



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİ**

Akın ŞENDAĞ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Nusret AS**

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği, Doktora Programı

Şubat, 2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Akın ŞENDAĞ tarafından, **Prof. Dr. Nusret AS** danışmanlığında hazırlanan "**AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **06/02/2025** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

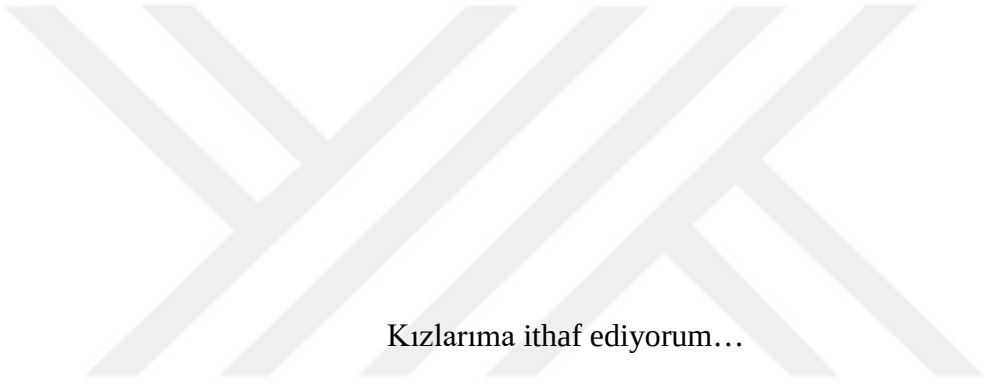
	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Nusret AS	☒
	İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa	Kabul
	Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Türker DÜNDAR	☒
	İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa	Kabul
	Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Turgay AKBULUT	☒
	İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa	Kabul
	Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI	☒
	Düzce Üniversitesi	Kabul
	Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Vedat ÇAVUŞ	☒
	İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi	Kabul
	Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Akın ŞENDAĞ

(İmza)



Kızlarıma ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada bana lisansüstü eğitimim süresince her konuda yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Nusret AS’a teşekkür ederim.

Tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Türker DÜNDAR ve Sayın Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI’ya katkı ve destekleri için teşekkürü borç bilirim.

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa ve İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümlerindeki desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Fatih KURUL’a, Dr. Öğr. Üyesi Hızır Volkan GÖRGÜN’e, Arş. Gör Ayberk AYDOĞMUŞ’a teşekkür ederim.

Son olarak zorlu geçen bu süreçte yanımda olan ve varlıkları ile anlam bulduğum başta kızlarım Defne ve Dünya olmak üzere sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Şubat 2025

Akın ŞENDAĞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ.....	xv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xx
ÖZET	xxiii
ABSTRACT	xxv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. AHŞABIN YAPISAL OLARAK KULLANIMI	3
2.2. YAPISAL AMAÇLI KULLANILAN AĞAÇ TÜRLERİ.....	3
2.2.1. Gökknar (<i>Abies ssp.</i>)	4
2.2.2. Karaçam (<i>Pinus nigra ssp.</i>).....	5
2.3. AHŞAP YAPI ÜRETİM SİSTEMLERİ.....	7
2.3.1. Ahşap Yığma Sistem.....	7
2.3.2. Ahşap Karkas Sistemler	8
2.3.3. Panel Bileşen Sistemler.....	11
2.3.4. Karma Sistemler.....	12
2.4. AHŞAP ÇATILAR	12
2.4.1. Ahşap Çatı Elemanları	13

2.5. AHŞAP YAPILARDA KULLANILAN MÜHENDİSLİK ÜRÜNÜ AHŞAP ESASLI MALZEMELER	15
2.5.1. Yapıştırılmış Lamine Kereste (Glulam)	16
2.5.2. Paralel Şerit Kereste (PSL)	17
2.5.3. Kontrplak.....	17
2.5.4. Lamine Kaplama Kereste (LVL).....	18
2.5.5. Yönlendirilmiş Şerit Levha (OSB).....	18
2.5.6. I Kiriş.....	19
2.5.7. Çapraz Lamine Kereste (CLT).....	20
2.6. AHŞAP YAPILARDA KULLANILAN BİRLEŞTİRME ELEMANLARI	21
2.6.1. Çiviler.....	21
2.6.2. Vidalar	22
2.6.3. Cıvata ve Somunlar	23
2.6.4. Metal Plaka Bağlantı Elemanları.....	23
2.7. AHŞAP YAPI STANDARTLARI VE YÖNETMELİKLERİ.....	26
2.7.1. TS 647: Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (1979).....	27
2.7.2. TS EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar (Eurocode 5)	27
2.7.3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)	27
2.8. YAPI TASARIMINDA KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMLARI.....	28
2.9. AHŞAP YAPILAR VE KARBON.....	28
3. YÖNTEM	30
3.1. MALZEME.....	30
3.2. YÖNTEM	31
3.2.1. Görsel Değerlendirme	31
3.2.2. Fiziksel ve Mekanik Testler	36
3.2.3. Tahribatlı Testler ile SAP2000 Programının Karşılaştırılması	42
3.2.4. Yapı Elemanlarının Performanslarının Belirlenmesi	44
3.2.5. Yapı Elemanlarının Hesaplamaları	60

3.2.6. Yapı Elemanlarının Kesit Optimizasyonu.....	73
3.2.7. Yapı Elemanlarının Maliyetlerinin Belirlenmesi	74
3.2.8. Gömülü Karbon Miktarının Belirlenmesi	75
3.2.9. İstatistiksel Analizlerin Yapılması	77
4. BULGULAR	78
4.1. GÖRSEL DEĞERLENDİRME	78
4.2. FİZİKSEL VE MEKANİK TESTLER.....	78
4.2.1. Rutubet	78
4.2.2. Yoğunluk.....	78
4.2.3. Eğilme Direnci	79
4.2.4. Global Elastikiyet Modülü	80
4.2.5. Tahribatlı Testler ile SAP2000 Verilerinin Karşılaştırılması.....	80
4.3. YAPI ELEMANLARININ PERFORMANSLARI.....	82
4.3.1. Kolonlara Ait Bulgular.....	83
4.3.2. Kirişlere Ait Bulgular.....	86
4.4. YAPI ELEMANLARININ HESAPLAMALARI	90
4.4.1. Kolon Hesapları.....	90
4.4.2. Kiriş Hesapları.....	101
4.4.3. Mertek Hesapları	119
4.4.4. Aşık Hesapları	136
4.5. YAPI ELEMANLARININ KESİT OPTİMİZASYONU	150
4.5.1. Kolon Kesitlerinin Optimizasyonu.....	150
4.5.2. Kiriş Kesitlerinin Optimizasyonu.....	154
4.5.3. Mertek Kesitlerinin Optimizasyonu	161
4.5.4. Aşık Kesitlerinin Optimizasyonu	168
4.6. YAPI ELEMANLARININ MALİYETLERİ	174
4.7. GÖMÜLÜ KARBON MİKTARININ BELİRLENMESİ.....	174
5. TARTIŞMA.....	177

5.1. GÖRSEL DEĞERLENDİRME	177
5.2. FİZİKSEL VE MEKANİK TESTLER.....	177
5.2.1. Rutubet	177
5.2.2. Yoğunluk.....	178
5.2.3. Eğilme Direnci	178
5.2.4. Global Elastikiyet Modülü	179
5.2.5. Tahribatlı Testler ile SAP2000 Programının Karşılaştırılması	180
5.3. YAPI ELEMANLARININ PERFORMANSLARI	181
5.3.1. Kolonlar Arasındaki İlişkiler.....	181
5.3.2. Kirişler Arasındaki İlişkiler.....	182
5.4. Yapı Elemanlarının Hesaplamaları	183
5.4.1. Kolon Hesapları.....	183
5.4.2. Kiriş Hesapları.....	186
5.4.3. Mertek Elemanları Arasındaki İlişkiler.....	189
5.4.4. Aşık Elemanları Arasındaki İlişkiler.....	191
5.5. YAPI ELEMANLARININ KESİT OPTİMİZASYONU	193
5.6. YAPI ELEMANLARININ MALİYETLERİ	195
5.7. GÖMÜLÜ KARBON MİKTARININ BELİRLENMESİ	197
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	200
KAYNAKLAR.....	202
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	209
ETİK KURUL İZİN YAZISI	210
KURUM İZNİ YAZILARI	211
ÖZGEÇMİŞ	212

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Gökmar ağacının yayılış haritası.	4
Şekil 2.2. Karaçam yayılım haritası.....	6
Şekil 2.3. Ahşap yığma sistemle üretilen yapı örneği	8
Şekil 2.4. Ahşap karkas sistemli yapı örneği.....	9
Şekil 2.5. Balon karkas yapı sistem iskelet sistemi.	10
Şekil 2.6. Platform karkas sistem iskelet yapısı.	11
Şekil 2.7. Panel bileşen sistem yapı örneği.	12
Şekil 2.8. Karma sistem yapı örneği.....	12
Şekil 2.9. Çatıların sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.10. Çatı elemanları	15
Şekil 2.11. Glulam örneği.....	16
Şekil 2.12. PSL örneği.....	17
Şekil 2.13. Kontrplak.....	18
Şekil 2.14. Tabakalanmış Kaplama Kereste.....	18
Şekil 2.15. OSB malzeme örneği.	19
Şekil 2.16. I Kiriş Örneği.	19
Şekil 2.17. CLT Katman yapısı.	20
Şekil 2.18. CLT örneği	21
Şekil 2.19. Yapılarda kullanılan değişik yapıdaki çivi örnekleri	22
Şekil 2.20. Farklı özellikte vida görünüşleri.....	22
Şekil 2.21. Farklı tip ve özellikteki somun ve cıvata örnekleri	23

Şekil 2.22. Çivili metal bağlantı elemanı.	24
Şekil 2.23. Delikli metal plaka bağlantı elemanı.....	24
Şekil 2.24. Dişli Plaka bağlantı elemanı ve uygulanması.	25
Şekil 2.25. Kiriş askı elemanı ve uygulama örneği.	26
Şekil 3.1. Çalışma kapsamında test edilen keresteler.....	30
Şekil 3.2. Yıllık halka genişliğinin belirlenme yöntemleri.....	32
Şekil 3.3. Tekli budak değerlendirme yöntemi.....	33
Şekil 3.4. Toplu budak değerlendirme yöntemi.	34
Şekil 3.5. Yüzeyde çatlak var ise lif kıvrıklığı belirleme yöntemi.	34
Şekil 3.6. Yüzeyde çatlak olmayan kerestede lif kıvrıklığının belirlenmesi.	35
Şekil 3.7. Görsel olarak değerlendirilen örneklerin boyutlandırılması.	35
Şekil 3.8. Örneklerin başlangıç rutubetlerinin belirlenmesi işlemi.	36
Şekil 3.9. LVDT cihazının test düzeneğinden kaldırılması.....	37
Şekil 3.10. Eğilme direnci test düzeneği.	38
Şekil 3.11. Maksimum yüke ulaşarak kırılan bir test örneği.....	38
Şekil 3.12. Kurutulmak üzere etüve yerleştirilen örnekler.....	40
Şekil 3.13. Dört noktalı eğilme düzeneği.	41
Şekil 3.14. Regresyon analizi örneği.....	42
Şekil 3.15. Kereste özelliklerinin programa tanımlanması.....	43
Şekil 3.16. SAP 2000 programında analizi yapılan kerestenin yükleme durumu.	43
Şekil 3.17. TS 498'e göre kar yağış yüksekliği haritası.....	46
Şekil 3.18. TS 498' e göre Rüzgâr Yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağılımı[14].	47
Şekil 3.19. Yer hareketi düzeyi sonuçları.....	51
Şekil 3.20. Deprem yükleri hesap fonksiyonu.....	52
Şekil 3.21. Programa tanımlanan C18 malzeme özellikleri	54
Şekil 3.22. Programa tanımlanan C24 malzeme özellikleri	55
Şekil 3.23. Programa tanımlanan C27 malzeme özellikleri.	55

Şekil 3.24. Programa tanımlanan C35 malzeme özellikleri.	56
Şekil 3.25. Tanımlanan kolonun özellikleri.....	56
Şekil 3.26. Programa tanımlanan yapı eleman kesitleri.	57
Şekil 3.27. Program üzerinde çizilen yapının 3 boyutlu görünümü.	58
Şekil 3.28. Yapı üzerine tanımlanan yüklerin görünümü.....	59
Şekil 3.29. TS EN 15978'e göre bina değerlendirilmesinde kullanılacak bilgiler.....	76
Şekil 4.1. Tasarlanan yapıya ait eksenel kuvvet diyagramı.....	84
Şekil 4.2. Tasarlanan yapıya ait moment diyagramı.	88
Şekil 4.3. C35 direnç sınıfındaki kolonun toplam eksenel kuvvet diyagramı.....	90
Şekil 4.4. C35 direnç sınıfındaki malzemenin ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.	91
Şekil 4.5. C27 direnç sınıfındaki kolonun toplam eksenel yük diyagramı.....	93
Şekil 4.6. C27 direnç sınıfındaki kolonun ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.....	93
Şekil 4.7. C24 direnç sınıfındaki kolonun toplam eksenel yük diyagramı.....	96
Şekil 4.8. C24 direnç sınıfındaki kolonun ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.....	96
Şekil 4.9. C18 direnç sınıfındaki kolona ait toplam eksenel kuvvet diyagramı.	99
Şekil 4.10. C18 direnç sınıfındaki kolonun ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.....	99
Şekil 4.11. C35 - 1. sınıf karaçam kerestesi hareketli yük diyagramı.	102
Şekil 4.12. C35 - 1. sınıf karaçam kerestesi ölü yük diyagramı.	102
Şekil 4.13. C27 kiriş hareketli yük diyagramı.	106
Şekil 4.14. C27 kiriş ölü yük diyagramı.....	107
Şekil 4.15. C24 kiriş hareketli yük diyagramı.....	111
Şekil 4.16. C24 kiriş ölü yük diyagramı.....	111
Şekil 4.17.C18 kiriş hareketli yük diyagramı.	115
Şekil 4.18. C18 kiriş ölü yük diyagramı.....	115
Şekil 4.19. C35 Mertek ölü yük diyagramı.	119
Şekil 4.20. C35 mertek kar yükü diyagramı.....	120
Şekil 4.21. C35 mertek rüzgar yükü diyagramı.....	120

Şekil 4.22. C27 en çok zorlanan merteğe etkiyen toplam moment diyagramı.....	124
Şekil 4.23. C27 mertek ölü yük diyagramı.....	124
Şekil 4.24. C24 mertek toplam moment diyagramı.....	128
Şekil 4.25. C24 mertek ölü yük diyagramı.....	128
Şekil 4.26. C18 mertek toplam moment diyagramı.....	132
Şekil 4.27. C18 mertek ölü yük diyagramı.....	132
Şekil 4.28. Aşık üzerine etkiyen ölü yük diyagramı.	136
Şekil 4.29. C27 aşık ölü yük diyagramı.....	140
Şekil 4.30. C24 aşık ölü yük diyagramı.....	143
Şekil 4.31. C18 aşık ölü yük diyagramı.....	147

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Göknar ahşabının fiziksel özellikleri.	5
Tablo 2.2. Göknar ahşabının mekanik özellikleri.	5
Tablo 2.3. Karaçam ahşabının fiziksel özellikleri.	6
Tablo 2.4. Karaçam ahşabının mekanik özellikleri.	7
Tablo 2.5. TS EN 1995 standardına göre hesaplama yapabilen ücretli sonlu elemanlar analiz programları.	28
Tablo 2.6. Bazı yapı malzemelerinin üretimdeki net karbon emisyonları.....	29
Tablo 3.1. Yıllık halka genişliği üst sınır değerleri.	32
Tablo 3.2. TS 1265'e göre budak üst sınır değerleri ve en yüksek budak çapları.	33
Tablo 3.3. Lif kıvrıklığına ait en yüksek oranlar.	34
Tablo 3.4. Yapıda kullanılan elemanların boyutları.	44
Tablo 3.5. TS 498'e göre karakteristik kar yükü (S_k) değerleri.	46
Tablo 3.6. Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı ve emme basıncı değerleri.	47
Tablo 3.7. Düşey hareketli yükler (TS 498)	48
Tablo 3.8. TBDY 2018 Kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayıları	50
Tablo 3.9. TBDY 2018 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları.....	50
Tablo 3.10. TBDY 2018 bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları.	53
Tablo 3.11. Yerli türlerimizin direnç sınıfları.	54
Tablo 3.12. TS 647'ye göre emniyet dirençleri.	61
Tablo 3.13. TS 647 standardına göre elastikiyet ve kayma modülü değerleri.	61
Tablo 3.14. TS 647 standardına göre burkulma katsayıları (ω).	62
Tablo 3.15. Yükleme süresi sınıfları.	63

Tablo 3.16. Malzeme kısmi faktörleri.	64
Tablo 3.17. TS EN 1995 Standardına göre malzemelerin Yük - Süre sınıflarına göre modifikasyon faktörleri.	65
Tablo 3.18. TS EN 1995 standardına göre k_{def} değerleri.	66
Tablo 3.19. TS EN 1990 Standardına göre Kombinasyon faktörü değerleri.	67
Tablo 3.20. Denge (EQU) ve direnç (STR) sınır durumları için etkilerin tasarım değerleri....	69
Tablo 3.21. Kaza etkileri için sınır durumları.	69
Tablo 3.22. EN 338 standardına göre iğne yapraklı ağaçların karakteristik değerleri.	70
Tablo 3.23. İğne yapraklı ağaç kerestelerinin yarı haldeki boyutları.	74
Tablo 3.24. Tasarlanan yapıda bulunan elemanların toplam ölçüleri.	74
Tablo 3.25. Piyasa verilerine göre ortalama kereste maliyetleri (TL/m ³).	75
Tablo 4.1. Ağaç türüne göre görsel kalite sınıflarına atanan örnek sayıları.	78
Tablo 4.2. Rutubete ilişkin bulgular.	78
Tablo 4.3. Yoğunluğa ait bulgular.	79
Tablo 4.4. Tahribatlı testlerden elde edilen eğilme direnci verilerine ait bulgular.	79
Tablo 4.5. Tahribatlı testlerde maksimum kuvvette oluşan deformasyon miktarları.	80
Tablo 4.6. Tahribatlı testlerden elde edilen global elastikiyet modülü değerleri.	80
Tablo 4.7. SAP2000 programından elde edilen eğilme direnci değerleri.	80
Tablo 4.8. SAP2000 programından elde edilen deformasyona ait bulgular.	81
Tablo 4.9. Karaçam eğilme direnci verilerine ilişkin t testine ait bulgular.	81
Tablo 4.10. Gökmar eğilme direnci verilerine ilişkin t testine ait bulgular.	81
Tablo 4.11. Karaçam örnekleri deformasyonlarının karşılaştırılması t testi sonuçları.	82
Tablo 4.12. Gökmar örnekleri deformasyonlarının karşılaştırılması t testi sonuçları.	82
Tablo 4.13. Kolonlara direnç sınıflarına göre etkiyen eksenel kuvvetlerin tanımlayıcı istatistikleri.	83
Tablo 4.14. Kolonlara etkiyen eksenel yüklere ait varyans analizi sonuçları.	83
Tablo 4.15. Kolon kotunun kolon üzerine etkiyen eksenel kuvvete etkisine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri.	85

Tablo 4.16. Kolon kotunun etkiyen eksenel yük üzerine etkisine ait analiz sonuçları.....	85
Tablo 4.17. Yük Türü - Eksenel kuvvet arasındaki ilişkilerin tanımlayıcı istatistikleri.....	85
Tablo 4.18. Kolonlara etkiyen yük türlerinin karşılaştırılması varyans analizi sonuçları.....	86
Tablo 4.19. Kolonlara etkiyen yük türlerinin karşılaştırılması Duncan testi sonuçları.....	86
Tablo 4.20. Malzeme direnç sınıfına göre kirişlere etkiyen momentlerin tanımlayıcı istatistikleri.	87
Tablo 4.21. Kirişler üzerine etkiyen eğilme momentine malzeme sınıfının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.	87
Tablo 4.22. Eğilme momenti üzerine kiriş kotunun etkisi tanımlayıcı istatistikleri.	88
Tablo 4.23. Kirişler üzerine etkiyen eğilme momentine kiriş kotunun etkisi varyans analizi sonucu.....	89
Tablo 4.24. Kiriş boyunun kiriş üzerine etkiyen eğilme momentine etkisi tanımlayıcı istatistikler.	89
Tablo 4.25. Kiriş uzunluğunun kiriş üzerine etkiyen eğilme momenti üzerine etkisi varyans analizi sonuçları.....	89
Tablo 4.26. Eurocode 5 standardına göre C35 kolon kesit hesap değerleri.	150
Tablo 4.27. TS 647 standardına göre 1. Sınıf karaçam kolon kesit hesap değerleri.	151
Tablo 4.28. Eurocode 5 standardına göre C27 kolon kesit hesap değerleri.	151
Tablo 4.29. TS 647 standardına göre 1. Sınıf göknar kolon kesit hesap değerleri.....	152
Tablo 4.30. Eurocode 5 standardına göre C24 kolon kesit hesap değerleri.	152
Tablo 4.31. TS 647 standardına göre 2. Sınıf göknar/karaçam kolon kesit hesap değerleri ..	153
Tablo 4.32. Eurocode 5 standardına göre C18 kolon kesit hesap değerleri.	153
Tablo 4.33. TS 647 standardına göre 3. Sınıf göknar/karaçam kolon kesit hesap değerleri. ..	154
Tablo 4.34. C35 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	154
Tablo 4.35. C35 sınıfı kirişlerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	155
Tablo 4.36. C27 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	156
Tablo 4.37. C27 sınıfı kirişlerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	157
Tablo 4.38. C24 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	158
Tablo 4.39. C24 sınıfı kirişlerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	159

Tablo 4.40. C18 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	160
Tablo 4.41. C18 sınıfı kirişleri TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	161
Tablo 4.42. C35 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	162
Tablo 4.43. 1. Sınıf karaçam merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	162
Tablo 4.44. C27 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	163
Tablo 4.45. C27 sınıfı merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	164
Tablo 4.46. C24 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	165
Tablo 4.47. C24 sınıfı merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	166
Tablo 4.48. C18 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.....	166
Tablo 4.49. C18 sınıfı merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	167
Tablo 4.50. C35 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.	168
Tablo 4.51. C35 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.....	169
Tablo 4.52. C27 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.	170
Tablo 4.53. C27 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	170
Tablo 4.54. C24 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.	171
Tablo 4.55. C24 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	172
Tablo 4.56. C18 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.	172
Tablo 4.57. C18 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.	173
Tablo 4.58. Tasarlanan yapıda en uygun en kesit ölçülerine göre oluşan hacim miktarı.....	174
Tablo 4.59. Tasarlanan yapıda kullanılan kaplama malzemelerinin gömülü karbon miktarı.	175
Tablo 4.60. Tasarlanan yapıda kullanılan taşıyıcı ahşap elemanların gömülü karbon miktarları.	175
Tablo 4.61. Direnç sınıfına göre tasarlanan yapıda meydana gelen toplam gömülü karbon miktarları.	176
Tablo 5.1. Kolonların hesaplamalarından elde edilen bulgular.....	184
Tablo 5.2. Kirişlere ait eğilme gerilmesi sonuçları.	186
Tablo 5.3. Kirişlere ait kayma gerilmesi sonuçları.....	187

Tablo 5.4. Kirişlere ait deformasyon sonuçları.	188
Tablo 5.5. Merteklere ait eğilme gerilmesi hesap değerleri.	189
Tablo 5.6. Merteklere ait makaslama gerilmesi hesap değerleri.	190
Tablo 5.7. Merteklere ait deformasyon değerleri.	191
Tablo 5.8. Aşıklara ait eğilme gerilmesi hesap sonuçları.....	192
Tablo 5.9. Aşıklara ait kayma gerilmesi hesap sonuçları.	192
Tablo 5.10. Aşıklara ait deformasyon hesap değerleri.	193
Tablo 5.11. Aşıklara ait optimal kesit değerleri.	194
Tablo 5.12. Merteklere ait optimal kesit değerleri.	194
Tablo 5.13. Kirişlere ait optimal kesit değerleri.....	195
Tablo 5.14. Kolonlara ait optimal kesit değerleri.....	195
Tablo 5.15. Tasarlanan yapı için taşıyıcı sistem kereste maliyetleri (TL).	196

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
D_0	: Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)
D_{12}	: Hava kurusu yoğunluk (g/cm^3)
B_r	: Radyal daralma (%)
B_t	: Teğet daralma (%)
B_v	: Hacimsel daralma (%)
$E - \text{Mod}$	: Elastikiyet modülü (N/mm^2)
σ_E	: Eğilme direnci (N/mm^2)
$\sigma_{B//}$	: Liflere paralel basınç direnci (N/mm^2)
$\sigma_{Ç//}$	: Liflere paralel çekme direnci (N/mm^2)
G	: Makaslama modülü (N/mm^2)
f_m	: Eğilme direnci (N/mm^2)
F	: Maksimum kuvvet (N)
b	: Örnek genişliği (mm)
h	: Örnek kalınlığı (mm)
r	: Örnek rutubet miktarı (%)
m_1	: Örneğin ilk ağırlığı (g)
m_0	: Örneğin ilk ağırlığı (g)
E_0	: Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm^2)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
u	: Başlangıç rutubeti (%)
u_{ref}	: Referans rutubet miktarı (%)
$E_{m,g}$	: Global elastikiyet modülü (N/mm^2)
a	: Yükleme başlığının en yakın mesnete olan uzaklığı (mm)
l	: dayanak açıklığı (mm)
$F_2 - F_1$	: $0,3F_{\text{max}}-0,2F_{\text{max}}$ (N)
$w_2 - w_1$	: F_2-F_1 aralığında oluşan deformasyon (mm)
q	: Rüzgar basıncı
C_p	: Emme basıncı

v	: Rüzgar hızı (m/sn)
I	: Bina önem katsayısı
σ_{eem}	: Eğilmede emniyet gerilmesi (kgf/cm ²)
$\sigma_{\text{çeem}}//$	: Liflere paralel çekmede emniyet gerilmesi (kgf/cm ²)
$\sigma_{beem}//$	: Liflere paralel basınç emniyet gerilmesi (kgf/cm ²)
$\sigma_{beem.L}$	: Liflere dik basınç emniyet gerilmesi (kgf/cm ²)
τ_{em}	: Makaslama emniyet gerilmesi (kgf/cm ²)
ω	: Burkulma katsayısı
N_{max}	: Kolona etkiyen en büyük eksenel kuvvet (kgf)
λ	: Narinlik
I	: Dönüklük yarıçapı
L	: Kolon uzunluğu
M	: Eğilme momenti
q	: Birim uzunluğa düşen yayılı yük
γ_G	: Kalıcı yükleme için kısmi faktör
γ_Q	: Değişken yükleme için kısmi faktör
ψ_0	: Değişken bir işlemi kombinasyon değerine dönüştüren faktör
ξ	: Olumsuz kalıcı eylemler için azaltma faktörü
G_k	: Kalıcı eylem
$Q_{k,1}$	: Temel değişken eylem
Q_k	: Eşlik eden değişken eylem
λ_{rel}	: Nispi narinlik oranı
λ	: Narinlik oranı
$E_{0,05}$	: Elastikiyet modülünün %5'lik değeri
$f_{c,0,k}$	: Liflere paralel yönde karakteristik basınç direnci (N/mm ²)
k_c	: Kararsızlık faktörü
$\sigma_{m,y,d}$	: Eğilme gerilmesi (N/mm ²)
$M_{y,d}$	: Eğilme momenti (N-mm)
K_{mod}	: Düzeltme faktörü
$f_{m,k}$	: Karakteristik eğilme direnci (N/mm ²)
E_d	: Etki eden toplam yük
τ_d	: Makaslama gerilmesi (N/mm ²)
W_{ins}	: Ani deformasyon miktarı (mm)
W_{fin}	: Nihai deformasyon

$\Psi_{2,1}$	: Binalar için şekil değıştirme faktörü
k_{def}	: Şekil değıştirme faktörü

Kısaltmalar	Açıklama
LVDT	: Doğrusal Değişken Diferansiyel Transformatörler
Glulam	: Yapıştırılmış lamine kereste
PSL	: Paralel şerit kereste
LVL	: Lamine kaplama kereste
OSB	: Yönlendirilmiş şerit levha
CLT	: Çapraz lamine kereste
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
kgCO₂e	: Gömülü karbon miktarı
CEN	: Avrupa Standartlar Komisyonu
LCA	: Yaşam Döngüsü Analizi

ÖZET

[DOKTORA TEZİ]

[AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ]

[Akın ŞENDAĞ]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği, Doktora Programı

[Danışman : Prof. Dr. Nusret AS]

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma kapsamında, taşıyıcı ahşap yapı elemanlarının mekanik performanslarının belirlenmesi amacıyla ilk aşamada yerli karaçam ve göknar türlerimizden elde edilen kirişler tahribatlı olarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar SAP2000 programına tanıtılarak aynı malzeme özellikleri ile bilgisayar programında karşılaştırması yapılmıştır. İkinci aşamada ise yapı elemanları için kesit ölçüleri belirlenmiş ve aynı kesit ölçüsü kullanılarak karaçam ve göknar türlerinin her bir kalite sınıfı için TS EN 1912 ve TS EN 338 standartlarında belirtilen karakteristik malzeme değerleri SAP2000 programına tanıtılmıştır. Programda çizilen yapı elemanları üzerine TS 647 ve TS EN 1995 standartlarının belirttiği şekilde hareketli ve ölü yükler etki ettirilmiştir. Yapı üzerine etki ettirilen yük değerlerinin belirlenmesinde TS 498 standardı kullanılmıştır. Bu standart içerisinde yer verilmeyen kaplama, izolasyon malzemesi vb. elemanların ağırlıklarının belirlenmesinde TS ISO 9194 standardı kullanılmıştır. Programa tanımlanan tüm yükler ile birlikte program üzerinden en çok zorlanan kolon, kiriş, aşıklar ve mertekler üzerlerine etki eden yükler belirlenmiş elde edilen bu değerler ile TS 647 ve TS EN 1995 standartlarına göre hesaplamalar yapılmıştır.

Son basamak olarak ise her kalite sınıfındaki malzemenin üzerine etkiyen yükleri taşıyabileceği en küçük en kesit ölçüleri belirlenmiştir. Bu şekilde her bir direnç sınıfındaki taşıyıcı elemanların mekanik performansları kesit ölçüleri, maliyet ve karbon salımı açılarından belirlenmiştir. Sonuç olarak SAP2000 programından elde edilen verilerin gerçek verilerle uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Ahşap malzeme özellikleri uygun şekilde tanımlandığı durumda program üzerinden alınacak verilerin ahşap yapı üretiminde değerlendirilebileceği söylenebilmektedir. Ancak malzeme özellikleri doğru bir şekilde bilindiği sürece bu hesaplamalar program tarafından yapılabilecek aksi takdirde öncelikle malzeme özelliklerinin araştırılması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca kesit optimizasyonu ile önemli miktarda malzeme tasarrufu yapılabildiği ortaya konulmuştur. Tasarruf edilen malzemeler ile birlikte maliyetler açısından avantajlar ortaya konulmuştur. Bina maliyetlerinin dörtte birini oluşturan taşıyıcı konstrüksiyonda sağlanacak malzeme tasarrufu ile ahşap yapı maliyetlerinin düşmesinin sağlanabileceği bu şekilde ahşap yapı kullanımının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri olan maliyet kaleminde diğer yapı türleri ile rekabet edebilir düzeye getirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Tez içerisinde incelenen yapı sistemi üretim modülü ile değerlendirildiğinde C35 direnç sınıfındaki malzemeler ile üretilen yapıda en çok karbon tutumu olduğu ortaya çıkarılmıştır. |

Şubat 2025 , |213| sayfa.

Anahtar kelimeler: | Ahşap Yapı, TS 647, Eurocode, SAP2000, Gömülü Karbon |

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

DETERMINATION OF MECHANICAL PERFORMANCE IN WOODEN CONSTRUCTION ELEMENTS

Akın ŞENDAĞ

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Industry Engineering

Forest Industry Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Nusret AS

This study, prepared as a doctoral thesis in the Department of Forest Industry Engineering, Graduate Education Institute of İstanbul University – Cerrahpasa, aims to determine the mechanical performances of load-bearing timber structural elements. Within the scope of this study, in the first stage, beams obtained from domestic Scots pine and fir species were tested destructively, and the results obtained were introduced into the SAP2000 program. A comparison was made in the computer program with the same material properties. In the second stage, cross-sectional dimensions were determined for the structural elements, and characteristic material values specified in TS EN 1912 and TS EN 338 standards for each quality class of Scots pine and fir species were introduced into the SAP2000 program using the same cross-sectional dimensions. Moving and dead loads were applied to the structural elements drawn in the program in accordance with TS 647 and TS EN 1995 standards. The TS 498 standard was used to determine the load values applied to the structure. The TS ISO 9194 standard was used to determine the weights of elements such as roofing and insulation materials, which are not included in TS 498. With all the loads defined in the program, the loads

acting on the most stressed columns, beams and roof elements were determined from the program, and calculations were made according to TS 647 and TS EN 1995 standards with these values. As a final step, the smallest cross-sectional dimensions that each quality class of material could bear were determined. In this way, the mechanical performances of load-bearing elements in each resistance class were determined in terms of cross-sectional dimensions, cost, and carbon emissions. As a result, it was observed that the data obtained from the SAP2000 program were consistent with the actual data. It can be said that the data to be obtained from the program can be evaluated in timber structure production, provided that the timber material properties are defined appropriately. However, it has been determined that these calculations can be made by the program as long as the material properties are known correctly; otherwise, material properties should be investigated primarily. In addition, it has been revealed that significant material savings can be achieved with cross-section optimization. Advantages in terms of costs have emerged with the materials saved. It has been concluded that reducing timber structure costs can be achieved by saving material in the load-bearing structure, which constitutes a quarter of building costs, and that in this way, the cost item, which is one of the biggest obstacles to the widespread use of timber structures, can be brought to a level competitive with other types of structures. When evaluated with the production module of the structural system examined in the thesis, it was revealed that the highest carbon sequestration occurs in structures produced with C35 resistance class materials. |

February 2025, [213] pages.

Keywords: [Wooden Constructions, TS 647, TS EN 1995, SAP2000, Embodied Carbon]

1. GİRİŞ

Ahşap, yapı elemanı olarak insanların barınma ihtiyacı duyduğu ilk dönemlerden günümüze kadar kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir. Sanayileşme ve nüfus artışı başta olmak üzere değişen faktörlere bağlı olarak çok katlı yapı ihtiyacı ortaya çıkmış, bu şekilde betonarme ve çelik konstrüksiyonlu binalar ön plana çıkmıştır. Ancak ABD, Avrupa, İskandinav Ülkeleri'nde ahşap, yapı elemanı olarak, büyük oranda kullanılmaya devam etmektedir [1–4]. Ülkemizde ise ahşap yapı üretimi, önceki dönemlere göre çeşitli nedenlerle büyük oranda azalmıştır. Ancak bu durum ülkemizde mevcut olan sismik aktivite ile birlikte insanların endişelerini artırmıştır. Deprem riskinin artması ile depreme daha dayanıklı ve hafif olan ahşap yapı elemanı kullanımının daha fazla olacağı düşünülmektedir. Ahşap endüstrisindeki gelişmeler ile birlikte çok katlı ahşap yapıların üretimi mümkün olmaktadır. Ahşap yapı elemanları kullanım esnasında farklı mekanik etkilere maruz kalmaktadır. Bu sebeple ahşap yapı elemanlarında mekanik performansın doğru olarak belirlenmesi, yapının ömrü ve güvenliği açısından önem arz etmektedir. Ağaç malzeme yapıda taşıyıcı ve kaplama elemanı olarak kullanılabilir. Kolon, kiriş, döşeme tahtası vb. kullanımlarda taşıyıcı olduğundan mekanik performans önem kazanmaktadır. Genel olarak kolonlarda kullanılan malzeme çoğunlukla basınç etkisine maruz kalırken, kiriş olarak kullanılan malzemeler ise eğilmeye maruz kalmaktadırlar. Malzemelerin maruz kaldıkları etkilerin ve taşınması istenen yükü güvenli bir şekilde taşıyıp taşıyamayacağının belirlenmesi gerekli olmaktadır. Ahşap malzeme, çeşitli faktörlerin etkisi ile davranışının önceden tahmini zor bir malzemedir. Her eleman kendi içinde kusurları ile birlikte değerlendirilmeli ve anizotropinin vermiş olduğu değişkenliğin en aza indirilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır [1, 5, 6].

Dünyada ahşap yapı elemanlarının mekanik performanslarının belirlenmesine yönelik farklı disiplinlerce yapılmış çalışmalar bulunsa bile ülkemizde bu çalışmalar hem az sayıda ve hem de münferit elemanlarla sınırlı kalmıştır.

Başarılı bir yapısal tasarım, en temel haliyle, binaların yükleri taşıyabilmesini ve amaçlanan işlevlerini yerine getirebilmesini sağlamalıdır. Yapısal tasarıma entegre edilmesi gereken, ancak genellikle göz ardı edilen iki temel kavram daha vardır. İlk kavram, sürekli bir yük yoluna duyulan ihtiyaçtır. İkinci olarak, tasarımcılar yapı içinde var olan sistem etkilerini dikkate

almalıdır. Günümüz binaları o kadar karmaşıktır ki, münferit elemanlar doğal olarak yükü komşularıyla paylaşır, ancak bu etkileşimler yapısal değerlendirmelere genellikle dâhil edilmemektedir. Bunun nedeni, sistem etkilerini ele almak için genellikle pratik bir yöntem bulunmaması olabilir. Herhangi bir yapısal analiz gerçekleştirilirken yük yollarının iyi anlaşılması ve değerlendirilmesi de çok önemlidir. Deneyimler, bunun yapılmamasının önemli hasara ve hatta çökmeye yol açtığını göstermiştir [7, 8]. Bu sebeple sonlu elemanlar analizi programları ile tasarım yapılması önem kazanmaktadır.

Özellikle son yıllarda küresel ısınma sonucunda insanların çevre bilincinin artması ve Kyoto Protokolü gibi anlaşmalarla karbon salımı miktarımızı azaltmamız gerektiği malum olmuştur. Ahşap yapı üretiminde ahşap yeterli bir hammadde iken betonarme yapılar için kum, çelik, su gibi temel maddelerle birlikte çeşitli kimyasallara ihtiyaç duyulmaktadır [9]. Bu durum bile tek başına ahşap yapı sistemlerinin kullanımının önemini göstermektedir. Ahşap yapı sistemlerinde kullanılan malzeme ölçüleri tutulan karbon miktarını belirleyeceğinden dolayı yapım aşamalarında uygun kesitlerin kullanımı önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında taşıyıcı ahşap yapı elemanlarının mekanik performanslarının belirlenmesi amacıyla ilk aşamada yerli karaçam ve göknar türlerimizden elde edilen kirişler tahribatlı olarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar SAP2000 programına tanıtılarak aynı malzeme özellikleri ile bilgisayar programında karşılaştırması yapılmıştır. İkinci aşamada ise yapı elemanları için kesit ölçüleri belirlenmiş ve aynı kesit ölçüsü kullanılarak karaçam ve göknar türlerinin her bir kalite sınıfı için TS EN 1912[10] ve TS EN 338 [11] standartlarında belirtilen karakteristik malzeme değerleri SAP2000 programına tanıtılmıştır. Programda çizilen yapı elemanları üzerine TS 647[12] ve TS EN 1995 [13] standartlarının belirttiği şekilde hareketli ve ölü yükler etki ettirilmiştir. Yapı üzerine etki ettirilen yük değerlerinin belirlenmesinde TS 498 [14] standardı kullanılmıştır bu standart içerisinde yer verilmeyen kaplama, izolasyon malzemesi vb. elemanların ağırlıklarının belirlenmesinde TS ISO 9194 [15] standardı kullanılmıştır. Programa tanımlanan tüm yükler ile birlikte program üzerinden en çok zorlanan kolon, kiriş, aşıklar ve mertekler üzerlerine etki eden yükler belirlenmiş elde edilen bu değerler ile TS 647 ve TS EN 1995 standartlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Son basamak olarak ise her kalite sınıfındaki malzemenin üzerine etkileyen yükleri taşıyabileceği en küçük en kesit ölçüleri belirlenmiştir. Bu şekilde her bir direnç sınıfındaki taşıyıcı elemanların mekanik performansları kesit ölçüleri, maliyet ve karbon salımı açılarından belirlenerek araştırmacı ve üreticilere sonuçlar sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. AHŞABIN YAPISAL OLARAK KULLANIMI

Ahşap insanların barınma ihtiyacının olduğu ilk çağlardan bu yana yapısal amaçlı kullanılan bir malzemedir. Başlarda ilkel tekniklerin kullanıldığı ahşap yapım tekniği zaman içerisinde gelişerek bugünkü halini almıştır. İlkel yapımlarda insanlar tarafından yakın çevrelerinden buldukları malzemelerin doğrudan ya da kısıtlı olarak işlenerek kullanıldığı yapılar yapılmıştır. Zaman içerisinde ilkel yapımlar el aletlerinin de gelişimiyle birlikte geleneksel yapım tekniklerine dönüşmüştür. Geleneksel üretim teknikleri el işçiliğinin yoğun olarak kullanıldığı, bazı yarı mamullerin yapı sahası dışından getirildiği ama çoğunlukla yapının üretildiği yerde ekip olarak üretilebilen yapılar halini almıştır [16–18].

Sanayileşme ve nüfustaki artışla birlikte geleneksel yöntemler üretimler için yetersiz kalmış ve emek gücünün daha az makine kullanımının yoğun olduğu üretimlerle birlikte endüstriyel üretimler başlamıştır. Endüstriyel yapı üretim teknikleri ile standartlaşmış, makineler ile üretilen, sıralı işlemlerin iş bölümü ile üretilebildiği kaynakların verimli olarak kullanıldığı yapılar üretilmeye başlanmıştır [17, 18].

Ülkemizde ahşap yapıların kullanımı da eski zamanlarda başlamış ancak zaman içerisinde malzeme yetersizliği, çok katlı toplu konut ihtiyacının artması gibi nedenlerle ahşap yapılar zaman içerisinde yerlerini betonarme gibi yapılara bırakmışlardır. Türkiye’de 1990 – 2000 yılları arasında üretilen yapıların sadece %0.47’si ahşap yapılardan oluşmaktadır. 2000 yılında ülkede bulunan tüm yapıların ise sadece %2.7’si ahşap yapılardır [18]. 2002 – 2018 yılları arasında üretilen yapıların ise %0,93’ünü ahşap yapılar oluşturmaktadır [19].

2.2. YAPISAL AMAÇLI KULLANILAN AĞAÇ TÜRLERİ

Yapısal amaçlı olarak çam, ladin, göknar, sedir, ardıç, meşe, kayın, kestane, akçaağaç, kavak, karaağaç, dişbudak, yalancı akasya ve çınar türleri kullanılabilir [1]. Kullanılacak tür seçiminde yapı türü ve özellikleri ile direnç özellikleri önem arz etmektedir. Nihai kullanım yerinde uygun tasarlanan yapının kullanım ömrü daha uzun olmaktadır. Bu amaçla farklı

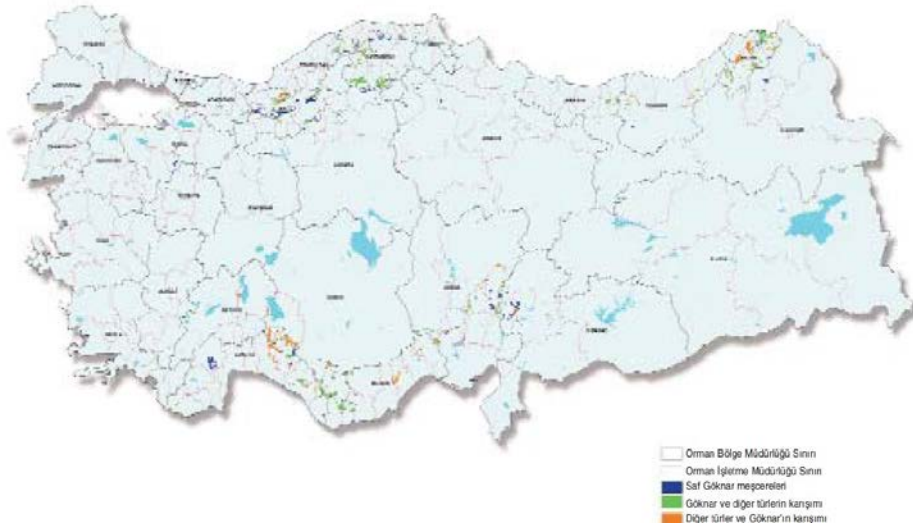
türlerin yapıda kullanım özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında yerli göknar ve karaçam türleri olarak temin kolaylığı ve yapısal amaçlı kullanım imkânlarından dolayı seçilmiş ve özellikleri bu kısımda sunulmuştur.

2.2.1. Göknar (*Abies ssp.*)

2.2.1.1. Yayılış Özellikleri

Pinaceae ailesinden olan *Abies* cinsleri ülkemizde dört farklı tür ile temsil edilmektedir. Bunlar; Uludağ – Batı Karadeniz Göknarı, Doğu Karadeniz Göknarı, Toros Göknarı ve Kazdağı Göknarı'dır [20, 21].

Doğu Karadeniz Göknarı; Doğu Karadeniz bölgesinde batıya doğru Kızılırmak'a kadar olan yerlerde bulunmaktadır. Uludağ Göknarı endemik bir türdür. Kuzey Anadolu'da Kızılırmak vadisinden başlayarak batı yönünde Uludağ'a kadar yayılış göstermektedir. Kazdağı Göknarı endemik bir tür olarak Çanakkale, Balıkesir ve Bursa arasındaki alanda yayılış göstermektedir ve asıl yayılışını Kazdağları ve Çataldağ'da yapmaktadır. Toros Göknarı Güney Anadolu Toros dağları, anti – Toroslar ve Amanos dağlarında yayılım göstermektedir [21]. Şekil 2.1'de göknar türünün ülkemizde yayılım yaptığı yerlere ilişkin harita görülmektedir.



Şekil 2.1. Göknar ağacının yayılış haritası[21].

2.2.1.2. Anatomik Özellikleri

Öz ve diri odun rengi farklı değildir. Sarımsı beyaz ile gri beyaz odun rengi bulunmaktadır. Islak öz odun dolayısıyla bazen orta kısım koyu renkte görülebilmektedir. Yıllık halka sınırları belirgindir. Yaz odunu belirgin ve koyu kırmızımsı renktedir. İlkbahar odunundan yaz odununa

geçiş yavaştır. Makroskopik olarak görülmeyen çok ince öz ışınlarına sahiptir. Reçine kanalı normal olarak bulunmaz. Yumuşak ve hafif bir odunu bulunmaktadır[20].

Yıllık halka sınırları belirgindir. Traheitler yaz odununda radyal yönde kalın çeperli ve yassılaştırmış, ilkbahar odunu hücreleri ince çeperli ve geniş lümenlidir. Boyuna paranzimler nadiren yaz odunu ve ilkbahar odunu arasındaki traheitler de görülmektedir [20].

2.2.1.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Gökmar türüne ait fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmaların bazılarında elde edilen fiziksel özelliklere ait bulgular tablo 2.1’de, mekanik özelliklere ait değerler tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Gökmar ahşabının fiziksel özellikleri.

Kaynak	D ₀ (g/cm ³)	D ₁₂ (g/cm ³)	B _r (%)	B _t (%)	B _v (%)
Erdin ve Bozkurt(2013)	0,41	0,43	3,8	7,6	11,5

Tablo 2.2. Gökmar ahşabının mekanik özellikleri.

Kaynak	E – Mod (N/mm ²)	σ _E (N/mm ²)	σ _{B//} (N/mm ²)	σ _{Ç//} (N/mm ²)	G (N/mm ²)
Erdin ve Bozkurt(2013)	10000	71	46	82	0,41

2.2.1.4. İşleme ve Dayanım Özellikleri

Gökmar ahşabı hızlı ve sorunsuz kurutulabilmektedir. Çatlama ve dönüklük oluşturma eğilimi düşüktür. Öz ışını sayısı fazla olduğundan dolayı yarılmaması kolaydır. Yapışma ve işleme özellikleri iyidir. Gökmar ahşabı dayanıklı olmadığından ve emprenye edilmesi zor olduğundan mantar ve böcek zararlarına karşı hassastır [20].

2.2.1.5. Kullanım Alanları

Gökmar yapı üretiminde su almayan alanlarda, mobilya üretiminde, ambalaj ve kâğıt sanayinde kullanılmaktadır.

2.2.2. Karaçam (*Pinus nigra* ssp.)

2.2.2.1. Yayılış Özellikleri

Anadolu karaçamı, Orta ve Batı Karadeniz bölgelerinde 400 – 1400 m rakımda saf meşcereler olarak, 1400 – 1700 m rakımlarda sarıçamla karışık meşcerelerde bulunmaktadır. Batı

Karadeniz’de göknar ve meşe türleri ile birlikte bulunmaktadır. İç Anadolu’da 900 m rakıma kadar meşcere halinde bulunurken 1400 m rakıma kadar tek halde görülebilmektedir. Akdeniz bölgesinde Toros dağlarında 1200 – 2100 m rakına kadar görülmektedir [22–25]. Ege ve Marmara bölgelerinde 800 – 1000 m rakımda kızılçam ile birlikte bulunurken 1000 m’den sonra saf meşcereler olarak bulunmaktadır [22, 25].



Şekil 2.2. Karaçam yayılım haritası [21].

2.2.2.2. Anatomik Özellikleri

Karaçam ahşabının diri odunu sarımsı veya kırmızımsı beyaz renkli iken öz odunu koyu renklidir. Diri odunun yaşlı ağaçlarda darken genç ağaçlarda oldukça geniştir. Öz ışınları radyal kesitte görülmeyecek kadar belirsiz yapıdadır. Teğet kesitte kahverengi şeritleri bulunmaktadır. Reçine kanalları diri odunda aktif çalışmakta fakat öz odunda tıkalı durumdadırlar [26, 27].

2.2.2.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Karaçam’a ait fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmaların bazılarında elde edilen bulgular tablo 2.3 ve tablo 2.4’de görülmektedir.

Tablo 2.3. Karaçam ahşabının fiziksel özellikleri.

Kaynak	D ₀ (g/cm ³)	D ₁₂ (g/cm ³)	B _r (%)	B _t (%)	B _v (%)
[26]	0,520	0,56	5,6	8,2	13,9
[28]	0,540	0,599	3,6	7,1	10,6
[29]	0,543	0,586	3,2	6,3	9,9
[30]	0,540	0,570	-	-	-
[31]	0,523	0,555	4,7	8,3	-

Tablo 2.4. Karaçam ahşabının mekanik özellikleri.

Kaynak	E – Mod (N/mm ²)	σ_E (N/mm ²)	$\sigma_{B//}$ (N/mm ²)	$\sigma_{Ç//}$ (N/mm ²)	G (N/mm ²)
[26]	-	94,6 – 109,6	44,6 – 47,9	96,9 – 113,3	6,2 -6,5
[28]	7061,7	119,9	56,9	117	6,3
[31]	10959,1	94,3	45,4	-	-

2.2.2.4. Kullanım Alanları

Karaçam dayanıklı, işlenmesi kolay, ince tekstür yapısına sahip, cila tutma performansı iyi olan ve hoş kokulu bir türdür. Diri odunu açık renkli, öz odunu koyu renkli olduğundan dekoratif olarak kullanılabilir. Dış etkilere karşı dayanımı yüksek olduğundan travers yapımında değerlendirilebilir. Rutubete karşı dirençli olduğundan dolayı su ve toprak altı yapılarda değerlendirilebilir. Bunların dışında tel - maden direği, çit kazığı, köprü ve kiriş aksamı, kaldırım parkeleri, ağaç borular, deniz taşıtları yapımında, bina inşaatı, iç dekorasyon, mobilya, kuru madde ambalaj fiçileri, tarım aletleri, karoser - vagon - spor malzemeleri ve uçak yapımında kullanılmaktadır [26, 30].

2.3. AHŞAP YAPI ÜRETİM SİSTEMLERİ**2.3.1. Ahşap Yığma Sistem**

İşlenmiş veya doğal halde bulunan ahşap malzemelerin yatay olarak üst üste eklenmesi ile oluşturulan ve kermeli köşe birleştirmeleri kullanılan yapı sistemidir [18, 19, 32]. Ahşap yığma sistemli yapılar üretilirken ahşap yığma kısımları bulon ve ankraj demirleri ile birbirine bağlanarak sağlam duvarlar oluşturulmaktadır. Yığma sistemlerde duvarlar yapı ağırlığını temele iletmektedirler[33]. Şekil 2.3’de ahşap yığma sistem ile üretilen bir yapı görülmektedir.



Şekil 2.3. Ahşap yığma sistemle üretilen yapı örneği [34].

2.3.2. Ahşap Karkas Sistemler

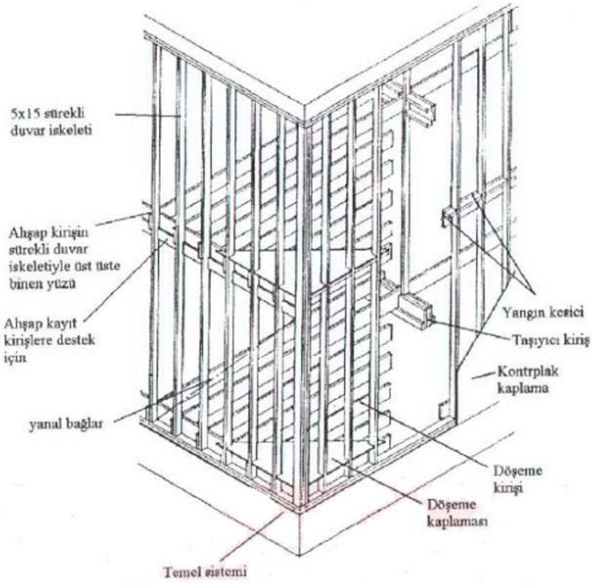
Yapı üzerinde farklı noktalarda oluşan yüklerin belirli noktalarda toplanarak kolonlar vasıtası ile temele taşınması prensibi ile duvarların bölümlendirme amacıyla kullanıldığı ahşap yapı üretim sistemleridir. Ahşap karkas sistemler dünyada ve ülkemizde yapı üreticileri tarafından en çok kullanılan yapı sistemidir. Farklı uygulamaları bulunmasına rağmen dikme – kirişli karkas ve kaburga karkas olmak üzere iki gruba toplanabilmektedir. Uygulamalar arasındaki farklılıklar yapı elemanlarının boyutlarında ve birleştirme elemanlarından kaynaklanmakta fakat genel olarak benzer prensiplerle işlemler yapılmaktadır [17–19]. Dikme – kiriş yapım tekniğinde kaburgalı – karkas sistemlerine göre daha büyük en kesite sahip ve sayısal olarak az sayıda yapısal eleman kullanılmaktadır. Sistemin taşıyıcılığı kolon, kiriş ve çapraz elemanlarının birleştirilmelerine göre belirlenmektedir [35]. Şekil 2.4’de ahşap karkas sistemli bir yapı örneği görülmektedir.



Şekil 2.4. Ahşap karkas sistemli yapı örneği [36].

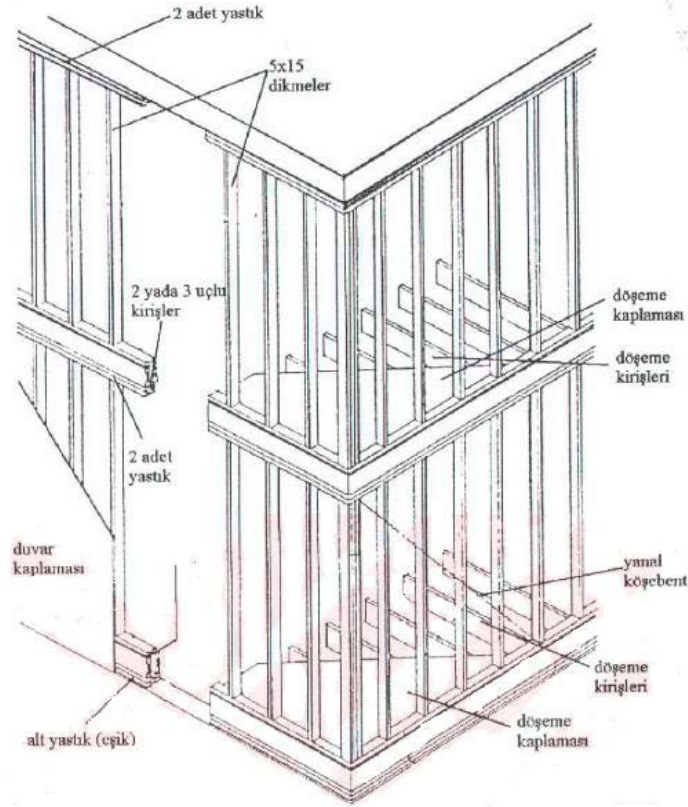
Kaburga – karkas yapı sistemleri iki farklı teknik ile inşa edilebilmektedir. Bu teknikler balon ve platform üretim teknikleri olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde platform karkas sistemi yapı üreticileri tarafından daha çok tercih edilmektedir [19, 37].

Balon karkas sistemlerde dikme açıklıkları 40 – 60 cm arasında değişmekte ve dikmeler yapı uzunluğu boyunca devam etmektedir. Yapı beton temel üzerine en az 5 x 10 cm boyutlarındaki taban tahtalarının üzerine inşa edilmektedir. Bina içinde kolonlar yapı boyunca uzanması gerekliliği bulunmamaktadır[19, 37]. Şekil 2.5’de balon karkas sistemli yapıların genel özellikleri görülmektedir.



Şekil 2.5. Balon karkas yapı sistem iskelet sistemi [37].

Platform karkas sistemlerde ise kolonlar kat yüksekliği ile sınırlı olarak uygulanmaktadır. Dikmelerin en kesit ölçülerinin aynı kullanıldığı yüzeyi diyagonal yüklere karşı direnç sağlayacak şekilde kaplanan duvar çerçevelerinin oluşturulması ve bu çerçevelerin alt ve üst katlarda bir araya getirilmesi ile oluşturulan yapılardır [2, 19, 37]. Şekil 2.6’da platform ahşap karkas sistemlerin iskelet yapısı görülmektedir.



Şekil 2.6. Platform karkas sistem iskelet yapısı.

2.3.3. Panel Bileşen Sistemler

Bu sistemde üretilen yapılar hafif prefabrik olarak isimlendirilebilmektedir. Çerçevelerin üzeri genellikle OSB ile kaplanırlar. Bu sistemde diğer sistemlerden farklı olarak duvarlar sadece bölme görevi görmeyip aynı zamanda taşıyıcı görevi görmektedirler [19, 35]. Ahşap panel sistem ile üretilen yapılar ahşap malzemenin düşük ısı iletkenliği, dayanım özellikleri, işleme kolaylığı gibi özelliklerini bir arada kullanma imkânı tanımaktadır. Ahşap yapıların yoğun olarak üretildiği Kuzey Amerika ülkelerinde sıkça kullanılan bir sistemdir. Şekil 2.7’de panel bileşen sistemle üretilen yapı örneği görülmektedir.



Şekil 2.7. Panel bileşen sistem yapı örneği [38].

2.3.4. Karma Sistemler

Yapı üretiminde birden fazla tekniğin bir arada kullanıldığı sistemlere karma yapı sistemi adı verilmektedir. Karma sistemlerin üretiminde iki veya daha fazla sistemin olumlu yanları birleştirilerek yapı özelliklerinin güçlendirilmesi amaçlanmaktadır [18, 19]. Şekil 2.8’de karma sistemle üretilen bir yapı örneği görülmektedir.



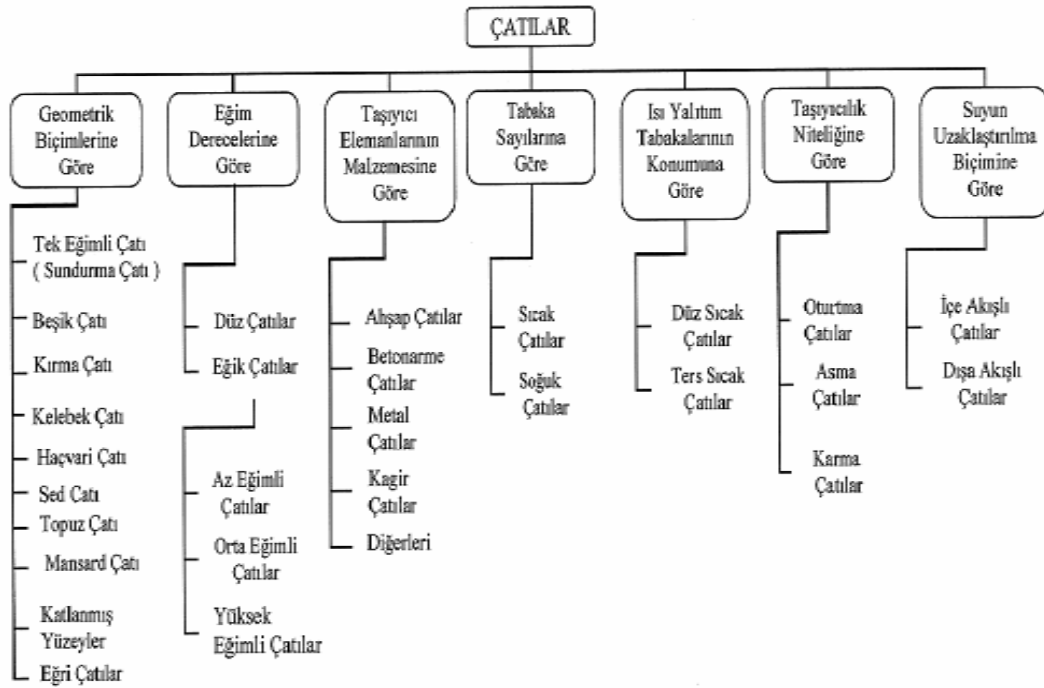
Şekil 2.8. Karma sistem yapı örneği [19].

2.4. AHŞAP ÇATILAR

Çatı, yapıyı atmosferik etmenlerden ayırmak amacıyla oluşturulan elemanlardan biridir. Örtü ve konstrüksiyon olmak üzere iki bileşenden oluşan çatıların sınıflandırmasında en sık

kullanılan yöntem çatı arası boşluğunun varlığına göre yapılan sınıflandırmadır. Buna göre çatılar; çatı arası boşluğu olan (soğuk) ve olmayan (sıcak) çatılar olarak sınıflandırılırlar. Soğuk çatılarda örtü ile taşıyıcı sistem arasında bir hava tabakası vardır. Sıcak çatılarda ise tüm katmanlar birbiri üzerine oturur. Soğuk çatılar eğimli olmaları nedeniyle yapının kalan kısmından ayrılmakta; bu sayede kar, yağmur, rüzgâr, UV ışını gibi dış etmenlere karşı yapıyı korumaktadırlar. Bu tip çatılarda taşıyıcı ve kaplama elemanları genelde ahşaptan oluşturulur. Bununla birlikte, örtü elemanları farklı malzemelerden olabilmektedir [39].

Çatı, en genel anlamıyla yapıyı yağmurdan, kardan ve diğer çevre koşullarından koruyan en dış katmandır. Çatılar, örttükleri mekânın büyüklüğüne ve geometrisine bağlı olarak biçimlenmektedir. Çatılar bulunulan coğrafyanın fiziksel koşullarına ve kullanılan teknolojik imkânlarla bağlı olarak değişik formlarda, farklı yapı malzemelerinin kullanılması sonucu elde edilmiştir [40]. Çatı sınıflandırması birçok farklı şekilde yapılabilmektedir. Şekil 2.9'da çatıların sınıflandırılması ile ilgili bilgiler görülmektedir.



Şekil 2.9. Çatıların sınıflandırılması [40].

2.4.1. Ahşap Çatı Elemanları

Çatı örtüsü çatı teşekkülünde en üst katman olarak kullanılmaktadır. Seramik, metal, PVC, ahşap, vb. farklı malzemeler ile oluşturulabilmektedir. Örtü kaplamaya, kaplama merteklere,

mertekler aşıklara, aşıklar ise dikmelere oturtularak kendilerine ulaşan yükü yapıya iletmektedir.

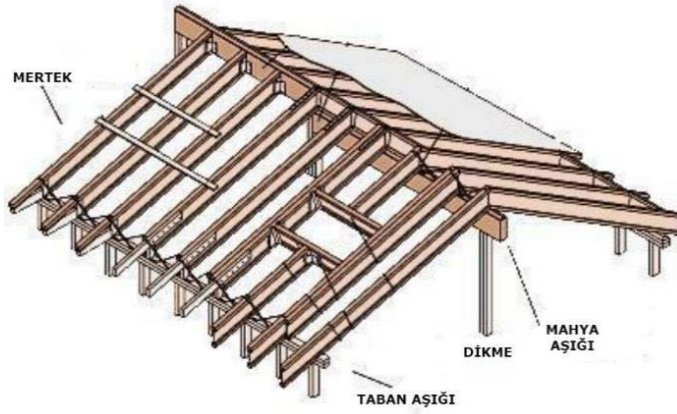
Örtü altı kaplama, özellikle ufak boyutlu örtü malzemelerinin rahatça yerleştirilip her noktada altındaki katmana oturtulabilmesini ve çatı yüzeyinin düzgün oluşturulmasını sağlayan elemandır. Kaplama altı tahtası sıklıkla 2,5 cm kalınlık ve 20 cm genişliktedir. Eğer çatı altı kullanılmayacaksa düzgün biçilmiş malzeme gerekli değildir. Ancak tam tersi durumda düzgün biçilmiş ve birleşim yerleri gizlenmiş (lamba-zıvana vb. profillerle) malzeme kullanılmalıdır. Kaplama altı tahtasının üzerine örtüden su geçişini engellemek için su yalıtımı uygulanır. Çatı altı kullanılacaksa mertek aralarına, kullanılmayacaksa döşeme üzerine ısı yalıtımı yapılmasında fayda bulunmaktadır.

Mertek, örtü altı kaplamadan aldığı yükü aşıklara ileten elemandır. Aşıklar arası mesafeye ve mevcut yüklere bağlı olarak elemanın en kesit boyutları belirlenir. Mertek aralıkları 50-90 cm arasındadır ve en uygun aralık 55-65 cm'dir. Mertekler genelde dikdörtgen kesitli kullanılır ve boyutları 5/10 veya 6/12 cm'dir.

Aşıklar merteklere mesnet teşkil eden ve çatı makasına oturarak merteklerden gelen yükleri dikmelere ileten taşıyıcı kirişlerdir. Genelde bina eksenine paralel yerleştirilir ve bulundukları yere göre mahya, ara ve saçak (damlalık) aşığı gibi adlandırılırlar. Belirli iklim, eğim ve yük koşullarına göre aşık boyutları 10/14, 10/16 ve 12/16 cm gibi ölçülerde olabilir. Bu yüklerin üzerindeki değer veya eğimlerde aşık boyutlarının yeniden hesaplanması gerekir. Aşıkların aks aralığı 2-3 m arasındadır ve dikmelerin yanı sıra kuşak ve göğüsleme ile desteklenmektedirler.

Dikme (baba) aşıklardan aldığı yükü yapıya ileten elemandır ve oturtma çatılarda dikme, asma çatılarda ise baba adını almaktadır. Dikmeler basınca, babalar ise çekmeye çalışan elemanlardır. Genel kabullere göre dikme kesit boyutları 10/10 veya 12/12 cm'dir.

Çatı konstrüksiyonunda bunların dışında; göğüsleme, kuşaklama, yanlama, bırakma kirişi, gergi kirişi gibi başka ek destek elemanları da kullanılmaktadır. Şekil 2.10'da ahşap çatı elemanları görülmektedir.



Şekil 2.10. Çatı elemanları [39].

2.5. AHŞAP YAPILARDA KULLANILAN MÜHENDİSLİK ÜRÜNÜ AHŞAP ESASLI MALZEMELER

Ahşap yapıların üretim maliyetlerini birinci derecede etkileyen malzeme fiyatları sürekli artış göstermektedir. Bunun yanında orman kaynaklarının kısıtlılığı ve ülkeler tarafından ahşap üretimi ile ilgili kısıtlamalar dolayısıyla masif ahşap malzemeye ulaşmak zorlaşmaktadır. Bulunabilen malzemelerin konstrüksiyon amaçlı kullanımında ise boyutsal kısıtlar etkili olmaktadır. Bu sebepler dolayısıyla daha küçük çaplı ve ekonomik olarak değerli olmayan ağaç ve atıkların kullanılması ile mühendislik ürünü ahşap malzemeler üretilmeye başlanmıştır [41].

Mühendislik ürünü ahşap malzemeler yapısal olarak geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Üretim şekilleri ve boyutları ile masif malzemeden ayrılan yapısal ahşap malzemeler kaplama, yonga ve şerit haline getirilen ahşap malzemenin istenilen boyut ve ölçülerde yapısal amaçlı olarak üretilirler [42].

Mühendislik ürünü malzemelerin ortaya çıkması ve gelişimi bu ürünleri geleneksel olarak üretilen ağaç malzemeye göre daha avantajlı hale getirmiştir. Berglund ve Rowell (2005) bu ürünlerin sağladıkları bazı avantajları aşağıdaki şekilde özetlemiştir [41, 43].

1. Daha küçük boyutlardaki ağaçların kullanılması
2. Diğer üretim süreçlerinden atık olarak çıkan odun parçacıklarının kullanılması
3. Odunun bünyesinde bulunan ve istenmeyen kusurların arındırılması veya dağıtılması
4. Daha az şekil değiştiren biçimlerde bileşenlerin üretilmesi

5. Kompozitleri daha da geliştirerek keresteden daha iyi özellikler taşıyan ürünler üretilmesi
6. Değişik şekillerde kompozitler elde edilmesi.

2.5.1. Yapıştırılmış Lamine Kereste (Glulam)

Yapıştırılmış lamine kereste genellikle glulam olarak adlandırılmaktadır. Küçük ahşap parçalarının yapıştırılarak uç ve kenar ekleme işlemleri ile yapısal amaçlı olarak üretilen malzemelerdir. Glulam dünyada yaygın olarak kullanılan bir malzeme olarak çok çeşitli yapısal amaçlara hizmet etmektedir. Kullanılan üretim yöntemi sayesinde istenilen her şekil ve kalınlıkta yapısal parçalar üretilabilmektedir. Bu durum tasarım kolaylığı ve direncin istenilen şekilde ayarlanabilmesini sağlamaktadır[42, 44–46].

Glulam üretiminde genellikle belirli bir kalite sınıfındaki keresteler parmak birleştirme gibi birleştirme yöntemleri kullanılarak uç uca birleştirilmektedir. Uç birleştirmeleri yapılırken kusurlu kısımların temizlenmesi sayesinde üretilen parçanın kusurlarından arınması sağlanmaktadır. İstenilen uzunluğa kadar birleştirilen keresteler en birleştirme yapılarak istenilen şekil ve boyutta yapısal elemanların kullanılması sağlanmakta bu şekilde yüksek dirençte büyük boyutlu parçalar üretilabilmektedir [42].



Şekil 2.11. Glulam örneği [47].

2.5.2. Paralel Şerit Kereste (PSL)

Paralel şerit kereste ilk olarak Kanada’da bulunmuş ve geliştirilmiştir. Ticari kullanımı ilk olarak parallam adı ile 1986 yılında olmuştur. PSL üretim fikri 1970’li yıllarda dal gibi orman atıklarının yapısal amaçlı bir ürün haline getirilme amacı ile geliştirilmiştir. Üretim aşamasında en az 60 cm uzunluğunda, 3 mm kalınlık ve 19 mm genişliğinde kaplama şeritleri kullanılmaktadır. PSL üretiminde kaplama levha ve kereste üretiminden arta kalan malzemeler de kullanılabilir. Şeritlerin lif boyları nihai ürünün boy yönüne paralel olarak yerleştirilerek yapıştırılması yöntemiyle üretilmektedir [42, 48].

PSL üretiminde üretilen soyma kaplamalar son boyuna getirilmeden önce %4 - %6 rutubet derecesine kadar kurutulmaktadır. Kurutulan kaplamalar 19 mm genişliğinde boyutlandırılarak kusurlardan arındırılmaktadır [48, 49]. Şekil 2.12’de PSL örneği görülmektedir.



Şekil 2.12. PSL örneği [50].

2.5.3. Kontrplak

Kontrplak malzeme lif doğrultuları birbirine dik olacak şekilde kullanım yerine göre tutkallar seçilerek yapıştırılan en az üç tabakadan oluşan malzemelerdir [19]. Şekil 2.13’de kontrplak örneği görülmektedir.



Şekil 2.13. Kontırplak [51].

2.5.4. Lamine Kaplama Kereste (LVL)

Lamine kaplama keresteler yapısal amaçla da kullanılan önemli bir mühendislik ürünü ahşap malzemedir. Ahşap kaplamaların lif yönleri paralel olacak şekilde yapıştırılarak üretilirler. Yapısal amaçlarla kullanımı bulunan bir malzemedir [41, 48]. İlk üretilmeye başlanan mühendislik ürünü ahşap malzemelerden biridir. Tomruklardan soyma kaplamalar üretilerek 2m genişliğinde tabakalar halinde boyutlandırılırlar. Kurutma ve tutkallama işleminin ardından lif yönleri birbirine paralel olacak şekilde en az üç tabaka olacak şekilde basınç altında preslenerek üretilmektedirler. Kontu üretiminde her zaman tek sayıda kaplama ile üretim yapılmaktadır [52]. Şekil 2.14’de lamine kaplama kereste örneği görülmektedir.



Şekil 2.14. Tabakalanmış Kaplama Kereste [53].

2.5.5. Yönlendirilmiş Şerit Levha (OSB)

OSB ürünler yapısal amaçla özellikle panel veya çatı kaplaması olarak kullanılabilen mühendislik ürünü ahşap malzemelerdir. Etiket olarak yongalanmış ağaç malzemenin makinelerde yönlendirilerek serilmesi ve preslenmesi ile üretilmektedirler [19]. Şekil 2.15’de OSB örneği görülmektedir.



Şekil 2.15. OSB malzeme örneği.

2.5.6. I Kiriş

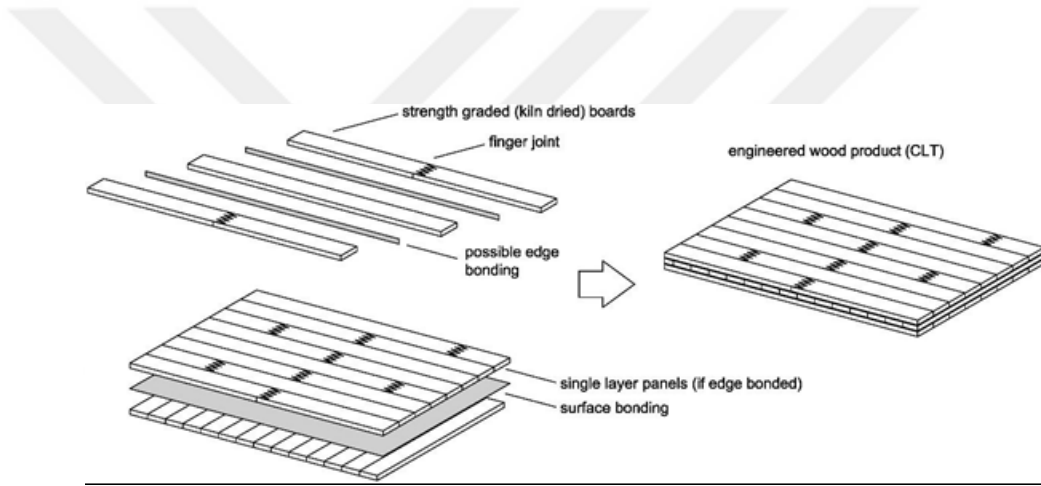
I kirişler masif ahşap, OSB veya kontrplaktan elde edilen ağ elemanlarının tutkallanarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir. 1960'lı yıllardan beri çatı sistemi ve döşeme uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Hafif, yenilenebilir, boyutları uyarlanabilir olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar [19, 54].



Şekil 2.16. I Kiriş Örneği[19].

2.5.7. Çapraz Lamine Kereste (CLT)

Çapraz lamine kereste ilk olarak İsviçre’de üretilerek Avustralya tarafından geliştirilen mühendislik ürünü bir ahşap malzemedir. CLT üretiminde katmanların lif yönlerine birbirine dik olacak şekilde yapıştırılırlar. CLT paneller hem duvar olarak düzlem içi yönlerde nispeten yüksek mukavemete ve rijitliğe sahiptir, hem de döşeme olarak düzlem dışı kullanım için oldukça idealdir. CLT ürünlerde katmanlar genellikle 3, 5, 7 vb. 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 üretilabilmektedir [19, 55]. Şekil 2.17’de CLT malzeme katman yapısı görülmektedir.



Şekil 2.17. CLT Katman yapısı.

Liflere paralel yönde yüksek mukavemet değerleri sunan ahşap malzemenin Liflere dik yönde mevcut olan zayıflığını gidermek amacı ile CLT kullanılmaktadır. Glulamdan temel farkı her bir ahşap katmanının birbirine dik olacak şekilde yapıştırılmasıdır. Bu hem rijitliği artırmakta hem de malzemenin anizotropik yapısının izotropik bir yapıya yaklaşmasını sağlamaktadır. CLT panellerin tek parça ve istenilen kesitlerde üretilabiliyor olması, iyi bir ısı ve ses yalıtımına sahip olması, hafif olmasına rağmen yüksek direnç özelliklerine sahip olması malzemenin avantajları arasında sayılabilir. Buna rağmen sismik hareketlerde yüksek sünek davranış sergilememesi, yönetmeliklerde sıkça kullanılan kalınlık ve kesitler için belirlenmiş değerlerin eksikliği nedeniyle hesaplamalarındaki zorluklar, eğilme ve bükülmesi kolay olmadığı için mimari tasarım açısından değişik formlarda kullanmanın zorluğu CLT’nin dezavantajları olarak görülebilir [19, 55]. Şekil 2.18’de CLT örneği görülmektedir.



Şekil 2.18. CLT örneği [19]

2.6. AHŞAP YAPILARDA KULLANILAN BİRLEŞTİRME ELEMANLARI

Yapı üretiminde ahşap malzeme kullanımında birleştirme elemanlarının tür ve özellikleri önem kazanmaktadır. Kullanılan birleştirme elemanının göstermiş olduğu tutunma özellikleri yapının bütününe mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Birleştirme elemanları ahşap yapılarda kolon, kiriş ve çatılarda ahşap – ahşap veya ahşap – metal birleştirmelerinde kullanılmaktadır (Çavuş vd, 2022).

Ahşap yapı tasarımında bağlantı elemanının özellikleri ve direnci yapının mukavemeti üzerinde doğrudan etkilidir. Yapı tasarımı yapılırken, bağlantının yapılacağı alan, ahşap malzemenin rutubet miktarı ve bağlantı elemanının türü dikkate alınmalıdır [56, 57].

Ahşap yapılarda kullanılan birleştirme elemanlarının özellikleri standartlarla belirlenmektedir. Ayrıca birleştirme elemanlarının uygulamaları standartlara göre belirlenen sayılarla ve belirtildiği şekilde yapılmaktadır.

2.6.1. Çiviler

Çiviler ahşap yapılarda en çok kullanılan mekanik birleştirme elemanlarından biridir. Çivi iki parçayı birleştirmek amacı ile kullanılan, başlı veya başsız, metal veya ahşaptan üretilen ucu sivri bağlantı elemanlarıdır. Çivi üretiminde farklı metal türleri kullanılabilir. Kullanım amacına göre farklı şekil ve uzunluklarda üretilmektedirler. Ahşap malzemede

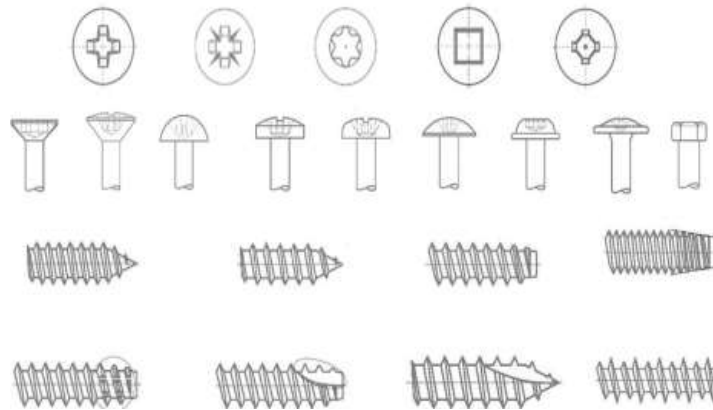
kullanımında lif sıkıştırma, lif ayırma veya lifleri bükecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu şekilde ahşap malzemenin kendi orijinal formunu almak istemesi sonucunda çivi ahşap malzeye tutunmaktadır. Çivinin birleştirme mukavemeti; ahşap yoğunluğu, çivi çap ve uzunluğu ile çivi yüzey durumuna göre değişiklik göstermektedir. Çiviler kullanın esnasında çekme, makaslama veya her iki kuvvete birlikte maruz kalabilmektedir[56, 58, 59]. Şekil 2.19’da ahşap yapı üretiminde kullanılabilen farklı yapıdaki çivi türleri görülmektedir.



Şekil 2.19. Yapılarda kullanılan değişik yapıdaki çivi örnekleri [56]

2.6.2. Vidalar

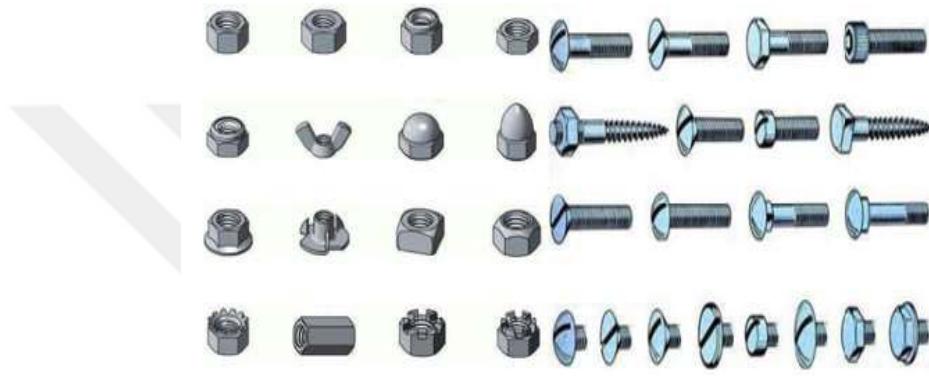
Vidalar farklı türde kafa ve diş yapısı ile çelik, bronz, alüminyum, bakır gibi malzemelerden üretilerek ahşap yapı üretiminde yaygın olarak kullanılabilen bağlayıcı elemanlardır. Vidalar spiral şekilde kendi dişleri yardımı ile malzeme içerisinde ilerleyerek iki parçayı birbirine çeken elemanlardır [56, 60]. Vidalar kullanım amacı, diş yapısı, gövde yapısı vb. özelliklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Şekil 2.20’de farklı özellikte vidalar görülmektedir.



Şekil 2.20. Farklı özellikte vida görünüşleri.

2.6.3. Cıvata ve Somunlar

Cıvatalar birleştirilmek istenen parçalarda konumlandırılan deliklerden geçirilerek ucuna takılan somun yardımıyla sıkıştırılan birleştirme elemanlarıdır. Cıvata başları kare, altıgen, vida başlı vb. şekilde üretilmektedir. Somunlar ise genellikle kare, altıgen ve kelebek şekilde üretilmektedirler. Cıvatalar kullanım yeri ve amacına göre farklı çap ve uzunluklarda üretilen birleştirme elemanlarıdır. Cıvata uygulaması yapılırken genellikle somundan önce uygun çapta rondela yerleştirilmektedir [56, 59, 61]. Şekil 2.21’de farklı tip ve özellikte somun ve cıvata örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.21. Farklı tip ve özellikteki somun ve cıvata örnekleri [56].

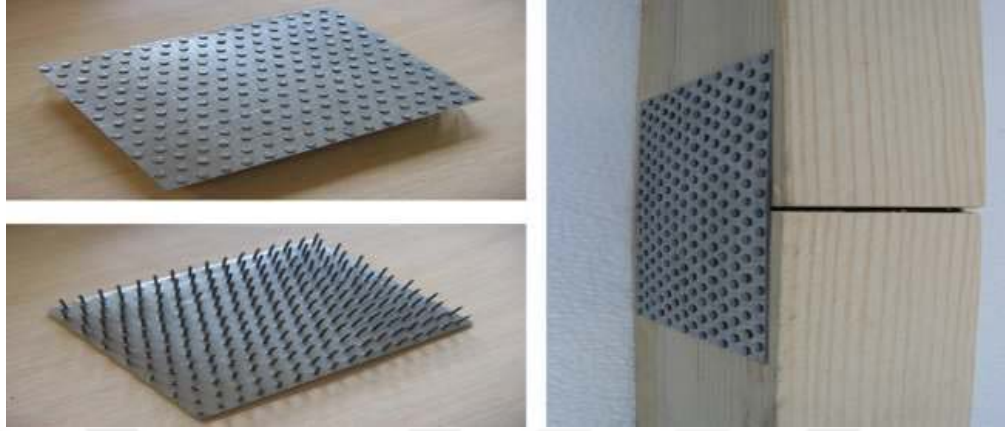
2.6.4. Metal Plaka Bağlantı Elemanları

Genellikle kafes plakalar olarak adlandırılan metal plaka bağlantı elemanları, özellikle makaslı kirişler ile yaygınlaşmışlardır. Bu tipteki bağlantı elemanları üreticiye göre farklılaşmakla birlikte üzerlerine etkiyen yükleri dişler, tapalar veya çiviler arayıcılığı ile aktarmaktadırlar. Genellikle galvanizli çelik malzemeden üretilen metal bağlantı plakaları kuvvetleri iletmek için gerekli alan ve şekle sahip olarak üretilmektedirler. Prefabrike olarak üretilen yapı elemanlarında pres yardımı ile uygulanabilir veya uygulama esnasında mekanik olarak el ile yapılabilir. Metal plakalı bağlantı elemanları diş yapısına göre farklı özelliklerde bulunabilmektedirler.

2.6.4.1. Çivili Metal Bağlantı Elemanı

Çivili metal bağlantı elemanı yapılarda kullanılan standart bağlantı elemanlarının oluşturduğu problemleri çözmeye yönelik ortaya çıkmıştır. Bu tipteki bağlantı elemanları ahşap birleştirmelerinin daha mukavemetli bağlantı oluşturması amacı ile kullanılmaktadır. Çivili metal bağlantı elemanları metal plakaya dik olarak konumlandırılmış dairesel kesitli çivilerden oluşmaktadır. Şekil 2.22’de çivili metal bağlantı elemanı görülmektedir. Çivili metal bağlantı

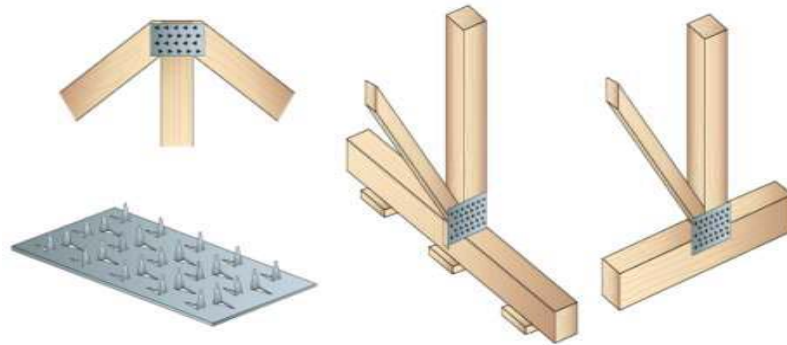
elemanlarında farklı uzunluklarda çiviler bulunmakta ve ilgili standartlara göre direnç hesaplamaları yapılırken çivi boy ve sayıları da dikkate alınmaktadır [56, 59, 62].



Şekil 2.22. Çivili metal bağlantı elemanı[62].

2.6.4.2. Delikli Metal Plaka Bağlantı Elemanı

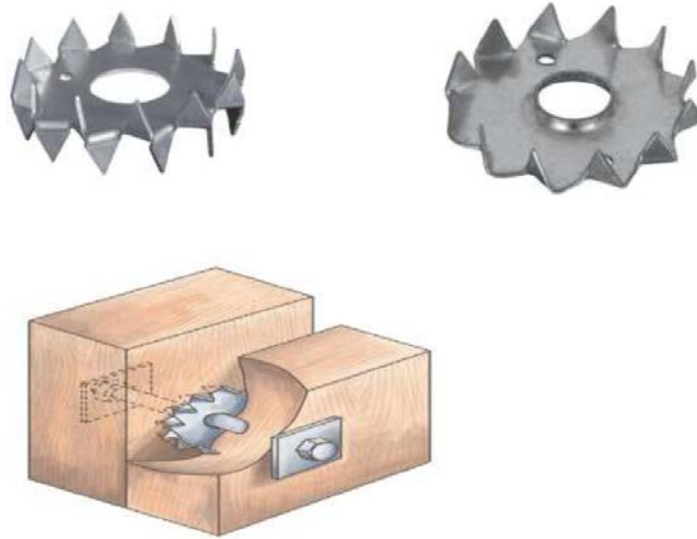
Delikli metal plaka bağlantı elemanı plaka düzlemine dik olarak delinmiş ve plaka tabanına dik olarak konumlanan entegre çıkıntılara sahip birleştirme elemanlarıdır. Bu tipteki bağlantı elemanları genellikle 0,9 mm – 2,5 mm kalınlıklarda galvanizli paslanmaz çelikten üretilerek aynı kalınlıktaki iki veya daha fazla ahşap malzemenin aynı düzlemde birleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır [56, 62]. Şekil 2.23’de delikli metal plaka bağlantı elemanı görülmektedir. Delikli metal plaka bağlantı elemanlarında diş geometrisi, açısı ve uzunluğu birleştirmenin farklı kuvvetlere karşı göstereceği direnci etkilemektedir. Genellikle kafes plakalar olarak adlandırılan bağlantı elemanı yaygın olarak makaslı ahşap yapı elemanlarının birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Plakaların montajı genellikle hidrolik preslerle yapılırken bazı durumlarda el ile montajı yapılabilmektedir [56, 63–65].



Şekil 2.23. Delikli metal plaka bağlantı elemanı [56].

2.6.4.3. Dişli Plaka Bağlantı Elemanları

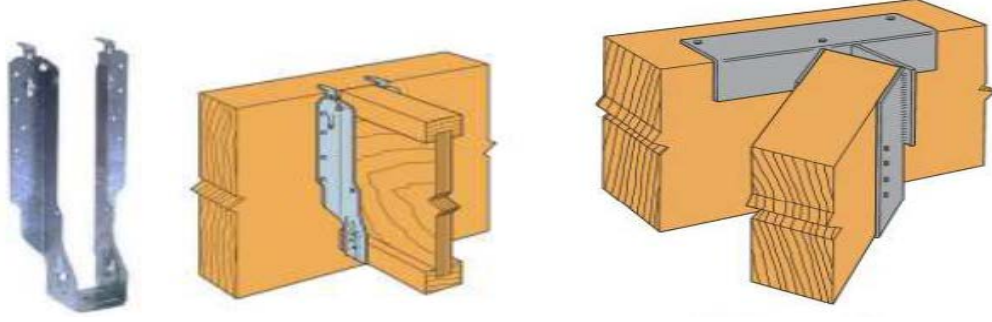
Dişli plaka bağlantı elemanları, kullanılacağı birleştirmedeki elemanlara göre farklı boyutları bulunabilen civatalar ile bir arada tutulan, galvanizli yumuşak çelikten üretilen 38 mm ila 165 mm arasında değişen çaplarda genellikle dairesel kesitli olmak üzere farklı şekillerde üretilen bağlantı elemanlarıdır. Birleştirilecek malzemelerin arasında konularak civatalar yardımı ile malzemenin içine geçmekte ve birleştirmeyi sağlamaktadır. Kullanılan civatadan önce bağlantı elemanının yaklaşık yarısı çapında pullar takılarak birleştirme yapılmaktadır. Uygulamada oluşacak zorluklardan dolayı 500 kg/m^3 üzeri yoğunluğa sahip ahşaplar için kullanımı önerilmemektedir. Tek veya çift taraflı olarak farklı amaçlar için üretilmekte ve kullanılmaktadırlar. Bağlantının direnci civatanın direnci ile ilişkili olarak değişiklik göstermektedir [56, 62, 64, 66, 67]. Şekil 2.24’de dişli plaka bağlantı elemanı örneği ve uygulama şekli görülmektedir.



Şekil 2.24. Dişli Plaka bağlantı elemanı ve uygulanması.

2.6.4.4. Kiriş Askı Elemanları

Kiriş askı elemanları, ahşap yapılara kullanılan kolon ve kirişlerin birleşim yerlerinde kullanılan bağlantı elemanlarıdır. Kiriş askıları, kirişler üzerine etkiyen yükü kolonlara aktarmak amacıyla kullanılmaktadır. Kullanılacağı birleştirmeye göre farklı boyutlarda ve şekillerde üretilmektedir. Kiriş askıları genellikle kullanıldığı kirişin 3 tarafını saracak şekilde tasarlanmaktadır. Montajında taşıyan ve taşınan elemanlar üzerine vidalanacak şekilde tasarlanmışlardır. Kullanımında açılı olarak da konumlandırılmak üzere özel türleri üretilmektedir [56]. Şekil 2.25’de kiriş askı elemanı ve uygulama örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.25. Kiriş askı elemanı ve uygulama örneği [56].

2.7. AHŞAP YAPI STANDARTLARI VE YÖNETMELİKLERİ

Ahşap sağladığı avantajların yanında zor bir mühendislik malzemesidir. Özellikle ahşap yapılar belirli kurallar çerçevesinde tasarlanmalı ve inşa edilmelidir. Bu süreçte kullanılmak üzere ülkemizde ve dünyada birçok yönetmelik ve standart geliştirilmiştir. Bu standartlar aşağıda listelenmiştir.

- TS 647; Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (1979)
- Genel Teknik Şartname (1985); 17. Bölüm: Ahşap İşleri Genel Teknik Şartnamesi
- 3030 Sayılı Kanun Kapsamı Dışında Kalan Belediyeler Tip İmar Yönetmeliği (1985)
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY 1997)
- İstanbul İmar Yönetmeliği (2007)
- TS EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar (Eurocode 5)
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2023)
- Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (2024)

2.7.1. TS 647: Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (1979)

30 Kasım 1979 tarihli TS 647 standardında, ahşap yapılarla ilgili kurallar detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Bu standart kapsamında, ahşap malzemeler ve ahşap yapılar için kullanılan birleşim elemanlarının tanımları, mukavemet hesapları, boyutlandırma için genel kurallar, eğilme, çekme ve basınca maruz kalan ahşap yapı elemanlarının özellikleri, destek ve kuşaklar, güvenlik gerilmeleri ve kullanım kuralları, göz ardı edilen deformasyonlar ve ahşap birleşimleri gibi konular detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

2.7.2. TS EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar (Eurocode 5)

EN 1995-1-1:2004 standardı, Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından 16 Nisan 2004 tarihinde onaylanarak yürürlüğe kabul edilmiştir. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından ise 27 Aralık 2005 tarihinde Türkçe 'ye çevrilerek TS EN 1995-1-1:2005 adıyla onaylanmıştır. Bu standardın temel hedefi, Eurocode 5'in (EN 1990:2002 Eurocode - Yapı Tasarım Esasları ve EN 1991 - Yapılara Olan Etkiler) ilgili bölümleriyle birlikte uygulanabilmesini sağlamaktır. Eurocode 5, yapı tasarım esasları, malzeme özellikleri, dayanıklılık, yapısal analiz prensipleri, taşıma kapasitesi sınır durumları, kullanılabilirlik sınır durumları, metal bağlantı elemanları ve birleşimler, bileşenler ve ahşap donanımlar, yapısal detaylandırma ve kontrol gibi konuları detaylı bir şekilde ele almaktadır. Bu standart, taşıma kapasitesi yöntemine dayalı tasarım kurallarını içermekte olup kısmi faktör yöntemiyle sınır durum kavramını temel almaktadır.

2.7.3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 18 Mart 2018 tarihinde Resmî Gazete'de ilan edilerek 1 Ocak 2019 itibarıyla uygulanmaya başlamıştır. Yönetmeliğin 12. bölümünde, "Deprem Etkisi Altında Ahşap Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar" bölümünde ahşap yapılarla ilgili kurallar ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu bölümde, genel prensipler, deprem etkisi altında yapısal modellenme ve analiz, panel tasarım ilkeleri, döşeme tasarım kuralları ve bağlantı tasarımı gibi konular kapsamaktadır. Yönetmelik, deprem etkisi altında inşa edilecek tüm ahşap binaların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve birleşimlerinin düzenlenmesine ilişkin gereklilikleri içermektedir. Bu gereklilikler, ilgili standartlar ve yönetmeliklerin yanı sıra Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin 12. Bölümünde belirtilen kurallara uygun olarak uygulanacaktır.

2.8. YAPI TASARIMINDA KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

Yapıların tasarlanmasında sonlu elemanlar analizi ile yapı elemanlarının davranışları belirlenmekte ve tasarımlar bu düzlemde geliştirilebilmektedir. Avrupa Birliği Eurocode komisyonu da bu amaçla Eurocode standartları ile ilgili hesaplamalar yapan sonlu eleman analizi yazılımları ile ilgili liste yayınlamıştır. Yayımlanan bu listede programın kullanım ücreti ve dil destek durumları ile hangi Eurocode standartları için işlem yapabildikleri belirtilmektedir. Sunulan listede Eurocode 5 standardına göre işlem yapabilen iki ücretsiz, 25 ücretli uygulama bulunmaktadır. Tablo 2.5’de Avrupa komisyonu tarafından listelenen bilgisayar programları görülmektedir.

Tablo 2.5. TS EN 1995 standardına göre hesaplama yapabilen ücretli sonlu elemanlar analiz programları.

Program Adı	Menşei Ülke	Web sitesi
SOFiSTiK suite	DE	www.sofistik.com
SCIA Engineer	BE	www.scia.net
RFEM	DE	www.dlubal.com
RSTAB	DE	www.dlubal.com
FRILO	DE	www.frilo.eu
Technosoft	NL	www.technosoft.nl
AxisVM	HU	www.axisvm.eu
CYPECAD	SP	www.cype.com
TRAVILOG	IT	www.logical.it
Metal 3D	ES	www.cype.com
Winstrand	IT	www.enexsys.com
BetonExpress, Fedra	NO	www.lusas.com
EdiLus	IT	www.runet-software.com
STAAD	US/GB	www.accasoftware.com
Fedra, Frame2D	NO	www.bentley.com
FEM-Design	SE/HU	www.newsoft-eng.it
PowerConnect/Frame	BE	www.buildsoft.eu
WIN-Statik	SE/HU	www.strusoft.com
Cubus suite	CH	www.cubus.ch
Robot	US	usa.autodesk.com
Straus 7	AU/GB	www.strand7.com
YourSpreadsheets	GB	www.yourspreadsheets.co.uk
1-2 Build, Diamonds	BE	www.buildsoft.eu
3muri	IT	www.3muri.com
Timbersizer	GB	www.trada.co.uk

2.9. AHŞAP YAPILAR VE KARBON

Yapı endüstrisi salınan toplam sera gazlarının büyük bir kısmından sorumludur. BM Çevre ve Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayınlanan raporda yapı sektörünün toplam sera gazlarının %40 gibi yüksek bir bölümünden sorumlu olduğunu belirtmiştir [68]. Birleşmiş

milletlere göre yapı ihtiyacının 2050 yılına kadar %68 oranında artacağı düşünülmektedir [69]. Bu nedenle yapı endüstrisinde karbon salımını azaltacak önlemler alınması önemlidir. Karbon emisyonlarını azaltmanın temel olarak iki yolu bulunmaktadır. İlki karbon salımının azaltılması iken, ikinci yol ise atmosferde bulunan karbonun yakalanarak depolanmasıdır [70]. Ormanlar ve diğer biyokütlelerin hapsettiği karbon miktarı atmosferdeki tüm karbon miktarıyla karşılaştırılabilir büyüklüktedir [71]. Bazı yapı malzemelerinin üretimdeki karbon emisyonları tablo 2.6'da görülmektedir[72]. Anlaşıldığı üzere ahşap malzemenin karbon emisyonu diğer malzemelere göre kat ve kat daha düşüktür. Ahşap malzemenin kullanılması hem karbon hapsedmesi dolayısıyla hem de üretimde ortaya çıkardığı net karbon emisyonu dolayısıyla diğer yapısal malzemelere göre çevresel açıdan önemlidir.

Tablo 2.6. Bazı yapı malzemelerinin üretimdeki net karbon emisyonları.

Malzeme	Üretimdeki net karbon emisyonu (kg/ton)
Yapısal Ahşap	33
Geri Dönüştürülmüş Çelik	220
Beton	265
Beton Blok	291
Çelik	694
Plastik	2502
Alüminyum	4532

Yaşam döngüsü analizlerinde de gömülü karbon ve operasyonel karbon kavramları kullanılarak yapısal malzemelerin depoladıkları ve üretimlerinde ortaya çıkan karbon miktarları önem kazanmaktadır. Burada da gömülü karbon ve operasyonel karbon kavramları ortaya çıkmaktadır. Gömülü karbon yapısal bir malzemenin üretimi ve nakliyesi sırasında ortaya çıkan karbon salımını ifade ederken, operasyonel karbon yapının kullanımı esnasında tüketilen enerjiden kaynaklı ortaya çıkan karbon salımını ifade etmektedir [73]. Bu nedenle gömülü karbon son kullanıcıdan bağımsız olarak yapı malzemesinin kendisi ile doğrudan ilişkili bir kavramdır.

3. YÖNTEM

3.1. MALZEME

Bu tez çalışması kapsamında yapısal boyutlu kereste testlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla piyasadan 30 adet karaçam ve 30 adet göknar kerestesi temin edilmiştir. Kerestelerin seçiminde endüstri sınıflandırmasına göre 1. 2. ve 3. Sınıf kalitedeki keresteler eşit sayıda seçilmiş ve standartlara göre sınıflandırılması amacıyla görsel değerlendirmeleri yapılmıştır. Şekil 3.1’de temin edilerek İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölüm laboratuvarına getirilen keresteler görünmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma kapsamında test edilen keresteler.

3.2. YÖNTEM

Bu kısımda kerestelerin ön değerlendirmelerinin yapılması, tahribatlı testlerin gerçekleştirilmesi, sonuçların bilgisayar programına tanıtılması ve testlerinin yapılması, program üzerine ahşap yapının tanıtılması, yapı elemanlarının performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemler sunulmuştur.

3.2.1. Görsel Değerlendirme

Ülkemizde yapısal amaçla kullanılacak olan kerestelerin sınıflandırılmasında TS 1265 [74] standardı kullanılmaktadır. TS 1265 standardına göre iğne yapraklı ağaç keresteleri;

- Ağaç cinsine göre: sedir, ladin, göknar ve çam olmak üzere 4 çeşide,
- Kalite sınıfına göre: I. Sınıf, II. Sınıf ve III. Sınıf olmak üzere 3 sınıfa,
- Koruma (emprenye edilme) durumlarına göre: korunmuş ve korunmamış olmak üzere 2 tipe,
- Enine kesit boyutlarına göre: tahta, kalas, lata, kadron, kiriş, azman olmak üzere 6 türe ayırmaktadır.

TS 1265 standardına göre emprenye edilmiş ve edilmemiş iğne yapraklı ağaç keresteleri 3 kalite sınıfına ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Sınıf: Taşıma yeteneği yüksek olanlar,
2. Sınıf: Taşıma yeteneği normal olanlar,
3. Sınıf: Taşıma yeteneği az olanlar.

Çalışma kapsamında kullanılan karaçam ve göknar keresteleri ilgili değerlendirme yöntemleri kullanılarak standarda göre değerlendirilmişlerdir. Bu amaçla değerlendirmesi yapılacak olan keresteler aşağıda verilen kıstaslara göre değerlendirilerek kalite sınıflarına atanmışlardır.

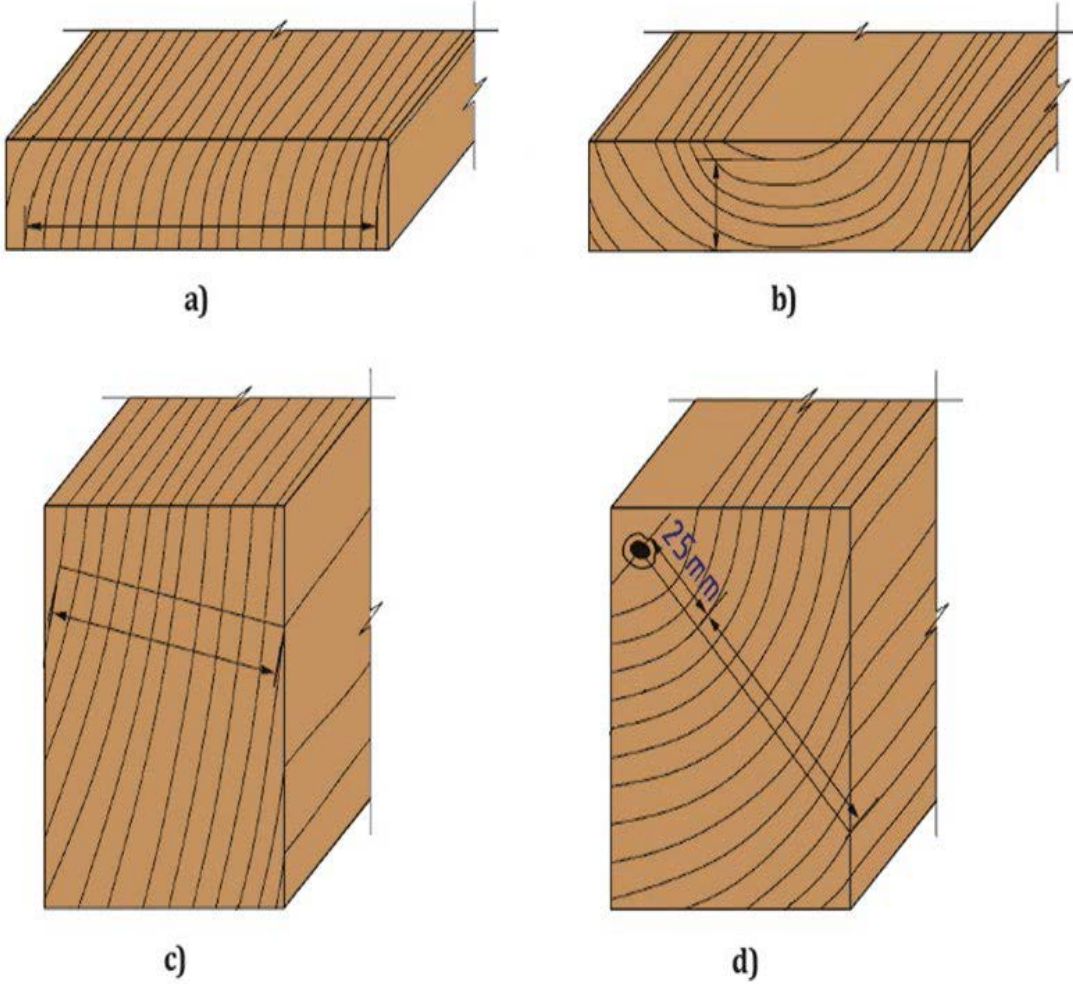
3.2.1.1. Yıllık Halka Genişliğinin Değerlendirilmesi:

Yıllık halka genişliği direnç üzerinde etkili görsel etmenlerden birisidir. TS 1265 standardında sınıflara göre izin verilen yıllık halka genişliği sınırları belirtilmiştir. Tablo 3.1’de yıllık halka genişliği üst sınır değerleri görülmektedir. Buna göre I. Sınıf kerestelerde 4 mm’den kalın yıllık

halkaların alanı enine kesit alanının yarısını geçmemeliyken, II. ve III. Sınıf kerestelerde yıllık halka genişliği ile ilgili koşul bulunmamaktadır. Çalışma kapsamında yıllık halka genişlikleri 0,01 mm toleranslı kumpas ile ölçülerek yıllık halka genişlikleri Şekil 3.2’de görülen yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Yıllık halka genişliği üst sınır değerleri.

Özellikler	Sınıflar		
	I. Sınıf	II. sınıf	III. Sınıf
Yıllık Halka genişliği	4 mm'den kalın yıllık halkaların oranı enine kesit alanının yarısını geçmemelidir.	Aranmaz	Aranmaz



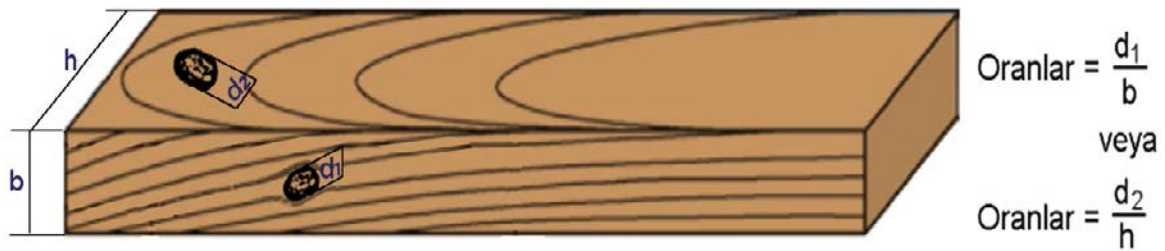
Şekil 3.2. Yıllık halka genişliğinin belirlenme yöntemleri [75].

3.2.1.2. Budakların Değerlendirilmesi:

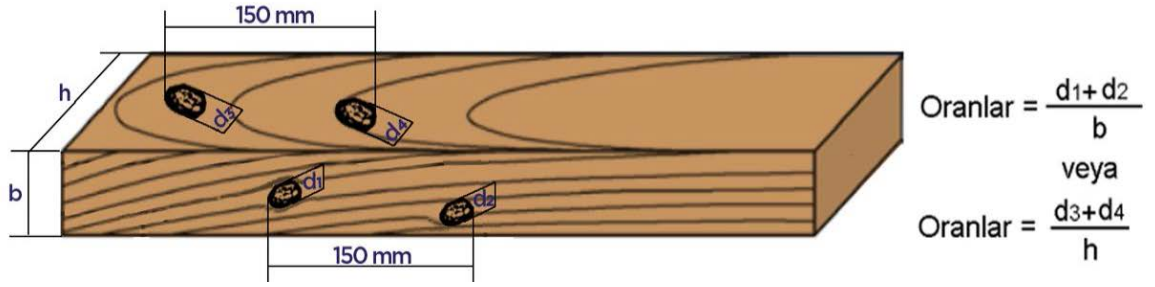
Budaklar TS 1265 standardı içerisinde tekli ve toplu budaklar olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanarak kereste kesit ölçülerine göre “kadron, kiriş, azman” ve tahta, kalas, lata” olmak üzere iki kategoride değerlendirilmektedir. Budak ölçümleri yapılırken budağın kereste yüzeyinde bulunan dar çapı ölçülerek budağın bulunduğu yüzeyin genişliği alınarak budak çapının yüzey genişliğine oranlaması ile yapılmaktadır. Toplu budakların değerlendirilmesinde ise 150 mm’den daha kısa mesafede bulunan budakların dar çapları toplamının yüzey alanına oranlanması ile karar verilmektedir. Tablo 3.2’de TS 1265 standardına göre en yüksek budak çapları ve budak üst sınır değerleri görülmektedir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te budak değerlendirme yöntemleri görülmektedir.

Tablo 3.2. TS 1265'e göre budak üst sınır değerleri ve en yüksek budak çapları.

Özellikler	I. Sınıf	Sınıflar II. sınıf	III. Sınıf
Tekli budaklar Kirişlerde budak dar çapının, budağın bulunduğu yüzeye oranının üst sınır değeri	1/5 Çap en fazla 50 mm olmalıdır.	1/3 Çap en fazla 70 mm olmalıdır.	1/2 Çap büyüklüğü aranmaz
Toplu budaklar Kirişlerde en kusurlu bölgede 150 mm içerisindeki budakların çapları toplamının, yüzey genişliğine oranının üst sınır değeri	2/5	2/3	3/4



Şekil 3.3. Tekli budak değerlendirme yöntemi[75].



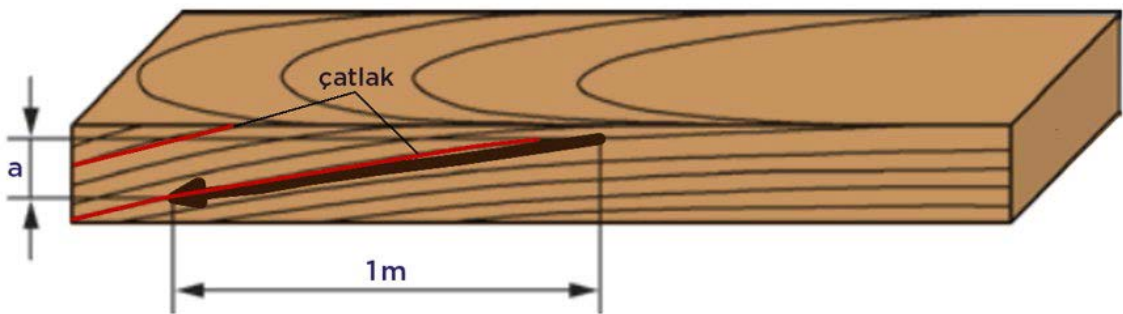
Şekil 3.4. Toplu budak değerlendirme yöntemi[75].

3.2.1.3. Lif Kıvrıklığı

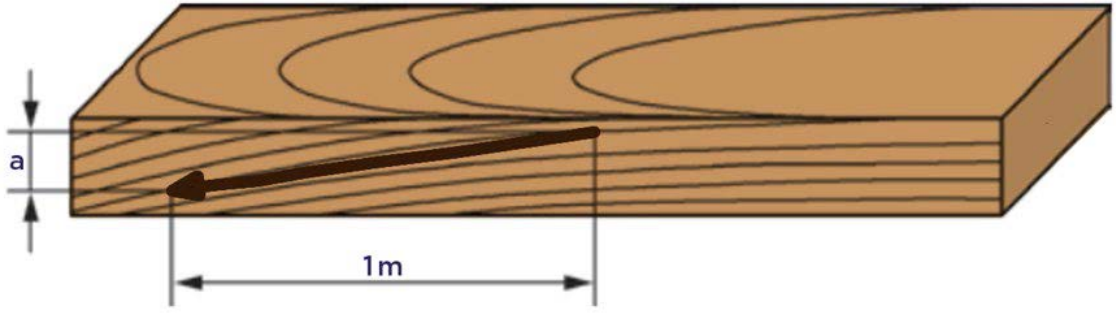
TS 1265 standardına göre 1 metre uzunluktaki lif sapmaları dikkate alınmaktadır. Lif kıvrıklıkları kereste yüzeyinde çatlak oluşturmalarına veya oluşturmamalarına göre iki farklı şekilde değerlendirilmektedir. Tablo 3.3’de lif kıvrıklığı miktarının belirlenmesine ait yüzdesel oranlar görülmektedir. Şekil 3.5 ve şekil 3.6’da lif kıvrıklığı belirlenme yöntemleri görülmektedir.

Tablo 3.3. Lif kıvrıklığına ait en yüksek oranlar.

Özellikler	Sınıflar		
	I. Sınıf	II. sınıf	III. Sınıf
	1 metrede liflerin en fazla sapma oranı		
Yüzey çatlağı bulunuyorsa	%7	%12	%20
Yüzey çatlağı bulunmuyorsa	%10	%20	%30



Şekil 3.5. Yüzeyde çatlak var ise lif kıvrıklığı belirleme yöntemi.



Şekil 3.6. Yüzeyde çatlak olmayan kerestede lif kıvrıklığının belirlenmesi.

3.2.1.4. Diğer Kusurlar

Kerestelerin görsel değerlendirilmesinde sulama miktarı, çarpıklık, çatlaklar, renklenmeler, çürük, kovuk gibi kusurlarında değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan keresteler seçilerek alındığından sayılan kusurlar en aza indirgendiğinden istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilememiştir.



Şekil 3.7. Görsel olarak değerlendirilen örneklerin boyutlandırılması.

3.2.2. Fiziksel ve Mekanik Testler

Görsel olarak değerlendirilen örnekler TS EN 408 [76] standardında belirtilen esaslara göre Marmara Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Ahşap Test Laboratuvarında geniş yüzeye paralel (edgewise) eğilme direnci testi yapılmıştır. Yapılan test sonucunda eğilme direnci ve global elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular bilgisayar destekli analiz programı ile karşılaştırılacağından lokal elastikiyet modülü belirlenmemiştir.

Görsel olarak değerlendirilen örneklerin test edilecekleri sıradaki rutubetlerinin belirlenmesi amacıyla rutubet belirleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla GANN markalı direnç tipi rutubet ölçer kullanılarak her kereste ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Rutubetlerin belirlenmesinde genel prensip elektrotların liflere paralel olarak ahşap malzeme kalınlığının 1/3'üne denk gelecek şekilde çakılması iken kullanılan rutubet ölçerin kılavuz bilgilerinde liflere dik olacak şekilde kullanılması belirtildiğinden rutubet ölçer kullanım kılavuzunda belirtildiği yöntemle kullanılmıştır. Her kereste için ölçülen değerler not edilerek test sırasında örnek rutubetlerinin bilinmesi sağlanmıştır. Şekil 3.8'de örneklerin başlangıç rutubetlerinin belirlenmesi işlemi görülmektedir.



Şekil 3.8. Örneklerin başlangıç rutubetlerinin belirlenmesi işlemi.

3.2.2.1. Eğilme Direncinin Belirlenmesi

Örneklerin testlerinin gerçekleştirilmesinde yaklaşık olarak maksimum kuvvetin yarı değerine ulaşıldıktan sonra LVDT cihazı örnek altından alınarak kurulum değiştirilmeden örneklerin testlerine devam edilmiştir. Şekil 3.9'da LVDT cihazının örnek altından alınması görülmektedir. TS EN 408 [76] standardında belirtildiği şekilde maksimum yüke 300 ± 120 saniye içerisinde ulaşılacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucunda elde edilen değerler kullanılarak 3.1 numaralı eşitlik yardımıyla eğilme direnci değerleri hesaplanmıştır.

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2} \text{ N/mm}^2 \quad (3.1)$$

Burada;

f_m : Eğilme direnci (N/mm²), F: Maksimum kuvvet (N), a: Yükleme başlığının en yakın mesnetle olan uzaklığı (mm), b: Örnek genişliği (mm), h: Örnek kalınlığı (mm).



Şekil 3.9. LVDT cihazının test düzeneğinden kaldırılması.



Şekil 3.10. Eğilme direnci test düzeneği.



Şekil 3.11. Maksimum yüke ulaşarak kırılan bir test örneği.

Test sonucunda kırılan örneklerin rutubet ve yoğunluklarını belirlemek amacıyla TS EN 408 [76] standardına göre örneklerin kırılma noktalarına mümkün olan en yakın bölgeden 20 mm'den kısa olmamak koşuluyla budak, reçine kesesi gibi kusurların bulunmadığı parçalar kesilmiştir. Alınan örneklerin hacimleri 0,01 mm hassasiyet ile ölçülmüştür. Aynı şekilde örnek ağırlıkları 0,01 gr. hassasiyetle tartılarak not edilmiştir. Örnek yoğunlukları kütesinin hacmine bölünmesi ile kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Ölçümleri yapılan örnekler rutubet miktarını belirlemek amacıyla 103 ± 2 °C sıcaklıktaki etüve yerleştirilerek 2 saat aralıklarla yapılan 2 ardışık tartım arasındaki fark test parçası kütesinin % 0,1'inden daha fazla fark göstermeyene kadar kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Etüvden alınan örnekler desikatörde soğutularak 0,01 g hassasiyette tartılarak örneklerin rutubet miktarı 3.2 numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde belirlenmiştir. Şekil 3.14'de kurutulmak üzere etüve yerleştirilen örnekler görülmektedir.

$$r = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

r: Örnek rutubet miktarı (%),
 m_1 : örneğin ilk ağırlığı (g),
 m_0 : örneğin son ağırlığı (g).

Rutubet değerleri TS EN 384 + A2 [77] standardına göre %12 denge rutubetine sahip olmalıdır. Rutubet miktarı bu değerden farklı olan örneklerin % 8 - %18 aralığında eğilmede elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri 3.3 ve 3.4 numaralı eşitlikler yardımıyla %12 değerine göre tahvil edilmiştir. Eğer örnek rutubet değeri % 18'den farklı ise başlangıç rutubeti olarak % 18 değeri kullanılmıştır.

$$E_0 = E_0(u)[1 + 0,01(u - u_{ref})] \quad (3.3)$$

$$\rho = \rho(u)[1 + 0,05(u - u_{ref})] \quad (3.4)$$

Burada;

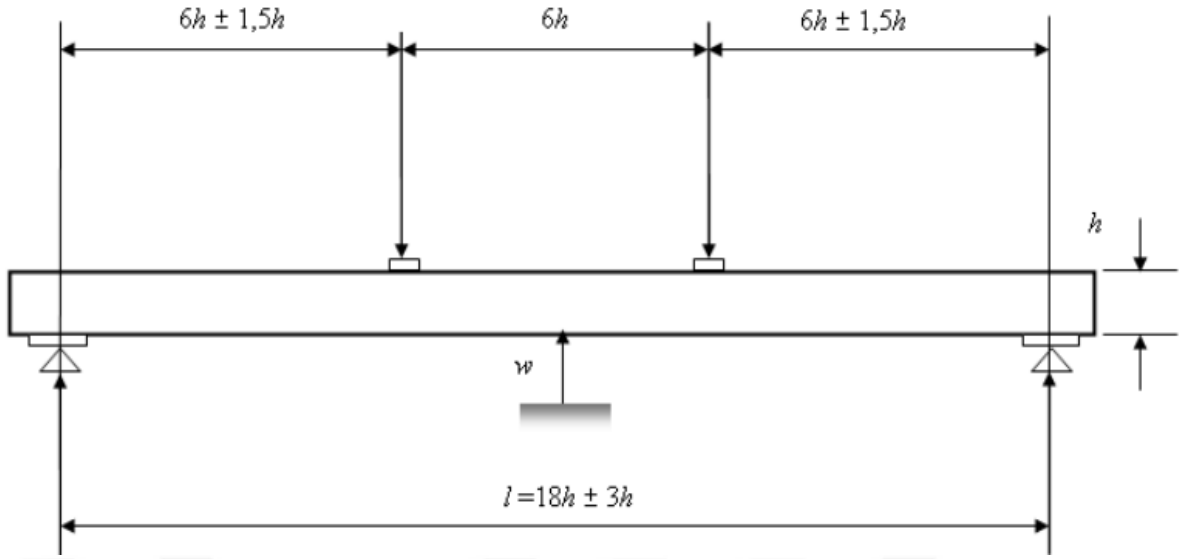
E_0 : Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm^2), ρ : Yoğunluk (kg/m^3), u: Başlangıç rutubeti
 u_{ref} : Referans rutubet miktarı.



Şekil 3.12. Kurutulmak üzere etüve yerleştirilen örnekler.

3.2.2.2. Global Elastikiyet Modülü

Çalışma kapsamında hazırlanan yapısal keresteler 300 kN kapasiteli ahşap malzeme eğilme test cihazında test edilmiştir. Denemeler TS EN 408 [76] standardında belirtildiği üzere 4 noktalı eğilme düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Mesnetler arası açıklık 18h, yükleme başlıkları arası açıklık ise 6h olarak ayarlanmıştır. Test başlıkları ve mesnetler ile kereste arasına ezilmeyi azaltmak amacıyla test parçası yüksekliğinin yarısından fazla olmayan metal plakalar yerleştirilmiştir. Sehim miktarını ölçmek amacıyla örneğin orta noktasına 0,001 mm hassasiyete sahip LVDT cihazı yerleştirilmiştir. Yükleme hızı 0,003h (mm/s)'yi geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Yükleme kuvveti yaklaşık olarak en yüksek kuvvetin %40 - %50 aralığını geçtikten sonra LVDT cihazı düzeneden alınmıştır. Şekil 3.13'de dört noktalı eğilme düzeneği ve mesnet aralıkları görülmektedir.



Şekil 3.13. Dört noktalı eğilme düzeneği.

Global elastikiyet modülünün belirlenmesinde denemelerden elde edilen yük – deformasyon grafiklerinden alınan veriler kullanılarak en yüksek kuvvetin %10 ve %40 değerleri arasında kalan veriler için regresyon analizi yapılarak korelasyon katsayısının $R^2=0,99$ 'dan büyük olduğu tüm denemeler için denetlenmiştir. Şekil 3.14'de örnek regresyon analizi görülmektedir. Regresyon analizi sonucuna göre koşulu sağlayan örneklerin global elastikiyet modülü aşağıdaki 3.5 numaralı eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gb} \right)} \frac{N}{mm^2} \quad (3.5)$$

Burada;

$E_{m,g}$ = Global elastikiyet modülü (N/mm²)

a: Yükleme başlığının en yakın mesnete olan uzaklığı (mm)

$F_2 - F_1$: $0,3F_{max} - 0,2F_{max}$ (N)

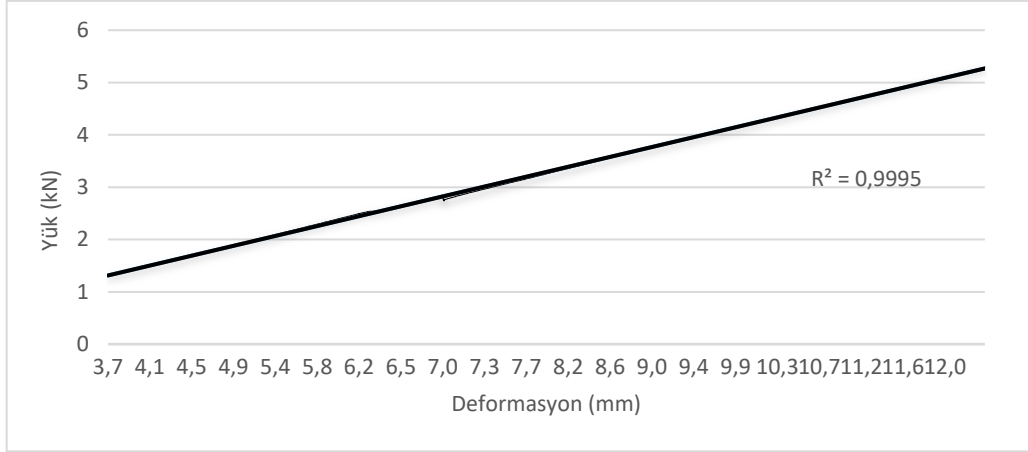
$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ aralığında oluşan deformasyon (mm)

l: Dayanak açıklığı (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

h: Örnek kalınlığı (mm)

G: Makaslama modülü (iğne yapraklı türler için 650 N/mm²)



Şekil 3.14. Regresyon analizi örneği.

3.2.3. Tahribatlı Testler ile SAP2000 Programının Karşılaştırılması

Örnek özellikleri tahribatlı olarak test edilen örneklerden elde edilen sonuçlara göre modellenerek aynı yükleme koşulları altında incelenmek üzere bilgisayar programına aktarılmıştır. Bu amaçla tahribatlı testlerden elde edilen elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri kullanılarak örnek kalınlık ve genişlikleri programa tanıtılmıştır. Aynı zamanda tahribatlı testlerde kullanılan dayanak açıklığı da program üzerinde tanımlanmıştır.

Örnek değerlendirmeleri eğilme direnci ve örneklerin maksimum yük değerinde ulaştıkları deformasyon miktarına göre yapılmıştır. Şekil 3.15'te tahribatlı değerlendirmesi yapılan bir kerestenin programa tanımlanan malzeme özellikleri görülmektedir. Şekilde verilen malzeme özellikleri test yapıldığı sırada kerestenin mevcut rutubetine göre hesaplanan elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri kullanılarak girilen değerlerden oluşmaktadır. Şekil 3.16'da analizi yapılan bir kerestenin yükleme durumu görülmektedir. Yükleme durumu örnek olarak verilmiş olup tahribatlı testlerden elde edilen maksimum yük değeri 18h mesnet aralığı ile 6h ve 12h noktalarına maksimum yükün etki ettirilmesi ile oluşturulmuştur.

S Material Property Data

Material Name:

Material Type:

Symmetry Type:

Modulus of Elasticity

E1: E2: E3:

Poisson

U12: U13: U23:

Coeff of Thermal Expansion

A1: A2: A3:

Shear Modulus

G12: G13: G23:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: Mass per Unit Volume:

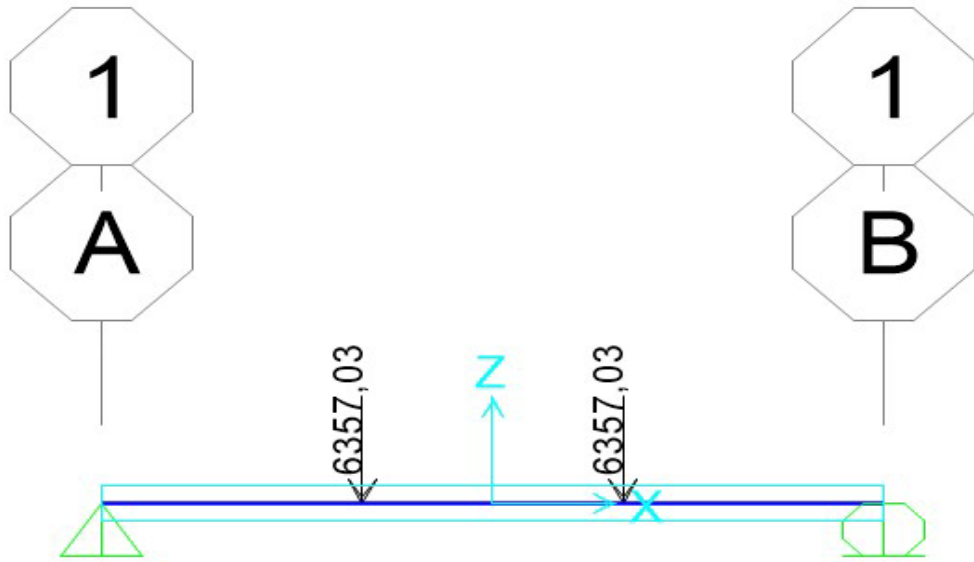
Units:

Advanced Material Property Data

Uniaxial Nonlinear Data... Material Damping Properties...
Coupled Nonlinear Data... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.15. Kereste özelliklerinin programa tanımlanması.



Şekil 3.16. SAP 2000 programında analizi yapılan kerestenin yükleme durumu.

3.2.4. Yapı Elemanlarının Performanslarının Belirlenmesi

Kerestelerin tahribatlı testleri ve programdan elde olunan bilgilerden yararlanılarak yerli türlerimizden ahşap yapı üretiminde sıklıkla kullanılan karaçam ve göknar türleri kullanılarak üretilen bir yapının tasarımı ve hesaplamaları ile ilgili bilgiler bu kısımda sunulmuştur. Tasarım yapılırken karaçam ve göknar türlerinin her bir direnç sınıfı için ayrı tasarım ve hesaplamalar yapılmış ve malzeme özelliklerinin yapıya etkileyen yüklerin üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde yapının oluşturulması, yüklerin belirlenme esasları ve yükleme ile mesnet koşullarının tanımlanma şekilleri ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

3.2.4.1. Tasarlanan Yapı ile İlgili Genel Bilgiler

Tasarımı yapılan yapı İstanbul ili, Sarıyer ilçesi, Bahçeköy mevkiinde konumlandırılmıştır. Bina genişliği 7,50 m. ve uzunluğu 9 m. olarak belirlenmiştir. Kat yüksekliği 2,75 m olarak seçilmiştir. Yapı bir zemin ve ara kat ile çatı konstrüksiyonuna sahiptir. Tasarımı yapılan yapının iç duvar kaplamaları alçıpan, dış yüzeyleri kontrplak üzerinde plastik cephe kaplaması olarak tasarlanmıştır. Duvar içlerinde izolasyon malzemesi olarak taş yünü, çatı kaplamasında kiremit kullanılmıştır. Yapıda kullanılan elemanların boyutları tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Yapıda kullanılan elemanların boyutları.

Yapı Elemanı	En Kesit (mm)	Birim Uzunluk (m)	Adet	Toplam Uzunluk (m)	Hacim (m ³)
Kolon	150x150	2,75	54	181,5	3,34
Kiriş	150x250	3	14	42	1,57
		4,5	23	103,5	3,88
Döşeme Kirişi	100x200	1,5	168	252	5,04
Çatı dikme	50x100	0,6	14	8,4	0,042
		1,2	14	16,8	0,084
Mertek	100x100	4	14	56	0,56
Aşık	100x120	3	15	45	0,54
Çaprazlama	70x140	1,5	56	84	0,82
		1,65	66	108,9	1,07
		3,13	30	93,9	0,92
Toplam			468	992	17,87

3.2.4.2. *Yapı Üzerine Etkiyen Yüklerin Belirlenmesi* **Düşey Yükler**

Kiriş, kolon, döşeme, çatı gibi taşıyıcı elemanların ve bunların sıva, kaplama, vs. gibi tamamlayıcı kısımlarının ağırlığıdır. Yapıda kullanılan elemanların yoğunluk ve yüzey basınç değerleri TS 9194 [15] standardından elde edilmiştir. Buna göre çatı kaplamasında 1750 kg/m^3 yoğunluğa sahip 3 cm kalınlıkta kiremit altına 2 cm kalınlığında tahta kullanılmıştır. Çatı kaplaması toplam $72,7 \text{ m}^2$ alan teşkil etmektedir. İç duvar kaplamalarında 12,5 mm kalınlığında, 650 kg/m^3 yoğunluğa sahip alçıpan kullanılmıştır. Dış cephe kaplamasında ise 550 kg/m^3 yoğunluğuna sahip 18 mm kontrplak üzerine 1400 kg/m^3 yoğunluğuna sahip 30 mm kalınlığında PVC dış cephe kaplaması kullanılmıştır. Yapıda iç ve dış cephelerde kaplama yapılan alan $144,03 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir. Yapıda bulunan toplam 16 adet pencere için 8 mm kalınlığında 2600 kg/m^3 yoğunluğunda cam tasarlanmıştır. Camların kapladığı toplam alan $28,875 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir. Yapıda döşeme kaplaması olarak 2 cm kalınlığında döşeme tahtası kullanılmıştır. Döşemeler yapının tasarlandığı malzeme sınıfı ile tasarlanarak yoğunlukları TS EN 338 [11] standardında verilen ortalama yoğunluklardan elde edilmiştir. Zemin kaplamaları toplamda 2 kat ve çatı arası zemininde tasarlanmıştır. Kapladığı toplam alan $202,5 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir.

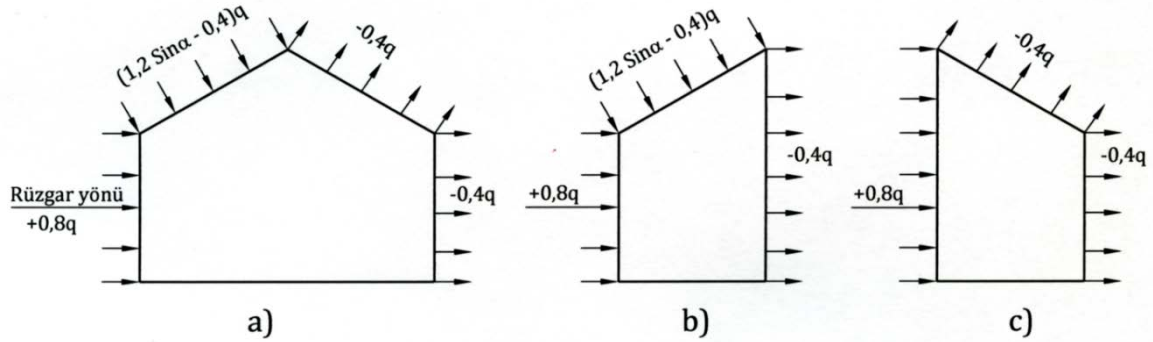
Kar Yükü

Kar yükü hesap değeri (s) için alınacak olan yük kar yağışı şartlarına göre farklılık göstermektedir. Yapının bulunduğu bölgedeki coğrafi ve meteorolojik şartlar ile yapının konumlandığı yerin rakımı kar yükü değerini etkilemektedir. Bu amaçla TS 498 [14] standardı içerisinde kar yağış yüksekliğine göre düzenlenen harita bölgelerine göre karakteristik kar yükü (S_k) değerleri tablosundan alınmaktadır. Tablo 3.5’te iklim bölgesi ve rakıma göre karakteristik kar yükü değerleri görülmektedir. Şekil 3.17’de standart içerisinde verilen ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 1971 – 2000 yılları arasında elde ettiği kar yüksekliği verileri kullanılarak oluşturulan kar yağış yüksekliği haritası görülmektedir.

göre hesap edilmektedir. Tablo 3.6’da yapı yüksekliğine bağlı rüzgâr hızı ve emme basıncı değerleri görülmektedir.

Tablo 3.6. Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı ve emme basıncı değerleri.

Zeminden Yükseklik m	Rüzgâr Hızı v m/s	Emme basıncı q (kN/m ²)
0 - 8	28	0,5
9 - 20	36	0,8
21 - 100	42	1,1
> 100	46	1,3



Şekil 3.18. TS 498' e göre Rüzgâr Yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağılımı[14].

$$W = C_p q \text{ (kN/m}^2 \text{)} \quad (3.6)$$

$$q = v^2/1600 \text{ (kN/m}^2 \text{)} \quad (3.7)$$

Burada; q: Rüzgâr basıncı, C_p : Emme basıncı, v: Rüzgâr hızı (m/sn) değerlerini ifade etmektedir.

Tasarlanan yapı, en yüksek noktası 7 m yüksekte ve kapalı yapı olduğundan yüksekliğe göre rüzgâr hızı kaynaklı emme basıncı 0,5 kN/m² olmaktadır. Rüzgâr yükü ise dik yüzeylerde 0,60 kN/m², eğimli yüzeylerde ise $0,60 \sin \alpha$ olarak belirlenmiştir. Çatı açısı 21° olduğundan dolayı basınç yönünde çatıya etkiyecek olan rüzgâr yükü 0,215 kN/ m² olarak alınmış ve yapıya düzgün yayılı yük olarak etki ettirilmiştir.

Düşey Hareketli Yükler

TS 498'e göre düzgün yayılı yükler tablo 3.7'de verilmiştir. Burada yapıya uygun olan değerler alınarak yapı konstrüksiyonuna düzgün yayılı yük olarak etki ettirilmektedir. Tablo değerlerine göre kat aralarına 2 kN/m² yük etki ettirilmiştir.

Tablo 3.7. Düşey hareketli yükler (TS 498)

Kullanma Şekli				Hesap Değeri
	Çatılar Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	Merdivenler (Sahanlık ve merdiven girişi dâhil)	kN/m ²
1		Çatı arası odalar		1,5
2	Zaman zaman kullanılan çatılar	Konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m ² 'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları		2
3	Konut toleranslarının kullanılması ve çiçeklik (bahçe yapılması)	Hastanelerin mutfakları, muayene odaları, poliklinik odaları, sınıflar, yatakhaneler, amfiler	Konut Merdivenleri	3,5
4		– Camiler – Tiyatro ve sinemalar, – Spor dans ve sergi salonları, – Tribünler (oturma yeri sabit olan) – Toplantı ve bekleme salonları – Mağazalar, – Lokantalar – Kütüphaneler – Arşivler – Hafif ağırlıklı atölyeler – Büyük mutfaklar, kantinler – Mezbahalar – Fırınlr, – Büyükbaş hayvan ahırları – Balkonlar 10 m²'ye kadar – Büro, hastane okul, tiyatro sinema kütüphane depo vb. genel yapı koridorları	Umuma açık yapılarda büro hastane okul, tiyatro, kütüphane kitaplık vb.	5
5		– Tribünler (oturma yeri sabit olmayan)		7,5
6		– Garajlar (Toplam ağırlığı 2,5 tona kadar olan araçlar için)		5

Deprem Yükleri:

Deprem yükleri binalara yatay ve dikey olarak etki eden ve bina ağırlığı ve yüksekliğine orantılı olarak değişen yüklerdir. Deprem hesaplamaları da binaların yatay ve düşey olarak alacağı yüklere ve bina yüksekliği ile kat sayısının yarattığı doğal titreşimler kullanılarak yapılmaktadır.

Ülkemizde deprem yükleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) 'ne göre belirlenmektedir. Yönetmeliğe göre öncelikle ülkemizde yürürlükte bulunan ve <https://tdth.afad.gov.tr/> internet adresinden erişilebilen Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından yapının yapılacağı konumdaki deprem verilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Haritalar kullanılırken dört farklı sınıfa ayrılan deprem yer hareket düzeyi belirlenmeli ayrıca inşaat alanındaki yerel zemin sınıfı, zemin etüdü yapılarak belirlenmelidir. Bu veriler binanın sahip olması istenen hizmet ömrünü belirlemede kullanılmakta ve hesaplama için gerekli verilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Deprem yüklerinin hesaplanmasında haritalardan elde edilen harita spektral ivme katsayıları zemin katsayıları kullanılarak tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmektedir. Formül ve zemin sınıfı tabloları yönetmelikte belirtilmiştir. Bu adımı takiben; yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları deprem hareketinin grafiğinin ordinatlarını elde etmek amacıyla yerçekimi ivmesi (g) olarak belirlenmektedir.

Deprem yüklerinin belirlenmesinde öncelikle yapının kurulacağı alanda mevcut olan yer hareketi düzeyi belirlenmelidir. TBDY 2018 içerisinde dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar yönetmelik içerisinde aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Çalışma kapsamında tasarımı yapılan yapı için DD-3 yer hareketi seçilmiştir.

Yapıların deprem hareketlerinin belirlenmesinde başka bir ölçütte yapının kurulacağı alandaki zemin sınıfıdır. Kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayıları Tablo 3.8’de, 1 sn. periyot için yerel zemin etki katsayıları tablo 3.9’da görülmektedir.

Tablo 3.8. TBDY 2018 Kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 3.9. TBDY 2018 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün 2020 yılında hazırlamış olduğu İstanbul ili Sarıyer olası deprem kayıp tahminleri kitapçığına [78] göre yapının kurulacağı alandaki zemin sınıfı ZB olarak belirlenmiştir.

Deprem yer hareketi düzeyi ve zemin sınıfı ile birlikte yapının koordinatları kullanılarak Türkiye Deprem Tehlike Haritaları uygulamasından yer hareketi düzeyleri belirlenmiş ve rapor alınmıştır. Şekil 3.19'da yönetmeliğin ön gördüğü şekilde koordinat, deprem yer hareketi düzeyi ve zemin sınıfına uygun olarak elde edilen deprem tehlike harita bilgileri görülmektedir.



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	dd 3 zb	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar
Enlem:	41.1773°	
Boylam	28.990311°	

Çıktılar

$S_s = 0.241$ $S_1 = 0.078$ $PGA=0.103$ $PGV=7.085$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

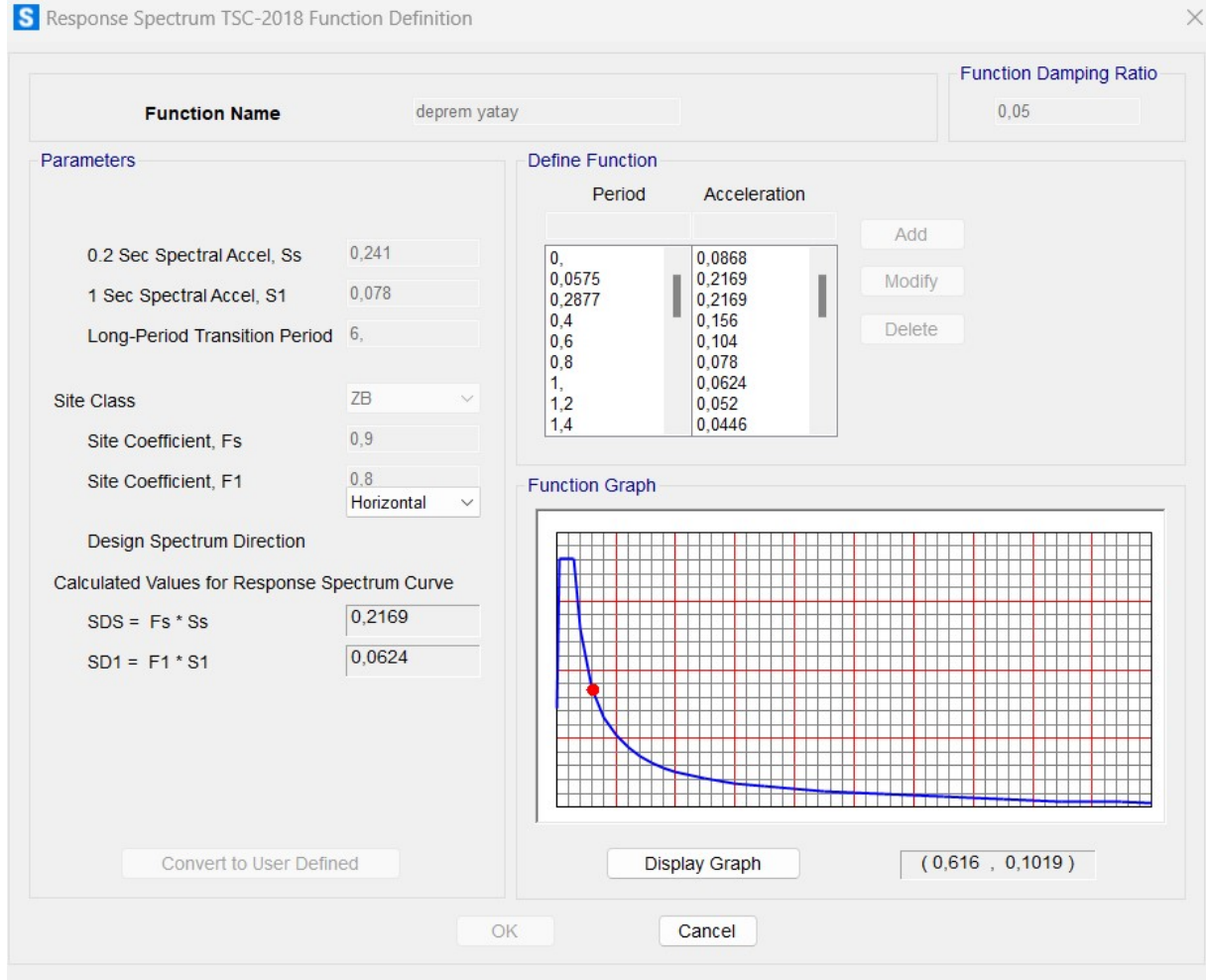
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3.19. Yer hareketi düzeyi sonuçları.

Elde edilen değerler SAP2000 programına tanıtılarak deprem fonksiyonu belirlenmiş ve yapı üzerine etki ettirilmiştir. Program girilen değerleri deprem yönetmeliğine göre otomatik olarak hesaplamakta ve yükleri yapıya etki ettirmektedir. Şekil 3.20’de programdan elde edilen fonksiyon görülmektedir.



Şekil 3.20. Deprem yükleri hesap fonksiyonu.

Tablo 3.10’da binanın kullanım amacına göre yönetmelik içerisinde tanımlanmış olan bina önem katsayıları görülmektedir. Bina önem katsayıları TBDY 2018 içerisinde 3 kategoriye ayrılmıştır. Bunların ilki deprem ardından kullanılması gereken, insanların yoğun ve uzun süreli bulunduğu hastane vb. gibi binalardır. İkinci sınıfta insanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu alışveriş merkezi, ibadethane gibi binalar bulunmaktadır. Son bina kullanım sınıfında ise ilk iki kategori içerisinde yer almayan tüm binalar bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında tasarlanan yapı konut olduğundan dolayı bina kullanım sınıfı 3 olarak seçilmiş ve bina önem katsayısı (I) 1 olarak seçilmiştir.

Tablo 3.10. TBDY 2018 bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları.

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS=1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a)Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b)Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c)Müzeler d)Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS=2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS=3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

3.2.4.3. Yapının SAP2000 Programına Tanımlanması

Sap 2000 programı üzerinde ahşap yapının tanımlanabilmesi amacıyla öncelikle program üzerine malzeme özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Tez kapsamında yerli türlerimizden göknar ve karaçam ahşaplarının karakteristik değerleri kullanılmıştır. Kurul (2023), çalışması içerisinde yerli türlerimize ait direnç sınıflarına yer vermiştir [75]. Tablo 3.11’de yerli türlerimizin direnç sınıfları görülmektedir. Bu verilere göre 1. Sınıf karaçam için C35, 1. Sınıf göknar için C27 malzeme özellikleri kullanılarak modelleme yapılmıştır. Aynı şekilde 2. Sınıf karaçam ve göknar malzemeler için C24, 3. Sınıf malzemeler için ise C18 direnç sınıfındaki malzeme özelliklerine göre modelleme ve inceleme yapılmıştır. Modelleme işleminde EN 338 standardında verilen malzeme karakteristik değerleri programa tanıtılmıştır. Bu amaçla program üzerinde define – material menüsü üzerinden yeni bir malzeme oluşturularak bu sekmeye malzeme yoğunluğu, elastikiyet modülü ve makaslama modülü özellikleri girilmiştir. Ahşap malzeme karakteristiğini yansıtmaları amacıyla malzemeler

orthotropik özellikler kullanılarak tanımlanmıştır. Şekil 3.21 – Şekil 3.24 arasında sırasıyla C18, C24, C27 ve C35 malzeme özellikleri görülmektedir.

Tablo 3.11. Yerli türlerimizin direnç sınıfları.

Ağaç Türü	1.Sınıf	2.Sınıf	3.Sınıf
Karaçam	C35	C24	C18
Gökmar	C27	C24	C18
Sarıçam	C35	C27	C20
Kızılçam	C35	C24	C18
Sedir	C24	C20	C16
Ladin	C27	C22	C20

Material Property Data

Material Name: c18

Material Type: Other

Symmetry Type: Orthotropic

Modulus of Elasticity

E1: 9,

E2: 9,

E3: 0,33

Poisson

U12: 0,3

U13: 0,3

U23: 0,3

Coeff of Thermal Expansion

A1: 1,170E-05

A2: 1,170E-05

A3: 1,170E-05

Shear Modulus

G12: 0,56

G13: 0,56

G23: 0,56

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 3,656E-08

Mass per Unit Volume: 3,727E-12

Units: KN, mm, C

Advanced Material Property Data

Uniaxial Nonlinear Data...

Material Damping Properties...

Coupled Nonlinear Data...

Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.21. Programa tanımlanan C18 malzeme özellikleri

S Material Property Data

Material Name: c24

Material Type: Other

Symmetry Type: Orthotropic

Modulus of Elasticity

E1	11,
E2	11,
E3	0,37

Poisson

U12	0,3
U13	0,3
U23	0,3

Coeff of Thermal Expansion

A1	1,170E-05
A2	1,170E-05
A3	1,170E-05

Shear Modulus

G12	0,69
G13	0,69
G23	0,69

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 4,041E-08

Mass per Unit Volume: 4,119E-12

Units: KN, mm, C

Advanced Material Property Data

Uniaxial Nonlinear Data...

Coupled Nonlinear Data...

Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.22. Programa tanımlanan C24 malzeme özellikleri

S Material Property Data

Material Name: c27

Material Type: Other

Symmetry Type: Orthotropic

Modulus of Elasticity

E1	12,
E2	12,
E3	0,4

Poisson

U12	0,3
U13	0,3
U23	0,3

Coeff of Thermal Expansion

A1	1,170E-05
A2	1,170E-05
A3	1,170E-05

Shear Modulus

G12	0,75
G13	0,75
G23	0,75

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 4,329E-08

Mass per Unit Volume: 4,413E-12

Units: KN, mm, C

Advanced Material Property Data

Uniaxial Nonlinear Data...

Coupled Nonlinear Data...

Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.23. Programa tanımlanan C27 malzeme özellikleri.

Material Property Data

Material Name: c35

Material Type: Other

Symmetry Type: Orthotropic

Modulus of Elasticity:
 E1: 13,
 E2: 13,
 E3: 0,43

Poisson:
 U12: 0,3
 U13: 0,3
 U23: 0,3

Coeff of Thermal Expansion:
 A1: 1,170E-05
 A2: 1,170E-05
 A3: 1,170E-05

Shear Modulus:
 G12: 0,81
 G13: 0,81
 G23: 0,81

Weight and Mass:
 Weight per Unit Volume: 4,618E-08
 Mass per Unit Volume: 4,707E-12

Units: KN, mm, C

Advanced Material Property Data:
 Uniaxial Nonlinear Data...
 Coupled Nonlinear Data...
 Material Damping Properties...
 Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.24. Programa tanımlanan C35 malzeme özellikleri.

Program üzerine malzeme tanımlarının yapılmasını takiben program üzerinden yapıda kullanılacak olan yapı elemanlarının kesit tanımlamaları yapılmıştır. Yapı elemanlarının kesit tanımlaması kullanılan her bir eleman için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu amaçla tablo 3.4’de verilen değerler kullanılmıştır. Şekil 3.25’de programa tanımlanan kolon kesiti görülmektedir. Şekil 3.26’da görüldüğü üzere yapıda kullanılan her bir eleman için tanımlamalar ayrı ayrı yapılmıştır.

Rectangular Section

Section Name: kolon

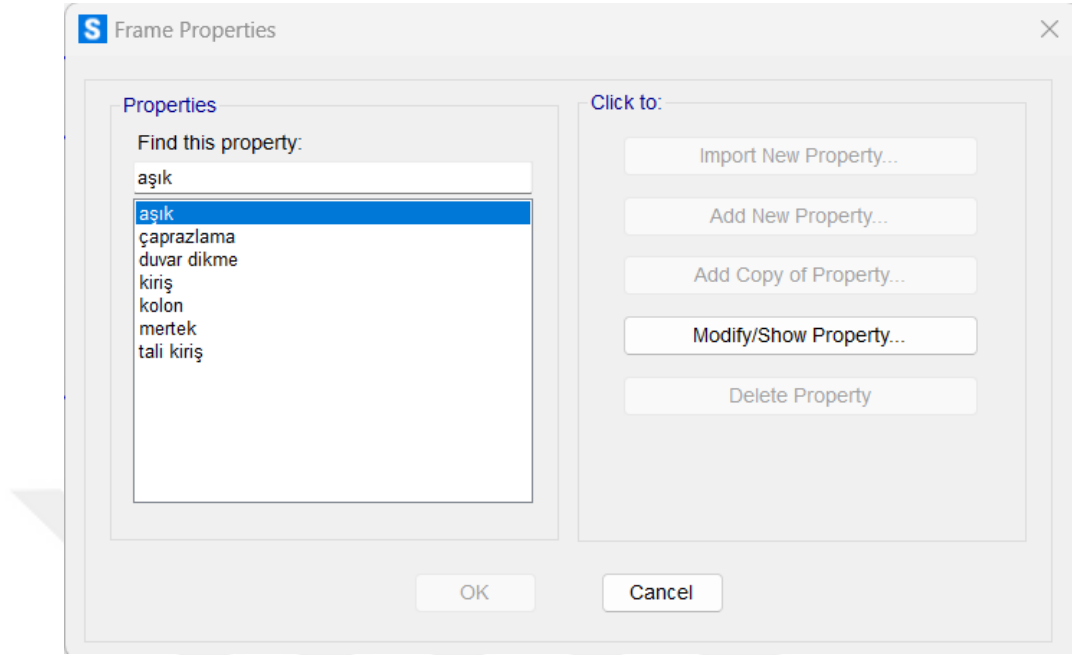
Section Notes: Modify/Show Notes...

Display Color: [Green Box]

Dimensions:
 Depth (t3) : 0,15
 Width (t2) : 0,15

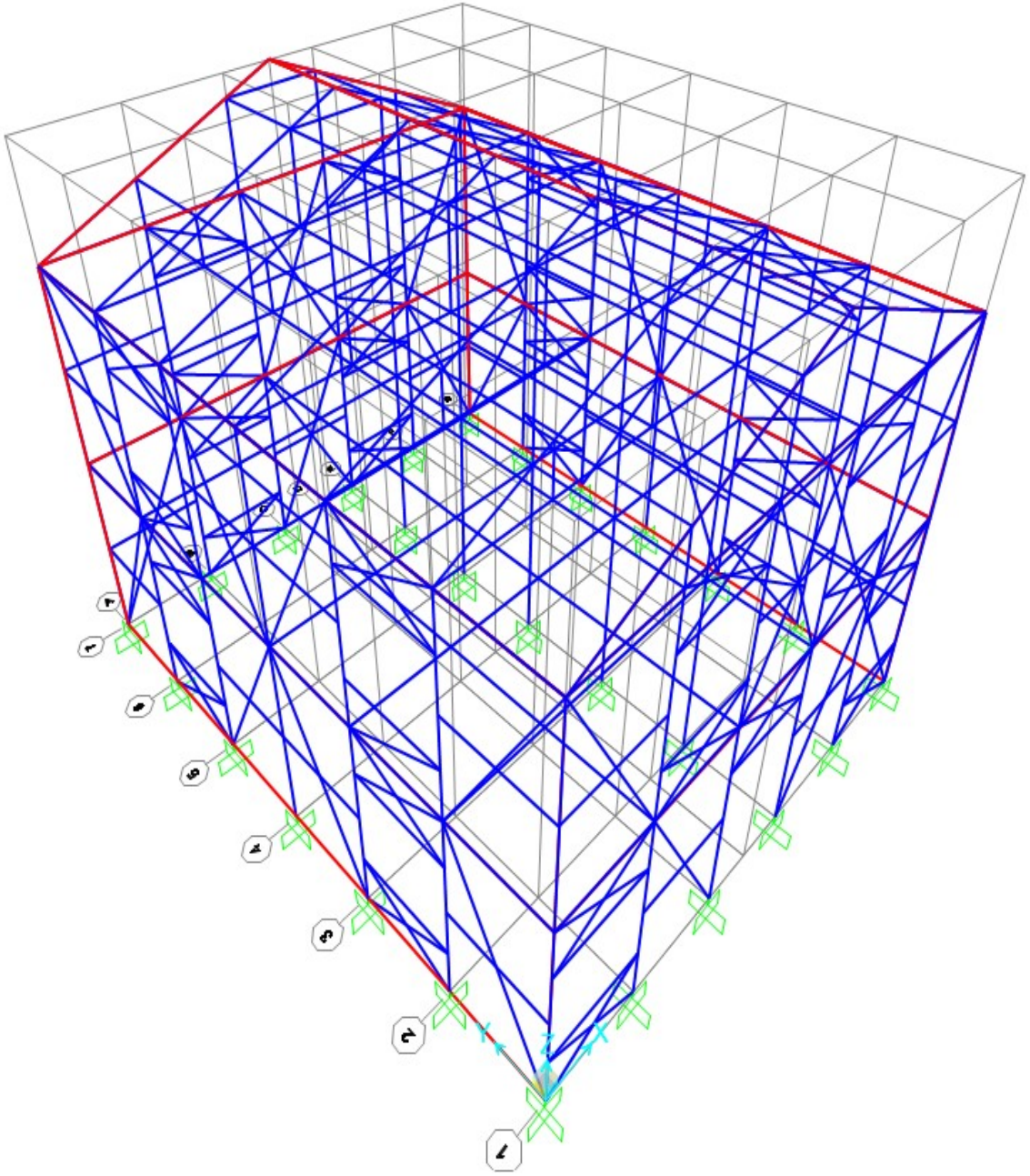
Section: [Diagram of a rectangular section with dimensions t2 and t3 indicated on a grid]

Şekil 3.25. Tanımlanan kolonun özellikleri



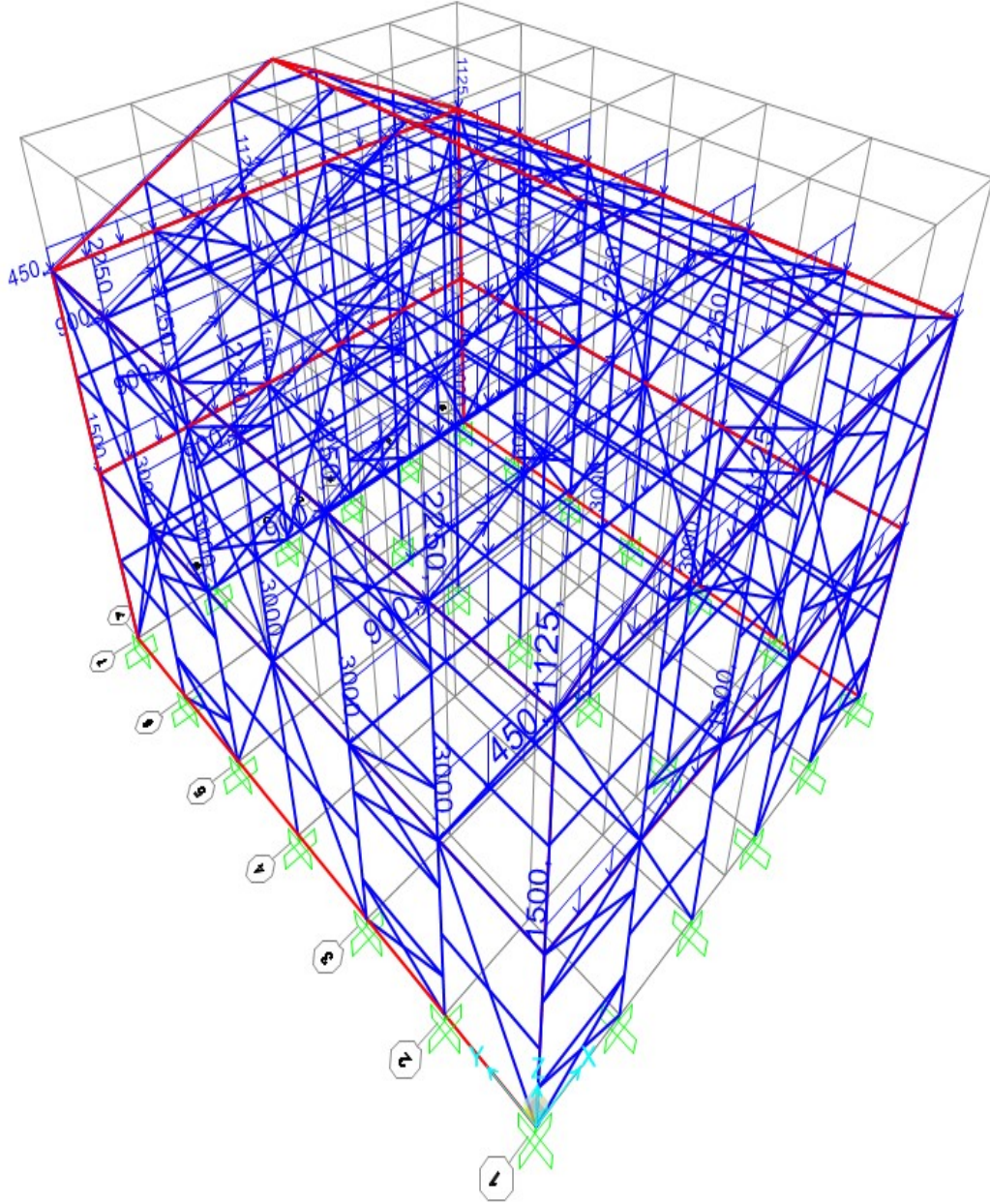
Şekil 3.26. Programa tanımlanan yapı eleman kesitleri.

Malzeme ve kesit tanımlaması yapıldıktan sonra yapı çizimine geçilmiştir. Yapıda kolonlar 1.5 m aralıklarla çizilmiş ve diyagonal kuvvetlere karşı çaprazlama elemanlarıyla desteklenmiştir. Yapı aksı asimetrik olarak oluşturularak kirişler kolonlar üzerine en büyük açıklık 4,5 m, en küçük açıklık 3 m olacak şekilde yerleştirilmiş ve kiriş aralarına 40 cm aralıklarla döşeme kirişleri yerleştirilmiştir. Çizilen yapının görünümü şekilde görülmektedir. Yapının birleşimleri özelliklerine göre tanımlanmıştır. Çatı sisteminde oturtma çatı tasarlanarak yapı üzerinde konumlandırılmıştır. Yapı içerisinde duvarlar tanımlanarak çizim tamamlanmıştır.



Şekil 3.27. Program üzerinde çizilen yapının 3 boyutlu görünümü.

Çizimi tamamlanan yapı üzerine hesaplanan yük değerleri tanımlanmıştır. Hareketli yükler düzgün yayılı yük olarak konstrüksiyon üzerine etki ettirilmiştir. Kaplama yükleri ve yapı elemanlarının ağırlıkları program tarafından hesaplanarak yapı üzerine otomatik olarak etki ettirilmiştir.



Şekil 3.28. Yapı üzerine tanımlanan yüklerin görünümü

Yüklerin girilmesinin ardından yük kombinasyonları ilgili yönetmelik ve standartlara göre tanımlanarak yapı üzerine yüklerin hangi oranda etki edeceği belirlenmiştir.

3.2.4.4. Programdan Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması Amacıyla Verilerin Toplanması

Bu kısımda SAP 2000 programından elde edilen yapı verilerinin hangi yöntemlerle analiz edildiği açıklanmıştır.

Kolonlara İlişkin Verilerin Toplanması

SAP 2000 programında tasarımı yapılan 4 farklı direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapılarda kolonlar üzerine etkiyen eksenel yükler her bir direnç sınıfında aynı kolondan alınmak koşuluyla ölü yükler, hareketli yükler ve tüm yüklerin oluşturduğu toplam eksenel kuvvet programdan elde edilmiştir. Bu şekilde direnç sınıflarının malzeme üzerine düşen yükler üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Ayrıca kolon kotunun, üzerine etkiyen yüke etkisini araştırmak amacıyla her direnç sınıfı için kolon konumları, zemin kotu veya 1. kat kotu olarak not edilmiştir.

Kirişlere İlişkin Verilerin Toplanması

Yapı programı üzerindeki kirişler üzerine düşen eğilme momenti değerleri her bir direnç sınıfı için aynı kiriş üzerinden alınarak ölü yüklerin oluşturduğu eğilme momentleri, hareketli yüklerin oluşturduğu eğilme momentleri ve toplam eğilme momenti olmak üzere program üzerinden elde edilmiştir. Ayrıca kiriş kotunun kiriş üzerinde oluşturduğu eğilme momenti üzerine etkisini belirlemek amacıyla kiriş yerleri not edilmiştir. Son olarak kiriş uzunluğunun üzerine etkiyen eğilme momenti üzerine etkisini belirlemek amacıyla kirişlerden elde edilen veriler kiriş uzunluklarına göre düzenlenmiştir.

3.2.5. Yapı Elemanlarının Hesaplamaları

Çalışma kapsamında TS 647 [12] ve TS EN 1995 [13] standartlarına göre yapısal elemanların analizleri yapılmıştır. Bu amaçla SAP2000 programından kirişler için eğme yükü değerleri, kolonlar için eksenel kuvvet değerleri alınmıştır. Bu kısımda her bir standart içerisinde eğilmeye ve basınca çalışan elemanlarla ilgili hesap yöntemleri ile ilgili formüller ve hesaplamalar için gerekli tablolar sunulmuştur.

3.2.5.1. TS 647 Standardına Göre Hesap Kuralları

Yapı elemanlarının TS 647 standardına göre boyutlandırılması ve değerlendirilmesi amacıyla standart içerisinde verilen karakteristik değerlerden yararlanılmaktadır. Tablo 3.12’de TS 647 standardına göre yapı elemanları için verilen emniyet gerilme sınır değerleri, Tablo 3.13’de ise TS 647 standardında verilen malzeme özellikleri ile ilgili değerler görülmektedir.

Tablo 3.12. TS 647'ye göre emniyet dirençleri.

		Gerilme Değerleri (kgf/cm²)			
		İğne Yapraklı Ağaç Sınıfları			Meşe ve Kayın
		I	II	III	
Eğilme	σ_{eem}	130	100	70	110
Liflere paralel çekme	$\sigma_{\text{çem}}//$	105	85	0	110
Liflere paralel basınç	$\sigma_{bem} //$	110	85	60	100
Liflere dik basınç	$\sigma_{bem\perp}$	20	20	20	30
Makaslama	τ_{em}	9	9	9	10

Tablo 3.13. TS 647 standardına göre elastikiyet ve kayma modülü değerleri.

Ahşap Malzeme Cinsi	Elastikiyet Modülü(E) (kgf/cm ²)		Kayma Modülü (G) (kgf/cm ²)
	Liflere paralel E//	Liflere dik E $\perp$	
İğne Yapraklı	100000	3000	5000
Meşe ve Kayın	125000	6000	10000

Kolonların Tasarımı

TS 647 standardına göre kolon tasarımları aşağıda verilen kurallara göre yapılmaktadır. Nihai olarak kolon 3.8 numaralı denklemde verilen koşulu sağlamalıdır. Hesaplamalar yapılırken hesaplanan λ değerine göre Tablo 3.14'de gösterilen ω değeri bulunmalı ve hesaplamalar buna göre yapılmalıdır. Narinlik değeri hesaplanırken kolon en kesitinin her iki ölçüsü için hesaplanarak büyük olan değer üzerinden hesaplama yapılmalıdır.

$$\sigma_b = \frac{\omega x N_{max}}{F} \leq \sigma_{bem} \quad (3.8)$$

$$\lambda = L/i \quad (3.9)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.10)$$

$$I = \frac{bd^3}{12} \quad (3.11)$$

Burada;

σ_b : Basınç direnci, ω : burkulma katsayısını, N_{max} : Kolona etkiyen en büyük eksenel kuvvet, λ : Narinlik, I: Atalet momenti, i: Dönüklük yarıçapı, L: Kolon uzunluğu, d: Kolon kısa kenar boyutu, b: Kolon genişliğidir.

Tablo 3.14. TS 647 standardına göre burkulma katsayıları (ω).

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.00	1.00	1.01	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.04
10	1.04	1.04	1.05	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.08
20	1.08	1.09	1.09	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.14
30	1.15	1.16	1.17	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.25
40	1.26	1.27	1.29	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.40
50	1.42	1.44	1.46	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.60
60	1.62	1.64	1.67	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.85
70	1.88	1.91	1.94	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.16
80	2.20	2.23	2.27	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.54
90	2.58	2.62	2.66	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.95
100	3.00	3.06	3.12	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.57
110	3.63	3.70	3.76	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.25
120	4.32	4.39	4.46	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	4.99
130	5.07	5.15	5.23	5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.80
140	5.88	5.96	6.05	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.66
150	6.75	6.84	6.93	7.0	7.1	7.2	7.3	7.3	7.4	7.58
160	7.68	7.78	7.87	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.57
170	8.67	8.77	8.88	8.9	9.0	9.1	9.2	9.4	9.5	9.61
180	9.72	9.83	9.94	10.0	10.1	10.2	10.3	10.4	10.6	10.72
190	10.83	10.94	11.06	11.1	11.2	11.4	11.5	11.6	11.7	11.88
200	12.00	12.12	12.24	12.3	12.4	12.6	12.7	12.8	12.9	13.10
210	13.23	13.36	13.48	13.6	13.7	13.8	14.0	14.1	14.2	14.39
220	14.52	14.65	14.79	14.9	15.0	15.1	15.3	15.4	15.6	15.73
230	15.87	16.01	16.15	16.2	16.4	16.5	16.7	16.8	16.9	17.14
240	17.28	17.42	17.57	17.7	17.8	18.0	18.1	18.3	18.4	18.60
250	18.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kirişlerin Tasarımı

TS 647 standardına göre kirişlerin tasarımı yapılırken eğilme gerilmesi, makaslama gerilmesi ve deformasyon kontrolleri gerçekleştirilmektedir. Her üç koşulu sağlayan kiriş direnci karşılamaktadır. Başka bir deyişle üç koşuldan en az birini sağlamayan kirişlerin kesit ölçüleri arttırılmalı veya malzeme direnç sınıfı değiştirilmelidir. Üzerine yayılı yük etki eden kirişlerin direnç hesaplamaları aşağıda verilen 3.12, 3.13 ve 3.14 numaralı denklemlere göre yapılmalıdır.

$$M = qL_s^2/8 \quad (3.12)$$

$$W = bh^2/6 \quad (3.13)$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{3qL_s^2}{4bh^2} \quad (3.14)$$

Burada; σ_E : Eğilme direnci (kgf/cm²), q: kiriş üzerinde birim uzunluğa düşen yayılı yük (kg/cm), L_s : Dayanak noktaları arasındaki mesafe (cm), b: Kiriş genişliği (cm), h: Kiriş yüksekliği (cm), M: Eğilme momenti (kgf-cm), W: Atalet momenti (cm³)'dir.

Kirişte oluşan makaslama gerilmeleri 3.15 ve 3.16 numaralı denklemlere göre hesaplanmaktadır.

$$Q = qL_s/2 \quad (3.15)$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} \quad (3.16)$$

Kirişte oluşan deformasyon 3.17 ve 3.18 numaralı denklemlere göre hesaplanmaktadır.

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} \quad (3.17)$$

$$J = \frac{bh^3}{12} \quad (3.18)$$

Burada;

f: Deformasyon (cm), q: en yüksek eğilme momenti (kg/cm), E: Elastikiyet Modülü (kgf/cm²)

J: Atalet momenti (cm⁴) 'ni ifade etmektedir.

3.2.5.2. TS EN 1995 Standardına Göre Hesap Kuralları

TS EN 1995 [13] standardına göre tasarım ve hesaplamalar yapılırken TS EN 1990 standardında sunulan genel kurallara uyulmak zorundadır. Bunun yanında TS EN 1991 standardında sunulan hesaplamaların da kullanılması gerekmektedir. Bu standartlardan elde edilen veriler ile TS EN 1995 standardında ahşap malzemeler için hesap kuralları kullanılarak tasarım yapılmalıdır.

Yükleme Süresi Sınıfları

Yapı tasarımında elemanların üzerlerine etkiyen yüke maruz kalacağı süreye göre yük süreleri tanımlanmıştır. Yük süre sınıfları tablo 3.15'de görülmektedir.

Tablo 3.15. Yüklemeye süresi sınıfları.

Sınıf	Periyot	Örnek
Kalıcı	10 yıldan fazla	Yapı ağırlığı
Uzun süreli	6 ay – 10 yıl	Depolama
Orta süreli	1 hafta – 6 ay	Zemin ve kat yükleri
Kısa süreli	1 haftadan kısa	Kar, rüzgâr yükleri
Ani	Anlık	Kar yükü, kaza yükü

Ahşap Yapılar İçin Kullanım Sınıfları

Eurocode 5 standardında ahşap malzemenin rutubet içeriğine göre üç kullanım sınıfı tanımlanmıştır. Bu kullanım sınıfları aşağıdaki gibidir.

- (a) Kullanım sınıfı 1: Ortalama rutubet ≤ 12 , 20 °C sıcaklık ve %65’ ten fazla bağıl nem
- (b) *Kullanım sınıfı 2*: Ortalama rutubet ≤ 20 , 20 °C sıcaklık ve %85’ ten fazla bağıl nem
- (c) *Kullanım sınıfı 3*: Ortalama rutubet > 20 , Kullanım Sınıfı 2’ den fazla sıcaklık ve bağıl nem

Malzeme Kısmi Faktörleri

TS EN 1995 standardına göre yapıda kullanılan malzemenin türüne göre kısmi faktörlerin kullanımı gerekmektedir. Tablo 3.16’da standart içerisinde verilen malzeme kısmi faktörlerinin değerleri görülmektedir.

Tablo 3.16. Malzeme kısmi faktörleri.

Malzemeler	γ_M
Masif ahşap	1.3
Tutkallı lamine ahşap	1.25
LVL, kontrplak, OSB	1.2
Yonga levhalar	1.3
Lif levhalar, sert	1.3
Lif levhalar, orta sert	1.3
Lif levhalar, MDF	1.3
Lif levhalar, yumuşak	1.3
Birleşimler	1.3
Zımbalı metal levha bağlama elemanları	1.25
Kazara oluşan kombinasyonlar	1

Modifikasyon Faktörü

Yapı hesaplamalarında kullanılmak üzere standart içerisinde malzemelere göre kullanım sınıfı ve yük – süre sınıflarına göre modifikasyon faktörlerinin (k_{mod}) bulunduğu değerler Tablo 3.17’de görülmektedir.

Tablo 3.17. TS EN 1995 Standardına göre malzemelerin Yük - Süre sınıflarına göre modifikasyon faktörleri.

Malzeme	İlgili Standart	Kullanım Sınıfı	Kalıcı etki	Yük – Süre Sınıfı			Anlık etki
				Uzun dönemli etki	Orta dönemli etki	Kısa dönemli etki	
Masif ahşap	EN 14081-1	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Tutkalı lamine ahşap	EN 14080	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Kontrollak	EN 636 Bölüm 1, 2, 3 Bölüm 2,3 Bölüm 3	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
		2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Yonga levha	EN 312 Bölüm 4, 5 Bölüm 5 Bölüm 6, 7 Bölüm 7	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
		1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
		2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Lif levha, sert	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 veya 2 HB.HLA1 veya 2	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
Lif levha, orta sert	EN 622-3 MBH.LA1 veya 2 MBH.HLS1 veya 2 MBH.HLS1 veya 2	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		2	–	–	–	0.45	0.80
Lif levha, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		2	–	–	–	0.45	0.80

Deformasyon Faktörü

Tablo 3.18’de Eurocode 5 standardına göre malzemelerin değerleri kullanım sınıfına göre deformasyon faktörü (k_{def}) değerleri görülmektedir. Bu değer yapısal elemanların deformasyon hesaplamalarında kullanılmaktadır.

Tablo 3.18. TS EN 1995 standardına göre k_{def} değerleri.

Malzeme	İlgili Standart	Kullanım Sınıfı		
		1	2	3
Masif ahşap	EN 14081-1	0.60	0.80	2.00
Tutkallı lamine ahşap	EN 14080	0.60	0.80	2.00
LVL	EN 14374, EN 14279	0.60	0.80	2.00
Kontrplak	EN 636			
	Bölüm 1	0.80	-	-
	Bölüm 2	0.80	1.00	-
	Bölüm 3	0.80	1.00	2.50
OSB	EN 300			
	OSB/2	2.25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1.50	2.25	-
Yonga levha	EN 312			
	Bölüm 4	2.25	-	-
	Bölüm 5	2.25	3.00	-
	Bölüm 6	1.50	-	-
	Bölüm 7	1.50	2.25	-
Lif levha, sert	EN 622-2			
	HB, LA,	2.25	-	-
	HB.HLA1,HB.HLA2	2.25	3.00	-
Lif levha, orta sert	EN 622-3			
	MBH.LA1,MBH. LA 2	3.00	-	-
	MBH.HLS1, MBH. HLS2	3.00	4.00	-
Lif levha, MDF	EN 622-5			
	MDF.LA	2.25	-	-
	MDF.HLS	2.25	3.00	-

Kombinasyon Faktörü

Tablo 3.19’da TS EN 1990 [79] standardına göre kombinasyon faktör değerleri görülmektedir.

Tablo 3.19. TS EN 1990 Standardına göre Kombinasyon faktörü değerleri.

Etki	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Binalara etkiyen yükler			
Kategori A: Ev, konut alanları	0.7	0.5	0.3
Kategori B: Ofis alanları	0.7	0.5	0.3
Kategori C: Kongre alanları	0.7	0.7	0.6
Kategori D: Alışveriş alanları	0.7	0.7	0.6
Kategori E: Depolama alanları	1.0	0.9	0.8
Kategori F: Trafikte açık alanlar (Araç ağırlığı ≤ 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Kategori G: Trafikte açık alanlar ($30 \text{ kN} < \text{Araç ağırlığı} \leq 30 \text{ kN}$)	0.7	0.5	0.3
Kategori H: Çatılar	0	0	0
Binalara etkiyen kar yükü			
Finlandiya, İzlanda, Norveç, İsveç	0.7	0.5	0.2
Diğer CEN üyesi ülkelerdeki, ortalama kotu $H > 1000$ m olan yerler	0.7	0.5	0.2
Diğer CEN üyesi ülkelerdeki, ortalama kotu $H \leq 1000$ m olan yerler	0.5	0.2	0
Binalara etkiyen rüzgâr yükü	0.6	0.2	0
Binalardaki sıcaklık (yangın haricindeki)	0.6	0.5	0

Taşıma Gücü Sınır Durumu

Ahşap yapılar için taşıma gücü sınır durumları aşağıdaki verilen durumların doğrulanması ile belirlenmektedir.

Denge (EQU): Yapının dengede olması

Direnç (STR): Etkiyen kuvvete karşı direnç

Geoteknik (GEO): Temel konstrüksiyonunun yeterli dirence sahip olması

Yük kombinasyonları ilgili durumların her biri için uygulanmaktadır. Kısmi faktör yönteminin uygulanmasıyla tasarım değerinin, eşdeğer direncin tasarım değerinden küçük veya ona eşit olduğu doğrulanmalıdır. Her sınır durumu için, eylemlerin etkisinin tasarım değeri türetilmelidir. Bunun için, aynı anda gerçekleşebileceği düşünülen eylemler birleştirilir. Birden fazla değişken eylem varsa, her bir kombinasyon, sırasıyla değişken eylemlerinden birini, öncü değişken eylem kabul ederek elde edilir.

Kalıcı veya geçici tasarım durumlarının birleşimini türetmek için dikkate alınması gereken denklemi (3.19) bağıntısı vermektedir.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.19)$$

STR ve GEO sınır durumlarının elverişsiz yüklemeleri için 3.20 numaralı bağıntıya alternatif olarak kullanılabilir. (3.20)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.20)$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.21)$$

Burada;

γ_G : Kalıcı yükleme için kısmi faktör

γ_Q : Değişken yükleme için kısmi faktör

ψ_0 : Değişken bir işlemi kombinasyon değerine dönüştüren faktör

ξ : Olumsuz kalıcı eylemler için azaltma faktörü

G_k : Kalıcı eylem

$Q_{k,1}$: Temel değişken eylem

Q_k : Eşlik eden değişken eylem

Kaza tasarım durumlarında, tek bir eylem kombinasyonu tüm sınır durumlarına uygulanabilmektedir.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ya da } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,ii} > 1 \quad (3.22)$$

A_d : Belirli bir tesadüfi olayın tasarım değeri. $A_d=0$ durumunda ψ_1 ve ψ_2 , değişken eylemi sırasıyla sık ve yarı-kalıcı değere dönüştürür.

A_d : Belirli bir tesadüfi olayın tasarım değeri. $A_d=0$ durumunda ψ_1 ve ψ_2 , değişken eylemi sırasıyla sık ve yarı-kalıcı değere dönüştürür.

Kalıcı ve geçici tasarım durumları altında EQU ve STR tasarım değerlerini türetmek için kullanılacak γ ve ξ faktörlerinin sayısal değerleri Tablo 3.20’de görülmektedir. Kaza kombinasyonları için tasarım değerleri tablo 3.21’de görülmektedir.

Tablo 3.20. Denge (EQU) ve direnç (STR) sınır durumları için etkilerin tasarım değerleri.

ULS (Temel Kombinasyonlar)	EC0 denklemleri	Kalıcı etkiler		Öncü değişken etki	Eşlik eden değişken etkiler	
		Elverişli	Elverişsiz		Asıl	Diğer
EQU						
(a)*	6.10	1.10G _{k,j,sup}	0.90G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli İken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli İken 0)
(b)** (i) veya (ii)	(i) 6.10	1.35G _{k,j,sup}	1.15G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli İken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli İken 0)
	(ii) 6.10	1.0G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli İken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli İken 0)
STR (jeoteknik etkiler hariç) ***						
(c)	(i) 6.10	1.35G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli İken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli İken 0)
(d)	(ii) 6.10a	1.35G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	----- -----	1.5ψ _{0,1} Q _{k,1}	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i}
	(iii) 6.10.b	0.925 * 1.35G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1}	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i}

Tablo 3.21. Kaza etkileri için sınır durumları.

ULS (kazara etki kombinas yonu altında)	EC0 denklemleri	Kalıcı etkiler		Öncü değişken etki	Eşlik eden değişken etkiler	
		Elverişli	Elverişsiz		Asıl	Diğer
Herhangi bir ULS	6.11a/b	$1.0G_{k,j,sup}$	$1.0G_{k,j,inf}$	A_d	$1.0\psi_{1,1}Q_{k,1}$	$1.0\psi_{2,i}Q_{k,i}$

|| G_k küçük ise, $G_{k,j,sup}$ ve $G_{k,j,inf}$ ortalama yoğunluk değerine bağlı olarak tek bir değer olan $G_{k,j}$ ile değiştirilecektir.

Malzeme Karakteristik Değerleri

TS EN 1995 standardına göre hesaplamalar yapılırken EN 338 standardında bulunan karakteristik malzeme özelliklerinden yararlanılmaktadır. Bu değerler hem tasarım hem de hesaplama amacıyla tür ortalamalarına göre bulunan değerlerdir. Tablo 3.22’de EN 338 standardında verilen iğne yapraklı ağaç kerestelerine ait karakteristik değerler görülmektedir.

Tablo 3.22. EN 338 standardına göre iğne yapraklı ağaçların karakteristik değerleri.

Dayanım Sınıfı	Dayanım Özellikleri (N/mm ²)						Rijitlik Özellikleri (kN/mm ²)					
	Eğilme	Çekme (liflere paralel)	Çekme (liflere dik)	Basınç (liflere paralel)	Basınç (liflere dik)	Kayma	Ortalama Elastikiyet Modülü (liflere paralel)	5% Elastikiyet Modülü (liflere Paralel)	Ortalama Elastikiyet Modülü (liflere dik)	Ortalama Makaslama Modülü	Karakteristik Yoğunluk (kg/m ³)	Ortalama 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 _{m,0,mean}	E _{m,0,k}	E _{m,90,mean}	G _{mean}	ρ _k	ρ _{mean}
C14	14	7,2	0,4	16	2	3	7	4,7	0,23	0,44	290	350
C16	16	8,5	0,4	17	2,2	3,2	8	5,4	0,27	0,50	310	370
C18	18	10,0	0,4	18	2,2	3,4	9	6,0	0,30	0,56	320	380
C20	20	11,5	0,4	19	2,3	3,6	9,5	6,4	0,32	0,59	330	400
C22	22	13	0,4	20	2,4	3,8	10	6,7	0,33	0,63	340	410
C24	24	14,5	0,4	21	2,5	4,0	11	7,4	0,37	0,69	350	420
C27	27	16,5	0,4	22	2,5	4,0	11,5	7,7	0,38	0,72	360	430
C30	30	19,0	0,4	24	2,7	4,0	12	8,0	0,40	0,75	380	460
C35	35	22,5	0,4	25	2,7	4,0	13	8,7	0,43	0,81	390	470
C40	40	26,0	0,4	27	2,8	4,0	14	9,4	0,47	0,88	400	480
C45	45	30,0	0,4	29	2,9	4,0	15	10,1	0,50	0,94	410	490
C50	50	33,5	0,4	30	3,0	4,0	16	10,7	0,53	1,00	430	520

Kolonların Tasarımı

Eurocode 5’e göre kolon hesaplaması yapılırken göreceli narinlik oranının hesaplanması ve bu sonuçlara göre hesaplama yapılması gerekmektedir.

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.23)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.24)$$

$$\lambda_y = L_{e,y}/i_y \quad (3.25)$$

$$\lambda_z = L_{e,z}/i_z \quad (3.26)$$

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ ise kolon hesaplamaları aşağıdaki formüle göre yapılmalıdır.

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0,3$ ise hesaplamalar;

$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d}$ formülüne göre yapılmalıdır.

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (3.27)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (3.28)$$

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) \quad (3.29)$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) \quad (3.30)$$

β_c : Düzgünlük katsayısıdır. (masif ahşap için 0,2)

Burada;

$\lambda_{rel,y}$: y eksenindeki eğilmeyle ilgili nispi narinlik oranı

$\lambda_{rel,z}$: z eksenindeki eğilmeyle ilgili nispi narinlik oranı

λ_y : y eksenindeki eğilmeyle ilgili narinlik oranı

λ_z : z eksenindeki eğilmeyle ilgili narinlik oranı

$E_{0,05}$: Elastikiyet modülünün %5'lik değeri

$f_{c,0,k}$: Liflere paralel yönde karakteristik basınç değeri

k_c : Kararsızlık faktörü

Kirişlerin Tasarımı

TS EN 1995 standardına göre kirişlerin tasarımı yapılırken 3.33 – 3.41 numaralı denklemler yardımıyla hesaplamalar yapılmakta ve sonuçlara göre değerlendirmeler yapılmaktadır.

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m} \quad (3.31)$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} \quad (3.32)$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} \quad (3.33)$$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k \quad (3.34)$$

Burada;

$\sigma_{m,y,d}$: Eğilme gerilmesi

$M_{y,d}$: Eğilme momenti

k_{mod} : Düzeltme faktörü

$f_{m,k}$: karakteristik eğilme direnci

γ_m : Malzeme türü için kısmi faktör

W_y : Atalet momenti

E_d : Eleman üzerine etki eden toplam yüküdür.

Kirişlerde kayma gerilmesinin hesaplamaları aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \quad (3.35)$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} \quad (3.36)$$

Burada;

τ_d : kayma gerilmesi

$f_{v,d}$: karakteristik makaslama gerilmesidir.

Anlık sehim kontrolünün yapılmasında;

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/300 \quad (3.37)$$

$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xl} \quad (3.38)$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xl} \quad (3.39)$$

Burada;

W_{ins} : Ani deformasyon
 G: Toplam ölü yük
 Q: Toplam Hareketli yük
 l: Mesnet açıklığı
 I: Atalet momenti

Nihai sehım kontrolü aşağıdaki formüle göre yapılmalıdır. Denklem içerisinde yer alan katsayılar standart içerisindeki tablolardan elde edilmektedir.

$$W_{fin} = W_{inst,g}(1+k_{def}) + W_{inst,q} (1+ \psi_{2,1}xk_{def}) \leq 1/150 \quad (3.40)$$

Burada;

$\psi_{2,1}$: Binalar için şekil değiştirme faktörü
 k_{def} : şekil değiştirme faktörüdür.

TS EN 1995 standardına göre basit mesnetli kirişlerin deformasyon kontrolü yapılırken ani deformasyon limit değeri 1/300 olarak belirlenmektedir. Nihai sehım kontrolünün yapılmasında ise 1/150 değeri limit değer olarak kabul edilmektedir.

3.2.6. Yapı Elemanlarının Kesit Optimizasyonu

Tasarımı yapılan yapıda her bir kalite/direnç sınıfı için belirlenen kesitlere göre direnç hesaplamaları yapılmış ve kesitin yük taşıma kapasitesi izin verilen limitlerin altında kaldığı durumda üzerine düşen yükü taşıyabilecek olan en küçük en kesit boyutları belirlenmiştir. Bu amaçla TS 1265 [74] standardında verilerek tablo 3.23’de görülen iğne yapraklı ağaç kerestelerinin yarı haldeki boyutları ile ilgili değerler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3.23. İğne yapraklı ağaç kerestelerinin yarı haldeki boyutları.

Sınıfı	Kalınlık (mm)	Genişlik (cm)	Boy (m)
Tahta	15,20,25,28,30,32,35	8,10,12,15,17,20,22,28,30	0,25'er metre ile Tolerans : Kısa,boylarda ± 2 mm Normal boylarda ± 3 mm Uzun boylarda ± 5 mm NOT : Kısa, normal ve uzun boylara ait sınırlar TS 51 de verilmiştir.
Kalas	40	8,10,12,15,17,20,22,28,30	
	45	12,15,17,20,22,25,28,30	
	50	12,15,17,20,22,25,28,30	
	60	8,10,12,15,17,20,22,25,28,30	
	80	10,12,15,17,20,22,25,28,30	
	100	12,15,17,20,22,25,28,30	
Lata b/h cm/cm	25/50 30/50 40/60		
Kadron b/h cm/cm	5/5 8/8 10/10	b/h (cm/cm) 5/8	
Kiriş b/h cm/cm	12/12 15/15 17/17	b/h (cm/cm) 12/15 15/20 12/20	
Azman b/h cm/cm	20/20 20/22 20/25 20/28 20/30 22/22 22/25 22/28 22/30 25/25 25/28 25/30 28/28 28/30 30/30	b/h (cm/cm) 20/25 20/28 20/30 22/28 22/30 25/30	
Tolerans	Enine kesit boyutlarında en çok ± % 1,5 dur. II. ve III. Sınıfta kereste miktarının en çok % 10 unun enine kesit boyutlarında en çok ± % 3 sapma kabul edilebilir 0,5 mm den büyük kusurlar bir üst mm ye yuvarlanır.		

3.2.7. Yapı Elemanlarının Maliyetlerinin Belirlenmesi

Kesit optimizasyonu amacıyla her bir yapı türü için gereken malzeme miktarının hesaplanması amacıyla işlemler gerçekleştirilmiştir. Yapıda incelemesi yapılan kolon, kiriş, aşıklık ve mertek elemanlarının adet ve uzunluklarına ilişkin değerler tablo 3.24'de görülmektedir.

Tablo 3.24. Tasarlanan yapıda bulunan elemanların toplam ölçüleri.

Eleman Türü	Adet	Birim Uzunluk (m)	Toplam Uzunluk (m)
Aşıklık	15	3	45
Mertek	14	4	56
Kolon	54	2,75	181,5
Kiriş	23	4,5	145,5
	14	3	

Yapının taşıyıcı sisteminin maliyetlerini hesaplayarak karşılaştırma yapabilmek amacıyla Aralık 2024 için piyasadan kereste fiyatları alınmıştır. Piyasa verilerine göre elde edilen ortalama fiyatlar tablo 3.25’de görülmektedir.

Tablo 3.25. Piyasa verilerine göre ortalama kereste maliyetleri (TL/m³).

	1. Sınıf	2. Sınıf	3. Sınıf
Karaçam	21.500	18.250	14.850
Gökmar	16.850	15.500	14.850

3.2.8. Gömülü Karbon Miktarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında tasarlanan yapıda kullanılan malzeme miktarının ve malzeme türünün karbon ayak izine etkisini belirlemek amacıyla TS EN 15978 [80] numaralı standarda göre hesaplama yapılmıştır. Standart içerisinde bir binanın kullanım ömrü boyunca karbon ayak izine etkisini belirlemek amacı ile modüllerin kullanımına ilişkin tanımlar yapılmaktadır. Şekil 3.29’da bina değerlendirilmesinde kullanılacak bilgiler görülmektedir. Karbon ayak izinin hesaplanması amacıyla bu tablodaki modüller için hesaplama yapılması gerekmektedir. Hesaplamaların yapılması ile ilgili kurallar TS EN 15804+A2 [81] standardında belirtilmektedir. Bu standardın içeriğinde her bir modülün detaylı açıklamaları bulunmakla birlikte hesaplama ve raporlama adımları sunulmaktadır.

Çalışma kapsamında ayırt edici olması açısından ve yapının kurulum yeri ve kullanım niteliği değişmediğinden dolayı sadece A1-3 modülleri hakkında genel bir hesaplama yapılmıştır. Hesaplamaların yapılmasında birim değerler ICE veri tabanından elde edilmiştir [82]. Veri tabanından elde edilen bilgilere göre iğne yapraklı ağaç keresteleri -1,55 kgCO₂e/kg, kontrplak -1,61 kgCO₂e/kg, alçıpan 0,238 kgCO₂e/kg, kiremit 0,48 kgCO₂e/kg, taş yünü 1,25 kgCO₂e/kg, PVC dış cephe kaplaması 3,1 kgCO₂e/kg karbon ayak izine neden olmaktadır. Bu değerler ve kullanılan malzemelerin toplam hacimleri kullanılarak yapının karbon ayak izi hesaplanmıştır.

BİNA DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILACAK BİLGİLER									
BİNA KULLANIM ÖMRÜ İLE İLGİLİ BİLGİLER					BİNA KULLANIM ÖMRÜ HARCINDAKİ BİLGİLER				
A1-3 MAMUL safhası A1 Hammade temini A2 Nakliye A3 İmalat					B1-7 KULLANIM safhası B1 Kullanım B2 Bakım B3 Onarım B4 Değiştirme B5 Yenileme B6 İşletme enerji kullanımı B7 İşletme su kullanımı				
A4-5 İNŞAAT İŞLEMLERİ safhası A4 Nakliye A5 Yapım-Kurulum İşlen					C1-4 KULLANIM ÖMRÜNÜN SONA ERMESİ safhası C1 Söküm C2 Nakliye C3 Atık işleme C4 İmha				
D Sistem sınırı dışındaki faydalar ve yükler Tekrar kullanım Geri kazanım Geri dönüşüm Potansiyel					D Sistem sınırı dışındaki faydalar ve yükler Tekrar kullanım Geri kazanım Geri dönüşüm Potansiyel				

Şekil 3.29. TS EN 15978'e göre bina değerlendirilmesinde kullanılacak bilgiler.

3.2.9. İstatistiksel Analizlerin Yapılması

Çalışma kapsamında elde edilen verilerin istatistiksel analizlerinin yapılmasında “SPSS 23.0” ve “Microsoft Office” paket programı kullanılmıştır. Verilerin analiz edilmesinde öncelikle örneklerin normal dağılım gösterip göstermedikleri kontrol edilmiş normal dağılmayan örnek gruplarına istatistiksel analiz yöntemleriyle dönüşümler uygulanmıştır.

Veri karşılaştırmaları yapılırken; iki grup arasındaki karşılaştırmalar bağımsız örnek t testi, tek değişken 3 alt grubu bulunan örnek gruplarına ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi uygulanmıştır. Grup ortalamaları arasında farklılık olması durumunda Duncan testi uygulanarak grup farklılıkları belirlenmiştir.



4. BULGULAR

Bu kısımda yapılan testlerden elde olunan sonuçlar ve istatistiksel değerlendirmeler detaylı şekilde sunulmuştur.

4.1. GÖRSEL DEĞERLENDİRME

Görsel değerlendirmeler sonucunda kerestelerin atandığı görsel kalite sınıflarına ait veriler Tablo 4.1’de görülmektedir. Tabloya göre karaçam örneklerde görsel değerlendirme sonucunda 15 adet 1. Sınıf, 6 adet 2. Sınıf ve 4 adet 3. Sınıf kereste bulunduğu 5 adet kerestenin ise görsel kalite sınıflarına uymadığı tespit edilmiştir. Gökmar kerestelerinde ise 12 adet 1. Sınıf, 7 adet 2. Sınıf ve 6 adet 3. Sınıf örnek olduğu, 5 adet örneğin tasnif dışı olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.1. Ağaç türüne göre görsel kalite sınıflarına atanan örnek sayıları.

Ağaç Türü	1. Sınıf (Adet)	2. Sınıf (Adet)	3. Sınıf (Adet)
Karaçam	15	6	4
Gökmar	12	7	6

4.2. FİZİKSEL VE MEKANİK TESTLER

4.2.1. Rutubet

Test edilen kerestelerin rutubetlerine ait bulgular Tablo 4.2’de görülmektedir. Rutubet bulgularına göre karaçam kerestelerinin rutubetlerinin %14,26 ile %22,23 arasında değiştiği ve ortalama rutubet miktarının %17,12 olduğu belirlenmiştir. Gökmar kerestelerinde rutubetlerin %13,45 ile %15,88 arasında değiştiği ve ortalama rutubetin ise %14,36 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Rutubete ilişkin bulgular.

Ağaç Türü	Örnek Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum	Maksimum
Karaçam	25	17,1	1,5	0,3	14,3	22,2
Gökmar	25	14,4	0,6	0,1	13,5	15,9

4.2.2. Yoğunluk

Test edilen kerestelerin yoğunluklarına ait bulgular Tablo 4.3’de görülmektedir. Tabloya göre karaçam örneklerinden elde edilen bulgularda en düşük yoğunluk 474,12 kg/m³, en yüksek

yoğunluk $673,28 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Karaçam kerestelerinin ortalama yoğunluğu ise $583,33 \text{ kg/m}^3$ olarak bulunmuştur. Gökmar kerestelerinde ise en düşük yoğunluk $376,42 \text{ kg/m}^3$, en yüksek yoğunluk $502,23 \text{ kg/m}^3$ olarak bulunurken ortalama yoğunluk $436,98 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Yoğunluğa ait bulgular.

Ağaç Türü	Örnek Sayısı	Ortalama yoğunluk (kg/m^3)	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum yoğunluk (kg/m^3)	Maksimum yoğunluk (kg/m^3)
Karaçam	25	583,33	50,88	10,18	474,12	673,28
Gökmar	25	436,98	34,93	6,99	376,42	502,23

4.2.3. Eğilme Direnci

Tahribatlı testlerden elde edilen eğilme direnci değerlerine ait bulgular tablo 4.4’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre karaçam kirişlerde elde edilen eğilme direnci; ortalama $52,93 \text{ N/mm}^2$ iken en düşük $30,30 \text{ N/mm}^2$, en yüksek $80,29 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüştür. Gökmar kirişlerde ise ortalama $44,25 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci değeri ölçülürken minimum $15,18 \text{ N/mm}^2$, maksimum $65,41 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci ölçülmüştür.

Tablo 4.4. Tahribatlı testlerden elde edilen eğilme direnci verilerine ait bulgular.

Ağaç Türü	Örnek Sayısı	Ortalama (N/mm^2)	Minimum (N/mm^2)	Maksimum (N/mm^2)	Standart Sapma
Karaçam	25	52,87	30,30	80,29	12,81
Gökmar	25	44,15	15,18	65,41	12,74

Tahribatlı testlerde maksimum kuvvet anında makine başlığının hareketinden ölçülen deformasyon bilgilerine ait bulgular tablo 4.5’de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre karaçam kerestelerinde en düşük $23,10 \text{ mm}$ ve en yüksek $90,99 \text{ mm}$ olmak üzere ortalama $43,58 \text{ mm}$ deformasyon ölçülmüştür. Gökmar örneklerde ise ortalama deformasyon $35,10 \text{ mm}$ olmak üzere en düşük deformasyon $12,18 \text{ mm}$, en yüksek deformasyon ise $56,35 \text{ mm}$ olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.5. Tahribatlı testlerde maksimum kuvvette oluşan deformasyon miktarları.

Ağaç Türü	Örnek Sayısı	Ortalama (mm)	Minimum (mm)	Maksimum (mm)	Standart Sapma
Karaçam	25	43,58	23,10	90,99	17,65
Gökmar	25	35,10	12,18	56,35	10,85

4.2.4. Global Elastikiyet Modülü

Tahribatlı testlerden elde edilen verilerle hesaplanarak %12 rutubet derecesine tahvil edilen global elastikiyet modülü değerleri Tablo 4.6’da görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre Karaçam örneklerin ortalama global elastikiyet modülü 11,60 kN/mm², en düşük 7,79 kN/mm², en yüksek ise 17,22 kN/mm² olarak belirlenmiştir. Gökmar örneklerin ortalama global elastikiyet modülü ise 10,30 kN/mm² iken en düşük 7,49 kN/mm², en yüksek 13,61 kN/mm² olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.6. Tahribatlı testlerden elde edilen global elastikiyet modülü değerleri.

Ağaç Türü	Örnek Sayısı	Ortalama (kN/mm ²)	Minimum (kN/mm ²)	Maksimum (kN/mm ²)	Standart Sapma
Karaçam	25	11,60	7,79	17,22	2,64
Gökmar	25	10,30	7,49	13,61	1,67

4.2.5. Tahribatlı Testler ile SAP2000 Verilerinin Karşılaştırılması

SAP2000 programı tarafından hesaplanan eğilme direnci değerleri tablo 4.7’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre karaçam örneklerde ortalama 54,29 N/mm² eğilme direnci elde edilirken, en düşük 31,41 N/mm², en yüksek 81,69 N/mm² eğilme direnci bulunmuştur. Gökmar örneklerde ise ortalama 45,01 N/mm² eğilme direnci elde edilirken, en düşük 15,85 N/mm², en yüksek 66,24 N/mm² eğilme direnci elde edilmiştir.

Tablo 4.7. SAP2000 programından elde edilen eğilme direnci değerleri.

Ağaç Türü	Örnek Sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Minimum (N/mm ²)	Maksimum (N/mm ²)	Standart Sapma
Karaçam	25	54,29	31,41	81,69	13,09
Gökmar	25	45,01	15,85	66,24	12,80

SAP2000 programında yükleme yapılan örneklerden yükleme sonucunda elde edilen deformasyon miktarlarına ilişkin veriler Tablo 4.8’de sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre karaçam örneklerin yüklemeleri sonucunda ortalama 30,74 mm deformasyon elde edilirken en düşük 14,85 mm, en yüksek 46,58 mm deformasyon olduğu tespit edilmiştir. Gökmar

örneklerde ise ortalama 27,19 mm deformasyon oluşurken, en yüksek 35,84 mm, en düşük 11,46 mm deformasyon olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.8. SAP2000 programından elde edilen deformasyona ait bulgular.

Ağaç Türü	Örnek Sayısı	Ortalama (mm)	Minimum (mm)	Maksimum (mm)	Standart Sapma
Karaçam	25	30,74	14,85	46,58	7,72
Gökmar	25	27,19	11,46	35,84	5,88

Karaçam örneklerinin tahribatlı testleri ile SAP2000 programından elde edilen eğilme direnci verilerini karşılaştırmak amacıyla bağımsız örneklem t testi yapılmış ve sonuçları Tablo 4.9’da sunulmuştur.

Tablo 4.9. Karaçam eğilme direnci verilerine ilişkin t testine ait bulgular.

Faktör	Levene’s test		t	t testi	
	F	Önem Düzeyi		Serbestlik Derecesi	Önem Düzeyi
Karaçam eğilme	,012	,913	,387	48	,7

Bağımsız örnek t testi sonuçlarına göre karaçam örneklerinin eğilme direnci verilerinde tahribatlı testler ile SAP2000 programından elde edilen veriler arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir.

Gökmar örneklerinin tahribatlı testleri ile SAP2000 programından elde edilen eğilme direnci verilerini karşılaştırmak amacıyla bağımsız örneklem t testi yapılmış ve sonuçları tablo 4.10’da sunulmuştur.

Tablo 4.10. Gökmar eğilme direnci verilerine ilişkin t testine ait bulgular.

Faktör	Levene’s test		t	t testi	
	F	Önem Düzeyi		Serbestlik Derecesi	Önem Düzeyi
Gökmar eğilme	,000	,983	,237	48	,813

Bağımsız örnek t testi sonuçlarına göre gökmar örneklerinin tahribatlı testleri ile SAP2000 programından elde edilen eğilme direnci verilerinin arasında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde farklılık bulunmadığı saptanmıştır.

Tahribatlı testler ve SAP2000 programında aynı kuvvette oluşan deformasyon değerlerini karşılaştırmak amacıyla bağımsız örnek t testi yapılmış ve sonuçları türe göre aşağıda sunulmuştur.

Karaçam kerestelerinden elde edilen deformasyonlarının karşılaştırılması amacıyla yapılan t testi sonuçları Tablo 4.11’de sunulmuştur.

Tablo 4.11. Karaçam örnekleri deformasyonlarının karşılaştırılması t testi sonuçları.

Faktör	Levene’s test		t	t testi	
	F	Önem Düzeyi		Serbestlik Derecesi	Önem Düzeyi
Karaçam deformasyon	8,534	,005	-3,333	48	,002

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre karaçam örneklerden tahribatlı testler ve sap 2000 programında elde edilen deformasyon miktarlarında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde farklılık olduğu tespit edilmiştir.

Gökmar kerestelerinden elde edilen deformasyon miktarlarının ortalamaları arasındaki farklılığı araştırmak amacıyla uygulanan bağımsız örnek t testi sonuçları tablo 4.12’de görülmektedir.

Tablo 4.12. Gökmar örnekleri deformasyonlarının karşılaştırılması t testi sonuçları.

Faktör	Levene’s test		t	t testi	
	F	Önem Düzeyi		Serbestlik Derecesi	Önem Düzeyi
Gökmar Deformasyon	9,489	,003	-3,209	48	,002

T testi sonuçlarına göre gökmar örneklerinden tahribatlı testlerden ve SAP2000 programından elde edilen deformasyon miktarları arasında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde farklılık olduğu tespit edilmiştir.

4.3. YAPI ELEMANLARININ PERFORMANSLARI

Bu bölümde tasarımı yapılan yapıda kullanılan malzeme sınıflarına ve yapısal eleman tür, boyut ve konumlarına göre elde edilen bulgular sunulmuştur.

4.3.1. Kolonlara Ait Bulgular

Direnç sınıflarının kolonlarda oluşturduğu eksenel yüklere ait tanımlayıcı istatistiksel veriler Tablo 4.13’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre C18 direnç sınıfındaki kolonlara ortalama 22,29 kN eksenel yük etki ederken en düşük 4,94 kN, en yüksek 52,57 kN yük etki etmiştir. C24 malzemede ortalama 23,22 kN eksenel kuvvet etki ederken en düşük 4,95 kN, en yüksek 54,51 kN yük eksenel yük oluşmuştur. C27 malzemede ortalama 23,94 kN eksenel kuvvet etki ederken en düşük 4,96 kN, en yüksek 55,96 kN eksenel kuvvet etki etmiştir. Son olarak C35 malzemede ortalama 24,61 kN eksenel yük etki ederken en düşük 4,99 kN yük etki ederken en yüksek ise 57,41 kN eksenel yük oluştuğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.13. Kolonlara direnç sınıflarına göre etkiyen eksenel kuvvetlerin tanımlayıcı istatistikleri.

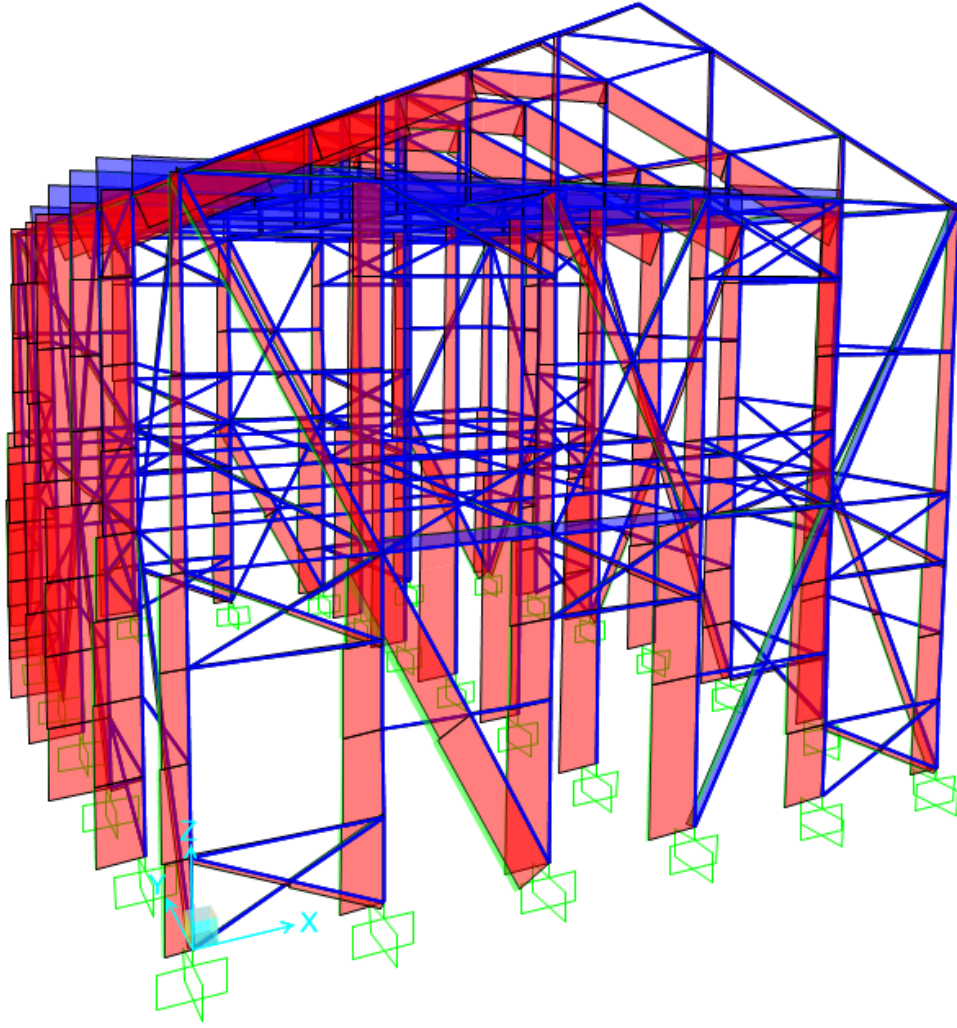
Direnç Sınıfı	Örnek Sayısı	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Standart Hata
C18	90	22,29	4,94	52,57	12,33	1,30
C24	90	23,22	4,95	54,51	12,97	1,37
C27	90	23,94	4,96	55,96	13,45	1,42
C35	90	24,61	4,99	57,42	13,97	1,47

Şekil 4.1’de tasarlanan yapıda kolonlara etkiyen eksenel kuvvetlerin gösterilmiş olduğu eksenel kuvvet diyagramı görülmektedir.

Malzeme direnç sınıfına göre grup ortalamalarının arasında farklılık olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan varyans analizinin sonucu Tablo 4.14’de görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre kullanılan malzeme sınıfının kolonlara etkiyen eksenel kuvvet üzerinde istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.14. Kolonlara etkiyen eksenel yüklere ait varyans analizi sonuçları.

Gruplar arası	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arası	266,085	3	88,695	,509	,676
Gruplar içi	61975,939	356	174,090		
Toplam	62242,024	359			



Şekil 4.1. Tasarlanan yapıya ait eksenel kuvvet diyagramı.

Kolon kotunun kolon üzerine etkileyen eksenel kuvvet üzerinde etkisi olup olmadığını araştırmak üzere tüm direnç sınıflarında bulunan zemin kotu ve 1. kat kolonlarının ortalamaları üzerinde yapılan istatistik sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler tablo 4.15'te sunulmuştur. Elde edilen verilere göre her kotta 4 farklı direnç sınıfı malzemeden eşit sayıda olmak üzere toplam 180 kolon üzerinde yapılan istatistik sonuçlarına göre zemin katta bulunan kolonlara ortalama 29,97 kN eksenel yük etki ederken, 1. katta bulunan kolonlara ortalama 17,06 kN eksenel yük etmiştir.

Tablo 4.15. Kolon kotunun kolon üzerine etkiyen eksenel kuvvete etkisine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri.

Kolon Kotu	Örnek Sayısı	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Standart Hata
Zemin Kotu	180	29,97	6,46	57,42	13,97105	1,04134
1. Kat	180	17,06	4,94	37,74	8,29298	,61812

Kolon kotunun kolon üzerine etkiyen eksenel kuvvet üzerine etkisini karşılaştırmak amacıyla yapılan analiz sonucunda elde edilen bulgular Tablo 4.16’da verilmiştir. Analiz sonucuna göre kolon üzerine etkiyen yük üzerinde kolon kotunun önemli derece etkili olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.16. Kolon kotunun etkiyen eksenel yük üzerine etkisine ait analiz sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arası	14992,539	1	14992,539	113,596	,000
Gruplar içi	47249,485	358	131,982		
Toplam	62242,024	359			

Kolonlar üzerine etkiyen eksenel kuvvette etkili olan ölü, hareketli ve toplam yük miktarını karşılaştırmak amacıyla yapılan analize ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.17’de görülmektedir. Tüm direnç sınıfındaki malzemelerle oluşturulan yapılardan elde edilen bulgulara göre ölü yüklerin ortalaması 24,74 kN iken en düşük 12,08 kN, en yüksek 42,80 olarak bulunmuştur. Hareketli yüklerin ortalaması 10,54 kN iken en düşük 4,94 kN, en yüksek 16,61 kN olarak tespit edilmiştir. Kolonlara etkiyen tüm yüklerin toplamında ise ortalama 35,28 kN iken en düşük 17,02 kN, en yüksek 57,42 kN olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.17. Yük Türü - Eksenel kuvvet arasındaki ilişkilerin tanımlayıcı istatistikleri.

Yük Türü	Örnek Sayısı	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Standart Hata
Ölü	120	24,74	12,08	42,80	8,31356	,75892
Hareketli	120	10,54	4,94	16,61	3,60569	,32915
Toplam	120	35,28	17,02	57,42	11,40680	1,04129

Yük türleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçları tablo 4.18’de sunulmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre kolonlara etkiyen yük türlerinin ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık bulunmaktadır.

Tablo 4.18. Kolonlara etkiyen yük türlerinin karşılaştırılması varyans analizi sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi ,000
Gruplar arası	36986,490	2	18493,245	261,412	
Gruplar içi	25255,534	357	70,744		
Toplam	62242,024	359			

Farklılığın kaynaklandığı grupları belirlemek amacıyla yapılan Duncan testinin sonu Tablo 4.19’da görülmektedir. Duncan testi sonuçlarına göre tüm grup ortalamaları arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.19. Kolonlara etkiyen yük türlerinin karşılaştırılması Duncan testi sonuçları.

Yük Türü	Örnek Sayısı	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Ölü	120	10,54		
Hareketli	120		24,74	
Toplam	120			35,28
Sig.		1,000	1,000	1,000

4.3.2. Kirişlere Ait Bulgular

Kirişlere etkiyen momentlerin malzeme direnç sınıfına göre araştırılması amacıyla yapılan istatistiklere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Tablo 4.20’de görülmektedir. SAP 2000 programından elde edilen bulgulara göre C18 malzemelere etkiyen ortalama eğilme momenti 4,65 N-mm iken en düşük eğilme momenti 0,28 N-mm, en yüksek eğilme momenti ise 17,82 N-mm olarak belirlenmiştir. C24 malzeme kullanılarak tasarlanan yapıda ise ortalama 4,67 N-mm, en düşük 0,29 N-mm, en yüksek 18,30 N-mm eğilme momenti olduğu tespit edilmiştir. C27 malzeme özelliklerinin kullanıldığı yapı tasarımında ise kirişler üzerine ortalama 4,77 N-mm eğilme momenti etki ederken en düşük 0,29 N-mm, en yüksek 18,65 N-mm eğilme momenti etki ettiği tespit edilmiştir. Son olarak C35 sınıfı malzemenin kullanıldığı yapı tasarımında kirişler üzerine ortalama 4,85 N-mm eğilme momenti etki ederken en düşük 0,31 N-mm, en yüksek 19,01 N-mm eğilme momenti olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.20. Malzeme direnç sınıfına göre kirişlere etkiyen momentlerin tanımlayıcı istatistikleri.

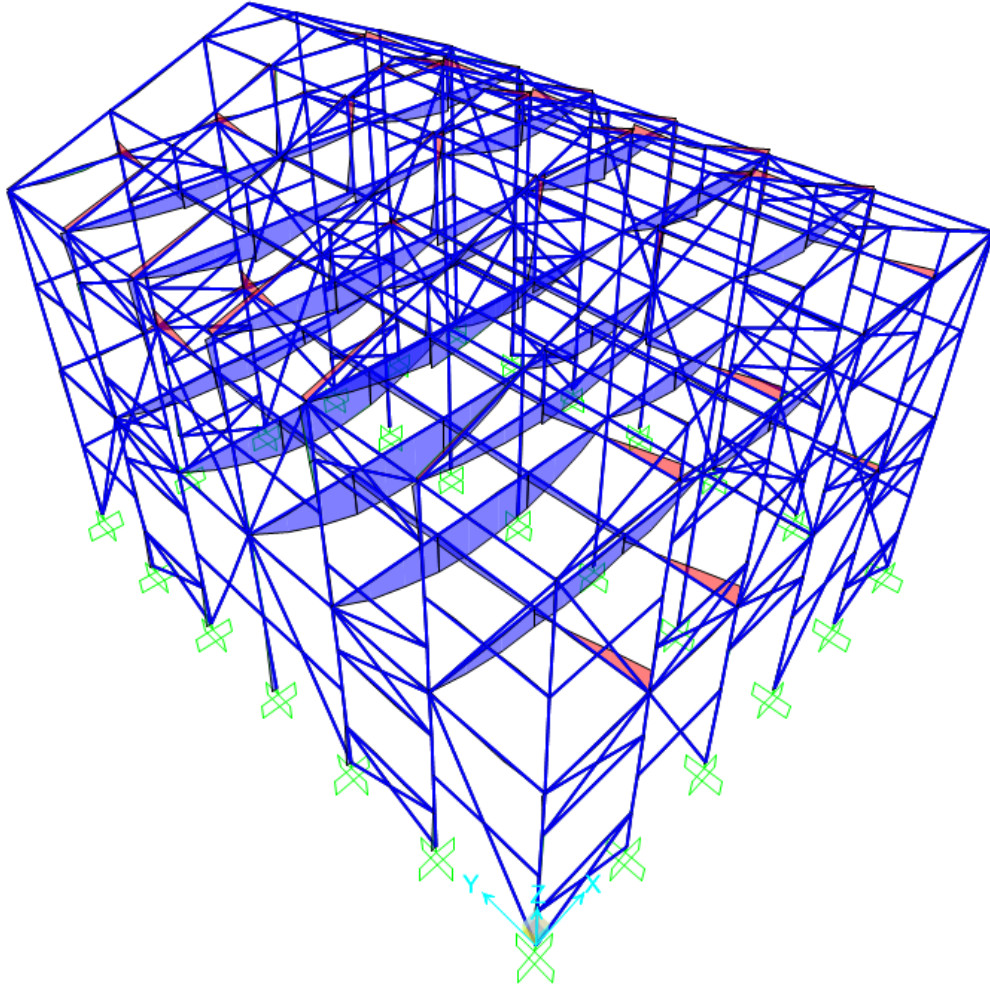
Direnç Sınıfı	Örnek Sayısı	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Standart Hata
C18	84	4,65	0,28	17,82	3,48648	,38
C24	84	4,67	0,29	18,30	3,63545	,40
C27	84	4,77	0,29	18,65	3,72912	,41
C35	84	4,85	0,31	19,01	3,80098	,41

Kirişler üzerine etkiyen eğilme momentlerine malzeme sınıfının etkisini araştırmak amacıyla varyans analizi yapılarak sonuçları tablo 4.21’de sunulmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre kirişler üzerine etkiyen momentler üzerinde malzeme sınıfının etkisi bulunmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.21. Kirişler üzerine etkiyen eğilme momentine malzeme sınıfının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arası	2,054	3	,685	,051	,985
Gruplar içi	4459,241	332	13,431		
Toplam	4461,296	335			

Şekil 4.2’de tasarlanan yapıda kirişlere etkiyen eğilme momentlerinin görüldüğü moment diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.2. Tasarlanan yapıya ait moment diyagramı.

Kirişler üzerine etkiyen eğilme momentlerine kirişin bulunduğu kotun etkisini araştırmak amacıyla yapılan istatistik analize ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.22’de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre ara kat kirişlerine ortalama 5,34 N-mm eğilme momenti etki ederken en düşük 0,25 N-mm, en yüksek 19,01 N-mm eğilme momenti etki etmiştir. Çatı altında bulunan kirişlere ortalama 4,13 N-mm eğilme momenti etki ederken en düşük 0,32 N-mm, en yüksek ise 10,66 N-mm eğilme momenti etki ettiği bulunmuştur.

Tablo 4.22. Eğilme momenti üzerine kiriş kotunun etkisi tanımlayıcı istatistikleri.

Kiriş Kotu	Örnek Sayısı	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Standart Hata
Ara Kat	168	5,34	,25	19,01	4,31716	,33308
Çatı Katı	168	4,13	,32	10,66	2,70943	,20904

Kirişler üzerine etkiyen eğilme momentinin üzerine kiriş kotunun etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizinin sonucu Tablo 4.23’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre kiriş üzerine etkiyen eğilme momenti üzerinde kiriş kotunun etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.23. Kirişler üzerine etkiyen eğilme momentine kiriş kotunun etkisi varyans analizi sonucu.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arası	122,816	1	122,816	9,455	,002
Gruplar içi	4338,480	334	12,989		
Toplam	4461,296	335			

Kiriş üzerine etkiyen eğilme momentlerine kiriş uzunluğunun etkisini araştırmak amacıyla yapılan istatistiksel analize ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.24’de görülmektedir. Buna göre 3 metre uzunluğundaki kirişlere ortalama 3,81 N-mm eğilme momenti etki ederken en düşük 0,32 N-mm, en yüksek 8,98 N-mm eğilme momenti etki etmiştir. 4,5 metre uzunluğundaki kirişlere ise ortalama 5,66 N-mm eğilme momenti etki ettiği en düşük 0,25 N-mm, en yüksek ise 19,01 N-mm eğilme momenti etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.24. Kiriş boyunun kiriş üzerine etkiyen eğilme momentine etkisi tanımlayıcı istatistikler.

Kiriş Boyu	Örnek Sayısı	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Standart Hata
3 metre	168	3,81	,32	8,98	2,44323	,18850
4.5 metre	168	5,66	,25	19,01	4,36217	,33655

Kiriş uzunluğunun kiriş üzerine etkiyen eğilme momentine etkisini araştırmak amacıyla yapılan varyans analizi sonucu tablo 4.25’de görülmektedir. Varyans analizinin sonucuna göre kiriş uzunluğunun kiriş üzerine etkiyen eğilme momenti üzerinde etkisi olduğu bulunmuştur.

Tablo 4.25. Kiriş uzunluğunun kiriş üzerine etkiyen eğilme momenti üzerine etkisi varyans analizi sonuçları.

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arası	286,650	1	286,650	22,934	,000
Gruplar içi	4174,646	334	12,499		
Toplam	4461,296	335			

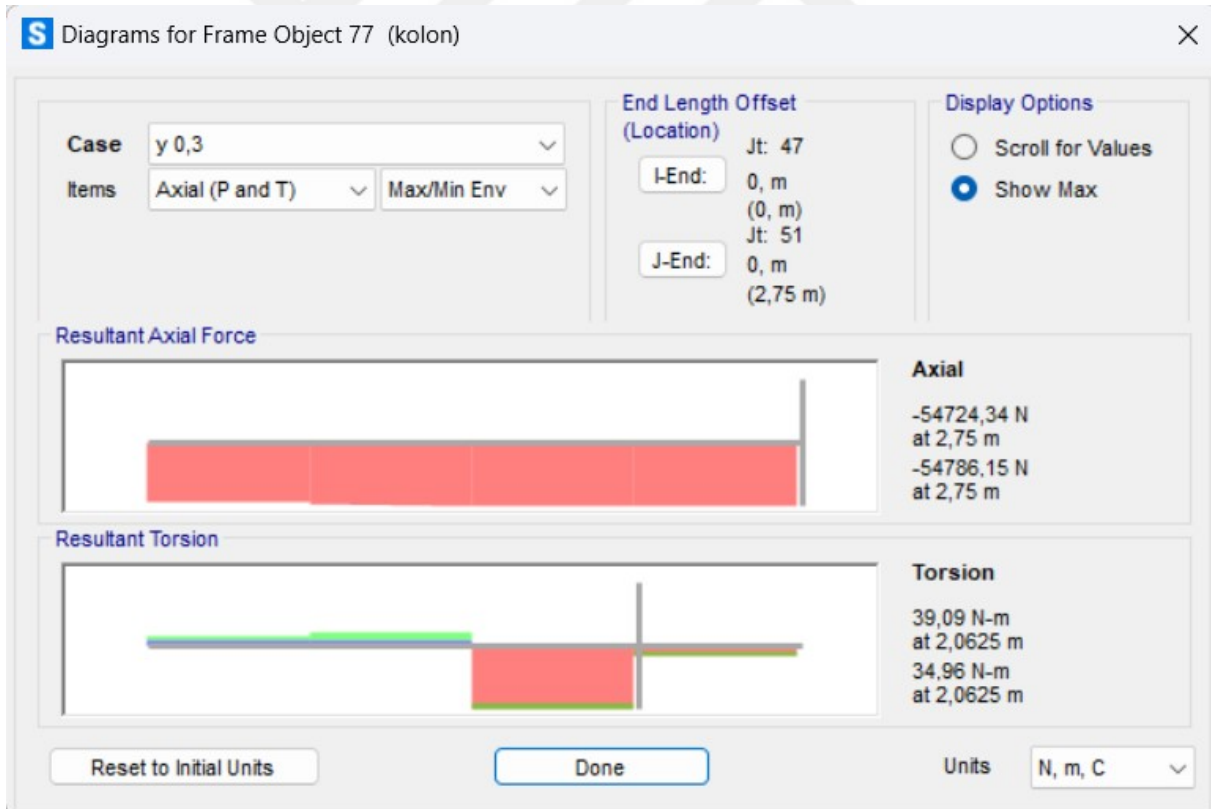
4.4. YAPI ELEMANLARININ HESAPLAMALARI

4.4.1. Kolon Hesapları

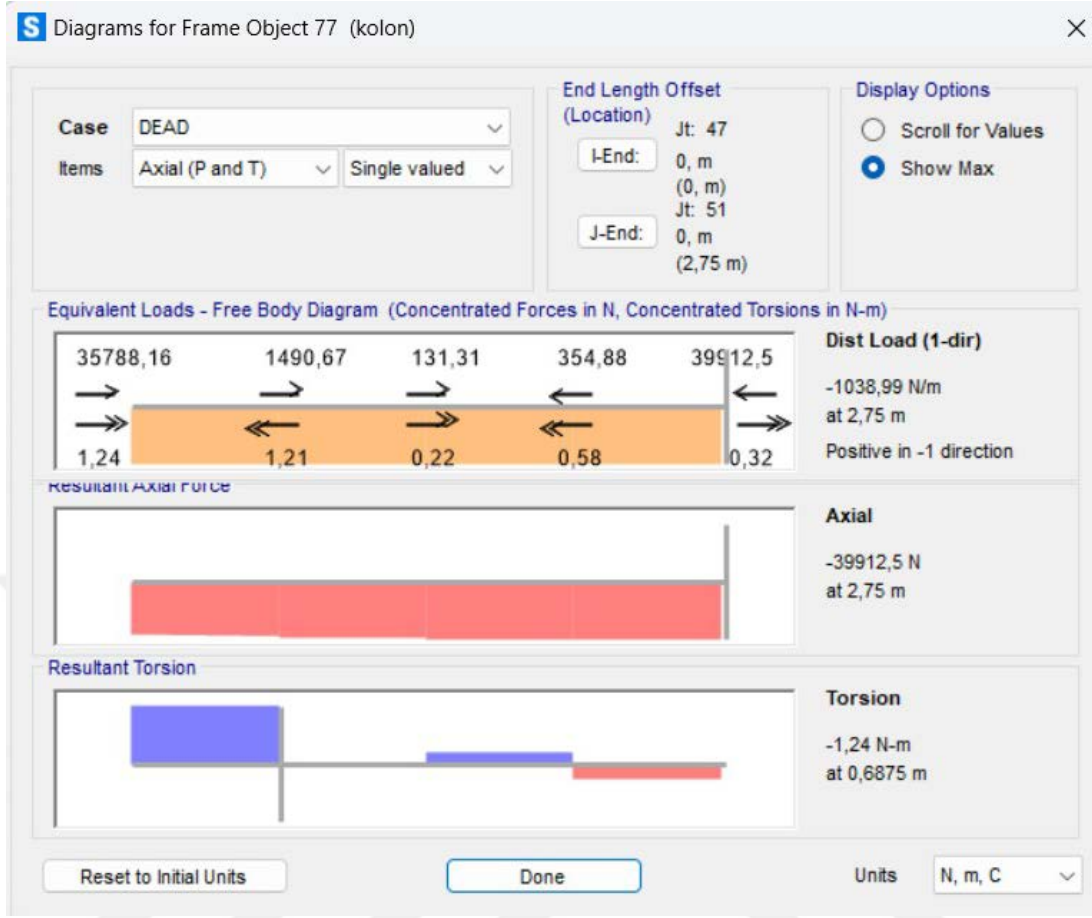
Kolonların tasarımında TS 647 ve TS EN 1995 standartlarına göre hesaplamalar yapılarak bu kısımda hesaplama adımları ile sunulmuştur. TS 647'ye göre değerlendirmelerde standart içerisinde verildiği şekilde malzeme sınıf sonuçları kullanılmıştır. TS EN 1995 standardına göre hesaplamalarda ise direnç sınıflarına göre karakteristik değerler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

4.4.1.1. 1. Sınıf Karaçam – C35 Direnç Sınıfındaki Malzemeler

1. sınıf karaçam / C35 direnç sınıfındaki malzemeler ile oluşturulmuş yapıdan elde edilen bulgulara göre en çok zorlanan kolona etkiyen toplam eksenel kuvvet 54,786 kN olarak belirlenmiş ve bu sınıfa ait hesaplamalar bu değer kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.3'de bu direnç sınıfına ait en çok zorlanan kolona ait toplam eksenel kuvvet diyagramı, Şekil 4.4'de ölü yüklerin oluşturduğu eksenel kuvvet diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.3. C35 direnç sınıfındaki kolonun toplam eksenel kuvvet diyagramı.



Şekil 4.4. C35 direnç sınıfındaki malzemenin ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme 1. Sınıf Karaçam
- Liflere paralel basınç gerilmesi $\sigma_{bem//} = 110 \text{ kgf/cm}^2$
- Kolona etkiyen en büyük eksenel kuvvet: 5586 kgf.

$$I = \frac{bd^3}{12} = 15 \times 15^3 / 12 = 4218,75 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4218,75}{225}} = 4,33 \text{ cm}^2$$

$$\lambda = L/i = 275/4.33 = 63.51$$

$$\omega = 1,72$$

$$\sigma_b = \frac{\omega \times N_{max}}{F} = 1,72 \times 5586 / 225 = 42,70 \text{ kgf/cm}^2$$

$\sigma_b = 42,70 \text{ kgf/cm}^2 < 110 \text{ kgf/cm}^2$ olduğundan dolayı kolonlar üzerine düşen yükü taşıyabilmektedir.

TS EN 1995 'e göre

- Malzeme kalite sınıfı C35
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- $f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,05} = 8700 \text{ N/mm}^2$
- $G = 39912 \text{ N}$ $Q = 14874 \text{ N}$

$$\lambda_z = \lambda_y = \frac{2750}{43,3} = 63,51$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 1,084$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 1,084$$

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olduğundan hesaplamalar $\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d}$ formülüne göre yapılmalıdır.

$$k_z = k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,2 (1,084 - 0,3) + 1,084^2 \right) = 1,17$$

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,17 + \sqrt{1,17^2 - 1,084^2}} = 0,62$$

$$N_d = 1,35 \times 39912 + 1,5 \times 14874 = 76192 \text{ N}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 76192 / 22500 = 3,39 \text{ N/mm}^2$$

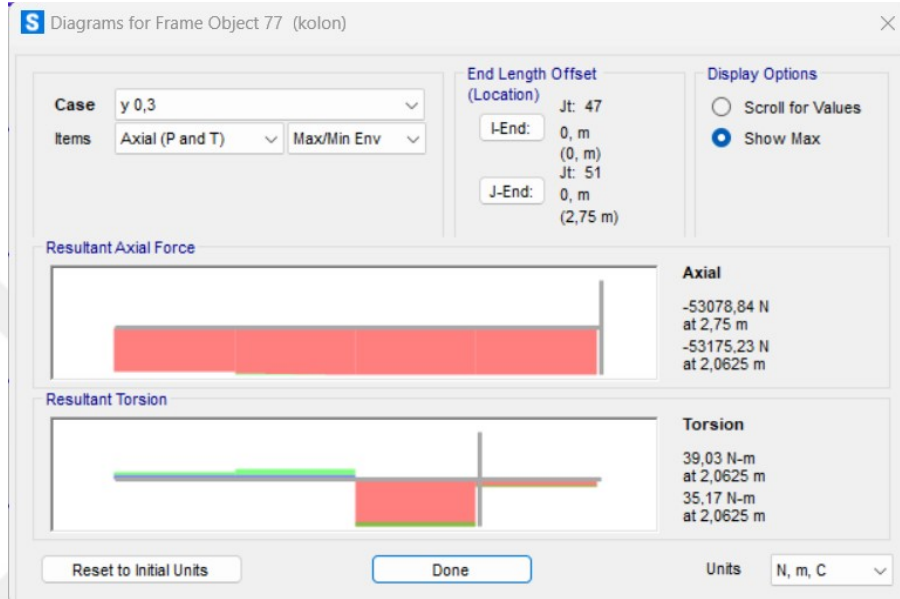
$$f_{c,0,d} = (0.8 \times 25) / 1.3 = 15,38 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 0.62 \times 15,38 = 9,54 \text{ N/mm}^2$$

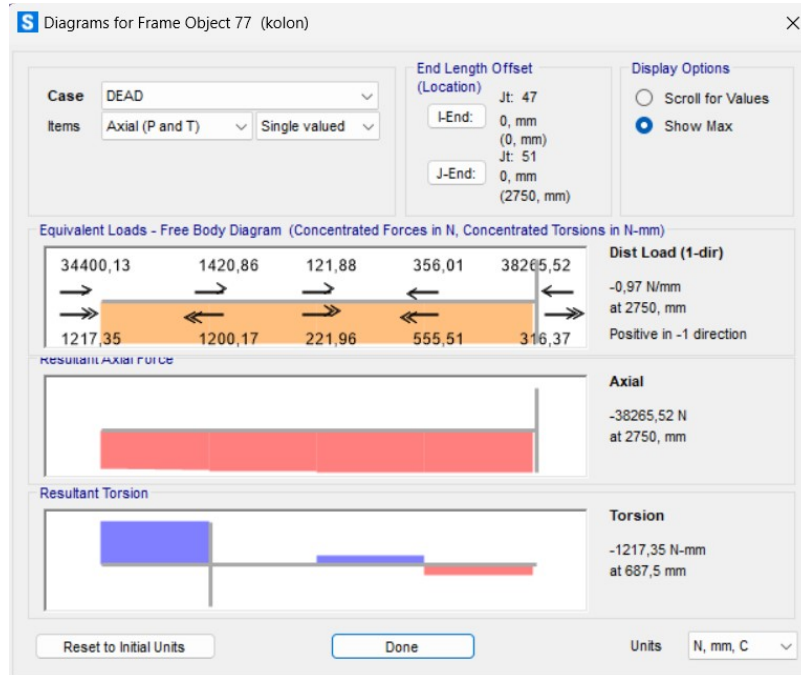
$\sigma_{c,0,d} = 3,39 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 9,54 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kolon üzerine etkiyen aksenal kuvveti güvenle taşımaktadır.

4.4.1.2. 1. Sınıf Gökna – C27 Direnç Sınıfındaki Malzemelere Ait Bulgular

1. sınıf gökna / C27 direnç sınıfındaki malzemeler ile oluşturulmuş yapıdan elde edilen bulgulara göre en çok zorlanan kolona etkiyen toplam eksenel kuvvet 53,175 kN olarak belirlenmiş ve bu sınıfa ait hesaplamalar bu değer kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.5’de en çok zorlanan kolona ait toplam eksenel kuvvet diyagramı, şekil 4.6’da kolon üzerine ölü yüklerin oluşturduğu eksenel kuvvet diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.5. C27 direnç sınıfındaki kolonun toplam eksenel yük diyagramı.



Şekil 4.6. C27 direnç sınıfındaki kolonun ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme 1. Sınıf Gökmar
- Liflere paralel basınç gerilmesi $\sigma_{bem//} = 110 \text{ kgf/cm}^2$
- Kolona etkiyen en büyük eksenel kuvvet: 5422 kgf.

$$I = \frac{bd^3}{12} = 15 \times 15^3 / 12 = 4218,75 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4218,75}{225}} = 4,33 \text{ cm}^2$$

$$\lambda = L/i = 275/4,33 = 63,51$$

$$\omega = 1,72$$

$$\sigma_b = \frac{\omega x N_{max}}{F} = 1,72 \times 5422 / 225 = 41,45 \text{ kgf/cm}^2$$

$\sigma_b = 41,45 \text{ kgf/cm}^2 < 110 \text{ kgf/cm}^2$ olduğundan dolayı kolonlar üzerine düşen yükü taşıyabilmektedir.

TS EN 1995'e göre:

- Malzeme kalite sınıfı C27
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0,8$
- $f_{c,0,k} = 22 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,05} = 7700 \text{ N/mm}^2$
- $G = 38265 \text{ N}$ $Q = 14910 \text{ N}$

$$\lambda_z = \lambda_y = \frac{2750}{43,3} = 63,51$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{22}{7700}} = 1,08$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{22}{7700}} = 1,08$$

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olduğundan hesaplamalar $\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d}$ formülüne göre yapılmalıdır.

$$k_z = k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,2 (1,08 - 0,3) + 1,08^2 \right) = 1,16$$

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,08^2}} = 0,63$$

$$N_d = 1,35 \times 38265 + 1,5 \times 14910 = 74509 \text{ N}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 74509 / 22500 = 3,31 \text{ N/mm}^2$$

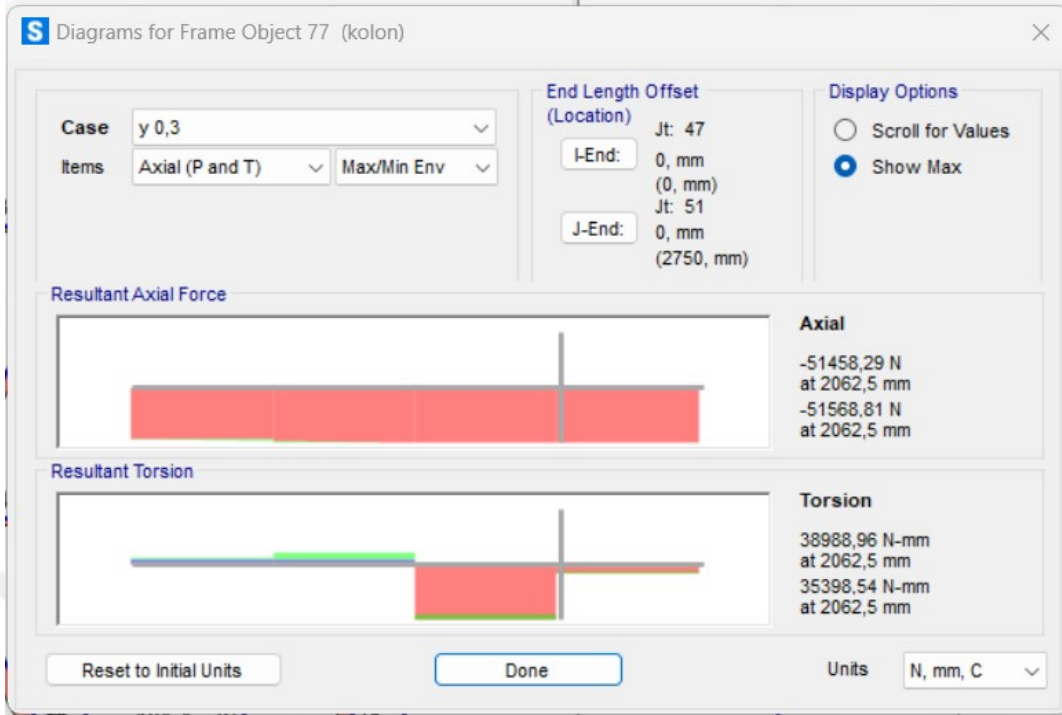
$$f_{c,0,d} = (0,8 \times 22) / 1,3 = 13,54 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 0,63 \times 13,54 = 8,53 \text{ N/mm}^2$$

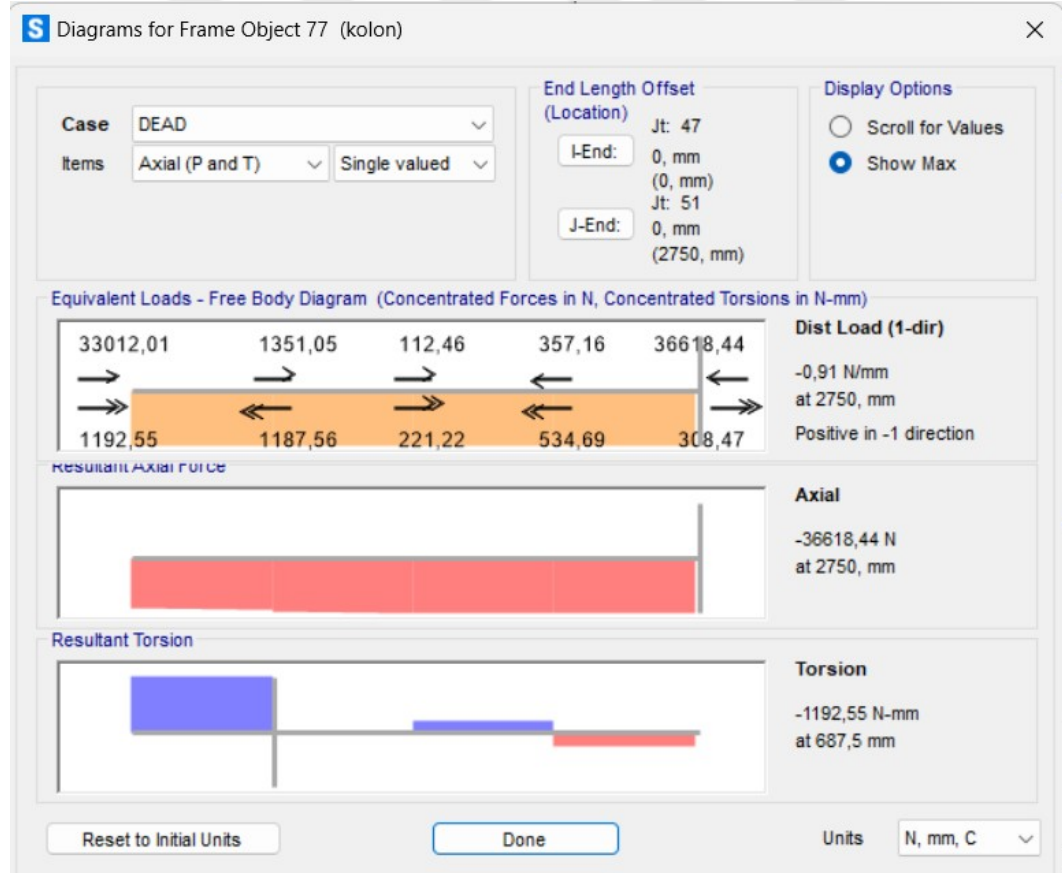
$\sigma_{c,0,d} = 3,31 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 8,53 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kolonlar üzerine etkiyen eksenel kuvveti güvenle taşımaktadır.

4.4.1.3. 2. Sınıf Göknar/Karaçam – C24 Direnç Sınıfındaki Malzemelere Ait Bulgular

2. sınıf göknar/karaçam - C24 direnç sınıfındaki malzemeler ile oluşturulmuş yapıdan elde edilen bulgulara göre en çok zorlanan kolona etkiyen toplam eksenel kuvvet 51,57 kN olarak belirlenmiş ve bu sınıfa ait hesaplamalar bu değer kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.7’de en çok zorlanan kolona ait toplam eksenel kuvvet diyagramı, şekil 4.8’de ölü yüklerin oluşturduğu eksenel kuvvet diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.7. C24 direnç sınıfındaki kolonun toplam eksenel yük diyagramı.



Şekil 4.8. C24 direnç sınıfındaki kolonun ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme 2. Sınıf Karaçam/Gökmar
- Liflere paralel basınç gerilmesi $\sigma_{bem//} = 85 \text{ kgf/cm}^2$
- Kolona etkiyen en büyük eksenel kuvvet: 5259 kgf.

$$I = \frac{bd^3}{12} = 15 \times 15^3 / 12 = 4218,75 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4218,75}{225}} = 4,33 \text{ cm}^2$$

$$\lambda = L/i = 275/4,33 = 63,51$$

$$\omega = 1,72$$

$$\sigma_b = \frac{\omega \times N_{max}}{F} = 1,72 \times 5259 / 225 = 40,2 \text{ kgf/cm}^2$$

$\sigma_b = 41,45 \text{ kgf/cm}^2 < 110 \text{ kgf/cm}^2$ olduğundan dolayı kolonlar üzerine düşen yükü taşıyabilmektedir.

TS EN 1995'e göre:

- Malzeme kalite sınıfı C24
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0,8$
- $f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$
- $G = 36618 \text{ N}$ $Q = 14950 \text{ N}$

$$\lambda_z = \lambda_y = \frac{2750}{43,3} = 63,51$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,08$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,08$$

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olduğundan hesaplamalar $\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d}$ formülüne göre yapılmalıdır.

$$k_z = k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,2 (1,08 - 0,3) + 1,08^2 \right) = 1,16$$

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,08^2}} = 0,63$$

$$N_d = 1,35 \times 36618 + 1,5 \times 14950 = 71859 \text{ N}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 71859 / 22500 = 3,19 \text{ N/mm}^2$$

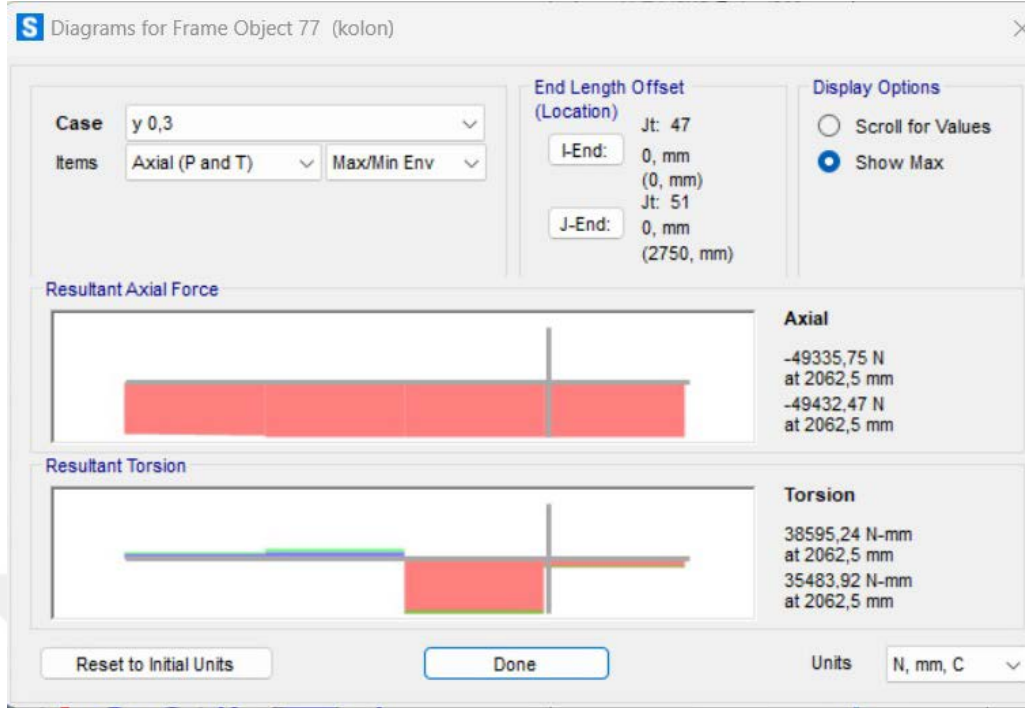
$$f_{c,0,d} = (0,8 \times 22) / 1,3 = 12,92 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 0,63 \times 12,92 = 8,14 \text{ N/mm}^2$$

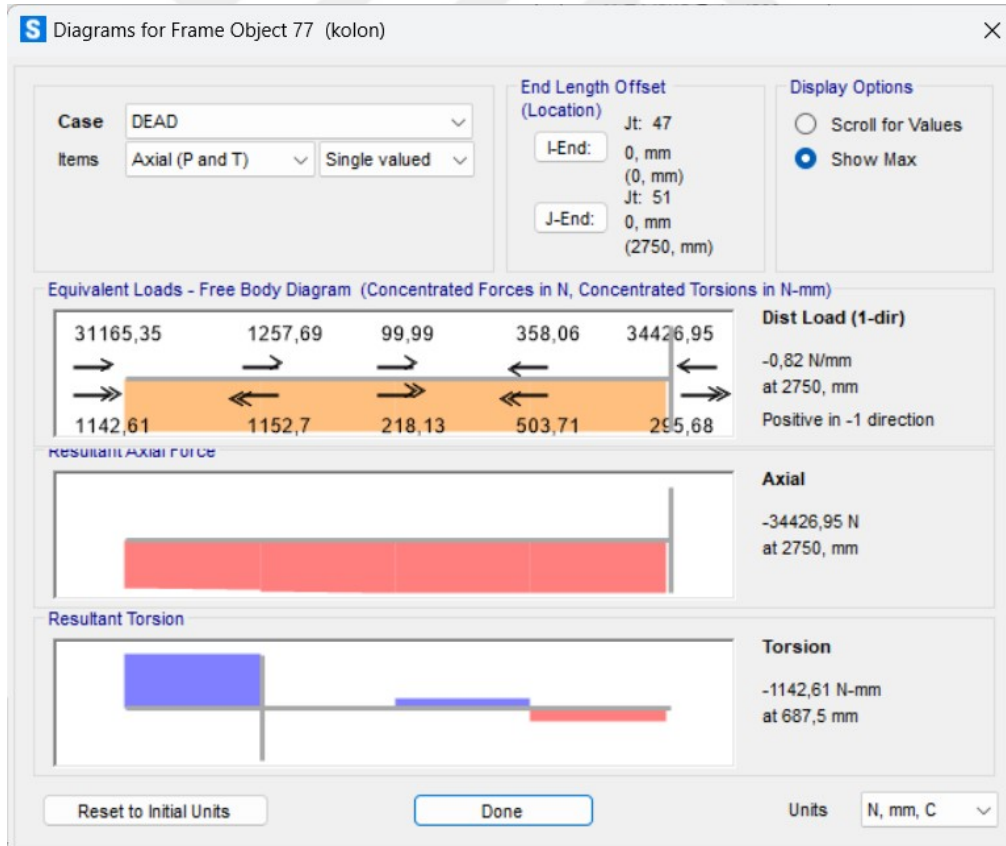
$\sigma_{c,0,d} = 3,19 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 8,14 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kolon üzerine etkiyen eksenel yükü güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.1.4. 3. Sınıf Göknaar/Karaçam – C18 Direnç Sınıfındaki Malzemelere Ait Bulgular

3. sınıf göknaar/karaçam - C18 direnç sınıfındaki malzemeler ile oluşturulmuş yapıdan elde edilen bulgulara göre en çok zorlanan kolona etkiyen toplam eksenel kuvvet 49,432 kN olarak belirlenmiş ve bu sınıfa ait hesaplamalar bu değer kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.9'da en çok zorlanan kolona ait toplam eksenel kuvvet diyagramı, Şekil 4.10'da en çok zorlanan kolona ait ölü yük eksenel kuvvet diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.9. C18 direnç sınıfındaki kolona ait toplam eksenel kuvvet diyagramı.



Şekil 4.10. C18 direnç sınıfındaki kolonun ölü yük eksenel kuvvet diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme 3. Sınıf Karaçam veya 3. Sınıf Gökmar
- Liflere paralel basınç gerilmesi $\sigma_{bem//} = 60 \text{ kgf/cm}^2$
- Kolona etkiyen en büyük eksenel kuvvet: 5040 kgf.

$$I = \frac{bd^3}{12} = 15 \times 15^3 / 12 = 4218,75 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4218,75}{225}} = 4,33 \text{ cm}^2$$

$\lambda = L/i = 275/4.33 = 63.51$ değeri tablodan kontrol edilerek ω değeri bulunmalıdır.

$$\omega = 1,72$$

$$\sigma_b = \frac{\omega x N_{max}}{F} = 1,72 \times 5040 / 225 = 38,53 \text{ kgf/cm}^2$$

$\sigma_b = 38,53 \text{ kgf/cm}^2 < 60 \text{ kgf/cm}^2$ olduğundan dolayı kolon üzerine düşen eksenel kuvveti güvenle taşımaktadır.

TS EN 1995'e göre:

- Malzeme kalite sınıfı C18
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- $f_{c,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,05} = 6000 \text{ N/mm}^2$
- $G = 34427 \text{ N}$ $Q = 15005 \text{ N}$

$$\lambda_z = \lambda_y = \frac{2750}{43,3} = 63,51$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{18}{6000}} = 1,11$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,51}{\pi} \sqrt{\frac{18}{6000}} = 1,11$$

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olduğundan hesaplamalar $\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d}$ formülüne göre yapılmalıdır.

$$k_z = k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,2 (1,11 - 0,3) + 1,11^2 \right) = 1,2$$

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,2 + \sqrt{1,2^2 - 1,11^2}} = 0,60$$

$$N_d = 1,35 \times 34427 + 1,5 \times 15005 = 68984 \text{ N}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 68984 / 22500 = 3,07 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = (0.8 \times 18) / 1.3 = 11,08 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 0.6 \times 11,08 = 6,65 \text{ N/mm}^2$$

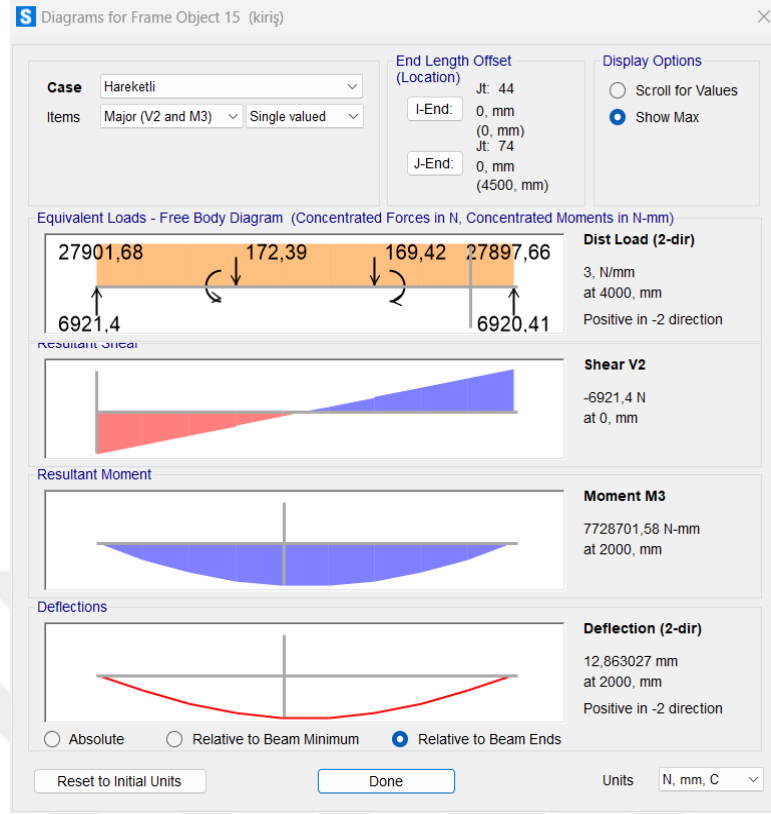
$\sigma_{c,0,d} = 3,07 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d} = 6,65 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kolon üzerine etkiyen eksenel kuvveti güvenle taşımaktadır.

4.4.2. Kiriş Hesapları

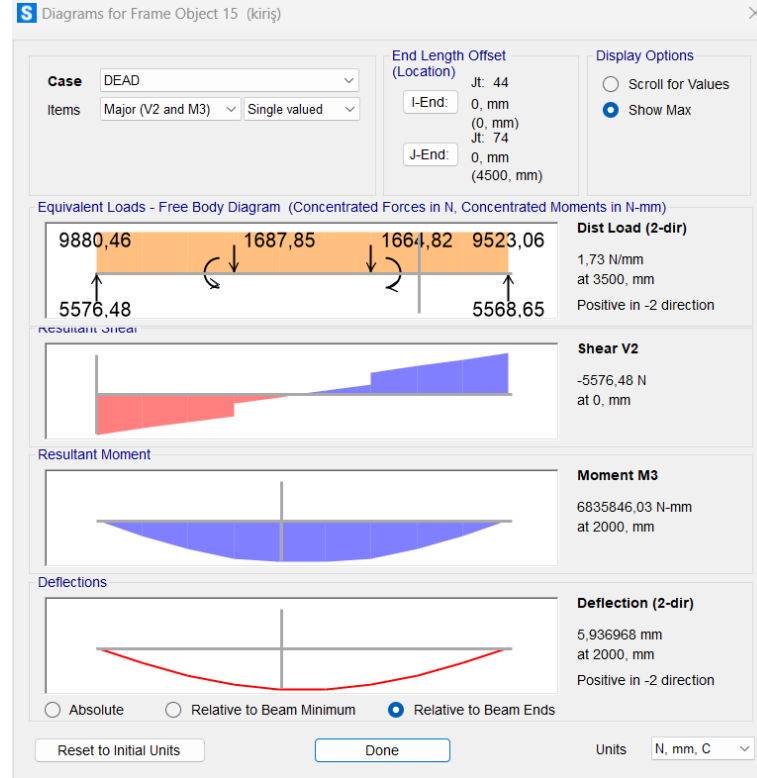
Bu kısımda TS 647 ve TS EN 1995 standartlarına göre SAP2000 programından elde edilen değerler kullanılarak yapılan hesaplamalar türe ve direnç sınıfına göre sunulmuştur.

4.4.2.1. 1. Sınıf Karaçam – C35 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

1. sınıf karaçam veya C35 direnç sınıfına ait yapısal analizden elde edilen en çok zorlanan kirişe etkiyen yüklere ait bulgular hareketli yükler için Şekil 4.11'de, ölü yükler için Şekil 4.12'de görülmektedir. Buna göre en yüksek hareketli yük 3 N/mm olarak belirlenmiştir. En çok zorlanan kirişte oluşan ölü yük ise 1,73 N/mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. C35 - 1. sınıf karaçam kerestesi hareketli yük diyagramı.



Şekil 4.12. C35 - 1. sınıf karaçam kerestesi ölü yük diyagramı.

Elde olunan bulgulara göre TS 647 ve Eurocode 5 standartlarına göre hesaplamalar aşağıda gösterildiği şekilde yapılmıştır.

TS 647'ye göre:

- Malzeme 1. Sınıf Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü E_L : 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 130 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\zeta em}$): 105 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{bem//}$): 110 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri σ_{bemL} : 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Kiriş en kesiti: 15x25 cm
- Kiriş açıklığı: 450 cm
- Kiriş üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,83 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,83 \times 450^2/8 = 122259 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 15 \times 25^2 / 6 = 1562,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{122259}{1562,5} = 78,24 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 78,24 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 130 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kiriş üzerine etkiyen eğme gerilmesini güvenle taşımaktadır.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,83 \times 450 / 2 = 1086,75 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 1086,75}{2 \times 15 \times 25} = 4,35 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 4,35 \text{ kg/cm}^2 \leq \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kiriş kayma gerilmesi etkilerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 19531,25 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 122259 \times 450^2}{48 \times 100000 \times 19531,25} = 1,32 \text{ cm}$$

$$l/300 = 450/300 = 1,5 \text{ cm}$$

1,32 cm < 1,5 cm olduğundan dolayı kiriş üzerinde oluşan deformasyonu güvenle karşılayabilmektedir.

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C35
- $f_{m,k} = 35 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 3,4 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 13 kN/mm^2
- Kiriş en kesit ölçüleri: 150 x 250 mm
- Kiriş Uzunluğu: 4500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): 3 N/mm
- Ölü yük (G): 1,73 N/mm

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 1,73 + 1,5 \times 3 = 6,83 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 1562500 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 17288437,5 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 17288437,5/1562500 = 11,06 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{35}{1,3} = 21,54 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 11,06 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 21,54 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen eğme gerilmesini güvenle taşımaktadır.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,83 \times 4500}{2} = 15367,5 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \times 15367,5}{2 \times 150 \times 250} = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{3,4}{1,3} = 2,09 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 2,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılamaktadır.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{\text{inst}} = W_{\text{inst, g}} + W_{\text{inst, q}} \leq l/300$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 195312500$$

$$W_{\text{inst, g}} = \frac{5xGl^4}{384xE_{0,mean}I} = \frac{5 \times 1,73 \times 4500^4}{384 \times 13000 \times 195312500} = 3,64 \text{ mm}$$

$$W_{\text{inst, q}} = \frac{5xQl^4}{384xE_{0,mean}I} = \frac{5 \times 3 \times 4500^4}{384 \times 13000 \times 195312500} = 6,31 \text{ mm}$$

$W_{\text{inst}} = W_{\text{inst, g}} + W_{\text{inst, q}} = 3,64 + 6,31 = 9,95 \text{ mm} < 15 \text{ mm}$ olduğundan anlık sehim limiti aşılmamaktadır.

Nihai sehım kontrolü:

$$W_{fin} = W_{inst,g}(1+k_{def}) + W_{inst,q}(1+\psi_{2,1}k_{def}) \leq l/150$$

$$W_{fin} = W_{inst,g}(1+k_{def}) + W_{inst,q}(1+\psi_{2,1}k_{def}) = 3,64 \times (1+0,8) + 6,31(1+0,3 \times 0,8) = 14,38 \text{ mm}$$

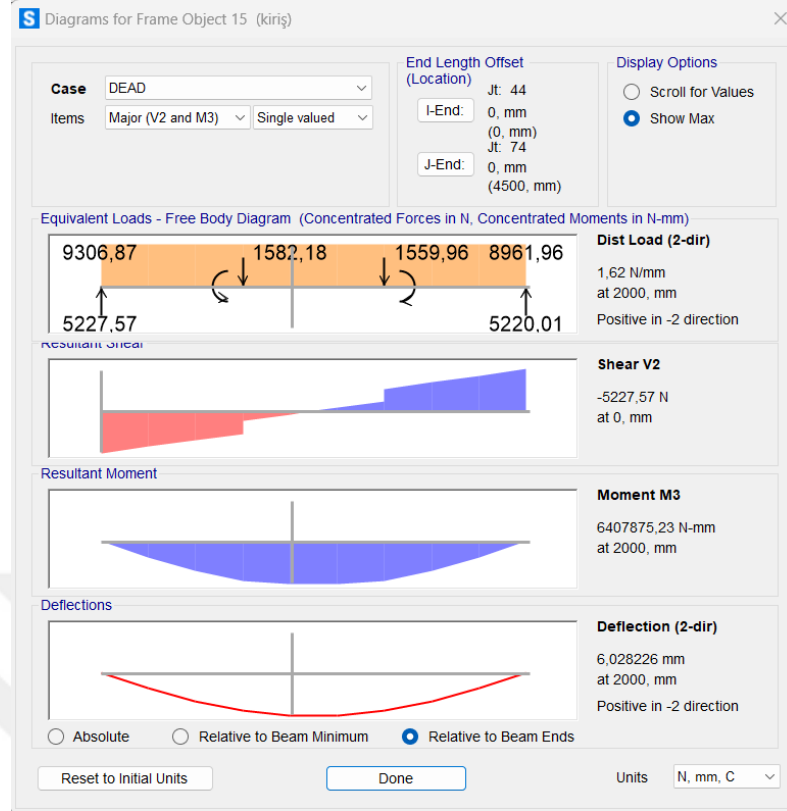
$W_{fin} = 14,38 \text{ mm} < l/150 = 30 \text{ mm}$ olduğundan kiriş nihai deformasyonu karşılamaktadır.

4.4.2.2. 1. Sınıf Gökner – C27 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

1. sınıf gökner veya C27 direnç sınıfına ait yapısal analizden elde edilen en çok zorlanan kiriş etkiyen yüklere ait bulgular hareketli yükler için Şekil 4.13’de, ölü yükler için şekil 4.14’te görülmektedir. Buna göre en yüksek hareketli yük 3 N/mm olarak belirlenmiştir. En çok zorlanan kirişte oluşan en yüksek ölü yük ise 1,62 N/mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. C27 kiriş hareketli yük diyagramı.



Şekil 4.14. C27 kiriş ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme 1. Sınıf Gökmar
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{em}): 130 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 105 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{\text{bem//}}$): 110 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{\text{bem}\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Kiriş en kesiti: 15x25 cm
- Kiriş açıklığı: 450 cm
- Kiriş üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,72 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,72 \times 450^2/8 = 119475 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 15 \times 25^2 / 6 = 1562,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{119475}{1562,5} \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_e = 76,46 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 130 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenli taşımaktadır.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,72 \times 450 / 2 = 1062 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 1062}{2 \times 15 \times 25} = 4,25 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 4,25 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 19531,25 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 119475 \times 450^2}{48 \times 100000 \times 19531,25} = 1,29 \text{ cm} < l/300 = 1,5 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C27
- $f_{m,k} = 27 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,8 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 12 kN/mm^2
- Kiriş en kesit ölçüleri: $150 \times 250 \text{ mm}$
- Kiriş Uzunluğu: 4500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)

- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): 3 N/mm
- Ölü yük (G): 1,62 N/mm

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \cdot 1,62 + 1,5 \cdot 3 = 6,69 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 1562500 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 16934062,5 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 16934062,5 / 1562500 = 10,84 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{27}{1,3} = 16,61 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 10,84 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 16,61 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle taşıyabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,69 \cdot 4500}{2} = 15052,5 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 15052,5}{2 \cdot 150 \cdot 250} = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2,8}{1,3} = 1,72 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen makaslama gerilmelerini güvenle karşılamaktadır.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/300$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 195312500 \text{ mm}^3$$

$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x1,73x4500^4}{384x12000x195312500} = 3,69 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x3x4500^4}{384x12000x195312500} = 6,83 \text{ mm}$$

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 3,64 + 6,31 = 10,52 \text{ mm} < 15 \text{ mm}$$

Nihai sehim kontrolü:

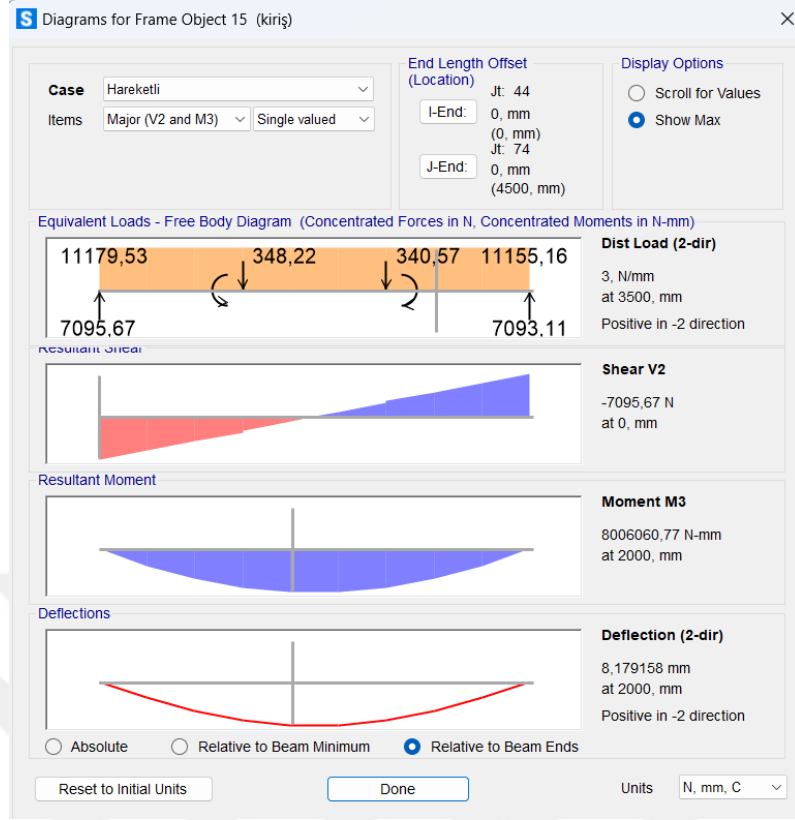
$$W_{fin} = W_{inst, g}(1+k_{def}) + W_{inst, q}(1+\psi_{2,1}xk_{def}) \leq l/150$$

$$W_{fin} = W_{inst, g}(1+k_{def}) + W_{inst, q}(1+\psi_{2,1}xk_{def}) = 3,69 x(1+0,8) + 6,83(1+0,3*0,8) = 15,11 \text{ mm}$$

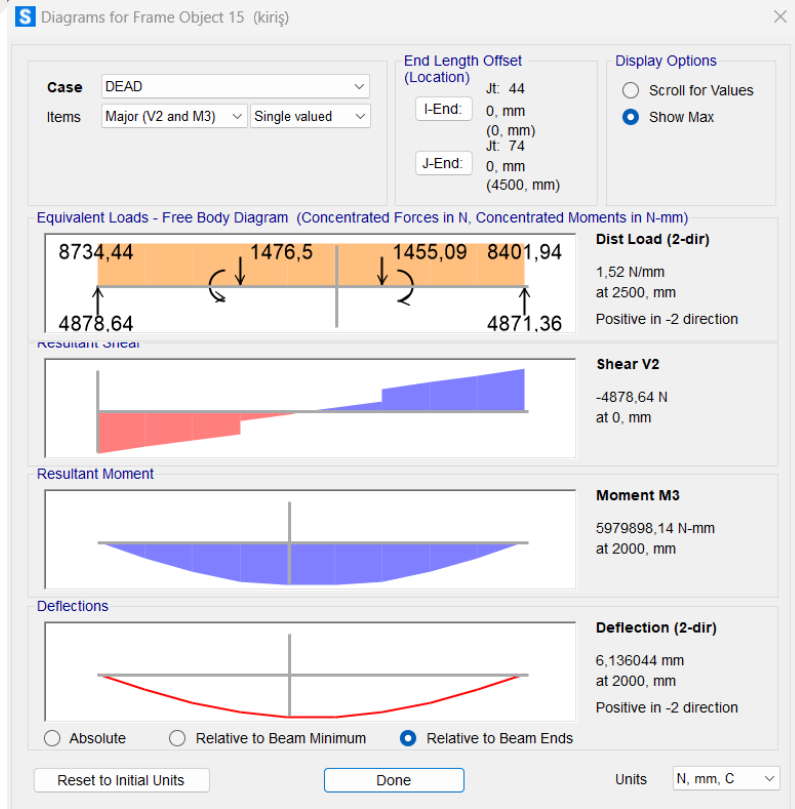
$$W_{fin} = 15,11 \text{ mm} < l/150 = 30 \text{ mm}$$

4.4.2.3. 2. Sınıf Karaçam/Gökna – C24 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

2. sınıf karaçam/gökna veya C24 direnç sınıfına ait yapısal analizden elde edilen en çok zorlanan kirişe etkiyen yüklere ait bulgular hareketli yükler için Şekil 4.15’de, ölü yükler için Şekil 4.16’da görülmektedir. Buna göre en yüksek hareketli yük 3 N/mm olarak belirlenmiştir. En çok zorlanan kirişte oluşan en yüksek ölü yük ise 1,52 N/mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. C24 kiriş hareketli yük diyagramı.



Şekil 4.16. C24 kiriş ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 2. Sınıf Göknaar/Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 100 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 85 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{\text{bem//}}$): 85 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{\text{bem}\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Kiriş en kesiti: 15x25 cm
- Kiriş açıklığı: 450 cm
- Kiriş üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,61 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,61 \times 450^2 / 8 = 116690,63 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 15 \times 25^2 / 6 = 1562,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{116690,63}{1562,5} \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 74,68 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 100 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle taşımaktadır.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,61 \times 450 / 2 = 1037 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 1037}{2 \times 15 \times 25} = 4,15 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 4,15 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kiriş üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 19531,25 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 116690,63 \times 450^2}{48 \times 100000 \times 19531,25} = 1,26 \text{ cm} < l/300 = 1,5 \text{ cm}$$

Kiriş maruz kaldığı deformasyonu güvenle karşılayabilmektedir.

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C24
- $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 11 kN/mm^2
- Kiriş en kesit ölçüleri: $150 \times 250 \text{ mm}$
- Kiriş Uzunluğu: 4500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0,8$
- Hareketli Yük(Q): 3 N/mm
- Ölü yük (G): $1,52 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 1,52 + 1,5 \times 3 = 6,55 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 1562500 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 16579687,5 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 16579687,5 / 1562500 = 10,61 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 10,61 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 14,77 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle taşıyabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,52 \times 4500}{2} = 14670 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \times 14670}{2 \times 150 \times 250} = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2,5}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen kayma gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst,g} + W_{inst,q} \leq l/300$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 195312500 \text{ mm}^3$$

$$W_{inst,g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x1,52x4500^4}{384x11000x195312500} = 3,78 \text{ mm}$$

$$W_{inst,q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x3x4500^4}{384x11000x195312500} = 7,45 \text{ mm}$$

$$W_{inst} = W_{inst,g} + W_{inst,q} = 3,78 + 7,45 = 11,23 \text{ mm} < 15 \text{ mm}$$

Nihai sehim kontrolü:

$$W_{fin} = W_{inst,g}(1+k_{def}) + W_{inst,q}(1+\psi_{2,1}xk_{def}) \leq l/150$$

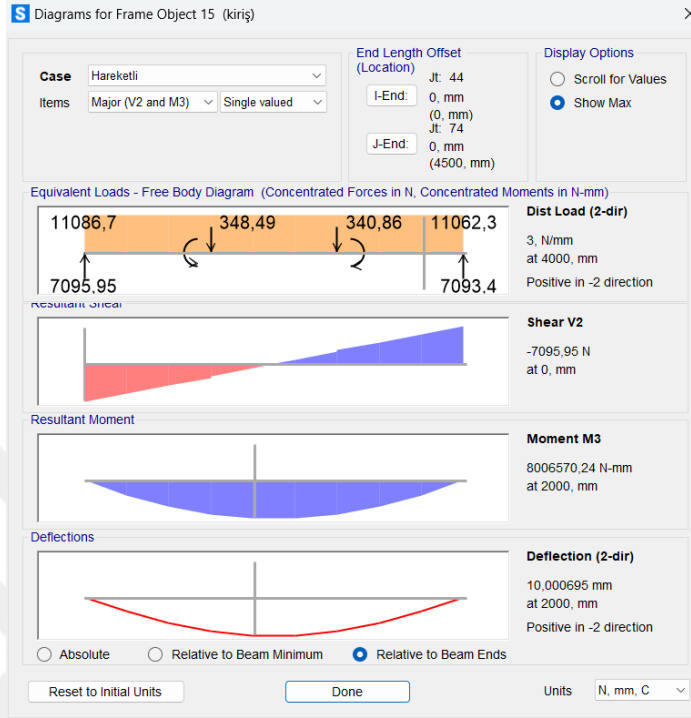
$$W_{fin} = W_{inst,g}(1+k_{def}) + W_{inst,q}(1+\psi_{2,1}xk_{def}) = 3,78 x(1+0,8) + 7,45(1+0,3*0,8) = 13,32 \text{ mm}$$

$$W_{fin} = 13,32 \text{ mm} < l/150 = 30 \text{ mm}$$

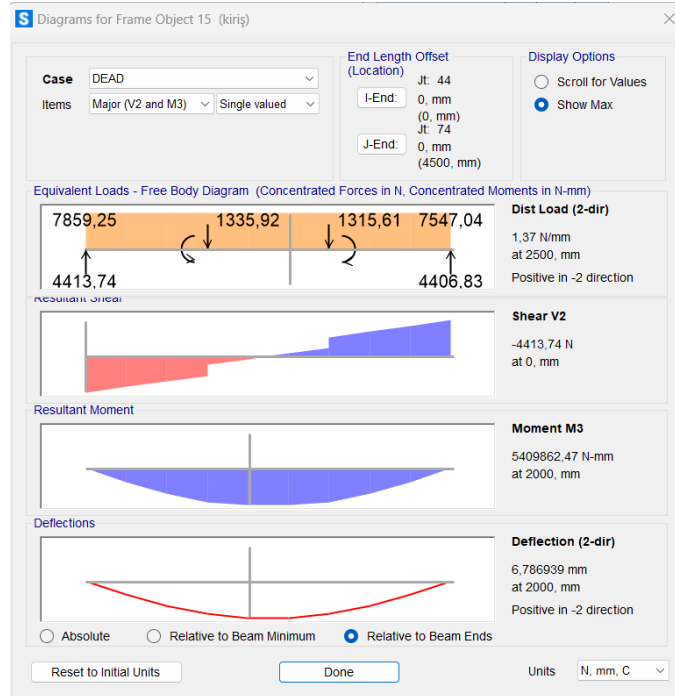
4.4.2.4. 3. Sınıf Karaçam/Göknaar – C18 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

2. sınıf karaçam/göknaar veya C18 direnç sınıfına ait yapısal analizden elde edilen en çok zorlanan kirişe etkiyen yüklere ait bulgular hareketli yükler için Şekil 4.17’de, ölü yükler için

şekil 4.18’de görülmektedir. Buna göre en yüksek hareketli yük 3 N/mm olarak belirlenmiştir. En çok zorlanan kirişte oluşan en yüksek ölü yük ise 1,52 N/mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.17.C18 kiriş hareketli yük diyagramı.



Şekil 4.18. C18 kiriş ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 3. Sınıf Göknaar/Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 70 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 0 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{\text{bem//}}$): 60 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{\text{bem}\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Kiriş en kesiti: 15x25 cm
- Kiriş açıklığı: 450 cm
- Kiriş üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,46 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,46 \times 450^2 / 8 = 112893,75 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 15 \times 25^2 / 6 = 1562,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{112893,75}{1562,5} \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 72,25 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_{eem} = 70 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kesit arttırılmalıdır.

15 x 26 kesitlerinde kiriş kullanıldığı durumda;

$$W = bh^2/6 = 15 \times 26^2 / 6 = 1690 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{112893,75}{1690} = 66,8 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 66,80 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 70 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmesini 15x26 en kesiti ile güvenle taşıyabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,46 \times 450 / 2 = 1003,5 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 1003,5}{2 \times 15 \times 26} = 3,86 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 3,86 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kiriş üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 21970 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 112893,75 \times 450^2}{48 \times 100000 \times 21970} = 1,08 \text{ cm} < l/300 = 1,5 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C18
- $f_{m,k} = 18 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 9 kN/mm^2
- Kiriş en kesit ölçüleri: $150 \times 250 \text{ mm}$
- Kiriş Uzunluğu: 4500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): 3 N/mm
- Ölü yük (G): $1,37 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 1,37 + 1,5 \times 3 = 6,35 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 1562500 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 16073437,5 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 16579687,5 / 1562500 = 10,29 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d}=0,8 \frac{18}{1,3} = 11,07 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d}=10,29 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 11,07 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,35 \cdot 4500}{2} = 14287,5 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 14287,5}{2 \cdot 150 \cdot 250} = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2}{1,3} = 1,23 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/300$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 195312500 \text{ mm}^3$$

$$W_{inst, g} = \frac{5xGl^4}{384xE_{0,mean}I} = \frac{5 \cdot 1,37 \cdot 4500^4}{384 \cdot 9000 \cdot 195312500} = 4,16 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQl^4}{384xE_{0,mean}I} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 4500^4}{384 \cdot 9000 \cdot 195312500} = 9,11 \text{ mm}$$

$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 4,16 + 9,11 = 13,27 \text{ mm} < 15 \text{ mm}$ kiriş üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

Nihai sehim kontrolü:

$$W_{fin} = W_{inst,g}(1+k_{def}) + W_{inst,q} (1+ \psi_{2,1}k_{def}) \leq l/150$$

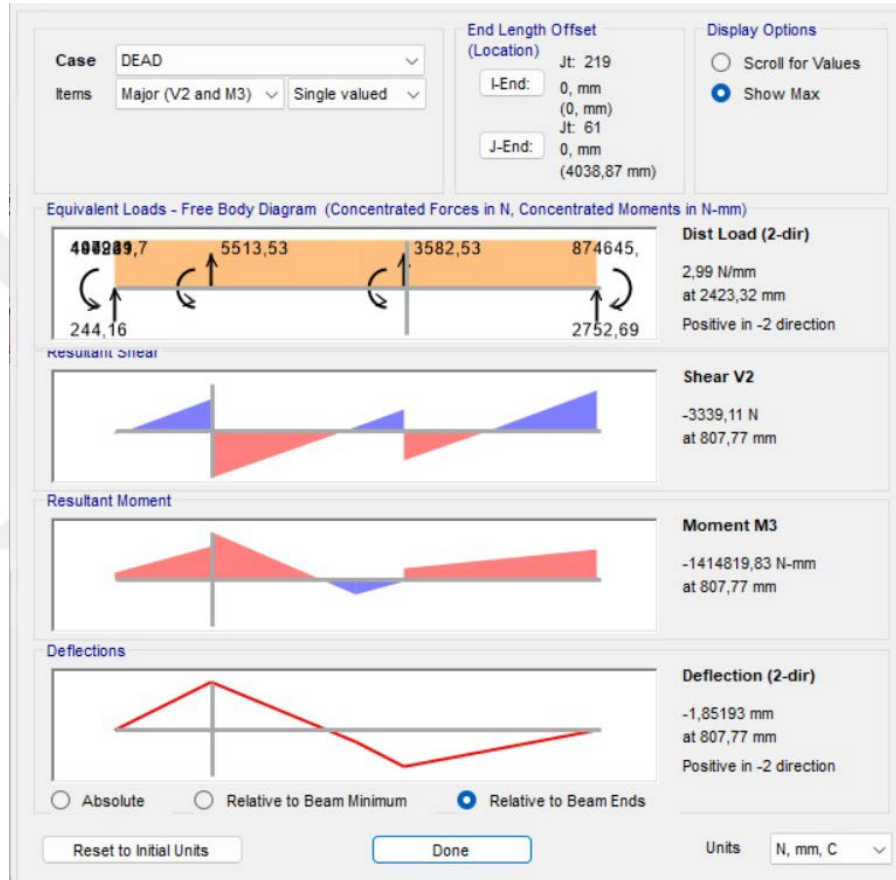
$$W_{fin} = W_{inst,g}(1+k_{def}) + W_{inst,q} (1+ \psi_{2,1}k_{def}) = 4,16 \cdot (1+0,8) + 9,11 \cdot (1+0,3 \cdot 0,8) = 18,78 \text{ mm}$$

$W_{fin} = 18,78 \text{ mm} < l/150 = 30 \text{ mm}$ olduğundan dolayı kiriş üzerine etkiyen nihai deformasyonu güvenle taşımaktadır.

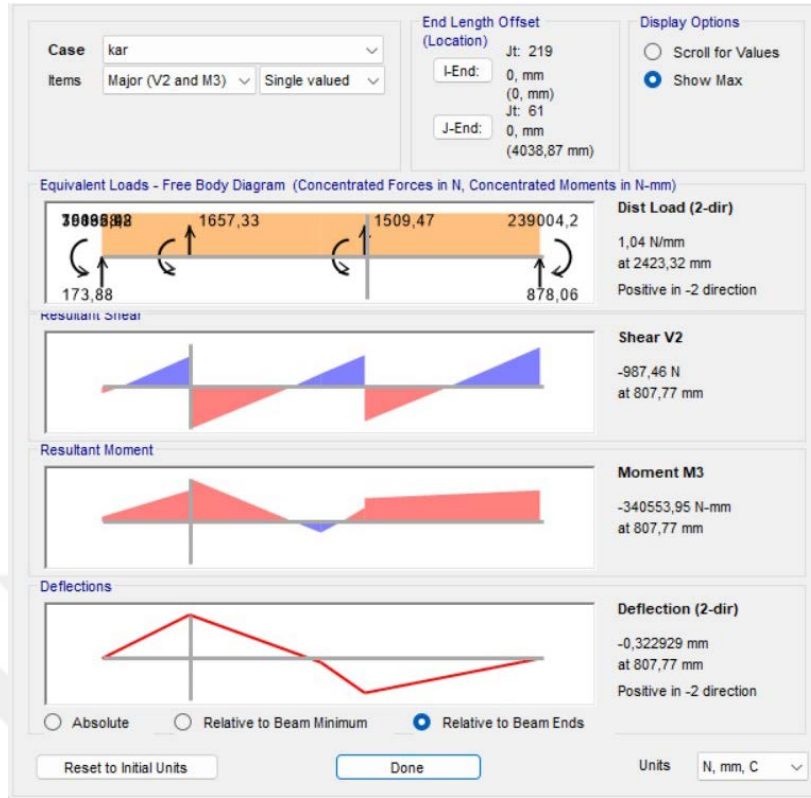
4.4.3. Mertek Hesapları

4.4.3.1. 1. Sınıf Karaçam - C35 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

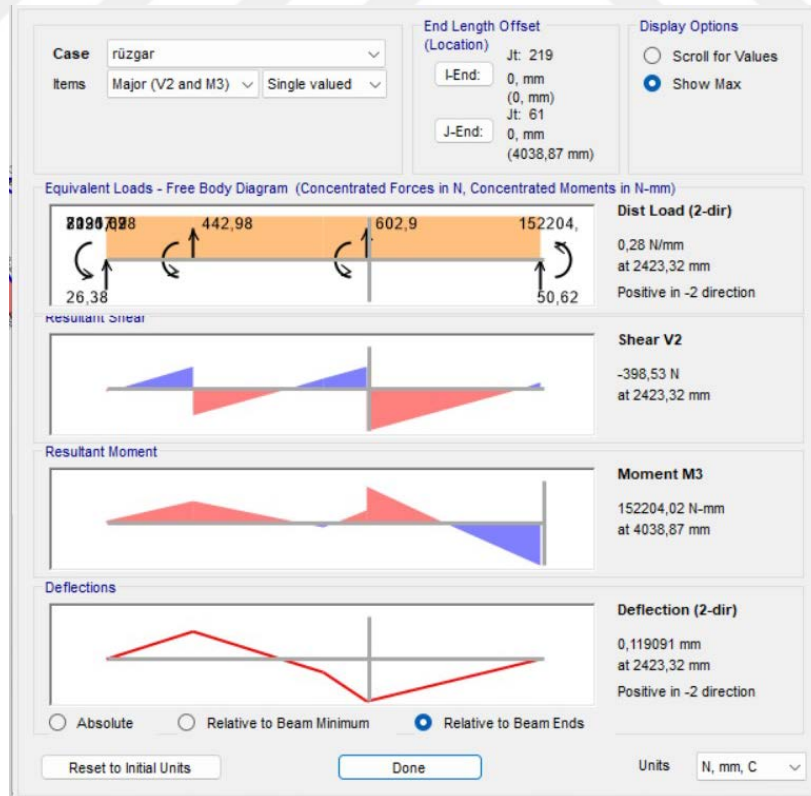
Bu direnç sınıfındaki malzemenin kullanıldığı yapıda en çok zorlanan merteğe etkiyen yükler şekil 4.19 – şekil 4.21’de görülmektedir. Elde edilen verilere göre en çok zorlanan mertek üzerine 2,99 N/mm ölü yük etki ederken, 1,04 N/mm kar yükü ve 0,28 N/mm rüzgar yükü etki etmektedir. Mertekler üzerine etkiyen toplam hareketli yük 1,32 N/mm olarak belirlenmiş ve hesaplamalar bu değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.19. C35 Mertek ölü yük diyagramı.



Şekil 4.20. C35 mertek kar yükü diyagramı.



Şekil 4.21. C35 mertek rüzgar yükü diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 1. Sınıf Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 130 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\zeta em}$): 105 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{bem//}$): 110 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{bem\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Mertek en kesiti: 10x10 cm
- Mertek açıklığı: 162 cm
- Mertek üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,39 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,39 \times 162^2/8 = 14401,4 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 10^2 / 6 = 166,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{14401,4}{166,67} = 86,41 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 86,41 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 130 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,39 \times 162 / 2 = 355,59 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 355,59}{2 \times 10 \times 10} = 5,33 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 5,33 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 833,33 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 14401,4 \times 162^2}{48 \times 100000 \times 833,33} = 0,47 \text{ cm} < l/200 = 0,81 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C35
- $f_{m,k} = 35 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 3,4 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 13 kN/mm^2
- Mertek en kesit ölçüleri: $100 \times 100 \text{ mm}$
- Mertek Uzunluğu: 1620 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0,8$
- Hareketli Yük(Q): $1,32 \text{ N/mm}$
- Ölü yük (G): $2,99 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 2,99 + 1,5 \times 1,32 = 6,02 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 166666,7 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1974861 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1974861 / 166666,7 = 11,85 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{35}{1,3} = 21,54 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 11,85 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 21,54 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,02 \cdot 1620}{2} = 4876,2 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 4876,2}{2 \cdot 100 \cdot 100} = 0,73 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{3,4}{1,3} = 2,09 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 2,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 8333333,34 \text{ mm}^3$$

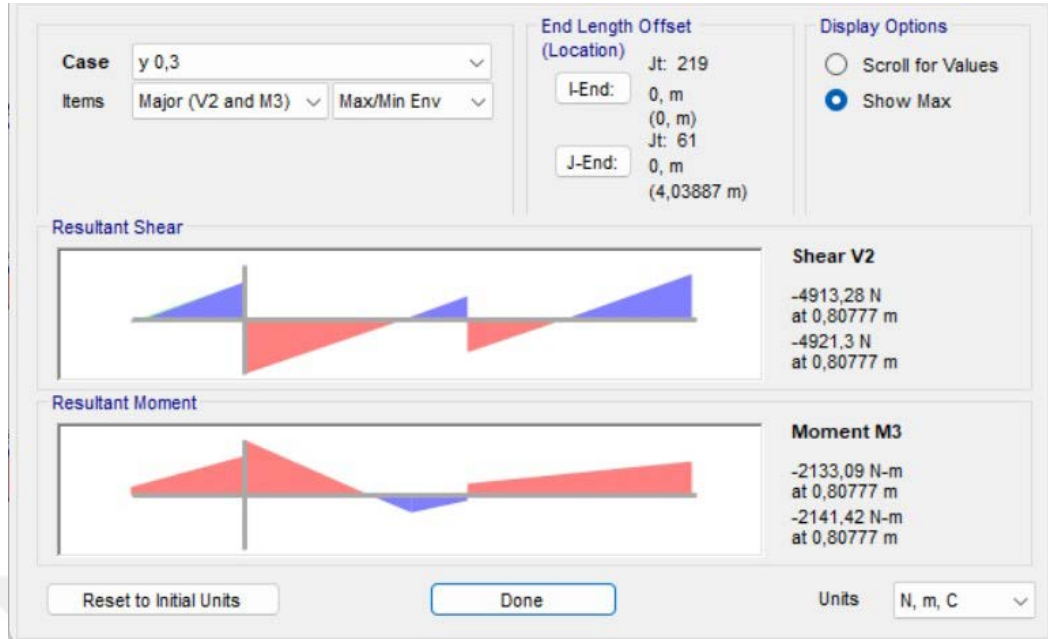
$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}l} = \frac{5 \cdot 2,99 \cdot 1620^4}{384 \cdot 13000 \cdot 8333333,34} = 2,47 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}l} = \frac{5 \cdot 1,32 \cdot 1620^4}{384 \cdot 13000 \cdot 8333333,34} = 1,09 \text{ mm}$$

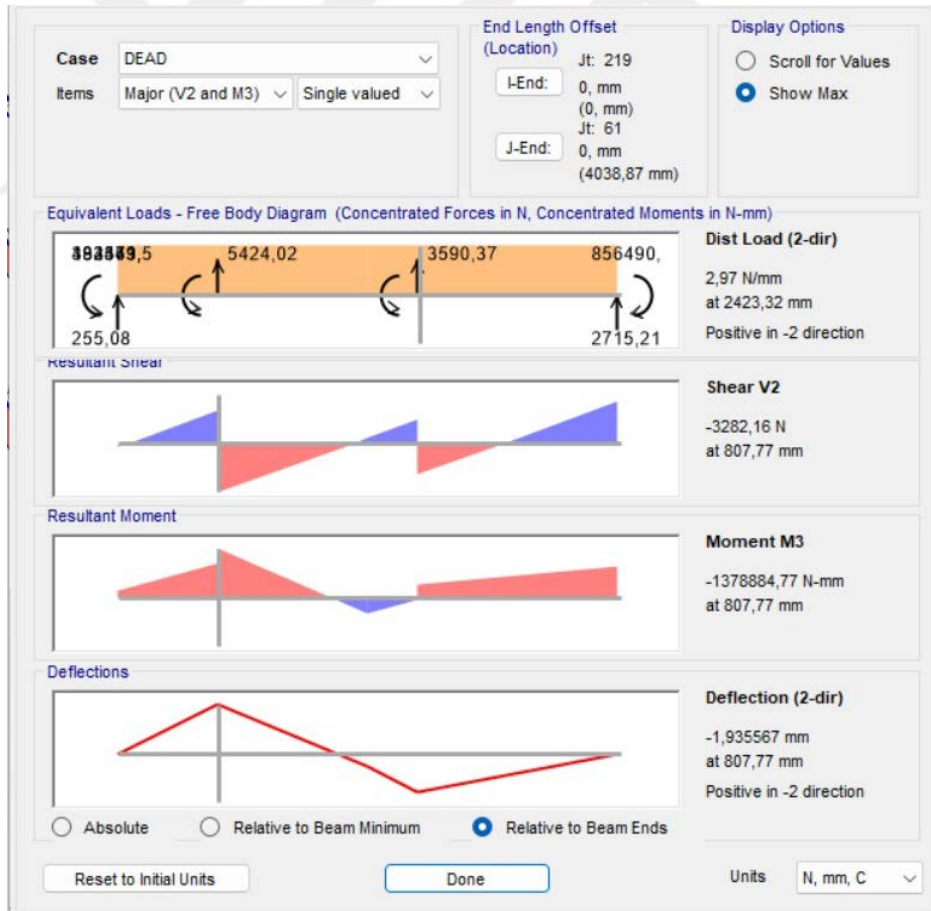
$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 2,47 + 1,09 = 3,56 \text{ mm} < 8,1 \text{ mm}$ kiriş üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.3.2. 1. Sınıf Göknar - C27 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

1. sınıf göknar / C27 direnç sınıfındaki malzemeler kullanılarak tasarlanan yapıda en çok zorlanan merteğe etkiyen toplam eğme yükü şekil 4.22’de görülmektedir. Mertek üzerine etkiyen ölü yük diyagramı ise şekil 4.23’de görülmektedir. Mertek üzerine 2.97 N/mm ölü eğme yükü etki ederken, 1,04 N/mm kar yükü ve 0,28 N/mm rüzgar yükü olmak üzere toplam 1,32 N/mm hareketli yük etki etmektedir.



Şekil 4.22. C27 en çok zorlanan merteğe etkiyen toplam moment diyagramı.



Şekil 4.23. C27 mertek ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 1. Sınıf Gökmar
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 130 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 105 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{\text{bem//}}$): 110 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{\text{bem}\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Mertek en kesiti: 10x10 cm
- Mertek açıklığı: 162 cm
- Mertek üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,37 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,37 \times 162^2 / 8 = 14336 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 10^2 / 6 = 166,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{14401,4}{166,67} = 86,01 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 86,01 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 130 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,37 \times 162 / 2 = 353,97 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 353,97}{2 \times 10 \times 10} = 5,31 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 5,31 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 833,33 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 14336 \times 162^2}{48 \times 100000 \times 833,33} = 0,47 \text{ cm} < l/200 = 0,81 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C27
- $f_{m,k} = 27 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,8 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 12 kN/mm^2
- Mertek en kesit ölçüleri: $100 \times 100 \text{ mm}$
- Mertek Uzunluğu: 1620 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0,8$
- Hareketli Yük(Q): $1,32 \text{ N/mm}$
- Ölü yük (G): $2,97 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 2,97 + 1,5 \times 1,32 = 5,99 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 166666,7 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1965020 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1965020 / 166666,7 = 11,79 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{27}{1,3} = 16,61 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 11,79 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 16,61 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{5,99 \cdot 1620}{2} = 4852 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 4852}{2 \cdot 100 \cdot 100} = 0,73 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2,8}{1,3} = 1,72 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 8333333,34 \text{ mm}^3$$

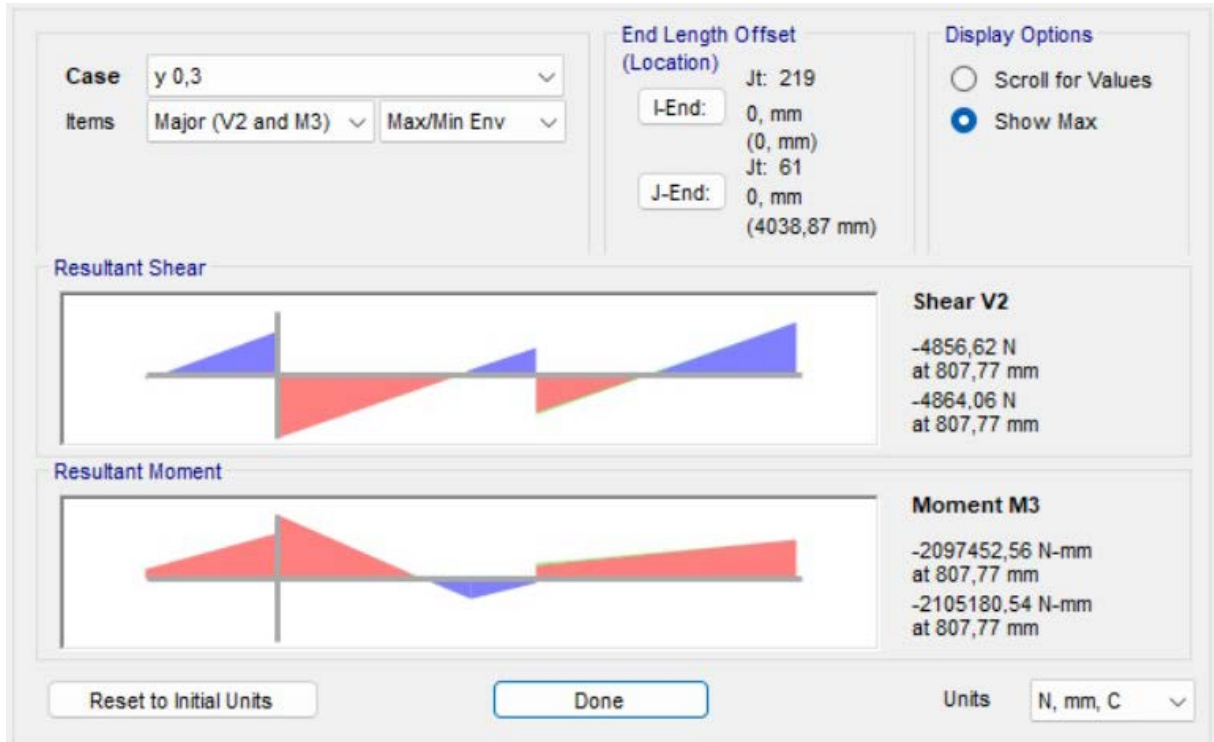
$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x2,97x1620^4}{384x12000x8333333,34} = 2,66 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x1,32x1620^4}{384x12000x8333333,34} = 1,18 \text{ mm}$$

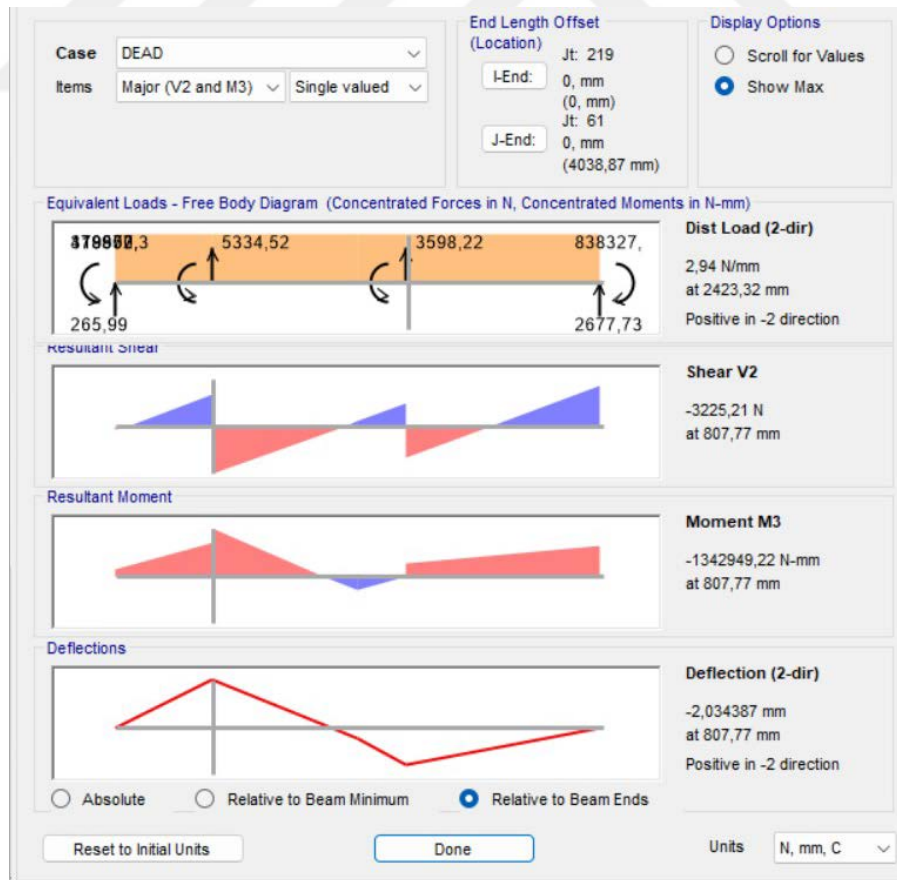
$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 2,66 + 1,18 = 3,84 \text{ mm} < 8,1 \text{ mm}$ kiriş üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.3.3. 2. Sınıf Karaçam/Gökmar – C24 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

Bu direnç sınıfındaki malzemelerle tasarlanan yapıya bulunan mertek üzerine etkiyen toplam moment diyagramı şekil 4.24’de görülmektedir. Mertek üzerine etkiyen ölü yük ile ilgili diyagram şekil 4.25’te görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre eleman üzerine 2,94 N/mm ölü yük, 1,32 N/mm hareketli yük etki etmektedir.



Şekil 4.24. C24 mertek toplam moment diyagramı.



Şekil 4.25. C24 mertek ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 2. Sınıf Göknaar/Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 100 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\zeta em}$): 85 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{bem//}$): 85 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{bem\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Mertek en kesiti: 10x10 cm
- Mertek açıklığı: 162 cm
- Mertek üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,34 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,34 \times 162^2 / 8 = 14237 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 10^2 / 6 = 166,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{14237}{166,67} = 85,42 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 85,42 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 100 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,34 \times 162 / 2 = 351,54 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 351,54}{2 \times 10 \times 10} = 5,27 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 5,27 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 833,33 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 14237 \times 162^2}{48 \times 100000 \times 833,33} = 0,467 \text{ cm} < l/200 = 0,81 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C24
- $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 11 kN/mm^2
- Mertek en kesit ölçüleri: $100 \times 100 \text{ mm}$
- Mertek Uzunluğu: 1620 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): $1,32 \text{ N/mm}$
- Ölü yük (G): $2,94 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 2,94 + 1,5 \times 1,32 = 5,95 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 166666,7 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1951897 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1951897 / 166666,7 = 11,71 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 11,71 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 14,77 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{5,95 \cdot 1620}{2} = 4819,5 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 4819,5}{2 \cdot 100 \cdot 100} = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2,5}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 8333333,34 \text{ mm}^3$$

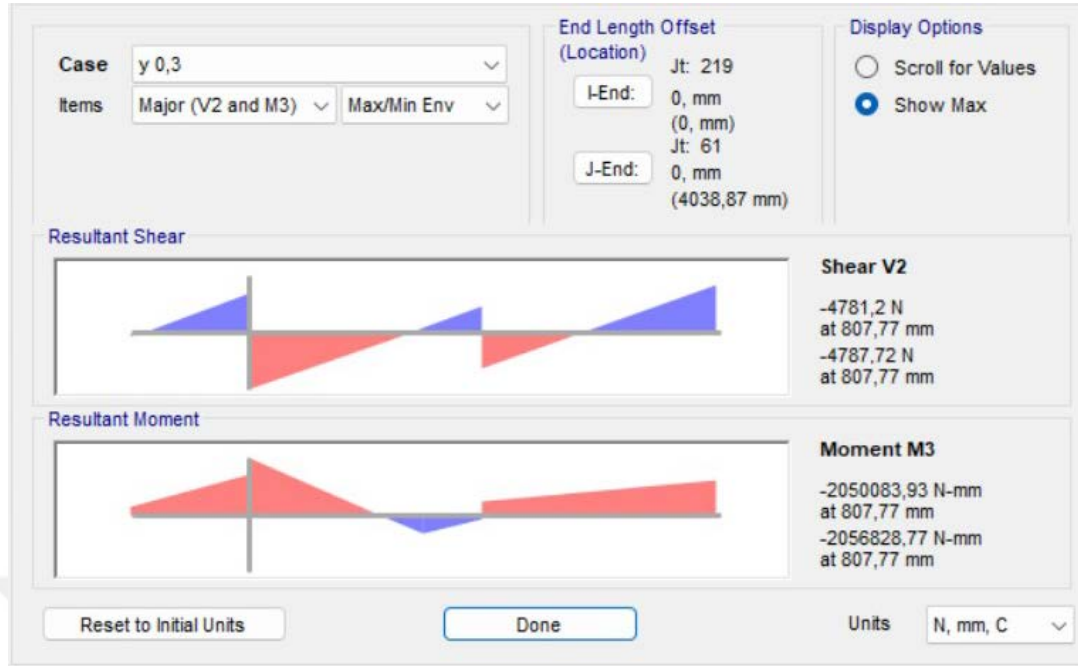
$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xl} = \frac{5x2,94x1620^4}{384x11000x8333333,34} = 2,88 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xl} = \frac{5x1,32x1620^4}{384x11000x8333333,34} = 1,29 \text{ mm}$$

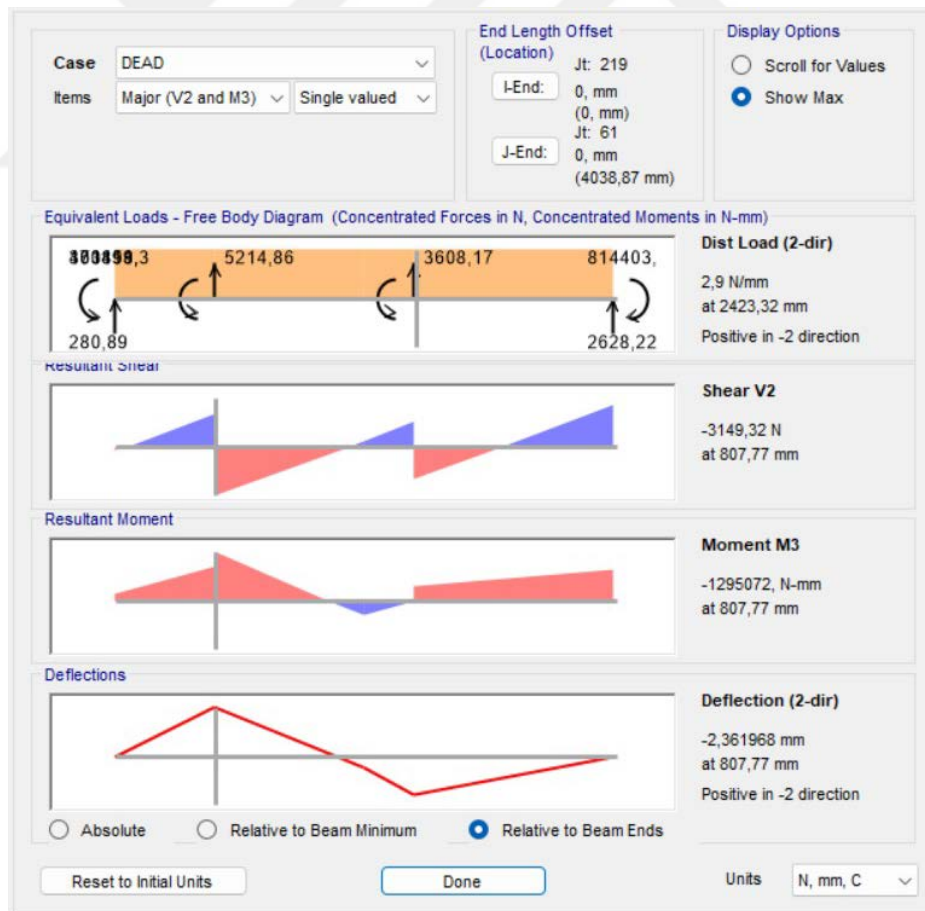
$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 2,88 + 1,29 = 4,17 \text{ mm} < 8,1 \text{ mm}$ mertek üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.3.4. 3. Sınıf Karaçam/Göknaar – C18 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

Bu direnç sınıfındaki malzemelerle tasarlanan yapıda en çok zorlanan merteğe etkiyen toplam moment diyagramı şekil 4.26’da görülmektedir. Şekil 4.27’de eleman üzerine etkiyen toplam ölü yük diyagramı elde edilmektedir. Mertek üzerine 2,9 N/mm ölü yük ve 1.32 N/mm hareketli yük etki ettiği belirlenmiştir.



Şekil 4.26. C18 mertek toplam moment diyagramı.



Şekil 4.27. C18 mertek ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 3. Sınıf Göknaar/Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 70 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 0 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{bem//}$): 60 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{bem\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Mertek en kesiti: 10x10 cm
- Mertek açıklığı: 162 cm
- Mertek üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,3 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,3 \times 162^2 / 8 = 14106 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 10^2 / 6 = 166,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{14106}{166,67} = 84,63 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 84,63 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_{eem} = 70 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmesini karşılayamamaktadır.

Kesit 10x12 olarak değiştirildiğinde;

$$M = qL_s^2/8 = 4,3 \times 162^2 / 8 = 14106 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 12^2 / 6 = 240 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{14106}{240} = 58,78 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 58,78 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 70 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle taşıyabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,3 \times 162 / 2 = 348,3 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 348,3}{2 \times 10 \times 12} = 4,35 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau=4,35 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 14106 \times 162^2}{48 \times 100000 \times 1440} = 0,27 \text{ cm} < l/200 = 0,81 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C18
- $f_{m,k} = 18 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 9 kN/mm^2
- Mertek en kesit ölçüleri: $100 \times 100 \text{ mm}$
- Mertek Açıklığı: 1620 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): $1,32 \text{ N/mm}$
- Ölü yük (G): $2,9 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 2,9 + 1,5 \times 1,32 = 5,89 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 166666,7 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1933855 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1933855 / 166666,7 = 11,60 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{18}{1,3} = 11,08 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 11,60 \text{ N/mm}^2 > f_{m,y,d} = 11,08 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini karşılayamamaktadır.

Kesit 100x120 mm olarak değiştirilirse;

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 240000 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1933855 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1933855 / 240000 = 8,06 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 8,06 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 11,08 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{5,89 \cdot 1620}{2} = 4475,5 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 4475,5}{2 \cdot 100 \cdot 120} = 0,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2}{1,3} = 2,09 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 2,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \cdot 12^3}{12} = 14400000 \text{ mm}^3$$

$$W_{inst,g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xl} = \frac{5x2,90x1620^4}{384x9000x14400000} = 2,01 \text{ mm}$$

$$W_{inst,q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xl} = \frac{5x1,32x1620^4}{384x9000x14400000} = 0,91 \text{ mm}$$

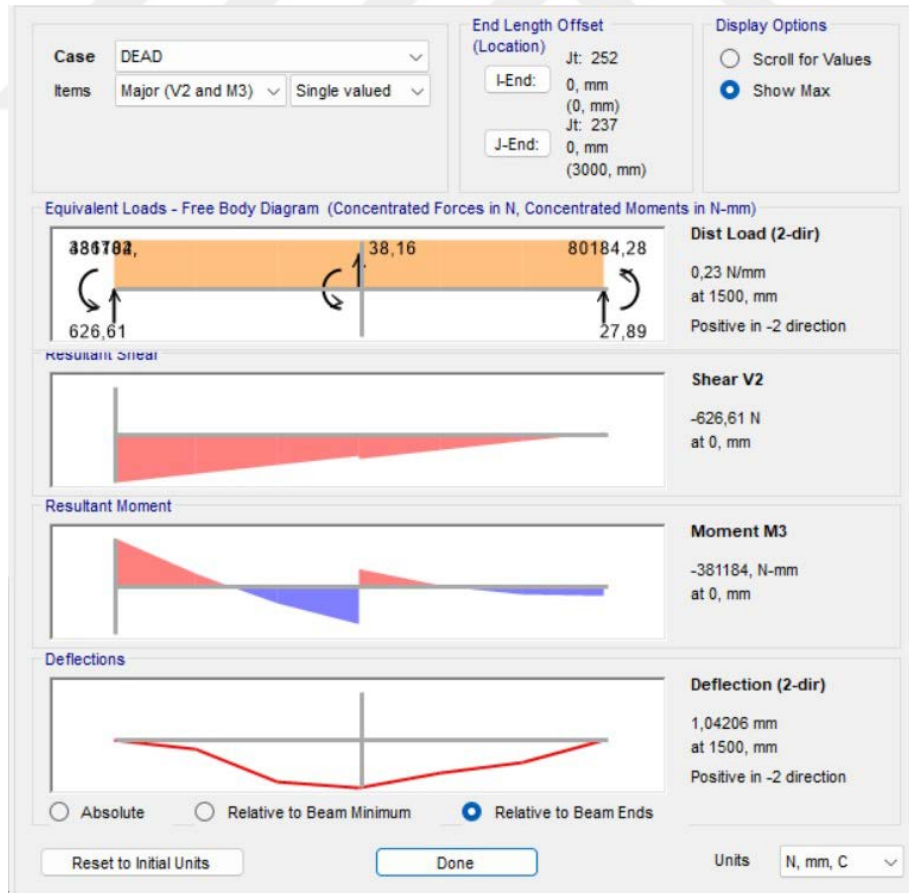
$W_{inst} = W_{inst,g} + W_{inst,q} = 2,01 + 0,91 = 2,92 \text{ mm} < 8,1 \text{ mm}$ mertek üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.4. Aşık Hesapları

Aşıklara ait hesaplamalar yapılırken merteklere üzerine düşen yüklere ek olarak aşık ağırlığı kullanılmıştır.

4.4.4.1. 1. Sınıf Karaçam - C35 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

Bu direnç sınıfındaki malzemeler ile tasarlanan yapıda en çok zorlanan aşık üzerine aşık ağırlığından kaynaklı oluşan ölü yük diyagramı şekil 4.28'de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre en çok zorlanan aşık üzerine 1,32 N/mm hareketli yük, 3,22 N/mm ölü yük etki etmektedir.



Şekil 4.28. Aşık üzerine etkiyen ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 1. Sınıf Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 130 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 105 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{\text{bem//}}$): 110 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{\text{bem}\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Aşık en kesiti: 10x12 cm
- Aşık açıklığı: 150 cm
- Aşık üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,62 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,62 \times 150^2/8 = 12993,75 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 12^2 / 6 = 240 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{12993,75}{240} = 54,14 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 54,14 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 130 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı aşık üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,62 \times 150 / 2 = 346,5 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 346,5}{2 \times 10 \times 12} = 4,33 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 4,33 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 12993,75 \times 150}{48 \times 100000 \times 833,33} = 0,21 \text{ cm} < l/200 = 0,75 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C35
- $f_{m,k} = 35 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 3,4 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 13 kN/mm^2
- Aşık en kesit ölçüleri: $100 \times 120 \text{ mm}$
- Aşık Uzunluğu: 1500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): $1,32 \text{ N/mm}$
- Ölü yük (G): $3,22 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 3,22 + 1,5 \times 1,32 = 6,24 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 240000 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1779468,75 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1779468,75 / 240000 = 7,41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{35}{1,3} = 21,54 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 7,41 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 21,54 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı aşıklar üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,24 \times 1500}{2} = 4745,25 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \times 4745,25}{2 \times 100 \times 120} = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{3,4}{1,3} = 2,09 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 2,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı aşıklar üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 14400000 \text{ mm}^3$$

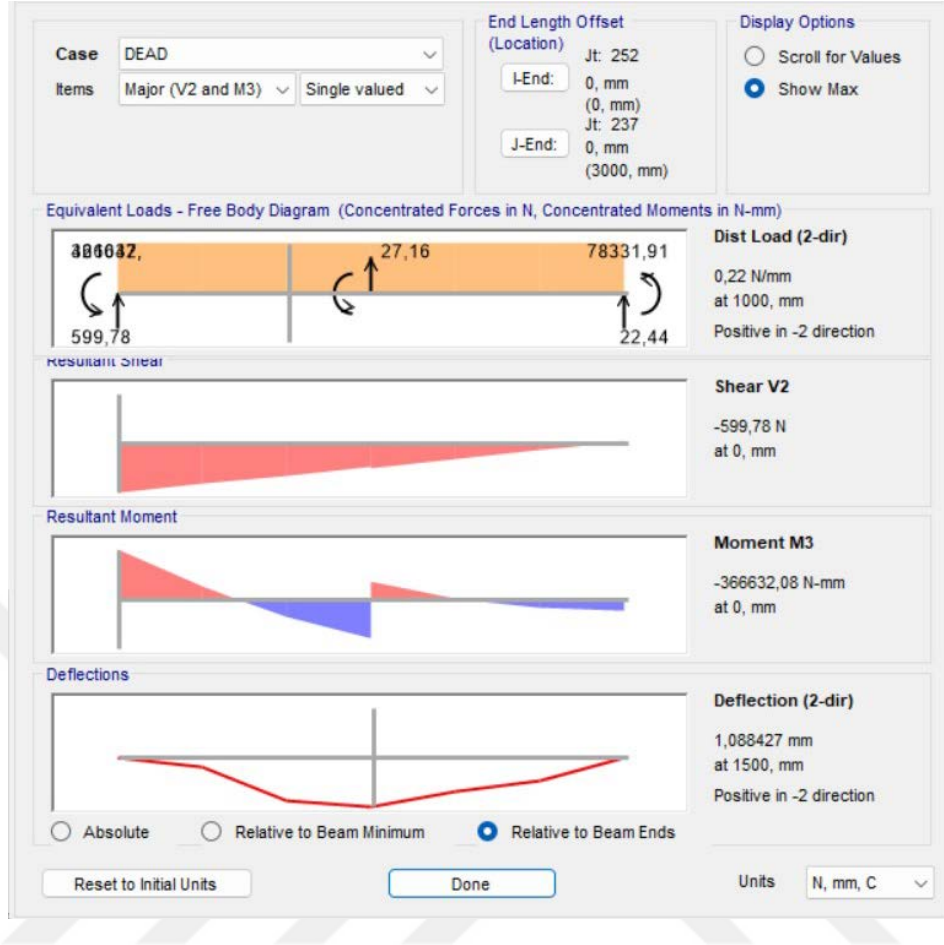
$$W_{inst, g} = \frac{5xGl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x3,22x1500^4}{384x13000x14400000} = 1,14 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x1,32x1500^4}{384x13000x14400000} = 0,46 \text{ mm}$$

$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 1,14 + 0,46 = 1,6 \text{ mm} < 7,5 \text{ mm}$ aşıklar üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.4.2. 1. Sınıf Göknaar - C27 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

Bu direnç sınıfındaki malzemeler kullanılarak tasarlanan yapıda en çok zorlanan aşıklar elemanı üzerine etkiyen ölü yük diyagramı şekil 4.29'da görülmektedir. Aşıklar üzerine ek olarak 0,22 N/mm ölü yük etki etmektedir. Bu durumda eleman üzerine 1,32 N/mm hareketli yük ve 3,19 N/mm ölü yük etki ettiği belirlenmiş ve hesaplamalar bu değerlere göre yapılmıştır.



Şekil 4.29. C27 aşık ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 1. Sınıf Gökmar
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü E_L : 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{em}): 130 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 105 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{\text{bem//}}$): 110 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri σ_{bemL} : 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Aşık en kesiti: 10x12 cm
- Aşık açıklığı: 150 cm
- Aşık üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,60 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,6 \times 150^2/8 = 12937,5 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 12^2 / 6 = 240 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{12937,5}{240} = 53,91 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 53,91 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{cem} = 130 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı aşık üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,6 \times 150 / 2 = 345 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 345}{2 \times 10 \times 12} = 4,31 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 4,31 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 12937,5 \times 150^2}{48 \times 100000 \times 1440} = 0,21 \text{ cm} < l/200 = 0,75 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C27
- $f_{m,k} = 27 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,8 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 12 kN/mm^2
- Aşık en kesit ölçüleri: $100 \times 120 \text{ mm}$
- Aşık Uzunluğu: 1500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli

- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1.3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): 1,32 N/mm
- Ölü yük (G): 3,19 N/mm

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \cdot 3,19 + 1,5 \cdot 1,32 = 6,29 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 240000 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1768078,13 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1768078,13 / 240000 = 7,37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{27}{1,3} = 16,61 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 7,37 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 16,61 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,29 \cdot 1500}{2} = 4715 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 4715}{2 \cdot 100 \cdot 120} = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2,8}{1,3} = 1,72 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı aşık üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehım kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 14400000 \text{ mm}^3$$

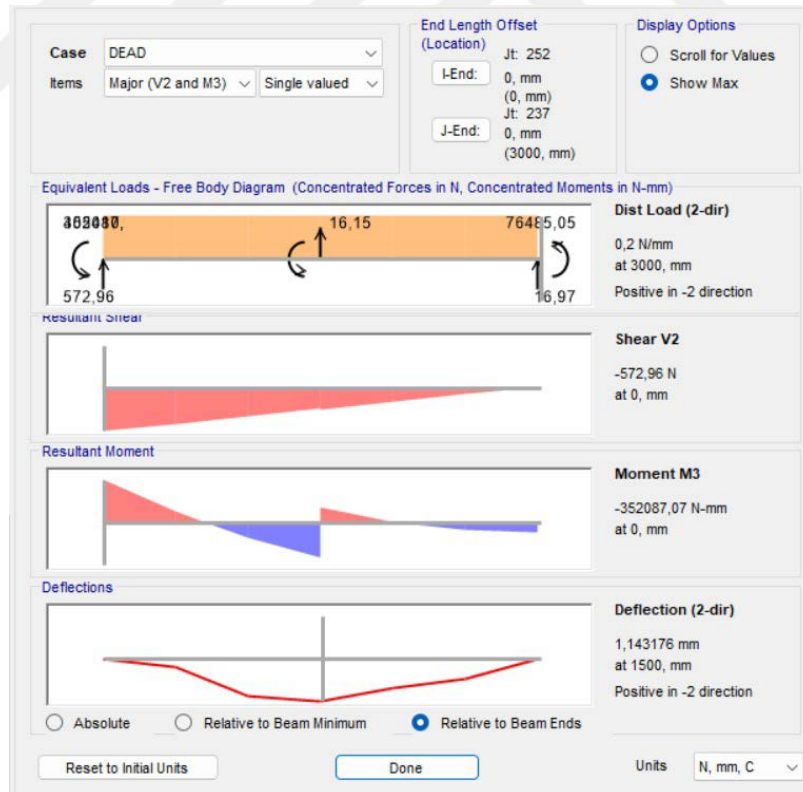
$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x3,19x1500^4}{384x12000x14400000} = 1,22 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5x1,32x1500^4}{384x12000x14400000} = 0,5 \text{ mm}$$

$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 1,22 + 0,5 = 1,72 \text{ mm} < 7,5 \text{ mm}$ aşık, üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.4.3. 2. Sınıf Karaçam/Göknar – C24 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

C24 malzeme kullanılarak tasarlanan yapıda aşık ağırlığından kaynaklı oluşan ölü yük diyagramı şekil 4.30’da sunulmuştur. Eleman üzerinde 1,32 N/mm hareketli yük, 3,14 N/mm ölü yük oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 4.30. C24 aşık ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 2. Sınıf Göknaar/Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 100 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\zeta em}$): 85 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{bem//}$): 85 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{bem\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Aşık en kesiti: 10x12 cm
- Aşık açıklığı: 150 cm
- Aşık üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,55 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,55 \times 150^2 / 8 = 12797 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 12^2 / 6 = 240 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{12797}{240} = 53,32 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 53,32 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{eem} = 100 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı aşık üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,55 \times 150 / 2 = 341,25 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 341,25}{2 \times 10 \times 12} = 4,27 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 4,27 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 12797 \times 150^2}{48 \times 100000 \times 1440} = 0,21 \text{ cm} < l/200 = 0,75 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C24
- $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 11 kN/mm^2
- Aşık en kesit ölçüleri: $100 \times 120 \text{ mm}$
- Aşık Uzunluğu: 1500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{mod} = 0,8$
- Hareketli Yük(Q): $1,32 \text{ N/mm}$
- Ölü yük (G): $3,14 \text{ N/mm}$

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \times 3,14 + 1,5 \times 1,32 = 6,22 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 240000 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1749093,75 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1749093,75 / 240000 = 7,29 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 7,29 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 14,77 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı aşıklar üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,22 \times 1500}{2} = 4664,25 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \times 4664,25}{2 \times 100 \times 120} = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2,5}{1,3} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı mertek üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq l/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 14400000 \text{ mm}^4$$

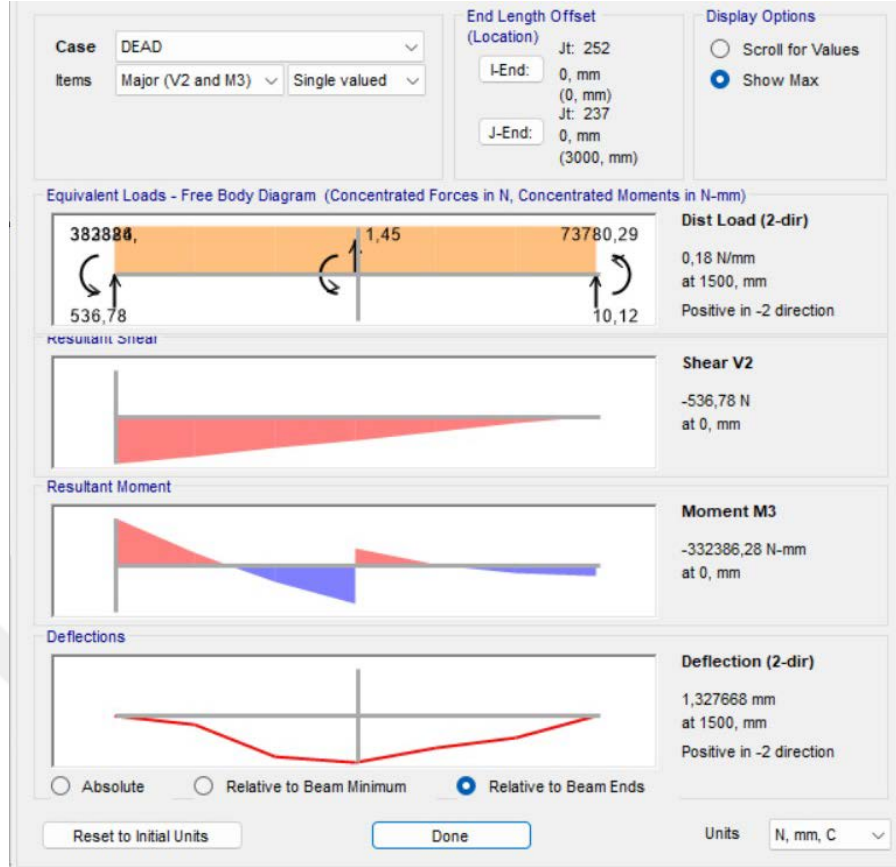
$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}I} = \frac{5 \times 3,14 \times 1500^4}{384 \times 11000 \times 14400000} = 1,31 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}I} = \frac{5 \times 1,32 \times 1500^4}{384 \times 11000 \times 14400000} = 0,55 \text{ mm}$$

$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 1,31 + 0,55 = 1,86 \text{ mm} < 7,5 \text{ mm}$ aşıklar üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.4.4.4. 3. Sınıf Karaçam/Gökmar – C18 Direnç Sınıfına Ait Bulgular

Bu direnç sınıfındaki malzemelerle tasarlanan yapıda en çok zorlanan aşıklar üzerine etki eden ölü yük miktarı şekil 4.31’de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre aşıklar üzerine toplam 1,32 N/mm hareketli yük ve 3,08 N/mm ölü yük etki etmektedir.



Şekil 4.31. C18 aşık ölü yük diyagramı.

TS 647'ye göre:

- Malzeme: 3. Sınıf Göknaar/Karaçam
- Liflere paralel elastikiyet modülü $E_{//}$: 100000 kg/cm²
- Liflere dik elastikiyet modülü $E_{\perp}$: 3.000 kg/cm²
- Kayma modülü (G): 5.000 kg/cm²
- Eğilme direnci sınır değeri (σ_{eem}): 70 kg/cm²
- Liflere paralel çekme sınır değeri ($\sigma_{\text{çem}}$): 0 kg/cm²
- Liflere paralel basınç sınır değeri ($\sigma_{\text{bem//}}$): 60 kg/cm²
- Liflere dik basınç sınır değeri $\sigma_{\text{bem}\perp}$: 20 kg/cm²
- Makaslama direnci sınır değeri τ_{em} : 9 kg/cm²
- Aşık en kesiti: 10x12 cm
- Aşık açıklığı: 150 cm
- Aşık üzerine etkiyen toplam eğme yükü: 4,4 kgf/cm

Gerilme kontrolü:

$$M = qL_s^2/8 = 4,4 \times 150^2/8 = 12375 \text{ kgf-cm}$$

$$W = bh^2/6 = 10 \times 12^2 / 6 = 240 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_E = \max \frac{M}{W} = \frac{12375}{240} = 51,56 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_E = 51,56 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{eem}} = 70 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan dolayı aşıklar üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$Q = qL_s/2 = 4,40 \times 150 / 2 = 330 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \times 348,3}{2 \times 10 \times 12} = 4,125 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 4,125 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{\text{em}} = 9 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan aşıklar üzerine etkiyen kayma gerilmelerine karşı güvenlidir.

Deformasyon kontrolü:

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5qL_s^2}{48EJ} = \frac{5 \times 12375 \times 150^2}{48 \times 100000 \times 1440} = 0,20 \text{ cm} < l/200 = 0,75 \text{ cm}$$

TS EN 1995'e göre;

- Malzeme Kalitesi: C18
- $f_{m,k} = 18 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2 \text{ N/mm}^2$
- Elastikiyet Modülü 9 kN/mm^2
- Aşıklar en kesit ölçüleri: $100 \times 120 \text{ mm}$
- Aşıklar Uzunluğu: 1500 mm
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0,3$
- $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
- Yük ve süre sınıfı: Orta dönemli
- Kullanım sınıfı: KS2
- Malzeme kısmi faktörü $\gamma_m = 1,3$ (Masif Ahşap)

- Şekil değıştirme faktörü $k_{mod} = 0.8$
- Hareketli Yük(Q): 1,32 N/mm
- Ölü yük (G): 3,08 N/mm

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \cdot 3,08 + 1,5 \cdot 1,32 = 6,138 \text{ N/mm}$$

Gerilme kontrolü:

$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$ şartı sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 240000 \text{ mm}^3$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 1726312,5 \text{ N-mm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1726312,5 / 240000 = 7,19 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = 0,8 \frac{18}{1,3} = 11,08 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,y,d} = 7,19 \text{ N/mm}^2 < f_{m,y,d} = 11,08 \text{ N/mm}^2$ olduğundan dolayı aşığ üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Kayma gerilmesi kontrolü:

$$\tau_d = \frac{3v_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$v_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6,14 \times 1500}{2} = 4603,5 \text{ N}$$

$$\tau_d = \frac{3 \times 4603,5}{2 \times 100 \times 120} = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \frac{2}{1,3} = 1,23 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_d = 0,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 1,23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan dolayı aşığ üzerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılayabilmektedir.

Anlık sehim kontrolü:

$$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} \leq 1/200$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12} = 14400000 \text{ mm}^3$$

$$W_{inst, g} = \frac{5xGxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5 \times 3,08 \times 1500^4}{384 \times 9000 \times 14400000} = 1,57 \text{ mm}$$

$$W_{inst, q} = \frac{5xQxl^4}{384xE_{0,mean}xI} = \frac{5 \times 1,32 \times 1500^4}{384 \times 9000 \times 14400000} = 0,67 \text{ mm}$$

$W_{inst} = W_{inst, g} + W_{inst, q} = 1,57 + 0,67 = 2,24 \text{ mm} < 7,5 \text{ mm}$ olduğundan aşık üzerine etkiyen anlık deformasyonu güvenle taşıyabilmektedir.

4.5. YAPI ELEMANLARININ KESİT OPTİMİZASYONU

Yapı üzerine düşen yüklerin ahşap yapı elemanları üzerinde oluşturduğu gerilme ve deformasyonları taşıyabilecek en uygun en kesit ölçülerini belirlemek amacıyla yapılan hesaplamalarla ilgili sonuçlar TS 647 ve TS EN 1995 standardı için ayrı ayrı bu kısımda sunulmuştur.

4.5.1. Kolon Kesitlerinin Optimizasyonu

Tablo 4.26'da TS EN 1995 standardına göre C35 direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapıda kolon üzerine etkiyen yüklere göre elde edilen kesit hesap değerleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 120x120 mm en kesitindeki malzeme, kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde taşımaktadır.

Tablo 4.26. Eurocode 5 standardına göre C35 kolon kesit hesap değerleri.

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam Yük (N)	λ	k_c	Basınç Gerilmesi (N/mm ²)	Sınır Gerilmesi (N/mm ²)
50x50	2500	36565,65	190,53	0,089	14,63	1,37
50x80	4000	44125,2	190,53	0,089	11,03	1,37
50x100	5000	47876,85	190,53	0,089	9,58	1,37
80x80	6400	51524,1	119,08	0,219	8,05	3,37
80x100	8000	55203,45	119,08	0,219	6,90	3,37
100x100	10000	58444,5	95,26	0,329	5,84	5,07
120x120	14400	63760,8	79,39	0,451	4,43	6,93
120x150	18000	67122,6	79,39	0,451	3,73	6,93

TS 647 standardına göre 1. Sınıf karaçam malzeme için kolon kesit hesap değerleri tablo 4.27’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 12x12 cm en kesitindeki malzeme en çok zorlanan kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.27. TS 647 standardına göre 1. Sınıf karaçam kolon kesit hesap değerleri.

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Eksenel Yük (kgf)	λ	ω	σ_b (kgf/cm ²)	σ_{bem} (kgf/cm ²)
50x50	2500	2668	190,53	10,94	1167,69	110
50x80	4000	3220	119,08	4,25	342,13	
50x100	5000	3494	95,26	2,78	194,25	
80x80	6400	3761	119,08	4,25	249,75	
80x100	8000	4030	95,26	2,78	140,04	
100x100	10000	4268	95,26	2,78	118,65	
120x120	14400	4659	79,39	2,16	69,89	
120x150	18000	4909	63,51	1,72	46,91	

Tablo 4.28’de TS EN 1995 standardına göre C27 direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapıda kolon üzerine etkiyen yüklere göre elde edilen kesit hesap değerleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 120x120 mm en kesitindeki kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde taşımaktadır.

Tablo 4.28. Eurocode 5 standardına göre C27 kolon kesit hesap değerleri.

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam Yük (N)	λ	k_c	Basınç Gerilmesi (N/mm ²)	Sınır Gerilmesi (N/mm ²)
50x50	2500	2441	190,53	0,090	14,10	1,21
50x80	4000	2945	190,53	0,090	10,61	1,21
50x100	5000	3193	190,53	0,090	9,20	1,21
80x80	6400	4457	119,08	0,220	7,73	2,98
80x100	8000	4084	119,08	0,220	6,62	2,98
100x100	10000	4356	95,26	0,331	5,60	4,48
120x120	14400	4570	79,39	0,453	4,24	6,13
120x150	18000	4819	79,39	0,453	3,57	6,13

TS 647 standardına göre 3. Sınıf Göknaç/karaçam malzeme için kolon kesit hesap değerleri tablo 4.29’da görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 120x120 mm en kesitindeki malzeme en çok zorlanan kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.29. TS 647 standardına göre 1. Sınıf göknaç kolon kesit hesap değerleri

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Eksenel Yük (kgf)	λ	ω	σ_b (kgf/cm ²)	σ_{bem} (kgf/cm ²)
50x50	2500	2441	190,53	10,94	1068,18	110
50x80	4000	2945	119,08	4,25	312,91	
50x100	5000	3193	95,26	2,78	177,53	
80x80	6400	4457	119,08	4,25	295,97	
80x100	8000	4084	95,26	2,78	141,92	
100x100	10000	4356	95,26	2,78	121,10	
120x120	14400	4570	79,39	2,16	68,55	
120x150	18000	4819	63,51	1,72	46,05	

Tablo 4.30’da TS EN 1995 standardına göre C24 direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapıda kolon üzerine etkiyen yüklere göre elde edilen kesit hesap değerleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 120x120 mm en kesitindeki kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde taşımaktadır.

Tablo 4.30. Eurocode 5 standardına göre C24 kolon kesit hesap değerleri.

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam Yük (N)	λ	k_c	Basınç Gerilmesi (N/mm ²)	Sınır Gerilmesi (N/mm ²)
50x50	2500	34491,3	3,23	0,090	13,80	1,17
50x80	4000	41570,25	3,23	0,090	10,39	1,17
50x100	5000	45075,45	3,23	0,090	9,02	1,17
80x80	6400	48480	2,02	0,221	7,58	2,86
80x100	8000	51897,6	2,02	0,221	6,49	2,86
100x100	10000	54912,45	1,62	0,333	5,49	4,30
120x120	14400	59851,5	1,35	0,455	4,16	5,88
120x150	18000	62966,4	1,35	0,455	3,50	5,88

TS 647 standardına göre 2. Sınıf göknar/karaçam malzeme için kolon kesit hesap değerleri tablo 4.31’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 120x120 mm en kesitindeki malzeme en çok zorlanan kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.31. TS 647 standardına göre 2. Sınıf göknar/karaçam kolon kesit hesap değerleri

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Eksenel Yük (kgf)	λ	ω	σ_b (kgf/cm ²)	σ_{bem} (kgf/cm ²)
50x50	2500	2441	190,53	10,94	1068,18	85
50x80	4000	2945	119,08	4,25	312,91	
50x100	5000	3193	95,26	2,78	177,53	
80x80	6400	4457	119,08	4,25	295,97	
80x100	8000	4084	95,26	2,78	141,92	
100x100	10000	4356	95,26	2,78	121,10	
120x120	14400	4570	79,39	2,16	68,55	
120x150	18000	4819	63,51	1,72	46,05	

Tablo 4.32’de TS EN 1995 standardına göre C18 direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapıda kolon üzerine etkiyen yüklere göre elde edilen kesit hesap değerleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 120x120 mm en kesitindeki kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde taşımaktadır.

Tablo 4.32. Eurocode 5 standardına göre C18 kolon kesit hesap değerleri.

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam Yük (N)	λ	k_c	Basınç Gerilmesi (N/mm ²)	Sınır Gerilmesi (N/mm ²)
50x50	2500	2441	190,53	0,086	13,41	0,95
50x80	4000	2945	190,53	0,086	10,11	0,95
50x100	5000	3193	190,53	0,086	8,77	0,95
80x80	6400	4457	119,08	0,210	7,37	2,33
80x100	8000	4084	119,08	0,210	6,31	2,33
100x100	10000	4356	95,26	0,317	5,34	3,51
120x120	14400	4570	79,39	0,435	4,04	4,82
120x150	18000	4819	79,39	0,435	3,40	4,82

TS 647 standardına göre 3. Sınıf göknar/karaçam malzeme için kolon kesit hesap değerleri tablo 4.33’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 120x150 mm en kesitindeki malzeme en çok zorlanan kolon üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.33.TS 647 standardına göre 3. Sınıf göknar/karaçam kolon kesit hesap değerleri.

Kolon Kesiti (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Eksenel Yük (kgf)	λ	ω	σ_b (kgf/cm ²)	σ_{bem} (kgf/cm ²)
50x50	2500	2441	190,53	10,94	1068,18	60
50x80	4000	2945	119,08	4,25	312,91	
50x100	5000	3193	95,26	2,78	177,53	
80x80	6400	4457	119,08	4,25	295,97	
80x100	8000	4084	95,26	2,78	141,92	
100x100	10000	4356	95,26	2,78	121,10	
120x120	14400	4570	79,39	2,16	68,55	
120x150	18000	4819	63,51	1,72	46,05	

4.5.2. Kiriş Kesitlerinin Optimizasyonu

TS EN 1995 standardına göre C35 malzemenin kullanıldığı yapıda oluşan yüklere göre kiriş elemanlarının kesit hesap değerleri tablo 4.34’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 100x240 mm en kesitindeki malzeme en düşük en kesit alanı ile kiriş üzerine düşen yükü güvenli taşıyabilmektedir.

Tablo 4.34. C35 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
100x150	15000	5,43	36,66	21,54	1,22	2,09	53,89	15
100x200	20000	5,74	21,80		0,96		24,15	
100x220	22000	5,88	18,44		0,90		18,61	
100x240	24000	6,00	15,82		0,84		14,65	
120x120	14000	5,40	47,38		1,26		87,00	

Tablo 4.34 devam.

120x150	18000	5,62	31,61		1,05		46,61	
120x170	20400	5,77	25,26		0,95		32,94	
120x200	24000	6,00	18,97		0,84		21,10	
120x220	26400	6,15	16,07		0,78		16,27	
120x240	28800	6,29	13,83		0,74		12,86	
120x250	30000	6,38	12,91		0,72		11,54	
150x150	22500	5,90	26,57		0,88		39,33	
150x200	30000	6,38	16,14		0,72		18,03	
150x220	33000	6,55	13,71		0,67		13,95	
150x240	36000	6,74	11,85		0,63		11,07	

TS 647 standardına göre en uygun kesitin tespiti amacı ile yapılan kesit hesap değerleri tablo 4.35’de görülmektedir. Hesaplama sonuçlarına göre 10x28 en kesitindeki kiriş standart özelliklerine göre en küçük en kesit alanı ile kiriş üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları güvenle karşılayabilmektedir.

Tablo 4.35. C35 sınıfı kirişlerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi (kgf/cm ²)	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
100x150	15000	3,76	253,90	130	8,46	9	7,14	1,5
100x200	20000	4,00	151,72		6,74		3,20	
100x220	22000	4,10	128,59		6,29		2,47	
100x240	24000	4,19	110,47		5,89		1,94	
100x260	26000	4,28	96,16		5,56		1,56	
100x280	28000	4,37	84,65		5,26		1,28	
120x120	14400	3,73	327,83		8,74		11,53	
120x150	18000	3,90	219,37		7,31		6,17	

Tablo 4.35 devam.

120x170	20400	4,02	175,89		6,64		4,36	
120x200	24000	4,19	132,56		5,89		2,80	
120x220	26400	4,30	112,49		5,50		2,16	
120x240	28800	4,41	96,98		5,17		1,70	
120x250	30000	4,48	90,72		5,04		1,53	
150x150	22500	4,12	185,4		6,18		5,21	
150x200	30000	4,48	113,4		5,04		2,39	
150x220	33000	4,61	96,44		4,71		1,85	
150x240	36000	4,75	83,50		4,45		1,47	

C27 sınıfı malzeme kullanılarak tasarlanan yapıda kesit hesap bulguları tablo 4.36'da görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 100x260 mm, 120x240 mm ve 150x220 mm en kesitlerindeki malzemeler kiriş üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları güvenle karşılamaktadır. En küçük en kesit alanı ile güvenli şekilde kullanılabilen kesit ölçüsü 100x260 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.36. C27 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
100x150	15000	5,38	36,30	16,62	1,21	1,72	57,74	15
100x200	20000	5,67	21,55		0,96		25,83	
100x220	22000	5,78	18,14		0,89		19,81	
100x240	24000	5,90	15,57		0,83		15,60	
100x260	26000	6,03	13,54		0,78		12,55	
120x120	14400	5,34	46,91		1,25		93,21	
120x150	18000	5,55	31,24		1,04		49,83	
120x170	20400	5,69	24,91		0,94		35,14	
120x200	24000	5,90	18,68		0,83		22,47	

Tablo 4.36 devam.

120x220	26400	6,04	15,79		0,77		17,30	
120x240	28800	6,19	13,60		0,73		13,68	
150x150	22500	5,81	26,14		0,87		41,87	
150x200	30000	6,26	15,83		0,70		19,13	
150x220	33000	6,43	13,45		0,66		14,81	
200x200	40000	6,84	12,98		0,58		15,78	

1. sınıf göknar malzeme kullanılarak üretilen yapıda TS 647 standardına göre kiriş kesit hesap değerleri tablo 4.45’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlarda 10x28 cm en kesitli malzeme en çok zorlanan kiriş üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları güvenli şekilde karşılamaktadır.

Tablo 4.37. C27 sınıfı kirişlerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri kgf/cm ²	Kayma gerilmesi kgf/cm ²	Kayma sınır değeri kgf/cm ²	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
100x150	15000	3,72	251,15	130	8,37	9	7,06	1,5
100x200	20000	3,94	149,78		6,66		3,16	
100x220	22000	4,03	126,35		6,18		2,42	
100x240	24000	4,12	108,59		5,79		1,91	
100x260	26000	4,21	94,58		5,46		1,53	
100x280	28000	4,29	83,11		5,17		1,25	
120x120	14400	3,69	324,33		8,65		11,40	
120x150	18000	3,85	216,74		7,22		6,10	
120x170	20400	3,96	173,21		6,54		4,30	
120x200	24000	4,12	130,30		5,79		2,75	
120x220	26400	4,22	110,35		5,40		2,12	
120x240	28800	4,33	95,19		5,08		1,67	
150x150	22500	4,05	182,11		6,07		5,12	
150x200	30000	4,38	110,95		4,93		2,34	
150x220	33000	4,52	94,47		4,62		1,81	
200x200	40000	4,82	91,54		4,07		1,93	

C24 sınıfı malzemelerin kullanıldığı yapıda en çok zorlanan kirişe ait kesit hesap değerleri tablo 4.38’de görülmektedir. Hesap bulgularına göre Eurocode 5 standardına göre en çok zorlanan kiriş üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları en küçük en kesit alanı ile 100x250 mm ölçülerindeki malzeme güvenle karşılamaktadır.

Tablo 4.38. C24 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
100x150	15000	5,32	35,93	14,77	1,20	1,54	62,30	15
100x200	20000	5,59	21,24		0,94		27,74	
100x220	22000	5,70	17,89		0,87		21,28	
100x250	25000	5,86	14,25		0,79		14,95	
100x280	26000	6,03	11,67		0,73		10,96	
120x120	14400	5,28	46,43		1,24		100,56	
120x150	18000	5,49	30,86		1,03		53,65	
120x170	20400	5,61	24,55		0,93		37,74	
120x200	24000	5,81	18,38		0,82		24,09	
120x220	26400	5,94	15,54		0,76		18,55	
120x240	28800	6,07	13,33		0,71		14,61	
150x150	22500	5,73	25,78		0,86		44,99	
150x200	30000	6,13	15,53		0,69		20,44	
150x220	33000	6,30	13,17		0,64		15,79	

2. sınıf karaçam/gökmar malzemenin kullanıldığı yapıda TS 647 standardı hesap kurallarına göre kesit hesap değerleri tablo 4.39’da sunulmuştur. Yapılan hesaplamalara göre en çok zorlanan kiriş üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları 10x28 cm en kesitindeki malzeme en küçük en kesit alanı ile güvenle taşımaktadır.

Tablo 4.39. C24 sınıfı kirişlerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri kgf/cm ²	Kayma gerilmesi kgf/cm ²	Kayma sınır değeri kgf/cm ²	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
100x150	15000	3,72	251,15	100	8,37	9	7,06	1,5
100x200	20000	3,94	149,78		6,66		3,16	
100x220	22000	4,03	126,35		6,18		2,42	
100x250	25000	4,12	108,59		5,79		1,91	
100x280	28000	4,21	94,58		5,46		1,53	
120x120	14400	3,69	324,33		8,65		11,40	
120x150	18000	3,85	216,74		7,22		6,10	
120x170	20400	3,96	173,21		6,54		4,30	
120x200	24000	4,12	130,30		5,79		2,75	
120x220	26400	4,22	110,35		5,40		2,12	
120x240	28800	4,33	95,19		5,08		1,67	
150x150	22500	4,05	182,11		6,07		5,12	
150x200	30000	4,38	110,95		4,93		2,34	
150x220	33000	4,52	94,47		4,62		1,81	

C18 direnç sınıfı malzemenin kullanıldığı yapıda Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri tablo 4.40’da sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre bu direnç sınıfı için 100x300 en kesitli malzeme en düşük en kesit alanı ile üzerine düşen gerilme ve deformasyonları güvenle karşılamaktadır.

Tablo 4.40. C18 sınıfı kirişlerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
100x150	15000	5,24	35,39	11,08	1,18	1,23	74,88	15
100x200	20000	5,49	20,83		0,93		33,19	
100x220	22000	5,58	17,51		0,86		25,41	
100x250	25000	5,73	13,92		0,77		17,81	
100x280	26000	5,88	11,38		0,71		13,04	
100x300	30000	5,99	10,10		0,67		10,81	
120x120	14400	5,22	45,84		1,22		121,19	
120x150	18000	5,39	30,32		1,01		64,34	
120x170	20400	5,51	24,14		0,91		45,28	
120x200	24000	5,69	18,00		0,80		28,77	
120x220	26400	5,81	15,19		0,74		22,12	
120x250	28800	5,99	12,12		0,67		15,57	
120x280	33600	6,16	9,95		0,62		11,43	
150x150	22500	5,61	25,23		0,84		53,72	
150x200	30000	5,99	15,15		0,67		24,32	
150x220	33000	6,13	12,83		0,63		18,77	

TS 647 standardına göre 3. Sınıf karaçam/gök nar malzeme ile tasarlanan yapıda en çok zorlanan kiriş üzerine etkiyen yüklere göre kesit hesap değerleri tablo 4.41’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kiriş üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları en küçük en kesit alanı ile 12x28 cm en kesitli kiriş güvenle karşılamaktadır.

Tablo 4.41. C18 sınıfı kirişleri TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri kgf/cm ²	Kayma gerilmesi kgf/cm ²	Kayma sınır değeri kgf/cm ²	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
100x150	15000	3,62	244,27	70	8,14	9	6,87	1,5
100x200	20000	3,80	144,37		6,42		3,05	
100x220	22000	3,87	121,55		5,94		2,33	
100x250	25000	3,99	96,85		5,38		1,63	
100x280	28000	4,10	79,38		4,94		1,20	
100x300	30000	4,18	70,53		4,70		0,99	
120x120	14400	3,60	316,26		8,43		11,12	
120x150	18000	3,73	209,86		7,00		5,90	
120x170	20400	3,82	167,41		6,32		4,15	
120x200	24000	3,96	125,14		5,56		2,64	
120x220	26400	4,05	105,82		5,17		2,03	
120x250	28800	4,18	84,63		4,70		1,43	
120x280	33600	4,31	69,58		4,33		1,05	
150x150	22500	3,89	175,23		5,84		4,93	
150x200	30000	4,18	105,79		4,70		2,23	
150x220	33000	4,29	89,74		4,39		1,72	

4.5.3. Mertek Kesitlerinin Optimizasyonu

Eurocode 5 standardına göre ahşap mertek elemanlarının optimizasyon sonuçları tablo 4.42’de görülmektedir. Hesaplanan değerlere göre 40x120 mm, 40x150 mm, 45x120 mm, 50x120 mm, 60x100 mm, 60x120 mm ve 80x100 mm en kesitleri mertek üzerine etkiyen yükleri güvenli bir şekilde taşımaktadır. Eurocode 5 standardı için en düşük en kesit alanı ile 40x120 mm kesitli mertek kullanımı en uygun kesit olmaktadır.

Tablo 4.42. C35 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,62	43,25	21,54	2,14	2,09	16,25	8,1
40x100	4000	5,68	27,95		1,72		8,4	
40x120	4800	5,72	19,55		1,45		4,9	
40x150	6000	5,79	12,66		1,71		2,54	
45x120	5400	5,76	17,5		1,30		4,39	
50x100	5000	5,73	22,57		1,39		6,79	
50x120	6000	5,79	15,82		1,17		3,97	
60x80	4800	5,72	29,32		1,45		11,02	
60x100	6000	5,79	18,98		1,17		5,71	
60x120	7200	5,85	13,34		0,99		3,35	
80x80	6400	5,81	22,35		1,10		8,41	
80x100	8000	5,91	14,54		0,90		4,38	

Tablo 4.43’de 1. Sınıf karaçam malzemenin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 4x15 en kesitli malzeme ile en çok zorlanan mertek üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonların güvenli şekilde karşılanabildiği bulunmuştur.

Tablo 4.43. 1. Sınıf karaçam merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,1	315,24	130	15,57	9	2,15	0,75
40x100	4000	4,14	203,72		12,57		1,11	
40x120	4800	4,17	142,5		10,55		0,65	
40x150	6000	4,22	92,29		8,54		0,33	

Tablo 4.43 devam.

45x120	6000	4,2	127,57		9,45		0,58	
50x100	5000	4,18	164,55		10,16		0,90	
50x120	6000	4,22	115,36		8,54		0,52	
60x80	4800	4,17	213,75		10,55		1,46	
60x100	6000	4,22	138,44		8,55		0,76	
60x120	7200	4,27	97,27		7,2		0,44	
80x80	6400	4,24	162,99		8,05		1,11	
80x100	8000	4,32	106,28		6,56		0,58	

C27 sınıfındaki merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri tablo 4.44’de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre eleman üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları en küçük en kesit alanı ile 40x150 mm ve 50x120 mm en kesitlerindeki malzemelerin güvenle taşıdığı belirlenmiştir. Eğilme gerilmesi daha düşük olduğu için uygun kesit olarak 40x150 mm en kesitindeki malzeme seçilmiştir.

Tablo 4.44. C27 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,61	43,14	16,61	2,13	1,72	17,56	8,1
40x100	4000	5,67	27,88		1,72		9,08	
40x120	4800	5,71	19,50		1,44		5,29	
40x150	6000	7,27	12,63		1,17		2,74	
45x120	5400	8,73	17,41		1,29		4,73	
45x150	6750	8,73	11,30		1,05		2,46	
50x100	5000	5,72	22,52		1,39		7,34	
50x120	6000	5,77	15,78		1,17		4,29	
60x80	4800	5,71	29,25		1,44		11,91	

Tablo 4.44 devam.

60x100	6000	5,77	18,94		1,17		6,17	
60x120	7200	5,83	13,28		0,98		3,61	
80x80	8000	5,79	22,25		1,10		9,06	
80x100	8000	7,38	14,47		1,12		5,84	
80x120	9600	7,46	10,19		0,94		3,42	

1. sınıf göknar malzeme ile tasarlanmış yapıda mertek elemanlarının TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri tablo 4.45’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 4x15 cm ve 5x12 cm en kesitli malzemeler en küçük en kesit alanı ile üzerine etkiyen gerilmeleri ve deformasyonu güvenle karşılayabilmektedir. Eğilme gerilmesi değeri daha küçük olduğu için uygun kesit olarak 5x12 cm en kesiti belirlenmiştir.

Tablo 4.45. C27 sınıfı merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri kgf/cm ²	Kayma gerilmesi kgf/cm ²	Kayma sınır değeri kgf/cm ²	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,09	314,29	130	15,52	9	2,15	0,81
40x100	4000	4,13	203,15		12,54		1,11	
40x120	4800	4,16	142,12		10,53		0,65	
40x150	6000	4,21	92,07		8,53		0,34	
45x120	5400	4,18	126,95		9,40		0,58	
45x150	6750	4,24	82,44		7,63		0,30	
50x100	5000	4,17	164,13		10,13		0,90	
50x120	6000	4,21	115,09		8,53		0,52	
60x80	4800	4,16	213,18		10,53		1,46	
60x100	6000	4,21	138,11		8,53		0,76	
60x120	7200	4,25	96,82		7,17		0,44	
80x80	6400	4,22	162,23		8,01		1,11	
80x100	8000	4,29	105,55		6,52		0,58	
80x120	9600	4,35	74,32		5,51		0,34	

C24 sınıfı malzeme kullanılarak tasarlanan yapıda Eurocode 5 standardına göre yapılan hesaplamalardan elde edilen kesit hesap değerleri tablo 4.46'da görülmektedir. Hesaplamalar sonucunda bu direnç sınıfındaki malzeme için en küçük en kesit alanı ile mertek üzerine etkiyen yükü 40x150 mm en kesitli elemanın taşıyabildiği sonucu elde edilmiştir.

Tablo 4.46. C24 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,61	43,14	14,77	2,13	1,54	19,16	8,1
40x100	4000	5,65	27,81		1,72		9,88	
40x120	4800	5,69	19,45		1,44		5,76	
40x150	6000	5,75	12,57		1,16		2,98	
45x120	5400	5,72	17,37		1,29		5,15	
45x150	6750	5,79	11,25		1,04		2,67	
50x100	5000	5,69	22,41		1,38		7,96	
50x120	6000	5,75	15,71		1,16		4,65	
60x80	4800	5,69	29,18		1,44		12,96	
60x100	6000	5,75	18,85		1,16		6,70	
60x120	7200	5,81	13,25		0,98		3,93	

2. sınıf göknar/karaçam malzemeler kullanılarak tasarlanan yapıda mertek elemanlarının TS 647 standardına göre elde edilen kesit hesap değerleri tablo 4.47'de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre mertek üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları 4x15 cm en kesitli eleman güvenle karşılamaktadır.

Tablo 4.47. C24 sınıfı merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi (kgf/cm ²)	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,09	314,29	100	15,52	9	2,15	0,81
40x100	4000	4,12	202,65		12,51		1,11	
40x120	4800	4,15	141,77		10,50		0,65	
40x150	6000	4,19	91,63		8,48		0,33	
45x120	5400	4,17	126,64		9,38		0,58	
45x150	6750	4,22	82,04		7,60		0,30	
50x100	5000	4,15	163,32		10,08		0,89	
50x120	6000	4,19	114,53		8,48		0,52	
60x80	4800	4,15	212,66		10,50		1,45	
60x100	6000	4,19	137,44		8,48		0,75	
60x120	7200	4,24	96,61		7,16		0,44	

Tablo 4.48’de C18 sınıfı malzemeden üretilen mertek elemanlarının kesit hesap değerleri görülmektedir. Hesaplanan kesit değerlerine göre 40x170 mm en kesitin kullanımı ile en küçük en kesit alanında mertek üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonlar güvenli şekilde karşılanmaktadır.

Tablo 4.48. C18 sınıfı merteklerin Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi (N/mm ²)	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,58	42,94	11,08	2,12	1,23	23,30	8,1
40x100	4000	5,63	27,68		1,71		12,02	
40x120	4800	5,67	19,36		1,43		7,01	
40x150	6000	5,72	12,51		1,16		3,62	

Tablo 4.48 devam.

40x170	6800	5,76	9,81		1,03		2,51	
45x120	5400	5,69	17,29		1,28		6,26	
45x150	6750	5,75	11,17		1,03		3,24	
45x170	7650	5,80	8,78		0,92		2,24	
50x100	5000	5,68	22,36		1,38		9,71	
50x120	6000	5,72	15,64		1,16		5,66	
60x80	4800	5,67	29,04		1,43		15,76	
60x100	6000	5,72	18,76		1,16		8,15	
60x120	7200	5,77	13,15		0,97		4,76	
80x80	6400	5,73	22,04		1,09		11,97	
80x100	8000	5,81	14,30		0,88		6,22	

3. sınıf karaçam/göknar ahşabının kullanıldığı yapıda mertekler üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonlarla ilgili kesit hesap değerleri tablo 4.49’da görülmektedir. Elde edilen değerlere göre 4,5x17 cm en kesitli malzeme ile mertek üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonlar güvenli şekilde karşılanmaktadır.

Tablo 4.49. C18 sınıfı merteklerin TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,07	312,72	70	15,44	9	2,14	0,81
40x100	4000	4,10	201,65		12,45		1,10	
40x120	4800	4,13	141,08		10,45		0,64	
40x150	6000	4,17	91,18		8,44		0,33	
40x170	6800	4,20	71,51		7,50		0,23	
45x120	5400	4,15	126,02		9,33		0,57	
45x150	6750	4,19	81,45		7,54		0,30	
45x170	7650	4,23	64,03		6,72		0,21	

Tablo 4.49 devam.

50x100	5000	4,14	162,92		10,06		0,89	
50x120	6000	4,17	113,98		8,44		0,52	
60x80	4800	4,13	211,61		10,45		1,45	
60x100	6000	4,17	136,77		8,44		0,75	
60x120	7200	4,21	95,91		7,10		0,44	
80x80	6400	4,18	160,67		7,93		1,10	
80x100	8000	4,24	104,33		6,44		0,57	

4.5.4. Aşık Kesitlerinin Optimizasyonu

Aşık elemanlarının optimizasyonu için kalite sınıflarına göre tasarlanan yapılarda kullanılan elemanlar için kesit hesaplamaları ilgili standartlara göre yapılmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde gösterilmiştir.

Tablo 4.50’de C35 sınıfı malzeme kullanılarak tasarlanan yapıdan elde edilen değerlere göre Eurocode 5 standardına göre yapılan hesaplama sonuçları verilmiştir. Tabloda elde edilen sonuçlara göre 40x120, 50x100, 50x120, 60x100, 60x120 ve 80x100 en kesitindeki malzemelerin en çok zorlanan aşık üzerine etkiyen yükü karşılayabildiği belirlenmiştir. En kesit alanına göre kıyaslama yapıldığında 40x120 en kesitli malzemenin yükü en optimal şekilde karşıladığı saptanmıştır.

Tablo 4.50. C35 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,72	37,70	21,54	2,01	2,09	12,59	7,5
40x100	4000	5,96	25,15		1,68		6,49	
40x120	4800	6,02	17,63		1,41		3,79	
50x100	5000	6,03	20,35		1,36		5,26	
50x120	6000	6,10	14,29		1,14		3,08	

Tablo 4.50 devam.

60x80	4800	6,02	26,44		1,41		8,54	
60x100	6000	6,10	17,15		1,14		4,43	
60x120	7200	6,06	11,83		0,95		2,56	
80x100	8000	6,22	13,11		0,87		3,39	

TS 647 standardına göre 1. Sınıf karaçam malzeme ile tasarlanan yapıda elde edilen kesit hesap değerleri tablo 4.51’de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre 50x120, 60x120 ve 80x100 cm en kesitlerindeki malzemelerin aşık üzerinde oluşan eğilme ve kayma gerilmeleri ile deformasyonu karşılayabildiği görülmüştür. En küçük en kesitli malzemenin kullanımı amaçlandığından en kesit alanı karşılaştırması yapılarak 5x12 ve 6x10 cm en kesitli malzemelerin en kesit alanları aynı olduğundan her ikisinin de kullanımının uygun olduğu söylenebilmektedir. Emniyet gerilmesi değerine 5x12 cm en kesitli malzeme daha uzak olduğu için en uygun en kesit olarak diğer hesap adımlarında kullanılmıştır.

Tablo 4.51. C35 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi (kgf/cm ²)	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,35	286,92	130	15,3	9	1,68	0,75
40x100	4000	4,38	184,92		12,33		0,87	
40x120	4800	4,42	129,611		10,37		0,51	
50x100	5000	4,43	149,66		9,98		0,70	
50x120	6000	4,49	105,12		8,41		0,41	
60x80	4800	4,42	194,42		10,37		1,14	
60x100	6000	4,49	126,15		8,41		0,59	
60x120	7200	4,45	87		6,96		0,34	
80x100	8000	4,58	96,55		6,44		0,45	

C27 sınıfı malzemenin kullanıldığı aşık elemanlarının kesit hesap değerleri tablo 4.52’de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre bu direnç sınıfının kullanıldığı aşıklarda 45x120 mm

en kesiti ile en küçük en kesit alanı ile aşık üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonlar güvenli

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,77	38,06	16,62	2,03	1,72	13,74	7,5
40x100	4000	6,00	25,33		1,69		7,09	
40x120	4800	6,06	17,75		1,42		4,14	
45x100	4500	6,03	22,61		1,51		6,33	
45x120	5400	6,08	15,84		1,27		3,70	
50x100	5000	6,07	20,49		1,37		5,73	
50x120	6000	6,12	14,35		1,15		3,35	
60x80	4800	6,06	26,62		1,42		9,31	
60x100	6000	6,12	17,23		1,15		4,82	
60x120	7200	6,19	12,09		0,97		2,82	
80x100	8000	6,27	13,23		0,88		3,71	

şekilde karşılanabilmektedir.

Tablo 4.52. C27 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

1. sınıf göknar ahşabının kullanıldığı elemanların TS 647 standardına göre en çok zorlanan eleman için uygulanan kesit hesap sonuçları tablo 4.53’de görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre 5x12 cm en kesitindeki malzeme standart değerlerine göre aşık üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları en küçük en kesit alanı ile güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.53. C27 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,35	286,9212	130	15,30	9	1,68	0,75
40x100	4000	4,38	184,9197		12,33		0,87	
40x120	4800	4,42	129,611		10,37		0,51	
45x100	4500	4,40	165,1376		11,01		0,77	
45x120	5400	4,44	115,7407		9,26		0,45	

Tablo 4.53 devam.

50x100	5000	4,43	149,656		9,98		0,70	
50x120	6000	4,48	104,8834		8,39		0,41	
60x80	4800	4,42	194,4166		10,37		1,14	
60x100	6000	4,48	125,8601		8,39		0,59	

Tablo 4.54’de C24 sınıfı malzemeler ile tasarlanan yapıda kullanılan aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri görülmektedir. Hesap sonuçlarına göre 40x150 mm en kesitindeki malzeme üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.54. C24 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,75	37,88	14,77	2,02	1,54	14,89	7,5
40x100	4000	5,96	25,15		1,68		7,68	
40x120	4800	6,00	17,59		1,41		4,47	
40x150	6000	7,57	14,19		1,42		2,85	
45x100	4500	5,99	22,46		1,50		6,86	
45x120	5400	6,04	15,74		1,26		4,00	
50x100	5000	6,02	20,31		1,35		6,20	
50x120	6000	6,07	14,23		1,14		3,62	
60x80	4800	6,00	26,38		1,41		10,07	
60x100	6000	6,07	17,07		1,14		5,21	

TS 647 standardına göre 2. Sınıf göknar/karaçam ahşabının kullanıldığı yapıda en çok zorlanan aşık için kesit hesap değerleri tablo 4.55’de görülmektedir. Hesap değerlerine göre 4x15 cm en kesitindeki malzeme üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.55. C24 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,32	284,91	100	15,19	9	1,67	0,75
40x100	4000	4,35	183,63		12,24		0,86	
40x120	4800	4,38	128,42		10,27		0,50	
40x150	6000	4,43	83,06		8,31		0,26	
40x170	6800	4,46	65,11		7,38		0,18	
45x100	4500	4,37	163,99		10,93		0,77	
45x120	5400	4,41	114,94		9,20		0,45	
45x150	6750	4,46	74,33		7,43		0,23	
50x100	5000	4,39	148,28		9,89		0,70	
50x120	6000	4,43	103,93		8,31		0,41	
60x80	4800	4,38	192,62		10,27		1,13	
60x100	6000	4,43	124,71		8,31		0,58	

Tablo 4.56’da C18 malzeme kullanılarak tasarlanan yapıda aşık elemanlarının kesit hesap değerleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bu direnç sınıfındaki aşığın üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları en küçük en kesit alanı ile 45x150 mm en kesitindeki malzeme güvenle karşılayabilmektedir.

Tablo 4.56. C18 sınıfı aşıkların Eurocode 5 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (N/mm)	Eğilme gerilmesi N/mm ²	Eğilme sınır değeri (N/mm ²)	Kayma gerilmesi (N/mm ²)	Kayma sınır değeri (N/mm ²)	Deformasyon (mm)	Deformasyon sınır değeri (mm)
40x80	3200	5,76	37,97	11,08	2,03	1,23	18,20	7,5
40x100	4000	5,96	25,15		1,68		9,38	
40x120	4800	6,00	17,59		1,41		5,47	
40x150	6000	6,06	11,36		1,14	1,23	2,83	
40x170	6800	6,10	8,90		1,01		1,95	
45x100	4500	5,98	22,41		1,49		8,36	

Tablo 4.56 devam.

45x120	5400	6,03	15,70		1,26		4,88	
45x150	6750	6,10	10,16		1,02		2,53	
45x170	6750	6,14	7,96		0,90		1,75	
50x100	5000	6,00	20,26		1,35		7,56	
50x120	6000	6,06	14,20		1,14		4,41	
60x80	4800	6,00	26,38		1,41		12,30	
60x100	6000	6,06	17,04		1,14		6,36	

3. sınıf göknar/karaçam malzemenin kullanıldığı yapıda en çok zorlanan aşık üzerine etkiyen kuvvetlere göre kesit hesap değerleri tablo 4.57’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 4x17 cm en kesitli malzeme yapı elemanı üzerine etkiyen gerilme ve deformasyonları güvenli şekilde karşılayabilmektedir.

Tablo 4.57. C18 sınıfı aşıkların TS 647 standardına göre kesit hesap değerleri.

Kesit (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Toplam yük (kgf/cm)	Eğilme gerilmesi kgf/cm ²	Eğilme sınır değeri (kgf/cm ²)	Kayma gerilmesi (kgf/cm ²)	Kayma sınır değeri (kgf/cm ²)	Deformasyon (cm)	Deformasyon sınır değeri (cm)
40x80	3200	4,32	284,91	70	15,19	9	1,67	0,75
40x100	4000	4,35	183,63		12,24		0,86	
40x120	4800	4,38	128,42		10,27		0,50	
40x150	6000	4,42	82,95		8,30		0,26	
40x170	6800	4,45	65,03		7,37		0,18	
45x100	4500	4,36	163,61		10,91		0,77	
45x120	5400	4,40	114,68		9,17		0,45	
45x150	6750	4,45	74,24		7,42		0,23	
45x170	7650	4,49	58,20		6,60		0,16	
50x100	5000	4,38	147,94		9,86		0,69	
50x120	6000	4,42	103,69		8,30		0,41	
60x80	4800	4,38	192,62		10,27		1,13	
60x100	6000	4,42	124,43		8,30		0,58	

4.6. YAPI ELEMANLARININ MALİYETLERİ

Tasarlanan yapıda taşıyıcı elemanları için toplamda 17,87 m³ malzeme kullanılmıştır. Kolon, kiriş, aşıklık ve merteklerin üretimi için toplamda 9,89 m³ kereste kullanılacağı belirlenmiştir. Toplam kereste maliyeti 1., 2. ve 3. sınıf karaçam malzemeler için sırasıyla 384205 TL, 326127 TL ve 265369 TL olarak belirlenmiştir. Göknaar malzeme kullanılarak üretilecek olan yapıda ise 1. sınıf için 301109 TL, 2. sınıf için 276985 TL, 3. Sınıf malzeme için 265369 TL taşıyıcı sistem maliyeti oluştuğu belirlenmiştir.

Tablo 4.58’de her bir direnç sınıfı için en uygun kesit ölçüsü kullanıldığında kolon, kiriş, aşıklık ve merteklere ait hesaplanan hacim değerleri görülmektedir. Yapıdaki ana taşıyıcı elemanlar için malzeme ihtiyacı TS EN 1995 standardına göre C18 için 7,19 m³, C24 için 6,53 m³, C27 için 6,5 m³ ve C35 malzeme için 6,12 m³ olarak belirlenmiştir. TS 647 standardına göre 3. Sınıf karaçam/göknaar kullanılırsa 7,97 m³, 2. Sınıf karaçam/göknaar için 6,82 m³, 1 sınıf göknaar malzeme için 6,82 m³ ve 1. Sınıf karaçam için 7,97 m³ olmaktadır. Toplam kereste hacminin belirlenmesinde bu değerler kullanıldığında yapıda kullanılan kereste miktarının en az 1,93 m³, en çok ise 3,77 m³ azaltılabileceği belirlenmiştir.

Tablo 4.58. Tasarlanan yapıda en uygun en kesit ölçülerine göre oluşan hacim miktarı.

Direnç Sınıfı	TS 647 Hacim (m ³)	TS EN 1995 Hacim (m ³)
C18	7,97	7,19
C24	6,82	6,53
C27	6,82	6,50
C35	7,06	6,12

4.7. GÖMÜLÜ KARBON MİKTARININ BELİRLENMESİ

Tasarlanan ahşap yapıda bulunan kaplama malzemelerinde bulunan gömülü karbon miktarları tablo 4.59’da görülmektedir. Elde edilen verilere göre yüzey ve çatı kaplamalarından kaynaklı toplam 9193,56 kgCO₂ gömülü karbon olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.59. Tasarlanan yapıda kullanılan kaplama malzemelerinin gömülü karbon miktarı.

Malzeme Türü	Toplam Hacim (m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Toplam Ağırlık (kg)	Gömülü Karbon Miktarı (kgCO ₂ e/kg)	Toplam Gömülü Karbon Miktarı (kgCO ₂ e)
Çatı Kiremit	2,181	1750	3816,75	0,48	1832,04
Alçıpan	1,8	650	1170	0,238	278,52
Kontrplak	1,8	550	990	-1,61	-1594
PVC Cephe Kaplaması	1,8	1400	2520	3,10	7812
Cam	0,231	2600	600	1,44	865
Toplam	7,812		9096,75		9193,56

Tablo 4.60’da yapıda bulunan direnç sınıflarına göre taşıyıcı ahşap malzemelerin gömülü karbon miktarları verilmiştir. Elde edilen verilere göre tasarlanan yapıda ahşap malzemelerin direnç sınıfına göre toplam gömülü karbon miktarı C18 direnç sınıfıyla üretilen yapıda toplamda -13765 kgCO₂e, C24 direnç sınıfındaki malzeme ile üretilen yapıda -15214 kgCO₂e, C27 direnç sınıfındaki malzeme ile üretilen yapıda -15576,1 kgCO₂e ve C35 direnç sınıfındaki malzeme ile üretilen yapıda -17025 kgCO₂e olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.60. Tasarlanan yapıda kullanılan taşıyıcı ahşap elemanların gömülü karbon miktarları.

Yapı Elemanı Türü	Direnç Sınıfı	Toplam Hacim (m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Toplam Ağırlık (kg)	Gömülü Karbon Miktarı (kgCO ₂ e/kg)	Toplam Gömülü Karbon Miktarı
Taşıyıcı Elemanlar	C18	17,87	380	6790,6		-10525,4
	C24	17,87	420	7505,4		-11633,4
	C27	17,87	430	7684,1		-11910,4
	C35	17,87	470	8398,9		-13018,3
Döşeme	C18	5,5	380	2090	-1,55	-3239,5
	C24	5,5	420	2310		-3580,5
	C27	5,5	430	2365		-3665,75
	C35	5,5	470	2585		-4006,75

Tüm yapı elemanlarında mevcut olan gömülü karbon miktarları ile ilgili değerler tablo 4.61’de görülmektedir.

Tablo 4.61. Direnç sınıfına göre tasarlanan yapıda meydana gelen toplam gömülü karbon miktarları.

Yapı Taşıyıcı Malzeme Direnç Sınıfı	Kaplama Elemanı Gömülü Karbon Miktarı	Taşıyıcı Eleman Gömülü Karbon Miktarı	Toplam Gömülü Karbon Miktarı
C18	9193,56	-13765	-4571,34
C24	9193,56	-15214	-6020,34
C27	9193,56	-15576	-6382,59
C35	9193,56	-17025	-7831,49

5. TARTIŞMA

5.1. GÖRSEL DEĞERLENDİRME

Kirişlerde oluşan eğilme gerilmelerini belirlemek üzere en kesit ölçüleri 5x10 cm olan karaçam ve göknar ahşaplarının 1. Sınıf, 2. Sınıf ve 3. Sınıf görsel kalite sınıflarının her birinden 10 adet olmak üzere toplam 60 adet kereste üzerinde TS 1265 [74] standardına uygun olarak kalite sınıfını belirlemek amacıyla inceleme yapılmıştır. Bu amaçla örneklerin yıllık halka genişliklerine, budak oranlarına, lif kıvrıklığı ve renklenme gibi diğer görsel kusurlara göre ölçüm ve değerlendirmeler yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre yükleme bölgesi içerisinde bulunan en büyük kusura göre örnekler görsel kalite sınıflarına ayrılmışlardır. Sonuç olarak endüstride kalite sınıflarına göre tasnif edilerek satılan kerestelerde 1. Sınıf kereste miktarının daha fazla olduğu ancak 2. ve 3. sınıf kerestelerin sayısında satın alınan miktara göre azalma olmuştur. Kereste üreticisinden alınan örnek kalite sınıfları ile standart ölçütlerine göre yapılan değerlendirmeler arasındaki farklılığın sebebi olarak üreticilerin değerlendirmeyi daha yüzeysel olarak ve çoğunlukla ölçüm yapılmadan gözle muayene şeklinde gerçekleştirmesi olarak düşünülmektedir.

5.2. FİZİKSEL VE MEKANİK TESTLER

5.2.1. Rutubet

Test edilen örneklerin kırılma noktalarına yakın bir alandan kesilen rutubet örneklerinden elde edilen örnek rutubetlerine ait bulgular incelendiğinde test edilen 25 karaçam örnek için ortalama %17,1 rutubet değeri bulunmuştur. Örnek rutubetlerinin ise %14,3 - %22,2 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Göknar kerestelerinde ise örnek rutubetleri %13,4 ile %15,9 arasında değişkenlik göstererek ortalama rutubet miktarının %14,4 olduğu bulunmuştur.

Kerestelerden elde edilen rutubet miktarına göre genel inceleme yapıldığında karaçam örneklerinin rutubet aralığının daha fazla olduğu ve ortalama rutubetin %65 bağıl nem ve 20 °C sıcaklık değerinde oluşan ve hava kurusu kabul edilen %12 rutubet değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Göknar örneklerde ise rutubet değerleri arasındaki değişim miktarının daha dar bir aralıkta olduğu ve hava kurusuna yakın bir değerde olduğu görülmektedir. Her

iki tür için TS EN 14081 – 1 [83] standardında belirtildiği üzere örnek grubu içerisinde %24'ten daha yüksek örnek rutubeti bulunmadığı ve ortalama örnek rutubetlerinin %20 değerinden daha düşük olduğu görüldüğünden yapısal amaçla kullanıma uygun keresteler olduğu söylenebilmektedir.

5.2.2. Yoğunluk

Test edilen örneklerden elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde karaçam kerestelerinin %12 rutubet değerine tahvil edilmiş ortalama yoğunluğunun $583,33 \text{ kg/m}^3$ olduğu belirlenmiştir. Bülbül (2012); yapmış olduğu çalışmada 116 adet karaçam kerestesinin yoğunluklarını ölçerek ortalama yoğunluğun 520 kg/m^3 olduğunu belirtmiştir [27]. Yapılan başka bir çalışmada Göker [26], Dursunbey ve Elekdağ karaçamları ile ilgili yapmış olduğu çalışmasında, Dursunbey yöresinden yetişen karaçamların hava kurusu yoğunluklarını 560 kg/m^3 , Elekdağ yöresinde yetişen karaçamların yoğunluklarını 556 kg/m^3 olarak bulmuştur[26]. Yoğunluk açısından test edilen karaçam örneklerinin yoğunluklarının literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Gökmar örneklerin ortalama hava kurusu yoğunluk değeri $436,98 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Erdin ve Bozkurt (2013), gökmar ahşabının hava kurusu yoğunluk değerini 430 kg/m^3 olarak belirtmektedir[20]. Test edilen gökmar kerestelerinin yoğunlukları literatür değerleri ile uyumlu olduğu bulunmuştur.

5.2.3. Eğilme Direnci

Tahribatlı testlerden elde edilen eğilme direnci değerleri incelendiğinde test edilen 25 karaçam kerestesinin ortalama eğilme direnci değeri $52,87 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit edilmiştir. Test edilen gökmar kerestelerinin ortalama eğilme direnci değeri ise $44,15 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüştür.

Yerli türlerimizin büyük boyutlu testleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır bu çalışmaların başında yerli türlerimizin direnç sınıflarının belirlenmesi için yapılan çalışmaların sonuçlarının Avrupa Standartlar Komitesi (CEN)'ne Dündar (2022) tarafından sunulan gökmar ve karaçam verileri bulunmaktadır [84]. CEN'e sunulan sonuçlara göre Karaçam ahşabının 1. Sınıfı için ortalama $60,8 \text{ N/mm}^2$, 2. Sınıf için $46,5 \text{ N/mm}^2$ ve 3. Sınıfı için ise $39,4 \text{ N/mm}^2$ eğilme direncine sahip olduğu belirtilmiştir. Üç kalite sınıfının eğilme direnci ortalaması ise $48,9 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanabilmektedir. Aynı sunumda Gökmar türüne ait verilen değerler 1. Sınıf, 2. Sınıf ve 3. Sınıf keresteler için sırasıyla $49,3 \text{ N/mm}^2$, $42,2 \text{ N/mm}^2$ ve $33,7 \text{ N/mm}^2$ olarak belirtilmiştir. Gökmar ahşabının kalite sınıflarının ortalaması $41,73 \text{ N/mm}^2$ olarak

hesaplanabilmektedir. Bu değerler ile çalışmada elde edilen veriler karşılaştırıldığında çalışma verilerinin daha yüksek olduğu ancak ahşap malzemenin doğası gereği farklılıklar oluşabileceğinden dolayı literatürle uyumlu olarak değerlendirilebilmektedir. Bunun yanında çalışmada kullanılan kerestelerde 1. Sınıf kereste sayısının fazla olması dolayısıyla arada oluşan farklılık açıklanabilmektedir. Yapılan başka bir çalışmada Dahlen vd. [85], çam türleri için $48,26 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci bulunduğunu tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada Douglas göknarı için ortalama $42,10 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci bulunduğunu açıklamışlardır. Bu değerlerle karşılaştırıldığında elde edilen eğilme direnci verilerinin karaçam ve göknar türleri için literatür ile uyumlu olduğu söylenebilmektedir.

5.2.4. Global Elastikiyet Modülü

Tahribatlı olarak test edilen karaçam kerestelerinden elde edilen global elastikiyet modülü değerleri %12 rutubet derecesine tahvil edilmiştir. Bu şekilde elastikiyet modülü değerlerinin $7,79 \text{ kN/mm}^2$ ile $17,22 \text{ kN/mm}^2$ değerleri arasında değişiklik gösterdiği ve ortalama $11,60 \text{ kN/mm}^2$ global elastikiyet modülü değeri bulunduğu belirlenmiştir. Dünder (2022), CEN komitesine yapmış olduğu sunumda karaçam ahşabının 1. Sınıf, 2. Sınıf ve 3. Sınıfları için sırasıyla $14,5 \text{ kN/mm}^2$, $12,1 \text{ kN/mm}^2$ ve 11 kN/mm^2 elastikiyet modülü bulunduğunu belirtmiştir [84]. Kalite sınıflarının ortalaması $12,5 \text{ kN/mm}^2$ olarak hesaplanabilmektedir. Dahlen vd. [85], yapmış oldukları çalışmada çam türleri için ortalama $10,98 \text{ kN/mm}^2$ elastikiyet modülü olduğunu belirtmişlerdir. Yapılmış olan başka bir çalışmada Green ve Evans (1987) çam türleri için global elastikiyet modülünün $10,54 \text{ kN/mm}^2$ olduğunu belirtmişlerdir[86]. Bu çalışma kapsamında elde edilen $11,60 \text{ kN/mm}^2$ elastikiyet modülü değerinin bu çalışmalar ile uyumlu olduğu söylenebilmektedir.

Göknar örneklerinin %12 rutubet derecesine tahvil edilmiş global elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde ortalama global elastikiyet modülü değerinin $10,30 \text{ kN/mm}^2$ olduğu belirlenmiştir. Dünder(2022), Göknar ahşabının 1. Sınıf, 2. Sınıf ve 3. Sınıf kaliteleri için elastikiyet modülü değerlerini sırasıyla 13 kN/mm^2 , 12 kN/mm^2 ve $10,9 \text{ kN/mm}^2$ olarak belirtmiştir [84]. Türe ait ortalama elastikiyet modülü $11,96 \text{ kN/mm}^2$ olarak hesaplanabilmektedir. Dahlen vd. [85], yapmış oldukları çalışmada Douglas göknarı için $11,51 \text{ kN/mm}^2$ elastikiyet modülü bulunduğunu açıklamışlardır. Benzer bir çalışmada [86], Douglas göknarı için global elastikiyet modülü değeri $10,82 \text{ kN/mm}^2$ olarak verilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan testlerden elde edilen $10,30 \text{ kN/mm}^2$ elastikiyet modülü değeri literatür ile uyumludur.

5.2.5. Tahribatlı Testler ile SAP2000 Programının Karşılaştırılması

SAP2000 programı ile tahribatlı testlerden elde edilen eğilme direnci verileri arasındaki ilişkiler incelendiğinde karaçam ve göknar ahşaplarına ilişkin verilerin her ikisi içinde yapılan istatistik analizlerde veriler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

Karaçam örnekleri için tahribatlı testlerde ortalama $52,87 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci elde edilirken bu değer SAP2000 programında $54,29 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. İki değer arasında $1,42 \text{ N/mm}^2$ fark bulunmaktadır. Yapılan t testi sonucunda (önem düzeyi 0,7) gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir.

Göknar örneklerde ise tahribatlı eğilme testlerinde ortalama $44,15 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci oluşurken, programdan alınan verilerde $45,01 \text{ N/mm}^2$ eğilme direnci değeri hesaplanmıştır. Göknar kirişler için aradaki eğilme direnci farkı $0,86 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmaktadır. Yapılan t testi sonucunda (önem düzeyi 0,813) gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir.

Karşılaştırması yapılan her iki tür içinde programdan elde edilen değerlerin tahribatlı testlerden elde edilen verilerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Tahribatlı testlerin hesaplaması yapılırken sadece test makinesinden elde edilen yük değeri hesaplamaya konu edilirken, program üzerinde yapılan analizde örnek yoğunluğunun oluşturduğu ölü yüklerin ek bir kuvvet olarak etki ettiği görülmüştür. Bu durum program üzerinde elde edilen eğilme direnci değerlerinin tahribatlı testlere göre daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. Ancak aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı olmadığından dolayı hem elle hesaplamalarda elde edilen gerilmeler hem de program üzerinden elde edilen gerilme değerleri yapısal malzemelerin hesaplanmasında güvenle kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

Deformasyonlarla ilgili karşılaştırmaların yapılmasında tahribatlı testlerde maksimum kuvvet anında makine başlığında oluşan deformasyon miktarı veri olarak kullanılırken, SAP2000 programında tahribatlı testlerden alınan maksimum yük değerlerinin örnekte oluşturduğu deformasyon miktarı kullanılmıştır.

Karaçam kirişlerin eğilme direnci testlerinde maksimum kuvvette ortalama $43,58 \text{ mm}$ deformasyon oluşurken bu değer SAP2000 programında $30,74 \text{ mm}$ olarak belirlenmiştir. İki değer arasında yaklaşık %42'lik bir fark bulunmaktadır.

Gökmar kirişlerin eğilme direnci testlerinde elde edilen maksimum deformasyon miktarları karşılaştırıldığında ise tahribatlı testlerde ortalama 35,10 mm deformasyon gözlenirken bu değer programda yapılan analizde 27,19 mm olarak belirlenmiştir. İki değer arasında yaklaşık %29 oranında bir farklılık bulunduğu saptanmıştır.

Deformasyonlar arasındaki farklılığı istatistiksel olarak belirlemek amacıyla yapılan bağımsız örneklem t testi sonuçlarına göre her iki tür için de tahribatlı testler ile programdan elde edilen deformasyon değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunduğu görülmektedir.

SAP2000 programı analizleri gerçekleştirirken programa tahribatlı testlerden elde edilerek girilen elastikiyet modülü ve poisson oranlarını kullanarak elastik özelliklerle ilgili sonuçlar türetmektedir. Sonuçlar üretilirken malzemelerin tanımlanan elastikiyet modüllerine göre doğrusal olarak deformasyon gösterdiği varsayımı ile yaklaşmaktadır. Bu sebeple deformasyonlar arasında farklılık bulunduğu değerlendirilebilmektedir. SAP2000 programının ahşap yapıda kullanıldığı birçok çalışmaya rastlanılmıştır ancak ahşap yapılarda kullanım imkânının sorgulandığı çalışma sayısının kısıtlı olduğu görülmüştür. Martin (2011), yapmış olduğu çalışmada SAP 2000 programı ile oluşturulan modellerin ahşap yapıların tahribatlı olarak test edilmelerini yeterli derecede karşıladığını belirtmiştir [87].

5.3. YAPI ELEMANLARININ PERFORMANSLARI

5.3.1. Kolonlar Arasındaki İlişkiler

Tez çalışması kapsamında tasarlanan yapının kolonları üzerine etkiyen toplam eksenel yük üzerinde farklı direnç sınıflarındaki malzemelerin kullanımının etkili olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre malzeme direnç sınıfının kolon üzerinde bir etkisi olmadığı görülmüştür. C18 malzemede kolonlar üzerine ortalama 22,29 kN eksenel yük etki ederken bu değer C24 malzeme için 23,22 kN, C27 malzeme için 23,94 kN ve C35 malzeme için ise 24,61 kN olarak belirlenmiştir. En çok eksenel yükün etki ettiği C35 ve en az eksenel yükün etki ettiği C18 malzemelerin arasındaki yük farkı yaklaşık %10,41'dir. En çok zorlanan kolonlara etki eden yüklere göre ise C35 malzeme ile C18 malzeme arasında %9.22 oranında bir fark bulunmaktadır. Yapı üzerinde etkiyen hareketli yükler sabit olarak tanımlandığından fark çoğunlukla malzeme yoğunluğuna bağlı olarak ölü yüklerden kaynaklanmaktadır. Tasarımı yapılan ahşap yapıda bulunan tüm malzeme ağırlıklarının oluşturduğu bu farka rağmen yapıda kullanılan malzeme türünün kolon üzerine

etkiyen eksenel yük üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığından (önem düzeyi 0,676) kullanılan malzeme direnç türü değiştirilerek yapı üretiminde maddi olarak tasarruf edilebileceği değerlendirilebilmektedir.

Kolonların bulunduğu kotun kolon üzerine düşen yük miktarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan incelemede zemin kotunda bulunan 180 adet kolona ortalama 29,97 kN eksenel yük etki ederken 1. kat kolonlarına ortalama 17,06 kN yük etki etmektedir. Kot farkından dolayı zemin kat kolonlarının üzerinde %75,67 oranında daha fazla eksenel yük etki ettiği belirlenmiştir. Kolon kotunun yük üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan istatistiksel analizde %95 oranında anlamlı bir farklılık bulunduğu tespit edilmiştir. Zemin kotunda bulunan kolonların üzerine yapının tüm ağırlığı etki ettiğinden bu durum beklenen şekilde gerçekleşmiştir. İki katlı olarak tasarlanan bu yapı için bu konstrüksiyon tipinde iki kat arasında oluşan kuvvetler arasında oluşan farklılık ile yapı üzerinde kolon kesit ölçülerinin tasarımının özenli şekilde yapılması gerektirdiğini göstermektedir.

Yük türlerinin kolonlar üzerine etkime oranlarını belirlemek amacıyla yapılan analizlerde 120 kolon üzerine etkiyen ortalama ölü yük 10,54 kN olarak belirlenirken hareketli yüklerde ise 24,74 kN değeri elde edilmiştir. Kolonlar üzerine etkiyen toplam eksenel yük ise 35,28 kN olarak bulunmuştur. Kolonlar üzerine etkiyen eksenel yük türlerinin grup ortalamaları arasında beklendiği üzere %95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Ölü yüklerin toplam yüke oranı %29.87 iken hareketli yüklerin toplam yük içerisindeki oranı %70.12 olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle tasarlanan ahşap yapı için hareketli yüklerin kolonlara daha büyük bir eksenel yüke sebep olduğu söylenebilmektedir.

5.3.2. Kirişler Arasındaki İlişkiler

Tasarlanan yapının kirişlerine etkiyen eğilme moment değerleri üzerine malzeme direnç sınıfının etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlerde malzeme direnç sınıfının kirişler üzerine etkiyen eğilme momenti değeri üzerine istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Ortalama eğilme momentleri arasındaki ilişkilerde en çok yükün etki ettiği C35 direnç sınıfındaki malzeme ile en az yükün etki ettiği C18 direnç sınıfındaki malzeme arasında 0,2 N-mm miktarında bir farklılıkla C35 malzemenin daha yüksek eğilme momentine maruz kaldığı belirlenmiştir. Etkiyen en yüksek eğilme momentleri karşılaştırıldığında ise C35 malzeme sırasıyla C27, C24 ve C18 malzemelerden %1,93, %3,88 ve %6,68 oranlarında daha yüksek maksimum eğilme momentine maruz kalmıştır. Malzeme

direnç sınıfının kiriş üzerine etkileyen yük üzerinde anlamlı bir etkisi olmaması dolayısıyla malzemelerin birbiri yerine kullanılmasında standartlarla belirlenen hesaplamalar kısıtlayıcı olmaktadır.

Kiriş kotunun kirişler üzerine etkileyen eğilme momentleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla yapılan analizlerde ara kat ve çatı katı kirişlerinin üzerinde etkileyen eğilme moment değerleri arasında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda ilgili direnç sınıfı özellikleri ile tasarlanan yapıların ara kat kirişlerinin üzerine ortalama 5,34 N-mm eğilme momenti etki ederken çatı katı kirişlerinin üzerine ise ortalama 4,13 N-mm eğilme momenti etki ettiği saptanmıştır. Bu hali ile ara kat kirişleri üzerine etkileyen ortalama eğilme momenti değerleri çatı katı kirişlerinin üzerine etkileyen ortalama eğilme momenti değerlerinden %29,3 oranında daha yüksektir. Kirişler üzerine etkileyen en yüksek eğilme momenti değerleri açısından değerlendirme yapıldığında ise bu oran %78,33 değerine yükselmektedir. Ara kat kirişlerinin üzerine etkileyen yüklerde ara kat konstrüksiyonunun kütle ve ek yüklerinin de etkidiği düşünüldüğünde farklılığın sebebi anlaşılmaktadır. Maksimum eğilme momenti değerleri açısından ise yapı ağırlığı dolayısıyla eğilme momentinin büyük oranda arttığı ancak temele iletilen yüklerin etkisiyle artışın sınırlı olduğu söylenebilmektedir.

Kiriş uzunluğunun kirişler üzerine etkileyen eğilme momentlerinin üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler değerlendirildiğinde ise tasarlanan yapıda kullanılan 3 ve 4,5 metre uzunluklarındaki kirişlerin üzerine etkileyen eğilme momentleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunduğu tespit edilmiştir. 3 metre kirişlere etkileyen ortalama eğilme momenti değerleri ile 4,5 metre kirişlere etkileyen ortalama eğilme momenti değerleri arasında %48,55 oranında bir farklılıkla 4,5 metre kirişlerin üzerine etkileyen eğilme momenti değerleri daha yüksek olarak bulunmuştur.

5.4. Yapı Elemanlarının Hesaplamaları

5.4.1. Kolon Hesapları

TS 647 ve TS EN 1995 standartlarında bulunan hesap yöntemleri kullanılarak kolonların üzerlerine etkileyen eksenel kuvvet bakımından yapıda kullanımına uygunlukları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.1’de sunulmuştur.

Tablo 5.1. Kolonların hesaplamalarından elde edilen bulgular.

Standart	Malzeme Sınıfı	λ	ω	σ_b	$\sigma_{b,em}$
TS 647	1.Sınıf karaçam	63,51	1,72	42,70	110
	1.Sınıf göknar	63,51	1,72	41,45	110
	2. sınıf karaçam ve göknar	63,51	1,72	40,2	85
	3. sınıf karaçam ve göknar	63,51	1,72	38,53	60
TS EN 1995	Direnç Sınıfı	k	k_c	$\sigma_{c,0,d}$	$k_{c,y} \times f_{c,0,d}$
	C35	1,17	0,62	3,39	9,54
	C27	1,16	0,63	3,31	8,53
	C24	1,16	0,63	3,19	8,14
	C18	1,2	0,60	3,07	6,65

Hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre 150 x 150 mm en kesiti malzeme kullanılarak tasarlanan kolonlar tüm malzeme türleri için oluşan basınç gerilmelerini standartların izin verdiği ölçüde karşılamakta ve üzerlerine düşen yükleri güvenle karşılamaktadır.

TS 647 standardı kullanılarak yapılan hesaplamalar incelendiğinde 1. Sınıf karaçam malzeme kullanılarak tasarlanan yapıda en yüksek basınç gerilmesinin oluştuğu kolon için oluşan gerilme standardın izin verdiği emniyet gerilmesine oranı %38,82 olarak hesaplanmıştır. 1. Sınıf göknar malzeme için bu değer %37,68 olarak belirlenmiştir. 2. Sınıf karaçam ve göknar keresteleri ile oluşturulan yapıda oluşan gerilmenin emniyet gerilmesi değerine oranının %47,29 oranında karşılandığı belirlenmiştir. 3. Sınıf karaçam ve göknar malzemenin kullanıldığı yapıda ise kolonlar üzerine düşen yüklerin emniyet gerilmelerine oranı %64,22 olarak hesaplanmıştır.

TS EN 1995 standardı için sonuçlar değerlendirildiğinde C35 direnç sınıfındaki malzemeler ile oluşturulan konstrüksiyonun standart hesap değerlerine oranı %35,53 olmaktadır. C27 malzeme için bu değer %38,80 olarak belirlenirken C24 direnç sınıfı ile tasarlanan yapı kolonları için %39,19 oranında karşılamakta, C18 malzemelerin kullanıldığı konstrüksiyonda ise %46,16 oranı elde edilmektedir.

Standartların kendi içerisinde değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yapıldığında her iki standarda göre yapılan hesaplamalar tasarlanan yapının kolonlar üzerine etkiyen basınç gerilmesini güvenli bir şekilde karşılayabildiği ve tasarlanan yapı için kolon kesitinin güvenli bir şekilde üzerine etkiyen yükleri karşılayabildiği sonucunu ortaya çıkartmaktadır. Önceki bölümde elde edilen sonuçlarda malzeme sınıflarının kolonlar üzerine etkiyen eksenel kuvvet üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı bilindiğinden tasarlanan yapıda kullanılan malzeme türü değiştirilerek yapı maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olmaktadır. Aynı şekilde hesaplamalar dikkatli bir şekilde yapıldığında kolon en kesitlerinin standartların izin verdiği sınır gerilmelerine yakın değerler elde edilerek malzeme miktarının azaltılması dolayısıyla yapının malzeme, nakliye ve işçilik gibi maliyetlerinin düşürülebileceği söylenebilmektedir.

Standartların karşılaştırılması amacıyla basınç gerilmesi değerleri incelendiğinde C35 direnç sınıfı malzemeler kullanılarak tasarlanan yapının en çok zorlanan kolonunda oluşan basınç gerilmesinin standartların izin verdiği sınır gerilmelerini TS 647 standardı %38,82 oranında TS EN 1995 standardı %35,53 oranında karşılamaktadır. C27 malzemeler için ise TS 647 standardı için %37,68 oranını sağlarken TS EN 1995 standardı %38,80 oranında sınır gerilmesini karşılamaktadır. TS 647 standardı için bu iki malzeme türünde emniyet gerilmesi değeri eşit olarak verilmekte ve bu durumdan kaynaklı olarak kolon üzerinde oluşan basınç gerilmesi emniyet gerilmesini daha düşük oranda karşılamaktadır. Eurocode 5 standardında ise her malzeme direnç sınıfı için farklı hesap değerleri sunulmakta bu şekilde hesaplamalar malzeme türü kendi karakteristik değerleri kullanılarak hesaplamalar yapıldığından hesaplamaların hassasiyeti daha yüksektir. C24 malzeme ile tasarlanan yapıda hesaplamalar TS 647 standardı için 2. Sınıf malzeme özelliklerine göre, TS EN 1995 standardı için TS EN 338 standardında verilen değerler kullanılmıştır. Bu şekilde oluşan basınç gerilmesi TS 647 ve TS EN 1995 standartları için sırasıyla %47,29 ve %39,19 oranlarında gerçekleşmiştir. C18 direnç sınıfındaki malzemelerin kullanılarak üretilen yapıda ise TS 647 ve Eurocode 5 standartları için sırasıyla %64,22 ve %46,16 değerleri elde edilmiştir. C24 ve C18 direnç sınıfındaki malzemeler için Eurocode 5 standardı için sınır değerleri malzeme özellikleri ile orantılı olarak yükselirken TS 647 standardında değer artışları daha yüksek olmaktadır. Bu bakımdan TS 647 standardı yapı tasarımı açısından Eurocode 5 standardına göre daha güvenli alanda kalmaktadır. Ancak sadece üç farklı malzeme sınıfı için hesaplamaların yapılabilmesi dolayısıyla ahşap gibi değişken bir yapı malzemesi için ihtimalleri sınırlamakta ve kaynakların verimsiz kullanımına

sebeptir. Daha önce yapılan benzer çalışmalarda Eurocode 5 standardının kolonlar için TS 647 standardına göre daha güvenli bir şekilde yük taşımayı sağladığı belirtilmektedir [88, 89].

5.4.2. Kiriş Hesapları

TS 647 ve Eurocode 5 standartlarına göre kirişlerin tasarım hesaplamaları yapılırken eğilme gerilmesi, kayma gerilmesi ve deformasyon miktarları hesaplanarak standart değerleri ile karşılaştırılmıştır. Eğilme gerilmelerinden elde edilen değerler tablo 5.2’de görülmektedir.

Tablo 5.2. Kirişlere ait eğilme gerilmesi sonuçları.

	Malzeme Sınıfı	M (kgf-cm)	σ_{em} (kg/cm ²)	σ_e (kg/cm ²)
TS 647	1.Sınıf karaçam	122259	130	78,24
	1.Sınıf göknar	119475	130	76,46
	2. sınıf	116690,63	100	74,68
	*3. sınıf	112893,75	70	66,80
	Direnç Sınıfı	$M_{y,d}$ (N-mm)	$f_{m,y,d}$ N/mm ²	$\sigma_{m,y,d}$ N/mm ²
TS EN 1995	C35	17288437,5	21,54	11,06
	C27	16934062,5	16,61	10,84
	C24	16579687,5	14,77	10,61
	C18	16073437,5	11,07	10,29

Elde edilen sonuçlara göre Eurocode 5 standardına göre tüm direnç sınıfları için tasarlanan yapıda bulunan en çok zorlanan kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmesini karşılayabilmekte ve kesit yeterli olmaktadır. Hesaplamalar TS 647 standardına göre yapıldığında ise 1. ve 2. Sınıf malzemeler için 15 x 25 cm en kesitinde bulunan kiriş yükü güvenli bir şekilde taşıırken 3. Sınıf malzemede kiriş en kesiti üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenli taşıyamamaktadır. Kiriş kesiti 15x26 cm olarak değiştirildiğinde ise TS 647 standardına göre de kiriş üzerine etkiyen eğilme gerilmesini güvenli karşılayabilmektedir. Eurocode 5 standardında sınır gerilmeleri her direnç sınıfı için ayrı şekilde hesaplandığından dolayı sınır gerilmeleri malzeme dolayısıyla yapı kütesine göre oluşmakta bu şekilde malzemelerin efektif bir şekilde kullanımı sağlanmaktadır. TS 647 standardında ise malzeme özellikleri değil görsel değerlendirmelere göre malzeme değerlendirmesi yapıldığından dolayı malzeme emniyet gerilmeleri büyük oranda düşürülmekte ve ahşabın taşıyacağı yüklerde güvenli kullanımı amaçlanmaktadır. Teknolojideki gelişmeler ve literatürde meydana gelen artışlar ile oluşturulan başta Eurocode olmak üzere yeni standartlar ile bu sorunun önüne geçilmiştir.

Yapılarda kullanılan ahşap kirişlerin tasarım hesaplamalarında hesaplanan kayma gerilmeleri ile ilgili elde edilen sonuç değerleri TS 647 ve Eurocode 5 standartları için tablo 5.3’de görülmektedir.

Tablo 5.3. Kirişlere ait kayma gerilmesi sonuçları.

	Malzeme Sınıfı	Q (kgf)	τ_{em} (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)
TS 647	1.Sınıf karaçam	1086,75	9	4,35
	1.Sınıf göknar	1062	9	4,25
	2. sınıf	1037	9	4,15
	*3. sınıf	1003,5	9	3,86
	Direnç Sınıfı	V_d (N)	$f_{v,d}$ (N/mm ²)	τ_d (N/mm ²)
TS EN 1995	C35	15367,5	2,09	0,61
	C27	15052,5	1,72	0,60
	C24	14670	1,54	0,59
	C18	14287,5	1,23	0,57

Her iki standarda göre yapılan hesaplamalarda tasarlanan yapıda kullanılan kirişlerin üzerine düşen yüklere göre kayma gerilmeleri standart sınır değerlerinin altında kalmakta ve üzerlerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle taşımaktadır. C35 malzeme kullanılarak üretilen yapıda kayma gerilmesinin sınır gerilmesine oranı TS 647 için %48,33, Eurocode 5 için %29,16 olarak belirlenmiştir. C27 malzeme için bu oranlar %47,22 ve %34,88 olarak hesaplanmıştır. C24 direnç sınıfındaki malzeme için ise TS 647 için %46,11, Eurocode 5 için %38,11 oranlarındadır. Son olarak C18 malzeme için sırasıyla %42,89 ve %46,34 oranı olduğu gözlenmiştir.

Kayma gerilmelerinin kayma emniyet gerilmelerine oranı TS 647 standardı için azalma gösterirken, eurocode 5 standardı için artış söz konusudur. Kayma gerilmeleri için yapılan hesaplama sonuçlarına göre iki standart arasında bu sonucun oluşmasını sağlayan ilk ve en önemli fark kayma gerilmesi sınır değerinde olduğu görülmektedir. TS 647 standardında makaslama emniyet gerilmesi tüm malzeme sınıfları için sabit olarak hesaplanırken Eurocode 5 standardında her direnç sınıfının özelliklerine göre ayrı bir hesaplama yapılmaktadır. Bu durum yapının üzerine etkiyen yükleri güvenle taşıırken aynı zamanda yapı üretiminde kullanılan malzeme miktarının en uygun seviyede olmasını sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen standartların kirişlerin tasarımında sağlanması gereken diğer bir faktör olan deformasyonlarla ilgili değerler Tablo 5.4’de görülmektedir.

Tablo 5.4. Kirişlere ait deformasyon sonuçları.

	Malzeme Sınıfı	F (cm)	F_{sınır} (cm)
TS 647	1.Sınıf		
	karaçam	1,32	1,5
	1.Sınıf göknar	1,29	1,5
	2. sınıf	1,26	1,5
	*3. sınıf	1,08	1,5
TS EN 1995	Direnç Sınıfı	W_{inst}(mm)	W_{inst,s}(mm)
	C35	9,95	15
	C27	10,52	15
	C24	11,23	15
	C18	13,27	15

Standartlara göre deformasyon verileri incelendiğinde TS 647 standardı için 1. Sınıf karaçam malzeme ile oluşturulan yapı için oluşan deformasyon miktarının sınır değerine oranı %88, 1. Sınıf göknar ahşabı için %86, 2. Sınıf malzemeler için %84 ve son olarak 3. Sınıf malzemeler için %72 olduğu saptanmıştır. Bu standart için izin hesaplanan deformasyonlar malzeme kalitesi azaldıkça daha yüksek deformasyona izin verilebildiği sonucunu doğurmaktadır. TS 647 standardında iğne yapraklı ağaç türleri için tek bir elastikiyet modülü değeri verildiği ve tüm malzeme kalite sınıfları için bu değer kullanıldığından bu durumun oluşması beklenmektedir. Ancak yapı güvenliği ve malzemelerin verimli kullanımları açısından oluşturabileceği riskler ayrı olarak değerlendirilmelidir.

TS EN 1995 standardı için veriler incelendiğinde anlık deformasyonların izin verilen deformasyon miktarlarına oranı C35, C27, C24 ve C18 malzemeler için sırasıyla %66,33, %70,13, %74,87 ve %88,47 olarak belirlenmiştir. Görüldüğü üzere direnç sınıf değeri azaldıkça oluşan deformasyonun izin verilen deformasyonu gerçekleştirme oranı artmaktadır. Her bir direnç sınıfındaki malzemenin hesaplama değerleri özel olarak belirlendiğinden hesaplamaların daha isabetli ve gerçek değerlere daha yakın olarak oluşacağı değerlendirilmektedir. Eurocode 5 standardı kullanılarak tasarımları yapılan yapılarda yüksek direnç sınıfındaki malzemelerin kullanımı ile yapıda kullanılan en kesitlerin düşürülmesi sağlanabilecektir.

Meriç (2019) ve Yüncüler (2019), yapmış oldukları yüksek lisans tezlerinde ahşap yapı elemanlarının TS 647 ve Eurocode 5 standardına göre karşılaştırmasını yaparak kiriş elemanlarında benzer sonuçlar elde etmişlerdir [88, 89].

5.4.3. Mertek Elemanları Arasındaki İlişkiler

Merteklere ait hesaplamalar TS 647 ve TS EN 1995'e göre yapılarak eğilme gerilmesine ait özet değerler tablo 5.5'de verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre 1620 mm uzunluk ve 100 x100 mm en kesitindeki merteklerde 3. Sınıf karaçam göknar/C18 malzeme dışındaki tüm malzemeler için mertekler üzerlerine etkiyen eğilme gerilmelerini güvenle karşılamışlardır. 3. Sınıf karaçam/göknar/ C18 malzeme ile tasarlanan yapılarda ise en kesit 100x120 mm ölçülerine büyütüldüğünde elemanın üzerine etkiyen eğilme gerilmelerini her iki standart için güvenle karşıladığı belirlenmiştir.

Tablo 5.5. Merteklere ait eğilme gerilmesi hesap değerleri.

	Malzeme Sınıfı	M (kgf-cm)	σ_{em} (kg/cm ²)	σ_e (kg/cm ²)
TS 647	1.Sınıf karaçam	14401,4	130	86,41
	1.Sınıf göknar	14336	130	86,01
	2. sınıf	14237	100	85,42
	*3. sınıf	14106	70	58,78
	Direnç Sınıfı	$M_{y,d}$ (N-mm)	$f_{m,y,d}$ N/mm ²	$\sigma_{m,y,d}$ N/mm ²
TS EN 1995	C35	1974861	21,54	11,85
	C27	1965020	16,61	11,79
	C24	1951897	14,77	11,71
	*C18	1933855	11,08	8,06

*Kesit Ölçüsü 100x120 mm olarak değiştirilmiştir.

TS 647 standardına göre yapılan hesaplamalarda mertek üzerinde oluşan eğilme gerilmesinin emniyet gerilmesine oranı 1. Sınıf karaçam için %66,47, 1. Sınıf göknar için %66,16, 2. Sınıf karaçam/göknar için %85,42 ve 3. Sınıf karaçam/Göknar için %83,97 olarak hesaplanmıştır. TS EN 1995 standardı için ise eğilme gerilmesinin sınır gerilmesine oranı C35, C27, C24 ve C18 malzemeler ile tasarlanan yapılar için sırasıyla %55,01, %70,98, %79,98 ve %72,74 olarak belirlenmiştir. Her iki standart için değerleri karşılaştırdığımızda direnç sınıfı azaldıkça oluşan gerilme değeri sınır gerilmesine yaklaşmakta olduğu sonucuna varılmaktadır.

En çok zorlanan mertek üzerinde farklı malzemeler için yapılan hesaplamalara ilişkin sonuçlar tablo 5.6'da görülmektedir.

Tablo 5.6. Merteklere ait makaslama gerilmesi hesap değerleri.

	Malzeme Sınıfı	Q (kgf)	τ_{em} (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)
TS 647	1.Sınıf karaçam	355,59	9	5,33
	1.Sınıf göknar	353,97	9	5,31
	2. sınıf	351,54	9	5,27
	*3. sınıf	348,3	9	4,35
	Direnç Sınıfı	v_d (N)	$f_{v,d}$ (N/mm ²)	τ_d (N/mm ²)
TS EN 1995	C35	4876,2	2,09	0,73
	C27	4852	1,72	0,73
	C24	4819	1,54	0,72
	*C18	4475,5	2,09	0,6

*Kesit Ölçüsü 100x120 mm olarak değiştirilmiştir.

Makaslama gerilmesi değerleri incelendiğinde TS 647 ve TS EN 1995 standartlarının her ikisi için tasarlanan uzunluk ve en kesitteki mertek üzerine etkiyen makaslama gerilmelerini güvenli bir şekilde taşıyabilmektedir. TS 647 standardı için makaslama gerilmesinin standardın izin verdiği emniyet gerilmesine oranı 1. Sınıf karaçam için %59,22, 1. Sınıf göknar için %59, 2. Sınıf karaçam/göknar için %58,55 ve 3. Sınıf karaçam7 göknar için %48,33 olarak hesaplanmıştır. TS EN 1995 standardı için C35, C27, C24 ve C18 direnç sınıflarındaki malzemeler ile tasarlanan yapılar için makaslama gerilmesinin mertek üzerine etkiyen toplam makaslama gerilmesine oranı %34,92, % 42,44, %46, 75 ve %28,71 olarak hesaplanmıştır. TS EN 1995 standardında direnç sınıfı düştükçe oluşan gerilmenin sınır gerilmesinin arttığı fakat TS 647 standardı için yakın seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. En büyük farklılık TS 647 standardında tüm kalite sınıfları için makaslama gerilme değerlerinin sabit kalmasından oluşmaktadır. 3. Sınıf malzemeler ve C18 malzeme de karşılaştırma yapılan kesit değiştirildiğinden dolayı genel kurala uymamaktadır.

Tasarlanan yapıda merteklerin üzerine etkiyen kuvvetlerin oluşturduğu deformasyon miktarlarına ilişkin özet değerler tablo 5.7’de görölmektedir. Elde edilen değerlerde çatı konstrüksiyonu için eleman uzunluğunun 200’de 1 i olacak şekilde 8,1 mm değeri her iki standart için sabit şekilde hesaplanmaktadır. İki standart arasındaki en önemli fark TS 647 standardında tek bir deformasyon değeri hesaplanırken, TS EN 1995 standardı için anlık deformasyon miktarı ve nihai deformasyon miktarının ayrı ayrı hesaplanması gerekliliğidir.

Tablo 5.7. Merteklere ait deformasyon değerleri.

	Malzeme Sınıfı	F (mm)	F_{sınır} (mm)
TS 647	1.Sınıf karaçam	4,7	8,1
	1.Sınıf göknar	4,7	8,1
	2. sınıf	4,67	8,1
	*3. sınıf	2,7	8,1
	Direnç Sınıfı	W_{inst} (mm)	W_{inst,s} (mm)
TS EN 1995	C35	3,56	8,1
	C27	3,84	8,1
	C24	4,17	8,1
	*C18	2,92	8,1

*Kesit Ölçüsü 100x120 mm olarak değiştirilmiştir.

5.4.4. Aşık Elemanları Arasındaki İlişkiler

Çatı konstrüksiyonunda bulunan aşık elemanlarının direnç hesaplamaları TS 647 ve Eurocode 5 standartlarına göre ayrı ayrı yapılarak elde edilen sonuçlar toplu olarak Tablo 5.5’de sunulmuştur. Elde edilen değerler incelendiğinde 100x120 mm en kesitindeki aşık elemanının üzerine etkileyen eğilme gerilmelerini her iki standart için tüm direnç sınıfındaki malzemeler için güvenle taşıdığı belirlenmiştir.

TS 647 standardı kendi içerisinde incelendiğinde 1. Sınıf Karaçam malzeme üzerinde oluşan eğilme gerilmesinin emniyet gerilmesine oranı %41,65 olarak belirlenmiştir. Bu değer 1. Sınıf göknar, 2. Sınıf karaçam/göknar ve 3. Sınıf karaçam/göknar malzemeler için sırasıyla %41,47, %53,32 ve %73,66 olarak hesaplanmıştır.

Eurocode 5 standardında en çok zorlanan aşık üzerinde etkileyen eğilme gerilmesinin sınır gerilme değerine oranı C35, C27, C24 ve C18 malzemeler için sırasıyla %34,40, %44,37, %49,36 ve %64,89 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.8. Aşıklara ait eğilme gerilmesi hesap sonuçları.

	Malzeme Sınıfı	M (kgf-cm)	σ_{em} (kg/cm ²)	σ_e (kg/cm ²)
TS 647	1.Sınıf karaçam	12993,75	130	54,14
	1.Sınıf göknar	12937,5	130	53,91
	2. sınıf	12797	100	53,32
	3. sınıf	12375	70	51,56
	Direnç Sınıfı	$M_{y,d}$ (N-mm)	$f_{m,y,d}$ N/mm ²	$\sigma_{m,y,d}$ N/mm ²
TS EN 1995	C35	1779468,75	21,54	7,41
	C27	1768078,13	16,61	7,37
	C24	1749093,75	14,77	7,29
	C18	1726312,5	11,08	7,19

Standartlar karşılaştırıldığında TS 647 standardına göre yapılan eğilme gerilmesi hesaplamalarının emniyet gerilmesi değerlerine Eurocode 5 standardının sınır eğilme gerilmesi değerlerine göre daha yakın olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5.9’da tasarlanan yapılarda bulunan en çok zorlanan aşık üzerine etkiyen makaslama gerilmeleri görülmektedir. Her iki standarda göre yapılan hesaplamalarda tüm malzeme sınıflarındaki aşıklar üzerlerine etkiyen kayma gerilmelerini güvenle karşılamaktadır. TS 647 standardı için aşık üzerinde oluşan kayma gerilmesinin sınır değerine oranı 1. Sınıf karaçam malzeme için %48,11, 1. Sınıf göknar malzeme için %47,89, 2. Sınıf malzemeler için %47,44 ve 3. Sınıf malzemeler için %45,78 olarak belirlenmiştir. TS EN 1995 standardına göre eleman üzerinde oluşan kayma gerilmesinin sınır gerilmesine oranı C35, C27, C24 ve C18 malzemeler için sırasıyla %28,22, %34,30, % 37,66 ve %46,34 olarak oluşmuştur.

Tablo 5.9. Aşıklara ait kayma gerilmesi hesap sonuçları.

	Malzeme Sınıfı	Q (kgf)	τ_{em} (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)
TS 647	1.Sınıf karaçam	346,5	9	4,33
	1.Sınıf göknar	345	9	4,31
	2. sınıf	341,25	9	4,27
	3. sınıf	330	9	4,12
	Direnç Sınıfı	V_d (N)	$f_{v,d}$ (N/mm ²)	τ_d (N/mm ²)
TS EN 1995	C35	4745,25	2,09	0,59
	C27	4715	1,72	0,59
	C24	4664,25	1,54	0,58
	C18	4603,5	1,23	0,57

Tasarlanan yapıda aşıklar üzerinde oluşan deformasyonlara ait değerler tablo 5.10'da görülmektedir. Tüm direnç sınıfındaki malzemeler TS 647 ve TS EN 1995 standartları için belirlenen kesit ile üzerlerine etkiyen yüklerin oluşturduğu deformasyonları güvenle karşılamaktadır.

Tablo 5.10. Aşıklara ait deformasyon hesap değerleri.

	Malzeme Sınıfı	F (cm)	F_{sınır} (cm)
TS 647	1.Sınıf karaçam	2,1	7,5
	1.Sınıf göknar	2,1	7,5
	2. sınıf	2,1	7,5
	3. sınıf	2	7,5
	Direnç Sınıfı	W_{inst}	W_{inst,s}
TS EN 1995	C35	1,06	7,5
	C27	1,72	7,5
	C24	1,86	7,5
	C18	2,92	7,5

5.5. YAPI ELEMANLARININ KESİT OPTİMİZASYONU

Farklı direnç sınıflarındaki malzemeler ile tasarlanan yapıda bulunan ana taşıyıcı elemanların TS 647 ve TS EN 1995 standartlarında belirtilen yöntemlerle üzerlerine düşen yükleri güvenli şekilde karşılayabileceği en küçük en kesit ölçüsünü belirlemek amacıyla hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ile standartlar arasındaki ve direnç/kalite sınıfları arasındaki farklılıklar belirlenmiştir.

Tablo 5.11'de aşıkların üzerine etkiyen yükleri taşıyabilecekleri en küçük kesit ölçüsü görülmektedir. En küçük en kesit ölçüsü ile gerilme ve deformasyonların güvenle karşılanabilmesi TS EN 1995 standardına göre yapılan hesaplamalarla C35 sınıfı malzeme kullanılarak yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. En büyük en kesit ihtiyacı ise TS 647 standardı ile C18/3. Sınıf karaçam göknar malzemelerin kullanıldığı yapı için elde edilmiştir. Aynı gerilmeleri karşılayan ve aynı direnç sınıfında olan malzemelerin TS 647 ve TS EN 1995 standardına göre karşılaştırılması yapıldığında C35, C27 ve C18 malzemelerde TS EN 1995 standardı daha küçük en kesit miktarı ile üzerine etkiyen yükleri karşılayabilmiştir. C24 malzeme ile tasarlanan yapıda ise her iki standart için gerekli minimum en kesit ölçüsü aynı ölçülerde elde edilmiştir. TS 647 standardının etkiyen gerilmeleri karşılayabildiği en küçük en kesit ölçüsü C35 malzeme için %25 daha fazladır. C27 direnç sınıfındaki malzemede bu oran %11 ve C18 malzeme için ise %0,74 olarak oluşmuştur. Yüklerin güvenle taşınabileceği en küçük ve en büyük en kesit ölçüleri arasındaki fark %41,67 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.11. Aşıklara ait optimal kesit değerleri.

Direnç Sınıfı	Uygun Kesit Ölçüsü	
	Ec5 (mm)	TS 647 (mm)
C35	40x120	50x120
C27	45x120	50x120
C24	40x150	40x150
C18	45x150	40x170

Merteklere ait optimal kesit değerleri tablo 5.12’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en küçük en kesit ölçüsü ile TS EN 1995 standardı kullanılarak C35 malzeme kullanılarak tasarlanan yapı için elde edilirken, en büyük en kesit ölçüsü TS 647 standardı kullanılarak C18/3.sınıf karaçam-gökmar malzemelerin kullanıldığı yapıda elde edilmiştir. C27 ve C24 direnç sınıfları için kullanılacak en kesit alanı her iki standarda göre yapılan hesaplamalarda eşit bulunmuştur. C35 direnç sınıfındaki malzeme için hesaplamalar TS EN 1995 standardı, TS 647 standardına göre %25 oranında daha az malzemeye ihtiyaç duymaktadır. Tasarlanan yapıda mertekler için en küçük ve en büyük en kesit ölçüsü karşılaştırıldığında aralarında %59,37 oranında bir fark olduğu bulunmuştur.

Tablo 5.12. Merteklere ait optimal kesit değerleri.

Direnç Sınıfı	Uygun Kesit Ölçüsü	
	Ec5 (mm)	TS 647 (mm)
C35	40x120	40x150
C27	40x150	50x120
C24	40x150	40x150
C18	40x170	45x170

Kirişler için gerekli en küçük en kesit ölçülerine ait değerler tablo 5.13’de görülmektedir. Sonuçlarda TS EN 1995 standardı için gerekli en kesit ölçüsünün tüm direnç sınıfları için TS 647 standardına göre daha fazla malzeme gerektirdiği görülmüştür. İki standart arasındaki fark C35 için %16,67, C27 ve C24 malzemeler için %7,69 ve C18 malzeme için %12 olarak belirlenmiştir. En küçük en kesit ölçüsü C35 Direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapıda TS EN 1995 standardına göre yapılan hesaplamalar ile elde edilmiştir. En büyük en kesit ölçüsü ise C18/3. Sınıf karaçam-gökmar malzeme kullanılarak TS 647 standardına göre yapılan hesaplamalarla bulunmuştur.

Tablo 5.13. Kirişlere ait optimal kesit değerleri.

Direnç Sınıfı	Uygun Kesit Ölçüsü	
	Ec5 (mm)	TS 647 (mm)
C35	100x240	100x280
C27	100x260	100x280
C24	100x260	100x280
C18	100x300	120x280

Kolonlara ait optimal kesit değerleri tablo 5.14’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlarda kolonlarda iki standart arasında tek farklılığın 3. Sınıf karaçam/gökmar malzeme kullanılarak TS 647 standardına göre yapılan hesaplamalarda olduğu görülmüştür. Bu ölçü kullanıldığında kolonlar için %25 oranında bir kesit artışına gidilmesi gerekmektedir. Kolon hesaplamalarında uzunluğa bağlı olarak burulma meydana gelebildiği için kesit boyutları sınırlandırılmaktadır. Bu yüzden kesit farklılaşmasının daha az olduğu düşünülmektedir.

Tablo 5.14. Kolonlara ait optimal kesit değerleri.

Direnç Sınıfı	Uygun Kesit Ölçüsü	
	Ec5 (mm)	TS 647 (mm)
C35	120x120	120x120
C27	120x120	120x120
C24	120x120	120x120
C18	120x120	120x150

5.6. YAPI ELEMANLARININ MALİYETLERİ

Yapıda kullanılan kereste miktarı taşıyıcı elemanların tamamı için 17,87 m³ olarak belirlenmiştir. Bu değer geleneksel Türk mimarisinde kullanılan değerlere yakın bulunmaktadır. İçöz (2022) yapmış olduğu çalışmada İstanbul’da inşa edilmiş, tescilli dört yapının taşıyıcı sistemini inceleyerek kullanılan kereste miktarı ile yapının hacmi arasında 0,04567 oranında bir ilişki bulunduğunu beyan etmiştir[90]. Çalışma kapsamında tasarlanan yapının boyutları 7,5 m x 9 m olarak teşkil edilmiş ve kat yüksekliği 2,75 m olarak belirlenmiştir. Toplam yapı hacmi 371,25 m³’tür ve verilen katsayı ile işlem yapıldığında yapıda 16,95 m³ miktarında kereste kullanımı öngörülmektedir. Yapılarda olabilecek konstrüksiyon farkları ile kullanılacak kereste miktarlarında değişiklik olabileceği

değerlendirilmektedir. Bu açıdan yaklaşıldığında yapı üretiminde kullanılan kereste miktarının literatür ile uyumlu olduğu söylenebilmektedir.

Çalışma kapsamında tasarlanan yapıda kereste maliyetleri ile ilgili değerler tablo 5.15’de görülmektedir. Elde edilen değerlere göre en yüksek maliyet 1. Sınıf karaçam malzeme ile üretilen yapıda elde edilirken, en düşük maliyet 3. Sınıf karaçam ve göknar kerestelerinde elde edilmiştir.

Tablo 5.15. Tasarlanan yapı için taşıyıcı sistem kereste maliyetleri (TL).

Tür Kalite Sınıfı	Göknar	Karaçam
1. Sınıf	301109	384205
2. Sınıf	276985	326127
3. Sınıf	265369	265369

16.08.2024 tarihli 32634 sayılı resmi gazetede yayımlanan 85 No’lu Emlak Vergisi Genel Tebliği ile ilan edilen 2025 yılı için binaların metrekare normal inşaat maliyet bedellerine göre mesken binalarında 1. Sınıf inşaat ortalama metrekare maliyetleri çelik konstrüksiyon için 10931,76 TL, betonarme binalar için 6254,48 TL, yığma kagir binalar için 5092,42 TL, ve ahşap binalar için 8610,07 TL olarak belirlenmiştir [91]. Güner (2019), yapmış olduğu çalışmasında toplam 187,6 m² yüzey alanına sahip betonarme, çelik ve ahşap yapıların taşıyıcı kolon – kiriş ve döşeme maliyetlerini hesaplayarak betonarme yapı için 73659,77 TL, çelik konstrüksiyon için 135688,82 TL ve ahşap yapı için 106831,64 TL olarak açıklamıştır [92]. Yapılan başka bir çalışmada ise Birer ve Bostancıoğlu (2004), ahşap, betonarme ve yığma kagir binaların yapım maliyetleri karşılaştırarak en düşük maliyetli yapı türünün yığma kagir, en yüksek maliyetli yapı türünün ise ahşap konstrüksiyon yapılar olduğunu açıklamışlardır [93]. İncelenen çalışmalardan anlaşıldığı üzere ahşap binaların yapım maliyetleri çelik binalardan sonra ikinci en yüksek maliyetli bina olmaktadır. Bu durum ahşap yapıların önünde bulunan en önemli engellerden birisi olarak değerlendirilmektedir. Bu sebeple ahşap yapı maliyetlerinde meydana getirilebilecek düşüşler ile ahşap yapı maliyetlerinin düşürülerek talepte artış yaratılabileceği değerlendirilmektedir.

Bir binanın yapım sürecince birçok maliyet kalemi bulunmaktadır ve taşıyıcı sistem maliyeti %20 – 25 oranında bir gider kalemi oluşturmaktadır [90]. Taşıyıcı yapı elemanlarında maliyet azaltabilmenin yollarından birisi yapı üzerine etki eden yüklere en küçük en kesit alanı ile direnç gösterebilecek malzeme ölçülerinin kullanılması ile olabilmektedir. Çalışma kapsamında

yapılan kesit optimizasyonu ile kolon, kiriş, aşıklar ve mertek elemanlarının TS 647 ve TS EN 1995 standartlarına ve farklı direnç sınıflarındaki malzemelerle üretilmelerine göre üzerlerine etkiyen yükleri taşıyabilecekleri en küçük en kesit alanı belirlenmiş ve sayılan yapı elemanlarının en kesit ölçülerinin düşürülmesi ile elde edilen maliyet azalmaları belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre TS EN 1995 standardı kurallarına göre tasarlanan bir yapıda C35 direnç sınıfındaki malzeme kullanılarak üretilen yapıda optimizasyon öncesine göre yaklaşık %62'lik bir azalma elde edilmiştir. En az kesit azalması yaşanan kombinasyonda TS 647 standardına göre C18 direnç sınıfındaki malzemeler ile üretilen yapıda elde edilmiş ve yukarıda sayılan elemanların toplam hacimlerinde yaklaşık %24 oranında bir kesit azalması elde edilmiştir. Kullanılan kereste miktarındaki azalma kereste fiyatları ile birlikte nakliye, üretim, işçilik gibi kalemlerde de düşünüldüğünde faydanın çok daha fazla olacağı değerlendirilmektedir. Optimizasyon ile elde edilen bu kesit azaltması ile tasarlanan 2 katlı basit bir yapıda elde edilen tasarruf miktarları büyük ölçekli üretimlerde uygulandığında elde edilebilecek fayda hem çevremiz hem de ekonomi için büyük katkı sağlayacağı söylenebilmektedir.

5.7. GÖMÜLÜ KARBON MİKTARININ BELİRLENMESİ

Yapı üretiminde karbon salımı konstrüksiyonda kullanılan malzeme türü ile doğrudan ilişkilidir. Ahşap malzeme doğal ve sürdürülebilir bir malzeme olması ve işlenmesinin kolay olması dolayısıyla üretim kaynaklı karbon salım miktarı düşüktür. Betonarme ve çelik binalarda ise hammadde işlenmesi sırasında ortaya çıkan karbon salımı ahşaba oranla çok yüksektir. Ahşap yapıların üretim ve kullanımları diğer yapısal malzemelerin kullanımına göre çevre için çok daha yüksek oranlarda fayda sağlamaktadır. Üretimdeki karbon emisyonları açısından karşılaştırıldığında yapısal ahşap malzemenin karbon emisyonu ton başına 33 kg iken bu değer betonda 265 kg, çelik malzemede 694 kg olarak gerçekleşmektedir [9]. Bu sebeple tercih edilecek yapı türü iklim değişikliği için önem kazanmaktadır. Küresel enerji üretiminin %35'i yapı endüstrisi tarafından kullanılmakta ve enerji kaynaklı karbon salımının %40'ı yapı endüstrisi tarafından üretilmektedir. Bu sebeple atmosfere en çok karbon salımı yapı endüstrisi tarafından gerçekleşmektedir. Avrupa Birliğinde üretilen yapılarda yapı endüstrisi tek başına üretilen hammadde ve enerjinin %40 gibi bir bölümünü kullanmakta ve bununla beraber yıllık üretilen atık miktarının %40'ı yine yapı endüstrisi tarafından oluşturulmaktadır. Bunların yanında yine yapı endüstrisi tek başına karbon salımını düşürebilecek bir potansiyele sahiptir

[68, 94–101]. Bunun en iyi ve hızlı yolu ahşap yapıların üretim ve kullanımlarının dünyada ve ülkemizde yaygınlaşması ile olabilecektir.

Çalışma kapsamında tasarlanan yapıda ortaya çıkan karbon salım miktarları incelendiğinde kaplama malzemelerinden kaynaklı 9193,56 kgCO₂e olduğu görülmüştür. Kaplama malzemelerinin kütlesine oranlandığında ise 1,01 kgCO₂e/kg değerine ulaşılmaktadır. Başka bir açıdan bakmak gerekirse toplam 135 m² yüzey alanından oluşan yapı için 68,10 kgCO₂e/m² gömülü karbon miktarının sadece yapının kaplama elemanlarından elde edilmektedir. Ahşap konstrüksiyon bir yapı için karbon salımı sadece kaplama elemanlarından oluşmakta doğası gereği taşıyıcı elemanlar karbon tutmaktadırlar.

Taşıyıcı elemanların gömülü karbon miktarları tasarımda kullanılan direnç sınıflarına göre ayrıca belirlenmiştir. Elde edilen bulgularda en yüksek gömülü karbon miktarı -17025 kgCO₂e ile C35 direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapıda iken en düşük gömülü karbon miktarı -13765 kgCO₂e ile C18 direnç sınıfındaki malzeme ile üretilmiş yapıda oluşmuştur. Gömülü karbon hesaplaması yapılırken kütle önem kazandığından dolayı bu durum beklenildiği şekilde gerçekleşmiştir.

Taşıyıcı elemanlar ve kaplama elemanlarının birlikte değerlendirildiğinde benzer şekilde C35 direnç sınıfı ile üretilmiş yapıda -7831,49 kgCO₂e tutulurken, C18 direnç sınıfındaki malzeme ile üretilen yapıda bu miktar -4571,34 kgCO₂e olmaktadır. Yapının toplam kullanım alanına göre değerlendirme yapıldığında C35 direnç sınıfındaki malzeme ile tasarlanan yapı için 58,11 kgCO₂e/m² karbon tutumu gerçekleşirken bu oran C27, C24 ve C18 malzemeler için sırasıyla 47,28 kgCO₂e/m², 44,59 kgCO₂e/m² ve 33,86 kgCO₂e/m² olarak belirlenmiştir. Rinne vd (2022), yapmış oldukları çalışmada 7250 m² alana sahip 8 katlı bir yapıyı ahşap, betonarme ve ahşap-betonarme hibrit olarak tasarlayarak karbon emisyonlarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre hibrit binada 403951 kgCO₂e, betonarme binada 409932 kgCO₂e ve ahşap binada 292901 kgCO₂e oluştuğunu bulmuşlardır [101]. Bina metrajı ile veriler değerlendirildiğinde hibrit yapı 53,86 kgCO₂e/m², betonarme yapı 54,66 kgCO₂e/m² ve ahşap binada 39,05 kgCO₂e/m² olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan başka bir çalışmada Beltran vd. (2023), çok katlı bir betonarme yapı ile ahşap – çelik hibrit yapıda oluşan karbon emisyonlarını modüller halinde sunmuşlardır. Bu çalışmada da konu edilen A1-A3 modülü için çalıştıkları yapı için betonarme binada 1345225 kgCO₂e ve ahşap-çelik hibrit yapıda 622207 kgCO₂e ortaya çıktığını açıklamışlardır [102].

Gömülü karbon, inşaat sektöründe sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle mücadele bağlamında giderek artan bir öneme sahip olan kritik bir kavramdır. Yapı malzemelerinin seçimi ve tasarım kararları, binaların yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini önemli ölçüde etkiler. İnşaat malzemeleri arasında öne çıkan ahşabın, gömülü karbon açısından diğer malzemelere göre önemli avantajlar sunduğu ve sürdürülebilir inşaat için stratejik bir malzeme olarak değerlendirilebileceği ortaya konmuştur. Günümüzde ülkelerce sürekli dile getirilen karbon nötr toplum hedefi için öncelikle üretilen enerji ve kaynağın büyük kısmını tüketen yapı endüstrisinde karbon nötr dönüşümü yapılması amacıyla ahşap yapıların kullanımının artırılması gerektiği ortadadır. Bu amaçla özellikle ülkemizde devlet eliyle ahşap yapı üretiminde teşviklerle desteklenebileceği ve toplumda ahşap yapılarla ilgili bilinci artırıcı faaliyetlerde bulunulması gerektiği söylenebilmektedir.

Ahşabın sürdürülebilir inşaat için potansiyelini tam olarak kullanabilmek için, mevzuat engellerinin kaldırılması, eğitim ve farkındalığın artırılması, sektörler arası işbirliğinin güçlendirilmesi ve inovasyonun teşvik edilmesi gerekmektedir. Gömülü karbon odaklı tasarım ve malzeme seçimi, inşaat sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynayacaktır. Ahşap, bu hedeflere ulaşmada kilit malzemelerden biri olarak öne çıkmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ahşap yapıların tasarlanmasında ve üretiminde kullanılacak malzemeler kadar tasarımda kullanılan hesaplama yöntemleri ve standartların kullanılmasını öngördüğü analiz programları da önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalarda SAP2000 programından elde edilen verilerin gerçek verilerle uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Ahşap malzeme özellikleri uygun şekilde tanımlandığı durumda program üzerinden alınacak verilerin ahşap yapı üretiminde değerlendirilebileceği söylenebilmektedir. Ancak malzeme özellikleri doğru bir şekilde bilindiği sürece bu hesaplamalar program tarafından yapılabilecek aksi takdirde öncelikle malzeme özelliklerinin araştırılması gerekecektir.

İlgili ahşap yapı standartları üretimde değerlendirilirken hesaplamalar dikkatli bir şekilde yapılmalı ve en uygun özellikteki malzeme ile en uygun kesitlerin tasarlanması şeklinde üretimler yapılmalıdır. Bu şekilde malzeme sürdürülebilirliği ve yapının ekonomik bir hal alması sağlanabilecektir. Tez konusu kapsamında araştırması yapılan dört direnç sınıfındaki malzemenin yapı üzerine etkileyen yükler açısından farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Buradan çıkışla kullanılan malzeme özelliğinden çok uygun kesit kontrolü yapılması üretim kolaylığı ve ekonomisi açısından önem arz etmektedir.

Elde edilen sonuçlarda kesit optimizasyonu ile önemli miktarda malzeme tasarrufu yapılabildiği ortaya konulmuştur. Tasarruf edilen malzemeler ile birlikte maliyetler açısından avantajlar ortaya konulmuştur. Bina maliyetlerinin dörtte birini oluşturan taşıyıcı konstrüksiyonda sağlanacak malzeme tasarrufu ile ahşap yapı maliyetlerinin düşmesinin sağlanabileceği bu şekilde ahşap yapı kullanımının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri olan maliyet kaleminde diğer yapı türleri ile rekabet edebilir düzeye getirilebilecektir. Bunun yanında daha az malzeme kullanımı ile gereksiz ağaç kesimlerinin önüne geçilerek ormanlarımızın daha verimli kullanılması ile birlikte doğal sürece destek verilebilecektir.

Çevresel etkilerin önemli olduğu günümüz dünyasında kesit optimizasyonu ile doğaya salınan karbon miktarı önem kazanmaktadır. Günümüz dünyasındaki en önemli sorunlardan biri olan küresel ısınma ile mücadele etmenin en kolay yollarından biri yapım sistemlerini düşürmekten geçmektedir. Dünyada üretilen enerjinin önemli bir kısmı yapısal ürünlerin üretimi amacıyla

kullanılmakta ve üretim süreçlerinde doğaya büyük miktarda karbon salımı olmaktadır. Ahşap yapı sistemlerinde doğaya karbon salımı olmasından ziyade içerdiği karbon miktarından kaynaklı karbon tutma mekanizması işlemektedir. Tez içerisinde incelenen yapı sistemi üretim modülü ile değerlendirildiğinde C35 direnç sınıfındaki malzemeler ile üretilen yapıda en çok karbon tutumu olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışma ile farklı direnç sınıfındaki malzemeler ile üretilen yapılarda malzeme direnç sınıflarının etkisi ortaya konulmuştur. Ayrıca kesit optimizasyonu yapılarak tasarımda kullanılacak malzeme kesitlerinin standartların izin verdiği sınır değerlerine yakın seçilmesi ile elde edilecek maddi ve çevresel kazançlar belirlenerek araştırmacı ve üreticilerin kullanımına sunulmuştur.



KAYNAKLAR

1. As, N., Dündar, T., Kurul F., 2024, Ahşabın Yapısal Kullanımı, Ahşap: Doğal ve Yenilenebilir Mühendislik Malzemesi, In: Akbulut, T., (ed), Bölüm 13, İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa Üniversite Yayınevi, İstanbul, pp 255–270.
2. Batur, A., 2004, Gelişmiş Ahşap Yapım Sistemleri Ve Türkiye Koşulları Yönünden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
3. Bilici, S., 2006, Ahşap konut üretim sistemleri; Almanya örneği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Çalışkan, Ö., Meriç, E., Yüncüler, M, 2019, Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünyü, Bugünü ve Yarını, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilim Dergisi, 6, 109–118.
5. As, N., 2015, Ahşap Yapı Mekaniği Ders Notları, Yayınlanmamış, İstanbul.
6. Görgün, H,V., 2013, Ahşap Kirişlerde Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülünün Tahribatsız ve Tahribatlı Test Yöntemleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Taly, N., 2003, Loads And Load Paths İn Buildings: Principles of Structural Design. ICC, International Code Council.
8. Martin, K, G., 2010, Evaluation of System Effects and Structural Load Paths in A Wood-Framed Structure, Yüksek lisans tezi, Oregon State University.
9. Gün, B., Anıktar, S., 2020, Çevre ve Şehircilik Uygulamalarında Betonarme-Ahşap Yapı Karşılaştırması, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Dergisi, 2,19–25.
10. TSE, 2024, TS EN 1912, Yapı Kerestesi - Mukavemet Sınıfları - Ağaç Türleri ve Görsel Sınıfların Tasnifi,Ankara.
11. TSE, 2016, TS EN 338, Yapı kerestesi - Mukavemet sınıfları, Ankara.
12. TSE, 1979, TS 647 - Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara.
13. TSE, 2009, TS EN 1995 1-1 - Ahşap Yapıların Tasarımı - Bölüm 1-1: Genel - Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar (Eurocode 5), Ankara.
14. TSE, 2021, TS 498 - Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Ankara.
15. TSE, 1997, TS ISO 9194 - Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk, Ankara.
16. Parlar, Y, E., 2000, Ahşap Prefabrike Sistemler ve Uygulama Olanakları,

17. Kaya, G., 1997, Yapı Üretim Sisteminde Denetim Mekanizması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
18. Toğay, A., 2002, Ahşap yapılar, Türkiyede ahşap yapı endüstrisinin durumu, sorunları ve çözüm önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. Kurul, F., 2018, Türkiye'de Ahşap Yapı Endüstrisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
20. Bozkurt, A., Erdin, N., 2013, Odun Anatomisi, İÜ Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
21. OGM, 2009, Ormanlarımızda Yayılış Gösteren Asli Ağaç Türleri, Orman Genel Müdürlüğü Ankara.
22. Başaran, M., 2013, Kızılçam (Pinus Brutia Ten.) Ve Anadolu Karaçamı [Pinus Nigra Arnold. Subsp. Pallasiana (Lamb.) Holmboe] Nda Biyolojik Bağımsızlığa Ulaşma Yaşlarının Kütahya Orman Bölge Müdürlüğündeki Doğal Karışık Meşcerelerinde Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
23. Saatçioğlu, F., 1976, Silvikültür I, Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, İÜ Orman Fakültesi, İÜ Yayın No: 2187, OF Yayın No: 222, 2. Baskı, İstanbul
24. Atay, İ., 1982, Doğal Gençleştirme Yöntemleri I (Doğal Gençleştirmenin Başarısını Etkileyen Önemli Hususlar), İÜ Orman Fakültesi Yayını.
25. Genç, M., 2011, Silvikültürün Temel Esasları (2. Baskı). Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta.
26. Göker, Y., 1969, Dursunbey ve Elekdag Karaçamları (Pinus Nigra Var: Pallasiana)'nın Fiziksel, Mekanik Özellikleri ve Kullanış Yerleri Hakkında Araştırmalar. J Fac For Istanbul Univ 0: <https://doi.org/10.17099/jffiu.74190>.
27. Bülbül, Z., 2012, Karaçam (Pinus Nigra A.) Kerestesinde Eğilme Özelliklerinin Stres Dalga Yöntemiyle Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
28. Gündüz, G., 1999, Camiyanı Karaçamının (Pinus Nigra Arn. Subsp. Pallasiana Var. Pallasiana) Bazı Anatomik, Teknolojik Ve Kimyasal Özellikleri, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
29. Doğdu, Y, C., 2006, Camiyanı Karaçamı'nın (Pinus Nigra Arn. Subsp. Pallasiana Var. Pallasiana) Bazı Teknolojik Özellikleri Ve Kurutma Cetvellerinin Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
30. Şahin, E., 2014, Camiyanı Karaçamı (Pinus Nigra Arn. Subsp. Pallasiana Var. Pallasiana) Odunu, İbresi ve Kozalağının Anatomik, Fiziksel ve Fitokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
31. Sevgi, O., Yılmaz, O.Y., Carus, S., et al, 2010, Alaçam Dağları'nda Karaçam Ormanlarının Yükseltiye Göre Beslenme-Büyüme Modelleri ve Odunun Teknolojik Özellikleri, TÜBİTAK-TOVAG.

32. Çobanoğlu, T., 1998, *Türkiye'de Ahşap Evin Bölgelere Göre Yapısal Olarak İncelenmesi ve Restorasyonlarında Yöntem*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
33. Çolak, M., 1995, *Yığma Ahşap Kütük Evlerin Yapımı Üzerine Araştırmalar*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
34. WEB, <https://www.panelsanmobilya.com/yigma-sistemi-evler-6/>, Erişim Tarihi : 19.05.2024.
35. Avlar, E., 2008, *Türkiye'de Ahşap Yapı Üretimine Yönelik Durum Tespiti*, Mimar Malzeme Derg 8:71–77.
36. WEB, <http://safrangarden.com/ahsap-karkas-evler/>, Erişim Tarihi : 19.05.2024.
37. Ching, FDK, Mulville, M., 2014, *European Building Construction Illustrated*. John Wiley & Sons.
38. WEB, <https://www.self-build.co.uk/wp-content/uploads/2020/07/1.Timber-frame-panels-on-site-scaled.jpg>, Erişim Tarihi : 19.05.2024.
39. Koca, G., As, N., 2016, *Çatıda Ahşap Kullanımı*, 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 2– 3 Haziran 2016 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fındıklı- İstanbul.
40. Akyol, S., 2008, *Ahşap Asma Çatıların Geometrik Olanaklar ve Malzeme Kullanımı Açısından Sınıflandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
41. Mengeloğlu, F., Kurt, R., 2004, *Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler 1 Tabakalanmış Kaplama Kereste (TAK) Ve Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM)*, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 7, 39–44.
42. Lam, F., 2001, *Modern Structural Wood Products*, Prog Struct Eng Mater 3:238–245, <https://doi.org/10.1002/PSE.79>
43. Kollmann, F., Côté, WA., 1968, *Principles of Wood Science and Wood Technology. Solid Wood–Part I*, Springer.
44. Foschi, RO., Barrett, JD., 1980, *Glued-Laminated Beam Strength: A Model*, Journal of Structural Engineering, 106, 1735–1754.
45. Falk, RH., Colling, F., 1995, *Laminating Effects in Glued-Laminated Timber Beams*, J Journal of Structural Engineering, 121, 1857–1863.
46. Serrano, E., Larsen, HJ., 1999, *Numerical Investigations of The Laminating Effect in Laminated Beams*, Journal of Structural Engineering, 125, 740–745.
47. WEB, <https://insapedia.com/glulam-nedir-ozellikleri-ve-avantajlari/>, Erişim Tarihi: 21.05.2024.
48. Çavuş, V., 2008, I-214 (*Populus X Euramericana*) Melez Kavak Klonundan Fenol Formaldehit ve Üre Formaldehit Tutkalı Kullanılarak Üretilmiş Paralel Şerit Kerestelerin

(PŞK) Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Fen Bilim Enstitüsü.

49. Geoffrey, S., 2003, The Design Of A Parallam® Bridge Deck, Yüksek Lisans Tezi, West Virginia University.

50. WEB, <https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/parallam-psl/parallam-psl-beams/>, Erişim Tarihi: 21.05.2024.

51. WEB, <https://balkotrade.com/plywood/plywood-fiyatlari/filmsiz-plywood/balko-filmsiz-rus-birch-15mm.html>, Erişim Tarihi: 21.05.2024.

52. Porteous, J., Kermani, A., 2008, Structural Timber Design To Eurocode 5. John Wiley & Sons.

53. WEB, <http://tr.gtp-madera.com/info/what-is-lvl-41402360.html>, Erişim Tarihi: 21.05.2024.

54. Gagne, S., 2000, Fiber Reinforced Plastic Joist For The Construction Industry, A Feasibility Study, Yüksek Lisans Tezi, University of Wisconsin.

55. Gürel, F., 2018, Çok Katlı Ahşap Yapıların Deprem Yüğü Altında Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

56. Çavuş, V., Aydoğmuş, A., Uzun, M., 2022, Ahşap Yapılarda Mekanik Bağlantılar, Tekstilden İnşaata Malzeme Uygulamaları, In: Şaşmaz M (ed). İksad Yayınevi, Ankara, pp 55–75.

57. Rammer, D., 2016, Wood Mechanical Fasteners, Material Science and Material Engineering.

58. Hammond, JJ., Donnelly, ET., Harrod, WF., et al 1969, Ağaç İşleri Teknolojisi. Mesleki ve Teknik Öğretim Yayınevi, Ankara.

59. Soltis, LA., 1999, Fastenings, Wood Handb wood as an Eng Mater Madison, WI USDA Forest Serv For Prod Lab 1999 Gen Tech Rep FPL; GTR-113 Pages 71-728 113.

60. Eckelman, CA., 1975, Screwholding performance in hardwoods and particleboard, Forest Products Journal, 25(6), 30-35.

61. Ekinci, S., 2006, *Hafif Çelik Yapım Sistemleri: Taşıyıcı Sistem, Yapı Fiziği Etkileri ve Mimari Tasarım İlkeleri Açısından Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

62. Tekić Ž, Nenadović A, Đorđević S, et al, 2018, *Nail Metal Connector Plate–Load-Bearing Capacity of Connector In Function of Nail-To-Plate Connection Rigidity*, Wood Research, 63, 85–96.

63. Björkman, J., 2012, *Timber Joints with Punched Metal Plate Fasteners Subjected To Fire*, Yüksek Lisans Tezi, Luleå University of Technology.

64. Paiva L.C., 2019, *Load Transfer Models in Joint Lines of Punched Metal Plate Fasteners*, Yüksek Lisans Tezi, Instituto Politecnico de Braganca.

65. Gupta, R., 2005, *System Behaviour Of Wood Truss Assemblies*, Prog Structural Engineering Material, 7, 183–193. <https://doi.org/10.1002/PSE.203>
66. Blass HJ, Ehlbeck J, Schlager, M., 1993, *Characteristic Strength Of Tooth-Plate Connector Joints*, Holz als Roh-und Werkstoff, 51(6), 395-399.
67. Chybiński, M, Polus, Ł., 2022, *Experimental study of aluminium-timber composite bolted connections strengthened with toothed plates*, Materials, 15.
68. Dean B, Dulac J, Petrichenko K, Graham, P., 2016, *Towards zero-emission efficient and resilient buildings*, Global Status Report.
69. BM, 2019, *World urbanization prospects 2018: Highlights*.
70. Heräjärvi, H, 2019, *Wooden buildings as carbon storages–Mitigation or oration?*, Wood Mater Sci Eng 14:291–297.
71. Malhi, Y., Meir, P., Brown, S., 2002, *Forests, carbon and global climate*, Philos Trans R Soc London Ser A Math Phys Eng Sci 360:1567–1591.
72. DüNDAR, T., 2019, *Bir Yapı Malzemesi Olarak Ahşap*, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Orman Endüstri Mühendisliği.
73. WGB, 2019, *Bringing Embodied Carbon Upfront*.
74. TSE, 2012, *TS 1265 - Kereste - İğne yapraklı ağaç keresteleri - Yapılarda kullanım için*, Ankara.
75. Kurul, F., 2023, *Sarıçam Ve Kızılçam Yapı Kerestelerinde Mukavemet Sınıflarının Dinamik Yöntemlerle Belirlenme Olanakları*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
76. TSE, 2014, *TS EN 408 + A1 Ahşap yapılar - Yapı kerestesi ve tutkallanmış lamine kereste - Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini*, Ankara.
77. TSE, 2022, *TS EN 384+A2 Yapı kerestesi - Mekanik özellikler ve yoğunluğun karakteristik değerlerinin tayini*, Ankara.
78. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2020, *İstanbul İli Sarıyer İlçesi Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı*.
79. TSE, 2002, *TS EN 1990 Eurocode—Basis of structural design. Eurocode 0*, Ankara.
80. TSE, 2012, *TS EN 15978 - Yapı İşlerinin Sürdürülebilirliği-Binaların Çevresel Performansının Tetkiki ve Hesaplama Yöntemi*, Ankara.
81. TSE, 2019, *TS EN 15804 -Yapılarda sürdürülebilirlik - Mamullere ilişkin çevre beyanları - Yapı mamullerinin mamul kategorisi için ana kurallar*, Ankara.
82. Ecology C., 2024, *Embodied Carbon–The ICE Database Version 4.0*. <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>

83. CEN., 2019, *EN 14081-1-2016+A1-2019 Timber structures- Strength graded structural timber with rectangular cross section Part 1: General requirements*, European Committee of Standardization: Brussels, Belgium.
84. Dahlen, J., Jones, P.D., Seale, R.D., Shmulsky, R., 2012, *Bending strength and stiffness of in-grade Douglas-fir and southern pine No. 2 2 × 4 lumber*. Can J For Res, 42, 858–867. <https://doi.org/10.1139/x2012-041>.
85. Green, D.W., Evans, J.W., 1987, *Mechanical properties of visually graded lumber*. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
86. Martin KG, Gupta R, Prevatt DO, et al, 2011, *Modeling System Effects and Structural Load Paths in a Wood-Framed Structure*, J Archit Eng, 17,134–143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000045](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000045).
87. Meriç E (2019) *Ahşap Bir Yapının TS 647 Ve Eurocode-5'e Göre Analizi ve Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
88. Yüncüler M (2019) *TS 647 Ve Avrupa Ahşap Yapı Standardı Eurocode-5'in Örneklerle Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
89. İçöz, A.N., 2022, *Tescilli ahşap yapı sistemlerinin ön maliyet tahmini:İstanbul örneği*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
90. Resmi Gazete, 2024, 85 seri nolu genel tebliğ 2025 yılı için bina metrekare normal inşaat maliyet bedelleri.
91. Güner, M.E., 2019, *Yapım Sistemlerinde Taşıyıcı Eleman Olarak Kullanılan Çelik, Betonarme Ve Ahşap Malzemelerin Sürdürülebilirlik Açısından Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
92. Birer, E., Bostancıoğlu, E., 2004, *Farklı Yapım Sistemleri ve Konut Maliyetleri*.
93. Sandanayake, M., Lokuge, W., Zhang, G., et al, 2018, *Greenhouse Gas Emissions During Timber and Concrete Building Construction—A Scenario Based Comparative Case Study*. Sustain cities Society, 38, 91–97.
94. European Commission, 2019, *New Rules for Greener and Smarter Buildings Will Increase Quality of Life for All Europeans*.
95. Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., et al, 2017, *A Critical Review And Assessment For Usage Of Recycled Aggregate As Sustainable Construction Material*, Construction Building Material, 131, 721–740.
96. Yan H, Shen Q, Fan LCH, et al, 2010, *Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong*, Build Environment, 45, 949–955.
97. Buchanan A.H., Levine, S., 1999, *Wood-Based Building Materials And Atmospheric Carbon Emissions*, Environ Sci Policy, 2, 427–437. <https://doi.org/10.1016/S1462->

9011(99)00038-6

98. Dean B, Dulac J, Petrichenko K, Graham P., 2016, *Towards Zero-Emission Efficient And Resilient Buildings*, Global Status Report.
99. Solis-Guzman, J, Martínez-Rocamora A, Marrero, M., 2014, *Methodology For Determining The Carbon Footprint Of The Construction Of Residential Buildings*, Assess Carbon Footpr Differ Ind Sect, Vol 1, 49–83.
100. Chen Z, Gu H, Bergman RD, Liang S., 2020, *Comparative Life-Cycle Assessment Of A High-Rise Mass Timber Building With An Equivalent Reinforced Concrete Alternative Using The Athena Impact Estimator For Buildings*, Sustainability, 12.
101. Rinne R, Ilgin HE, Karjalainen, M., 2022, *Comparative Study on Life-Cycle Assessment and Carbon Footprint of Hybrid, Concrete and Timber Apartment Buildings in Finland*, Int. J. Environ. Res. Public Health, 19.
102. Morales-Beltran, M, Engür P, Şişman Ö,A, Aykar GN., 2023, *Redesigning For Disassembly And Carbon Footprint Reduction: Shifting From Reinforced Concrete To Hybrid Timber–Steel Multi-Story Building*, Sustainability, 15.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Akın ŞENDAĞ

AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

AHŞAP YAPI ELEMANLARININ MEKANİK PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ
Orman Fakültesi Tez Tarama
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Belge Ayrıntıları

Gönderi Kimliği
trncoid::13130683790

Gönderi Tarihi
16 Ocak 2025 14:27 GMT+3

İndirme Tarihi
16 Ocak 2025 14:35 GMT+3

Doğru Adı
P_YAPI_ELEMANLARININ_MEKAN_K_PERFORMANSLARININ_BELIRLENMESI.docx

Doğru Boyutu
17.9 MB

214 Sayfa

32.872 Sözcük

205.734 Karakter



Sayfa 1 of 222 - Kapak Sayfası

Gönderi Kimliği trncoid::13130683790



Sayfa 2 of 222 - Bütünlük Genel Kurul

Gönderi Kimliği trncoid::13130683790

10% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çıkarılan kaynaklar da dâhil tüm öğelerimizin kombine toplamı.

Rapordan Filtrelenen

- Bibliyografya
- Alıntılanan Metin

Ön Sıradaki Kaynaklar

- 9% İnternet kaynakları
- 4% Yayınlar
- 4% Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Bütünlük Bayrakları

İnceleme için 0 Bütünlük Bayrağı

Herhangi bir görsel metin manipülasyonu belirlenmedi.

Sistemimizin algoritmaları bir belgede, onu normal bir gönderiden ayırtabilecek her türlü tutarlılığı derinlemesine inceler. Tutarlı bir pay-fark ederek incelemeye için bayrak kaldırır.

Bir kaynak mutlaka bir sorun olduğunu göstermez. Ancak daha fazla inceleme için dikkatimizi vermeyi öneririz.