

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK KATLI AHŞAP YAPILARIN DEPREM YÜKÜ ALTINDA
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

YUSUF GÜREL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SERKAN BEKİROĞLU**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI AHŞAP YAPILARIN DEPREM YÜKÜ ALTINDA
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Yusuf GÜREL tarafından hazırlanan tez çalışması 06.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatih ALEMDAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında çok katlı ahşap yapıların aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde uygulanabilirliği araştırılmış ve farklı taşıyıcı sistemlerin karşılaştırması yapılmıştır.

Çalışmalarım boyunca her konuda bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU'na çok teşekkür ederim. Bu çalışmanın olgunlaşmasına katkıda bulunan değerli hocalarım Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK'a ve Dr. Öğr. Üyesi Fatih ALEMDAR'a şükranlarımı sunarım.

Fikirleriyle çalışmama katkıda bulunan ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli dostum İnş. Y. Müh. Namık ESER'e ve değerli katkılarından dolayı kardeşim Mim. Mehtap GÜREL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı bugünlere ulaşmamda en büyük pay sahibi olan ve desteklerini bir an için eksik etmeyen aileme ve dostlarıma ithaf ediyorum.

Temmuz, 2018

Yusuf GÜREL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Bulgular.....	3
BÖLÜM 2	
ÇOK KATLI AHŞAP YAPI SİSTEMLERİ VE BİLEŞENLERİ.....	4
2.1 Yapı Malzemesi Olarak Ahşap.....	4
2.2 Ahşabın Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.....	5
2.2.1 Özgül Ağırlık.....	5
2.2.2 Nem İçeriği.....	6
2.2.3 Isıl Genleşme.....	6
2.2.4 Yoğunluk.....	7
2.2.5 Mekanik Özellikler.....	7
2.3 Çapraz Tabakalı Ahşap.....	8
2.3.1 CLT Yapı Elemanlarının Faydaları ve Sakıncaları.....	9
2.4 Tabakalı Ahşap.....	10
2.4.1 Glulam Yapı Elemanlarının Faydaları ve Sakıncaları.....	12
2.5 Ahşap Yapı Taşıyıcı Sistemleri.....	14

BÖLÜM 3

YAPI GEOMETRİSİ VE ANALİTİK MODEL.....	15
3.1 Mimari Plan.....	16
3.2 Taşıyıcı Sistem	17
3.3 Malzeme Bilgisi	19
3.3.1 CLT Döşeme Sistemi	25
3.3.2 CLT Perde Duvarlar	26
3.3.3 Glulam Kolon	27
3.3.4 Glulam Kirişler	27
3.3.5 Glulam Dıştan Destek Sistem Elemanları ve Kısmi Kafes Elemanları	28
3.3.6 MÇÇ Sistem (Merkezi Çekirdekli Çerçeve Sistem).....	29
3.3.7 DD-MÇÇ Sistem (Dıştan Destek Merk. Çek. Çer. Sis.).....	30
3.3.8 KK-MÇÇ Sistem (Kısmi Kafesli ve Merk. Çek. Çer. Sis.).....	31
3.3.9 P-MÇÇ Sistem (Perdeli ve Merk. Çek. Çer. Sis.).....	32
3.4 Sınır Koşulları	33
3.5 Statik ve Dinamik Yükler	34
3.6 Sabit Ortalama İvme Kabulü ile Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi.....	41

BÖLÜM 4

YAPISAL SİSTEMLERİN ANALİZİ VE DEPREM PERFORMANSI	44
4.1 Gerilme Tahkiki	46
4.1.1 Eğilme Tahkiki	46
4.1.2 Kesme Tahkiki	47
4.1.3 Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki	47
4.2 Yapısal Sistemlerin Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları ve Gerilme Tahkikleri.....	49
4.3 Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması	55
4.3.1 En büyük Kat Yer Değiştirmeleri ve İvmeleri	60
4.3.2 En büyük Görelî Kat Ötelenmeleri	65

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR.....	73

EK-A

SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARI VE GERİLME TAHKİKLERİ	76
A-1 MÇÇ Sistem.....	76
A-1-1 Gerilme Tahkikleri	78
Kiriş 400x500 (GL28h)	78
Kiriş 300x500 (GL28h)	79
Kiriş 300x400 (GL28h)	81

Kolon 600x600 (GL28h).....	82
A-2 DD-MÇÇ Sistem	85
A-2-1 Gerilme Tahkikleri	86
Kiriş 400x500 (GL28h)	86
Kiriş 300x500 (GL28h)	87
Kiriş 300x400 (GL28h)	89
Kolon 600x600 (GL28h).....	90
Dıştan Destek Sistem Elemanı 400x500 (GL28h)	92
A-3 P-MÇÇ Sistem	95
A-3-1 Gerilme Tahkikleri	96
Kiriş 400x500 (GL28h)	96
Kiriş 300x500 (GL28h)	97
Kiriş 300x400 (GL28h)	99
Kolon 600x600 (GL28h).....	100
A-4 KK-MÇÇ Sistem	103
A-4-1 Gerilme Tahkikleri	103
Kiriş 400x500 (GL28h)	103
Kiriş 300x500 (GL28h)	105
Kiriş 300x400 (GL28h)	106
Kolon 600x600 (GL28h).....	108
Kısmi Kafes Yapı Elemanı 400x500 (GL28h)	110
ÖZGEÇMİŞ	113

SİMGE LİSTESİ

A	Enkesit alanı
b	kesitin kayma gerilmesi kısmındaki genişliği
$E_{0,05}$	Elastisite modülünün % 5'lik değeri
E_d	Elastisite modülünün tasarım değeri
E_{mean}	Elastisite modülünün ortalama değeri
$E_{0,mean}$	Lifler boyunca elastisite modülünün ortalama değeri
$E_{90,mean}$	Liflere dik doğrultuda elastisite modülünün ortalama değeri
$E_{mean,fin}$	Elastisite modülünün nihai ortalama değeri
F	Kuvvet
f	Yapının frekansı
F_c	Basınç kuvveti
$f_{c,0,d}$	Lif boyunca tasarım basınç dayanımı
$f_{c,0,k}$	Lif boyunca karakteristik basınç dayanımı
$f_{c,90,d}$	Liflere dik doğrultuda tasarım basınç dayanımı
$f_{c,90,k}$	Liflere dik doğrultuda Karakteristik basınç dayanımı
F_d	Tasarım kuvveti
$F_{d,ser}$	Kullanılabilirlik sınır durumunda tasarım kuvveti
$F_{i,c,Ed}$	Perde duvarının ucundaki tasarım basınç tepki kuvveti
$F_{i,t,Ed}$	Perde duvarının ucundaki tasarım çekme tepki kuvveti
$f_{m,k}$	Karakteristik eğilme dayanımı
$f_{m,y,d}$	y asal eksenine göre tasarım eğilme dayanımı
$f_{m,z,d}$	z asal eksenine göre tasarım eğilme dayanımı
F_t	Çekme kuvveti
$f_{t,0,d}$	Lif boyunca tasarım çekme dayanımı
$f_{t,0,k}$	Lif boyunca karakteristik çekme dayanımı
$f_{t,90,d}$	Liflere dik doğrultuda tasarım çekme dayanımı
$f_{t,90,k}$	Liflere dik doğrultuda karakteristik çekme dayanımı
$f_{v,d}$	Tasarım kayma dayanımı
$f_{v,k}$	Karakteristik kayma dayanımı
g,G	Yer çekimi ivmesi
G_d	Kesme modülünün tasarım değeri
G_{mean}	Kesme modülünün ortalama değeri
h	Kesit yüksekliği

I	Kesitin atalet momenti
$k_{c,y}$	Duraysızlık faktörü
$k_{c,z}$	Duraysızlık faktörü
k_{crit}	Yanal burkulma için kullanılan faktör
k_h	Yükseklik faktörü
k_m	Bir enkesitte eğilme gerilmelerinin tekrar dağıtımını dikkate alan faktör
k_{mod}	Yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörü
K_{ser}	Kayma modülü
$K_{ser,fin}$	Nihai kayma modülü
K_{ser}	Kayma modülü
$K_{ser,fin}$	Nihai kayma modülü
k_{sys}	Sistem dayanım faktörü
M	Kesitteki moment
M_d	Tasarım momenti
$M_{y,d}$	y eksenine göre tasarım momenti
$M_{z,d}$	z eksenine göre tasarım momenti
N	Eksenel kuvvet
S	Kesitin statik momenti
T	Yapının periyodu
u_{fin}	Nihai şekildeğiştirme
V	Kesitteki esme kuvveti
W_y	y eksenine göre kesit modülü
W_z	z eksenine göre kesit modülü
y	kesitteki gerilme değeri aranan lifin tarafsız eksenden uzaklığı
γ_M	Ayrıca model belirsizlikleri ve boyutsal değişimleri de dikkate alan malzeme özellikleri için kısmi faktör
$\lambda_{rel,y}$	y eksenine göre eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı
$\lambda_{rel,z}$	z eksenine göre eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı
ρ_k	Karakteristik yoğunluk
ρ_m	Ortalama yoğunluk
$\sigma_{c,0,d}$	Lif boyunca tasarım basınç gerilmesi
$\sigma_{m,y,d}$	y asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi
$\sigma_{m,z,d}$	z asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi
$\sigma_{t,0,d}$	Lif boyunca tasarım çekme gerilmesi
$\sigma_{t,90,d}$	Liflere dik doğrultuda tasarım çekme gerilmesi
σ_z	z eksenine göre kesitteki gerilme
τ	Kayma gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

CEN	European Committee for Standardization
CLT	Cross Laminated Timber (Çapraz Tabakalı Ahşap)
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
EN	European Norm
Glulam	Glued Laminated Timber (Tabakalı Ahşap)
MÇÇ	Merkezi Çekirdekli Çerçeve
DD-MÇÇ	Dıştan Destek Merkezi Çekirdekli Çerçeve
KK-MÇÇ	Kısmi Kafesli ve Merkezi Çekirdekli Çerçeve
P-MÇÇ	Perdeli ve Merkezi Çekirdekli Çerçeve
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UBC	The University of British Columbia

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	CLT ve tabakalı ahşap yapı elemanlarının katmanlanma şekli..... 8
Şekil 2. 2	CLT paneli oluşturan tabakaların kurt ağzı (finger joint) birleşim şekli 9
Şekil 2. 3	Glulam yapı elemanı katman detayı 10
Şekil 2. 4	Tipik tabakalı ahşap yapı malzemesi üretim aşamaları 11
Şekil 2. 5	Kavisli Glulam yapı elemanı örneği 12
Şekil 2. 6	Ahşap yapı elemanı kömürleşme kesit örneği 13
Şekil 2. 7	UBC Student Residence binası 14
Şekil 3. 1	Çalışmada kullanılan yapıya ait mimari proje ofis kat planı..... 16
Şekil 3. 2	Çalışmada kullanılan yapıya ait mimari proje konut kat planı 17
Şekil 3. 3	MÇÇ sistem, DD-MÇÇ sistem ve KK-MÇÇ sistem giriş-kolon-perde yerleşim planı 18
Şekil 3. 4	P-MÇÇ sistem kolon-giriş-perde yerleşim planı 19
Şekil 3. 5	Ahşap için tipik gerilme-şekildeğiştirme eğrisi 20
Şekil 3. 6	Ahşabın iki doğrulu gerilme-şekildeğiştirme grafikleri 21
Şekil 3. 7	Ahşabın çok eğrili gerilme-şekildeğiştirme grafikleri 22
Şekil 3. 8	Modelde kullanılan C24 ve GL28h dayanım sınıflarına ait ahşap malzemelerin gerilme-şekildeğiştirme grafikleri 25
Şekil 3. 9	CLT döşeme sistemi kesit detayı 26
Şekil 3. 10	CLT perde duvar kesit detayı..... 26
Şekil 3. 11	Glulam kolon kesit detayı 27
Şekil 3. 12	Glulam giriş kesit detayları..... 28
Şekil 3. 13	Glulam dıştan destek sistem elemanları ile kısmi kafes elemanları kesit detayları 29
Şekil 3. 14	MÇÇ sistem (Şekil 3.3'deki plan) kesitleri 30
Şekil 3. 15	DD-MÇÇ sistem (Şekil 3.3'deki plan) kesiti 31
Şekil 3. 16	KK-MÇÇ sistem (Şekil 3.3'deki plan) kesiti 32
Şekil 3. 17	P-MÇÇ sistem (Şekil 3.4'deki plan) kesiti 33
Şekil 3. 18	17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ivme kaydı 35
Şekil 3. 19	Çalışmada kullanılan 30 saniyelik deprem kaydının Fourier analizi 36
Şekil 3. 20	Çalışmada kullanılan ölçeklendirilmemiş 15 saniyelik deprem kaydının Fourier analizi..... 36
Şekil 3. 21	Çalışmada kullanılan ölçeklendirilmiş 15 saniyelik deprem kaydının Fourier analizi 37

Şekil 3. 22	17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine ait ölçeklendirilmiş ivme kaydı.....	38
Şekil 3. 23	Ölçeklendirilmemiş 30 saniyelik deprem kaydına ait spektrum	39
Şekil 3. 24	Ölçeklendirilmemiş 15 saniyelik deprem kaydına ait spektrum	39
Şekil 3. 25	Ölçeklendirilmiş 15 saniyelik deprem kaydına ait spektrum	40
Şekil 3. 26	Ölçeklendirilmiş deprem kaydının 15 saniyelik kısmına ait ivme-hız- yerdeğiştirme grafiği	41
Şekil 4. 1	MÇÇ taşıyıcı sisteme sahip yapının mod şekilleri	49
Şekil 4. 2	X doğrultusunda en büyük tepe yerdeğiştirmesi anındaki a) kat yerdeğiştirmeleri grafiği b) görel kat ötelenme oranları grafiği	56
Şekil 4. 3	Y doğrultusunda en büyük tepe yerdeğiştirmesi anındaki a) kat yerdeğiştirmeleri grafiği ve b) görel kat ötelenme oranları grafiği.....	57
Şekil 4. 4	X doğrultusunda en büyük görel kat ötelenme oranı anındaki a) kat yerdeğiştirmeleri grafiği ve b) görel kat ötelenme oranları grafiği.....	59
Şekil 4. 5	Y doğrultusunda en büyük görel kat ötelenme oranı anındaki a) kat yerdeğiştirmeleri grafiği ve b) görel kat ötelenme oranları grafiği.....	60
Şekil 4. 6	a) Tek katlı yapıya ait statik itme analiz grafiği b) 21 katlı MÇÇ sistem yapıya ait statik itme analiz grafiği	61
Şekil 4. 7	X doğrultusunda taşıyıcı sistemlerin a) En büyük kat yerdeğiştirme grafiği c) En büyük kat ivmeleri grafiği, b) ve d) Yerdeğiştirme ve ivmelerin gerçekleştiği zamanlar	62
Şekil 4. 8	Y doğrultusunda taşıyıcı sistemlerin a) En büyük kat yerdeğiştirme grafiği c) En büyük kat ivmeleri grafiği, b) ve d) Yerdeğiştirme ve ivmelerin gerçekleştiği zamanlar	63
Şekil 4. 9	Çalışmada kullanılan 15 saniyelik deprem kaydına ait Wavelet analizi.....	65
Şekil 4. 10	En büyük görel kat ötelenme oranları grafiği	66
Şekil 4. 11	X doğrultusunda taşıyıcı sistemlere ait kat ivmelerinin zamana bağlı grafikleri	67
Şekil 4. 12	Y doğrultusunda taşıyıcı sistemlere ait kat ivmelerinin zamana bağlı grafikleri	68
Şekil 4. 13	Taşıyıcı sistemlerin en üst katına ait ivmelerin büyütme oranları grafiği....	69
Şekil A. 1	MÇÇ sistemli yapının mod şekilleri	76
Şekil A. 2	DD-MÇÇ sistemin mod şekilleri.....	84
Şekil A. 3	P-MÇÇ sistemin mod şekilleri	94
Şekil A. 4	KK-MÇÇ sistemin mod şekilleri	102

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 C24 ve GL28h ahşap malzeme özellikleri.....	24
Çizelge 3. 2 Taşıyıcı sistemlere ait düğüm noktası ve eleman sayısı tablosu	34
Çizelge 4. 1 Taşıyıcı sistemlere ait periyot, frekans ve kütle katılım oranları tablosu	50
Çizelge 4. 2 Taşıyıcı sistemlere ait frekans ve kütle katılım oranları özet tablosu.....	52
Çizelge 4. 3 Gerilime tahkikleri özet tablosu	53

ÇOK KATLI AHŞAP YAPILARIN DEPREM YÜKÜ ALTINDA PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Yusuf GÜREL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Ülkemizde ve dünyada kullanımı çok eski tarihlere dayanan ahşap yapılar, betonarme ve çelik sistemlerle oluşturulan yapılara göre daha az tercih edilmektedir. Bunun başlıca sebepleri; ahşabın ortotropik bir malzeme olması, istenilen kesitlerde ve uzunluklarda ahşap yapı elemanlarının bulunamaması ve üretilmemesi, yangına karşı dayanıklılığının olmadığı düşünülmesi ve yangına karşı tasarımın bilinmemesidir. Bu sebepler teknolojinin gelişmesi ile (çapraz tabakalı ahşap paneller ve tabakalı ahşap yapı elemanlarının geliştirilmesi ile) zamanla ortadan kalkmıştır.

Günümüz teknolojisi ile fabrikalarda istenilen boyutlarda ve şekillerde kolon, giriş, ahşap perde duvar vb. ahşap yapı elemanları oluşturulabilmektedir. Böylelikle mühendis ve mimarlar için tasarım çeşitliliği gittikçe artmaktadır. Dünyada ahşap yapı elemanları kullanılarak tasarımı ve inşası tamamlanmış birçok ahşap yüksek bina, köprü ve stadyum yapıları mevcuttur.

Çok katlı ahşap yapı tasarımı konusunda, yurt dışında yapılan çalışmalarda genellikle rüzgâr yükü dikkate alınarak dinamik analizler yapılmış ve tasarımlar buna yönelik olmuştur. Bu çalışmada ise ülkemizin aktif faylar üzerinde bulunan bir bölgede olması sebebiyle ortak mimari plana sahip ve farklı taşıyıcı sistemli çok katlı ahşap yapıların deprem yükü altında performansları incelenmiştir.

Bu çalışmayla tabakalı ahşap kolon-kiriş elemanları, çapraz tabakalı ahşap panellerden oluşan perde duvar ve döşeme sistemleri ile tabakalı ahşap kafes elemanları kullanılarak tasarlanmış 21 katlı 4 farklı ahşap yapının dinamik analizleri yapılarak performansları incelenmiştir.

Dinamik analizlerde 1999 yılında gerçekleşen Kocaeli deprem kaydının ölçeklenmiş bir hali kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek hangi yapı tipinin seçilmiş deprem kaydı altında daha uygun performans sergilediği incelenmiştir. Taşıyıcı sistemi perdeli ve merkezi çekirdekli sistem olan ahşap yapının diğer sistemlere göre daha iyi dinamik performans sergilediği görülmüştür. Ayrıca diğer yapı taşıyıcı sistemlerinin de deprem kuşağındaki ülkemizde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sebeple, ülkemizdeki deprem yönetmeliğinin kapsamı dışında kalan bu yükseklikteki ve ahşap yapıların ülkemizde de kullanılabilmesi için 01.01.2019 da yürürlüğe girecek olan yeni deprem yönetmeliğinin kapsamı ilerleyen yıllarda daha da genişletilebilir. Ahşap yapıların taşıyıcı sistemleri üzerine yapılacak deneysel ve nümerik çalışmalar desteklenmesinin ve ülkemizde ahşap yapı bilgi seviyesinin artırılması tavsiye olunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok katlı ahşap yapılar, çapraz tabakalı ahşap, tabakalı ahşap, dinamik performans, deprem

**INVESTIGATION OF PERFORMANCES UNDER EARTHQUAKE LOAD OF
MULTI-STOREY TIMBER BUILDINGS**

Yusuf GÜREL

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Timber structures based on very old dates in our country and the world have been less preferred than those constructed as reinforced concrete and steel systems. The main reasons for this are; that wood is an orthotropic material, wooden structural elements can not be found and produced in desired sections and lengths, it is thought that there is no resistance against fire, and design against fire is unknown. These reasons have been eliminated from time to time with the development of technology (with the development of CLT panels and glulam building elements).

With today's technology, columns, beams, shear walls, etc. in desired sizes and shapes in factories wooden building element can be formed. Therefore, the range of designs for engineers and architects is steadily increasing. There are many wooden made high buildings, bridges and stadium structures in the world that have been designed and built using these wooden building elements.

As for the design of multi-storey timber structure, dynamic analyzes have been made considering the wind load in the studies done abroad and the designs have been directed towards this. In this study, because of the fact that our country is an located on active faults, the performance of a multi-story wooden structure under earthquake load has been investigated.

In this study, the performance of four different wood structures of twenty one floors designed with Glulam column-beam elements, CLT panels, shear wall and floor systems and Glulam cross elements were performed by dynamic analyses.

In the dynamic analyzes, a saceled record derived from the 1999 Kocaeli earthquake record was used. The results obtained were evaluated and it was investigated which type of structure exhibited more appropriate performance under the selected earthquake recording. It has been seen that wooden structure with shear wall-central core system exhibits better dynamic performance than other systems. Moreover, other structural carrier systems have also reached the conclusion that they can be used in our earthquake-stricken country. For this reason, the scope of the new earthquake regulation which will enter into force on further January 01, 2019 may be extended to cover seismic design rules of multi-storey wooden buildings in the following years. It has been recommended that the number of experimental and numerical studies be carried out on the wooden structural systems and the level of wooden structural knowledge in our country should be increased.

Keywords: Multi-storey timber buildings, cross laminated timber (CLT), glued laminated timber (glulam), dynamic performance, earthquake

1.1 Literatür Özeti

Çok katlı ahşap yapıların dinamik analizleri konusunda daha önce yapılan çalışmalarda karşılaşılan en önemli yapısal tasarım problemleri, yapının tepe noktasındaki ivme ve yerdeğiştirme seviyeleridir. Daha önce yapılan çalışmaların çoğunluğunda ahşap yapıda çapraz tabakalı ahşap panellerden oluşturulmuş perde duvar ya da tabakalı ahşap elemanlar incelenmiştir. Özellikle Kanada, Yeni Zelanda ve Kuzey Avrupa ülkelerinde konuyla alakalı birçok çalışma yapılmıştır.

Erik Serrano ve Bertil Enquist 2010 yılında yaptıkları deneysel çalışmalarda 3 katmanlı çapraz tabakalı ahşap malzemenin basınç testlerini yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda basınç mukavemetinin değeri, uygulanan kuvvetin konumuna, yüzeydeki liflerin yönüne, uygulama alanının göreceli boyutuna ve ağaç yaş halkalarının kesitteki durumuna göre farklılıklar gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. [1]

Vessby, Johan 2011 yılında yaptığı doktora çalışmasında, çok katlı ahşap yapılarda etkili olan rüzgar yüklerinin yapıyı nasıl etkilediğini ve çapraz tabakalı ahşap paneller ile düğüm noktasında kullanılan bağlantı elemanlarının 3D modellerini oluşturarak yapının yatay yerdeğiştirmelerine olan katkılarını araştırmıştır. [2]

Shiling Pei, J. Daniel Dolan, Hongyan Liu, John van de Lindt ve James M. Ricles tarafından 2012 yılında yayınlanan makalede çapraz tabakalı ahşap paneller ile inşa edilen yapıların sünek ara katlar ile desteklenmesi durumu araştırılmış ve çapraz tabakalı ahşap panellerden oluşturulmuş perde duvarlar için birtakım deneyler yapılmıştır. Yapılan

çalışmalarda sünek ara kat oluşturmanın yapıdaki yüksek ivmelenmeyi azalttığı tespit edilmiştir. [3]

Ingunn Utne tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada Norveç’de yapılması planlanan 14 katlı ahşap bir yapının ön tasarımı yapılarak, rüzgâr yükleri altında yapının dinamik özellikleri ve bağlantılardaki rijitlik etkisi araştırılmış ve tasarım için öneriler sunulmuştur. Tasarım aşamasında tahmin edilen sönüm oranının, dinamik yükler altında yapının tepkisini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. [4]

Shiling Pei, Marjan Popovski ve John W. van de Lindt tarafından 2012 yılında yapılan çalışmalarda çapraz tabakalı ahşap perde duvarlarda farklı bağlantılar kullanılarak bir seri testler yapılmış ve çapraz tabakalı ahşap paneller ile tasarlanacak yapılarda kullanılabilir R faktörü (Taşıyıcı sistem davranış katsayısı) için birtakım ifadeler önerilmiştir. [5]

Thomas Andersson ve Lina Hammarberg tarafından 2015 yılında yapılan tez çalışmasında, orta yüksek katlı ahşap yapılar için (15 kattan az) taşıyıcı sistemler araştırılmış ve karma sistemler için analizler yapılarak sonuçları değerlendirilmiştir. [6]

Ryan S. Ganey tarafından 2015 yılında çapraz tabakalı ahşap duvar davranışını ve sismik performansını anlamak için bir dizi testler yapılmıştır. Uygulanan eşdeğer statik çevrimsel yük protokolü sonucunda çapraz tabakalı ahşap duvarın sünek bir davranış sergilediği sonucuna ulaşmıştır. [7]

R. Brandner ve G. Schickhofer 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında, yükün uygulandığı yüzey alanının (temas alanı), çapraz tabakalı ahşap elemanın mukavemet ve rijitlik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. [8]

Bruno Dujic, Simona Klobcar ve Roko Zarnic tarafından 2017 yılında yayınlanan makalede, sismik bölgelerde yapılacak ahşap yapılarda, boşluklu çapraz tabakalı ahşap duvarların etkisi bir takım deneysel ve nümerik çalışma ile araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, duvarda oluşan yıkımın daha çok bağlantı noktalarında meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, apraz tabakalı ahşap perde duvarlardaki %30’ u aşmayan boşluk için rijitlik %50 azaltılarak sağlıklı bir hesap yapılabilir önerisinde bulunulmuştur. [9], [10]

1.2 Tezin Amacı

Mühendisler yüksek yapı tasarımında daha çok beton ve çelik gibi yapı malzemelerini kullanmaktadır. Ahşabın ortotropik bir malzeme olması, dolayısıyla her yönde farklı mekanik özelliklere sahip olması tasarımcılar için belirsizlikleri oldukça arttırmaktadır. Bu sakınca günümüz teknolojileri ile aşılmaya başlanmış ve çapraz tabakalı ahşap paneller ile tabakalı ahşap yapı elemanları sayesinde ahşap malzemenin zayıf tarafları iyileştirilmektedir. Bu çalışmada, son yıllarda geliştirilen bu malzemeler ile tasarımı yapılan çok katlı ahşap yapıların dinamik analizleri yapılarak performansları incelenecektir.

Çalışmanın temel amacı; çok katlı ahşap yapılarda oluşabilecek tasarım problemlerin araştırılması ve taşıyıcı sistem çeşitlerinin deprem yükü altında performanslarının incelenecek olmasıdır. Yapılan dinamik analizlerde, zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılacaktır. Deprem yükleri altındaki merkezi çekirdekli çerçeve sistem, perdeli ve merkezi çekirdekli çerçeve, dıştan destekli ve merkezi çekirdekli çerçeve ve kısmi kafesli merkezi çekirdekli çerçeve sistemlerle tasarlanmış ahşap yapıların deprem performansları incelenecektir.

1.3 Bulgular

Çalışma kapsamında dört farklı ahşap yapı taşıyıcı sistemi için sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve deprem yükü altında analiz edilmiştir. Oluşturulan modellerin uygunluğunu teyit amacıyla referans alınan çalışma kapsamında incelenen yapı sistemleri bu çalışmada kullanılan farklı modelleme tekniği ile karşılaştırılmıştır. Yapı mod şekilleri ve hâkim periyotları kontrol edilerek modellemenin uygunluğu doğrulanmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, deprem yükleri altındaki çok katlı ahşap taşıyıcı sistemlerde perdeli ve merkezi çekirdekli çerçeve sistemin görece kat ötelenmeleri ve tepe noktasındaki en büyük yerdeğiştirme açısından daha iyi sonuç verdiği bulgusuna ulaşılmıştır. Katlara gelen en büyük ivmeler incelendiğinde ivmelerin katlara göre değişkenlik gösterdiği ve kat ivmelerine göre yapılacak tasarımlar için yapı sistemi açısından bir öneride bulunmanın uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

ÇOK KATLI AHŞAP YAPI SİSTEMLERİ VE BİLEŞENLERİ

Günümüzde şehirlerdeki nüfusun yoğunlaşması, yüksek arsa fiyatları ve diğer birçok etken düşeyde yapılaşmanın artmasına sebep olmuştur. Çok katlı yapıların yaygınlaşmaya başladığı 19. yy. da yapı malzemesi olarak genellikle çelik ve beton kullanılmıştır. 1885 yılında ABD'nin Chicago şehrinde William Le Baron Jenney tarafından yapılan "Home Insurance" binası "Council on Tall Buildings and Urban Habitat" tarafından dünyanın ilk yüksek binası olarak kabul edilmiş ve tescillenmiştir [11]. Bu tarihten sonra inşa edilen birçok yüksek yapıda, çelik, betonarme ya da karma sistemler kullanılmıştır. Son yıllarda gelişen ahşap teknolojisi sayesinde çok katlı yapılar ahşap olarak da tasarlanabilmektedir. 2017 yılında Kanada' da yapımı tamamlanan 18 katlı (53 m yüksekliğinde) UBC Students Residence, Norveç'te 2018 sonunda tamamlanması planlanan 18 katlı (81 m yüksekliğinde) Mjøstårnet binası ve yine Norveç' in Bergen şehrinde yapımı süren 14 katlı bina çok katlı ahşap yapıların en yeni örnekleridir.

2.1 Yapı Malzemesi Olarak Ahşap

Geçmişten günümüze kadar, kat sayısının sınırlı olduğu yapılar için sıkça tercih edilen yapı malzemesi olan ahşap, özellikle ormanlarla kaplı bölgelerde temel yapı malzemesi olarak kullanılır. Bulunduğu ortamda doğallığından kaynaklı sıcak bir atmosfer yaratması, yapımının ve işlenmesinin kolay olması, çok iyi bir doğal izolasyon görevi görmesi, yenilenmesi ve tamiratının kolay olması ve özellikle ağırlığına oranla yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olması ahşap malzemenin en çok tercih edilen yapı malzemeleri arasına girmesine sebep olmuştur.

Ahşap malzemenin yüksek yapılar için kullanımı, yangın güvenliği endişesi sebebiyle uzun yıllar boyunca sınırlandırılmıştır. Malzemenin ortotrop olması ve istenilen kesitlerde ve şekillerde yapı elemanı üretiminin daha önceleri mümkün olmaması da çok katlı yüksek yapılarda ahşap malzemenin kullanımının önündeki en büyük engel olmuştur. Günümüzde yangına karşı güvenliğin tasarım ilkeleri içerisinde yer alması, çapraz tabakalı ahşap ve tabakalı ahşap gibi ahşabın negatif yönlerini ortadan kaldıran yapı malzemelerinin geliştirilmesi, ahşap malzemenin çok katlı yapılar için kullanımına olanak tanımıştır.

2.2 Ahşabın Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Ahşap, farklı yönlerde benzersiz ve bağımsız özelliklere sahip ortotropik bir yapı malzemesidir. Ahşap malzemenin özellikleri Uzunlamasına (L), Teğetsel (T) ve Radyal (R) yönlerde farklılık gösterir. Ahşap, Radyal ve Teğetsel yönde birbirine yakın değerlere sahip olduğu için yönetmeliklerde ve uygulamalarda genellikle iki eksen dikate alınır; liflere paralel (L) ve liflere dik doğrultu (R, T).

Ahşaba liflere paralel doğrultuda aksenal çekme gerilmesi uygulandığında orantılı sınıra kadar doğrusal elastik davranış gösterir. Bu noktadan sonra ihmal edilebilir seviyede plastik şekildeğiştirmeler gözlenir. Fakat ahşap liflere paralel yönde aksenal basınç gerilmesine maruz kaldığında belirgin bir plastisite görülür. Liflere dik yönde uygulanan basınç gerilmelerinde de sonuç liflere paralel yöndekine benzer olur.

Bunun yanında özgül ağırlık, nem içeriği, ısıl genişleme ve yoğunluk ahşap davranışını doğrudan etkileyen fiziksel özelliklerdir.

2.2.1 Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, bir kereste numunesinde bulunan ahşap maddenin görelî ölçüsüdür. Belirli bir nem içeriğine sahip ahşap numunenin, 4°C sıcaklıktaki 1000 kg/m³ lük suyun özgül ağırlığına oranıdır. Çoğu zaman ahşabın özgül ağırlığı belirlenirken, fırın kuru ağırlık ve yeşil ahşap (nem içeriği > %30) hacmi ya da fırın kuru ağırlığı ve nem içeriği %12 olan numune hacmine dayanmaktadır. Nem içeriğindeki farklılık ahşap hacminde değişikliğe

sebeup olması sebebiyle ahşap diğer birçok malzemeden farklıdır. Yapısal ahşap için özgül ağırlık belirtilirken çoğunlukla fırın kuru ağırlık ve %12 nem içeriğine göre verilmektedir.

2.2.2 Nem İçeriği

Su ahşabın bünyesinde; hücre duvarları içerisinde moleküllere bağlı olan “Bağlanmış Su” ve hücre boşluklarında “Serbest Su” olarak iki şekilde bulunur. [12] Nemli ahşap kurumaya başladığında öncelikle serbest su ahşap içerisinde uzaklaşır. Ağaç hücre duvarlarının suya doğgun olduğu fakat serbest su miktarının sıfıra yaklaştığı andaki nem içeriğine “Lif Doğgunluk Noktası” denir. Bu nem içeriği çoğu zaman %30 seviyelerindedir. Lif doğgunluk noktasının üzerindeki ahşap boyutsal olarak kararlıdır. Bu nem içeriği azalmaya başladığında ahşap malzeme küçülür, tekrar artmaya başladığında %30 nem içeriğine kadar hacimsel büyüme olur. Bu küçülme ve büyüme miktarları her üç eksen için de farklı değerlerdedir. Liflere paralel doğrultuda %0,1-0,2 civarındayken, diğer iki yönde bu değerler daha büyüktür.

2.2.3 Isıl Genleşme

Kuru ahşap iyi bir yalıtıcıdır ve çevresindeki sıcaklık değişimlerine hızlı tepki vermez. Bu nedenle termal genleşme ve büzülme hızları çevresindeki havanın sıcaklık değişiminin gerisinde kalır.

Kuru ahşap ısıtıldığında genişler, soğutulduğunda büzülür. Bu genişleme ve daralma miktarları ortotrop olması sebebiyle her yönde farklılıklar gösterir. Kuru ahşabın liflere paralel yöndeki genleşmesi ve büzülme katsayıları türlerden ve özgül ağırlıktan bağımsızdır. Fahrenheit derece başına 0,0000017-0,0000025 arasındadır. Bu değer liflere dik yönde 5 ila 10 kat arasında daha büyüktür. [13]

Nem içeren ahşap ise sıcaklık değişimlerine kuru ahşaptan farklı şekilde tepki verir. Çoğunlukla ısı genleşme ve büzülme, nem içeriğindeki değişimlerden kaynaklı büyüme ve küçülmeye kıyasla önemsiz sayılabilecek değerlerdedir.

Nem içeren ahşap ısıtıldığında ilk nem içeriği %3-4 seviyelerinde ise ahşap büzülme eğilimi gösterir. Eğer ısıtılan ahşaptaki nem miktarı %8-20 seviyelerinde ise önce ısı sebebiyle genleşme etkisi görülür, sonrasında ısınan ahşaptaki nem kaybı nedeniyle

büzülme eğilimi görülür. Çoğu zaman yapı malzemesi olarak kullanılan ahşapta ısı genleşme etkileri önemsizdir.

2.2.4 Yoğunluk

Bir malzemenin yoğunluğu belirli koşullar altında birim hacim başına düşen kütle miktarı olarak belirlenir. Ahşap yapısı itibariyle higroskopik (nemçeker) bir malzeme olması sebebiyle yoğunluğu iki faktöre bağlıdır; saf ahşap madde ağırlığı ile nem ağırlığı. Ahşabın yoğunluğu nem içeriğine göre değişir. Yoğunluk değerleri genellikle üç nem koşulundan birine göre verilir:

- Nem içeriğinin sıfıra eşit olduğu koşul (oven dry)
- Nem içeriğinin %30 olduğu koşul (yeşil ahşap)
- Nem içeriğinin yüzde olarak $0 < \text{nem} < 30$ arasında olduğu koşullar

Yapısal uygulamalarda %12 nem içeriğine sahip endüstriyel malzemeler kullanılmaktadır.

2.2.5 Mekanik Özellikler

Ahşap ideal bir şekilde elastik değildir. Yükleme kaldırıldığında bazı şekildeğişiklikler kalıcı olup, bazıları da belirli süre içerisinde geri kazanılır. Ahşap teknik olarak viskoelastik bir malzeme olarak kabul edilmekle birlikte mühendislik uygulamalarında elastik bir malzeme olarak kabul edilir.

Her yönde eşit özelliklere sahip izotropik bir malzeme için elastik özellikler üç elastik sabitle; Elastisite Modülü (E), Kayma Modülü (G), Poisson Oranı (ν) tanımlanırken, ahşap ortotropik bir malzeme olması sebebiyle elastik davranışı tanımlamak için on iki sabite ihtiyaç duyulmaktadır; Elastisite Modülü (E_L, E_T, E_R), Kayma Modülü (G_L, G_T, G_R), Poisson Oranı ($\nu_{LT}, \nu_{TL}, \nu_{TR}, \nu_{RT}, \nu_{LR}, \nu_{RL}$). Bu sabitler ağaç türleri arasında ve nem içeriği ile özgür ağırlığa göre değişiklik gösterir.

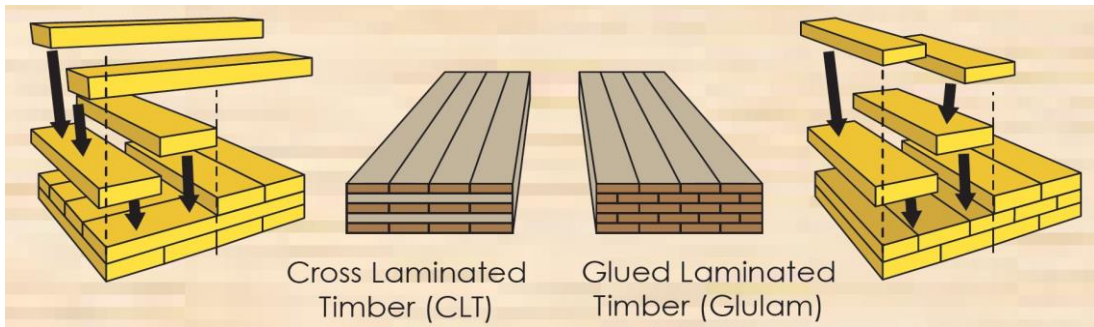
2.3 Çapraz Tabakalı Ahşap

Çapraz tabakalı ahşap “Cross Laminated Timber” (CLT) yapı elemanları 1990’ ların başında geliştirilen ve birbirine katmanlar şeklinde yapıştırılarak oluşturulan bir mühendislik ürünüdür. CLT paneller hem duvar olarak düzlem içi yönlerde nispeten yüksek mukavemete ve rijitliğe sahiptir, hem de döşeme olarak düzlem dışı kullanım için oldukça idealdir.

Ahşabın mekanik özellikleri liflere paralel doğrultuda yüksek değerler almasına rağmen, liflere dik yönde yeterli seviyede değildir. Ahşabın ortotropik yapısından kaynaklanan bu zayıf yönünü CLT yapı elemanları ortadan kaldırmaktadır.

Dünya genelinde birçok yönetmelik ve standartta ahşabın mekanik özelliklerine ait değerler verilirken CLT ürünleri için bir başka deyişle yapma kompozit kesitler için herhangi bir değer ya da hesaplama modeli mevcut değildir.

CLT ürünler oluşturulurken Şekil 2.1’de görüldüğü gibi katmanların 0 ve 90 derece açılarla birbirine dik yapıştırılarak tek parça şekline getirilmesi ürünün belli seviyede izotrop gibi davranmasını sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak da hem istenilen kesit kalınlıklarına ulaşılabilmekte hem de tam bir izotropi olmasa da izotrop davranışa yakın değerler elde edilmektedir. Bunun sonucu olarak da CLT çok katlı ahşap yapılar için vazgeçilmez bir malzeme olmaktadır.



Şekil 2. 1 CLT ve tabakalı ahşap yapı elemanlarının katmanlanma şekli [14]

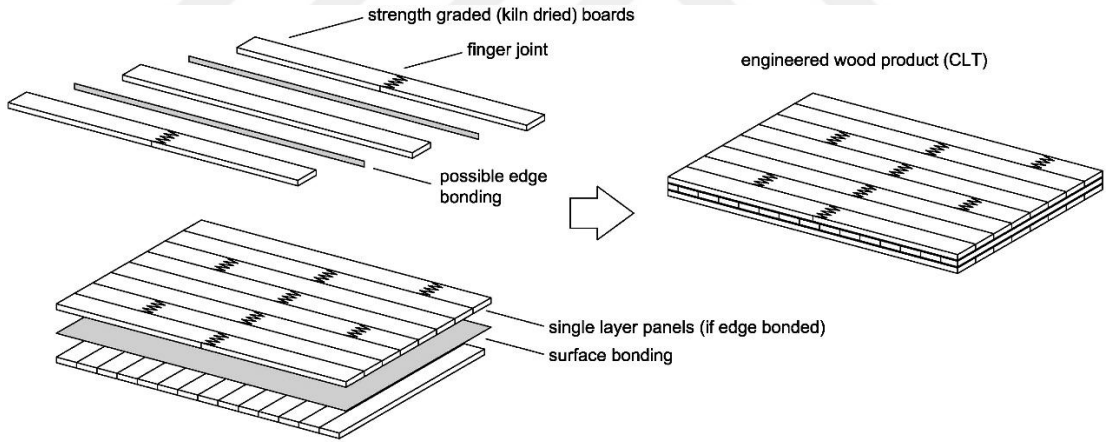
CLT ürünlerde katmanlar genellikle 3, 5, 7 v.b şekilde tabakalanarak oluşturulmaktadır.

CLT ürünler farklı katman kalınlıklarına sahip malzemelerden oluşturulabilmektedir. Temelde 19 mm, 27.5 mm, 35 mm ve 42 mm kalınlığında tabakalar birleştirilerek herhangi bir kalınlıkta CLT panel üretilebilir.

2.3.1 CLT Yapı Elemanlarının Faydaları ve Sakıncaları

CLT yapı elemanları, hafifliği ve istenilen boyutlarda üretilebilmesi sebebiyle mimar ve mühendisler için sevilen bir ürün olmuştur. İstenilen kesitlerde üretilmesi, kesit alanının belirlenebilmesi sebebiyle aksel yük kapasitesinin yüksek olması ve hem aksel taşıma gerektiren döşemelerde hem de kesme kapasitesinin çok yüksek olması sebebiyle perde duvar yapı elemanı olarak kullanılması, CLT yapı elemanını tasarımcılar için vazgeçilmez kılmaktadır.

Üretim şekli itibarıyla ince katmanlardan oluşması, hatalı kısımların tespiti ve düzeltilmesi için büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu da yapısal kusurların en düşük seviyede olmasını sağlamaktadır. Özellikle üretim sürecinin ikinci aşamasında hatalı kısımlar kesilerek çıkarılır ve tabakalar Şekil 2.2’de görüldüğü gibi kurt ağzı şeklinde tekrar yapıştırılarak sürekli bir panel oluşturulmuş olur. Panellerin üretiminin fabrikasyon olması sebebiyle hem inşaa süresinin hızlı olması hem de montajının kolay olması sağlanır.



Şekil 2. 2 CLT paneli oluşturan tabakaların kurt ağzı (finger joint) birleşim şekli [16]

CLT panellerin tek parça şeklinde üretilebiliyor olması ve ahşap malzemenin doğal bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olması CLT panelleri vazgeçilmez kılan diğer faktörlerdir. Ahşap aynı zamanda akustik açıdan da diğer yapı malzemelerine üstünlük sağlamaktadır. Kullanıldığı ortamlarda insanlar üzerinde bıraktığı sıcak his birçok işletmenin ahşap ürünleri tercih etmesine sebep olmaktadır.

CLT panellerin faydalarına karşın, sismik hareketlerin yüksek seviyede olduğu bölgelerde mevcut yapım yöntemi ile üretilen kesitlerin yüklenmesi sonucunda elde edilen düzlem içi yük-değiştirme eğrisinin yeterince sünek davranmaması ve dolayısıyla yeterli enerji tüketmemesi geliştirilmeye açık yönleridir. Ayrıca henüz yönetmeliklerde sıkça kullanılan kalınlık ve türdeki kesitler için belirlenmiş bir hesap şeklinin olmaması ve çapraz katmanlar (kompozit, tabakalı yapı) sebebiyle hesapların karmaşık olması mühendisler açısından zorluk yaratmaktadır. CLT panellerin eğilmesi ya da bükülmesi kolay olmadığı için mimari açıdan da değişik şekiller yaratmak pek mümkün değildir.

2.4 Tabakalı Ahşap

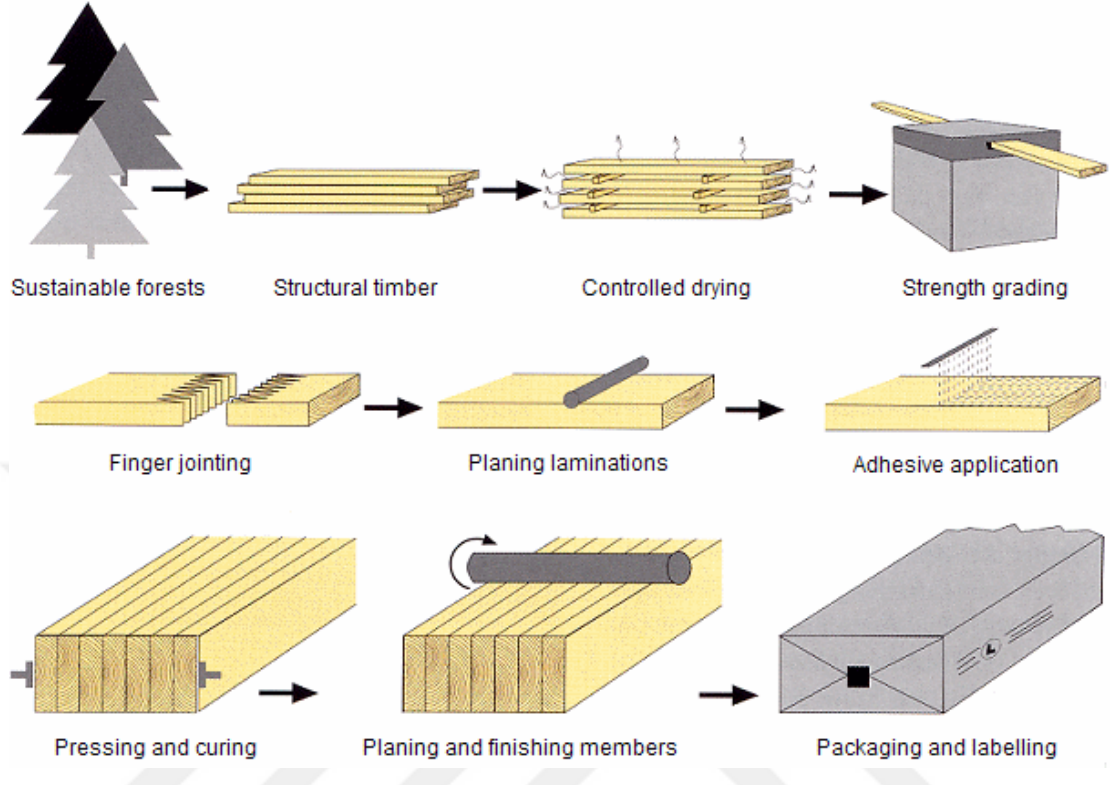
Tabakalı ahşap “Glued Laminated Timber” (Glulam), CLT gibi yeni bir yapı malzemesidir. Keşfedilmesi ve kullanılması CLT’ den daha eski tarihlere dayansa da diğer yapı elemanlarına kıyasla yenilikçi sayılabilecek bir üründür. 1900’ lü yılların başından itibaren Avrupa ve ABD’ de kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle ahşap yapı elemanlarındaki en büyük eksikliklerden olan kesit yetersizliğini Şekil 2.3’de görüldüğü gibi tabakaların üst üste yapıştırılması yoluyla aşmak çok kolay olmuştur.



Şekil 2. 3 Glulam yapı elemanı katman detayı [17]

Tabakalı ahşap üretim süreci Şekil 2.4’de görüldüğü gibi beş adımda tamamlanmaktadır; kütüklerin çapraz kesilmesi, kesilen ahşabın kırılması ve derecelendirilmesi, hazırlanan

tabakaların kurt ağızı şeklinde kesilerek birleştirilmesi (finger joint), kenar yapıştırmasının yapılması ve yüz tutkalı uygulamasının yapılması.



Şekil 2. 4 Tipik tabakalı ahşap yapı malzemesi üretim aşamaları [15]

Glulam, ahşap tabaka elemanlarının, güçlü ve neme karşı dayanıklı yapıştırıcılar ile bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş yapı elemanlarıdır. Düz kiriş ya da kolon gibi çerçeve elemanları haricinde Şekil 2.5’de görüldüğü gibi kavisli yapı elemanları da dahil birçok türde üretilmesi mümkündür. Özellikle büyük kesit gereksinimleri olan çok katlı yapılarda, köprü geçişlerinde, büyük açıklıkların geçildiği kapalı alanlarda ve birçok çatı kapamalarında büyük fayda sağlamaktadır. Hafif olması ve fabrikasyon olarak üretilmesi sebebiyle uygulamasının kolay olması Glulam ürünlerini vazgeçilmez kılmaktadır. Standart boyutların yanı sıra, projelere ve ihtiyaçlara özel olarak da üretilmesi mümkün bir malzemedir.



Şekil 2. 5 Kavisli Glulam yapı elemanı örneği [18]

Glulam yapı ürünlerinde enine kesitin alt ve üst kısımlarında, dayanım sınıfı daha yüksek olan tabakalar kullanılırken, gerilmelerin düşük olduğu enine kesitin geri kalan kısımlarında daha düşük bir mukavemet sınıfına ait tabakalar kullanılabilir. Bu durumda Glulam ürün “c” harfi (combine) ile isimlendirilir. Bunun yanı sıra kullanılan tüm tabakalar aynı sınıftan da olabilir. Bu durumda Glulam ürün “h” harfi (homogeneous) ile isimlendirilir.

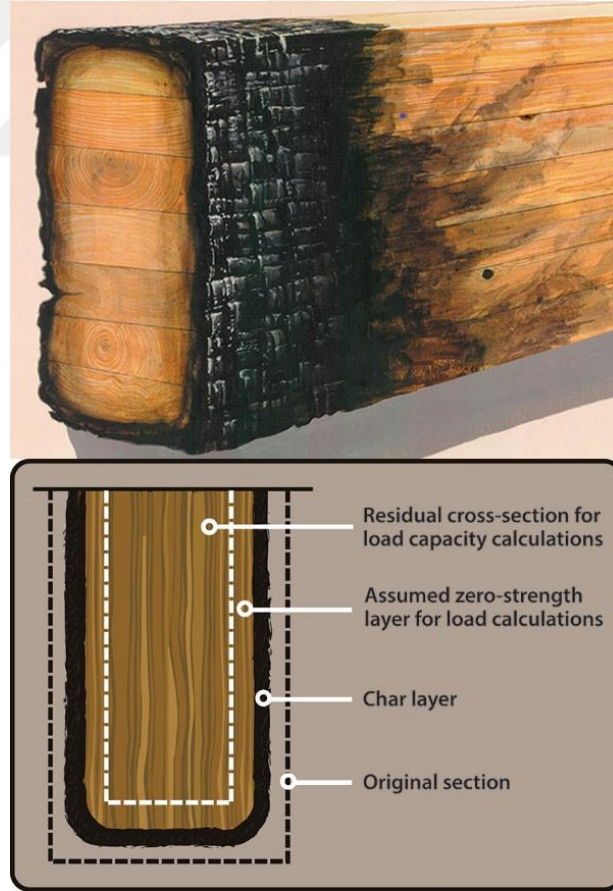
2.4.1 Glulam Yapı Elemanlarının Faydaları ve Sakıncaları

Glulam yapı elemanları özellikle ağırlıklarına göre en güçlü yapı elemanlarından biridir. İstenilen boyutlarda üretilebildiği için tasarımcılar için sınırlar daha geniştir. Üretimi sırasında işlenebilirliği beton ve çelik gibi diğer yapı malzemelerine kıyasla çok daha

rahattir. Diğer ahşap ürünler gibi Glulam yapı elemanları da insanların ortama ısınmasını sağlayan doğal çekici bir üründür.

Ahşap ürünlerin tamamında olduğu gibi üretiminde diğer yapı elemanlarına kıyasla daha az enerji harcanır. Aynı zamanda bilinenin aksine diğer yapı malzemelerine kıyasla yangına daha dayanıklıdır. Özellikle iyi tasarlanmış bir ahşap kesitte, kömürleşmeden sonra kesitin iç kısımlarına ısı geçişinin sınırlı sebebiyle, ahşap taşıyıcı elemanların yangın anındaki kesit kayıplarından kaynaklı yıkımlar önlenmektedir.

Ahşap konusunda tasarımcılar ve kullanıcılar için en büyük endişelerden biri de yangın güvenliğidir. Aslında Glulam ve CLT panellerle tasarımı yapılacak bir yapıda, tasarımcı tarafından gerekli hesaplar yapıldıktan sonra yangın konusunda en güvenli yapı elemanlarından biri olmaktadır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi ahşap yapı elemanlarının dış kısımlarında, yangın anında oluşan kömür tabakası ısının ve ateşin daha da içe gitmesini engelleyerek taşıyıcı sistemin ayakta kalmasını sağlamaktadır.



Şekil 2. 6 Ahşap yapı elemanı kömürleşme kesit örneği [19]

2.5 Ahşap Yapı Taşıyıcı Sistemleri

Çok katlı ahşap taşıyıcı sistem tasarımında merkezi çekirdekli çerçeve sistem, dıştan destekli ve merkezi çekirdekli sistem, perdeli ve merkezi çekirdekli çerçeve sistemler, kısmi kafesli merkezi çekirdekli çerçeve sistemler ve birden çok sistemin bir arada kullanıldığı Kompozit Sistemler kullanılmaktadır.

Farklı ülkelerde yapılmış ya da yapılmakta olan ahşap binalarda bu taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Kanada'da yapımı tamamlanan ve Şekil 2.7'de görülen UBC Student Residence projesinde yapının iki kenarında betonarme merkezi çekirdek ve diğer kısımlar tamamen ahşap olarak tasarlanırken Avustralya'nın Melbourne şehrinde yapılan 10 katlı bina tamamen ahşap olarak yapılmıştır.



Şekil 2. 7 UBC Student Residence binası [20]

Bu tez kapsamında performans analizi yapılan taşıyıcı sistemler merkezi çekirdekli çerçeve sistem, dıştan destekli ve merkezi çekirdekli çerçeve, Perdeli ve merkezi çekirdekli çerçeve sistem ve kısmi kafesli merkezi çekirdekli çerçeve sistemler olarak belirlenmiştir.

YAPI GEOMETRİSİ VE ANALİTİK MODEL

Bu tez kapsamında statik ve dinamik analizlerde kullanılacak örnek yapı, Boellaard'ın yüksek lisans tezinden seçilmiştir. [21]

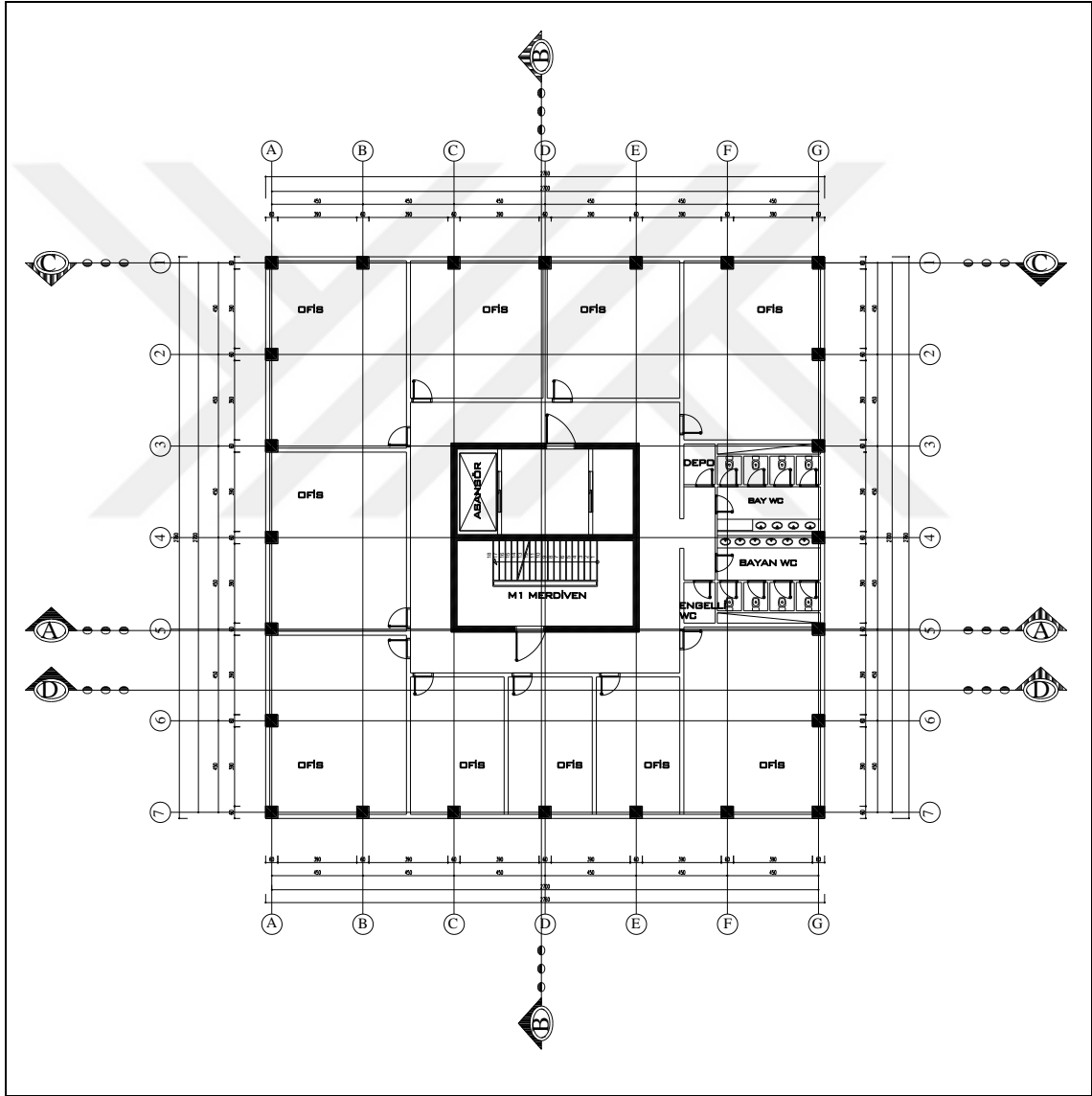
Bu örnek yapı, konut ve ofis olarak tasarlanmış, 27x27 m boyutlarında, merkezi çekirdek ve çevresinde kolon-kiriş çerçeve elemanlardan oluşan bir plana sahiptir. 21 kattan oluşan bu yapının kat yükseklikleri 3,20 metre olup, toplam bina yüksekliği 67,20 metredir. Bu tez kapsamında modellenen bina için kat yükseklikleri 2,95 metre ve toplam bina yüksekliği 61,95 metre olarak alınmıştır.

Bu örnek yapıda CLT yapı elemanları ortotropik tek bir tabakadan oluşan malzeme olarak modellenirken, bu çalışmada tüm CLT kesitler kompozit olarak tabakalı şekilde modellenmiştir. Ayrıca merkezi çekirdekteki kapı yerleri statik analizde boşluksuz olarak modellenirken bu tez kapsamında bu alanlar boşluklu olarak modellenmiştir. Yapılmış çalışmada kat döşemelerinde bulunan nervür kiriş aralıkları 60 cm iken, bu tez kapsamında yapılan çalışmada aralık 75 cm olarak modellenmiştir.

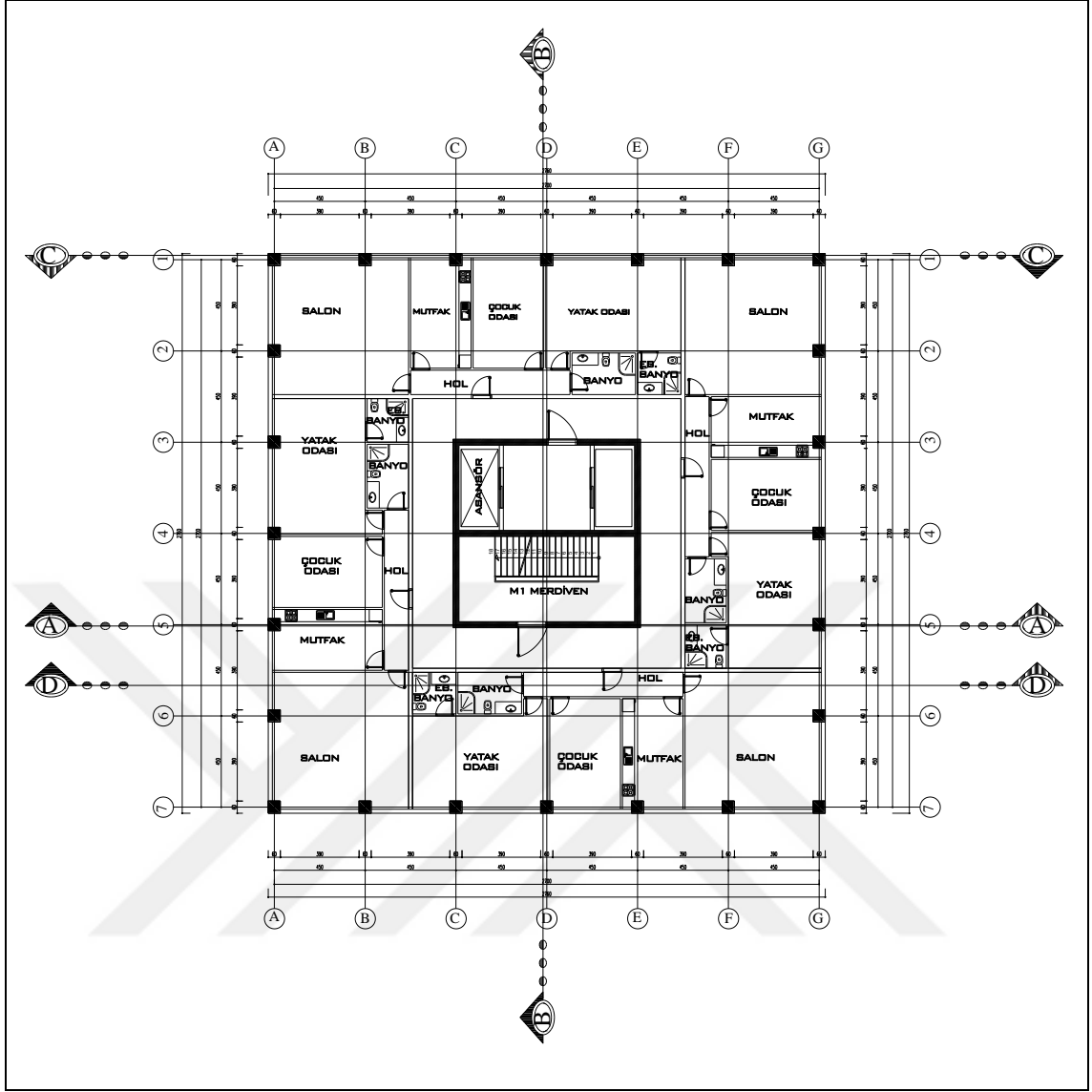
Modelin kalibrasyonu için tasarımı yapılan bina toplamda 10 kN/m² sabit ve hareketli yük ile yüklenerek modal analiz yapılmış ve yapı periyodu ile mod şekilleri incelenmiştir. Bu tez kapsamında modellenen yapının periyodu T=2,63 sn olarak bulunmuştur. Referans çalışmadaki serbest titreşim analizi sonucunda yapı periyodu T=2,38 sn olarak bulunmuştur.

3.1 Mimari Plan

Tez kapsamında planı ve eleman kesitleri kullanılacak yapı tamamen ahşap olarak tasarlanmıştır. Yapının ilk altı katı Şekil 3.1’de görüldüğü gibi ofis alanı olarak tasarlanmış, diğer katlar ise Şekil 3.2’de görüldüğü gibi konut alanı olarak tasarlanmıştır. Merkezi çekirdek ve kat döşemeleri çapraz tabakalı ahşap olarak tasarlanmıştır. Dış çerçeve kolonlar, kirişler, dıştan destek sistem elemanları ve kısmi kafes elemanları ise tabakalı ahşap yapı elemanları olarak planlanmıştır.



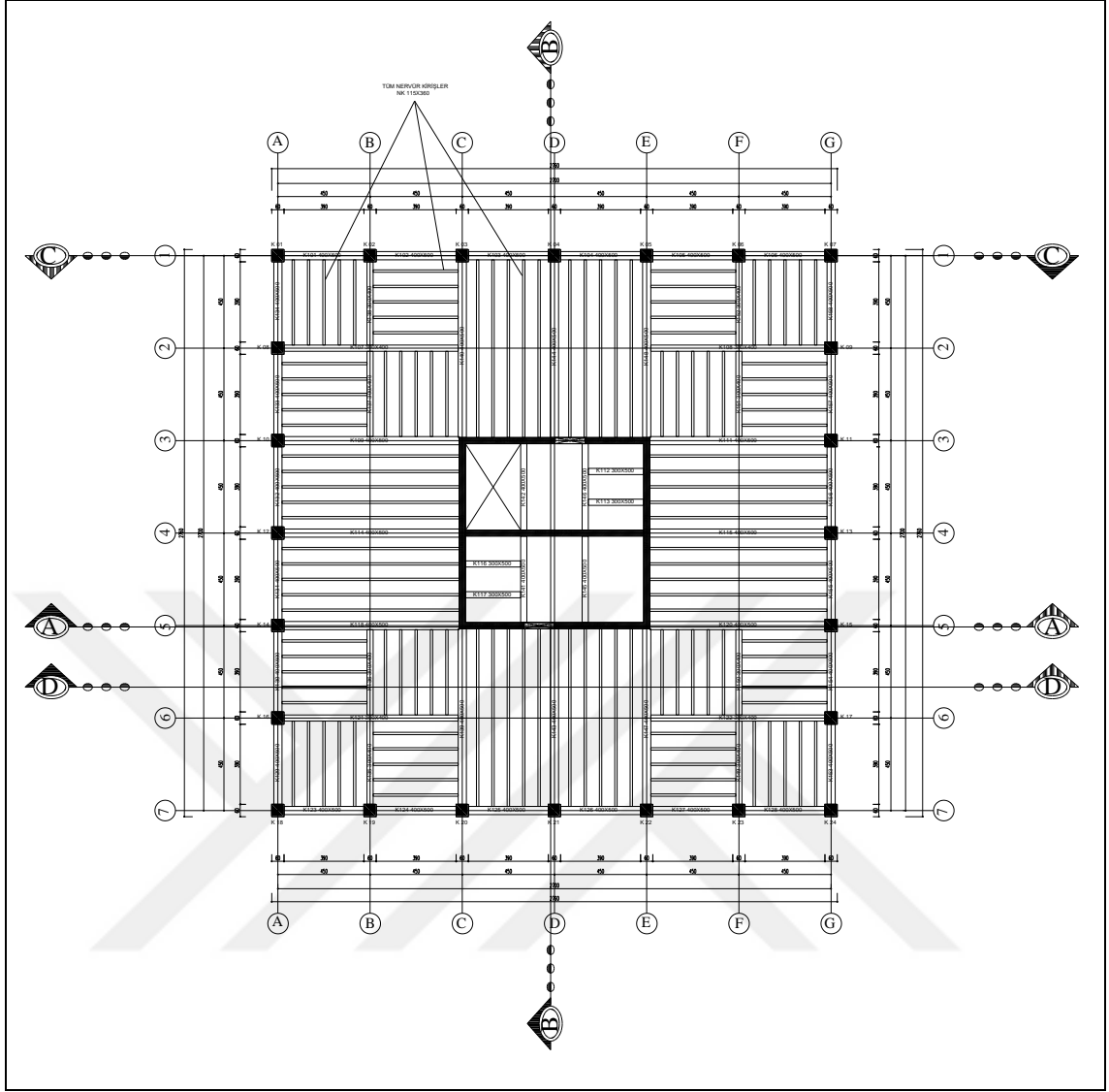
Şekil 3. 1 Çalışmada kullanılan yapıya ait mimari proje ofis kat planı



Şekil 3. 2 Çalışmada kullanılan yapıya ait mimari proje konut kat planı

3.2 Taşıyıcı Sistem

Tez kapsamında yapılan analizlerde mimari plana bağlı kalarak, taşıyıcı sistemde yapılan değişikliklerle sonuçlar alınmış ve performansları incelenmiştir. Merkezi çekirdekli çerçeve sistem, Şekil 3.3’de görüldüğü gibi merkezi çekirdekte CLT perde duvar ve dış kısmında çerçeve kolon-kiriş elemanlar ile oluşturulmuştur. Bu taşıyıcı sistem bundan sonra “MÇÇ” kısaltması ile tanımlanacaktır.



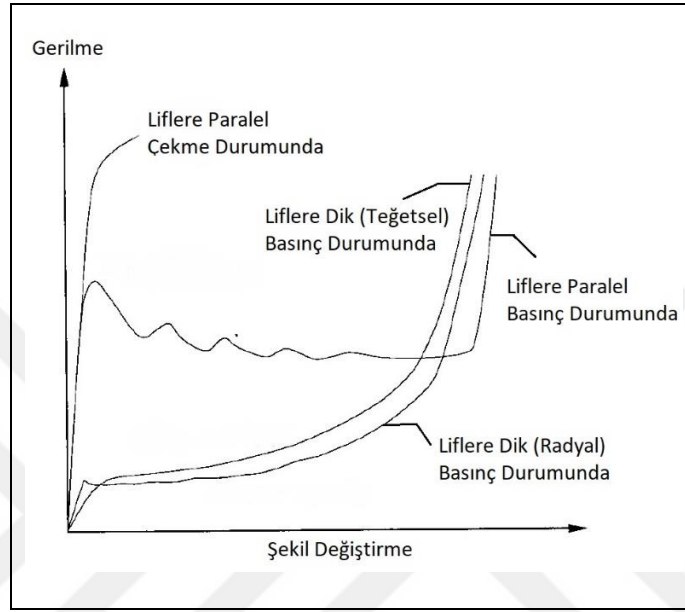
Şekil 3.3 MÇÇ sistem, DD-MÇÇ sistem ve KK-MÇÇ sistem kiriş-kolon-perde yerleşim planı

Dıştan destekli ve merkezi çekirdekli sistem için yapılan çalışmalarda da merkezi çekirdekli çerçeve sistemde merkezi perdenin köşe noktalarından yapının dış kolon-kiriş düğüm noktalarına uzanan dıştan destek yapı elemanları ile takviyeler yapılarak sistem oluşturulmuştur. Bu taşıyıcı sistem de bundan sonra “DD-MÇÇ” kısaltması ile kullanılacaktır.

Kısmi kafesli merkezi çekirdekli çerçeve sistemde de merkezi çekirdekli çerçeve sistem planındaki dış aksta kolon-kiriş çerçeve elemanlarını birbirine bağlayan kısmi kafes yapı elemanları ile takviye edilerek analizler yapılmıştır. Bu taşıyıcı sistem bundan sonra “KK-MÇÇ” kısaltmasıyla kullanılacaktır.

şekildeğiştirmeler gözlenir. Aksi yönde, liflere paralel doğrultuda aksenal basınç gerilmesine maruz kaldığında belirgin bir plastisite görülür. Ahşabın sahip olduğu bu özellik araştırmacıları ahşap davranışını tanımak için çalışmalar yapmaya itmiştir.

Holmberg, S. vd., ahşap için Şekil 3.5’de görüldüğü gibi tipik bir gerilme şekildeğiştirme önerisi sunmuşlardır. [22]



Şekil 3. 5 Ahşap için tipik gerilme-şekildeğiştirme eğrisi [22]

Birçok araştırmacı ahşabın basınç altında gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini doğrusal olmayan bir yaklaşımla modelledi. Basınç gerilmesi altında ahşap malzeme için kullanılan en basit model elasto-plastik gerilme-şekildeğiştirme ilişkisidir. Bu model ilk olarak Neely tarafından 1898 yılında yapılan çalışmada ahşap kirişlerin eğilme davranışlarını gözlemledikten sonra önerilmiştir. Bu çalışmada Şekil 3.6a’da gösterilen basınç bölgesi için doğrusal olmayan bir gerilme-şekildeğiştirme davranışı gözlemlenmiştir. Neely’ nin yaptığı basınç testi sırasında ahşap numune en büyük yüke ulaştıktan sonra kırılma gerçekleşmeden önce önemli ölçüde plastikleşme gerçekleştiği görülmüştür. [23]

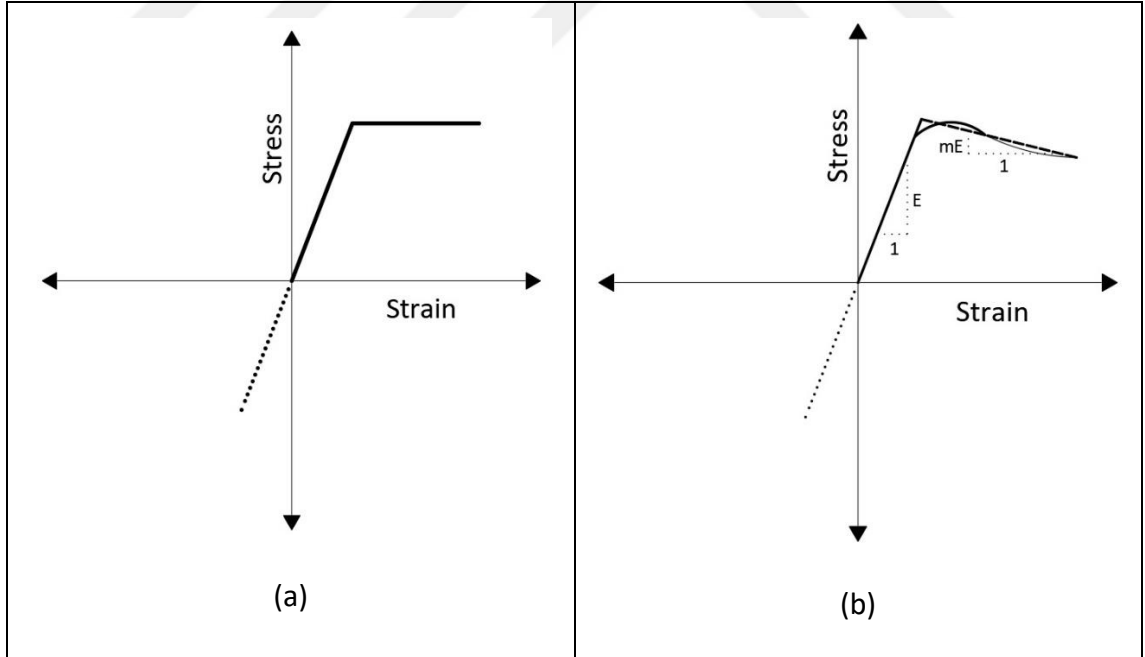
Bunun dışında birçok araştırmacı gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde genel olarak bilinear bir elasto-plastik gerilme-şekildeğiştirme yaklaşımını önermişlerdir.

Dietz A. G. H’in ahşap kirişler üzerinde yaptığı çalışmalarda, kirişin en dışındaki basınca maruz kalan liflerin, aksenal basınca maruz kalan ahşap bloktan daha yüksek bir orantılı sınır değerine sahip olduğunu belirtmiştir. Bunun sebebi ise kesitin eğilmeden önce

düzlem olan kesitinin eğilmeden sonra düzlem kalmaması ile basınç altında kesitteki en uçtaki lifin beklenenden daha az şekil değiştirmeye maruz kalması olarak gösteriliyor. [24]

Bechtel ve Norris' in Sitka Ladin türü ağaçtan yapılmış kirişler üzerinde yaptıkları testlerde basınç altındaki ahşabın elasto-plastik davranışını basitleştirmiş bilineer gerilme-şekil değiştirme eğrisi ile ortaya koymuşlardır. [25]

Bazan doktora çalışmasında ahşap kirişlerin nihai eğilme dayanımını araştırmış ve Şekil 3.6b'de gösterilen elasto-plastik yaklaşıma bir önermede bulunmuştur. Basınç altında gerilme-şekil değiştirme ilişkisini en büyük gerilme değerine kadar doğrusal-elastik, bu noktadan sonra gerilimde doğrusal bir azalmayla birlikte şekil değiştirmelerin arttığı bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi önermiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin en büyük gerilme değerinden sonraki ikinci kısmında gerçek davranışı gösteren ve doğrusal olmayan eğri basitleştirilerek doğrusal azalan bir eğri önerilmiştir. Bu yaklaşım küçük ve orta şekil değiştirme değerleri için uygun olmakla birlikte büyük şekil değiştirmeler için açık şekilde tahmin edilemez. [26]



Şekil 3. 6 Ahşabın iki doğrulu gerilme-şekil değiştirme grafikleri

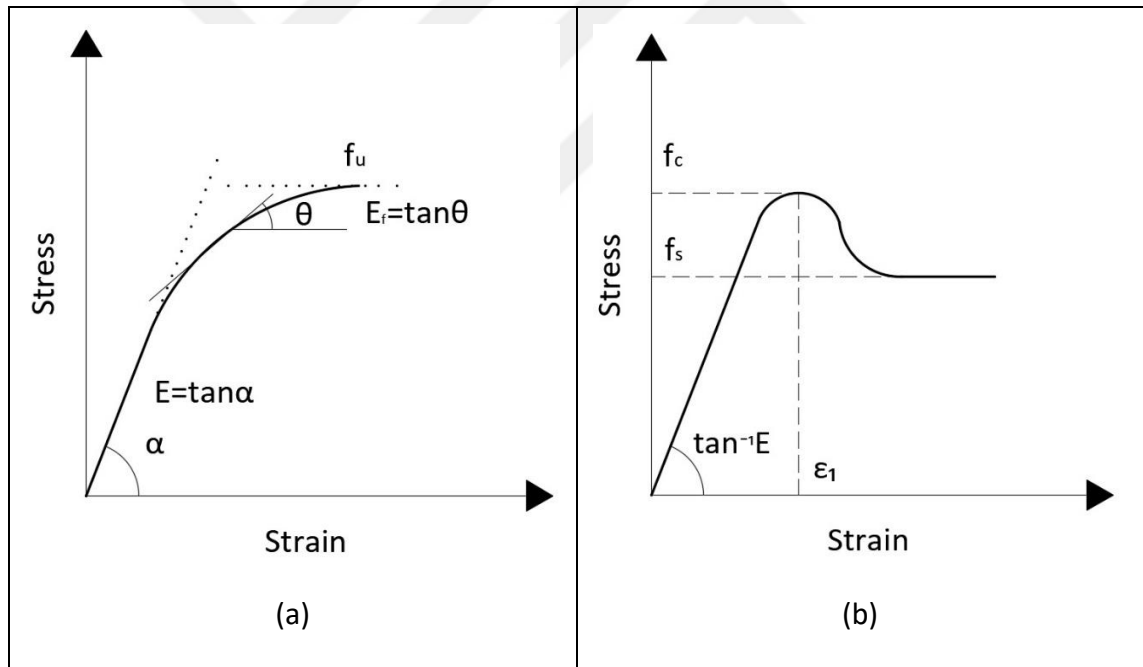
Malhotra ve Mazur tarafından yapılan çalışmada çeşitli nem içeriğine sahip Doğu Ladin ağacı numuneleri kullanılarak bir dizi testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda Şekil 3.7 a'da gösterilen doğrusal artan gerinimden sonra en büyük yüke yaklaşırken eğrisel olarak

devam eden bir gerilme-şekildeğiştirme eğrisi ortaya konmuştur. Bu çalışma, en büyük yükten sonraki şekildeğiştirmelerde eğrinin olası şeklini dikkate almaz. [27]

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \left[cF - (1 - c)F_u \ln\left(1 - \frac{F}{F_u}\right) \right] \quad (3.1)$$

Burada, “ F_u ” malzemenin nihai basınç gerilmesi, “ E ” Elastisite modülünü, “ c ” F_u , E ve orantılılık sınırının ötesindeki gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin şekline bağlı bir sabiti, “ F ” ise gerilme-şekildeğiştirme eğrisi üzerindeki şekildeğiştirmeye karşılık gelen gerilme değerini ifade eder.

Ahşabın gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi için detaylı bir çalışma Glos tarafından 1978 yılında yapılmıştır. Deneysel veriler sonucunda Şekil 3.7 b’de görüldüğü gibi doğrusal bir eğriden sonra, en büyük yüke yaklaşıldığında 7. dereceden polinomla ifade edilen gerilme-şekildeğiştirme eğrisi önerilmiştir. [28]



Şekil 3. 7 Ahşabın çok eğrili gerilme-şekildeğiştirme grafikleri

Bu eğriyi ifade eden bağıntı;

$$f = \frac{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} + G_1 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right)^7}{G_2 + G_3 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right) + G_4 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right)^7} \quad (3.2)$$

$$G_1 = \frac{f_s}{6E \left(1 - \frac{f_s}{f_c}\right)} \quad (3.3)$$

$$G_2 = \frac{1}{E} \quad (3.3)$$

$$G_3 = \frac{1}{f_c} - \frac{7}{6E} \quad (3.4)$$

$$G_4 = \frac{1}{f_s} \quad (3.5)$$

Burada, “ ε ” şekildeğiştirmeyi, “ ε_1 ” en büyük gerilmeye karşılık gelen şekildeğiştirmeyi, “E” Elastisite Modülünü, “ f_c ” en büyük basınç gerilmesini, “ f_s ” büyük şekildeğiştirmeler için asimtotik basınç gerilmesini belirtmektedir.

Glos test sonuçlarından yola çıkarak eğriyi ifade eden dört bilinmeyeni hesaplamıştır. Bu bilinmeyenleri eğrisel regresyon teknikleri kullanılarak belirlemiştir. Bu değerler numunelerde ölçülen çok sayıda ahşap özelliğini (yoğunluk, sıkıştırılan ahşap oranı, nem içeriği, ahşap içindeki boğumlu kısmın oranı) yansıtmaktadır. Büyük şekildeğiştirmelerde dahi gerilmenin sıfıra düşmemesi ve diğer çalışmalara oranla ahşabın gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin gerçek şekline benzemesi Glos modelini üstün kılmaktadır. Bunun yanında dört farklı parametrenin her numune için farklı değer alması mevcutta kullanılabilirliğini azaltmaktadır.

Glos modelinin basitleştirilmiş hali aşağıdaki gibidir; [29]

$$f_s = 0,8f_c \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_1 = 0,008 - 0,012 \quad (3.7)$$

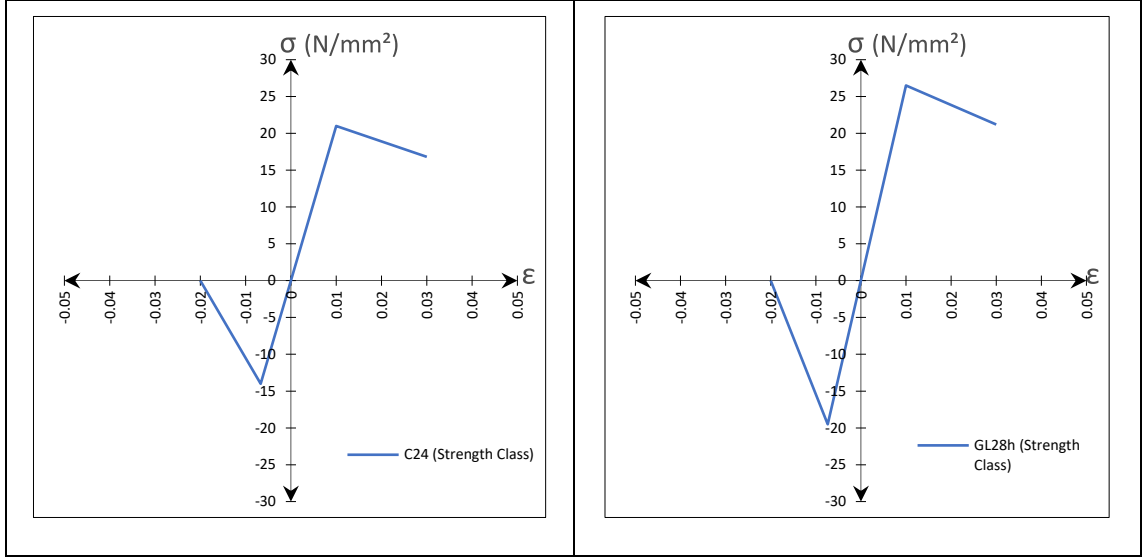
$$\varepsilon_u \approx 3\varepsilon_u \quad (3.8)$$

Bu tez kapsamında kullanılan malzeme modeli Bazan'ın önerdiği basınç altındaki davranışa uygun olarak oluşturulmuştur. Malzemenin farklı doğrultularda basınç altındaki dayanımı Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi Glulam için EN 14080'den, CLT için ise EN 338'den elde edilmiştir. Burada kullanılan C24 dayanım sınıfına ait ahşap için "C" harfi İngilizce "İğne yapraklı" ya da "Kozalaklı" anlamına gelen "Coniferous" kelimesinin ilk harfini temsil etmektedir. Harfin yanında bulunan rakam ise karakteristik eğilme dayanımını ifade etmektedir. GL28h dayanım sınıfına ait malzeme için de "GL" harfleri "Glued Laminated" kelimelerinin ilk harflerini temsil ederken, harfin yanındaki rakam karakteristik eğilme dayanımını ifade etmektedir. Sonunda bulunan "h" harfi ise katmanların aynı dayanım sınıfına ait olduğunu gösteren "Homogeneous" kelimesinin ilk harfini ifade etmektedir.

Basınç altındaki ahşap malzemenin %3 şekildeğiştirme durumundaki dayanımı malzemenin en büyük dayanımının %80'nine kadar düştüğü yukarıda belirtilen Glos'un basitleştirilmiş modelinden görülmektedir. Bu tez kapsamında da Şekil 3.8'de görüldüğü gibi basınç altındaki ahşabın %3 şekildeğiştirme durumundaki dayanımı en büyük dayanımının %80'i olarak alınmıştır. Çekme altında malzemenin dayanımı orantısal sınırından sonra hızla düşecek şekilde tanımlanmıştır. Ancak, çekme altında yine de %2 şekildeğiştirmeye kadar malzeme modelinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin tanımlanmasının sebebi yapısal analizde nümerik hataları azaltmak amaçlıdır.

Çizelge 3. 1 C24 ve GL28h ahşap malzeme özellikleri [30], [31]

	Dayanım Özellikleri (N/mm ²)						Elastisite Özellikleri (kN/mm ²)			Kayma Modülü (kN/mm ²)	Yoğunluk (kg/m ³)	
	f _{m,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	f _{v,k}	E _{0,mean}	E _{0,05}	E _{90,mean}	G _{mean}	ρ _k	ρ _{mean}
C24	24	14	0,4	21	2,5	4	11	7,4	0,37	0,69	350	420
GL28h	28	19,5	0,45	26,5	3	3,2	12,6	10,2	0,42	0,78	410	460



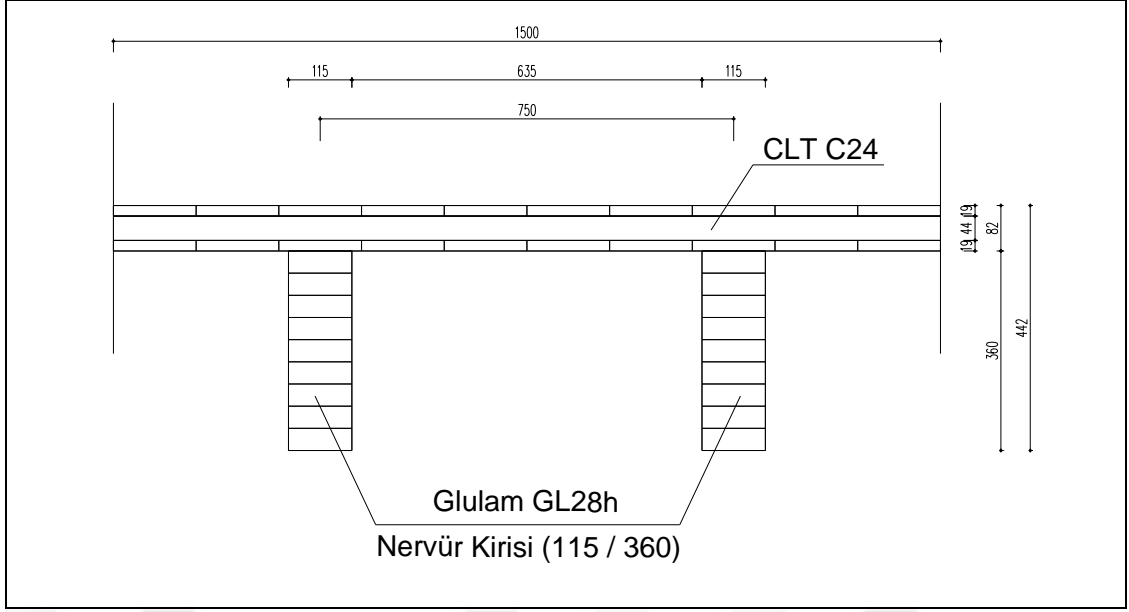
Şekil 3. 8 Modelde kullanılan C24 ve GL28h dayanım sınıflarına ait ahşap malzemelerin gerilme-şekildeğiştirme grafikleri

Eurocode 5' de ifade edilen karakteristik değerlerin göçmeye kadar gerilme ile birim şekildeğiştirme arasında bir doğrusal ilişki kabulü ile belirlenmesi nedeniyle, her bir elemanın dayanım tahkikinde de ayrıca bu doğrusal ilişki esas alınmalıdır. [32]

Basınca maruz kalan yapı elemanları veya yapı elemanı kısımları için, bir doğrusal olmayan ilişki (elastik-plastik) kullanılabilir. [32]

3.3.1 CLT Döşeme Sistemi

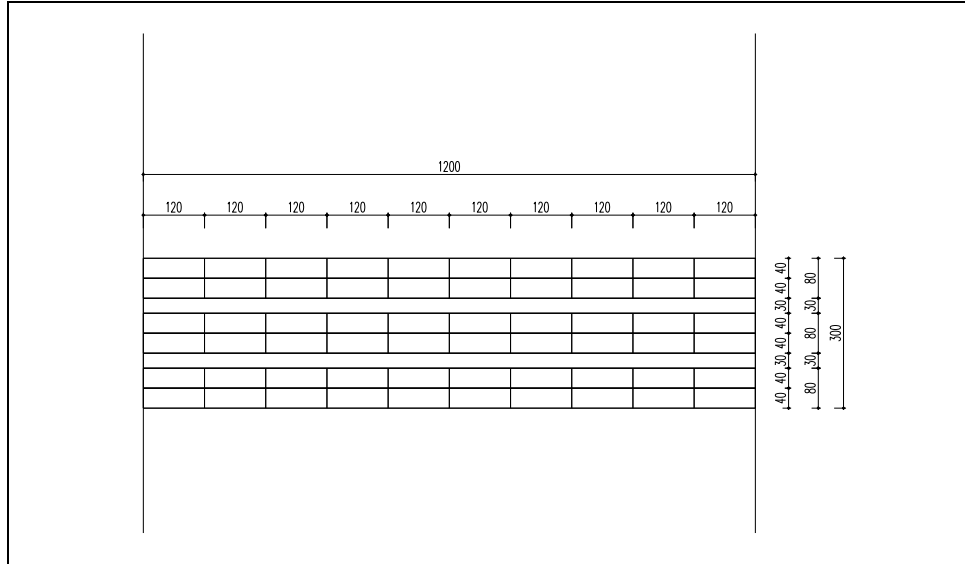
Tez kapsamında dikkate alınan örnek yapıda CLT döşeme elemanları Şekil 3.9'da görüldüğü gibi 19 mm ve 44 mm kalınlığında C24 sınıfı ahşap tabakaların toplamda üç kat olacak şekilde (19+44+19) çapraz yapıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Döşeme sistemini destekleyen nervür kirişleri ise 75 cm aks aralığı ile yerleştirilmiştir. CLT döşemedeki katmanlar SAP2000 [33] programında ortogonal düzende kompozit olarak modellenmiştir.



Şekil 3. 9 CLT döşeme sistemi kesit detayı

3.3.2 CLT Perde Duvarlar

Yapının merkezi çekirdeğinde bulunan perdeler ile P-MÇÇ sistemde sonradan eklenen tüm CLT perde duvar elemanları Şekil 3.10'da görüldüğü gibi 40 mm ve 30 mm kalınlığında C24 sınıfı tabakaların birbirine dik olarak tabakalandırılmasıyla (40+40+30+40+40+30+40+40) oluşturulmuştur.



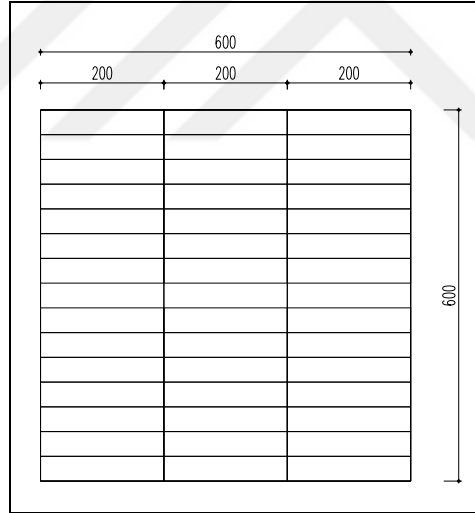
Şekil 3. 10 CLT perde duvar kesit detayı

CLT döşeme elemanlarında olduğu gibi CLT perde duvar elemanları da SAP2000 programında farklı özelliklere sahip katmanlardan oluşan kabuk kesitler olarak

tasarlanmıştır. Komşu her bir kabuk katman, diğer kabuk katmanlarla ortogonal özellikler taşıyacak şekilde ve doğrusal olmayan malzeme özellikleri içerecek şekilde tanımlanmıştır. Katmanlar, yakınsama çalışmaları sonucunda yatayda ve düşeyde 0,75 m aralıklarla birbirine rijit yaylar (link elemanlar) ile bağlanarak, bu noktalarda beraber hareket etmeleri sağlanmıştır. CLT Perde duvarların zemin birleşimlerindeki düğüm noktaları tam tutulu olduğu varsayılarak tasarım yapılmıştır.

3.3.3 Glulam Kolon

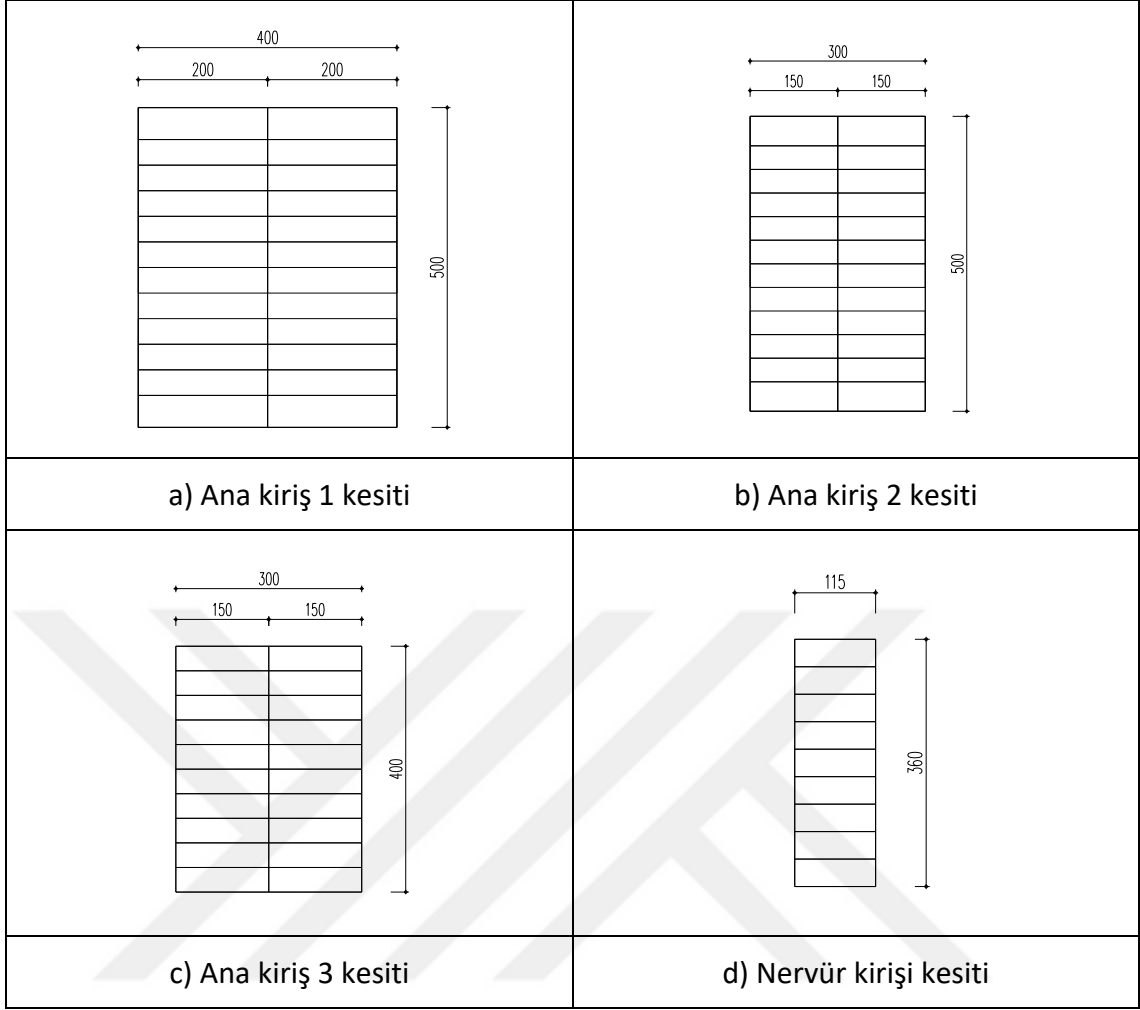
Ahşap kolonlar Şekil 3.11’de de görüldüğü gibi 60X60 cm ebatlarında Glulam ahşap elemanlar kullanılarak tasarlanmıştır. Kolon kesitleri oluşturulurken 20 cm genişliğinde GL28h sınıfı ahşap tabakalar kullanılmıştır. Glulam kolon kesitlerini oluşturan katmanlar aynı yönde ve benzer özelliklerdeki elemanlardan oluştuğu için, üç doğrultuda da farklı özelliklere sahip tek bir tabaka gibi modellenmiştir. Böylelikle yapıdaki düğüm noktası sayısı nispeten azaltılmıştır.



Şekil 3. 11 Glulam kolon kesit detayı

3.3.4 Glulam Kirişler

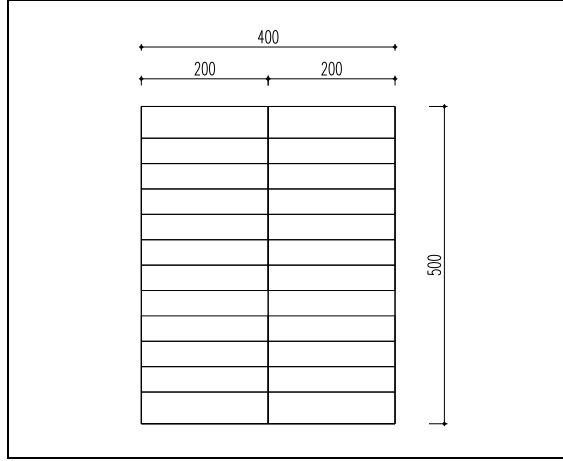
Glulam ahşap kirişler de diğer Glulam yapı elemanları gibi GL28h sınıfı ahşap tabakalar kullanılarak oluşturulmuştur. Kiriş kesitleri, kolon kesitinde olduğu gibi tek parça şeklinde modellenmiştir. Bu tez kapsamındaki yapı modelinde Şekil 3.12’de görüldüğü gibi üç farklı tip kesite ana kiriş ve bir de nervür kirişi kullanılmıştır.



Şekil 3. 12 Glulam kiriş kesit detayları

3.3.5 Glulam Dıştan Destek Sistem Elemanları ve Kısmi Kafes Elemanları

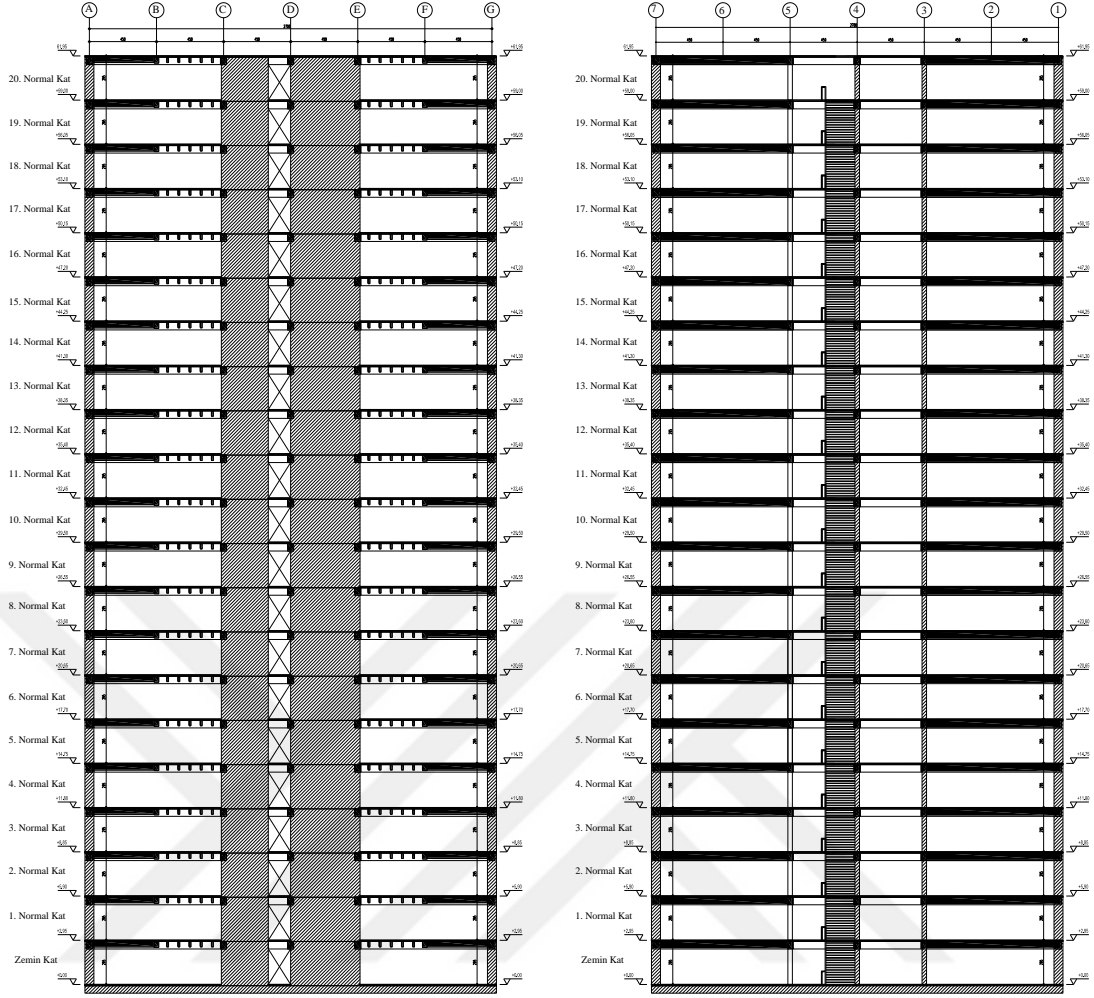
Dıştan destek sistem elemanları ile kısmi kafes sistem elemanları GL28h dayanım sınıfı ürünler ile tasarlanmıştır. Yapıda merkezi çekirdeğin köşe noktalarından dıştaki kolon-kiriş düğüm noktalarına doğru uzanan dıştan destek sistem elemanları ile yapının en dış aksında kolonlar arasına çapraz olarak yerleştirilen kısmi kafes sistem elemanlarına ait kesit Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Bu yapı elemanlarının, yapıya gelen yatay deprem yükleri karşısında yapının tepe yer değiştirmesine, görelî kat ötelenmelerine ve en büyük ivmelere etkisi incelenmiştir.



Şekil 3. 13 Glulam dıştan destek sistem elemanları ile kısmi kafes elemanları kesit detayları

3.3.6 MÇÇ Sistem (Merkezi Çekirdekli Çerçeve Sistem)

Şekil 3.3'de ve Şekil 3.14'de plan ve kesiti gösterilen yapı, planda görüldüğü gibi 27x27 metre olacak şekilde dış aksları boyunca 600x600 mm kesit ölçülerinde Glulam kolonlar bulunan merkezi çekirdek ve kolon-kiriş çerçeve sistemden oluşmaktadır. Merkezi çekirdekte toplamda 300 mm kalınlığında CLT yapı elemanlarından oluşturulan perde duvar bulunmaktadır. Yapının merkezi çekirdeğindeki CLT yapı elemanı toplamda 9 katmandan oluşmaktadır. Katmanların kalınlıkları 30 mm ile 40 mm arasında değişmektedir. Merkezi çekirdekte 1,5 metre genişliğinde iki adet kapı boşluğu bırakılmıştır. Yapının tamamında farklı kesit ölçülerine sahip ana kirişler ve nervür kirişleri mevcuttur. Taşıyıcı sistemin döşeme elemanları da CLT ile tasarlanmıştır. Üç katmandan oluşan CLT döşeme 19+44+19 milimetrelilik katmanların birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.



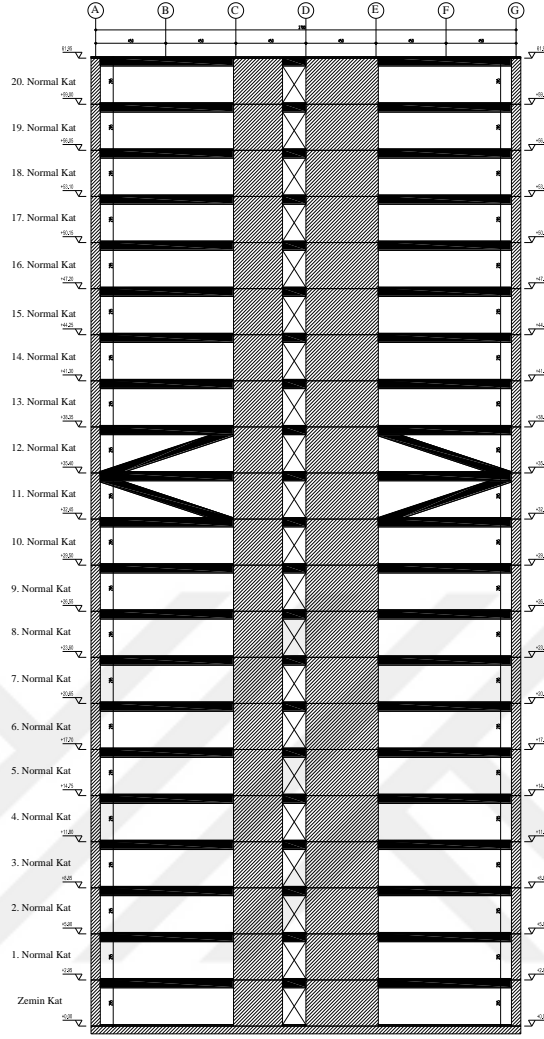
A-A Kesiti

B-B Kesiti

Şekil 3. 14 MÇÇ sistem (Şekil 3.3'deki plan) kesitleri

3.3.7 DD-MÇÇ Sistem (Dıştan Destek Merk. Çek. Çer. Sis.)

MÇÇ sistem planına ilave olarak, Şekil 3.13' da gösterildiği gibi 400x500 mm kesit ölçülerinde tasarlanan dıştan destek sistem yapı elemanları, Şekil 3.15'de görüldüğü gibi yapının 11. ve 13. katları arasına yerleştirilmiştir. Merkezi çekirdekteki CLT perde duvarın köşe noktalarından dış akstaki kolon-kiriş birleşim noktalarına her iki yönde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Dıştan destek yapı elemanları eklenerek oluşturulan taşıyıcı sistemin, deprem yükleri altında verdiği tepkiler araştırılmıştır. Bu elemanların yapının en büyük tepe yer değiştirmesi, görelî kat ötelenmeleri ve en büyük ivmelere olan etkisi incelenmiştir.

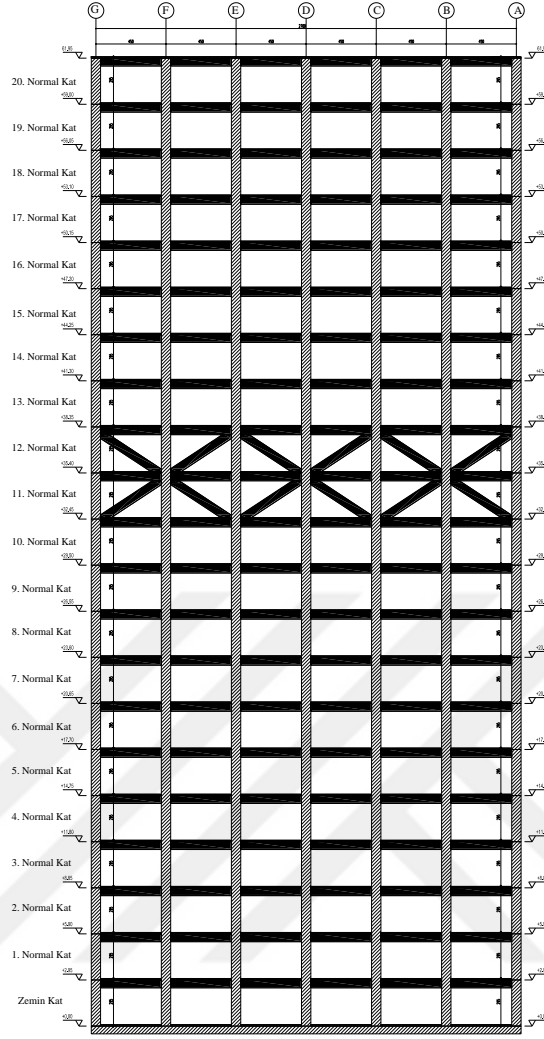


A-A Kesiti

Şekil 3. 15 DD-MÇÇ sistem (Şekil 3.3'deki plan) kesiti

3.3.8 KK-MÇÇ Sistem (Kısmi Kafesli ve Merk. Çek. Çer. Sis.)

Taşıyıcı sistem planında dış akslar boyunca 11. ve 13. katlar arasında 400x500 mm kesit ölçülerinde Glulam kafes elemanlar yerleştirilerek oluşturulmuştur. MÇÇ sistem planına bağlı kalarak sadece Şekil 3.16'da görülen kafes elemanlar ilave edilmiştir. Kafes ahşap yapı elemanları dış akstaki kolon-kiriş düğüm noktaları arasında ve yapının çevresi boyunca kesitte de görüldüğü gibi bağlanarak taşıyıcı sistem oluşturulmuştur.

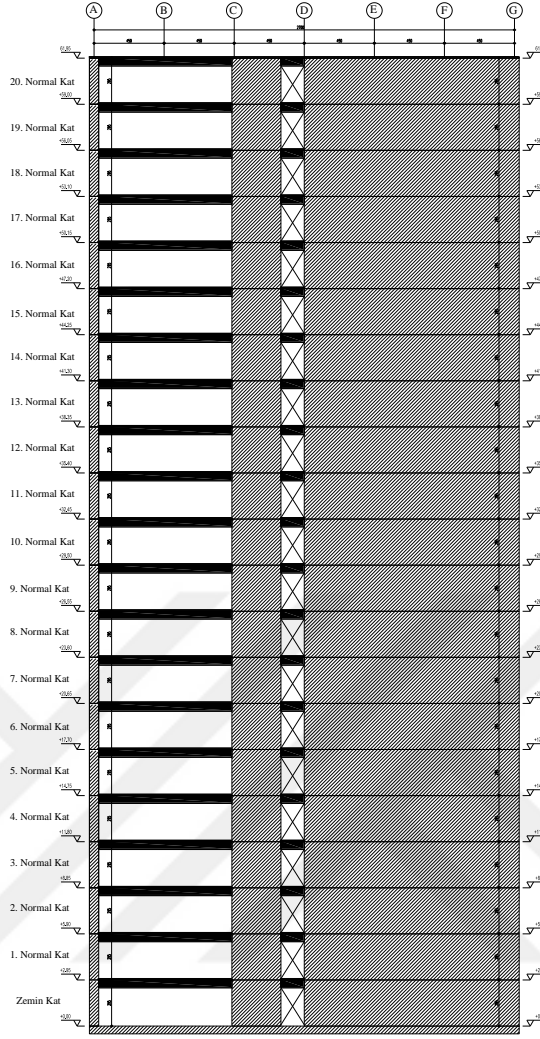


C-C Kesiti

Şekil 3. 16 KK-MÇÇ sistem (Şekil 3.3'deki plan) kesiti

3.3.9 P-MÇÇ Sistem (Perdeli ve Merk. Çek. Çer. Sis.)

Kesiti Şekil 3.17'de verilen yapı, MÇÇ sistem planına ilave olarak Şekil 3.4' de görüldüğü gibi merkezi çekirdeğin köşelerinden dış akstaki kolonlara doğru, 300 mm kalınlığındaki dört adet CLT perde duvarla oluşturulmuştur. Perde duvarlar için seçilen kesit, merkezi çekirdekteki CLT duvarla aynı özellikte ve ölçülerdedir. Perde duvarlar oluşturulurken kesiti oluşturan farklı özellikteki tabakalar kompozit olarak modellenmiştir.



A-A Kesiti

Şekil 3. 17 P-MÇÇ sistem (Şekil 3.4'deki plan) kesiti

3.4 Sınır Koşulları

Taşıyıcı sistem elemanlarının birbiri ile bağlantıları rijittir. Yapı elemanlarından, kolon ve perde elemanların zemin ile bağlantıları ankastre olarak teşkil edilmiştir. Bekiroğlu vd. 2012 yılında yaptıkları çalışmada kesişim bölgesi tanımlamanın, modellemelerde her analiz türünde önemli sayılabilecek farklılıklara sebep olduğunu ortaya koymuşlardır. [34] SAP2000 analiz programında [33] kiriş-kolon ve perde-kiriş birleşim bölgelerinde eleman birleşim bölgelerinin analize olan etkisini dikkate alabilmek için “End (length) offsets” ve “Insertion point” komutları kullanılmıştır. Eleman kesit özelliklerine göre tanımlanan bu komutlar ile yapının rijitlik özelliklerinde değişim gözlenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan farklı taşıyıcı sistemlere ait düğüm noktası, çerçeve elemanı, kabuk elemanı ve bağlantı elemanı sayılarına ait bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

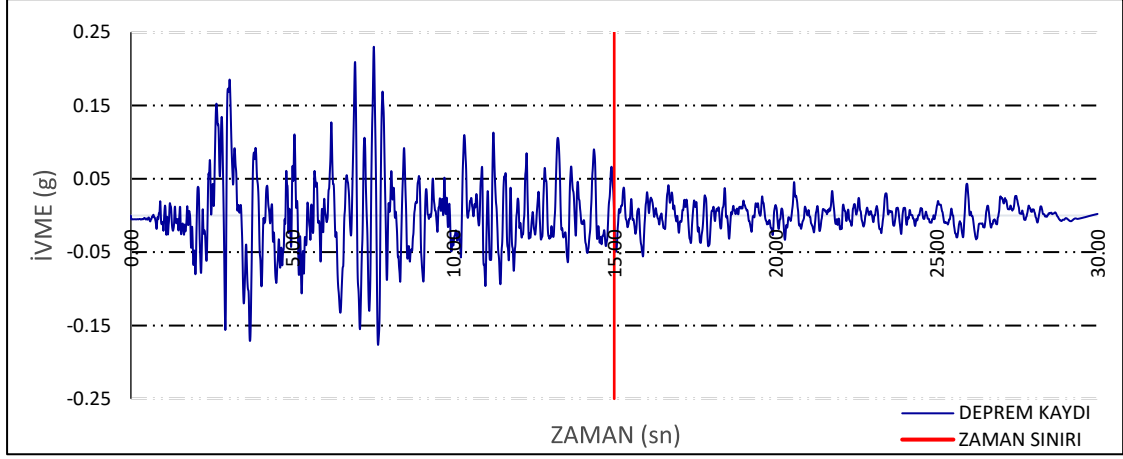
Çizelge 3. 2 Taşıyıcı sistemlere ait düğüm noktası ve eleman sayısı tablosu

Sistemler	Düğüm Noktası	Çerçeve	Kabuk Eleman	Bağlantı
	Sayısı	Elem. Sayısı	Sayısı	Eleman Sayısı
MÇÇ Sistem	104031	32652	96096	73836
DD-MÇÇ Sistem	104033	32670	96096	73836
KK-MÇÇ Sistem	104031	32700	96096	73836
P-MÇÇ Sistem	121885	32776	112704	88689

3.5 Statik ve Dinamik Yükler

Yapıya etkiyecek yükler TS 498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”den alınmıştır. TS 498’de ofis ve konut yapılarında kullanılacak hareketli yük değeri 2 kN/m^2 olarak verilmektedir. [35] Yapı içerisindeki bölme duvar imalatları sırasında gelecek yükler de düşünülerek hareketli yük 3 kN/m^2 alınmıştır. Kalıcı yük olarak ise binanın kendi ağırlığı dikkate alınmıştır.

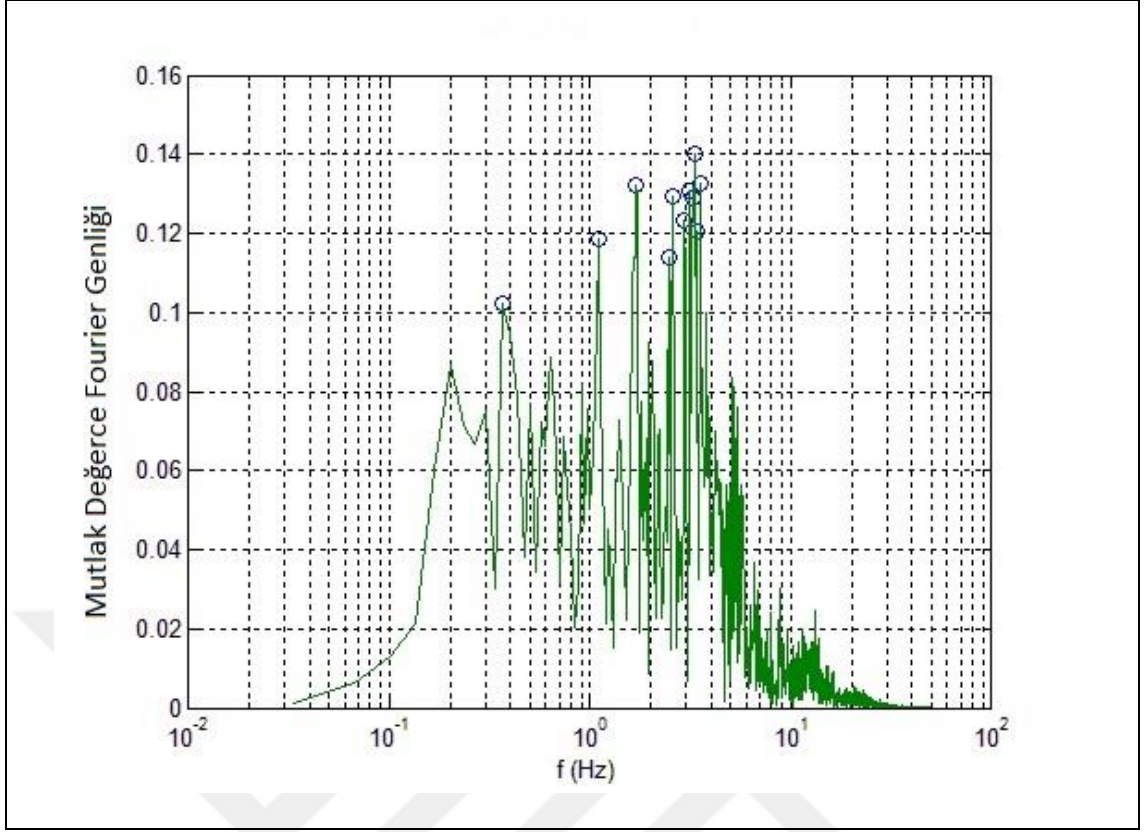
Zaman tanım alanında analizlerde Şekil 3.18 da gösterilen 1999 yılında gerçekleşen Kocaeli depreminin kayıtları kullanılmıştır. Kayıt toplamda 30 sn olmasına rağmen, analiz sürelerini kısaltmak için ivmelerin en büyük olduğu ilk 15 saniyelik kısım dikkate alınmıştır. [36]



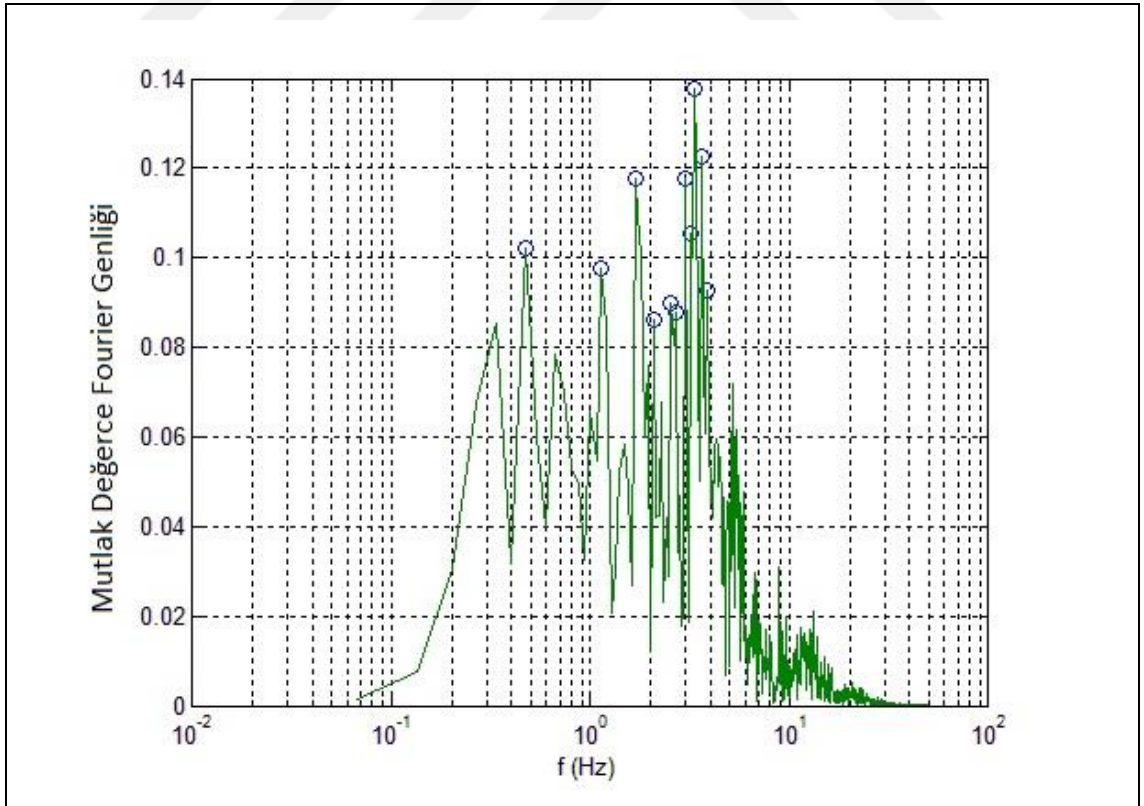
Şekil 3. 18 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ivme kaydı

Seçilen deprem kaydının 15 saniyelik kısmının yapıya gelen deprem etkisini dikkate almak için uygun olduğu, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de gösterilen deprem kaydına ait Fourier analiz sonuçlarından görülmektedir. Bu şekillere bakıldığında yapıya gelen mesnet hareketinin frekansları incelendiğinde yapının frekansı ile kaydın hakim frekanslarının benzer aralıkta olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca her iki kaydın Fourier analiz sonuçlarında 0,2 Hz-3 Hz aralığındaki pik frekansların ayırık olduğu, 3 Hz-4 Hz aralığındaki pik frekansların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

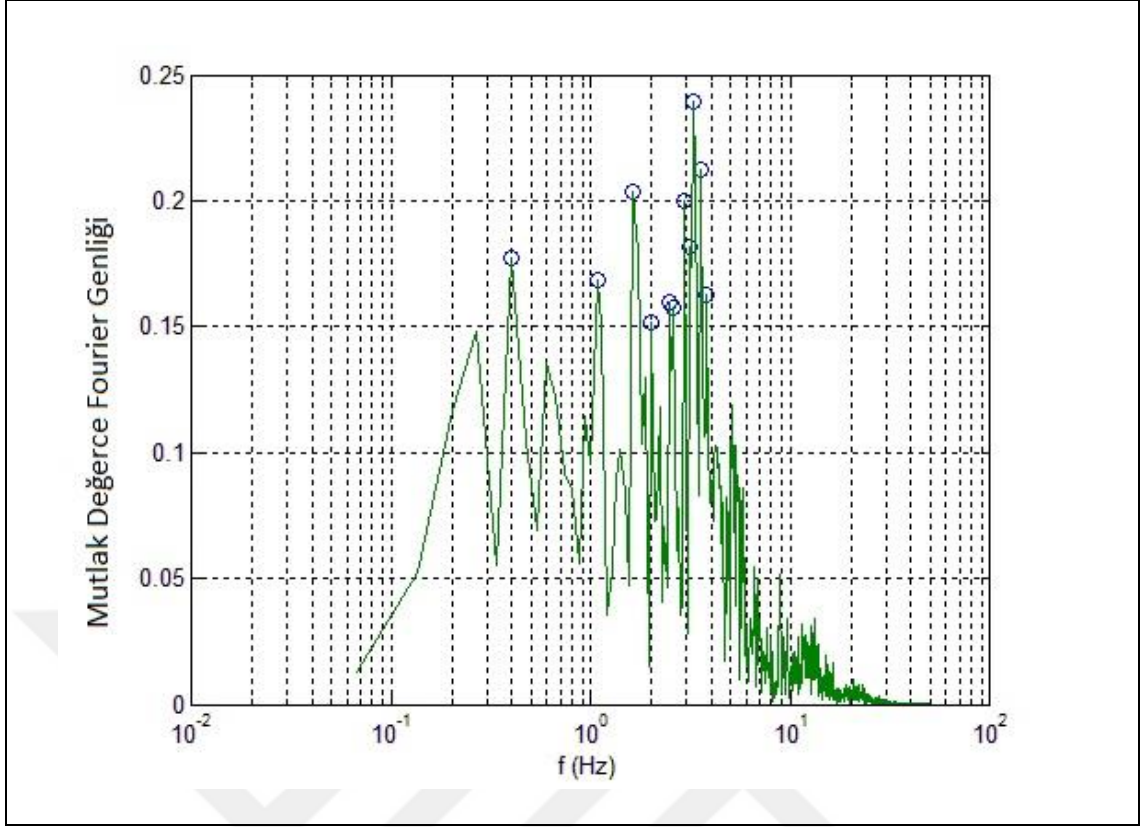
Kaydın 30 saniyeden 15 saniyeye indirildiği durumda genliklerde oluşan farklılığın sebebi 15 saniyelik kesilen kısımdan gelen ilgili frekanslardaki genliklerin dahil olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu farklılığın miktarı, genlikler için %10-%15 aralığındadır. Kayıt 15 saniyeye indirildiğinde yine hâkim frekansların uygun olduğu görülmektedir. Ancak, verilmek istenen yer hareketinin daha yüksek yer ivmesine sahip olması istendiğinden kayıt 0.4 g maksimum ivmeye sahip olacak şekilde ölçeklenmiştir. Şekil 3.20’de ve Şekil 3.21’de gösterilen ölçeklenmeyen kat ile ölçeklenen 15 saniyelik kayda ait Fourier grafikleri incelendiğinde doğal olarak frekans içeriklerinin değişmediği ancak genliklerin 0.4 g’yi sağlayacak oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 3. 19 Çalışmada kullanılan 30 saniyelik deprem kaydının Fourier analizi

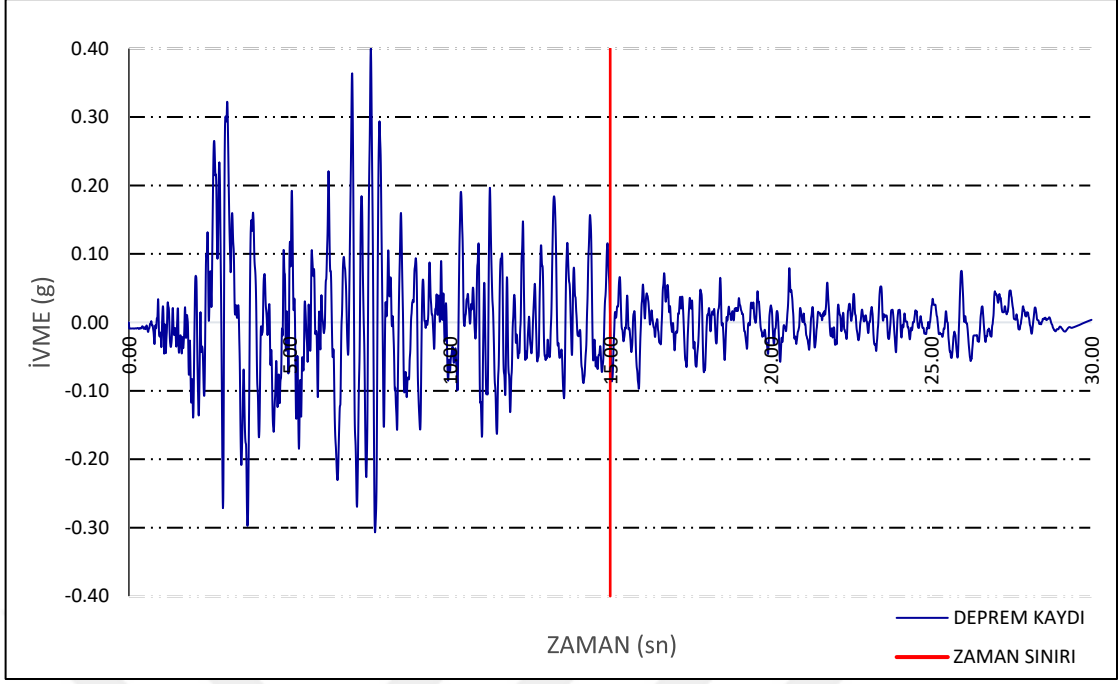


Şekil 3. 20 Çalışmada kullanılan ölçeklendirilmemiş 15 saniyelik deprem kaydının Fourier analizi



Şekil 3. 21 Çalışmada kullanılan ölçeklendirilmiş 15 saniyelik deprem kaydının Fourier analizi

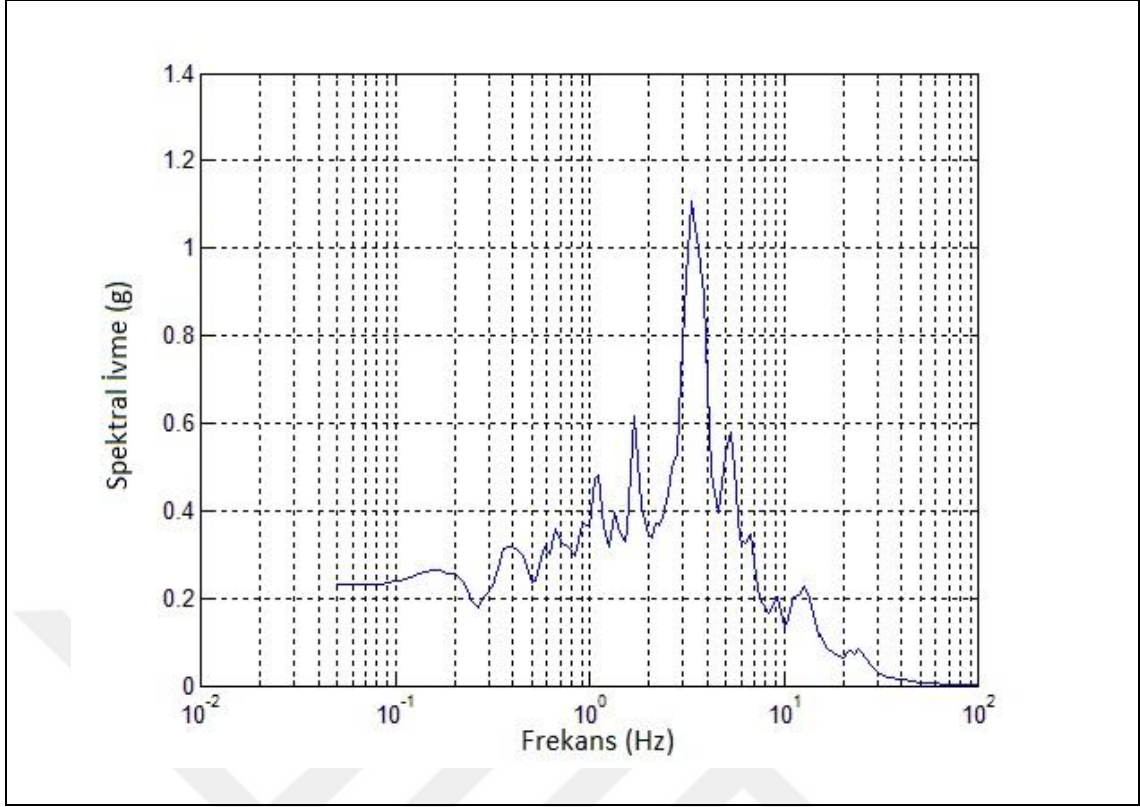
Mevcut deprem kaydının en büyük ivme değeri 0,23017g'dir. Kayıttaki zaman aralıkları ise 0,005 sn dir. Dinamik analizlerde bu kayıttaki ivme değerinin en büyük noktası Şekil 3.22'de görüldüğü gibi 0,4g olacak şekilde büyütülerek kullanılmıştır. Ayrıca zaman aralıkları 0,01 sn olarak kayıt seyreltilmiştir. Bu esnada en büyük ivme değerinin korunmasına dikkat edilmiştir.



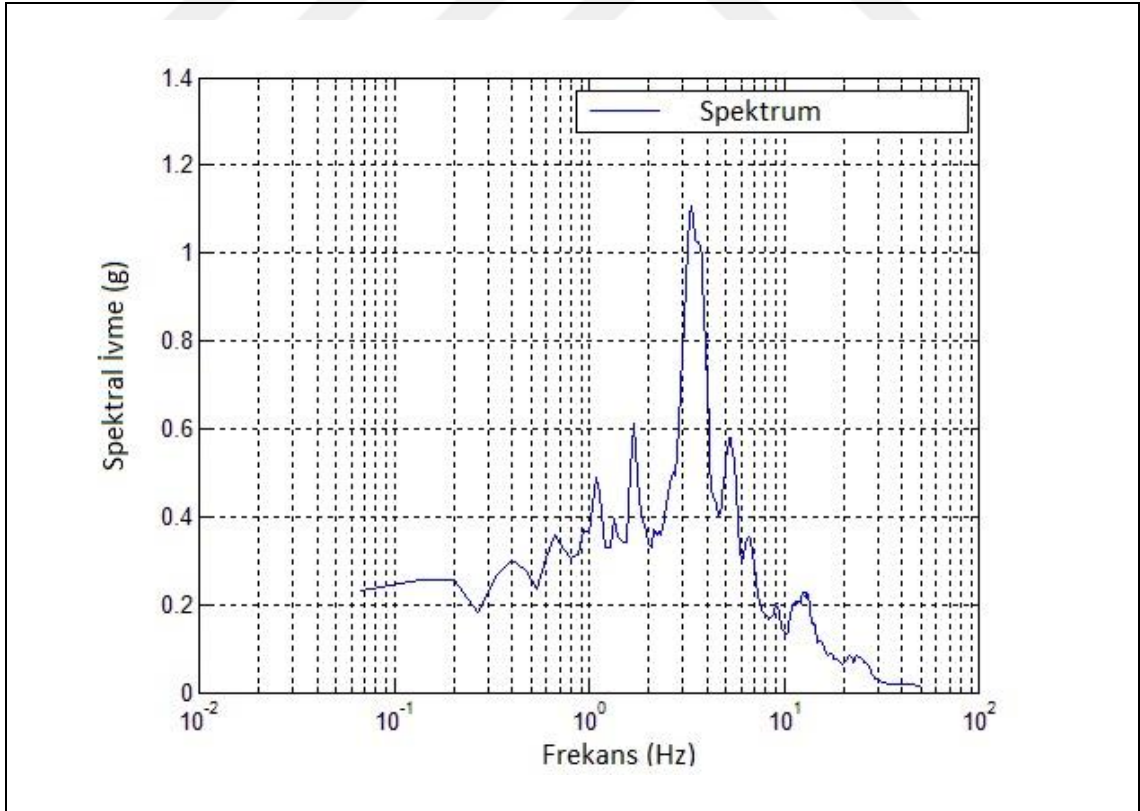
Şekil 3. 22 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine ait ölçeklendirilmiş ivme kaydı

Şekil 3.23'de ve Şekil 3.24'de gösterilen ölçeklenmemiş kayıt ile Şekil 3.25'de gösterilen ölçeklenmiş kayıtlar için ivme spektrumları incelendiğinde, 30 saniyelik ve 15 saniyelik ölçeklenmemiş kayıtlar ile 15 saniyelik ölçeklenmiş kayıt için spektrum grafikleri çok benzer olup, frekans içeriği ve spektral genlikleri ölçeklenmiş kayıt hariç aynıdır. Ölçeklenmiş kayıttaki spektral ivme genliği, ölçeklenme katsayısı ile orantılı olarak artmıştır. Ölçeklenmeye bağlı olarak spektrumun tüm bölgelerinde büyüme görülmektedir. Spektrum ivmesinin en büyük olduğu frekans aralığında (2,5 Hz-4,5 Hz) ivme değerinin yaklaşık 1,1g'den yaklaşık 2g'ye çıktığı görülmektedir. Deprem kaydının pik ivmesi olan 0,4g'nin bu frekans aralığında 4-5 kat büyüdüğü görülmektedir. Bu artış Fourier analiz sonuçlarında görüldüğü gibi 2,5 Hz-4,5 Hz frekans aralığındaki birbirine çok yakın pik değerlerin olduğu aralığa denk gelmektedir. Dolayısıyla yakın frekanslarda dalga sayısının ve şiddetinin bu büyümeye neden olduğu anlaşılmaktadır.

Deprem kaydının ivme değeri büyütülmüş 15 saniyelik kısmına ait yer değiştirme-hız-ivme değerlerine ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.26'de görülmektedir.

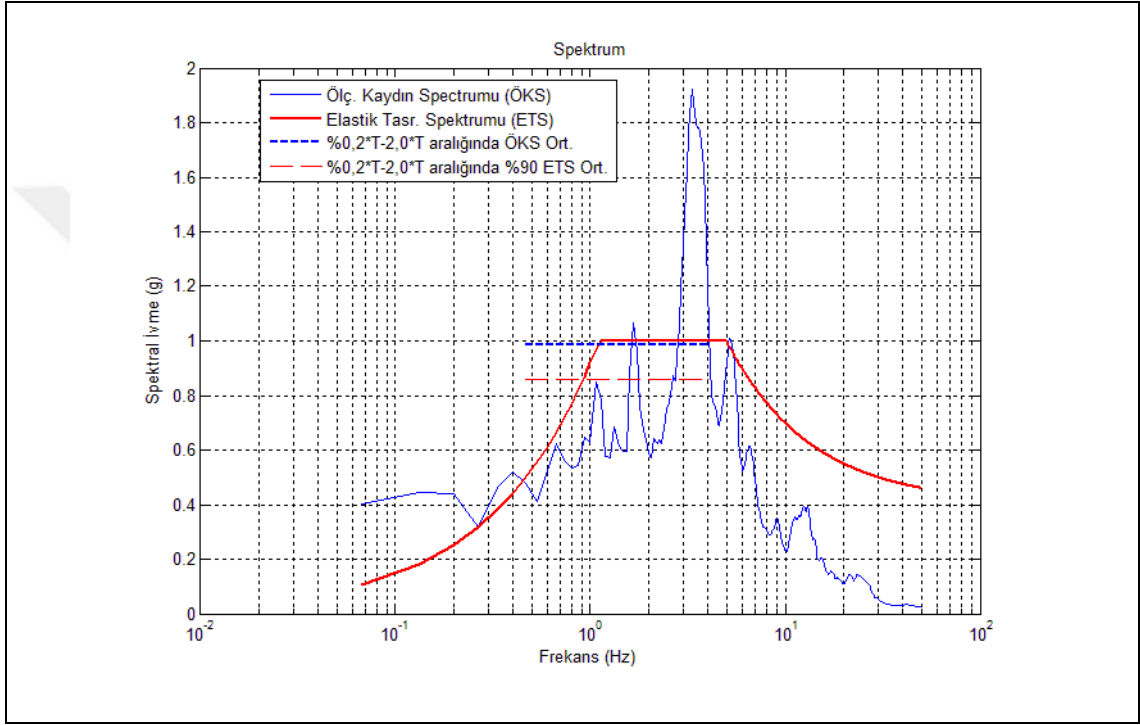


Şekil 3. 23 Ölçeklendirilmemiş 30 saniyelik deprem kaydına ait spektrum

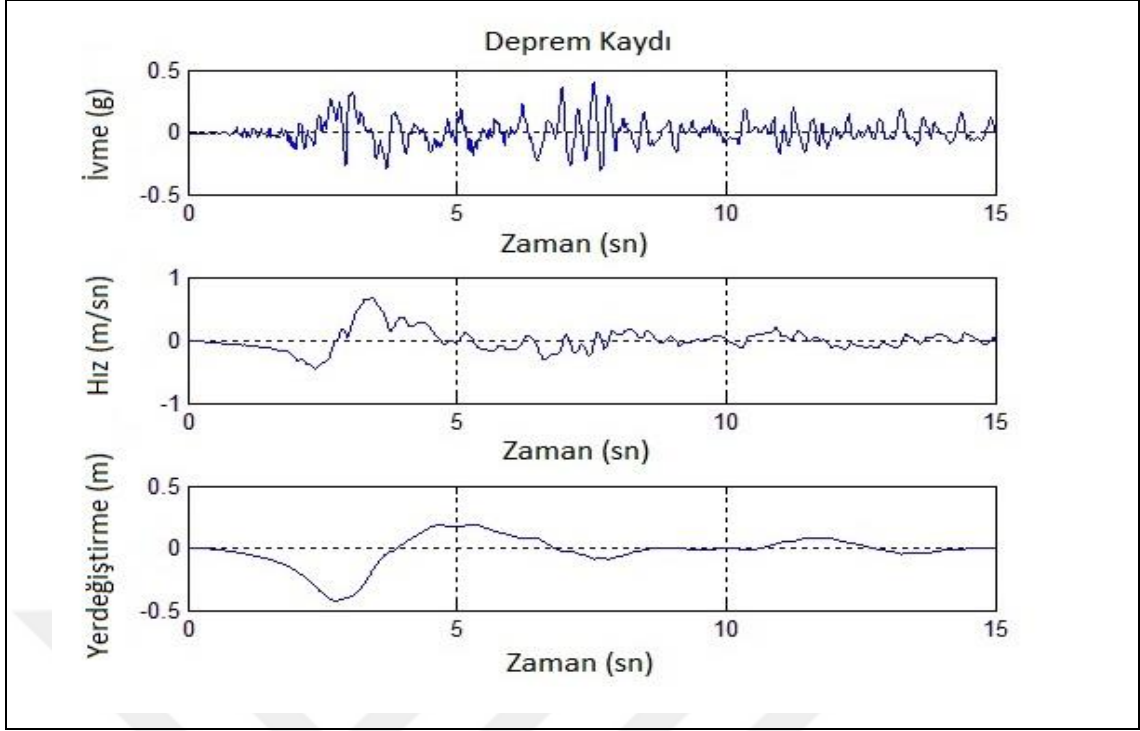


Şekil 3. 24 Ölçeklendirilmemiş 15 saniyelik deprem kaydına ait spektrum

Çalışmada kullanılan ölçeklenmiş deprem kaydı DBYBHY-2007’de verilen 1. derece deprem bölgesi ve Z4 türü zemin için elastik tasarım spektrumuna ait koşulu sağlamaktadır. DBYBHY-2007’ye göre bu koşul; dikkate alınacak yapıların birinci periyodunun (T) 0,2–2,0 katı aralığında elastik tasarım spektrumunun ortalamasının %90’ından daha düşük olmayacak şekilde, aynı periyot aralığında ilgili deprem kaydının spektrumunun ortalaması olmalıdır. [37] Şekil 3.25’de bu koşulun sağladığı görülmektedir.



Şekil 3. 25 Ölçeklendirilmiş 15 saniyelik deprem kaydına ait spektrum deprem kaydı spektrumunun



Şekil 3. 26 Ölçeklendirilmiş deprem kaydının 15 saniyelik kısmına ait ivme-hız-yerdeğiştirme grafiği

3.6 Sabit Ortalama İvme Kabulü ile Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi

D'alambert Prensibi yardımıyla genel hareket denklemi yazıldığında,

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = F_E(t) \quad (3.9)$$

$$m\ddot{u} = F_I \quad : \text{Atalet kuvvetleri}$$

$$c\dot{u} = F_D \quad : \text{Sönüm kuvvetleri}$$

$$ku = F_S \quad : \text{Yapısal kuvvetler}$$

$$F_E \quad : \text{Dış kuvvetler}$$

Doğrusal olmayan sistemde zaman ile birlikte sistemin rijitliği ($k(t)$) ve sönümü ($c(t)$) değişir. Hareket denklemi her "t" zaman aralığında çözümlenerek çözüme gidilir. Hareketin i. ve i+1. zamandaki denge denklemleri yazılır ve taraf tarafa çıkartılırsa denklem (3.17) elde edilir.

$$m\Delta\ddot{u}(i) + c_i\Delta\dot{u}(i) + k_i\Delta u(i) = \Delta F_E(i) \quad (3.10)$$

Denklemin çözümü için c_i, k_i değerlerinin Δt_i zaman aralığındaki değişimleri için yapılan kabullerin yanı sıra ivmenin de sabit olup i. ve i+1. anlardaki ivmelerin ortalamasına eşit olduğu kabul edilir.

$0 \leq \tau \leq \Delta t_i$ olarak alındığında;

$$\ddot{u}(\tau) = \frac{\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}}{2} \quad (3.11)$$

$$\dot{u}(\tau) = \dot{u} + \left(\frac{\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}}{2} \right) \tau \quad (3.12)$$

$$u(\tau) = u_i + \dot{u}\tau + \left(\frac{\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}}{2} \right) \frac{\tau^2}{2} \quad (3.13)$$

$$\tau = \Delta t_i \text{ için } \rightarrow \quad \ddot{u}(\Delta t_i) = \ddot{u}_{i+1}; \quad \dot{u}(\Delta t_i) = \dot{u}_{i+1};$$

$$\tau = 0 \text{ için } \rightarrow \quad \ddot{u}(0) = \ddot{u}_i; \quad \dot{u}(0) = \dot{u}_i;$$

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u} + \left(\frac{\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}}{2} \right) \Delta t_i \quad (3.14)$$

$$u_{i+1} = u_i + \dot{u}\Delta t_i + \left(\frac{\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}}{2} \right) \frac{\Delta t_i^2}{2} \quad (3.15)$$

Buradan i. ve i+1. anlardaki fark yazıldığında,

$$\Delta \ddot{u}_i = \left(\frac{\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}}{2} \right) \Delta t_i = \left(\frac{2\ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i}{2} \right) \Delta t_i \quad (3.16)$$

$$\Delta u_i = \dot{u}\Delta t_i + \left(\frac{2\ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i}{2} \right) \frac{\Delta t_i^2}{2} \quad (3.17)$$

Elde edilir. Son denklemden $\Delta \ddot{u}_i$ çözümlenip bir önceki denkleme yazılırsa

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{4}{\Delta t_i^2} (\Delta u_i - \dot{u}_i \Delta t_i) - 2\ddot{u}_i \quad (3.18)$$

$$\Delta \dot{u}_i = \frac{2}{\Delta t_i} (\Delta u_i - 2\dot{u}_i) \quad (3.19)$$

Denge denkleminde yerine yazılırsa,

$$\bar{k}_i \Delta u_i = \overline{\Delta F_E} \quad (3.20)$$

$$\bar{k}_i = \frac{4m}{\Delta t_i^2} + \frac{2c_i}{\Delta t_i} + k_i \quad (3.21)$$

$$\overline{\Delta F_E} = \Delta F_E + \left(\frac{4m}{\Delta t_i} 2c_i \right) \dot{u}_i + 2m\ddot{u}_i \quad (3.22)$$

Başlangıç şartları bilindiği için, ivmenin başlangıç değeri bulunabilir.

$$\ddot{u}_0 = \frac{1}{m} (F_E - c_0 \dot{u}_0 - k_0 u_0) \quad (3.23)$$

Öncelikle artıma ait yer değiştirme bulunur. Sırasıyla hız ve ivme elde edilir. Ancak ivme değeri bulunurken,

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{1}{m} (\Delta F_E - c_i \dot{u}_i - k_i u_i) \quad (3.24)$$

Denkleminin kullanılması ile sönüm ve rijitlikteki doğrusal olmayan değişimden kaynaklı birikmiş hataların önüne geçilebilir. Daha sonra bulunan artımsal değerler başlangıç değerleri ile toplanır. Bu işlem istenilen "t" değerine kadar adım adım devam eder.

$$u_{i+1} = u_i + \Delta u_i \quad (3.25)$$

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \Delta \dot{u}_i \quad (3.26)$$

$$\ddot{u}_{i+1} = \ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i \quad (3.27)$$

Zaman aralığının küçük olması doğrusal olmayan sistemlerde stabilite sağlanması için önemlidir. Zaman aralıklarının sistem periyodunun onda birinden küçük veya eşit olması istenir. Bu yöntem hem doğrusal elastik sistemlerde hem de doğrusal olmayan sistemlerde kullanılabilir. Ortalama ivme yaklaşımından başka doğrusal ivme yaklaşımı (Newmark yöntemi), Wilson θ yöntemi, Hilber-Hughes-Taylor (HHT) yöntemi gibi yaklaşımlar mevcuttur. Bu yöntemler detaylıca açıklanmamıştır. Ancak, hareket denkleminin tamamının elde edilişi anlaşılabilir. [38]

YAPISAL SİSTEMLERİN ANALİZİ VE DEPREM PERFORMANSI

Sonlu elemanlar modeli oluşturulan dört farklı ahşap taşıyıcı sistem için deprem yüklemesi altında elde edilen yapısal analiz sonuçları bu bölümde verilmiştir. Analiz sonuçları ahşap yapı sistemleri özelinde depreme dayanıklı yapısal tasarım ilkeleri açısından incelenmiştir.

Günümüz ahşap yapı tasarımı yaklaşımına göre, tasarlanan yapıların tasarım yükleri altında taşıyıcı elemanlarının doğrusal elastik davranışta bulunması gerekmektedir. Doğrusal olmayan davranışa basınç altında bir miktar izin verilebilir ancak betonarme ve çelik yapılarda sismik tasarım yaklaşımında sıkça tercih edilen eğilme altında plastik mafsallı bölgeleri oluşturarak deprem enerjisini sönmüleme mantığı ahşap yapı elemanları için uygun olmamaktadır.

Ülkemizde yeni yürürlüğe giren deprem yönetmeliği ile (deprem bölgesine göre değişmekle birlikte) 4 katlı ahşap yapıların tasarımına ilişkin kurallar tanımlanmasına rağmen yüksek katlı ahşap yapılar için henüz uygun bir yönetmelik mevcut değildir. Avrupa Yapısal Tasarım Normları'na (Eurocode'lar) göre yapılan yapısal hesaplar çok katlı ahşap yapılar için de geçerlidir. Bu sebeple bu çalışmada, ülkemizde ahşap yapıların statik ve dinamik yükler altında tasarımının yapılması konusunda kaynak yeterliliğinin artması amacıyla yüksek katlı ahşap yapılar için değişik taşıyıcı sistem tipinde yapı sistemleri oluşturulmuştur. Bu sistemler için Türk yönetmeliklerinde ve standartlarında olmayan gerek bilgi gerekse tasarım ve modelleme yaklaşımları için bilimsel makalelere ek olarak Eurocode'lardan yararlanılmıştır.

Yapının deprem performansını değerlendirmek için yapı deprem yüklemesine tabi tutulduktan sonra, sistem elemanlarının en çok zorlandığı an için “**sismik talep/kapasite (T/K)**” oranlarına bakmak gerekir. Güncel tasarım yaklaşımına uygun olması için bu oranın 1’den küçük olması gerekir. Eğer bu oran 1’den büyük çıkıyor ise sistem elemanında doğrusal olmayan davranış talep ediliyor demektir. Elemanın bu talebi karşılayacak doğrusal olmayan şekildeğiştirme kapasitesi var ise eleman göçmeyecektir. Ancak, tasarımda bu az olan doğrusal olmayan şekildeğiştirme kapasitesinden yararlanılmak istenmemektedir. Depremden sonra hasar alan bu elemanların bulunması bu sebeple hafif ya da ağır hasar veya bir başka deyişle hemen kullanım ya da göçme öncesi şeklinde sınıflandırmadan performans seviyesi açısından elastik bölgede ya da plastik bölgede olarak değerlendirilmektedir. Ancak, yapıdaki sistem elemanlarından herhangi birinde basınç yüklemesi altında doğrusal olmayan davranış gözlemleniyorsa o eleman için Euocode 5 de tanımlandığı gibi bir miktar hasara izin verilebilir.

Elemanlar doğrusal davranış gösterecekleri için katı mekaniğinden yararlanarak eleman kapasiteleri belirlenir. Basit eğilme için bu kapasite örneğin;

$$\frac{M}{I} = \frac{f}{y} = \frac{E}{R} \quad (4.1)$$

$$f = \frac{M}{I}y \quad \& \quad M = f \frac{I}{y} \quad (4.2)$$

Burada “*f*” malzemedeki normal gerilmeyi, “*M*” kesitteki moment, “*I*” kesitin atalet momentini, “*y*” kesitteki gerilmesi aranan lifin tarafsız eksenenden olan uzaklığını belirtmektedir.

İki doğrultuda eğilme ve aksenal yük altındaki kesitteki gerilme ise;

$$\sigma_z = \frac{P_z}{A} \mp \frac{M_z}{I_x}y \mp \frac{M_z}{I_y}x \quad (4.3)$$

Kesitteki kesme kapasitesi;

$$\tau = \frac{VS}{Ib} \quad (4.4)$$

Burada “ τ ” kesitin istenen kısmındaki kayma gerilmesini, “ V ” kesitteki kesme kuvvetini, “ I ” kesitin atalet momentini, “ b ” kesitin kayma gerilmesi kısmındaki genişliğini, “ S ” ise kesitin statik momentini belirtmektedir. Dikdörtgen kesitli bir kiriş için en büyük kayma gerilmesi kirişin orta noktasında oluşur. Genişliği b yüksekliği h olan bir kiriş için;

$$\tau = \frac{3V}{2bh} \quad (4.5)$$

4.1 Gerilme Tahkiki

4.1.1 Eğilme Tahkiki

Ana eğilme doğrultusundaki narinlik oranı 0,75’den küçük olan iki doğrultuda eğilme altında olan kesitler için;

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.6)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.7)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad ; \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} \quad (4.8)$$

$$W_{y/z} = \frac{bh^2}{6}$$

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_h f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (4.9)$$

$$f_{m,y/z,d} \geq \sigma_{m,y,d} \quad (4.10)$$

Burada;

$\sigma_{m,y,d}$ ve $\sigma_{m,z,d}$ asal eksenlere göre tasarım eğilme gerilmelerini, $f_{m,y,d}$ ve $f_{m,z,d}$ tasarım eğilme dayanımlarını göstermektedir, $f_{m,k}$ karakteristik eğilme dayanımını, k_{sys} sistem dayanım faktörünü ve k_{mod} da yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörünü ifade etmektedir.

Ana eğilme doğrultusundaki narinlik oranı 0,75'den büyük olan iki doğrultuda eğilme altında olan kesitler için;

$$k_{crit}f_{m,y/z,d} = \sigma_{m,d} \geq \sigma_{m,y,d} \quad (4.11)$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & 0,75\lambda_{rel,m} \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (4.12)$$

$\sigma_{m,d}$ tasarım eğilme gerilmesini, $f_{m,d}$ tasarım eğilme dayanımını, $\lambda_{rel,m}$ eğilme için göreceli narinlik oranı ve k_{crit} yanal burkulmadan kaynaklanan azaltılmış eğilme dayanımını dikkate alan bir faktörü ifade etmektedir.

4.1.2 Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d \quad (4.13)$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}k_{sys}f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (4.14)$$

Burada γ_M model belirsizliklerini ve boyutsal değişimleri de dikkate alan malzeme özellikleri için kısmi faktörü ifade etmektedir. $f_{v,k}$ ise karakteristik kayma dayanımını ifade etmektedir.

4.1.3 Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki

Eksenel basınç ve iki doğrultuda eğilmeye maruz kalan kesitler için;

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z}$ 'nin 0,3 den küçük olma durumunda kesitte burkulma görülmez ve göçme modunu basınç dayanımı belirler. Buna göre;

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.15)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.16)$$

$\lambda_{rel,y}$ ve/veya $\lambda_{rel,z}$ 'nin 0.3 den büyük olma durumunda kesitte burkulma görülebilir ve göçme modunu belirlemek için basınç dayanımında burkulma faktörünü dikkate almak gerekir. Buna göre;

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.17)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.18)$$

$$\lambda_{rel,y/z} = \frac{\lambda_{y/z}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (4.19)$$

$$\lambda = \frac{L_k}{d} \quad (4.20)$$

Burada " L_k " kolon serbest uzunluğunu ve " d " kolon kesitinin en küçük boyutunu ifade etmektedir. İki ucu ankastre kolon için $L_k = L/2$ ye eşittir.

Eksenel çekme ve iki doğrultuda eğilmeye maruz kalan kesitler için;

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.21)$$

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.22)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (4.23)$$

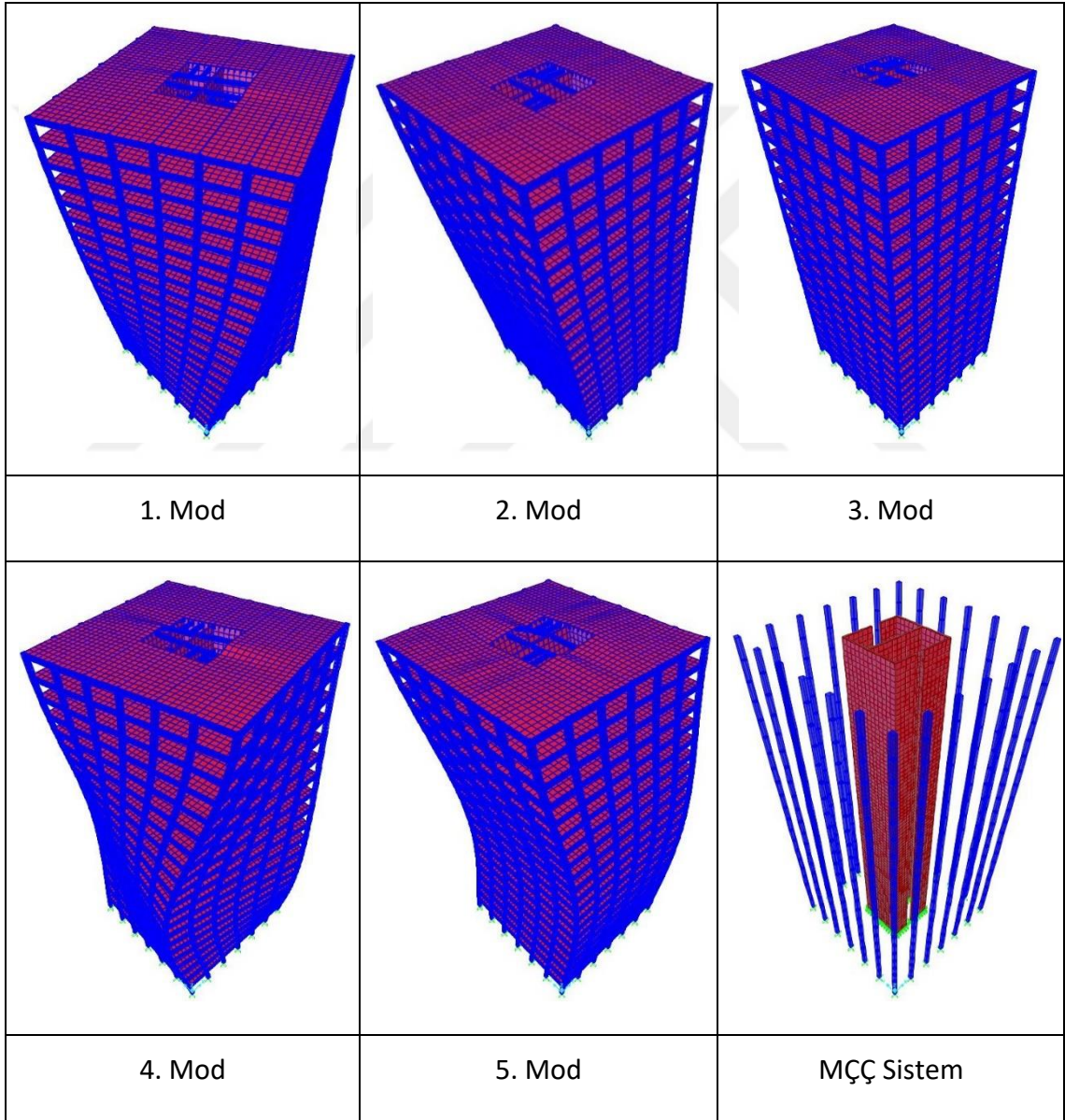
$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (4.24)$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (4.25)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (4.26)$$

4.2 Yapısal Sistemlerin Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları ve Gerilme Tahkikleri

MÇÇ sistem, DD-MÇÇ sistem, P-MÇÇ sistem ve KK-MÇÇ sisteme ait periyot, frekans ve ilk beş moduna ait görseller EK-A kısmında verilmiştir. Bu bölümde sadece MÇÇ sisteme ait mod şekilleri ile periyot ve frekans değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Periyotlar incelendiğinde tüm sistemlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak sistemler içinde en büyük periyot MÇÇ sistemde, en küçük periyot ise KK-MÇÇ sistemde görülmüştür. Birinci mod şekli KK-MÇÇ sistem hariç diğer tüm sistemlerde burulma olurken kısmi kafesli sistemde ötelenme oluşmuştur.



Şekil 4. 1 MÇÇ taşıyıcı sisteme sahip yapının mod şekilleri

Bu çalışma kapsamında analizi yapılan sistemlere ait periyot, frekans ve kütle katılım oranları Çizelge 4.1' de gösterilmektedir. Taşıyıcı sistemlere ait mod şekilleri ile bu modlara ait periyot ve frekans değerleri çalışmanın EK-A bölümünde ayrıca verilmiştir.

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi 2 Hz-4 Hz aralığında tüm sistemlerde kütle katılım oranı yaklaşık %10-15 olmaktadır. İlk on modda tüm sistemlerde yaklaşık %85 kütle katılımı sağlanmaktadır.

Çizelge 4. 1 Taşıyıcı sistemlere ait periyot, frekans ve kütle katılım oranları tablosu

Mod	MÇÇ Sistem				DD-MÇÇ Sistem			
	Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)		Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)	
			X	Y			X	Y
1.	1,291	0,774	0,000	0,000	1,280	0,781	0,000	0,000
2.	1,289	0,776	0,574	0,124	1,215	0,823	0,654	0,063
3.	1,253	0,798	0,124	0,569	1,171	0,854	0,063	0,654
4.	0,422	2,371	0,000	0,000	0,417	2,398	0,000	0,000
5.	0,391	2,556	0,118	0,016	0,379	2,637	0,102	0,011
6.	0,376	2,657	0,016	0,132	0,364	2,745	0,011	0,114
7.	0,244	4,099	0,000	0,000	0,244	4,104	0,000	0,000
8.	0,210	4,762	0,041	0,003	0,207	4,826	0,045	0,004
9.	0,201	4,978	0,003	0,038	0,199	5,025	0,003	0,041
10.	0,172	4,099	0,000	0,000	0,170	5,895	0,000	0,000

Çizelge 4. 2 Taşıyıcı sistemlere ait periyot, frekans ve kütle katılım oranları tablosu devamı

Mod	KK-MÇÇ Sistem				P-MÇÇ Sistem			
	Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)		Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)	
			X	Y			X	Y
1.	1,237	0,809	0,598	0,118	1,250	0,800	0,002	0,001
2.	1,227	0,815	0,000	0,000	1,150	0,869	0,313	0,363
3.	1,203	0,831	0,118	0,592	1,132	0,883	0,364	0,313
4.	0,392	2,554	0,000	0,000	0,402	2,490	0,000	0,000
5.	0,382	2,617	0,102	0,014	0,334	2,990	0,088	0,061
6.	0,368	2,715	0,014	0,117	0,328	3,048	0,060	0,095
7.	0,241	4,154	0,000	0,000	0,231	4,322	0,000	0,001
8.	0,207	4,824	0,046	0,004	0,223	4,475	0,000	0,000
9.	0,199	5,017	0,004	0,042	0,217	4,618	0,000	0,001
10.	0,155	6,431	0,000	0,000	0,207	4,820	0,000	0,004

Çizelge 4.2'ye bakıldığında tüm sistemlerdeki ötelenme modlarının frekansları yaklaşık 0,8 Hz-0,9 Hz aralığındadır. Şekil 3.25'de ölçeklendirilmiş deprem kaydının spektrumunda bu frekans aralığına yaklaşık 0,6g'lik bir ivme karşılık gelmektedir. Çizelge 4.3'de bu frekans aralığında modların kütle katılım oranları da P-MÇÇ sistem hariç yaklaşık %60'dır. P-MÇÇ sistemde bu oran %30'dur. Dolayısıyla sistemlere bu aralıkta etki eden kuvvet ($0,6g \times \%60$) bina ağırlığının yaklaşık %40'ıdır. P-MÇÇ sistemde bu oran %20'dir. Öte yandan 2 Hz-4 Hz frekans aralığında ilgili spektrumda yaklaşık 1,8g'lik bir ivme karşılık gelmektedir. Bu aralıkta tüm sistemlerde yaklaşık %10-15 kütle katılım oranı düşünüldüğünde etki eden kuvvet bina ağırlığının yaklaşık %25'idir. Dolayısıyla yüksek modların katkısı düşük modlara göre yaklaşık %60 mertebesinde olup P-MÇÇ sistem

hariç diğer sistemlerin dinamik cevabında etkili olacaktır. P-MÇÇ sistemde yüksek modların katkısı yaklaşık düşük modlar kadardır.

Çizelge 4. 3 Taşıyıcı sistemlere ait frekans ve kütle katılım oranları özet tablosu

MÇÇ Sistem				KK-MÇÇ Sistem			
Mod	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)		Mod	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)	
		X	X			X	Y
2.	0,776	0,574	0,124	1.	0,809	0,598	0,118
3.	0,798	0,124	0,569	3.	0,831	0,118	0,592
DD-MÇÇ Sistem				P-MÇÇ Sistem			
Mod	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)		Mod	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı (%)	
		X	Y			X	Y
2.	0,823	0,654	0,063	2.	0,869	0,313	0,363
3.	0,854	0,063	0,654	3.	0,883	0,364	0,313

Tüm yapı sistemlerinde en büyük zorlanmaya maruz kalmış farklı yapı elemanları için gerilme tahkikleri yapılarak ekte verilmiştir. Ana kirişler, kolonlar, dıştan destekli sistem elemanları ve kısmi kafes elemanları her sistem için kendi içinde değerlendirilerek en büyük zorlanmaya maruz elemanlarda tahkik yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar Çizelge 4.3'de özetlenerek sunulmuştur. Çizelge 4.3'de görüldüğü gibi tüm sistemlerde yapı elemanları tasarım şartlarını sağlamaktadır.

Çizelge 4. 4 Gerilime tahkikleri özet tablosu

Sistem	Eleman	Tahkik	İrdeleme	Sonuç
MÇÇ Sistem	400X500 Kiriş	Eğilme	0,82<1,00	Yeterli
			0,58<1,00	Yeterli
		Kesme	1,63<3,10	Yeterli
	300X500 Kiriş	Eğilme	0,44<1,00	Yeterli
			0,39<1,00	Yeterli
	300X500 Kiriş	Kesme	1,47<3,10	Yeterli
	300X400 Kiriş	Eğilme	0,57<1,00	Yeterli
			0,42<1,00	Yeterli
		Kesme	0,77<3,10	Yeterli
	600X600 Kolon	Eks. Kuv. ve İki Doğ. Eğilme	0,76<1,00	Yeterli
			0,68<1,00	Yeterli
		Kesme	1,41<3,10	Yeterli
DD-MÇÇ Sistem	400X500 Kiriş	Eğilme	0,58<1,00	Yeterli
			0,41<1,00	Yeterli
		Kesme	1,14<3,10	Yeterli
	300X500 Kiriş	Eğilme	0,35<1,00	Yeterli
			0,31<1,00	Yeterli
	Kesme	1,20<3,10	Yeterli	
	300X400 Kiriş	Eğilme	0,38<1,00	Yeterli
			0,27<1,00	Yeterli
		Kesme	0,43<3,10	Yeterli
	600X600 Kolon	Eks. Kuv. ve İki Doğ. Eğilme	0,60<1,00	Yeterli
			0,53<1,00	Yeterli

Çizelge 4. 5 Gerilime tahkikleri özet tablosu devamı

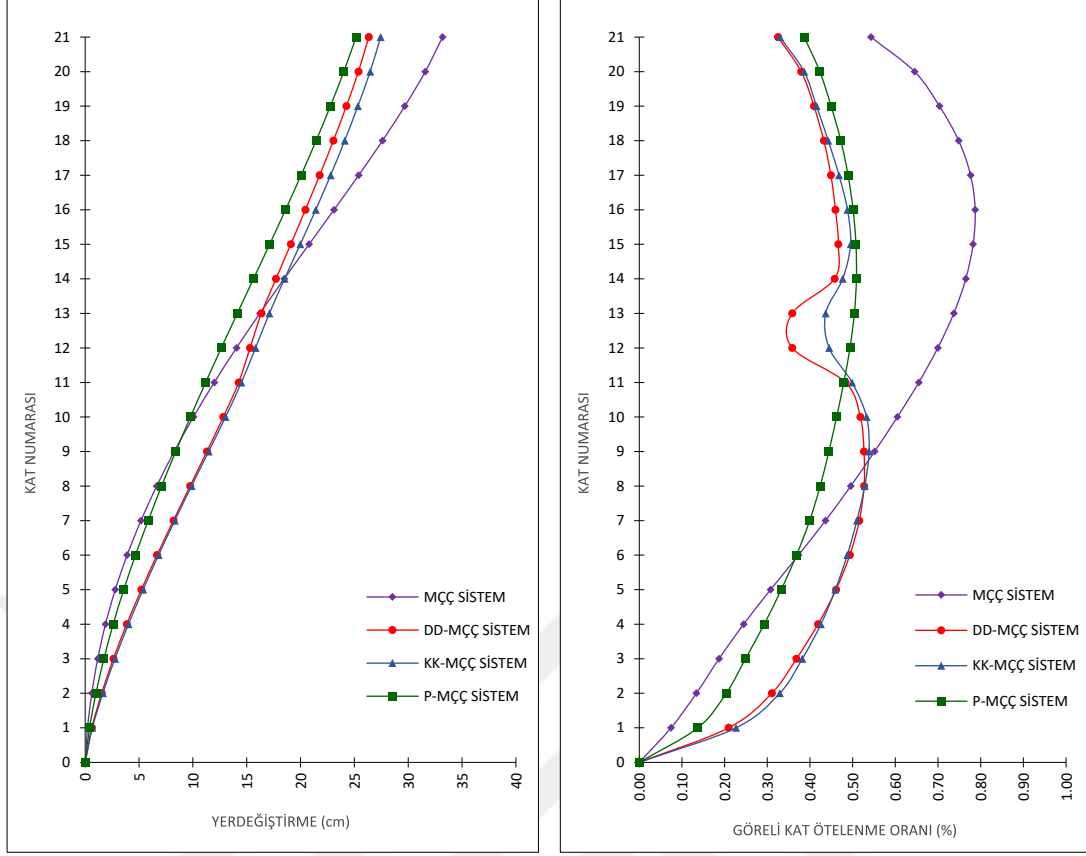
DD-MÇÇ Sistem	600X600 Kolon	Kesme	0,95<3,10	Yeterli
	400X500 Dıştan Destekli Yapı Elemanı	Eks. Kuv. ve İki Doğ. Eğilme	0,34<1,00	Yeterli
			0,39<1,00	Yeterli
		Kesme	0,10<3,10	Yeterli
P-MÇÇ Sistem	400X500 Kiriş	Eğilme	0,66<1,00	Yeterli
			0,49<1,00	Yeterli
		Kesme	1,28<3,10	Yeterli
	300X500 Kiriş	Eğilme	0,30<1,00	Yeterli
			0,26<1,00	Yeterli
		Kesme	0,98<3,10	Yeterli
	300X400 Kiriş	Eğilme	0,46<1,00	Yeterli
			0,33<1,00	Yeterli
		Kesme	0,61<3,10	Yeterli
	600X600 Kolon	Eks. Kuv. ve İki Doğ. Eğilme	0,97<1,00	Yeterli
			0,93<1,00	Yeterli
		Kesme	1,17<3,10	Yeterli
KK-MÇÇ Sistem	400X500 Kiriş	Eğilme	0,80<1,00	Yeterli
			0,59<1,00	Yeterli
		Kesme	1,61<3,10	Yeterli
	300X500 Kiriş	Eğilme	0,36<1,00	Yeterli
			0,32<1,00	Yeterli
		Kesme	1,20<3,10	Yeterli
	300X400 Kiriş	Eğilme	0,53<1,00	Yeterli
			0,39<1,00	Yeterli

Çizelge 4. 6 Gerilime tahkikleri özet tablosu devamı

KK-MÇÇ Sistem	300X400 Kiriş	Kesme	0,67<3,10	Yeterli
	600X600 Kolon	Eks. Kuv. ve İki Doğ. Eğilme	0,94<1,00	Yeterli
			0,71<1,00	Yeterli
		Kesme	2,00<3,10	Yeterli
	400X500 Kısmi Kafes Yapı Elemanı	Eks. Kuv. ve İki Doğ. Eğilme	0,25<1,00	Yeterli
			0,32<1,00	Yeterli
		Kesme	0,18<3,10	Yeterli

4.3 Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması

X doğrultusunda etkiyen deprem için Şekil 4.2'de gösterilen en büyük tepe yerdeğiştirmesi anında görelî kat ötelenmelerine ve yerdeğiştirmelerine bakıldığında en büyük tepe yer değiştirmesi $t=13,54$ saniyede 331,8 mm olarak MÇÇ sistemde, en küçük tepe yerdeğiştirmesi ise 251,6 mm ile P-MÇÇ sistemde olduğu gözlemlenmiştir. Sistemler arasındaki en büyük görelî ötelenmelerin de %0,79 olarak 15. ve 16. katlar arasında MÇÇ sistemde gerçekteşiği görölmektedir. Bu sistem için merkezi çekirdekteki perdenin sistemin davranışını 15. kata kadar büyük oranda etkilediği görölmektedir. Bu kattan sonra Şekil 4.2b'de göröleceği gibi görelî kat ötelenmelerinde bir düşüş meydana geldiği ve çerçeve elemanların etkinliğinin arttığı gözlemlenmektedir. Yine ara katlarda KK-MÇÇ ve DD-MÇÇ sistemlerde rijitlik farklarından kaynaklı olarak görelî kat ötelenmelerinde 11. ve 14. katlar arasında belirgin değişiklik gözlenmektedir. P-MÇÇ sistem ise MÇÇ sisteme benzer bir durum mevcuttur. Perde davranışı 15. kata kadar etkin iken, bu kattan sonra çerçeve elemanların etkinliği gözlenmektedir. Bununla birlikte bu sistemlerin de tepe yer değiştirmesi diğer sistemlerin tepe yerdeğiştirme değerlerinden küçüktür ve görelî kat ötelenme oranlarındaki değişimin diğer sistemlerdekine oranla sınırlı olduğu görölmektedir.



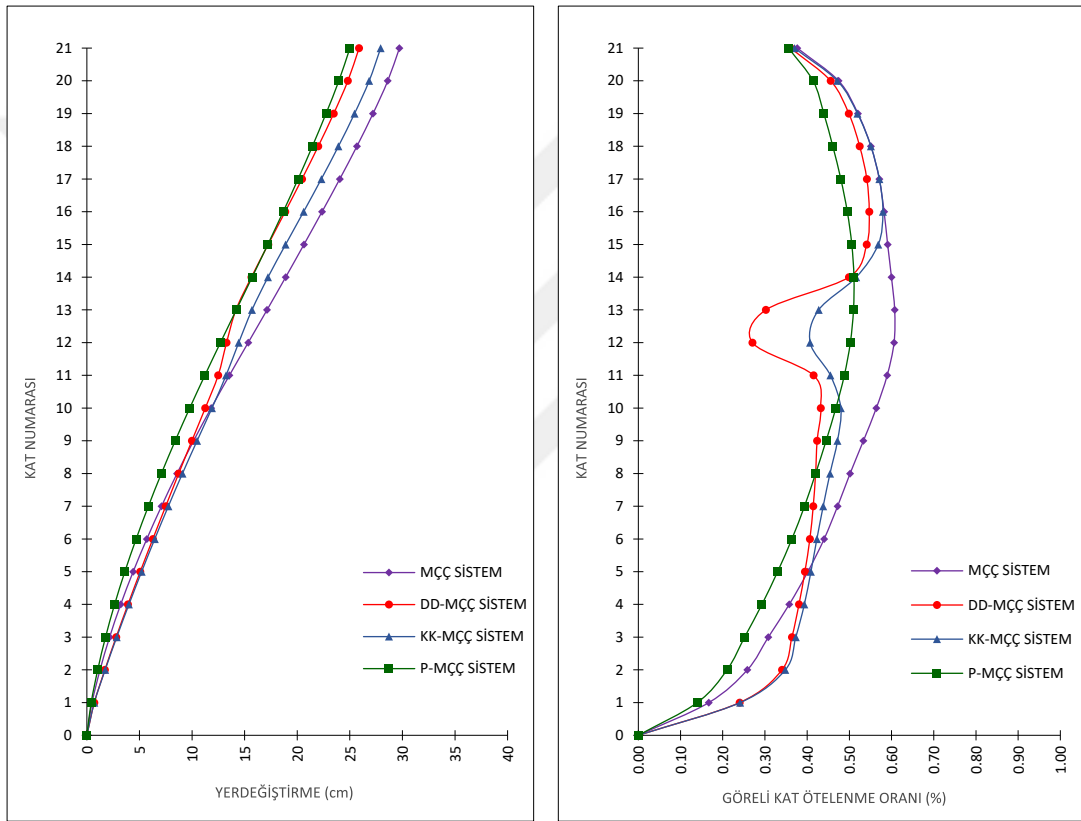
(a)

(b)

Şekil 4. 2 X doğrultusunda en büyük tepe yerdeğiştirmesi anındaki a) kat yerdeğiştirmeleri grafiği b) görelİ kat ötelenme oranları grafiği

Şekil 4.3'de Y doğrultusunda etkiyen deprem durumunda da en büyük tepe yerdeğiştirmesi $t=5,05$ saniyede 297,2 mm olarak MÇÇ sistemde gerçekteşmiştir. En küçük tepe yerdeğiştirmesi de P-MÇÇ sistemde 250,1 mm olarak gerçekteşmiştir. Y doğrultusu için en büyük görelİ ötelenme oranı %0,61 olarak MÇÇ sistemin 12. ve 13. katları arasında gerçekteşmiştir. Kısmi kafes ve dıştan destekli yapı elemanlarının sistemlerine olan rijitlik katkıları bu doğrultuda da gözlemlenmektedir. Özellikle 11. ve 14. katlar arasında DD-MÇÇ sistemde görelİ kat ötelenme oranı %0,30'dan fazla azalmıştır. Bu doğrultu için de merkezdeki çekirdeğin sistemin davranışı üzerindeki etkisi Şekil 4.3'de açık şekilde görölmektedir. 15. kattan sonra katlardaki yerdeğiştirmelerin artış oranları azalsa da merkezdeki perdelerin etkinliği 19. ve 20. kata kadar devam etmektedir.

Şekil 4.3'de gösterilen kat yerdeğiştirmeleri ve görel kat ötelenmeleri incelendiğinde özellikle MÇÇ sistemde oluşan en büyük tepe yer değiştirmesi ile en büyük görel kat ötelenmesinin X doğrultusundakine oranla daha küçük değere sahip olduğu görölmektedir. Merkezi çekirdekte X doğrultusundaki iki perdede de 1,5 metre genişlikte kapı boşluklarının olması, Y doğrultusundaki perdelerde herhangi bir boşluk bulunmaması taşıyıcı sistemlerin davranışında iki doğrultu arasında dikkate değer oranda farklara neden olmuştur. Bu durum X doğrultusundaki ötelenme modlarının Y doğrultusundaki ötelenme modlarından sonra gelmesiyle de teyit edilmektedir.



(a)

(b)

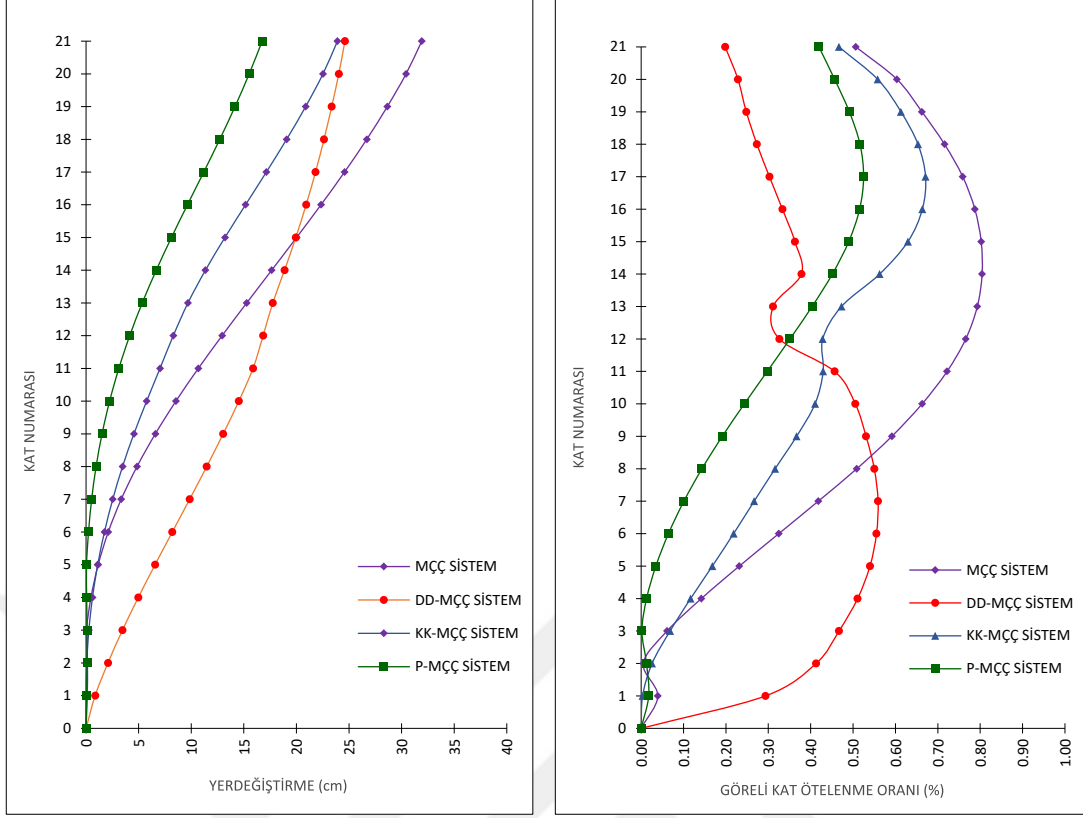
Şekil 4. 3 Y doğrultusunda en büyük tepe yerdeğiştirmesi anındaki a) kat yerdeğiştirmeleri grafiği ve b) görel kat ötelenme oranları grafiği

Her iki doğrultu için sistemler karşılaştırılacak olursa perdeli ve MÇÇ sistem hem daha az tepe yerdeğiştirmesi yapmakta hem de katlar arası en az farklılık bu sistemde görölmektedir. Katlar arasındaki yerdeğiştirmelerin yakın olması katlardaki yatay taşıyıcı sistemlere gelen kesme kuvvetlerinde farklılıkların fazla olmamasına ve yapı güvenliğine

doğrudan yansımaktadır. Öte yandan tüm sistemlerdeki en büyük görelî ötelenme dahi %1'i geçmemektedir.

Taşıyıcı sistemlerin en büyük görelî kat ötelenme oranına ulaştığı andaki kat yerdeğıştirmeleri ve görelî kat ötelenmeleri incelenecek olursa, X doğrultusunda etkiyen deprem için Şekil 4.4'de gösterilen yapıdaki en büyük görelî kat ötelenme değeri MÇÇ sistemin 13. ve 14. katlarında $t=14,74$ saniyede %0,80 olarak gerçekleşmiştir. Bu andaki kat yerdeğıştirme değeri grafiğine bakıldığında ise MÇÇ sistemin 319,2 mm ile en büyük yerdeğıştirme değeri ulaştığı görölmektedir. En küçük tepe yerdeğıştirme değeri ise 167,4 mm ile P-MÇÇ sistemde oluştuğu görölmektedir.

Şekil 4.2'de X doğrultusunda en büyük tepe yerdeğıştirmesi anında sistemlerin davranışında merkezi çekirdeğin etkisi özellikle dıştan destekli ve kısmi kafesli sistemlerde 9. kata kadar gözlemlenirken, Şekil 4.4'de en büyük görelî kat ötelenmesi anında kısmi kafesli ve perdeli sistemlerde merkezi çekirdeğin etkisi 17. kata kadar devam etmektedir. Özellikle Şekil 4.4 incelendiğinde ilk katlarda merkezi çekirdek yer değıştirmeleri ciddi oranda sınırlanmıştır. Dıştan destekli sistem için 7. kattan sonra çerçeve elemanlarının etkili olduğu ve dıştan destekli sistem elemanlarının yapının davranışına hissedilir derecede etki ettiği görölmektedir.

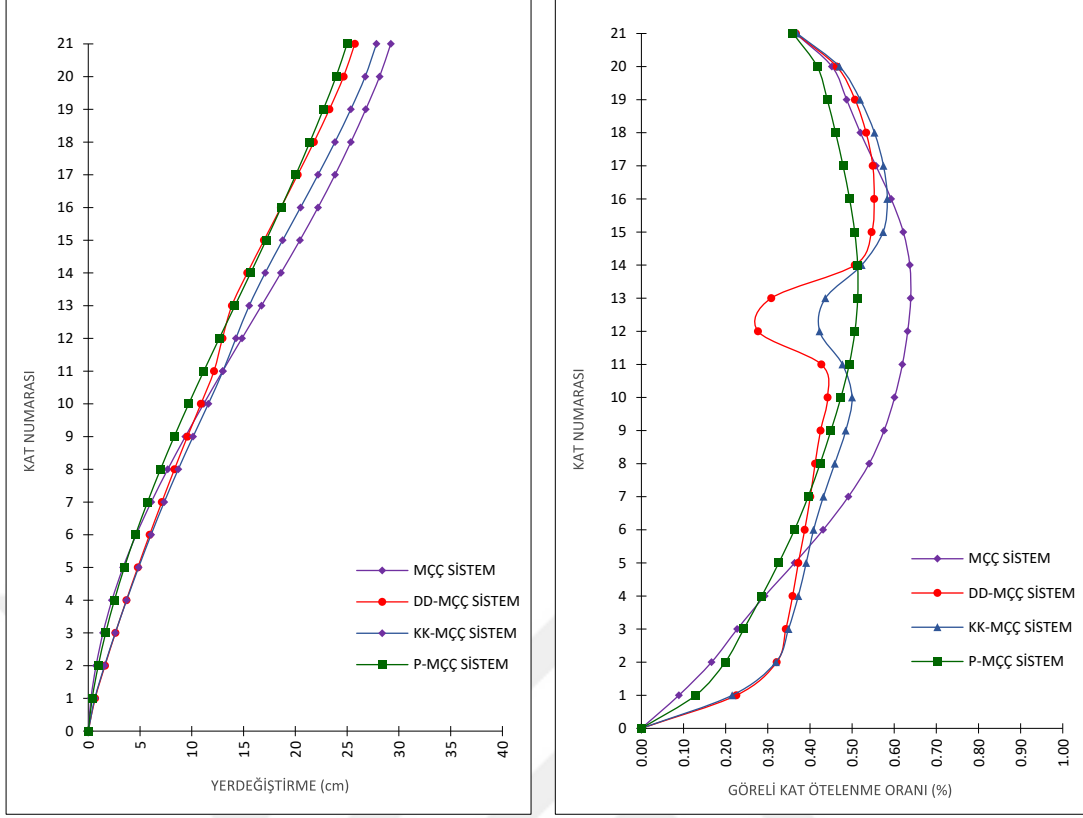


(a)

(b)

Şekil 4. 4 X doğrultusunda en büyük görel kat ötelenme oranı anındaki a) kat yerdeğıştirmeleri grafiğı ve b) görel kat ötelenme oranları grafiğı

Y doğrultusundan gelen deprem için Şekil 4.5'de gösterilen en büyük görel kat ötelenmesinin gerçekleştiğı andaki kat yer değıştirmeleri ve görel kat ötelenmeleri grafiğıne bakıldığında sistemlerin diğere doğrultudaki yerdeğıştirme ve görel kat ötelenmesi grafiğıne oranla daha küçük değerler aldığı görölmektedir. Bu doğrultu için en büyük görel ötelenme $t=8,08$ saniyede %0,64 olarak MÇÇ sistemin 12. ve 13. katları arasında gerçekleşmiştir. Bu anda MÇÇ sistemde oluşan en büyük yer değıştirme değeri 292,2 mm olarak gerçekleşmiştir. En küçük yerdeğıştirme değeri ise perdeli sistemde 25 cm olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.2a ve Şekil 4.4a incelenirse merkezi çekirdeğin etkinliğinin fazla olmaması ve çerçeve sistemin, yapıları farklı kat seviyelerinde etkilemesi sistem davranışlarının birbirinden farklı olmasına sebep olmuştur.



(a)

(b)

Şekil 4. 5 Y doğrultusunda en büyük görel kat ötelenme oranı anındaki a) kat yerdeğıştirmeleri grafiğı ve b) görel kat ötelenme oranları grafiğı

Şekil 4.3a ve Şekil 4.5a incelendiğinde her iki zaman adımı için de sistem davranışlarının neredeyse aynı olduğı görülmektedir. Şekil 4.3b ve Şekil 4.5b' ye bakıldığında da her iki zaman dilimi için sistem davranışlarının benzer olduğı görülmektedir. Merkezi çekirdeğin Y doğrultusu için baskın olduğı ve en büyük tepe yerdeğıştirmesi ile en büyük görel kat ötelenmesi anlarında davranışın birbirine yakın olduğı görülmektedir.

4.3.1 En büyük Kat Yer Değıştirmeleri ve İvmeleri

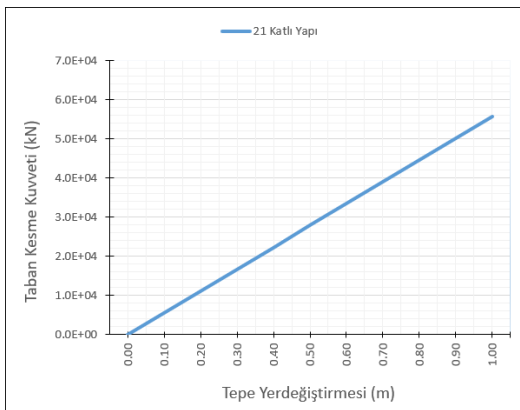
En büyük tepe yer değıştirmesi anında değıl de sistemdeki katların herbirinin kendi içinde yer değıştirmelerinin en büyük olduğı anlar incelendiğinde ise Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterildiğı gibi P-MÇÇ sistemin tasarım açısından diğierlerinden daha kararlı sonuç verdiğı görülmektedir. Katlara etkileyen ivme değıerleri yapısal ve yapısal olmayan eleman tasarımlarında sıkça kullanılmaktadır. Her iki doğrultudaki kat ivmeleri

incelendiğinde tüm sistemlerde ivmelenme büyüklüğünün benzer seviyelerde olduğu söylenebilir.

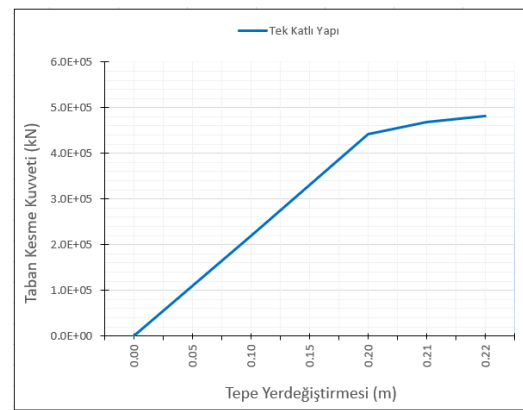
Yapıya etkiyen en büyük ivmeleri X doğrultusundan gelen deprem için Şekil 4.7d’de görüldüğü gibi ağırlıklı olarak 10. ve 15. saniyeler arasında oluştuğu görülmektedir. Y doğrultusundan gelen deprem durumunda ise Şekil 4.8d’de görüldüğü gibi katlara etkiyen en büyük ivmeler 5. saniye ile 15. saniyeler arasında oluşmaktadır.

Bununla birlikte yapıya X doğrultusunda gelen deprem durumunda, sistemlerin en büyük kat ivme değerleri sistemlerden bağımsız olarak Y doğrultusundan gelen deprem durumuna oranla daha büyük değerler almaktadır. Bu da tüm sistemler için merkezi çekirdekteki perde yerleşimine ve perdelerdeki mevcut boşluklara doğrudan bağlıdır ve bu durum taşıyıcı sistem davranışını doğrudan etkilemektedir.

MÇÇ sistemli ve 21 katlı yapıya uygulanan itme analizi sonucunda elde edilen taban kesme-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 4.6a’da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ilişki doğrusaldır. Başka bir örnek durumda aynı taşıyıcı sistemli binanın tek katlı hali üzerine diğer katların ağırlığını temsilen 10 kN/m² düşey yükü yüklenerek 30 cm statik itme analizi yapıldı ve taban kesme-yerdeğiştirme ilişkisine ait sonuç Şekil 4.6b’de verildi. Bu durumda taban kesme-yerdeğiştirme arasında doğrusal olmayan ilişki görülmektedir. Modeldeki doğrusal olmayan malzeme özelliğinin çalıştığı, ancak mevcut yapının kendi kat yüksekliği ve kendi ağırlığı altında dinamik yükleme etki ettiğinde, sistemde doğrusal olmayan davranışa geçmediği anlaşılmıştır.

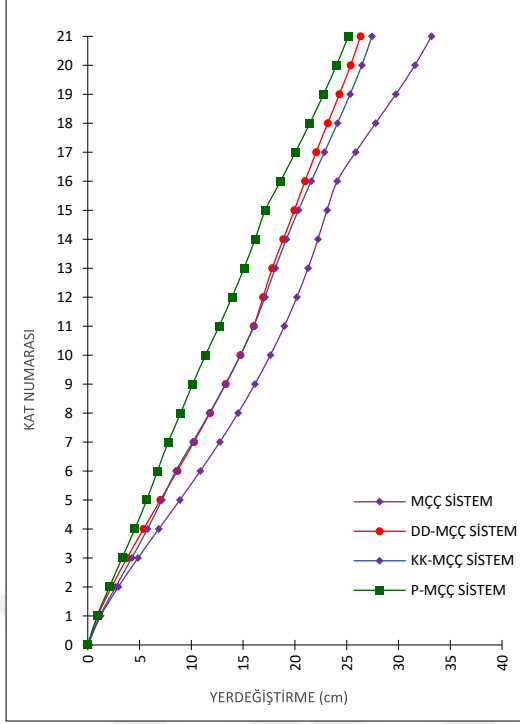


a)

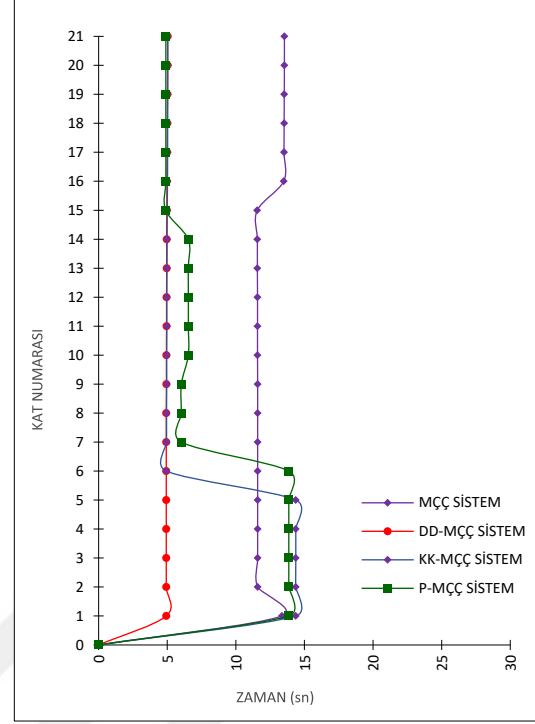


b)

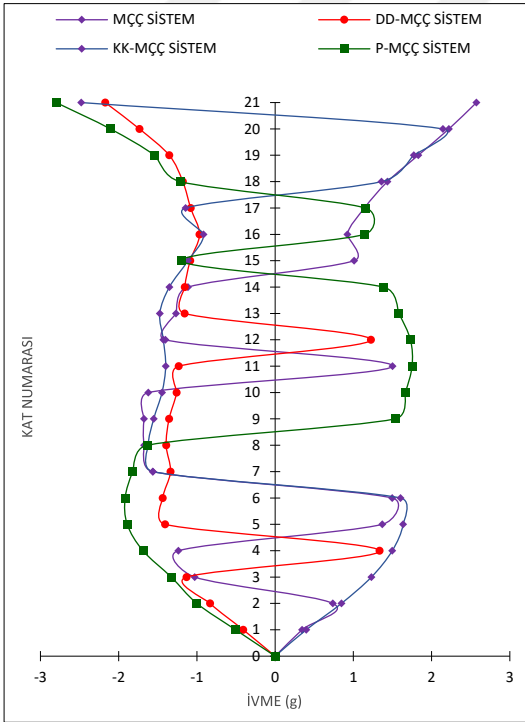
Şekil 4. 6 a) Tek katlı yapıya ait statik itme analiz grafiği b) 21 katlı MÇÇ sistem yapıya ait statik itme analiz grafiği



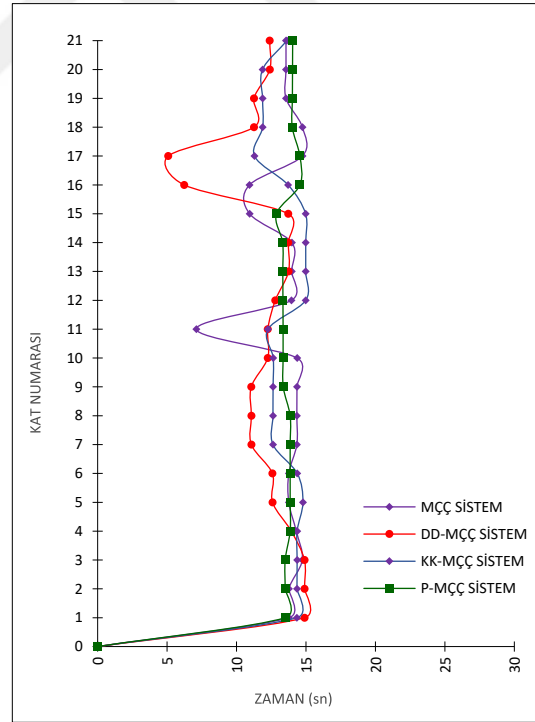
(a)



(b)

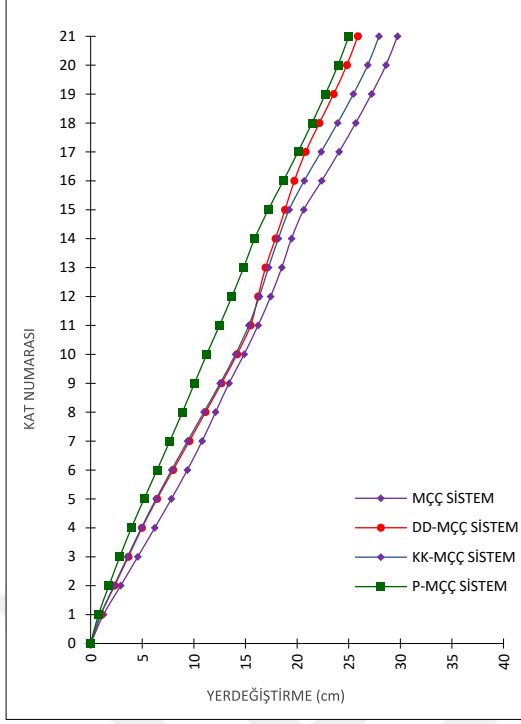


(c)

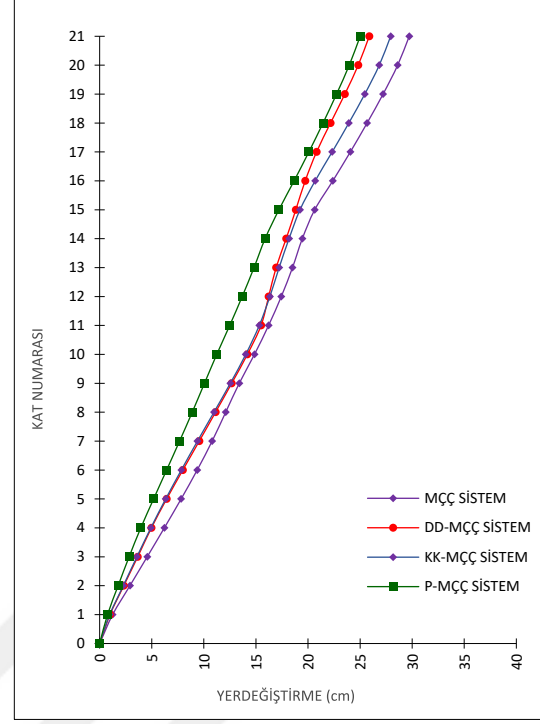


(d)

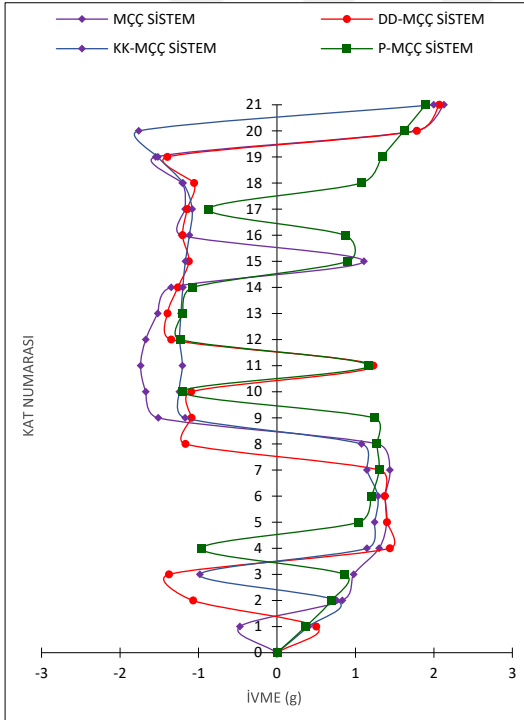
Şekil 4. 7 X doğrultusunda taşıyıcı sistemlerin a) En büyük kat yerdeğiştirme grafiği c) En büyük kat ivmeleri grafiği, b) ve d) Yerdeğiştirme ve ivmelerin gerçekleştiği zamanlar



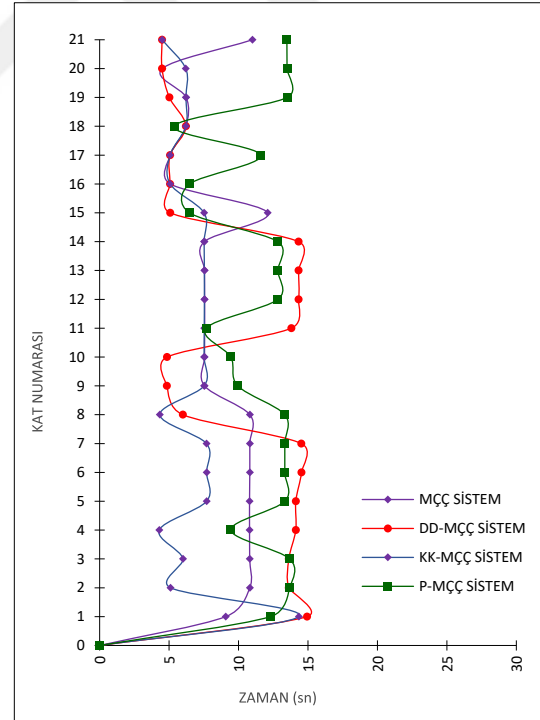
(a)



(b)



(c)



(d)

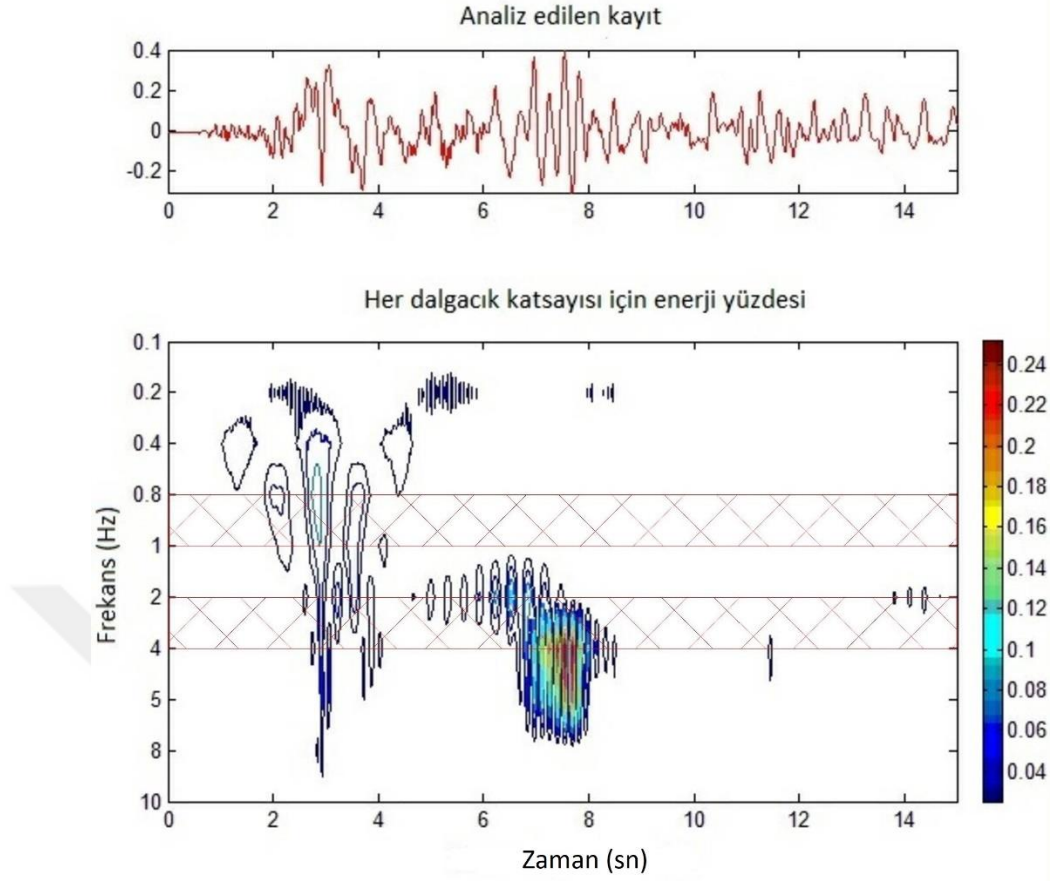
Şekil 4. 8 Y doğrultusunda taşıyıcı sistemlerin a) En büyük kat yerdeğiştirme grafiği c) En büyük kat ivmeleri grafiği, b) ve d) Yerdeğiştirme ve ivmelerin gerçekleştiği zamanlar

X doğrultusunda gelen deprem için en büyük kat ivmeleri incelendiğinde, DD-MÇÇ sistem için en büyük ivme değeri 2,17g, KK-MÇÇ sistemde 2,48g, MÇÇ sistemde 2,57g ve P-MÇÇ sistemde 2,8g olduğu görülmektedir.

Y yönünde gelen deprem durumunda ise, P-MÇÇ sistem için en büyük ivme değeri 1,90g, KK-MÇÇ sistemde 2g, DD-MÇÇ sistemde 2,07g ve MÇÇ sistemde 2,13g olduğu görülmektedir.

Buradan da anlaşıldığı gibi X doğrultusunda en büyük kat ivmelerine bakıldığında en küçük ivme değeri DD-MÇÇ sistemde oluşurken, Y doğrultusu için P-MÇÇ sistemde oluşmaktadır. Her ne kadar sistemlerdeki en büyük ivme değerleri için bir sıralama olsa da özellikle Y doğrultusunda ivme değerleri birbirine oldukça yakındır.

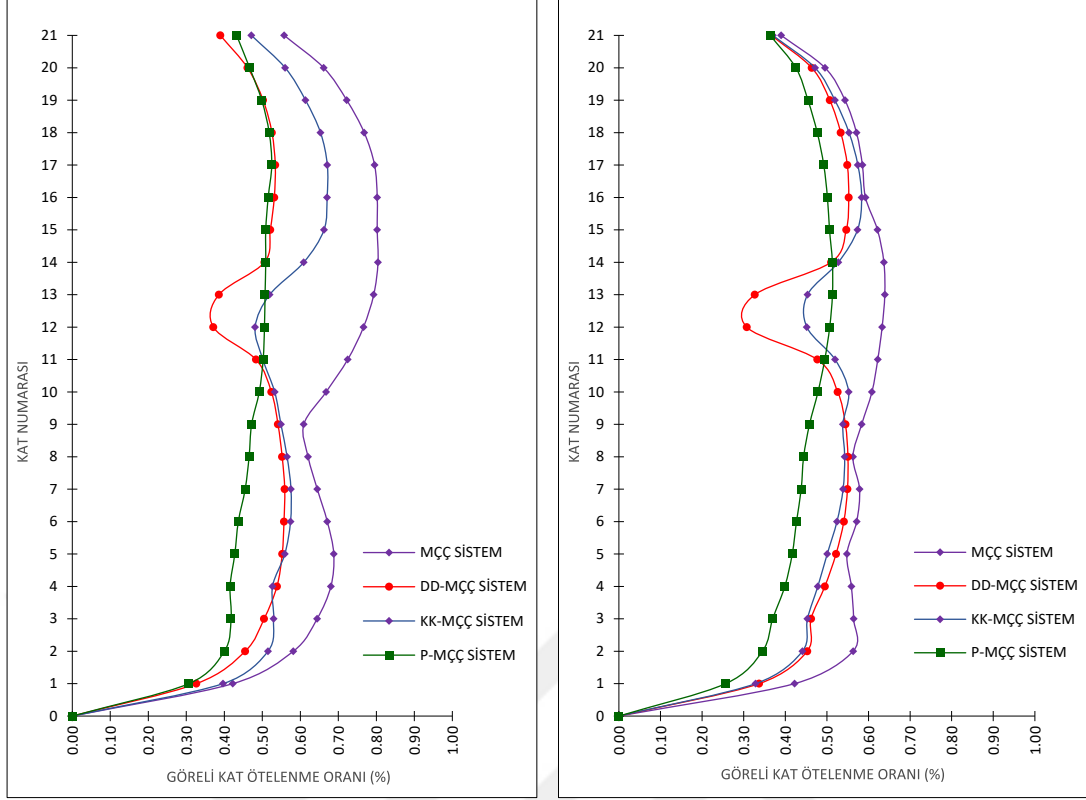
Bu çalışmada kullanılan deprem kaydına ait Wavelet analiz sonucu Şekil 4.9'de verilmiştir. Analizde deprem süresi boyunca etkili olan frekanslar görülmektedir. Kaydın 2,0-3,0 saniye arasında kalan kısmında hâkim frekans 0,8-1,0 arasında yapının düşük frekanslarına karşılık gelirken 6,5-8,0 saniye arasında kalan kısmında hakim frekans 2-4 Hz 6,5-8,0 saniye arasında kalan kısmında hakim frekans 2-8 Hz arasında yapının yüksek frekanslarına karşılık gelmektedir. Bu duruma tezin 50. ve 52. sayfaları arasında değinilmiş olup uygulanan depremin karakteristik olarak, yapıların hem yüksek hem de düşük frekanslardaki cevaplarını eşdeğer oranda büyüten bir özelliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu çıkarım, dört farklı yapının en üst katında oluşan en büyük ivme değerlerinin, Şekil 3.25'de verilen ölçeklenmiş deprem kaydının en büyük spektral ivme değeri olan yaklaşık 1,9g'nin üzerinde olmasının bir nedeni olarak görülebilir. Ayrıca bu çıkarım, dinamik analiz sonucunda yapılarda doğrusal elastik bölgenin aşılmadığının (yani yapıların cevaplarının dinamik analizler boyunca doğrusal kalarak yapıların rijitlik özelliklerinin değişmediğinin) Şekil 4.6'daki itme analizlerinin sonucunda anlaşılması ile de desteklenmektedir.



Şekil 4. 9 Çalışmada kullanılan 15 saniyelik deprem kaydına ait Wavelet analizi

4.3.2 En büyük Göreli Kat Ötelenmeleri

Tüm sistemler için X ve Y yönlerinden gelen deprem durumunda her katın en büyük göreli kat ötelenmesi Şekil 4.10'da görülmektedir. Grafikler incelendiğinde MÇÇ sistemde X doğrultusu için en büyük kat ötelenme oranlarının Y doğrultusundaki duruma oranla daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Diğer taşıyıcı sistemler için de benzer durum söz konusu olmakla birlikte MÇÇ sisteme oranla bu farklar daha sınırlıdır.

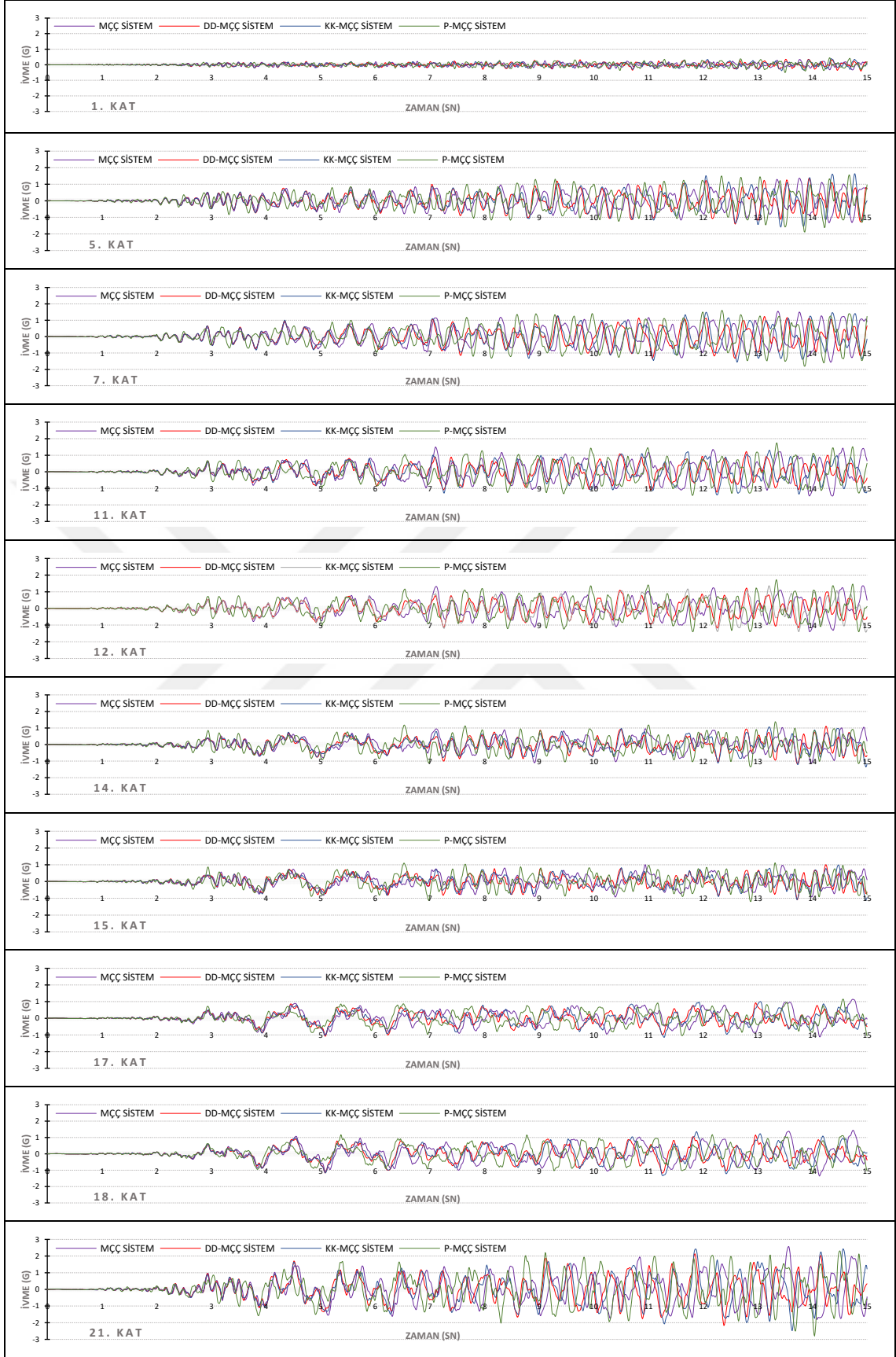


a) X Doğrultusu

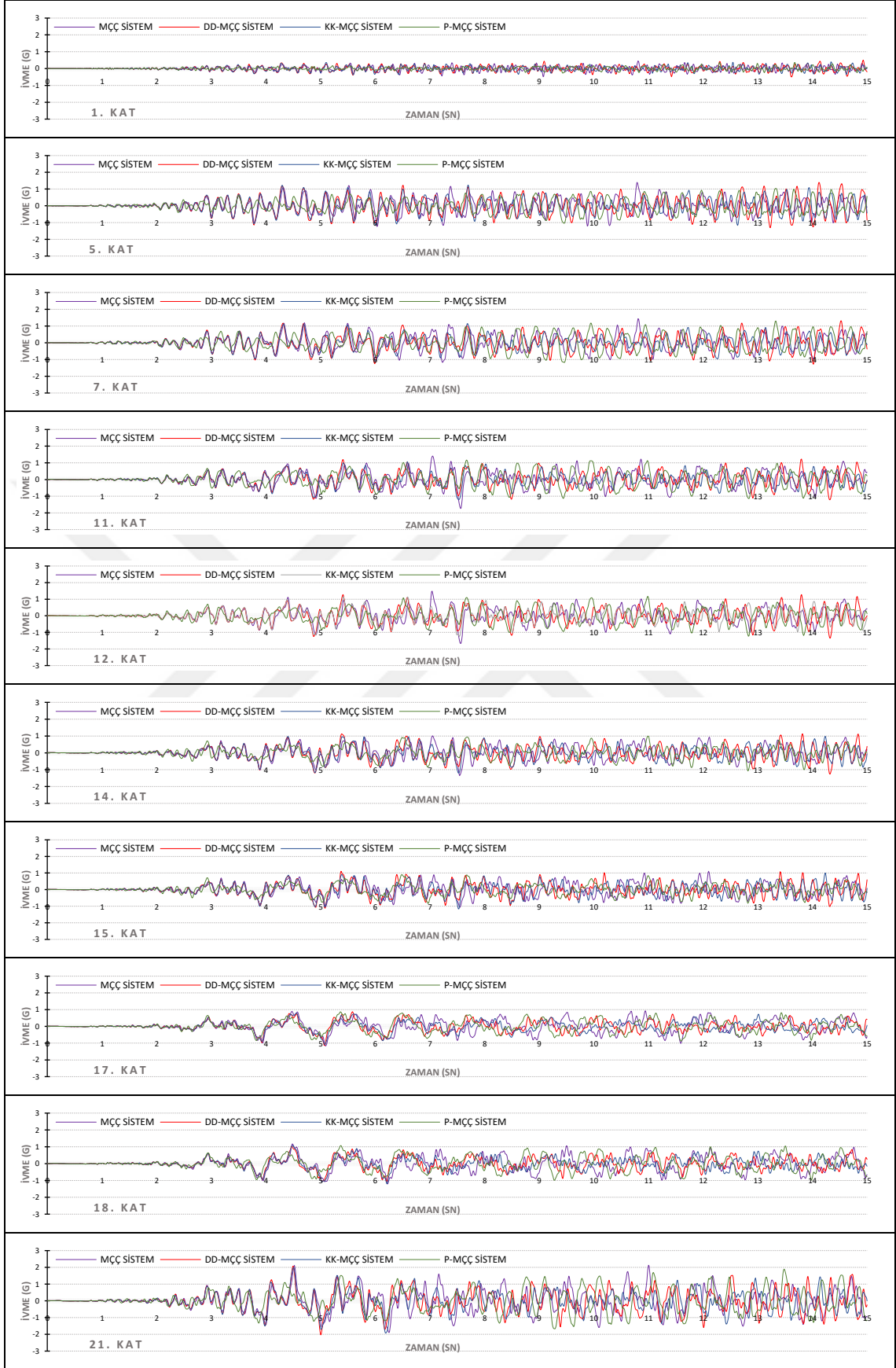
b) Y Doğrultusu

Şekil 4. 10 En büyük görelî kat ötelenme oranları grafiği

Şekil 4.11'da ve Şekil 4.12'de gösterilen X ve Y yönlerinden etkiyen deprem durumunda yapıdaki farklı katların zamana bağlı ivme grafikleri verilmiştir. Tüm sistemlerde hem X hem Y doğrultuları için en büyük kat ivme değerleri 5. kat ile 12. kat arasında arttığı görülmektedir. 14. ve 15. katlar arasında ivme değerlerinde göreceli bir düşüşün yaşandığı ve son katlarda özellikle 18. kattan sonra kat ivme değerlerinde hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Taşıyıcı sistemler arasında ve farklı deprem doğrultularında ivme değerleri açısından farklar olmasına rağmen katların ivme grafikleri yapıdan ve deprem doğrultusundan bağımsız olarak göreceli olarak benzer büyüklüklerde salınım göstermektedir.

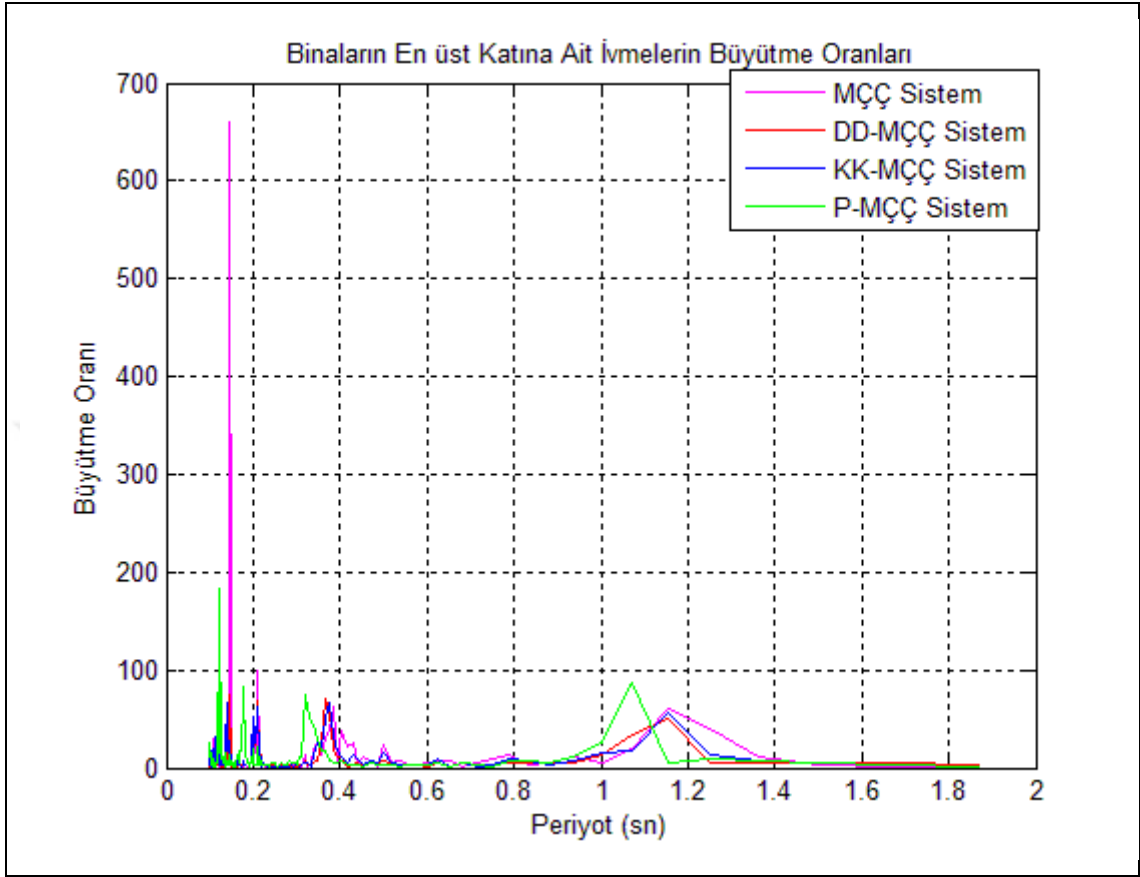


Şekil 4. 11 X doğrultusunda taşıyıcı sistemlere ait kat ivmelerinin zamana bağlı grafikleri



Şekil 4. 12 Y doğrultusunda taşıyıcı sistemlere ait kat ivmelerinin zamana bağlı grafikleri

Şekil 4.13'de görülen yapının en üst katına ait X doğrultusundaki ivmelerin büyütme oranları grafiğine bakıldığında $T=0,4$ saniye ile $T=1-1,4$ saniye aralıklarında rezonans etkisiyle benzer oranlarda ivmelerin büyüdüğü görülmektedir.



Şekil 4. 13 X doğrultusu için taşıyıcı sistemlerin en üst katına ait ivmelerin büyütme oranları grafiği

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tabakalı ahşap kolon-kiriş elemanları, çapraz tabakalı ahşap panellerden oluşan perde duvar ve döşeme sistemleri ile tabakalı ahşap kafes elemanları kullanılarak tasarlanmış 21 katlı 4 farklı ahşap yapının dinamik analizleri yapılarak performansları incelenmiştir. Yapılan analizlerde CLT perde duvar ve döşeme elemanlarının modellenmesinde kompozit malzeme teorisine dayanan çok katmanlı kabuk elemanlı modelleme yapılmıştır. Dinamik analizlerde 1999 yılında gerçekleşen Kocaeli deprem kaydının ölçeklenmiş bir hali kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek hangi yapı tipinin seçilmiş deprem kaydı altında daha uygun performans sergilediği incelenmiştir. Bu çalışmanın nihayetinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

- Analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere tüm sistemler deprem etkisi altında 21 katlı bir ahşap taşıyıcı sistemde dahi %1 görelî ötelenmenin altında sonuçlar vermiştir.
- Dinamik analiz sonucunda tepe yerdeğiştirmesi ve görelî kat ötelenme oranı değerleri yapısal tasarım için her bir yapıda uygun değerler vermiştir.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının deprem etkisi altında doğrusal davranış gösterdikleri yapılan analizlerle gösterilmiştir.
- Özellikle CLT perdeli ahşap taşıyıcı sistemler, deprem kuşağında olan ülkemiz için çok katlı ahşap yapı tasarımında tercih edilebilecek bir sistem olarak değerlendirilmiştir.

- MÇÇ sistemde yapılan statik itme analizinin sonuçları göstermektedir ki, sistem etkilenen deprem yüklemesi altında doğrusal davranış göstermiştir. Ayrıca, ülkemizde gerçekleşmiş bir deprem yüklemesi altında, çok katlı ahşap yapı sistemleri için gerçekleştirilen performans analizlerinden, bu taşıyıcı sistemlerin uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır.
- Taşıyıcı sistemi P-MÇÇ sistem olan ahşap yapının diğer sistemlere göre daha iyi dinamik performans sergilediği görülmüştür. Ayrıca diğer yapı taşıyıcı sistemlerinin de deprem kuşağındaki ülkemizde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- Dikkate alınan tüm sistemlerin serbest titreşim analizleri ve dinamik analizler sonucundaki cevabına bakıldığında, yüksek frekanslı modların düşük frekanslı modların katkısına oldukça yakın oranda katkı verdiği görülmüştür.
- Taşıyıcı sistemler arasında ve farklı deprem doğrultularında ivme değerleri açısından farklar olmasına rağmen, katların ivme grafikleri, yapıdan ve deprem doğrultusundan bağımsız ve göreceli olarak benzer büyüklüklerde salınım göstermektedir.
- Gerek yangına karşı güvenliği gerekse statik ve dinamik tasarımda olan yetkinliği düşünüldüğünde ahşap yapıların diğer yapı malzemeleriyle tasarlanan yapılardan geri kalmadığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple, ülkemizde de ahşap taşıyıcı sisteme sahip çok katlı yapıların yapılması ülkedeki taşıyıcı sistem çeşitliliğinin artmasına hizmet edecektir.
- Ahşap taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımı ve sismik değerlendirmesi üzerine üniversitelerde daha çok çalışma yapılmalı ve üniversite üretici iş birlikleri ile bu çalışmalar pratiğe aktarılmalıdır.
- Gerçekleştirilecek yapısal analizlerde çeşitli düğüm noktası detaylarını dikkate alan çalışmalar yapılmalıdır. Böylelikle gerek taşıyıcı sistem gerekse elemanlar için elde edilen sonuçlar mühendislik hesaplarında daha da pratikleşmeyi sağlamaya hizmet edecektir.

- Ülkemizdeki deprem yönetmeliğinin kapsamı dışında kalan bu yükseklikteki ahşap yapıların, ülkemizde de kullanılabilmesi için 01.01.2019 da yürürlüğe girecek olan yeni deprem yönetmeliğinin kapsamı ilerleyen yıllarda daha da genişletilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Serrano, E. ve Enquist, B., (2010). "Compression Strength Perpendicular to Grain in Cross-Laminated Timber (CLT)", World Conference on Timber Engineering, 20-24 June 2010, Riva del Garda.
- [2] Vessby, J., (2011). Analysis of Shear Walls for Multi-Storey Timber Buildings, Ph.D. Thesis, Linnaeus University School of Engineering, Växjö.
- [3] Pei, J. vd., (2012). "Active Damping for Cross-Laminated Timber Structures to Improve Seismic Performance", World Conference on Timber Engineering, 16-19 July 2012, Auckland.
- [4] Utne, I., (2012). Numerical Models for Dynamic Properties of a 14 Storey Timber Building, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science and Technology, Trondheim.
- [5] Pei, J. vd., (2012). "Seismic Design of a Multi-Story Cross Laminated Timber Building Based on Component Level Testing", World Conference on Timber Engineering, 16-19 July 2012, Auckland.
- [6] Andersson, T. ve Hammarberg, L., (2015). Consequences of Implementing Timber in Medium High-Rise Office Buildings, Master Thesis, Chalmers University of Technology Division of Structural Engineering, Gothenburg.
- [7] Ganey, R.S., (2015). Seismic Design and Testing of Rocking Cross Laminated Timber Walls, Master Thesis, University of Washington Department of Civil and Environmental Engineering, Seattle.
- [8] Brandner, R. ve Schickhofer, G., (2014). "Properties of Cross Laminated Timber (CLT) in Compression Perpendicular to Grain", International Network on Timber Engineering Research, 1-4 September 2014, Bath.
- [9] Dujic, B. vd., (2007). "Influence of Openings on Shear Capacity of Wooden Walls", NZ Timber Design Journal, 16(1): 1-13.
- [10] Dujic, B. vd., (2008). "Shear Capacity of Cross-Laminated Wooden Walls", World Conference on Timber Engineering, 2-5 June 2008, Miyazaki.
- [11] Barr, J. ve Luo, J., (2017). "Economic Drivers: Skyscrapers in China", Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Research Report, Chicago.

- [12] United States Department of Agriculture (USDA), (2010). Wood Handbook Wood as an Engineering Material, General Technical Report FPL-GTR-190, Madison.
- [13] Ritter, M.A., (1990). Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance, United States Department of Agriculture Forest Service, Washington DC.
- [14] <https://diagnosisdelamadera.com/wp-content/uploads/2017/02/Que-es-el-CLT-Sanite-Diagnosis-de-la-Madera-2.jpg>, 21 Mayis 2018.
- [15] <https://ascelibrary.org/cms/attachment/f3579391-3f2b-4a0e-8bda-57f126abbef2/figure1.jpg>, 21 Mayis 2018.
- [16] <http://oikiacy.com/media/widgetkit/02ea392a0652ae4c2cb67cbace15bae8b4.jpg>, 21 Mayis 2018.
- [17] http://www.glulam.co.uk/images_site/production.gif, 21 Mayis 2018.
- [18] <https://www.metsawood.com/PublishingImages/Applications/glulam-beams.jpg?RenditionIDu003d28>, 21 Mayis 2018.
- [19] https://www.tecnistudio.es/s/cc_images/thumb_2440615901.jpg?t=1404142742, 21 Mayis 2018
- [20] https://www.gazeta.ru/science/news/2016/10/03/n_9177935.shtml, 21 Mayis 2018.
- [21] Boellaard, B.J.H., (2012). Design of an Outrigger Structure for Tall Timber Buildings, Master Thesis, Eindhoven University of Technology Department of Architecture, Building and Planning, Eindhoven.
- [22] Holmberg, S. vd., (1998). "Nonlinear mechanical behaviour and analysis of wood and fibre materials", Computers and Structures, 72: 459-480.
- [23] Neely, T., (1898). "Relation of compression-Endwise to breaking load of beam", Progress in Timber Physics, United States Department of Agriculture, Division of Forest Circular, 18: 13-17.
- [24] Dietz, H., (1942). "Stress-Strain Relations in Timber Beams of Douglas-fir", ASTM Bull, 118: 9-27.
- [25] Bechtel, C. ve Norris, C., (1952). "Strength of Wood Beams and Rectangular Cross Section as Affected by Span-Depth Ratio", USDA Forest Service Forest Product Laboratory Report, M.R1910: 42.
- [26] Bazan, I., (1980). Ultimate Bending Strength of Timber Beams, Ph.D. Thesis, Nova Scotia Community College Institute of Technology Campus, Halifax.
- [27] Malhotra, S. ve Mazur, S., (1970). "Buckling Strength of Solid Timber Columns", The Engineering Journal, 13(A-4): I-VII.
- [28] Glos, P., (1978). "Reliability theory for timber structures: determination of compression strength behaviour of glulam components from interaction of material properties", Technical University of Munich Building Engineering Laboratory Report, 34: 335.

- [29] Liu, C., (2016). Modelling of Timber-Concrete Composite Structures Subjected to Short-Term Monotonic Loading, Master Thesis, Civil and Environmental Engineering University of Toronto, Toronto.
- [30] EN 338, (2009). Structural Timber-Strength Classes, European Committee for Standardization, Brussels.
- [31] EN 14080, (2005). Timber Structures-Glued Laminated Timber-Requirements, European Committee for Standardization, Brussels.
- [32] Eurocode 5, (2004). EN 1995-1-1 Design of Timber Structures-Part 1-1: General-Common Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels.
- [33] Sap2000, (2016). Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc, California.
- [34] Bekiroğlu, S. vd., (2012). "Van Gar Binası Modelinde Rijit Birleşim Bölgesi Tanımlamanın Van Depremleri Altında Doğrusal Olmayan Dınamik Analiz ile İrdelenmesi", İnşaat Mühendisliği'nde 100. Yıl Teknik Kongresi, 22-24 Kasım 2012, İstanbul.
- [35] TS 498, (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE, 2. Baskı, Ankara.
- [36] <http://peer.berkeley.edu/ngawest2/>, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 24 Aralık 2017
- [37] DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [38] Uzsoy, Ş.Z., (2006). Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliği Çözölmüş Örnek Problemler, Genişletilmiş 2. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

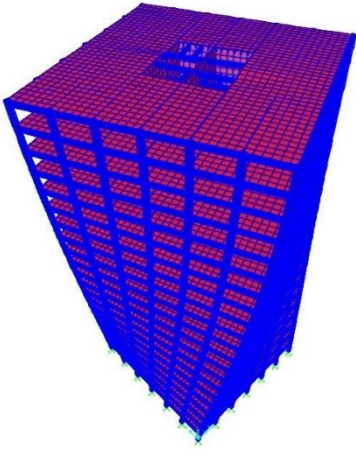
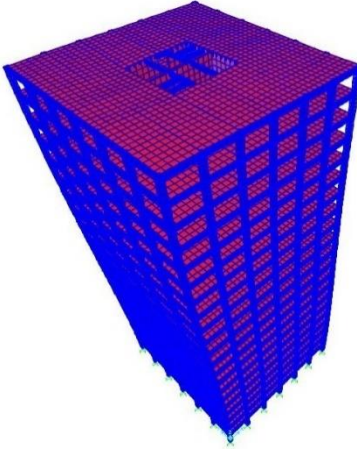
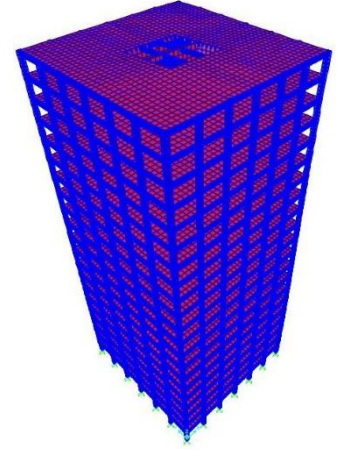
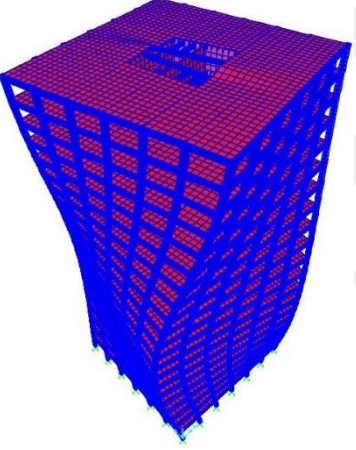
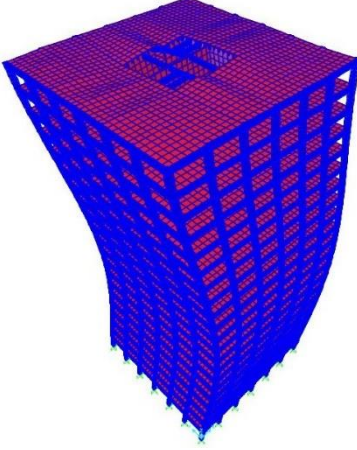
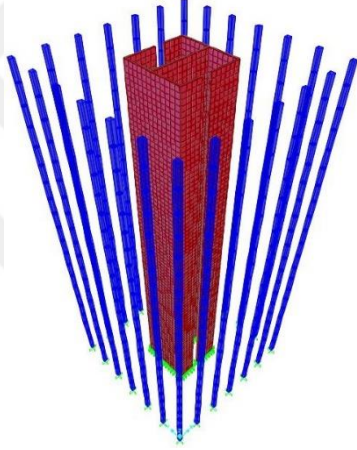
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ SONUÇLARI VE GERİLME TAHKİKLERİ

A-1 MÇÇ Sistem

MÇÇ sistem, DD-MÇÇ sistem, P-MÇÇ sistem ve KK-MÇÇ sisteme ait periyot, frekans, ilk beş moduna ait görseller ve taşıyıcı sistemler oluşturan yapı elemanlarından en büyük gerilmelere maruz kalanlar için gerilme tahkikleri bu kısımda verilmiştir.

Serbest titreşim analizi sonucunda çıkan periyotlar incelendiğinde, tüm sistemlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak sistemler içinde en büyük periyot MÇÇ sistemde, en küçük periyot ise KK-MÇÇ sistemde görülmüştür. Birinci mod şekli KK-MÇÇ sistem hariç diğer tüm sistemlerde burulma olurken kısmi kafesli sistemde ötelenme oluşmuştur.

Zaman tanım alanında analiz sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan gerilmelerin sınır değerler arasında kaldığı aşağıdaki hesaplarla gösterilmiştir.

		
T= 1,29147 sn f= 0,77431 Hz	T= 1,28903 sn f= 0,77578 Hz	T=1,25299 sn f= 0,79809 Hz
		
T= 0,42183 sn f= 2,37062 Hz	T= 0,39119 sn f= 2,55631 Hz	MÇÇ Sistem

Şekil A. 1 MÇÇ sistemli yapının mod şekilleri

A-1-1 Gerilme Tahkikleri

Kiriş 400x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \right.$$

$$\left. \left. \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,04 \right. \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{400 * 500^2}{6} = 16.666.666,67 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 400^2}{6} = 13.333.333,33 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 6,29 \text{ kNm} \quad M_3 = 371,84 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{371,84 * 10^6}{16.666.666,67} = 22,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6,29 * 10^6}{13.333.333,33} = 0,47 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$\frac{22,31}{27,60} + 0,7 \frac{0,47}{28,23} = 0,82 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{22,31}{27,60} + \frac{0,47}{28,23} = 0,58 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{\textit{Şartı sağlamaktadır}}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ Mpa}$$

$$V_2 = 216,38 \text{ Mpa} \quad V_3 = 22,69 \text{ Mpa}$$

$$V = \sqrt{216,38^2 + 22,69^2} = 217,57 \text{ Mpa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ Mpa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 217,57 * 10^3}{2 * 400 * 500} = 1,63 \text{ Mpa}$$

$$3,10 \geq 1,63 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{\textit{Şartı sağlamaktadır}}$$

Kiriş 300x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$\left. k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ Mpa}$$

$$W_y = \frac{300 * 500^2}{6} = 12.500.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 300^2}{6} = 7.500.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 35,33 \text{ kNm} \quad M_3 = 114,06 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{114,06 * 10^6}{12.500.000} = 9,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{35,33 * 10^6}{7.500.000} = 4,71 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{9,12}{27,60} + 0,7 \frac{4,71}{29,05} = 0,44 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{9,12}{27,60} + \frac{4,71}{29,05} = 0,39 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 146,11 \text{ MPa} \quad V_3 = 19,84 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{146,11^2 + 19,84^2} = 147,45 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 147,45 * 10^3}{2 * 300 * 500} = 1,47 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,47 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kiriş 300x400 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,04 \right. \\ \left. 1,1 \right. \left. 1,1 \right.$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{300 * 400^2}{6} = 8.000.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{400 * 300^2}{6} = 6.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 6,29 \text{ kNm} \quad M_3 = 123,45 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{123,45 * 10^6}{8.000.000} = 15,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6,29 * 10^6}{6.000.000} = 1,05 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{15,43}{28,23} + 0,7 \frac{1,05}{29,05} = 0,57 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{15,43}{28,23} + \frac{1,05}{29,05} = 0,42 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 57,11 \text{ MPa} \quad V_3 = 22,69 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{57,11^2 + 22,69^2} = 61,45 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 61,45 * 10^3}{2 * 300 * 400} = 0,77 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 0,77 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kolon 600x600 (GL28h)

Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki

$$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{26,5}{1,25} = 21,2 \text{ MPa}$$

$$f_{m,0,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \left. \rightarrow k_{h,x/y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{600} \right)^{0,1} = 1 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,x/y} = 1 \right. \right.$$

$$W_{x/y} = \frac{600 * 600^2}{6} = 36.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_x = 262,21 \text{ kNm} \quad M_y = 518,53 \text{ kNm} \quad P = 1445,21 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{262,21 * 10^6}{36.000.000} = 7,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{518,53 * 10^6}{36.000.000} = 14,40 \text{ MPa}$$

$$f_{m,x/y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1 * 28}{1,25} = 27,10 \text{ MPa}$$

$$L = 2950 \text{ mm} \quad d = 600 \text{ mm}$$

$$L_k = \frac{2950}{2} = 1475 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_y = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$\lambda_{rel,x/y} < 0,3 \xrightarrow{\text{olduğu için}}$ burkulma faktörü dikkate alınmaz.

$$\left(\frac{1445,21 * 10^3}{\frac{600 * 600}{21,20}} \right)^2 + 0,7 * \frac{7,28}{27,10} + \frac{14,40}{27,10} = 0,76 \leq 1$$

$$\left(\frac{1445,21 * 10^3}{\frac{600 * 600}{21,20}} \right)^2 + \frac{7,28}{27,10} + 0,7 * \frac{14,40}{27,10} = 0,68 \leq 1$$

Koşullar sağlanmaktadır.

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ Mpa}$$

$$V_x = 325,35 \text{ MPa} \quad V_y = 91,37 \text{ MPa}$$

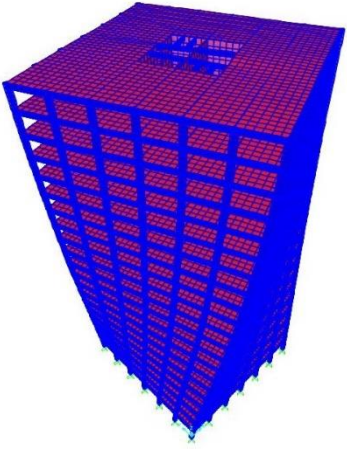
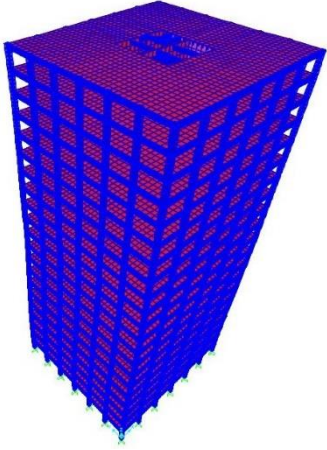
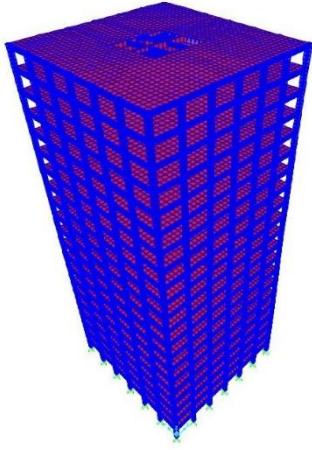
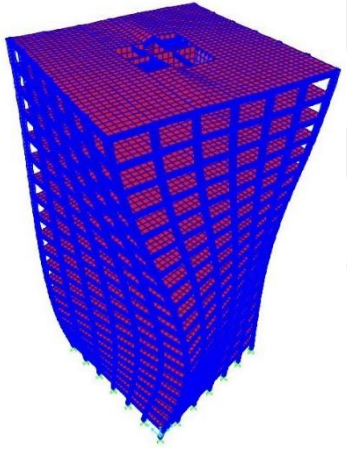
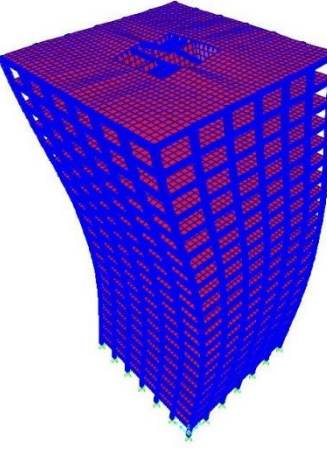
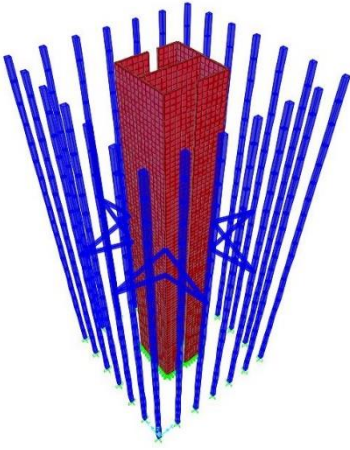
$$V = \sqrt{325,35^2 + 91,37^2} = 337,94 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 337,94 * 10^3}{2 * 600 * 600} = 1,41 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,41 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

A-2 DD-MÇÇ Sistem

		
T= 1,27997 sn f= 0,78127 Hz	T= 1,21461 sn f= 0,82331 Hz	T= 1,17076 sn f=0,85415 Hz
		
T= 0,41707 sn f= 2,39769 Hz	T= 0,37922 sn f=2,63696 Hz	DD-MÇÇ sistem

Şekil A. 2 DD-MÇÇ sistemin mod şekilleri

A-2-1 Gerilme Tahkikleri

Kiriş 400x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \right.$$

$$\left. k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,04 \right. \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{400 * 500^2}{6} = 16.666.666,67 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 400^2}{6} = 13.333.333,33 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 3,98 \text{ kNm} \quad M_3 = 263,50 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{263,50 * 10^6}{16.666.666,67} = 15,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{3,98 * 10^6}{13.333.333,33} = 0,30 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$\frac{15,81}{27,60} + 0,7 \frac{0,30}{28,23} = 0,58 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{15,81}{27,60} + \frac{0,30}{28,23} = 0,41 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 150,84 \text{ MPa} \quad V_3 = 14,16 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{150,84^2 + 14,16^2} = 151,50 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 151,50 * 10^3}{2 * 400 * 500} = 1,14 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,14 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kiriş 300x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$\left. \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{300 * 500^2}{6} = 12.500.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 300^2}{6} = 7.500.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 26,78 \text{ kNm} \quad M_3 = 90,89 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{90,89 * 10^6}{12.500.000} = 7,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{26,78 * 10^6}{7.500.000} = 3,57 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{7,27}{27,60} + 0,7 \frac{3,57}{29,05} = 0,35 \leq 1 \quad \begin{array}{c} \text{buradan} \\ \Longrightarrow \end{array} \quad \text{\textit{Şartı sağlamaktadır}}$$

$$0,7 \frac{7,27}{27,60} + \frac{3,57}{29,05} = 0,31 \leq 1 \quad \begin{array}{c} \text{buradan} \\ \Longrightarrow \end{array} \quad \text{\textit{Şartı sağlamaktadır}}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 116,01 \text{ MPa} \quad V_3 = 29,45 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{116,01^2 + 29,45^2} = 119,69 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 119,69 * 10^3}{2 * 300 * 500} = 1,20 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,20 \quad \begin{array}{c} \text{buradan} \\ \Longrightarrow \end{array} \quad \text{\textit{Şartı sağlamaktadır}}$$

Kiriş 300x400 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,04 \right. \\ \left. 1,1 \right. \left. 1,1 \right.$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{300 * 400^2}{6} = 8.000.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{400 * 300^2}{6} = 6.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 3,65 \text{ kNm} \quad M_3 = 81,39 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{81,39 * 10^6}{8.000.000} = 10,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{3,65 * 10^6}{6.000.000} = 0,61 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{10,17}{28,23} + 0,7 \frac{0,61}{29,05} = 0,38 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{10,17}{28,23} + \frac{0,61}{29,05} = 0,27 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 33,76 \text{ MPa} \quad V_3 = 5,37 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{33,76^2 + 5,37^2} = 34,18 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 34,18 * 10^3}{2 * 300 * 400} = 0,43 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 0,43 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kolon 600x600 (GL28h)

Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki

$$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{26,5}{1,25} = 21,20 \text{ MPa}$$

$$f_{m,0,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,1 \right\} \rightarrow k_{h,x/y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{600} \right)^{0,1}, 1,1 \right\} = 1 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,x/y} = 1$$

$$W_{x/y} = \frac{600 * 600^2}{6} = 36.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_x = 191,32 \text{ kNm} \quad M_y = 404,68 \text{ kNm} \quad P = 1611,95 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{191,32 * 10^6}{36.000.000} = 5,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{404,68 * 10^6}{36.000.000} = 11,24 \text{ MPa}$$

$$f_{m,x/y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1 * 28}{1,25} = 27,10 \text{ MPa}$$

$$L = 2950 \text{ mm} \quad d = 600 \text{ mm}$$

$$L_k = \frac{2950}{2} = 1475 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_y = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$\lambda_{rel,x/y} < 0,3 \xrightarrow{\text{olduğu için}}$ burkulma faktörü dikkate alınmaz.

$$\left(\frac{1611,95 * 10^3}{\frac{600 * 600}{21,20}} \right)^2 + 0,7 * \frac{5,31}{27,10} + \frac{11,24}{27,10} = 0,60 \leq 1$$

$$\left(\frac{1611,95 * 10^3}{\frac{600 * 600}{21,20}} \right)^2 + \frac{5,31}{27,10} + 0,7 * \frac{11,24}{27,10} = 0,53 \leq 1$$

Koşullar sağlanmaktadır.

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_x = 226,86 \text{ MPa} \quad V_y = 32,08 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{226,86^2 + 32,08^2} = 229,12 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 229,12 * 10^3}{2 * 600 * 600} = 0,95 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 0,95 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Dıştan Destek Sistem Elemanı 400x500 (GL28h)

Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki

$$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{26,5}{1,25} = 21,2 \text{ MPa}$$

$$f_{m,0,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \\ 1,1 \end{array} \right\} \rightarrow k_{h,x} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} \\ 1,1 \end{array} \right\} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,x} = 1,04$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \\ 1,1 \end{array} \right.$$

$$W_x = \frac{500 * 400^2}{6} = 13.333.333,33 \text{ mm}^3$$

$$W_y = \frac{400 * 500^2}{6} = 16.666.666,67 \text{ mm}^3$$

$$M_x = 63,96 \text{ kNm} \quad M_y = 3,25 \text{ kNm} \quad P = 1944,06 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{63,96 * 10^6}{13.333.333,33} = 4,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{3,25 * 10^6}{16.666.666,67} = 0,20 \text{ MPa}$$

$$f_{m,x,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$L = 9471 \text{ mm} \quad d = 400 \text{ mm}$$

$$L_k = \frac{9471}{2} = 4735,50 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{4735,50}{400} = 11,84$$

$$\lambda_y = \frac{4735,50}{500} = 9,47$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{11,84}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,19$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{9,47}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,15$$

$$\lambda_{rel,x/y} < 0,3 \xrightarrow{\text{olduğu için}} \text{burkulma faktörü dikkate alınmaz.}$$

$$\left(\frac{1944,06 * 10^3}{400 * 500} \right)^2 + 0,7 * \frac{4,80}{28,23} + \frac{0,20}{27,60} = 0,34 \leq 1$$

$$\left(\frac{1944,06 * 10^3}{400 * 500} \right)^2 + \frac{4,80}{28,23} + 0,7 * \frac{0,20}{27,60} = 0,39 \leq 1$$

Koşullar sağlanmaktadır.

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_x = 0,78 \text{ MPa} \quad V_y = 13,21 \text{ MPa}$$

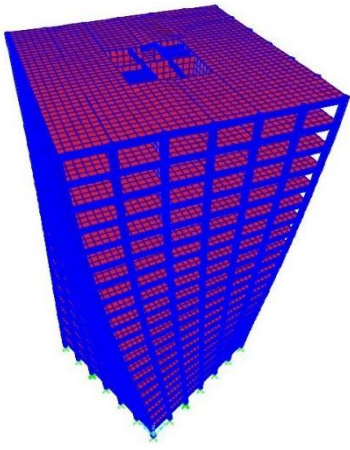
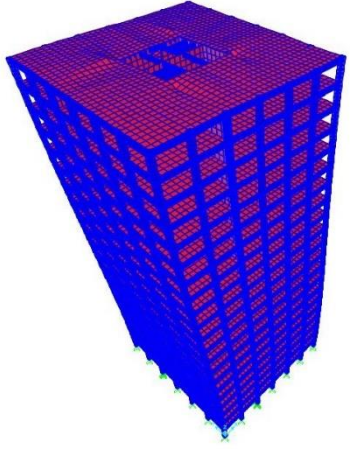
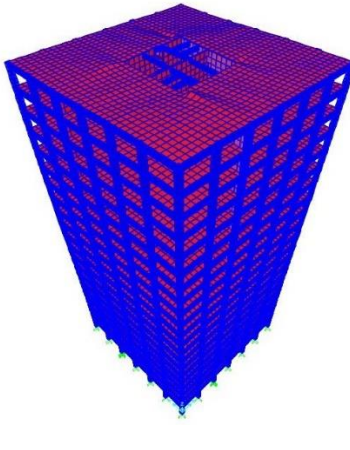
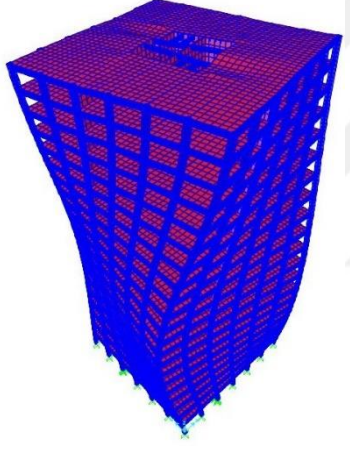
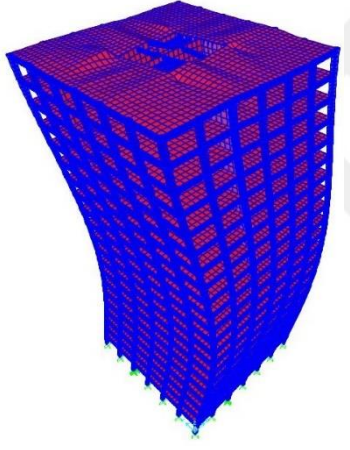
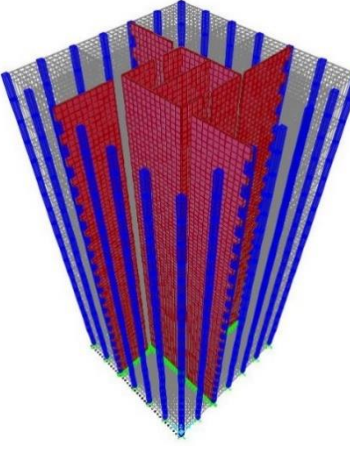
$$V = \sqrt{0,78^2 + 13,21^2} = 13,23 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 13,23 * 10^3}{2 * 400 * 500} = 0,10 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 0,10 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

A-3 P-MÇÇ Sistem

		
T= 1,25027 sn f= 0,79982 Hz	T= 1,15043 sn f= 0,86924 Hz	T= 1,13209 sn f= 0,88332 Hz
		
T= 0,40155 sn f= 2,49036 Hz	T= 0,33446 sn f= 2,98987 Hz	P-MÇÇ sistem

Şekil A. 3 P-MÇÇ sistemin mod şekilleri

A-3-1 Gerilme Tahkikleri

Kiriş 400x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \right.$$

$$\left. k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,04 \right. \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{400 * 500^2}{6} = 16.666.666,67 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 400^2}{6} = 13.333.333,33 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 23,40 \text{ kNm} \quad M_3 = 283,12 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{283,12 * 10^6}{16.666.666,67} = 16,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{23,40 * 10^6}{13.333.333,33} = 1,76 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$\frac{16,99}{27,60} + 0,7 \frac{1,76}{28,23} = 0,66 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{16,99}{27,60} + \frac{1,76}{28,23} = 0,49 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 168,80 \text{ MPa} \quad V_3 = 25,23 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{168,80^2 + 25,23^2} = 170,68 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 170,68 * 10^3}{2 * 400 * 500} = 1,28 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,28 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kiriş 300x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$\left. \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{300 * 500^2}{6} = 12.500.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 300^2}{6} = 7.500.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 20,64 \text{ kNm} \quad M_3 = 81,79 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{81,79 * 10^6}{12.500.000} = 6,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{20,64 * 10^6}{7.500.000} = 2,75 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{6,54}{27,60} + 0,7 \frac{2,75}{29,05} = 0,30 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{6,54}{27,60} + \frac{2,75}{29,05} = 0,26 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 92,31 \text{ MPa} \quad V_3 = 32,12 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{92,31^2 + 32,12^2} = 97,74 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 97,74 * 10^3}{2 * 300 * 500} = 0,98 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 0,98 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kiriş 300x400 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,04 \right. \\ \left. 1,1 \right. \left. 1,1 \right.$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{300 * 400^2}{6} = 8.000.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{400 * 300^2}{6} = 6.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 5,12 \text{ kNm} \quad M_3 = 98,12 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{98,12 * 10^6}{8.000.000} = 12,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{5,12 * 10^6}{6.000.000} = 0,85 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{12,27}{28,23} + 0,7 \frac{0,85}{29,05} = 0,46 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{12,27}{28,23} + \frac{0,85}{29,05} = 0,33 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 48,10 \text{ MPa} \quad V_3 = 6,55 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{48,10^2 + 6,55^2} = 48,54 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 48,54 * 10^3}{2 * 300 * 400} = 0,61 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 0,61 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kolon 600x600 (GL28h)

Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki

$$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{26,5}{1,25} = 21,2 \text{ MPa}$$

$$f_{m,0,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,x/y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{600} \right)^{0,1} = 1 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,x/y} = 1 \right.$$

$$W_{x/y} = \frac{600 * 600^2}{6} = 36.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_x = 268,39 \text{ kNm} \quad M_y = 408,23 \text{ kNm} \quad P = 4575,03 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{268,39 * 10^6}{36.000.000} = 7,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{408,23 * 10^6}{36.000.000} = 11,34 \text{ MPa}$$

$$f_{m,x/y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1 * 28}{1,25} = 27,10 \text{ MPa}$$

$$L = 2950 \text{ mm} \quad d = 600 \text{ mm}$$

$$L_k = \frac{2950}{2} = 1475 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_y = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$\lambda_{rel,x/y} < 0,3 \xrightarrow{\text{olduğu için}}$ burkulma faktörü dikkate alınmaz.

$$\left(\frac{4575,03 * 10^3}{\frac{600 * 600}{21,20}} \right)^2 + 0,7 * \frac{7,46}{27,10} + \frac{11,34}{27,10} = 0,97 \leq 1$$

$$\left(\frac{4575,03 * 10^3}{\frac{600 * 600}{21,20}} \right)^2 + \frac{7,46}{27,10} + 0,7 * \frac{11,34}{27,10} = 0,93 \leq 1$$

Koşullar sağlanmaktadır.

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ Mpa}$$

$$V_x = 262,04 \text{ MPa} \quad V_y = 99,88 \text{ MPa}$$

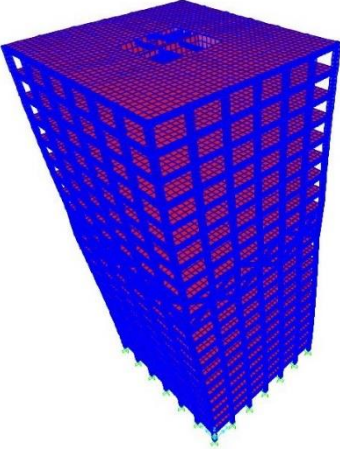
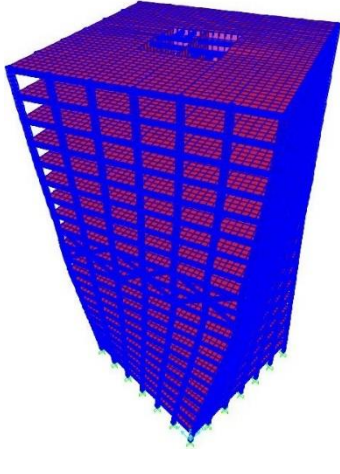
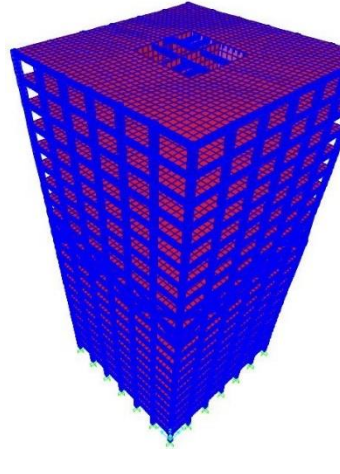
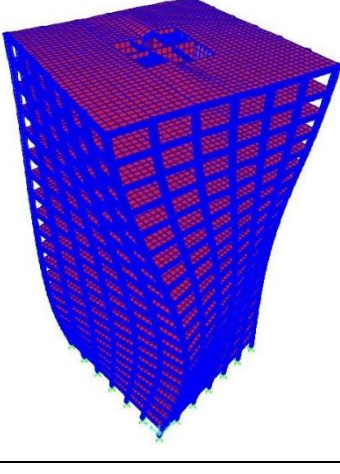
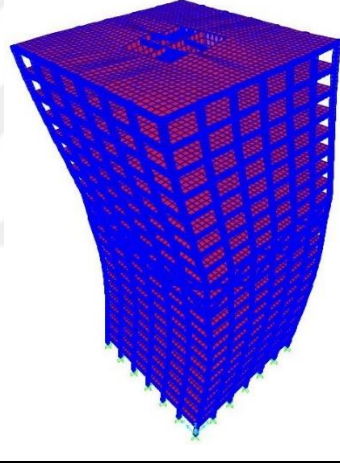
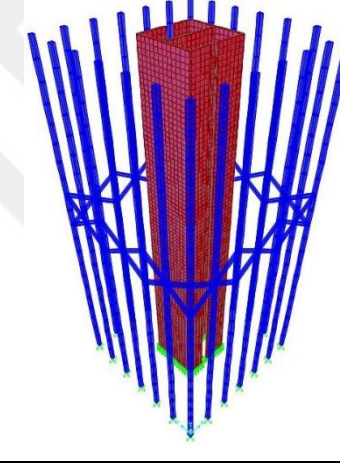
$$V = \sqrt{262,04^2 + 99,88^2} = 280,43 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 280,43 * 10^3}{2 * 600 * 600} = 1,17 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,17 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

A-4 KK-MÇÇ Sistem

		
T= 1,23671 sn f= 0,8086 Hz	T= 1,22678 sn f= 0,81514 Hz	T= 1,20299 sn f= 0,83126 Hz
		
T= 0,39158 sn f= 2,55378 Hz	T= 0,38216 sn f= 2,61667 Hz	KK-MÇÇ sistem

Şekil A. 4 KK-MÇÇ sistemin mod şekilleri

A-4-1 Gerilme Tahkikleri

Kiriş 400x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \\ \left. 1,1 \right. \left. 1,1 \right.$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,04 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{400 * 500^2}{6} = 16.666.666,67 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 400^2}{6} = 13.333.333,33 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 17,28 \text{ kNm} \quad M_3 = 354,87 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{354,87 * 10^6}{16.666.666,67} = 21,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{17,28 * 10^6}{13.333.333,33} = 1,30 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$\frac{21,29}{27,60} + 0,7 \frac{1,30}{28,23} = 0,80 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{21,29}{27,60} + \frac{1,30}{28,23} = 0,59 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 211,22 \text{ MPa} \quad V_3 = 35,25 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{211,22^2 + 35,25^2} = 214,14 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 214,14 * 10^3}{2 * 400 * 500} = 1,61 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,61 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{\textit{\textbf{Şartı sağlamaktadır}}}$$

Kiriş 300x500 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \right.$$

$$\left. \left. \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{300 * 500^2}{6} = 12.500.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{500 * 300^2}{6} = 7.500.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 30,40 \text{ kNm} \quad M_3 = 89,44 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{89,44 * 10^6}{12.500.000} = 7,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{30,40 * 10^6}{7.500.000} = 4,05 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{7,16}{27,60} + 0,7 \frac{4,05}{29,05} = 0,36 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{7,16}{27,60} + \frac{4,05}{29,05} = 0,32 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 114,47 \text{ MPa} \quad V_3 = 37,11 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{114,47^2 + 37,11^2} = 120,34 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 120,34 * 10^3}{2 * 300 * 500} = 1,20 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 1,20 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kiriş 300x400 (GL28h)

Eğilme Tahkiki

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Anlık etki için; kullanım sınıfı 1 olan tutkallı lamine ahşap)}$$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (Malzeme özellikleri ve dirençleri için önerilen kısmi faktör)}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,04 \right.$$

$$\left. \left. \left(\frac{600}{300} \right)^{0,1} = 1,07 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,z} = 1,07 \right. \right.$$

$$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{300 * 400^2}{6} = 8.000.000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{400 * 300^2}{6} = 6.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_2 = 7,38 \text{ kNm} \quad M_3 = 112,12 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{112,12 * 10^6}{8.000.000} = 14,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{7,38 * 10^6}{6.000.000} = 1,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,07 * 28}{1,25} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\frac{14,02}{28,23} + 0,7 \frac{1,23}{29,05} = 0,53 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

$$0,7 \frac{14,02}{28,23} + \frac{1,23}{29,05} = 0,39 \leq 1 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{Şartı sağlamaktadır}$$

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_2 = 52,25 \text{ MPa} \quad V_3 = 10,52 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{52,25^2 + 10,52^2} = 53,30 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 53,30 * 10^3}{2 * 300 * 400} = 0,67 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 0,67 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{\textit{Şartı sağlamaktadır}}$$

Kolon 600x600 (GL28h)

Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki

$$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{26,5}{1,25} = 21,2 \text{ MPa}$$

$$f_{m,0,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,1 \right\} \rightarrow k_{h,x/y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{600} \right)^{0,1}, 1,1 \right\} = 1 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,x/y} = 1$$

$$W_{x/y} = \frac{600 * 600^2}{6} = 36.000.000 \text{ mm}^3$$

$$M_x = 97,67 \text{ kNm} \quad M_y = 843,45 \text{ kNm} \quad P = 281,19 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{97,67 * 10^6}{36.000.000} = 2,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{843,45 * 10^6}{36.000.000} = 23,43 \text{ MPa}$$

$$f_{m,x/y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1 * 28}{1,25} = 27,10 \text{ MPa}$$

$$L = 2950 \text{ mm} \quad d = 600 \text{ mm}$$

$$L_k = \frac{2950}{2} = 1475 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_y = \frac{1475}{600} = 2,46$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{2,46}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,04$$

$\lambda_{rel,x/y} < 0,3 \xrightarrow{\text{olduğu için}}$ burkulma faktörü dikkate alınmaz.

$$\left(\frac{\frac{281,19 * 10^3}{600 * 600}}{21,20} \right)^2 + 0,7 * \frac{2,71}{27,10} + \frac{23,43}{27,10} = 0,94 \leq 1$$

$$\left(\frac{\frac{281,19 * 10^3}{600 * 600}}{21,20} \right)^2 + \frac{2,71}{27,10} + 0,7 * \frac{23,43}{27,10} = 0,71 \leq 1$$

Koşullar sağlanmaktadır.

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_x = 325,35 \text{ MPa} \quad V_y = 91,37 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{477,80^2 + 39,56^2} = 479,43 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 479,43 * 10^3}{2 * 600 * 600} = 2,00 \text{ MPa}$$

$$3,10 \geq 2,00 \quad \xrightarrow{\text{buradan}} \quad \text{\textit{Şartı sağlamaktadır}}$$

Kısmi Kafes Yapı Elemanı 400x500 (GL28h)

Eksenel Kuvvet ve İki Doğrultuda Eğilmeye Maruz Kesit Tahkiki

$$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (Dikdörtgen kesitler için)}$$

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{26,5}{1,25} = 21,20 \text{ MPa}$$

$$f_{m,0,k} = 28 \text{ MPa}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \rightarrow k_{h,x} = \min \left\{ \left(\frac{600}{400} \right)^{0,1} = 1,04 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,x} = 1,04 \right. \\ \left. 1,1 \right. \left. 1,1 \right.$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{500} \right)^{0,1} = 1,02 \xrightarrow{\text{buradan}} k_{h,y} = 1,02 \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

$$W_x = \frac{500 * 400^2}{6} = 13.333.333,33 \text{ mm}^3$$

$$W_y = \frac{400 * 500^2}{6} = 16.666.666,67 \text{ mm}^3$$

$$M_x = 86,72 \text{ kNm} \quad M_y = 9,33 \text{ kNm} \quad P = 1126,76 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{86,72 * 10^6}{13.333.333,33} = 6,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{9,33 * 10^6}{16.666.666,67} = 0,56 \text{ MPa}$$

$$f_{m,x,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,04 * 28}{1,25} = 28,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 1,02 * 28}{1,25} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$L = 5381 \text{ mm} \quad d = 400 \text{ m}$$

$$L_k = \frac{5381}{2} = 2690,50 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{2690,50}{400} = 6,73$$

$$\lambda_y = \frac{2690,50}{500} = 5,38$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{6,73}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,11$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{5,38}{\pi} \sqrt{\frac{26,50}{10200}} = 0,09$$

$\lambda_{rel,x/y} < 0,3$ ^{olduğu için} burkulma faktörü dikkate alınmaz.

$$\left(\frac{\frac{1126,76 * 10^3}{400 * 500}}{21,20} \right)^2 + 0,7 * \frac{6,50}{28,23} + \frac{0,56}{27,60} = 0,25 \leq 1$$

$$\left(\frac{\frac{1126,76 * 10^3}{400 * 500}}{21,20} \right)^2 + \frac{6,50}{28,23} + 0,7 * \frac{0,56}{27,60} = 0,32 \leq 1$$

Koşullar sağlanmaktadır.

Kesme Tahkiki

$$f_{v,d} \geq \tau_d$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$V_x = 4,49 \text{ MPa} \quad V_y = 23,65 \text{ MPa}$$

$$V = \sqrt{4,49^2 + 23,65^2} = 24,07 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{1,1 * 1,1 * 3,2}{1,25} = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3 * 24,07 * 10^3}{2 * 400 * 500} = 0,18 \text{ MPa}$$

$3,10 \geq 0,18$ $\xRightarrow{\text{buradan}}$ Şartı sağlamaktadır



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yusuf GÜREL
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.09.1988, Şanlıurfa
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yusuf_gurel@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı ABD	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Bağcılar Orhangazi Lisesi YDA	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016-	Yıldız Teknoloji Geliştirme Bölgesi Teknopark A.Ş.	Kaba ve İnce Yapı Uzmanı

2014-2016	Bir İnşaat Tem. Tur. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.	Şantiye Şefi
2013-2014	Vatan Yapı Denetim Ltd. Şti.	Kontrol Mühendisi
2011-2013	Küre İnşaat Yapı Mim. Müh. San. ve Tic. Ltd. Şti.	Saha Mühendisi

