



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHŞAP KİRİŞLERDE EĞİLME DİRENCİ VE ELASTİKİYET MODÜLÜNÜN TAHRİBATSIZ VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

**Orman End. Müh. Hızır Volkan GÖRGÜN
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı

Danışman

Doç. Dr. Türker DÜNDAR

Şubat, 2013

İSTANBUL



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AHŞAP KİRİŞLERDE EĞİLME DİRENCİ VE
ELASTİKİYET MODÜLÜNÜN TAHRİBATSIZ VE
TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ İLE
BELİRLENMESİ**

Orman End. Müh. Hızır Volkan GÖRGÜN
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı

Danışman

Doç. Dr. Türker DÜNDAR

Şubat, 2013

İSTANBUL

ÖNSÖZ

“Ahşap Kirişlerde Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülünün Tahribatsız ve Tahribatlı Test Yöntemleri İle Belirlenmesi” isimli bu çalışma, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı’nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Tahribatsız değerlendirme yöntemleri Karaçam kerestelerine uygulanmış, mevcut tahribatlı değerlendirme yöntemleriyle karşılaştırılarak uygulanabilirliği ortaya konulmuş çalışılmıştır.

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocalarım Doç. Dr. Türker DÜNDAR’a ve Prof. Dr. Nusret AS’a ve en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı hocaları olan, Prof. Dr. Öner ÜNSAL’a, Prof. Dr. Turgay AKBULUT’a, Doç. Dr. Nadir AYRILMIŞ’a, Araş. Gör. Zeki CANDAN’a, Araş. Gör. Erkan AVCI’ya, Araş. Gör. Alperen KAYMAKÇI’ya ve Uzman Hüseyin AKKILIÇ’a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca Doktora tezini yürütmekte olan Yrd. Doç. Dr. Ümit BÜYÜKSARI’ya deneylerim sırasında yaptığı rehberlik ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Deney numunelerinin kesilip hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı Fakültemiz Ahşap Atölyesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca burs imkanı sağlayan İSTEK Vakfı’na, çalışma imkanı sağlayan DONE İletişim ve Bilgi Sistemleri’ne, yaşadığım maddi ve manevi sorunlarda destekleri için Ahmet Tevfik ALTINÖZ, Mehmet EFE ve ailelerine teşekkürlerimi sunarım.

Aileme ve özellikle anneme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
TABLO LİSTESİ	XI
SEMBOL LİSTESİ.....	XIV
ÖZET.....	XVII
SUMMARY (İNGİLİZCE)	XVIII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. AHŞABIN YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI	5
2.1.1. Ahşabın Yapı Malzemesi Olarak Önemi	5
2.1.2. Ahşabın Yapılarda Kullanıldığı Yerler.....	9
2.1.3. Ahşap Yapıların Tasarım Esasları	11
2.1.4. Taşıyıcı Ahşap Yapı Elemanlarında Öne Çıkan Dirençler	13
2.1.5. Ahşap Yapı Elemanlarında Emniyet Gerilmeleri.....	17
2.1.6. Ahşap Yapı Kerestelerinin Sınıflandırılması	22
2.2. AĞAÇ MALZEMEDE TAHRİBATSIZ DEĞERLENDİRME VE SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ VE KULLANIM ALANLARI.....	26
2.2.1. Tahribatsız Değerlendirme ve Sınıflandırma Yöntemleri	26
2.2.2. Tahribatsız Değerlendirme ve Sınıflandırma Yöntemlerinin Ağaç Malzemede Kullanım Alanları.....	30
2.2.3. Ahşap Yapı Elemanlarının Değerlendirme ve Sınıflandırılmasında Tahribatsız Değerlendirme Yöntemlerinin Kullanımı	31
2.2.3.1. Yalancı Değerlendirme	33
2.2.3.2. Görsel Değerlendirme ve Sınıflandırma	33
2.2.3.3. Akustik Dalga Yöntemleri	35
2.2.3.4. Delme - Vida Çekme.....	40

2.2.3.5. Makine İle Sınıflandırma Yöntemleri.....	41
2.2.3.6. Ön Yükleme İle Değerlendirme.....	42
2.2.3.7. Diğer Tahribatsız Değerlendirme ve Sınıflandırma Yöntemleri.....	43
2.2.4. Ağaç Malzemede Akustik Dalga Yayılım Özellikleri Üzerine Etki Eden Faktörler	44
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	46
3.1. MALZEME.....	46
3.2. YÖNTEM.....	48
3.2.1. Görsel Sınıflandırma.....	50
3.2.1.1. TS 1265 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma	50
3.2.1.2. DIN 4074 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma	51
3.2.1.3. BS 4978 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma.....	51
3.2.1.4. TS EN 14081 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma.....	53
3.2.2. Tahribatsız Yöntemler İle Değerlendirme ve Sınıflandırma	54
3.2.2.1. Boyuna Vibrasyon Yöntemi.....	54
3.2.2.2. Stres Dalga Yöntemi.....	57
3.2.2.3. Vida Çekme Yöntemi	58
3.2.3. Tahribatlı Değerlendirme Yöntemleri	59
3.2.3.1. Yapısal Boyuttaki Kerestelerde Yapılan Testler	60
3.2.3.2. Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Testler	62
3.2.4. Veri Analizi ve İstatistik Değerlendirmeler.....	64
3.2.4.1. Görsel Sınıflandırma ve Tahribatsız Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	65
3.2.4.2. Görsel Sınıflandırma ve Yapısal Boyutta Yapılan Tahribatlı Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	65
3.2.4.3. Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	66
3.2.4.4. Tahribatsız Değerlendirme Testleri ile Yapısal Boyutta Yapılan Tahribatlı Testlerin Karşılaştırılması	67
3.2.4.5. Vida Çekme Yöntemi ile Yapısal Boyutta Yapılan Tahribatlı Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	67
3.2.4.6. Tahribatsız Değerlendirme Testleri ile Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Testlerin Karşılaştırılması	67

3.2.4.7. Yapısal Boyuttaki ve Küçük Boyutlu - Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	68
3.2.4.8. Statik Direnç Değerleri ile Akustik Dalga Değerleri ve Vida Çekme Yöntemi Arasındaki İlişkiler.....	68
4. BULGULAR.....	69
4.1. GÖRSEL SINIFLANDIRMALARA AİT BULGULAR.....	69
4.2. TAHRİBATSIZ DEĞERLENDİRMELERE AİT BULGULAR.....	70
4.2.1. Boyuna Vibrasyon Yöntemiyle Yapılan Ölçümlere Ait Bulgular	70
4.2.2. Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Ölçümlere Ait Bulgular	74
4.2.3. Vida Çekme Yöntemiyle Yapılan Ölçümlere Ait Bulgular	78
4.3. TAHRİBATLI DEĞERLENDİRMELERE AİT BULGULAR	79
4.3.1. Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Elde Edilen Bulgular.....	79
4.3.2. Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Elde Edilen Bulgular	81
4.4. YAPILAN KARŞILAŞTIRMALARA AİT BULGULAR	83
4.4.1. Görsel Sınıflandırmanın Tahribatsız Yöntemlerle İlişkisi.....	83
4.4.1.1. Görsel Sınıflandırma ve Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçümleri Arasındaki İlişkiler.....	83
4.4.1.2. Görsel Sınıflandırma ve Stres Dalga Yöntemi Ölçümleri Arasındaki İlişkiler	87
4.4.2. Görsel Sınıflandırma ve Tahribatlı Yöntemler Arasındaki İlişkisi.....	91
4.4.2.1. Görsel Sınıflandırma ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Değerlendirme Ölçümleri Arasındaki İlişkiler.....	91
4.4.2.2. Görsel Sınıflandırma ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Direnç Sınıflandırması Ölçümleri Arasındaki İlişkiler	94
4.4.3. Boyuna Vibrasyon Yöntemi ile Stres Dalga Yöntemi Arasındaki İlişkiler	101
4.4.3.1. Boyuna Vibrasyon Yöntemi ve Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Hız Ölçümleri Arasındaki İlişkiler.....	101
4.4.3.2. Boyuna Vibrasyon Yöntemi – Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Dinamik Elastikiyet Modülü Ölçümleri Arasındaki İlişkiler	101

4.4.4. Tahribatsız Yöntemlerin Tahribatlı Yöntemlerle Karşılaştırılması...	102
4.4.4.1. <i>Boyuna Vibrasyon Yöntemi ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemleri Ölçümleri Arasındaki İlişkiler</i>	102
4.4.4.2. <i>Stres Dalga Yöntemi ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Test Yöntemleri Ölçümleri Arasındaki İlişkiler</i>	110
4.4.4.3. <i>Vida Çekme Yöntemi ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemleri Ölçümleri Arasındaki İlişkiler</i>	113
4.4.4.4. <i>Boyuna Vibrasyon Yöntemi ve Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Ölçümler Arasındaki İlişkiler</i>	115
4.4.4.5. <i>Stres Dalga Yöntemi – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Ölçümler Arasındaki İlişkiler</i>	123
4.4.4.6. <i>Vida Çekme Yöntemi – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Yoğunluk Ölçümleri Arasındaki İlişkiler</i>	129
4.4.5. Yapısal Boyutta ve Küçük Boyutlu - Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Değerlendirme Ölçümleri Arasındaki İlişkiler	130
4.4.5.1. <i>Yapısal Boyutta ve Küçük Boyutlu Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Elastikiyet Modülü Ölçümleri Arasındaki İlişkiler</i>	130
4.4.5.2. <i>Yapısal Boyutta ve Küçük Boyutlu - Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Eğilme Direnci Ölçümleri Arasındaki İlişkiler</i>	131
4.4.6. Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerden Elde Edilen Mekanik Değerlerin Yoğunluk Değerleriyle İlişkisi	132
4.4.7. Tahribatsız Yöntemler ve Vida Çekme Yüğü İle Tahribatlı Yöntemler Arasındaki İlişkiler	135
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	138
5.1. GÖRSEL SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ	138
5.2. BOYUNA VİBRASYON YÖNTEMİ	139
5.3. STRES DALGA YÖNTEMİ	140
5.4. YAPISAL BOYUTTAKİ KERESTELERDE YAPILAN TAHRİBATLI TESTLER	142
5.5. GÖRSEL SINIFLANDIRMA İLE BOYUNA VİBRASYON VE STRES DALGA YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER	143

5.6. GÖRSEL SINIFLANDIRMA VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....	146
5.7. BOYUNA VİBRASYON YÖNTEMİ VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....	150
5.8. STRES DALGA YÖNTEMİ VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....	153
5.9. BOYUNA VİBRASYON VE STRES DALGA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	156
5.10. VİDA ÇEKME VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....	159
5.11. FARKLI BOYUTLARDAKİ NUMUNELERDE YAPILAN TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	161
KAYNAKLAR.....	164
ÖZGEÇMİŞ.....	173

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1** : Erimiş Çeliğin Kömürleşmiş Ahşap Kiriş Tarafından Taşınması
- Şekil 2.2** : Eğilme Durumu
- Şekil 2.3** : Kauçuğun Eğilme Öncesi ve Sonrası Durumu
- Şekil 2.4** : Partiküllerin Birbirini Tetiklemesi ve Stres Dalganın İletilmesi Prensibi
- Şekil 2.5** : Sesin Boşluk Etrafında Dolaşması
- Şekil 2.6** : Makine Gerilim Oranının Şematik Olarak Gösterilmesi
- Şekil 2.7** : Sesin Doğrultusuna Göre İletiminin Değişimi
- Şekil 3.1** : Deney Numuneleri
- Şekil 3.2** : Rutubet Cihazı ile Ölçüm
- Şekil 3.3** : Uygulanan Deneyleri Belirten İş Akış Çizelgesi
- Şekil 3.4** : BS 4978 Standardına Göre Budağın Değerlendirilmesi ve Kenar Budak Alanı Bölgeleri
- Şekil 3.5** : Portatif Kereste Sınıflandırıcı (PLG) Cihazı ile Ölçüm
- Şekil 3.6** : Portatif Kereste Sınıflandırıcı (Portable Lumber Grader - PLG) Cihazı ile Elde Edilen Örnek Ölçüm Verileri
- Şekil 3.7** : Microsecond Cihazı ile Ölçüm
- Şekil 3.8** : Vida Çekme Cihazı ile Ölçüm
- Şekil 3.9** : Yapısal Boyuttaki Kerestelerde Tahribatlı Deney Düzenegi
- Şekil 3.10** : Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numuneler
- Şekil 4.1** : Kerestelerin 4 Farklı Görsel Sınıflandırma Standardına Göre %'lik Dağılımları
- Şekil 4.2** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi (CKDR Değeri Hesaba Katılarak) Direnç Sınıfları Katılım Oranları
- Şekil 4.3** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü ile (CKDR Değeri Hesaba Katılmadan) Direnç Sınıfları Katılım Oranları
- Şekil 4.4** : Stres Dalga Yöntemi Direnç Sınıfları Katılım Oranları (CKDR Değeri Hesaba Katılmadan)
- Şekil 4.5** : Stres Dalga Yöntemi Direnç Sınıfları Katılım Oranları (CKDR Değeri Hesaba Katılarak)
- Şekil 4.6** : Yapısal Boyutta Tahribatlı Yöntemlerle Elde Edilen Direnç Sınıfları Katılım Oranları
- Şekil 4.7** : DIN 4074 Standardı Kalite Sınıfları – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Karşılaştırmalı Grafiği
- Şekil 4.8** : BS 4978 Standardı Kalite Sınıfları – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Karşılaştırmalı Grafiği
- Şekil 4.9** : TS EN 14081 Standardı Kalite Sınıfları – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Karşılaştırmalı Grafiği
- Şekil 4.10** : TS 1265'in 1. Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı
- Şekil 4.11** : TS 1265'in 2. Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı
- Şekil 4.12** : TS 1265'in 3. Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı
- Şekil 4.13** : TS 1265'in "Değerlendirme Dışı" Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı

- Şekil 4.14** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması
- Şekil 4.15** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması
- Şekil 4.16** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması
- Şekil 4.17** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması
- Şekil 4.18** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.19** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü– Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.20** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü– Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.21** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.22** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Direnç Sınıflandırması – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması
- Şekil 4.23** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Direnç Sınıflandırması – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Oransal Fark Grafiği
- Şekil 4.24** : Stres Dalga Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Statik Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.25** : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.26** : Stres Dalga Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.27** : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.28** : Vida Çekme Yöntemi – Yapısal Boyuttaki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.29** : Vida Çekme Yöntemi – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.30** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.31** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.32** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.33** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.34** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

- Şekil 4.35** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.36** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.37**: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.38** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.39** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.40** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.41** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.42** : Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.43** : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.44** : Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.45** : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.46** : Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.47** : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.48** : Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.49** : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.50** : Vida Çekme Yüğü – Küçük Boyutlu Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Karşılaştırması
- Şekil 4.51** : Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.52** : Yapısal Boyuttaki - Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerden Elde Edilen Eğilme Direnci Karşılaştırması Regresyon Analizi

- Şekil 4.53** : Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü – Tam Kuru Yoğunluk Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.54** : Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci – Tam Kuru Yoğunluk Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 4.55** : Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci – Tam Kuru Yoğunluk Karşılaştırması Regresyon Analizi
- Şekil 5.1** : Eğilen Kirişin Budak Sebebiyle Ortadan Kırılması Durumu Örneği
- Şekil 5.2** : BS 4978 Standardına Göre Budağın Değerlendirilmesi
- Şekil 5.3** : “Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü” nün Kullanımıyla Elde Edilen Direnç Sınıfları Grupları ve Tahribatlı ile Karşılaştırılması
- Şekil 5.4** : Stres Dalga Yöntemi - Tahribatlı Direnç Sınıfları Grupları Karşılaştırması
- Şekil 5.5** : Tahribatsız ve Tahribatlı Test Yöntemlerinin Sınıflandırmalarının Karşılaştırılması

TABLO LİSTESİ

- Tablo 2.1** : DIN 4074'e Göre Emniyet Gerilmeleri
Tablo 2.2 : TS 647'de Emniyet Gerilmeleri (kg/cm²)
Tablo 2.3 : Direnç Tiplerine Göre Emniyet Katsayıları
Tablo 2.4 : EUROCODE 5'teki k_g değerleri
Tablo 2.5 : Görsel Olarak Sınıflandırılan Kerestelerin Gerilim Türüne Göre Oranlanması
Tablo 2.6 : Bazı Ağaç Türlerinde Sağlam ve Çürük Halde Elde Edilen Değer Aralıkları
Tablo 3.1 : Karaçam Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri
Tablo 3.2 : TS EN 338 Direnç Sınıfı Dönüşüm Tablosu
Tablo 4.1 : Görsel Sınıflandırma Standartlarına Adet ve % Olarak Katılım
Tablo 4.2 : Boyuna Vibrasyon Yöntemiyle Yapılan Ölçümler
Tablo 4.3 : Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Ölçümler
Tablo 4.4 : Vida Çekme Yöntemiyle Yapılan Ölçümlerin Tanımlayıcı İstatistikleri
Tablo 4.5 : Yapısal Boyuttaki Numunelerde Yapılan Tahribatlı Ölçümler
Tablo 4.6 : Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Ölçümler
Tablo 4.7 : Görsel Sınıflandırma – Boyuna Vibrasyon Yöntemi Karşılaştırmasında Varyans Analizi
Tablo 4.8 : Boyuna Vibrasyon Yöntemi - BS 4978 Standardı Duncan Testi Sonuçları
Tablo 4.9 : Boyuna Vibrasyon Yöntemi - TS EN 14081 Standardı Duncan Testi Sonuçları
Tablo 4.10 : DIN 4074'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin, Boyuna Vibrasyon Yöntemine Göre Yapılan Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi
Tablo 4.11 : BS 4978'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin, Boyuna Vibrasyon Yöntemine Göre Yapılan Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi
Tablo 4.12 : TS EN 14081'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin, Boyuna Vibrasyon Yöntemine Göre Yapılan Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi
Tablo 4.13 : Görsel Sınıflandırma – Stres Dalga Yöntemi Karşılaştırmasında Varyans Analizi
Tablo 4.14 : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü Değerleri - BS 4978 ve TS EN 14081 Standartları Duncan Testi Sonuçları
Tablo 4.15 : DIN 4074'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin Stres Dalga Yöntemi ile Sınıflandırmanın Uyumunun Analizi
Tablo 4.16 : BS 4978'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin Stres Dalga Yöntemi ile Sınıflandırmanın Uyumunun Analizi
Tablo 4.17 : TS EN 14081'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin Stres Dalga Yöntemi ile Sınıflandırmanın Uyumunun Analizi
Tablo 4.18 : Görsel Sınıflandırma – Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Değerlendirme Yöntemlerle Yapılan Ölçümleri Karşılaştırmasında Varyans Analizi

- Tablo 4.19** : Yapısal Boyuttaki Numunelerden Tahribatlı Olarak Elde Edilen Değerler - BS 4978 Standardı Duncan Testi Sonuçları
- Tablo 4.20** : Yapısal Boyuttaki Numunelerden Tahribatlı Olarak Elde Edilen Değerler - TS EN 14081 Standardı Duncan Testi Sonuçları
- Tablo 4.21** : Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri – TS 1265 ve DIN 4074 Standartları Duncan Testi Sonuçları
- Tablo 4.22** : DIN 4074’e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS EN 338’e Göre Yapılan Tahribatlı Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi
- Tablo 4.23** : BS 4978’e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS EN 338’e Göre Yapılan Tahribatlı Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi
- Tablo 4.24** : TS EN 14081’e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS EN 338’e Göre Yapılan Tahribatlı Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi
- Tablo 4.25** : TS 1265’e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS 647’ye Uyumunun Analizi
- Tablo 4.26** : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Hız Ölçümleri Ortalamaları
- Tablo 4.27** : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Hız Ölçümleri t-Testi
- Tablo 4.28** : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Dinamik Elastikiyet Modülü Ölçümleri Ortalamaları
- Tablo 4.29** : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Dinamik Elastikiyet Modülü Ölçümleri t-Testi Analizi
- Tablo 4.30** : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Direnç Sınıfları – Yapısal Boyutta Tahribatlı Değerlendirmeler Karşılaştırmasında Varyans Analizi
- Tablo 4.31** : Büyük Boyutlu ve Küçük Boyutlu Örneklerde Yapılan Statik Elastikiyet Modülü Ölçümleri Ortalamaları
- Tablo 4.32** : Büyük Boyutlu ve Küçük Boyutlu Örneklerde Yapılan Statik Elastikiyet Modülü Ölçümleri t-Testi Analizi
- Tablo 4.33** : Kullanılan Test Yöntemleri Arasındaki İlişkiler
- Tablo 4.34** : Vida Çekme Yöntemi - Boyuna Vibrasyon Yöntemi Birlikte Kullanımının Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Tahribatlı Testlerle İlişkisi
- Tablo 4.35** : Vida Çekme Yöntemi – Stres Dalga Yöntemi Birlikte Kullanımının Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Tahribatlı Testlerle İlişkisi
- Tablo 5.1** : Görsel Sınıflandırma Standartlarının En Kötü Sınıf Kriterlerinin Karşılaştırılması
- Tablo 5.2** : Yeni Hesaplanan Eğilme Direnci – Yapısal Boyuttaki Tahribatlı Eğilme Direnci İlişkisi

SEMBOL LİSTESİ

a	: Yükleme noktası ile en yakın mesnet arasındaki mesafe
A.B.	: Avrupa Birliği
A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
Alm.	: Almanca
ANOVA	: Varyans Analizi-Analysis of Variance
ASTM	: American Society for Testing and Materials
b	: Genişlik
BDR	: Basınç Direnci
BM-İDÇS	: Birleşmiş Milletler – İklim Değişikliği Çerçevesi Sözleşmesi
BS	: British Standards Institution
B.V.	: Boyuna Vibrasyon Yöntemi
C18	: TS EN 338’de Bulunan Direnç Sınıfı
CKDR	: Yoğunlaştırılmış Budak Çapı Oranı-Consentrated Knot Diameter Ratio
cm	: Santimetre
cm³	: Santimetre küp
d	: Yoğunluk
d₀ Yoğ. 0	: Tam Kuru (%0) Yoğunluk
d₁₅ Yoğ. 15	: Hava Kuru (%15) Rutubetteki Yoğunluk
Değ. Dışı	: Değerlendirme Dışı
df	: Serbestlik Derecesi
DIN	: Deutsches Institut für Normung – Alman Enstitü Normu
dk.	: Dakika
E	: Liflere Paralel Elastisite
E_{_ _}	: Liflere Dik Elastisite
EDR	: Eğilme Direnci
E_{eğ}	: Eğilmede Elastikiyet Modülü
EN	: Avrupa Normu
ETAG	: Guideline for European Technical Approvals
Eurocode	: Techinal Code for European Committee for Standardisation
f	: Deformasyon Miktarı
fr	: Frekans
FPL	: Forest Products Labrotary
G	: Kayma Modülü
Glulam	: Glued Laminated Lumber
gr	: Gram
GS	: BS 4978 Standardı’na Göre 2. Kalitedeki Sınıf
h	: Yükseklik
Hz	: Hertz
I-kiriş	: Enine kesidi “I” formunda olan kiriş
ISK.	: Iskarta

SEMBOL LİSTESİ

İng.	: İngilizce
k	: 1. Tür Emniyet Katsayısı
k⁻¹	: 2. Tür Emniyet Katsayısı
K.B.	: Küçük Boyutta ve Kusursuz Numune
k_d	: Kusurlar İçin 2. Tür Emniyet Katsayısı
k_g	: Özel Sınıflandırma İçin 2. Tür Emniyet Katsayısı
kg	: Kilogram
Kgf	: Kilogram-kuvvet
k_m	: Rutubet İçin 2. Tür Emniyet Katsayısı
Kp	: Kilo-pound
k_P	: Özel Şartlar İçin 2. Tür Emniyet Katsayısı
k_S	: Güvenlik Faktörü İçin 2. Tür Emniyet Katsayısı
k_T	: Yükleme Süresi İçin 2. Tür Emniyet Katsayısı
L	: Mesnet Açıklığı
ℓ	: Parça Uzunluğu
LDN	: Lif Doygunluğu Noktası
LVL	: Laminated Veneer Lumber
m	: Metre
M.E.B.	: Milli Eğitim Bakanlığı
MDF	: Medium Density Fiberboard
MKAR	: BS 4978 Standardı'na Göre Kereste En-Kesit Alanında Yüksekliğin 1/4'ü Kadar Her 2 Kenarından İçe Doğru Kalan Alanlar Toplamı
mm	: Milimetre
mm²	: Milimetre kare
MOE_{cal}	: Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü
MOE_d	: Dinamik Elastikiyet Modülü
MOE_{mea}	: Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü
MOE_S	: Statik Elastikiyet Modülü
MSR	: Makine Gerilim Oranı-Machine Stress Ratio
N	: Newton
OSB	: Oriented Strand Board
P	: Yük
PLG	: Portatif Kereste Sınıflandırıcı-Portable Lumber Grader
R	: Regresyon Analizindeki Korelasyon Katsayısı
R²	: Regresyon Analizindeki Anlamlılık Kriteri
s	: Mesafe
S7	: DIN 4074 Normu'na Göre 3. Kalitedeki Sınıf
S10	: DIN 4074 Normu'na Göre 2. Kalitedeki Sınıf
S13	: DIN 4074 Normu'na Göre En İyi (1.) Kalitedeki Sınıf
S.D.	: Stres Dalga Yöntemi
SCADA	: Kapsamlı ve Entegre Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition)
sn	: Saniye
SS	: BS 4978 Standardı'na Göre En İyi (1.) Kalitedeki Sınıf
t	: t Değeri
tm	: İletim Süresi

SEMBOL LİSTESİ

TDY	: Tahribatsız Değerlendirme Yöntemleri
TKAR	: BS 4978 Standardı'na Göre Kereste En-Kesit Alanının Tamamı
Transducer	: Hem Alıcı Hem de Verici Görevi Olan Ses Sensörü
TS	: Türk Standardı
TS EN	: Avrupa Normu Kullanılmış Türk Standardı
x	: Bağımsız Değişken
v	: Hız
y	: Bağımlı Değişken
Y.B.	: Yapısal Boyutta Yani Yapısal Maksatlı Kullanımlardaki Boyutlara Sahip Numune
0,X-K	: CKDR Oranı Hesaplanırken En Büyük Oranın Kalınlığa Göre Hesaplanması
0,X-G	: CKDR Oranı Hesaplanırken En Büyük Oranın Genişliğe Göre Hesaplanması
u	: Rutubet içeriği
ε	: Deformasyon
σ	: Direnç
μs	: Mikro Saniye
%	: Yüzde
Δt	: 2 Atım Arasındaki Zaman
σ_{em}	: Emniyet Gerilmesi
$\sigma_{\text{çem}}$: Çekmede Emniyet Gerilmesi
$\sigma_{bem \parallel}$: Liflere Paralel Basınçta Emniyet Gerilmesi
$\sigma_{bem \perp}$: Liflere Dik Basınçta Emniyet Gerilmesi
σ_{eem}	: Eğilmede Emniyet Gerilmesi
σ_s	: Küçük ve Kusursuz Numunelerden Elde Edilen Statik Direnç

ÖZET

AHŞAP KİRİŞLERDE EĞİLME DİRENCİ VE ELASTİKİYET MODÜLÜNÜN TAHRİBATSIZ VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Bu çalışmada tahribatsız değerlendirme ve sınıflandırma yöntemlerinin uygunluğu kiriş olarak kullanılacak Karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) kerestelerinde incelenmesi amaçlanmıştır.

Deneme keresteleri İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde bulunan yaklaşık 200 adet kereste istifinden alınmıştır. Bu keresteler, TS 1265 görsel sınıflandırma standardının her bir sınıfında eşit miktarda kereste olacak şekilde elenerek, 53 adet kereste alınmıştır. Alınan kerestelerin yoğunlukları ve rutubetleri ölçüldükten sonra, TS 1265, DIN 4074, BS 4978 ve TS EN 14081 olmak üzere toplam dört standarda göre ayrı ayrı görsel olarak sınıflandırılmışlardır. Keresteler bundan sonra üç ayrı tahribatsız değerlendirme ve sınıflandırma (boyuna vibrasyon, stres dalga ve vida çekme) yöntemiyle değerlendirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu testlerden sonra kerestelerin, TS 5497 EN 408 standardına bağlı kalınarak, tahribatlı olarak eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri ölçülmüştür. Daha sonra kırılan kerestelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri ve TS EN 338 standardı kullanılarak, mekanik direnç bazında sınıflandırmaları yapılmıştır. Yapısal boyutta yapılan tahribatlı ölçümler sonrası, kerestelerin kırılma bölgesine yakın yerlerinden, her bir keresteden ortalama beşer adet olacak şekilde, küçük ve kusursuz eğilme direnci-elastikiyet modülü, basınç direnci ve yoğunluk numuneleri elde edilmiştir. Son olarak bu numunelerin hem hava kuru hem de tam kuru yoğunlukları ölçülmüştür. Tam kuru yoğunluk ölçümü için, hava kuru haldeki numuneler, rutubet içermeyecek şekilde kurutularak ölçümleri yapılmıştır.

Hem yapısal boyutta yapılan tahribatsız ve tahribatlı değerlendirmeler ve sınıflandırmalar, hem de kusursuz ve küçük boyuttaki numunelerde yapılan tahribatlı değerlendirmeler, kendi aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılmış ve istatistiksel olarak analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, iki görsel sınıflandırma standardının (BS 4978 ve TS EN 14081) mekanik değerlendirmeye daha uygun olduğu görülmüştür. Buna karşın görsel olarak elde edilen sınıfların direkt kullanımı yerine, tahribatsız ve tahribatlı ölçümlere rehber olması tavsiye edilmektedir. Tahribatsız değerlendirme ve sınıflandırma yöntemi olarak kullanılan boyuna vibrasyon yönteminin, Karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) yapı kerestelerinde yüksek doğrulukla ölçüm yapmaya imkan sağladığı görülmüştür. Stres dalga yönteminde sınıflandırma olmamasına karşın, önerilen dönüştürme formülü ile sınıflandırma yapılması denenmiştir. Uyumlu sonuçlar vermesine karşın, aynı kerestede birden fazla ölçüm yapılarak yüksek doğrulukta değerlendirme ve sınıflandırma yapılabileceği görülmüştür. Tahribatsız değerlendirme yöntemlerinden vida çekme yönteminin direkt kullanılması yerine, tahribatsız ölçümlerle birlikte kullanılmasıyla daha yararlı sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür. Sonuç olarak çıkan bu olumlu sonuçlar neticesinde, bu yöntemlerin ahşap kirişlerde kullanılabilmesi söylenebilir.

SUMMARY (İNGİLİZCE)

DETERMINATION OF BENDING STRENGTH AND MODULUS OF ELASTICITY IN WOODEN BEAM WITH NONDESTRUCTIVE AND DESTRUCTIVE TEST METHODS

In this study, non-destructive evaluation and classification methods' suitability was examined in Black Pine (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) lumbers which will be used as beams.

Samples were taken from about 200 lumbers in Istanbul University Forest Faculty Forest Industry Engineering Department. 53 lumbers were taken by using TS 1265 visually grading standard and lumbers were taken to be an equal amount of each class. After measuring densities and moistures, the samples were visually graded separately with using four standards (TS 1265, DIN 4074, BS 4978 and TS EN 14081). After this, they were evaluated and graded with using three different non-destructive methods (longitudinal vibration, stress wave and screw withdraw). After these experiments, these lumbers' bending strength and modulus of elasticity were measured destructive methods in order to TS 5497 EN 408 standard. And then these broken lumbers were classified with using their elasticity of modulus and TS EN 338 standard. After destructive tests, five specimens from each lumbers' which were near the lumbers' broken area were taken for to measure bending strength-modulus of elasticity, compression strength and density from little and without defect specimens. At last, these specimens' air dry densities and no-moisture densities were measured. For no-moisture density measurement, air dry specimens were dried until to have no moisture.

Non-destructive evaluations (and classifications) in structural dimensions were compared each other and were compared destructive evaluations (and classifications) in structural dimensions and in little and without defect dimensions. And they were compared and analyzed statistically.

In this study results showed that, two visually grading standards (BS 4978 and TS EN 14081) more predictable for mechanical evaluation. Although, instead of visual grades directly use, they were advised to be guide non-destructive and destructive tests. It's said that, longitudinal vibration method which is used for non-destructive evaluations and classification, can be used with high accuracy in Black Pine (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) structural lumbers. Although stress wave non-destructive method has no classification, this methods' dynamic elasticity of modulus were changed to strength classes according to TS EN 338 standard with using formula which were seen in longitudinal vibration method. Although it has predictable results, more predictable evaluation and classification results can be obtained with measuring more tests in same lumber. Screw withdraw method is only predictable density results but if it used with non-destructive methods, it would be more predictable. These positive results indicate that, these methods can be used in wooden beams.

1. GİRİŞ

Yapılarda eğilmeye çalışan elemanlar olarak bilinen kirişler buldukları yer ve işlevleri bakımından hayati öneme sahiptir (Odabaşı, 1997). Çünkü yapıya etki eden statik ve dinamik yüklerin kolonlara ve buradan da zemine aktarılması kirişler vasıtasıyla olmaktadır. Bu sebeple de kullanım yeri performansları mutlaka incelenmelidir. Örneğin deprem ülkesi olarak değerlendirilen ülkemizde, depremin yıkıcı etkisi karşısında, yapıyı oluşturan elemanların en az can ve mal kaybına sebebiyet verecek şekilde mukavemet göstermesi gerekmektedir (Sungur, 2005). Yaşamın birçok alanında kullanılan ağaç malzeme, insanlığın mekan oluşturmaya başladığı günlerden bu yana yapı malzemesi olarak da kullanılmaktadır (Avlar, 2000). Hafif bir malzeme olmasına karşın gösterdiği yüksek direnç, doğallığı ve sağlıklı oluşu, yenilenebilir kaynaklardan kolay temin edilebilir ve nispeten ucuz bir malzeme olması, kırılmadan önce çıkardığı sesler ile tehlikeyi haber vermesi gibi sebeplerden dolayı ağaç malzeme, yapı malzemesi olarak kullanımında ön plana çıkmaktadır. Özellikle zayıf zeminlerde ve geniş açıklıkların geçildiği yerlerde hafifliği ve yüksek direnci nedeniyle alternatifsiz bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. İşlenmesinin ve montajının kolaylığı, basit birleştirme elemanları ile (çivi, vida, blom, tutkal vb.) kolaylıkla birleştirilebilmesi, sıcak ve soğuktan fazla etkilenmemesi, kimyasal etkilere karşı dayanımı özellikle yapı malzemesi olarak kullanılmasında öne çıkmasını sağlayan diğer önemli avantajları olarak ifade edilebilir (Dueer, 1973). Avantajlarının yanısıra ağaç malzemenin, rutubetten önemli derecede etkilenmesi, rutubetten önemli derecede etkilenmesi, biyolojik zararlılar tarafından tahrip edilebilmesi, kolay tutuşması ve yanması gibi bazı önemli dezavantajları da bulunmaktadır. Ancak bu dezavantajlar çeşitli önlemler ile ortadan kaldırılabilen veya en aza indirgenebilmektedir. Bu sebeple ağaç malzeme sanıldığı gibi aksine diğer yapı malzemelerinden daha uzun ömürlü olabilmektedir.

Doğal ve organik bir malzeme olan ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımında en önemli dezavantajlarından biri de heterojen bir yapıda olmasıdır. Genetik faktörlerin

yanı sıra yetiştirme ortamından kaynaklanan faktörler, ağaç malzemenin özelliklerinde oldukça geniş varyasyonlarda değişikliklere sebep olmaktadır. Bununla birlikte ağaç malzemenin özellikleri liflere paralel ve liflere dik yönlerde de önemli farklılıklar göstermektedir. Ağaç malzemenin bu ve bunun gibi karakteristik özellikleri, kullanım performansında ve özellikle mevcut direncinde önemli değişikliklere sebep olabilmektedir. Bu durum malzemenin karakterize edilmesinde önemli güçlükler sebep olmakta ve yapı malzemesi olarak tercih edilmesinde en önemli engellerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü yapı malzemesi olarak kullanılacak materyalin, yapı elemanı olarak göstereceği performansın önceden bilinmesi ya da büyük bir doğrulukla ön görülebilmesi, yapının hizmet ömrü ve performansı açısından hayati bir öneme sahiptir.

Ağaç malzemenin karakterizasyonunda kullanılan geleneksel yöntemlerde, ya malzeme görsel olarak değerlendirilmekte ve sınıflandırılmakta ya da tahribatlı testlere tabii tutulmaktadır. Görsel olarak değerlendirme ve sınıflandırmada, malzemenin dış görünüşü, yani görünen yüzeylerin özellikleri incelenmektedir. Sadece yüzeylerin incelenmesi büyük bir dezavantaja yol açmaktadır. Çünkü ağaç malzemenin içerisinde bulunabilecek olası çürüklükler, böcek galerileri veya doğal kusurlar (budak, çatlak vb.) incelenmemektedir. Bu gibi problemlere Yüzey kısımlarında rastlanılsa bile, malzemeyi hangi oranda etkilediği kesin olarak bilinmemektedir. Ayrıca görsel değerlendirme ve sınıflandırma yöntemlerinin yorumlanması kişiden kişiye göre farklılık gösterebilmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı görsel değerlendirme ile yapı kerestelerinin direnç sınıflarının tespit edilmesi yeterince sağlıklı olmayacağı düşünülmemektedir. Bunlardan daha önemlisi görsel sınıflandırmaya esas teşkil eden kusurların mekanik performansa etkilerinin nasıl olacağının tam bilinmemesidir.

Yapı kerestelerinde mekanik özelliklerin tespiti için yapılan geleneksel tahribatlı testler, kesin sonuç vermesine karşın, malzemeye zarar vermektedir. Test edilen malzeme aynı amaçla bir daha kullanılmadığından dolayı ekonomik kayıp meydana gelmektedir. Ayrıca tahribatlı değerlendirme yöntemleri örnekleme esasına dayanmaktadır. Test edilecek bir malzemedan veya bir grup malzeme içerisinde bütünü temsil edecek sayıda örnek alınmasını gerekmektedir. Ağaç malzeme gibi, özellikleri aynı kereste içerisinde bile önemli farklılıklar gösteren bir malzeme için örnekleme ile niteliklerin

belirlenmesi sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Tahribatlı yöntemler, testlerin yapılması için bir laboratuvar altyapısına ihtiyaç duymaktadır ayrıca yerinde değerlendirmeye de imkân vermemektedir. Geleneksel tahribatlı test yöntemlerinin belirtilen bu dezavantajları nedeniyle, bu tür yöntemlere alternatif olarak “tahribatsız değerlendirme yöntemleri” ortaya çıkmıştır. Bu tip deneylerin ortak özelliği, değerlendirme sonrası malzemede hiç tahribat meydana getirmemesi ya da çok az bir tahribat olmasına karşın, son kullanım yeri özelliklerine ve performansına önemli derecede etki etmemesidir (Dündar, 2009). Tahribatsız test yöntemlerini bir diğer önemli yararı ise, genellikle laboratuvar şartlarına gerek duyulmadan yapılabilmesi ve Yerinde değerlendirmeye olanak sağlamasıdır. Tahribatlı değerlendirme yöntemlerinin aksine ölçüm yapılan malzemenin yeniden kullanımı ve test edilebilirliği söz konusudur. Birçok tahribatsız değerlendirme yöntemi, malzemenin değerlendirilmesinin yanında sınıflandırılmasına da olanak sağlamaktadır. Böylece malzeme karakterizasyonu, malzemede önemli değişiklikler olmadan yapılabilmektedir. Genel olarak bu yöntemler hızlı, güvenilir ve çoğunlukla ekonomik yöntemlerdir.

Bu tezin öncelikli amacı, yapı kerestelerinde mekanik performansın değerlendirilmesi ve yapı kerestelerinin direnç sınıflarının belirlenmesinde geleneksel tahribatlı test yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen akustik esaslı tahribatsız test yöntemlerinin, tahribatlı test yöntemleri ile ilişkilerinin belirlenmesi, bu yöntemlerde elde edilen direnç değerleri arasındaki korelasyonlar ve regresyon denklemlerinin belirlenmesi ve tahribatsız değerlendirme ile yapılan direnç sınıflandırmasının güvenilirliğinin ortaya konmasıdır. Aynı zamanda görsel sınıflandırma ile elde edilen kalite sınıflarının, mekanik performans ve direnç sınıfları arasındaki ilişkilerin ortaya konulması da tezin önemli amaçları arasındadır. Böylece kullanılan görsel sınıflandırma standartlarının, keresteyi ve içinde bulundurabileceği olası kusurları, mekanik dirence etki oranına paralel olacak şekilde değerlendirip değerlendirmedeğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapısal boyuttaki keresteler ile bu kerestelerden elde edilen küçük boyutlu ve kusursuz örneklerin mekanik performanslarının karşılaştırılmasıyla, yapısal boyutlu malzemedeki performans değişikliğinin ortaya konulması da, bu tezin amaçları arasındadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. AHŞABIN YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

2.1.1. Ahşabın Yapı Malzemesi Olarak Önemi

Bugün inşaat sektörü kullandığı teknolojinin sonucu olarak yüksek oranda doğal kaynak ve enerji tüketimi gerektiren, bunun yanında birçok zararlı madde içeren büyük miktarda malzemeyi kullanıp yapıların bünyesine depolayarak çeşitli çevre sorunlarına yol açan bir sektördür (Merl, 2005). Gelecekte daha da fazla insanın kentlerde yaşayacağı gerçeğinden yola çıkarak, daha da büyümesi muhtemel bu olumsuz gelişmeyi önlemek üzere, “sürdürülebilir ve ekolojik inşaat” kavramı gündeme getirilmiştir. Birçok kaynak, sera etkisini oluşturan gazlar, dünyadaki tüm atıklar, topraktan çıkarılan hammaddeler ve tüketilen enerjinin ortalama yarısının sorumlusunu inşaat sektörü olarak görmektedir. İnşaat sektöründe enerji, üretim, işletme, taşıma ve yok etme aşamalarında kullanılmaktadır. Kentsel mekânı kurmaya yönelik inşaat etkinlikleri ise, enerji kullanımının boyutlarının tümünü içerir. Bu nedenle inşaat sektöründeki en önemli eğilim “enerji kullanımının azaltılması”, “enerji verimliliğinin artırılması” ve “yenilenemeyen fosil enerji kaynaklarından uzaklaşma” yönünde gelişmektedir (Somer, 2010).

Hem enerji ihtiyacının ortaya çıkması hem de sürdürülebilirlik sorunlarıyla beraber 1980’li yıllarda doğaya dönüş başlamıştır. Bu dönemde bozulmaz bir malzeme olduğu düşünülen betonarmenin de yenilenme ihtiyacının bulunduğu anlaşılınca ahşap yeniden keşfedilmiş (Affentranger ve diğ., 2000), 20. yüzyılda plantasyonların da desteği ile kendini yenileyen orta Avrupa ormanlarındaki stok artışı ve küresel ısınmayı beraberinde getiren çevre sorunları ahşabın gelişimini desteklemiştir (Somer, 2010).

Ekolojik açıdan ahşabın tercih edilmesinin sebepleri şu şekilde özetlenebilir (Bostancıoğlu ve Birer, 2004; Gürer ve diğ. 2004)

- Yenilenebilir bir kaynak olan ormandan elde edilmesi ve bu elde edilme sürecinin büyük işlemlere ve yüksek enerji sarfiyatına ihtiyaç duyulmadan yapılması,

- Diğer yapı malzemelerine oranla hafifliği, işlenmesi ve taşınması bakımından düşük enerji kullanımı gerektirmesi,
- Ahşabın işlenmesi, inşası ve montajı süreçlerinde çevreye zararlı atık oluşmaması,
- Üretilmiş ve kullanım halindeki ahşabın atmosfere zararlı gazlar bırakmaması,
- Sahip olduğu yalıtım özelliklerinden dolayı binada yakıt tasarrufu sağlayarak enerji verimliliğini arttırması,
- Atıklarının değerlendirilebilir olması ve doğaya zarar vermemesi, yani çevre dostu bir malzeme olması.

Bu özelliklerinden dolayı aslında ağaç malzeme “yeşil malzeme” (Anon, 2004) olarak da değerlendirilebilmektedir. Ayrıca ağaç malzemenin hem “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçevesi Sözleşmesi”nde (BM, 1998a) ve “Kyoto Protokolü”nde (BM, 1998b) özellikle vurgulanan durum olan sera gazlarının azaltılması için en uygun yapı malzemesidir ve yeniden kullanılmaya başlanması son derece doğaldır.

Diğer yapı malzemelerinin bazıları ahşapla kıyaslandığında şu dezavantajlara sahip olmaktadır (Özçelik, 1963; Hanoğlu ve diğ., 1995):

- Çelik malzemenin yangın esnasında yüksek sıcaklıklarda erimesi/şekil değiştirmesi ve buna bağlı olarak aniden çökmesi ile önemli hasarlar ve kayıplar meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek dirence sahip olmasına karşın, birim hacimdeki ağırlığı diğer yapı malzemelerine göre çok fazladır.
- Çelik, plastik ve alüminyum malzemenin üretiminde harcanan enerjinin fazla olması, enerji darboğazı yaşanan ülkelerde önem arz etmektedir.
- Plastikler, kimyasal yapıları itibariyle çok zor bozunup, parçalanabildiklerinden atıldıkları çevrede meydana getirdikleri olumsuzlukları uzun süre sürdürebilmektedir. Dolayısıyla plastiklerin atıkları mutlaka geri dönüştürülmesi gereklidir. Ancak bu hem zor, hem de maliyetli olmaktadır.
- Betonarme binalar sağlık açısından zararlı olan radon gazı bırakmaktadır.
- Bu malzemelerin ağaç malzeme gibi yenilenebilir olmaması bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Özellikle depremlerin sık sık yaşandığı ülkemizde büyük bir oranda kullanılan betonarme yapılar, ağırlığının fazla oluşu ve parçalı şekilde kırılmaları nedeniyle deprem esnasında fazla miktarda can ve mal kaybına neden olmaktadır (Özçelik, 1963). Bu durum bu çalışma sırasında, 23 Ekim 2011’de meydana gelen Van depremi ile ilgili, “Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi” araştırmacılarının saha çalışması raporu ile de desteklenmektedir. Bu raporda, Van ve Erciş ilçe merkezinde 5-7 katlı betonarme binaların hasar yoğunluğu açısından ağırlığı oluşturduğu belirtilerek, orta yükseklikteki perdesiz betonarme çerçeve sistemlerinin deprem performansı açısından ülkemizde en kırılğan yapı türleri olduğunun, bu deprem ile bir kez daha teyit edildiği değerlendirilmesine de yer verilmiştir (ODTÜ, 2011). Bu durum özellikle deprem bölgelerinde ahşap yapıların önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Çünkü ahşap hafif ve dirençli bir malzeme olduğundan, aynı zamanda şok dalgalarını iyi absorbe ettiğinden ve belli bir elastikiyete sahip olduğundan ötürü özellikle deprem bölgelerinde avantajlı bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Büyük ölçekli deprem (Richter ölçeği ile 8) yüklerine karşı yeterli direnç gösterdiği belirtilmiştir (DPTM, 2006). Özellikle zayıf zeminlerde temele binen yük, diğer malzemelere oranla çok daha az olmaktadır. Demirkır ve diğ. (2010) tarafından belirtildiği gibi, yıkılsa bile hem hafif olduğu için ölüm riskini azaltmakta, hem de yıkılma durumunda uzun parçalar halinde kırılmalar yaparak (beton gibi ufalanmayarak) yaşam üçgenleri oluşturmaktadır.

Yukarıda verilen bilgilere ilave olarak ağaç malzemenin yapı malzemesi olarak tercih edilme nedenleri aşağıda sıralanmıştır (DPTM, 2006; Wangaard, 1981; As, 2007; Konkur, 2000):

- Ahşabın yoğunluğu düşük olmasına karşılık direnci fazladır. Yani aynı dirence sahip olan beton, çelik vb. daha ağır olmaktadır. Aynı zamanda hafif olmasından dolayı zayıf temeller üzerinde kullanılabilir.
- Isı iletkenliği ve termik genişmesi düşüktür. Böylece ısı yalıtımı ile yapıda yakıt tasarrufu yapılmaktadır. Bu özelliği ile yangına karşı da dayanıklı olmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada alçıpan panellerle örtülmüş ahşap bir panelin yanmaya karşı dayanımı 123 dk. olarak ölçülmüştür.

- Ses iletkenliği liflere dik yönde nispeten düşük, paralel yönde yüksektir. Ses absorpsiyon değeri iyidir. Ayrıca ağırlığına oranla ses izolasyonu yüksek denilebilir. Böylece ses yalıtımı ile yapıda yankılanma, gürültü geçirme vb. kötü durumları ortadan kaldırmaktadır.
- Elektriği, özellikle kuru haldeyken kötü iletir.
- Kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır.
- Yenilenebilen bir malzeme olduğu gibi geri dönüşümlü, doğal bir malzemedir. Ağaç malzemenin kullanılması bu yüzden sanılanın aksine mevcut orman varlığını tehdit eden bir durum değildir.
- retiminde harcanan enerji diğer yapı malzemelerine göre çok düşük düzeydedir.
- Kolay işlenir, çivi, vida, blom tutma özellikleri iyidir. Tutkallanabilir ve kolay birleştirebilir. Bu stn montaj özelliklerinden dolayı ağaç malzeme, tasarımcıya serbestlik olanağı sağlamaktadır.
- Sökülebilir, belli bir zayıatla yeni bir yapıda kullanılabilir.
- Tadilat esnasında fazla kir oluşmaz, ucuz ve kolay bir şekilde istenen onarım ve değişiklikler yapılabilir.
- Önceden haber verme özelliğine sahiptir. Zira birkaç lifin kopması neticesiyle meydana gelen ses, yükün fazla geldiğine yani tehlikenin belirdiğine işaret etmektedir.
- Temini kolaydır.

Bu stn özelliklerine karşın ağaç malzemenin sahip olduğu bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Ancak bu olumsuz özellikleri kurutma-buharlama, empenye vb. koruyucu tedbirlerle kısmen veya tamamen ortadan kaldırılabilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997; İlhan, 1984; Brown, 1958):

- Ağaç malzeme yanabilen bir malzemedir. Ancak yandıktan sonra dış kısmın kmrleşmesinden dolayı büyük bir oranda, yangın devam etse bile, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, belli bir süre mukavemetini korur. Ayrıca yangına karşı koruyucu empenye malzemeleri ile bu dezavantajı önemli miktarda ortadan kaldırılabılır.



Şekil 2.1: Erimiş Çeliğin Kömürleşmiş Ahşap Kiriş Tarafından Taşınması

- Mantar, böcek taarruzuna uğrayabilir. Ancak kurutma, emprenye, doğal dayanıklılığı yüksek ağaç türü seçimi vb. gibi çeşitli önlemler alınabilmektedir.
- Çalışır, yani rutubet alıp vermeye bağlı olarak boyutsal değişim gösterir. Ayrıca bu değişim farklı yönlerde farklı miktarlarda olmaktadır. Kurutma, çalışmayı engelleyici montaj teknikleri vb. yöntemlerle de bu sorun aşılabilmektedir. Son yıllarda geliştirilen mühendislik malzemeleri olan lamine malzemelerin, panel malzemelerin yapı malzemesi olarak kullanılması ile de bu dezavantajlar en aza indirgenmiştir.
- Heterojen yapıdadır. Özellikleri (yoğunluk, direnç vb.) geniş varyasyonlarda değişkenlik gösterir.

2.1.2. Ahşabın Yapılarda Kullanıldığı Yerler

Ahşap, diğer malzemelere oranla sahip olduğu üstün özelliklerinden dolayı, diğer alanlarda olduğu gibi, yapı malzemesi olarak da sıkça kullanılmaktadır. Üstünlüklerinden dolayı yapı gibi karmaşık bir strüktürde bile her bölümde tercih edilmiş ve faydası görülmüştür. Bu yüzden de bir kısmı ahşap ve hatta diğer malzemelere ihtiyaç duyulmadan, tamamı ahşap yapılar, geçmişte yer almış ve günümüzde de yer almaktadır. Buna en iyi örnek olarak ülkemizde bulunan ve en eskileri 12. ve 13. yüzyıldan kalma ahşap camileri (Örneğin 1206 yılında inşa edilen ve hala ayakta duran Çarşamba Gökçeli Camii) gösterilebilir (Bayraktar, 2011).

Bir kısmı ahşap olan yapılarda ağaç malzeme, yapının ihtiyacına göre çeşitli görevlerde değerlendirilmektedir. Örneğin ahşap yapılarda taşıyıcı, tavan ve taban elemanı, duvar elemanı ve duvarların iç ve dış kaplama elemanı olarak, çatı konstrüksiyonunda ve çatı kaplamasında, doğrama (kapı, pencere) elemanı olarak, yapının temelinde geniş oranda

kullanılabilmektedir. Ayrıca betonarme yapı elemanları yapımında kalıp olarak da kullanılmaktadır (As, 2007). Bununla birlikte ahşap, ülkemizde yapı malzemesi olarak Trakya, iç, orta ve kuzey Anadolu gibi yerlerde taşıyıcı olarak kullanılırken, yığma sisteminin yaygın olduğu bölgelerde ise bağlayıcı-açıklık geçen strüktürel eleman olarak kullanılmıştır (Yaman, 2007). Günümüzde yapı malzemesi çeşitliliğinin fazlalığı, ekonomik sebepler ve alışkanlıklar, ahşaba karşı olan bazı önyargılar gibi sebeplerden ötürü diğer malzemelerle birlikte kullanılması daha yaygındır.

Ahşap yapılarda genellikle aşağıdaki şekillerde kullanılmaktadır (Özçelik, 1963):

- Dikili halde olan ağaçtan kesilip boylandıktan sonra, birleştirme yerleri açılmasıyla (kabuklarından arındırılmış veya arındırılmamış şekilde) özellikle kütük evlerin yapımında kullanılan tomruk halinde,
- Tomruktan çeşitli biçimlerde biçildikten sonra kolon, kiriş gibi birçok yerde kullanılan kereste halinde,
- LVL, glulam I-kirişler gibi lamine keresteler halinde,
- Çatı, zemin kaplaması gibi yerlerde kullanımı için kaplama elemanı şeklinde,
- OSB, MDF, kontrplak vb. olarak levha halinde ve ayrıca diğer yapı malzemeleri ile (çelik, alüminyum, plastik, kâğıt, çeşitli güçlendirme elyafları vb.) kompozit halde.

Genel olarak yapı malzemelerinin ve ahşabın kendi içinde kullanım çeşitliliğinin bir sonucu olarak, yapının hangi elemanında hangi malzemenin nasıl kullanılacağı sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple yapı malzemeleri tanımlanarak, kullanım yerleri ve buralardaki ihtiyaçları belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmanın konusu taşıyıcı kiriş olarak kullanılacak kerestelerin mekanik özellikleri ve direnç sınıflarının belirlenmesi olduğundan, ahşap kirişlerle ilgili genel bir bilgi verilmesi yerinde olacaktır.

Bu çalışmanın da konusu olan kirişler, yapılarda eğilmeye ve makaslamaya çalışan, yapı elemanlarının önem bakımından kolon ile birlikte en önemli elemanlarındandır. Kirişler, yapıda yatay veya dik konumda yerleştirilerek belirli açıklıkları (özellikle spor salonları, sergiler vb. yerlerdeki ortalama 40 m gibi büyük açıklıklar gibi) aşmak için kullanılmaktadırlar. Yapıda çoğunlukla geniş yüzeylerin maruz kaldığı yükleri (çatılar,

kat döşemeleri vb.) toplamakta ve bunları kiriş boyunca (kendi ağırlıklarıyla birlikte) taşıyarak mesnetlere aktarmaktadırlar. Kullanımları da ya doğrudan duvar üzerine, ya bir mesnet elemanı ile duvar üzerine, ya da bir başka taşıyıcı elemana oturtulmak şeklinde olmaktadır.

Kirişler genellikle, enine kesitleri ya tamamen dolu ya da kısmen boşluklar gözlemlenebilen “Dolu Gövdeli Kirişler” şeklinde kullanılmaktadır. Son yıllarda makaslama gerilmelerinin daha az olmasından dolayı enine kesiti I şeklinde olan “I Kirişler” de kullanılmaktadır (Odabaşı, 1997; Sungur, 2005). Bu çalışmada, tek parçalı ve dolu gövdeli kiriş olarak kullanılmış ve uzunluk boyunca sabit genişlik-yükseklik oranına sahip, dikdörtgen en kesitli keresteler incelenmiştir.

Ayrıca kirişlerin enine kesiti genellikle dikdörtgen olduklarından, kullanım yerine göre “Dikey” ve “Yatay” kirişler olmak üzere iki şekilde yapılarda yer almaktadır. Yatay kirişlerin kısa kenarı yükseklik görevini görürken, dikey kirişlerde uzun kenar yükseklik görevini görmektedir. Bu çalışmanın konusu olan dikey kirişler, yatay kirişlere oranla bilhassa aşağıda gösterilen uygulamalar için daha uygundur (KVH, 2011):

- Taşıyıcı ve rijitleştirici nitelikte olan ahşap konstrüksiyonlar, örneğin kolonlar, mertekler, kirişler ve iskeletli yapı,
- Yüksek derecedeki estetik taleplerden dolayı görünen yapı kısımları,
- Yüksek derecede boyutsal istikrar gerektiren elemanlar için.

Kirişlerin dikey veya yatay olarak konumlandırılmaları, eğilmeye maruz kaldıkları için önem kazanmaktadır. Çünkü genişlik / yükseklik (b/h) oranı, eğilme direncinde ve elastikiyet modülünde büyük öneme sahiptir.

2.1.3. Ahşap Yapıların Tasarım Esasları

Bir yapının uzun süreli hizmete devam edebilmesi, yapıyı oluşturan elemanlarının ve bütününe bunu engelleyen faktörlere karşı koymasına bağlıdır. Bu faktörler deprem, iklim değişiklikleri, içinde barındırdığı canlıların yaşam koşulları vb. olmak üzere çeşitlilik göstermektedir. Bu faktörlerle daha kolay başa çıkabilmek adına çeşitli kuruluşlar tarafından yapılar, maruz kaldığı etkiler bakımından sınıflandırılmışlardır.

Örneğin A.B. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği'ne göre, yapılar makul bir çalışma hayatı boyunca altı temel gereği sağlaması gerekmektedir. Bu altı temel gerekse şu şekilde sıralanmaktadır (Top ve Akyüz, 2007):

- Mekanik dayanım ve stabilite,
- Yangın durumunda emniyet,
- Hijyen, sağlık ve çevre,
- Kullanım emniyeti,
- Gürültüye karşı koruma,
- Isı muhafazası ile birlikte enerjiden tasarruftur.

Diğer faktörlere oranla mekanik dayanım ve stabilitenin hayati öneme sahip olmasından dolayı, yapı malzemelerinin kullanım yeri istekleri daha çok yük taşıma kapasitesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple yapı malzemelerinde daha çok yük taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi ve etki eden faktörlere ağırlık verilmektedir. Bununla ilgili örneğin, “Avrupa Teknik Onayı Ortak Esasları”nın (ETAG) 7 numaralı metnine göre; ahşap yapıların yük taşıyan elemanlarının, yapısal çökmelere, elde olmayan deformasyonlara ve orantısız yıkımlara karşı güvenilir olması ve dayanıklılık göstermesi gerekmektedir. Bunlar, yapının kendi ağırlığı, rüzgâr, kar ve depremden dolayı etkileyen yüklerdir (Yaman, 2007).

Mekanik dayanım ve stabilitenin vurgulandığı bir başka örnek ise, A.B.D.'deki ASTM D5456-06 numaralı standardıdır. Bu standarda göre, ahşap gibi kompozit ürünlerin yapılarda tasarım performansının iyi olması için şunlar gerekmektedir:

- Ürünün mekanik ve fiziki özelliklerinin değerlendirilmesi ve bu ürünlerin son kullanım yeri şartlarına uygun olması,
- Kalite için standart performans gereksinimlerine kurulum sırasında uyulması.

Sayılan bu faktörlere ek olarak binalar için bu gerekliliklere uyulmasını zorlaştıran etkenler bulunmaktadır. Bu da yapının karmaşık bir strüktür olması, onu oluşturan her elemanın farklı görevlerde olması ve bunlara bağlı olarak her elemanın kullanım yeri isteklerinin de farklı olmasıdır. Sonuç olarak yapı içinde kullanım yeri farklı olan

elemanlarda, farklı taşıma kapasitesi istekleri olduğundan, her yapı elemanı için farklı direnç gereksinimleri önem kazanmaktadır.

Bu gereksinim farklılıkları aynı zamanda, malzeme seçimine de doğrudan etki etmektedir. Bu durum yapı elemanının ahşap, beton, çelik vb. hangi malzemeden oluşacağı, ahşap ise hangi türden olacağı, hangi boyutlarda olacağı gibi birçok soruya da ışık tutmaktadır. Çünkü ISO 9000'e göre kaliteli bir malzeme, kullanım yeri gereksinimlerini karşılayacak özelliklerde olması gerekmektedir.

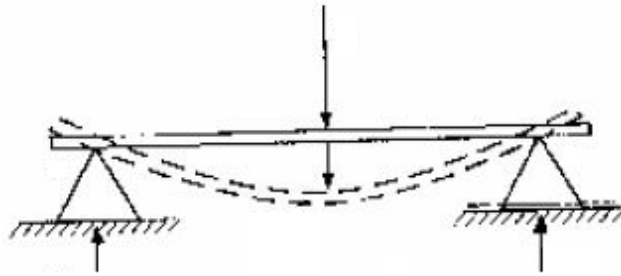
Yapı malzemesi olarak ağaç malzeme seçildiği takdirde yüksek dirence sahip olması, kusur bulundurmaması, varsa mümkün olduğunca az bulundurması, kolay işlenebilir olması, stabil olması vb. faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu faktörlerle birlikte en dikkat çekici husus ahşabın birçok farklı özelliklere sahip birçok türünün bulunmasıdır. Örneğin türler arasında farklılık bulunan yoğunluk dirençlerle büyük oranda ilişkili olduğundan, orta derecede veya yüksek yoğunluğa sahip olan türler daha çok tercih edilmektedir. Yüksek yoğunluğa sahip olan türler genellikle binalarda taşıyıcı eleman olarak, köprüler, iskele ve temel direkleri gibi yüksek direncin önemli olduğu kullanım alanlarında tercih edilmektedirler. Odunun yumuşaklığı, kolay işleme kabiliyeti, az çalışması gibi niteliklerin önem kazandığı ve yüksek direncin geri planda kaldığı bazı kullanım alanlarında (örneğin hafif marangozluk işleri, mobilya kısımları gibi) ise nispeten daha düşük yoğunluğa sahip türler tercih edilmektedir (Dündar, 2005).

2.1.4. Taşıyıcı Ahşap Yapı Elemanlarında Öne Çıkan Dirençler

Yapı elemanlarından beklenen birçok istek olmasına karşın, kolon, kiriş gibi taşıyıcı yapı elemanlarında en önemli husus dirençtir. Çünkü bu yapı elemanlarının taşıma kapasitesi, direnç ile doğrudan ilişkilidir. Bu tür taşıyıcı yapı malzemelerinde en çok aranan dirençler ise elastikiyet modülü, eğilme direnci ve basınç direnci olmaktadır (Odabaşı, 1997). Üst üste bindirilmiş malzemelerde görülen basınç etkisi, daha çok kolonlarda görülmekteyken, yatay açıklık geçilmesi gereken yerlerin yani bu çalışmanın konusu olan kirişlerde eğilme durumu görülmektedir. Bu yüzden bu yapı malzemelerinin eğilme dirençlerinin ve elastikiyet modüllerinin yüksek bulunması istenmektedir (As, 2007). Yapıda kirişe ek olarak döşeme elemanları, aşık, mertek, çatı tahtası vb. yapı malzemeleri eğmeye çalışan yüklemelerin etkisi altında bulunmaktadır.

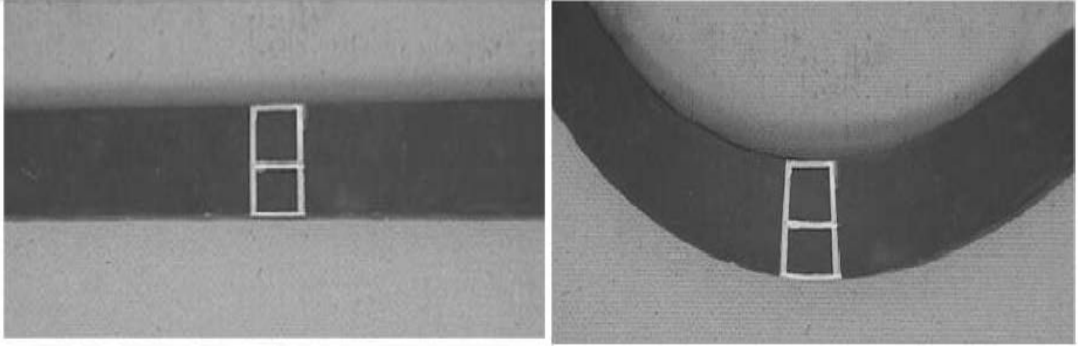
Doğal olarak bu tür yapı elemanlarının üzerlerindeki eğme yükünü uzun süre, emniyetli bir şekilde taşımaları arzu edilmektedir.

Eğilme durumu genel olarak şu şekilde ifade edilmektedir (MEGEP, 2007; Bozkurt ve Göker, 1996): İki mesnet üzerine oturtulan bir çubuğun eksenlerine dik olarak yüklenen veya etki eden kuvvetler, çubuğu eğmeye çalışmaktadır. Cisimlerin boy eksenine kuvvetler dik olarak indirilirse ve cisimlerin bir, iki ya da daha çok noktalarında mesnet (taşıyıcı kolon vb.) var ise kuvvetlerin etkisi ile cisimde Şekil 2.2'deki gibi eğilmeler görülmektedir. Uygulanan kuvvet gereğinden fazla olursa cisim kırılmaktadır. Eğilme cismin yalnız bir noktasında meydana gelmemektedir, cismin her yerinde eğilme görülmektedir ve mesnetlere yaklaştıkça eğilme miktarı azalmaktadır. Ayrıca mesnetlere bindirilen kuvvet kadar mesnetler tepki gösterir ve bu tepki, uygulanan kuvvetin mesnete uzaklığına bağlı olmaktadır.



Şekil 2.2: Eğilme Durumu (MEGEP, 2007)

İki dayanak (mesnet) açıklığı üzerinde bulunan bir kirişin, boyuna dik yönde bir kuvvet ile eğme etkisine maruz bırakılması durumunda malzemenin gösterdiği karşı koymasına eğilme direnci olarak tanımlanabilir (Bozkurt ve Göker, 1996). Basınç, çekme ve makaslama gibi yüklemelerde malzeme içinde tek bir gerilme oluşurken, eğilme yüklemeleri sonucu malzemede bu gerilmelerin hepsi oluşmaktadır. Şekil 2.3'te eğilme direnci yüksek bir malzeme olan kauçuktan yapılmış bir çubuğun, eğilme sırasında maruz kaldığı kuvvetler ve bu kuvvetler sonucu oluşan deformasyonlar, çizilen dikdörtgenlerde açıkça görülmektedir.



Şekil 2.3: Kauçuğun Eğilme Öncesi ve Sonrası Durumu (Alakır, 2010)

Çubuğun konveks (dış) yüzeyinde oluşan çekme gerilmelerinden, dikdörtgenin bu kısmındaki kenarında uzama meydana gelmiştir. Çubuğun konkav (iç) yüzeyinde ise oluşan basınç gerilmelerinden, dikdörtgenin bu kısmındaki kenarında kısılma meydana gelmiştir. Çubuğun nispeten orta kısmında oluşan makaslama gerilmelerinden, dikdörtgenin ortasında kalan çizginin sadece uzadığı görülmektedir.

Uygulanan bir yük sonucu oluşan deformasyonlar, malzemenin mukavemeti ve kullanım ömrü açısından önemlidir. Çünkü yapı malzemelerinde oluşan yüklemeler genellikle dinamik yükleme şeklinde olmadığından dolayı, belli bir deformasyon oluştuğundan sonra kırılmalar meydana gelmektedir. Malzemelerde oluşan bu deformasyonlar geri kazanılan ve kalıcı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996). Deformasyon miktarı da malzemenin elastik davranışına ve dolayısıyla elastikiyetine bağlıdır.

Elastikiyet, katı bir maddede düşük gerilmelerde meydana gelen deformasyonların yük kaldırıldıktan sonra tekrar tamamen elde edilmesiyle tarif edilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1996). Bu özellik katı maddelerde belirli bir sınırın altında geçerlidir. Bu sınır aşıldığı takdirde artık malzemede kalıcı deformasyonlar (plastik davranış) ve en sonunda kırılmalar meydana gelmektedir. Ayrıca malzemede oluşan gerilmelerin belirli sınırları içinde elastik deformasyonlarla gerilmeler arasındaki ilişkiler büyük önem taşımaktadır. Denklem 2.1'deki eşitlikte belirtildiği gibi, uzama miktarının ilk uzunluğa oranı ile tanımlanan “deformasyon” (ϵ) ve bir maddenin dış kuvvetlere gösterdiği gücü olarak tanımlanan “gerilme” (σ)’nin birbirine oranı, “deformasyon katsayısı” adını almaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996).

$$\text{Deformasyon Katsayısı} = \varepsilon / \sigma \quad (2.1)$$

ε : Deformasyon

σ : Gerilme

Teknik olarak bu oranın tersine ise elastikiyet modülü (MOE), elastikiyet modülü veya Young modülü adı verilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1996):

$$\sigma / \varepsilon: \text{Elastikiyet Modülü (MOE)} \quad (2.2)$$

Daha genel olarak açıklanırsa, elastikiyet modülünün büyük olması, belirli gerilmelerde ağaç malzemenin daha az deformasyon gösterdiğini, aksi durumda çok deforme olduğunu ifade etmektedir. Veya kauçuk şekil değiştirmesi kolay olan bir maddedir, bir başka ifade ile MOE çok düşük bir değerde olduğundan ufak kuvvetlerde bile eğilme görülmektedir (Bozkurt ve Göker, 1996; As, 2007).

Elastikiyet modülü ağaçlarda sabit bir değer olmayıp, ağaç türüne, hacim-birim ağırlığına, sıcaklığına ve ahşabın nemine bağlıdır (Türkmen, 1945). Bununla birlikte elastikiyet modülünün bileşenleri, her direnç tipinde de farklılık göstermektedir. Yapıda kullanım açısından özellikle kirişlerde, çatı elemanlarında aşık, mertek ve çatı tahtalarında, döşemelerde, pencere doğramalarında eğilmede elastiklik modülü önem kazanmaktadır (As, 2007).

Yapı malzemesi seçiminde ön plana çıkan dirençler belirlendikten sonra, sadece literatürde belirtilen direnç değerlerine güvenmemek gereklidir. Çünkü yapı malzemelerinin kendi içindeki çeşitliliği, kusur barındırması olasılığı ve kullanım yerinde zamana bağlı direnç azaltıcı faktörler de unutulmaması gereklidir. Belli bir ağaç türünün, belirli boyutlarda ve belirli kullanım yerinde mukavemeti tahmin edilmesine karşın, azaltıcı faktörler sebebiyle mukavemeti çok daha düşük seviyelere inebilmektedir. Bu sebeple yapı gibi malzeme mukavemetinin çok büyük öneme sahip olduğu durumlarda bu faktörler mutlaka dikkate alınmalıdır.

2.1.5. Ahşap Yapı Elemanlarında Emniyet Gerilmeleri

Herhangi bir malzemenin ya da malzemelerden oluşmuş bir ürünün sağlıklı kullanılabilmesi için belirli şartlar bulunmaktadır. Bu şartlar genellikle kesin değerlerde olmamaktadır. Çünkü Beer ve Johnston Jr.'a göre (2009) uygulamalı mekaniğin sonuçları her zaman kesin olmayabilir, ama önemli olan ele alınan problemde mühendislik uygulamaları için yeter yakınsaklığın sağlanmasıdır. Bu sebeple teorik hesaplamalar ne kadar güvenilir olursa olsun, uygulamada belirli bir aralık içerisinde olması sağlanmalıdır. Bu sebeple malzeme ya da ürünün kullanımının emniyetli bir şekilde olması için aralıklar belirtilmektedir. Bu aralıkların hesaplanması da o ürünün güvenilir kullanım esaslarına bağlı olmaktadır.

Ahşap yapılarda bu durum direnç azaltıcı faktörlerin etkisi ele alınarak yapılmaktadır. Ancak bu azaltıcı faktörlerin yeterliliğinin sorgulanabilmesi için oluşan duruma uygun referans olabilecek değerlere ihtiyaç vardır ki bunlar da emniyet (tasarım) gerilmeleri olarak adlandırılmaktadır. Emniyet gerilmeleri, pratikte kullanılan büyük boyutlu ve çeşitli kalite sınıflarına göre belirli oranda kusurları bulunduran ağaç malzemenin emniyetli bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli direnç birimlerinde uygun olan en yüksek gerilmeleri göstermektedir. Her malzeme için gerekli olan emniyet gerilmesi değerleri genellikle laboratuvar deneylerine ve uygulamadaki deneyimlere dayandırılmaktadır. Emniyet gerilmelerinin bir diğer yararı da, örneğin ahşap için fazla yüksek seçilmesi, kullanılacak malzemenin kesit alanının azaltılması demektir. Bu da tasarımcıya ve dolayısıyla üreticiye hacimsel olarak % 25'lere varan tasarruf sağlamaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996).

Alman Endüstri Normu olan DIN 4074'te belirtilmiş bulunan I. , II. ve III. kalite sınıflarındaki özellikleri gösteren yapı keresteleri için DIN 1052 standardına göre toprak üstü yapılarda ve DIN 4074'e göre köprülerde uygulanan emniyet gerilmeleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 : DIN 4074'e Göre Emniyet Gerilmeleri

Ağaç Cinsi	Kalite Sınıfı	Emniyet Gerilmeleri (kp/cm ²)											Eğilme	Liflere Paralel // Makaslama	Çekme ve Basınçta Elastiklik Modülü (E.M.) kp/cm ²		
		Çekme		Basınç							Lifler ile Yaptığı Derece				Liflere		
		Liflere Paralel //	Liflere Dik ⊥	Liflere Paralel //	Liflere Dik ⊥		Basınç yüzeyinden her iki tarafa uzanan serbest kısım	Burgu Delikli	15	30	45	60			75	//	⊥
					Yok	Mevcut											
İğne Yapraklı	I	105	---	110	16	20	25	87	65	46	32	23	140	9	100.000	3.000	
	II	85	---	85	16	20	25	68	52	39	29	22	140	9			
	III	0	---	60	16	20	25	50	40	32	25	21	75	9			
Yapraklı	I	110	---	120	24	30	40	97	75	56	42	33	155	12	125.000	6.900	
	II	100	---	100	24	30	40	82	65	51	39	32	120	10			
	III	0	---	70	24	30	40	60	50	42	35	31	80	10			

Ülkemizde DIN normunda olduğu gibi Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanmış ve 1968 yılında yayımlanmış bulunan TS 647 “Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” adlı standartta emniyet gerilmeleri Tablo 2.2’de görülmektedir.

Tablo 2.2 : TS 647’de Emniyet Gerilmeleri (kg/cm²)

Ağaç Malzemenin Nev'i ve Sınıfı	Eğilme (kg/cm ²)		Mafsalsız Sürekli Kirişlerde Eğilme (kg/cm ²)		Liflere Paralel Çekme (kg/cm ²)		Liflere Paralel Basınç (kg/cm ²)		Liflere Dik Basınç (kg/cm ²)		Hafif Ezilmede Liflere Dik Basınç (kg/cm ²)		Liflere Paralel Makaslama (kg/cm ²)	
	İğne Yapraklı	Yapraklı	İğne Yapraklı	Yapraklı	İğne Yapraklı	Yapraklı	İğne Yapraklı	Yapraklı	İğne Yapraklı	Yapraklı	İğne Yapraklı	Yapraklı	İğne Yapraklı	Yapraklı
Azman, Kiriş, Kadron, I.	110	110	110	120	85	100	85	100	20	30	25	40	9	10
Azman, Kiriş, Kadron, II.	70	75	75	80	0	0	60	70	20	30	25	40	9	10
Tahta, Kalas I. Ve II.	130	140	---	---	105	110	110	120	20	30	25	40	9	12
Tahta, Kalas III.	110	110	---	---	85	100	85	100	20	30	25	40	9	10

Tablo 2.2’de verilen bu emniyet gerilmesi değerleri “Esas Yükler” için geçerlidir. “Esas ve İlave Yükler” durumunda emniyet gerilmeleri % 15 arttırılmaktadır. Örneğin bir eğilme elemanına “Esas ve İlave Yükler”in birlikte etkimesi halinde kullanılacak eğilme emniyet gerilmesi II. sınıf Çam için; $\sigma_{cem} = 100 \times 1,15 = 115 \text{ kg/cm}^2$ olarak elde

edilmektedir (Türker, 2012). Ayrıca standartta “Esas Yükler”e sabit ve hareketli yükler girmektedirken, İlave Yükler’e rüzgâr, fren ve yatay cephe yükleri girmektedir. Bunun dışında bazı özel durumlarda da, tablodaki bu değerler değiştirilmektedir. Örneğin yeni biçilmiş kereste kullanıldığı takdirde ve ahşap aksam rutubet veya yağmura maruzsa ya da devamlı olarak su içinde kalacaksa tabloda verilen emniyet gerilmelerinin 2/3’ü alınmaktadır. Şayet bu gibi şartlar altında kullanılacak kereste inşaatta kullanılmadan önce güvenilir bir madde ile korunursa, o zaman tablodaki emniyet gerilmelerinin 5/6’sı kabul edilebilmektedir. Çatı ve su geçirmez kaplama imkânlarından mahrum köprülerde de emniyet gerilmelerinin 5/6’sı ele alınmaktadır. Ayrıca lifler doğrultusundaki boyut değiştirme dikkate alınacağı zaman, rutubetin her %1 değişmesine karşılık liflere paralel doğrultuda ortalama % 0,01 boyut değişikliği göz önünde tutulmaktadır. Tablo 2.2’ye ilave olarak tür olarak bakıldığında, elastikiyet modülünün Çam’da 100000 kg/cm², Meşe ve Kayın’da 125000 kg/cm² olduğu varsayılr. Karaçam’da ise ortalama 91000 kg/cm² olduğu varsayılmaktadır (Güngör, 1961).

Eurocode 5 ve ASTM D2915-03 standartlarında olduğu gibi, malzeme türü ve boyutlarına göre verilen hazır emniyet gerilmeleri dışında, direnç azaltıcı faktörlerin kullanıldığı emniyet katsayısı yöntemi de bulunmaktadır. Özellikle ahşap ve ahşap esaslı malzemelerden alınan küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde standart yöntemlere göre yapılan deneylerle elde edilen ortalama direnç değerleri, pratikte büyük boyutlu, budak, çatlak vb. kusurları olan yapı malzemesinde kullanılamamaktadır. Çünkü ağaç malzemenin homojen bir yapıya sahip olmayışı, özellikle budaklar, çatlaklar, spiral liflilik vb. gibi kusurları, rutubeti, sıcaklığı, yükleme şekli, süresi ve daha birçok faktör direnç değerlerini azaltıcı etki yapmaktadır. Bu etmenler hakkında çoğunlukla kesin sayısal bilgiler var olmadığı göz önünde bulundurulursa, uygulamada ağaç malzemenin direnci küçük boyutlu numunelerde elde edilen dirençlerdekine ancak küçük bir kesri olacaktır. Bu nedenle, uygulamada büyük boyutlu kullanılan ağaç malzemeler için bir emniyet katsayısının (k) kullanılması gerekmektedir. Emniyet katsayısı (k), emniyet gerilmesi (σ_{em}) ve statik direnç (σ_s) olmak üzere Denklem 2.3 teki orandan hesaplanmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996):

$$k = \sigma_{em} / \sigma_s \quad (2.3)$$

Emniyet gerilmeleri ile ilgili A.B.D.’deki FPL’ nin (Forest Products Laboratory – Orman Ürünleri Laboratuvarı) araştırmalarına göre pratikte kullanılan büyük boyutlu ve kusursuz yapı malzemesinde bulunan eğilme direnç değeri, standarda göre alınan küçük boyutlu, kusursuz ahşap malzemeye göre %20-40 arasında daha düşük değerler vermiştir (Bozkurt ve Göker, 1996). Yukarıda verilen denklemde kullanılan emniyet katsayıları da, bu azalma oranı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Direnç azaltıcı faktörlerin yaptığı etkiye bağlı olarak 0-1 arasında bir değer almaktadır. Bu değer de, literatürden veya ilgili çalışmada elde edilen direnç değerleri ile çarpılarak, emniyet gerilmeleri elde edilmektedir. Ya da azaltma katsayıları verilerek (bunlar 0-1 aralığı dışında olabilmektedir), direnç değerlerinin bu değerlere bölünmesi durumu da görülmektedir. Bu yöntemde de genellikle şu direnç düşürücü katsayılar kullanılmaktadır (As, 2007; Bodig ve Jane, 1993):

- k_T : Yükleme süresi (şok-yorulma direnci arasındaki değişimler için)
- k_S : Güvenlik faktörü (beklenmedik etkiler için önlem)
- k_P : Özel şartlar (özellikle boyutsal değişimler için)
- k_d : Kusurlar (bulunma oranına göre)
- k_g : Özel sınıflandırma (yapılan sınıflandırmalar için)
- k_m : Rutubet (LDN’ye kadar olan etkileri için)

Yapı malzemelerinde pratik olarak; kusursuz, küçük boyutlu numunelerde elde edilen ortalama direnç değerine göre 3–6 kat emniyet sağlayan yüksek emniyet katsayıları kullanılmaktadır. Ayrıca Tablo 2.3’te görüleceği üzere “k” değeri basınç direncinde daha düşük iken eğilme ve çekmede daha çok olmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996).

Tablo 2.3 : Direnç Tiplerine Göre Emniyet Katsayıları (Bozkurt ve Göker, 1996)

Direnç Çeşidi	Emniyet Katsayısı
Liflere Paralel Basınç	4,5-5,5
Eğilme	6-9,5

Ülkemiz ağaçlarında genel olarak alınan bu emniyet katsayıları dışında diğer yapı malzemeleri olan betonarmede 2,25 - 2,70, çelikte ise 6 - 9,5 arasında kullanılmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996).

Örneğin A.B.'ne üye ülkelerin kullanımı zorunlu olan standartlar seti Eurocode'un 5. setinde, ahşap yapıların tasarımında kullanılan keresteler ile ilgili özel sınıflandırma (k_g) yapılanlarının, esas direnç değerlerinin kullanım ve yükleme sınıflarına göre Tablo 2.4'te verilen katsayılarla çarpılması istenmektedir:

Tablo 2.4 : EUROCODE 5'teki k_g değerleri

Malzeme	Standart	Kullanım Sınıfı	Yükleme Süresi Sınıfı			
			Sürekli Yükleme	Uzun Süreli Yükleme	Orta Süreli Yükleme	Kısa Süreli Yükleme
Masif Kereste	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90
		2	0,60	0,70	0,80	0,90
		3	0,50	0,55	0,65	0,70

Tablo 2.4'te görülen bazı hususlar şu şekildedir:

- Eurocode 5'te masif kerestelerin EN 14081-1 standardına göre görsel olarak sınıflandırılması istenmektedir. Bu standarda uymayan keresteler kullanılmamaktadır.
- Bahsedilen kullanım sınıfları, kerestenin kullanım yerinde maruz kalacağı sıcaklık ve rutubet şartlarının zorluğuna göre yapılmış bir sınıflandırmadır. Sıcağa ve rutubete maruz kalma oranı arttıkça, kullanım sınıfı değeri de artmaktadır.
- Yükleme süresi ise, masif kerestenin maruz kalacağı yüke, ne kadar süreli maruz kalacağı ile ilgili yapılan bir sınıflandırmadır.

Emniyet katsayılarının kereste sınıflandırmada kullanımına ASTM standartlarından D2915-03'te de rastlanmaktadır. Bu standarda göre sınıflandırılan malzemeler, sınıflandırdıktan sonra, yapılan hesaplarla istatistiksel olarak belirli güven düzeylerine (%75, %95 vb.) getirilmektedir. Elde edilen bu değerler ile o sınıfa ait izin verilen özellikler belirli oranlar ile düzeltilmektedir. Bu düzeltmeler ise, Tablo 2.5'te görüleceği üzere, gerilim türlerine göre yapılmaktadır. Bu tabloda görülen düzeltme faktörleri, Denklem 2.3' teki gibi kullanıldığı takdirde yine 0-1 arası değer almaktadır.

Tablo 2.5 : Görsel Olarak Sınıflandırılan Kerestelerin Gerilim Türüne Göre Oranlanması

Özellik	Düzeltilme Faktörü
Elastikiyet Modülü	1
Eğilme Direnci	1 / 2,1
Çekme Direnci	1 / 2,1
Liflere Paralel Basınç Direnci	1 / 1,9
Makaslama Direnci	1 / 2,1
Liflere Dik Basınç Direnci	1 / 1,67

Emniyet gerilmelerinde genel olarak yapılan minimum gereksinim belirtme durumu, TS 1265 ve DIN 4074’te olduğu gibi, kereste sınıflandırmada da kendisini göstermektedir.

2.1.6. Ahşap Yapı Kerestelerinin Sınıflandırılması

Bütün malzeme çeşitlerinin belirli özellikleri bulunmasına karşın, aynı malzeme türünün özelliklerinde bir takım farklılıklardan kaynaklanan değişimler meydana gelebilmektedir. Örneğin çelik bir alaşım olduğundan, içinde barındırdığı metallerin oranına, üretim türlerine vb. etkenlere bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir (paslanmaz çelik, düşük karbonlu çelik vb. gibi). Ahşabın da birden çok botanik alt türünden elde edilmesinin yanı sıra, metaller gibi (neredeyse) homojen bir malzeme olmaması ve bulunmalarıyla birlikte farklı oranda özelliklerini değiştirecek “kusurlar” barındırması vb. durumlar özelliklerini etkilemektedir. Bu yüzden bu direnç değiştirici faktörlerin tamamıyla başa çıkabilmek için, emniyet katsayıları ile birlikte, malzeme sınıflandırılmasının yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Çünkü bir yapı elemanına gelen kuvvetlere göre bu elemanda kullanılacak malzemede bir kalite aranır. Malzemenin sınıflandırılması, yapının önemine göre uygun malzemenin seçilmesine ve malzeme bedelinin doğru bulunmasına yarayacaktır. Bu bakımdan malzemeyi kalitesine göre yani kullanım yerindeki performansına göre sınıflandırmak daha doğru olacaktır. Bu fikre paralel olarak, “Ahşap Mühendisliği ve İnşaat El Kitabı” nda da (Faherty ve Williamson, 1999) yapılacak bir direnç sınıflandırmasının, biçilmiş bir kerestenin direnci hakkında fikir verebileceğini belirtmiştir.

Örneğin Duman ve Ökten (1981)’e göre yapılarda taşıyıcı iskeletin çeşitli eleman ya da bölümlerinde hangi sınıf ahşabın kullanılacağı inşaat projesinde belirtilmelidir. Normal olarak TS 1265’e göre II. sınıf olarak değerlendirilen ahşap (ve de Çam) kullanıldığı için, sadece I. ve III. sınıf ahşabın kullanılacağı yerler belirtilmektedir. Diğerlerine

oranla satış fiyatının daha çok olacağı aşikâr olan I. sınıf ahşap, taşıyıcı iskeletin, ya iç kuvvetler bakımından çok yüklü parçalarında veya parçaların belirli kısımlarında kullanılması gerekmektedir. Aksine, yani sistemin bütününde kullanmaya zorlayan statik neden bulunmamaktadır. Çünkü kafes gövdeli sistemlerde (kirişler, kemerler, çerçeveler), II. sınıf ahşaba göre bile hesaplandığında, ekler, birleşimler ve standardın çubuk kesitleri için verdiği minimum ölçüler dolayısıyla sisteme ait çekme ve basınç çubuklarının pek çoğunda zaten kesit fazlası vardır. Şantiye ve atölyeye getirilecek kerestede kalitelerini belirtecek işaretler taşıması gereklidir.

Yine bu konuda Güngör (1961) tarafından ise TS 1265'e göre sınıflara ayrılan kerestelerin kullanım yerleri belirtilmiştir. Örneğin mühim yapı kısımlarında, doğrama ve kaplamalarda I. kalite sınıfında değerlendirilen kereste kullanılmasını, daha az kaliteli inşaat malzemesinde II. sınıf kereste kullanılabileceğini belirtmiştir. III. sınıf olarak değerlendirilen kerestelerin ise (mukavemet durumu göz önüne alınarak) daha az önemli yerlerde, yani örneğin döşeme altlarında, kaplamaların tali konstrüksiyonlarında kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Türkmen (1945), DIN 4074 standardına göre seçilmiş kerestelerden, normal ahşap yapılarda en kesit bakımından "II." sınıf kereste kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Fakat kafes kiriş gibi çubuklu yapıların birleşim yerlerinde en kesit kenarlarının keskin olması gerektiğini belirtmektedir. Bir yapı elemanı çok büyük gerilmeler alacak ise, burada "I." sınıf kereste kullanılmasını ve diğer yerlerde "II." sınıf ahşap kereste kullanılması gerektiğini belirtmektedir.

Günümüzde yapılan birçok sınıflandırma çalışmasına bakıldığında, birçoğu ağaç malzemeyi üç sınıfa ayırmaktadır. Ancak sınıflandırma türü, ağaç malzemenin kullanım amacına göre ve sınıflandırma standardının oluşturulma amacına göre değişmektedir. Örneğin dikili bir ağaçtan, 5 cm x 10 cm ebatlarında bir kiriş elde edilmek istendiği takdirde genel olarak şu özellikler ve bunlara bağlı standartlar incelenmektedir:

- Hangi tür dikili ağaç seçilecekse, bunun hangi bölgelerden nasıl temin edilmesi gerektiğini belirten standart (Örneğin TS 3273)

- Seçilen ağacın yapı kerestesi, doğramalık kereste, sanayi odunu vb. üretimine uygunluğunu belirten standart (Örneğin TS 2820)
- Uygun olan ağacın hangi kısımlarının yapı kerestesi elde edilmesine elverişli olduğu belirtilen standart incelenmektedir (Örneğin TS 51)
- Sonuç olarak elde edilen yapı kerestesinin hangi mukavemet ve/veya görünüş sınıfına ait olduğu belirtilen standart incelenmektedir (Örneğin TS 1265).

Bu örnekte de görüldüğü gibi birçok faktör bulunmasına karşın sınıflandırmalarda aranan istekler genel olarak; ağaç malzemenin alındıktan sonra kullanılacağı yer, görünüş ve mukavemet özellikleri etrafında toplanmaktadır. Görsel sınıflandırma ise, malzemenin dış görünüşünü değiştiren durumlar veya son kullanım yeri özelliklerini etkileyecek ve görsel olarak fark edilmesi mümkün olan özelliklerin incelenip değerlendirilmesiyle yapılmaktadır. Mekanik sınıflandırmada ise, daha önce yapılan deneyler ve tecrübeler ile elde edilen belli direnç sınıfları oluşturulmaktadır. Daha sonra belli niteliklere göre (iğne yapraklı, yapraklı gibi) ayrılan malzeme, mukavemet değerleri test edilmektedir. Böylece hangi sınıfta olduğu kararı verilmektedir. Ancak genelde tahribatlı yollarla elde edildiğinden, malzeme bir daha kullanılamamaktadır. Bu yüzden genelde bir parti kerestenin sınıflandırılması için, o partideki bütün kerestelerin özelliklerini temsil edecek bir ya da birkaç kerestenin sınıflandırılması yapılmaktadır. Günümüzde mevcut görsel standartların kullanılmasıyla, mekanik sınıflandırmalar arasında ilişkiler olup olmadığı, varsa ne kadar kuvvetli olduğu araştırılmaktadır ve hatta kullanılmaktadır (Örn. TS EN 14081 gibi).

Sınıflandırmalarda değerlendirilmesi gereken bir diğer husus da, aynı tür sınıflandırmanın bile farklı kurum ve kuruluşlarda farklılık gösterebilmesidir. Ülkeler mevcut orman varlığı, yasalar vb. etkenleri dikkate alırken, özel kuruluşlar maliyet, kullanıcı istekleri vb. gibi etkenleri daha çok göz önünde bulundurlar. Bu nedenler sınıflandırma kriterlerini etkilediğinden, aynı ağaç malzeme, farklı sınıflandırma türlerinde farklı sınıflarda olabilmektedir. Örneğin yapı keresteleri görsel standartlarından BS 4978'de İKİ sınıfa ayrılırken, DIN 4074'e göre üç sınıfa ayrılmıştır.

Ülkemizde sınıflandırmaların kullanımının ne aşamada olduğu incelendiğinde:

- Türk Standartları Enstitüsü bünyesinde yer alan standartlar olan, TS 1265 ile iğne yapraklı yapı kerestelerinin görsel olarak,
- TS EN 975-1 ile kavak kerestelerinin görsel olarak,
- TS EN 14081-1 ile de dikdörtgen kesitli yapı kerestelerinin makine ile tahribatsız olarak sınıflandırıldığı görülmektedir.

Yani ülkemizde sınıflandırmanın yaygın bir şekilde yapıldığı ancak tahribatsız bir yöntem olarak makine ile sınıflandırmanın yaygınlaşmadığı sonucu çıkarılabilmektedir. Çünkü bu standart (TS EN 14081-1) ile belgelenmiş firma bulunmamaktadır. Buna karşın özel sektörde bulunan firmaların, kendi tecrübeleri ve satış politikalarıyla oluşturduğu sınıflandırmalar da bulunmaktadır.

Bunun dışında TS EN 338 standardında yapı kerestelerinden elde edilen mekanik değerler kullanılarak, direnç bazında sınıflandırmalar yapılmaktadır. Ayrıca Avrupa Normu olduğu için, Avrupa ülkelerinde bu standardın kullanıldığı görülmektedir. Buna ek olarak Avrupa ülkelerinde yapılan görsel sınıflandırmaların, ağaç türü yetiştirme yerleri de belirtilerek, TS EN 338 standardındaki sınıflarla ilişki içerisinde olduğu belirtilmektedir (DIN 4074 - DIN 1052, TS EN 14081-1 ve BS 4978 – TS EN 338 vb.).

A.B. dışındaki ülkelere bakıldığında, örneğin Avustralya’da bu yöntemlerden farklı olarak, makine gerilimi ile sınıflandırma yapıldığı görülmektedir. Bu yöntemde genellikle Avustralya’da yetişen egzotik yumuşak ağaçların sınıflandırıldığı ve işaretlendiği belirtilmektedir. Tahribatsız bir değerlendirme olduğu ve görsel sınıflandırmadan daha etkili bir sınıflandırma olduğu belirtilmektedir. Yüksek verimin devam ettirilmesi için, periyodik olarak sınıflandırılan ağaçların tahribatlı testleri yapılarak, uyumunun kontrollerinin de yapıldığı belirtilmektedir (Anon, 2012a).

2.2. AĞAÇ MALZEMEDE TAHRİBATSIZ DEĞERLENDİRME VE SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ VE KULLANIM ALANLARI

2.2.1. Tahribatsız Değerlendirme ve Sınıflandırma Yöntemleri

Malzemelerin fiziki durumlarının ve mekanik özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi için kullanılan geleneksel yöntemler genellikle görsel değerlendirme ve tahribatlı testleri içermektedir. Bu testler küçük boyutlu, kusursuz numunelerde veya yapısal boyutlardaki malzemeler üzerinde yapılabilmektedir.

Görsel değerlendirme, öznel bir yöntem olup uygulayan kişinin bilgisi ve uzmanlığı ile yakından ilişkilidir. Standardize edilmesi oldukça güçtür. Aynı zamanda ağaç malzemenin fiziki durumunun ve teknolojik özelliklerinin (kullanım performansının) ortaya konulmasında tek başına yetersiz kalmaktadır. Tahribatlı test yöntemlerinin uygulanması ise belli bir örnekleme yöntemi ile seçilen örnekler üzerinde genellikle laboratuvar koşullarında test yapılmasını gerektirmektedir. Test edilen ağaç malzeme tahrip edildiği için artık kullanılmaları mümkün değildir. Test edilen malzemelerden elde edilen değerler istatistik kurallar çerçevesinde ana topluma uyarlanmaktadır. Ağaç malzeme gibi heterojen ve özellikleri geniş varyasyonlarda değişebilen bir malzeme için örnekleme yöntemi her zaman sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Testlerin bir laboratuvar ortamına ihtiyaç duyması da, hem ekstra bir maliyete sebep olmaktadır hem de konusunda uzman kişiler tarafından yapılması gerekmektedir. Ayrıca testlerin laboratuvar ortamına bağlılıkları yerinde değerlendirmeye de imkân vermemektedir. Bununla birlikte malzeme kırılana kadar teste tabi tutulduğu için, hem malzeme bir daha kullanılamamaktadır, hem de malzeme kullanım yerinden alınsa bile, tekrar kullanılamayacak duruma gelmektedir ve dolayısıyla ekonomik bir kayıp da meydana gelmektedir.

Tahribatlı değerlendirme yöntemlerin yukarıda belirtilen dezavantajlarından dolayı, alternatif test yöntemlerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuş ve bunun sonucunda “tahribatsız değerlendirme yöntemleri” geliştirilmiştir. Tahribatsız değerlendirme yöntemleri özellikle metaller olmak üzere çok çeşitli malzemelerde oldukça uzun bir süredir malzeme karakteristik özelliklerinin tayini için kullanılmakta olup, özellikle 20.

Yüzyılın ikinci yarısından itibaren ağaç malzemede de alternatif bir test yöntemi olarak uygulama alanları bulmaya başlamıştır.

Ağaç malzemede tahribatsız değerlendirme yöntemlerinin (TDY) kullanımı uzun bir geçmişe sahiptir. 1900'lü yıllardan önce ahşap köprülerde ön yüklemeler uygulanarak elde edilen deformasyon miktarlarından, elastikiyet hesapları yapıldığı belirtilmektedir (Bodig ve Jane, 1993). Brown ve diğ. (1952) yaptıkları bir çalışmada, ağaç malzeme içinde stres dalgasıyla oluşturulan bir vibrasyonun elastik bir davranış olduğunu ve bunun elastik sınırlar içinde elde edilen değerlerle iyi bir şekilde uyum sağlayacağını belirtmiştir. Çünkü oluşan vibrasyon elastik sınırlar içinde kaldığını ve bu sebepten dolayı da, ağaç malzemede akustik davranışın incelenmesinin yapılabileceği belirtilmiştir. Jayne 1959 yılında tahribatsız değerlendirme yöntemlerinin ağaç malzemede kullanımı ile ilgili temel hipotezi ortaya koymuştur. Jayne'e göre, ahşap esaslı malzemelerde enerji depolama ve yayılımı özellikleri, aynı zamanda malzemenin statik davranışlarını belirleyen aynı mekanizma tarafından kontrol edilmektedir. Böylece, malzemenin enerji depolama ve yayılım özellikleri ile statik elastikiyet ve direnç özellikleri arasında uygun matematiksel ilişkilerin kurulabileceğini ve istatistik olarak regresyon analizlerinin uygulanması ile statik elastikiyet ve direnç değerlerine ulaşılabilceğini belirtmiştir.

Ağaç malzemede yaklaşık 100 senelik bir geçmişe sahip olan tahribatsız test yöntemlerinden, günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle daha iyi sonuçlar alınmaya başlanmıştır (Bodig ve Jane, 1993; Falk ve diğ., 1990; Kandemir, 2010). Üretilen yeni algılayıcılar sayesinde, enerji davranışının malzemedeki değişiminin kontrolü çok daha kapsamlı ve hassas bir şekilde yapılabilmeye başlanmıştır. Ayrıca bilgisayar ile uyumlu çalışan modeller ile daha çok ve daha hızlı veri işlenmesine olanak sağlanmıştır. Bununla birlikte internet entegrasyonu ile uzaktan takip ve müdahale olanakları geliştirilmiştir (Falk ve diğ., 1990). Örneğin gelişen teknoloji ve otomasyon sistemleri ile birlikte SCADA uygulamasının yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Hatta belli bir otomasyon sistemine sahip fabrikalarda üretime girmeye de başlamıştır (Erikson ve diğ., 2000; ASTM, 2012). Bu tür testlerin seri üretime geçişi için, keresteler bir hat üzerinde ilerlerken, sensörler ve gerekli başlıklarla testlerinin yapılması sağlanmaktadır.

Bu sistemde dakikada toplam yaklaşık 200 - 250 m uzunlukta kereste değerlendirmesi yapılabildiği belirtilmiştir (ASTM, 2012; Metriguard, 2012).

Pellerin ve Ross (2002)'a göre tahribatsız değerlendirme yöntemleri, incelenen malzemeyi tahrip etmeden ve son kullanım yerini, performansını ve ekonomik değerini değiştirmeden, onun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleme bilimi olarak tanımlanmaktadır. Bu amaçla uygulanan bazı yöntemler, malzemede çok küçük de olsa tahribat oluşturmaya karşın, bu tahribatın son kullanım yeri performansını ve ekonomik değerini değiştirmemesinden dolayı, tahribatsız yöntemler olarak kabul edilmektedir.

Tahribatsız test yöntemleri, değişik teknikler ve uygun cihazlar aracılığıyla, birçok değişik ahşap ve ahşap esaslı malzeme türünde ve çok çeşitli amaçlarla kullanım olanakları bulmaktadır. Test edilecek malzemelerde tahribat oluşturmaması nedeniyle malzeme nitelikleri belirlendikten sonra belli bir amaçla kullanılabilen ve böylece her bir münferit malzemeye yönelik olarak karakteristik özelliklerin tayini mümkün olmaktadır. Ağaç malzeme gibi organik ve heterojen bir malzemede her bir ahşap eleman için özelliklerin belirlenmesi büyük bir önem taşımakta ve bu malzemenin rasyonel değerlendirilmesine büyük bir katkı sağlamaktadır. Geleneksel tahribatlı test yöntemlerinin örnekleme dezavantajı böylelikle ortadan kalkmaktadır. Bunun yanında genellikle bir laboratuvar ortamına ihtiyaç duymaması ve hızlı bir şekilde sonuç alınabilmesi bir başka önemli avantajını teşkil etmektedir. Testlerin laboratuvar ortamına ihtiyaç duymaması bir başka önemli avantaj olarak malzemenin yerinde değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Tahribatsız değerlendirme tekniklerinde kullanılan cihazlar büyük oranda portatif cihazlar olup, bir fabrikada, bir depoda ya da servisteki ağaç malzemede değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece özellikle kullanımdaki ahşap malzemelerin özelliklerinin tekrar tekrar belirlenmesi ve kullanım koşullarına ve zamana bağlı olarak malzeme özelliklerinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi mümkün olmaktadır.

Tahribatsız değerlendirme yöntemlerinin genel olarak ağaç malzemede kullanım amaçları aşağıdaki gibidir (Dündar, 2009):

- Malzemede çürüme, bozulma ve benzeri içsel kusurların belirlenmesine yönelik durum tespiti
- Malzemenin elastikiyet ve direnç özelliklerinin tahmin edilmesi,
- Ahşap malzemede kalite tespiti ve sınıflandırması,
- Endüstriyel üretimlerde üretimin ve ürünün kontrolü,
- Dikili ağaçlarda odun kalitesinin tespiti

Yukarıda sayılan amaçlarla ağaç malzemede değişik uygulama alanları bulan tahribatsız değerlendirme yöntemleri, ağaç malzemenin temel fiziksel özellikleri ile diğer nitelikleri arasındaki ilişkileri kullanarak malzemenin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. En eski ve günümüzde de hala yaygın şekilde uygulanan tahribatsız değerlendirme yöntemi gözle yapılan değerlendirmedir (Falk ve diğ., 1990; Kandemir, 2010). Günümüzde teknolojik gelişmelerin ışığında görsel değerlendirmenin mevcut eksikliklerini ortadan kaldırmak amacıyla nesnel, ölçülebilir nitelikler incelenmeye başlanmış ve başlıca malzemenin elektrik, akustik, termik, elastik vb. özelliklerinin ölçülmesi ve analiz edilmesi suretiyle diğer nitelikleri arasında yüksek korelasyona sahip ilişkiler bulunmuştur (Bucur 2003; Falk ve diğ., 1990; Bodig, 2000; Iniguez ve diğ., 2011; Divos, 2002).

Ağaç malzemede tahribatsız değerlendirme yapmak amacıyla çok farklı teknikler kullanılabilmekte olup, bu teknikler genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Dündar, 2009; Pellerin ve Ross, 2002):

- Görsel Karakteristiklere Göre Değerlendirme: Renge göre değerlendirilme veya kusurların bulunuşuna göre incelenmesi,
- Fiziksel Testler: Elektriksel direncin, dielektrik özelliklerinin, vibrasyonel (titreşim) özelliklerinin, dalga yayılımının, akustik emisyonunun ve X-ray gibi radyoaktif ışınların malzeme üzerindeki etkilerinin incelenmesi,
- Kimyasal Testler: Ağaç malzeme bileşiminin, kullanılan koruyucuların ve yangın geciktiricileri gibi işlemlerin bulunma durumunun ve etkinliğinin kimyasal olarak incelenmesi,
- Mekanik Testler: Esneklik durumunun, eğilme, çekme, basınç gibi yükleme sınamalarının, vida ile delme/çekme işlemlerinin incelenmesi.

2.2.2. Tahribatsız Değerlendirme ve Sınıflandırma Yöntemlerinin Ağaç Malzemede Kullanım Alanları

Tahribatsız değerlendirme yöntemlerindeki gelişmeler ile bu yöntemlerin her geçen gün daha fazla alanda kullanım imkânı bulmaktadır. Özellikle ağaç malzeme endüstrisinde üretim için uygun ham maddenin seçilmesinde, malzeme kalite kontrolünde ve ürün (özellikle kaplama ve kereste) sınıflandırmasında kullanıldığı belirtilmiştir (Wang ve diğ., 2007). Genel olarak TDY dikili ağaç, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde aşağıda belirtilen alanlarda kullanılmaktadır (Dündar, 2009):

- Dikili ağaçlarda ormancılık uygulamalarında: Genetik ıslah çalışmalarında, doğal gençleştirmelerde ya da ağaçlandırma çalışmalarında tohumluk ağaç ve kaliteli fidan seçimlerinde, meşcerelere yapılacak müdahalelerin (aralama kesimleri) ve idare müddetlerinin belirlenmesinde, büyüme karakteristiklerinin ortaya konmasında, yüksek ekonomik değere sahip ağaçlarda gövde içi kusurların belirlenmesinde, dikili satış uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunun yanında kent ağaçlarında, kırılma, devrilme gibi sebeplerle can ve mal güvenliği bakımından tehdit potansiyeli taşıyan ağaçların belirlenmesinde yine bu tekniklerden yararlanılmaktadır.
- Tomruklarda: Odun kalitesinin ve tomruktaki rutubet dağılımının ve içsel kusurların belirlenmesinde, özellikle ekonomik değeri yüksek ağaç türlerine ait tomruklarda kullanılmaktadır.
- Kereste ve diğer masif ağaç malzemelerde: Her türlü maksatla kullanılacak olan masif ağaç malzemede çatlaklar, çürüklük vb. içsel kusurların belirlenmesinde, ayrıca statik elastikiyet ve direnç değerlerinin ve rutubet içeriklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmakta, ayrıca masif ağaç malzemede ve kaplamalarda ilgili standartlara göre direnç sınıflandırması yapılabilmektedir.
- Ahşap esaslı kompozit malzemelerde: İçsel kusurların belirlenmesi ve statik elastikiyet ve direnç değerlerinin tayininde kullanılmaktadır. Ayrıca bu ürünlerin üretildiği fabrikalarda üretimin ve ürün özelliklerinin kontrolü maksadıyla kullanımı yaygındır.
- Ahşap Yapılarda: Yapı elemanlarında rutubet miktarı ve dağılımı, çürüme, bozulma vb. problemlerin yerinde tespit edilmesinde, direnç analizinde ve yapı malzemesinde zamana bağlı olarak gelişen direnç azalmalarının tespitinde

kullanılmaktadır. Tarihi yapılarda restorasyon projelerinde kullanımı son derece önemlidir.

- Ağaç malzemede kurutmanın yönetilmesinde: Kurutma sırasında ahşapta oluşan iç gerilimlerin ve kurutma kusurlarının analiz edilmesinde kullanılmaktadır.
- Arkeolojik ahşap buluntularda: Eserin niteliklerinin, fiziki ve mekanik durumunun tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

2.2.3. Ahşap Yapı Elemanlarının Değerlendirme ve Sınıflandırılmasında Tahribatsız Değerlendirme Yöntemlerinin Kullanımı

Ağaç malzeme başka birçok avantajlı özelliğinin yanı sıra hafif bir malzeme olmasına karşın gösterdiği yüksek mukavemet değerleri nedeniyle eşsiz bir yapı malzemesidir. Buna karşın bazı önemli dezavantajlara da sahip bulunmaktadır. En önemli dezavantajlarından bir tanesi, kimyasal ve hücrel kompozisyonu itibarıyla heterojen bir yapıda olmasının yanında, genetik faktörler ve yetiştirme ortamı faktörlerinin de ağaç malzemenin niteliklerinde önemli bir varyasyona neden olmasıdır. Bunlara ilave olarak ihtiva ettiği doğal ya da sonradan oluşan kusurlar (genç odun, reaksiyon odunu, budaklar, lif kıvrıklığı, çatlaklar vb.) ağaç malzemenin niteliklerindeki bu geniş varyasyona önemli miktarda katkı yapmaktadır. Ağaç malzemenin ihtiva ettiği rutubet miktarı da göz önüne alınması gereken önemli bir husustur. Böylece aynı ağaç türünde, aynı ağaç gövdesinde, hatta aynı kerestede malzeme nitelikleri önemli değişiklikler gösterebilmektedir. Malzeme niteliklerindeki bu geniş varyasyonlar, malzeme seçiminde, işlenmesinde, tasarımında, kullanılmasında önemli mühendislik problemlerini açığa çıkarmaktadır. Ağaç malzemenin bir yapı malzemesi olarak rasyonel bir şekilde kullanılabilmesi için bütün bu değişkenler ışığında fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi bir şekilde tespit edilmiş olması gerekmektedir.

Günümüzde yapısal maksatlı olarak kullanılacak masif ağaç malzemenin sahip olduğu karakteristiklerin belirlenmesi için belli normlara dayanan sınıflandırma yöntemleri uygulanmaktadır. Sınıflandırma iki temel alanda yapılmaktadır; görsel karakteristikleri (görsel kalite sınıfı) ve mekanik performansı (direnç sınıfı). Görsel karakteristikler her ülkenin kendi ulusal standartlarında ya da uluslararası standartlarda verilen görsel sınıflandırma kurallarına göre belirlenmekte ve keresteler bu standartlara göre görsel kalite sınıflarına ayrılmaktadır. Ülkemizde bu amaçla TS 1265 ve TS EN 14081

standartları kullanılmaktadır. Örneğin İngiltere’de BS4978 Almanya’da DIN 4074 standartları yine yapı kerestelerinin görsel sınıflandırılması için kullanılan yöntemlerdir. Mekanik performansın belirlenmesinde ise, genelde standart kurallar çerçevesinde örneklenen keresteler üzerinde ulusal ya da uluslararası standartlara dayanan geleneksel tahribatlı yöntemler ile testler yapılmakta, elde edilen değerler istatistik kurallar çerçevesinde ana topluma uyarlanmak suretiyle direnç sınıflandırması yoluna gidilmektedir. Ülkemizde ve Avrupa Birliği ülkelerinde yapı kerestelerinin mekanik performansı TS 5497 EN 408 standardına göre tespit edilmekte ve buradan elde edilen değerler TS EN 338 standardında verilen direnç sınıflarına referans teşkil etmektedir. Ahşap yapıların tasarımında, yapı kerestelerinin sahip olduğu bu direnç sınıfı dikkate alınarak, malzemenin yapıdaki kullanım koşulları, koruma işlemi uygulanıp uygulanmadığı, maruz kalacağı yük durumu, gerilme şekli ve yönü, kullanım süresi, birleştirme durumu vb. benzeri faktörlere göre emniyet gerilmeleri tespit edilmekte ve kesit tasarımları da buna göre yapılmaktadır.

Geleneksel tahribatlı yöntemlerin daha önce zikredilmiş bulunan dezavantajları nedeniyle alternatif bir yöntem olarak geliştirilen tahribatsız değerlendirme yöntemleri, yapı kerestelerinin ve spesifik yapı elemanlarının statik direnç değerlerinin ve direnç sınıflarının belirlenmesinde uzun bir süredir kullanım alanı bulmaktadır (Falk ve diğ., 1990). Kerestelerde tahribatsız olarak direnç sınıflandırması yapılması ile ilgili olarak birçok ulusal ve uluslararası standartta, tanımlanmış yöntemler ve kurallar bulunmaktadır. Ülkemizde yürürlükte olan TS EN 14081 standardı, yapı kerestelerinin görsel ve makine ile direnç sınıflarının oluşturulması kurallarını ihtiva etmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi tahribatsız değerlendirme yöntemleri hali hazırda kullanımda olan ahşap yapı elemanlarının fiziki durumunu ve mekanik performansını ortaya koymak amacıyla da kullanılabilir. Böylece yapı elemanlarında kullanıma bağlı arta kalan direnç değerlerinin ve direnç kayıplarının tespitinde oldukça başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Bütün bu bilgiler ışığında yapısal maksatlarla kullanılacak kereste ve yapı elemanlarının ya da halihazırda kullanımda olan ahşap yapı elemanlarının değerlendirme ve sınıflandırılmasında genel olarak kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

2.2.3.1. Yalancı Değerlendirme

Kereste hakkında ön bilgi alabilmek için kullanılan yöntemlerin genel adıdır. Bu yöntemler; bir çekiç ile vurup sesin malzeme boşluklarında yankılanmasını dinlemek, bozunmuş yüzeyi bıçak ile kazıyarak bozunma derinliğini / direncini tahmin etmek, çekiçle bir vuruş sonrası, çekicinin geri tepmesine bağlı olarak malzeme direncini tahmin etmek vb. olarak sıralanabilmektedir. Ancak sonuçlarının kişiden kişiye göre değişiklik göstermesi, çok tutarlı olmaması sebebiyle günümüzde kullanılmamaktadır ve bu sebeple “yalancı değerlendirme” olarak isimlendirilmektedirler. Ancak bu yöntemlerin genellikle görsel değerlendirme ile birlikte, değerlendirilen malzeme hakkında ön bilgi vermesi açısından kullanıldığı görülmektedir (Bodig, 2000; Kandemir, 2010).

2.2.3.2. Görsel Değerlendirme ve Sınıflandırma

Kerestelerin tahribatsız olarak incelenmesi, ilk olarak görsel değerlendirme ve sınıflandırma ile başlamıştır (Falk ve diğ., 1990). Görsel değerlendirmede ağaç malzemenin genel olarak, görünüş ve direnç özelliklerine etkisi olan yıllık halkalar, renk, budak, lif kıvrıklığı vb. gibi doğal nitelikleri incelenmektedir. Bunlarla birlikte çeşitli sebeplerle sonradan oluşan renk değişikliği, çürüme, böcek delikleri, boşluklar, çatlaklar, şekil değişikliği vb. deformasyonlar dikkate alınmaktadır (As ve Dündar, 2010).

Görsel sınıflandırma ise, kerestelerin belirlenen görsel karakteristikleri kullanılarak yapılan görsel değerlendirmeyle birlikte, keresteleri kullanım yeri ile ilgili sınıflara ayırmaya çalışan bir derecelendirme yöntemidir. Bu sınıflandırmada ayrılan her sınıf, birbirinden farklı kalitelere sahip olsa da yapısal maksatlı olarak kullanıma uygundur ve uygun olmayanlar sınıfa dâhil edilmezler. Örneğin daha önce de belirtildiği gibi, Güngör (1961) tarafından yapı kerestelerinin sınıflandırılmasında TS 1265 görsel sınıflandırma standardının kullanılabilmesi ve bu standarda göre sınıflandırılan kerestelerin yapıların hangi kısımlarında değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Kereste sınıflandırmasından inşaat sırasında kullanılan hesaplamalarda da yararlanılmaktadır. Çünkü her bir sınıfın emniyet gerilmesi yani her sınıfın karşılayacağı asgari değerler ilgili sınıflandırmada mevcuttur. Örneğin kiriş olarak kullanılacak keresteler için yapılan hesaplamalarda, TS 1265'e göre II. kalite sınıfındaki iğne yapraklı ahşap için, eğilme emniyet gerilmesi (σ_{cem}) 100 kg/cm² alınmaktadır

(Odabaşı, 1997). Bu değer de kereste yapısal maksatlı taşıyıcı olarak kullanılacağı için TS 647 standardı referans alınarak kullanılmaktadır.

Bir başka örnekte Baltrušaitis ve Pranckevičienė'nin (2003) tarafından Litvanya'da yapılmış olduğundan çalışmada, Litvanya'da yetişen ağaç türlerinden elde edilen kerestelerin sınıflandırılmasında, en uygun standardın BS 4978 standardı olduğu belirtilmiştir. Çünkü bu standardın tahribatlı olarak elde edilen değerlerle uyumundan dolayı, diğer çalışmaların yapılabileceği belirtilmiştir.

Calil Jr. (2008) tarafından yapılan çalışmada, Güney Amerika'daki bazı ülkelerin ahşap yapı elemanları için standartları olmadığını ve Avrupa'daki standartların kullanıldığını belirtmektedir. Buna karşılık Güney Amerika'nın çok fazla sayıda sert ağaç türü bulunduğunu ve Avrupa'daki standartların, kendi türlerine göre uyarlanması gerektiğini belirtmiştir.

Vega ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, İspanyol görsel sınıflandırma standardı UNE 56546 standardında belirtilen görsel parametreler değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda budak oranları ve pozisyonları dışındaki diğer parametrelerin, mekanik özelliklere etkisinin önemli derecede etkili olmadıklarını belirtilmiştir.

Boot ve Reece (1967) İngiltere'de mevcut olan görsel sınıflandırma standardının inceledikleri çalışmalarında, tahribatlı değerler ile uyumunda eksiklikler olduğunu belirtmişlerdir. Bunun için standardın sınıf düşürme faktörlerinin incelendiği ve iyileştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Görsel değerlendirme ve sınıflandırmanın kullanımının yaygın olmasına karşın bazı dezavantajları bulunmaktadır (Kandemir, 2010):

- Mantar etli kısımları, mantar saldırısının olduğunun pozitif yönde bir göstergesidir. Fakat çürüklüğün ölçüsünü ve ilerleme derecesini göstermez.
- Lokal yüzey çökmeleri yüzey altı çürüklüğü gösterebilir. Çürük kovukları veya cepleri yapı elemanının yüzeye yakın kısımlarında oluşabilir. Ancak oluşan kovukların ilerleme derecesini göstermemektedir

- Kereste üzerinde budak bulunması, direnç bakımından bir fikir verebilmektedir. Ancak görsel değerlendirme ve sınıflandırma, yüzeysel inceleme yapıldığından malzeme içinde kalan kısmı hakkında fikir vermemektedir.
- Görsel değerlendirme ve sınıflandırma insanlar tarafından yapıldığı için, inceleme insan duyuları ile sınırlı kalmaktadır. Birçok durumda fotoğraf makinası, büyüteç vb. yardımcı cihazlar kullanılması gerekebilmektedir (Kandemir, 2010).
- İncelemenin insanlar tarafından yapılması, değerlendirmenin objektifliğini düşürmektedir. İncelemeyi yapan kişinin konu hakkındaki eğitimi, tecrübesi veya incelemenin sonucunu değiştirecek sağlık sorunu (gözlük kullanıp, kullanmaması vb.) bulunması objektifliği düşüren nedenler arasındadır.
- Ağaç malzeme üzerinde bitirme işlemleri olarak adlandırılan cila, boya vb. bulunması da, görsel değerlendirme ve sınıflandırmayı etkileyen ve hatta engelleyen durumlar arasında yer almaktadır. Boyanın kalkması, cilanın incilmesi vb. durumlar malzeme hakkında fikir verebilmesine karşın, yine de inceleme yüzeysel kalmaktadır.

Görsel değerlendirmenin yukarıda belirtilen dezavantajlarından dolayı, buna bağlı olarak yapılan değerlendirme ve sınıflandırmanın da güvenilir olmadığı düşünülmektedir. Bu nedenden dolayı, malzemelerin değerlendirilmesi ve sınıflandırılması için diğer TDY'nin kullanımı araştırılmaya başlanmıştır (Falk ve diğ., 1990).

2.2.3.3. Akustik Dalga Yöntemleri

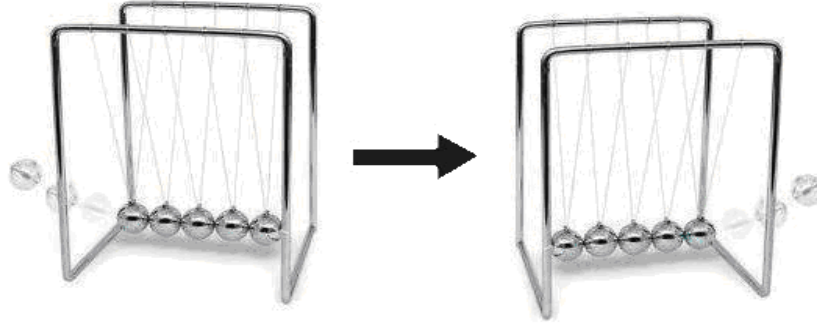
Bertholf (1965) yaptığı çalışmada, ağaç malzemedeki dinamik gerilmelerin önceden tahmin edilmesi için kullanılan temel stres dalga teorisini tanımlamıştır. Galligan ve Courteau (1965), bu teoriyi elastikiyet modülünü ölçmek için yapısal kerestelerde stres dalgasının başlatılması ve dalga geçiş süresini ölçmekte uygulamışlardır. Bu çalışma ses dalgasının hızının elastikiyet modülü, eğilme direnci ve diğer materyal parametrelerini önceden tahmin edilmesinde liderlik etmiştir (Kaiserlik ve Pelerin, 1977; Pelerin, 1965; Ross ve Pelerin 1988; Vogt, 1985).

Bu şekilde kullanılmaya başlanmış olan ve malzemenin akustik özelliklerini inceleyen TDY, malzeme içinde tanecikler vasıtasıyla dalgalar halinde yayıldığı varsayılan sesin

incelenmesi amaçlanmaktadır. Genel olarak, başta malzeme içinde stres ile oluşturulan akustik dalga geçiş süresinin ve malzeme içinde ilerleyen bu akustik dalganın vibrasyon frekansının incelenmesi olmak üzere, çeşitli prensiplerde araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada da bu iki yöntemin kullanılması tercih edilmiştir.

Akustik dalga yöntemlerinin temeli olan stres dalgası (akustik dalga – ses), elastik bir ortamda 16-20000 Hertz arasındaki frekanslarda meydana gelen bütün titreşim ve dalgalar olarak tanımlanmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996). Akustik dalga en hızlı yayılabileceği ortamı seçerek ilerlemeye çalışmaktadır. Akustik dalga, (en iyiden, en kötüye sırasıyla) katı, sıvı ve gaz ortamlarında yayılabilmektedir. Bunda akustik dalganın mekanik bir olgu olması durumundan kaynaklanmaktadır.

Herhangi bir ahşap çubuğun uç kısmına bir şok dalgası uygulanarak bir basınç dalgası oluşturulursa, Şekil 2.4'te bir örneği görüleceği gibi, bu dalga hemen çubuk içinde bulunan partiküllerin birbirini tetiklemesi yardımıyla iletimi sağlanacaktır. Bu tetikleme, dalganın çubuğun diğer tarafına varıncaya kadar sürmektedir (Pellerin ve Ross, 2002).



Şekil 2.4: Partiküllerin Birbirini Tetiklemesi ve Stres Dalganın İletilmesi Prensibi

Pratikte çekiç ile malzemede bulunan elektrotlara hafifçe vurularak oluşturulan akustik (stres) dalga, Denklem 2.4'teki eşitliğe göre, yayılma hızı (v), cismin elastikiyet modülü ($E.M.$) ve yoğunluğu (d) ile ilişkili bulunmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1996):

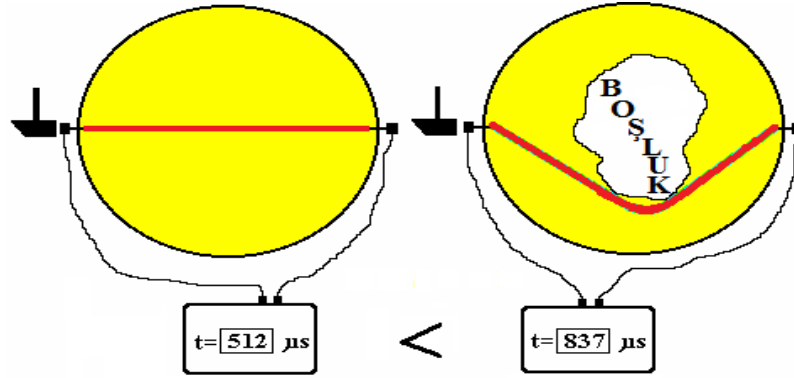
$$v = \frac{\sqrt{MOE_d}}{\sqrt{d}}$$

(2.4)

Denklem 2.5' te de yayılım gösteren bu akustik dalganın hızı, iletim süresinden (t_m) ve iki elektrot arasındaki mesafe (s) ile hesaplanır:

$$V = s / t_m \quad (2.5)$$

Akustik dalga iletiminin yoğunluk, eğilme direnci veya elastikiyet modülü ile ilişkisinin yanında, sadece iletim değerleri kullanılarak da değerlendirmeler ve sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Örneğin çürüklüğe maruz kalan kereste, dışarıdan görülmemesine karşın, içinde mantarların veya böceklerin oluşturmuş olduğu boşluklara sahip olabilmektedir. Boşluk kereste direncini olumsuz yönde etkilemektedir ve bununla paralel olarak kereste içine gönderilen herhangi bir akustik dalganın hızı, boşluğa denk geldiği zaman yavaşlayacaktır. Çünkü akustik dalga boşlukta (hava ortamında) yayılmamak için, Şekil 2.5'te görüldüğü gibi boşluğun etrafından dolaşarak yolunu uzattığından yayılım süresi artacaktır. İki elektrot arasındaki mesafe de aynı kaldığından akustik dalganın hızı azalacaktır. Böylelikle akustik dalganın davranışındaki bu değişim fark edildiğinde, kereste içine bakılmadan, içinde boşluk olduğu anlaşılabilir.



Şekil 2.5: Sesin Boşluk Etrafında Dolaşması Prensibi

Örneğin Rutherford (1987) yaptığı çalışmasında, stres dalga yönteminde Şekil 2.5'teki gibi liflere dik dalga hızı ölçümlerinin çürüklük tespitinde kullandığını ve yaptığı çalışma sonrası yüksek doğrulukla çürüklük derecesinin tahmin edilebileceğini belirtmiştir.

Yine bu çalışmaya paralel olarak Hoyle ve Pellerin (1978) tarafından yapılan çalışmada stres dalga tekniği ile çürüklük tespiti incelenmiştir. İncelemeler iki okul binasında yer

alan Glulam ahşap kemerlerde olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre çürük olmayan malzemedeki stres dalga hızı değerlerini referans alınarak, başarılı bir şekilde çürüklük olan yerlerin tespit edildiği bildirilmiştir.

Bu çalışmaların yapılabilmesi için, iki ayrı yöntem kullanılmaktadır. İlk yöntemde belirli bir türün kusur içermeyen örneklerinde yapılan çalışmalarda akustik dalga geçiş hızı değerleri elde edilerek, referans alınmaktadır. Bu referans değerlerden azalma oranları kullanılarak, çürüklük miktarı tespiti yapılabilmektedir. İkinci yöntemde ise belirli bir türün kusur / çürüklük içeren örneklerindeki değerler referans alınmaktadır.

Tablo 2.6 : Bazı Ağaç Türlerinde Sağlam ve Çürük Halde Elde Edilen Değer Aralıkları (As ve Dündar, 2010)

Ağaç Türü	Akustik Dalga Hızı (m/sn)	
	Sağlam Ahşap Malzeme	Çürük Ahşap Malzeme
Çınar	900-1700	260-850
Kavak	920-1700	300-820
Dişbudak	800-1700	200-700
Yalancı Akasya	950-1800	250-800
Çam	780-1400	300-700
Douglas Göknarı	1170	300-780

Tablo 2.6'da bazı ağaç türlerine göre elde edilen referans değerleri görülmektedir (As ve Dündar, 2010). Standartlaştırılan değer aralıkları ile malzemenin sağlamlık kontrolü yapılabilme olanağı malzemenin kullanıma uygunluğu sorgulanabilme imkanı ortaya çıkmaktadır.

Bu doğrultuda öncelikle kerestelerin kurutulmasında stres dalga yönteminin araştırıldığı çalışmalar incelenmiştir. James ve diğ. (1982) tarafından yapılan çalışmada, kuruyan kerestede rutubet içeriğinin bağıl değişiminin, ultrasonik dalga atım hızlarıyla iyi bir ilişkide olduğu bulunmuştur. Buna bağlı olarak, ağaç malzemenin kurumasının bu yöntemle takip ve kontrol edilebileceğini belirtilmiştir. Wang ve Simpson (2006) tarafından kerestelerdeki şekil bozukluğunun incelendiği çalışmada, görsel sınıflandırma ile stres dalga hızı ve buradan elde edilen elastikiyet modülü değerlerinin birbirleriyle sıkı bir ilişki içerisinde olduğu belirtilmiştir.

Stres dalga yönteminin diğer ahşap esaslı malzeme türlerindeki durumu incelendiği takdirde, Jung (1979) tarafından yapılan çalışmada, stres dalga tekniklerinin paralel lamine kaplamaların (LVL) üretiminde güçlü ilişkiler elde edildiği ve buna bağlı olarak kullanılması önerilmiştir. Benzer bir önermeyi Ross ve Pellerin (1988) tarafından, yapısal kompozit keresteler, yongalevha, çatı ve zemin kaplamaları gibi malzemelerin özelliklerinin bu yöntemle önceden belirlenebileceğini belirtilmesiyle yapılmıştır.

Stres dalga kullanılarak, tahribatlı testlerle de yüksek korelasyonlar elde edildiği belirtilmektedir (Divos, 2002). Palacios ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, 30 farklı türde, 5 farklı yoğunluk grubunda küçük ve kusursuz örneklerde stres dalga ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, statik elastikiyet modülünün stres dalga yönteminden elde edilen akustik dalga hızı ile çok iyi ilişki içinde olduğu bulunmuştur. Eğilme direncinin ise stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü ile çok iyi ilişki içinde olduğu vurgulanmıştır. Büyük boyutlu (ve dolayısıyla kusur içeren) Kestane kerestelerinde yapılan bir başka çalışmada ise, akustik dalga hızının ve bundan elde edilen elastikiyet modülünün, statik elastikiyet modülü ile çok iyi ilişki içinde olduğu bulunmasına karşın, aynı kuvvetli ilişkinin eğilme direnci ve yoğunluk değerleri ile olmadığı vurgulanmıştır (Vega ve diğ., 2011).

Ancak sadece akustik dalga geçiş hızının kullanılmasıyla kereste sınıflandırması yapıldığına literatürde rastlanılmamıştır.

Akustik (stres) dalganın bir başka kullanıldığı yöntem ise, vibrasyon yöntemidir. Bucur'a (1995) göre, dinamik elastikiyet modülünün hesaplanmasında, vibrasyon halindeki bir numuneden elde edilen dalga spektrumundan "Hızlı Fourier Dönüşümü"nin (Fast Fourier Transform) kullanılması yöntemini ilk kez Sobue ortaya çıkarmıştır. Sobue (1986), bu yöntemin kullanılmasıyla hem küçük ve kusursuz örneklerde, hem de yapısal boyuttaki örneklerde güçlü korelasyon katsayıları elde edilebildiğini belirtmiştir. Bu düşüncüyü destekler nitelikte olan, Iniguez ve diğ. (1986) tarafından yapılan bir çalışmada, boyuna vibrasyon yönteminin, elde edilen mekanik değerlerle güçlü bir ilişkide olduğu tespit edilmiştir.

Bucur (1995), vibrasyon yöntemlerinde, akustik (stres) dalgası oluşturacak bir etmen kullanılmasına karşın ölçülen parametre, malzemenin doğal frekansı olduğunu belirtmektedir. Kollman ve Krech de (1960) bu düşünceyi destekleyecek nitelikte, boyuna dinamik elastikiyet modülünün hesaplanması için, kullanılan materyalin basitçe desteklenmesi koşuluyla elde edilen boyuna vibrasyondaki dalga eşitliğinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çünkü malzeme basitçe (herhangi bir dış etki olmadan) desteklenmediği takdirde, malzemenin doğal frekansında değişime yol açacaktır.

Örneğin günümüzde Macaristan'da faaliyet gösteren FAKOPP firmasının geliştirdiği cihaz ve yazılım ile dalga frekansı, dalga hızı ve malzeme yoğunluğu parametrelerini bir arada kullanılarak, malzemenin mekanik direncinin tahmini olarak elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu yöntemde elde edilen mekanik direnç elastikiyet modülüdür. Elde edilen değerlerin de tahribatlı olarak elde edilen değerlerle yüksek korelasyonlarda olduğu belirtilmektedir (Divos, 2002). Ayrıca bu yüksek korelasyon sebebiyle, elde edilen elastikiyet modülüne bağlı olarak, TS EN 338 standardına göre kerestelerin sınıflandırılması da yapılabilmektedir.

2.2.3.4. *Delme - Vida Çekme*

Bu teknik, vidanın malzemeye monte edilmesinde veya çekilmesinde gereken güce dayanmaktadır. Bu gereken güç, malzemenin yoğunluk ve eğilme direnciyle doğrudan ilişkili olmaktadır. Bu metot genellikle ahşap yapıların ve kontrplak kaplamaların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Dündar, 2009; Divos, 2005; Bülbül, 2012). Eckelman (1975) tarafından yongalevhalar üzerinde yapılan çalışmada da, vida çekme yükünün levha yoğunluğuna bağlı olduğu belirtilmiştir.

Vida çekme yöntem standart bir ahşap vidasının sabit bir hızda standart bir derinliğe kadar delinmesi veya delindikten sonra aksi yönde çekilmesi ile bu yöntem uygulanmaktadır. Vida malzeme yüzeyine girdiğinden, malzemeye küçük bir oranda da olsa tahribat vermektedir. Özellikle görselliğin ön planda tutulan kaplamalarda kullanılması uygun değildir. Ağaç malzemenin anizotropik yapıda olmasından dolayı, lif doğrultusuna göre direnç değerleri değiştiğinden, bu yöntem uygulanması sırasında dikkat edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda rutubet içeriği ile malzeme direnci değiştiğinden, belli rutubetlerde ölçümler yapılması gerekmektedir. Ayrıca ağaç

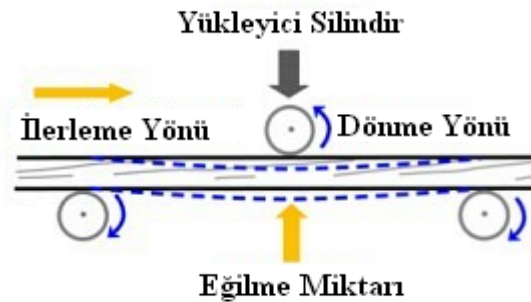
malzemede diri - öz odun bulunması, reçine barındırması vida çekmeden elde edilen yük değerlerini değiştirebilmektedir.

Vida çekme yöntemle ilgili tarihi ahşap yapılarda Divos (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, vida çekme yönteminin stres dalga yöntemiyle birlikte kullanılması sonucu, belirli bir hata payıyla özellikle eğilme direncinin tahmin edilebileceği belirtilmiştir.

Delme yönteminde, vida çıkarmanın aksine, malzeme içerisine küçük çaplı bir ucun sabit hızla sokulmaya karşı gösterilen direnç değerleri, malzemenin fiziksel ve mekanik değerleri ile ilişkilendirilmektedir. Çünkü yoğunlukla doğrudan ilişkisi bulunmaktadır (Bülbül, 2012). Bu direncin ölçülmesi için, rezistograf cihazından yararlanılmaktadır (Anon, 2012b).

2.2.3.5. Makine İle Sınıflandırma Yöntemleri

Enerji türlerinin incelenmesinin yanında, ağaç malzemede bir sınıra kadar olan yüklemelerde oluşan deformasyonların geri kazanılması özelliğinden yararlanılarak, tahribatsız bazı mekanik testler geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi “makine gerilim oranı” (Machine Stress Ratio-MSR) olarak adlandırılan yöntemdir ve kereste değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (AWC, 2006). Hoyle (1968) ve Logan (1978) tarafından yapılmış olan araştırmaya göre, elastik sınırlar içerisinde eğilmekte olan bir kirişte meydana gelen eğilmedeki deformasyon (sapma) miktarı, onun elastikiyet modülü ile belli bir ilişkide olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Makine Gerilim Oranının Şematik Olarak Gösterilmesi

Yüklemeler elastik sınırlar içerisinde olduğu için, yük kalktıktan sonra malzemede herhangi bir deformasyon olmamaktadır. Bir TDY olarak sadece laboratuvar şartları

gerektirdiğinden, yerinde bakım olanağı vermemektedir. Bunun dışında orman ürünleri endüstrisinde masif kereste üretiminde, görsel sınıflandırma ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır.

Ölçülen değerler eğilme direnci ve özellikle elastikiyet modülü ile doğru orantılı olduğu için, malzeme hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Ayrıca tahribatlı yöntemlerle, uygulanış açısından benzer olduğundan, sağlıklı değerler elde edilebilmektedir. Sağlıklı değerler elde edilmesinden kaynaklı olarak da malzeme sınıflandırılması da yapılabilmektedir (Erikson ve diğ., 2000; Galligan ve McDonald, 2007; Dynalyse, 2012a; Erikson ve diğ., 2000; ASTM, 2012). Bu tür testlerden hızlı ve güvenilir sonuçlar alınabildiği için, seri üretimde de yer almaya başlamışlardır. Örneğin masif kereste üretimine entegre edilen bir sistemde dakikada toplam yaklaşık 200 - 250 m uzunlukta kereste değerlendirmesi yapılabildiği belirtilmiştir (ASTM, 2012), (Metriguard, 2012). Bu yöntem özellikle Kuzey Amerika, Avustralya, Avrupa, Güney Afrika, Yeni Zelanda ve Japonya'da uzun yıllardır kullanılmaktadır (Galligan ve McDonald, 2000; Grant ve Weir, 1989). Ülkemizde ise bu tür yöntemler makine ile sınıflandırma adıyla TS EN 14081 standardının yürürlüğe girmesiyle uygulanmaya başlanmıştır.

2.2.3.6. Ön Yükleme İle Değerlendirme

Yapısal boyuttaki malzemelerin mekanik performansları yüksek olmasına karşın, tek başına bu yeterli olmamaktadır. Çünkü oluşturdukları strüktürün performansı, bu tür malzemelerin birbirleriyle uygun bir şekilde birleştirilmesine bağlı olmaktadır. Bununla birlikte kullanılan tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri genellikle, münferit malzemenin mekanik performansını incelemektedir. Bu nedenden dolayı birleştirme performansının incelendiği "ön yükleme" testleri geliştirilmiştir (Pellerin ve Ross, 2002). Bu testler ya sadece birleştirme kısımlarında ya da strüktür üzerinde uygulanan ön yükleme ile inceleme yapılmaktadır. Johnson'a (1980) göre ön yüklemelerde, malzemelerin daha önceden belirlenen sadece belirli bir yükleme ile gerilerek, böylece sadece zayıf olanlarının kırılması sağlanmaktadır. Ancak bu belirlenen yüklemelerde kırılmalar olmayabilmektedir, böylece mevcut üretimin veya malzemenin performansı hakkında fikir sahibi olunmaktadır.

Yapılan bir çalışmada kontrplak I-kirişlerinde yapılan ön yükleme testlerinde, iki kurtağzı ekli (finger joint) birleştirmede kırılma olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra yapılan incelemede, kurtağzı ekin açılmasını ve tutkallanmasını sağlayan makinadaki aksaklıktan kaynaklandığı görülmüştür (Pellerin ve Ross, 2002).

2.2.3.7. Diğer Tahribatsız Değerlendirme ve Sınıflandırma Yöntemleri

Ses davranışının incelenmesi, araştırmacıları diğer enerji türlerinin malzeme üzerindeki değişimlerinin incelenmesine yöneltmiştir. Örneğin enerji türlerinden ısının kullanımı ölçüm yapılırken tek bir noktanın sıcaklık ölçümü veya belli bir yüzey üzerindeki sıcaklık dağılımının haritalandırılması şeklinde olabilmektedir. Sıcaklık dağılımının incelenmesiyle, malzeme içeriği, bir dereceye kadar görüntülenebilmektedir. Ayrıca soğuk bölgelerden tomruk ve keresteden üretim yapan kereste fabrikalarının, üretime başlamadan önce noktasal veya bölgesel sıcaklık kontrolü yapılarak, malzemenin üretime elverişliliği incelenmektedir. Isıyı algılayan cihazlardan bir bölümü termometre gibi temas edilen hava, su vb. bölgenin sıcaklığını veren temas ile ölçüm prensibine dayanmaktadır. “Pyrometre” gibi hem temassız hem de noktasal veya bölgesel olarak bir bölgenin sıcaklığını ölçen cihazların ölçümü genellikle, kızılötesi radyasyonun algılanmasına bağlı olmaktadır (Kandemir, 2010).

Elektriksel özellikler, ağaç malzemenin rutubet içeriği ve elektriksel direnci arasındaki ilişkiye dayanarak, tahribatsız bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Örneğin bu sayede kurutma fırınlarında anlık rutubet ölçümü yapılabilmekte ve kurutmanın seyri kontrol edilebilmektedir. Yüksek korelasyonlarda sonuç alındığından standart olarak kullanılmasına başlanmıştır. Örneğin rutubet ölçümünün yapıldığı cihazlar ile (örneğin “Lif Doygunluğu Noktası” değeri esas alınarak) yaş ve kuru kereste sınıflandırması da yapılabilmektedir. Elektriksel direnç aynı zamanda yerinde bakımda, çürüklük tespitinde de kullanılmaktadır.

Bu TDY dışında, gamma ışınımı (radyasyonu), çürüklük miktarını ölçmede iyi bir araçtır. Aynı zamanda odun koruyucuların etkinliğini ölçmede de kullanılmaktadır (Kandemir, 2010).

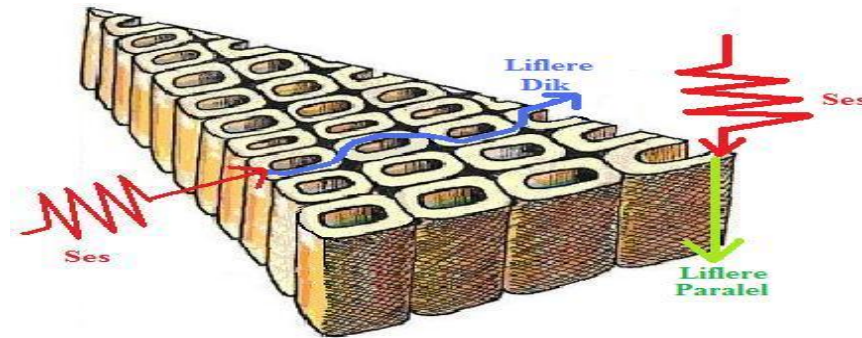
X-Ray yöntemi ile röntgeni çekilen malzemenin içyapısı hakkında iki şekilde bilgi sahibi olunmaktadır. Ya malzeme yerinde, ya da laboratuvar ortamında incelenmektedir ve malzeme içyapısı, sanki içi açılmış gibi görülebilmektedir (Kandemir, 2010).

2.2.4. Ağaç Malzemedeki Akustik Dalga Yayılım Özellikleri Üzerine Etki Eden Faktörler

Kerestelerin değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasında tahribatsız yöntemlerden akustik dalga yayılım özellikleri incelenirken birçok faktöre de dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü ağaç malzeme doğal, anizotropik, heterojen ve higroskopik bir malzeme olduğundan, akustik dalga yayılım özelliklerini değiştiren birçok özelliğe sahiptir (Bozkurt ve Göker, 1996).

Birçok direnç türünde olduğu gibi, akustik esaslı tahribatsız test yöntemlerinde elde edilen değerler, ölçüm yapılan malzemenin rutubet içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Çünkü akustik dalganın yayılımı, bulunduğu ortama göre değişmektedir. Yapılan çalışmalara göre %30 rutubet üstünde akustik dalga geçiş sürelerinde az veya hiç değişiklik olmamıştır. Ancak %30'dan az olduğunda bu sürelerin, rutubet miktarındaki azalışa bağlı olarak azaldığı ortaya çıkmıştır. Elde edilen değerlerin karşılaştırılmasının iyi yapılabilmesi için, genellikle hava kurusu malzemedeki ölçümler yapılmaktadır (Dündar, 2009).

Birçok direnç türünde olduğu gibi, akustik esaslı tahribatsız test yöntemlerinde elde edilen değerler, ölçüm doğrultusunun lif doğrultusuyla olan durumu ile değişmektedir. Çünkü ağaç malzeme homojen ve tamamen dolu bir malzeme değil, aksine Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, içi boş, silindirik hücrelerden oluşmaktadır.



Şekil 2.7 Sesin Lif Doğrultusuna Göre İletiminin Değişimi

Şekil 2.7’de temsili olarak belirtildiği gibi, liflere dik oluşturulan ses dalgası, lümenlere denk geldiğinden yolunu değiştirmektedir ve dolayısıyla akustik dalga geçiş süresi artmaktadır. Ancak liflere paralel iletilen akustik dalga, hücre çeper tabakaları üzerinden yoluna devam edebileceğinden, iletiminde önemli derecede bir sapma olmamaktadır ve iletim hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bunla ilgili olarak, Gerhards (1980) yaptığı çalışmada, lif doğrultusunun stres dalga hızına etkisini araştırmıştır ve lif yönü değişiminin yaklaşık 30°’ye kadar, her açıda %1’lik değişime uğradığını bulmuştur. Bu sebepten dolayı ölçümler ya liflere tam dik, ya tam paralel olacak şekilde ölçüm yapılmalıdır. Böylelikle elde edilen değerler, referans değerler ile sağlıklı bir şekilde karşılaştırma yapılabilir nitelikte olacaktır.

Malzeme özelliklerinin incelendiği durumlarda, TDY ölçümlerin uzunluk boyunca yapılması gereklidir. Çünkü genişlik ve kalınlık doğrultusunda ilerleyen akustik dalgalarının kusurlu bölgeyi es geçme olasılığı yüksek bulunmaktadır (As ve Dündar, 2010). Bununla birlikte, malzemenin boyutları da, akustik esaslı TDY’nde elde edilen sonuçları da değiştirmektedir. Casado ve diğ. (2010) tarafından boyuna vibrasyon yönteminin kullanılarak yapılan bir çalışmada, geniş boyutlardaki kirişlerde daha düşük frekanslar elde edildiği vurgulanmış ve boyutsal olarak düzeltme faktörünün uygulanması gerektiği belirtilmiştir.

Akustik esaslı TDY yöntemlerinde emprenyenin etkisinin araştırılması üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalara göre, suda yıkanan tuzlarla emprenye işlemi akustik dalga geçiş sürelerine hemen hemen etki etmezken, yağlı koruyucularla emprenyeli malzemelerde, emprenyesiz malzemelere nispeten %40 fazla akustik dalga geçiş süreleri ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Dündar, 2009). Akustik esaslı TDY’nin fiziksel ve mekanik özellikler ile ilişkisi, yukarıda da belirtilen etki eden faktörlere dikkate alındığı takdirde doğruluğunu koruyacağı söylenebilir. Genel olarak akustik esaslı TDY’nde sağlıklı ölçümler yapılabilmesi için:

- Malzeme ve ölçüm koşullarına göre en uygun yöntem seçilmelidir.
- Ölçülecek değere etki eden tüm faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Seçilen yöntemin sonucuna etki edecek malzeme ve ölçüm cihazını etkileyen faktörlere dikkat edilmesi gereklidir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

Bu çalışmada, iğne yapraklı orman varlığımız içerisinde en fazla paya ve en geniş yayılışa sahip olan Karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) türüne ait yapı keresteleri kullanılmıştır.

Dünya üzerinde çok geniş bir alanda, parçalı küçük alanlar halinde yer alan Karaçam'ın asıl yayılış alanı, Güney Avrupa'dan başlamakta (Anşin, 1988; Yaltırık, 1993; Kaya ve Teremit, 1994) ve Türkiye'ye doğru uzanmaktadır. 5 alt türü bulunan Karaçam'ın, Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. Subsp. *pallasiana* (Lamb) Holmboe], Balkanlar, Güney Karpatlar, Kırım, Kıbrıs, Suriye ve Türkiye'de yayılış göstermektedir (Yaltırık, 1993). En geniş yayılışını da ülkemizde yapmaktadır (Alptekin, 1986).

Karaçam odununa ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.1'de görülmektedir:

Tablo 3.1: Karaçam Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [Bozkurt ve Göker, (1986)]

Karaçam Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri					
Özellik	Değer	Birim	Özellik	Değer	Birim
Tam kuru özgül ağırlık (%0)	0,520	gr/cm ³	Liflere Dik Çekme Direnci	23,4	kg/cm ²
Hava kurusu özgül ağırlık (%12)	0,560	gr/cm ³	Liflere Paralel Çekme Direnci	1124	kg/cm ²
Hacim yoğunluk değeri	0,456	gr/cm ³	Yarılma Direnci	-	-
Liflere Paralel Daralma	0,23	%	a) Radyal Yönde	8,2	kg/cm ²
Radyal Daralma	5,58	%	b) Teğet Yönde	9,1	kg/cm ²
Teğet Daralma	8,19	%	Liflere Paralel Basınçta	-	-
Hacimsel Daralma	13,9	%	a) Direnç	479	kg/cm ²
LDN	30	%	b) Statik Kalite Değeri	8,5	-
En Yüksek Su Miktarı	149	%	c) Spesifik Kalite Değeri	15,2	-
Makaslama Direnci	67,1	kg/cm ²	Brinell Sertlik Derecesi	-	-
Elastikiyet Modülü	90376	kg/cm ²	a) Liflere Dik	2,02	kg/mm ²
Eğilme Direnci	1096	kg/cm ²	b) Liflere Paralel	4,29	kg/mm ²
Dinamik Eğilme Direnci	0,56	mkg/cm ²			

Bu çalışmada kullanılan Karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) türüne ait yapı keresteleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda daha önce gerçekleştirilen bir proje kapsamında, Balıkesir yöresi Alaçam Dağları'ndan kesilmiş Karaçam tomruklarından elde edilmiştir. Fakülteye 2008 yılında nakledilen tomruklardan, 2000 mm boyunda, 60 mm kalınlığında ve 80 – 320 mm genişliklerinde biçilmek suretiyle keresteler üretilmiştir. Biçilen kerestelerin rutubetleri, teknik kurutma yöntemiyle %12'ye kadar kurutulmuş ve kurutulmasını takiben açık havada ve üstü kapalı bir şekilde doğal istif yapılarak depolanmıştır.

Bu çalışma için kullanılacak keresteler, bu istiflerden TS 1265 standardında belirtilen görsel sınıflandırma niteliklerine göre farklı kalite sınıflarında olacak şekilde seçilmiştir. TS 1265 standardında iğne yapraklı yapı keresteleri üç sınıfa ayrılmaktadır. Keresteler seçilirken her bir kalite sınıfında eşit miktarda kereste olması sağlanmaya çalışılmıştır. Ancak istifte bulunan mevcut Karaçam kereste stoku bunu mümkün kılmamıştır. Bu sebeple her bir kalite sınıfından sırasıyla I. sınıftan 20 adet, II. sınıftan 15 adet, III. sınıftan 14 adet ve sınıflandırma dışı (değerlendirme dışı) olarak da 4 adet kereste olmak üzere toplamda 53 adet yapı kerestesi seçilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Deney Numuneleri

Keresteler daha önce teknik kurutma ile %12 rutubete getirilmelerine karşın, uzun süre açık havada, istifte bekledikleri için rutubetleri değişeceğinden, tekrar ölçülerek belirlenmesi gereği duyulmuştur. Rutubet ölçümü için, “GANN HYDROMETTE RTU 600” cihazı kullanılmıştır. Yapı kerestesine uygun ölçümde, elektrotların kereste kalınlığının 1/3'ü derinliğe kadar çakılabilmesi için “Ram-in electrode M 18” aparatı ile

birlikte kullanılmıştır. Rutubet ölçümü, ilgili standart olan “TS EN 13183-2: Kereste Parçasının Rutubet Muhtevası-Bölüm 2: Elektrikli Direnç Metoduyla Tahmin”e göre yapılmıştır (Şekil 3.2).

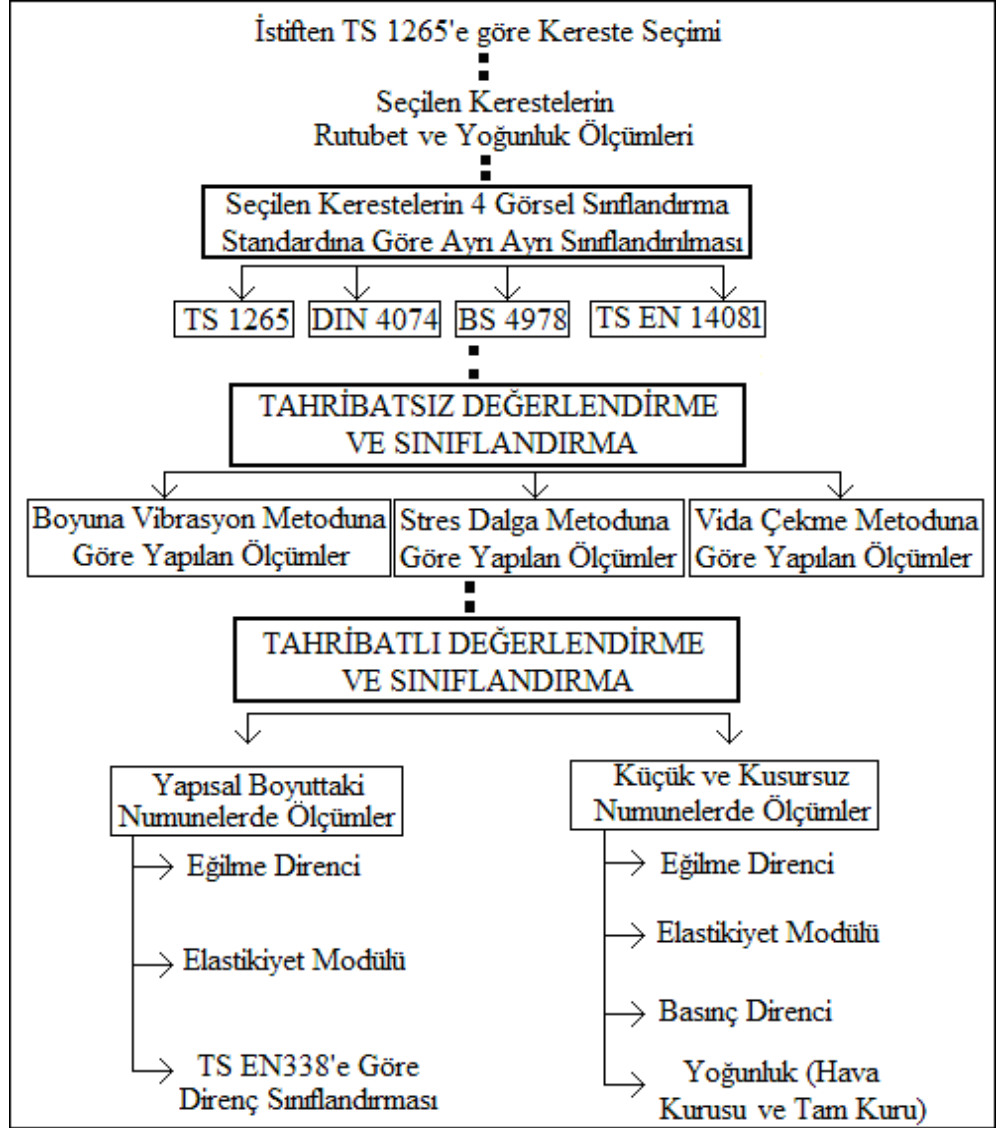


Şekil 3.2 Rutubet Cihazı ile Ölçüm

Seçilen bu keresteler de denge rutubet miktarının %13,8 - %16,4 rutubet aralığında değiştiği ve ortalama %15,4 rutubete sahip oldukları tespit edilmiştir.

3.2. YÖNTEM

Seçilen keresteler aşağıdaki çizelgede görülen iş akışına göre belli aşamalarda farklı değerlendirmelere tabii tutulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Uygulanan Deneyleri Belirten İş Akış Çizelgesi

Öncelikle kerestelerde görsel sınıflandırma uygulanmış, daha sonra vibrasyon esaslı “Tahribatsız Değerlendirme Yöntemleri” (TDY) ile değerlendirme ve sınıflandırmaya tabii tutulmuştur. Daha sonra diğer TDY olan stres dalga esaslı ve vida çekmeye dayanan mekanik değerlendirilmeler yapılmıştır. Son olarak da hem yapısal boyutta hem de küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde mekanik değerlendirmeler ve yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

3.2.1. Görsel Sınıflandırma

Yapı kerestelerinin görsel sınıflandırması TS 1265, DIN 4074, BS 4978 ve TS EN 14081-1 olmak üzere 4 farklı standarda göre gerçekleştirilmiştir. Bu standartlar ve gereklilikleri aşağıda ayrı başlıklar halinde ele alınmıştır.

3.2.1.1. TS 1265 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma

“TS 1265 - Kereste - İğne yapraklı ağaç keresteleri - Yapılarda kullanım için” isimli görsel sınıflandırma standardı, iğne yapraklı yapı kerestelerinin tanımı, sınıflandırılması, özellikleri, muayenesi ve deneyleri, piyasaya arz şekli ile denetleme esaslarını kapsamaktadır. İğne yapraklı ağaç türlerinden olan Çam (*Pinus*), Göknaar (*Abies*), Ladin (*Picea*) ve Sedir (*Cedrus*) ağaçlarından elde edilen ve taşıyıcı olarak kullanılmaya elverişli olan yapı keresteleri sınıflandırılmakta ve bu sınıfların TS 647 standardında verilen emniyet gerilmelerini karşıladığı belirtilmektedir.

Yapı kerestesi görünüş özelliklerine göre iyiden kötüye doğru I. sınıf, II. sınıf ve III. sınıf olmak üzere üç kalite sınıfına ayrılmaktadır. Bu üç sınıfa da dahil olmayan keresteler değerlendirme dışı olarak ifade edilmektedir. Yapı keresteleri enine kesit boyutlarına göre tahta, kalas, lata, kadron, kiriş, azman olarak altı türe ayrılmaktadır. Rutubet içeriğinin kereste en kesit alanının 200 cm² olması referans alınarak en fazla %30 veya %35 olması istenmektedir.

Yapı kerestelerinin sınıflandırılmasında sınıf düşürme kriterleri iki alt ana başlıkta toplanmaktadır. İlk ana başlıkta, çürük, kovuk, don çatlağı, böcek deliği vb. özelliklerin hangi sınıflarda bulunup bulunamayacağı belirtilmiştir. İkinci ana başlıkta ise sulama, yıllık halka genişliği, budaklar, lif kıvrıklığı, yüzey çatlakları, eğrilik gibi özellikler ele alınmıştır. Budaklar için, diğerlerinden farklı olarak tekli ve toplu budak şeklinde ayırım yapılmaktadır ve iki ayırımın sınıf düşürme kriteri hesabı farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlara ek olarak budaklar ve diğer kusurların birçoğu, kereste enine kesit boyutlarına göre iki kategoride değerlendirilmiştir ve sınıf düşürme kriterleri farklı hesaplanmaktadır. Daha küçük enine kesite sahip olan yapı kerestelerinin, budak bakımından daha düşük toleranslara sahip olduğu belirtilmiştir. Budak ölçüm kriterinde, kereste uzunluğuna paralel 15 cm uzunluğu kapsayan alan içinde en fazla budak barındıran bölge ele alınmaktadır. Tekli ve toplu budak ayırımı olarak, bu 15 cm'lik

bölgede bir veya birden fazla budak olmasına bakılmaktadır. Eğer birden fazla budak varsa toplu budak olarak değerlendirilmektedir ve tekli budaklarda budağın genişliğe olan oranı hesabı, toplu budaklarda, budağın genişliğinin iki katına oranlanması olarak değiştirilmektedir.

3.2.1.2. DIN 4074 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma

“DIN 4074-1 Ahşabın direnç sınıflandırması – Bölüm 1: İğne Yapraklı Kereste” isimli görsel sınıflandırma standardında, iğne yapraklı yapı kerestelerinin görsel olarak direnç sınıflandırılmasının yapıldığı belirtilmektedir.

Yapı kerestesi görünüş özelliklerine göre iyiden kötüye doğru S13, S10 ve S7 olmak üzere 3 kalite sınıfına ayrılmaktadır ve bu üç sınıfa da dâhil olmayan keresteler “Değerlendirme Dışı” olarak değerlendirilmektedir.

Yapı kerestesi enine kesit boyutlarının oranlarına göre (b/h) dört ayrı kategoriye ayrılmaktadır. Bu durum aynı en kesit boyutlarına sahip iki yapı kerestesinin, dar yüzeyine mi yoksa geniş yüzeyine mi kuvvet geleceğini ve buna göre sınıflandırma yapıldığını belirtmektedir. Rutubet içeriği olarak %35 üstünde, %35-%20 arası ve %20 altında olmak üzere üç ayrı gruba ayrılmaktadır.

Yapı kerestelerinin sınıflandırılmasında sınıf düşürme kriterleri olarak sulama, yıllık halka genişliği, eğrilik, lif kıvrıklığı, yüzey çatlakları, budaklar gibi özellikler ele alınmıştır. Budakların görünen çapları, buldukları yüzeylerin genişliğine oranlanmaktadır. Oranların hesaplanmasında, en kesit oranlarına (b/h) göre üç ayrı türde de farklı formüller kullanılmaktadır ve her bir kerestede elde edilen en büyük oran, sınıf düşürme kriteri olarak ele alınmaktadır. Her türde sınıf düşükçe, oranın toleransı da artmaktadır. Tekli ve toplu budak ayrımı, daha önce bahsedilen TS 1265 standardındaki [40] gibidir.

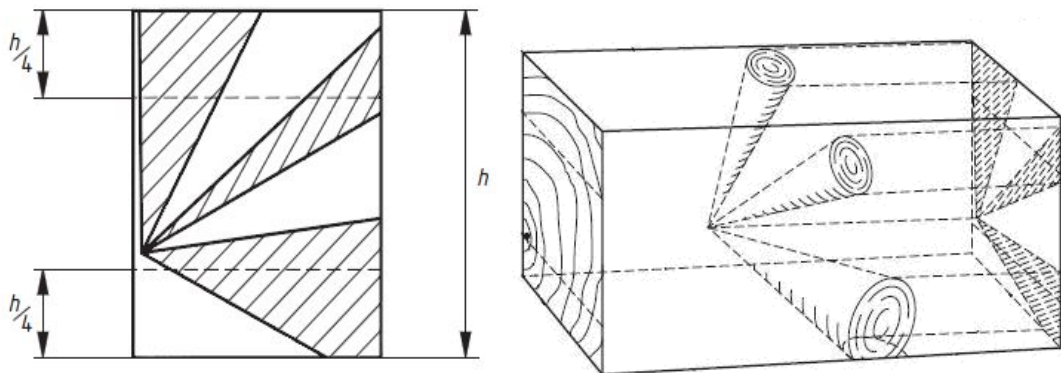
3.2.1.3. BS 4978 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma

“BS 4978 – Yumuşak Ağaçların Görsel Olarak Direnç Sınıflandırması – Tayin” isimli görsel sınıflandırma standardında, yapısal amaçlı kullanılan iğne yapraklı ağaç (yumuşak ağaç) yapı kerestelerinin, görsel olarak direnç sınıflandırılmasının yapıldığı belirtilmektedir.

Yapı kerestesi görünüş özelliklerine göre iyiden kötüye doğru SS (Special Structural-Özel Amaçlı Yapı Kerestesi), GS (General Structural-Genel Amaçlı Yapı Kerestesi) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır ve bu iki sınıfa da dâhil olmayan keresteler sınıflandırma dışı (değerlendirme dışı) olarak değerlendirilmektedir.

Yapı kerestesi boyutsal olarak değerlendirildiğinde en az 2000 mm^2 enine kesit alanına sahip olmalıdır ve en az 20 mm kalınlıkta olmalıdır. Rutubet içeriği bakımından, kerestelerin kuru olarak değerlendirilebilmesi için ortalama %20 ve altında, en fazla %24 olmaları gerektiği ifade edilmektedir. Kerestelerin yaş olarak değerlendirilebilmesi için rutubet içeriklerinin ortalamasının %20'nin üzerinde olması gerektiği ifade edilmektedir.

Yapı kerestelerinin sınıflandırılmasında sınıf düşürme kriterleri olarak sulama, yıllık halka genişliği, eğrilik, lif kıvrıklığı, yüzey çatlakları, budaklar gibi özellikler ele alınmıştır. Yüzeyde görülen budakların kereste içerisinde ne şekilde ilerlediğini tespit etmek için, enine kesitte yıllık halkaların incelenmesi gerektiği ifade edilmektedir. Çünkü budaklar ölçülürken bütün kereste içinde bulunan budakların ele alınarak, Şekil 3.4'te görüldüğü gibi budağın bulunduğu kesitte nasıl bir alan kapladığının incelenmesi istenmektedir. Budakların tamamının bulunduğu kesitte kapladığı alanların izdüşümünün aktarılması ve değerlendirmenin enine kesit alanı üzerinden yapılması gerektiği ifade edilmektedir.



Şekil 3.4: BS 4978 Standardına Göre Budağın Değerlendirilmesi ve Kenar Budak Alanı Bölgeleri

Bu alanın değerlendirmesinde kereste enine kesit alanı iki ayrı bölgeye ayrılmıştır. Bunlardan ilkinde enine kesit alanının alt ve üstünden kereste yüksekliğinin 1/4'i kadar olan kısımları içerisinde kalan alanlar hesaba katılmaktadır (MKAR-Margin Knot Area Ratio-Kenar Budak Alan Oranı). Diğerinde ise tüm en kesit alanı hesaba katılmaktadır (TKAR-Total Knot Area Ratio-Toplam Budak Alanı Oranı). Bu iki oran birlikte değerlendirilerek, sınıf düşürme kriteri olarak incelenmektedir. Örneğin kenar alanının yarısından azı budak tarafından etkilenmesine karşın (MKAR <1/2), toplam alanın yarısından fazlası budak tarafından etkilenmiş ise (TKAR>1/2), bu kereste sınıflandırma dışı (değerlendirme dışı) olarak değerlendirilmektedir.

3.2.1.4. TS EN 14081 Standardına Göre Yapılan Sınıflandırma

“TS EN 14081-1+A1: Ahşap yapılar - Mukavemet sınıflandırması yapılmış dikdörtgen enine kesitli yapısal kereste - Bölüm 1: Genel gerekler” isimli görsel sınıflandırma standardında yapısal amaçlı kullanılan dikdörtgen enine kesitli yapı kerestelerinin, görsel veya makine ile tahribatsız sınıflandırılmasının asgari gereklilikleri belirtilmektedir.

Yapı keresteleri görünüş özelliklerine göre iyiden kötüye doğru TS EN 338'de de belirtilen direnç sınıflarından “C18” in üstünde ve altında olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu iki sınıfa da dahil olmayan sınıflandırma dışı (değerlendirme dışı) keresteler de mevcut bulunmaktadır. Burada belirtilen “C18” direnç sınıfı kriteri, yapı kerestesinin tahribatlı olarak TS EN 338'e göre sınıflandırılması durumunda, direnç sınıfının bu sınıfın üstünde veya altında olacağını ifade etmektedir.

Yapı kerestelerinin boyutsal olarak değerlenmesinde TS EN 336 standardında belirtilen esaslara uyulması gerekliliği belirtilmiştir. Keresteler olarak, %20 denge rutubetine sahip olmalıdır.

Yapı kerestelerinin sınıflandırılmasında sınıf düşürme kriterleri olarak sulama, yıllık halka genişliği, eğrilik, lif kıvrıklığı, yüzey çatlakları, budaklar gibi özellikler ele alınmıştır. Budak ölçüm kriteri olarak, budağın kerestenin kenarında veya yüzeyinde olması durumu dikkate alınmıştır. Kereste boyunca en büyük çapa sahip olan budak, bulunduğu yüzeyin genişliğine oranlanarak incelenmektedir.

3.2.2. Tahribatsız Yöntemler İle Değerlendirme ve Sınıflandırma

Görsel sınıflandırmanın devamında tahribatsız test yöntemleri kullanılarak değerlendirme ve sınıflandırma işlemleri yapılmıştır. Tahribatsız testler genel olarak iki amaçla yapılmıştır. İlk olarak keresteler vibrasyon yöntemi kullanılarak TS EN 338 standardına göre direnç sınıflarına ayrılmışlardır. Diğerinde ise stres dalga iletim hızı ve vida çekme yükü esasına göre direnç analizi yapılması sağlanmıştır. Uygulanan yöntemler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.2.1. Boyuna Vibrasyon Yöntemi

Bu yöntem kerestelerin direnç sınıflarının tahribatsız olarak belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu sınıflandırmanın yapılabilmesi için FAKOPP firmasının Portatif Kereste Sınıflandırıcı (Portable Lumber Grader-PLG) cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz doğrudan doğruya TS EN 338 standardını referans alarak keresteleri direnç sınıflarına ayırmaktadır. Cihaz bir adet mikrofon, bir adet ağırlık ölçer (balans) ve bilgisayar yazılımını içermektedir. Öncelikle sınıflandırılması yapılacak kerestenin yoğunluğunun ölçülebilmesi için boyutları (genişlik, kalınlık ve yükseklik) şerit metreyle ölçülmek suretiyle bilgisayar yazılımına kaydedilmiştir. Keresteler bir ucu balans üzerine diğer ucu destek üzerine yerleştirilmiştir. Balansın ve destek takozunun üzerinde, kerestelerde oluşan vibrasyonun diğer materyallere geçmesinin engellenmesi için Polistren köpük bulunmaktadır. Bu şekilde balans üzerine yerleştirilen kerestenin ağırlığı da otomatik olarak tartılmaktadır ve ayrıca veri girişi yapmaya gerek kalmadan program tarafından algılanmaktadır. Programda tam kereste ağırlığı ve yarım kereste ağırlığı seçeneği bulunmaktadır. Bu çalışmada yapısal boyutlu keresteler kullanıldığından yarım kereste ağırlığı ölçümü kullanılmıştır ve programda bunun kullanıldığı belirtilmiştir. Bilgisayar yazılımında yapı kerestelerinde rutubetle ilgili bir direnç düzeltme algoritması bulunduğundan, sınıflandırılan kerestelerin mevcut rutubetlerinin kullanım yerindeki muhtemel denge rutubetinden farkının programa veri olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Bu sebeple kerestelerin rutubet değerleri dielektrik tipi rutubet ölçerle ölçülmüştür. Kerestelerin rutubetleri %14-16 aralığında bulunmuş olup, kullanım yerinden farklı rutubetler içermediğinden bu kısma değer olarak "0" yazılmıştır. Cihazın bilgisayar yazılımı kereste direnç sınıflarının oluşturulmasında direnç azaltıcı bir faktör olarak budaklarla ilgili bir algoritma da kullanılmaktadır. Bunun için "Yoğunlaştırılmış Budak Çapı Oranı" (Consentrated Knot Diameter Ratio-CKDR) kavramı

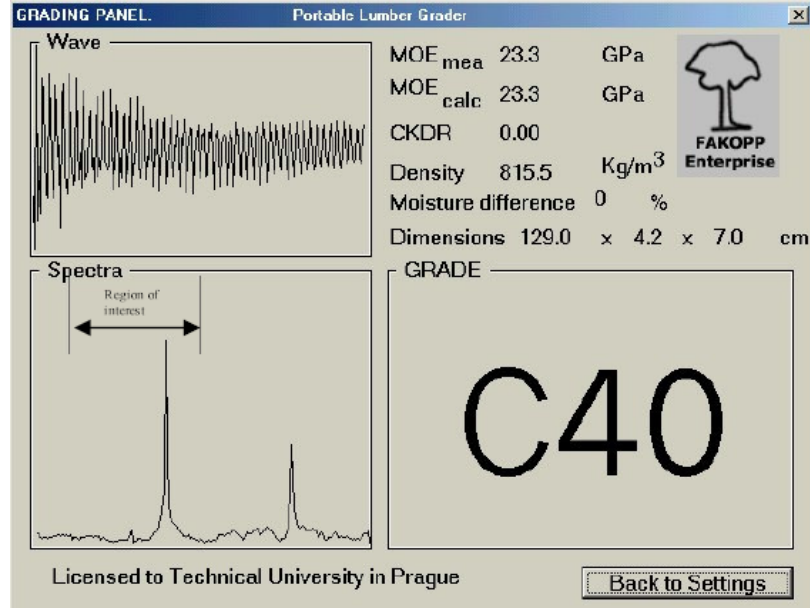
kullanılmaktadır. CKDR değeri bulunurken, kereste uzunluğu boyunca 15'er cm uzunluklar içerisinde çapları toplamı bakımından en fazla budak barındıran bölge dikkate alınmaktadır. Kereste yüzeyinde görülen budakların kenarlarından, kereste uzunluğuna paralel olacak şekilde geçen iki teğet çizgi arasında kalan mesafe, budak çapı olarak değerlendirilmektedir. Elips şeklinde olan budaklarda, büyük çap / küçük çap oranı 2,5'ten fazla ise, iki teğet arasında kalan mesafenin yarısı budak çapı olarak değerlendirilmektedir. Böylece en büyük toplam budak çapı belirlendikten sonra, bulunduğu yüzeyin genişliğine oranlanması ile CKDR değeri elde edilerek, programa veri olarak girilmektedir. Son olarak ölçülen kerestenin yapraklı veya iğne yapraklı olduğu, programda sunulan seçeneklerden seçilmektedir.

Tüm veriler girildikten sonra Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, kerestelerin, hassas mikrofona bulunmadığı taraftaki enine kesitine bir çekiç ile hafifçe vurularak boyuna yönde (liflere paralel) vibrasyon oluşturulmuştur.



Şekil 3.5 Portatif Kereste Sınıflandırıcı (PLG) Cihazı ile Ölçüm

Oluşturulan boyuna vibrasyon dalgası mikrofona vasıtasıyla algılanarak, bilgisayar yazılımına aktarılmakta ve ses dalga spektrumu elde edilmektedir. Yazılım dalga frekansını tespit etmektedir. Bir örnek kereste için elde edilen veriler Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6: Portatif Kereste Sınıflandırıcı (Portable Lumber Grader - PLG) Cihazı ile Elde Edilen Örnek Ölçüm Verileri

Program temelde vibrasyon frekansı üzerinden ses dalga hızı ve dinamik elastikiyet modülü hesaplamaktadır. Ancak TS EN 338 standardına göre direnç sınıfı dönüşümü yapılması için statik elastikiyet modülünün tespit edilmesi gereklidir. Bu sebeple Denklem 3.1 deki formül yardımıyla dinamik elastikiyet modülü üzerinden rutubet farkı ve dönüştürme katsayısı kullanılarak statik elastikiyet modülü hesaplanmaktadır:

$$MOE_{mea} = mk / \ell * b * h . (2.\ell.fr)^2 . 0,92 . (1 + u/50) \quad (3.1)$$

MOE_{mea} : Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü (N/mm^2)

mk: Ağırlık (kg)

ℓ : Boy (cm)

b: Genişlik (cm)

h: Yükseklik (cm)

fr: frekans (Hz)

u: Rutubet İçeriği (%)

Hesaplanan statik elastikiyet modülü, Denklem 3.2 de görüldüğü gibi budakların azaltıcı etkisinin hesaba katıldığı bir başka dönüşüm işlemine daha tabi tutulmaktadır:

$$MOE_{cal} = MOE_{mea} - 6200 \text{ (CKDR)} \quad (3.2)$$

MOE_{cal} : Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü (N/mm^2)

MOE_{mea} : Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü (N/mm^2)

CKDR: Yoğunlaştırılmış Budak Çapı Oranı (Consentrated Knot Diameter Ratio)

Sonuçta ortaya çıkan statik elastikiyet modülü, kerestenin spesifik yoğunluk değeri ile birlikte kullanılarak TS EN 338'de bulunan ve Tablo 3.2'de görülen direnç sınıflarına dönüştürülmektedir. Spesifik yoğunluk değeri, rutubet faktörünün hesaba katılması ile Denklem 3.3'teki formül kullanılarak elde edilmektedir:

$$d_R = mk / \ell * b * h . (1 + u/100) \quad (3.3)$$

d_R : Spesifik Yoğunluk

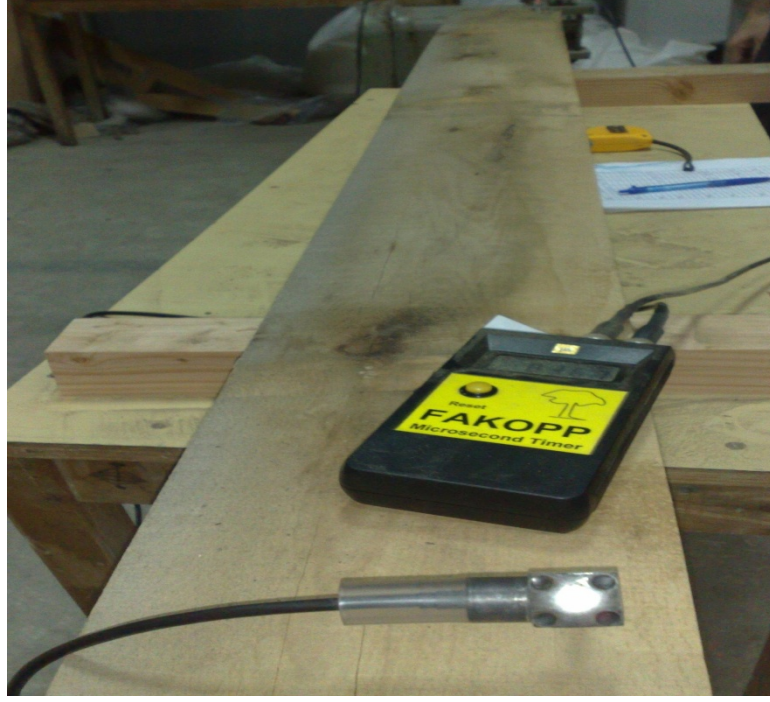
Tablo 3.2 TS EN 338 Direnç Sınıfı Dönüşüm Tablosu

Sınıflar	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
MOE_s (GPa)	7	8	9	10	11	12	12	13	14
d_R (kg/m^3)	290	310	320	340	350	370	380	400	420

3.2.2.2. Stres Dalga Yöntemi

Bu değerlendirme yöntemi stres dalga (S.D.) iletim hızı yardımıyla dinamik elastikiyet modülünün tahribatsız olarak hesaplanması ve boyuna vibrasyon tahribatsız değerlendirme yöntemiyle elde edilen değerler ve tahribatlı olarak elde edilen değerler ile karşılaştırılması için kullanılmıştır. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için, FAKOPP firmasının Microsecond Timer cihazı kullanılmıştır. Cihaz ses dalgasının malzeme içerisinde yayılım süresini belirlemek için başlangıç ve bitiş olmak üzere iki adet piezoelektrik elektrot ve bir adet zaman ölçüm cihazından oluşmaktadır. Çivi şeklinde sivri uçları bulunan iki elektrot, kerestelerin yüzeylerine uçlardan beşer cm uzaklıkta, yüzey ile 45° lik bir açı yapacak ve birbirilerine bakacak şekilde, Şekil 3.7'de görüldüğü gibi çakılmıştır. Başlangıç elektrotuna çekiç ile hafifçe vurularak oluşturulan

stres dalgasının bitiş elektrotuna ulaşması için geçen süre, zaman ölçerden mikro saniye olarak okunmuştur. Ölçümlerin sağlıklı olarak yapılabilmesi için üç ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.7: Microsecond Cihazı ile Ölçüm

Elektrotlar arasındaki ölçülen mesafe, zaman ölçerden elde edilen süre üzerinden Denklem 2.5'te verilen eşitlik ile stres dalga geçiş hızı hesaplanmış ve hesaplanan hız değeri Denklem 2.4'te verilen formül ile dinamik elastikiyet modülünün (S.D. MOE_d) hesaplanmasında kullanılmıştır.

Hesaplanan dinamik elastikiyet modülü değerleri boyuna vibrasyon yönteminde kullanılan 0,92 katsayısı ile çarpılmak suretiyle statik elastikiyet modülü değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri ve yoğunluk değerleri kullanılarak TS EN 338 standardına göre kerestelerin direnç sınıfları elde edilmiştir. Böylece stres dalga tahribatsız değerlendirme yönteminden elde edilen sonuçların diğer yöntemlerle karşılaştırılması sağlanmıştır.

3.2.2.3. Vida Çekme Yöntemi

Bu değerlendirme yöntemi yapı kerestelerindeki statik dirençlerle dinamik elastikiyet modülü ve vida çekme yükü arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

Vida çekme yöntemi özellikle ahşap yapı elemanlarının yerinde değerlendirilmesinde tercih edilen bir yöntemdir (Divos, 2005).

Bu değerlendirme yöntemi için, FAKOPP firmasının vida çekme yükü ölçüm cihazı kullanılmıştır. 4 mm çapındaki ahşap vidası, kerestenin yüzeyine 18 mm derinliğe kadar vidalanmıştır. Vida cihazın kavrama başlığına tutturulduktan sonra, üst kısmında bulunan çevirme kolu vasıtası ile yarım turu 3-4 saniyede olacak şekilde duraksama olmadan döndürülerek çekilmiştir. Vidanın çıkarılması için kullanılan en yüksek kuvvet değeri, cihaz üzerinde bulunan yük hücresi (loadcell) tarafından algılanarak, cihaza entegre haldeki Rinstrum N320 kuvvet ölçüm cihazından Newton cinsinden okunmuştur. Deney düzeneği Şekil 3.8’de görülmektedir. Keresteler 2 m uzunluğunda olduğundan, uçlardan ve ortadan olmak üzere toplamda üç ölçüm alınmıştır ve ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 3.8: Vida Çekme Cihazı ile Ölçüm

3.2.3. Tahribath Değerlendirme Yöntemleri

Tahribatsız değerlendirme yöntemleri ile elde edilen direnç değerleri ve bunlara göre tespit edilen direnç sınıflarının güvenilirliğinin ortaya konulabilmesi için geleneksel

tahribatlı test yöntemleri ile elde edilen gerçek direnç değerleri ile kıyaslanarak aralarındaki korelasyonun ve regresyon denklemlerinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla kerestelerde yapısal boyutta ve küçük boyuttaki kusursuz örneklerde olmak üzere iki farklı şekilde tahribatlı değerlendirme testleri uygulanmıştır. Bu testlerden elde edilen sonuçlar aynı zamanda görsel sınıflandırma yöntemlerinin başarısının kıyaslanması amacıyla da kullanılmıştır.

3.2.3.1. Yapısal Boyuttaki Kerestelerde Yapılan Testler

Ağaç malzemenin yapılarda kullanıldığı gibi büyük boyutlarda test edilmesi, budaklar, lif kıvrıklığı vb. kusurların mekanik özelliklerine etkisinin ortaya konulması bakımından son derece önemli testlerdir. Bu şekilde tespit edilen direnç değerleri, malzemenin kullanım yerinde sergileyeceği performansı daha iyi yansıtmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada, yapısal boyuttaki kerestelerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri test edilmiştir. Denemelerde TS 5497 EN 408 standardı esas alınmıştır. Bu standartta verilen “Global Eğilmede Esneklik Modülünün Tayini” başlığı altındaki yöntem uygulanarak, dört noktalı eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü tespit edilmiştir. Mesnetler arasındaki mesafe, numunenin kesit derinliğinin 18 kat olacak şekilde açılmıştır. Mesnetler üzerine yerleştirilen kerestenin üzerine, aralarında kereste kesit derinliğinin altı katı mesafe olan iki yükleme başlığı tarafından kuvvet uygulanmıştır. Keresteler mesnetler üzerine yerleştirilirken budakların basınç gerilmeleri tarafında (üstte) kalmasına özen gösterilmiştir. Yükleme hızı, yükleme başlıklarının hareket hızı en fazla 0,003 h mm/sn olacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılana kadar yük uygulanan numuneden elde edilen değerler aracılığı ile TS 5497 EN 408 standardında belirtilen, Denklem 3.4’te görülen eşitlik ile elastikiyet modülü ve Denklem 3.5’te görülen eşitlik ile eğilme direnci değerleri elde edilmiştir.

$$Y.B.MOE_s = \frac{L^3 (P_2 - P_1)}{bh^3 (f_2 - f_1)} \left[\left(\frac{3a}{4L} \right) - \left(\frac{a}{L} \right)^3 \right] \quad (3.4)$$

Y.B. MOE_s : Yapısal boyuttaki statik eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

a : Bir yükleme noktası ile ona en yakın mesnet arasındaki mesafe (mm)

b: Genişlik (mm) / h: Yükseklik (mm) / P: Yük (N)

L : Mesnet Açıklığı (mm) / f: Deformasyon Miktarı (mm)

$$EDR = \frac{a P_{max}}{bh^3/12} \quad (3.5)$$

EDR : Eğilme direnci (N/mm²) / P_{max} : Kırılma anındaki yük miktarı (N)

a : Bir yükleme noktası ile ona en yakın mesnet arasındaki mesafe (mm)

b : Genişlik (mm) / h: Yükseklik (mm)

Deneyle "Lloyd Instruments" firmasının "LS100 Plus" model üniversal test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9 Yapısal Boyuttaki Kerestelerde Tahribatlı Deney Düzeneği

Elastikiyet modülü ve eğilme direnci aynı örnekler üzerinden elde edilmiş ve deneyde numunelerinin genişliklerine göre, daha önce de belirtilen 0,003 h mm/sn yükleme hızında olacak şekilde, statik yükleme uygulanmıştır. Testler sonucu elde edilen elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri, yoğunluk değerleri ile birlikte kullanılarak TS EN 338 standardında verilen ve Tablo 3.1'de de görülen tablo yardımıyla direnç sınıflarına dönüştürülmüştür. Ancak TS EN 338 de belirtilen bu tabloyu kullanmak için, TS EN 384 te belirtilen bazı dönüşümlerin kullanılmasının gerektiği TS EN 338 standardında belirtilmiştir. Standartta elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri için gerekli dönüşümler şu şekildedir:

- Rutubet dönüşümü için, %12 rutubet derecesine göre düzeltilme yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan keresteler %12 den farklı rutubetlerde olduğu için bu dönüşüm kullanılmıştır. Bunun için standartta belirtilen “rutubetteki her %1’lik artış için, elastikiyet modülü değerinde %1 azalma” dönüşümü uygulanmıştır.
- Yoğunluk dönüşümü, keresteler %12 rutubet derecesinden fazla rutubet içerdiğinde uygulanmaktadır. Bunun için “%12’den fazla olan her bir %1’lik artış için, yoğunluk değerinde %1 azalma” dönüşümü uygulanmıştır.

Bu uygulanan dönüşümler, özellikle TS EN 338 standardı referans alınarak yapılan direnç sınıflandırması karşılaştırmalarında kullanılmıştır.

Elde edilen statik eğilme direnci ve statik eğilmede elastikiyet modülü değerleri, tahribatsız test yöntemleriyle elde edilen değerlerle karşılaştırması yapılmıştır. Aynı değerlerin karşılaştırmasının yapılması için, tahribatsız yöntemlerden elde edilen dinamik elastikiyet modülleri, Denklem 3.1 de görülen “0,92” katsayısı ile statik elastikiyet modüllerine dönüştürülmüştür.

3.2.3.2. Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Testler

Küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde yapılan testler, büyük boyutlu testler ve tahribatsız testlerden elde edilen değerler ile karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Özellikle bu örnekler kusur barındırmadığından, yapısal boyutta kusur içeren malzeme ile karşılaştırılarak, genel olarak kusurların eğilme direnci ve elastikiyet modülüne etkisinin incelenmesinde kullanılmıştır.

Yapısal boyutta tahribatlı şekilde mekanik testleri yapılan kerestelerden, kırılma bölgesine yakın yerlerden kesilerek Şekil 3.10’da görülen küçük boyutlu ve kusursuz numuneler elde edilmiş ve bunlar üzerinden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, basınç direnci, hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.10: Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numuneler

Küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde uygulanan testler aşağıdaki standartlara bağlı kalınarak yapılmıştır:

- Eğilme direnci deneyleri, “TS 2474: Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini”,
- Elastikiyet modülü deneyleri, “TS 2478: Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini”,
- Basınç direnci deneyleri, “TS 2595: Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini”,
- Hava kuru ve tam kuru yoğunluk “TS 2472: Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini”.

Küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde yapılan deneyler, yapısal boyuttaki kerestelerin deneylerinde kullanılan “Lloyd Instruments” firmasının “LS 100 plus” modeli üniversal test cihazında yapılmıştır.

3.2.4. Veri Analizi ve İstatistik Değerlendirmeler

Keresteler üzerinde yapılan tahribatsız ve tahribatlı değerlendirmelerin ve sınıflandırmaların, kendi aralarında ve birbirleriyle olan ilişkilerin irdelenmesi için, istatistiksel karşılaştırma ve değerlendirmeler yapılmıştır.

İstatistiksel karşılaştırma ve değerlendirmeler için “Microsoft Office Excel” ve “SPSS” programları kullanılmıştır. Öncelikle her bir deney grubu için örneklerin normal dağılım gösterip göstermediği denetlenmiştir. Bu çalışmada normallik denetimi yöntemlerinden Kolmogorov-Simirnov testi uygulanmıştır. Normal dağılıma sahip olmayan gruplar, bazı dönüşüm yöntemleri kullanılarak normal dağılıma dönüştürülmektedir. Ancak bu çalışmada bütün ölçüm sonuçları normal dağılıma sahip olduğu için herhangi bir dönüşüm işlemi yapılmamıştır.

Yapılan bütün test ve değerlendirme sonuçları münferit keresteler için ve genel ortalama değerler olarak tablolar halinde sunulmuştur. Farklı test ve değerlendirme yöntemleri ile elde edilen verilerin istatistiki karşılaştırılmaları için genel olarak aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır:

- İki toplumun farklılığının anlamlı olup olmadığı bakımından karşılaştırılması için “t-testi”,
- İki toplumun nitelikleri arasında ilişkilerin araştırılmasında korelasyonların incelenmesi için basit doğrusal regresyon analizi,
- İki den fazla toplumun karşılaştırılması için varyans analizi (ANOVA) ve Duncan testi,
- İki den fazla toplumların arasındaki ilişkilerin incelenmesi için çoklu regresyon analizi.

Bu çalışmada heterojen bir malzeme olan ağaç malzeme incelendiği için, güven düzeyi %95 olarak belirlenmiştir. Bunun sonucunda t-testi ve varyans analizinde kullanılan anlamlılık değerleri de 0,05 olarak belirlenmiştir. İlgili istatistik yöntemin anlamlılık değeri eğer 0,05’in altında ise, aranılan sonucun % 95 güven düzeyinde anlamlı olduğu anlaşılmaktadır.

Öncelikle 4 farklı standarda göre yapılan görsel sınıflandırma sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak, aynı kerestelerin farklı standartlara göre kalite sınıflarına nasıl dağıldıkları ve standartlar arasındaki farklılıklar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Daha sonra değerlendirme yöntemleri arasındaki karşılaştırmalara geçilmiştir. Aşağıda yapılan karşılaştırmalar ve kullanılan yöntemler verilmiştir.

3.2.4.1. Görsel Sınıflandırma ve Tahribatsız Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Farklı standartlara göre yapılan görsel sınıflandırma sonuçları, tahribatsız değerlendirme yöntemlerinden elde edilen mekanik değerler ile karşılaştırılmıştır. Varyans analizi (ANOVA) kullanılarak, görsel sınıflardaki kalite sınıfı düştükçe, boyuna vibrasyon ve stres dalga yöntemleriyle elde edilen mekanik değerlerin anlamlı bir şekilde düşüp düşmediği incelenmiştir.

Aynı zamanda TS 1265 dışındaki diğer görsel sınıflandırma standartlarında, kalite sınıflarına karşılık TS EN 338 standardında karşılık gelen direnç sınıfları, boyuna vibrasyon ve stres dalga tahribatsız test yöntemlerinden elde edilen direnç sınıfları ile karşılaştırılmıştır. Bunun için karşılaştırma yapılan denemelerden elde edilen direnç sınıflarının, kaç kerestede uyumlu olduğu incelenmiş ve uyum oranları tespit edilmiştir. TS 1265 standardında ise TS EN 338'e göre direnç sınıfı karşılıkları belirtilmemekle birlikte, burada da tahribatsız test yöntemleri ile elde edilen direnç sınıfları, TS 1265 standardının kalite sınıfları ile ilişkiye getirilmeye çalışılmıştır. Bunun için örneğin TS 1265'in en yüksek kalite sınıfında, TS EN 338'in yine yüksek direnç sınıfında değerlendirme yapılıp yapılmadığı incelenmiştir. Bu incelemenin yapılabilmesi için, hangi kalite sınıfında, hangi direnç sınıflarının hangi oranda bulunduğu belirlenmiş ve ona göre yorum yapılmıştır.

3.2.4.2. Görsel Sınıflandırma ve Yapısal Boyutta Yapılan Tahribatlı Yöntemlerin Karşılaştırılması

4 farklı standarda göre yapılan görsel sınıflandırma sonuçları, yapısal boyutta yapılan tahribatlı testlerden elde edilen mekanik değerler ve sınıflandırmalar ile karşılaştırılmıştır. Varyans analizi (ANOVA) kullanılarak, görsel sınıflardaki kalite sınıfı düştükçe, yapısal boyutta yapılan tahribatlı testlerden elde edilen mekanik değerlerin anlamlı bir şekilde düşüp düşmediği incelenmiştir. Bununla birlikte DIN

4074, BS 4978 ve TS EN 14081 standartlarında, kalite sınıflarının TS EN 338'de bulunan direnç sınıfları ile uyumlu olduğu belirtildiğinden (Holzforschung, 2012), tahribatlı testlerden elde edilen direnç sınıfları ile de karşılaştırmaları yapılmıştır. Uyumluluklar, adet ve oransal olarak incelenmiştir.

Bu 3 standartta kalite sınıflarının, TS EN 338'e göre direnç sınıfları karşılıkları bulunmasına karşın, TS 1265'in kalite sınıflarının, bu standarda göre direnç sınıfları karşılıkları bulunmamaktadır. Ancak bu standardın TS 647'de belirtilen minimum gereksinimleri karşılayacağını belirtmektedir. Bu sebeple TS 1265 standardı incelenirken, TS 647 standardına göre uyumluluğuna bakılmıştır.

Burada belirtilmesi gereken bir diğer husus ise, TS EN 338 standardında direnç sınıflandırması yapılırken elastikiyet modülü esas alınmaktayken, TS 647 standardında eğilme direnci esas alınmaktadır. Bir başka ifade ile TS 1265 standardında belirtilen kalite sınıflarının, elastikiyet modülüne göre karşılıkları bulunmamaktadır. Bu sebeple eğer, TS 1265 kalite sınıflarının, elastikiyet modülü değerlerini esas alan TS EN 338'e göre bir karşılıkları olsaydı ne oranda uyum sağlayacağı araştırılmıştır.

Bunun için TS 1265'in her bir kalite sınıfında, kerestelerin hangi direnç sınıfında ne oranda bulunduğu gösterildiği histogram grafikleri kullanılmıştır. Böylelikle, eğer TS 1265 standardında, TS EN 338'e göre direnç sınıfları belirtilmiş olması istenseydi, hangi kalite sınıfının hangi direnç sınıfına karşılık geleceği belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu durumun toplu bir şekilde görülebilmesi için, karşılaştırmalı grafik de eklenmiştir.

3.2.4.3. Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Boyuna vibrasyon ve stres dalga tahribatsız değerlendirme yöntemlerinden elde edilen direnç değerleri ve direnç sınıfları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla her iki yöntemde elde edilen hız değerleri ve dinamik elastikiyet modülü değerleri karşılaştırılmıştır.

Ayrıca her iki yöntemle elde edilen direnç sınıfları da karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayla her iki yöntemin, aynı kereste grubunu direnç olarak nasıl sınıflandırdığı ve aralarındaki uyum incelenmiştir. İki yöntem arasındaki uyum boyuna

vibrasyon yönteminden elde edilen direnç sınıfları referans alınarak, oransal farklar olarak ifade edilmiştir.

3.2.4.4. Tahribatsız Değerlendirme Testleri ile Yapısal Boyutta Yapılan Tahribatlı Testlerin Karşılaştırılması

Boyuna vibrasyon ve stres dalga tahribatsız değerlendirme yöntemlerinden elde edilen mekanik değerlerin, yapısal boyutta yapılan tahribatlı testler ile elde edilen mekanik değerler ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Böylece tahribatsız değerlendirme sonuçlarının, gerçek mekanik değerler ile ne kadar uyumlu oldukları irdelenmiştir. Karşılaştırmalar için basit doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

Mekanik değerlerin karşılaştırılmasının yanında, direnç sınıflarının durumu da incelenmiştir. Öncelikle boyuna vibrasyon ve stres dalga yönteminden elde edilen direnç sınıflarının, yapısal boyutta yapılan tahribatlı testler ile elde edilen mekanik değerler ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Böylelikle direnç sınıflarının gerçek mekanik değerlerle olan uyumu incelenmiştir. Bu inceleme için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Yani tahribatsız olarak elde edilen direnç sınıflarının düşmesi veya artması, yapısal boyuttaki numunelerden tahribatlı olarak elde edilen direnç değerlerine yansıyor yansımadağı incelenmiştir. Bunun yanında tahribatsız ve tahribatlı denemelerle belirlenen direnç sınıflarının oransal olarak karşılaştırmaları da yapılmıştır.

3.2.4.5. Vida Çekme Yöntemi ile Yapısal Boyutta Yapılan Tahribatlı Yöntemlerin Karşılaştırılması

Vida çekme yönteminden elde edilen mekanik değerlerin, yapısal boyutta yapılan tahribatlı testler ile elde edilen mekanik değerler ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Böylece kerestelerde vida çekme yükü ile statik eğilme direnci ve elastikiyet modülü arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığı incelenerek, vida çekme yöntemi ile yerinde değerlendirme yapılarak yapısal elemanlarda direnç analizi yapılabilme olanağı araştırılmıştır. Karşılaştırmalar için basit doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

3.2.4.6. Tahribatsız Değerlendirme Testleri ile Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Testlerin Karşılaştırılması

Boyuna vibrasyon ve stres dalga tahribatsız yöntemlerinden elde edilen mekanik değerlerin, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde yapılan tahribatlı testler ile elde

edilen mekanik değerler ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırmalar için basit doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

3.2.4.7. Yapısal Boyuttaki ve Küçük Boyutlu - Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yapısal boyutta ve küçük boyutlu - kusursuz numunelerde yapılan testlerden elde edilen farklı boyutlarda yapılan test sonuçları arasında anlamlı farklılık bulunup bulunmadığının istatistiki olarak karşılaştırmaları t-testi ile yapılmıştır. Ayrıca ölçümler arasındaki ilişkinin incelenmesi için, bu ölçümlerin niteliklerinin karşılaştırılması amacıyla basit doğrusal regresyon analizi yapılmıştır.

Ayrıca yapısal boyutta elde edilen mekanik değerler, küçük boyutlu – kusursuz numunelerden elde edilen mekanik değerlere oranlanmıştır. Böylelikle kusurların (ve malzeme boyutunun) bu dirençleri düşürmede etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Son olarak elde edilen en düşük ve en yüksek değerleri incelenerek, ilgili mekanik ölçüm ile emniyet gerilmeleri hesabının yapıp yapılamayacağı da irdelenmiştir.

3.2.4.8. Statik Direnç Değerleri ile Akustik Dalga Değerleri ve Vida Çekme Yöntemi Arasındaki İlişkiler

Yapılan ikili karşılaştırmalar dışında, statik direnç değerleri ile tahribatsız olarak tespit edilen ses dalga hızı ve vida çekme yöntemi arasındaki kombine ilişkiler de araştırılmıştır. Bu amaçla çoklu regresyon analizi istatistik yöntemi kullanılmıştır. Yapısal boyutta tahribatlı olarak elde edilen statik elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Bağımsız değişken olarak ise vida çekme yükü ve hem boyuna vibrasyon hem de stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri kullanılmıştır.

4. BULGULAR

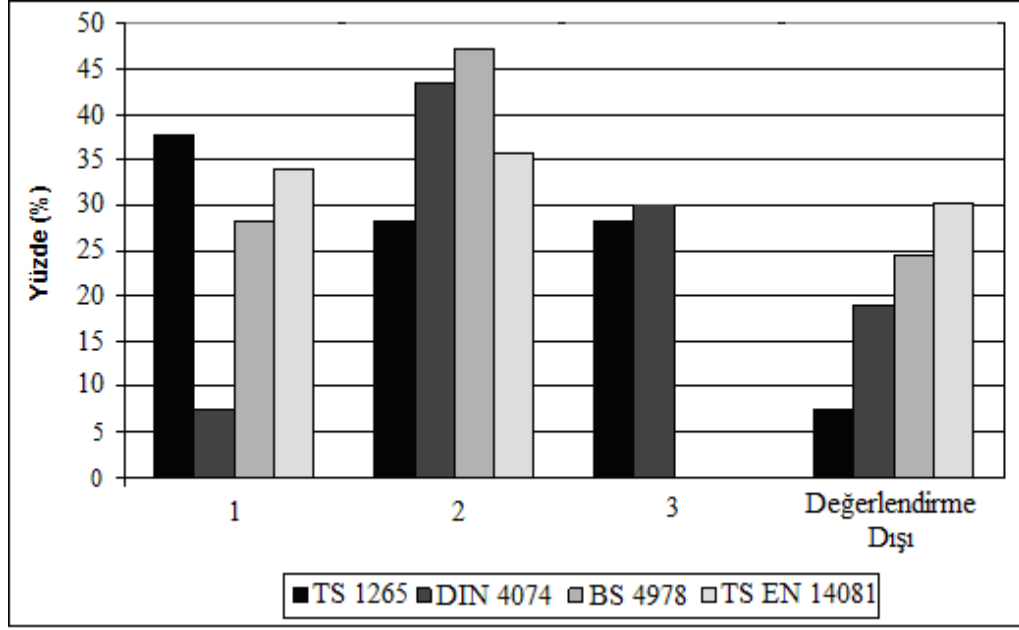
4.1. GÖRSEL SINIFLANDIRMALARA AİT BULGULAR

Dört farklı görsel sınıflandırma standardına göre yapılan sınıflandırmalar sonucunda elde edilen sonuçlar hem miktar hem de oransal olarak aşağıda bulunan Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1 : Görsel Sınıflandırma Standartlarına Adet ve % Olarak Katılım

		TS 1265	DIN 4074	BS 4978	TS EN 14081
1. (En İyi) Kalite Sınıfı	Karşılığı	<i>1. Sınıf</i>	<i>S13</i>	<i>SS</i>	<i>C18 üstü</i>
	Adet	20	4	15	18
	%	37,74	7,55	28,3	33,96
2. Kalite Sınıfı	Karşılığı	<i>2. Sınıf</i>	<i>S10</i>	<i>GS</i>	<i>C18 altı</i>
	Adet	15	23	25	19
	%	28,3	43,4	47,17	35,85
3. Kalite Sınıfı	Karşılığı	<i>3. Sınıf</i>	<i>S7</i>	---	---
	Adet	14	16	---	---
	%	26,4	30,19	---	---
Değerlendirme Dışı	Karşılığı	<i>Değerlendirme Dışı</i>	<i>Değerlendirme Dışı</i>	<i>Değerlendirme Dışı</i>	<i>Değerlendirme Dışı</i>
	Adet	4	10	13	16
	%	7,55	18,87	24,53	30,19

Sınıflandırmada kullanılan dört farklı standart arasında sınıflandırmalar bakımından farklılıklar vardır. Örneğin Tablo 4.1’de görüldüğü gibi görsel sınıflandırma standartları, farklı sayıda kalite sınıflarına sahiptir. TS 1265 ve DIN 4074 standartları keresteleri üç kalite sınıfında ve değerlendirme dışı olarak değerlendirirken, BS 4978 ve TS EN 14081 standartları keresteleri iki kalite sınıfında ve değerlendirme dışı olarak değerlendirmektedir. Yine Tablo 4.1’de görüldüğü gibi sınıflandırmada kullanılan görsel sınıflandırma standartlarına göre kerestelerin kalite sınıflarına dağılımları arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Örneğin en iyi kalite sınıfına TS 1265’e göre kerestelerin %37,74’ü, DIN 4074’e göre %7,55’i, BS 4978’e göre %28,3’ü, TS EN 14081’e göre ise %33,96’sı girmektedir. Değerlendirme dışı kalite sınıfına TS 1265’e göre kerestelerin %7,55’i, DIN 4074’e göre %18,87’si BS 4978’e göre %24,53’ü, TS EN 14081’e göre ise %30,19’u girmektedir. Standartlar arasındaki bu oransal farklılıklar Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1: Kerestelerin 4 Farklı Görsel Sınıflandırma Standardına Göre %'lik Dağılımları

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, 3. kalite sınıfına sahip olmayan standartların, keresteleri daha çok 2. kalite sınıfı ve ıskarta sınıfında dağılmışlardır.

4.2. TAHRİBATSIZ DEĞERLENDİRMELERE AİT BULGULAR

4.2.1. Boyuna Vibrasyon Yöntemiyle Yapılan Ölçümlere Ait Bulgular

Boyuna vibrasyon yöntemiyle yapılan değerlendirme sonuçları ve bu değerlendirme sonuçlarına göre tespit edilen kereste direnç sınıfları Tablo 4.2'de görülmektedir.

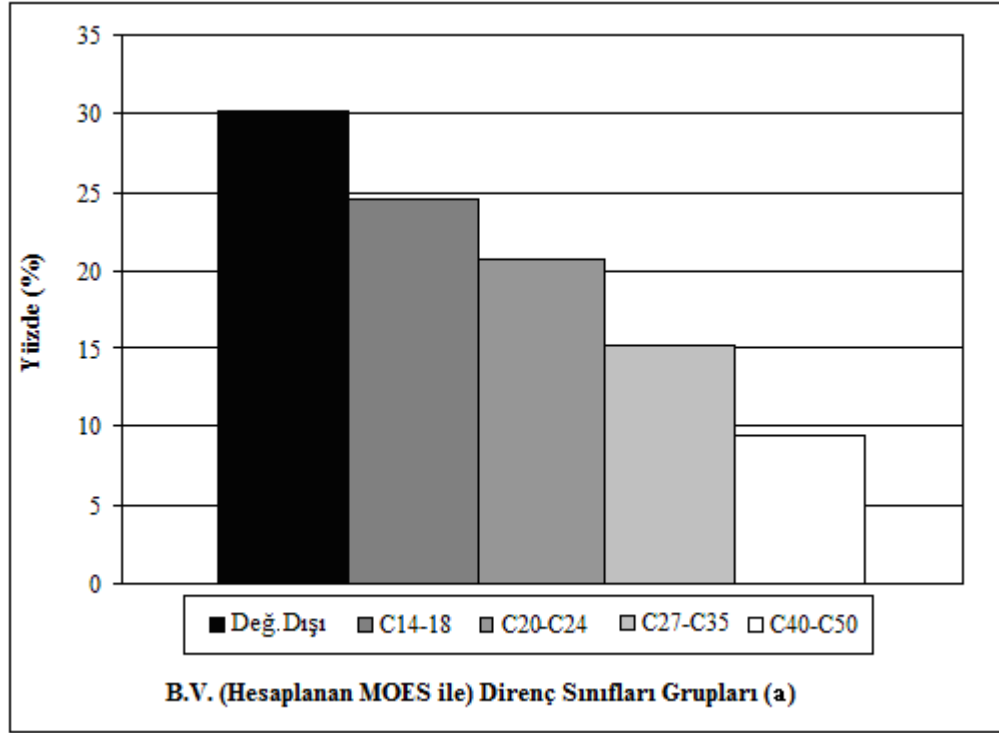
Tablo 4.2 : Boyuna Vibrasyon Yöntemiyle Yapılan Ölçümler

Kereste No	Y.B. d (kg/m ³)	CKDR	B.V. Hız (m/sn)	B.V. MOE _d (N/mm ²)	B.V. MOE _s Ölçülen (N/mm ²)	B.V. MOE _s Hesaplanan (N/mm ²)	B.V. Direnç Sınıfı (+CKDR)	B.V. Direnç Sınıfı (+CKDR)
1	596,7	0,17-K	5054	14891	13700	12700	C30	C35
2	611,7	0,2-G	5474	17826	16400	15100	C45	C50
3	591,7	0,1-G	5408	16848	15500	14900	C40	C50
4	636,7	0,2-G	5354	17717	16300	15100	C45	C50
5	548,3	0,17-K	5328	15217	14000	12900	C30	C40
6	588,3	0,5-K	5043	14674	13500	10400	C22	C35
7	600	0,5-K	4809	13587	12500	9400	C18	C24
8	566,7	0,25-K	4154	9783	9000	7450	C14	C18
9	515	0,67-K	4834	11848	10900	6800	Değ. Dışı	C22
10	560	0,67-K	4902	13261	12200	8000	C16	C27
11	596,7	0,33-K	4699	12935	11900	9900	C20	C24
12	630	0,25-G	4866	14565	13400	11900	C27	C35
13	545	0,7-K	3256	6087	5600	1200	Değ. Dışı	Değ. Dışı
14	488,3	0,45-G	4412	9565	8800	6000	Değ. Dışı	C16
15	676,7	0,2-G	4111	11304	10400	9200	C18	C22
16	713,3	0,2-G	5215	18804	17300	16000	C50	C50
17	565	0,1-G	5094	14348	13200	12600	C30	C35
18	530	0,2-G	5102	13587	12500	11200	C24	C27
19	701,7	0,33-K	4919	16522	15200	13200	C35	C50
20	643,3	0,5-K	5358	17935	16500	13400	C35	C50
21	516,7	0,5-G	4019	8478	7800	4700	Değ. Dışı	C14
22	570	0,55-G	5121	14674	13500	10000	C22	C35
23	465	0,4-G	4641	10000	9200	6700	Değ. Dışı	C18
24	546,7	0,58-G	4767	12283	11300	7700	C14	C24
25	640	0,3-G	4819	14565	13400	11500	C27	C35
26	496,7	0,5-G	4704	10978	10100	7000	Değ. Dışı	C22
27	520	0,46-K	4475	10435	9600	6700	Değ. Dışı	C18
28	526,3	0,34-G	5032	13152	12100	10000	C20	C27
29	571,4	0,19-G	4749	12717	11700	10500	C22	C24
30	518,3	0,35-G	4601	10870	10000	7900	C14	C22
31	513,3	0,35-G	4198	9130	8400	6200	Değ. Dışı	C16
32	577,1	0,5-G	5035	14348	13200	10100	C22	C35
33	682,9	0,19-G	5317	18696	17200	16000	C50	C50
34	588,3	0,3-G	4553	12065	11100	9200	C18	C24
35	600	1-K	5017	14783	13600	7400	C14	C35
36	553,3	0,75-G	4785	12500	11500	6800	Değ. Dışı	C24
37	608,2	0,58-G	5030	15000	13800	10200	C22	C35
38	560	0,5-G	4547	11522	10600	7500	C14	C22
39	600	0,2-G	5064	15000	13800	12600	C30	C35
40	553,3	0,7-G	4719	12174	11200	6900	Değ. Dışı	C24
41	586,7	1-K	4636	12391	11400	5200	Değ. Dışı	C24
42	588,3	0,65-G	5097	14891	13700	9700	C20	C35
43	495,8	0,83-G	4612	10543	9700	4500	Değ. Dışı	C18
44	510,4	0,88-G	4150	8913	8200	2700	Değ. Dışı	C16
45	535,4	0,58-K	4934	12826	11800	8200	C16	C24
46	502,1	0,75-G	4914	11957	11000	6400	Değ. Dışı	C24

Tablo 4.2 nin Devamı

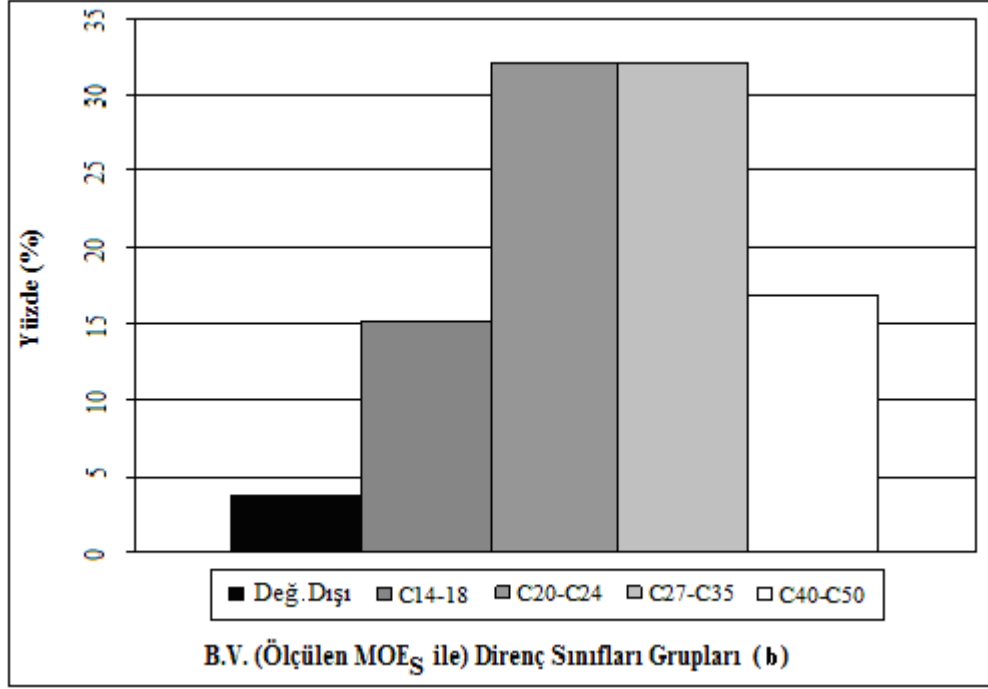
Kereste No	Y.B. d (kg/m ³)	CKDR	B.V. Hız (m/sn)	B.V. MOE _d (N/mm ²)	B.V. MOE _s Ölçülen (N/mm ²)	B.V. MOE _s Hesaplanan (N/mm ²)	B.V. Direnc Sınıfı (+CKDR)	B.V. Direnc Sınıfı (+CKDR)
47	551,7	0,75-K	4773	12391	11400	6800	Değ. Dışı	C24
48	503,8	0,63-G	5037	12609	11600	7700	C14	C24
49	540	0,67-K	5052	13587	12500	8300	C16	C27
50	519,7	0,55-G	3669	7174	6600	3200	Değ. Dışı	Değ. Dışı
51	549,9	0,5-K	4893	12935	11900	8800	C16	C24
52	598,6	0,46-G	5130	15326	14100	11300	C24	C40
53	541	0,57-G	5262	14674	13500	9900	C20	C35
Aritmetik Ortalama	568,6	---	4806,4	13111	12062,26	9030,19	---	---
Standart Sapma	55,07	---	437,00	2795,47	2571,83	3576,074	---	---
Varyasyon Katsayısı (%)	9,69	---	9,1	21,3	21,3	39,6	---	---

Tablo 4.2’de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyondan elde edilen ses dalga hızı değerleri genel olarak 4000 m/sn ile 5500 m/sn arasında değişmekte olup, ortalama olarak 4806 m/sn ’dir. Boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı değerlerinin, As ve Dünder’in (2010) çalışmasında belirtilen Karaçam için akustik dalga geçiş hızı (3914 – 5525 m/sn) değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ortalama dinamik elastikiyet modülü 14251 N/mm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer de yine literatürde Karaçam için tespit edilen dinamik elastikiyet modülü değeri ile uyumludur (Bozkurt ve Göker, 1996). En geniş varyasyon ise budakların etkisinin hesaba katılmasıyla hesaplanan statik elastikiyet modülünde gerçekleşmiştir. Boyuna vibrasyon ile elde edilen direnc sınıflarının oransal dağılımı Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Direnç Sınıfları Katılım Oranları (a: CKDR Değeri Hesaba Katılarak)

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, kerestelerin %9,43’ü en yüksek direnç sınıfı grubunda yer alırken, %24,53’ü en düşük direnç sınıfı grubunda bulunmuştur. Kerestelerin %30,19 gibi büyük bir oranı ise boyuna vibrasyon yöntemi ile yapılan sınıflandırmada yapı kerestesi olarak kullanılmaya uygun bulunmamıştır.



Şekil 4.3: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü ile (b: CKDR Değeri Hesaba Katılmadan) Direnç Sınıfları Katılım Oranları

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, kerestelerin yaklaşık %16'sı en yüksek direnç sınıfı grubunda yer alırken, yaklaşık %15'i en düşük direnç sınıfı grubunda bulunmuştur. Kerestelerin yaklaşık %4'ü gibi bir oranı ise boyuna vibrasyon yönteminin CKDR değeri hesaba katılmadan yapılan bu sınıflandırmasında yapı kerestesi olarak kullanılmaya uygun bulunmamıştır.

4.2.2. Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Ölçümlere Ait Bulgular

Karaçam kerestelerinde stres dalga yöntemiyle tespit edilen dalga geçiş hızları ve buna bağlı olarak hesaplanan dinamik elastikiyet modülü değerleri aşağıda Tablo 4.3'te görülmektedir. Ayrıca tabloda görülen statik elastikiyet modülü değerleri, stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Bu hesaplama boyuna vibrasyon yöntemiyle sınıflandırmada kullanılan yazılımda tanımlı bulunan ve daha önce bu çalışmanın "3.2.4 Veri Analizi ve İstatistiki Değerlendirme" bölümünde de bahsedilen dönüştürme formülü ile yapılmıştır. Elde edilen statik elastikiyet modülleri ve bu elastikiyet modüllerinden TS EN 338'e göre dönüştürülerek belirlenen direnç sınıfları da aynı tabloda verilmiştir.

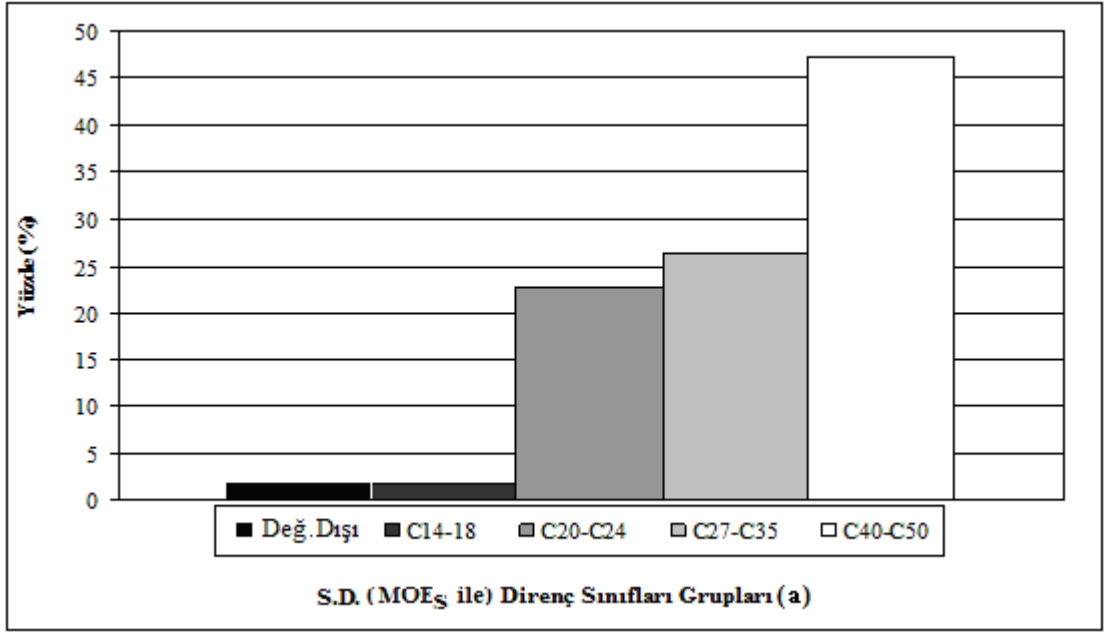
Tablo 4.3 : Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Ölçümleri

Kereste No	S.D. Hız (m/sn)	S.D. MOE _d (N/mm ²)	S.D. MOE _s (-CKDR) (N/mm ²)	S.D. Direnç Sınıfları (-CKDR)	CKDR	S.D. MOE _s (+CKDR) (N/mm ²)	S.D. Direnç Sınıfları (+CKDR)
1	4935,4	14534,52	13371,76	C35	0,17	12317,76	C27
2	5413,11	17923,86	16489,95	C50	0,2	15249,95	C50
3	5491,33	17842,54	16415,14	C50	0,1	15795,14	C50
4	5523,26	19423,4	17869,53	C50	0,2	16629,53	C50
5	5234,16	15021,46	13819,74	C35	0,17	12765,74	C30
6	5307,26	16570,67	15245,02	C50	0,5	12145,02	C27
7	5148,65	15905,15	14632,74	C40	0,5	11532,74	C24
8	5133,69	14935,25	13740,43	C35	0,25	12190,43	C27
9	4935,06	12542,76	11539,34	C24	0,67	7385,34	C14
10	4774,44	12765,33	11744,10	C24	0,67	7590,10	C14
11	5120,64	15646,06	14394,38	C40	0,33	12348,38	C27
12	5052,91	16085,1	14798,29	C40	0,25	13248,29	C35
13	3690	7420,77	6827,11	Değ. Dışı	0,7	2487,11	Değ. Dışı
14	4959,68	12011,4	11050,49	C24	0,45	8260,49	C16
15	4785,89	15499,67	14259,70	C40	0,2	13019,70	C35
16	5217,39	19416,86	17863,51	C50	0,2	16623,51	C50
17	5147,45	14970,39	13772,76	C35	0,1	13152,76	C35
18	4947,92	12975,4	11937,37	C24	0,2	10697,37	C22
19	5191,26	18910,22	17397,40	C50	0,33	15351,40	C50
20	5428,57	18957,66	17441,05	C50	0,5	14341,05	C40
21	4751,86	11667,18	10733,81	C22	0,5	7633,81	C14
22	5337,08	16236,11	14937,22	C40	0,55	11527,22	C24
23	4810,61	10761	9900,12	C18	0,4	7420,12	C14
24	5218,58	14888,59	13697,50	C35	0,58	10101,50	C22
25	5013,19	16084,54	14797,78	C40	0,3	12937,78	C30
26	5005,25	12443,59	11448,10	C24	0,5	8348,10	C16
27	4691,36	11444,6	10529,03	C22	0,46	7677,03	C14
28	5135,14	13878,33	12768,06	C30	0,34	10660,06	C22
29	4773,87	13022,11	11980,34	C27	0,19	10802,34	C22
30	4909,56	12492,99	11493,55	C24	0,35	9323,55	C18
31	4909,56	12372,47	11382,67	C24	0,35	9212,67	C18
32	5294,12	16174,78	14880,80	C40	0,5	11780,80	C24
33	5395,48	19880,04	18289,64	C50	0,19	17111,64	C50
34	5026,39	14863,13	13674,08	C35	0,3	11814,08	C24
35	5295,77	16827,14	15480,97	C50	1	9280,97	C18
36	5013,16	13905,4	12792,97	C30	0,75	8142,97	C16
37	5797,55	20442,54	18807,14	C50	0,58	15211,14	C50
38	5234,16	15342	14114,64	C40	0,5	11014,64	C24
39	5093,58	15566,75	14321,41	C40	0,2	13081,41	C35
40	5395,48	16107,23	14818,65	C40	0,7	10478,65	C22
41	5291,67	16428,62	15114,33	C50	1	8914,33	C16
42	5277,78	16387,06	15076,10	C50	0,65	11046,10	C24
43	4810,61	11473,77	10555,87	C22	0,83	5409,87	Değ. Dışı
44	4872,12	12115,66	11146,41	C24	0,88	5690,41	Değ. Dışı
45	5204,92	14504,61	13344,24	C35	0,58	9748,24	C18
46	5397,73	14628,91	13458,60	C35	0,75	8808,60	C16

Tablo 4.3 ün Devamı

Kereste No	S.D. Hız (m/sn)	S.D. MOE _d (N/mm ²)	S.D. MOE _s (-CKDR) (N/mm ²)	S.D. Direnç Sınıfları (-CKDR)	CKDR	S.D. MOE _s (+CKDR) (N/mm ²)	S.D. Direnç Sınıfları (+CKDR)
47	5163,04	14706,68	13530,15	C35	0,75	8880,15	C16
48	5219,78	13726,59	12628,46	C30	0,63	8722,46	C16
49	5304,71	15195,57	13979,92	C35	0,67	9825,92	C18
50	4752,48	11737,96	10798,92	C22	0,55	7388,92	C14
51	5536,23	16854,36	15506,01	C50	0,5	12406,01	C27
52	5352,11	17146,96	15775,20	C50	0,46	12923,20	C30
53	5488,51	16296,92	14993,17	C50	0,57	11459,17	C24
Aritmetik Ortalama	5117,2	14999,3	13799,35	---	---	10904,07	---
Standart Sapma	316,24	2598,45	2390,57	---	---	3062,31	---
Varyasyon Katsayısı (%)	6,18	17,32	17,32	---	---	28,08	---

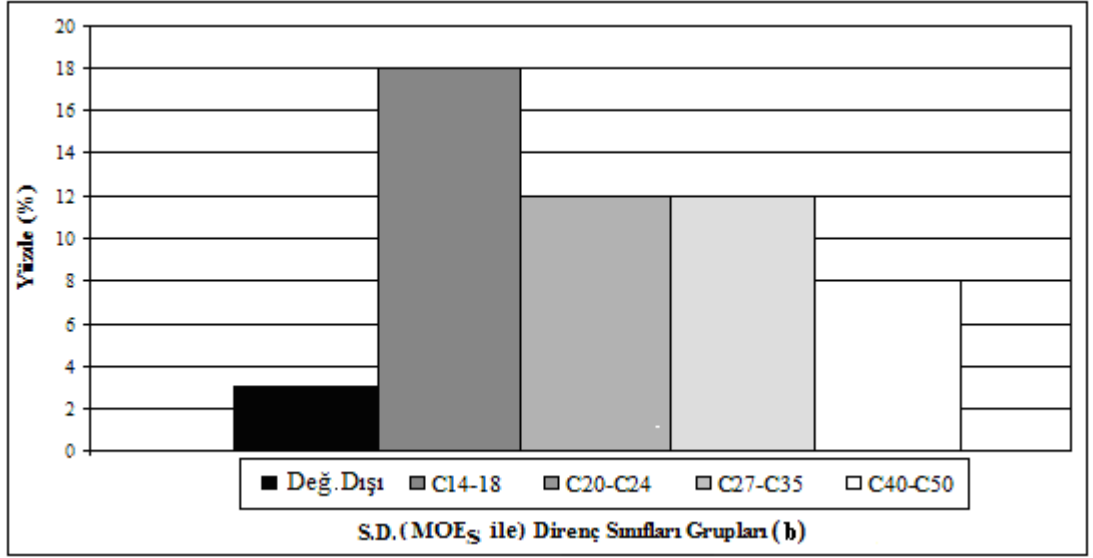
Tablo 4.3'te görüldüğü gibi, stres dalgası yöntemi ile tespit edilen hız değerleri boyuna vibrasyon yönteminde olduğu gibi 4000 m/sn ile 5500 m/sn aralığında değişmektedir. Stres dalga yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı değerlerinin, As ve Dünder'in (2010) çalışmasında belirtilen Karaçam için akustik dalga geçiş hızı (3914 – 5525 m/sn) değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak ortalama hız, boyuna vibrasyon yöntemine göre nispeten daha yüksek, yani 5117 m/sn olarak bulunmuştur. Yine dinamik elastikiyet modülü değerleri de boyuna vibrasyona göre nispeten daha yüksek (14999 N/mm²) bulunmuştur. Stres dalga yönteminde elde edilen verilerin varyasyon katsayıları da boyuna vibrasyona göre nispeten daha düşük bulunmuştur. Stres dalga yöntemi ile elde edilen direnç sınıflarının oransal dağılımı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Stres Dalga Yöntemi Direnç Sınıfları Katılım Oranları (a: CKDR Değeri Hesaba Katılmadan)

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kerestelerin %47,17'si en yüksek direnç sınıfı grubunda yer alırken, %1,89'u en düşük direnç sınıfı grubunda bulunmuştur. Kerestelerin %1,89 gibi küçük bir oranı ise stres dalga yöntemi ile yapılan sınıflandırmada değerlendirme dışı kalmıştır.

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi, stres dalgası yöntemi ile elde edilen elastikiyet modülü değerlerinde, yoğunlaştırılmış budak çapı oranı (CKDR) değeri hesaba katıldığı takdirde, düşme olduğu (10904 N/mm^2) görülmektedir. CKDR değeri hesaba katılmadığı zaman, boyuna vibrasyona göre nispeten yüksek olan elastikiyet modülü, bu sefer daha düşük bulunmuştur. Yine CKDR değeri hesaba katılarak elde edilen elastikiyet modülü değerlerinin varyasyon katsayısı da öncekine oranla yüksek bulunmasına karşın (%28,08), boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen elastikiyet modülü değerlerinin varyasyon katsayısından düşük olduğu görülmektedir. Stres dalga yöntemi ile bu sefer CKDR değeri hesaba katılarak elde edilen direnç sınıflarının oransal dağılımı Şekil 4.5 te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Stres Dalga Yöntemi Direnç Sınıfları Katılım Oranları (b: CKDR Değeri Hesaba Katılarak)

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, stres dalga yönteminde CKDR hesaba katıldığı takdirde kerestelerin %8'i en yüksek direnç sınıfı grubunda yer alırken, %18'i en düşük direnç sınıfı grubunda bulunmuştur. Kerestelerin %3 gibi küçük bir oranı ise stres dalga yöntemi ve CKDR değeri kullanılarak yapılan sınıflandırmada değerlendirme dışı kalmıştır. CKDR değerinin hesaba katılmasıyla, yüksek direnç sınıflarında katılım oranlarının azaldığı görülmektedir.

4.2.3. Vida Çekme Yöntemiyle Yapılan Ölçümlere Ait Bulgular

Vida çekme testleri, özellikle kerestelerde statik direnç tayin edilmesinde, dinamik elastikiyet modülü ile birlikte tamamlayıcı bir ölçüm yöntemi olarak yapılmıştır. Bu amaçla her bir kerestede elde edilen münferit değerlerin verilmesi yerine, Tablo 4.4'te görüleceği üzere sadece tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir.

Tablo 4.4 : Vida Çekme Yöntemi Yapılan Ölçümlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

TANIMLAYICI İSTATİSTİKLER	Örnek Sayısı	Aritmetik Ortalama (N)	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı (%)
Değerler	53	2725,35	329,98	12,11

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, deneyde kullanılan 53 Karaçam keresteleri, farklı kalitelerde alınmalarına karşın, vida çekme yöntemi ile yapılan ölçüm değerleri dar bir aralıkta bulunmuştur.

4.3. TAHRİBATLI DEĞERLENDİRMELERE AİT BULGULAR

4.3.1. Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Elde Edilen Bulgular

Yapısal boyuttaki Karaçam kerestelerinde uygulanan tahribatlı testler sonucu elde edilen eğilme direnci, elastikiyet modülü değerleri ve direnç sınıfları Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 : Yapısal Boyuttaki Numunelerde Yapılan Tahribatlı Ölçümler

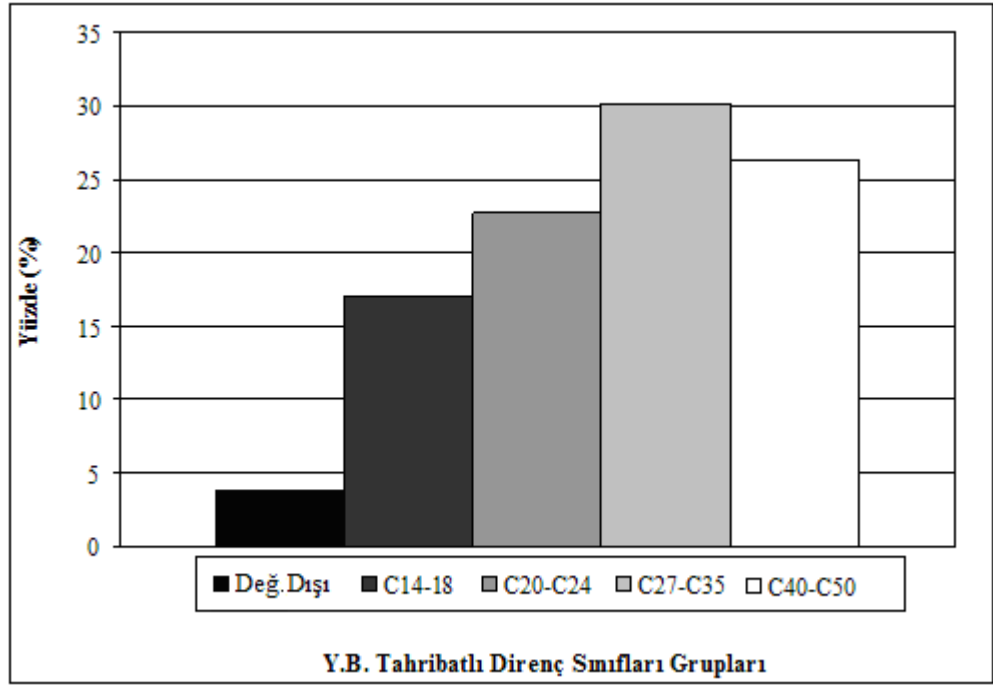
Kereste No	Y.B. MOE _s (N/mm ²)	Y.B. EDR (N/mm ²)	Y.B. Direnç Sınıfları
1	14580,73	80,79	C40
2	16303,72	87,76	C50
3	15856,44	84,66	C50
4	16671,87	83,10	C50
5	15124,87	88,21	C50
6	14277,12	79,26	C40
7	13127,44	80,76	C35
8	9447,13	70,69	C18
9	12173,44	56,45	C27
10	12773,11	70,29	C30
11	12200,78	64,75	C27
12	13971,62	77,74	C35
13	5393,96	31,50	Değerlendirme Dışı
14	8601,09	74,04	C16
15	10974,04	80,36	C22
16	18045,46	96,45	C50
17	12993,94	83,44	C30
18	12598,14	70,51	C30
19	13862,30	79,22	C35
20	16192,63	92,32	C50
21	8625,53	31,71	C16
22	14549,34	72,66	C40
23	9519,87	39,49	C18
24	12018,31	66,02	C27
25	14953,79	91,46	C40
26	10947,97	55,64	C22
27	10089,92	50,08	C22
28	12905,61	59,67	C27
29	11543,69	70,79	C24
30	9055,89	60,14	C18
31	7903,94	47,96	C14
32	15124,36	75,89	C50
33	17434,34	104,38	C50
34	12010,79	69,77	C30
35	13780,87	75,73	C35
36	12423,81	65,36	C27

Tablo 4.5 in Devamı

Kereste No	Y. B. MOE _s (N/mm ²)	Y. B. EDR (N/mm ²)	Y.B. Direnç Sınıfları
37	15882,83	55,00	C50
38	12845,96	49,36	C27
39	14312,43	75,93	C40
40	11697,13	36,34	C24
41	10739,04	33,57	C22
42	14751,74	61,81	C40
43	11876,18	54,48	C24
44	9548,42	18,88	C18
45	9519,85	54,56	C18
46	13157,60	65,00	C35
47	11800,00	60,41	C24
48	15366,55	86,15	C50
49	13959,37	61,95	C35
50	6954,00	27,75	Değerlendirme Dışı
51	11165,00	60,63	C24
52	12999,00	72,18	C30
53	12724,00	68,66	C30
Aritmetik Ortalama	12591,64	66,26	---
Standart Sapma	2700,60	18,62	---
Varyasyon Katsayısı (%)	21,45	28,10	---

Tablo 4.5'te görüldüğü gibi, test edilen bütün keresteler için yapısal boyutta ortalama statik elastikiyet modülü değeri 12591 N/mm², eğilme direnci ise ortalama 66 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden elastikiyet modülü değeri literatüre Karaçam için verilen elastikiyet modülü değerine oranla yüksek çıkmıştır (Bozkurt ve Göker, 1996). Yine bu değerlerden eğilme direnci değeri ise literatürde Karaçam için verilen eğilme direnci değerine oranla düşük çıkmıştır (Bozkurt ve Göker, 1996). Ayrıca tahribatlı deneylerle bulunan ortalama statik elastikiyet modülü değeri, boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen dinamik elastikiyet modülü değeri ile hemen hemen aynıdır. Stres dalga yöntemi ile tespit edilen dinamik elastikiyet modülü üzerinden hesaplanan statik elastikiyet modülü ise yine yakın bir değer olmakla birlikte bir miktar yüksek bulunmuştur.

Yapısal boyutta tahribatlı testlerle bulunan elastikiyet modülü değerlerine göre oluşturulan direnç sınıflarının oransal dağılımı Şekil 4.4 te gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Yapısal Boyutta Tahribatlı Yöntemlerle Direnç Sınıfları Katılım Oranları

Şekil 4.6 da görüldüğü gibi, kerestelerin %57'si yüksek (C27 ve üzeri) direnç sınıflarında bulunmuştur. Ayrıca bu sınıflandırmada kerestelerin %5'ten daha azı, yapısal olarak kullanıma uygun bulunmamıştır.

4.3.2. Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Elde Edilen Bulgular

Karaçam kerestelerinden elde edilen küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde tahribatlı olarak elde edilen eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci değerlerinin ve yine küçük ve kusursuz örneklerde tespit edilen yoğunluk değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 : Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Ölçümler

Kereste No	K.B. EDR (N/mm ²)	K.B. MOE _s (N/mm ²)	K.B. BDR (N/mm ²)	K.B. d ₁₅ (g/cm ³)	K.B. d ₀ (g/cm ³)
1	115,07	11535,2	46,51	0,556	0,517
2	133,46	15199,0	53,29	0,614	0,586
3	135,07	15068,8	47,33	0,588	0,549
4	142,02	16561,2	55,71	0,630	0,562
5	130,66	14447,2	49,45	0,576	0,542
6	115,09	13594,4	49,64	0,603	0,567
7	120,52	13768,2	49,31	0,596	0,561
8	116,13	13120,8	42,21	0,526	0,493
9	102,84	12140,8	39,19	0,544	0,506
10	127,23	12549,0	42,26	0,666	0,529
11	122,48	11699,6	45,51	0,572	0,545
12	118,44	11140,8	36,87	0,585	0,551
13	90,40	5177,8	32,04	0,519	0,473
14	96,13	7355,4	27,08	0,519	0,483
15	165,38	14191,5	57,09	0,685	0,649
16	160,03	17158,4	57,91	0,714	0,677
17	121,33	12728,8	49,93	0,563	0,528
18	127,47	12004,75	47,93	0,544	0,506
19	156,30	21125,4	68,78	0,701	0,665
20	152,69	16553,6	65,35	0,659	0,622
21	91,10	8479,4	34,54	0,460	0,428
22	92,96	12354,6	45,9	0,586	0,522
23	100,96	9973,2	34,08	0,460	0,333
24	103,85	10721,2	45,21	0,531	0,496
25	143,36	15285,2	52,56	0,629	0,581
26	94,72	10157,8	36,84	0,470	0,434
27	102,48	9626,8	43,98	0,508	0,485
28	115,73	12861,4	51,35	0,528	0,495
29	117,37	10009,6	46,43	0,561	0,514
30	93,04	9537,8	45,14	0,526	0,487
31	104,47	13645,8	42,33	0,539	0,494
32	130,85	13875,4	54,63	0,593	0,557
33	170,83	18474	64,19	0,737	0,702
34	108,94	9080,8	39,69	0,583	0,542
35	129,96	14011,4	52,58	0,598	0,558
36	97,57	11339,8	42,74	0,536	0,500
37	128,15	13667,5	49,04	0,582	0,546
38	122,06	12638,6	47,8	0,552	0,509
39	129,39	13567	48,19	0,584	0,550
40	102,03	12025,4	43,7	0,529	0,495
41	136,86	13549,4	51,62	0,584	0,538
42	127,01	14758,2	56,52	0,586	0,522
43	89,97	10450	39,28	0,497	0,462
44	83,25	9543,25	41,04	0,481	0,448
45	115,93	12377,8	44,88	0,525	0,487
46	111,54	12595,6	45,41	0,509	0,478
47	104,05	10996,2	51,14	0,52	0,49

Tablo 4.6 nın Devamı

Kereste No	K.B. EDR (N/mm ²)	K.B. MOE _s (N/mm ²)	K.B. BDR (N/mm ²)	K.B. d ₁₅ (g/cm ³)	K.B. d ₀ (g/cm ³)
48	132,32	14527,75	56,54	0,58	0,55
49	119,23	13541,4	43,37	0,54	0,51
50	88,91	9838,6	36,28	0,52	0,48
51	123,85	13630,6	42,78	0,56	0,52
52	146,46	16232,8	56,41	0,63	0,59
53	125,37	13412,8	47,38	0,53	0,50
Aritmetik Ortalama	119,5	12715,24	47,11	0,57	0,53
Standart Sapma	20,73	2784,86	8,26	0,06	0,06
Varyasyon Katsayısı (%)	17,35	21,9	17,53	10,53	11,32

Küçük ve kusursuz örneklerde tespit edilen eğilme direnci, statik elastikiyet modülü ve basınç direnci ve yoğunluk değerleri, literatürde Karaçam için belirtilen değerlere yakın bulunmuştur (Bozkurt ve Göker, 1996). Ayrıca küçük ve kusursuz örneklerde tespit edilen eğilme direnci, yapısal boyuttaki kerestelerden elde edilen değerlerden oldukça yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte küçük ve kusursuz örneklerde tespit edilen elastikiyet modülü değerleri yapısal boyuttaki kerestelerden elde edilen değerlerine yakın bulunmuştur.

4.4. YAPILAN KARŞILAŞTIRMALARA AİT BULGULAR

4.4.1. Görsel Sınıflandırmanın Tahribatsız Yöntemlerle İlişkisi

4.4.1.1. Görsel Sınıflandırma ve Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Görsel sınıflandırma standartlarının sınıfları ile boyuna vibrasyon yöntemi sonucu elde edilen hız ve direnç değerlerinin, birbiriyle olan ilişkisinin istatistikî olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir ve sonuçlar Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 : Görsel Sınıflandırma – Boyuna Vibrasyon Yöntemi Karşılaştırmasında Varyans Analizi ($p < 0,05$)

ANOVA (Anlamlılık)	B.V. Hız	B.V. MOE _s Ölçülen	B.V. MOE _s Hesaplanan
TS 1265	0,834	0,295	0,080
DIN 4074	0,596	0,186	0,099
BS 4978	0,003*	0,000*	0,000*
TS EN 14081	0,067	0,005*	0,001*

*Anlamlı ($p < 0,05$)

Tablo 4.7’de görüldüğü gibi, yapılan varyans analizi sonucuna göre, %95 güven düzeyinde TS 1265 ve DIN 4074 standartlarına göre yapılan görsel sınıflandırma ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız ve elastikiyet modülü değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Yani TS 1265 ve DIN 4074 standardına göre kalite sınıfının düşmesi veya artması, boyuna vibrasyondan elde edilen hız ve elastikiyet modülü değerlerine yansımamıştır. Bununla birlikte BS 4978 ve TS EN 14081 standartları ile vibrasyon yöntemiyle elde edilen hız ve elastikiyet modülü değerleri arasında (TS EN 14081 standardı – boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen hız harici) anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu standartlarda kerestelerin görsel kalite sınıfının düşmesiyle boyuna vibrasyondan elde edilen hız ve elastikiyet modülü değerleri de azalmakta, artmasıyla anlamlı bir şekilde artmaktadır. Bununla birlikte BS 4978 ve TS EN 14081 standartlarında olan farklılıkların, hangi kalite sınıflarında olduklarını belirlemek için sırasıyla boyuna vibrasyondan elde edilen hız, ölçülen ve hesaplanan statik elastikiyet modüllerinde Duncan testi uygulanmıştır.

Tablo 4.8 : Boyuna Vibrasyon Yöntemi - BS 4978 Standardı Duncan Testi Sonuçları

BS 4978 Sınıfları	N	Hız		Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	
		1	2	1	2	1	2
Iskarta	14	4549,07		10385,71		6528,57	
GS	24	4783,21		11712,50		8362,50	
SS	15		5084,00		14186,67		12433,33
Önem Düzeyi		0,094	1,000	0,083	1,000	0,065	1,000

Tablo 4.8’de görüldüğü gibi, “Değerlendirme Dışı” ve “GS” kalite sınıflarında bulunan kerestelerin boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız ve statik elastikiyet modülü değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken, “SS” kalite sınıfında bulunan

kerestelerin hız ve statik elastikiyet modülü değerleri anlamlı bir şekilde daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 4.9 : Boyuna Vibrasyon Yöntemi – TS EN 14081 Standardı Duncan Testi Sonuçları

TS EN 14081 Sınıfları	N	Hız		Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	
		1	2	1	2	1	2
C18 altı	19	4656,26		11100,00		7350,00	
Iskarta	16	4782,56	4782,56	11475,00		8126,32	
C18 ve üstü	18		4986,33		13600,00		11477,78
Önem Düzeyi		0,379	0,159	0,640	1,000	0,469	1,000

Tablo 4.9’da, TS EN 14081 standardı için yapılan Duncan testi sonuçları görülmektedir. BS 4978 standardı ile benzer şekilde, “C18 altı” olarak sınıflandırılan keresteler ile “Değerlendirme Dışı” olarak ayrılan kerestelerin hız ve statik elastikiyet modülü değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Bununla birlikte “C18 ve üstü” olarak sınıflandırılan kerestelerin boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen özellikle statik elastikiyet modülü değerleri, anlamlı bir şekilde yüksek bulunmuştur.

Boyuna vibrasyon yöntemi ile yapılan direnç sınıflandırması ile görsel değerlendirme ile oluşturulan direnç sınıfları arasındaki uyum da incelenmiştir. İlk olarak incelenen DIN 4074 görsel sınıflandırma standardında oluşturulan sınıfların, yapısal boyuttaki numunelerdeki tahribatlı testlerden elde edilen direnç sınıfları ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Holzforschung, 2012). “S7” kalite sınıfının en düşük “C16 ve üstü” direnç sınıfında olacağı, S10 kalite sınıfının en düşük “C24 ve üstü” direnç sınıfında olacağı ve S13 kalite sınıfının da en düşük “C30 ve üstü” direnç sınıfında olacağı belirtilmektedir. Bu durumda “Değerlendirme Dışı” grubunda “C16” direnç sınıfının altında kalan keresteler bulunmaktadır. Tablo 4.10’da bu belirtilen durumun boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen direnç sınıfları ile olan uyumluluğu incelenmiştir.

Tablo 4.10 : DIN 4074'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin, Boyuna Vibrasyon Yöntemine Göre Yapılan Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi

DIN 4074'e Göre Sınıflandırma	B.V. Sınıflandırması ile Uyumlu Numune Adedi	B.V. Sınıflandırması ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
S13 (C30 ve üstü)	3	1	4	75%
S10 (C24 ve üstü)	7	16	23	30%
S7 (C16 ve üstü)	7	9	16	44%
Değerlendirme Dışı (C16 altı)	4	6	10	40%

Tablo 4.10'da görüldüğü gibi, "S13" kalite sınıfında bulunan keresteler boyuna vibrasyon yöntemi ile gerçekleştirilen direnç sınıflandırması ile büyük oranda uyumlu bulunurken, "S10", "S7" ve "Değerlendirme Dışı" sınıflarında uyum %50'nin altındadır.

Bir diğer görsel sınıflandırma standardı olan, BS 4978 standardında da, sınıfların yapısal boyuttaki numunelerdeki tahribatlı testlerden elde edilen direnç sınıfları ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Holzforschung, 2012). SS kalite sınıfının en düşük "C22 ve üstü" direnç sınıfında olacağı ve "GS" kalite sınıfının da en düşük "C14 ve üstü" direnç sınıfında olacağı belirtilmektedir. Bu durumda "Değerlendirme Dışı" grubunda olan keresteler de, "C14" direnç sınıfının altında kalmaktadır. Tablo 4.11'de bu belirtilen durumun boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen direnç sınıfları ile olan uyumluluğu incelenmiştir.

Tablo 4.11: BS 4978'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin, Boyuna Vibrasyon Yöntemine Göre Yapılan Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi

BS 4978'e Göre Sınıflandırma	B.V. Sınıflandırması ile Uyumlu Numune Adedi	B.V. Sınıflandırması ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
SS (C22 ve üstü)	11	4	15	73%
GS (C14 ve üstü)	17	7	24	71%
Değerlendirme Dışı (C14 altı)	9	5	14	64%

Tablo 4.11'de görüldüğü gibi, BS 4978 standardına göre görsel değerlendirme ile oluşturulan direnç sınıfları ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen direnç sınıfları arasında, yüksek sayılabilecek bir uyum bulunmaktadır.

Benzer bir karşılaştırma TS EN 14081 standardı için de yapılmıştır. Bu standartta keresteler görsel niteliklerine göre direnç sınıflarından “C18 üstü” ve “C18 altı” olarak değerlendirilmektedir. Bu iki grup dışında kalan keresteler de, ”Değerlendirme dışı” olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4.12’de bu belirtilen durumun boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen direnç sınıfları ile olan uyumluluğu incelenmiştir.

Tablo 4.12 : TS EN 14081’e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin, Boyuna Vibrasyon Yöntemine Göre Yapılan Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi

TS EN 14081'e Göre Sınıflandırma	B.V. Sınıflandırması ile Uyumlu Numune Adedi	B.V. Sınıflandırması ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
C18 üstü	17	1	18	94%
C18 altı	12	7	19	63%
Değerlendirme Dışı	8	8	16	50%

Tablo 4.12’de görüldüğü gibi, TS EN 14081 standardına göre oluşturulan görsel değerlendirme sınıfları, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen direnç sınıfları ile, özellikle “C18 üstü” kalite sınıfında çok iyi bir uyum (%94) sergilemiştir. Ancak diğer kalite sınıflarıyla bu kadar yüksek oranda uyumlu (%63 ve %50) olmadığı görülmektedir.

Son olarak TS 1265 standardı ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmada TS 1265 standardına göre oluşturulan görsel kalite sınıflarının, boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen direnç sınıfları ile bir uyum sergilemediği görülmüştür. Örneğin TS 1265 standardında “1.” kalite sınıfında (en iyi) bulunan kerestelerin boyuna vibrasyon yönteminde %15’i yüksek direnç sınıfı olan “C50”de bulunurken, “C30” ve “Değerlendirme Dışı” direnç sınıflarında da yine %15 oranında kereste bulunmaktadır. TS 1265 standardının en düşük kalite sınıfı olan “Değerlendirme Dışı” sınıfına bakıldığında, “C14”, “C16”, “C20” ve “C24” direnç sınıflarından %25 oranında keresteler olduğu bulunmuştur.

4.4.1.2. Görsel Sınıflandırma ve Stres Dalga Yöntemi Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Farklı görsel sınıflandırma standartlarına göre oluşturulan kalite sınıfları ile stres dalga yöntemi sonucu elde edilen değerlerin, birbiriyle olan ilişkisinin istatistikî olarak anlamlı olup olmadığı Varyans Analizi (ANOVA) ile test edilmiş ve sonuçlar Tablo 4.13’e gösterilmiştir. Ayrıca stres dalga yönteminden elde edilen düzeltme katsayısıyla

hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri, dinamik elastikiyet modülü değerleri ile aynı sonuçlar verdiği için, tabloya konulmamıştır.

Tablo 4.13 : Görsel Sınıflandırma – Stres Dalga Yöntemi Karşılaştırmasında Varyans Analizi

ANOVA (Anlamlılık)	S.D. Hız	S.D. MOE _d
TS 1265	0,275	0,540
DIN 4074	0,614	0,202
BS 4978	0,097	0,004*
TS EN 14081	0,060	0,013*

*Anlamlı ($p < 0,05$)

Tablo 4.13'te görüldüğü gibi, varyans analizi sonucuna göre, %95 güven düzeyinde ($p < 0,05$) stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri ile görsel kalite sınıfları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Bir başka deyişle standartlardaki kalite sınıfının düşmesi veya artması, stres dalga yönteminden elde edilen hız değerlerine yansımamıştır. Aynı durum TS 1265 ve DIN 4074 standartları kalite sınıfları ile stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri arasında da görülmektedir. Bununla birlikte boyuna vibrasyon yönteminde olduğu gibi BS 4978 ve TS EN 14081 standartlarına göre oluşturulan kalite sınıfları ile, stres dalga yöntemiyle elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu standartlarda kerestelerin görsel kalite sınıfının düşmesiyle stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri de anlamlı bir şekilde azalmaktadır.

BS 4978 ve TS EN 14081 standartlarında hangi kalite sınıfları arasında dinamik elastikiyet modülü değerleri bakımında fark olduğunu belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.14'te görülmektedir.

Tablo 4.14 : Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü Değerleri (N/mm^2) - BS 4978 ve TS EN 14081 Standartları Duncan Testi Sonuçları

BS 4978	N	Gruplar		TS EN 14081	N	Gruplar	
		1	2			1	2
Değerlendirme Dışı	14	13317,89		C18 altı	19	13870,81	
GS	24	14959,60	14959,60	Değerlendirme Dışı	16	14845,64	14845,64
SS	15		16462,47	C18 ve üzeri	18		16327,05
Önem Düzeyi		0,052	0,074	Önem Düzeyi		0,24	0,077

Tablo 4.14'te görüldüğü gibi, BS 4978 standardı için kerestelerin stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri, "Değerlendirme Dışı" ve

“SS” kalite sınıfları ile anlamlı derecede farklıdır. Diğer gruplar özdeş bulunmuştur. TS EN 14081 standardı için ise görsel niteliklerine göre “C18 altı” olarak değerlendirilen kerestelerin stres dalga yöntemi ile elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri “C18 ve üzeri” olarak değerlendirilen kerestelerden anlamlı derecede düşük bulunurken, ıskarta olarak değerlendirilen keresteler ile gerek “C18 altı” ve gerekse “C18 ve üstü” sınıflarda bulunan keresteler arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

Bunun dışında TS 1265 standardı haricinde diğer üç standardın kalite sınıflarının, TS EN 338 standardındaki direnç sınıflarına göre karşılıkları oldukları daha önce ifade edilmişti. Bununla birlikte TS EN 338 standardının direnç sınıflandırması yaparken kullanmış olduğu elastikiyet modülü değerinin, stres dalga yöntemiyle de tahmin edildiği görülmektedir. Bu nedenden dolayı, stres dalga yöntemiyle elde edilen elastikiyet modülünün kullanımı ile elde edilen direnç sınıfları, standartlarda belirtilen direnç sınıfları ile karşılaştırılmış ve tablolar halinde uyumlulukları aşağıda gösterilmiştir. Buna ek olarak stres dalga yöntemi, boyuna vibrasyon yöntemindeki gibi budak durumunu dikkate almamaktadır. Bu nedenle boyuna vibrasyon yönteminde belirtilen yoğunlaştırılmış budak çapı oranı (CKDR), eğer stres dalga yönteminde dikkate almış olsaydı, görsel sınıflandırma standartları ile uyumunun nasıl değişeceği de, tablolarda belirtilmiştir.

İlk olarak, DIN 4074 standardında, oluşturulan görsel kalite sınıflarının yapısal boyuttaki numunelerdeki tahribatlı testlerden elde edilen direnç sınıfları ile ilişkili olduğu ve her bir sınıfın bir direnç sınıfı karşılığı olduğu daha önce ifade edilmiştir (Holzforschung, 2012). Tablo 4.15’te DIN 4074’te görsel kalite sınıflarına karşılık gelen direnç sınıfları ile stres dalga yönteminden elde edilen direnç sınıflarının uyum oranları verilmiştir.

Tablo 4.15 : DIN 4074'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin Stres Dalga Yöntemi ile Sınıflandırmanın Uyumunun Analizi

DIN 4074'e Göre Sınıflandırma	S.D. Sınıflandırması ile Uyumlu Numune Adedi	S.D. Sınıflandırması ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
S13 (C30 ve üstü)	4	0	4	100%
S10 (C24 ve üstü)	22	1	23	96%
S7 (C16 ve üstü)	16	0	16	100%
Değerlendirme Dışı (C16 altı)	0	10	10	0%

Tablo 4.15'te görüldüğü gibi, "Değerlendirme Dışı" grubu dışında, diğer kalite sınıflarının, boyuna vibrasyon ile elde edilen direnç sınıflarıyla çok iyi bir uyum (en az %96) içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak "Değerlendirme Dışı" kalite sınıfında, bu durumun tam tersi görülmektedir. Çünkü "Değerlendirme Dışı" olarak değerlendirilen hiçbir kereste, boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen direnç sınıflarıyla uyumlu çıkmıştır.

BS 4978 standardında da, oluşturulan görsel kalite sınıflarının yapısal boyuttaki numunelerdeki tahribatlı testlerden elde edilen direnç sınıfları ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Holzforschung, 2012). Tablo 4.16'da bu belirtilen durumun stres dalga yöntemi ile elde edilen direnç sınıfları ile olan uyumluluğu incelenmiştir.

Tablo 4.16 : BS 4978'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin Stres Dalga Yöntemi ile Sınıflandırmanın Uyumunun Analizi

BS 4978'e Göre Sınıflandırma	S.D. Sınıflandırması ile Uyumlu Numune Adedi	S.D. Sınıflandırması ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
SS (C22 ve üstü)	15	0	15	100%
GS (C14 ve üstü)	24	0	24	100%
Değerlendirme Dışı (C14 altı)	1	13	14	7%

Tablo 4.16'da görüldüğü gibi, "Değerlendirme Dışı" grubu dışında, diğer kalite sınıflarının, boyuna vibrasyon ile elde edilen direnç sınıflarıyla çok iyi bir uyum (%100) içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak "Değerlendirme Dışı" kalite sınıfında, bu durumun tam tersi görülmektedir. Çünkü "Değerlendirme Dışı" olarak değerlendirilen

kerestelerin sadece %7'si, boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen direnç sınıflarıyla uyumlu çıkmıştır.

Tablo 4.17'de TS EN 14081 standardı için görsel kalite sınıflarına karşılık gelen direnç sınıfları ile stres dalga yöntemi ile elde edilen direnç sınıfları arasındaki uyumluluğu görülmektedir.

Tablo 4.17 : TS EN 14081'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin Stres Dalga Yöntemi ile Sınıflandırmanın Uyumunun Analizi

TS EN 14081'e Göre Sınıflandırma	S.D. Sınıflandırması ile Uyumlu Numune Adedi	S.D. Sınıflandırması ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
C18 üstü	18	0	18	100%
C18 altı	1	18	19	5%
Değerlendirme Dışı	0	16	16	0%

Tablo 4.17'de görüldüğü gibi, "C18 üstü" grubu dışında, diğer kalite sınıflarının, boyuna vibrasyon ile elde edilen direnç sınıflarıyla uyum (en fazla %5) içerisinde olmadığı görülmektedir. Ancak "C18 üstü" kalite sınıfında, bu durumun tam tersi görülmektedir. Çünkü "C18 üstü" olarak değerlendirilen kerestelerin tamamı, boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen direnç sınıflarıyla uyumlu çıkmıştır.

Son olarak TS 1265 standardı ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalara göre stres dalga yöntemi ile yapılan direnç sınıflandırmasının, TS 1265 standardı ile "Değerlendirme Dışı" kalite sınıfı harici yeterli oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Örneğin TS 1265 standardında "1." kalite sınıfı olan kereste grubun, stres dalga yöntemine göre "C35" - "C50" arasındaki direnç sınıflarında toplanmıştır. Kalite sınıfları düştükçe, elde edilen ortalama direnç sınıflarını da buna bağlı olarak düşmektedir. Ancak "Değerlendirme Dışı" kalite sınıfında bu durum görülmemiştir.

4.4.2. Görsel Sınıflandırma ve Tahribatlı Yöntemler Arasındaki İlişkisi

4.4.2.1. Görsel Sınıflandırma ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Değerlendirme Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Görsel sınıflandırma standartlarına göre oluşturulan kalite sınıfları ile yapısal boyuttaki numunelerde tahribatlı değerlendirme yöntemleriyle elde edilen eğilme direnci ve

elastikiyet modülü değerleri karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığı ANOVA ile test edilmiştir. ANOVA sonuçları Tablo 4.18’de görülmektedir.

Tablo 4.18 : Görsel Sınıflandırma – Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Değerlendirme Yöntemleri ile Yapılan Ölçümleri Karşılaştırmasında Varyans Analizi ($p < 0,05$)

ANOVA (Anlamlılık)	TS 1265	DIN 4074	BS 4978	TS EN 14081
Y.B. MOE _s	0,348	0,174	0,000*	0,014*
Y.B. EDR	0,005*	0,047*	0,000*	0,000*

*Anlamlı ($p < 0,05$)

Tablo 4.18’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, yapısal boyuttaki numunelerde elde edilen statik elastikiyet modülü değerleri ile BS4978 ve TS EN 14081 standartlarına göre oluşturulan kalite sınıfları arasındaki ilişki %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. TS 1265 ve DIN 4074 standartları için ise bu ilişki anlamlı değildir. Eğilme direnci değerleri ise bütün görsel sınıflandırma standartlarında, kalite sınıfının değişmesi ile %95 güven düzeyinde anlamlı olarak değişmektedir. Yapısal boyutta tahribatlı olarak elde edilen eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin ilgili görsel sınıflandırma standartlarının hangi kalite sınıflarında anlamlı bir şekilde değiştiğinin tespit edilmesi amacıyla Duncan testi uygulanmıştır. BS 4978 standardı için sonuçlar Tablo 4.19’da görülmektedir.

Tablo 4.19 : Yapısal Boyuttaki Numunelerden Tahribatlı Olarak Elde Edilen Değerler (N/mm^2) - BS 4978 Standardı Duncan Testi Sonuçları

BS 4978 Sınıfları	N	Elastikiyet Modülü		Eğilme Direnci		
		1	2	1	2	3
Değerlendirme Dışı	14	10640,86		54,52		
GS	24	11788,8			60,64	
SS	15		14163,99			76,00
Önem Düzeyi		0,151	1,000	0,311	1,000	1,000

Tablo 4.19’da görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki kerestelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri, “Değerlendirme Dışı” ve “GS” kalite sınıfında özdeşken, “SS” kalite sınıfında ise anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur. Eğilme direnci değerleri ise görsel kalite sınıfı arttıkça anlamlı bir şekilde yükselmiştir.

Tablo 4.20’de TS EN 14081 standardına göre oluşturulan görsel kalite sınıfları ile yapısal boyutlu kerestelerden elde edilen eğilme direnci ve elastikiyet modülü Duncan testi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.20 : Yapısal Boyuttaki Numunelerden Tahribatlı Olarak Elde Edilen Değerler (N/mm²) – TS EN 14081 Standardı Duncan Testi Sonuçları

TS EN 14081 Sınıfları	N	Elastikiyet Modülü		Eğilme Direnci	
		1	2	1	2
Değerlendirme Dışı	24	11259,29		51,66	
C18 altı	14	12093,25	12093,25	56,79	
C18 ve üzeri	15		13655,65		73,45
Önem Düzeyi		0,331	0,072	0,303	1,000

Tablo 4.20’de görüldüğü gibi, “C18 ve üzeri” kalite sınıfında yer alan kerestelerin elastikiyet modülü değeri, “Değerlendirme Dışı” olarak ayrılan kerestelerden anlamlı derecede daha yüksek bulunurken, diğerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir. Eğilme direncinde ise “Değerlendirme Dışı” ve “C18 altı” kalite sınıflarında özdeş bulunurken, “C18 ve üzeri” kalite sınıfında anlamlı derecede yüksektir.

TS 1265 ve DIN 4074 standartları için görsel kalite sınıfları ile yapısal boyuttaki elastikiyet modülü değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığından Duncan testi yapılmamıştır. Tablo 4.21 ise bu standartlar için kalite sınıfları ile eğilme direnci arasındaki Duncan testi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.21 : Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri – TS 1265 ve DIN 4074 Standartları Duncan Testi Sonuçları

TS 1265	N	Gruplar		DIN 4074	N	Gruplar	
		1	2			1	2
3. Sınıf	14	50,53		Iskarta	10	54,52	
Iskarta	4	54,56		S7	16	57,09	
2. Sınıf	15	59,27	59,27	S10	23	62,96	
1. Sınıf	20		70,65	S13	4		80,23
Önem Düzeyi		0,258	0,120	Önem Düzeyi		0,311	1,000

Tablo 4.21’de görüldüğü gibi, TS 1265 standardı için eğilme direnci değerleri 1. sınıf kerestelerde ıskarta ve 3. sınıf kerestelere göre anlamlı derecede daha yüksek bulunurken diğer sınıflar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. DIN 4074 standardına göre ise S13 kalite sınıfındaki kerestelerin eğilme dirençleri daha düşük kalite

sınıflarından anlamlı derecede daha yüksektir. Diğer kalite sınıflarında ise anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

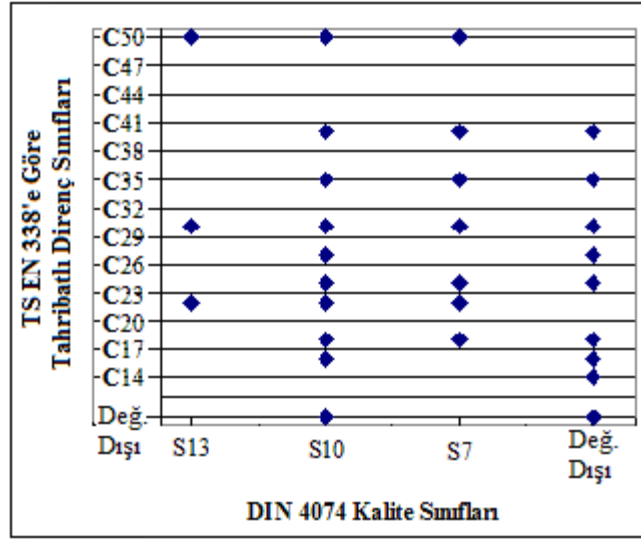
4.4.2.2. Görsel Sınıflandırma ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Direnç Sınıflandırması Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

TS EN 338 standardına göre oluşturulan direnç sınıfları ile görsel sınıflandırma standartlarına göre oluşturulan kalite sınıfları arasındaki uyum oransal olarak değerlendirilmiştir. DIN 4074 standardı için elde edilen sonuçlar Tablo 4.22’de görülmektedir.

Tablo 4.22 : DIN 4074’e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS EN 338’e Göre Yapılan Tahribatlı Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi

DIN 4074’e Göre Sınıflandırma	Tahribatlı Sınıflandırma ile Uyumlu Numune Adedi	Tahribatlı Sınıflandırma ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
S13 (C30 ve üstü)	3	1	4	75%
S10 (C24 ve üstü)	17	6	23	74%
S7 (C16 ve üstü)	16	0	16	100%
Değerlendirme Dışı (C16 altı)	2	8	10	20%

Tablo 4.22’de görüldüğü gibi, “Değerlendirme Dışı” grubu dışında diğer kalite sınıflarında görsel sınıflandırma sonucu elde edilen direnç sınıflarıyla, tahribatlı deneylerle bulunan direnç sınıfları arasında güçlü bir ilişki vardır, %75 oranında bir uyum bulunmaktadır. Ama “Değerlendirme Dışı” olarak kabul edilen kerestelerin %80’i tahribatlı olarak yapılan direnç sınıflandırmasında “C16” ve üzerinde çıkmıştır. Bu durumun karşılaştırmalı grafikte anlatımı Şekil 4.7’de görülmektedir.



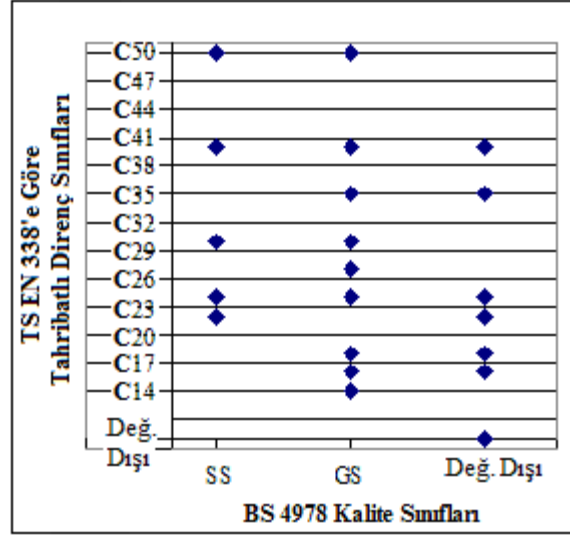
Şekil 4.7: DIN 4074 Standardı Kalite Sınıfları – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Karşılaştırmalı Grafiği

Tablo 4.23'te, BS 4978 standardı için görsel sınıflar ile yapısal boyutta kerestelerde tahribatlı testlerle oluşturulan direnç sınıfları arasındaki uyumu görülmektedir.

Tablo 4.23 : BS 4978'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS EN 338'e Göre Yapılan Tahribatlı Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi

BS 4978'e Göre Sınıflandırma	Tahribatlı Sınıflandırma ile Uyumlu Numune Adedi	Tahribatlı Sınıflandırma ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
SS (C22 ve üstü)	15	0	15	% 100
GS (C14 ve üstü)	24	0	24	% 100
Değerlendirme Dışı (C14 altı)	2	12	14	% 14

Tablo 4.23'te görüldüğü gibi, "Değerlendirme Dışı" sınıfı harici BS 4978 standardının, TS EN 338 standardındaki direnç sınıflandırmasına "SS" ve "GS" sınıflarında %100 uyumlu olduğu görülmektedir. "Değerlendirme Dışı" sınıfında ise sadece kerestelerin %14'ünün direnç sınıflandırmasına uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durumun karşılaştırmalı grafikte anlatımı Şekil 4.8'de görülmektedir.



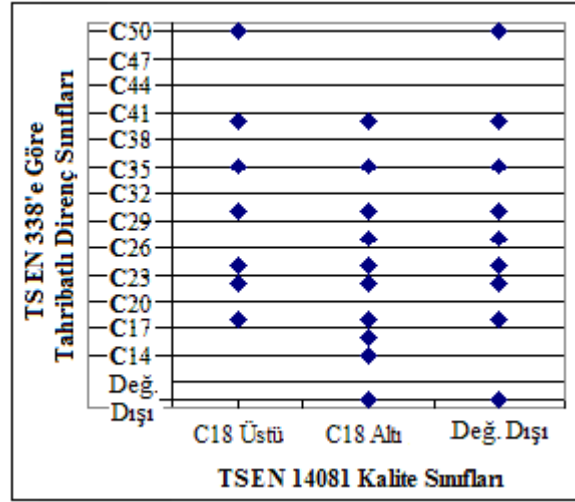
Şekil 4.8: BS 4978 Standardı Kalite Sınıfları – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Karşılaştırmalı Grafiği

Tablo 4.24'te TS EN 14081 için görsel kalite sınıfları ile tahribatlı yöntemlerle tespit edilmiş direnç sınıfları arasındaki uyumu görülmektedir.

Tablo 4.24 : TS EN 14081'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS EN 338'e Göre Yapılan Tahribatlı Sınıflandırma İle Uyumunun Analizi

TS EN 14081'e Göre Sınıflandırma	Tahribatlı Sınıflandırma ile Uyumlu Numune Adedi	Tahribatlı Sınıflandırma ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
C18 üstü	16	2	18	%89
C18 altı	6	13	19	%32
Değerlendirme Dışı	1	15	16	%6

Tablo 4.24'te görüldüğü gibi, TS EN 14081'e göre C18 altı olarak nitelenen kerestelerde %58 oranında, değerlendirme dışı olarak nitelenen kerestelerde ise %94 oranında bir uyumsuzluk mevcuttur. Bu uyumsuzluk durumunun daha çok "C18 altı" ve "Değerlendirme Dışı" olarak değerlendirilen kerestelerin tahribatlı testler sonucunda üst kalite sınıflarında bulunmalarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu durumun karşılaştırmalı grafikte anlatımı Şekil 4.9'da da görülmektedir.



Şekil 4.9: TS EN 14081 Standardı Kalite Sınıfları – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Karşılaştırmalı Grafiği

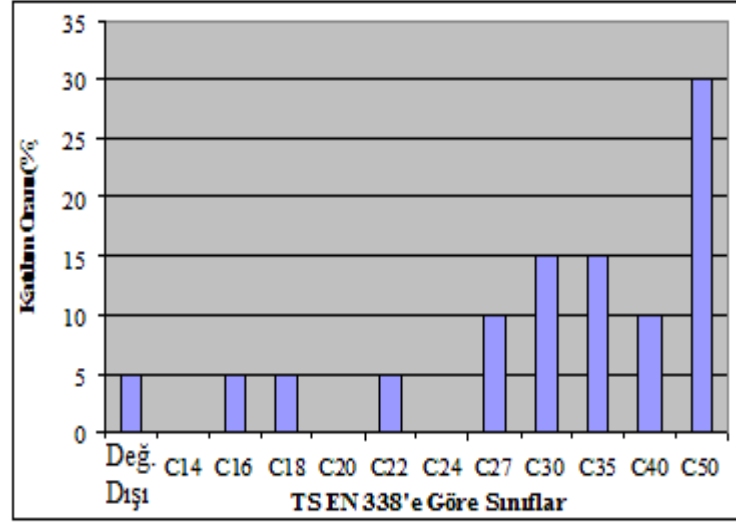
Görsel sınıflandırma standartlarından TS 1265'in diğer standartlar gibi statik elastikiyet modülünün kullanımı ile TS EN 338'e göre direnç sınıflandırması bulunmamaktadır. Ancak standardın içeriğinde bu standardın TS 647'nin gereklerini karşılayacağı belirtilmektedir. Bu standartta sınıflandırılan kerestelerin, TS 647'de verilen kalite sınıfları için belirtilen en düşük eğilme direncini karşılayacağı belirtilmektedir. Örneğin iğne yapraklı ağaçlar için "1." kalite sınıfında olan kerestelerinin eğilme emniyet gerilmesi σ_{em} : 130 N/mm², "2." kalite sınıfında olan kerestelerinin eğilme emniyet gerilmesi σ_{em} : 100 N/mm² ve "3." kalite sınıfında olan kerestelerinin eğilme emniyet gerilmesi σ_{em} : 70 N/mm² olacağı ifade edilmektedir. Doğal olarak "Değerlendirme Dışı" olarak değerlendirilen kerestelerin de, eğilme emniyet gerilmesinin σ_{em} : 70 N/mm² değerinin altında olacağı sonucu çıkmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kerestelerin bu duruma uyumu incelenmiştir ve sonuçları Tablo 4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.25 : TS 1265'e Göre Sınıflandırılan Yapı Kerestelerinin TS 647'ye Uyumunun Analizi

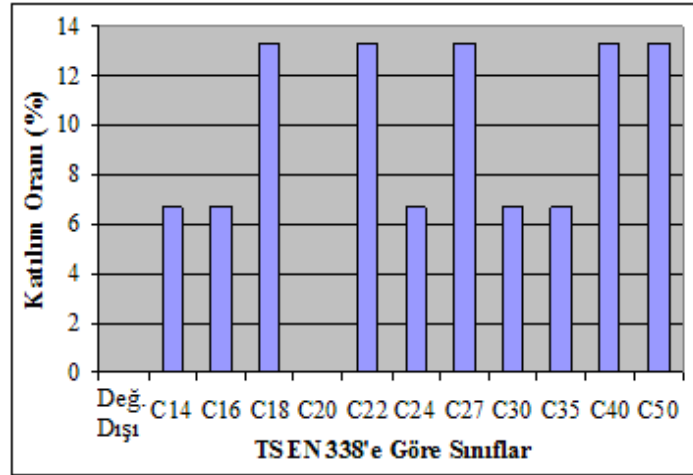
TS 1265'e Göre Sınıflandırma (EDR'ne Göre)	TS 647'e Göre ile Uyumlu Numune Adedi	TS 647'e Göre ile Uyumsuz Numune Adedi	İlgili Görsel Kalite Sınıfındaki Numune Adedi	Uyumlu Numune Oranı
1. Sınıf (130 N/mm ² ve üstü)	0	20	20	0%
2. Sınıf (100 N/mm ² ve üstü)	1	14	15	7%
3. Sınıf (70 N/mm ² ve üstü)	2	12	14	14%
Değerlendirme Dışı (70 N/mm ² altı)	3	1	4	75%

Tablo 4.25'te görüldüğü gibi, TS 1265 standardı, TS 647 standardı ile büyük oranda uyumsuz çıkmıştır. En fazla uyum sadece dört kerestenin bulunduğu “Değerlendirme Dışı” (%75) kerestelerde görülmektedir. “Değerlendirme Dışı” keresteler dışında en fazla uyumun “3.” (%14) kalite sınıfında olduğu görülmektedir. Genel olarak yapısal boyuttaki kerestelerin statik eğilme direnci değerleri düşük bulunmuştur.

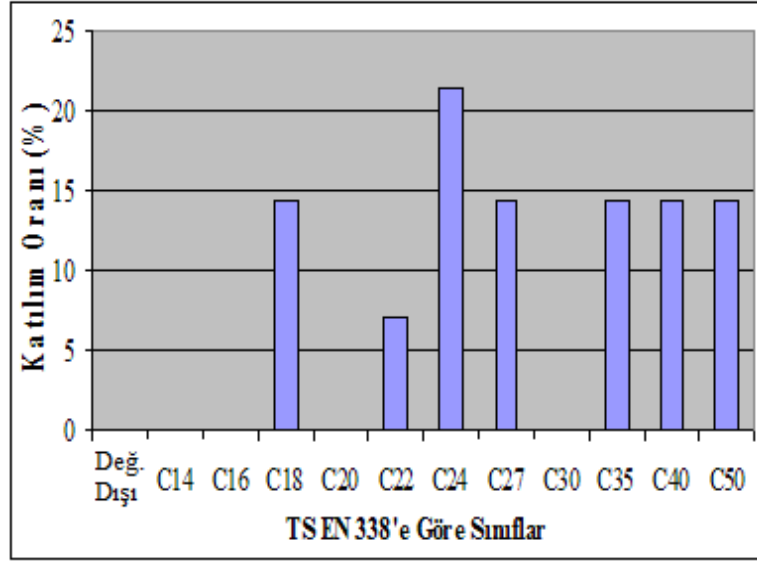
TS 1265 standardına göre oluşturulan görsel kalite sınıfları ile, yapısal boyutta tahribatlı test sonuçları esas alınarak TS EN 338 standardına göre oluşturulan direnç sınıfları arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. TS EN 338 standardı TS 647'nin aksine, sadece eğilme direnci yerine özellikle elastikiyet modülünü de hesaba katarak direnç sınıflandırması yapmaktadır. TS 1265 standardına göre I. sınıfta yer alan kerestelerin TS EN 338 standardındaki direnç sınıfları karşılığı Şekil 4.10'da, II. sınıfta yer alanların Şekil 4.11'de, III. Sınıfta yer alanların Şekil 4.12'de ve değerlendirme dışı kerestelerin direnç sınıfı karşılıkları da Şekil 4.13'te verilmiştir.



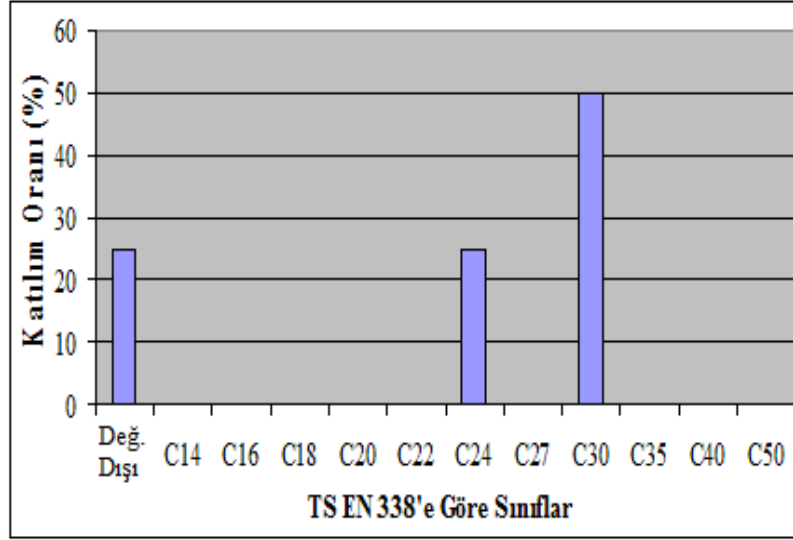
Şekil 4.10: TS 1265'in 1. Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı



Şekil 4.11: TS 1265'in 2. Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı



Şekil 4.12: TS 1265'in 3. Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı



Şekil 4.13: TS 1265'in "Değerlendirme Dışı" Kalite Sınıfında Bulunan Kerestelerin TS EN 338'e Göre Oluşturulan Direnç Sınıflarına Dağılımı

Görüldüğü gibi TS 1265'e göre oluşturulan görsel kalite sınıfları ile TS EN 338'e göre oluşturulan direnç sınıfları arasında belirgin bir ilişki gözlemlenmemiştir. Yalnızca görsel olarak I. kalite sınıfında bulunan kerestelerin %30 gibi önemli bir kısmının TS EN 338'e göre "C50" direnç sınıfında yer aldığı, %80 gibi büyük bir kısmının da C27 ve üzerinde bulunduğu görülmüştür. Diğer görsel kalite sınıfları için böyle bir ayırım söz

konusu değildir. Dolayısıyla TS 1265'e göre oluşturulan görsel kalite sınıflarının, TS EN 338 standardında bir direnç sınıfı karşılığının bulunduğunu söylemek güçtür.

4.4.3. Boyuna Vibrasyon Yöntemi ile Stres Dalga Yöntemi Arasındaki İlişkiler

4.4.3.1. Boyuna Vibrasyon Yöntemi ve Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Hız Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen ses dalga hızı değerleri ve stres dalga yöntemi ile elde edilen ses dalga hızı değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 4.26'da her iki yöneme ait hız değerleri ortalamaları görülmektedir.

Tablo 4.26 : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Hız Ölçümleri Ortalamaları

S.D. – B.V. Hızları Karşılaştırması	Ortalamalar	Standart Sapma
S.D. Hız (m/sn)	5117,20	316,24
B.V. Hız (m/sn)	4806,49	437,00

Tablo 4.26'da görüldüğü gibi, ortalamalar yaklaşık 300 m/sn farklı çıkmıştır. Ortalamalardaki bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının tespit edilmesi için yapılan t-Testi sonuçları, Tablo 4.27'de görülmektedir.

Tablo 4.27 : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Hız Ölçümleri t-Testi Analizi

S.D. - B.V. Hızları Karşılaştırması	Ortalama	Standart Sapma	t	Anlamlılık (2-kuyruklu)
t-Testi	310,708	284,178	7,960	0,000*

* Anlamlı (p < 0,05)

Tablo 4.27'de stres dalga yöntemi ile elde edilen hız değeri ile boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen hız değerinin arasındaki farkın %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak stres dalga metodundan elde edilen akustik dalga hız değerleri, boyuna vibrasyon metodundan elde edilen akustik dalga hız değerlerinden daha yüksektir.

4.4.3.2. Boyuna Vibrasyon Yöntemi – Stres Dalga Yöntemiyle Yapılan Dinamik Elastikiyet Modülü Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile, stres dalga yöntemi ile elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 4.28'de yapılan ölçümlerin bazı tanımlayıcı istatistikleri görülmektedir.

Tablo 4.28 : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Dinamik Elastikiyet Modülü Ölçümleri Ortalamaları

S.D. - B.V. Hız'ları Karşılaştırması	Ortalamalar	Standart Sapma
S.D. MOE _d (N/mm ²)	14999,30	2598,45
B.V. MOE _d (N/mm ²)	13111,16	2795,47

Tablo 4.28’de görüldüğü gibi, ortalamalar yaklaşık 2000 N/mm² farklı çıkmıştır. Ortalamalardaki bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının tespit edilmesi için yapılan t-Testi sonuçları, Tablo 4.36’da görülmektedir.

Tablo 4.29 : Boyuna Vibrasyon ve Stres Dalga Yöntemi ile Yapılan Dinamik Elastikiyet Modülü Ölçümleri t-Testi Analizi

S.D. MOE _d - B.V. MOE _d Karşılaştırması	Ortalama	Standart Sapma	Anlamlılık (2-kuyruklu)
t-Testi	1888,139	1408,782	0,000*

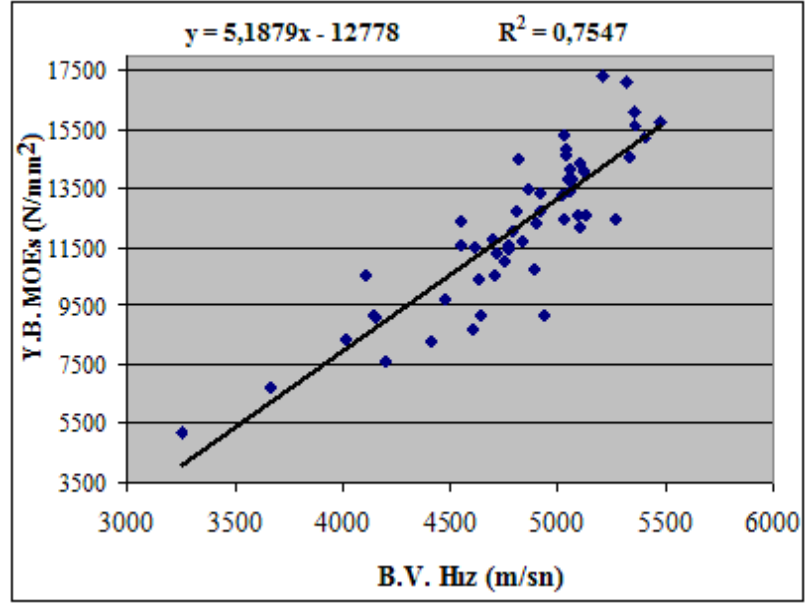
* Anlamlı (p < 0,05)

Tablo 4.29’da stres dalga yöntemi ile elde edilen dinamik elastikiyet modülü değeri ile boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen dinamik elastikiyet modülü değeri arasındaki farkın %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak stres dalga metodundan elde edilen dinamik elastikiyet modülü değeri değerleri, boyuna vibrasyon metodundan elde edilen dinamik elastikiyet modülü değeri değerlerinden daha yüksektir.

4.4.4. Tahribatsız Yöntemlerin Tahribatlı Yöntemlerle Karşılaştırılması

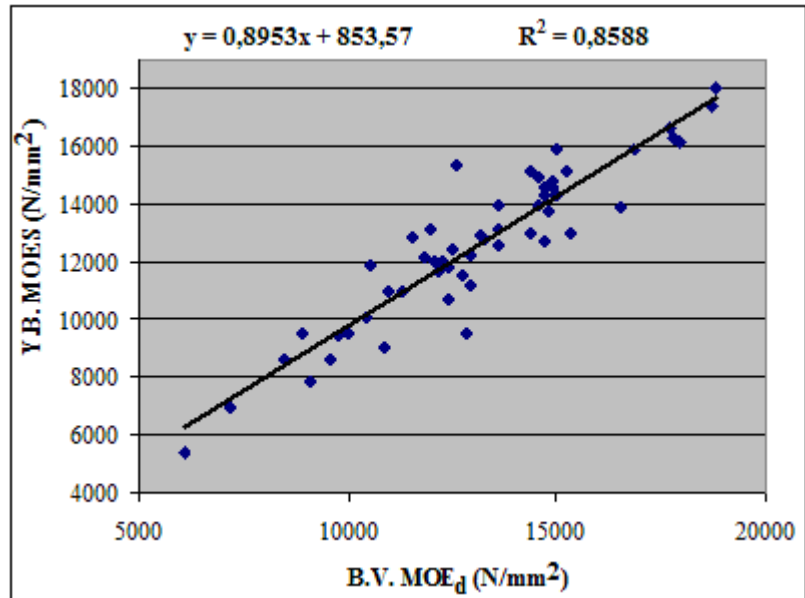
4.4.4.1. Boyuna Vibrasyon Yöntemi ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemleri Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Boyuna vibrasyon metodu ile elde edilen değerler, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen statik elastikiyet modülü değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 17’de görülmektedir.



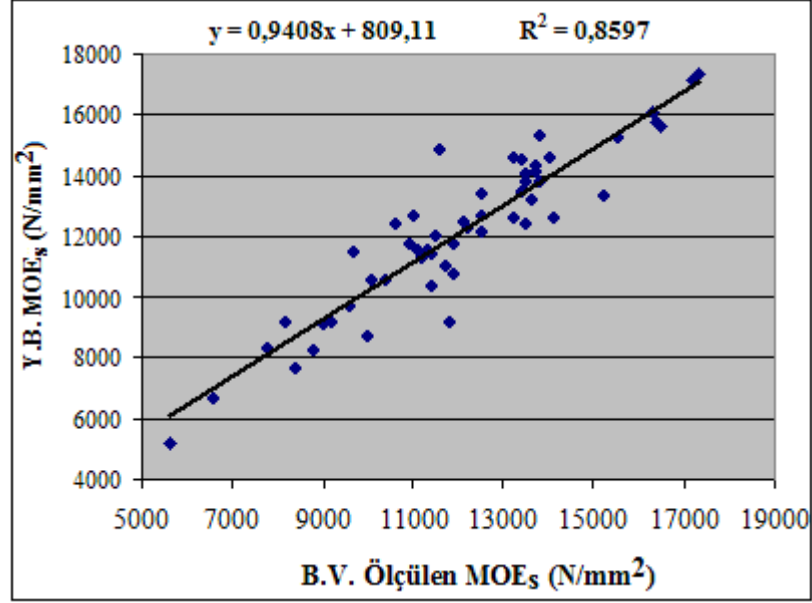
Şekil 4.14: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi, boyuna vibrasyonda elde edilen hız değeri ile yapısal boyuttaki statik elastikiyet modülü değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. ($R^2=0.7547$; $R=0,869$).



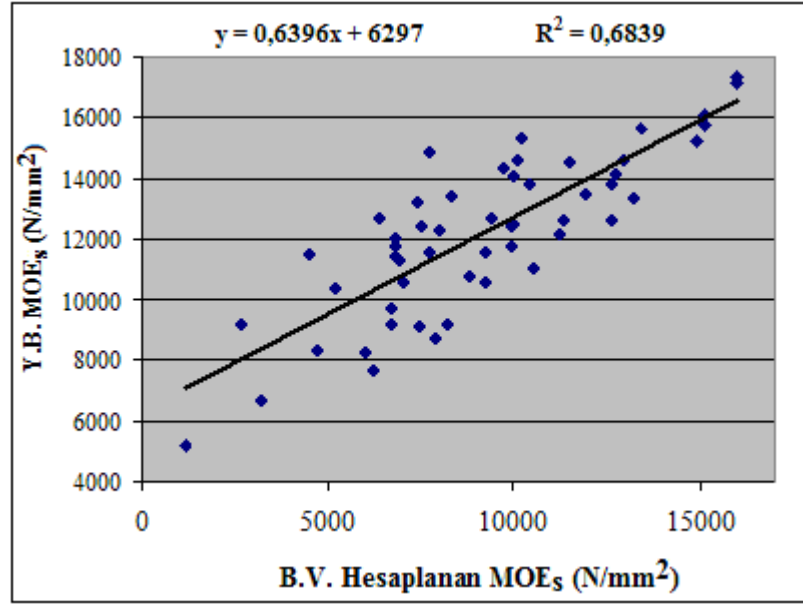
Şekil 4.15: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi, boyuna vibrasyonda elde edilen dinamik elastikiyet modülü değeri ile yapısal boyuttaki statik elastikiyet modülü değerleri arasında çok güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. ($R^2=0,8588$; $R=0,927$).



Şekil 4.16: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması

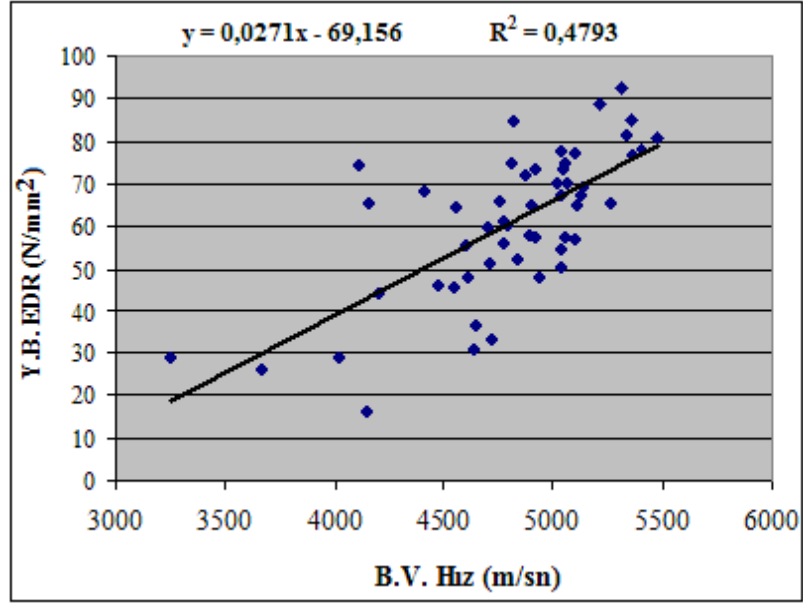
Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki numunelerdeki statik elastikiyet modülü değerleri ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülü arasında çok güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,8597$; $R=0,927$).



Şekil 4.17: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması

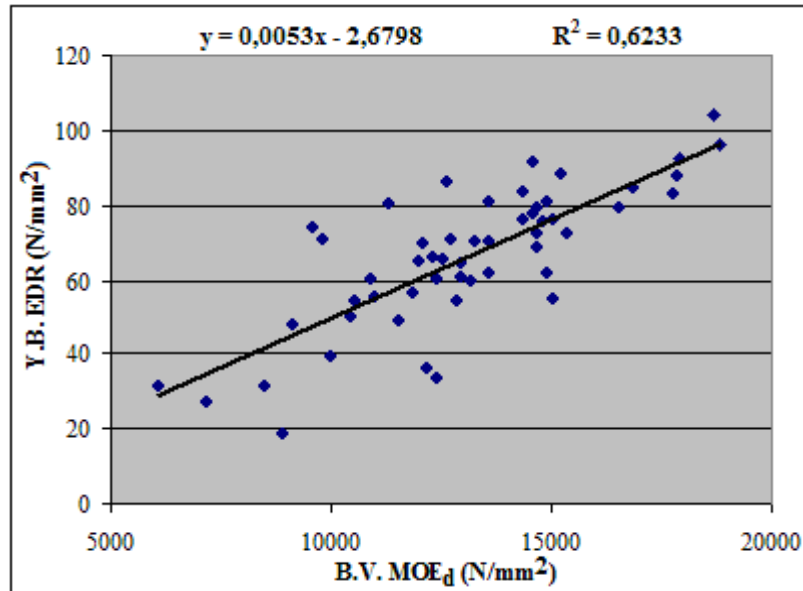
Şekil 4.17’de görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki numunelerdeki statik elastikiyet modülü değerleri ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır ($R^2=0,6839$; $R=0,827$).

Boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen değerler, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 20 ve Şekil 4.21’de görülmektedir.



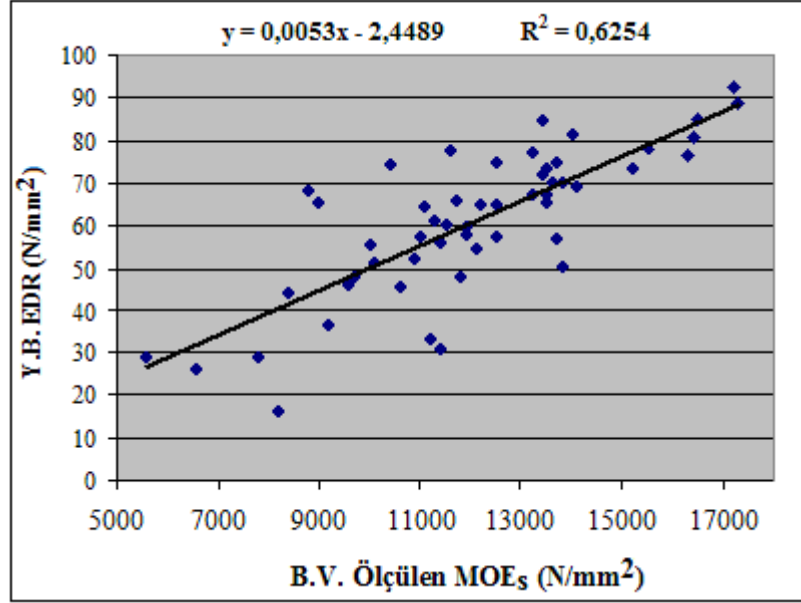
Şekil 4.18: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,4793$; $R=0,692$).



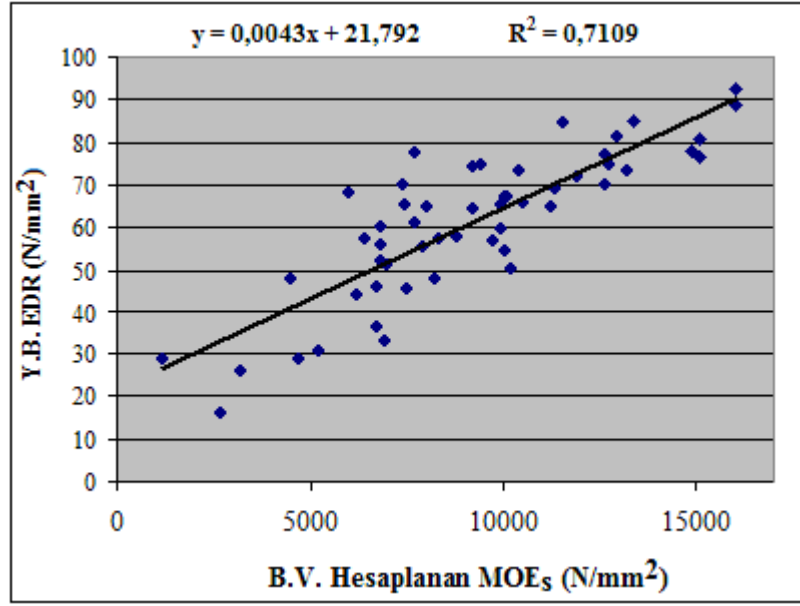
Şekil 4.19: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Eğilme Direnci Karşılaştırması

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi, boyuna vibrasyonda elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. ($R^2=0,6233$; $R=0,790$).



Şekil 4.20: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü– Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülü değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,6254$; $R=0,791$).



Şekil 4.21: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri arasında güçlü ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,7109$; $R=0,843$).

Boyuna vibrasyon yöntemi kullanılarak TS EN 338 standardına göre oluşturulan elde edilen direnç sınıfları ile yapısal boyutta tahribatlı olarak tespit edilen direnç değerleri arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı araştırılmıştır. Kerestelerin direnç sınıflarındaki artma ya da azalmaların, gerçekteki direnç değerlerine de yansıyor yansımadığı varyans analizi ile test edilmiş ve sonuçları Tablo 4.30’da gösterilmiştir.

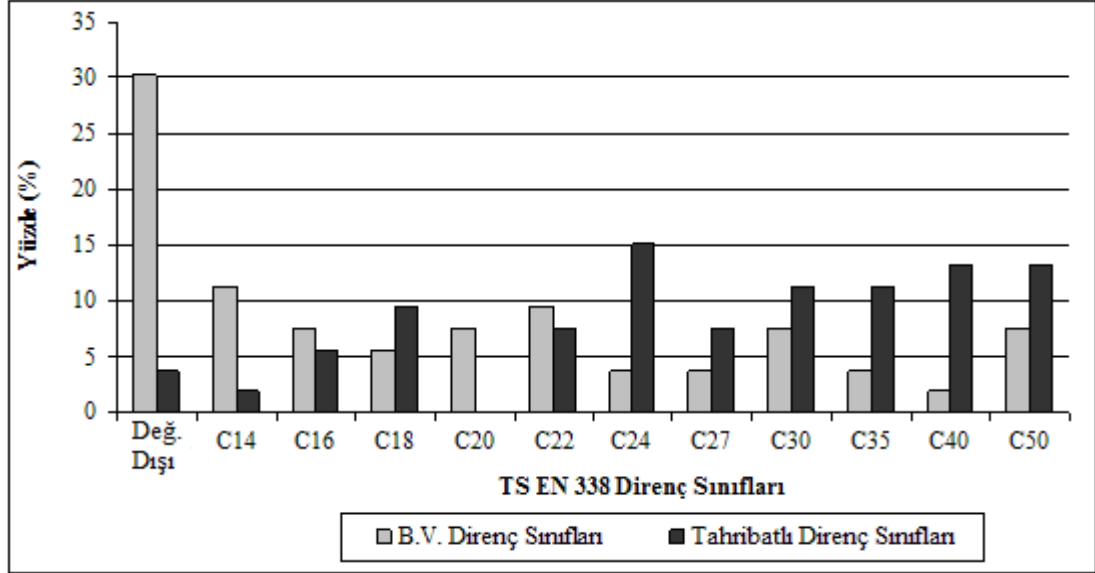
Tablo 4.30 : Boyuna Vibrasyon Yöntemi Direnç Sınıfları – Yapısal Boyutta Tahribatlı Değerlendirmeler Karşılaştırmasında Varyans Analizi

ANOVA (Anlamlılık)	Y.B. MOE _s	Y.B. EDR
B.V. Direnç Sınıfı	0,000*	0,000*

*Anlamlı ($p < 0,05$)

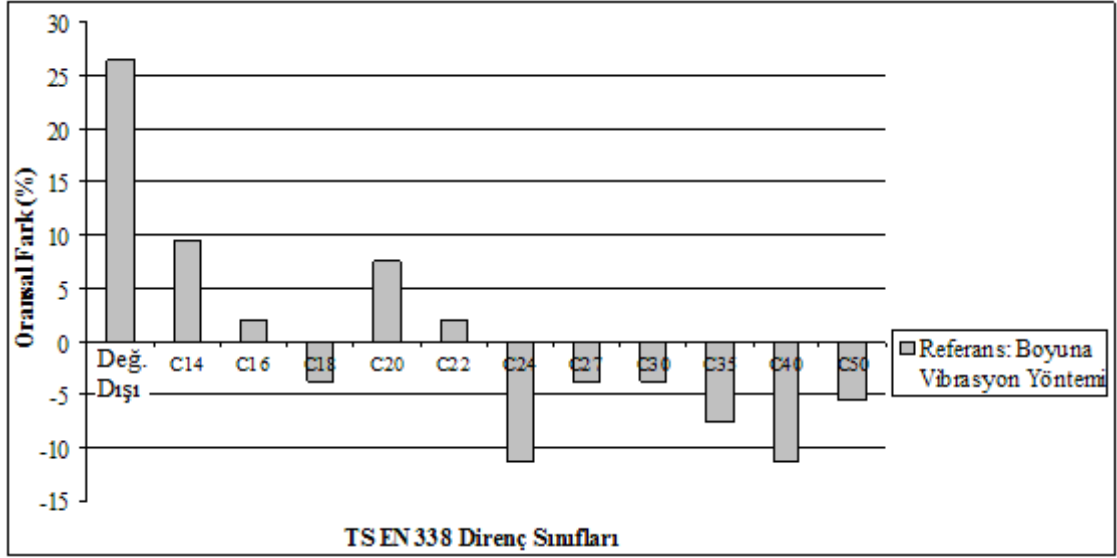
Tablo 4.30’da görüldüğü gibi, direnç sınıfları ile gerçekteki direnç değerleri arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki mevcuttur. Direnç sınıfları arttıkça yapısal boyutta elde edilen eğilme direnci ve elastikiyet modülleri de artmaktadır.

Boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen değerler kullanılarak TS EN 338'e göre oluşturulan direnç sınıfları ile yapısal boyutta numuneler üzerinde tahribatlı olarak elde edilen değerler kullanılarak oluşturulan direnç sınıfları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın histogram grafiği Şekil 4.22'de görülmektedir.



Şekil 4.22: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Direnç Sınıflandırması – Tahribatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması

Şekil 4.22'de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yöntemi keresteleri daha çok oranda “Değerlendirme Dışı” (%30,19) ve “C14” (%11,32) sınıfında değerlendirdiği görülmektedir. Buna karşın, yapısal boyuttaki numunelerde tahribatlı değerler üzerinden yapılan direnç sınıflandırmasında “Değerlendirme Dışı” (%3,77) ve “C14” (%1,89) sınıfında yer alan kereste oranı daha düşüktür. Aynı tezat ilişkinin yüksek kalite sınıflarında da olduğu görülmektedir. Yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen direnç sınıflarının boyuna vibrasyon yöntemine oranla, keresteleri daha çok oranda “C40” (%13,21) ve “C50” (%13,21) sınıfında değerlendirdiği görülmektedir. İki sınıflandırma arasındaki farkın daha iyi anlaşılması için, boyuna vibrasyon yöntemi referans alınarak elde edilen oransal fark grafiği Şekil 4.23'te görülmektedir.

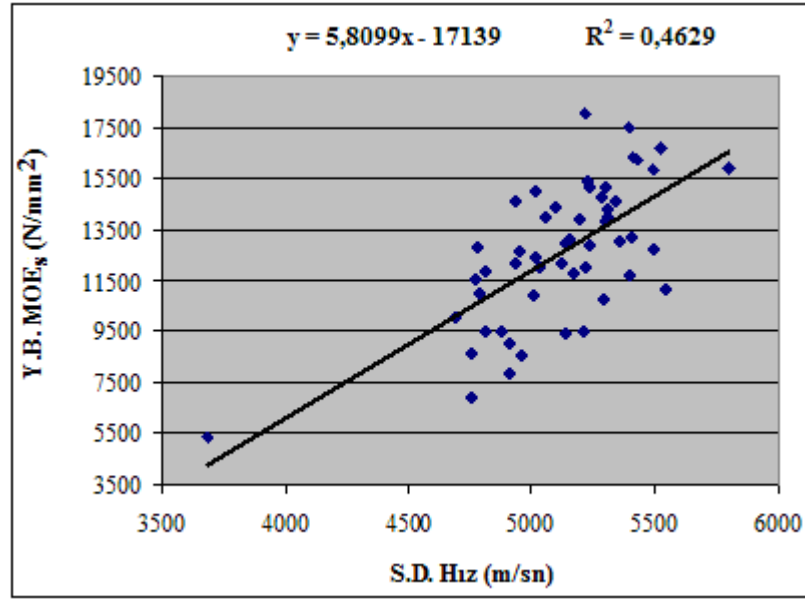


Şekil 4.23: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Direnç Sınıflandırması – Tahrifatlı Yöntemle Direnç Sınıflandırması Oransal Fark Grafiği

Şekil 4.23'te görüldüğü gibi, iki sınıflandırma yöntemi arasındaki farkın en çok “Değerlendirme Dışı” (%26,42) sınıfında olduğu görülmektedir. Ayrıca yapısal boyuttaki numunelerde yapılan direnç sınıflandırmasının “C24” ve daha yüksek direnç sınıflarında, boyuna vibrasyon yöntemi ile direnç sınıflandırmasından daha fazla oranda kereste sınıflandırdığı görülmektedir.

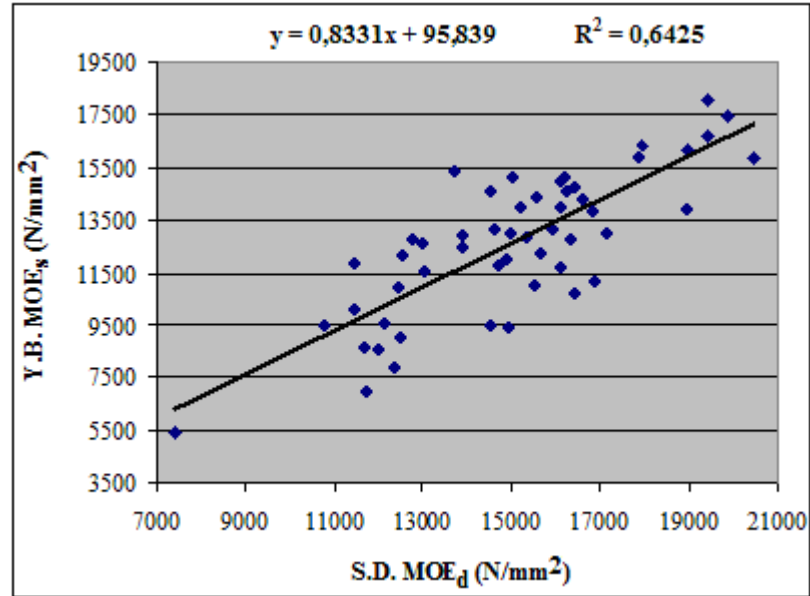
4.4.4.2. Stres Dalga Yöntemi ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahrifatlı Test Yöntemleri Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Stres dalga metodu ile elde edilen değerler, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen statik elastikiyet modülü değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te görülmektedir.



Şekil 4.24: Stres Dalga Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Statik Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

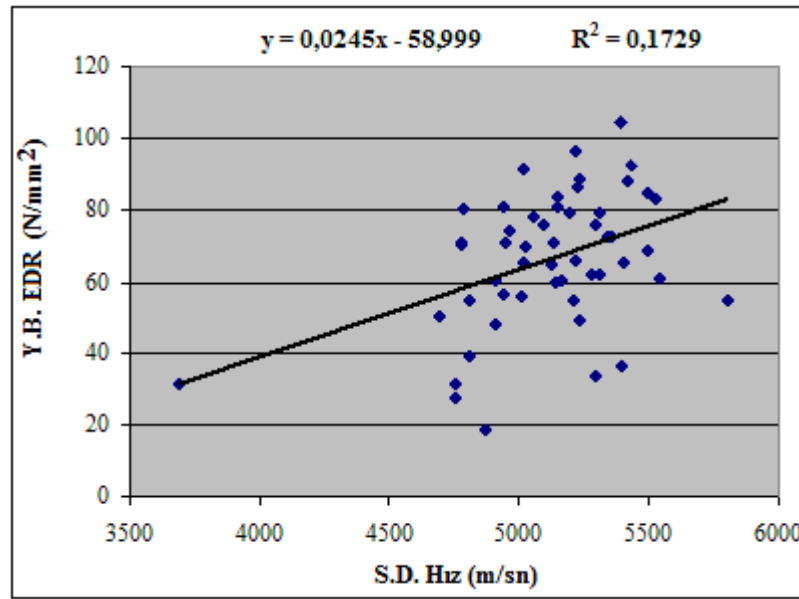
Şekil 4.24’te görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri yapısal boyuttaki numunelerdeki statik elastikiyet modülü değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunmaktadır ($R^2=0,4629$; $R=0,680$).



Şekil 4.25: Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

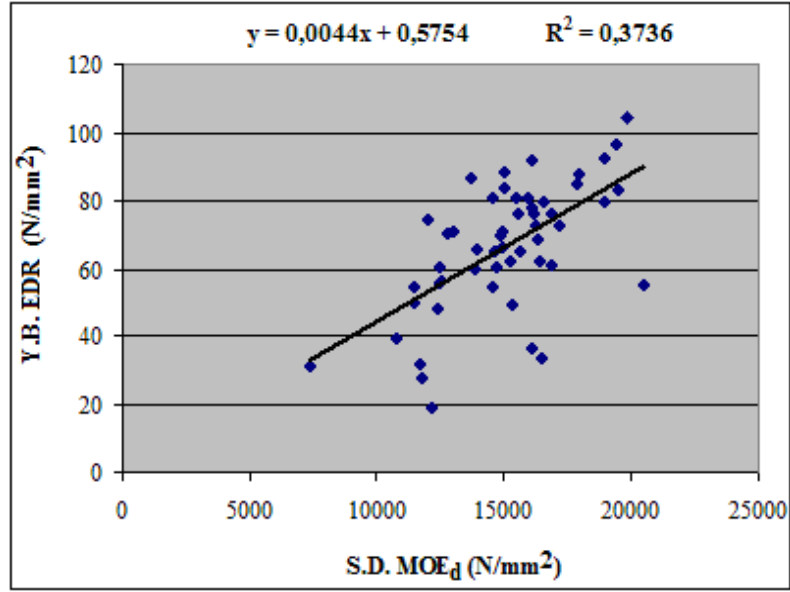
Şekil 4.25'te görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile yapısal boyuttaki numunelerdeki statik elastikiyet modülü değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır ($R^2=0,6425$; $R=0,802$).

Stres dalga yöntemi ile elde edilen değerler, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.26 ve Şekil 27'de görülmektedir.



Şekil 4.26: Stres Dalga Yöntemi Hız – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.26'da görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri ile yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında zayıf bir ilişki bulunmaktadır ($R^2=0,1729$; $R=0,416$).

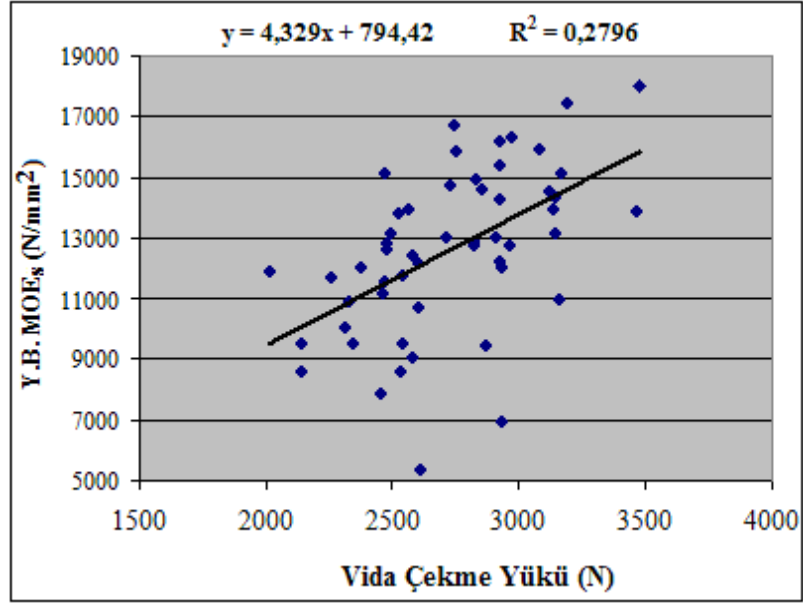


Şekil 4.27: Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunmaktadır ($R^2=0,3736$; $R=0,611$).

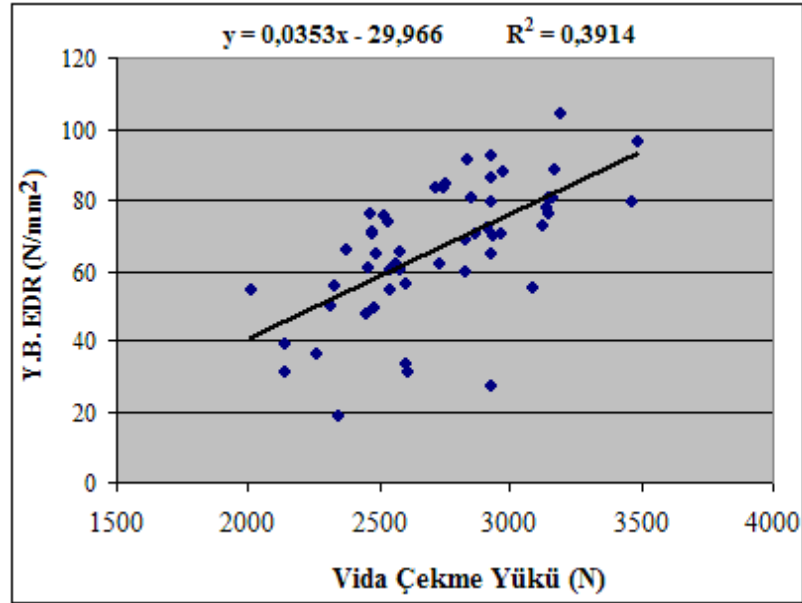
4.4.4.3. Vida Çekme Yöntemi ve Yapısal Boyuttaki Numunelerde Tahribatlı Yöntemleri Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Vida çekme yöntemiyle elde edilen yük değerleri, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da görülmektedir.



Şekil 4.28: Vida Çekme Yöntemi – Yapısal Boyuttaki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.28’de görüldüğü gibi, vida çekme yönteminden elde edilen yük değerleri, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,2796$; $R=0,529$).



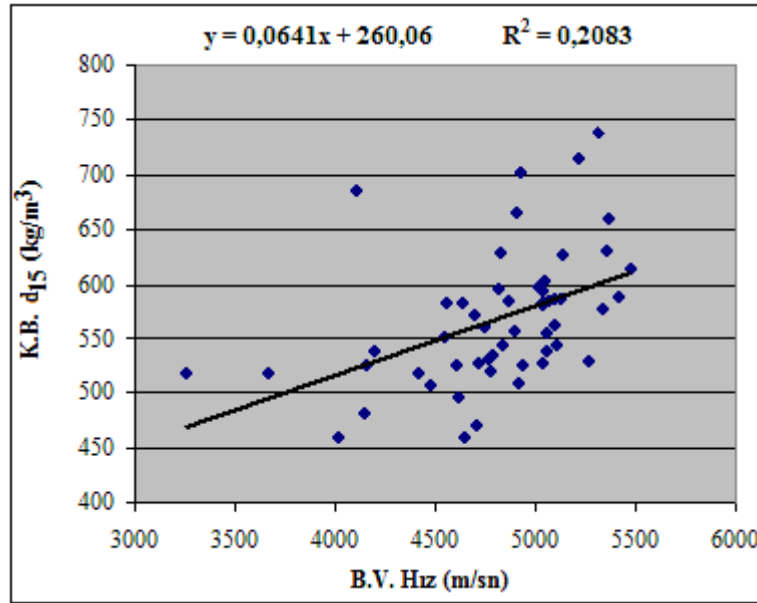
Şekil 4.29: Vida Çekme Yöntemi – Yapısal Boyuttaki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi vida çekme yönteminden elde edilen yük değerleri ile yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,3914$; $R=0,626$).

4.4.4.4. Boyuna Vibrasyon Yöntemi ve Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Ölçümler Arasındaki İlişkiler

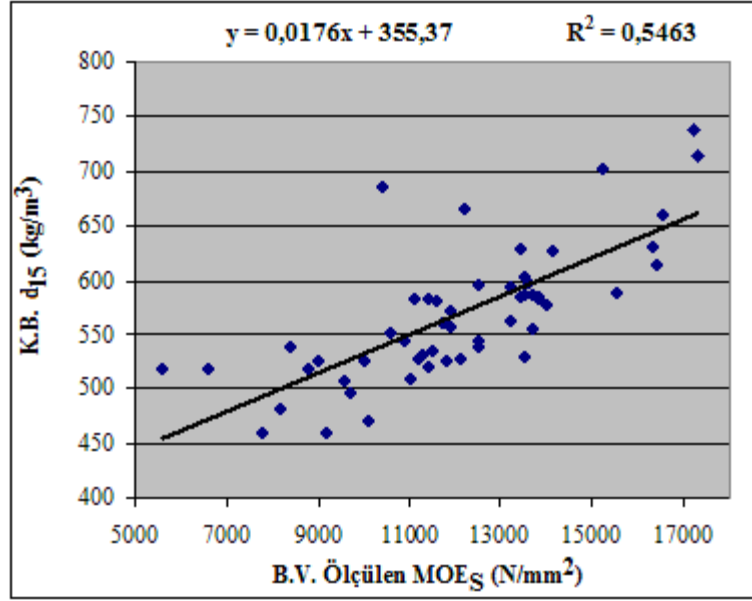
Boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen akustik dalga hızı, ölçülen ve hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri, küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri, statik elastikiyet modülü, eğilme direnci ve basınç direnci değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen değerler, küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 30, Şekil 31 ve Şekil 32’de görülmektedir.



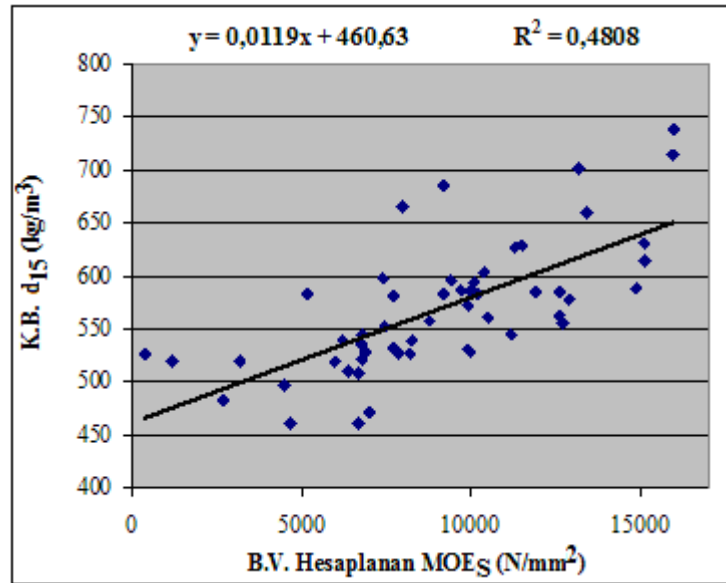
Şekil 4.30: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.30’da görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri arasında zayıf bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,2083$; $R=0,456$).



Şekil 4.31: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

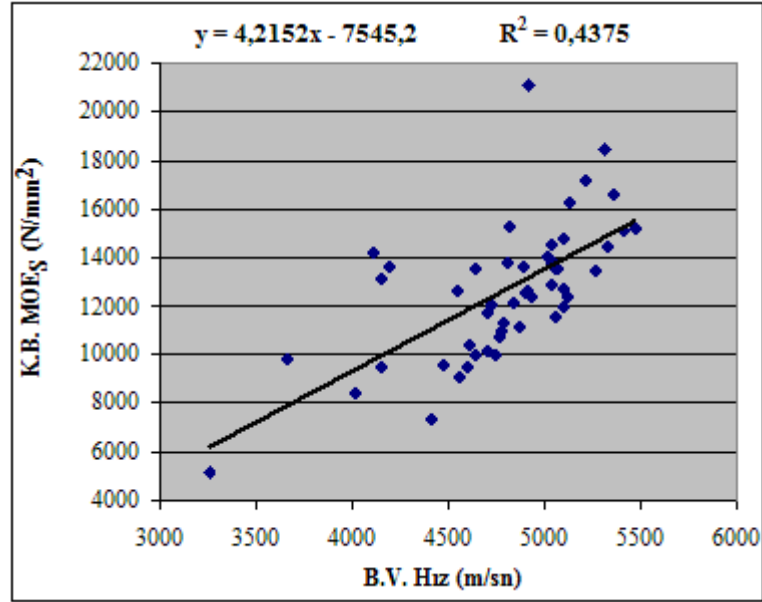
Şekil 4.31’de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülü değerleri, küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5463$; $R=0,739$).



Şekil 4.32: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

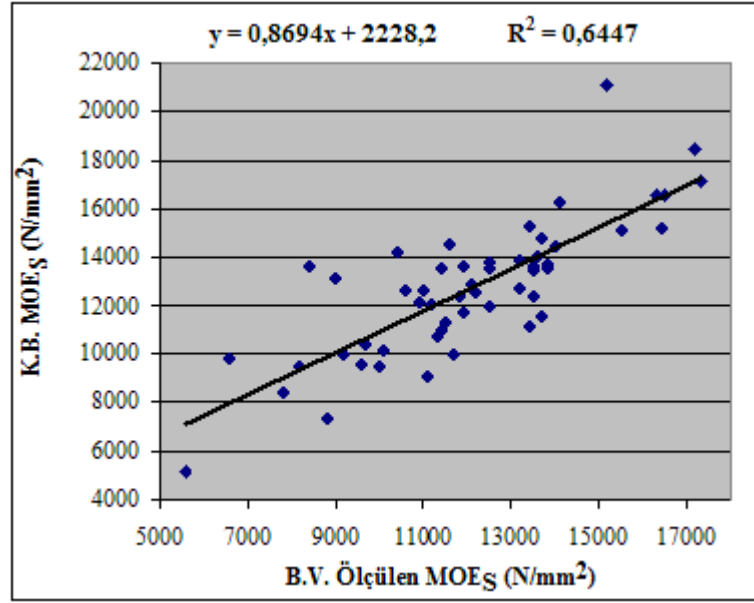
Şekil 4.32’de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kurusu yoğunluk değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,4808$; $R=0,693$).

Boyuna vibrasyon yöntemi ile elde edilen değerler, küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen statik elastikiyet modülü değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.33, 4.34 ve 4.35’te görülmektedir.



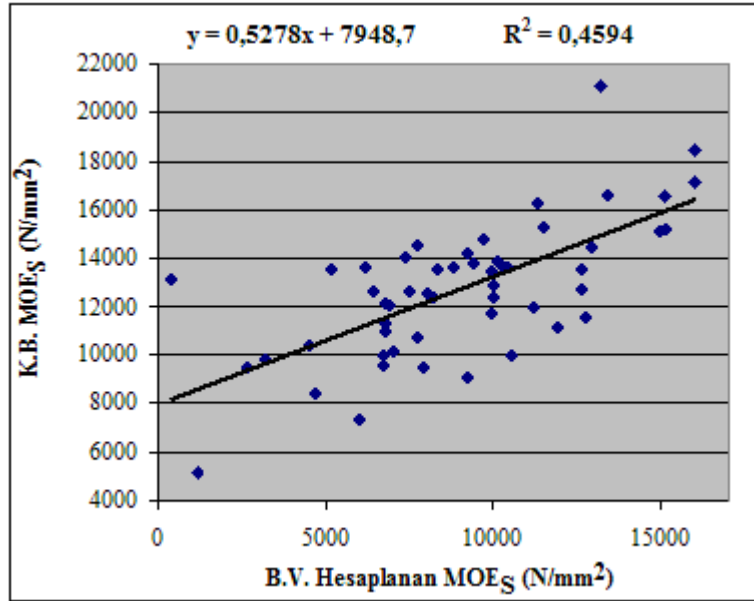
Şekil 4.33: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.33’te görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,4375$; $R=0,661$).



Şekil 4.34: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması Regresyon Analizi

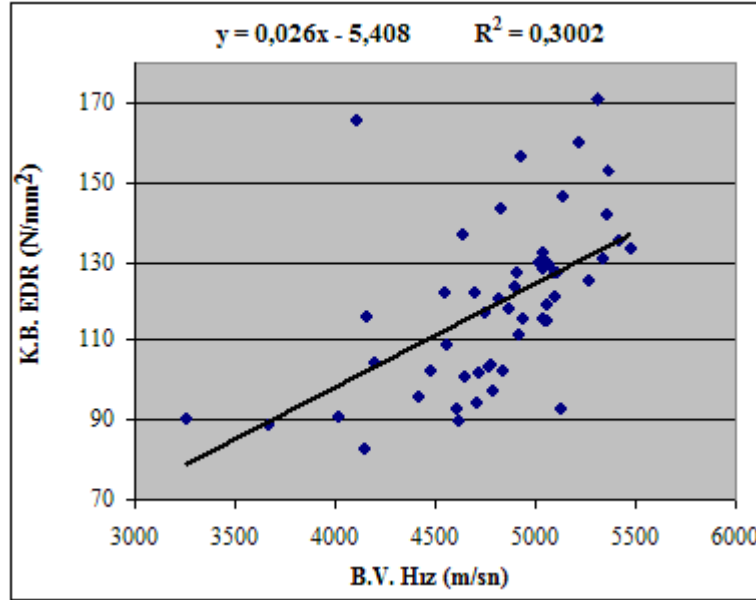
Şekil 4.34'te görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,6447$; $R=0,803$).



Şekil 4.35: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

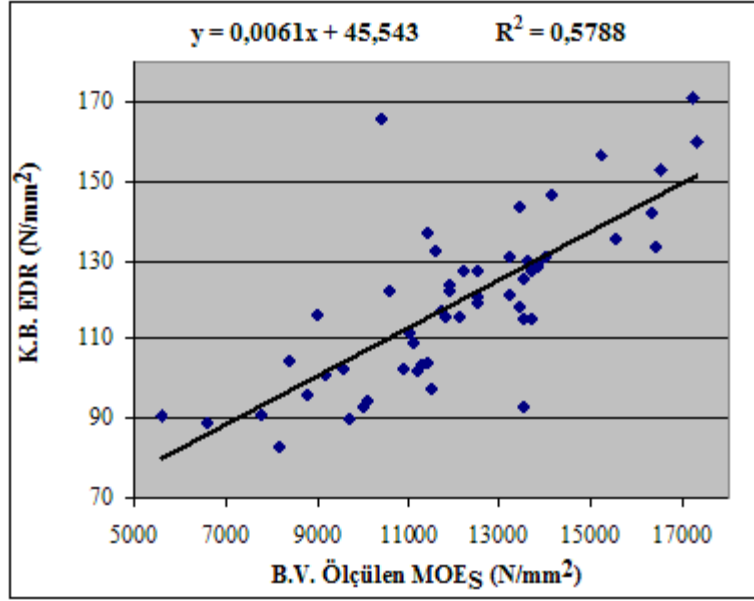
Şekil 4.35'te görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hesaplanan statik elastikiyet modülü değeri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2= 0,4594$; $R=0,677$).

Boyuna vibrasyon metodu ile elde edilen değerler ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.36, Şekil 37 ve Şekil 38'de görülmektedir.



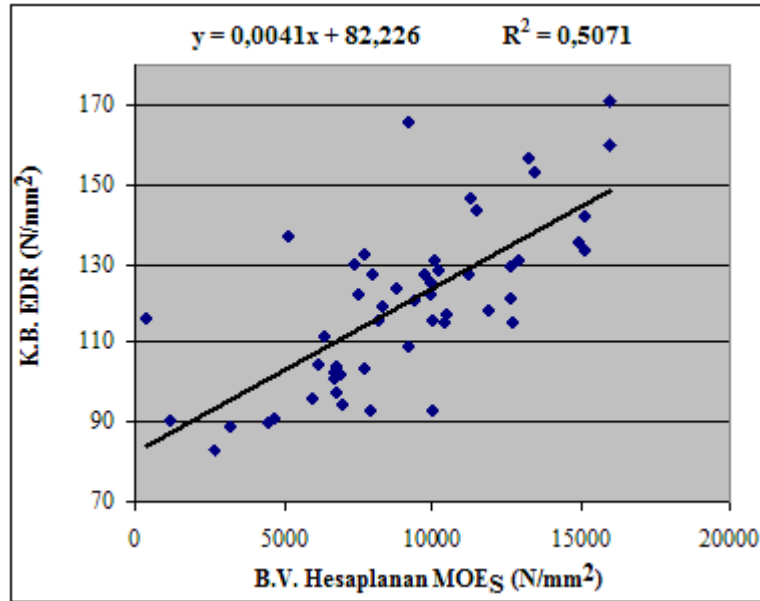
Şekil 4.36: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.36'da görüldüğü gibi boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,3002$; $R=0,548$).



Şekil 4.37: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

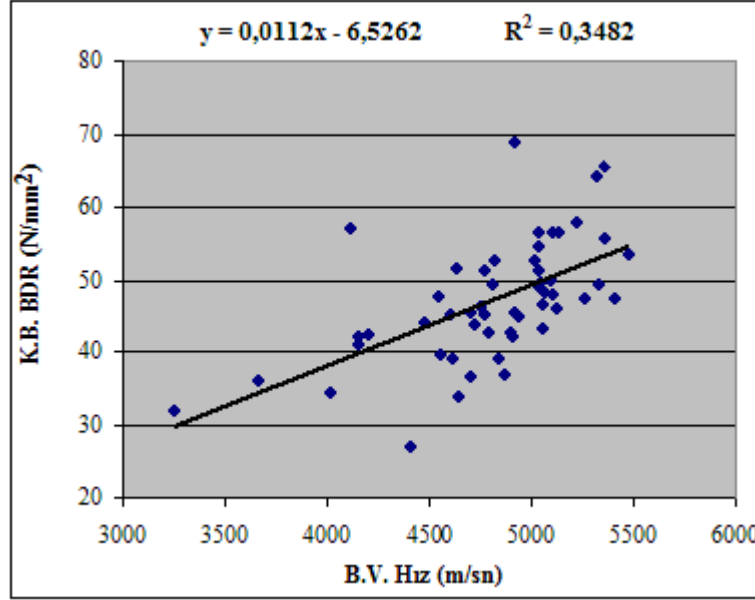
Şekil 4.37’de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülü değerleri, küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5788$; $R=0,761$).



Şekil 4.38: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

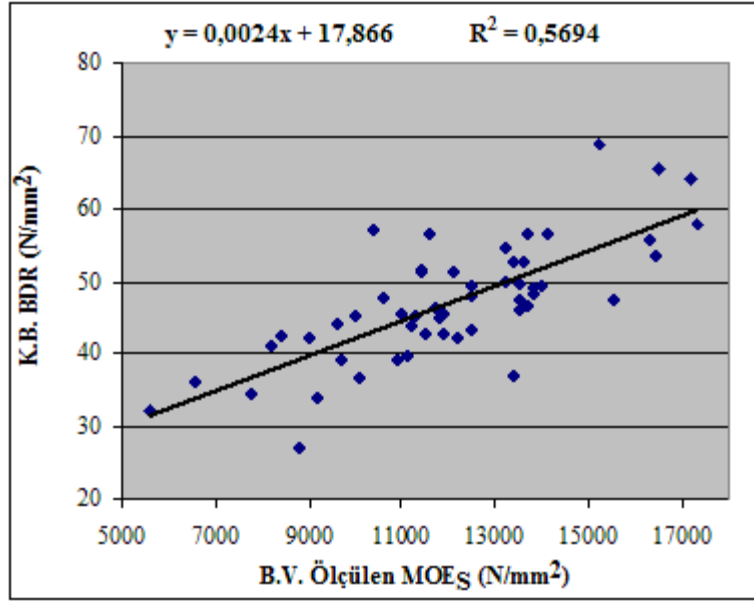
Şekil 4.38’de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5071$; $R=0,712$).

Boyuna vibrasyon metodu ile elde edilen değerler, küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen basınç direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’de görülmektedir.



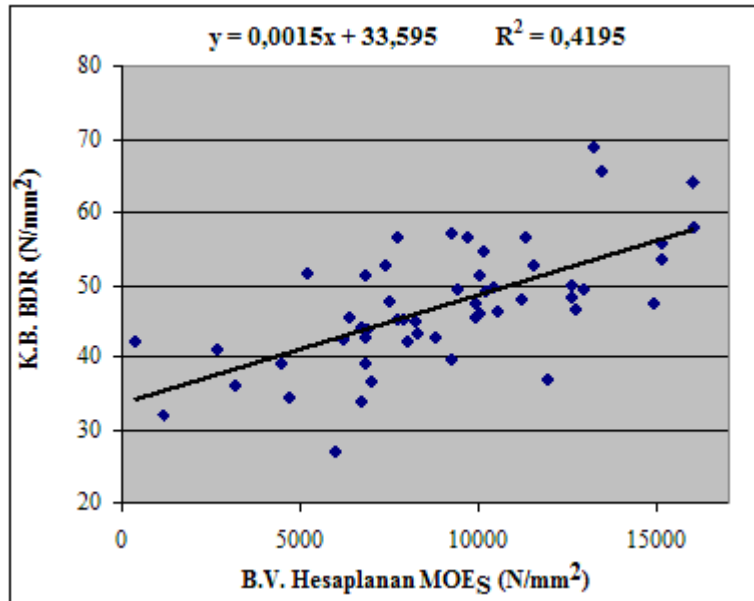
Şekil 4.39: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.39’da görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen basınç direnci değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,3482$; $R=0,590$).



Şekil 4.40: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.40'ta görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen basınç direnci değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5694$; $R=0,745$).



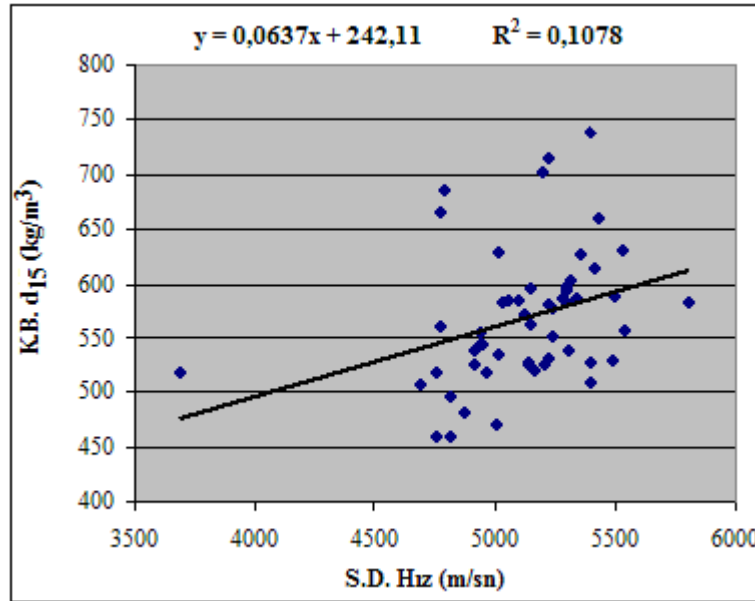
Şekil 4.41: Boyuna Vibrasyon Yöntemi Hesaplanan Statik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.41’de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen basınç direnci değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,4195$; $R=0,648$).

4.4.4.5. Stres Dalga Yöntemi – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Ölçümler Arasındaki İlişkiler

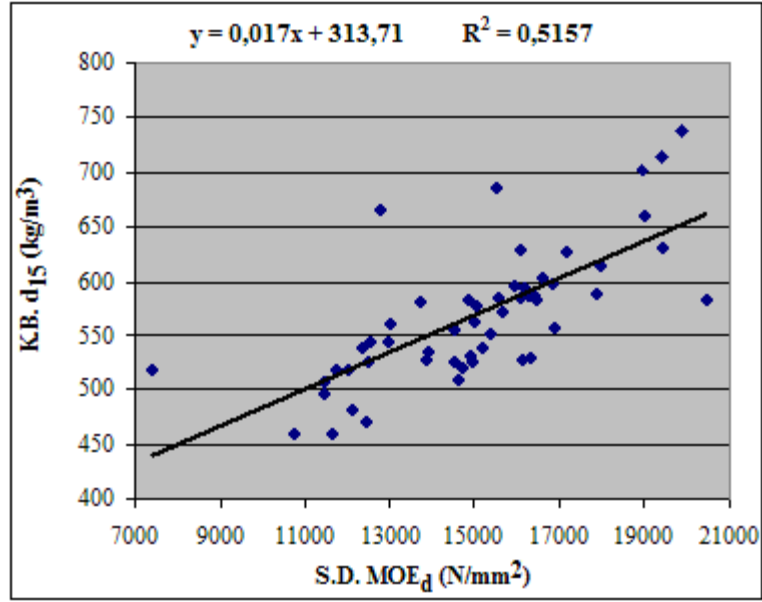
Stres dalga yöntemi ile elde edilen akustik dalga hızı, dinamik elastikiyet modülü değerleri, küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri, statik elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Stres dalga metodu ile elde edilen değerler ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sırasıyla Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’te görülmektedir.



Şekil 4.42: Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

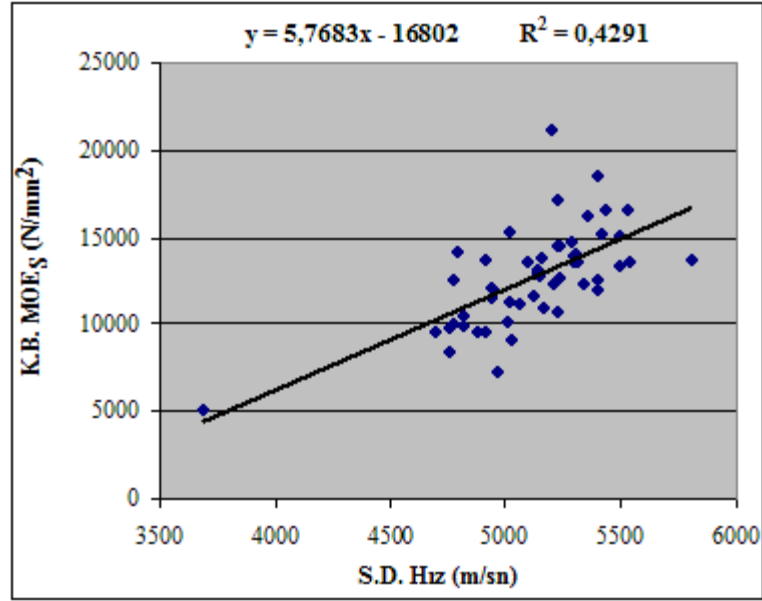
Şekil 4.42’de görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri arasında zayıf bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,1078$; $R=0,328$).



Şekil 4.43: Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

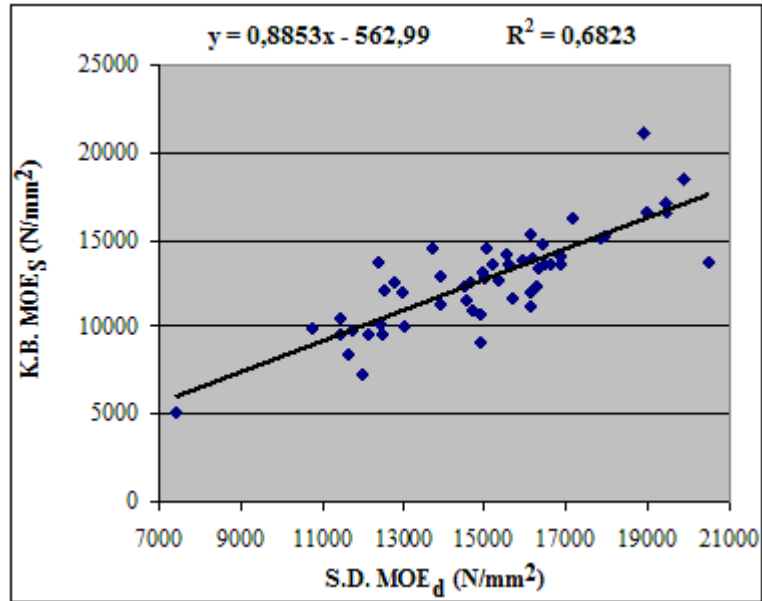
Şekil 4.43'te görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5157$; $R=0,718$).

Stres dalga metodu ile elde edilen değerler ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen statik elastikiyet modülü değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te görülmektedir.



Şekil 4.44: Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

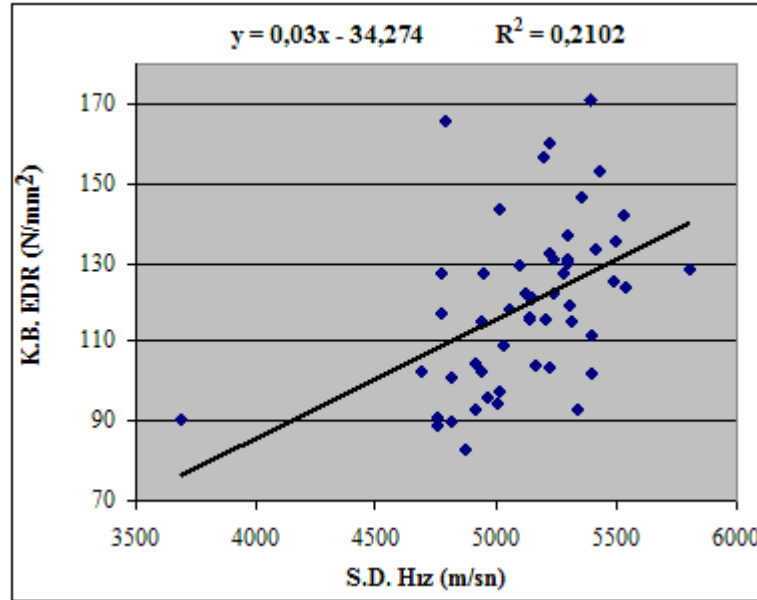
Şekil 4.44'te görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,4291$; $R=0,655$).



Şekil 4.45: Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

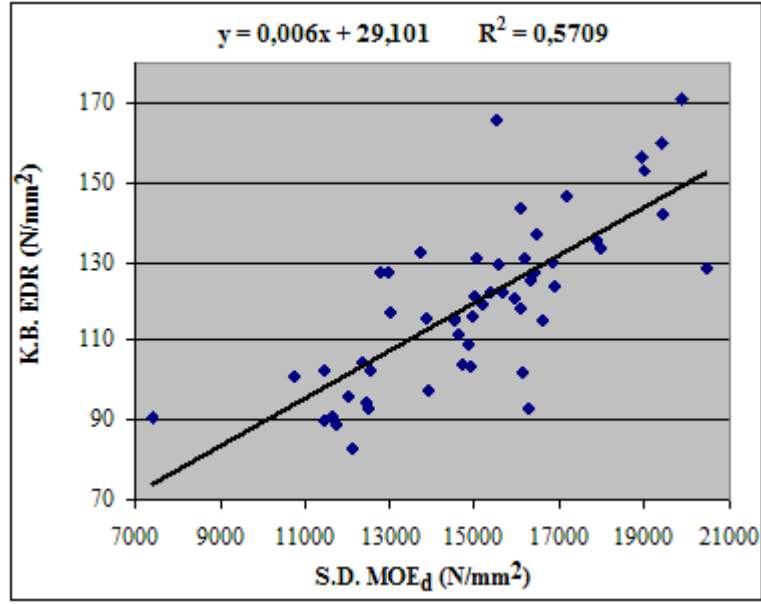
Şekil 4.45'te görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,6823$; $R=0,826$).

Stres dalga metodu ile elde edilen değerler ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de görülmektedir.



Şekil 4.46: Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

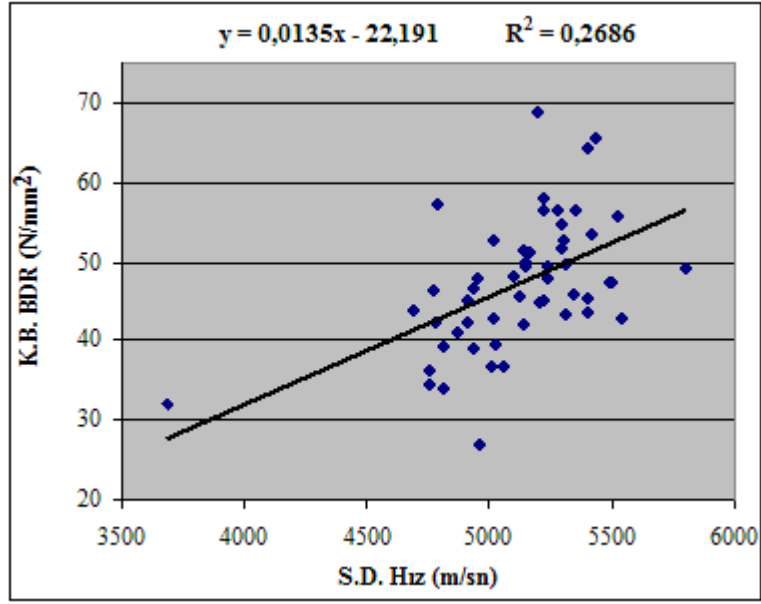
Şekil 4.46'da görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında zayıf bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,2102$; $R=0,458$).



Şekil 4.47: Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

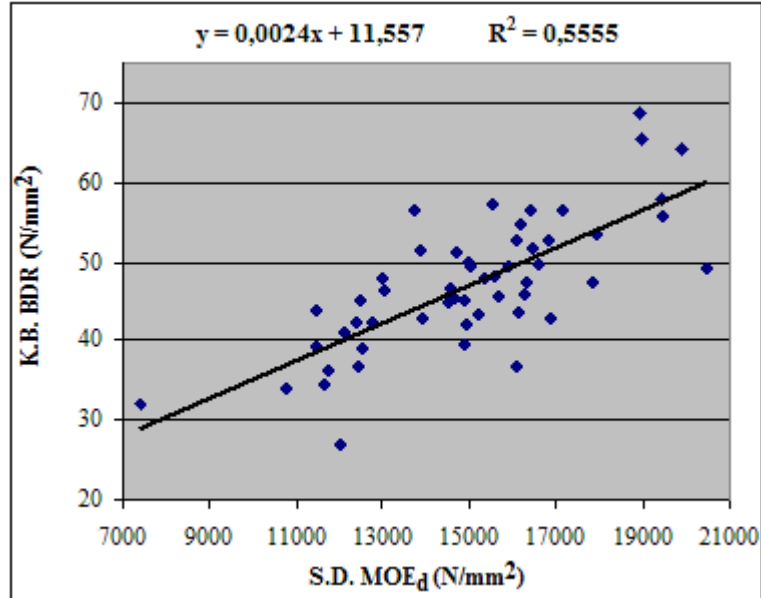
Şekil 4.47’de görüldüğü gibi, stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5709$; $R=0,756$).

Stres dalga metodu ile elde edilen değerler ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen basınç direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.48 ve Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.48: Stres Dalga Yöntemi Hız – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.48’de stres dalga yönteminden elde edilen hız değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen basınç direnci değerleri arasında orta derecede güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0.2686$; $R=0,518$).

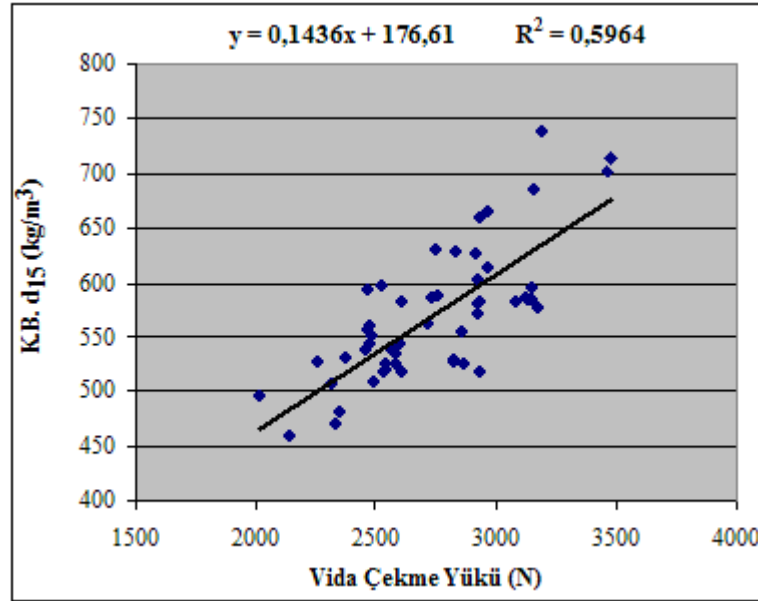


Şekil 4.49: Stres Dalga Yöntemi Dinamik Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci Değerleri Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.49’da görüldüğü gibi stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutta ve kusursuz numunelerden elde edilen basınç direnci değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5555$; $R=0,745$).

4.4.4.6. Vida Çekme Yöntemi – Küçük Boyutta ve Kusursuz Numunelerdeki Yoğunluk Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Vida çekme yöntemi ile elde edilen değerler, küçük boyutlu kusursuz numunelerden elde edilen hava kuru yoğunluk değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar Şekil 4.50’de görülmektedir.



Şekil 4.50: Vida Çekme Yüğü – Küçük Boyutlu Kusursuz Numunelerdeki Hava Kuru Yoğunluk Karşılaştırması

Şekil 4.50’de görüldüğü gibi, boyuna vibrasyonda elde edilen hız değerleri ile yapısal boyuttaki statik elastikiyet modülü değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5964$; $R=0,772$).

4.4.5. Yapısal Boyutta ve Küçük Boyutlu - Kusursuz Numunelerde Yapılan Tahribatlı Değerlendirme Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

4.4.5.1. Yapısal Boyutta ve Küçük Boyutlu Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Elastikiyet Modülü Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Yapısal boyuttaki numunelerde elde edilen elastikiyet modülü değerleri, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Öncelikle iki farklı boyutta elde edilen elastikiyet modülü değerlerinin arasında fark olup olmadığının araştırılması için, ortalamalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 4.31’de yapılan ölçümler ile elde edilen elastikiyet modülü ortalamaları görülmektedir.

Tablo 4.31 : Büyük Boyutlu ve Küçük Boyutlu Örneklerde Yapılan Statik Elastikiyet Modülü Ölçümleri Ortalamaları

Y.B. – K.B. Elastikiyet Modülü Karşılaştırması	Ortalamalar	Standart Sapma
Y.B. MOE _s (N/mm ²)	12591,64	2700,60
K.B. MOE _s (N/mm ²)	12715,24	2784,86

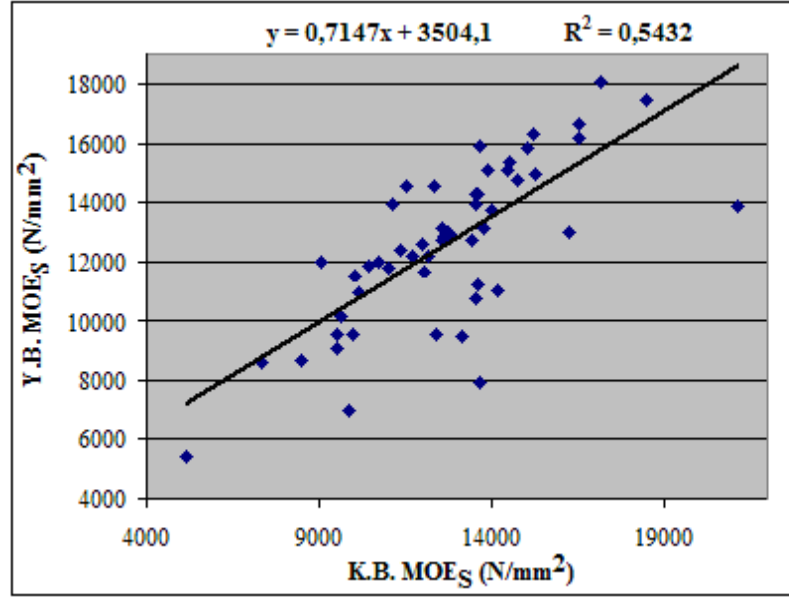
Tablo 4.31’de görüldüğü gibi, ortalamalar yaklaşık 120 N/mm² farklı çıkmıştır. Ortalamalardaki bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının tespit edilmesi için yapılan t-Testi sonuçları Tablo 4.32’de görülmektedir.

Tablo 4.32 : Büyük Boyutlu ve Küçük Boyutlu Örneklerde Yapılan Statik Elastikiyet Modülü Ölçümleri t-Testi Analizi

Y.B. - K.B. Elastikiyet Modülü Karşılaştırması	Ortalama	Standart Sapma	t	Anlamlılık (2-kuyruklu)
t-Testi	123,60	1990,75	0,452	0,653

Tablo 4.32’de yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değeri ile küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değeri arasındaki farkın %95 güven düzeyinde anlamlı olmadığı görülmektedir. Sonuç olarak yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değeri ile küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değeri birbirine benzerdir.

Farklılık çıkmayan bu iki toplumun değerlerinin aralarındaki ilişkinin incelenmesi için karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar Şekil 4.51’de görülmektedir.

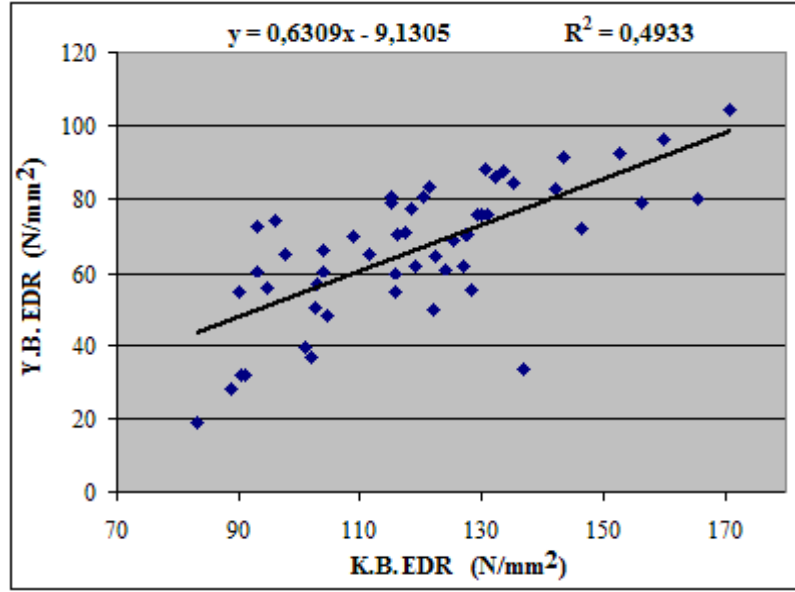


Şekil 4.51 Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Elastikiyet Modülü – Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.51’de görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerlerinin, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5432$; $R=0,737$).

4.4.5.2. Yapısal Boyutta ve Küçük Boyutlu - Kusursuz Numunelerde Tahribatlı Yöntemlerle Yapılan Eğilme Direnci Ölçümleri Arasındaki İlişkiler

Yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar Şekil 52’de görülmektedir.

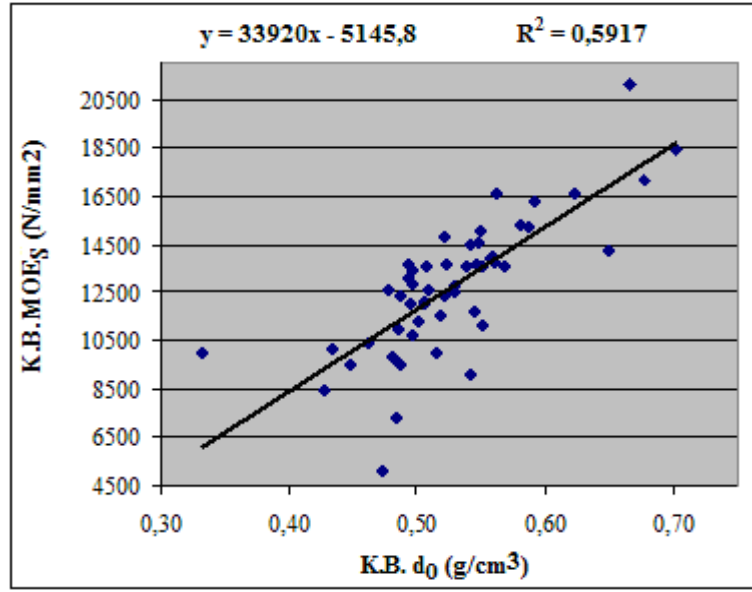


Şekil 4.52: Yapısal Boyuttaki - Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerden Elde Edilen Eğilme Direnci Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.52’de görüldüğü gibi, yapısal boyuttaki numunelerde elde edilen eğilme direnci değerleri ile küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen eğilme direnci değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,4933$; $R=0,702$).

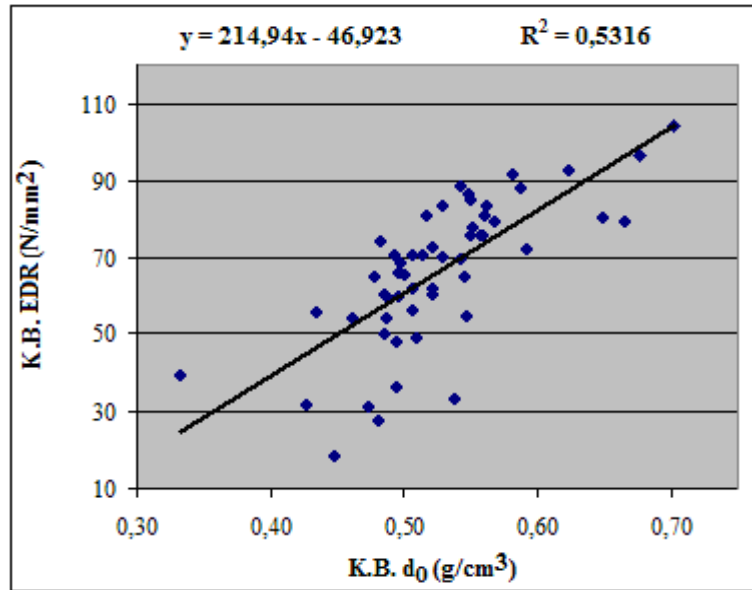
4.4.6. Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerden Elde Edilen Mekanik Değerlerin Yoğunluk Değerleriyle İlişkisi

Küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde elde edilen elastikiyet modülü, eğilme direnci ve basınç direnci değerleri, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen tam kuru yoğunluk değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla regresyon analizi kullanılmış olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.53, Şekil 4.54 ve Şekil 4.55’te görülmektedir.



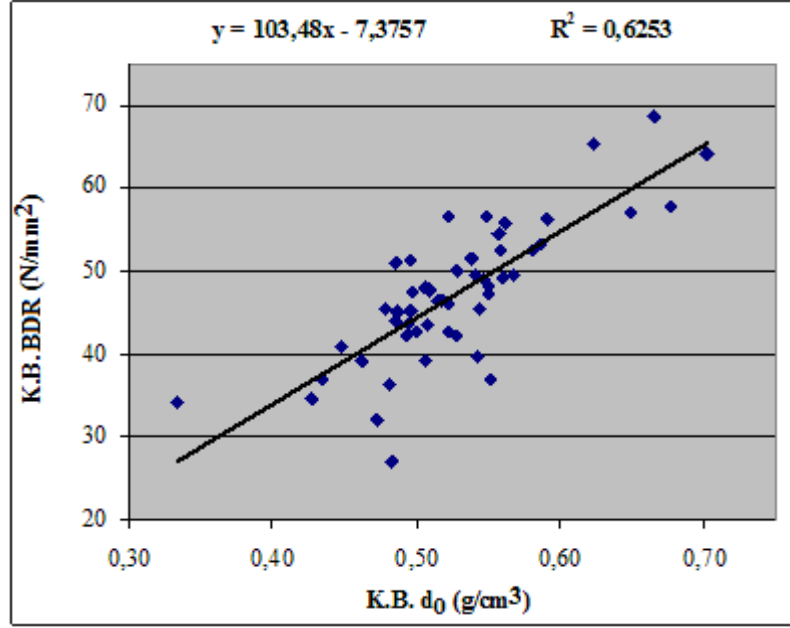
Şekil 4.53: Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Elastikiyet Modülü – Tam Kuru Yoğunluk Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.53'te görüldüğü gibi, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde elde edilen elastikiyet modülü değerleri ile yine küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen tam kuru yoğunluk değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5917$; $R=0,769$).



Şekil 4.54: Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Eğilme Direnci – Tam Kuru Yoğunluk Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.54'te görüldüğü gibi, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde elde edilen eğilme direnci değerleri ile yine küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen tam kuru yoğunluk değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,5316$; $R=0,729$).



Şekil 4.55: Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerdeki Basınç Direnci – Tam Kuru Yoğunluk Karşılaştırması Regresyon Analizi

Şekil 4.55'te görüldüğü gibi, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde elde edilen basınç direnci değerleri ile yine küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen tam kuru yoğunluk değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir ($R^2=0,6253$; $R=0,791$).

Bu bölüme kadar regresyon analizi kullanılarak yapılan karşılaştırmaların belirlilik katsayıları (R^2) Tablo 4.33'te toplanmıştır:

Tablo 4.33 : Kullanılan Test Yöntemleri Arasındaki İlişkiler

Karşılaştırma	R ² Değerleri	Karşılaştırma	R ² Değerleri
B.V. Hız - Y.B. MOE _S	0,7547	B.V. Hız - K.B. EDR	0,3002
B.V. MOE _d - Y.B. MOE _S	0,8588	B.V. Ölçülen MOE _S - K.B. EDR	0,5788
B.V. Ölçülen MOE _S - Y.B. MOE _S	0,8597	B.V. Hesaplanan MOE _S - K.B. EDR	0,5071
B.V. Hesaplanan MOE _S - Y.B. MOE _S	0,6839	B.V. Hız - K.B. Bas. Dir.	0,3482
B.V. Hız - Y.B. MOE _S	0,4793	B.V. Ölçülen MOE _S - BDR	0,5694
B.V. MOE _d - Y.B. EDR	0,6233	B.V. Hesaplanan MOE _S - BDR	0,4195
B.V. Ölçülen MOE _S - Y.B. EDR	0,6254	S.D. Hız - K.B. d ₁₅	0,1078
B.V. Hesaplanan MOE _S - Y.B. EDR	0,7109	S.D. MOE _d - K.B. d ₁₅	0,5157
S.D. Hız - Y.B. MOE _S	0,4629	S.D. Hız - K.B. MOE _S	0,4291
S.D. MOE _d - Y.B. MOE _S	0,6425	S.D. MOE _d - K.B. MOE _S	0,6823
S.D. Hız - Y.B. EDR	0,1729	S.D. Hız - K.B. EDR	0,2102
S.D. MOE _d - Y.B. EDR	0,3736	S.D. MOE _d - K.B. EDR	0,5709
Vida Çekme Yüğü - Y.B. MOE _S	0,2796	S.D. Hız - K.B. BDR	0,2686
Vida Çekme Yüğü - Y.B. EDR	0,3914	S.D. MOE _d - BDR	0,5555
B.V. Hız - K.B. d ₁₅	0,2083	Vida Çekme Yüğü - K. B. d ₁₅	0,5964
B.V. Ölçülen MOE _S - K.B. d ₁₅	0,5463	K.B. MOE _S - Y.B. MOE _S	0,5432
B.V. Hesaplanan MOE _S - K.B. d ₁₅	0,4808	K.B. EDR - Y.B. EDR	0,4933
B.V. Hız - K.B. MOE _S	0,4375	K.B. d ₀ - K.B. MOE _S	0,5917
B.V. Ölçülen MOE _S - K.B. MOE _S	0,6447	K.B. d ₀ - K.B. EDR	0,5316
B.V. Hesaplanan MOE _S - K.B. MOE _S	0,4594	K.B. d ₀ - K.B. BDR	0,6253

4.4.7. Tahribatsız Yöntemler ve Vida Çekme Yüğü İle Tahribatlı Yöntemler Arasındaki İlişkiler

Tahribatsız değerlendirme yöntemleri ile elde edilen hız ve dinamik elastikiyet modülü değerlerinin vida çekme yüğü ile birlikte kullanılarak statik direnç değerlerinin tespit edilip edilemeyeceğini belirlemek amacıyla çoklu karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle vida çekme yüğü değerleri ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız ve dinamik elastikiyet modülü değerleri bağımsız değişkenler olarak, yapısal buyotta elde edilen statik direnç değerleri ise bağımlı değişken olarak alınmış ve çoklu regresyon analizi yapılarak sonuçlar Tablo 4.34'te verilmiştir. Tabloda ayrıca her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle daha önceki bölümlerde tespit edilmiş olan münferit ilişkileri de karşılaştırma amaçlı olarak verilmiştir.

Tablo 4.34 : Vida Çekme Yöntemi - Boyuna Vibrasyon Yöntemi Birlikte Kullanımının Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Tahribatlı Testlerle İlişkisi

Çoklu Regresyon Analizi			Korelasyon Katsayısı (R)	Regresyon Denklemi
Y.B. MOE _s (N/mm ²)		Vida Çekme Yüğü (N)	0,529	$z = 4,329 x + 794,42$
		B.V. Hız (m/sn)	0,869	$z = 5,1879 x - 12778$
		B.V. MOE _d (N/mm ²)	0,927	$z = 0,8953 x + 853,57$
	B.V. Hız (m/sn)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,904	$z = 2,192 x + 4,811 y - 16507,914$
	B.V. MOE _d (N/mm ²)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,927	$z = -0,137 x + 0,905 y + 1103,455$
Y.B. EDR (N/mm ²)		Vida Çekme Yüğü (N)	0,626	$z = 0,0353 x - 29,966$
		B.V. Hız (m/sn)	0,692	$z = 0,0271 x - 69,156$
		B.V. MOE _d (N/mm ²)	0,790	$z = 0,0053 x - 2,6798$
	B.V. Hız (m/sn)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,809	$z = 0,025 x + 0,023 y - 113,376$
	B.V. MOE _d (N/mm ²)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,815	$z = 0,014 x + 0,004 y - 28,502$

Tablo 4.34'te görüldüğü gibi, boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen hız değerlerinin, vida çekme yüğü ile birlikte kullanılması, yapısal boyutta elde edilen statik dirençlerle olan korelasyonlarını arttırmıştır. Boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerlerinin, vida çekme yüğü ile birlikte kullanılması durumunda ise, sadece yapısal boyutta elde edilen eğilme direnciyle olan korelasyonu artmıştır. Bu sonuçlar ışığında vida çekme yükünün tahribatsız değerlendirme verileri ile birlikte kullanılmasının statik dirençlerin tahmin edilmesinde güvenilirliği artıracağı söylenebilir.

Benzer karşılaştırma vida çekme yüğü değerleri ve stres dalga yönteminden elde edilen değerler birlikte kullanılarak tekrar yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.35'te görülmektedir.

Tablo 4.35 : Vida Çekme Yöntemi – Stres Dalga Yöntemi Birlikte Kullanımının Yapısal Boyuttaki Numunelerdeki Tahribatlı Testlerle İlişkisi

Çoklu Regresyon Analizi			Korelasyon Katsayısı (R)	Regresyon Denklemi
Y.B. MOE _s (N/mm ²)		Vida Çekme Yüğü (N)	0,529	$z = 4,329 x + 794,42$
		S.D. Hız (m/sn)	0,680	$z = 5,8099 x - 17139$
		S.D. MOE _d (N/mm ²)	0,802	$z = 0,8331 x + 95,839$
	S.D. Hız (m/sn)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,772	$z = 3,096 x + 4,975 y - 21302,843$
	S.D. MOE _d (N/mm ²)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,805	$z = 0,752 x + 0,777 y - 1116,951$
Y.B. EDR (N/mm ²)		Vida Çekme Yüğü (N)	0,626	$z = 0,0353 x - 29,966$
		S.D. Hız (m/sn)	0,416	$z = 0,0245 x - 58,999$
		S.D. MOE _d (N/mm ²)	0,611	$z = 0,0044 x + 0,5754$
	S.D. Hız (m/sn)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,679	$z = 0,031 x + 0,016 y - 101,15$
	S.D. MOE _d (N/mm ²)	Vida Çekme Yüğü (N)	0,695	$z = 0,023 x + 0,003 y - 36,538$

Tablo 4.35'te görüldüğü gibi, stres dalga yöntemiyle elde edilen hız değerlerinin, vida çekme yüğü ile birlikte kullanılması, yapısal boyutta elde edilen statik dirençlerle olan korelasyonlarını arttırmıştır. Stres dalga yöntemiyle elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerlerinin, vida çekme yüğü ile birlikte kullanılması durumunda ise, sadece yapısal boyutta elde edilen eğilme direnciyle olan korelasyonu artmıştır. Bu sonuçlar boyuna vibrasyon ve vida çekme yükünün birlikte kullanılması durumu ile paralel bulunmuştur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. GÖRSEL SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ

Yapı kerestelerinin görsel olarak sınıflandırılabilmesi için kullanılan dört ayrı görsel sınıflandırma standardı, farklı ülke ve kuruluş standartları olduğu için kendi içerisinde farklılıklar göstermektedir ve bu sebeple araştırmacılara karşılaştırma olanağı sunmaktadır. Örneğin bu çalışmada kullanılan iki standart yapı kerestelerini üç kalite sınıfına ayırırken, diğer iki standart, iki kalite sınıfına ayırmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan kerestelerin, yine bu çalışmada kullanılan dört farklı görsel sınıflandırma standardının değerlendirilmesinin yapıldığı Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, TS 1265 standardı kerestelerin %38’ini en iyi kalite sınıfında değerlendirmiştir. Bu oran DIN 4074 standardına göre yapılan sınıflandırmada %7,5’e düşmekteyken, BS 4978 standardında %24,5’e çıkmaktadır. Genel olarak bakıldığında, görsel kalite sınıflandırması bakımından en esnek kuralların TS 1265 standardında bulunduğu söylenebilir. Bu durum Tablo 5.1’de en kötü sınıflar için verilen temel kriterler arasında yapılan karşılaştırmada da açıkça görülmektedir.

Tablo 5.1 : Görsel Sınıflandırma Standartlarının En Kötü Sınıf Kriterlerinin Karşılaştırılması

Görsel Sınıflandırma Standardı	En kötü Sınıfı	Budak	Lif Kıvrıklığı	Yıllık Halka Genişliği	Çatlaklar	Sulama
TS 1265	3. Sınıf	Genişliğin 2 katının en fazla 1/2’si	En fazla %30	Özellik aranmıyor.	Özellik aranmıyor.	Şeritlenmiş olacak
DIN 4074	S7 (3. Sınıf)	Genişliğin en fazla 3/5’i	En fazla %20	Özellik aranmıyor.	Özellik aranmıyor.	Şeritlenmiş olacak
BS 4978	GS (2. Sınıf)	Genişliğin en fazla 1/2’si	En fazla %20	En fazla 6 mm	En fazla 1m	En kesitin en fazla 2/3’ü
TS EN 14081	C18 altı (2. Sınıf)	Genişliğin en fazla 1/2’si	En fazla %17	En fazla 15 mm	En fazla 1m	En kesitin en fazla 1/3’ü

Bu veriler ışığında, kullanılan farklı standartların görsel kalite sınıfları arasında iyi bir uyum olduğu söylenemez.

5.2. BOYUNA VİBRASYON YÖNTEMİ

Boyuna vibrasyon yönteminde vibrasyon frekansı üzerinden elde edilen akustik dalga (ses) hızı değeri bütün kerestelerin ortalaması 4806 m/sn olarak bulunmuştur. Ortalama dinamik elastikiyet modülü ise 13111 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Fakopp tarafından geliştirilen ve boyuna vibrasyon yolu ile keresteleri direnç sınıflarına ayıran portatif sınıflandırma cihazının yazılımında hız ve yoğunluk üzerinden hesaplanan dinamik elastikiyet modülü belli bir katsayı ile çarpılarak statik elastikiyet modülüne dönüştürülmekte ve bu değer ölçülen statik elastikiyet modülü olarak adlandırılmaktadır. Bu şekilde hesaplanmış olan statik elastikiyet modülü ortalama değeri 12062 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Aynı yazılım ölçülen statik elastikiyet modülü değerini, kerestede ki budakların değerlendirilmesiyle tespit edilen yoğunlaştırılmış budak çapı oranı (CKDR) değerini dikkate alarak yeni bir statik elastikiyet modülü değerine dönüştürmekte (hesaplanan statik elastikiyet modülü) ve direnç sınıflandırmasına bu değer üzerinden yapmaktadır. Bu değer bütün keresteler için ortalaması 9030 N/mm^2 olarak bulunmuştur. As ve Dünder (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada yerli karaçam keresteleri için hız değerleri hava kurusu malzemede (%12) 3914-5525 m/sn aralığında bulunmuş olup bu çalışmada boyuna vibrasyonda hız değerleri (%15 rutubette) 3256-5474 m/sn aralığında tespit edilmiştir. Bu çalışmada bulunan değerlerin az da olsa düşük çıkmış olması keresteler arasındaki rutubet farkından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla tespit edilen hız değerlerinin literatürde verilen değerlerle uyumlu olduğu söylenebilir.

Iniguez ve diğ. (1994) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, ortalama 534 kg/m^3 yoğunlukta olan Karaçam (*Pinus nigra ssp. salzmannii*) örneklerinde boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen akustik dalga hızı ortalama 4173 m/sn olarak bulunmuştur. Ancak bu çalışmada ortalama $568,6 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan yine Karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) örneklerinde boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen dalga hızı ortalama 4806 m/sn olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen hız değerlerinin daha yüksek çıkmasında, diğer çalışmada, Karaçam'ın farklı bir alt türünün kullanılması ve buna bağlı olarak değişen genetik faktörlerin etkili olduğu söylenebilir. Çünkü diğer çalışmanın yapıldığı İspanya'da Karaçam'ın yayılım gösteren başka bir alt türü (Yaltırık, 1993) kullanılmıştır.

Boyuna vibrasyon yöntemi ile oluşturulan direnç sınıfları incelendiğinde kerestelerin %30 gibi önemli bir kısmının “Değerlendirme Dışı” olarak değerlendirildiği görülmektedir (Şekil 4.2). Bir başka ifadeyle boyuna vibrasyon esaslı Fakopp portatif kereste sınıflandırma cihazı, kerestelerin %30’unun yapı kerestesi olarak kullanıma uygun olmadığını öngörmektedir. Kerestelerin %10 gibi oldukça az bir kısmı “C40” ve üzeri yüksek direnç sınıflarında değerlendirilirken, büyük bir çoğunluk “C24” ve altı direnç sınıflarında değerlendirilmiştir.

Fakopp tarafından geliştirilen kereste sınıflandırma cihazında sınıflandırmaya temel alınan elastikiyet modülü değeri CKDR değerinin hesaba katılmasıyla hesaplanan bir değerdir. CKDR değeri hesaba katılmadan yapılan sınıflandırma sonuçları Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Bu grafikte görüleceği üzere, mevcut diğer sınıflandırmanın aksine, CKDR değeri hesaba katılmadan yapılan sınıflandırmada kerestelerin sadece %4 gibi küçük bir kısmının “Değerlendirme Dışı” olarak değerlendirildiği görülmektedir. CKDR değeri kullanılmadan oluşturulan direnç sınıflandırmasında görülen bir başka durum ise, kerestelerin yaklaşık %64 gibi bir oldukça büyük bir kısmının “C20 – C35” direnç sınıfları arasında değerlendirilmiş olmasıdır. CKDR değeri hesaba katılarak elde edilen sınıflandırma incelendiğinde, bu oranın yaklaşık %35’te kaldığı görülmektedir.

5.3. STRES DALGA

Bir diğer tahribatsız değerlendirme yöntemi olan stres dalga değerlendirme yöntemi ile tespit edilen hız değeri, bütün kerestelerin ortalaması alındığında 5117 m/s olarak bulunmuştur. Dinamik elastikiyet modülü ise ortalama 15000 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Stres dalga yöntemi ile elde edilen dinamik elastikiyet modülü boyuna vibrasyon yönteminde kullanılan aynı yöntem ile statik elastikiyet modülüne dönüştürülmüş ve ortalama 13800 N/mm² olarak bulunmuştur. Yine boyuna vibrasyon yöntemi ile aynı şekilde CKDR değerleri dikkate alınarak hesaplanan statik elastikiyet modülü değeri ortalaması ise 10904 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere stres dalga yönteminde gerek hız gerekse dinamik elastikiyet modülü değeri boyuna vibrasyon yönteminden yüksek bulunmuştur. Stres dalga yönteminde başlangıç sensöründe oluşturulan ses dalgası, bitiş sensörüne en hızlı ilerlediği hat üzerinden ulaşmaktadır. Dolayısıyla sensörler arasında ses dalgalarının en hızlı hareket edebildiği

(nispeten daha az kusur içeren), hat odun özellikleri bakımından kereste bütünü temsil etmediği düşünülmektedir. Boyuna vibrasyon yönteminde ise kereste içerisinde bir bütün olarak oluşan vibrasyonun frekansı tespit edilmektedir. Dolayısıyla bu şekilde tespit edilen hız ve elastikiyet modülü değerlerinin kereste özelliklerini daha iyi yansıttığı ve kerestenin sahip olduğu birtakım kusurlar nedeniyle nispeten daha düşük bulunduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada stres dalga yöntemi ile %15 rutubetteki karaçam keresteleri için 3690-5798 m/sn aralığında tespit edilen dalga hızı değerlerinin, As ve Dündar (2010) tarafından daha önce aynı ağaç türü için hava kurusu malzemede (%12) 3914-5525 m/s aralığında tespit edilen dalga hızı değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Stres dalga yöntemi de yapı kerestelerin direnç sınıflandırmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, bu yöntemden elde edilen değerlerin sınıflandırmada kullanılabilmesi için elde edilen değerler, boyuna vibrasyon yönteminde de kullanılan, dönüştürme katsayısı kullanılarak statik elastikiyet modüllerine dönüştürülmüştür. Elde edilen sınıflandırma Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Görüleceği üzere, kerestelerin %2 gibi ufak bir kısmının "Değerlendirme Dışı" olarak değerlendirildiği görülmekteyken, kerestelerin %47 gibi büyük bir kısmının da "C40 ve üzeri" gibi yüksek direnç sınıflarında değerlendirildiği görülmektedir.

Stres dalga yöntemi kullanılarak yapılan sınıflandırmada, boyuna vibrasyon yönteminde kullanılan ve budakların değerlendirildiği CKDR değeri dikkate alınarak da direnç sınıflandırılması yapılmıştır (Şekil 4.5). Görüleceği üzere, CKDR değeri dikkate alınmadan yapılan sınıflandırmaya benzer bir şekilde kerestelerin sadece %3 gibi ufak bir kısmının "Değerlendirme Dışı" olarak değerlendirildiği görülmektedir. CKDR değeri kullanılarak oluşturulan direnç sınıflandırmasında görülen bir başka durum ise, kerestelerin yaklaşık %8 gibi bir ufak bir kısmının "C20 – C35" direnç sınıfları arasında değerlendirildiği görülmektedir. Ancak CKDR değeri hesaba katılmadan elde edilen direnç sınıflandırması incelendiği takdirde, bu oranın sadece yaklaşık %47'ye çıktığı görülmektedir.

5.4. YAPISAL BOYUTTA KERESTELERDE YAPILAN TAHRİBATLI TESTLER

Yapısal boyutta kerestelerden TS 5497 EN 408 standardına göre tahribatlı olarak tespit edilen statik elastikiyet modülü değeri 12591 N/mm^2 ve eğilme direnci değeri 66.2 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Bozkurt ve Göker (1996) tarafından bu ağaç türüne ait küçük boyutlu ve kusursuz örneklerde eğilme direnci $109,6 \text{ N/mm}^2$, elastikiyet modülü ise $9037,6 \text{ N/mm}^2$ olarak verilmektedir. Küçük kusursuz örneklerde eğilme direnci değerinin, kusurları ve daha fazla heterojen yapıyı ihtiva eden yapısal boyuttaki kerestelerden daha yüksek bulunması doğaldır. Elastikiyet modülünde ise yapısal boyutta daha yüksek bir değer söz konusudur. Ağaç malzemedede eğilmede elastikiyet modülü, kerestelere elastik sınırı aşmayan yükler uygulandığında meydana gelen eğilme (sehim) miktarı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Elastik sınırı aşmayan yüklemeler sonucu oluşan eğilme miktarı (sehim) üzerine kerestenin sahip olduğu kusurların etkisi sınırlı olduğundan, yapısal boyuttaki kerestelerde bulunan elastikiyet modülü değeri, küçük kusursuz örnekler için literatürde belirtilen değerden düşük çıkmamıştır. Nitekim yapısal amaçlar için emniyet gerilmeleri söz konusu olduğunda da, eğilme direnci değerlerinde önemli azaltmalar yapılırken elastikiyet modülü değerlerinde azaltma yapılmamaktadır.

Kerestelerin kusur içermesinin yanında biçilmesinden, testlerin yapılmasına kadar geçen 2-3 senelik bekletme süresinin de eğilme direnci değerini azaltıcı yönde etki yapmış olabileceği düşünülmüştür. Ancak Tablo 4.6’da görüldüğü gibi, aynı kerestelerden hazırlanan küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde elde edilen eğilme direnci değerleri, literatürde verilen değere yakındır. Dolayısıyla bekletme süresine bağlı bir direnç kaybı meydana geldiği söylenemez.

Yapısal boyuttaki kerestelerden tahribatlı olarak elde edilen değerler kullanılarak, TS EN 338’e göre direnç sınıflandırılması yapılmıştır. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, elde edilen sınıflandırmada kerestelerin %4 gibi küçük bir kısmının “Değerlendirme Dışı” olarak değerlendirildiği görülmekteyken, kerestelerin %57 gibi büyük bir kısmının da “C27 ve üzeri” olarak değerlendirildiği görülmektedir.

5.5. GÖRSEL SINIFLANDIRMA İLE BOYUNA VİBRASYON VE STRES DALGA YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Görsel sınıflandırma standartlarına göre elde edilen kalite sınıfları arasında boyuna vibrasyon ve stres dalga yöntemlerinden elde edilen hız ve elastikiyet modülü değerleri bakımından farklılık bulunup bulunmadığının incelenmesi için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Yapılan varyans analizinde (Tablo 4.7) görüldüğü gibi, TS 1265 ve DIN 4074 standartlarında kalite sınıfları arasında boyuna vibrasyonda hız ve elastikiyet modülü değerleri, anlamlı bir farklılık göstermemiştir.

BS 4978 standardı incelendiği takdirde, boyuna vibrasyon yönteminde elde edilen hız ve elastikiyet modülü değerlerinin, standardın kalite sınıfları arasında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. TS EN 14081 standardında ise sadece elastikiyet modülü değerleri standardın kalite sınıfları arasında farklılık göstermektedir. Bu iki standartta tespit edilen bu farklılıkların hangi kalite sınıfları arasında olduğunun belirlenmesi için Duncan testleri (Tablo 4.8 ve Tablo 4.9) yapılmıştır. Görüleceği üzere, her iki standardın en iyi kalite sınıflarında, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen elastikiyet modülü değerlerinin, diğer kalite sınıflarından anlamlı bir şekilde yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Diğer kalite sınıflarında elastikiyet modülü değerleri arasındaki fark anlamlı değildir.

Görüleceği üzere, görsel kalite sınıfları ile boyna vibrasyon yöntemi ile tespit edilen elastikiyet modülü değerleri arasında en iyi uyum BS 4978 standardında elde edilmiştir. Bu standart keresteleri iki ana kalite sınıfına ayırmaktadır ve sınıf düşürme kriterlerinden budakların ölçülmesi yöntemi diğer standartlardan farklılık göstermektedir. Bu standartta budakların yalnızca yüzeylerde görünen kısımlarına göre değerlendirilmesi yerine kereste içerisindeki izdüşümlerinin de hesaba katılması öngörülmekte ve böylece daha etkili bir sınıflandırma sağlanmaktadır. İki ana kalite sınıfının bulunması da sınıflar arasındaki farklılığın belirginleşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde TS EN 14081 standardında da keresteler iki ana kalite sınıfına ayrılmaktadır.

Bunun dışında görsel sınıflandırma ile oluşturulan kalite sınıfları ile boyuna vibrasyon yönteminde elde edilen direnç sınıflarının karşılaştırılması yapılmıştır. DIN 4074 ve BS 4978 standartlarında, bu standartlarda bulunan kalite sınıflarının, TS EN 338 standardında karşılık gelen direnç sınıfları bulunduğu belirtilmektedir. Ayrıca Eurocode 5 yapı malzemeleri yönetmeliğine göre, TS EN 338'e göre sınıflandırılan kerestelerin, TS EN 14081 standardındaki gerekleri karşılaması gerektiği belirtilmektedir. Bundan dolayı bu üç görsel sınıflandırma standardında elde edilen her bir kalite sınıfı ve bu kalite sınıflarına karşılık gelen direnç sınıflarının hangi oranda uyum gösterdiği incelenmiştir (Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12). Görüleceği üzere, görsel kalite sınıflarının boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen direnç sınıfları ile çok iyi bir uyum sergilemediği (ortalama %60 uyum) tespit edilmiştir.

Stres dalga yöntemi ile elde edilen hız ve dinamik elastikiyet modülü değerlerinin her bir standart için görsel kalite sınıfları arasında anlamlı bir şekilde değişip değişmediğinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi de boyuna vibrasyon yöntemine benzer sonuçlar vermiştir. Burada da BS 4978 standardına göre oluşturulan en iyi kalite sınıfında elde edilen dinamik elastikiyet modülü değeri aynı standardın diğer sınıflarından anlamlı derecede yüksek iken değerlendirme dışı keresteler için aynı değerler de anlamlı derecede düşük bulunmuştur. TS EN 14081 standardında ise yalnızca en iyi kalite sınıfında dinamik elastikiyet modülü anlamlı derecede yüksektir. Beklenmedik şekilde değerlendirme dışı kerestelerin dinamik elastikiyet modülü de C18 altı kalite sınıfından yüksektir. Diğer standartların kalite sınıfları arasında ise stres dalga hız ve dinamik elastikiyet modülü değerleri bakımından anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Stres dalga yöntemi ile oluşturulan direnç sınıflarının görsel kalite sınıfları ile uyumları incelendiğinde görüleceği üzere, görsel sınıflandırma standartlarının en iyi sınıflarının stres dalga yönteminden elde edilen direnç sınıfları ile çok iyi bir uyum (%100 uyum) sergilediği tespit edilmiştir. TS EN 14081 standardı harici, standartların diğer kalite sınıflarında da benzer bir şekilde çok iyi bir uyum (ortalama %99 uyum) tespit edilmiştir. Bu durumun tam tersi TS EN 14081 standardının "C18 ve altı" kalite sınıfında ve tüm standartların "Değerlendirme Dışı" kalite sınıfında görülmektedir. Bu kalite sınıflarında, stres dalga yönteminden elde edilen direnç sınıfları ile çok kötü bir

uyum (ortalama %3) söz konusudur. Sonuç olarak stres dalga yöntemiyle, görsel sınıflandırma yöntemleri arasında en iyi kalite sınıfları dışında paralellik olmadığı söylenebilir.

5.6. GÖRSEL SINIFLANDIRMA VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Tablo 4.18’de görüleceği üzere, BS 4978 ve TS EN 14081 standartlarına göre oluşturulan görsel kalite sınıflarının ortalama statik elastikiyet modülü değerleri arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Her iki standart için de en iyi kalite sınıfının ortalama statik elastikiyet modülü değeri daha alt kalite sınıflarından anlamlı derecede yüksektir. TS 1265 ve DIN 4074 standartları için ise statik elastikiyet modülünde anlamlı bir değişim tespit edilmemiştir. Eğilme direnci bütün görsel sınıflandırma standartlarında kalite sınıfları arasında anlamlı bir şekilde değişmiştir. Özellikle BS 4978 standardına göre görsel kalite sınıfı iyileştikçe eğilme direnci de anlamlı bir şekilde artmıştır. Diğer standartlar için ise en iyi kalite sınıfında dirençte anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Dolayısıyla yapı kerestelerinde görsel olarak oluşturulan kalite sınıflarının BS 4978 standardında iyi bir şekilde mekanik performansı da yansıttığı görülmektedir. Burada belirleyici olan faktör standartlar arasında sınıf düşürme kriterleri arasında farklılıklar bulunmasıdır.

Görsel sınıflandırma standartları birçok görsel parametreyi incelemesine karşın, en önemli kriter budaktır. Budaklar ise ölçülen görsel parametreler içerisinde aşağıdaki üç faktör nedeniyle direnç değerlerini ciddi bir şekilde etkileyen önemli bir faktördür (As ve diğ, 2008):

- Budakların çevresinden geçen liflerin yönünün gövde boyuna ekseninden ayrılması,
- Budak odununun kendi liflerinin gövde odununun liflerine dik ya da belirli bir açıda bulunması,
- Kuruma sonucunda budak odununun fazla miktarda daralarak çatlaması.

Bu sebeple yapı kerestelerinde görsel sınıflandırma yapılırken budakların değerlendirilmesi kritik bir öneme sahiptir.

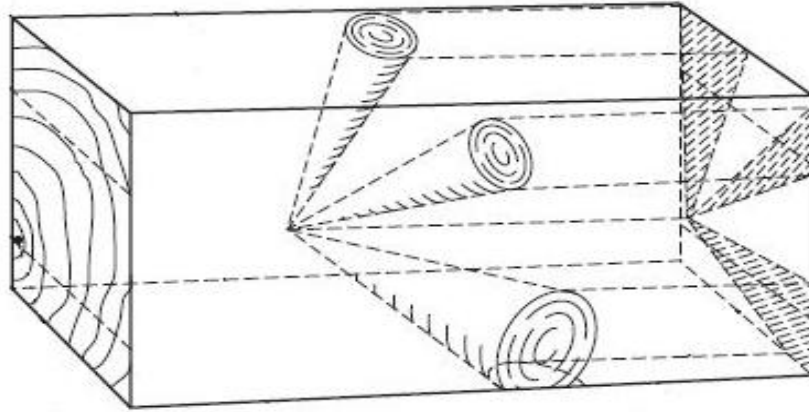
Bu çalışmada kullanılan görsel sınıflandırma standartlarından olan BS 4978 standardı harici tüm standartlarda kerestenin bir alt kalite sınıfına düşürülmesi için, kereste uzunluğu boyunca en fazla budak çapı oranının olduğu 15 cm'lik uzunluk içerisinde kalan dört yüzey alanı değerlendirilmektedir. Ancak bu 15 cm uzunluğundaki bölgenin kereste uzunluğu içindeki pozisyonu (uçta, ortada vb.) ile ilgili bir tanım bulunmamaktadır ve bu bölge kirişlerde gerilmelerin yoğunlaştığı mesnetler arasındaki kritik bölgenin dışında da olabilmektedir. Bunun yanında yine daha çok eğilmeye maruz kalan kirişlerde en büyük gerilmelerin olduğu orta kısımda budaklar bulunmasına karşın, eğer başka bölgede daha fazla budak çapı oranı bulunuyorsa, gerilmeler bakımından kritik bölge olan mesnetler arası dikkate alınmamaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan eğilme davranışının incelendiği tahribatlı deneylerde de, kenar bölgelerde budakları bulunan kerestelerin bile, eğer orta kısmında budak barındırıyorsa, orta noktadan kırıldıkları birçok kez gözlemlenmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Eğilen Kirişin Budak Sebebiyle Ortadan Kırılması Durumu Örneği

Sonuç olarak, kalite sınıfı düşürme kriteri olarak budağın kullanılmasında değerlendirme alanının sınırlandırılması yerine, özellikle kullanım amacına bağlı gerilmelerin yoğunlaştığı kritik bölgelerin, örneğin kirişler için özellikle kerestenin orta kısmının veya mesnet açıklığının değerlendirmede ön plana çıkarılması gerektiği söylenebilir.

Ayrıca bu çalışmada kullanılan görsel sınıflandırma standartlarından olan BS 4978 standardı harici tüm standartlarda, budaklar yüzeysel olarak değerlendirilmektedir. Yüzeysel inceleme ile budakların kereste içinde kalan kısımları hakkında fikir sahibi olunamamaktadır. Buna karşın BS 4978 standardında kereste hacminde bulunan budakların ele alındığı görülmektedir. Standartta yüzeyden görülen budakların, kereste en kesitinde yıllık halka yapısı incelenerek, budağın bulunduğu kesitte nasıl bir alan kapladığının belirlenmesi ve ona göre değerlendirilmesi istenmektedir. Bununla birlikte kereste alt ve üst yüzeylerinden yüksekliğin 1/4'lük kısımları ayrı bir şekilde dikkate alınmaktadır (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2: BS 4978 Standardına Göre Budağın Değerlendirilmesi

Bu değerlendirme farklılığının uygulamaya yansımaları doğal olarak, bu standardın kalite sınıflarının tahribatlı test yöntemlerinden elde edilen eğilme direnciyle paralellik göstermesiyle ortaya çıkmaktadır. Benzer durum tahribatsız değerlendirme yöntemlerinden elde edilen dinamik elastikiyet modülleri için de gözlemlenmiş ve daha önce bu husus vurgulanmıştır.

Görsel sınıflandırma standartlarında kalite sınıfı düşürme parametresi olarak budak dışında, şekil değişikliği parametresi de bulunmaktadır. Ancak şekil değişikliğine maruz kalmış keresteler, bütün standartlara göre en kötü kalite sınıfında veya “Değerlendirme Dışı” olarak değerlendirilmesine karşın, şekil değişikliğinin mekanik performans üzerine etkisi aynı ölçüde olmamaktadır. Örneğin 52 ve 53 numaralı keresteler, standartların müsaade ettiği sınırlar dışında eğrilik (dönme) içermekle birlikte, ortalama 12800 N/mm^2 elastikiyet modülü ve 70 N/mm^2 eğilme direncine sahip oldukları tespit

edilmiştir. Bu elde edilen değerlerin de, TS 647 standardına göre yapı kerestesi olarak kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmektedir.

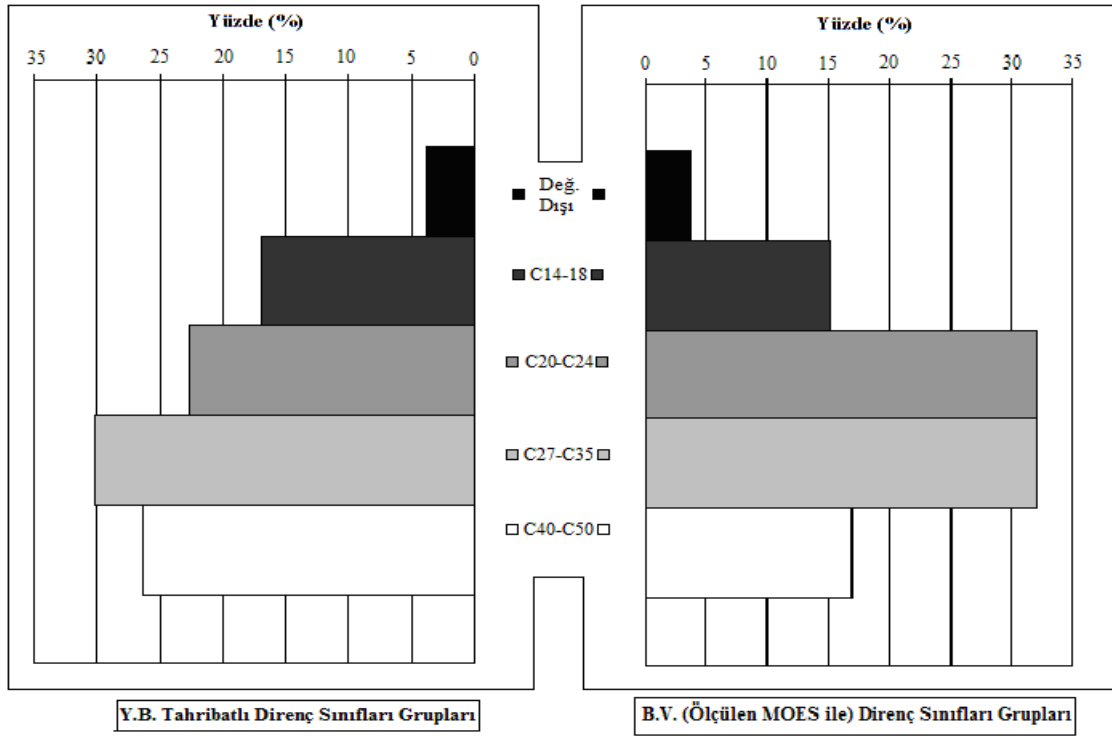
Görsel kalite sınıfları ile tahribatlı testlerden elde edilen değerler ile oluşturulan direnç sınıfları karşılaştırıldığında (Tablo 4.22, Tablo 4.23 ve Tablo 4.24) görüldüğü gibi, TS EN 14081 standardı dışında %100'e varan uyumlar olmasına karşın, "Değerlendirme Dışı" kerestelerde benzer bir uyum görülmemektedir. TS 1265 standardı için ise, her bir görsel kalite sınıfına karşılık TS 647 standardında eğilme direnci emniyet gerilmeleri verilmiştir. Ancak Tablo 4.25'te görüldüğü gibi, bu iki standardın çok düşük bir oranda uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte diğer görsel sınıflandırma standartlarında olduğu gibi, TS 1265 standardının kalite sınıflarının, elastikiyet modülünün esas alındığı TS EN 338'e göre karşılıkları hesaplandığı takdirde, nasıl bir sonuç alınacağı araştırılmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12). Şekillerde görüldüğü gibi, TS 1265 standardına göre "1." kalite sınıfında değerlendirilen kerestelerin, TS EN 338'e göre büyük bir oranda "C27 ve üstü" direnç sınıflarında değerlendirdiği görülmektedir. Ancak diğer kalite sınıflarında, belirli bir direnç sınıfında, üstünde veya altında toplanma görülmediği için, "1." kalite sınıfında olduğu gibi, kesin bir ayırım yapılamamaktadır.

Sonuç olarak görsel sınıflandırma standartlarının gerek TS EN 338 standardıyla, gerekse TS 647 standardıyla olan uyumsuzluklarının, daha önce de belirtilen sınıf düşürme parametrelerinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu durumun iyileştirilmesi için, Boot ve Reece (1967) tarafından daha önce yapılan çalışmadaki gibi, sınıf düşürme parametrelerinin incelenmesi ve buna bağlı olarak iyileştirilmesi gerektiği söylenebilir.

5.7. BOYUNA VİBRASYON YÖNTEMİ VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız ve elastikiyet modülü değerleri, yapısal boyuttaki örneklerden tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen elastikiyet modülü değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). Görüleceği üzere, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen değerler ile tahribatlı olarak elde edilen elastikiyet modülleri arasında çok güçlü bir ilişki bulunmaktadır (en

düşük $R=0,824$). Dikkat edilmesi gereken bir başka nokta ise, boyuna vibrasyon yönteminde elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülünün , budak çapı oranı (CKDR) değerinin hesaba katıldığı ölçülen statik elastikiyet modülünden daha kuvvetli bir ilişki ($R= 0,927 > R= 0,824$) göstermesidir. Bu durum statik elastikiyet modülü değerleri esas alınarak TS EN 338 standardına göre oluşturulan direnç sınıflarında da görülmektedir. Ölçülen ve hesaplanan statik elastikiyet modülüne göre oluşturulan karşılaştırma grafiklerinde (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3) görüldüğü gibi, elde edilen direnç sınıflarının dağılımında farklılıklar bulunmaktadır. Direnç değerleri arasında daha kuvvetli bir ilişki bulunduğundan, boyuna vibrasyon yöntemiyle elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülü değerlerine göre oluşturulan direnç sınıfları katılım oranları, tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen direnç sınıfı katılım oranlarıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: “Ölçülen Statik Elastikiyet Modülü” nün Kullanımıyla Elde Edilen Direnç Sınıfları Grupları ve Tahribatlı ile Karşılaştırılması

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi, 2 grafik neredeyse simetriktir. Dolayısıyla boyuna vibrasyon yönteminde hesaplanan statik elastikiyet modülü değerinin hesaplanmasında, budak çapı oranı (CKDR) değerinin bulunmasında ve hesaba katılmasında değişiklik yapılması gerektiği veya CKDR değerinin hiç hesaba katılmaması gerektiği

söylenbilir. Bu konuda Divos ve Tanaka (1996) tarafından ve Divos ve Kiss (2010) tarafından yapılan çalışmalarda, CKDR değerinin hesaplanmasında değişikliğe gidildiği belirtilmesine karşın, elde edilen korelasyonların bu çalışmada elde edilen korelasyonlardan yüksek olmadığı tespit edilmiştir.

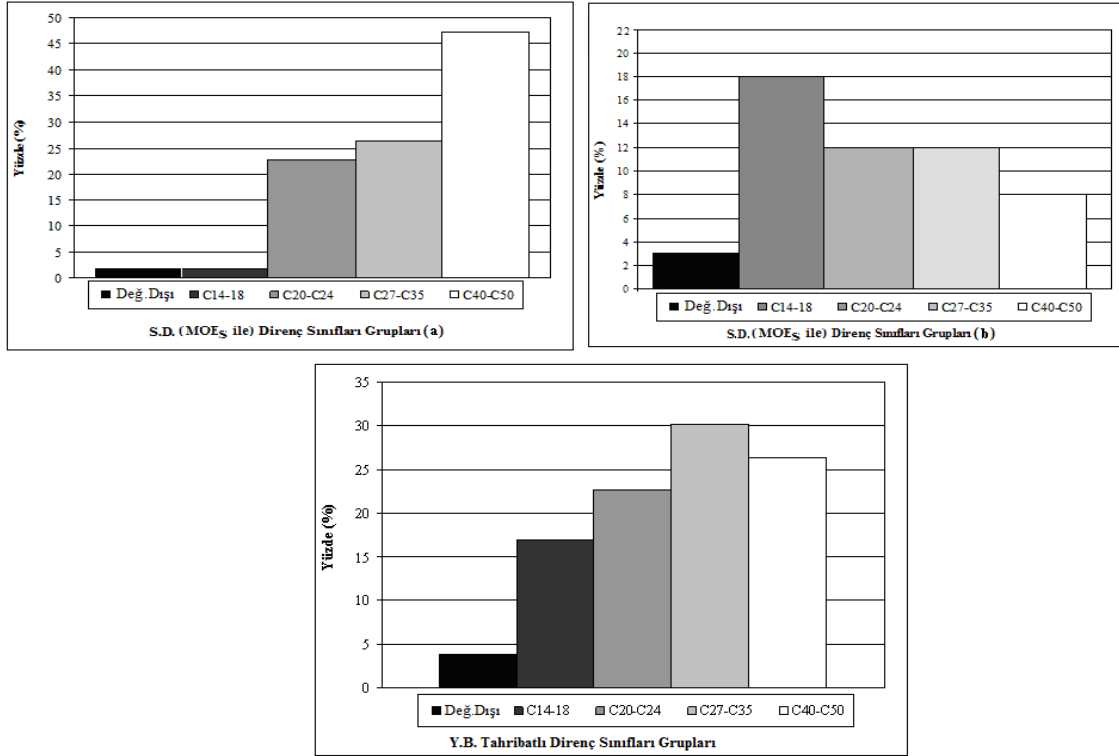
Boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı ve elastikiyet modülü değerleri ile yapısal boyuttaki örneklerde tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen eğilme direnci değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Görüleceği üzere, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen değerler ile tahribatlı olarak elde edilen eğilme direnci değerleri arasında nispeten güçlü bir ilişki bulunmaktadır (en düşük $R= 0,692$). Dikkat edilmesi gereken bir başka nokta ise, bu sefer boyuna vibrasyon yönteminde elde edilen ölçülen statik elastikiyet modülünün ilişkisi, budak çapı oranının hesaba katıldığı hesaplanan statik elastikiyet modülüyle olan ilişkisinden daha zayıf ($R= 0,791 < R= 0,843$) olduğu tespit edilmiştir. Fark edileceği üzere, elastikiyet modülü değerinin tahmin edilmesinde, regresyon ilişkisine olumsuz etki yapan CKDR değeri, eğilme direnci değerinin önceden belirlenmesine olumlu bir etki yapmaktadır. Bu durumun elastikiyet modülü ve eğilme direncinin kereste kusurlarından etkilenme durumlarının farklılığından kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü elastikiyet modülü, elastik sınırı aşmayan düşük gerilmelerde, malzemenin sehim miktarı üzerinden hesaplanan bir değer olup düşük gerilmelerde kusurların etkisi önemsiz miktardadır. Eğilme direncinde ise malzemenin dayanabileceği en yüksek eğilme sınır gerilmesi tespit edildiğinden kusurlar belirleyici bir etkiye sahip bulunmaktadır.

Boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı ve statik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutlu ve kusursuz örneklerde tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen yoğunluk değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32). Görüleceği üzere, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı değerleri yoğunluk ile çok iyi bir ilişkide olmamasına karşın ($R= 0,456$), yine aynı yöntemden elde edilen statik elastikiyet modülleri ile daha iyi bir ilişki içerisindedir (ortalama $R= 0,716$). Ancak boyuna vibrasyon yöntemindeki statik elastikiyet modüllerinin hesaplanmasında bir bileşen olarak yoğunluğun olmasından dolayı, bu ilişkinin artması doğaldır.

5.8. STRES DALGA YÖNTEMİ VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Stres dalga yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı ve dinamik elastikiyet modülü değerleri, yapısal boyuttaki örneklerden tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen elastikiyet modülü değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25). Görüleceği üzere, tahribatlı olarak elde edilen elastikiyet modülleri ile stres dalga yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı değerleri arasında orta derecede bir ilişki bulunmasına karşın ($R=0,680$), dinamik elastikiyet modülü değerlerinde bu ilişki ($R=0,802$) kuvvetlenmektedir.

Stres dalga yönteminde, boyuna vibrasyon yönteminde olduğu gibi, dinamik elastikiyet modülleri üzerinden hesaplanan statik elastikiyet modülü değerleri kullanılarak TS EN 338 standardı referans alınarak sınıflandırma yapılmıştır. Yine boyuna vibrasyon yönteminde olduğu gibi, CKDR değeri hesaba katılarak ta bir statik elastikiyet modülü hesaplanmış ve buna göre de direnç sınıflandırması yapılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Stres Dalga Yöntemi - Tahribatlı Direnç Sınıfları Grupları Karşılaştırması (a: CKDR değeri hesaba katılmadan, b: CKDR değeri hesaba katılarak)

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi, CKDR değeri hesaba katılmadan elde edilen direnç sınıfları dağılımı, yapısal boyutta tahribatlı olarak elde edilen direnç sınıfları dağılımına daha çok benzerdir. Ancak bu benzerlik, boyuna vibrasyon yönteminde olduğu kadar değildir. Bu durumun, daha önce de açıklandığı gibi stres dalga yönteminin boyuna vibrasyona kıyasla kusurlardan daha az etkilenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Palacios ve diğ. (2011) tarafından küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde stres dalga yöntemi kullanılarak yapılmış olan bir çalışmada, tahribatlı testlerden elde edilen eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda oldukça yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir (ortalama $R=0,920$). Yapısal boyuttaki numunelerin kullanıldığı bu çalışmada (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25) ve Vega ve diğ. (2011) tarafından yapılan yine benzer bir çalışmada tahribatlı testlerden elde edilen eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda (ortalama $R=0,760$) ise, bu kadar yüksek korelasyonlar elde edilemediği görülmektedir. Gerhards (1982) tarafından yapılan başka bir çalışmada, stres dalga yönteminde dalga hızının budak bölgesinde yavaşladığını ve budakların etrafından yönünü değiştirdiği ifade edilmektedir.

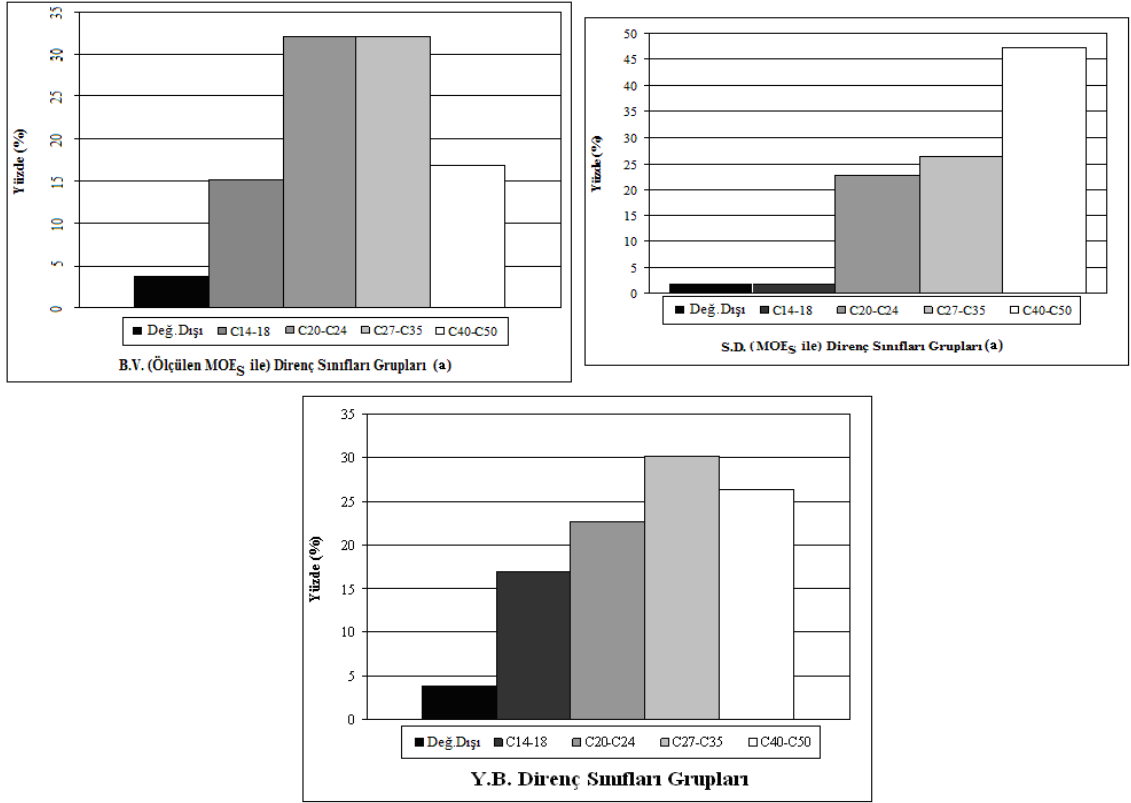
Stres dalga yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı ve dinamik elastikiyet modülü değerleri ile yapısal boyuttaki örneklerde tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen eğilme direnci değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27). Görüleceği üzere, stres dalga yönteminden elde edilen değerler ile tahribatlı olarak elde edilen eğilme direnci değerleri arasında güçlü bir ilişki bulunmamaktadır ($R=0,416$; $R=0,611$). Fark edileceği üzere, elastikiyet modülünün önceden belirlenmesinde elde edilen ilişki, eğilme direncinde elde edilen korelasyonlara oranla daha güçlüdür.

Stres dalga yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı ve dinamik elastikiyet modülü değerleri ile küçük boyutlu ve kusursuz örneklerde tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen yoğunluk değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.42 ve Şekil 4.43). Görüleceği üzere, stres dalga yönteminden elde edilen akustik dalga geçiş hızı değerleri yoğunluk ile iyi bir korelasyon sergilememesine karşın ($R= 0,328$), yine aynı yöntemden elde edilen dinamik elastikiyet modülleri ile daha iyi bir ilişki içerisinde (ortalama $R=$

0,718). Ancak stres dalga yöntemindeki dinamik elastikiyet modüllerinin hesaplanmasında bir bileşen olarak yoğunluğun olmasından dolayı bu ilişkinin artması doğaldır.

5.9. BOYUNA VİBRASYON VE STRES DALGA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Boyuna vibrasyon yöntemi ve stres dalga yönteminin karşılaştırıldığı Tablo 4.27’de görüleceği üzere, stres dalga yönteminde elde edilen akustik dalga geçiş hızı değerlerinin, boyuna vibrasyon yönteminde elde edilen akustik dalga geçiş hızı değerlerinden anlamlı bir şekilde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerleri de karşılaştırılmıştır. Tablo 4.28’de görüleceği üzere, yine stres dalga yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerlerinin, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen dinamik elastikiyet modülü değerlerinden anlamlı bir şekilde (Tablo 4.29) yüksek olduğu bulunmuştur. Daha önce de ifade edildiği gibi, stres dalga yönteminde iki elektrot arasında yol alan akustik dalga, bitiş sensörüne en hızlı ilerlediği hat üzerinden ulaşmakta ve hız değeri ses dalgasının bu hat üzerindeki geçiş süresine dayanarak bulunmaktadır. Boyuna vibrasyon yönteminde ise bütün kereste içerisinde ilerleyen ses dalgasının frekansı üzerinden hız değeri tespit edilmektedir. Kerestenin bütün hacmi ile ilişkili bulunan ses dalgası frekansının kereste niteliklerini daha iyi yansıttığı ve birtakım kusurlara bağlı olarak daha düşük bir hız değeri elde edildiği düşünülmektedir. Tahribatlı test yöntemleri ile elde edilen statik elastikiyet modülü değerlerinin, boyuna vibrasyon ve stres dalga yöntemlerinden elde edilen dinamik elastikiyet modülleri ile ilişkileri karşılaştırıldığında (Şekil 4.14 ve Şekil 4.25), boyuna vibrasyon yönteminin stres dalga yöntemine oranla daha yüksek bir korelasyon ($R=0,927 > R=0,802$) gösterdiği anlaşılmaktadır. Benzer durum statik eğilme direnci (Şekil 4.18 ve Şekil 4.20) için de söz konusudur ($R=0,791 > R=0,611$). Bu durum boyuna vibrasyon frekansının kereste niteliklerini daha iyi yansıttığı tezini doğrulamakta ve yapı kerestelerinin direnç değerlerinin belirlenmesinde boyuna vibrasyon yönteminin, stres dalga yöntemine oranla daha başarılı olduğu ortaya çıkmaktadır. Boyuna vibrasyon ve stres dalga yöntemleri ile elde edilen direnç sınıfları, tahribatlı testler ile elde edilen direnç sınıflarıyla karşılaştırılmıştır ve bu karşılaştırma Şekil 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Tahribatsız ve Tahribatlı Test Yöntemlerinin Sınıflandırmalarının Karşılaştırılması (a: CKDR değeri hesaba katılmadan)

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi tahribatlı testlerle elde edilen direnç sınıfları ile boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen direnç sınıflarının stres dalga yönteminden elde edilen direnç sınıflarına göre daha fazla oranda uyum sağladığı görülmektedir.

5.11. VİDA ÇEKME VE TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Bir diğer tahribatsız değerlendirme yöntemi olan vida çekme kuvveti ile küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen yoğunluk değerleri karşılaştırılmış (Şekil 4.53). ve yoğunluk ile vida çekme kuvveti arasında kuvvetli bir korelasyon ($R=0,772$), bulunduğu görülmüştür. Yoğunluk malzemenin direnci ile yakından ilişkili olduğundan, yüksek bir korelasyon bulunması doğaldır. Çünkü bu yöntemde elde edilen vida çekme yükü, birim hacimdeki hücre çeper miktarına ve dolayısıyla yoğunluğa bağlı olmaktadır.

Vida çekme tahribatsız test yönteminde elde edilen en yüksek yük miktarı değerleri, tahribatlı test yöntemlerinden elde edilen direnç değerleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda elde edilen korelasyonlara bakıldığında, vida çekme yönteminin tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen hem elastikiyet modülü değerleriyle (Şekil 4.28; R=0,529) ve hem de eğilme direnci değerleriyle (Şekil 4.29; R=0,626) orta derecede bir ilişki sergilediği tespit edilmiştir.

Vida çekme yöntemiyle, tahribatlı test yöntemleri arasındaki ilişkinin yeterli düzeyde olmaması sebebiyle, vida çekme yönteminin akustik yöntemleri destekleyici bir yöntem olarak kullanılıp kullanılmayacağı incelenmiştir. Bu varsayım daha önce Divos (2005) tarafından ortaya atılarak sınanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Benzer bir uygulama burada da yapılmıştır. Vida çekme yönteminden elde edilen yük değerleri, boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen değerlerle kullanıldığı takdirde, tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen direnç değerleriyle olan ilişkisinde artma olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.34). Bu artmanın özellikle boyuna vibrasyon yönteminden elde edilen hız değerinin, vida çekme yönteminden elde edilen yük değerleriyle birlikte kullanımında olduğu görülmektedir. Benzer bir durum stres dalga yöntemi için de gözlemlenmiştir. (Şekil 4.35).

Bununla birlikte Divos (2005) tarafından yapılan çalışmada vida çekme yükünün, tahribatlı test yöntemleriyle elde edilen yoğunlukla (R=0,790) ve eğilme direnciyle (R=0,72) nispeten daha güçlü bir ilişki içerisinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmada statik eğilme direncinin vida çekme yükü ve stres dalga hız değeri üzerinden daha yüksek bir doğrulukla tahmin edilebilmesi için, yumuşak ağaçlarda Denklem 5.1'deki eşitliğin kullanılabileceği belirtilmiştir.

$$EDR_{yeni} = a [(Vida \text{ Çekme Yüğü}) \cdot (S.D. \text{ Hız})^2] + b \quad (5.1)$$

EDR_{yeni}: Hesaplanan Eğilme Direnci

B.V. Hız: Stres Dalga Yönteminden Elde Edilen Hız

a – b: Bu Çalışmada Belirtilen Deneysel Sabiteler

Divos (2005) tarafından yapılan çalışmada Denklem 5.1’de görülen eşitlik yardımıyla eğilme direnciyle, yapısal boyuttaki numunelerden tahribatlı olarak elde edilen eğilme direncinin $R=0,860$ korelasyon katsayısına sahip olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada elde edilen değerler ve Denklem 5.1’de belirtilen eşitlik kullanılarak, benzer bir şekilde yüksek korelasyonlar elde edilip edilemeyeceği araştırılmıştır ve sonuçları Tablo 5.2’de görülmektedir.

Tablo 5.2 : Yeni Hesaplanan Eğilme Direnci – Yapısal Boyuttaki Tahribatlı Eğilme Direnci İlişkisi

İlişkiler	Korelasyon Katsayısı <R>
(Divos (2005) $EDR_{YENİ} - Y.B. EDR$)	0,860
(Bu Çalışma) $EDR_{YENİ} - Y.B. EDR$	0,650

Tablo 5.2’de görüldüğü gibi, bu çalışmada elde edilen değerlerde, Divos (2005) tarafından yapılan çalışmadaki gibi güçlü bir ilişki tespit edilememiştir ($R= 0,650$).

5.12. FARKLI BOYUTLARDAKİ NUMUNELERDE YAPILAN TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yapısal boyuttaki kerestelerde ve bu kerestelerden elde edilen küçük boyutlu kusursuz örnekler üzerinde yapılan tahribatlı deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda korelasyon katsayılarının $0,737$ ’yi aşmadığı görülmüştür (Şekil 4.51 ve Şekil 4.52). Bu durum ihtiva ettiği kusurların malzemenin direnç değerlerinde önemli değişiklikler meydana getirdiğini göstermektedir.

Farklı boyutlarda elde edilen dirençler oranlanarak, bu değişimin hangi oranda olduğu araştırılmıştır. Statik elastikiyet modülü değerinde, yapısal boyuttaki numunelerden elde edilen değer, küçük boyutlu ve kusursuz numunelerden elde edilen değerinin yaklaşık yarısı kadar (%58’i kadar) olduğu görülmüştür. Aynı şekilde eğilme direncinde yapılan oranlamalar sonucu, yapısal boyuttaki kerestelerden elde edilen değer, küçük boyutlu ve kusursuz örneklerden elde edilen değer en az %23’ü kadar olduğu tespit edilmiştir. Bu da özellikle eğilme direncinin, elastikiyet modülüne oranla kusurlardan daha çok etkilendiğini göstermektedir. Yine bu sonuçlardan yola çıkılarak, küçük boyutlu numunelerde yapılan tahribatlı testlerden elde edilen değerlerin, ilgili oranlarla

çarpılmasıyla, malzemenin asgari dayanabileceği ilgili yük miktarının elde edilebileceği söylenebilir.

Bu çalışmada ulaşılan ana sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Yapı kerestelerinin muhtelif standartlarda verilen görsel sınıflandırma yöntemleri ile oluşturulan görsel kalite sınıfları, yapı kerestelerinin mekanik performansını ve dolayısıyla direnç sınıflarını yeterli düzeyde yansıtmamaktadır. Bu anlamda en başarılı görsel sınıflandırma standardı, BS 4978 standardı olarak tespit edilmiştir. Tahribatsız değerlendirme yöntemleri (boyuna vibrasyon ve stres dalga), yapısal boyutta kerestelerde tahribatlı testler ile elde edilen statik elastikiyet modülü ile güçlü bir ilişki gösterirken, statik eğilme direnci ile olan ilişki görece daha zayıftır. Malzeme içerisindeki yayılan ses dalgası elastik bir dalga olduğundan, malzemenin elastikiyet modülü ile daha sıkı bir ilişki göstermesi doğaldır. Bununla birlikte eğilme direnci için de elde edilen korelasyonlar tatminkâr düzeyde olup, akustik esaslı tahribatsız değerlendirme yöntemleri, gerek yeni üretilmiş yapı kerestelerinde, gerekse halen kullanılmakta olan yapı elemanlarında mekanik performansının kestirilmesi amacıyla başarılı bir şekilde kullanılabilir
- Boyuna vibrasyon yöntemi, yapısal boyuttaki kerestelerin mekanik performansının kestirilmesinde, stres dalga yöntemine göre daha başarılı bulunmuştur.
- Boyuna vibrasyon yöntemine göre yapı kerestelerinde direnç sınıflandırması yapılırken kullanılan CKDR değerinin mevcut hesaplama yöntemi yeterli başarı sağlamamaktadır. CKDR değerinin belirlenmesinde ve statik elastikiyet modülünün hesaplanmasında kullanımında yeni bir yaklaşım getirilmesi gerekmektedir.
- vida çekme yöntemi yapısal elemanların yerinde direnç değerlerinin analiz edilmesinde stres dalga yöntemini desteklemek amacıyla kullanılabilir. Böylece yapılan analizin başarı oranı artırılabilir.
- Vida çekme yönteminin tahribatsız yöntemlerle birlikte kullanılmasına alternatif olarak, portatif sertlik cihazı gibi cihazların kullanılmasının araştırılmasıyla, yerinde değerlendirme (in-situ) imkânları araştırılabilir ve genişletilebilir.

KAYNAKLAR

AFFENTRANGER vd., 2000, "Bauten und Fassaden mit Holz", Prix Lignum, Baufachverlag AG, Zürich, ss.18, 55.

ALAKIR, Y., 2010, *İki Malzemeli Kirişlerin Dayanımlarının ve Şekil Değişimlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

ALPTEKİN, C., Ü., 1986. Karaçam'ın (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe) Coğrafik Varyasyonları, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), 170 s.,İstanbul.

American Wood Council, 2006, *Solid Sawn Lumber Awareness Guide*, American Forest & Paper Association, <http://www.woodaware.info/PDFs/Lumber.pdf> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

ANŞİN, R., 1988. Tohumlu Bitkiler I. Cilt, Gymnospermai, K.T.Ü., Yayın No: 122, Orman Fakültesi Yayın No: 15, 262., Trabzon.

ANONİM, 2004, International Institute for Environment and Development, 2004, *How wood products help slow Global Warming*, "IIED, Could wood combat climate change?".

http://www.kagirahsap.com/06-kuresel-climate/climate-change/3-Wood&Global_Warming.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

ANONİM, 2012a, Wood Solutions design and build, *Machine Stress-Grading*, <http://www.woodsolutions.com.au/Resources/machine-stress-grading-1> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012]

ANONİM, 2012b, IML Wood Testing Systems, www.imsula.com [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012]

AS, N., 2007, *Ahşabın Yapıda Kullanımı Lisans Ders Notu* Ders Notu (Yayınlanmamış), Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

AS, N., DÜNDAR, T., 2010, *Tarihi Ahşap Yapıların Korunması ve Restorasyonunda Tahribatsız Değerlendirme Yöntemlerinin Kullanımı*, 5. Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi ve Sergisi, 3-5 Kasım 2010, İstanbul: Özdil Basımevi, 291-303.

AS, N., DÜNDAR, T., BÜYÜKSARI, Ü., 2008, *Budakların Odunun Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi.

- ASTM Designation: D 2915 – 03, 2003, *Standard Practice for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber*, American Society for Testing and Materials.
- ASTM Designation: D 5456 – 06, 1996, *Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products*, American Society for Testing and Materials.
- AVLAR, E., 2000, *Ahşabın yapı üretimindeki yeri*, Tasarım dergisi, 6. Sayı, İstanbul.
- BAYRAKTAR, M.S., 2011, *Samsun'da Cumhuriyet'ten Önce İnşa Edilen Ahşap (Çanti) Camiler*, Samsun Sempozyumu http://www.samsunsempozyumu.org/Makaleler/161869449_11_Yrd.Do%C3%A7.Dr.Mehmet%20Sami%20Bayraktar.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].
- BALTRUSAITIS, A., PRANCKEVICIENE, V., 2003, *Strength Grading of the Structural Timber*, Materials Science (Medziagotyra), Vol. 9, No. 3., ISSN 1392–1320.
- BEER, F. P., JOHNSTON JR, E.R., 2009, *Mühendisler için Mekanik Statik*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 9789755110073.
- BERTHOLF, L. D., 1965, *Use of Elementary Stress Wave Theory for Prediction of Dynamic Strain in Wood*, Bulletin 291, Technical Extension Service, Washington State University, Pullman, WA.
- BİRLEŞMİŞ MİLLETLER, 1998 - *İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Mevzuat/kyoto_protokol.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].
- BİRLEŞMİŞ MİLLETLER, 1998, *Kyoto Protokolü*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Mevzuat/kyoto_protokol.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].
- BODIG, J., 2000, *The Process of NDE Research for Wood and Wood Composites*, 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 13-15 Eylül 2000, University of Western Hungary, Sopron, <http://www.ndt.net/article/v06n03/bodig/bodig.htm> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].
- BODIG, J., JAYNE B.A., 1993, *Mechanics of Wood and Wood Composites*, Malabar, Florida, Krieger Publishing Company, 978-0894647772.
- BOOT, L.G., REECE, P.O., 1967, *The Structural Use of Timber – A Commentary on the British Standard Code of Practice*, CP 112, E. & F. N. SPON LTD., London 978-0419102304.
- BOSTANCIOĞLU E., BİRER, E. D., 2004, *Ekoloji ve Ahşap – Türkiye'de Ahşap Malzemenin Geleceği*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 2.

BOZKURT, A.Y., ERDİN, N., 1997, *Ağaç Teknolojisi*, İ.Ü. Yayınları No: 3998/445, ISBN 975-404-449-X, İstanbul.

BOZKURT, A.Y., GÖKER, Y., 1996, *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, O.F. Yayın No. 436, ISBN 975-404-420-1.

BROWN, F.L., 1958, *Theories of the Combustion of Wood and its Control*, Forest Products Laboratory, Forest Service U. S. Department of Agriculture, 1–3.

BROWN H.P., PANSIN, A.J., FORSAITH, C.C., 1952, *Textbook of Wood Technology-Volum II*, McGraw-Hill Book Company, INC., New York, USA, 9781121519817.

BS 4978, 2007, *Visual Strength Grading of Soft Wood –Specification*, British Standards Institution.

BUCUR, V., 1995, *Acoustics of wood*, CRC Pres, 284 pp.

BUCUR, V., 2003, *Nondestructive Characterization and Imaging of Wood*, Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag New York, LLC, ISBN 3540438408

BÜLBÜL, Z., 2012, *Karaçam Kerestesinde Eğilme Özelliklerinin Stres Dalga Yöntemiyle Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

CASADO, M., ACUNA, L., VECILLA, D., RELEA, E., BASTERRA, A., RAMON, G., LOPEZ, G., 2010, *The influence of size in predicting the elastic modulus of Populus x euramericana timber using vibration techniques*, Structures and Architecture – Cruz (Ed.) , Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-49249-2.

DEMİRKİR, C., ÇOLAKOĞLU G., ÇOLAK S., AYDIN İ., 2010, *Ahşap İskeletli Yapıların Deprem Performansı*, 2010, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Cilt: V, Sayfa: 1722-1731.

Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 2006, *Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Ağaç Ürünleri ve Mobilya Sanayi Özel İhtisas Komisyon Raporu*, http://plan9.dpt.gov.tr/oik57_agacmobilya/agac_mobilya.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

DIN 1052, 2004, *Design of timber structures*, Deutsches Institut für Normung.

DIN 4074-1, 2003, *Strength grading of wood - Part 1: Coniferous sawn timber*, Deutsches Institut für Normung.

DIVOS, F., 2002, *Portable Lumber Grader*, 19-21 August 2002, 13th International Symposium on Non-destructive Testing of Wood, Berkeley, California, USA,.

DIVOS, F., 2005, *Course in Non Destructive Testing of Wood, Evaluation of Single Members In Historical Structures*, Madrid.

<http://www.aq.upm.es/Departamentos/Estructuras/epa/ndt05/4StruEval/04%20Strength%20Estimation%20of%20historical.pdf> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012]

DIVOS, F., KISS, S., 2010, “*Strength Grading of Structural Lumber by Portable Lumber Grading - effect of knots*”, ‘The Future of Quality Control for Wood & Wood Products’, The Final Conference of COST Action E53, 4-7th May 2010, Edinburgh, İskoçya.

DIVOS, F., TANAKA, T., 1996, *Lumber strength estimation by multiple regression*, 14 – 16 May 1996, International COST 508 Wood Mechanics Conference Stuttgart, Germany.

Dueer, A. W., (1973). *Timber; problems, prospects, policies*, Iowa State University Press, Ames, Iowa.

DUMAN, N., ÖKTEN, S., 1981, *Ahşap Yapı Dersleri 1*, Yapı Endüstri Merkezi Teknik Yayınları, İstanbul.

DÜNDAR, T., 2005, *Sarıçamda Değişik Silvikültürel Müdahalelerin Odunun Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

DÜNDAR, T., 2009, *Yapı Malzemelerinde Tahribatsız Test Metodları Ders Notu* (Yayınlanmamış), Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Dynalyse AB, 2012, *Dynagrade – equipment for cost-effective on-line strength grading of timber/lumber*, Dynalyse AB web sitesi, <http://dynalyse.se/dynagrade> (MSR-Online üretim kontrolü) [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

Dynalyse AB, 2012, *Precigrader – equipment for precise on-line strength grading of timber/lumber*, Dynalyse AB web sitesi, <http://dynalyse.se/precigrader/> (MSR-Online üretim kontrolü) [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012]

ECKELMAN, C.A., 1975, *Screwholding Performance in Hardwoods and Particleboard*, Forest Product Journal, Madison, Vol. 25(6) s. 30-35.

ERIKSON, R.G., GORMAN, T.M., GREEN, D.W., GRAHAM, D., 2000, *Mechanical Grading of Lumber Sawn From Small-Diameter Lodgepole Pine, Ponderosa Pine, and Grand Fir Trees From Northern Idaho*, Solid Wood Products, Forest Product Journal, Vol. 50, No. 7/8.

ETAG-007, 2011, *The European Organization for Technical Approvals – 007: Guideline For European Technical Approval of Timber Frame Building Kits*, EOTA.

EUROCODE 5, 2006, *European Structural Design Code - 5: Design of timber structures, Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, EN 1995-1-1:2004 (E)*. Institution of Civil Engineers and Institution Structural Engineers.

FAHERTY, K.F., WILLIAMSON, T.G., 1999, *Wood Engineering and Construction Handbook*, New York, McGraw-Hill, Inc., 978-0070220706.

FAKOPP Enterprise Bt., *Portable Lumber Grader User's Guide*, http://www.fakopp.com/site/downloads/PLG_Guide.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

FALK, R.H., PATTON-MALLORY, M., MCDONALD, K.A., 1990, *Nondestructive Testing of Wood Products and Structures: State-of-the-Art and Research Needs*, USDA Forest Service, Forest products Laboratory Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, s. 137-147.

GALLIGAN, W.L., COURTEAU, R.W., 1965, *Measurement of Elasticity of Lumber With Longitudinal Stress Waves and the Piezoelectric Effect of Wood*, Proceedings of the Second Symposium on the Nondestructive Testing of Wood, Washington State University, Pullman, WA.

GALLIGAN, W.L., MCDONALD, K.A., 2000. *Machine grading of lumber: practical concerns for lumber producers*, General technical report Forest Product Laboratory, GTR-7: 39 p.

GALLIGAN, W.L., MCDONALD, K.A., 2007, *Machine Grading of Lumber Practical Concerns For Lumber Producers*, Forest products Laboratory Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

GERHARDS, C. C., 1980, *Effect of Cross Grain on Stress Waves in Lumber*, Forest Products Laboratory Research Paper FPL 386, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI, May 1980.

GERHARDS, C. C., 1982, *Longitudinal stress waves for lumber stress grading: Factors affecting applications: State of the art*. Forest Prod. J. 32(2):20-25.

Google Kitaplar Önizlemesi, *Symposium on Timber*, American Society for Testing and Materials, <http://books.google.com.tr/books?id=yk7YQY9EDIUC> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

GRANT, D. J., WEIR, G., 1989, *Machine Stress Grading of Alpine Ash*, Forestry Commission of New South Wales, Sydney, Avustralya, ISBN 0 7305 5653 0.

GÜNGÖR, H.İ., 1961, *Ahşap Cilt 1-2*, Çeltüt Matbaası, İstanbul.

GÜRER C., AKBULUT H., KÜRKLÜ G., 2004, *İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farlı Yapı Malzemelerin Yeniden Değerlendirilmesi*, V.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs, ss. 28-36, İzmir.

HANOĞLU, C., SAĞLAM M., YÜKSEL, M., BALLİCE, L., 1995, *Plastik Atıkların Geri Kazanılması*, Ekoloji Dergisi, 15, 20.

Holzforschung München, <http://www.bayerlholz.de/download/din4074e.pdf> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

HOYLE, R.J., 1968, *Background to Machine Stress Rating*, Forest Products Journal 18(4), pp. 87-97.

HOYLE, R. J., PELLERIN, R. F., 1978, *Stress Wave Inspection of a Wood Structure*, Proceedings of the Fourth Nondestructive Testing of Wood Symposium, Washington State University, Pullman. WA.

İLHAN, R., 1984, *Yapılarda Kullanılan Ahşap Malzemenin Korunması*, K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 7 (2), 276-294

INIGUEZ, G., ARRIAGA, F., BOBADILLA, I., ESTEBAN, M., 2008, *Grading by Non-destructive Techniques and Assessment of The Mechanical Properties of Large Cross Section Coniferous Sawn Timber for Structural Use*, Engineered Wood Products Association, http://www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper_094.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

INIGUEZ, G., ARRIAGA, F., ESTEBAN, M., BOBADILLA, I., 2006, *Non-destructive methods for the quality control of structural Tali timber*, Engineered Wood Products Association, http://www.ewpa.com/Archive/2006/aug/Paper_047.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012]

ISO 9000, 1987, *Kalite Sistem Sınıflandırması*, International Organization for Standardization.

JAMES, W. L., BOONE, R. S., GALLIGAN, W. L., 1982, *Using Speed of Sound to Monitor Drying in a Klin*, Forest Product Journal 32(9): 27-34.

JAYNE, B.A., 1959, *Vibrational properties of wood as indices of quality*, Forest Product Journal, 9 (11) : 413-416.

JOHNSON, R. A., 1980, *Current Statistical Methods for Estimating Lumber Properties by Proofloading*, Forest Products Journal 30, 14-22.

JUNG, J., 1979, *Stress-Wave Grading Techniques on Veneer Sheets*, Forest Products Laboratory Research Paper FPL 27, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI.

KAISERLIK J. H., PELLERIN, R. F., 1977, *Stress Wave Attenuation as an Indicator of Lumber Strength*, Forest Products Journal 27(6) : 39-43.

KANDEMİR, A., 2010, *Assessment of Historic Structural Timber By The Use of Non-Destructive Methods*, Phd Thesis, Middle East University.

KAYA, Z., TEREMİT, A., 1994. Genetic Structure of Marginally Located *Pinus nigra* var. *Pallasiana* populations in Central Turkey, *Silvae Genetica* 43: 272-276.

KOLLMAN, F., KRECH, H., 1960, *Dynamische messungen der elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung*, Holz als Roh- und Werkstoff, 18, pp. 41-54.

KONKUR Ahşap Ev, 2000, Firma Föyü, Konkur Tic. A.Ş., Ankara.

LOGAN, J.D., 1978, *Machine Stress Rating*, Fourth Nondestructive Testing of Wood Symposium, Washington State University, Pullman, WA.

MEB, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi (MEGEP), 2007, *İnşaat Teknolojisi-Statik Hesaplar 1*, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

MERL, A.D., 2005, “Nachhaltigkeit, Bauwesen und Holz”, Resource Management for the Construction Sector in Urban Spaces, Yayınlanmamış doktora tezi, Viyana Teknik Üniversitesi, Viyana, ss.6-11.

MERLO, E., GONÇALVES, R., SANTA CLARA, O., TOUZA, M., INIGUEZ, G., HERMOSO, E., ESTEBAN, M., 2011, Waves Propagation As a Tool to Ranking Structural Quality of Eucalyptus globulus Labill. beams, 17th International Nondestructive Testing And Evaluation of Wood Symposium, September 14-16, 2011, Hungary.

Metriguard Inc., 2012, *Model 2350 Sonic Lumber Grader Approved by American Lumber Standards Committee (ALSC)*, Metriguard Inc. web sitesi, <http://www.metriguard.com/index.php> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

ODABAŞI, Y. 1997, *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*, Beta Y., İstanbul, ISBN:9754862140.

ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Van Depremi Raporu, 2011, *23 EKİM 2011 M_W 7.2 VAN DEPREMİ SİSMİK ve YAPISAL HASARA İLİŞKİN SAHA GÖZLEMLERİ*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi http://www.metu.edu.tr/sites/default/files/VanRapor_v1.6_small.pdf , [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

ÖZÇELİK, N., 1963 Belli Başlı Yapı Malzemeleri ve Özellikle Ağaç Malzeme, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 13, Sayı 1, 55-64.

PALACIOS, P. I. C., YOZA, L. Y., MALLQUE, M. A. KIAN, J. A., 2011, *Elasticity Modulus in Peruvian Tropical Woods Using Non-Destructive Techniques –Preliminary Study*, 17th International Nondestructive Testing And Evaluation of Wood Symposium, September 14-16, 2011, Hungary.

PELLERIN, R.F., 1965, *Vibrational Approach to Nondestructive Testing of Structural Lumber*, Forest Products Journal, 15(3): 93-101.

PELLERIN, R.F., ROSS, R.J., 2002, *Nondestructive Evaluation of Wood*, Forest Products Society Publication, Madiosun, USA, 1-892529-26-2.

ROSS, R. J., PELLERIN R. F., 1988, *NDE of Wood-Based Composites With Longitudinal Stress Waves*, Forest Products Journal 38(5): 39-45.

RUTHERFORD, P. S., 1987, *Nondestructive Stress Wave Measurement of Incipient Decay in Douglas Fir*, M.S. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, Pullman, WA.

SOBUE, N. 1986, *Measurement of Young's modulus by the transient longitudinal vibration of wooden beams using a FFT spectrum analyser*, Mokuzai Gakkaishi, 32(9): pp. 744-747.

SOMER, M.E., 2010, *Sürdürülebilir ve Ekolojik Yapı Elde Etmede Ahşap Kullanımı*, Mimarlık Dergisi, Sayı 354, <http://www.mo.org.tr/mimarlikdergisi/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=368&ReCID=2440> [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

SRPCIC J., PLOS M., PAZLAR T., TURK G., 2010, *Strength grading of Slovenian structural sawn timber*, The Future of Quality Control for Wood & Wood Products, The Final Conference of COST Action E53, 4-7th May 2010, Edinburgh.

SUNGUR, İ., İ., 2005, *Taşıyıcı Sistemler ve Yapı Statiği*, Birsen Y., İstanbul, ISBN:9755114378.

TOP, Y., AKYÜZ, İ., 2007, *Yapı Malzemeleri Yönetmeliğinde Odun Kökenli Ürünler*, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Cilt:9, Sayı:11.

TS 51, 2012, *Kereste – Ladin ve Gökmar Keresteleri – Genel Amaçlar İçin*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 647, 1979, *Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 1265, 1973, *Kereste - İğne yapraklı ağaç keresteleri - Yapılarda kullanım için*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 2472, 1976, *Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 2474, 1976, *Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 2478, 1976, *Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 2595, 1977, *Odunun Liplere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 2820, 1977, *Kerestelik Karaağaç Tomruğu*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 3273, 1979, *Soyma Kaplamalık Kavak Tomruğu*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS 5497 EN 408, 1997, *Ahşap Yapılar – Yapı Kerestesi ve Tutkallanmış Lamine Kereste – Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS EN 336, 2005, *Yapı kerestesi – Ölçüler, Müsaade Edilen Sapmalar*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS EN 338, 2012, *Yapı Kerestesi – Mukavemet Sınıfları*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS EN 384, 2010, *Yapı Kerestesi – Yoğunluk ve Mekanik Özelliklerin Karakteristik Değerlerinin Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS EN 975-1, 2011, *Biçilmiş yapacak odun (kereste) - Yapraklı (sert) ağaç odunlarının görünüm sınıflandırması - Bölüm 1: Meşe ve Kayın*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS EN 13183-2, 2012, *Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste) Parçasının Rutubet Muhtevası – Bölüm 2: Elektrikli Direnç Yöntemiyle Tahmin*, Türk Standardları Enstitüsü.

TS EN 14081-1, 2011, *Ahşap yapılar - Mukavemet sınıflandırması yapılmış dikdörtgen enine kesitli yapısal kereste - Bölüm 1: Genel gerekler*, Türk Standardları Enstitüsü.

TÜRKER, K., 2012, *Ahşap Yapılar Hakkında Genel Bilgiler*, Ahşap ve Çelik Yapılar-I Ders Notları, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, http://w3.balikesir.edu.tr/~kturker/files/Download/ACY-I_hafta_1.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012]

TÜRKMEN A., 1945, *Ahşap Yapılar Cilt 1*, İstanbul Teknik Üniversitesi.

UNE 56546: 2007 / 1M:2009, 2009, *Visual grading for structural sawn timber, Hardwood timber, (Clasificaciôn visual de la madera aserrada para uso estructural, Madera de frondosas)*, The Spanish Association for Standardization and Certification (AENOR) .

Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V., 2011, *KVH - Yapılarda Modern Ahşap Malzemelerin Kullanımı*, Firma Kataloğu, www.kvh.eu/fileadmin/downloads/kvh_folder_tuerkisch.pdf [Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012].

VEGA, A., GUAITA, M., DIESTE, A., MAJADA, J., FERNANDEZ, I., BANO, V., 2011, *Evaluation of the influence of visual parameters on wave transmission velocity in sawn chestnut timber*, 17th International Nondestructive Testing And Evaluation of Wood Symposium, September 14-16, 2011, Hungary.

VOGT, J. J., 1985, *Evaluation of the Tensile and Flexural Properties and Internal Bond of Medium Density Fiberboard Using Stress Wave Speed and Attenuation*, M.S. Thesis, Washington State University, Pullman, WA.

WANG, X., ROSS, R.J., CARTER P., 2007, *Acoustic Evaluation of Wood Quality In Standing Trees Part 1 Acoustic Wave Behavior*, Wood and Fiber Science, 39 (1), pp. 28-38.

WANG, X., SIMPSON, W. T., 2006, *Using Acoustic Analysis to Presort Warp-Prone Ponderosa Pine 2 by 4s Before Kiln Drying*, Wood and Fiber Science, 38(2), pp. 206-214.

WANGAARD, F.F., 1981, *Wood: Its Structure And Properties*, FPL, Forest Service, USDA, A publication of the EMMSE Project Materials Research Laboratory, The Pennsylvania State University, Uni Par, Pa. 16802, A.B.D.

YALTIRIK, F., 1993, *Dendroloji Ders Kitabı I (Gymnospermae)*, İ.Ü. Yayın No: 3443, Orman Fakültesi Yayın.

YAMAN, F.Z., 2007, *Geleneksel Ahşap Yapılarda Kullanılan Ahşap Yapı Elemanlarının Uzun Dönem Performansı - Giresun Zeytinlik Mahallesiinde Örnek Yapı İncelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Hatay/İzmir'de doğan Hızır Volkan GÖRGÜN, ilköğrenimini Güzelyalı/İzmir, Levent/İstanbul ve Kadıköy/İstanbul'da tamamladı. Orta ve lise öğrenimini Kadıköy/İstanbul'da tamamladı. 2005 yılında İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2009 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitimine başlamıştır ve halen devam etmektedir.