



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

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SARIÇAM ODUNUNUN ÖNEMLİ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
MİKRO-MEKANİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE
STANDART TEST SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS


EZEL SAYAN

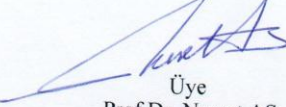
EYLÜL 2016

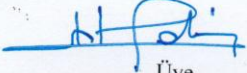
DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Ezel SAYAN tarafından hazırlanan "Sarıçam Odununun Önemli Mekanik Özelliklerinin Mikro-Mekanik Yöntemlerle Belirlenmesi ve Standart Test Sonuçları ile Karşılaştırılması" isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/09/2016 tarih ve 2016/719 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Üye
(Tez Danışmanı)
Doç.Dr. Ümit BÜYÜKSARI
Düzce Üniversitesi


Üye
Prof.Dr. Nusret AS
İstanbul Üniversitesi


Üye
Yrd.Doç.Halil İbrahim ŞAHİN
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 21.09.2016

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Ezel SAYAN'ın Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Doç. Dr. Resul KARA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

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

21 Eylül 2016

EZEL SAYAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Ümit BÜYÜKSARI 'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yine çalışmalarım süresince benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr. Nusret AS'a, Yrd.Doç.Dr. Halil İbrahim ŞAHİN'e ve Arş.Gör. Memiş AKKUŞ'a teşekkür ederim. Deneme ağaçlarının alınmasında yardımlarını esirgemeyen Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Seben Orman İşletme Müdürlüğü, Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği İşletme Şefi Doğukağan Bey'e ve emeği geçen tüm personele teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Aylin SAYAN ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından 1120815 nolu proje ile desteklenmiştir.

21 Eylül 2016

Ezel SAYAN

TEŞEKKÜR SAYFASI	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÇİZELGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1. GİRİŞ	6
2. LİTERATÜR ÖZETİ	8
2.1. SARIÇAM (<i>PİNUS SYLVESTRİS</i>) HAKKINDA GENEL BİLGİLER	8
2.1.1. Botanik Özellikleri	8
2.1.2. Doğal Yayılışı	8
2.1.3. Makroskopik Özellikleri	9
2.1.4. Mikroskopik Özellikleri	10
2.1.5. Fiziksel Özellikleri	11
2.1.6. Mekanik Özellikleri	11
2.1.7. Kimyasal Özellikleri	12
2.1.8. Önemli Kullanım Alanları	12
2.2. MEKANİK TEST YÖNTEMLERİ	13
2.2.1. Standart Boyutlu Mekanik Test Yöntemleri	13
2.2.2. Mikro Boyutlu Mekanik Test Yöntemleri	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. DENEME AĞAÇLARININ TEMİNİ	15
3.2. DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI	17
3.3. STANDART BOYUTLU ÖRNEKLERDE YAPILAN TESTLER	20
3.3.1. Eğilme Direnci	20
3.3.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü	21

3.3.3. Liflere Paralel Çekme Direnci	22
3.3.4. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	23
3.4. MİKRO BOYUTLU ÖRNEKLERDE YAPILAN TESTLER	24
3.4.1. Eğilme Direnci.....	24
3.4.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	25
3.4.3. Liflere Paralel Çekme Direnci	26
3.4.4. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	27
3.5. İSTATİSTİK ANALİZLER	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. STANDART VE MİKRO BOYUTLU TESTLERE AİT BULGULAR	28
4.1.1. Eğilme Direncine Ait Bulgular	28
4.1.2. Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular	31
4.1.3. Liflere Paralel Çekme Direncine Ait Bulgular.....	34
4.1.4. Liflere Paralel Basınç Direncine Ait Bulgular	37
4.2. STANDART VE MİKRO BOYUTLU ÖLÇÜMLER ARASINDAKİ İLİŞKİLERE AİT BULGULAR	41
4.2.1. Eğilme Direnci Değerleri İlişkisi	41
4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerleri İlişkisi	42
4.2.3. Liflere Paralel Çekme Direnci Değerleri İlişkisi.....	43
4.2.4. Liflere Paralel Basınç Direnci Değerleri İlişkisi	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
6.KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	51

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Deneme ağaçlarına ait bilgiler	17
Çizelge 4.1. Sarıçam odunu standart boyutlu eğilme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler	28
Çizelge 4.2. Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları	29
Çizelge 4.3. Standart boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci Duncan testi sonuçları	30
Çizelge 4.4. Mikro boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci Duncan testi sonuçları	30
Çizelge 4.5. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu eğilmede elastikiyet modülü değerleri tanımlayıcı istatistikler	31
Çizelge 4.6. Sarıçam odunu eğilmede elastikiyet modülü değerleri çoklu varyans analizi sonuçları	32
Çizelge 4.7. Standart boyutlu Sarıçam odunu eğilmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları	33
Çizelge 4.8. Mikro boyutlu Sarıçam odunu eğilmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları	33
Çizelge 4.9. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler	34
Çizelge 4.10. Sarıçam odunu çekme direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları	36
Çizelge 4.11. Standart boyutlu Sarıçam odunu çekme direnci değerleri Duncan testi sonuçları	36
Çizelge 4.12. Mikro boyutlu Sarıçam odunu çekme direnci değerleri Duncan testi sonuçları	37
Çizelge 4.13. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler	38
Çizelge 4.14. Sarıçam odunu basınç direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları	39
Çizelge 4.15. Standart boyutlu Sarıçam odunu basınç direnci değerleri	40

	Duncan testi sonuçları	
Çizelge 4.16.	Mikro boyutlu Sarıçam odunu basınç direnci değerleri Duncan testi sonuçları	40
Çizelge 4.17.	Standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerleri ilişkisi	41
Çizelge 4.18.	Standart ve mikro boyutlu eğilmede elastikiyet modülü değerleri ilişkisi	42
Çizelge 4.19.	Standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerleri ilişkisi	43
Çizelge 4.20.	Standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerleri ilişkisi	44



ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1.	Sarıçam Tomrukları	16
Şekil 3.2.	60 cm uzunluğundaki taslaklar	17
Şekil 3.3.	Örnek numaralandırma	18
Şekil 3.4.	Eğilme ve basınç direnci taslakların hazırlanması ve örneklerin kesim şeması	19
Şekil 3.5.	Çekme direnci taslakların hazırlanması ve örnek kesim şeması	19
Şekil 3.6.	Deney örneklerinin hazırlanması	20
Şekil 3.7.	Standart boyutlu örneklerde eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneylerinin yapılması	21
Şekil 3.8.	Standart boyutlu örneklerde basınç direnci deneylerinin yapılması	24
Şekil 3.9.	Mikro boyutlu eğilme direnci deney örneği ve deneyin yapılması	25
Şekil 3.10.	Mikro boyutlu çekme direnci örneklerinin hazırlanması	26
Şekil 4.1.	Sarıçam standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)	42
Şekil 4.2.	Sarıçam standart ve mikro boyutlu eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)	43
Şekil 4.3.	Sarıçam standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)	44
Şekil 4.4.	Sarıçam standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)	45

ÖZET

SARIÇAM ODUNUNUN ÖNEMLİ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN MİKRO- MEKANİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE STANDART TEST SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Ezel SAYAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ümit BÜYÜKSARI

Eylül 2016, 51 sayfa

Bu çalışmanın amacı mikro boyutlu Sarıçam odununun bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mikro ve standart boyutlu örnekler arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasıdır.

Deneme ağaçları Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Düzgün gövdeli 8 ağaç deneme ağacı olarak seçilmiştir. Her ağacın 0,30 m yüksekliğinden 3 m uzunluğunda tomruklar alınmış ve bu tomruklardan öz ortada olacak şekilde 6 cm kalınlığında keresteler alınmıştır. Mikro ve standart boyutlu test örnekleri bu kerestelerden hazırlanmıştır. Mikro ve standart boyutlardaki örnekler kullanılarak eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve basınç direnci değerleri tespit edilmiştir.

Sarıçam odununda, standart ve mikro boyutlu örneklerde sırasıyla; eğilme direnci 72,8 N/mm² ve 62,4 N/mm², eğilmede elastikiyet modülü 9917,3 N/mm² ve 2883,9 N/mm², çekme direnci 76,9 N/mm² ve 91,5 N/mm² ve basınç direnci 43,8 N/mm² ve 36,3 N/mm² olarak bulunmuştur. Sonuçlar mikro boyutlu örneklerde eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direncinin daha düşük olduğunu, çekme direncinin ise standart boyutlu örneklerde daha yüksek olduğunu göstermiştir. Örnek boyutu- bireysel ağaç etkileşiminin çekme direnci üzerine etkisi hariç, örnek boyutu, bireysel ağaç ve örnek boyutu- bireysel ağaç etkileşiminin mekanik özellikler üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Regresyon analizi, standart ve mikro boyutlu örneklerin mekanik özellikleri arasında pozitif doğrusal ilişki olduğunu göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Sarıçam, mekanik özellikler, mikro-mekanik

ABSTRACT

DETERMINATION OF MICRO-MECHANICAL PROPERTIES OF SCOTS PINE WOOD AND RELATIONSHIP WITH THE VALUE OF STANDARD DIMENSIONS SAMPLES

Ezel SAYAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Industry
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Ümit BÜYÜKSARI

September 2016, 51 pages

The aim of this study was to determine the some mechanical properties of micro-size Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood and investigate the correlation between micro- and standard-size specimens.

Sample trees were harvested from the Bolu Forest Enterprises in the northwestern part of Turkey. Eight trees having straight stems were selected as sample trees. Logs of 3 m in length were cut from each tree at a height of 0.30 m, and 6 cm-thick planks including the central pith were then cut from these logs. The micro- and standard-size test specimens were prepared from these planks. Bending strength, modulus of elasticity in bending, compression strength and tensile strength were determined using micro- and standard-size test specimens.

In the standard- and micro-size Scots pine wood specimens, bending strengths were evaluated as 72.8 MPa and 62.4 MPa, modulus of elasticity in bending as 9917.3 MPa and 2883.9 MPa, tensile strengths as 76.9 MPa and 91.5 MPa and compression strengths as 43.8 MPa and 36.3 MPa, respectively. The results showed that the bending strength, modulus of elasticity and compression strength of the micro-size specimens were lower compared to the standard-size specimens, while the tensile strength was higher in the micro-size specimens. With the exception of the effect of specimen size and individual tree interaction on tensile strength, statistically significant effects were found for specimen size, individual trees and the interactions of the size and trees on the measured mechanical properties. Furthermore, regression analyses indicated a positive linear regression between the measured mechanical properties of micro- and standard-size specimens.

Keywords: Scots pine, mechanical properties, micro-mechanic

EXTENDED ABSTRACT

DETERMINATION OF MICRO-MECHANICAL PROPERTIES OF SCOTS PINE WOOD AND RELATIONSHIP WITH THE VALUE OF STANDARD DIMENSIONS SAMPLES

Ezel SAYAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Industry
Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI

September 2016, 51 pages

1. INTRODUCTION:

In order to determine the mechanical properties of wood, the approach has been to use structural-size and small-size clear specimens. In recent years, micro-size specimens have been used to evaluate the mechanical properties of earlywood and latewood sections, wood strands, and fibers (Plagemann, 1982; Hunt et al. 1989; Groom et al. 2002; Mott et al. 2002; Deomano and Zink-Sharp 2004; Kretschmann et al. 2006; Cai et al. 2007; Hindman and Lee 2007; Jeong 2008; Jeong et al. 2008). In previous studies, researchers used different specimen dimensions and loading rates according to the purpose of the study.

There is limited information concerning the comparison of mechanical properties of micro- and standard-size specimens. In previous studies, researchers compared their findings for micro-size test with published values in Wood Handbook for standard-size specimens (Cai et al. 2007; Deomano 2001; Zink-Sharp and Price 2006). The aim of this study was to evaluate the mechanical properties of micro-size Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood and investigate the correlation between micro- and standard-size specimens taken from the same tree.

2. MATERIAL AND METHODS:

Sample trees were harvested from the Bolu Forest Enterprises in the northwestern part of Turkey. Eight trees having straight stems were selected as sample trees. Logs of 3 m in length were cut from each tree at a height of 0.30 m, and 6 cm-thick planks including

the central pith were then cut from these logs. The micro- and standard-size test specimens were prepared from these planks.

Specimens were cut according to International Organization for Standardization (ISO) in order to determine the bending strength (ISO 13061-3, 2014), modulus of elasticity in bending (ISO 13061-4, 2014), tensile strength parallel to grain (ISO 13061-6, 2014) and compression strength parallel to grain (ISO/DIS 13061-17, 2014). The same ISO standards were used as a guide for the micro-size specimens.

For the bending strength, modulus of elasticity, tensile and compression strength, all multiple comparisons were first subjected to an analysis of variance (ANOVA) at $p < 0.05$ considering two factors (specimen size and individual tree) and interactions. Post-hoc comparisons were conducted using Duncan's multiple range test. Regression analysis was used to determine the relationship between standard- and micro-size specimens.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS:

The MOR values of the standard- and micro-size specimens were found to be 72.8 MPa and 62.4 MPa, respectively. The results showed that the MOR values of the micro-size specimens were 14.3% lower compared to the standard-size specimens. The MOE values of the standard- and micro-size specimens were determined as 9917.3 MPa and 2883.9 MPa, respectively. The results showed that the MOE values of the micro-size specimens were 70.9% lower compared to the standard-size specimens.

The tensile strength values of the standard- and micro-size specimens were determined as 76.9 MPa and 91.5 MPa, respectively. The results showed that the tensile strength values of the micro-size specimens were 19.0% higher compared to the standard-size specimens. The compression strength values of standard- and micro-size specimens were found to be 43.8 MPa and 36.3 MPa, respectively. The results showed that the compression strength of the micro-size specimens were 17.1% lower compared to the standard-size specimens.

The factors of the specimen size (standard- and micro-size), the individual trees (eight tree) and their interactions on the MOR, MOE, tensile and compression strength are shown in Table 5. For the MOR and MOE, all factors were significantly different ($p < 0.000$). The tensile strength, specimen size and individual tree were significantly

different ($p < 0.000$), while the interaction of specimen size* individual tree was not ($p = 0.811$). For compression strength, all factors were significantly different.

The MOR, MOE, tensile and compression strength values of the standard- and micro-size specimens showed a positive linear dependency, presenting coefficients of determination of 61.2, 66.3, 50.4 and 67.0 percent in linear regression models, respectively.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

The bending strength, modulus of elasticity and compression strength of the micro-size specimens were lower compared to the standard-size specimens, while tensile strength was higher in micro-size specimens. The effects of specimen size, individual trees and the interactions between size and trees on bending strength, modulus of elasticity and tensile and compression strength were statistically significant, except for the effect of the interaction of specimen size and individual trees on tensile strength. The regression analyses indicated that all mechanical properties of the micro-size specimens were significantly correlated with the standard-size specimens. A positive linear regression between the micro- and standard-size specimens was shown for all measured mechanical properties. Micro-size test specimens can be used to estimate the standard-size test results for all measured properties of Scots pine wood.

1. GİRİŞ

Genel olarak, ağaç malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde standartlarda belirtilen küçük boyutlu ve kusursuz örnekler, büyük boyutlu ve kusur içerebilen örnekler ve özellikle son yıllarda farklı amaçlar için mikro boyutlardaki örnekler kullanılmaktadır. Mikro boyutlardaki örnekler bireysel liflerin, ilkbahar ve yaz odunu tabakalarının ve yongaların (strand ve flake) mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. (Plagemann, 1982; Hunt vd., 1989; Groom vd., 2002; Mott vd., 2002; Deomano ve Zink-Sharp, 2004; Cai vd., 2007; Hindman ve Lee, 2007; Jeong, 2008; Jeong vd., 2008). Genel olarak çekme direnci, eğilme direnci, basınç direnci ve bu dirençlere ait elastikiyet modülü değerleri tespit edilmektedir. Mikro boyutlardaki örneklerde örnek boyutları ve yükleme hızları yapılan çalışmanın amacına göre farklılık göstermektedir (Jeong, 2008).

Mikro-mekanik örneklerde elde edilen direnç değerlerinin aynı ağaçtan hazırlanan standart boyutlardaki örneklerden bulunan değerlerle karşılaştırılması ile ilgili büyük bir literatür boşluğu vardır. Yapılan bazı çalışmalarda, mikro-mekanik örneklerde elde edilen direnç değerleri o ağaç türü için literatürde verilen değerlerle karşılaştırılmıştır ve mikro-mekanik örneklerde elde edilen direnç değerlerinin standart boyutlardaki örneklerde elde edilen direnç değerlerinden daha düşük olduğu belirtilmektedir (Cai vd., 2007; Deomano, 2001; Zink-Sharp ve Price, 2006). Bu karşılaştırma ağacın genetik özellikleri, ağaç yaşı ve yetiştirme ortamı şartları dikkate alındığında doğru bir karşılaştırma imkânı sağlamamaktadır. Aynı ağaçtan alınacak örnekler üzerinde çalışılması daha doğru sonuçlar ortaya konmasını ve daha sağlıklı karşılaştırma yapma imkânı sağlayacaktır.

Mikro-mekanik testlerle ilgili bir standart bulunmamaktadır (Jeong, 2008). Ülkemizde mikro-mekanik testlerin çalışılması ve gelişmesi daha sonraki yıllarda oluşturulacak olan standartlarda ülkemizin de payının olmasını sağlayacaktır. Standartlarda eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespitinde 2x2x30-38 cm, liflere paralel çekme direncinin tespitinde ise 1,5x5x35-40 cm boyutlarındaki örnekler kullanılmaktadır. Mikro-mekanik testlerin gelişmesi ile çok daha küçük boyutlu örneklerin kullanılmaya başlanması, yapılacak olan bilimsel çalışmalar için kısıtlı olan orman kaynaklarından daha rasyonel şekilde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Çünkü bir ağaç türünün, mekanik özelliklerinin ortaya konulabilmesi için belirli bir sayıda örnek alınması gerekmektedir. Mikro-mekanik yöntemlerin gelişmesi ile örnek alınacak ağaç malzemenin büyük oranda tasarruf sağlanabilecektir. Ayrıca, deney materyalinin taşıma, depolama ve kurutma vb. işlemlerinde büyük kolaylıklar sağlanacaktır.

Mikro-mekanik test yönteminin gelişmesi ile ağaç malzemenin taşıyıcı olarak kullanıldığı birçok kullanım yerinde zamana bağlı olarak meydana gelen direnç kayıpları, mikro boyutlu örneklerle tespit edilebilecek ve o ahşap yapı elemanının değiştirilip değiştirilmemesi hususunda doğru kararlar alınmasına katkı sağlayacaktır. Standart boyutlarda örnek alınmasının mümkün olmadığı ahşap parçaların, mekanik özelliklerinin tespitinde de yarar sağlayacaktır. Çeşitli alanlarda kullanılmış ağaç malzeme mekanik özellikler, ahşaba fazla bir zarar vermeden alınan mikro-mekanik örnekler ile belirlenebilecektir. Periyodik olarak bir ahşap malzemenin örnek alımı mümkün olabilecek ve mekanik özellikler ortaya konabilecektir. Böylece zaman içerisinde ahşap malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim takip edilebilecektir. Zamanı geldiği düşünüldüğünde kullanılmış ahşap malzemeye gerekli bakım ve onarım tedbirlerinin uygulanabilmesi sağlanacaktır. Tarihi öneme sahip ahşap malzeme daha rasyonel bir şekilde değerlendirilebilecektir.

Ülkemizde yetişen ağaç türlerinin mikro-mekanik özellikleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Büyüksarı (2011) farklı yarıçaplarda bükülmüş ve bükülmemiş Kayın ve Meşe örneklerinde mikro-mekanik testler yapmıştır. Çalışmada, bükülmemiş Kayın ve Meşe örneklerinde eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel çekme ve liflere paralel basınç direnci değerlerini sırasıyla 125,7 N/mm² ve 122,8 N/mm², 9920,5 N/mm² ve 10142,8 N/mm², 152,9 N/mm² ve 107,5 N/mm², ve 54,7 N/mm² ve 56,7 N/mm² olarak bulmuştur. **Bu tez çalışmasının ana amacı** Türkiye’de yetişen Sarıçam odununun mikro-mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve standart boyutlardaki örneklerden elde edilen değerlerle olan ilişkilerinin ortaya konulmasıdır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. SARIÇAM (*Pinus sylvestris*) HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1.1. Botanik Özellikleri

Yetiştirme muhitine göre 20-40 m. ye kadar boylanan narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı, veya dolgun gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı bir ağaçtır. Bazen de fakir topraklar, kayalıklar üzerinde ve arktik rejyonlarda çalı halinde, bodur bir vaziyette bulunmaktadır. Genç gövdelerde, yaşlı ağaçların yukarı kısımlarında ve kalın dallarda tilki sarısı rengindeki kabuk gayet ince levhalar halinde ayrılır. Yaşlı gövdelerde ise gri kahverengi, kalın ve çatlaklıdır (Kayacık, 1965). Genç sürgünler yeşilimsi bir renktedir. İkinci yıldan itibaren bu renk gri kahverengine dönüşür (Kayacık, 1965).

Erkek çiçek, bir eksen üzerinde yer alan çok sayıdaki etaminlerden ibarettir. Çevrel dizili tomurcuklardan gelişen dişi çiçekler teker teker, bazen de iki üç tanesi bir arada bulunur. Kozalak saplıdır, aşağıya sarkar. 2,5-7 cm. uzunluğundaki olgun kozalağın dip tarafı asimimetriktir. Işık gören tarafı daha fazla gelişmiştir (çarpıktır). Işık alan taraftaki apofizler çıkıntılıdır (Kayacık, 1965).

Sarıçam yeknesak bir kabuk yapısına sahip değildir. Hatta bazı araştırmacılar, kabuk görünüşlerine göre sarıçamı muhtelif varyetelere ayırmaktadır. Sarıçam Türkiye’de, değişik yetiştirme yerlerinde kabuk bakımından belirgin farklılıklar göstermektedir (Eliçin, 1971). Sarıçamda derine giden kazık kökler tipiktir ve bu bakımdan derin köklü bir ağaç türüdür. 2-3 m. kazık köklerle 10 m. ye kadar yayılan yan kökler yapabilir. Toprak nitelikleri (nemlilik, taban suyu, toprak derinliği vb.) kök sisteminin şeklini belirler (Saatçioğlu, 1976). Tepe, gerek uçta gerekse çevrede gittikçe daralan bir dallanma göstererek tepe tacının çevresinde adeta buklet oluşumuna gider. Belirli bir yaştan sonra (çoğu zaman 100-120 yıl) tepe çevresi çok sıkılaşır ve artık genişleme yeteneğini kaybeder (Saatçioğlu, 1976).

2.1.2. Doğal Yayılışı

Mevcut çam türleri içerisinde en geniş coğrafi yayılışa sahip olan sarıçam, Avrupa ve Asya’da yaklaşık 3700 km. eninde ve 14700 km. uzunluğunda (37°-70° N ve 7°-137° E) çok geniş bir alanda doğal yayılış gösterir (Tetik, 1994). Kuzey sınırı Norveç’te 70°N enleme kadar çıkar, Japonya, Kola yarımadası, Kuzey Rusya ve Sibiryaya üzerinden

Doğu Asya'ya, Pasifik Okyanusu yakınlarına ve Doğu Çin denizine kadar uzanır. Güney sınırı ise Doğu Asya'dan Ural dağlarına ve aralıklı yayılışlarla Rusya stepi kenar mıntıklarına geçer ve ondan sonra da Galiçya'ya, Karpatlar'a, Yugoslavya'ya, Bulgaristan ve Anadolu'ya atlar. Yugoslavya, Bulgaristan ve Anadolu'daki yayılışları daha ziyade ve esas olarak izole bir şekilde dağlık yerlerde bulunur. Atlantik denizi etkisi altında bulunan Batı Avrupa'da çok sınırlı yayılış gösterir, batıda ve güneyde İskoçya ve İspanya dağlarında görülür (Saatçioğlu, 1976).

Avrupa'nın ve kuzey Asya'nın büyük kısmında yaygın olan sarıçam, güneye doğu Anadolu'da 38°34'N coğrafi enleme kadar (Kayseri, Pınarbaşı mıntıkası) iner. Türkiye'de sarıçam kuzeyde 41°48'N (Ayancık), güneyde 38°34'N (Pınarbaşı) enlem dereceleri ile doğuda 43°05'E (Kağızman), batıda 28°50'E (Orhaneli) boylam dereceleri arasında bulunmaktadır. Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı ve Orta Anadolu sarıçamın esas yayılış bölgeleridir, fakat en yoğun yayılışını Kuzey Anadolu'nun iç mıntıklarında yapar ve bu mıntıklardan Orta Anadolu'ya sarkar. Orta Anadolu'da Akdağ, Çamlıbel dağı, Yozgat, Tokat, Sivas, Eskişehir, Afyonkarahisar ve çevresindeki dağlık mıntıklar başlıca yayılış sahalarıdır (Saatçioğlu, 1976).

2.1.3. Makroskopik Özellikleri

Diri odun genişliği yetiştirme muhiti şartları ve ağaç yaşı ile değişmekle birlikte ortalama 5-10 cm olup sarımsı beyaz renktedir. Özodun sınırı belirgin olup, genellikle yuvarlak, bazı ağaçlarda diri odun içerisine diller şeklinde girintiler yapar. Kırmızımsı sarı ve kırmızımsı kahverengindedir. Kesimden sonra daha koyulaşır. Yıllık halka sınırları belirgin ve hafif dalgalıdır. Yaz odunu koyu renkli olup ilkbahar odunu ile kontrast yaratır. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş ani, fakat bazen yavaştır. Yetiştirme muhitine bağlı olarak yıllık halkalar dar veya geniş olabilir. Yaz odunu parlak kahverengi olup radyal kesitte birbirine paralel şeritler halinde görülür, teğet kesitte geniş sarımsı şeritler oluşturur (Öktem, 1994). Yaz odununun yıllık halka içindeki katılım oranı % 2-73 arasında değişmektedir (Öktem, 1994; Ay, 1990; Toker, 1960; Bozkurt ve Erdin, 2000)

Öz ışınları zengin ve dar olup çıplak gözle görülmemektedir (Öktem, 1994; Ay, 1990; Toker, 1960; Bozkurt ve Erdin, 2000). Sadece yaz odununda belirgin olabilir. Radyal kesitte enine, ince bantlar teşkil ederler. Boyuna paranzimleri yoktur (Öktem, 1994; Ay, 1990; Toker, 1960; Bozkurt ve Erdin, 2000). Çok sayıdaki reçine kanalları genellikle geniş olup enine kesitte yaz odununda açık, ilkbahar odununda koyu lekeler şeklinde

görülür (Öktem, 1994). Radyal ve teğet kesitte ise boyuna çizikler halindedir (Öktem, 1994; Ay, 1990).

Odunu mat olup, parlak değildir (Öktem, 1994; Toker, 1960). Taze halde iken reçine kokuludur. Dekoratif bir görünüşü vardır. Kaba lifli, orta ağırlıkta ve oldukça sert bir oduna sahiptir (Öktem, 1994; Toker, 1960). Kolaylıkla düz satırlar halinde yarılr (Öktem, 1994).

2.1.4. Mikroskopik Özellikleri

Yıllık halka sınırları belirgin, yaz odunu traheidleri radyal yönde yassılaşımış, kalın çeperli, dar lümenlidir. Traheidlerin teğet çapı 10-50 µm, uzunlukları 1800-4500 µm'dir (Öktem, 1994). Değişik yetiştirme ortamlarında traheidlerin teğet çaplarının 28,5-42,8 µm, radyal çaplarının ise 14,3-35,7 µm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Traheid uzunlukları 600-3050 µm arasında ölçülmüştür. Yaz odunu traheidleri ilkbahar odunu traheidlerinden daha uzundur (Ay, 1990). Traheid uzunluklarının 1600-5700 µm arasında değiştiği de bildirilmektedir (Öktem, 1994). İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş oldukça hızlı, ilkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerinde kenarlı geçitler büyük ve tek sıralıdır (Öktem, 1994). Çeşitli yetiştirme muhitlerinde 1 mm²'deki traheid sayısı 796-1402 adet arasında bulunmuştur. Yaz odununda birim alandaki traheid sayısı ilkbahar odunundan fazladır (Ay, 1990).

Öz ışınları tek sıralı, reçine kanalı bulunan öz ışınları orta kısımda 2-5 sıralıdır. Öz ışınları yüksekliği çoğunlukla 1-12 hücre, bazen 15 hücreden fazladır. Heterojen yapıdadır. Öz ışını traheidleri her iki tarafta 1-3 sıralı, bazen de öz ışını içerisinde bulunmaktadır. Bunların çeperleri kaba dişlidir. Öz ışını paranzim hücrelerinin çeperleri ince, enine ve uç çeperlerde geçitler az sayıdadır (Öktem, 1994; Ay, 1990). Karşılaşma yeri geçitleri 1-2 adet ve pencere tipindedir. Ancak literatürde pinoid tipte olduğu da belirtilmektedir (Eliçin, 1971). Karaçamdan karşılaşma yeri geçitlerinde kenarların dişli bir yapıda olmasıyla ayrılır. Boyuna paranzim hücreleri bulunmamaktadır. Boyuna reçine kanalları çoğunlukla tek tek ve genellikle yaz odunu içerisinde bulunurlar (Eliçin, 1971; Öktem, 1994). Reçine kanallarının ortalama olarak %37'si ilkbahar odunu, %63'ü yaz odunu içerisinde bulunurlar (Ay, 1990). Çapları 80-120 µm civarındadır (Eliçin, 1971). Çeşitli yetiştirme ortamları için reçine kanallarının teğet çapları 155-174 µm, radyal çapları ise 117-139 µm arasında ölçülmüştür (Ay, 1990). Ladin ve melezden daha fazla sayıdadır. Epitel hücrelerinin çeperleri incedir (Öktem, 1994).

2.1.5. Fiziksel Özellikleri

Batı Karadeniz sarıçamlarında yapılan bir araştırmada yıllık halka genişliklerinin 0,54-8,79 mm arasında değiştiği ve ortalama yıllık halka genişliğinin 2,07 mm olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı araştırmada yıllık halka içerisindeki yaz odunu katılım oranının %7-86 arasında değiştiği ve ortalama %26 olduğu ifade edilmektedir (Öktem, 1994). Türkiye sarıçamlarında yapılan bir başka araştırmada, Eskişehir-Çatacık yöresinden alınan ağaçlarda ortalama yıllık halka genişliği 1,011 mm ile 1,438 mm arasında, Yozgat-Akdağmadeni yöresinde 1,052 mm, Kayseri-Pınarbaşı yöresinde 2,149 mm, Bolu-Seben yöresinde 2,062 mm, Kars-Sarıkamış yöresinde 1,754 mm, Giresun-Bicik yöresinde 0,983 mm ve Rize-Hopa yöresinde 1,208 mm olarak bulunmuştur (Eliçin, 1971).

Batı Karadeniz bölgesi sarıçamlarında tam kuru ve hava kurusu yoğunluk yoğunluk değerleri ortalama 0,496 g/cm³ ve 0,526 g/cm³ olarak bulunmuştur. (Öktem, 1994). Başka bir araştırmada Türkiye’de yetişen sarıçamların hava kurusu yoğunluk değeri ortalama 0,482 g/cm³ olarak bulunmuştur (Toker, 1960). Hacim yoğunluk değeri de ortalama 0,426 g/cm³ olarak belirlenmiştir (Öktem, 1994). Bir başka kaynakta sarıçamın tam kuru yoğunluğu 0,49 g/cm³, hava kurusu yoğunluğu da 0,52 g/cm³ olarak verilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Batı Karadeniz bölgesi sarıçamlarında lif doygunluğu noktasından (LDN) tam kuru hale (%0) kadar radyal yönde daralma %4.3, teğet yönde daralama %8.3, liflere paralel (boyuna) yönde daralama %0,3 ve hacmen daralma %12,7 olarak tespit edilmiştir. Genişleme değerleri ise, tam kuru halden LDN’ye kadar radyal yönde %4,4, teğet yönde %9,1, liflere paralel yönde %0,3 ve hacmen %14,6 olarak bulunmuştur. Yine aynı araştırmada LDN %29,8 olarak hesaplanmıştır (Öktem, 1994).

2.1.6. Mekanik Özellikleri

Batı Karadeniz bölgesi sarıçamlarında, %15 rutubette liflere paralel basınç direnci ortalama 37,9 N/mm² olarak bulunmuştur. Statik kalite değeri 7,1 olarak hesaplanmıştır. Yine %15 rutubette eğilme direnci ortalama 64,9 N/mm², eğilmede elastikiyet modülü ortalama 10200 N/mm², liflere dik yönde çekme direnci ortalama 2,1 N/mm², dinamik eğilme (şok) direnci ortalama 5,5 J/cm², son olarak Brinell sertlik değeri de liflere paralel yönde ortalama 2,36 kp/mm², liflere dik yönde ise ortalama 0,77 kp/mm² olarak tespit edilmiştir (Öktem, 1994).

Türkiye’de yetişen sarıçamlarda yapılan bir başka araştırmada %12 rutubetteki liflere paralel basınç direnci 37,3 N/mm², eğilme direnci 62,9 N/mm², eğilmede elastikiyet modülü 6732,5 N/mm², liflere paralel makaslama direnci 2,5 N/mm² olarak tespit edilmiştir (Toker, 1960).

2.1.7. Kimyasal Özellikleri

Sarıçam odunu % 74,3 holoseluloz, % 52,2 seluloz, % 26,3 lignin ve % 8,2 pentozan ihtiva etmektedir (Fengel ve Wegener, 1984). Hafızoğlu ve Usta (2005) sarıçam odununun seluloz oranının öz odunda % 52,8, diri odunda % 56,5, ve lignin oranının öz odunda % 26,6, diri odunda % 28,3 olduğunu, öz odun ve diri odun için sırasıyla soğuk su, sıcak su, alkol-benzen ve % 1’lik NaOH çözünürlüğü değerleri % 2,8–2, % 4,4–3,2, % 4,7–2,5 ve % 13,2–19,4 olarak tespit etmişlerdir.

2.1.8. Önemli Kullanım Alanları

Sarıçam yuvarlak halde çit direği, maden ve tel direği olarak kullanılmaktadır. Emprenye edilmiş olması durumunda su içi inşaatlarda iskele direği olarak ta kullanılmaktadır. Özellikle sıkı lifli olması bu amaç için bir avantajdır. Geniş bir öz odun tabakasına (%10-55) sahiptir ve öz odununun doğal dayanıklılığı nispeten yüksektir. Ancak emprenye edilerek kullanılmalıdır. Eğilme direnci, tel direği için istenen sınır değerinin üzerindedir. Yoğunluğuna oranla eğilme ve basınç dirençlerinin yüksek olması kolay işlenmesi ve özellikle haber verme kabiliyetinin iyi olması nedeniyle maden direği üretimine uygundur (Öktem, 1994; Toker, 1960).

Sarıçam, onarım işlerinde kullanılan basit iskeleler, betonarme bina inşaatında kullanılan iskeleler için kullanılmaya uygundur. Binalarda taban, duvar, tavan kiriş ve kaplamalarında, kiriş ve kolon gibi taşıyıcı eleman olarak, kapı pencere doğramalarında, çatı konstrüksiyonlarında, gergi, dikme, destek, kuşaklama, yanlama, aşık ve merteklerin üretiminde kullanılır. Özellikle yoğunluğunun düşük, fakat direncinin yüksek olması, kolay işlenmesi, kolay birleştirilebilmesi, ısı iletkenliğinin kötü oluşu bu amaçla tercih edilmesini sağlar. Aynı şekilde köprü inşaatlarında, gemi yapımında, taşıt araçlarının yapımında değerlendirilebilmektedir. Bunların yanında mobilya üretiminde, ambalaj sandıkları yapımında da değerlendirilmektedir (Öktem, 1994; Toker, 1960).

Yaygın kullanım alanlarından biri de kağıt hamuru üretimidir. Yongalevha ve liflevha üretiminde önemli bir hammaddesidir. Odunu destile edilmek suretiyle çeşitli kimyasal ürünler üretilmektedir (Öktem, 1994; Toker, 1960).

2.2. MEKANİK TEST YÖNTEMLERİ

Ağaç malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde standartlarda belirtilen küçük boyutlu ve kusursuz örnekler, büyük boyutlu ve kusur içerebilen örnekler, hücre boyutlu örnekler ve mikro boyutlardaki örneklerde kullanılmaktadır.

2.2.1. Standart Boyutlu Mekanik Test Yöntemleri

Küçük boyutlu ve kusursuz örnekler kullanılarak ilgili standartlara göre ağaç malzemenin mekanik özellikleri belirlenmektedir. Türk Standartları Enstitüsü tarafından her bir mekanik özellik için ayrı ayrı olmak üzere yayınlanan standartlarda genel olarak kullanılacak makinenin kapasitesi, test hızı, kullanılacak örnek boyutları, klimatizasyon şartları, mekanik özelliklerin nasıl hesaplanacağı, deney sonrası örnek rutubetinin tespit edilmesi ve gerekli ise rutubet dönüşümünün nasıl yapılacağı belirtilmektedir. Standart boyutlu örneklerde eğilme direnci TS 2474/1976, eğilmede elastikiyet modülü TS 2478/1976, liflere paralel çekme direnci TS 2475/1976, liflere paralel basınç direnci TS 2595/1977 standartlarına göre yapılmaktadır.

2.2.2. Mikro Boyutlu Mekanik Test Yöntemleri

Son yıllarda farklı amaçlar için mikro boyutlardaki örneklerde de mekanik özellikler belirlenmeye başlanmıştır. Bu boyutlardaki örnekler, bireysel liflerin, ilkbahar ve yaz odunu tabakalarının ve yongalarda (strand ve flake) mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Genel olarak çekme direnci, eğilme direnci, basınç direnci ve bu dirençlere ait elastikiyet modülü değerleri tespit edilmektedir. Mikro boyutlardaki örneklerde örnek boyutları ve yükleme hızları amaca göre değişmektedir. Bu durum elde edilen ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasını güçleştirmektedir (Jeong, 2008). Hindman and Lee (2007) yaptıkları çalışmada çok küçük boyutlu örneklerde ve odun yongalarında yapılan testlerle ilgili standardın olmadığını ve yükleme hızının ve uygun test prosedürünün belirlenmesinde küçük boyutlu kusursuz örneklerin test edilmesinde kullanılan ASTM D 143 standardını kaynak olarak kullandıklarını belirtmektedirler.

Mikro-mekanik örneklerde elde edilen direnç değerlerinin aynı ağaçtan hazırlanan standart boyutlardaki örneklerle karşılaştırılması ile ilgili bir literatüre rastlanamamıştır. Genel olarak, mikro-mekanik örneklerde elde edilen direnç değerleri o ağaç türü için literatürde verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Mikro-mekanik örneklerde elde edilen

direnç değerlerinin standart boyutlardaki örneklerde elde edilen direnç değerlerinden daha düşük olduğu belirtilmektedir (Zink-Sharp ve Price, 2006; Price, 1975; Cai vd., 2007). Cai vd. (2007) Söğüt (*Salix spp.*), Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera* L.), Meşe (*Quercus spp.*) ve Çam (*Pinus taeda*) yongalarının çekme direncinin “Wood Handbook”ta bu ağaç türleri için verilen değerlerden sırasıyla % 31,1, % 44,2, % 36,2 ve % 73,4 daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Bu karşılaştırma ağacın genetik özellikleri, ağaç yaşı ve yetiştirme ortamı şartları dikkate alındığında tam olarak bir karşılaştırma sağlamaktadır.

Mikro boyutlardaki örneklerde örnek boyutları ve yükleme hızları yapılan çalışmanın amacına göre değişmektedir. Hunt vd. (1989) Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera*) yongalarında (strand) çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünü ölçtükleri çalışmada, 2224 N kapasiteli yük hücresi ve 1,9 mm/dak yükleme hızı kullanmışlardır. Ayrıca, stres dalga yöntemi ile ölçtükleri dinamik eğilme direnci ile çekmede elastikiyet modülü değerleri arasında basit doğrusal regresyon analizi yapmışlardır. Aradaki ilişkinin istatistiki olarak anlamlı ve belirlilik katsayısının 0,69 olduğunu belirtmektedirler.

Deomano ve Zink-Sharp (2004) Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera*), Çam (*Pinus spp.*) ve Sığla (*Liquidambar styraciflua* L.) odunu yongalarından (flake) 25 mm x 5 mm x 0,6 mm boyutlarında hazırladıkları örneklerde eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerini belirlemişlerdir. Yükleme hızı 2,54 mm/dak’dır. Lale ağacı, Çam ve Sığla için eğilme direnci sırasıyla 89,0 N/mm², 66,0 N/mm² ve 78,6 N/mm², elastikiyet modülü değerleri ise 5829,4 N/mm², 4086,9 N/mm² ve 4430,6 N/mm² olarak bulunmuşlardır.

Zink-Sharp ve Price (2006) Sığla (*Liquidambar styraciflua* L.), Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera*) ve Akçaağaç (*Acer rubrum*) türlerinde 1 mm x 1 mm x 4 mm boyutlarındaki örneklerde basınç direncini belirlemişlerdir. Deneyler % 12 rutubette ve 0,029 mm/dak yükleme hızında yapılmıştır. Sığla, Lale ağacı ve Akçaağaç için basınç direnci değerlerini sırasıyla 39,2 N/mm², 33,5 N/mm² ve 41,6 N/mm² olarak bulunmuşlardır. Ayrıca, mikro-mekanik örneklerde buldukları sonuçları Wood Handbook da bu ağaç türleri için verilen ortalama basınç direnci değerleri ile karşılaştırmışlar ve mikro-mekanik örneklerde buldukları direnç değerlerinin daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük olmasının sebebinin tam olarak bilinmemekle birlikte iki nedenden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Birincisi örnek boyutunun etkisi, ikincisi ise örnek hazırlama esnasında oluşabilecek zararlardır.

Jeong vd. (2008) am odununda (*Southern pine*) yükleme hızı ve örnek kalınlığının çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisini incelemişlerdir. Üç farklı yükleme hızı (0,102 mm/dak, 0,254 mm/dak ve 0,406 mm/dak) ve 4 farklı örnek kalınlığı (0,381 mm, 0,794 mm, 1,91 mm ve 3,81 mm) kullanmışlardır. Sonuçlar, kalınlık arttıca (3,81 mm kalınlık hariç) ekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünün arttığını göstermiştir. 3,81 mm kalınlığındaki örneklerin tümü deney başlıklarından kaydığı için daha düşük elastikiyet modülü değeri vermiştir. İstatistik analizler, çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü üzerine yükleme hızının etkisinin istatistiki olarak anlamsız, fakat örnek kalınlığının anlamlı derecede etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, test sonuçlarındaki değişimi azaltmak için küçük boyutlu örneklerde 0,254 mm/dak yükleme hızı ve 0,794 mm ve 1,91 mm örnek kalınlığı kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

Price (1975) Sığla odununda kopma bölgesi uzunluğunun çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, kopma bölgesi uzunluğunun artması çekme direncinin arttığını çekmede elastikiyet modülünün azaldığını bulmuştur. Ayrıca, deneylerde kullandığı yongaların (strand) direncinin aynı ağaç türünün standart boyutlardaki örneklerinden elde edilen direnç değerlerinden daha düşük olduğunu belirtmiştir. Benzer sonuçlar, Cai vd. (2007) tarafından da bulunmuştur. Cai vd. (2007) Söğüt (*Salix spp.*), Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera L.*), Meşe (*Quercus spp.*) ve am (*Pinus taeda*) yongalarının çekme direncinin “Wood Handbook”ta bu ağaç türleri için verilen değerlerden sırasıyla % 31,1, % 44,2, % 36,2 ve % 73,4 daha düşük olduğunu belirtmektedirler.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. DENEME AĞAÇLARININ TEMİNİ

Sarıçam deneme ağaçları Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Seben Orman İşletme Müdürlüğü, Taşlıyayla İşletme Şefliği'nden temin edilmiştir. İşletme şefliği sınırlarında bulunan 102 nolu bölmeden 8 adet deneme ağacı kesilmiştir. Alınan tomruklar Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sarıçam tomrukları

Deneme alanında ağaçların ortalama göğüs çapları ölçülmüş ve ortalama çapa sahip düzgün gövdeli, reaksiyon odunu içermeyen, çok budaklı ve çürük vb. kusurlar bulunmayan ağaçlar deneme ağacı olarak seçilmiştir. Belirlenen her deneme ağacına bir numara verilmiş, kuzey yönleri işaretlenmiş ve kesimi yapılarak gerekli ölçmeler yapılmıştır. Deneme ağaçlarının kesimi ve dal temizlemesi tamamlandıktan sonra, her deneme ağacından kökten itibaren 0,30–3,30 metreleri arasından 3 m'lik tomruklar alınmıştır. Alınan bütün tomrukların üzerine ağaç numarası yazılmış ve kuzey yönü işaretlenmiştir. Alınan deneme ağaçlarına ait bilgiler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme ağaçlarına ait bilgiler

Ağaç No	Çap (cm)	Ağaç Yaşı (Yıl)	Bölme No	Alınan Tomruk Uzunluğu (cm)	Rakım (m)	Bakı	Eğim (%)
1	33	137	102	300	1540	Kuzeydoğu	40
2	34	135					
3	34	144					
4	37	127					
5	34	94					
6	32	135					
7	36	123					
8	35	130					
Ortalama	34,4	128,1					

3. 2. DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Sarıçam tomrukları Düzce’de bulunan Orsan Entegre Orman Ürünleri Paz. San. ve Tic. Ltd. Şti ’de 6 cm kalınlığında biçtirilmiştir. Bir süre doğal kurumaya bırakılan keresteler 60 cm uzunluğunda kesilmiştir (Şekil 3.2.). Örnekler üzerine ağaç, kereste ve parça numarası yazılmıştır (Şekil 3.3.).

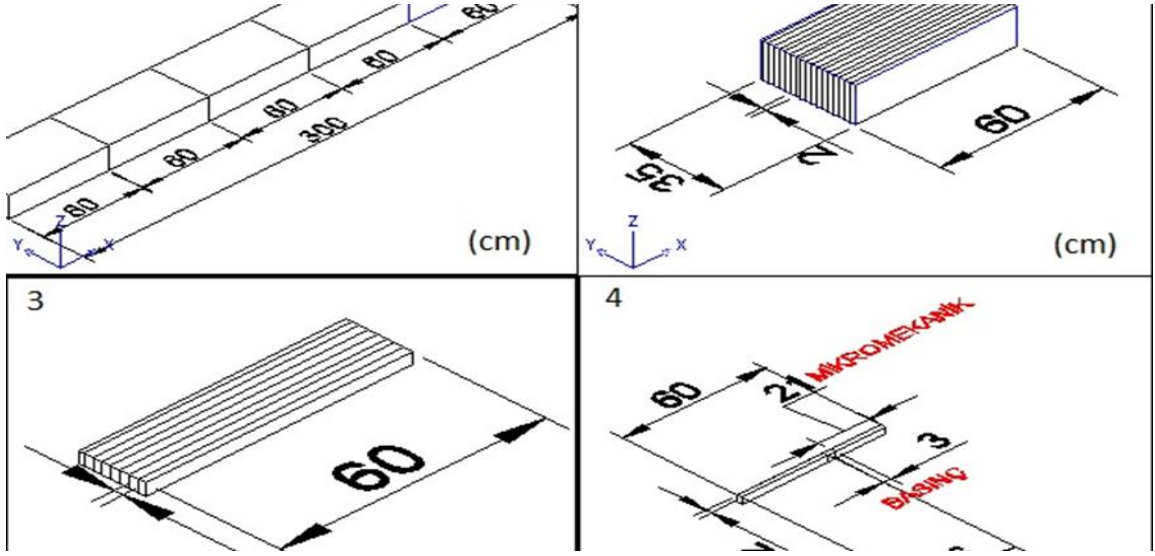


Şekil 3.2. 60 cm uzunluğundaki taslaklar

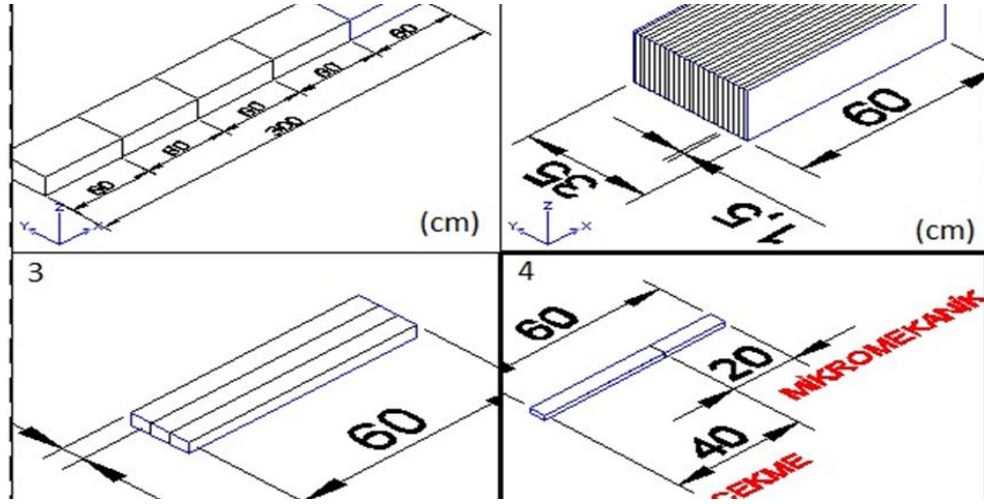


Şekil 3.3. Örnek numaralandırma (822: 8 nolu ağaç, 2. kereste, 2. Parçası (60 cm lik parçalar), mavi çizgi: örnek kesimlerine aynı taraftan başlanması için çizilmiştir)

Aynı keresteden basınç, eğilme ve çekme örneklerinin hazırlanacağı parçalar ayrılmıştır. Basınç direnci ve eğilme direnci örneklerinin enine kesit ölçülerinin aynı olması (2x2 cm) nedeniyle, bu örnekler aynı parçadan alınmıştır. Eğilme direnci örnekleri 36 cm uzunlukta ve basınç direnci örnekleri 3 cm uzunlukta olduğu için yaklaşık 40 cm'lik kısımdan bu örnekler alınmış ve geriye kalan 20 cm uzunlukta olan örnekler mikro mekanik test örneklerinin hazırlanması için ayrılmıştır (Şekil 3.4.). Çekme örneklerinin uzunlukları 40 cm olarak alınmıştır. Çekme örneklerinin uç kısımlarından kalan 20 cm lik kısımlarda mikro mekanik testler için ayrılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.4. Eğilme ve basınç direnci taslaklarının hazırlanması ve örneklerin kesim şeması



Şekil 3.5. Çekme direnci taslaklarının hazırlanması ve örneklerin kesim şeması

Eğilme direnci, basınç direnci ve çekme direnci örnekleri alınan parçalardan Düzce’de bulunan bir mobilya atölyesinde hazırlatılmıştır. Deney örneklerinin hazırlanması Şekil 3.6.’da gösterilmiştir. Hazırlanan örnekler Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi’nde iklimlendirme odasında klimatize edilmiştir.



Şekil 3.6. Deney örneklerinin hazırlanması

3. 3. STANDART BOYUTLU ÖRNEKLERDE YAPILAN TESTLER

Standart boyutlu deney örnekleri İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi'ne taşınmıştır. Deneyler Lloyd marka Üniversal Test Makinesi kullanılarak yapılmıştır. Standart boyutlu örneklerde liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel çekme direnci testleri yapılmıştır.

3.3.1. Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneyleri TS 2474/1976 esaslarına uygun olarak yapılmıştır. Örnekler 20x20x360 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Örnekler iklimlendirme dolabında 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\% 65 \pm 5$ bağıl nem şartlarında bekletilerek rutubetlerinin yaklaşık $\%12$ olması sağlanmıştır. İklimlendirme işleminden sonra, örneklerin enine kesit boyutları (eni radyal yönde, kalınlığı teğet yönde) uzunluk ekseninin ortasından $\pm 0,01$ mm duyarlıkta ölçülmüştür. Örnekler makineye dayanak noktaları arasındaki açıklık, kalınlığın 15 katı ($2 \times 15 = 30$ cm) olacak şekilde yerleştirilmiş yük deney örneklerinin radyal yüzüne yıllık halkalara teğet yönde ve deney örneğinin tam orta kısmından uygulanmıştır. Deney hızı, örnekler makinede $1,5 \pm 0,5$ dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış, kırılma anındaki kuvvet (P_{max}) ± 1 kp duyarlıkta ölçülerek eğilme direnci aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta E = (3 \times P_{max} \times L_s) / (2 \times b \times h^2)$$

Formülde;

δE : Eğilme direnci	(N/mm ²)
P_{max} : Kırılma anındaki kuvvet	(N)
L_s : Dayanak noktaları arasındaki açıklık	(mm)
b : Örnek genişliği	(mm)
h : Örnek kalınlığı	(mm)

Deneylerden sonra, her bir örneğin rutubet miktarı kırılma bölgesine yakın kısımdan alınan 20x20x30 mm boyutlarında örnekler yardımıyla belirlenmiştir. Rutubetleri % 12'den farklı olan örneklerin eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül kullanılarak % 12 rutubetteki eğilme direnci değerlerine dönüştürülmüştür.

$$\delta E_{12} = \delta E_m * [1 + 0,04 (M_2 - 12)]$$

Formülde;

δE_{12} = % 12 rutubetteki eğilme direnci (N/mm²)

δE_m = % m rutubetteki eğilme direnci (N/mm²)

M_2 = Deney anındaki örnek rutubeti (%)

Standart boyutlu örneklerde eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneylerinin yapılması Şekil 3.7.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Standart boyutlu örneklerde eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneylerinin yapılması

3.3.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci örneklerinden yararlanılmış ve deneyler TS 2478/1976 esaslarına göre yürütülmüştür. Eğilmede elastikiyet modülü deneme makinesinde elastik bölgede uygulanan yüklere karşılık

meydana gelen eğilmelerden yararlanılarak aşağıdaki formül yardımı ile makine tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

$$E = (\Delta P \times L_S^3) / (4 \times f \times b \times h^3)$$

Formülde;

E = Elastikiyet modülü	(N/mm ²)
ΔP = Elastik bölgedeki kuvvet	(N)
L_S = Dayanak noktaları arasındaki açıklık	(mm)
b = Örnek genişliği	(mm)
h = Örnek yüksekliği	(mm)
f = Eğilme miktarı	(mm)

Rutubetleri % 12'den farklı olan deney örneklerinin elastikiyet modülü, her örneğin rutubeti ayrı ayrı belirlenerek aşağıdaki formülden % 12 rutubetteki elastikiyet modülüne dönüştürülmüştür.

$$E_{12} = E_r * [1 + 0,02 (M_2 - 12)]$$

Formülde;

E_{12} = % 12 rutubetteki elastikiyet modülü	(N/mm ²)
E_m = % m rutubetteki elastikiyet modülü	(N/mm ²)
M_2 = Deney anındaki örnek rutubeti	(%)

3.3.3 Liflere Paralel Çekme Direnci

Deneyler TS 2475/1976 esaslarına göre yürütülmüştür. Deney örnekleri 15x50x400 mm boyutlarında hazırlandıktan sonra iklimlendirme dolabında 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında bekletilerek rutubetlerinin yaklaşık %12 olması sağlanmıştır. İklimlendirme işleminden sonra, örneklerin kopma kesit yüzeyi boyutları ± 0,01 mm duyarlıkta ölçülmüştür. Makineden örneklerin koparıldığı kuvvet ölçülmüştür. Liflere paralel çekme direnci aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$\delta\sigma = P_{max} / (a \times b)$$

Formülde;

$\delta\sigma$ = Liflere paralel çekme direnci	(N/mm ²)
P_{max} = Kopma anındaki kuvvet	(N)
a,b = Örnek çekme kesit yüzeyi boyutları	(mm)

3.3.4 Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç direnci denemeleri TS 2595/1977'ye göre yürütülmüştür. 20x20x30 mm boyutlarında kusursuz örnekler hazırlanmıştır. Örnekler iklimlendirme dolabında 20 °C ± 2 sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında bekletilerek rutubetlerinin yaklaşık %12 olması sağlanmıştır. İklimlendirme işleminden sonra, örneklerin enine kesit boyutları uzunluk ekseninin ortasından ± 0,01 mm duyarlıkta ölçülmüştür. Deney hızı, örnekler makinede 1,5-2 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış, kırılma anındaki kuvvet (Pmax) 0,01 duyarlıkta ölçülmüştür. Liflere paralel basınç direnci aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta B = P_{max} / a \times b$$

Formülde;

δB : Liflere paralel basınç direnci (N/mm²)

P_{max} : Kırılma anındaki kuvvet (N)

a, b : Örnek enine kesit boyutları (mm)

Deneylerden sonra örnek rutubetleri TS 2471'e göre belirlenerek, rutubetleri %12'den farklı olan örneklerin basınç direnci değerleri aşağıdaki formül kullanılarak %12 rutubetteki liflere paralel basınç direnci değerlerine dönüştürülmüştür.

$$\delta B_{12} = \delta B_r * [1 + 0,05 (M_2 - 12)]$$

Formülde;

δB_{12} = % 12 rutubetteki basınç direnci (N/mm²)

δB_r = % r rutubetteki basınç direnci (N/mm²)

M_2 = Deney anındaki örnek rutubeti (%)

Standart boyutlu örneklerde basınç direnci deneylerinin yapılması Şekil 3.8.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Standart boyutlu örneklerde basınç direnci deneylerinin yapılması

3.4 MİKRO BOYUTLU ÖRNEKLERDE YAPILAN TESTLER

Mikromekanik örneklerde eğilme, eğilmede elastikiyet modülü, basınç ve çekme testleri yapılmıştır. Deneyler, ilgili Türk Standartları esas alınarak ve standart boyutlu örneklerde yapılan deneylerdeki kriterler dikkate alınarak yapılmıştır.

3.4.1 Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneyleri TS 2474/1976 esaslarına uygun olarak yapılmıştır. Eğilme direnci örnekleri 1-1,3x5x50 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Mesnet aralığı örnek kalınlığının 16 katı olarak alınmıştır. Mikromekanik eğilme direnci deneyleri 100 N kapasiteli Zwick marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Örnekler iklimlendirme odasında 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\% 65 \pm 5$ bağıl nem şartlarında bekletilerek rutubetlerinin yaklaşık $\%12$ olması sağlanmıştır. İklimlendirme işleminden sonra, örneklerin enine kesit boyutları (eni radyal yönde, kalınlığı teğet yönde) uzunluk ekseninin ortasından $\pm 0,01$ mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Mikro boyutlu eğilme direnci deney örneği ve deneyin yapılması Şekil 3.9 'da gösterilmiştir. Örnekler makineye yük deney örneklerinin radyal yüzüne yıllık halkalara teğet yönde ve deney örneğinin tam orta kısmından uygulanacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney hızı, örnekler makinede 1,5

± 0,5 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış, kırılma anındaki kuvvet (Pmax) ölçülerek eğilme direnci aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta E = (3 \times P_{max} \times L_s) / (2 \times b \times h^2)$$

Formülde;

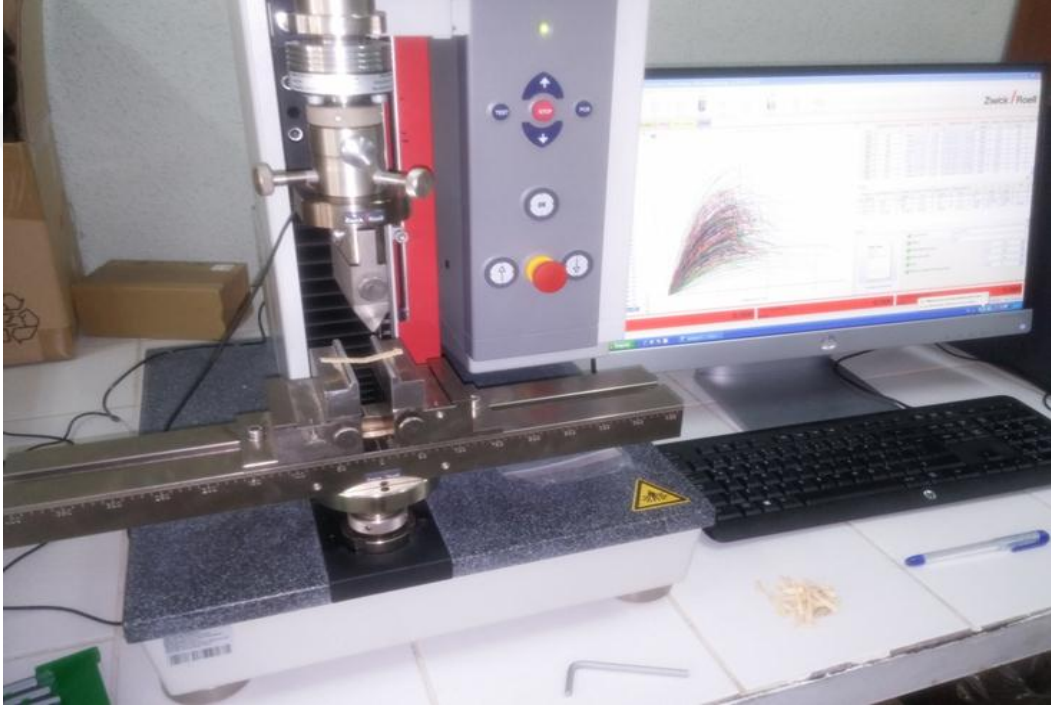
δE : Eğilme direnci (N/mm²)

Pmax: Kırılma anındaki kuvvet (N)

Ls: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

h: Örnek kalınlığı (mm)



Şekil 3.9. Mikro boyutlu eğilme direnci deney örneği ve deneyin yapılması

3.4.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci örneklerinden yararlanılmış ve deneyler TS 2478/1976 esaslarına uygun olarak yürütülmüştür. Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesi için eğilme direnci deneyleri yapılırken program tarafından aşağıdaki formül yardımı ile elastikiyet modülü hesaplanmıştır.

$$E = (\Delta P \times L S^3) / (4 \times f \times b \times h^3)$$

Formülde;

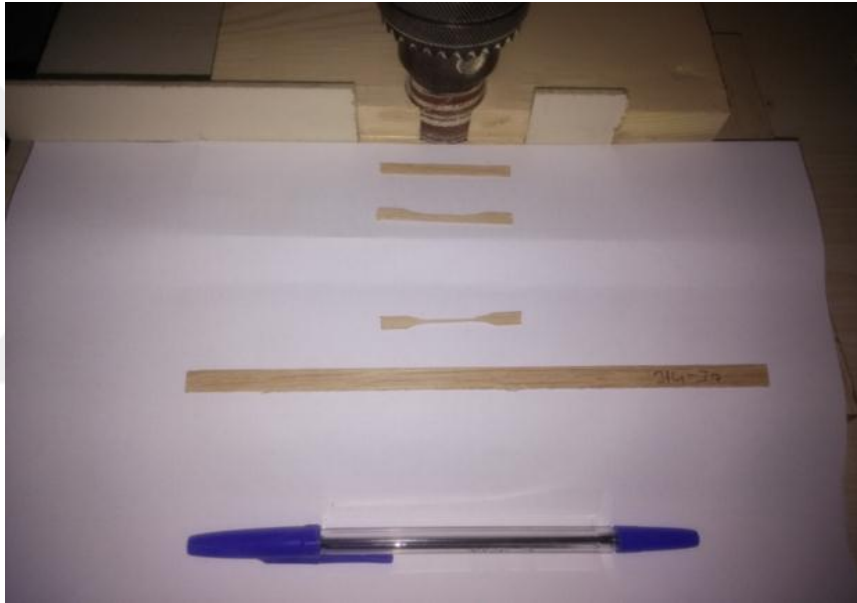
E = Elastikiyet modülü (N/mm²)

ΔP = Elastik bölgedeki kuvvet (N)

LS = Dayanak noktaları arasındaki açıklık	(mm)
b = Örnek genişliği	(mm)
h = Örnek yüksekliği	(mm)
f = Eğilme miktarı	(mm)

3.5.3 Liflere Paralel Çekme Direnci

Liflere paralel çekme direnci örnekleri genişlik yönünde inceltilerek kullanılmıştır. Öncelikle 1-1,3 mm kalınlık x 5 mm genişlik x 50 mm uzunluktaki taslaklar hazırlanmıştır. Daha sonra 5 mm olan örnek genişliği 0,8 mm'ye düşürülmüştür (Şekil 3.10). Liflere paralel çekme direnci deneyi 1000 N kapasiteli Zwick marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.10. Mikro boyutlu çekme direnci örneklerinin hazırlanması

Deney örnekleri iklimlendirme odasında 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\% 65 \pm 5$ bağıl nem şartlarında bekletilerek rutubetlerinin yaklaşık $\%12$ olması sağlanmıştır. İklimlendirme işleminden sonra, örneklerin kopma kesit yüzeyi boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Örneklerin koparıldığı kuvvet ölçülmüş ve liflere paralel çekme direnci aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$\delta\sigma = P_{\max} / (a \times b)$$

Formülde;

$$\delta\sigma = \text{Liflere paralel çekme direnci} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$P_{\max} = \text{Kırılma anındaki kuvvet} \quad (\text{N})$$

$$a, b = \text{Deney bölgesi kalınlık ve genişliği} \quad (\text{mm})$$

3.4.4. Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç direnci denemeleri TS 2595/1977'ye uygun olarak yürütülmüştür. Basınç direncinin tespitinde 3x3x5 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Daha küçük kesitli örneklerde, örnekler dönerek kayma veya kırılma meydana gelmeden deney sonlanmaktadır. Örnekler iklimlendirme odasında 20 °C ± 2 sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında bekletilerek rutubetlerinin yaklaşık %12 olması sağlanmıştır. İklimlendirme işleminden sonra, örneklerin enine kesit boyutları uzunluk ekseninin ortasından ± 0,01 mm duyarlıkta ölçülmüştür. Basınç direnci deneyi 100 N kapasiteli Zwick marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deney hızı, örnekler makinede 1,5-2 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış, kırılma anındaki kuvvet (Pmax) 0,01 duyarlıkta ölçülmüştür. Liflere paralel basınç direnci aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta B = P_{max} / a \times b$$

Formülde;

δB : Liflere paralel basınç direnci (N/mm²)

Pmax : Kırılma anındaki kuvvet (N)

a, b : Örnek enine kesit boyutları (mm)

3.5. İSTATİSTİK ANALİZLER

İstatistiksel hesaplama ve değerlendirmeler için SPSS paket programı kullanılmıştır. Bütün gruplara ait bazı tanımlayıcı istatistiksel değerler (örnek sayısı, aritmetik ortalama, standart sapma, standart hata, maksimum ve minimum değerler ve varyasyon katsayısı) tablolar halinde verilmiştir.

Ağaç türü, ağaç numarası ve test yönteminin ölçüm sonuçları üzerine etkisinin % 95 güven düzeyinde anlamlı olup olmadığı Çoklu Varyans Analizi kullanılarak belirlenmiştir. Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığının belirlenmesi için Duncan testi kullanılmıştır.

Standart boyutlu ve mikro boyutlu test örnekleri kullanılarak elde edilen eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve liflere paralel basınç direnci değerleri arasında ilişkilerin olup olmadığı regresyon analizi ile tespit edilmiştir. İlişkinin yönünü, kuvvetliliğini ve istatistik olarak anlamlı olup olmadığını ortaya koymak için Excel programında ilgili grafikler çizilmiş, belirlilik katsayısı (R²), korelasyon katsayısı, denklemleri, F değerleri ve önem düzeyleri tespit edilmiştir. Ölçüm değerleri arasındaki ilişkilerin doğrusal olduğu kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. STANDART VE MİKRO BOYUTLU TESTLERE AİT BULGULAR

4.1.1. Eğilme Direncine Ait Bulgular

Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler

Örnek Boyutu	Ağaç No	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
Standart	1	77	66,5	8,0	0,9	45,6	81,5	12,1
	2	31	70,9	7,4	1,3	52,5	82,4	10,4
	3	56	76,5	8,8	1,2	51,2	93,9	11,5
	4	68	73,8	7,8	0,9	60,9	90	10,6
	5	48	69,1	7,9	1,1	56,1	85,3	11,4
	6	41	87,2	9,7	1,5	66,6	105,4	11,1
	7	47	70,8	5,9	0,9	53,1	82,8	8,3
	8	34	71,7	6,0	1,0	62,3	86,6	8,3
	Genel	402	72,8	9,7	0,5	45,6	105,4	13,3
Mikro	1	80	60,0	11,9	1,3	32,0	93,4	19,8
	2	47	55,9	10,5	1,5	35,6	81,8	18,8
	3	50	70,8	12,9	1,8	45,8	110,9	18,2
	4	70	64,7	12,1	1,4	46,4	99,5	18,7
	5	48	52,5	10,5	1,5	33,3	82,3	19,9
	6	43	73,4	12,1	1,8	52,1	97,9	16,5
	7	46	59,7	9,7	1,4	34,8	79,8	16,2
	8	40	63,1	10,9	1,7	37,0	89,4	17,2
	Genel	424	62,4	13,0	0,6	32,0	110,9	20,8

N: Örnek sayısı, X: Aritmetik Ortalama, δ: Standart sapma, SE: Standart hata, Xmin: Minimum değer, Xmax: Maksimum değer,

Sarıçam odunu genel ortalama eğilme direnci standart boyutlu örnekler için 72,8 N/mm² ve mikro boyutlu örnekler için 62,4 N/mm² olarak bulunmuştur. Deomano ve Zink-Sharp (2004) Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera*), Çam (*Pinus spp.*) ve Sığıla (*Liquidambar styraciflua* L.) odunu için mikro boyutlu örneklerde eğilme direncini sırasıyla 89,0 N/mm², 66,0 N/mm² ve 78,6 N/mm² olarak bulmuşlardır. Tüm ağaçlarda ve genel ortalama bakımından standart boyutlu örneklerde elde edilen eğilme direnci değerleri mikro boyutlu örneklerde elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Literatürdeki değerlerle veya standart boyutlu testler yaparak karşılaştırma yapmamışlardır. Mikro boyutlu örneklerde elde edilen direnç değerlerinin standart boyutlardaki örneklerde elde edilen direnç değerlerinden daha düşük olduğu çekme direnci ve basınç direnci ölçüm sonuçları dikkate alınarak belirtilmektedir (Zink-Sharp ve Price, 2006; Price, 1975; Cai vd., 2007; Geimer vd., 1985). Bu çalışma sonuçlarına göre, eğilme direncinde de mikro boyutlu örneklerde elde edilen direnç değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Test türü (standart ve mikro) ve ağaçlar arası farkın eğilme direnci üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı Çoklu Varyans Analizi ile test edilmiştir. Sarıçam odununda eğilme direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişken	Eğilme Direnci				
	Source	Kareler Toplamı (Type III)	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F
Corrected Model	52599,3	15	3506,62	36,03	0,000
Intercept	3549033,5	1	3549033,50	36466,97	0,000
Testtürü	22422,5	1	22422,47	230,39	0,000
Agacno	27030,3	7	3861,47	39,68	0,000
Testturu * Agacno	2874,5	7	410,65	4,22	0,000
Error	78830,7	810	97,32		
Total	3889251,6	826			
Corrected Total	131430,0	825			

Sarıçam odununda standart ve mikro boyutlu örnekler arasında ve ağaçlar arasında eğilme direnci değerleri bakımından % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. 2 test türü olduğu için standart ve mikro boyutlu örneklerin eğilme direnci

değerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Ağaçlar arasındaki farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu örneklerin eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Standart boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek sayısı	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
1	77	66,5				
5	48	69,1	69,1			
7	47		70,8	70,8		
2	31		70,9	70,9		
8	34		71,7	71,7		
4	68			73,8	73,8	
3	56				76,5	
6	41					87,2
Önem düzeyi		0,108	0,158	0,093	0,101	1,000

Standart boyutlu Sarıçam odununda eğilme direnci değerleri bakımından 1-5, 2-5-7-8, 2-4-7-8 ve 3-4 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.4. Mikro boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek sayısı	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
5	48	52,5				
2	47	55,9	55,9			
7	46		59,7	59,7		
1	80		60,0	60,0	60,0	
8	40			63,1	63,1	
4	70				64,7	
3	50					70,8
6	43					73,4
Önem düzeyi		0,144	0,087	0,159	0,054	0,245

Mikro boyutlu Sarıçam odununda eğilme direnci değerleri bakımından 2-5, 1-2-7, 1-7-8, 1-4-8 ve 3-6 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.1.2. Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular

Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu eğilmede elastikiyet modülü değerleri tanımlayıcı istatistikler

Örnek Boyutu	Ağaç No	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
Standart	1	77	9590,0	1492,2	170,1	5598,5	12531,6	15,6
	2	31	7812,3	1078,8	193,8	6102,8	10265,7	13,8
	3	56	11209,0	1470,1	196,5	6384,3	14936,0	13,1
	4	68	9308,9	1799,6	218,2	5825,2	13173,5	19,3
	5	48	9278,2	1577,6	227,7	6480,0	12543,5	17,0
	6	41	12067,5	1388,8	216,9	9506,6	14933,5	11,5
	7	47	10059,5	1221,8	178,2	6320,9	12518,7	12,1
	8	34	9780,0	1446,1	248,0	5914,6	12929,6	14,8
	Genel	402	9917,3	1832,6	91,4	5598,5	14936,0	18,5
Mikro	1	80	2873,1	694,9	77,7	1110,0	4320,0	24,2
	2	46	2071,3	527,7	77,8	1150,0	3360,0	25,5
	3	50	3554,4	844,1	119,4	2140,0	5970,0	23,7
	4	70	2754,1	711,8	85,1	1620,0	4780,0	25,8
	5	48	2348,1	636,1	91,8	1140,0	4300,0	27,1
	6	44	3767,5	860,5	129,7	1660,0	5430,0	22,8
	7	46	2837,0	560,2	82,6	1670,0	4180,0	19,7
	8	40	2953,5	607,2	96,0	1690,0	4180,0	20,6
	Genel	424	2883,9	845,5	41,1	1110,0	5970,0	29,3

N: Örnek sayısı, X: Aritmetik Ortalama, δ: Standart sapma, SE: Standart hata, X_{min}: Minimum değer, X_{max}: Maksimum değer, C_v: Varyasyon Katsayısı

Sarıçam odunu genel ortalama eğilmede elastikiyet modülü standart boyutlu örnekler için 9917,3 N/mm² ve mikro boyutlu örnekler için 2883,9 N/mm² olarak bulunmuştur. Deomano ve Zink-Sharp (2004) Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera*), Çam (*Pinus spp.*) ve Sığla (*Liquidambar styraciflua L.*) odunu eğilmede elastikiyet modülü değerlerini

mikro boyutlu örneklerde sırasıyla 5829,4 N/mm², 4086,9 N/mm² ve 4430,6 N/mm² olarak bulunmuşlardır. Bu tez çalışmasında Sarıçam odununda bulunan eğilmede elastikiyet modülü değeri Deomano ve Zink-Sharp (2004) tarafından bulunan değerden daha düşüktür. Bu durumun ağaç türü, örnek boyutları ve deney hızları arasındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Jeong (2008) mikro boyutlardaki örneklerde örnek boyutları ve yükleme hızlarının farklı değerler elde edilmesine neden olduğunu ve elde edilen ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasını güçleştirdiğini belirtmektedir.

Tüm ağaçlarda ve genel ortalama bakımından standart boyutlu örneklerde elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri mikro boyutlu örneklerde elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur.

Test türü (standart ve mikro) ve ağaçlar arası farkın eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı Çoklu Varyans Analizi ile test edilmiştir. Sarıçam odununda eğilmede elastikiyet modülü değerleri çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Sarıçam odunu eğilmede elastikiyet modülü değerleri çoklu varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişken	Eğilmede Elastikiyet Modülü				
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Corrected Model	10785610294,7	15	719040686,3	543,5	0,000
Intercept	31448477654,3	1	31448477654,3	23768,8	0,000
Testtürü	9412257575,7	1	9412257575,7	7113,8	0,000
Agacno	511322950,4	7	73046135,8	55,2	0,000
Testturu * Agacno	88243317,0	7	12606188,1	9,5	0,000
Error	1071710686,3	810	1323099,6		
Total	44713366284,7	826			
Corrected Total	11857320981,0	825			

Sarıçam odununda standart ve mikro boyutlu örnekler arasında ve ağaçlar arasında eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. 2 test türü olduğu için standart ve mikro boyutlu örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Ağaçlar arasındaki farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de

gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Standart boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek Sayısı	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	31	7812,3				
5	48		9278,2			
4	68		9308,9			
1	77		9590,0	9590,0		
8	34		9780,0	9780,0		
7	47			10059,5		
3	56				11209,0	
6	41					12067,5
Önem düzeyi		1,000	0,142	0,154	1,000	1,000

Standart boyutlu Sarıçam odununda eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından 1-4-5-8 ve 1-7-8 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Micro boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek Sayısı	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
2	46	2071,3			
5	48		2348,1		
4	70			2754,1	
7	46			2837,0	
1	80			2873,1	
8	40			2953,5	
3	50				3554,4
6	42				3766,7
Önem düzeyi		1,000	1,000	0,189	0,122

Micro boyutlu Sarıçam odununda eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından 1-4-7-8 ve 3-6 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.1.3. Liflere Paralel Çekme Direncine Ait Bulgular

Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.9.'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler

Örnek Boyutu	Ağaç No	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
Standart	1	32	66,9	22,4	4,0	34,12	108,51	33,5
	2	15	74,0	22,6	5,8	29,93	103,69	30,5
	3	23	85,1	26,9	5,6	35,43	125,35	31,6
	4	35	83,1	17,5	3,0	46,79	111,28	21,0
	5	25	66,6	14,7	2,9	25,26	96,90	22,1
	6	28	89,9	24,7	4,7	42,94	133,61	27,5
	7	30	77,8	19,3	3,5	40,48	107,69	24,8
	8	31	70,9	12,4	2,2	50,58	93,35	17,4
	Genel	219	76,9	21,5	1,5	25,26	133,61	28,0
Mikro	1	31	83,1	31,2	5,6	34,0	165,4	37,5
	2	15	75,7	25,1	6,5	37,1	120,9	33,2
	3	23	94,7	33,2	6,9	43,2	175,1	35,0
	4	35	98,2	36,2	6,1	40,8	189,9	36,9
	5	23	80,4	21,5	4,5	42,2	127,6	26,8
	6	27	111,8	35,0	6,7	63,7	192,1	31,3
	7	28	89,9	31,8	6,0	38,3	142,2	35,4
	8	29	89,4	33,9	6,3	31,7	191,7	37,9
	Genel	211	91,5	33,1	2,3	31,7	192,1	36,2

N: Örnek sayısı, X: Aritmetik Ortalama, δ: Standart sapma, SE: Standart hata, X_{min}: Minimum değer, X_{max}: Maksimum değer, C_v: Varyasyon Katsayısı

Sarıçam odunu genel ortalama çekme direnci standart boyutlu örnekler için 76,9 N/mm² ve mikro boyutlu örnekler için 91,5 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tüm ağaçlarda ve genel ortalama bakımından standart boyutlu örneklerde elde edilen çekme direnci değerleri mikro boyutlu örneklerde elde edilen değerlerden daha düşük

bulunmuştur. Bu çalışmanın aksine, yapılan çalışmalarda mikro boyutlu örneklerde elde edilen çekme direnci değerlerinin literatürdeki standart boyutlu örneklerin çekme direncinden daha düşük olduğu belirtilmektedir (Price, 1975; Cai vd. 2007). Cai vd. (2007) Söğüt (*Salix spp.*), Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera L.*), Meşe (*Quercus spp.*) ve Çam (*Pinus taeda*) yongalarının çekme direncinin “Wood Handbook”ta bu ağaç türleri için verilen değerlerden sırasıyla % 31,1, % 44,2, % 36,2 ve % 73,4 daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Price (1975) Sığla odununda deneylerde kullandığı yongaların (strand) direncinin aynı ağaç türünün standart boyutlardaki örneklerinden elde edilen direnç değerlerinden daha düşük olduğunu belirtmiştir. Bu güncel çalışmada tam tersi bir durumun ortaya çıkması; deney örneklerinin boyutlarının, yükleme hızlarının, ilkbahar ve yaz odunu katılım oranlarının ve kopma bölgesinin uzunluklarının farklı olmasından ve deney örneklerinin genişlik ve kalınlık yönünde inceltirilip inceltilmemesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Price (1975) kopma bölgesi uzunluğunun artması ile çekme direncinin arttığını belirtmektedir. Bu güncel çalışmada bulunduğu üzere ilkbahar ve yaz odunu çekme direnci değerleri arasında büyük farklılıkların olması ve mikro boyutlu çekme örneklerinde standart sapma ve varyasyon katsayısının yüksek olması ilkbahar-yaz odunu katılım oranının etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Jeong (2008) mikro boyutlardaki örneklerde örnek boyutları ve yükleme hızlarının çalışmanın amacına göre değiştiğini, bu durumun farklı değerler elde edilmesine neden olduğunu ve elde edilen ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasını güçleştirdiğini belirtmektedir. Yaptığı çalışmada Hindman ve Lee (2007) ve Cai vd. (2007) tarafından aynı ağaç türünde (Çam) yapılan mikro boyutlu çekme testlerinde çekme direncinin Hindman ve Lee (2007) tarafından % 36 daha yüksek bulunduğunu ve bu durumun örnek boyutu ve yükleme hızının etkisini açıkça ortaya koyduğunu belirtmektedir.

Test türü (standart ve mikro) ve ağaçlar arası farkın çekme direnci üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı Çoklu Varyans Analizi ile test edilmiştir. Sarıçam odununda çekme direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.10.’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Sarıçam odunu çekme direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişken	Çekme Direnci				
	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri	Önem Düzeyi
Corrected Model	59621,2	15	3974,7	5,59	0,000
Intercept	2825859,1	1	2825859,1	3972,41	0,000
Testtürü	18692,1	1	18692,1	26,28	0,000
Agacno	34072,4	7	4867,5	6,84	0,000
Testturu * Agacno	2644,8	7	377,8	0,53	0,811
Error	294507,7	414	711,4		
Total	3390265,5	430			
Corrected Total	354128,9	429			

Sarıçam odununda standart ve mikro boyutlu örnekler arasında ve ağaçlar arasında çekme direnci değerleri bakımından % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. 2 test türü olduğu için standart ve mikro boyutlu örneklerin çekme direnci değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Ağaçlar arasındaki farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu örneklerin çekme direnci değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Standart boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek Sayısı	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5	25	66,6		
1	32	66,9		
8	31	70,9		
2	15	74,0	74,0	
7	30	77,8	77,8	
4	35		83,1	83,1
3	23		85,1	85,1
6	28			89,9
Önem düzeyi		0,08	0,07	0,26

Standart boyutlu Sarıçam odununda çekme direnci değerleri bakımından 1-2-5-7-8, 2-3-4-7 ve 3-4-6 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.12. Mikro boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek Sayısı	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2	15	75,7		
5	23	80,4	80,4	
1	31	83,1	83,1	
8	29	89,4	89,4	
7	28	89,9	89,9	
3	23	94,7	94,7	94,7
4	35		98,2	98,2
6	27			111,8
Önem düzeyi		0,067	0,088	0,077

Mikro boyutlu Sarıçam odununda çekme direnci değerleri bakımından 1-2-3-5-7-8, 1-3-4-5-7-8 ve 3-4-6 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.1.4 Liflere Paralel Basınç Direncine Ait Bulgular

Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.13.'da verilmiştir.

Çizelge 4.13. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerleri tanımlayıcı istatistikler

Örnek Boyutu	Ağaç No	N	X (N/mm ²)	δ	SE	X _{min} (N/mm ²)	X _{max} (N/mm ²)	C _v (%)
Standart	1	51	40,3	6,1	0,9	23,3	51,0	15,2
	2	43	36,3	5,4	0,8	24,8	42,7	14,8
	3	47	48,6	5,9	0,9	32,5	58,2	12,1
	4	61	44,9	7,0	0,9	28,5	62,2	15,7
	5	46	40,6	6,1	0,9	29,2	51,7	14,9
	6	57	51,9	7,2	1,0	35,3	63,3	13,9
	7	41	41,3	5,1	0,8	27,7	52,2	12,2
	8	58	43,7	4,2	0,6	34,6	51,7	9,6
	Genel	404	43,8	7,5	0,4	23,3	63,3	17,2
Mikro	1	47	32,5	5,8	0,8	22,4	49,9	17,9
	2	42	31,9	5,7	0,9	18,7	42,9	17,8
	3	44	39,6	6,3	0,9	26,1	54,8	15,8
	4	59	38,5	6,6	0,9	22,6	55,4	17,2
	5	45	35,2	6,4	1,0	22,0	51,2	18,2
	6	55	40,4	7,0	0,9	23,6	59,9	17,3
	7	40	34,1	5,0	0,8	23,6	46,6	14,6
	8	53	36,3	6,1	0,8	26,1	59,6	16,9
	Genel	385	36,3	6,8	0,3	18,7	59,9	18,9

N: Örnek sayısı, X: Aritmetik Ortalama, δ: Standart sapma, SE: Standart hata, X_{min}: Minimum değer, X_{max}: Maksimum değer, C_v: Varyasyon Katsayısı

Sarıçam odunu genel ortalama basınç direnci standart boyutlu örnekler için 43,8 N/mm² ve mikro boyutlu örnekler için 36,3 N/mm² olarak bulunmuştur. Tüm ağaçlarda ve genel ortalama bakımından standart boyutlu örneklerde elde edilen basınç direnci değerleri mikro boyutlu örneklerde elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Benzer sonuçlar Zink-Sharp ve Price (2006) tarafından da bulunmuştur. Zink-Sharp ve Price (2006) Sığla (*Liquidambar styraciflua* L.), Lale ağacı (*Liriodendron tulipifera*) ve Akçaağaç (*Acer rubrum*) türlerinde basınç direnci değerlerini sırasıyla 39,2 N/mm², 33,5 N/mm² ve 41,6 N/mm² olarak bulmuşlardır. Mikro-mekanik örneklerde buldukları sonuçları Wood Handbook da bu ağaç türleri için verilen ortalama basınç direnci değerleri ile karşılaştırmışlar ve mikro-mekanik örneklerde buldukları direnç değerlerinin daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumun sebebinin tam olarak

bilinmemekle birlikte örnek boyutunun etkisinden ve örnek hazırlama esnasında oluşabilecek zararlardan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Test türü (standart ve mikro) ve ağaçlar arası farkın basınç direnci üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı Çoklu Varyans Analizi ile test edilmiştir. Sarıçam odununda basınç direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Sarıçam odunu basınç direnci değerleri çoklu varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişken	Basınç Direnci				
	Kareler Toplamı (Type	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F değeri	Önem Düzeyi
Corrected Model	23209,9	15	1547,3	41,6	0,000
Intercept	1224103,9	1	1224103,9	32895,5	0,000
Testtürü	10571,7	1	10571,7	284,1	0,000
Agacno	11217,9	7	1602,6	43,1	0,000
Testturu * Agacno	829,1	7	118,4	3,2	0,003
Error	28764,8	773	37,2		
Total	1322981,3	789			
Corrected Total	51974,7	788			

Sarıçam odununda standart ve mikro boyutlu örnekler arasında ve ağaçlar arasında basınç direnci değerleri bakımından % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. 2 test türü olduğu için standart ve mikro boyutlu örneklerin basınç direnci değerlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Ağaçlar arasındaki farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığı Duncan testi ile belirlenmiştir. Sarıçam odunu standart ve mikro boyutlu örneklerin basınç direnci değerleri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Standart boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek Sayısı	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	43	36,3				
1	51		40,3			
5	46		40,6			
7	41		41,3			
8	58			43,7		
4	61			44,9		
3	47				48,6	
6	57					51,9
Önem Düzeyi		1,000	0,462	0,299	1,000	1,000

Standart boyutlu Sarıçam odununda basınç direnci değerleri bakımından 1-5-7 ve 4-8 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

Çizelge 4.16. Mikro boyutlu Sarıçam odunu eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları

Ağaç No	Örnek Sayısı	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
2	42	31,9			
1	47	32,5			
7	40	34,1	34,1		
5	45		35,2		
8	53		36,3	36,3	
4	59			38,5	38,5
3	44				39,6
6	55				40,4
Önem Düzeyi		0,106	0,093	0,085	0,157

Mikro boyutlu Sarıçam odununda basınç direnci değerleri bakımından 1-2-7 ve 5-7-8, 4-8 ve 3-4-8 nolu ağaçlar kendi arasında benzer, diğer ağaçlar birbirinden farklı bulunmuştur.

4.2. STANDART VE MİKRO BOYUTLU ÖLÇÜMLER ARASINDAKİ İLİŞKİLERE AİT BULGULAR

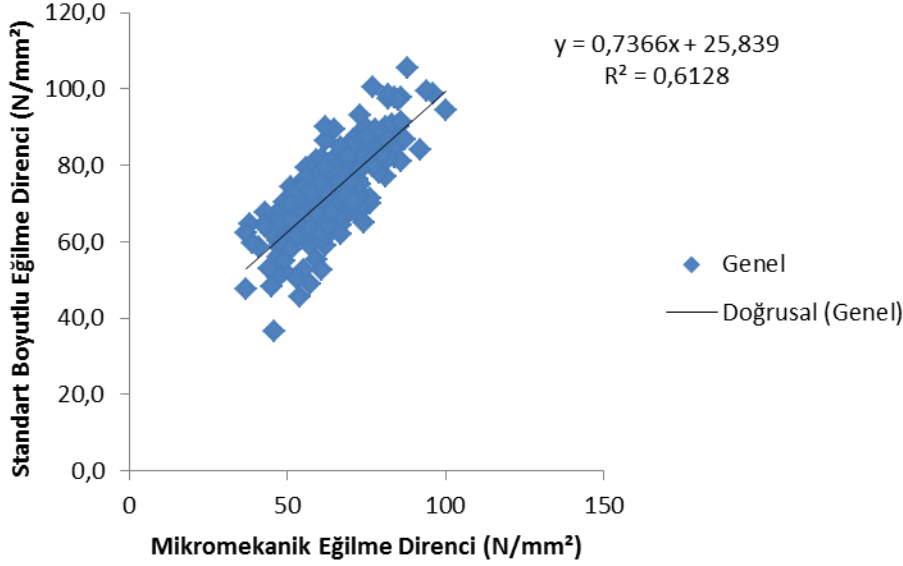
4.2.1 Eğilme Direnci Değerleri İlişkisi

Standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerleri arasındaki ilişkilere ait belirlilik katsayıları (R^2), korelasyon katsayıları, denklemleri, F değerleri ve önem düzeyleri Çizelge 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerleri ilişkisi

Ağaç No	R^2 Değeri	Korelasyon Katsayısı	Denklem	F Değeri	Önem Düzeyi
1	0,607	0,78	$y = 0,688x + 22,785$	80,4	0,000
2	0,632	0,80	$y = 1,0064x + 5,4949$	39,5	0,000
3	0,704	0,84	$y = 0,6684x + 31,106$	76,0	0,000
4	0,610	0,78	$y = 0,5143x + 41,226$	78,3	0,000
5	0,561	0,75	$y = 0,5673x + 37,213$	43,5	0,000
6	0,615	0,78	$y = 0,6764x + 37,864$	51,2	0,000
7	0,637	0,80	$y = 0,6271x + 30,519$	50,8	0,000
8	0,687	0,83	$y = 0,6468x + 34,127$	55,0	0,000
Genel	0,613	0,78	$y = 0,736x + 25,83$	460,5	0,000

Sarıçam odununda standart boyutlu ve mikro boyutlu örneklerin eğilme direnci değerleri arasındaki ilişkiler bütün gruplarda % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Tüm ağaçlarda genel ortalama korelasyon katsayıları 0,70’in üzerinde bulunmuştur. Sarıçam türünde yukarıdaki formüller yardımıyla mikro boyutlu örneklerde eğilme direnci testleri yapılarak standart boyutlu eğilme direnci değerleri hesaplanabilir. Sarıçam standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sarıçam standart ve mikro boyutlu eğilme direnci değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)

4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerleri İlişkisi

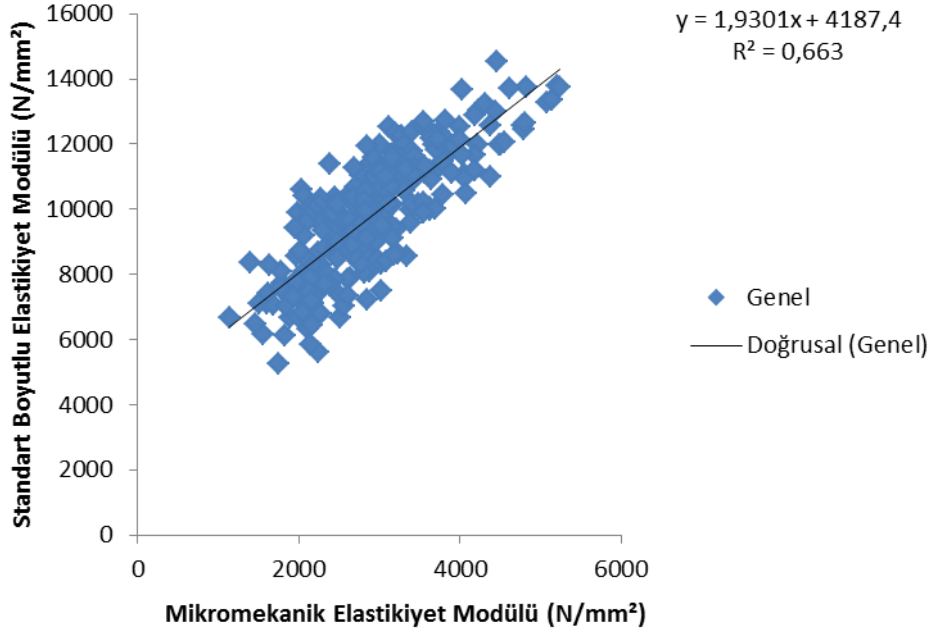
Standart ve mikro boyutlu sarıçam odunu örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki ilişkilere ait belirlilik katsayıları (R^2), korelasyon katsayıları, denklemleri, F değerleri ve önem düzeyleri Çizelge 4.18.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Standart ve mikro boyutlu eğilmede elastikiyet modülü değerleri ilişkisi

Ağaç No	R^2 Değeri	Korelasyon Katsayısı	Denklem	F Değeri	Önem Düzeyi
1	0,587	0,77	$y = 2,4999x + 2693,8$	68,3	0,000
2	0,625	0,79	$y = 1,7055x + 3508,1$	35,0	0,000
3	0,601	0,78	$y = 1,3309x + 6498,9$	49,8	0,000
4	0,637	0,80	$y = 2,0341x + 3476,3$	87,8	0,000
5	0,543	0,74	$y = 2,3976x + 3818,7$	41,6	0,000
6	0,632	0,80	$y = 1,3493x + 6818,6$	48,1	0,000
7	0,544	0,74	$y = 0,9125x + 7334,8$	27,5	0,000
8	0,600	0,77	$y = 2,201x + 3137,3$	29,9	0,000
Genel	0,663	0,81	$y = 1,930x + 4187$	535,2	0,000

Sarıçam odununda standart boyutlu ve mikro boyutlu örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki ilişkiler bütün gruplarda % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Genel ortalama korelasyon katsayıları 0,70'in üzerinde bulunmuştur. Sarıçam türünde yukarıdaki formüller yardımıyla mikro boyutlu örneklerde eğilmede elastikiyet modülü testleri yapılarak standart boyutlu eğilmede elastikiyet modülü

değerleri hesaplanabilir. Sarıçam standart ve mikro boyutlu örneklere ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.2’ de gösterilmiştir



Şekil 4.2. Sarıçam standart ve mikro boyutlu eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)

4.2.3. Liflere Paralel Çekme Direnci Değerleri İlişkisi

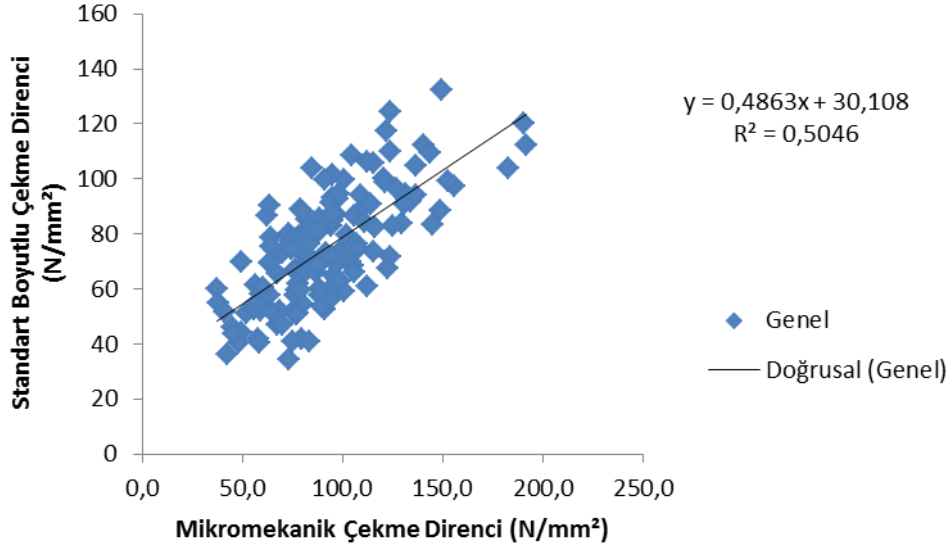
Standart ve mikro boyutlu sarıçam odunu çekme direnci değerleri arasındaki ilişkilere ait belirlilik katsayıları (R^2), korelasyon katsayıları, denklemleri, F değerleri ve önem düzeyleri Çizelge 4.19.’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerleri ilişkisi

Ağaç No	R^2 Değeri	Korelasyon Katsayısı	Denklem	F Değeri	Önem Düzeyi
1	0,588	0,77	$y = 0,853x - 3,3481$	24,3	0,000
2	0,664	0,81	$y = 0,651x + 29,62$	15,8	0,004
3	0,566	0,75	$y = 0,812x + 6,470$	18,3	0,000
4	0,626	0,79	$y = 0,371x + 38,68$	36,8	0,000
5	0,674	0,82	$y = 0,8159x + 7,8908$	28,9	0,000
6	0,599	0,77	$y = 0,4148x + 44,865$	25,4	0,000
7	0,517	0,72	$y = 0,3886x + 39,493$	17,1	0,000
8	0,530	0,73	$y = 0,351x + 30,01$	19,2	0,000
Genel	0,505	0,71	$y = 0,486x + 30,10$	141,6	0,000

Sarıçam odununda standart boyutlu ve mikro boyutlu örneklerin çekme direnci değerleri

arasındaki ilişkiler bütün gruplarda % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Genel ortalama korelasyon katsayıları 0,70'in üzerinde bulunmuştur. Sarıçam türünde yukarıdaki formüller yardımıyla mikro boyutlu örneklerde çekme direnci testleri yapılarak standart boyutlu çekme direnci değerleri hesaplanabilir. Sarıçam standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.3' de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sarıçam standart ve mikro boyutlu çekme direnci değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)

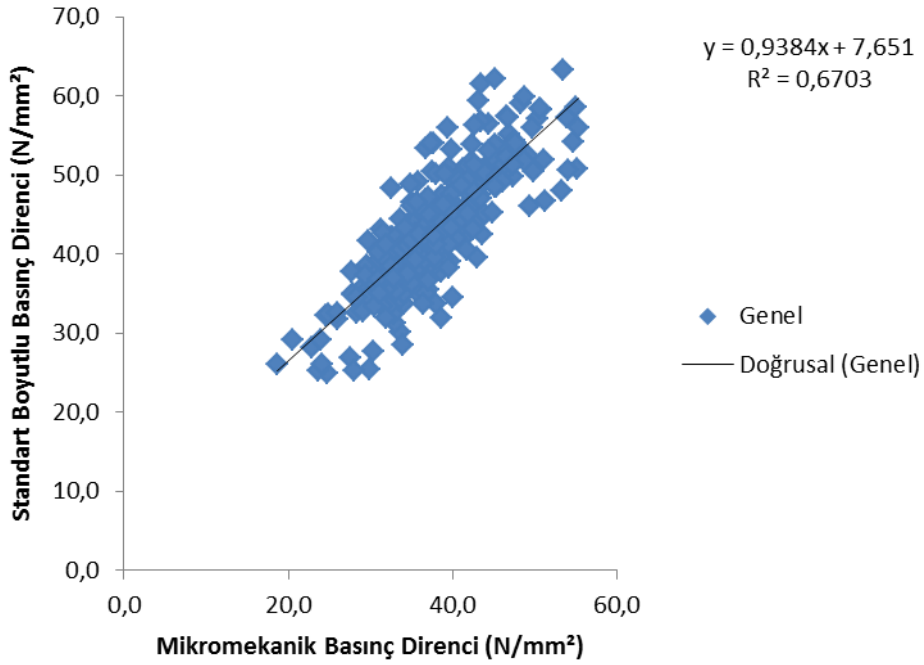
4.2.4. Liflere Paralel Basınç Direnci Değerleri İlişkisi

Standart ve mikro boyutlu sarıçam odununun basınç direnci değerleri arasındaki ilişkilere ait belirlilik katsayıları (R^2), denklemleri, F değerleri ve önem düzeyleri Çizelge 4.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. Standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerleri ilişkisi

Ağaç No	R^2 Değeri	Korelasyon Katsayısı	Denklem	F Değeri	Önem Düzeyi
1	0,656	0,81	$y = 0,7913x + 12,085$	70,4	0,000
2	0,615	0,78	$y = 0,763x + 10,785$	55,8	0,000
3	0,726	0,85	$y = 0,8006x + 15,497$	89,8	0,000
4	0,656	0,81	$y = 0,8538x + 9,5309$	81,8	0,000
5	0,518	0,72	$y = 0,6972x + 15,273$	40,8	0,000
6	0,621	0,79	$y = 0,8609x + 15,194$	68,9	0,000
7	0,629	0,79	$y = 1,0309x + 3,4012$	56,1	0,000
8	0,615	0,78	$y = 0,6349x + 19,08$	59,1	0,000
Genel	0,670	0,82	$y = 0,938x + 7,651$	636,4	0,000

Sarıçam odununda standart boyutlu ve mikro boyutlu örneklerin basınç direnci değerleri arasındaki ilişkiler bütün gruplarda % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Genel ortalama korelasyon katsayıları 0,70'in üzerinde bulunmuştur. Sarıçam türünde yukarıdaki formüller yardımıyla mikro boyutlu örneklerde basınç direnci testleri yapılarak standart boyutlu basınç direnci değerleri hesaplanabilir. Sarıçam standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.4' de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sarıçam standart ve mikro boyutlu basınç direnci değerleri arasındaki ilişki grafikleri (Genel)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sarıçam odununda genel ortalama eğilme direnci mikro boyutlu örneklerde $62,4 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Mikro boyutlu örneklerde standart boyutlu örneklere göre daha düşük ortalama eğilme direnci değerleri bulunmuştur. Sarıçam odununda mikro boyutlu örneklerde ortalama eğilme direnci standart boyutlu örneklere göre %14,3 daha düşüktür. Ağaçlar arasında, mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerde bulunan değerler birbirine paralel sonuçlar vermektedir. Hem mikro boyutlu hemde standart boyutlu örneklerde en yüksek eğilme direnci değerleri 6 nolu ağaçta bulunmuştur. Mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerin eğilme direnci değerleri %95 güven düzeyinde istatistiki olarak farklı bulunmuştur.

Sarıçam odununda genel ortalama eğilmede elastikiyet modülü mikro boyutlu örneklerde $2883,9 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Tüm ağaçlarda ve genel ortalama bakımından mikro boyutlu örneklerde elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri standart boyutlu örneklerde elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Sarıçam odununda mikro boyutlu örneklerde ortalama eğilmede elastikiyet modülü standart boyutlu örneklere göre %70,9 daha düşüktür. Ağaçlar arasında, mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerde bulunan eğilmede elastikiyet modülü değerleri birbirine paralel sonuçlar vermektedir. Hem mikro boyutlu hemde standart boyutlu örneklerde en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri 6 nolu ağaçta ve en düşük eğilmede elastikiyet modülü değerleri 2 nolu ağaçta bulunmuştur. Mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri %95 güven düzeyinde istatistiki olarak farklı bulunmuştur.

Sarıçam odununda genel ortalama çekme direnci mikro boyutlu örneklerde $91,5 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Mikro boyutlu örneklerde standart boyutlu örneklere göre daha yüksek ortalama çekme direnci değerleri bulunmuştur. Sarıçam odununda mikro boyutlu örneklerde ortalama çekme direnci standart boyutlu örneklere göre %19,0 daha yüksektir. Ağaçlar arasında, mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerde bulunan değerler birbirine paralel sonuçlar vermektedir. Hem mikro boyutlu hemde standart boyutlu örneklerde en yüksek eğilme direnci değerleri 6 nolu ağaçta bulunmuştur. Mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerin eğilme direnci değerleri %95 güven

düzeyinde istatistiki olarak farklı bulunmuştur.

Sarıçam odununda genel ortalama basınç direnci mikro boyutlu örneklerde $36,3 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Mikro boyutlu örneklerde standart boyutlu örneklere göre daha düşük ortalama basınç direnci değerleri bulunmuştur. Sarıçam odununda mikro boyutlu örneklerde ortalama basınç direnci standart boyutlu örneklere göre %17,1 daha düşüktür. Ağaçlar arasında, mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerde bulunan basınç direnci değerleri birbirine paralel sonuçlar vermektedir. Hem mikro boyutlu hemde standart boyutlu örneklerde en yüksek basınç direnci değerleri 6 nolu ağaçta ve en düşük basınç direnci değerleri 2 nolu ağaçta bulunmuştur. Mikro boyutlu ve standart boyutlu örneklerin basınç direnci değerleri %95 güven düzeyinde istatistiki olarak farklı bulunmuştur.

Genel olarak, mikro boyutlu örneklerle standart boyutlu örnekler karşılaştırıldığında en büyük farklılık eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde en az farklılık ise eğilme direnci değerlerinde gözlenmiştir. Mikro boyutlu örneklerde standart boyutlu örneklere göre eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve basınç değerleri daha düşükken, çekme direnci değerleri daha büyük bulunmuştur.

Mikro boyutlu örneklerle standart boyutlu örneklerin eğilme direnci değerleri arasında ağaç ve genel ortalama bazında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Tüm ağaçlarda ve genel ortalama eğilme direnci değerleri için korelasyon katsayıları 0,70'in üzerinde bulunmuştur. Elde edilen genel denklem ($y= 0,736x + 25,83$) ve mikro boyutlu örneklerin eğilme direnci değerleri kullanılarak standart boyutlu örneklerin eğilme direnci değerleri hesaplanabilir.

Mikro boyutlu örneklerle standart boyutlu örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında ağaç ve genel ortalama bazında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Tüm ağaçlarda ve genel ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri için korelasyon katsayıları 0,70'in üzerinde bulunmuştur. Elde edilen genel denklem ($y= 1,930x + 4187$) ve mikro boyutlu örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri kullanılarak standart boyutlu örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri hesaplanabilir.

Mikro boyutlu örneklerle standart boyutlu örneklerin çekme direnci değerleri arasında ağaç ve genel ortalama bazında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Tüm ağaçlarda ve genel ortalama çekme direnci değerleri için korelasyon katsayıları 0,70'in üzerinde bulunmuştur. Elde edilen genel denklem ($y= 0,486x + 30,10$) ve mikro boyutlu

örneklerin çekme direnci değerleri kullanılarak standart boyutlu örneklerin çekme direnci değerleri hesaplanabilir.

Mikro boyutlu örneklerle standart boyutlu örneklerin basınç direnci değerleri arasında ağaç ve genel ortalama bazında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Tüm ağaçlarda ve genel ortalama basınç direnci değerleri için korelasyon katsayıları 0,70'in üzerinde bulunmuştur. Elde edilen genel denklem ($y= 0,938x + 7,651$) ve mikro boyutlu örneklerin basınç direnci değerleri kullanılarak standart boyutlu örneklerin basınç direnci değerleri hesaplanabilir.

Genel olarak, standart boyutlu ve mikro boyutlu örneklerin mekanik özellikleri bakımından aralarında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Standart boyutlardaki örneklerin hazırlanmasının mümkün olmadığı durumlarda mikro boyutlu örnekler hazırlanarak mekanik özellikler belirlenebilir.

Ülkemizde yetişen diğer ağaç türlerinde de mikro boyutlu örneklerde bilimsel çalışmaların yapılması ve bu ağaç türlerinde de mikro ve standart boyutlu örnekler arasındaki ilişkilerin ortaya konulması gerekmektedir. Mikro boyutlu örneklerde yapılan testlerle ilgili bir standardın olmaması yapılan çalışmaların karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. Mikro boyutlu testler için bir standardın oluşturulması ve yapılacak olan tüm çalışmalarda aynı deney şartlarının kullanılması mikro boyutlu testlerin gelişimini hızlandıracak ve birçok konuda avantaj sağlayacaktır. Ayrıca, mikro boyutlu örneklerde deney hızı ve örnek boyutunun mekanik özellikler üzerine etkisinin araştırılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Ay N., Türkiye’de Doğal Olarak Yetişen Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Odunlarının Değişik Yetiştirme Ortamlarındaki İç Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, K.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, (1990).
- Bozkurt A.Y., Erdin N., “*Odun Anatomisi*”, İ.Ü.Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, (2000) 975-404-592-5.
- Büyüksarı, Ü., “Farklı Yarıçaplarda Bükülmüş Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) ve Meşe (*Quercus* spp.) Odunlarının Bazı Teknolojik Özellikleri”, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
- Cai Z., Wu Q., Han G., Lee J.N., “Tensile and thickness swelling properties of strands from Southern hardwoods and Southern pine: Effect of hot-pressing and resin application”, *Forest Products Journal*, (2007) 57(5), 36-40.
- Deomano, E.C., “Mechanism of Flake Drying and Its Correlation to Quality”, *PhD Thesis*, Virginia Polytechnic and State University, (2001).
- Deomano E.C., Zink-Sharp A., “Bending properties of wood flakes of three southern species”, *Wood and Fiber Science*, (2004) 36(4), 493-499.
- Eliçin G., “*Türkiye Sarıçam (Pinus sylvestris L.)’larında Morfogenetik Araştırmalar*”, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 1662, O.F. Yayın No. 180, (1971).
- Fengel D., Wegener G., “Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions”, *Walter de Gruyter*, Berlin, New York, 121 pp, (1984).
- Geimer R.L., Mahoney R.J., Loehnertz S.P., Meyer R.W., “Influence of processing induced damage on the strength properties of oriented strand wood products”, *Forest Products Journal*, (1985) 50 (11/12), 33-42.
- Groom, L., Shaler, S., Mott, L., “Mechanical properties of individual southern pine fibers. Part III. Global relationships between fiber properties and fiber location within an individual tree”, *Wood and Fiber Science* 34(2), (2002) 238-250.
- Hafizoglu H., Usta M., "Chemical Composition of coniferous wood species occurring in Turkey", *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, (2005) 63, 83-85.
- Hindman D.P., Lee J.N., “Modeling wood strands as multi-layer composites: bending

- and tension loads”, *Wood and Fiber Sci*, (2007) 39(4), 516-526.
- Hunt M.O., Triche M.H., Mccabc G.P., Hoover W.L., “Tensile properties of yellow-poplar veneer strands”, *Forest Products Journal*, (1989) 39(9), 31-33.
- Jeong G.Y., “Tensile properties of loblolly pine strands using digital image correlation and stochastic finite element method”, *PhD Thesis*, Virginia Polytechnic and State University, (2008).
- Jeong G.Y., Hindman D.P., Finkenbinder D., Lee J.N., Lin Z., “Effect of loading rate and thickness on the tensile properties of woodstrands”, *Forest Products Journal*, (2008) 58(10), 33-37.
- Kayacık H., “*Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği, I. Cilt, Gymnospermae*”, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 1105, O.F. Yayın No. 98, (1965).
- Mott, L., Groom, L., Shaler, S., “Mechanical properties of individual southern pine fibers. Part II. Comparison of earlywood and latewood fibers with respect to tree height and juvenility”, *Wood and Fiber Science* 34(2), (2002) 221 – 237.
- Öktem E., “*Sarıçam Odununun Özellikleri ve Kullanım Yerleri*”, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, El Kitabı Dizisi 7, Sarıçam, (1994) ISBN 975- 7829-17-X.
- Plagemann, W.L., “The response of hardwood flakes and flakeboard to high temperature drying”. *Master’s Thesis*, Washington State University, (1982).
- Price E.W., “Determining tensile properties of Sweetgum veneer flakes”, *Forest Products Journal*, (1975) 26(10), 50-53.
- Saatçioğlu F., “*Silvikültür I, Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri*”, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 2187, O.F. Yayın No.222, (1976).
- Tetik M., “*Sarıçamın Doğal Yayılışı*”, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, El Kitabı Dizisi 7, Sarıçam, (1994) ISBN 975-7829-17-X.
- Toker R., “*Batı Karadeniz Sarıçamının Teknik Vasıfları ve Kullanma Yerleri Hakkında Araştırmalar*”, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No. 10, (1960).
- Zink-Sharp A.G., Price C., “Compression strength paralel to the grain within growth rings of low density hardwoods”, *Maderas: Ciencia y Tecnologia* 8(2), (2006) 117-126.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SAYAN EZEL
Uyruğu : T.C
Doğum tarihi ve yeri : 17/04/1989 İZMİT
Telefon : 0554 986 77 76
Faks :
E-posta : sayanezel@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
Lisans	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ	2013
Önlisans	KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ	2009
Lise	İZMİT NAMIK KEMAL LİSESİ	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-.....	ARIN ORMAN ÜRÜNLERİ	ÜRETİM MÜHENDİSİ

Yabancı Dil

İngilizce (ÜDS/KPDS/TOEFL :

Yayınlar

1. As, N., Büyüksarı, Ü., Dündar, T., Sayan E. 2016. Mikro Boyutlu Sarıçam Odununun Eğilme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Standart Boyutlu Örneklerle Karşılaştırılması, 2 nd International Multidisciplinary Eurasian Congress, 11-13 July 2016, Odessa-Ukraine.