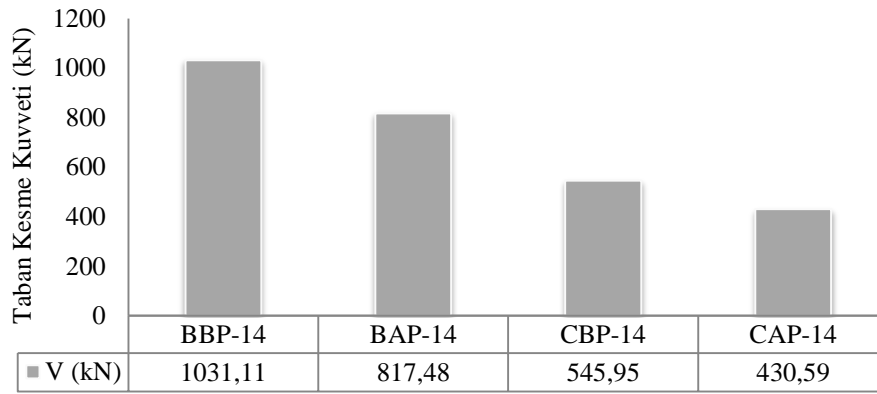
Betonarme döşeme ve perde-çerçeve taşıyıcı sistemli BBP-10 modelinin, AKS döşeme ve betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sistemli BAP-10 modeline göre taban kesme kuvveti değerleri %15 oranında daha fazla iken; betonarme döşeme ve çelik çapraz-çerçeve taşıyıcı sistemli CBP-10 modelinin, AKS döşeme ve çelik çapraz-çerçeve taşıyıcı sistemli CAP-10 modeline göre taban kesme kuvveti %20 oranında daha fazladır.

### 3.4.3. 14 Katlı Yapılara Ait Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi

BBP-14, BAP-14, CBP-14 ve CAP-14 modellerine ait model periyotları ve taban kesme kuvveti değerleri Tablo 3.30. ve Şekil 3.27.'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre en büyük taban kesme kuvveti değeri betonarme döşeme ile tasarlanan BBP-14 modelinde çıkmıştır. Bunu sırasıyla AKS döşemeli betonarme perde-çerçeve BAP-14 ve betonarme döşemeli çelik çapraz-çerçeve CBP-14 modeli izlemektedir. Modeller arasında taban kesme kuvveti için en küçük değer, 5 ve 10 katlı modellere benzer şekilde CAP-14 modelinde elde edilmiştir.

Tablo 3.30. 14 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri

Model	Taban Kesme Kuvveti (kN)
BBP-14	1031.11
BAP-14	817.477
CBP-14	545.953
CAP-14	430.59

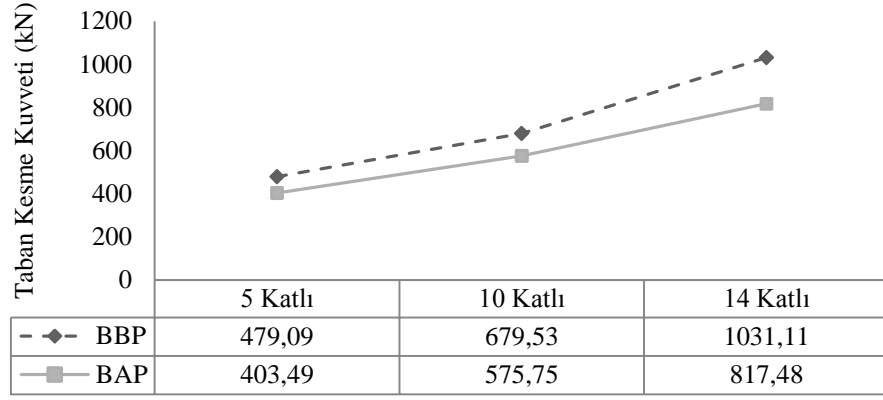


Şekil 3.27. 14 Katlı yapıların x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri

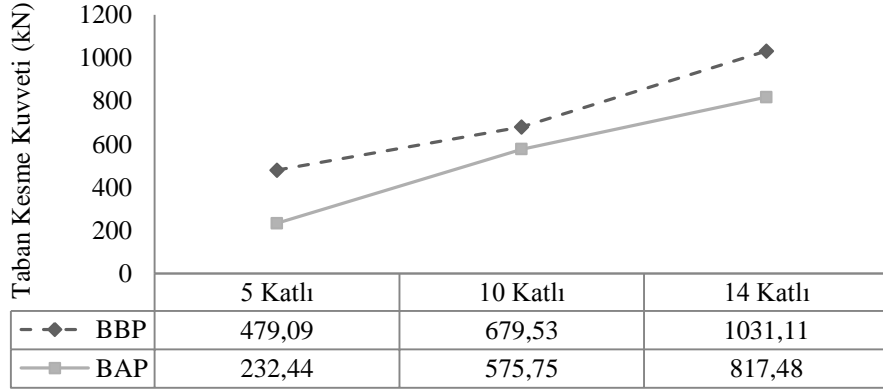
14 katlı yapıların taban kesme kuvvetlerini birbirleriyle oranlayacak olursak; BBP-14 modeli yerine BAP-14 modeli seçildiğinde yapının taban kesme kuvvetinde %21 oranında bir azalma meydana gelecektir. Benzer şekilde CBP-14 modeli yerine CAP-14 modeli tercih edildiğinde yapıya etkiyen taban kesme kuvveti %21 oranında azalma meydana gelecektir.

#### 3.4.4. Kat Adedine Bağlı Olarak Taban Kesme Kuvvetlerinin İrdelenmesi

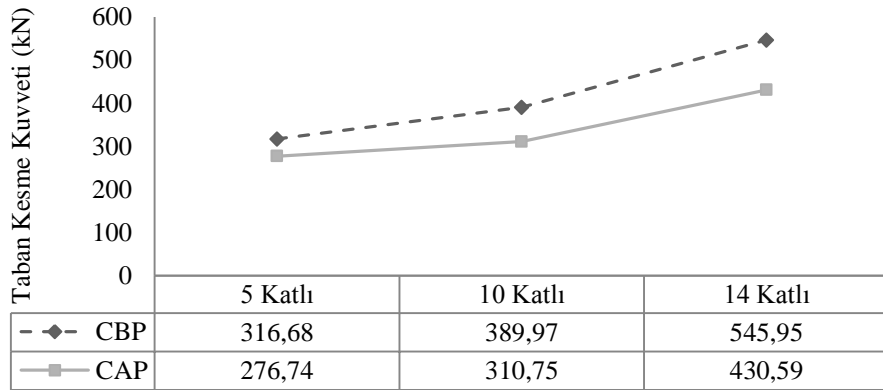
Döşeme ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak taban kesme kuvveti değerinin kat sayısına göre değişimi, betonarme taşıyıcı sistemli 5 katlı yapılarda, BBP-5 ve BAP-5 modelleri kıyaslanmak üzere Şekil 3.28.'de; BBP-5 ve BAP0-5 modelleri kıyaslanmak üzere Şekil 3.29.'da; çelik taşıyıcı sistemli yapılarda ise Şekil 3.30.'da verilmiştir.



Şekil 3.28. BBP-BAP modelleri arasındaki x ve y yönündeki taban kesme kuvveti değişimi (BAP-5)



Şekil 3.29. BBP-BAP modelleri arasındaki x ve y yönündeki taban kesme kuvveti değişimi (BAP0-5)



Şekil 3.30. CBP-CAP modelleri arasındaki x ve y yönündeki taban kesme kuvveti değişimi



Şekil 3.28., Şekil 3.29. ve Şekil 3.30.'dan da görüleceği üzere, betonarme taşıyıcı sistemli yapılardaki taban kesme kuvveti değerleri, çelik taşıyıcı sistemli yapılardaki ağırlık değişimi değerlerinden daha büyüktür. Şekil 3.28., Şekil 3.29.'dan da anlaşılabacağı üzere betonarme yapılarda kat sayısı arttıkça, betonarme döşeme ile AKS döşeme sistemli yapıların taban kesme kuvveti farkı artmaktadır. Yapı modellerinde taban kesme kuvveti farkı en fazla BAP0-5 modeli ile BBP-5 modeli arasındadır. %51 oranındaki bu fark, AKS döşeme ve çerçeve taşıyıcı sistemli BAP0-5 modelinin yapı ağırlığının BBP-5 modeline nispeten çok daha küçük olması ile açıklanabilir. Bununla birlikte çelik taşıyıcı sistemli modellerdeki taban kesme kuvveti farkı oranı 5 katlı yapılarda %13, 10 katlı yapılarda %20 ve 14 katlı yapılarda %21 olarak belirlenmiştir.

### 3.5. Döşeme Maliyetlerinin İrdelenmesi

Bu bölümde, 2. Bölüm'de tasarım ve boyutlandırılması yapılan betonarme ve çelik yapı modellerine ait döşeme malzeme metrajları ve maliyet hesapları verilmiştir. Yapılan metraj sonucunda elde edilen değerler, üretim aşamasında meydana gelecek malzeme kayıpları dikkate alınarak toplam malzeme miktarı kabul edilmiştir.

İş kalemlerinin birim fiyatları en ekonomik olacak şekilde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenen birim fiyatlar ve piyasada hizmet veren çeşitli firmaların birim fiyatları esas alınarak belirlenmiştir (ÇŞB, 2019). Betonarme ve çelik yapı metraj ve maliyet değerleri betonarme plak, AKS plak ve kompozit döşeme sistemleri için sırasıyla Tablo 3.31., Tablo 3.32., ve Tablo 3.33'te verilmiştir.

Tablo 3.31. Betonarme döşeme metraj ve maliyet değerleri

İş kalemi	Miktarı	Birim fiyatı	Tutarı (TL)
Betonarme demiri (ton)	1.92	4754.22	9128.1
Betonarme kalıbı (m <sup>2</sup> )	400	53.67	21468
Şap (m <sup>2</sup> )	400	61.93	24772
C35 sınıfı beton (m <sup>3</sup> )	48	284.8	13670.4
Seramik kaplama (m <sup>2</sup> )	400	60	24000
Siva (m <sup>2</sup> )	400	44.24	17696
Yalıtım (m <sup>2</sup> )	400	26.61	10644

Betonarme döşeme maliyeti yaklaşık olarak her bir normal kat için 110734.5 TL, çatı katı için 121378.5 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.32. Kompozit döşeme metraj ve maliyet değerleri

İş kalemi	Miktarı	Birim fiyatı	Tutarı (TL)
Çelik hasır donatı (ton)	1.16	4987.05	5784.98
Kayma çivisi (adet)	600	10	6000
Galvanizli trapez sac (m <sup>2</sup> )	400	99.12	39648
C35 sınıfı beton (m <sup>3</sup> )	28	284.8	7974.4
Şap (m <sup>2</sup> )	400	61.93	24772
Seramik kaplama (m <sup>2</sup> )	400	60	24000
Asma tavan (m <sup>2</sup> )	400	88.63	35452
Tali kiriş (kg)	240	26.2	6288
Yalıtım (m <sup>2</sup> )	400	26.61	10644

Çelik kompozit döşeme maliyeti yaklaşık olarak her bir normal kat için 149919.4 TL, çatı katı için 160563.4 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.33. AKS plak döşeme metraj ve maliyet değerleri

İş kalemi	Miktarı	Birim fiyatı	Tutarı (TL)
Seramik kaplama (m <sup>2</sup> )	400	60	24000
AKS panel (m <sup>2</sup> )	400	301.6	120640
Sıva (m <sup>2</sup> )	400	44.24	17696
Yalıtım (m <sup>2</sup> )	400	26.61	10644

AKS plak döşeme maliyeti yaklaşık olarak her bir normal kat için 162336 TL, çatı katı için 172980 TL olarak hesaplanmıştır. AKS plak döşeme sistemi maliyeti betonarme plak döşeme sistemine göre normal katlar ve çatı katı için yaklaşık %45 oranında daha fazladır. Çelik kompozit döşeme ile AKS plak döşeme sistemi arasındaki fark ise normal kat ve çatı katı için ise %8 oranındadır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AKS panellerin bina türü yapılarda döşeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla çerçeve ve perde-çerçeve taşıyıcı sistemli 7 adet betonarme ve çaprazlı çerçeve taşıyıcı sistemli 6 adet çelik yapı tasarlanmıştır. Bina yüksekliğinin etkisinin de görülmesi amaçlanarak 5, 10 ve 14 katlı yapı modellerine betonarme plak, kompozit ve AKS döşeme sistemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Konut türü yapılar SAP2000 yazılımı ile modellenerek Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemiyle doğrusal analiz yapılmıştır. Betonarme yapı modelleri TBDY-2018 ve TS500-2000 yönetmelikleri ve çelik yapı modelleri ise TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2016 yönetmelikleri kullanılarak tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır.

AKS panellerin bina türü yapılarda döşeme olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden elde edilen bulgulardan çıkarılabilecek bazı sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

AKS kompozitin mukavemet/yoğunluk oranı yüksek olduğu için yapı ağırlıklarında önemli ölçüde azalma sağlanmıştır. Bu yapı ağırlığı değişimleri betonarme yapılarda BBP-5 ile BAP-5 modeli arasında %25, BBP-5 ile BAP0-5 modeli arasında %24, BBP-10 ile BAP-10 modeli arasında %23, BBP-14 ile BAP-14 modeli arasında %21 oranındadır. AKS plak döşeme sistemi %24 oranında bir farkla betonarme çerçeveli 5 katlı yapı tasarımına imkân sağlamaktadır. Tüm çelik yapı modellerinde kompozit döşeme yerine AKS döşeme kullanımı yapı ağırlığında %21 oranında bir azalma sağlamıştır.

Yapı periyodu değerleri yapı ağırlığına ve taşıyıcı sistemin rijitliğine bağlı olarak değişmektedir. Binalarda taşıyıcı sistem türünü sabit tutmak kaydıyla betonarme plak veya çelik kompozit döşeme yerine AKS plak döşeme kullanımı yapı ağırlığını azalttığı için hem x ve y yönünde titreşim periyotlarının hem de deprem kuvvetleri etkisiyle meydana gelen yatay yerdeğiştirmelerinin azalmasını sağlamıştır. 5 katlı betonarme yapı modellerinde taşıyıcı sistem olarak çerçeve kullanımına imkân tanımıştır.

5 katlı betonarme plak ve perdeli taşıyıcı sistemli BBP-5 modeli ile AKS plak döşemeli ve betonarme çerçeve sistemli BAP0-5 modeli göz önüne alındığında AKS döşeme ile daha rijit bir yapı elde edilmesine rağmen taşıyıcı sistemin değişimi ile bu etkiyi gidererek periyot ve yerdeğiştirme değerlerini arttırmaktadır.

Etkin görelî kat ötelemeleri düzlemde yapılan yerdeğiştirme değêrlerine ve taşıyıcı sistem davranış katsayısına baēlı olarak hesaplanmaktadır. Taşıyıcı sistem rijitliēi azaldıkça, düzlemdeki yerdeğiştirme değêrleri artıp etkin görelî kat ötelemeleri sınır değêrlere yaklaşmaktadır. AKS plak döşeme sistemlerinin kütleinin azalması yönünde etkileri olduēu için taşıyıcı sistem sabit tutulmak kaydıyla AKS plak döşemeli yapı modellerinin etkin görelî kat öteleme değêrleri de daha küçük çıktıēı görölmektedir.

Yapılarda oluşan taban kesme kuvvetleri incelendiēinde en büyük taban kesme kuvvetlerinin toplam aēırlıēı en büyük olan BBP-14 modelinde meydana gelirken, en küçük taban kesme kuvvetlerinin ise en az yapı aēırlıēına sahip BAP-5 modeli yerine BAP0-5 modelinde meydana gelmiştir. Taban kesme kuvvetleri, yapı aēırlıēı ile birlikte taşıyıcı sistem türü ve zemin karakteristiklerine de baēlıdır. Ancak aynı kat adedine ve aynı taşıyıcı sisteme sahip olan yapılarda AKS plak döşemelerin kullanımı deprem etkisiyle oluşan taban kesme kuvvetinin azalmasını saēlamaktadır.

Döşeme maliyetleri incelendiēinde AKS plak döşemelerin her bir normal kat ve çatı katı için betonarme plak döşeme sistemine göre yaklaşık %45 oranında, çelik kompozit döşeme sistemine göre ise %8 oranında daha fazladır.

AKS plak döşemelerin ilk yapım maliyetinin yüksek olması dezavantaj gibi görünse de sahip oldukları dayanım, hafiflik, ısı yalıtım, ses yalıtımı gibi özellikleri ile üretim teknoloji ve tekniklerinin hızla gelişmekte olduēu düşünölecek olursa AKS plak döşemelerin kullanılmakta olan betonarme plak ve kompozit döşemelere alternatif olarak kullanılabileceēi öngörölmektedir. Yapılan bu çalışmada betonarme ve çelik yapı modellerinin tümünde aynı boyutlarda taşıyıcı sistem elemanları ile tasarlanmıştır. Ancak AKS plak döşeme sistemleri ile tasarlanan yapıların, çalışmadaki diēer yapı modellerine kıyasla daha hafif olmaları sayesinde, taşıyıcı sistem elemanları için daha küçük boyutlar seçilebilir. Bu durumun AKS plak döşeme sistemli yapıların maliyetini daha da düşöreceēi ve onları daha avantajlı hale getireceēi açıktır. Bununla birlikte üretim teknoloji ve tekniklerinin gelişmesi inşaat sektöründen gelecek büyük talep ile seri üretim yapan tesislerin kurulması AKS panel döşemelerin daha da ekonomik bir biçimde üretilmesine ve kullanılmasına olanak tanıyacaēı düşünölmektedir.

Tez konusu kapsamında nümerik olarak çalışmalar yapılmış ve yapı davranışının belirlenmesinde deneysel çalışmalarla daha gerçêkçi sonuçlar elde edildiēi için nümerik çalışmaların deneysel olarak doērulanması oldukça önemlidir. Deneysel çalışmalar tez

kapsamında elde edilen sonuçların doğruluğunun daha da kesinleşmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışma yalnızca kirişli plak döşeme sistemler için uygulanmıştır. Bunlara ek olarak kirişsiz ve dişli döşeme sistemleri için de uygulama yapılmalıdır. Ayrıca çelik yapılarda, AKS döşeme uygulamaları tali kirişler ile birlikte tasarlanarak incelenmelidir.

Çalışmadaki yapı modellerinin taşıyıcı sistemler her iki doğrultuda simetrik olacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır. Ancak günümüzde yapıların estetik, ekonomik ve çok işlevli olmasının istenmesiyle simetrik olmayan ve geometrisi düzensiz yapılar ortaya çıkmaktadır. AKS panellerin, planda ve düşeyde düzensizlikleri bulunan yapılarda döşeme olarak uygulamalarının incelendiği bir çalışmanın faydalı olacağı düşünülebilir.

Mevcut tez çalışmasında yapı modellerinin zemine ankastre olarak mesnetlendiği kabul edilmiş ve temel tasarımı yapılmamıştır. Yapı modellerine temel sistemi ilave edilerek ve zemin parametreleri kullanılarak, yapı- zemin etkileşimi göz önünde bulundurulabilir, gerçeğe daha yakın bir tasarım ve davranış elde edilebilir. Ayrıca AKS plak döşeme ile tasarlanan modellerin toplam ağırlıklarının daha düşük olduğu göz önüne alındığında bu modeller için daha küçük taşıyıcı sistem elemanları ile yani daha ekonomik bir tasarım yapılmasının mümkün olduğu anlaşılabacaktır. Daha düşük yapı ağırlığı, temel sistemi için de daha ekonomik bir tasarım elde edilmesini sağlayacaktır. Tüm bu durumlar dikkate alındığı bir çalışma yapılırsa maliyet açısından da daha doğru sonuçlar elde edilecektir.

## 5. KAYNAKLAR

- Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W. ve Wadley, H.N.G., 2000. Metal Foams A Design Guide, Copyright by Butterworth-Heinemann, 1-246s.
- Atlıhan, G., 2010. Süreksizlik Bölgesine Sahip Tabakalı Kompozit Kirişlerin Titreşim Analizi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli, 20s.
- Banhart, J., 2001. Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams. Progress in Materials Science, 46, 6, 559-632s.
- Banhart, J., Babscan, N. ve Leitlmeier, D., 2003. Metal Foams-Manufacture and Physics of Foaming, International Conference Advanced Metallic Materials, November 2003, Smolenice, Slovakia 5-15s.
- Barut, C., 2015. Aramid Esaslı Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon, 5-34s.
- Bolay, K. ve Ögel, B., 1997. Al-Si ve Al-Cu-Si Sistemlerinin Sıvı Faz Sinterleme Özellikleri, IX. International Metallurgy and Materials Congress, Haziran 1997, İstanbul, Türkiye, 493-498 s.
- Borovinsek, M., Taherishargh, M., Vesenjak, M., Ren, Z. ve Fiedler, T., 2016. Geometrical Characterization of Perlite-Metal Syntactic Foam, Mater. Charact. 119, 209-215s.
- Broxtermann, S., Taherishargh, M., Belova, I.V., Murch, G.E. ve Fiedler, T., 2017. On the Compressive Behaviour of High Porosity Expanded Perlite-Metal Syntactic Foam (P-MSF), J. Alloys Compd. 691, 690-697s.
- Çağlar, İ.S., 2009. Alüminyum Esaslı Kompozit Köpük Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne, 2-32s.
- ÇHTHYE, 2016. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Davies, G.J. ve Zhen S., 1983. Metallic Foams: Their Production, Properties and Applications, Journal of Material Science, 18, 7, 1899-1911s.
- Degischer, H.P. ve Kşiszt, B., 2002. Handbook of Cellular Metals, Production, Processing and Applications, Wiley-VCH, ISBN 3-527- 29320-5, Michigan, 1-373s.
- Demirel, A., 2007. Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 10-18s.

- Deniz, M.E., 2005. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzenğin Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Şanlıurfa, 4-47s.
- Doğangün, A., 2012. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 215s.
- Ekinci, C. E., 2008. Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, Data Yayınları, Elazığ, 267s.
- Erbay, K., 2009. Silah Gövdeleri İçin Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 4-5s.
- Ersoy, H.Y., 2001. Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 3- 12s.
- Fidan, S., 2011. Polimer Matrisli Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi ve Oluşan Hasarların Mikro Tomografi Yöntemiyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli, 4-12s.
- Fischer, S.F., 2016. Energy Absorption Efficiency of Open-Cell Pure Aluminum Foams, Mater. Lett. 184, 208-210s.
- Giamei AF., 1998. Metal foams, Proc. Fraunhofer USA Symposium on Metal Foams, October 1998, Stanton, USA. Bremen: MIT Press–Verlag, 63-78s.
- Gupta, N. 2003. Characterization of Syntactic Foams and Their Sandwich Composites: Modelling and Experimental Approaches, PhD Thesis, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical Collage, Lousiana 1-75s.
- Güler, C. ve Ulay, G., 2010. Köpüklü Kompozit (Sandviç) Levhaların Bazı Teknolojik Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A, 2, 88-96s.
- Güven, Ş. Y., 2011. Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, 1, 2, 22-28s.
- Ibrahim, I. A., Mohammed, F. A. ve Lavernia, E. J., 1991. Particulate Reinforced Metal Matrix Composites-A Rewiew, Journal of Material Science, 26, 1137-1156s.
- Jappesen, A.P., 1997. A&P Technician Airframe Textbook. Jeppesen Sunderson Training Products, USA, 794s.
- Jigh, B.H.G., Toudeshky, H.H. ve Farsi, M.A., 2017. Experimental and Multi-Scale Analyses of Open-Celled Aluminum Foam with Hole Under Compressive Quasi-Static Loading, J. Alloys Compd., 695, 133-141s.

- Kalaycıoğlu, A. S., 2010. SIC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 2-4s.
- Kandemir, Ö., 2017. Kompozit Kaplamalı Dış Cephe Sistemlerinin Üretimi ve Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gerekenlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 25-31s.
- Kara, E., 2012. Çeşitli Elyaf Dizilimleriyle Oluşturulmuş Metal Köpük Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çorum, 1-59s.
- Karadeniz, E., 1989. Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 3-18s.
- Karlı, M., 2016. Hafif Silahlar İçin Polimer Kompozit Malzeme Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 17-25s.
- Kasap, H. ve Özyurt, M., 2012. Perde en kesit şeklinin ve planda perde yerinin değişmesinin, perdeler ve çerçeveler arasındaki kesme kuvveti dağılımına etkisi, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 1, 59-66s.
- Kaya, A. I., 2016, Kompozit Malzemeler ve Özellikleri, Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi 29, 38-45s.
- Keyder, E., 1994. Çelik Yapıların Yük Dayanım Katsayıları ile Tasarımı, İMO Teknik Dergi, 62, 883-841s.
- Kolat, K., 2005. Farklı Ortamların Sandviç Kompozitlerin Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 8-9s.
- Lefebvre, L. P., Banhart, J. ve Dunand, D. C., 2008. Metallic Foams, Advanced Engineering Materials, 10, 9, 1-767s.
- Linul, E., Marsavina, L. ve Kovacik, J., 2017. Collapse Mechanisms of Metal Foam Matrix Composites Under Static and Dynamic Loading Conditions, Mater. Sci. Eng. A Struct. 690, 214-224s.
- Lubin, G., 1982. Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Co., 196s.
- Middleton, D.H., 1990. Composite Materials in Aircraft Structures. Longman, USA, 1-394s.
- Mutlu, İ., 2011. AlZn5.5MgCu/SiCp Köpük Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne, 3-4s.



- Potoğlu, U., 2012. Sandviç Kompozit Plakların Darbe Darvanışları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 8-12s.
- Sığırtmaç, T., Çakır , C. ve Uğuz, A., 2012. Alüminyum Metal Köpük Malzemelerin İkincil İşlemlerinin İncelenmesi, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 1, Balıkesir.
- Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayını, Ankara, 27-327.
- Taherishargh, M., Belova, I.V., Murch, G.E. ve Fiedler, T., 2017. The Effect of Particle Shape on Mechanical Properties of Perlite/Metal Syntactic Foam, J. Alloys Compd. 693, 55-60s.
- Tanatmış, A.A., 1999. Uçak Yapılarında Gelişmiş Malzemelerin Kullanımı, Bilim Günleri, TMMOB Mak. Müh. Odası, Denizli, 287-294s.
- Topçu, A., (2019, 10 Ekim). Döşemeler, [http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index\\_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme\\_2\\_5.pdf](http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_5.pdf).
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019, 2019 Yılı İnşaat Genel Fiyat Analizleri, Ankara.
- TS-498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS-500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL-1, [http:// www.diabgroup.com/en-GB/ Knowledge/Sandwich-technology /Basics-of-sandwich-technology](http://www.diabgroup.com/en-GB/Knowledge/Sandwich-technology/Basics-of-sandwich-technology). 5 Ekim 2019.
- URL-2, [http://www.ndi.net/Sandwich\\_Composites](http://www.ndi.net/Sandwich_Composites). 13 Ekim 2019.
- URL-3, [https :// www.thegillcorp.com / news.php? past=1&n\\_year =2012&nid=81](https://www.thegillcorp.com/news.php?past=1&n_year=2012&nid=81). 14Ekim 2019.
- URL-4, <https://www.ceyrekmuhendis.com/kopuk-metal-nedir/>. 20 Ekim 2019.
- URL-5, [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11675/mod\\_resource/content/1/Mimarlik%20Bilgisi%2010.%20Hafta%20D%C3%B6nem%20Femeler%20ve%20D%C3%B6nem%20Feme%20Kaplamalar%C4%B1.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11675/mod_resource/content/1/Mimarlik%20Bilgisi%2010.%20Hafta%20D%C3%B6nem%20Femeler%20ve%20D%C3%B6nem%20Feme%20Kaplamalar%C4%B1.pdf). 10 Ekim 2019.
- URL-6, [https:// docplayer.biz.tr /5013214- Itu- mimarlik- fakultesi- mimarlik-bolumu-yapi-ve- deprem – muhendisligi – calisma – grubu – betonarme – yapilar – mim-232– dosemeler.html](https://docplayer.biz.tr/5013214-Itu-mimarlik-fakultesi-mimarlik-bolumu-yapi-ve-deprem-muhendisligi-calisma-grubu-betonarme-yapilar-mim-232-dosemeler.html). 10 Ekim 2019.

## 6. EKLER

Ek-1: Çelik Profil Tablosu

Ek Tablo 1.1. Çelik Profil Tablosu

Profil	H (mm)	B (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)	A (mm)	I <sub>x</sub> (mm)	I <sub>y</sub> (mm)	i <sub>y</sub> (mm)	W <sub>ex</sub> (mm)	W <sub>px</sub> (mm)	J (mm)	C <sub>w</sub> (mm)
IPE 270	270	135	6.6	10.2	4590	5790x10 <sup>4</sup>	419.9x10 <sup>4</sup>	30.2	428900	484000	15.94x10 <sup>4</sup>	70.58x10 <sup>9</sup>
IPE 220	220	110	5.9	9.2	3340	2772x10 <sup>4</sup>	204.9x10 <sup>4</sup>	24.8	252000	285400	9.07 x10 <sup>4</sup>	22.67x10 <sup>9</sup>
HE160M	180	16.6	14	23	13400	5098x10 <sup>4</sup>	1759x10 <sup>4</sup>	42.6	566500	674600	162.4x10 <sup>4</sup>	108.1x10 <sup>9</sup>
HE200M	220	20.6	15	25	17000	10640x10 <sup>4</sup>	3651x10 <sup>4</sup>	52.7	967400	1135000	259.4x10 <sup>4</sup>	346.3x10 <sup>9</sup>
HE220M	240	22.6	15.5	26	18800	14600x10 <sup>4</sup>	5012x10 <sup>4</sup>	57.9	1217000	1419000	315.3x10 <sup>4</sup>	572.7x10 <sup>9</sup>
HE240M	270	24.8	18	32	20600	24290x10 <sup>4</sup>	8153x10 <sup>4</sup>	63.9	1799000	2117000	627.9x10 <sup>4</sup>	1152x10 <sup>9</sup>
HE280M	310	28.8	18.5	33	24400	39550x10 <sup>4</sup>	1316x10 <sup>5</sup>	74	2551000	2966000	807.3x10 <sup>4</sup>	2520x10 <sup>9</sup>
Tubo90x90x12.5	90	90	12.5	12.5	3875			32.05				
Tubo80x80x7.1	80	80	7.1	7.1	2070			29.9				
Tubo70x70x4	70	70	4	4	1056			27				

Ek-2: Periyot ve Modal K t le Katılım Oranları Tabloları

Ek Tablo 2.1. BAP0-5'e ait periyot ve modal k t le katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.062284	0.00025	0.72114	0.72139	0.72139
2	1.062284	0.72114	0.00025	0.72114	0.00025
3	0.839597	0	$4.714 \times 10^{-20}$	0.72139	0.72139
4	0.251286	0.16323	0.00362	0.88462	0.72501
5	0.251286	0.00362	0.16323	0.88824	0.88824
6	0.212938	$5.842 \times 10^{-15}$	$8.876 \times 10^{-15}$	0.88824	0.88824
7	0.16576	$2.189 \times 10^{-16}$	$1.147 \times 10^{-13}$	0.88824	0.88824
8	0.164441	$6.1 \times 10^{-14}$	$4.512 \times 10^{-15}$	0.88824	0.88824
9	0.164408	$8.363 \times 10^{-13}$	$1.142 \times 10^{-15}$	0.88824	0.88824
10	0.164366	$4.275 \times 10^{-14}$	$2.765 \times 10^{-14}$	0.88824	0.88824
11	0.164051	$7.737 \times 10^{-12}$	$5.862 \times 10^{-13}$	0.88824	0.88824
12	0.164051	$8.626 \times 10^{-13}$	$3.146 \times 10^{-12}$	0.88824	0.88824
13	0.163308	$6.374 \times 10^{-10}$	$4.778 \times 10^{-9}$	0.88824	0.88824
14	0.163308	$4.77 \times 10^{-9}$	$6.821 \times 10^{-10}$	0.88824	0.88824
15	0.163161	$6.004 \times 10^{-8}$	$1.792 \times 10^{-7}$	0.88824	0.88824

Ek Tablo 2.2. BAP-5'e ait periyot ve modal k t le katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	0.630833	0.04499	0.64914	0.69413	0.69413
2	0.630833	0.64914	0.04499	0.64914	0.04499
3	0.36203	$2.056 \times 10^{-16}$	$6.679 \times 10^{-17}$	0.69413	0.69413
4	0.168352	$1.891 \times 10^{-16}$	$1.732 \times 10^{-16}$	0.69413	0.69413
5	0.166977	0.00000306	$9.339 \times 10^{-7}$	0.69414	0.69413
6	0.166977	$9.342 \times 10^{-7}$	0.00000306	0.69414	0.69414
7	0.166286	$2.051 \times 10^{-14}$	$1.99 \times 10^{-15}$	0.69414	0.69414
8	0.166261	0.000005731	0.00002221	0.69414	0.69416
9	0.166261	0.00002221	0.00000573	0.69417	0.69417
10	0.165454	$1.921 \times 10^{-14}$	$1.157 \times 10^{-14}$	0.69417	0.69417
11	0.165266	$3.556 \times 10^{-7}$	0.000001281	0.69417	0.69417
12	0.165266	0.000001281	$3.556 \times 10^{-7}$	0.69417	0.69417
13	0.165112	$4.406 \times 10^{-15}$	$1.512 \times 10^{-14}$	0.69417	0.69417
14	0.165005	$7.948 \times 10^{-8}$	$8.356 \times 10^{-7}$	0.69417	0.69417
15	0.165005	$8.355 \times 10^{-7}$	$7.97 \times 10^{-8}$	0.69417	0.69417

Ek Tablo 2.3. BBP-5'e ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	0.716299	0.12499	0.57544	0.70042	0.70042
2	0.716299	0.57544	0.12499	0.57544	0.12499
3	0.407341	$1.29 \times 10^{-17}$	$2.807 \times 10^{-17}$	0.70042	0.70042
4	0.157476	0.05071	0.14621	0.75113	0.84663
5	0.157476	0.14621	0.05071	0.89734	0.89734
6	0.148774	$4.065 \times 10^{-18}$	$3.977 \times 10^{-18}$	0.89734	0.89734
7	0.146581	0.00007712	0.00002653	0.89742	0.89737
8	0.146581	0.00002653	0.00007712	0.89744	0.89744
9	0.145152	0.000004483	0.0003	0.89745	0.89774
10	0.145152	0.0003	0.000004483	0.89774	0.89774
11	0.144387	$5.651 \times 10^{-16}$	$2.63 \times 10^{-18}$	0.89774	0.89774
12	0.141822	0.00001345	0.00001016	0.89776	0.89775
13	0.141822	0.00001016	0.00001345	0.89777	0.89777
14	0.141748	$3.68 \times 10^{-19}$	$3.073 \times 10^{-18}$	0.89777	0.89777
15	0.141288	$4.131 \times 10^{-17}$	$8.607 \times 10^{-16}$	0.89777	0.89777

Ek Tablo 2.4. CAP-5'e ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	0.709618	$8.4 \times 10^{-06}$	0.8317	$8.4 \times 10^{-06}$	0.8317
2	0.695605	0.82818	$8.66 \times 10^{-06}$	0.82819	0.83171
3	0.430667	$2.03 \times 10^{-07}$	$1.03 \times 10^{-08}$	0.82819	0.83171
4	0.264345	$2.49 \times 10^{-06}$	$1.96 \times 10^{-09}$	0.82819	0.83171
5	0.264216	$2.75 \times 10^{-07}$	$1.85 \times 10^{-10}$	0.82819	0.83171
6	0.263067	$3.14 \times 10^{-09}$	$9.55 \times 10^{-14}$	0.82819	0.83171
7	0.263037	$1.21 \times 10^{-09}$	$6.53 \times 10^{-14}$	0.82819	0.83171
8	0.260996	$1.49 \times 10^{-09}$	$3.6 \times 10^{-12}$	0.82819	0.83171
9	0.257242	$9.98 \times 10^{-06}$	0.00032	0.8282	0.83203
10	0.256941	$1.41 \times 10^{-06}$	$1.04 \times 10^{-07}$	0.8282	0.83203
11	0.255342	0.00031	$1.79 \times 10^{-06}$	0.82851	0.83203
12	0.255148	$2.76 \times 10^{-08}$	$7.44 \times 10^{-05}$	0.82851	0.83211
13	0.255038	$6.06 \times 10^{-09}$	$6.26 \times 10^{-06}$	0.82851	0.83211
14	0.255	$1.59 \times 10^{-06}$	$2.23 \times 10^{-07}$	0.82852	0.83211
15	0.253371	$1.01 \times 10^{-07}$	0.0001	0.82852	0.83222

Ek Tablo 2.5. CBP-5'e ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	0.790644	$5.98 \times 10^{-06}$	0.83301	$5.98 \times 10^{-06}$	0.83301
2	0.77378	0.83006	$6.18 \times 10^{-06}$	0.83007	0.83301
3	0.47743	$1.63 \times 10^{-07}$	$9.27 \times 10^{-09}$	0.83007	0.83301
4	0.26128	$2.53 \times 10^{-06}$	0.11488	0.83007	0.94789
5	0.255826	0.11431	$2.21 \times 10^{-06}$	0.94438	0.9479
6	0.18243	$3.7 \times 10^{-06}$	$1.7 \times 10^{-06}$	0.94438	0.9479
7	0.181422	$1.84 \times 10^{-06}$	$5.38 \times 10^{-06}$	0.94439	0.9479
8	0.181152	$2.33 \times 10^{-06}$	$3 \times 10^{-05}$	0.94439	0.94793
9	0.180502	$4.86 \times 10^{-08}$	$9.15 \times 10^{-08}$	0.94439	0.94793
10	0.180199	$7.48 \times 10^{-07}$	0.00018	0.94439	0.94811
11	0.179478	$1.6 \times 10^{-08}$	$3.15 \times 10^{-06}$	0.94439	0.94812
12	0.179246	$2.21 \times 10^{-08}$	$1.85 \times 10^{-10}$	0.94439	0.94812
13	0.179071	$5.73 \times 10^{-09}$	$2.03 \times 10^{-11}$	0.94439	0.94812
14	0.178659	$2.11 \times 10^{-06}$	$8.56 \times 10^{-05}$	0.94439	0.9482
15	0.178466	$4.27 \times 10^{-06}$	$1.76 \times 10^{-05}$	0.94439	0.94822

Ek Tablo 2.6. BAP-10'a ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.020895	$5.808 \times 10^{-07}$	0.6585	0.6585	0.6585
2	1.020895	0.6585	$5.808 \times 10^{-07}$	0.6585	$5.808 \times 10^{-07}$
3	0.603785	$4.186 \times 10^{-19}$	$1.208 \times 10^{-17}$	0.6585	0.6585
4	0.208765	0.20078	$3.479 \times 10^{-05}$	0.85928	0.65853
5	0.208765	$3.479 \times 10^{-05}$	0.20078	0.85931	0.85931
6	0.17544	$4.067 \times 10^{-19}$	0	0.85931	0.85931
7	0.170851	0.0001	0.000006	0.85941	0.85932
8	0.170851	$5.999 \times 10^{-06}$	0.0001	0.85942	0.85942
9	0.166432	$7.234 \times 10^{-16}$	$1.817 \times 10^{-17}$	0.85942	0.85942
10	0.165555	$6.788 \times 10^{-16}$	$4.448 \times 10^{-17}$	0.85942	0.85942
11	0.165339	$2.438 \times 10^{-15}$	$3.435 \times 10^{-16}$	0.85942	0.85942
12	0.16473	$5.326 \times 10^{-16}$	$3.322 \times 10^{-17}$	0.85942	0.85942
13	0.164709	$1.841 \times 10^{-17}$	$4.279 \times 10^{-16}$	0.85942	0.85942
14	0.164664	$6.878 \times 10^{-15}$	$1 \times 10^{-15}$	0.85942	0.85942
15	0.164611	$4.277 \times 10^{-15}$	$9.132 \times 10^{-17}$	0.85942	0.85942
16	0.164574	$4.227 \times 10^{-17}$	$7.675 \times 10^{-17}$	0.85942	0.85942
17	0.164555	$7.743 \times 10^{-18}$	$9.479 \times 10^{-17}$	0.85942	0.85942
18	0.164552	$4.154 \times 10^{-15}$	$2.42 \times 10^{-17}$	0.85942	0.85942
19	0.164534	$1.164 \times 10^{-15}$	$3.433 \times 10^{-16}$	0.85942	0.85942
20	0.163848	$4.385 \times 10^{-06}$	$6.448 \times 10^{-06}$	0.85942	0.85943
21	0.163848	$6.448 \times 10^{-06}$	$4.385 \times 10^{-06}$	0.85943	0.85943
22	0.163773	0.0000877	$1.148 \times 10^{-05}$	0.85952	0.85944
23	0.163773	$1.148 \times 10^{-05}$	$8.771 \times 10^{-05}$	0.85953	0.85953
24	0.163706	$3.768 \times 10^{-05}$	$3.029 \times 10^{-05}$	0.85957	0.85956
25	0.163706	$3.029 \times 10^{-05}$	$3.769 \times 10^{-05}$	0.8596	0.8596
26	0.163579	$4.888 \times 10^{-07}$	$1.152 \times 10^{-05}$	0.8596	0.85961
27	0.163579	$1.152 \times 10^{-05}$	$4.888 \times 10^{-07}$	0.85961	0.85961
28	0.163489	$6.751 \times 10^{-15}$	$5.328 \times 10^{-17}$	0.85961	0.85961
29	0.163451	$1.423 \times 10^{-06}$	$3.386 \times 10^{-06}$	0.85961	0.85961
30	0.163451	$3.386 \times 10^{-06}$	$1.423 \times 10^{-06}$	0.85961	0.85961

Ek Tablo 2.7. BBP-10'a ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.141048	0.00013	0.66248	0.6626	0.6626
2	1.141048	0.66248	0.00013	0.66248	0.00013
3	0.662556	$1.05 \times 10^{-19}$	$4.98 \times 10^{-19}$	0.6626	0.6626
4	0.237296	0.14552	0.05374	0.80812	0.71634
5	0.237296	0.05374	0.14552	0.86185	0.86185
6	0.16611	$8.78 \times 10^{-18}$	$3.7 \times 10^{-18}$	0.86185	0.86185
7	0.15769	$1.59 \times 10^{-06}$	$3.25 \times 10^{-05}$	0.86186	0.86189
8	0.15769	$3.25 \times 10^{-05}$	$1.58 \times 10^{-06}$	0.86189	0.86189
9	0.148307	$2.31 \times 10^{-13}$	$6.76 \times 10^{-14}$	0.86189	0.86189
10	0.147282	$2.75 \times 10^{-14}$	$3.02 \times 10^{-14}$	0.86189	0.86189
11	0.144876	$8.23 \times 10^{-14}$	$2.6 \times 10^{-16}$	0.86189	0.86189
12	0.140536	$1.3 \times 10^{-13}$	$3.82 \times 10^{-14}$	0.86189	0.86189
13	0.138492	$1.08 \times 10^{-13}$	$4.77 \times 10^{-15}$	0.86189	0.86189
14	0.137989	$1.22 \times 10^{-13}$	$7.75 \times 10^{-15}$	0.86189	0.86189
15	0.137895	$3.34 \times 10^{-13}$	$9.29 \times 10^{-16}$	0.86189	0.86189
16	0.137803	$7.3 \times 10^{-13}$	$9.53 \times 10^{-14}$	0.86189	0.86189
17	0.13771	$3.21 \times 10^{-13}$	$1.51 \times 10^{-13}$	0.86189	0.86189
18	0.137687	$4.36 \times 10^{-05}$	$2.85 \times 10^{-06}$	0.86193	0.86189
19	0.137687	$2.86 \times 10^{-06}$	$4.36 \times 10^{-05}$	0.86194	0.86194
20	0.137654	$1.36 \times 10^{-13}$	$8.8 \times 10^{-14}$	0.86194	0.86194
21	0.137589	$1.24 \times 10^{-14}$	$1.95 \times 10^{-14}$	0.86194	0.86194
22	0.137555	$7.77 \times 10^{-18}$	$6.84 \times 10^{-17}$	0.86194	0.86194
23	0.137469	$1.78 \times 10^{-05}$	0.0003	0.86195	0.86223
24	0.137469	0.0003	$1.78 \times 10^{-05}$	0.86225	0.86225
25	0.137405	$2.2 \times 10^{-13}$	$9.05 \times 10^{-15}$	0.86225	0.86225
26	0.137172	$2.68 \times 10^{-06}$	$8.28 \times 10^{-07}$	0.86225	0.86225
27	0.137172	$8.27 \times 10^{-07}$	$2.68 \times 10^{-06}$	0.86225	0.86225
28	0.137017	$1.74 \times 10^{-14}$	$3.26 \times 10^{-14}$	0.86225	0.86225
29	0.136941	$2.1 \times 10^{-07}$	$2.4 \times 10^{-06}$	0.86225	0.86226
30	0.136941	$2.4 \times 10^{-06}$	$2.1 \times 10^{-07}$	0.86226	0.86226

Ek Tablo 2.8. CAP-10'a ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.291293	$1.48 \times 10^{-05}$	0.75	$1.48 \times 10^{-05}$	0.75
2	1.280046	0.75	$1.49 \times 10^{-05}$	0.75	0.75
3	0.730561	$2.65 \times 10^{-08}$	$2.26 \times 10^{-09}$	0.75	0.75
4	0.389572	$2.46 \times 10^{-10}$	0.16	0.75	0.92
5	0.385182	0.16	$7.28 \times 10^{-10}$	0.91	0.92
6	0.264313	$1.5 \times 10^{-07}$	$3.16 \times 10^{-10}$	0.91	0.92
7	0.264224	$6.07 \times 10^{-08}$	$1.13 \times 10^{-10}$	0.91	0.92
8	0.264166	$1.82 \times 10^{-08}$	$3.34 \times 10^{-11}$	0.91	0.92
9	0.264143	$1.15 \times 10^{-08}$	$2.17 \times 10^{-11}$	0.91	0.92
10	0.263076	$6.79 \times 10^{-11}$	$6.61 \times 10^{-14}$	0.91	0.92
11	0.263032	$4.07 \times 10^{-10}$	$1.03 \times 10^{-12}$	0.91	0.92
12	0.263013	$6.63 \times 10^{-11}$	$2.29 \times 10^{-13}$	0.91	0.92
13	0.263002	$1.51 \times 10^{-10}$	$1.3 \times 10^{-14}$	0.91	0.92
14	0.262997	$7.97 \times 10^{-12}$	$1.3 \times 10^{-13}$	0.91	0.92
15	0.262312	$2.89 \times 10^{-12}$	$5.21 \times 10^{-14}$	0.91	0.92
16	0.257254	$1.71 \times 10^{-07}$	$4.49 \times 10^{-06}$	0.91	0.92
17	0.256917	$3.03 \times 10^{-07}$	$2.23 \times 10^{-05}$	0.91	0.92
18	0.256797	$3.43 \times 10^{-08}$	$1.51 \times 10^{-06}$	0.91	0.92
19	0.256764	$3.78 \times 10^{-08}$	$1.58 \times 10^{-06}$	0.91	0.92
20	0.255436	$7.08 \times 10^{-10}$	$1.45 \times 10^{-05}$	0.91	0.92
21	0.255211	$2.69 \times 10^{-13}$	$8.99 \times 10^{-07}$	0.91	0.92
22	0.255073	$1.47 \times 10^{-06}$	$5.35 \times 10^{-09}$	0.91	0.92
23	0.254966	$3.66 \times 10^{-08}$	$3.3 \times 10^{-06}$	0.91	0.92
24	0.254922	$1 \times 10^{-08}$	$1.47 \times 10^{-07}$	0.91	0.92
25	0.254906	$5.17 \times 10^{-09}$	$4.08 \times 10^{-07}$	0.91	0.92
26	0.254899	$1.04 \times 10^{-12}$	$4.57 \times 10^{-07}$	0.91	0.92
27	0.254793	$2.19 \times 10^{-05}$	$3.31 \times 10^{-08}$	0.91	0.92
28	0.254658	$8.65 \times 10^{-08}$	$4.36 \times 10^{-09}$	0.91	0.92
29	0.254607	$6.48 \times 10^{-07}$	$4.87 \times 10^{-09}$	0.91	0.92
30	0.253501	$3.75 \times 10^{-06}$	$4.77 \times 10^{-12}$	0.91	0.92



Ek Tablo 2.9. CBP-10'a ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.434721	$8.26 \times 10^{-06}$	0.76	$8.26 \times 10^{-06}$	0.76
2	1.418891	0.75	$8.29 \times 10^{-06}$	0.75	0.76
3	0.808345	$2.18 \times 10^{-08}$	$1.56 \times 10^{-09}$	0.75	0.76
4	0.434297	$2.21 \times 10^{-10}$	0.16	0.75	0.92
5	0.42841	0.16	$6.51 \times 10^{-10}$	0.91	0.92
6	0.257585	$5.56 \times 10^{-09}$	$1.64 \times 10^{-09}$	0.91	0.92
7	0.230329	$1.53 \times 10^{-07}$	0.04105	0.91	0.96
8	0.22746	0.04064	$1.31 \times 10^{-07}$	0.95	0.96
9	0.192666	$1.11 \times 10^{-06}$	$1.55 \times 10^{-07}$	0.95	0.96
10	0.192606	$5.75 \times 10^{-06}$	$9.66 \times 10^{-08}$	0.95	0.96
11	0.192379	$1.16 \times 10^{-08}$	$1.71 \times 10^{-05}$	0.95	0.96
12	0.192332	$1.65 \times 10^{-09}$	$1.81 \times 10^{-06}$	0.95	0.96
13	0.187279	$5.51 \times 10^{-05}$	$2.08 \times 10^{-10}$	0.95	0.96
14	0.18553	$2.38 \times 10^{-09}$	$3.99 \times 10^{-10}$	0.95	0.96
15	0.181713	$1.03 \times 10^{-10}$	$7.03 \times 10^{-11}$	0.95	0.96
16	0.181385	$4.08 \times 10^{-09}$	$1.14 \times 10^{-08}$	0.95	0.96
17	0.181002	$4.77 \times 10^{-10}$	$3.09 \times 10^{-09}$	0.95	0.96
18	0.180879	$3.46 \times 10^{-09}$	$3.52 \times 10^{-08}$	0.95	0.96
19	0.180744	$1.26 \times 10^{-09}$	$4.4 \times 10^{-08}$	0.95	0.96
20	0.180502	$2.52 \times 10^{-10}$	$7.98 \times 10^{-05}$	0.95	0.96
21	0.179953	$1.99 \times 10^{-08}$	$1.64 \times 10^{-05}$	0.95	0.96
22	0.179785	$2.01 \times 10^{-12}$	$3.64 \times 10^{-10}$	0.95	0.96
23	0.17962	$2.92 \times 10^{-10}$	$3.23 \times 10^{-05}$	0.95	0.96
24	0.179474	$1.14 \times 10^{-08}$	$3.96 \times 10^{-05}$	0.95	0.96
25	0.17937	$2.4 \times 10^{-09}$	$3.31 \times 10^{-05}$	0.95	0.96
26	0.179011	$4.08 \times 10^{-10}$	$6.79 \times 10^{-10}$	0.95	0.96
27	0.178768	$1.22 \times 10^{-12}$	$4.31 \times 10^{-12}$	0.95	0.96
28	0.178685	$2.85 \times 10^{-10}$	$4.23 \times 10^{-10}$	0.95	0.96
29	0.178649	$2.18 \times 10^{-11}$	$6.46 \times 10^{-12}$	0.95	0.96
30	0.177487	$1.4 \times 10^{-10}$	0.000102	0.95	0.96

Ek Tablo 2.10. BAP-14'e ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.419194	0.6448	$1.835 \times 10^{-07}$	0.6448	0.6448
2	1.419194	$1.835 \times 10^{-07}$	0.6448	$1.835 \times 10^{-07}$	0.6448
3	0.818173	$3.345 \times 10^{-20}$	$1.284 \times 10^{-19}$	0.6448	0.6448
4	0.279675	0.14867	0.0487	0.79347	0.6935
5	0.279675	0.0487	0.14867	0.84218	0.84218
6	0.175484	$4.256 \times 10^{-16}$	$5.711 \times 10^{-16}$	0.84218	0.84218
7	0.171336	$5.577 \times 10^{-07}$	$9.736 \times 10^{-07}$	0.84218	0.84218
8	0.171336	$9.715 \times 10^{-07}$	$5.575 \times 10^{-07}$	0.84218	0.84218
9	0.167381	$1.544 \times 10^{-15}$	$4.945 \times 10^{-16}$	0.84218	0.84218
10	0.166709	$2.992 \times 10^{-13}$	$4.88 \times 10^{-14}$	0.84218	0.84218
11	0.165347	$2.749 \times 10^{-17}$	$6.97 \times 10^{-19}$	0.84218	0.84218
12	0.165054	$8.915 \times 10^{-13}$	$3.46 \times 10^{-13}$	0.84218	0.84218
13	0.161517	$1.745 \times 10^{-13}$	$1.268 \times 10^{-13}$	0.84218	0.84218
14	0.161145	$5.029 \times 10^{-07}$	$2.987 \times 10^{-07}$	0.84218	0.84218
15	0.161145	$2.983 \times 10^{-07}$	$5.037 \times 10^{-07}$	0.84218	0.84218
16	0.161032	$6.942 \times 10^{-14}$	$6.86 \times 10^{-15}$	0.84218	0.84218
17	0.161001	$1.831 \times 10^{-13}$	$2.78 \times 10^{-13}$	0.84218	0.84218
18	0.160962	$5.332 \times 10^{-16}$	$1.878 \times 10^{-14}$	0.84218	0.84218
19	0.160937	$8.697 \times 10^{-15}$	$3.836 \times 10^{-17}$	0.84218	0.84218
20	0.160897	$1.26 \times 10^{-13}$	$5.97 \times 10^{-16}$	0.84218	0.84218
21	0.16085	$1.116 \times 10^{-16}$	$1.312 \times 10^{-15}$	0.84218	0.84218
22	0.160843	$2.356 \times 10^{-09}$	$9.998 \times 10^{-08}$	0.84218	0.84218
23	0.160843	$9.978 \times 10^{-08}$	$2.374 \times 10^{-09}$	0.84218	0.84218
24	0.160829	$3.455 \times 10^{-05}$	$2.488 \times 10^{-06}$	0.84221	0.84218
25	0.160829	$2.49 \times 10^{-06}$	$3.456 \times 10^{-05}$	0.84222	0.84222
26	0.160815	$2.033 \times 10^{-15}$	$7.891 \times 10^{-14}$	0.84222	0.84222
27	0.160803	$3.333 \times 10^{-08}$	$6.312 \times 10^{-08}$	0.84222	0.84222
28	0.160803	$6.318 \times 10^{-08}$	$3.328 \times 10^{-08}$	0.84222	0.84222
29	0.160797	$6.451 \times 10^{-13}$	$3.545 \times 10^{-15}$	0.84222	0.84222
30	0.160775	$8.974 \times 10^{-16}$	$1.304 \times 10^{-14}$	0.84222	0.84222
31	0.160761	$6.442 \times 10^{-17}$	$2.516 \times 10^{-14}$	0.84222	0.84222
32	0.160754	$6.49 \times 10^{-14}$	$2.326 \times 10^{-14}$	0.84222	0.84222
33	0.160745	$9.169 \times 10^{-09}$	$3.746 \times 10^{-09}$	0.84222	0.84222
34	0.160745	$3.742 \times 10^{-09}$	$9.099 \times 10^{-09}$	0.84222	0.84222
35	0.160683	$1.594 \times 10^{-11}$	$4.813 \times 10^{-10}$	0.84222	0.84222
36	0.160683	$4.794 \times 10^{-10}$	$1.489 \times 10^{-11}$	0.84222	0.84222
37	0.160641	$8.584 \times 10^{-11}$	$3.463 \times 10^{-11}$	0.84222	0.84222
38	0.160641	$3.079 \times 10^{-11}$	$7.509 \times 10^{-11}$	0.84222	0.84222
39	0.160623	$6.699 \times 10^{-15}$	$2.471 \times 10^{-14}$	0.84222	0.84222
40	0.160607	$1.306 \times 10^{-10}$	$4.057 \times 10^{-10}$	0.84222	0.84222
41	0.160607	$3.642 \times 10^{-10}$	$1.519 \times 10^{-10}$	0.84222	0.84222
42	0.160589	$9.291 \times 10^{-14}$	$2.952 \times 10^{-14}$	0.84222	0.84222

Ek Tablo 2.11. BBP-14'e ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.556682	0.64895	$5.79 \times 10^{-05}$	0.64901	0.64901
2	1.556682	$5.79 \times 10^{-05}$	0.64895	$5.79 \times 10^{-05}$	0.64895
3	0.889781	0	0	0.64901	0.64901
4	0.313469	$2.31 \times 10^{-06}$	0.19538	0.64901	0.84438
5	0.313469	0.19538	$2.31 \times 10^{-06}$	0.84439	0.84439
6	0.179283	$8.87 \times 10^{-14}$	$5.33 \times 10^{-16}$	0.84439	0.84439
7	0.172685	$9.37 \times 10^{-16}$	$1.77 \times 10^{-16}$	0.84439	0.84439
8	0.161019	$2.32 \times 10^{-06}$	$1.31 \times 10^{-06}$	0.84439	0.84439
9	0.161019	$1.31 \times 10^{-06}$	$2.32 \times 10^{-06}$	0.84439	0.84439
10	0.15559	$5.44 \times 10^{-14}$	$1.42 \times 10^{-14}$	0.84439	0.84439
11	0.152986	$1.27 \times 10^{-13}$	$5.02 \times 10^{-16}$	0.84439	0.84439
12	0.148743	$1.47 \times 10^{-13}$	$5.11 \times 10^{-14}$	0.84439	0.84439
13	0.140135	0.00059	0.00013	0.84498	0.84452
14	0.140135	0.00013	0.00059	0.84511	0.84511
15	0.133035	$1.89 \times 10^{-14}$	$2.39 \times 10^{-14}$	0.84511	0.84511
16	0.132756	0.00476	0.04957	0.84987	0.89469
17	0.132756	0.04957	0.00476	0.89944	0.89944
18	0.132406	$2.04 \times 10^{-16}$	$3.19 \times 10^{-18}$	0.89944	0.89944
19	0.132327	$2.04 \times 10^{-05}$	0.00122	0.89946	0.90066
20	0.132327	0.00122	$2.04 \times 10^{-05}$	0.90068	0.90068
21	0.131393	$6.62 \times 10^{-14}$	$4.1 \times 10^{-14}$	0.90068	0.90068
22	0.131345	$3.6 \times 10^{-14}$	$3.93 \times 10^{-14}$	0.90068	0.90068
23	0.131299	$2.28 \times 10^{-14}$	$7.16 \times 10^{-15}$	0.90068	0.90068
24	0.131202	$4.52 \times 10^{-15}$	$4.01 \times 10^{-14}$	0.90068	0.90068
25	0.131186	$3.22 \times 10^{-15}$	$4.18 \times 10^{-14}$	0.90068	0.90068
26	0.131094	$4.83 \times 10^{-07}$	$4.82 \times 10^{-08}$	0.90068	0.90068
27	0.131094	$4.83 \times 10^{-08}$	$4.84 \times 10^{-07}$	0.90068	0.90068
28	0.131084	$6.72 \times 10^{-15}$	$3.61 \times 10^{-17}$	0.90068	0.90068
29	0.13101	$4.87 \times 10^{-07}$	$5.66 \times 10^{-07}$	0.90068	0.90068
30	0.13101	$5.66 \times 10^{-07}$	$4.87 \times 10^{-07}$	0.90068	0.90068
31	0.130973	$1.46 \times 10^{-16}$	$1.56 \times 10^{-13}$	0.90068	0.90068
32	0.13091	$1.7 \times 10^{-17}$	$1.33 \times 10^{-13}$	0.90068	0.90068
33	0.130881	$8.18 \times 10^{-07}$	$7.14 \times 10^{-06}$	0.90069	0.90069
34	0.130881	$7.14 \times 10^{-06}$	$8.17 \times 10^{-07}$	0.90069	0.90069
35	0.130855	$1.44 \times 10^{-14}$	$2.14 \times 10^{-13}$	0.90069	0.90069
36	0.130796	$1.02 \times 10^{-15}$	$2.32 \times 10^{-17}$	0.90069	0.90069
37	0.130775	$5.22 \times 10^{-06}$	$6.03 \times 10^{-05}$	0.9007	0.90075
38	0.130775	$6.03 \times 10^{-05}$	$5.22 \times 10^{-06}$	0.90076	0.90076
39	0.130768	$5.09 \times 10^{-14}$	$2.14 \times 10^{-15}$	0.90076	0.90076
40	0.130757	$8.95 \times 10^{-14}$	$2.25 \times 10^{-13}$	0.90076	0.90076
41	0.130746	$2.42 \times 10^{-14}$	$2.04 \times 10^{-16}$	0.90076	0.90076
42	0.130706	$2.13 \times 10^{-05}$	$3.08 \times 10^{-07}$	0.90078	0.90076

Ek Tablo 2.12. CAP-14'e ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.619533	$1.4 \times 10^{-05}$	0.71266	$1.4 \times 10^{-05}$	0.71266
2	1.61325	0.71146	$1.4 \times 10^{-05}$	0.71148	0.71267
3	0.865931	$8.09 \times 10^{-10}$	$1.75 \times 10^{-10}$	0.71148	0.71267
4	0.445887	$1.27 \times 10^{-06}$	0.18185	0.71148	0.89452
5	0.443281	0.18161	$1.33 \times 10^{-06}$	0.89308	0.89452
6	0.263976	$4.19 \times 10^{-08}$	$2.66 \times 10^{-10}$	0.89308	0.89452
7	0.263925	$6.72 \times 10^{-08}$	$4.1 \times 10^{-10}$	0.89308	0.89452
8	0.263862	$2.64 \times 10^{-09}$	$1.85 \times 10^{-11}$	0.89308	0.89452
9	0.263853	$5.25 \times 10^{-09}$	$2.95 \times 10^{-11}$	0.89308	0.89452
10	0.263844	$1.04 \times 10^{-09}$	$4.78 \times 10^{-12}$	0.89308	0.89452
11	0.263832	$3.11 \times 10^{-10}$	$8.56 \times 10^{-13}$	0.89308	0.89452
12	0.262927	$6.46 \times 10^{-13}$	$3.35 \times 10^{-14}$	0.89308	0.89452
13	0.26288	$4.09 \times 10^{-11}$	$4.65 \times 10^{-13}$	0.89308	0.89452
14	0.262871	$2.6 \times 10^{-11}$	$1.34 \times 10^{-13}$	0.89308	0.89452
15	0.262866	$1.3 \times 10^{-13}$	$6.64 \times 10^{-16}$	0.89308	0.89452
16	0.262862	$1.94 \times 10^{-11}$	$1.14 \times 10^{-14}$	0.89308	0.89452
17	0.262859	$1.03 \times 10^{-11}$	$1.22 \times 10^{-13}$	0.89308	0.89452
18	0.262857	$1.96 \times 10^{-13}$	$6.49 \times 10^{-14}$	0.89308	0.89452
19	0.261679	$1.7 \times 10^{-12}$	$1.85 \times 10^{-13}$	0.89308	0.89452
20	0.256975	$7.45 \times 10^{-08}$	$5.08 \times 10^{-06}$	0.89308	0.89453
21	0.256951	$4.08 \times 10^{-11}$	$9.72 \times 10^{-06}$	0.89308	0.89454
22	0.256509	$2.48 \times 10^{-07}$	$3.82 \times 10^{-05}$	0.89308	0.89457
23	0.256413	$2.7 \times 10^{-08}$	$1.78 \times 10^{-05}$	0.89308	0.89459
24	0.25637	$1.41 \times 10^{-08}$	$3.72 \times 10^{-07}$	0.89308	0.89459
25	0.25636	$6.16 \times 10^{-09}$	$5.82 \times 10^{-07}$	0.89308	0.89459
26	0.256337	$1.26 \times 10^{-09}$	$1.21 \times 10^{-07}$	0.89308	0.89459
27	0.2551	$7.72 \times 10^{-10}$	$1.4 \times 10^{-05}$	0.89308	0.89461
28	0.254791	$1.3 \times 10^{-10}$	$2.15 \times 10^{-05}$	0.89308	0.89463
29	0.254747	$1.17 \times 10^{-10}$	$1.3 \times 10^{-07}$	0.89308	0.89463
30	0.25473	$1.56 \times 10^{-12}$	$2.61 \times 10^{-08}$	0.89308	0.89463
31	0.25472	$2.48 \times 10^{-11}$	$5.77 \times 10^{-08}$	0.89308	0.89463
32	0.254713	$9.04 \times 10^{-12}$	$2.35 \times 10^{-08}$	0.89308	0.89463
33	0.25471	$3.11 \times 10^{-14}$	$4.45 \times 10^{-08}$	0.89308	0.89463
34	0.254627	$8.31 \times 10^{-06}$	$1.58 \times 10^{-08}$	0.89309	0.89463
35	0.254289	$4.22 \times 10^{-05}$	$5.31 \times 10^{-08}$	0.89313	0.89463
36	0.254189	$1.56 \times 10^{-05}$	$4.65 \times 10^{-09}$	0.89315	0.89463
37	0.254139	$1.35 \times 10^{-07}$	$3.55 \times 10^{-09}$	0.89315	0.89463
38	0.254126	$2.36 \times 10^{-07}$	$2.77 \times 10^{-09}$	0.89315	0.89463
39	0.254093	$1.55 \times 10^{-07}$	$4.42 \times 10^{-10}$	0.89315	0.89463
40	0.253927	$1.62 \times 10^{-11}$	$1.61 \times 10^{-05}$	0.89315	0.89464
41	0.252936	$1.89 \times 10^{-05}$	$8.01 \times 10^{-12}$	0.89317	0.89464
42	0.252712	$5.35 \times 10^{-05}$	$2.77 \times 10^{-11}$	0.89322	0.89464

Ek Tablo 2.13. CBP-14'e ait periyot ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$
1	1.809571	$4.17 \times 10^{-06}$	0.71525	$4.17 \times 10^{-06}$	0.71525
2	1.802529	0.71453	$4.15 \times 10^{-06}$	0.71453	0.71526
3	0.960358	$9.53 \times 10^{-10}$	$5 \times 10^{-10}$	0.71453	0.71526
4	0.557361	$6.32 \times 10^{-07}$	0.17948	0.71453	0.89473
5	0.552921	0.17904	$6.73 \times 10^{-07}$	0.89357	0.89473
6	0.316391	$1.06 \times 10^{-08}$	$5.75 \times 10^{-11}$	0.89357	0.89473
7	0.280659	$1.35 \times 10^{-08}$	0.04847	0.89357	0.9432
8	0.278395	0.04827	$9.74 \times 10^{-09}$	0.94184	0.9432
9	0.228106	$5.78 \times 10^{-10}$	$8.31 \times 10^{-13}$	0.94184	0.9432
10	0.225573	$3.28 \times 10^{-06}$	$3.27 \times 10^{-11}$	0.94185	0.9432
11	0.22228	$2.72 \times 10^{-09}$	$1.81 \times 10^{-05}$	0.94185	0.94322
12	0.219847	$4.97 \times 10^{-09}$	$6.96 \times 10^{-12}$	0.94185	0.94322
13	0.205761	$3.74 \times 10^{-09}$	$2.62 \times 10^{-11}$	0.94185	0.94322
14	0.205637	$6.68 \times 10^{-05}$	$8.64 \times 10^{-12}$	0.94191	0.94322
15	0.190818	$3.77 \times 10^{-06}$	0.01885	0.94192	0.96206
16	0.189857	0.01989	$6.42 \times 10^{-06}$	0.96181	0.96207
17	0.189415	$4.93 \times 10^{-05}$	$6.56 \times 10^{-07}$	0.96186	0.96207
18	0.189108	$2.63 \times 10^{-05}$	$8.16 \times 10^{-07}$	0.96188	0.96207
19	0.188258	$1.06 \times 10^{-05}$	0.00016	0.96189	0.96224
20	0.186759	$1.31 \times 10^{-05}$	$9.96 \times 10^{-07}$	0.96191	0.96224
21	0.186393	$4 \times 10^{-06}$	$4.34 \times 10^{-07}$	0.96191	0.96224
22	0.186215	$1.55 \times 10^{-06}$	$2.03 \times 10^{-07}$	0.96191	0.96224
23	0.186169	$2.83 \times 10^{-06}$	$3.73 \times 10^{-07}$	0.96192	0.96224
24	0.186069	$3.49 \times 10^{-07}$	$4.8 \times 10^{-08}$	0.96192	0.96224
25	0.185376	$8.53 \times 10^{-08}$	$1.04 \times 10^{-08}$	0.96192	0.96224
26	0.184989	$5.66 \times 10^{-06}$	$1.51 \times 10^{-06}$	0.96192	0.96224
27	0.184951	$7.03 \times 10^{-08}$	0.00049	0.96192	0.96273
28	0.184552	$2.07 \times 10^{-08}$	$3.08 \times 10^{-07}$	0.96192	0.96273
29	0.184501	$1.71 \times 10^{-07}$	$5.98 \times 10^{-06}$	0.96192	0.96274
30	0.184409	$1.97 \times 10^{-06}$	$8.21 \times 10^{-06}$	0.96192	0.96275
31	0.184283	$2.71 \times 10^{-07}$	$9.88 \times 10^{-06}$	0.96192	0.96276
32	0.184223	$7.09 \times 10^{-09}$	$1.24 \times 10^{-06}$	0.96192	0.96276
33	0.184119	$1 \times 10^{-09}$	$3.24 \times 10^{-07}$	0.96192	0.96276
34	0.184054	$6.36 \times 10^{-08}$	$9.48 \times 10^{-05}$	0.96192	0.96285
35	0.18404	$6.34 \times 10^{-07}$	0.00178	0.96192	0.96464
36	0.184016	$1.03 \times 10^{-09}$	$2.41 \times 10^{-05}$	0.96192	0.96466
37	0.183998	$3.16 \times 10^{-12}$	$1.59 \times 10^{-07}$	0.96192	0.96466
38	0.182788	$1.33 \times 10^{-08}$	$1.14 \times 10^{-05}$	0.96192	0.96467
39	0.182535	$1.18 \times 10^{-05}$	$1.32 \times 10^{-06}$	0.96194	0.96467
40	0.181876	$8.67 \times 10^{-09}$	$1.67 \times 10^{-05}$	0.96194	0.96469
41	0.181541	$9.88 \times 10^{-08}$	$5.68 \times 10^{-05}$	0.96194	0.96475
42	0.181497	$1.15 \times 10^{-07}$	$1.23 \times 10^{-05}$	0.96194	0.96476

## ÖZGEÇMİŞ

Özgöl DEMİRAĞ, 1989 yılında Gümüşhane İlinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gümüşhane Aysin-Rafet ATAÇ İlköğretim Okulunda tamamladıktan sonra lise öğrenimini 2006-2007 öğretim yılında Ali Fuat KADİRBEYOĞLU Anadolu Lisesi'nde bitirdi. 2015 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2017 yılında başladığı Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans ve Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitimini hâlen devam etmektedir. Yabancı dili İngilizce olan DEMİRAĞ, bekârdır.