

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ISIL İŞLEM UYGULANAN DOĞU KAYINI VE DOĞU LADİNİ ODUNLARININ  
FİZİKSEL, MEKANİK, TEKNOLOJİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

127566

Orm. End. Yük. Müh. Sibel YILDIZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Doktor”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11. 10. 2002

Tezin Savunma Tarihi : 19.11.2002

127566  
TEC. YÜKSEK ÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ  
DOKÜMANİSYON BÖLÜMÜ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ramazan KANTAY

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mustafa USTA

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Trabzon 2002

## ÖNSÖZ

“Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını Ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik, Teknolojik Ve Kimyasal Özellikleri” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Programında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora danışmanlığımı üstlenerek her türlü çalışmaların yürütülmesi sırasında değerli yardım ve teşviklerini esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU'na, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim Sayın Hocam Prof. Dr. Mustafa USTA'ya, tavsiyelerinden, bilgilerinden ve manevi desteğinden yararlandığım değerli eşim Sayın Doç. Dr. Ümit Cafer YILDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezin istatistiksel analizlerinde önerilerinden faydalandığım Prof. Dr. Hakkı YAVUZ hocama ve eserlerinden yararlanıp tavsiyelerini aldığım diğer tüm hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Araştırma boyunca yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Araştırma Görevlisi Engin D. GEZER'e, Araştırma Görevlisi Ali TEMİZ'e, Araştırma Görevlisi Turgay ÖZDEMİR'e ve diğer mesai arkadaşlarıma teşekkürler ederim.

Akademik hayatım boyunca bana her zaman destek olan sevgili aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, çalışmalarım esnasında yardımlarını gördüğüm Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarının değerli çalışanlarına, akademik ve idari personeline ve emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

Trabzon, Ekim 2002

Sibel YILDIZ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	IIIIV
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi.....	2
1.2.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi.....	3
1.2.1.1. Daralma – Genişleme Oranları (Çalışma).....	3
1.2.1.2. Ağırlık Kaybı.....	7
1.2.1.3. Daralma, Çatlama ve Renklenmeler.....	8
1.2.2. Isıl İşlemin Mekanik ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi.....	11
1.2.3. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi.....	16
1.2.3.1. Hemiselüloz.....	19
1.2.3.2. Selüloz.....	22
1.2.3.3. Lignin.....	25
1.2.3.4. Karbonlaşma ve Gazlaşma.....	26
1.2.4. Isıl İşlemin Biyolojik Özellikler Üzerine Etkisi.....	31
1.2.5. Isıl İşlemin Anatomik Özellikler Üzerine Etkisi.....	34
1.3. Isıl işlem Üzerine Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar ve Endüstriyel Uygulamalar.....	36
1.3.1. Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Ağaç Malzemenin Sınıflandırılması.....	41
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	47
2.1. Deneme Materyali.....	47
2.1.1. Örnek Ağaçların Seçimi.....	47
2.1.2. Ağaç Malzeme.....	48
2.1.2.1. Doğu Kayını ( <i>Fagus orientalis</i> Lipsky).....	48

2.1.2.2. Doğu Ladini ( <i>Picea orientalis</i> (L) Link).....	49
2.1.3. Örneklerin Hazırlanması.....	51
2.2. Araştırma yöntemi.....	52
2.2.1. Isıl İşlem.....	52
2.2.2. Fiziksel Test Yöntemleri.....	53
2.2.2.1. Özgül Ağırlık.....	53
2.2.2.2. Su Alma Oranı ve Su İtici Etkinlik.....	55
2.2.2.3. Genişleme Miktarı ve Boyut Stabilizasyonu.....	56
2.2.2.4. Denge Rutubeti Miktarı.....	57
2. 2. 3. Mekanik Test Yöntemleri.....	58
2. 2. 3. 1. Statik Eğilme Direnci ve Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	58
2.2.3.2. Liflere Paralel Basınç Direnci ve Kalite Değerleri.....	61
2.2.4. Teknolojik Test Yöntemleri .....	63
2.2.4.1. Brinell Sertlik Değeri.....	63
2.2.5. Kimyasal Test Yöntemleri.....	65
2.2.5.1. Kimyasal Analiz Öncesi İşlemler.....	65
2.2.5.2. Rutubet Tayini.....	65
2.2.5.3. Sıcak Su Çözünürlüğü.....	66
2.2.5.4. % 1'lik NaOH Çözünürlüğü.....	66
2.2.5.5. Alkol – Benzende çözünürlük.....	67
2.2.5.6. Holoselüloz Tayini.....	68
2.2.5.7. Selüloz Tayini.....	69
2.2.5.8. Lignin Tayini.....	69
2.3. İstatistiksel yöntemler.....	70
3. BULGULAR.....	71
3.1. Fiziksel Özellikler.....	71
3.1.1 Özgül Ağırlık.....	71
3.1.2. Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik.....	75
3.1.3. Denge Rutubeti Miktarı.....	124
3.2. Mekanik Özellikler.....	128
3.2.1. Statik Eğilme Direnci.....	128
3.2.2. Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	133
3.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	138

3.3. Teknolojik Özellikler.....	145
3.3.1. Brinell Sertlik.....	145
3.4. Kimyasal Özellikler.....	158
3.4.1. Rutubet.....	158
3.4.2. Sıcak Su Çözünürlüğü.....	159
3.4.3. % 1'lik NaOH Çözünürlüğü.....	162
3.4.4. Alkol-Benzen Çözünürlüğü.....	165
3.4.5. Selüloz.....	168
3.4.6. Holoselüloz.....	171
3.4.7. Hemiselüloz.....	174
3.4.8. Lignin.....	174
4. İRDELEME.....	178
4.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi.....	178
4.1.1. Kayın ve Ladin Odununda Isıl İşlemin Özgül Ağırlık Üzerine Etkisi.....	178
4.1.2. Isıl İşlemin Su Alma Oranları , Su İtici Etkinlik Değerleri ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerleri Üzerine Etkileri.....	181
4.1.2.1. Kayın Odununda Isıl İşlemin Su Alma Oranı , Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerleri Üzerine Etkileri.....	181
4.1.2.2. Ladin Odununda Isıl İşlemin Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerleri Üzerine Etkileri.....	187
4.1.2.3. Isıl İşlem Sonuçlarının Su İticilik ve Boyut Stabilizasyonu Kavramları Bakımdan Değerlendirilmesi.....	194
4.1.2.3.1. Su İticilik ve Boyut Stabilizasyonu Kavramları.....	194
4.1.3. Kayın ve Ladin Odununda Isıl İşlemin Denge Rutubeti Miktarı Üzerine Etkisi.....	198
4.2. Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi.....	201
4.2.1. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Eğilme Direnci Üzerine Etkisi.....	202
4.2.2. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Üzerine Etkisi.....	205
4.2.3. Kayın ve Ladin Odununda Isıl İşlemin Liflere Paralel Basınç Direnci.....	209
Üzerine Etkisi	
4.2.3.1. Liflere Paralel Basınç Direncinde Statik ve Spesifik Kalite Değerleri.....	212
4.2.4. Isıl İşlemin Mekanik Özellikleri Etkilemesine İlişkin Genel	

Değerlendirme.....	215
4.3. Isıl İşlemin Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi.....	216
4.3.1. Kayın Odununda Isıl İşlemin Enine, Radyal ve Teğet Kesitteki Sertlik Değerleri Üzerine Etkileri.....	216
4.3.2. Ladin Odununda Isıl İşlemin Enine, Radyal ve Teğet Kesitteki Sertlik Değerleri Üzerine Etkileri.....	220
4.4. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi.....	224
4.4.1. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Sıcak Su Çözünürlükleri Üzerine Etkisi.....	225
4.4.2. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin % 1'lik NaOH Çözünürlükleri Üzerine Etkisi.....	227
4.4.3. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Alkol-Benzen Çözünürlükleri Üzerine Etkisi.....	228
4.4.4. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Selüloz Üzerine Etkisi.....	230
4.4.5. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Holoselüloz Üzerine Etkisi.....	233
4.4.6. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Hemiselüloz Üzerine Etkisi.....	235
4.4.7. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Lignin Üzerine Etkisi.....	237
5. SONUÇLAR.....	240
5.1. Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar.....	240
5.1.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Özgül Ağırlık Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	240
5.1.2. Kayın Odununda Isıl İşlemin Su Alma Oranı (SAO), Su İtici Etkinlik (SİE) ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik (GET) Değerlerine Ait Sonuçlar.....	240
5.1.3. Ladin Odununda Isıl İşlemin Su Alma Oranı (SAO), Su İtici Etkinlik (SİE) ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik (GET) Değerlerine Ait Sonuçlar.....	241
5.1.4. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Denge Rutubeti Miktarlarına (DRM) İlişkin Sonuçlar.....	242
5.2. Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar.....	242
5.2.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Eğilme Direnci Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	242
5.2.2. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odununda Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	243
5.2.3. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Liflere Paralel Basınç	

Direnci Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	244
5.3. Teknolojik Özelliklere Ait Sonuçlar.....	245
5.3.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın Odununun Enine, Radyal ve Teğet Yöndeki Sertlik Direnci Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	245
5.4. Kimyasal Özelliklere Ait Sonuçlar.....	246
5.4.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Sıcak Su Çözünürlüklerine İlişkin Sonuçlar.....	246
5.4.2. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında % 1'lik NaOH Çözünürlüklerine İlişkin Bulgular.....	247
5.4.3. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Alkol-Benzen Çözünürlüklerine İlişkin Sonuçlar.....	247
5.4.4. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Selüloz Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	247
5.4.5. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Holoselüloz Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	248
5.4.6. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Hemiselüloz Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	248
5.4.7. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Lignin Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....	249
6. ÖNERİLER.....	250
7. KAYNAKLAR.....	253
ÖZGEÇMİŞ.....	265

## ÖZET

Bu çalışmada, ısıtım işlemi uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir.

Dört farklı sıcaklık ( 130, 150, 180 ve 200 °C ) ve üç farklı süre ( 2, 6, ve 10 saat) olmak üzere toplam 12 varyasyonda oluşturulan deneme deseninde her varyasyon için ayrı kontrol grubu oluşturulmuştur. Isıtım işlemi uygulaması normal atmosfer ortamında, sıcaklığı  $\pm 1$  °C duyarlılıkta kontrol edebilen bir etüvde gerçekleştirilmiştir.

Isıtım işlemi tabii tutulan test örneklerinde fiziksel özelliklerden; özgül ağırlık, su alma oranı, su itici etkinlik, denge rutubeti miktarı mekanik özelliklerden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, teknolojik özelliklerden; teğet, radyal ve lifler yönündeki sertlik değerleri, kimyasal özelliklerden; sıcak su çözünürlüğü, % 1'lik NaOH çözünürlüğü, selüloz, holoselüloz ve lignin tayinleri yapılmış ve kontrol gruplarıyla karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak; ısıtım işlemi uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisi özellikle boyut stabilizasyonu bakımından memnun edici bulunmuştur. Mekanik ve teknolojik özelliklerde, genellikle artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak bir düşüş kaydedilmiştir. Kimyasal özelliklerde ise ısıtım işleminden en fazla zarar gören hücre çeperi bileşeninin hemiselüloz olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isıtım İşlemi, Doğu Kayını, Doğu Ladini, Termal Bozunma



## SUMMARY

### **Physical, Mechanic, Technologic and Chemical Properties of *Fagus orientalis* and *Picea orientalis* Wood Treated by Heating**

In this study, some physical, mechanic, technologic and chemical properties of heated wood beech (*Fagus orientalis*) and spruce (*Picea orientalis*) woods were investigated.

Heat treatment was applied on the wood samples at four different temperatures (130, 150, 180 and 200 °C) and three different durations (2, 6 and 10 hour) under atmospheric pressure ( $\pm$  sensitively).

As physical properties; specific gravity, rate of the water absorption, water repellency efficient, equilibrium moisture content, as mechanic properties; static bending strength, modulus of elasticity and compression strength parallel to the grain, as technologic properties; values of Brinell-hardness, as chemical properties; hot-water soluble components, solubility in extracted with % 1 NaOH, cellulose, holocellulose and lignin contents were determined.

The results indicated that the effects of heat treatment on physical properties especially with dimensional stabilization was found satisfactory. Mechanic and technologic properties values generally exhibited a decrease with increasing the exposure durations and temperatures. In the chemical properties, it was seen that hemicellulose was the wood-cell components most degraded by the heat treatment.

**Key Words:** Heat Treatment, *Fagus orientalis*, *Picea orientalis*, Thermal Degradation

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Kavak odununun ve bileşenlerinin termogravimetrik diyagramı.....	7
Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda 24 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan ladin odununda ağırlık kaybı.....	7
Şekil 3. Dakikada 5 °C artan sıcaklıklarda ısıtıl işleme tabi tutulan kayın odununda ağırlık kaybı oranı ve karbon miktarı.....	8
Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda 48 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan çam ve meşe odunlarına ait kimyasal analizler.....	17
Şekil 5. Kayın odunu ve bileşenlerinin diferansiyel termal analizi.....	18
Şekil 6. Kayın ve ladin odunlarının diferansiyel analizleri.....	18
Şekil 7. 24 saat süreyle farklı sıcaklıklarda ısıtıl işleme tabi tutulan ladin, çam ve meşe odunlarından izole edilmiş, asitte çözünemeyen lignin yüzdeleri (kuru ağırlığa oranla ve ekstrakte edilmemiş odunda).....	26
Şekil 8. Isıtıl işlem fabrikasının çalışma prensibi.....	38
Şekil 9. Isıtıl işlem fabrikasının çalışma prensibi.....	45
Şekil 10. Ağaç gövdelerinden deney ve kontrol örneklerinin çıkarılacağı kereste parçalarının elde edilmesi.....	51
Şekil 11. SAO ve SİE deneyi örneklerinin boyut ve şekli.....	55
Şekil 12. Statik eğilme direnci örneklerinin şekli, boyutları, ve yükün uygulanması.....	58
Şekil 13. Liflere paralel basınç direnci örneklerinin şekli, boyutları ve yükün uygulanması.....	61
Şekil 14. Sertlik deneyi örneklerinin şekli boyutları ve yükün uygulanması.....	64
Şekil 15. Isıtıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları.....	178
Şekil 16. Isıtıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları.....	180
Şekil 17. 130 °C'de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtıl işleme tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	182
Şekil 18. 150 °C'de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtıl işleme tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	182

Şekil 19. 180 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	183
Şekil 20. 200 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	183
Şekil 21. Kayın odunu örneklerinde SİE değerleri.....	184
Şekil 22. Kayın odunda ortalama GET (%) değerleri.....	186
Şekil 23. 130 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	187
Şekil 24. 150 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	187
Şekil 25. 180 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	188
Şekil 26. 200 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	188
Şekil 27. Ladin odunu örneklerinde SİE değerleri.....	189
Şekil 28. Ladin odunda ortalama GET (%) değerleri.....	192
Şekil 29. Su itici etkinlik ve boyutsal stabilizasyon yöntemlerinde genişleme-zaman grafiği.....	195
Şekil 30. Kayın odununda ısıl işlem sonucu meydana gelmesi muhtemel su itici etkinlik ve boyut stabilizasyonunun grafiksel gösterimi.....	196
Şekil 31. Kayın odununda ısıl işlem sonucu meydana gelmesi muhtemel su itici etkinlik ve boyut stabilizasyonunun grafiksel gösterimi.....	198
Şekil 32. Kayın odunu örneklerinde DRM azalma oranları.....	199
Şekil 33. Ladin odunu örneklerinde DRM azalma oranları.....	199
Şekil 34. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları.....	202
Şekil 35. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları.....	203
Şekil 36. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait azalma oranları.....	205

Şekil 37. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen elastikiyet modülü değerlerine ait azalma oranları.....	207
oranları.....	207
Şekil 38. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları.....	209
Şekil 39. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları.....	209
Şekil 40. Kayın odunu örneklerinde statik kalite değerleri.....	212
Şekil 41. Kayın odunu örneklerinde spesifik kalite değerleri.....	213
Şekil 42. Ladin odunu örneklerinde statik kalite değerleri.....	213
Şekil 43. Ladin odunu örneklerinde spesifik kalite değerleri.....	214
Şekil 44. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen enine kesitteki sertlik direnci değerlerine ait azalma oranları.....	217
Şekil 45. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen radyal kesitteki sertlik direnci değerlerine ait azalma oranları.....	217
Şekil 46. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen teğet kesitteki sertlik direnci değerlerine ait azalma oranları.....	218
Şekil 47. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen enine kesitteki sertlik direnci değerlerine ait azalma oranları.....	220
Şekil 48. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen radyal kesitteki sertlik direnci değerlerine ait azalma oranları.....	221
Şekil 49. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen teğet kesitteki sertlik direnci değerlerine ait azalma oranları.....	221
Şekil 50. Kayın odunu örneklerinde ortalama sıcak su çözünürlükleri.....	225
Şekil 51. Ladin odunu örneklerinde ortalama sıcak su çözünürlükleri.....	226

Şekil 52. Kayın odunu örneklerinde ortalama % 1'lik NaOH çözünürlüğü.....	227
Şekil 53. Ladin odunu örneklerinde ortalama % 1'lik NaOH çözünürlüğü.....	228
Şekil 54. Kayın odunu örneklerinde ortalama Alkol-Benzen Çözünürlüğü (%).....	229
Şekil 55. Ladin odunu örneklerinde ortalama Alkol-Benzen Çözünürlüğü (%).....	230
Şekil 56. Kayın odunu örneklerinde ortalama selüloz miktarı (%).....	231
Şekil 57. Ladin odunu örneklerinde ortalama selüloz miktarı (%).....	232
Şekil 58. Kayın odunu örneklerinde ortalama holoselüloz miktarı (%).....	233
Şekil 59. Ladin odunu örneklerinde ortalama holoselüloz miktarı (%).....	234
Şekil 60. Kayın odunu örneklerinde ortalama hemiselüloz miktarı (%).....	235
Şekil 61. Ladin odunu örneklerinde ortalama hemiselüloz miktarı.....	236
Şekil 62. Kayın odunu örneklerinde ortalama lignin miktarı (%).....	237
Şekil 63. Ladin odunu örneklerinde ortalama lignin miktarı (%).....	238



## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Isıl işlem sınıflandırması.....	42
Tablo 2. Örnek ağaçların genel özellikleri.....	47
Tablo 3. Uygulanan varyasyon şeması ve her varyasyonda kullanılan test ve kontrol örneklerinin sayısı.....	52
Tablo 4. Isıl işlem sıcaklıkları ve süreleri.....	53
Tablo 5. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama özgül ağırlık değerleri (g/cm <sup>3</sup> ).....	71
Tablo 6. Kayın odununda özgül ağırlık değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	72
Tablo 7. Ladin odununda özgül ağırlık değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	73
Tablo 8. Kayın odununda özgül ağırlık değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları (P<0,05).....	74
Tablo 9. Ladin odununda özgül ağırlık değerlerine ait ÇVA ve Duncan Testi sonuçları.....	74
Tablo 10. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının özgül ağırlığı etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	75
Tablo 11. 130 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	76
Tablo 12. 150 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	77
Tablo 13. 180 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	78
Tablo 14. 200 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	79
Tablo 15. 130 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	80
Tablo 16. 150 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	81
Tablo 17. 180 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	82

Tablo 18. 200 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%).....	83
Tablo 19. 130 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%)...84	84
Tablo 20. 150 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı suda bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%).....	85
Tablo 21. 180 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı suda bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%).....	86
Tablo 22. 200 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı suda bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%).....	87
Tablo 23. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama GET değerleri (%).....	88
Tablo 24. 130 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’larına ilişkin BVA sonuçları.....	89
Tablo 25. 130 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	90
Tablo 26. 130 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	91
Tablo 27. 150 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	92
Tablo 28. 150 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	93
Tablo 29. 150 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	94
Tablo 30. 180 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	95
Tablo 31. 180 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	96
Tablo 32. 180 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	97

Tablo 33. 200 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	98
Tablo 34. 200 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	99
Tablo 35. 200 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	100
Tablo 36. 130 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	101
Tablo 37. 130 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	102
Tablo 38. 130 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	103
Tablo 39. 150 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	104
Tablo 40. 150 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	105
Tablo 41. 150 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	106
Tablo 42. 180 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	107
Tablo 43. 180 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	108
Tablo 44. 180 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	109
Tablo 45. 200 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	110
Tablo 46. 200 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	111
Tablo 47. 200 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları.....	112
Tablo 48. Kayın odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine sıcaklık etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	113



Tablo 49. Kayın odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine süre etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	115
Tablo 50. Ladin odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine sıcaklık etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	116
Tablo 51. Ladin odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine süre etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	117
Tablo 52. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ ).....	119
Tablo 53. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ ).....	120
Tablo 54. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ ).....	121
Tablo 55. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ ).....	122
Tablo 56. Kayın odununda GET değerlerine ait ÇVA sonuçları.....	123
Tablo 57. Ladin odununda GET değerlerine ait ÇVA sonuçları.....	123
Tablo 58. Kayın ve ladin odununa ait ortalama DRM değerleri (%).....	124
Tablo 59. Kayın odununda DRM değerlerine ait BVA sonuçları.....	125
Tablo 60. Ladin odununda DRM değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	126
Tablo 61. Kayın odununda DRM değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları ( $P < 0,05$ ).....	127
Tablo 62. Ladin odununda DRM değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları ( $P < 0,05$ ).....	127
Tablo 63. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının DRM'nı etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	128
Tablo 64. Kayın ve ladin odunu örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri ( $\text{kg/cm}^2$ ).....	129
Tablo 65. Kayın odununda eğilme direnci değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	130
Tablo 66. Ladin odununda eğilme direnci değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	131
Tablo 67. Kayın odununda eğilme direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	132
Tablo 68. Ladin odununda eğilme direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	132

Tablo 69. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının eğilme direnci değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	133
Tablo 70. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama elastikiyet modülü değerleri.....	134
Tablo 71. Kayın odununda eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait BVA sonuçları.....	135
Tablo 72. Ladin odununda eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait BVA sonuçları.....	136
Tablo 73. Kayın odununda eğilmede elastikiyet modülüne ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	137
Tablo 74. Ladin odununda eğilmede elastikiyet modülüne ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	137
Tablo 75. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının eğilmede elastikiyet modülü değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	138
Tablo 76. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama liflere paralel basınç direnci (kg/cm <sup>2</sup> ).....	139
Tablo 77. Kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait ortalama statik ve spesifik kalite değerleri ve kalite sınıfları.....	140
Tablo 78. Ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait ortalama statik ve spesifik kalite değerleri ve kalite sınıfları.....	141
Tablo 79. Kayın odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait BVA sonuçları.....	142
Tablo 80. Ladin odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait BVA sonuçları.....	143
Tablo 81. Kayın odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	144
Tablo 82. Ladin odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	144
Tablo 83. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının liflere paralel basınç direnci değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	145
Tablo 84. Kayın odunu test ve kontrol örneklerinin enine, radyal ve teğet kesitteki ortalama sertlik değerleri (kg/mm <sup>2</sup> ).....	146
Tablo 85. Ladin odunu test ve kontrol örneklerinin enine, radyal ve teğet kesitteki ortalama sertlik değerleri.....	147

Tablo 86. Kayın odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları.....	148
Tablo 87. Kayın odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları.....	149
Tablo 88. Kayın odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları.....	150
Tablo 89. Ladin odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları.....	151
Tablo 90. Ladin odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları.....	152
Tablo 91. Ladin odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları.....	153
Tablo 92. Kayın odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	154
Tablo 93. Kayın odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	154
Tablo 94. Kayın odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	155
Tablo 95. Ladin odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	155
Tablo 96. Ladin odunu örneklerinin radyal kesitteki değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	156
Tablo 97. Ladin odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları.....	156
Tablo 98. Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcaklık ve süre artışının enine kesitteki sertlik değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	157
Tablo 99. Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcaklık ve süre artışının radyal kesitteki sertlik değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	157
Tablo 100. Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcaklık ve süre artışının teğet kesitteki sertlik değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları.....	158
Tablo 101. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama rutubet değerleri.....	159
Tablo 102. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama sıcak su çözünürlükleri.....	159
Tablo 103. Kayın odununda sıcak su çözünürlüğüne ilişkin BVA sonuçları.....	160

Tablo 104. Ladin odununda sıcak su çözünlüğüne ilişkin BVA sonuçları.....	161
Tablo 105. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama % 1'lik NaOH çözünlükleri.....	162
Tablo 106. Kayın odununda % 1'lik NaOH çözünlüğüne ilişkin BVA sonuçları.....	163
Tablo 107. Ladin odununda % 1'lik NaOH çözünlüğüne ilişkin BVA sonuçları.....	164
Tablo 108. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama alkol-benzen çözünlükleri.....	165
Tablo 109. Kayın odununda alkol-benzen çözünlüğüne ilişkin BVA sonuçları.....	166
Tablo 110. Ladin odununda alkol-benzen çözünlüğüne ilişkin BVA sonuçları.....	167
Tablo 111. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama selüloz değerleri.....	168
Tablo 112. Kayın odununda selüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	169
Tablo 113. Ladin odununda selüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	170
Tablo 114. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama holoselüloz değerleri.....	171
Tablo 115. Kayın odununda holoselüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	172
Tablo 116. Ladin odununda holoselüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	173
Tablo 117. Kayın ve ladin odunu örneklerinin ortalama hemiselüloz değerleri (%)......	174
Tablo 118. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama lignin değerleri.....	175
Tablo 119. Kayın odununda lignin değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	176
Tablo 120. Ladin odununda lignin değerlerine ilişkin BVA sonuçları.....	177

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1.Giriş**

Odun sahip olduğu birçok olumlu özelliklerle geniş bir kullanım alanı bulunan bir yapı ve mühendislik malzemesidir. Bununla birlikte, odunun kullanım alanlarını sınırlayan ve/ veya kullanımı sırasında sorunlar çıkartabilen sakıncalı özellikleri de bulunmaktadır. Tam kuru hal ile lif doygunluk noktası ( LDN ) arasında rutubet alıp vererek boyutlarını değiştirmesi, çeşitli biyolojik zararlı faktörlerce tahrip edilmesi, düşük sıcaklık derecelerinde kolay tutuşabilmesi odunun sakıncalı yönlerine verilebilecek birkaç örnektir.

Odunun olumsuz özelliklerinin en aza indirgenmesi ve bunun yanı sıra olumlu özelliklerinin daha ileri derecelere yükseltilmesi amacına yönelik olarak birçok araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların sonuçlarına göre ortaya çıkan yöntemlere genel anlamda “Odun Modifikasyonu Yöntemleri” ( OMY ) denilmektedir. Odun modifikasyonu yöntemleri fiziksel ve kimyasal yönden etkili olabilmektedir. Fiziksel etkili odun modifikasyonu yöntemlerinde, genellikle odunun hücre boşluklarının ve diğer kapılar boşluklarının inorganik veya organik maddelerle doldurulması ve bir materyal olarak takviye edilmesi amaçlanmaktadır. Kimyasal yönden etkili odun modifikasyonu yöntemlerinde ise, hücre çeperi bileşenleri ile reaksiyon veren ve böylelikle odunun kimyasal kompozisyonunu değiştiren kimyasal maddeler kullanılmakta, odunun kimyasal yapısının değiştirilmesiyle sakıncalı özelliklerinin azaltılması yoluna gidilmektedir.

Genel hatlarıyla bu şekilde tanımlanabilen odun modifikasyonu yöntemleri çoğu kez yüksek bir maliyeti de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, son yıllarda odun modifikasyonu yöntemleri tek bir muamele ile birden çok özelliği iyileştirmek üzere geliştirilmek istenmektedir. Diğer yandan, kullanılan kimyasal maddelerin çevre kirliliğine yol açmaması, ekonomiklik ve uygulama kolaylığı odun modifikasyonu yöntemleri için önem kazanan unsurlar olmuştur. Odunun ısıl işleme tabi tutulması onun kimyasal kompozisyonunu değiştirmekte ve dolayısıyla odun modifikasyonu yöntemleri arasında yer almaktadır.

Bir odun modifikasyonu yöntemi olarak ele alındığında, odunun 100- 250 °C'ler arasında, normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi ısı işlem olarak anlaşılmaktadır. Odunun kimyasal maddelerle modifikasyonunda yöntemle özel işlem teçhizatları, teknik kurutma ve farklı bir kalite kontrol gerekirken; ısı işlemde bütün bunlara gerek duyulmamakta ve ayrıca kimyasal maddelerin çevreye verebileceği zarar önlenmektedir.

Odunun ısı işlemine tabi tutulması birçok amaca yönelik olarak uygulanmaktadır. Isıl işlem ile odunun rutubet alıp vermesini azaltmak, yani oduna boyut stabilizasyonu kazandırmak, tahrip edici organizmalara karşı odunun biyolojik direncini artırmak, denge rutubeti miktarını düşürmek, permeabilityyi arttırmak, CCA ve CCB gibi empenye maddelerinin ve boyama-vernikleme gibi üst yüzey işlemlerinin performansını yükseltmek mümkün olabilmektedir.

Bir hammadde olarak odun, kurutma, kağıt hamuru, yonga levha ve lif levha üretimi gibi birçok proseste yüksek sıcaklıklara ve termo-hidroliz işlemlerine maruz kalabilmektedir. Masif olarak kullanılan kereste üretiminde de bazı türler buharlamaya tabi tutulmakta ve teknik kurutulmuş keresteler daha çok kullanım alanı bulmaktadır. Termik şartlar levha üretiminde daha şiddetli olabiliyorken, kerestede biraz daha ılımlı olabilmektedir. Birçok çalışmada yukarıda belirtilen levha ürünleri özelliklerinin termo-hidroliz işleminden önemli oranda etkilendiği ifade edilmektedir. Tez kapsamında bu endüstrilerde yoğun olarak kullanılan doğu kayını ve doğu ladini odunlarında, fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özelliklerden bazıları üzerine ısı işlem uygulamasının etkileri belirlenerek bir veri tabanı oluşturulması amaçlanmış ve bu veri tabanının ısı etkisinin söz konusu olduğu bütün aşama ve alanlarda kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Bu çerçevede çevre kirliliğinin ve odun modifikasyonu maliyetinin azaltıldığı alternatif bir odun koruma yönteminin geliştirilmesi de mümkün olabilecektir.

## 1.2. Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi

Isıl işlemde sıcaklık en önemli etkidir. Ancak ağaç türü, ısı işlem süresi, işlem atmosferi, basınç, rutubet miktarı ve sıcaklığın eşit dağılımı gibi faktörlerin de elde edilen sonuca doğrudan etkisi bulunmaktadır [1]. Isıl işlemin alt sıcaklık sınırı 100 °C o

kabul edilmektedir. Odunun termal bozunması bu sınırdan itibaren başlamaktadır. 200 °C' nin üzerinde yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve gaz fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. 270 ° C' nin üzerinde odunun pirolizi ve yanma olayı başlamaktadır. Odunu gaz haline getirmek için 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar uygulanmaktadır [2].

### **1.2.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi**

#### **1.2.1.1. Daralma – Genişleme Oranları (Çalışma)**

Odunu normal kurutma sıcaklıklarının üzerindeki sıcaklık derecelerine kadar ısıtmak, en basit, en ucuz ve en eski boyut stabilizasyonu yöntemidir [3].

Isı ile boyut stabilizasyonu, sıcaklık ve zaman parametrelerine bağlı olup, odunun yapısında bulunan suyun kaybedilmesiyle sağlanmaktadır. Isı etkisiyle boyut stabilizasyonu odunun yapısında bulunan suyun kaybedilmesiyle sağlanmaktadır. Burada bir çapraz bağlanma reaksiyonu sözkonusu olup, kuru ısının rutubetli ısıdan daha etkili olduğu bildirilmektedir. Sözü edilen çapraz bağlanma, komşu odun bileşenleri üzerindeki iki hidroksil grubu arasındaki suyun parçalanmasıyla meydana getirilen oksijen bağı ( yani bir eter bağı ) ile sağlanmaktadır [3]. Stamm, kuru odunun ısıl işleme maruz bırakılması sonucunda higroskopisitede önemli oranda bir azalma meydana geldiğini, aynı işlemin rutubetli oduna uygulanmasıyla higroskopisitenin azalmadığını belirtmiştir [4]. Ayrıca, rutubetli oduna uygulanan ısıl işlemin kuru oduna uygulanan ısıl işleme oranla odunu 10 kat daha hızlı degrade ettiği görülmüştür [5-8].

Stamm [4] vd., odunun boyutsal stabilizasyonunun yalnızca kimyasal maddelerin kullanılması ile değil, tek başına ısıl işlem uygulaması ile de sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu yaklaşımlar, Tiemann' ın çalışmasına da bir temel oluşturmuştur ve bunun sonucunda yüksek sıcaklıktaki kurutma işlemleri ile higroskopisitenin ve ağaç malzemedeki süre gelen genişleme ve daralma etkisinin azaldığı görülmüştür [9].

Teorik olarak, hücre çeperi içerisindeki en higroskopik polimerlerin yer aldığı hemiselülozların ısıl işleme bozundurulması ve suyla reaksiyona girebilecek serbest polar

adsorpsiyon gruplarının miktarının, yani higroskopisitenin azaltılmasıyla oduna boyut stabilizasyonu kazandırılmaktadır [10,11]. Selüloz ve kısmen lignin, hemiselülozlerden daha yavaş ve daha yüksek sıcaklıklarda degrade olmaktadır. Başlangıçtaki hemiselüloz birimlerine göre ısı ileme oluşan uçucu bozunma ( dekompozisyon) ürünleri, daha az sayıda serbest polar adsorpsiyon gruplarına sahiptir ve daha az higroskopiktir. Yapraklı ağaç (YA) hemiselüloz birimleri (pentozanlar) , iğne yapraklı ağaç (İYA) hemiselüloz birimlerine (heksozanlar) göre bozunmaya karşı daha hassastır [11]. Yani, ısı etkisiyle YA' lar İYA' lardan daha hızlı bozunmaktadır. Bunun nedeni, muhtemelen YA' ların daha fazla sayıda asetil gruplarına sahip olmasıdır [12,13].

Odunun polimerik yapısında yer alan bir bileşen olarak hemiselülozlar, diğer hücre çeperi bileşenleri olan lignin ve selülozu bağlayıcı bir ana işleve ve aynı zamanda birbirine komşu hücreler arasında yapıştırma etkisine sahiptir. Dolayısıyla, hemiselülozun termal bozunması yüzünden meydana gelen değişiklikler ve kayıplar odun özelliklerinde önemli bazı etkiler yapmaktadır [11]. Isıl işlemin değişik ağaç türleri üzerindeki etkileri hemiselülozların tipine ve miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, bir YA türü olarak kayın bir İYA türü olarak çama göre daha yoğun reaksiyonlar göstermekte; çamdaki reaksiyon yoğunluğu da ladine göre daha fazla olmaktadır. Buna göre, ortalama ağırlık kaybı ve boyut stabilizasyonu oranları, çam ve ladine göre kayında biraz daha yüksek olmaktadır [14 ].

70-200°C sıcaklıklar arasında 6, 24, 48 saat süreyle ısı ileme uygulanan kayın, meşe ve çam diri odunlarında meydana gelen sorpsiyon davranışlarının incelendiği bir çalışmada, 70°C' deki uygulamadan sonra türlerin sorpsiyon kapasitelerinin değişmediği görülmüştür. Fakat 100°C, 130°C ve 150°C sıcaklıklarda sorpsiyon kapasitelerinde bir azalma meydana gelmiştir. Sorpsiyon kapasitesindeki azalma, ısı ileme süresi ve sıcaklığına paralel olarak artmıştır. 180°C' de 6 ve 24 saat süreyle yapılan ısı ilemlerde, sorpsiyon kapasiteleri benzer oranda azalan örneklerin, 24 saat süreyle uygulanan ısı ilemden sonraki sorpsiyon kapasitelerindeki azalış, 48 saat süreli ısı ileme ile karşılaştırıldığında daha fazla olmuştur. Bu durumun; muhtemelen ligninin ergimesi gibi, kimyasal proste meydana gelen değişikliklerden kaynaklandığı sanılmaktadır. Isıl işleme tabi tutulan odunun sorpsiyon kapasitesindeki bu değişimler odun bileşenlerinin sorpsiyon



karakteristiği ile olduğu kadar bu bileşenlerin odunun kimyasal bileşimindeki oranlarıyla ve farklı termal stabilite değerleri ile de açıklanmaktadır [15].

80, 100, 115, 130 ve 140°C' de 6, 12, 24, 48 ve 96 saat süreyle ısıtıl işlem uygulandıktan sonra 25 yıl boyunca depolanan çam (*Pinus sylvestris*) ve huş (*Betula alba*) odunu örneklerinde kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında, maksimum genişleme yüzdesinin ve genişleme katsayısının % 30-40 oranında azaldığı gözlenmiştir [16].

Başlangıç rutubeti % 1 – 48 arasında değişen kayın odunu örneklerinde, 100°C 'de 24-96 saat ısıtıl işleme maruz bırakıldıktan sonra odun higroskopisitesinde sıcaklığın artmasıyla birlikte bir azalma, fakat sorpsiyon karakteristiklerinde bir durağanlık gözlenmiştir. Isıtıl işlemin etkisi, uygulanan süreye paralel olarak artmıştır [17].

Yapılan birçok araştırmada özellikle 100-230 °C' ler arasındaki sıcaklıklarda ve 2-48 saat süreli ısıtıl işlem uygulamalarıyla, kayın, kızılalağaç, meşe, ökaliptus, kavak, sarıçam, fin çamı, akçaağaç, huş, ladin, göknar gibi ağaç türlerinde meydana gelen boyutsal stabilite değişiklikleri incelenmiştir. Bu çalışmalarda genellikle sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte kullanılan tekniğe de bağlı olarak % 55-90'a varan bir boyut stabilizasyonu sağlanmıştır [11,14,18-22].

Odunun ısıtıl işleme tabi tutulması (100-200°C sıcaklıkları arasında) yukarıda belirtildiği gibi boyutsal stabilizasyonunu artırıcı bir etkide bulunurken; sertlik ve direnç değerlerinde kayıplara yol açmaktadır. Hillis ve Rozsa [23,24], 100°C'de 2 saat süreyle kısa bir ön ısıtılma veya buharlama işlemiyle hemiselüloz-lignin matriksini plastikleştirerek termal bozunmayı en düşük seviyeye getirmiş ve oduna ek bir boyutsal stabilizasyonu kazandırmışlardır.

Bir diğer çalışmada, rutubetli haldeki meşe, Avrupa kayını ve sarıçam odunlarının bir otoklav içerisinde ve basınç altında muamelesiyle ısıtıl işlem optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu işleme rutubet / ısı / basınç yöntemi adı verilmiş ve direnç değerlerindeki kayıpların telafi edilebilir olmasının yanında; meşe öz odunu için % 75, kayın diri odunu için % 60, çam diri ve öz odunu için % 55 ve ladin diri ve öz odunu için % 52 oranlarında boyut stabilizasyonu sağlanmıştır [18].

Benzeri bir rutubet-ısı-basınç muamelesi de Giebeler tarafından gerçekleştirilmiştir. 180-200°C sıcaklıklarda ve 8-10 bar'lık bir inert gaz atmosferinde, 1.8 m<sup>3</sup> hacmindeki bir pilot reaktör içerisinde gerçekleştirilen yöntemden başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Daralma ve genişlemede, yani, rutubet etkisiyle meydana gelen çalışmada % 50-80 oranında azalma sağlanmıştır. Özellikle pencere doğramaları gibi yüksek boyut stabilizasyonu gerektiren uygulamalarda yeni ve ekonomik bir potansiyel yöntem yalnızca % 10'luk bir direnç kaybıyla elde edilebilmiştir [14].

Basınç altındayken sıkıştırılarak ya da buharlanarak ısı işleme tabi tutulan odunun boyut stabilizasyonu hemiselülozun degradasyonu ile değil lignin-hemiselüloz matrikslerinin ısı ile plastikleştirilmesi sonucunda başarılmaktadır. Bu şekilde hemiselülozun degradasyonu en düşük seviyede olmakta; mekanik özelliklerdeki azalma tolere edilebilir hale gelmektedir. Buna ilaveten yüzey sertliğinde de bir miktar artış sağlanabilmektedir [25].

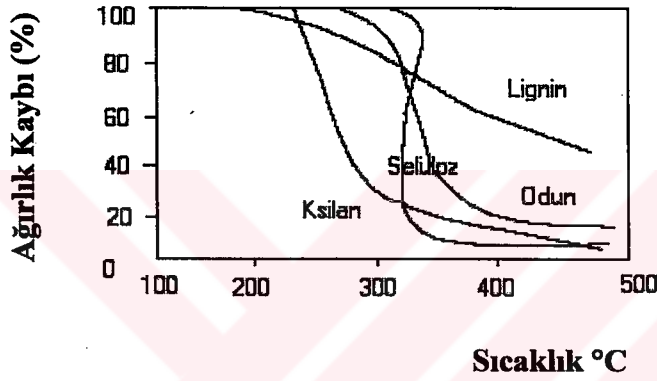
Son yıllarda yapılan diğer çalışmalarda, odunun önce preslenip sonra ısı işleme tabi tutulması veya önce ısı işleminden geçirilip sonra preslenmesi; basınç altında yapılan ısı işleme boya ve vernik tutma performanslarını artırmak gibi yaklaşımlar denenmiştir. Örneğin önce preslenip sonra 200 °C' de 1 dakika ve 180°C 'de 8 dakika ısı işleminden geçirilen (buharlama ağırlıklı) odunlarda yüksek oranda boyut stabilizasyonunun yanı sıra, sertlikte büyük bir artış, mekanik özelliklerde minimum azalma ve hafif bir renk değişikliği elde edilmiştir. Ayrıca , ısı işlemin kayın odununda dış hava koşullarına karşı olan doğal dayanımı ve yüzey işlemleri performansını önemli ölçüde artırdığı bulunmuştur [10].

Isı işlemin kaplama, kontrplak, yonga levha ve lif levha ürünlerinde meydana getirdiği etkiler de son dönemde üzerinde durulan konular arasındadır. Örneğin; odun liflerinin lif levha haline dönüştürülmek üzere preslenmesinden önce buharlama ağırlıklı ön bir ısı işleme tabi tutulması elde edilen lif levhanın kalınlığına şişme oranını % 33 oranında azaltmıştır [26].

Başta Finlandiya olmak üzere Fransa, Almanya, Hollanda, İsveç, İsviçre gibi Avrupa ülkelerinde hem çevre dostu hem de ekonomik bir yöntem olması nedeni ile ısı işlem araştırmaları son birkaç yıldır yoğun bir şekilde sürdürülmektedir.

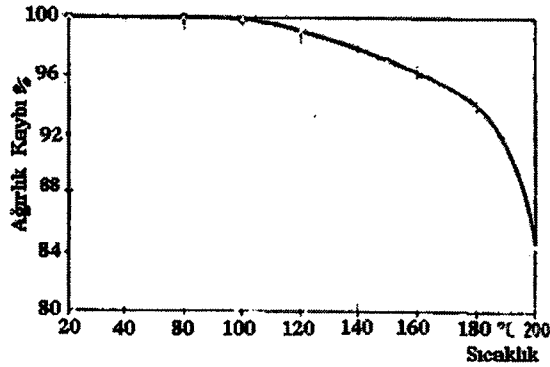
### 1.2.1.2. Ağırlık Kaybı

Isıl işlem uygulanması ile meydana gelen ağırlık kayıpları, mevcut hidroksil gruplarının azalması sonucu görülen odun bünyesinde tutulan suyun kaybı [11], odun hücre çeperi bileşenlerindeki maddesel kayıplar ve hemiselülozların yıkımı ile ilişkilendirilmektedir [1,2]. Şekil 1’de ağırlık kaybı ile ilişkilendirilen selüloz, polyoz ve lignin degradasyonlarının, odundan izole edilmiş haldeki durumları ve odun içerisindeki doğal durumları karşılaştırıldığında sıcaklığa bağlı olarak birbirlerinden ve odundan dikkate değer oranda farklılıklar sergiledikleri görülmektedir (Şekil 1).



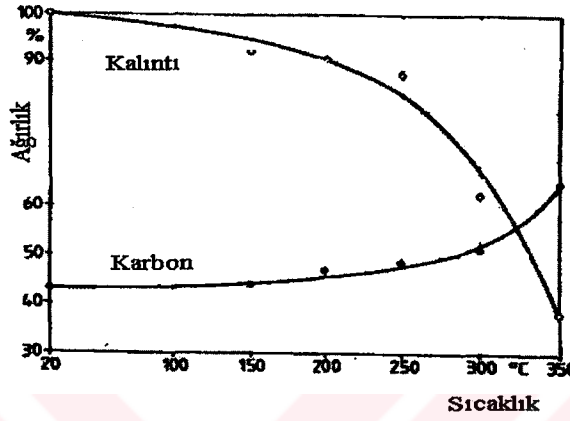
Şekil 1. Kavak odununun ve bileşenlerinin termogravimetrik diyagramı

Yapılan çalışmalarda artan sıcaklığa ve süreye paralel olarak, meydana gelen ağırlık kaybı oranında artış tespit edilmiştir. 24 saat boyunca ısıl işleme tabi tutulan ladin (*Picea abies*) odununda (Şekil 2), 120°C’ de başlayan ağırlık kaybı % 0,8 iken, 200°C’ de bu oran % 15,5 olmuştur [27].



Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda 24 saat süreyle ısıl işlem uygulanan ladin odununda ağırlık kaybı

Dakikada 5°C artan sıcaklıklarla ısıl işlem görmüş kayın (*Fagus sylvatica*) odunundaki ağırlık kaybı 150°C' de % 8,1 iken, 200°C' de % 9,8 olarak tespit edilmiştir. Karbon miktarında gözlenen artış, diğer bileşenlerde gözlenen kimyasal dönüşümlerinin bir kanıtı olarak düşünülmektedir [2], (Şekil 3).



Şekil 3. Dakikada 5 °C artan sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulan kayın odununda ağırlık kaybı oranı ve karbon miktarı

180-200 °C sıcaklıklarda ve 8-10 bar' lık bir inert gaz atmosferinde ısıl işleme tabi tutulan kayın (*Fagus sylvatica*) odunundaki ağırlık kaybının % 10-15, ladin (*Picea abies*) odunundaki ağırlık kaybının da % 5-10 oranlarında olduğu gözlenmiştir [11].

Benzer şekilde 130-200°C sıcaklıklarda, 96 saate kadar ısıl işleme tabi tutulan kayın ve ladin odunu örneklerinde, ağırlık kaybı oranının kayın odununda ladin odununa göre daha fazla oranda olduğu görülmüştür [28].

105-155°C sıcaklıklarında 10-160 saat süreyle ısıl işlem uygulanan ökaliptus (*Eucalyptus saligna*) odunu örneklerinde de ağırlık kaybında bir artış gözlenmiştir [29].

### 1.2.1.3. Daralma, Çatlama ve Renklenmeler

Odunun kurutma sırasında daralması, yapısındaki hücre çeperlerinin (duvarlarının) daralmasından kaynaklanmaktadır. Hücre çeperlerinin boyutları dikkate değer oranda azalmaktadır. Ladinin hücre çeperlerinin hacimsel daralma miktarı ilkbahar odununda

% 26,5 ; yaz odununda ise % 29.5 olarak bulunmuştur. Bu daralma ilkbahar odunu gözenek hacminde bir azalma ve yaz odunu gözenek hacminde de bir artma meydana getirmektedir. Sıcaklığın yükselmesiyle meydana gelen ilave daralma tesirleri hacim daralmasında olduğu gibi, termal bozunma sonucu ortaya çıkan madde kayıpları yüzünden artmaktadır. Bu kayıplar, hücre tabakalarının tiplerine göre farklılık göstermektedir. Farklı daralma etkileri hücre çeperi içerisinde çatlamalara neden olmaktadır. Çatlaklar daha ziyade hücre köşesinde yer alan S1 ve S2 arasındaki geçitlerde olduğu gibi en zayıf bölgelerde gözlenmektedir [2]. 180-200°C sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakılan ladinin (*Picea abies*) yaz odunu traheitlerinde meydana gelen çatlamlar aynı zamanda, bileşik orta lamelde ve S1 tabakasının bitişiğinde de görülmektedir [27].

180-200°C sıcaklıklarda ve 8-10 bar'lık bir inert gaz atmosferinde, rutubet /ısı/ basınç muamelesiyle ısı işleme uygulanan ladin ve kayın örneklerinde sıcaklığın artmasıyla birlikte, odunun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkileyen kırılma ve yarıma eğilimlerinin arttığı gözlenmiştir [14].

110-180°C sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakılan kayın ve çam diri odununda meydana gelen kurutma deformasyonları incelenmiştir. Çam diri odunu boyuna yönde yüzey çatlaklarıyla, kollaps ve çarpılmalar olmaksızın kurutulmuştur. Buna karşılık, birçok durumda iç çatlaklar meydana gelmiştir. Kayın odununda, yüksek sıcaklıkta uygulanan ısı işlemden sonra boyuna yüzey üzerinde herhangi bir yüzey çatlağı görülmemiştir. Fakat iç çatlak oluşumları çam diri odunundakinden çok daha belirgin olmuştur. Kayın odunu ile yapılan tüm testlere göre, kollaps oluşumunun 110 ve 130°C sıcaklıklardaki ısı işlemden sonra, 150 ve 180°C sıcaklıklardaki ısı işleme uygulamalarına göre çok daha dikkat çekici olduğu görülmüştür [30].

Yapılan bir diğer çalışmada, 220°C' de 6-8 saat süreyle ısı işleme tabi tutulmuş Fin çamı, kayın ve ladin odunu örneklerinde mikroskopik incelemeler ışığında hücre duvarı içerisinde boyuna yönde çatlaklar, 220°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda yine hücre duvarı içerisinde yarıklar tespit edilmiştir [19].

Uygulanan ısı işleme süresi, sıcaklığı ve tekniğine paralel olarak odun renginde farkedilir bir koyulaşma meydana gelmektedir [6,19,21,22,31, 32].

Belirgin renk değişimlerinin yapraklı ağaç odunlarında 60 °C’de, iğne yapraklı ağaç odunlarında ise 90 °C’de başlamakta olduğu ve sıcaklığın artmasıyla birlikte renklenme şiddetinin arttığı bildirilmiştir (33).

Preslendikten sonra 180-200-220°C’ lerde 2, 4, 6, 8 dakika süreyle buharlanan veya 4, 8, 12, 16 ve 20 dakika süreyle ısıtılma tabi tutulan Sugi (*Sryptmeria japonica D.Don*) odununun L- a- b tekniğine göre belirlenen renk farklılıkları testinde en az renk değişimi 180°C’ de buharla muamele edilen örneklerde yalnızca hafif bir sararma şeklinde olmuştur. 200 ve 220°C sıcaklıklarda uygulanan ısıtılma muamele sonucunda ise koyu bir sararma meydana gelmiştir. Çeşitli zaman periyotlarında ve özellikle yüksek sıcaklıklarda ısıtılma tabi tutulan tüm örneklerde önemli derecede renk koyulaşması görülmüştür [10].

110-180°C sıcaklıklarında ısıtılma maruz bırakılan kayın ve çam diri odunu örneklerinin renk bozulmalarını değerlendirmek için spektrofotometre vasıtasıyla spektral yansıma eğrileri kaydedilmiştir. Isıtılma süresine ilaveten, ısıtılma sıcaklığının da örnek renginin koyulaşması gibi yansımadaki azalma üzerinde fark edilir derecede etkili olduğu gözlenmiştir. Yansımadaki azalma genellikle çam diri odununa göre kayın odununda dikkate değer oranda daha fazla olmuştur [30].

Isıtılma ile meydana gelen renk koyulaşması sonucunda, odun yüzeyi koruyucu bir tabakayla kaplanmadıktan sonra UV ışığına karşı dayanıklı olmamaktadır. Normal boyama işlemlerinde problem olmamakla beraber, elektrostatik boyama kullanıldığında, ısıtılma muamele edilmiş odunda, ekstra bir rutubetlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır [22]. UV degradasyonundan dolayı astar boya üzerine opak sistemler (su esaslı akrilik veya solvent esaslı alkidler) tavsiye edilmektedir. Bu şekilde uzun yıllar açık havaya maruz bırakılmış ısıtılma muameleli odunların performansının muamelesiz oduna oranla daha iyi olduğu gözlenmiştir [32].

225 °C sıcaklıkta buhar altında 6 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan ladin levhalarının yüzeyleri dış cephe örtücüleri ile kapatıldıktan sonra 5 yıl süreyle açık hava şartlarına maruz bırakılmıştır. Isıtılma işlem görmüş levhaların açık havaya karşı dayanımları su ve solvent esaslı boyalarla kapatılmış malzemelerde artmıştır [34].

Farklı laboratuvarlarda ısıtılma işlemi uygulanan ağaç malzemenin tutuklanabilirliği konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Çalışmalar polivinil tutkalları, poliüretan tutkalları, izosiyanat tutkalları, resorsinol fenolik tutkallar gibi çoğu endüstriyel tutkal tipinin ısıtılma işlemi görmüş ağaç malzemeye uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Ancak, ısıtılma işlemi sonucu hidrofobik hale gelen odun yüzeyine, odunu çevreleyen tutkal içindeki çözücünün daha güçlü penetre olduğu gözlemlenmiştir [32]. Emisyon ölçümleri ile ilgili olarak yapılan bir başka çalışmada da terpenlerin,  $\alpha$ -pinenlerin, kamfenlerin muamele edilmiş çam odunundaki emisyonlarının muamele edilmişlere oranla çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur [35,36].

Ağaç malzemenin aşırı ısıtılmış buhar içinde kurutulmasında, malzeme içerisinde meydana gelen aşırı basınç ve böylece nem hareketi için nispeten iyileşen koşulların klasik kurutmaya nazaran ağaç malzemedeki daha küçük rutubet farklarının oluşumunu ve daha küçük daralma gerilmelerinin hasıl olmasını sağladığı bilinmektedir. 25 ve 40 mm kalınlıktaki ladin ve çam örnekleri ile kızgın buhar ortamında 115 °C’de yapılan denemelerde kurutma süresi ve kalitesi bakımından iyi sonuçların alındığı belirtilmektedir [37].

Taze halde 25 mm kalınlıktaki çam kerestelerinin 2 m/s’lik hava hareketi hızında 200 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda kızgın buhar ortamında çatlamadığı belirtilmektedir. Bilindiği gibi odunun tutuşma sıcaklığı, ağaç türü ve sıcaklığın etki süresine göre 190 °C ile 220 °C sıcaklık dereceleri arasındadır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında ağaç malzeme yeterli rutubet derecesine sahip olduğu sürece zarara uğramamaktadır [37].

Isıtılma işlemi uygulamasından sonra odunda serbest furfural ile alakalı olduğuna inanılan çok karakteristik bir karamel kokusu hissedilmektedir [32].

### **1.2.2. Isıtılma İşleminin Mekanik ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi**

Isıtılma işleminin olumlu özellikleri yanında birtakım olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak termal bozunma oranıyla ilişkilendirilen ve madde kaybıyla açıklanan direnç kayıpları meydana gelmektedir [38].

Odunun direnci ve sertliği ısıtıldığında azalmakta, soğutulduğunda artmaktadır. Odun kısa süreli ısıtıldığında, sıcaklık etkisi derhal meydana gelmekte ve odun eski özelliklerine yeniden dönebilmektedir. Direnç ve sertlik özelliklerinde meydana gelen dönüşümsüz azalmalar, eğer odun uzun süreler için artan sıcaklıklarda ısıl işleme maruz bırakılırsa ortaya çıkmaktadır. Odunun mekanik ve teknolojik özelliklerinde meydana gelen bu tip dönüşümsüz değişimlerin odun maddesinin termal bozunmasından kaynaklandığı düşünölmektedir [39]. Termal bozunmayla en çok etkilenen mekanik direnç özellikleri şok ve eğilme dirençleri, en az etkilenen ise elastikiyet modölü ve ağırlık kaybıdır [6,7,13,40, 41]. Eğilme direnci, muamele şartlarına bağlı olarak % 0-30 oranında azalma gösterebilmektedir [19]. Endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılan Güney çamının 118°C sıcaklığa maruz bırakılması direnç üzerinde zarar verici bir etki yapmamıştır [42-45]. Daha yüksek sıcaklıklarda kurutma isteği, odunun direnç özelliklerine verebileceği zarar dikkate alınarak daha ılımlı hale getirilmektedir. Örneğin 132 °C 'de 9 saatten daha uzun süreyle kurutmanın eğilme direncinde önemli bir azalmaya neden olabileği öne sürölmüştür [43].

Koruyucu gaz olarak su buharının kullanıldığı, normal basınç altında 180-250 °C sıcaklıklarda ısıl işleme maruz bırakılan çam odununda eğilme direnci muamele edilmeyen örneklere nazaran % 14 oranında azalma göstermiştir [22].

Kurutulmuş çam ve kayın odununda 100-200 °C' lerde 96 saate kadar sürdürölen ısıl işlemin, lif yönünde maksimum gerilme ve basınç direnci, elastikiyet modölü ve maksimum iş üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmada, direnç özelliklerinde meydana gelen azalmanın, hava varlığında ve yokluğunda yaklaşık olarak benzer sonuçlar verdiği görölmüştür. Isıl işlemin neden olduğu madde kaybı yüzünden elastikiyet modölünde % 8-10' dan daha fazla bir oranda azalma tespit edilmiştir. Her iki odun türü için de elastikiyet modölü ve madde kaybı arasındaki ilişki birbirine benzer bulunmuştur. Maksimum dirençteki ve işteki azalmalar, gerilme direncinde basınç altındakine göre daha fazla olmak üzere her iki odun türü için de benzer oranlarda bulunmuştur [38].

Suyla tam doygun halden denge rutubeti miktarına kadar sabit kurutma şartları altında; 110, 130, 150, ve 180°C' lerde ısıl işleme maruz bırakılan çam ve kayın diri odununda ( % 12 rutubet ), 20 mm kalınlığındaki çam diri odunu örneklerinin maksimum



basınç dirençlerinde bir azalma gözlenmezken, aynı kalınlıktaki kayın odunu örneklerinde küçük bir artış kaydedilmiştir. 40 mm kalınlığındaki çam diri odunu örneklerinin maksimum basınç direncinde yaklaşık % 5 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Isıl işlemin her iki odun türündeki maksimum eğilme direnci üzerine olumsuz etkisi ise daha fazla bulunmuştur [30].

Çam, duglas göknarı ve kırmızı meşe odunlarının 150- 200°C sıcaklıklarda 20-60 dakika süreyle ısıl işleme ya da 126-148°C sıcaklıklarda 30-120 dakika süreyle buharlama işlemine tabi tutulduğu bir başka çalışmada, en çok etkilenen tür kırmızı meşe olmuştur. Buharlama işlemi, ısıl işleme göre sertlik ve karbonhidrat miktarını daha fazla azaltmıştır. Fiziksel ve kimyasal değişiklikler, büyük oranda sıcaklığa ve zamana ve de her ikisinin birbirleriyle olan korelasyonuna göre meydana gelmiştir. Hemiselüloz miktarındaki değişikliklerin direnç özellikleri üzerine olan etkisinin umulandan daha fazla olduğu görülmüştür [46].

100, 130, 150, 180 ve 200°C sıcaklıklarda 6, 24, ve 48 saat süreyle ısıl işleme maruz bırakılan kayın ve çam diri odununda, 150°C' nin üzerindeki sıcaklıklar için elastikiyet modülünde dikkate değer bir azalma gözlenmiştir. Elastikiyet modülüne göre, basınç direnci, daha az miktarda, şok direncinde yapılan iş ise daha fazla miktarda etkilenmiştir. 180°C' de 6 saate kadar olan ısıl işlem uygulaması ile % 12 rutubetteki kayın odununun basınç direnci çam diri odununa göre daha az azalmıştır. 130°C' deki muamelede çam diri odunu için şok direncinde yapılan iş önemli oranda azalmıştır [47].

150-200°C sıcaklıklarda 1, 3, 5, 10 ve 20 saat süreyle ısıl işlem uygulanan *Chamaecyparis obtusa* ve *Fagus crenata* örneklerindeki şok direnci değerleri, 150°C' de 5 saat, 200°C' de 1 saat ve 200°C' de 5 saatlik uygulamalardan sonra, muamele edilmemiş odun örneklerine göre % 50 azalmıştır. 150°C' de 5 saatlik uygulamadan Young sertliği etkilenmemiştir. *F. crenata* örneklerinde Young sertliği etkilenmezken *C. obtusa* örneklerinde 200°C' de artmış ve daha sonra tedricen azalmıştır. Eğilme direnci örnekleri 150°C' de 5 saat süren ısıl işlem uygulamasından etkilenmemiş ancak 200°C' lik uygulamadan sonra kontrol örneklerine nazaran yaklaşık % 50 oranında bir azalma göstermiştir [48].

140-180°C sıcaklıklarda 15 dakika ile 50 saatlik zaman periyotlarında sert lif levhaya uygulanan ısı işleminden sonra, eğilme ve çekme dirençlerinin benzer davranışlar sergilediği görülmüştür. Muamele süresinin uzunluğuna bağlı olarak öncelikle direnç değerlerinde hafif bir artış kaydedilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda daha yavaş olmak üzere muamele sıcaklığı yükseldikçe direnç değerlerinde hızlı bir düşüş gözlenmiştir. Böylece eğilme direnci, 180°C sıcaklıktaki 1 saatlik uygulama ile % 20 artış gösterirken, 13 saatlik uygulamadan sonra % 50 oranında bir düşüş sergilenmiştir. 160°C' de 2-3 saatlik uygulama ile % 16; 30 saatlik uygulama ile % 28; 150°C için 4 saatlik uygulama ile % 12; 50 saatlik uygulama ile % 18 ve 140 °C sıcaklık için 12 saatlik uygulama ile % 12 ve 50 saatlik uygulama ile % 4 oranlarında düşüş kaydedilmiştir [49].

Kavak (*Poplar marilandica* ) odunundan elde edilmiş lif levhaya uygulanan bir diğer ısı işlem çalışmasında ( 160°C' de 2 saat ) çekme ve eğilme dirençlerinde meydana gelen % 15- 30 oranındaki artışın nedeni; liflerin kendi dirençlerindeki artıştan kaynaklanmamaktadır. Çünkü; ısı işlem, dirençte bir azalma meydana getirmekten ziyade selülozun polimerizasyon derecesini azaltıcı bir rol oynamaktadır. Dahası, lignin içermeyen materyalden yapılmış lif levhalarda ısı işlem dolayısıyla gözlenen benzeri artış delignifikasyona uğramamış materyallerden yapılan lif levhalarda da gözlenmiştir. Bu durumda, ligninin direnç artışında önemli herhangi bir rol üstlenmediği sonucuna varılmaktadır. Isı ile muamele edilmiş levhaların daha kısa liflerden meydana geldiği ve muamele edilmemiş olanlara göre daha düşük polimerizasyon derecesine sahip selüloz içerdiği görülmüştür. Dolayısıyla ısıyla muamele edilmiş levhalarda gözlenen direnç değerindeki artışın yalnızca hemiselülozun poliüronit kısımlarının yapışma etkisinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [50].

105-155°C' lerde 10-160 saat süre ile ısı işleme maruz bırakılan *Eucalyptus saligna* odununda sıcaklık ve sürenin artmasıyla birlikte eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, maksimum iş , statik eğilmede toplam iş, liflere paralel basınç ve makaslama direnci değerlerinde azalmalar kaydedilmiştir [51].

Stiren, akrilonitril ve metilmetakrilat karışımı ve fenol formaldehit reçinesi ile modifiye edilip, 200 ve 300°C sıcaklıklarda 10, 20 ve 30 dakika süreyle ısı işleme maruz bırakılmış kayın odununda, ağırlık kaybı ile eğilme ve basınç dirençleri arasındaki ilişki

doğrusal bulunmuştur. Odunun tamamen yıkımlanması ağırlık kaybı % 50-60 oranına ulaştığında gözlenmiştir [52].

Kayın ve ladin odunu örnekleri 100-200°C sıcaklıklarında 96 saat süreyle hava ve vakum ortamında ısıtılma tabii tutulmuştur. Aynı ağırlık kayıplarında, maksimum direnç ve maksimum yüklemeye kadar yapılan iş, çekme direncinde basınç direncine göre daha büyük bulunmuştur. Ağırlık kaybının % 8-10' dan büyük olduğu durumlarda her iki tür içinde elastikiyet modülünde önemli bir azalma söz konusu olmuştur [38].

Yapılan bir başka çalışmada, *Cryptmeria japonica* odunu örnekleri, preslemeden önce ve sonra olmak üzere 180°C' de 2, 3, 4 veya 8 dakika buharlamaya yada ısıtılma muameleye tabii tutulmuşlardır. Preslenmemiş örneklerin buharlanması sonrasında yüzey sertliği değişmeden kalırken, preslendikten sonra buharlanan örneklerdeki yüzey sertliğinde küçük bir azalma meydana gelmiştir. Bu durumun buharlama sırasında hemiselüloz miktarında gözlenen önemsiz kayıptan ve polimer matrikslerinin yeniden yapılanmasından kaynaklandığı zannedilmektedir. Preslenmeyip 180-200°C' lere buharlanan örneklerin sertlik değeri yaklaşık 0.07 MP' a iken, preslendikten sonra buharlanan örneklerin sertlik değeri 0.25 MP' a olmuş, yaklaşık 3 kat daha fazla bir artış elde edilmiştir [10].

*Cryptmeria japonica* örneklerinin 180°C' de 8 dakika buharlanması ile elastikiyet modülünde % 3.3; 200°C' de 1 dakika buharlanması ile % 8.6 oranında bir azalma gözlenmiştir. 180°C' de 5 saat süreyle ısıtılma maruz bırakılan örneklerin elastikiyet modülünde bir artış kaydedilirken 200°C' de 5 saatlik muamelede herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. 220° C' de 8 dakikalık buharlanma sonrasında ise elastikiyet modülünde % 20' den daha fazla bir azalma söz konusu olurken, 220°C' de 5 saatlik ısıtılma işlem sonrasında da % 30' dan daha fazla bir azalma tespit edilmiştir [10].

180 ve 200°C' de 8 dakika süreyle buharlanıp preslenmeyen örneklerin eğilme direncinde çok az bir değişiklik meydana gelmiştir. Eğilme direncindeki önemli azalma, 220°C' de buharlama işleminden ve her durumdaki ısıtılma işleminden özellikle de 200°C ve 220°C' lerdeki uygulamalardan sonra görülmüştür [10].

*Quercus cerris* odunu yongalarının 230-300°C' de 1-8 dakika süreyle ısı muamelesinden sonra eğilme direncinde, mobilya endüstrisi için yonga levhaların kullanımına katkıda sağlayacak şekilde % 20-25 oranında bir artış söz konusu olmuştur [53].

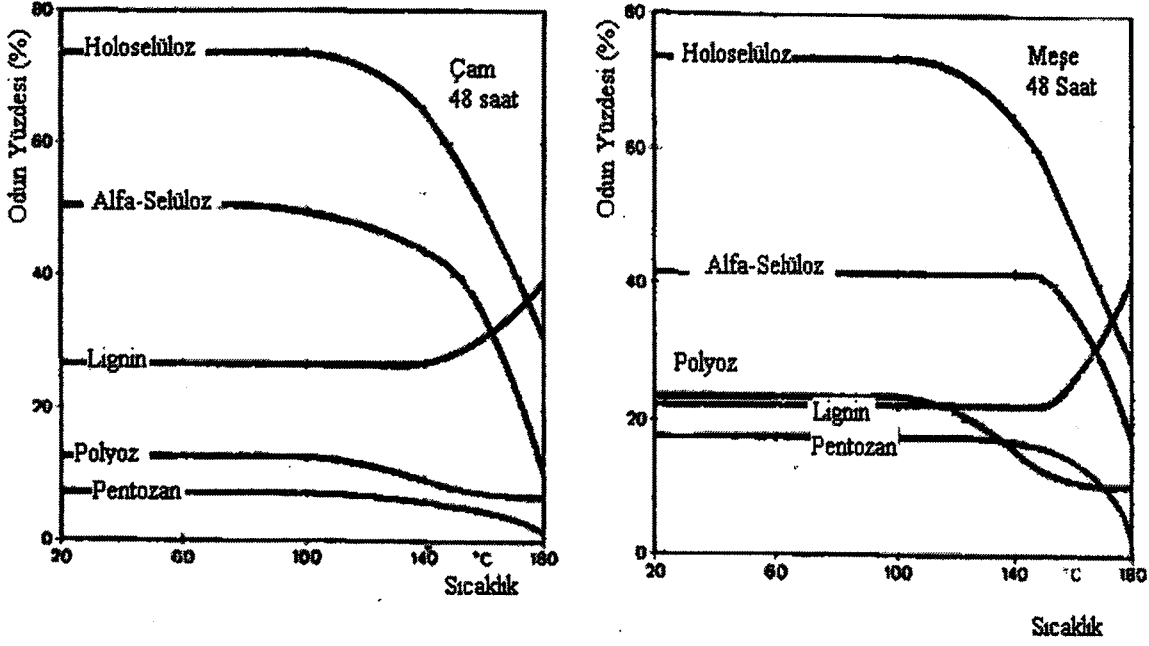
100-300°C' de su buharı ortamında ve aynı sıcaklıklarda hava ortamında ısı işleme maruz bırakılan *Quercus suber* odununda basınç direncinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. 300°C' de su buharı ortamında işlem gören örneklerde basınç direncinin kontrol örneklerine nazaran dikkate değer oranda azalması hücre çeperi bileşenlerinin termal bozunmasıyla izah edilmiştir. Aynı sıcaklıkta hava ortamında muamele edilen örneklerde, su buharı ortamında işlem gören örneklere nazaran dirençte hafif bir artış olduğu görülmüştür [54].

### 1.2.3. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Odunun termal bozunmasıyla ile şimdiye kadar yalnızca bir kısmı açıklanabilen aynı anda çok farklı kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir.

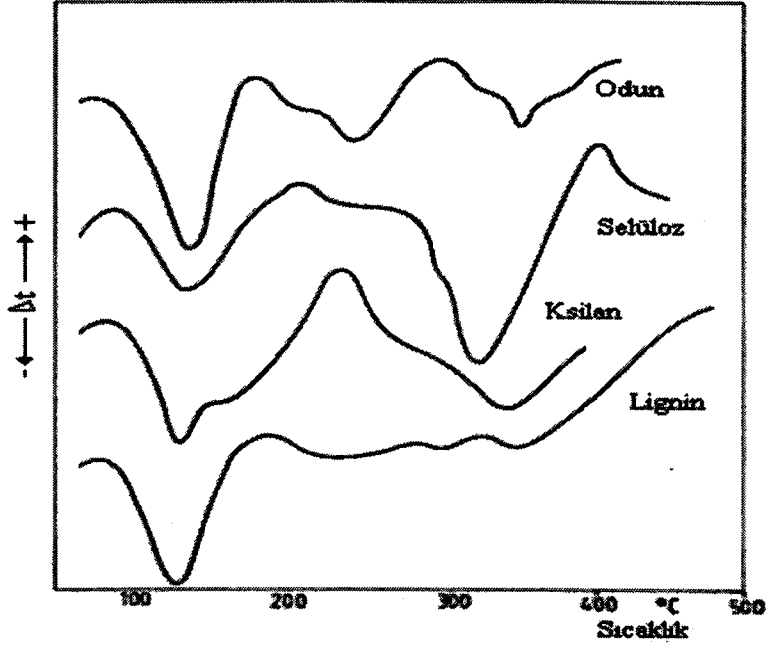
Odunun kimyasal analizleri değişik sıcaklıklarda uygulanan ısı işlem sonunda 48 saat muamele süresi ve 100°C sıcaklığa kadar odun bileşenlerinin nispeten iyi bir kararlılık sergilediklerini göstermektedir (Şekil 4). Daha yüksek sıcaklıklarda polisakkaritlerin (holoselüloz) miktarlarında çok daha fazla azalma meydana gelmekte, hemiselülozlar net olarak selülozdan daha hassas bir reaksiyon göstermektedir [2].

İğne yapraklı ağaçların alfa-selüloz miktarı nispeten daha yüksek miktarda hemiselüloz ve kalıntı lignin ihtiva etmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda 150 °C' ye kadar bile var olabilen saf selüloz miktarının geride kalabilmesi için 100 °C'de başlayan alfa-selüloz miktarındaki azalma, kendisine bağlı bileşiklerin kaybolması ile azaltılabilmektedir. Lignin miktarı geniş bir sıcaklık skalasında sabit kalmakta, 140-150°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda artmaktadır [55].

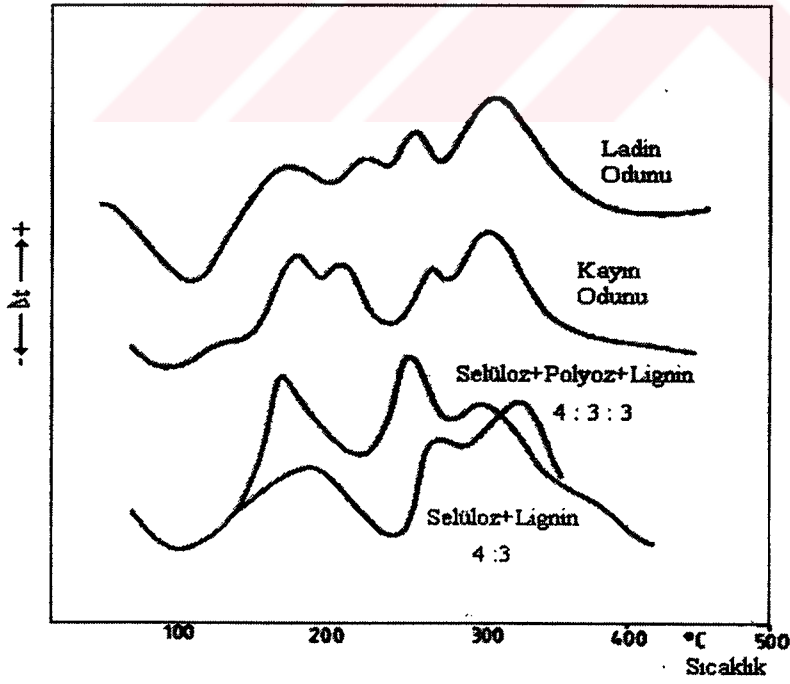


Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda 48 saat süreyle ısıl işlem uygulanan çam ve meşe odunlarına ait kimyasal analizler (2).

Devamlı olarak artan sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulan kayın odununda, termal olarak meydana gelen reaksiyonların diferansiyel termal analiz yöntemiyle belirlendiği çalışmada; öncelikle buharlaşan suyun absorbe edilmesiyle açıklanan endotermal piklerin 120-150 °C sıcaklıkları arasında maksimum olduğu gözlenmiştir (Şekil 5). Odun bileşenlerinin termal bozunumu yüzünden egzotermal piklerin, 200-250 °C ve 280-320 °C sıcaklıklarında, 400 °C sıcaklığa oranla daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Şekil 5'deki termogramlardan, selüloz, ksilan ve ligninin birbirlerinden ve odundan farklı olduğu gözlenmektedir. Termogramda, izole edilen bileşenlerin egzotermik ve endotermik pikleri yalnızca belli sıcaklık sınırlarında tespit edilebilmiştir. ( $\Delta t$ : Egzotermik-Endotermik reaksiyon). Dolayısıyla, izole edilmiş bileşenlerin, odundakine benzer oranlardaki karışımlarından yola çıkılarak elde edilen piklerin bir başka gösterimi Şekil 6'da sunulmaktadır [56].



Şekil 5. Kayın odunu ve bileşenlerinin diferansiyel termal analizi



Şekil 6. Kayın ve ladin odunlarının diferansiyel analizleri

### 1.2.3.1. Hemiselülozlar

Hemiselülozların en çok yıkımlandığı termal bozunma sıcaklıkları 200-260 °C arasındır. Selülozla karşılaştırıldığında, hemiselülozun düşük olan termal kararlılığı; genellikle kristal yapılarının olmayışı ile açıklanmaktadır. Ayrıca, hemiselülozların pirolizi sırasında selüloza kıyasla daha fazla gaz ürünleri ve daha az kömürleşmiş kalıntılar meydana gelmektedir. Ksilan (pentozan) en reaktif odun hemiselülozudur ve genellikle degradasyon ve dehidratasyon reaksiyonlarına karşı son derece hassastır. Ksilan ve arabinogalaktanın çoğu termal reaksiyonları ekzotermiktir. Yapraklı ağaçlarda ksilan, selülozdan sonra buharlaşan degradasyon ürünlerinin en önemli kaynağıdır. Reaktifliğinden dolayı piroliz reaksiyonlarının başlamasında ve meydana gelmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Buharlaşan ürünler esas olarak furfural ve asetaldehittir. Reaksiyon ürünlerinin kompozisyonu büyük oranda uygulanan ısı işlem şartlarına bağlıdır. Bourgois ve Guyonnet, odun degradasyonunun şiddeti üzerinde formik asit, asetik asit, karbondioksit ve suyun önemli bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir [35].

Shimizu vd. [57], kayın öz odunundan ekstrakte edilen ksilan üzerinde yaptıkları çalışmalarda; su eliminasyonunun (dehidratasyon) sıcaklığın artmasıyla artış gösterdiğini, oksidasyon, depolimerizasyon, dekompozisyon ve kondenzasyon gibi gerçek piroliz reaksiyonlarının 200-300 °C sıcaklıkları arasında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Hava atmosferi altında ksilanın termal bozunması iki ekzotermik (215 °C -271 °C) ve bir endotermik (234 °C) reaksiyondan meydana gelmektedir. Isıl işlem azot atmosferi altında yapıldığında ilk egzotermik pik 215 °C sıcaklıkta gözden kaybolmaktadır. Bundan çıkarılacak sonuç; oksidasyonun piroliz safhasının başında meydana geldiğidir. Ksilan vakum altında ısı işlemine tabi tutulduğunda yaklaşık 210 °C'de başlayan ve 240 °C'de maksimuma ulaşan çok güçlü bir endotermik reaksiyon meydana getirmektedir [35].

80-200 °C sıcaklıkları arasında muamele edilmiş ve edilmemiş ladin odununun öğütülmüş durumdaki numunelerinden faydalanılarak, alkalide çözülebilir hemiselülozlar, % 5'lik ve % 24'lük KOH ile ekstrakte edilmiştir [58].

Odunda; hem hemiselüloz fraksiyonlarının hem de pentozanların oranının sıcaklık muamelesine bağlı olduğu gözlenmiştir. Hemiselüloz A ve B kısımlarının daha ileri seviyede damıtılmalarında 5'i polisakkarit muhteva eden 6 fraksiyon ortaya çıkmıştır. Bireysel fraksiyonlar, kağıt-kromatografisi ve elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Buna göre, B1 fraksiyonu (% 6' sı ekstrakte edilen, muamele edilmemiş odun) esas olarak lifsel karakterli galaktoglukomannan' dan ibarettir. A1 fraksiyonu (% 1'i ekstrakte edilen, muamele edilmemiş odun) muhtemelen üst üste binmiş küresel partiküller şeklinde glukan içermektedir. B2, A2 ve A3 fraksiyonları mannan ve ksilan muhteva etmektedir. B2 ve A2' nin her biri iyi bir lifsel yapı sergilemekte ve amorf bileşiklerden ibaret olmaktadır. A3, film şeklinde granüler partiküller içermektedir. 180°C' ye kadarki ısıl işlemde sonra, B1 fraksiyonu, hidroliz sırasında meydana gelen glikoz miktarındaki artışla eş zamanlı olarak yaklaşık % 9' a kadar artmaktadır. Odunun ısıl işlemi ardından hemiselüloz B miktarında meydana gelen artış, bu fraksiyonda büyük parçalar halindeki selülozun varlığıyla açıklanabilmektedir [58].

180°C' deki muamelede hemiselüloz A ve pentozan miktarı azalmaktadır. Hemiselüloz A' daki azalma, kısa zamanda bozulan polisakkaritlerde ve alkalide çözülebilir moleküllerin en küçüğünü içeren A3 fraksiyonunda hissedilebilir olmaktadır. Odun 200°C' de ısıl işleme maruz bırakıldığından hemiselüloz A miktarında tekrar meydana gelen artış, selüloz dekompozisyonunun büyük oranda artmasına ve daha küçük parçaların ortaya çıkmasına bağlanmaktadır [58].

Hemiselülozlarda yer alan mannanın esas kısmının amorf olduğu, yalnızca küçük bir kısmının lifsel yapıya sahip olduğu zannedilmektedir. En azından ksilanın bir kısmı için lifsel bir yapının mevcut olmak zorunda olduğu düşünülmektedir [58].

İğne yapraklı ağaçlardaki toplam hemiselüloz miktarı, 180°C' ye kadar olan sıcaklıklarda sadece küçük bir azalma ile veya ladin odununda belirlendiği üzere özellikle 180°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelen bir artışla karakterize edilmektedir [27, 58, 59]. Değişik hemiselüloz fraksiyonlarının belirlenmesiyle görülmüştür ki; hemiselüloz muhtevasının, özellikle pentozanların dekompozisyonundan ve ilaveten termal işleminin neden olduğu zincirleme yarılmalar sonucu meydana gelen alkalide çözülebilir selülozun dekompozisyonundan oluştuğu görülmüştür. Kayın (*Fagus sylvatica*) odununun



olarak artan sıcaklıklarda (dakikada 5°C ve dakikada 7°C artışlar) muamelesi sırasında meydana gelen pentozan kaybı, 170°C' de % 8, 350°C' de % 100 olmuştur. Asetil miktarı 20°C' nin başlangıcında % 4.6' dan 350°C' de % 0' a kadar azalmıştır [60].

O-asetil grupları, hemiselülozların termal kararlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Melez (*Larix leptolepis*) örneklerinde, O-asetil-galaktoglukomannan ve asetillendirilmemiş galaktoglukomannanın termal bozunması karşılaştırıldığında, asetillendirilmemiş galaktoglukomannanın daha stabil olduğu görülmüştür. O-asetil bileşiği için ilk reaksiyon, 182-210°C sıcaklıkları arasında ve 160 kJ/mol olan bir aktivasyon enerjisi ile asetil gruplarının hidrolizine atfedilmiştir [2].

Kosik vd., yükselen sıcaklıklarda kayın odununun oksijen tüketimi konusu üzerine çalışmışlardır. 4-O-metilglukuranoksilan, selülozun tükettiği oksijen miktarının iki katından daha fazlasını tüketmektedir. Yüksek oranda ksilan içeren hemiselülozların toplamı, saf ksilanın tükettiği oksijenden daha az oksijen tüketmekte ve daha yavaş oksitlenmektedir [2].

Yapraklı ağaç ksilanının dekompozisyonu normal atmosferde, 200°C civarında başlamaktadır. Glikozidik bağlar, bazı piranoz halkalarının karbon- karbon (C-C) bağlarında da görüldüğü üzere kopmaktadırlar. 225°C' de yapılan muameleler moleküler yapının tamamen yok olmasına neden olmaktadır. 275-290°C arasındaki sıcaklıklarda moleküler parçalar (fragmentler) furfural formunda dehidrolize olmaktadır. 220°C' nin üzerinde anhidrit bileşenlerinin oluşmasıyla vakum altında hızlı bir dekompozisyon meydana gelmektedir [2].

*Carpinus betulus*' tan uzaklaştırılmış O-metilglukuranoksilanın 150°C' den daha yüksek sıcaklıklarda ve azot atmosferi altındaki ısıl işleminde depolimerizasyon ve dehidratasyon meydana gelmiştir [2].

Hemiselülozların termal bozunması sonucu meydana gelen muhtemel geçit yollarının görünümü üzerine çalışmalar yapılmıştır (56). Termal işlem sırasında polisakkarit zincirlerinin kopmasıyla monosakkaritler meydana gelmemektedir. 80-200°C sıcaklıkları arasında 24 saat boyunca ön muamele gören ladin odununun soğuk sudaki

ekstraksiyonunda monosakkaritlerin meydana gelmediği görülmüştür. Dolayısıyla, düşük moleküllü degradasyon ürünlerinin oluşması sırasındaki ara ürünlerin, hidrolitik olmayan glikozidik bağların kopmasıyla meydana gelen radikaller olduğu sonucuna varılmıştır. Sözü edilen geçit yollarında, meydana gelen termal degradasyonun son ürünleri metanol, asetik asit ve buharlaşabilen heterosilik (furan,  $\gamma$ -valerolaktan) bileşiklerdir [59].

Kayın odununa ait 4-O-metilglukuranoksilanın 180°C' deki termal muamelesinden sonra asetik asit, metanol ve furfurala ilaveten aynı zamanda asitaldehit, metilasetat, profilaldehit ve metilketonun ortaya çıktığı görülmüştür. 200-300 °C sıcaklıklarda, yukarıda anlatılan bileşiklere ilaveten karbondioksit de meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte degradasyonun daha hızlı bir şekilde oluştuğu görülmüştür [2].

Furfural ve asetik asit miktarı odun örneklerinin asitik bileşenlerince doyurulmasından etkilenebilmektedir. Furfurallardaki en yüksek miktar, kayın odununun H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub> veya SnCl<sub>2</sub> ile doyurulması sonucunda elde edilmiştir. Asetik asitin en yüksek miktarına AlCl<sub>3</sub> ile ulaşılmıştır [2]. Daha yüksek sıcaklıklarda (500°C) furan ve furan türevlerinin miktarı, selüloz, ksilan ve O-asetiloksilanda da olduğu gibi ZnCl<sub>2</sub> varlığında artmaktadır [61].

### 1.2.3.2. Selüloz

Odunun termal muamelesinden sonra polyoz miktarındaki artışın sebebi, selüloz zincirinde meydana gelen kısalmadır. Bu sonuç ifade etmektedir ki, selülozun termal degradasyonundaki ilk adım, alkalide çözülebilir ürünler meydana getiren makromoleküllerdeki kopmadır. Fakat aynı zamanda, kalıntı selülozun polimerizasyon derecesi azalmaktadır. Termal olarak ön muameleye tabi tutulmuş ladin odunundan izole edilen selülozda, polimerizasyon derecesi 120°C' ye kadar sabit kalmış ve ardından sıcaklığın yükselmesiyle hızlı bir şekilde azalmıştır. İzole edilen selülozun ısı işleme tabi tutulmasıyla, yalnızca 20 dakikalık bir ısıtma süresine rağmen 100°C' de bile polimerizasyon derecesinde azalma görülmüştür. Degradasyon derecesi örnekteki su miktarından etkilenmektedir. 200°C' deki bir muameleden sonra başlangıç rutubet miktarı yüksek olan (% 60) bir selüloz örneğindeki polimerizasyon derecesi, başlangıç rutubet miktarı düşük olan (% 7) bir selüloz örneğindeki polimerizasyon derecesinden 200 birim

daha yüksek bulunmuştur. Isıl işlem sırasında zincir kopmalarının engellenmesi ve tekrar kristalleşmesi, % 60 oranında suyla tamamen şişmiş olan odun örneklerinin, suyunu kaybettiği ihtimalini ortaya çıkarmaktadır [2].

Selülozun kristal yapısı, bulunduğu şartlara bağlı olarak 200°C' ye kadar yükselebilen belli sıcaklıklarda değişmemekte, hatta iyileşmektedir. Termal olarak muamele edilmiş ladin odununda, alkaliye mukavemet gösteren selülozun kristallliği, daha kısa zincirli moleküllerin tercihen daha önce bozunması yüzünden 200°C sıcaklık derecelerine kadar artmaktadır [60]. 160°C' ye kadar çeşitli sıcaklıklarda ısıtılan pamuğun % 10' luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile hidrolizi sırasındaki davranışlardan selülozdaki amorf bölgelerin, sıcaklık derecesinin ve süresinin artmasıyla arttığı sonucuna varılmıştır. 200°C' de gergin sentetik liflerin yumuşaması, selülozun kristalleşmesinde bir büyüme ve kristallik derecesinde bir artış başlatmaktadır. 120-160°C' lere kadar termal olarak muamele edilmiş selülozun kristalleşmesindeki artışın ardından bir azalmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Maksimum değere ulaşıldığı sıcaklık selüloz örneğinin su miktarına bağlıdır [2].

Çam odununun (*Pinus densiflora*) ısıl işlemi sırasında, X ışını kırınımında 210°C' ye kadar herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bu sıcaklığın üzerinde, çok moleküllü yapı yıkımlanmakta ve yaklaşık 270°C' de tamamen amorf duruma ulaşmaktadır. Benzer bir sonuç, sülfite hamuruyla *Pinus elliotii* odunundan elde edilmiştir. 240°C' de selülozun kristal yapısı, polimerizasyon derecesi 2 saat içinde 200' ün altına ve 8 saat içerisinde 100' ün altına indiği için bozunmaktadır [2].

Selülozun yapısı zincir şeklindeki moleküler yapının kopmasıyla sınırlı değildir. İlâveten dehidratasyon ve oksidasyon reaksiyonları da vardır. Zincir moleküllerinin kopması ve dehidratasyon başlangıç reaksiyonu olup, buna karşın oksidasyon bunları izleyen birinci reaksiyondur. Hidroksil gruplarının oksidasyonuna neden olan hava ortamındaki ısıl işlem, karbonil ve ardından karboksil gruplarının artışına yol açmaktadır. Her iki reaksiyonun oranı esas olarak sıcaklığa bağlıdır. Sararma eğilimi ve aldehit gruplarının miktarı arasında bir korelasyon bulunmuştur. Sentetik liflerle yapılan çalışmada, karbonil gruplarının ısı formasyonu 17 kJ/mol, sararan bileşiklerin ısı formasyonu 92 kJ/mol olarak belirlenmiştir [2].

Sıcaklığın 200°C' nin üzerine çıkmasıyla selülozun termal bozunması ve buharlaşan ürünlerin oluşumu hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Levoglukoza'nın en önemli aslı degradasyon ürünü olduğu sıkça belirtilmekte olup , aynı zamanda diğer anhidroglukozların (1.2-1.4- anhidroglukoz, 1,6-anhidroglukofuranoz), furan ve furan türevlerinin de meydana geldiği bilinmektedir [2].

Yaklaşık 300°C' de, transglükosilasyon aşaması ile polisakkaritlerin depolimerizasyonu sonucu, bir levoglukoza karışımı, diğer bazı monosakkarit türevleri ve oligosakkaritlere rasgele bağlanmış farklı bir karışım meydana gelmektedir. Bu karışım, genellikle katran fraksiyonu yerine geçmektedir [2].

Yukarıdaki reaksiyonlar selülozdaki şeker ünitelerinin dehidratasyonu ile bir araya gelmektedir. Bunlar, 3-deoksiglukoza, levoglukoza, furfural ve furan türevlerinin çeşitlerini ihtiva eden, kısmen katran fraksiyonunda, kısmen de uçucular arasında yer alan doygun olmayan bileşikler vermektedirler. Daha yüksek herhangi bir sıcaklıkta, şeker ünitelerinin parçalanması asetaldehit, glioksal ve akrolein gibi hızlıca buharlaşabilen karbonil bileşenleri çeşitlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Serbest radikal mekanizmalar vasıtasıyla doymamış ürünlerin kondenzasyonu (yoğunlaşması) ve kenar zincirlerinin kopması, geriye serbest radikalleri tutmaya devam eden oldukça reaktif karbonil bileşikler bırakmaktadır [2].

Piranoz halkalarının kopmasıyla türeyen düşük moleküllü bileşikler gibi (glikolaldehit, glioksal, akrolein vb.) anhidroglukozlar, furan ve furan türevlerinin oluşumu için değişik geçit yolları önerilmiştir [2].

Odundan ve selüloz pamuğunun vakum altındaki pirolizinden % 38-39 levoglukoza içeren katran elde edilmiştir. Ayrıca, arta kalanlar kolayca hidrolize olabilmekte, atık selülozun kullanımı esnasında faydalanılabilir hale getirilmiş glikoz ürünü ümit verici bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır [2].

Selülozun monomerik yapıdaki bozunma ürünlerinin kombine edilme ihtimali üzerinde de çalışılmıştır. Kuru glikozun ısıl işlemi ile dehidratasyon ürünlerinden başka bir çok disakkarit ve oligosakkaritlerin meydana geldiği görülmüştür [2].

Selülozun çeşitli kristal formlarının termal özelliklerini karşılaştıran bir çalışma Caradilla ve Zeronian tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, mikro kristal formdaki lifli pamuktan selüloz II, III ve IV meydana getirmişlerdir. Selüloz III formundaki selülozun termal kararlılığı selüloz I, II, IV formundakinden daha az olarak bulunmuştur. Levoglukoza oluşum reaksiyonları öncelikle kristal zonda meydana gelmektedir. Mikro kristal yapıdaki örneklerin ısı işleme göstermiştir ki; levoglukoza miktarı selüloz II' de diğer üç kristal formundakine göre daha az olmaktadır. Lifli ve mikro kristal yapıdaki örneklerin levoglukoza miktarı karşılaştırıldığında, lifli yapıdaki amorf kısmın levoglukoza oluşum reaksiyonlarını önlediği gözlenmiştir. Lifli selülozun kristalliğini artıran ısı muameleleri levoglukoza miktarını da artırmaktadır [62].

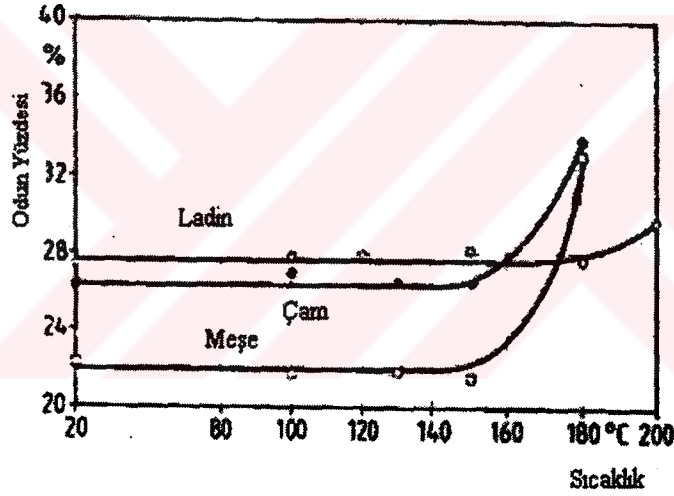
Artan sıcaklıklarda yüksek reaktivite yüzünden kristal selülozun erime noktasını belirlemek muhtemelen mümkün değildir. Selülozun erime noktası ( $T_m$ ), onun camdan geçiş sıcaklığından ( $T_g=230^\circ\text{C}$ ) kabaca  $450^\circ\text{C}$ ' ye kadar deneysel bir korelasyon kullanılarak;  $T_g=0.7 \times T_m \times [K]$  formülüyle tahmin edilmiştir. Nordin,  $500^\circ\text{C}$ ' de 0.1 mili saniye kadar kısa bir ısıtma süresine olanak veren aralıksız karbondioksit lazeri kullanarak, örnekleri hızlı bir ısı işleme tabi tutup, selüloz liflerinin yüzeyi üzerinde meydana gelen erime etkilerini ortaya çıkarmayı başarmıştır. Bu işlem ısı etkisiyle kabarcık oluşumuna ve lifsel yapının gözden kaybolmasına neden olmuştur. Eğer yüksek enerjili elektron ışınına maruz bırakılan alan küçük ise benzeri etkiler taramalı elektron mikroskopunda da meydana gelebilmektedir [2].

### 1.2.3.3. Lignin

Lignin, odunun pirolizi sırasında meydana gelen egzotermik reaksiyonlardan birinci derecede sorumlu tutulmaktadır. Ladin, kayın ve bambu odunlarından izole edilen öğütülmüş odun lignini, argon atmosferi altındaki ısı-denge üzerinde dakikada  $20^\circ\text{C}$  artan ve  $900^\circ\text{C}$ 'ye kadar ulaşan ısı işlem muamelesine tabi tutulmuştur. Öğütülmüş lignin unundan kalan katı madde yüzdesi ladinde %38, kayında % 27 ve bambuda % 32 olmuştur. İlk kütle kaybı  $180-200^\circ\text{C}$  sıcaklıkları arasında, en fazla kütle kaybı ise  $360-407^\circ\text{C}$  sıcaklıkları arasında meydana gelmiştir [63].

Ligninin pirolizi sırasında 450 °C sıcaklıkta 80'den fazla piroliz ürünü tanımlanmıştır. Bunlar esas olarak, benzen, toluen ,stiren, anisol, vanilin, siringil, alkol gibi birçoğu düşük molekül ağırlığına sahip aromatik bileşiklerden türemiştir [35].

Lignin, termal olarak odun bileşenlerinin en kararlısı olarak görülmesine rağmen, 200°C' nin altındaki sıcaklıklarda bile yapısında bir takım değişiklikler söz konusu olmaktadır. Isıl işleme tabi tutulan odunların (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*) lignin miktarının belirlenmesinde, sıcaklığın 200°C' ye kadar yükselmesiyle birlikte hidrolize edilemeyen kalıntı miktarında bir artış meydana geldiği görülmüştür (Şekil 7). 180 ve 200°C' de 24 saat boyunca ısıl işleme tabi tutulan ladin odununda metoksil miktarının azalmasına karşın etanol ürünleri miktarında bir artış görülmüştür [64].



Şekil 7. 24 saat süreyle farklı sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulan ladin, çam ve meşe odunlarından izole edilmiş, asitte çözünemeyen lignin yüzdeleri (kuru ağırlığa oranla ve ekstrakte edilmemiş odunda)

Funaoka vd [65]., ısıl işlem uygulanan odundaki lignin yapısal değişimleri üzerinde çalışmışlar ve 120-220 °C sıcaklıkları arasında meydana gelen ana reaksiyonun difenilmetan-tipi kondenzasyon olduğu sonucuna varmışlardır. Normal kuru odunda % 40 ve ıslak odunda % 75 oranında yoğunlaşmadan kalan ligninin, 220 °C'deki ısıl işlem ile difenilmetan-tipi ünitelere dönüştüğü anlaşılmıştır.

$\beta$ -aril eter bağlarının 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kopmaya başlamasıyla lignindeki kütle kaybı da başlamaktadır. Kütle kaybı sıcaklığın yükselmesine paralel olarak artmaktadır. Ligninin termal davranışı büyük oranda monomer yapısındaki fenolik ürünlerin miktarından etkilenen kondenzasyon derecesine bağlıdır. Lignin kondenzasyonu arttığı zaman eter bağlarının sayısı azalmakta, karbon-karbon bağlarının sayısı artmaktadır [35].

Avni vd [66]; tarafından geliştirilen ligninin termal bozunma modeli şu şekildedir: Nispeten zayıf alifatik bağlar kopmaya başlamakta hidrokarbon parçaları serbest kalmaktadır. Daha sonra hidrokarbon fraksiyonları degrade olmakta tekrar polimerleşme (repolimerizasyon) meydana gelmektedir. Benzer şekilde bazı fonksiyonel gruplar kopmakta ve düşük moleküler kütledeki gaz ürünleri meydana gelmektedir. Karboksil grupları karbondioksite, karbonil grupları karbon monoksite, hidroksil grupları suya, metoksil grupları metanole ve alifatikler hafif hidrokarbonlara dönüşmektedir. 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda aromatik bağlar kopmakta ve kondenzasyon reaksiyonları meydana gelmektedir. Ayrıca, eter bağları kopmakta ve hidrojen bağlarına dönüşmektedir.

100°C sıcaklıkta 28 gün süreyle ısıtılma maruz bırakılan kayın (*Fagus sylvatica*) odununda lignin miktarının azaldığı, 160°C' de asitte çözülmeyen lignin miktarının % 1' den az olduğu görülmüştür. Kayın odunundan ayrıştırılan ligninin termogravimetrik analizleri, 100°C' nin başlangıcında lignin miktarının hafif azaldığı ve 400°C 'de de ağırlığının yaklaşık % 15' ini kaybettiğini göstermiştir [2].

Termal bozunmanın ölçütü olarak kabul edilen lif genişliğinin şekli ve miktarı ısıtılma sonunda değişmektedir. 155°C' ye kadar ligninde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. 175°C' den itibaren 240°C' ye kadarki ısıtılma sıcaklıklarıyla artan bir lignin kondenzasyonu ortaya çıkmıştır. 260-280°C' de, hidrofilik kapasitenin azalmasına yol açan lignin moleküllerindeki diğer değişikliklerle lignin kondenzasyonuna eşlik edilmiştir [2].

Değişik sıcaklıklarda ısıtılma maruz bırakılan ladin odunundan izole edilmiş ve öğütülmüş odun lignini, ultraviyole spekturumunda 150°C' de başlayan bir değişim göstermiştir [2].

Selvi (*Chamaecyparis obtusa*) ve ladin (*Picea jezoensis*) odunundan izole edilen ve 20-250°C' lerde ısıl işleme maruz bırakılan değişik lignin örneklerinin kızıl ötesi spektroskopisi testlerinde, C-O gerilimleri ve C-O deformasyon bağlarındaki değişikliklerden anlaşıldığı üzere 60-80°C' de hidrojen bağlarının koptuğu görülmüştür [2].

Ligninin yumuşama sıcaklığı, kimyasal yapıda meydana gelen değişimleri belirleyen izolasyonun türüne bağlıdır. Yumuşama sıcaklığını etkileyen daha önemli kriterler numunenin moleküler yapısı ve içerdiği su miktarıdır. Çeşitli lignin preparatlarının yumuşama sıcaklığı incelendiğinde, sülfat ve sülfat yöntemlerinden elde edilen ligninlerde ve hidrolitik olarak izole edilen ligninlerde yumuşama gözlenmemiştir. En düşük yumuşama sıcaklığı (165-170°C) öğütülmüş kayın odunu lignininde görülmüştür [2].

Dilatometrik (genişlik ölçümü) karakterli ölçümlerle, dioksan lignininin termal bozunmasının 130°C' de, periodat (periodate) lignininin termal bozunmasının ise 145°C'de başladığı tespit edilmiştir. Titrek kavaktan elde edilen HCl lignininde, alkali-areter bağları 270°C' de parçalanmakta ve 270-300°C sıcaklıkları arasında C-C bağları üzerine bir atak başlamaktadır [2].

Lignin ve polisakkaritler arasındaki muhtemel bağların termal kararlılığı ise Kosikova vd. tarafından incelenmiştir. Kosikova vd., model bileşiklere (D-glukozun 3-O benzil eterleri ve metil a-D-glukozidinin benzil eterleri) ısıl işlem uygulamışlardır. Eter bağlarının kopması 200°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelmiştir [2].

#### 1.2.3.4. Karbonlaşma ve Gazlaşma

Temel analizlerden bilindiği üzere, odun termal bozunmasındaki temel reaksiyon egzotermal karakterlidir ve 270-280°C' de başlamaktadır. 380°C' ye kadar, esas olarak asetik asit ve metanol; daha sonra artan miktarlarda katran ve gaz ürünleri gibi çok miktarda damıtma ürünleri meydana gelmektedir. Geriye kalan atık odun kömürüdür [2].

Uçucu bileşenlerin ayrışması ham ürünleri ortaya çıkaran damıtma ile olmaktadır. Böylece odun alkol fraksiyonu % 45 metanol, % 7 aseton, % 5 metil asetat, % 3 asetaldehit ve daha düşük miktarlarda alkol, metil formiat, furan ve furfural türevleriyle sudan ibaret



olmaktadır. Odun sirke fraksiyonu ise asetik aside ilaveten propiyonik, bütirik ve diğer asitleri içermektedir. Kresol, guayikol, diğer fenoller ve fenol eterleri katran fraksiyonunun temel bileşenleridir [67].

Değişik şartlar altında duglas göknarının (*Pseudotsuga menziesii*) termal bozunması üzerinde çalışılmış ve degradasyon ürünleri analiz edilmiştir. Hızlı bir ısıl işlem kademesinde ürünlerin dağılım oranı, inert ya da oksidatif (normal) atmosfer ortamında karbondioksit oranı hariç aslında aynıdır. Bu şartlar altında oksijen, bozunma sürecine girmek için yeterli zamana sahip olmamaktadır [68].

Odunun termal bozunması sırasında şekillenen fenolik ürünler, neredeyse tamamen lignin ve diğer aromatik bileşiklerden oluşmaktadır. Sekoyanın (*Sequoia sempervirens*) doğal flobafenlerinin, tanenlerinin ve ekstraktif madde içermeyen odunlarının piroliz ürününde kateşin, guayikol, 1,2-dimetoksibenzen ve fenol ile, bunların para-metil, etil ve -n-propil uzantıları, ayrıca o- ve m-kresol, 2,4-ksilenol ve 2,6-dimetoksifenol gibi bileşikler yer almasına karşın, selüloz tozunun piroliz ürününde yalnızca fenol kalıntıları bulunmuştur. Ladin odununa ait selüloz piroliz ürününün, öğütülmüş odun lignininin ve normal odununun gaz kromatografisi sonuçları karşılaştırıldığında benzer bir durum elde edilmiştir. Normal odun ve lignin esas olarak guayikol ve türevlerinden (kresol, etil-, vinil-, propil- guayikol, egenol, vanilin) meydana gelen çeşitli fenolik bileşikler ortaya çıkartırken, selüloz yalnızca fenol kalıntıları vermiştir [2].

Çeşitli iğne yapraklı ağaçlardan ayrıştırılan flobafenler pirolize tabi tutulmuş ve çok sayıda aromatik bileşikler belirlenmiştir (fenol, guayikol, pirogallol, anisol ve bunların türevleri) [2].

Sıcaklığın yükselmesi, monomer yapısındaki organik bozunma ürünlerinin miktarını azaltmaktadır. 550°C' deki bir ısıl işlemde sonra duglas göknarıyla yapılan bir denemede yalnızca birkaç bileşiğin kalıntıları tespit edilebilmiştir. Aynı zamanda karbondioksit miktarı artmıştır. Sıcaklığın daha ileri derecelere çekilmesi, odun kömürü miktarını azaltırken, gaz ürünlerinin miktarını artırmıştır [68].

Yoğunlaşmayan gazların analizi, temel gazların hidrojen, metan, karbon monoksit ve karbon dioksit olduğunu göstermiştir. C<sub>2</sub>-, C<sub>3</sub>- ve C<sub>4</sub> hidrokarbonları, nispeten daha az

miktarlarda meydana gelmektedir. Piroliz sıcaklığının artmasıyla karbon dioksit ve karbon monoksit miktarında önemli oranda azalma kaydedilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda metan miktarında bir artış görülmüştür. Artan sıcaklıklarda hidrojen miktarında büyük bir artış gözlenebilmektedir. Bu gazın miktarı, suyun varlığından da ayrıca etkilenmektedir [69].

Yapılan bir diğer çalışmada, odun hücre çeperi bileşenlerinin termal bozunma süreci diferansiyel termal analiz (DTA) cihazıyla incelenmiştir [56]. Bu çalışmada, ısı işlem;

- sınırlı miktarda hava ortamında (hava desteği kısıtlanmış),
- hava akımı olan ortamda ve
- azot ortamında gerçekleştirilmiştir.

Normal hava ortamında, termal bozunma süreci kesinlikle örnek içersine girebilen atmosferik oksijen miktarına bağlıdır. Dolayısıyla, maksimum oksidasyon etkisi, sabit ve sürekli bir hava akımının olması halinde, örneğin iç kısımlarında meydana gelebilecektir. Bir odun parçası yandığında bu duruma genellikle erişilememektedir. Çünkü, gaz veya buhar fazında olan türev maddelerin odunu terk etmeleri ve bir karbon tabakası oluşması nedeniyle, havanın termal bozunma zonu olan iç kısımlara ulaşması mümkün olmamaktadır. Denemeler sınırlı miktarda hava ortamında yapıldığı için böyle bir sonucun ortaya çıktığı düşünülmektedir [56].

Üç temel odun bileşeni arasında öncelikle hemiselülozlar hasar görmüştür. Selüloz dikkate değer oranda daha kararlı olduğunu ispat etmiştir. Eğer ısı işlem oksijensiz ortamda gerçekleşmişse termal olarak en dayanıklı bileşen lignin olmuştur. Azot ortamında hemiselülozun ekzotermik karakterli bozunması (dekompozisyonu) yaklaşık 200°C' de başlamıştır. Bununla birlikte, DTA grafiklerine göre; hemiselüloz bileşenini oluşturan farklı odun polyozlarının hepsinin aynı zamanda bozuşmadığı düşünülmektedir. Özellikle ladin odunuyla yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar diğer İYA'lar için de geçerli olan benzerlikler ortaya koymuştur. Selüloza uygulanan sıcaklıktan yalnızca biraz daha düşük sıcaklıklarda bileşenlerin belli bir kısmı daha kararlı olurken, belli bir kısmı da ayrılarak bozunmuştur. En kararsız olan muhtemelen poliüronid bileşikleridir [56].

Odun polyozlarının tersine, selülozun termal ayrışması, 290°C' de başlayan ve maksimum 315°C' ye varan endotermik süreçle başlamaktadır. Ardından gelen egzotermik reaksiyon (maksimum 340°C' de ) kısa bir süre içinde tam karbonlaşmayı başlatmaktadır. Ligninle yapılan ısı işlem inert ortamda gerçekleştiği zaman (300°C' de başlayan, maksimum 425°C olan) yalnızca durgun bir egzotermik akış kaydedilmiştir. Genellikle, hava ortamındaki termal ayrışmanın, inert ortama göre daha düşük sıcaklıklarda başladığı gözlemlenebilmektedir. Yalnızca selüloz nispeten kararlı olmaktadır. Karbonlaşma tamamlandıktan sonra daha güçlü bir oksidasyon meydana gelmektedir. Ayrıca, incelenen diğer maddelerle, geriye kalan kömür kalıntıları yüksek oranda oksitlenebilme özelliği göstermiştir (56).

Farklı mono ve polisakkaritlerin incelenmesi göstermektedir ki; kimyasal veya ultra mikroskopik yapıdaki küçük farklılıklar bile termal bozunma üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olabilmektedir. Böylece (örneğin)  $\alpha$ -glukozidik bağlı polisakkaritler, karşılık gelen B-glukozidik bağlı maddelerden daha düşük sıcaklıklarda ayrışmaktadır. Selüloz gibi, düzenli bölgelerin büyük bir kısmına dağılan polisakkaritler amorf maddelerden daha kararlı olmaktadır [56].

#### 1.2.4. Isıl İşlemin Biyolojik Özellikler Üzerine Etkisi

Yapılan çalışmalarda, ısı işlem uygulaması ile tahrip edici mikroorganizmalara karşı odunun biyolojik dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bu dayanımın en temel üç nedeni; odunun bünyesinde doğal olarak var olan (yapısal) suyun kaybolması, mevcut hidroksil gruplarının azalması ve bu grupların çürüklüğe hassas olmayan gruplarla yer değiştirmesidir. Böylece enzimatik karakterli bir saldırı normal odundaki kadar hızlı meydana gelmemektedir [2, 8,].

180°C' ye kadar olan uzun süreli ısı işlem uygulamalarında, odunun genişleme ve daralmasını azaltmak mümkünken, çürüklüğe karşı dayanımı iyileştirmek mümkün olamamaktadır. Yapılan laboratuvar çalışmaları, çam, ladin ve kayınının çürüklüğe karşı dayanımını artırmak için en az 220°C' de 3-4 saat süreyle muamele edilmeleri gerektiğini göstermiştir. Bu şekilde çürüklüğe karşı dayanım iyileşirken, ayrıca mantar çürüklüğüne olan hassasiyet de azalmaktadır [19].

180-230°C sıcaklıklarda ve farklı periyotlarda ısıtılma tabii tutulan ladin odunu örnekleri esmer çürüklük mantarına (*Coniophora puteana*) maruz bırakılmıştır. EN 113 standart mantar çürüklüğü testine göre çürüklük dayanımının % 27- % 100 oranlarında, yumuşak çürüklük testine göre de topraktaki mikroorganizmalara karşı dayanımın % 47- % 82 oranlarında iyileştiği görülmüştür. Belli örnek genişlikleri için, minimum ağırlık kaybı ile orta dereceli bir ısıtılma işleminin çürüklük dayanımını artırdığı gözlenmiştir. Isı muamelesi, daha yüksek sıcaklıklarda ve daha uzun sürelerde yapıldığında çürüklük dayanımı dikkate değer ölçüde artmıştır [1].

90, 110, 130, 150 ve 175°C' lerde 240 saat süreyle kuru ısıtılma farklı Filipin ağaç türü odunlarına olan etkisinin araştırıldığı çalışmada 130, 150 ve 175°C' lerde, kahverengi çürüklük mantarları *Fomes lividus* ve *Lenzites striata* zararlılarına karşı çürüklük dayanımının arttığı tespit edilmiştir [21].

Çürümeye hassas kavak, ladin ve göknar odunu örneklerindeki ısıtılma muamele etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada, 200-260°C sıcaklıklardaki kısa süreli periyotlarda ve oksijen miktarının az olduğu bir ortamda yapılan ısıtılma işlemlerine mikroorganizmalara karşı dayanımın arttığı gözlenmiştir [71].

220, 230, 240, 250 ve 260°C sıcaklıklarda 5, 10, 15, 20 saatlik zaman periyotlarında ısıtılma tabii tutulan ve hakiki ev mantarı (*Serpula lacrymans*) zararlılarına maruz bırakılan kavak odunu örneklerinde ultrasonik ve gravimetrik tekniklerle irdelenen test yöntemlerinin sonuçlarına göre; kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında çürüklük dayanımının dikkate değer oranda arttığı görülmüştür [72].

Çam diri odunu, iç tabaka özodunu ve dış tabaka özodunu örnekleri hava ortamında ve fırında 60, 80, 100, 120 ve 140°C sıcaklıklarda kurutulduktan sonra *Coniophora cerebella* mantarı tasallutuna bırakılmıştır. Çürüklük dayanımı en fazla dış tabaka özodununda görülmüştür. 60 veya 80°C' deki kurutma, çürüklük dayanımında önemli herhangi bir etki meydana getirmemiştir. 100°C' den büyük sıcaklıklar diri odun dayanımını etkilememiş, iç tabaka özodunu dayanımını çok az etkilemiş, fakat dış tabaka özodun dayanımını dikkate değer oranda etkilemiştir. Öngörülen herhangi bir sıcaklıktaki

çürüklük dayanımı, rutubetli havada veya çok ısıtılmış buhar ortamında, kuru hava ortamına göre daha fazla azalmıştır [73].

Hava ve azot ortamlarında 125°C' den 250°C' ye kadar varan sıcaklıklarda ısıtım işlem gören çam diri odunu ve kayın odunu örnekleri *Caniophora cerebella*, *Lentinus lepideus* ve *Polystictus versicolor* mantarlarına maruz bırakılmıştır. Isıtım işlem süresi ve ağırlık kaybıyla doğrudan ilişkili olmak üzere mantar saldırılarına karşı dayanımda artış kaydedilmiştir. Ağırlık kaybı % 8-10' a ulaştığında çürüklük dayanımının % 100 arttığı görülmüştür [74].

CCA ile muamele edilmiş çam çit kazıkları başlangıçta 25°C' de 48 saat süreyle hava kuru hale getirilerek ve getirilmeden; 50-80°C' de 2 saat ve 100-120°C' de 48 saat süreyle ısıtım işleme tabi tutulmuştur. Termit ve mantar zararlılarına karşı biyolojik dayanımları hızlandırılmış ortamda ve laboratuvarında test edilmiştir. Sonuçta ısıtım muamelesinin şiddetindeki artışa bağlı olarak, biyolojik dayanımda artış kaydedilmiştir [75].

90, 110, 130, 150 ve 175°C sıcaklıklarda 240 saat süreyle, ısıtım işleme tabi tutulan *Samanea saman*, *Parashorea plicata*, *Shorea kuiso*, *S. eguamata* ve *Anisoptera thurifera* Filipin ağaçlarından elde edilen odun örnekleri, özellikle 130, 150 ve 175°C' deki uygulamalarda, esmer çürüklük mantarları *Fomes lividus* ve *Lenzites striata* zararlılarına karşı daha fazla bir dayanım göstermiştir. Sonuçlar, direnç ve fiziksel görünümün öncelikle dikkate alınmadığı yerlerde odun koruma teknolojisi için umut verici bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir [31].

Hidrotermoliz ve kurutma işlemlerinin başarılı bir kombinasyonu ile geliştirilen ve Plato prosesi olarak adlandırılan ısıtım işlemde ağaç malzeme, hidrotermoliz prosesinin ilk adımında 160 - 190 C° sıcaklıkta artan basınç altında kurutulduktan sonra, ikinci adımında 170-190 C° sıcaklıkta tekrar bir kurutma operasyonuna tabi tutulmuştur. Odunun hidrotermal muamelesinde rutubetin etkisini araştırmak için, hidrotermoliz prosesiyle ve kuru ortamda uygulanan ısıtım işlem yöntemiyle muamele edilmiş çam ve ladin odunu örneklerinin esmer çürüklük, beyaz çürüklük ve yumuşak çürüklük mantarlarına karşı dayanımları "Mini-block" ve "Soil-block" mantar çürüklük testleri ile mukayese edilmiştir. Muameleden sonra başta esmer çürüklük mantarı olmak üzere bütün mantar

türlerine karşı dayanım dikkate değer biçimde artmıştır. Hidrotermoliz muamelesi, tek adımda gerçekleştirilen kuru ortamdaki ısı işlem muamelesi ile karşılaştırıldığında daha etkili sonuçlar vermiştir. Muamelenin etkinliği, kuru ortamda gerçekleştirilen ısı işlem uygulamasından önce hidrotermal adımın uygulanması ile iyileştirilmiştir [76].

180-220°C sıcaklıklar arasında bitkisel kökenli sıcak yağ ile ısı işlem uygulaması (Oil Heat Treatment) sonrasında, *Coniophora puteana* mantarı ile aşılınmış ladin ve çam odunu örneklerinin 19 hafta sonundaki ağırlık kayıpları incelenmiştir. Buna göre, ladin odunu kontrol örneklerindeki ağırlık kaybı % 48, çam odunu kontrol örneklerindeki ağırlık kaybı % 40 iken, sıcak hava ortamında ısı işlem görmüş çam odunu test örneklerindeki ağırlık kaybı % 11, ladin odunu test örneklerindeki ağırlık kaybı % 5,5, sıcak yağ ile ısı işlem sonrası (200 C°) ağırlık kaybı ise % 2'den daha az bulunmuştur [32].

Mayes ve Oksanen [36], ısıyla muamele edilmiş kerestelerde birçok mantar türüne karşı daha yüksek dayanım elde ettiklerini kaydetmişlerdir. Aynı zamanda, Finlandiya'daki Kuopio Üniversitesi ve Fransız Odun Araştırmaları Enstitüsü'nde (CTBA) yapılan araştırmalarda *Annobium punctatum* ve *Lyctus brunneus* zararlılarına karşı da iyi bir performans elde edilmiştir. Bununla birlikte, termitlerle yapıların çalışmalarında herhangi bir iyileşme tespit edilememiştir.

Rapp ve Sailer [77]; sıcak hava ve sıcak yağ ile gerçekleştirdikleri ısı işlem sonrasında deniz zararlıları ile ilgili devam eden denemelerinden elde ettikleri ilk verilere göre her iki ısı işlem uygulamasının da olumlu netice vermediğini belirtmişlerdir.

### 1.2.5. Isıl İşlemin Anatomik Özellikler Üzerine Etkisi

Koran, *Picea mariana* odunu yüzeyindeki teğetsel gerilme durumunu -190 ile 250°C sıcaklıkları arasında geniş bir skalada incelemiştir. Lif yüzeyleri +100°C ve daha aşağısındaki sıcaklıklara maruz bırakıldığında esas olarak S1 yüzey tabakası ortaya çıkmaktadır. Lif yüzeyleri 150°C ve üzerindeki sıcaklıklara maruz bırakıldığında ise lignin ve polyoz amorf matriksi tarafından üzeri örtülen veya bunları içine gömen primer çeper hücre yapısı ortaya çıkmaktadır. Amorf hücre çeperi bileşiklerinin bu yumuşaması sıcaklığın yükselmesiyle birlikte devam etmektedir [78].

Kayın (*Fagus sylvatica*) ve huş (*Betula pubescens*) odunlarına uygulanan hidrotermal muamele, başlıca S1 ve S2 tabakalarının iç yüzeyleri olmak üzere hücre çeper yapısını, 120 ve 160°C sıcaklıklarda bile çözüp gevşetmiştir [2].

Isıl işleme maruz bırakılan kayın (*Fagus grandifolia*, *Fagus sylvatica*) odununda, trahe hücre boşluğu kenarlarında yer alan sigilli tabakanın yumuşayıp gözden kaybolduğu gözlenmiştir [2]. Ladin odununun termal muamelesi sırasında kenarlı geçitlerin toruslarında biriken amorf kalıntıların margo ve geçit kenarı boyunca yumuşayıp akışkan hale geldiği görülmüştür. Torusun kimyasal değişimi bu maddenin çözülebilme kabiliyetinde meydana gelen değişim ile belirlenmiştir. 180 ve 200°C sıcaklıklarda torus maddesi etanol-benzende çözülebilir olmakta ve bu çözücü ile yapılan ekstraksiyondan sonra torusun selüloz zarları boş bir paket gibi kalmaktadır [59].

Knudson ve Williamson [2], Duglas göknarının 550°C sıcaklıktaki muamelesinden sonra, torusun yüzeyini kaplayan kristallerin formasyonu üzerine çalışmışlardır [106]. Aynı sıcaklıkta traheit çeperlerinin spiral kalınlaşması bozunmaktadır. Diğer yandan, 250°C' deki ısıl işlemde sonra, kayın odunu trahelerinde yer alan merdivenimsi perforasyon tablalarındaki yarıklar ve yırtılmalar yumuşama ve akışkanlık etkileri göstermiştir.

Isıl işleme maruz bırakılan odun örneklerinin soğutulmasından sonra, özellikle bileşik orta lamelde yer alan amorf bileşiklerin plastikliği, sıcaklık yaklaşık 60°C'ye ulaşıncaya kadar aynı kalmakta, bu sıcaklıktan sonra bileşikler tekrar pekişmektedir [2].

Termal olarak muamele edilmiş ladin odunundan ayrıştırılan selüloz ve polyozların yapıları, muamele edilmemiş odundan izole edilen polisakkaritlerin yapılarından farklılık göstermiştir. 200°C' de ısıl işleme maruz bırakılan odundan izole edildikten sonra orijinal lifsel yapının bozunduğu görülmüştür. Bozunan selüloz birimleri yeni lifsel form oluşturabilme yeteneğinde olabilmektedir [55].

Böhner, çam, meşe ve kayın odununun permeabilitesi üzerine yaptığı araştırmalarda; hava ortamında uygulanan ısıl işlemin, artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak boyuna yöndeki permeabiliteyi artırdığı sonucuna varmıştır. Ayrıca, 150 °C sıcaklıkta

1536 saate kadar uzayan ısıtım işlem sonrasında radyal yöndeki permeabilitenin arttığı anlaşılmıştır [35].

### 1.3. Isıtım İşlem Üzerine Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar ve Endüstriyel Uygulamalar

Isıtım işleminin odun biyolojik dayanımını artırıcı özellikleri, ilk insanların çit kazıklarının ucunu yakarak uyguladıkları en ilkel halinden bu yana bilinmekte olup, bu konuda literatürde ilki 1920 yılında yayımlanan çok sayıda termal modifikasyon yöntemi bulunmaktadır [22]. Odunun termal muamelesi üzerinde son dönemde yapılan çalışmalar, özellikle son birkaç yıldır Avrupa pazarlarında tanınan birçok prosesin gelişimine katkıda bulunmuştur. 2001 yılı içerisinde ısıtım işleme tabi tutulmuş odunun toplam üretim kapasitesinin yaklaşık 165 000 m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmektedir [32].

Isıtım işlem uygulamasının son yıllara kadar ticarileştirilememesinin temel sebebi, iyi bir biyolojik dayanıma ihtiyaç duyan yüksek sıcaklık uygulamasının, geniş hacimli üretimler için çok komplike bir sistem gerektirmesindedir. Eğer koruyucu bir gaz (shielding gas) kullanımı söz konusu değilse odunun yanma problemi mevcuttur. Hatta yüzey kısmı kömürleşme bile sıcaklık etkisi sürdükçe odunun iç kısımlarındaki yanma devam etmektedir. Aynı zamanda ısıtım işlem odunun direncini azaltmakta ve birçok kullanım alanı için odunu çok kırılabilir bir hale getirmektedir [32].

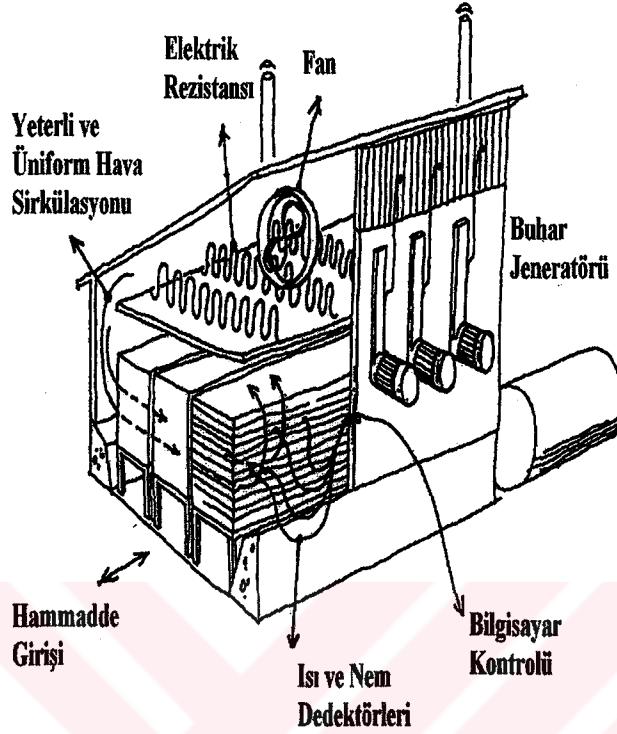
Finlandiya Bilim ve Teknoloji Kurumu (VTT) ve Orman Ürünleri Endüstrisi sektörünün işbirliği ile, odunun endüstriyel ölçeklerde ısıtım işleme tabi tutulmasıyla elde edilen ve "Thermowood" olarak adlandırılan ürünün pilot ölçekteki üretimine başlanmıştır. Thermowood malzemesiyle tam ölçekteki ilk uygulama, dış cephe kaplaması olarak kafes şeklinde yapılandırılmış ladin ağaç malzemenin kullanıldığı Helsinki'deki Mc Donalds binasıdır. VTT'nin kendi geliştirdiği yöntem ise basınç altında çeşitli prosesler uygulayan ve koruyucu gaz olarak azot gazı kullanan bir sistemle işlemekte olup, diğerlerinden farklılık göstermektedir [32].

Günümüzde, Finlandiya'da ısıtım işlem konusunda çalışan dört farklı araştırma merkezi bulunmaktadır. Finlandiya Odun Koruma Endüstrisi Kurumu 1997'den bu yana üreticiler ve araştırma merkezleri arasındaki araştırma faaliyetlerini koordine etmekte ve



ıslıl işleme tabi tutulmuş kerestelerin kalite kontrolü ve sınıflandırma kriterlerini tayin etme amacını taşıyan bir proje üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Bu proje, ıslıl işleme tabi tutulmuş odunların uzun dönemde dayanıklılıkları ve boyanabilirlikleri konusundaki bilgileri resmileştirmek üzere merkezi sınıflandırma sistemi geliştirmek amacını taşıyan ikinci bir proje ile genişletilmiştir. Ayrıca, Finlandiya'da 8 adet ıslıl işlem fabrikası bulunmaktadır ve oldukça büyük bir diğer fabrikanın inşaatı devam etmektedir. Bu 8 fabrikayı kapasitesi 2000 yılı istatistiklerine göre yılda 50 000 m<sup>3</sup>'ün biraz altındadır ve üretim yaklaşık olarak yılda 35 000 m<sup>3</sup>'tür. Bu fabrikalarda herhangi bir kimyasal madde ya da basınçlı yöntem kullanılmayıp, yalnızca ısı ve su buharı kullanıldığı için bunlar geleneksel ıslıl işlem fabrikaları olarak adlandırılmaktadır [76].

Islıl işlem fabrikasının çalışma prensibi Şekil 8'de görülmektedir. Şekilde elektrik rezistansından temin edildiği görülen ısı, endüstriyel uygulamada hafif petrol yağından elde edilmektedir. Ayrıca, Finlandiya'daki fabrikaların birinde ısı elde etmek için odun kabuğu talaşı ve testere tozlarından istifade edilmektedir. Aralarına çıta konularak istiflenmiş odun hammaddesi için gereken hava sirkülasyonu, 10 m / s hızla çalışan fan yardımıyla eşit olarak karşılanmaktadır. Buhar jeneratörü gerekli buharı üretmektedir. Su buharı ise odunun yanmasını engellemekte (hava miktarı % 3-5'in altında olmalıdır) ve odunun kalitesini muhafaza etmektedir. Havanın rutubet ve ısınısını ölçmek üzere ortama ve istifin çevresine çeşitli dedektörler yerleştirilmiştir. Fabrika bilgisayarlar tarafından kontrol edilmektedir. Bilgisayar kontrolü ıslıl işlem prosesini başlangıç verilerine göre ayarlamakta ve muamele boyunca toplanan verileri koordine etmektedir. Bu otomasyon sayesinde veriler kaydedilebilmekte ve daha sonra kontrol edilebilmektedir [76].



Şekil 8. Isıl işlem fabrikasının çalışma prensibi

Finlandiya'da uygulanan muamele süreci üç farklı adımda gerçekleştirilmektedir

[76] :

- Artan sıcaklık periyodu (başlangıçtaki ısıtma {→100 °C'ye kadar} + eğer gerekliyse
- Yüksek sıcaklıktaki fırında kurutma {100-150 °C} + 48 saate kadar süren ve artan sıcaklık periyodu {150 °C →},
- Gerçek ısıl işlem; 0,5 – 4 saat boyunca 150 - 240 °C sıcaklıkları arasında devam eden uygulama,
- 24 saate kadar soğutma ve stabilize etme.

Artan sıcaklık periyodu boyunca fırının sıcaklığı gerçek ısı işlem muamelesinin meydana geldiği sıcaklık derecesine kadar yükselmektedir. Eğer ısı işleminden önce odunun rutubeti çok yüksekse (>% 10) birtakım çatlaklar ve renk ayrılıkları meydana gelmektedir. Fırında kurutma periyodunu artan sıcaklık periyodu ile birleştirmek mümkündür. Artan sıcaklık periyodu 48 saate kadar uygulanabilmektedir.

Gerçek ısı işlem periyodu 150 - 240 °C sıcaklıkları arasında 0,5-4 saatlik süre zarfında uygulanmakta olup bu periyot süresince fırının sıcaklığı sabit tutulmaktadır. Hem sıcaklık hem de süre ısı işleme tabi tutulan kerestenin kalitesini etkilemektedir.

Soğutma ve stabilize etme periyodunda sıcaklık normale çekilmektedir. Bu süreç yaklaşık 24 saattir. Tüm bu periyotlar boyunca odun ve hava arasındaki sıcaklık farklılıklarının çok yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır. Sıcaklık farklılıklarının artması durumunda muamele edilen odunun kalitesi düşük olmaktadır. Burada, odunun kalitesini, koruyucu bir atmosfer ortamı oluşturarak muhafaza eden ve odunun yanmasını engelleyen su buharının fonksiyonu söz konusudur.

Toplam muamele süresinde fırın kapasitesi, istif büyüklüğü, ağaç malzemenin türü ve boyutları gibi birçok faktör etkili olmaktadır. Isıl işleme tabi tutulmuş odunun özellikleri uygulanan ısı işlem prosesine, işlem süresine ve sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık süreye göre diğer özellikler üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir. Daha düşük sıcaklıklarda ve daha uzun sürelerde yapılan bir ısı işlem eşdeğer özellikler meydana getirmemektedir. Bugün, uygulanan proseslerin hepsi birbirinden farklı olduğu gibi ortaya çıkan ürünün özellikleri de birbirinden farklı olmaktadır. Odunun rengi kolaylıkla değişebilir ve renk değişimi muamele edilmemiş odunla mukayese edildiğinde diğer özellikler hakkında önemli bir husus ifade etmemektedir. Isıl işlem öncesi hammadde taze ya da fırın kurusu halde olabilir. Eğer proses odun taze halde iken başlatılırsa VTT tarafından geliştirilen hızlı buhar kurutması uygulanmalıdır.

Isıl işlem sırasında odun özelliklerinde meydana gelen değişimler şu özelliklere bağlıdır [76]:

- Gerçek ısı işlem periyodunun en yüksek sıcaklık değerine ve en uzun süresine,
- Sıcaklık derecelerine (yükselme ya da düşme),
- Bütün periyotları kapsayan maksimum ısı işlem uzunluğuna,
- Su buharının kullanılıp kullanılmadığına, kullanılmış ise kullanım miktarına,
- Gerçek ısı işlem muamelesinden önce uygulanan fırında kurutma prosesine,
- Ağaç türüne ve türün karakteristik özelliklerine.

Isıl işlem sonunda çam, ladin ve huş odunlarında meydana gelen değişimler ise şu şekilde sıralanmıştır [76]:

### **Odunun Rengi**

Ilıman bir ısı işlem muamelesinde bile odunun rengi açık kahverenginden koyu kahverengine doğru değişmektedir. Yüzeyle koruyucu bir madde sürülmedikçe UV ışınlarına karşı dayanıklı değildirler. Normal boyama işlemlerinde herhangi bir problem yaratmaz ancak, elektrostatik boyama yapılması durumunda ekstra rutubetlendirmeye ihtiyaç duyar.

### **Odunun Denge Rutubeti Miktarı, Daralma ve Genişleme**

Odunun denge rutubeti miktarı % 50 oranında azalmaktadır. Odunun hidroksil grupları azaldığından dolayı odunun hücre çeperi daha az su absorbe etmekte ve dolayısıyla odunun daralma ve genişlemesi % 50-90 oranında azalma göstermektedir.

### **Biyolojik Dayanım**

EN 113 standardına göre yapılan laboratuvar ölçekli mantar çürüklük testlerine göre, 220 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ve en az 3 saat süren uygulamalarda iyi bir biyolojik dayanım performansı sergilenmiştir. Bu performans odun bileşenlerinin kimyasal degradasyonuna ve yeni bileşenlerin formasyonuna dayandırılmaktadır. Odun kimyasında meydana gelen temel değişimler tam olarak bilinmemektedir.

## **Mekanik Özellikler**

Odun daha kırılğan bir yapıya dönüşmekte, eğilme ve çekme dirençleri % 10-30 oranında düşmekte, yük taşıma mukavemeti azalmakta; buna karşılık basınç direnci, şok direnci ve yüzey sertliğinde herhangi bir değişme gözlenmemektedir.

## **Diğer Özellikler**

Isı iletkenliği % 10-30 oranında azalmakta, %5-15 oranında ağırlık kaybı ve ayrıca bazı reçine sızıntıları meydana gelmektedir. Isıl işleme tabi tutulmuş ağaç malzeme, suyu ve PVAc gibi su esaslı tutkalları daha yavaş absorbe etmesinden dolayı daha uzun presleme süresine gerek duymakta ve daha zor tutkallanmaktadır. Uygun tutkallar; resorsinol-fenol, poliüretanlar ve diğer iki bileşenli tutkallardır. Materyal kırılğan hale geldiği için toplamda daha düşük pres basıncı kullanılmalıdır.

### **1.3.1. Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Ağaç Malzemenin Sınıflandırılması**

Isıl işleme tabi tutulmuş ağaç malzemenin sınıflandırılması EN 335-1 (Odun ve odun kökenli ürünler – Biyolojik saldırıların yol açtığı tehlike sınıflarının tanımlanması Kısım 1: Masif Odun) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Finlandiya Odun Koruma Birliği'nin yapmış olduğu sınıflandırmaya göre ısıl işleme tabi tutulmuş odun üç ayrı kategoride değerlendirilmiştir. (Tablo 1). Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin tehlike sınıfı 4'te kullanımı tavsiye edilmemektedir [76].

Tablo 1. Isıl işlem sınıflandırması

Isıl İşlem Sınıfları	Tehlike Sınıfı (EN 335-1)	Kullanım Yeri	Kullanım yerinde maruz kalınan rutubet durumu	Muamele edilmemiş normal odunun rutubet miktarı
1	1	Toprakla temas etmeyen ve üstü kapalı yerler (kuru)	Devamlı kuru	Devamlı <% 18
2	2	Toprakla temas etmeyen, üstü kapalı ve ıslanma riski taşıyan yerler	Zaman zaman ıslanabilen	Bazen > % 20
3	3	Toprakla temas etmeyen ve üstü açık yerler	Sık sık ıslanabilen	Sık sık > % 20
	4	Toprakla veya tatlı suyla temas edilen yerler	Devamlı ıslak zeminle veya suyla temas eden	Daima > % 20
	5	Tuzlu suda	Devamlı tuzlu suyla ıslanan	Daima > % 20

Bu tabloda yer alan 1, 2 ve 3 nolu ısıl işlem sınıflarının aşağıdaki şekilde açıklanmaları mümkündür:

#### **Sınıf 1.**

Çok hafif uygulanan ısıl işlemdir. Esas olarak renk değişimi sağlar. Muamele edilmemiş odun gibi kullanılması tavsiye edilir. Üzeri kapalı zeminlerde kullanılacak olan yapıların kullanımında ve kullanım ömrü boyunca muamele edilmemiş odun rutubetinin devamlı olarak % 18'in altında kalacağı şartlarda hizmet etmesi uygundur.

#### **Sınıf 2.**

Kerestelere hafif ölçüde uygulanan ısıl işlemdir. ıslanma ya da buharlaşma riskinin seyrek olduğu ve muamele edilmemiş odun rutubetinin nadiren % 20'yi aştığı zemin üzerindeki yapılarda kullanımı uygundur.

### Sınıf 3.

Kerestelere kuvvetli ölçüde uygulanan ısı işlemdir. Odunun yerle temas etmediği fakat servis ömrü müddetince devamlı olarak açık havaya ya da buharlaşma gibi birtakım ıslanma kaynaklarına maruz kaldığı zemin üzerindeki yapılarda kullanımı doğrudur. Odunun direnç özellikleri azalmaktadır.

VTT yönteminden başka, Plato Prosesi olarak adlandırılan bir başka ısı işlem tekniği Hollanda'da geliştirilmiştir. Sözü edilen prosesle çalışan ve 2000 yılının yaz aylarında üretime geçen fabrikada başlangıç olarak 50 000 m<sup>3</sup>'lük bir üretim kapasitesi mevcuttur [76].

Proses, hidrotermoliz ve kurutma muamelelerinin başarılı bir kombinasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Hidrotermoliz uygulaması ile farklı kimyasal transformasyonların oluşumu söz konusu olmaktadır. Bu iki adımlı prosesin tek amacı, hidrotermoliz sırasında odunun hücre çeperlerinde bol miktarda var olan rutubeti kullanmaktır. Bu durum, nispeten düşük sıcaklıklar altında hücre çeperi bileşenlerinin artan reaktifliğini harekete geçirmektedir. Hidrotermoliz sırasında, hemiselülozlara özgü uygun depolimerizasyon derecesine ulaşmak için, mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyen ekstra reaksiyon oluşumlarını engellemek bakımından mutedil şartlar uygulanmaktadır. [79].

Plato prosesi prensip olarak iki ılıman kurutma işleminden ibarettir. Hidrotermoliz prosesinin ilk aşamasında taze ya da hava kurusu haldeki odunun, artan basınç altında (süperatmosferik basınç) genellikle 160-190 °C sıcaklıkları arasında muamelesi söz konusudur. Muamele edilmiş odunu daha düşük rutubet derecelerine kurutmak için geleneksel kurutma yöntemi uygulanmaktadır. Prosesin ikinci aşamasında (asıl ısı işlem aşaması) kısmen kurutulmuş haldeki odun genellikle 170-190 °C sıcaklıkları arasında tekrar ısı işleme maruz bırakılmaktadır. Muamele süresi kullanılan odunun türüne, kalınlığına, odundan kaynaklanan diğer faktörlere ve genel görünüme bağlı olmakla beraber, genellikle aşağıdaki süreler itibariyle buharlı ya da buharsız ortamda gerçekleştirilebilmektedir [76]:

- Termoliz aşaması 4-5 saat,
- Kurutma aşaması 3-5 gün,
- Asıl ısı işlem aşaması 14-16 saat,
- Kondüsyonlama 2-3 gün.

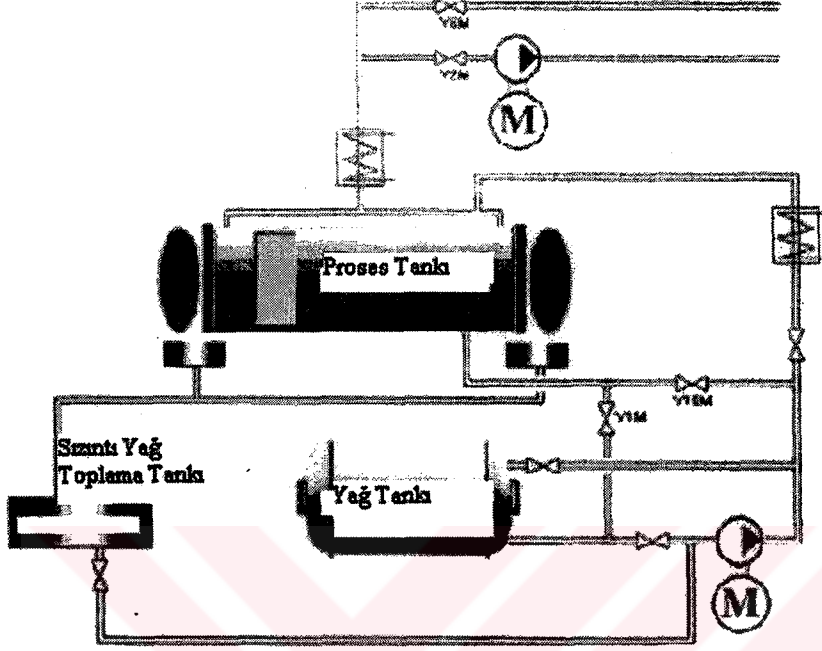
Odunun hidrofilik davranışını azaltmaya yönelik bir başka ısı işlem uygulaması Fransa'da gerçekleştirilmiştir. Bazı odun bileşenlerinin kimyasal yapısının üç boyutlu modifikasyonu esasına dayanılarak gerçekleştirilen çalışma; yumuşak bir piroliz reaksiyonu şeklinde, kontrol edilebilen atmosfer altında uygulanmaktadır [76].

Şu anda Fransa'da lisanslı ve patentli olmak üzere endüstriyel hizmete dönük iki farklı ısı işlem prosesi uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi (Retified wood); % 12 rutubetteki oduna, 210-240 °C sıcaklıkta, içerisinde % 2'den daha az miktarda oksijen bulunan azot atmosferi altında, spesifik bölmelerde yavaş bir şekilde uygulanan ısı işlemidir. Söz konusu işlem, her biri yılda 3500 m<sup>3</sup>'lük kapasite ile çalışan ve her birindeki spesifik ısı işlem bölgesi 8 m<sup>3</sup> olan üç farklı endüstriyel ünite biriminde ve bunlara ilaveten Nisan 2001'den bu yana işletimde olan bir başka fabrikada uygulanmaktadır. İkincisi (Le Bois Perdure); taze haldeki oduna uygulanan ısı işlemidir. İlk olarak odun fırında teknik kurutmaya tabi tutulmaktadır. Daha sonra odun, kendi rutubetinden üretilen buhar atmosferi altında 230 °C'de ısı işleme tabi tutulmaktadır. Birinci ısı işlemin maliyeti muamele edilen her metreküp için 150-160 EURO, ikinci ısı işlem maliyeti ise muamele edilen her metreküp için 100 EURO'dur. Birincide yatırım maliyeti 750 000 EURO iken, ikincide yatırım maliyeti 500 000 EURO'dan daha az olmaktadır.

Geliştirilen son tekniklerden biri de Almanya'da endüstrileşmiş olan sıcak yağ uygulamasıdır. Isı işlem kapalı bir proses tankı içerisinde uygulanmaktadır. Proses tankı odun hammaddesiyle doldurulduktan sonra sıcak yağ, yağ deposu tankından proses tankına gönderilmektedir. Odun hammaddesinin etrafında sirküle edilen yağın sıcaklığı, yüksek sıcaklık uygulamasıyla muhafaza edilmektedir. Proses tankı boşaltılmadan önce sıcak yağ, yağ deposu tanklarına geri gönderilmektedir. En yüksek biyolojik dayanım ve en az yağ tüketimi için uygulanan sıcaklık 220 °C, en yüksek biyolojik dayanım ve en az direnç kaybı için 180-200 °C sıcaklıklar uygulanmaktadır. Muamele için, kolza tohumu, beziryağı



veya ay çiçeği yağı gibi ham bitkisel yağlar kullanılmaktadır. Isıl işlem fabrikasının çalışma prensibi Şekil 9'da görülmektedir [76].



Şekil 9. Isıl işlem fabrikasının çalışma prensibi

Ekolojik açıdan da çevre dostu olan bu sistemin yatırım kapasitesi ve maliyeti  $8500 \text{ m}^3 / 450 \text{ €}$  kadardır. İşlem maliyeti arzu edilen yağın türüne göre  $\text{m}^3$  başına 60-90 € arasında değişmektedir.

Kurutma endüstrisinde, normal basınç altında ve  $100 \text{ °C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda kurutma ortamı olarak kızgın buhar, kızgın hava-buhar karışımı, kızgın hava, kızgın yağlar, organik sıvıların buharları kullanılmaktadır. Kızgın hava-buhar karışımı ve kızgın buhar kullanılarak uygulanan yöntemler pratikte en çok kullanılan yöntemlerdir. Kızgın yağlar içerisindeki kurutma yönteminde ise ağaç malzeme bir nevi empenye edilmekte ve bu tip malzemenin kullanım alanı daha spesifik olmaktadır. Diğer taraftan kullanılan yağların ham petrolden elde edilen ürünler olması, ülkemiz açısından bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır [37].

Son yıllarda bir endüstri kolu haline gelen ısıl işlem tekniklerinin çevreye verebileceği zararı önlemek bakımından dikkate alınması gereken birtakım hususlar vardır.

Bilindiği gibi işlem sırasında enerji tüketimekte, atık su meydana gelmekte ve gaz emisyonu söz konusu olmaktadır [32].

### **Gaz Emisyonu**

1 m<sup>3</sup>'lük ladin odununun ısıı işlem uygulaması sırasında ortaya çıkan maksimum asetik asit miktarının 100-150 g / m<sup>3</sup> olduğu, 20-40 kg / m<sup>3</sup> civarında da çeşitli bileşiklerin ağığa çıktığı tahmin edilmektedir. Isıl işlem sırasında buharlaşan gazların çevre kirliliğine yol aılmaması bakımından gazların yakılması için özel olarak tasarlanmış bir binanın inşası ısıı işlem prosesinin bir parçası olarak düşünölmelidir. Ya da birtakım ilave yakıtlarla ayrı bir yakma işlemi gerçekteştirilmelidir. Bazı üretim üniteleri ise zararlı gazları gaz temizleyicilerle giderme yoluna gitmektedir.

### **Atık Su**

Isıl işlem sırasında, odundan buharlaşan formik asit ve asetik asit yüzünden pH derecesi 3 olan suyun yoğunlaştığı görölmektedir. Bu su aynı zamanda buharlaşan reçine ve odun maddesinin diğer katı bileşenlerini de içermektedir. Atık su içerisindeki bu katı maddeler özel bir temizleme havuzuna ayrılmakta kalan kısım ise atık şu tesisinde işlenmektedir.

### **Enerji Tüketimi**

Isıl işlem fırınları, ya buhar ve elektrik kombinasyonu ile ya da yalnızca sıcak yağ boruları ile ısıtılmaktadır. Enerji, kabuk ve odun atıklarından veya akaryakıttan (fuel oil) elde edilmektedir. Ayrıca, gerekli atmosferi sağlamak için saf buhar gerekmektedir. Esas olarak, enerjiye kullanılan ısı enerjisinin % 80'inin tüketildiği kurutma safhası için ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece toplam enerji ihtiyacı geleneksel kurutma işlemine oranla % 25 daha fazla olmaktadır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Deneme Materyali

#### 2.1.1. Örnek Ağaçların Seçimi

Çalışmada yapraklı ağaç türlerinden doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) ve iğne yapraklı ağaç türlerinden doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) odunlarının diri odun kısımları kullanılmıştır. Bu ağaç türleri doğal yayılış gösterdikleri Doğu Karadeniz Bölgesi'nden yön, meyil, çap, yükselti, sıklık vb. yetiştirme ortamı özellikleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Örnek ağaçların alındığı yerler ve ağaç türlerine ait genel özellikler TS 4176 esaslarına göre belirlenmiş [80] ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Örnek Ağaçların Genel Özellikleri

Ağaç Türü	Seçildiği Bölge	Örnek Ağaç					Muhit Özellikleri			Kesim Tarihi
		No	Yaş (Yıl)	Çap (cm)	Boy (m)	Dalsız Gövde Boyu (m)	Eğim (%)	Yükseklik (m)	Bakı	
Doğu Ladini	Gümüşhane (Kürtün-örümcek)	1	86	45	25	6	70	1600	K	22.09.98
		2	80	40	24	5	70	1600	K	
		3	90	50	26	6	70	1600	K	
	Trabzon (Maçka-Meryemana)	4	64	38	28	7	60	1150	D	10.09.98
		5	82	41	29	8	60	1150	D	
Doğu Kayını	Gümüşhane (Kürtün-örümcek)	6	100	50	35	12	70	1600	K	22.09.98
		7	97	48	33	10	70	1580	K	
	Trabzon (Maçka-Meryemana) (Maçka-Esiroğlu)	8	98	42	38	15	70	1380	K	25.11.98
		9	84	38	33	14	70	1380	K	
		10	92	44	36	13	70	1350	G-B	

## 2.1.2. Ağaç Malzeme

### 2.1.2.1. Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky)

Doğu kayını 30 – 40 m'ye kadar boy, 1 m'ye kadar çap yapabilen dolgun ve düzgün gövdeli, birinci sınıf bir orman ağacıdır. Kabuğu açık kül renkli olup ince ve düzgündür. Genç sürgünler tüylüdür. Yapraklar elips, ters yumurta biçiminde sivri uzun veya kısa uçlu ve 6 – 12 cm uzunluğundadır. Körpe iken kenarları kirpiklidir. Alt yüzünde damar boyunca ipek gibi tüylü, üst yüzü ise çıplaktır. 7 – 10 (8 – 12) çift yan damarı vardır. Bunlar yaprak kenarına tam ulaşmadan uçları kıvrılır. Yaprak sapı 0.5 – 10.5 cm uzunluğunda ve tüylüdür. Kupula yaklaşık 2 cm boyunda, dip kısımda yer alan pullar ise geniş şerit biçiminde ya da kaşık gibi, üst kısımdakiler yassıdır. Kadehin sapı yaklaşık 2 – 2.5 cm uzunlukta olup, tüylüdür. Doğu kayını yapraklar Avrupa kayınına göre daha büyük ve sert, meyveyi örten kupulanın pul yapısı da daha değişiktir. Erkek çiçeklerde yaprak koltuklarından çıkıp, küresel başçıklar şeklinde aşağıya sarkarlar. Meyve üç köşeli kahverengi, yumurtamsı biçimde, tek tohum taşıyan bir nustur. Meyvesinin tohumu yağlıdır. Çiçeklenme Nisan ayında olup yapraklanma ile aynı zamana rastlar [81, 82, 83].

Traheler yıllık halka içinde dağınık biçimde, genel olarak düzensiz dizilmişlerse de yetiştirme yerine göre ve bazen genç yaşlarda yarı düzenli (yarı halkalı traheli), yer yer düzenli (halkalı traheli) bir konum gösterirler. Dağınık konumda, çoğunlukla ilkbahar odunu içinde geniş çaplı ve ince çeperlidirler. Doğu kayını odunu dağınık traheli olması nedeniyle ilkbahar ve yaz odunu arasında kesin bir sınır görülmez; mm<sup>2</sup>'deki trahelerin sayısal dağılımı hem ilkbahar hem de yaz odununda oldukça farklılıklar gösterir. Öz ışınları tek sıralı (üniseri) ve çok sıralı (multiseri) "homoselüler"dir. Ancak, değişik yapıdaki hücre tiplerine "heteroselüler" de rastlanır. Enine kesitte genişliği fazla olan özışınları, yıllık halka sınırında genişleyerek bir yay çizer. Genel dağılım içinde tek sıralı özışını oranı diğer iki ve çok sıralı tüm özışınları toplamının yarısına yakın bir orandadır. Doğu kayını odununu oluşturan elemanların diri odundaki oranları ortalama olarak; trahe % 33.9, libriform lifi % 45.78, özışını % 20.20 ve boyuna paranzim yaklaşık % 5'tir. İlkbahar odununda lif uzunluğu 1.242 mm, lif genişliği 20.20  $\mu$ , lümen çapı 9.75  $\mu$ , lif çeper kalınlığı 5.11  $\mu$ , yaz odununda ise; lif uzunluğu 1.238 mm, lif genişliği 17.92  $\mu$ , lümen çapı 6.2  $\mu$ , ve lif çeper kalınlığı 5.66  $\mu$ 'dur [84].

Doğu kayınının genel coğrafi yayılışı, Bulgaristan, Türkiye, Kafkasya ve İran'dır. Batıda Balkan Yarımadası'ndan başlar, Trakyanın kuzey ve güney dağları ile bağlantı kurarak İstanbul mıntıkası üzerinden Batı Anadolu'ya geçer. Oradan Kuzey Anadolu kenar dağları boyunca Kafkasya ve Kırım'a kadar uzanır [82, 83, 85]. Ülkemizde en geniş yayılışını ve en iyi gelişimini Karadeniz Bölgesi'nde yapar. Demirköy'den Hopa'ya kadar Karadeniz sahiline paralel uzanan dağların orta ve yüksek kısımlarında, kuzeye yönelik yamaçlarda saf ve karışık ormanlar kurar. Marmara ve Ege Bölgelerinde yer yer görülür. Güney Anadolu'da Adana'nın Pos ormanlarında, Amanos Dağlarında ve Maraş-Andırın yöresinde lokal olarak bulunur. Doğu kayınının ülkemizdeki yatay yayılışı  $38^{\circ} 54' - 45^{\circ} 10'$  kuzey enlemleri ile  $22^{\circ} 00' - 49^{\circ} 00'$  doğu boylamları arasındadır. Dikey yayılışı ise; Karadeniz Bölgesinde kıyıda başlayan kayın, Batı Karadeniz'de 1300 m'ye, Doğu Karadeniz'de 1800-1900 m'ye kadar yükselmektedir. Balkan Yarımadası'nda 10 – 800 m arasında bulunur ve yer yer 1100 – 1400 m 'lere çıkar. Karadeniz ardında 1000 m 'den sonra başlar, 1700-1800 m'ye kadar çıkar. Güney Marmara Bölümü'nde 500 m'den sonra ormanlar kurar, iç kısımlara doğru gidildikçe 1000 – 1200 m ile 1500 – 1700 m hatta 1800m'ye ulaşır. Güney Anadolu'da, ormanların yüksek yetişme yerlerinde yaklaşık 1500 m'lerden başlayarak 1500 – 1600 m ile 1750 m üzerinde yayılış gösterir [83, 85, 86].

### 2.1.2.2. Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L) Link)

Gymnospermae'lerin Coniferae sınıfının Pinacea familyasının Abitoidae alt familyasından Picea cinsinin bir türü olan doğu ladini, 40-50 m bazen 60 m boylara ulaşan, 1.5-2 m çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli önemli bir orman ağacıdır. Kabuk genç gövdelerde açık renkli ve düzgün, yaşlı gövdelerde koyu renkli ve çatlaktır. Dallar çevresel olarak sık bir halde tüm gövdeye yerleşmiştir. Genç sürgünler ince, açık renkli ve çıplaktır. Tomurcuk kahverengi, sivri ve reçinesizdir.

Doğu Ladini mevcut Ladin türlerinden kısa iğne yaprakları ile ayrılır. Boyları 1-3 mm arasında değişen yapraklar, parlak koyu yeşil olup yatay kesitleri dört köşe şeklindedir. Uçları fazla sivri olmayıp her yüzünde 1-4 sıra stoma çizgisi vardır. 6-9 cm uzunluğundaki olgun kozalak açık kiremit renginde, oval ya da silindirik yapıda, pulların kenarları tam olup dış pul dışardan görülmemektedir. İlk yaşlarda yavaş büyüyen doğu ladininde 8-10 yaşından sonra büyüme hızlanmakta ve uzun yıllar sürmektedir [87, 88, 89].

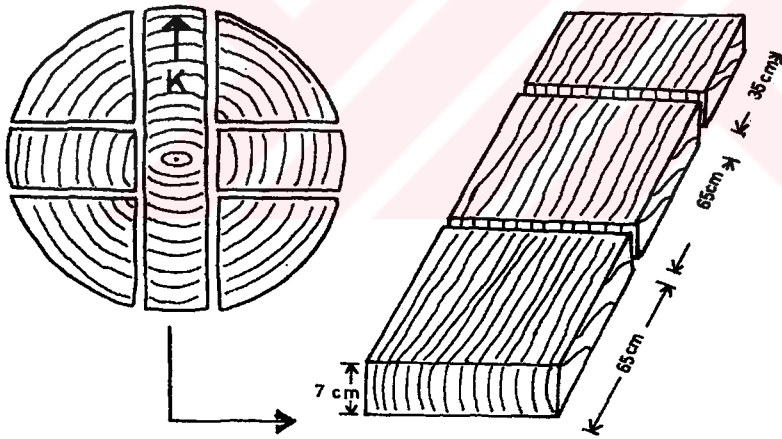
Odunu sarımsı beyaz renkte, boyuna kesitlerde ipek gibi parlaktır. Diri odun ve öz odun renk bakımından farksız olup, gövdenin iç kısmında diri odun ile aynı renkte ancak su oranı daha az olan olgun odun bulunmaktadır. Yıllık halka sınırları belirgin ve ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş tedricidir. Yaz odunu kırmızımsı sarı renkte ve çok dar olup, radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturmaktadır. Dar ve seyrek bir şekilde dağılmış bulunan reçine kanalları genellikle yaz odunu içinde açık renkte noktacıklar halinde ve radyal kesitte ince, fazla belirgin olmayan boyuna çizgiler halinde görülürler. Reçinesi sarı ile kahverengindedir. Çok ince olan özışınları çıplak gözle görülmemekle beraber tam radyal kesilmiş yüzeylerde mat bantlar halinde farkedilebilir. Budaklar çoğunlukla küçük ve oval şekildedir [90, 91, 92].

Doğu ladini yayılışını Kafkasya ile ülkemizin kuzey doğusunda  $40^{\circ}23'$  -  $43^{\circ} 50'$  kuzey enlemleri ile  $37^{\circ} 40'$  -  $44^{\circ} 13'$  doğu boylamları arasında yapar. Ülkemizde Rusya sınırı ile Ordu – Melet ırmağı arasında, dağların denize bakan yamaçlarında saf ve karışık meşcereler oluşturur. Doğu Karadenizin batı kısımlarında bu ağacın yayılışını sınırlayan faktör rutubettir. Genellikle 900-2200 m yükseltiler arasında denize dönük nemli yamaçlarda yayılmaktadır. Karadeniz ardı bölgelerde ise, nemli deniz rüzgarlarının içlere değin taşınmasına olanak veren Çoruh Nehri ve Harşit Çayı'nın etkisinde kalan alanlarda, yüksek dağların yine kuzey yamaçlarında saf ve karışık olarak yayılım göstermektedir. Trabzon civarında saf ormanları 900 – 1650 m'lerden sonra başlamakta, Meryemana yöresinde 1500 – 1650 m'ye kadar çıkmaktadır [87, 88, 93-96].

Doğu ladini odunundan çok çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır. Bunların başlıcaları; odun hamuru eldesi, selüloz üretimi, direk ve kalıp tahtası imalatı, bina yapımı, taşıt araçları yapımı, uçak yapımı, marangoz, mobilya, yonga levha, kaplama ve kontrplak üretimidir [88, 97]. Ayrıca iyi ses verme özelliğinden dolayı müzik aletleri yapımında da kullanılmaktadır [98]. Kabuğunun ihtiva ettiği sepi maddesi, iğne yapraklarından elde edilen eterik yağlar ve özellikle reçinesi de pek çok alanda yararlanılan yan ürünler arasındadır.

### 2.1.3. Örneklerin Hazırlanması

Örnek ağaç gövdesinin kökten itibaren 2-4 m arasındaki iki metrelik kısmından yararlanılmıştır. Ayrılan tomruklar teğet yönde kereste parçalarına biçilmiştir. Biçim işlemi TS 2470 esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [99]. Daha sonra, elde edilen parçalar, açık hava koşullarında doğal kurutmaya bırakılmışlardır. Doğal kurutmaya bırakılan kerestelerin rutubetleri sürekli olarak kontrol edilerek Lif Doygunluk Noktasına (LDN) ulaşmaları beklenmiştir. LDN'ye ulaşıldıktan sonra parçalar planya, kalınlık ve daire testere makinelerinde işlenerek her deney türü için söz konusu testin standartlarında hazırlanmıştır. Odunun kendi bünyesinden kaynaklanan farklılıkları en aza indirmek için deney ve kontrol örneklerinin gövde eksenini boyunca birbirini izleyen ve aynı yıllık halkaları içeren kısımlardan elde edilmesine özellikle dikkat edilmiştir. Ağaç gövdelerinden deney ve kontrol örneklerinin çıkarılacağı kereste parçalarının elde edilmesi Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Ağaç gövdelerinden deney ve kontrol örneklerinin çıkarılacağı kereste parçalarının elde edilmesi

Denemelerde kullanılan her iki ağaç türü için; dört farklı sıcaklık, üç farklı süre ve test edilen fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikler bakımından uygulanan varyasyon şeması ve her varyasyonda kullanılan test ve kontrol örneklerinin sayısı Tablo 3'te

verilmektedir. Bu tablo her iki ağaç türünde uygulanmış ve toplam 5040 adet test ve kontrol örneği üzerinde çalışılmıştır.

Tablo 3. Uygulanan varyasyon şeması ve her varyasyonda kullanılan test ve kontrol örneklerinin sayısı

Sıcaklık	Süre	ÖZ-AĞ	Sİ-BS	DRM	ED	LPBD	SE	Toplam
° C	Saat	T - K	T - K	T - K	T - K	T - K	T - K	T - K
130	2	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	6	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	10	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
150	2	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	6	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	10	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
180	2	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	6	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	10	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
200	2	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	6	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
	10	20-20	20-20	5-5	20-20	20-20	20-20	105-105
<b>TOPLAM</b>		240-240	240-240	240-240	240-240	240-240	240-240	<b>2520</b>

ÖZ-AĞ: özgül ağırlık, Sİ-BS: su iticilik ve boyut stabilizasyonu, DRM: denge rutubeti miktarı, ED: eğilme direnci, EL-M: elastikiyet modülü, LPBD: liflere paralel basınç direnci, SE-E: enine yönde sertlik, SE-R: radyal yönde sertlik, SE-T: teğet yönde sertlik, T: test örneği, K: kontrol örneği.

## 2.2. Araştırma yöntemi

### 2.2.1. Isıl İşlem

Deney örnekleri  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutma fırınında kurutulmuş; bu haldeki ağırlık ve boyutları 0,001 gr. ve 0,01mm. duyarlıkta ölçülmüş ve tam kuru ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra örnekler  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve %65 bağıl nem koşullarındaki klima odasında %12 rutubete getirilmiştir.

Isıl işlem uygulaması her iki ağaç türü için dört ayrı sıcaklık ve üç ayrı süre kombinasyonu ile toplam 12 varyasyonda Tablo 4'de özetlendiği şekilde gerçekleştirilmiştir.



Tablo 4. Isıl işlem sıcaklıkları ve süreleri

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
130	2 – 6 – 10
150	2– 6 – 10
180	2– 6 – 10
200	2 – 6– 10

Isıl işlem uygulaması, sıcaklığı  $\pm 1^\circ\text{C}$  duyarlılıkta kontrol edebilen bir etüvde normal atmosfer ortamında gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonunda etüvden çıkarılan örneklerin ağırlık ve boyutları ölçüldükten sonra, birkaç gün süre ile rutubetlerinin dengelenmesi için beklenmiş ve tekrar  $103\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki etüvde tutularak ısıl işlem sonrası tam kuru ağırlıkları ve boyutları tespit edilmiştir. Örnekler daha sonra % 12 rutubete getirilmek üzere klima odasına yerleştirilmiştir.

Her iki ağaç türü için üç ayrı süre ve dört ayrı sıcaklık olmak üzere toplam 12 varyasyonda ısıl işleme tabi tutulmuş test örnekleri ve bunlara ait kontrol örnekleri üzerinde, fiziksel testlerden; özgül ağırlık, su alma oranı ve su itici etkinlik, genişleme miktarı ve boyut stabilizasyonu, denge rutubeti miktarı, mekanik testlerden; statik eğilme direnci, statik eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, teknolojik testlerden; enine, radyal ve teğet kesitlerdeki sertlik deneyleri, kimyasal testlerden; sıcak su çözünürlüğü, % 1'lik NaOH çözünürlüğü, alkol – benzen çözünürlüğü, holoselüloz, selüloz ve lignin tayinleri gerçekleştirilmiştir.

## 2.2.2. Fiziksel Test Yöntemleri

### 2.2.2.1. Özgül Ağırlık

Her bir varyasyon için 20 adet test ve 20 adet kontrol olmak üzere, 2 x 2 x 3 cm boyutlarında hazırlanan test ve kontrol örneklerinin özgül ağırlık tayini TS 2471, TS 2472, ve TS 53 esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [100, 101, 102].

Test ve kontrol örnekleri tam kuru hale gelinceye kadar kurutma dolabında  $103\pm 2^\circ\text{C}$ 'de değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur. Daha sonra örneklerin ağırlıkları

0.001 g, boyutları 0.01 mm duyarlıkta ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla tam kuru ağırlıkları (%) hesaplanmıştır [103, 104]:

$$\delta_o = \frac{M_o}{V_o} \quad (\text{g} / \text{cm}^3) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

$\delta_o$  : Tam kuru özgül ağırlık ( $\text{g} / \text{cm}^3$ )

$M_o$  : Tam kuru ağırlık (g)

$V_o$  : Tam kuru hacimdir ( $\text{cm}^3$ )

Hesaplanan rutubet miktarları % 9-15 arasında değerler aldığından farklı rutubet miktarlarındaki özgül ağırlık değerlerinin, % 12 rutubetteki özgül ağırlık değerlerine dönüştürülmesi için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır [103,104] :

$$\delta_{12} = \delta_r \times \left( 1 - \frac{(1 - 0.85 \delta_r) \times (r - 12)}{100} \right) \quad (\text{g} / \text{cm}^3) \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

$\delta_{12}$  : % 12 rutubetteki özgül ağırlık ( $\text{g} / \text{cm}^3$ )

$\delta_r$  : % r rutubetteki özgül ağırlık ( $\text{g} / \text{cm}^3$ )

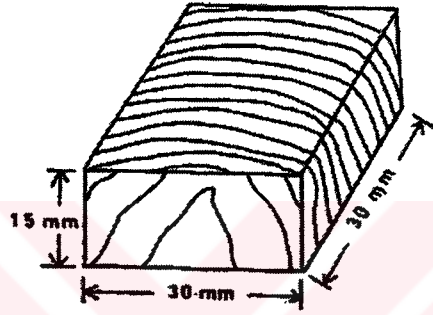
r : Örnek rutubetidir (%)

Test örneklerinden elde edilen özgül ağırlık ( $\alpha_{\delta}$ ) değerlerinin, kontrol örneklerinden elde edilen özgül ağırlık ( $\alpha_{\delta}$ ) değerlerine oranlanmasıyla belirlenen özgül ağırlık artış-azalış oranı ( $A \alpha_{\delta}$ ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [105] :

$$A \alpha_{\delta} = \frac{\alpha_{\delta} - \alpha_{\delta}}{\alpha_{\delta}} \times 100 \quad (3)$$

### 2.2.2.2. Su Alma Oranı ve Su İtici Etkinlik

Su alma oranı (SAO) ve su itici etkinlik (SİE) değerlerinin belirlenmesinde kullanılan örnekler aynı zamanda genişleme miktarı ve boyut stabilizasyonunun belirlenmesinde de değerlendirildiğinden, bu testlere ait örnekler 3 x 3 x 1.5 cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında, her bir varyasyon için 20 adet test ve 20 adet kontrol olmak üzere hazırlanmıştır [104]. Örneklerin tam teğet ve tam radyal yönleri içermesine dikkat edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. SAO ve SİE deneyi örneklerinin boyut ve şekli

Isıl işleme tabi tutulan test örneklerinin ve onlarla aynı yıllık halkaları ihtiva eden kontrol örneklerinin  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmalarıyla tam kuru haldeki boyut ve ağırlıkları 0.01 mm ve 0.001 g duyarlıkta tespit edilmiştir. Sonra deney ve kontrol örnekleri  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de su içerisine üstlerine bir ağırlık konulmak suretiyle bırakılmışlardır. 2, 4, 8, 24, 48 ve 72 saat ile 1 ve 2 hafta süreli periyotlar sonunda deney ve kontrol örneklerinin aldığı su miktarı ölçülmüştür. Bunun için her periyot sonunda sudan alınan örneklerin üzerlerindeki su silinmiş ve aynı duyarlıkta tartımları yapılarak alınan su miktarı (Abs) olarak kaydedilmiştir [106, 107, 108, 109]. Başlangıçtaki tam kuru ağırlık (Pao veya Ao) ve Abs değerleri kullanılarak SAO (%), her periyotta, her deney ve kontrol örneği için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [106]:

$$\text{SAO} = \frac{\text{Abs} - \text{Pao (veya Ao)}}{\text{PAo (veya Ao)}} \times 100 \quad (4)$$

Burada, Pao kullanıldığında deney örneğinin, Ao kullanıldığında kontrol örneğinin SAO (%) oranları bulunmaktadır. Muamele edilmemiş oduna kıyasla ısı işleme tabi tutulmuş odun örneklerinin su alma oranlarında meydana gelen azalma olarak ifade edilebilecek su itici etkinlik (SİE) değerleri ise, her periyotta, her deney örneği için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki gibi belirlenmiştir [106] :

$$SİE = \frac{SAOk - SAOt}{SAOk} \times 100 \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

SAOk : Kontrol örneğinin belirli bir periyot sonundaki su alma oranı

SAOt : Test örneğinin belirli bir periyot sonundaki su alma oranıdır.

### 2.2.2.3. Genişleme Miktarı ve Boyut Stabilizasyonu

Genişleme miktarı ve boyut stabilizasyonu deneylerinde, SAO ve SİE deneylerinde kullanılan örneklerle işlem yapılmıştır. Söz konusu deneylerde kullanılan test ve kontrol örneklerinin tam kuru halde teğet yöndeki boyutları, 0.01 mm duyarlıkta ölçülmüştür. Boyutlar değişmez hale gelinceye kadar, yani LDN'a kadar suda bekletilen örneklerden aynı noktalardan yapılan ölçümlerle genişlemiş haldeki boyutlar saptanmıştır. TS 4083'deki genel esaslara uyularak yapılan ölçümlerden sonra, teğetsel genişleme yüzdesi ( $\alpha$  tg) değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [104,110] :

$$\alpha \text{ tg} = \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \quad (6)$$

Eşitlikte;

T1 : Teğet yönde tam kuru haldeki boyutları,

T2 : Teğet yönde 2 haftalık suda bekletme sonunda genişlemiş boyutları ifade etmektedir.

Test örneklerinin genişleme miktarında kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı, dolayısıyla ısıtma işleminden kazanılan boyut stabilizasyonunu ifade eden genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değeri, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [111, 112, 113, 114]:

$$GET = \frac{k \alpha_{tg} - t \alpha_{tg}}{k \alpha_{tg}} \times 100 \quad (7)$$

Bu eşitlikte;

$k \alpha_{tg}$  : Kontrol örneğinin teğet yönde genişleme yüzdesi

$t \alpha_{tg}$  : Test örneğinin teğet yönde genişleme yüzdesidir.

#### 2.2.2.4. Denge Rutubeti Miktarı

3 x 3 x 1.5 cm boyutlarında boyutlandırılmış test ve kontrol örneklerinden her bir varyasyon için 5'er adet hazırlanmıştır. Isıtma işlemi uygulanan test örnekleriyle bunlara ait kontrol örneklerinin tam kuru ağırlıkları belirlendikten sonra, %65 bağıl nem ve 20 °C koşullarındaki iklimlendirme odasına bırakılmıştır. Burada, deney ve kontrol örneklerinin ağırlıkları denge rutubeti miktarına (DRM) ulaşıncaya kadar devamlı ölçülerek, hem denge rutubetine ulaşma hızı (DRUH) hem de DRM değerleri tespit edilmiştir.

DRUH değeri DRM'na ulaşılan kadar geçen gün sayısı olarak bulunurken, DRM değeri TS 2471'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [100] :

$$DRM = \frac{A_r - A_o}{A_o} \times 100 \quad (8)$$

Eşitlikte;

$A_r$  : İklimlendirme odası şartlarında ulaşılan ve değişmeyen rutubetli ağırlık,

$A_o$  : Tam kuru ağırlık değerlerini ifade etmektedir.

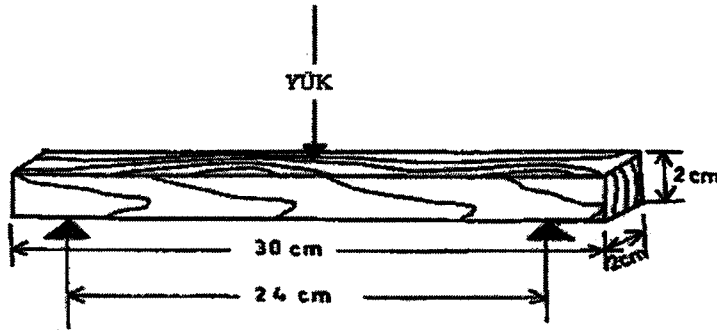
Test örneklerinden elde edilen DRM ( $t_{adrm}$ ) değerlerinin, kontrol örneklerinden elde edilen DRM ( $k_{adrm}$ ) değerlerine oranlanmasıyla belirlenen DRM azalış oranı ( $A_{adrm}$ ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [105]:

$$A_{adrm} = \frac{t_{adrm} - k_{adrm}}{k_{adrm}} \times 100 \quad (9)$$

### 2. 2. 3. Mekanik Test Yöntemleri

#### 2. 2. 3. 1. Statik Eğilme Direnci ve Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü

Statik eğilme direnci deneyleri TS 2474'deki genel esaslara uyularak yürütülmüştür. [115]. 2 x 2 x 30 cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında, her bir varyasyon için 20 adet test ve 20 adet kontrol olmak üzere hazırlanan örneklerin rutubetleri iklimlendirme işlemleri yapılarak yaklaşık % 12'ye getirilmiştir. Örneklerin boyutları, radyal yönü en, teğet yönü de kalınlık alınmak suretiyle 0.01 mm duyarlıkta ölçülmüştür. Deneyin uygulanma şekli ve örnek boyutları Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Statik eğilme direnci örneklerinin şekli, boyutları, ve yükün uygulanması

Örnekler universal test makinasına 24 cm dayanak açıklığı kullanılarak yerleştirilmiştir (Şekil 12). Teğet yöndeki direnci belirlemek üzere radyal yüzeye tam ortadan yük uygulanmış, 2000 kg maksimum kapasiteyle ve  $1.5 \pm 0.5$  dakikada kırılmasını sağlayacak deney hızıyla çalışılmıştır. Kırılma anındaki maksimum kuvvet ( $F_{max}$ )  $\pm 1$  kp

duyarlılıkta ölçülerek eğilme direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [ 91, 104, 116]:

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L_s}{2 \times a \times b^2} \quad (\text{kp} / \text{cm}^2) \quad (10)$$

Eşitlikte;

$\sigma_e$  : Eğilme direnci (kp / cm<sup>2</sup>)

F : Kırılma anındaki kuvvet (kp)

L<sub>s</sub> : Dayanak açıklığı (cm)

a : Örnek genişliği (cm)

b : Örnek kalınlığıdır (cm)

Deneylerden sonra her bir örneğin rutubet miktarı kırılma bölgesine yakın kısımlardan alınan 2 x 2 x 3 cm boyutlarında örnekler yardımıyla belirlenmiştir. Rutubetleri % 12'den farklı örneklerin eğilme dirençleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla % 12 rutubetteki eğilme direnci değerlerine dönüştürülmüştür [91, 104, 116]:

$$\sigma_e (12) = \sigma_e (r) \times [1 + 0.04 (r - 12)] \quad (11)$$

Eşitlikte ;

$\sigma_e (12)$  : % 12 rutubetteki eğilme direnci (kp / cm<sup>2</sup>)

$\sigma_e (r)$  : % r rutubetteki eğilme direnci (kp / cm<sup>2</sup>)

r : Deney anındaki örnek rutubetidir (%)

Test örneklerinden elde edilen eğilme direnci ( $t_{ae}$ ) değerlerinin, kontrol örneklerinden elde edilen eğilme direnci değerlerine ( $k_{ae}$ ) oranlanmasıyla belirlenen eğilme direnci azalış oranı ( $A_{ae}$ ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [105]:

$$A_{ae} = \frac{t_{ae} - k_{ae}}{k_{ae}} \times 100 \quad (12)$$

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci deney örneklerinden yararlanılmış ve deneyler TS 2478 esaslarına göre yürütülmüştür [117]. Eğilme deneyi sırasında, örnekte meydana gelen eğilme miktarını (deformasyon) saptamak için 30 mm kapasiteli bir “komparatör” den yararlanılmıştır. Eğilme deneyi boyunca her 30 kg’lık yükte komparatörde okunan eğilme miktarı kaydedilmiş ve deney tamamlana kadar aynı işleme devam edilmiştir. Eğilme miktarının yüklerle doğru orantılı olarak arttığı elastiklik sınırına kadarki eğilme miktarlarının ortalaması alınmış ve eğilmeye neden olan yük farkı ( $P=P_2-P_1=30$  kg) yardımıyla elastikiyet modülü aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [104]:

$$E = \frac{F \times Ls^3}{4 \times f \times b \times h^3} \quad (\text{kp} / \text{cm}^2) \quad (13)$$

E : Elastikiyet modülü (kp / cm<sup>2</sup>)

F : Elastik bölgedeki kuvvet (kp)

Ls : Dayanak açıklığı, (24 cm) (cm)

f : Eğilme miktarı (cm)

b : Örnek genişliği (cm)

h : Örnek yüksekliğidir (cm).

% 9-11 rutubetleri arasındaki elastikiyet modülü değerlerinin, %12 rutubetteki değere dönüştürülmesinde, rutubette her % 1’lik artış için elastikiyet modülünde % 2’lik azalma olmasından hareketle aşağıdaki formül kullanılmıştır [104]:

$$E_{12} = E(r) [ 1 + 0.02 (r - 12) ] \quad (14)$$

Eşitlikte;

$E_{12}$  = %12 rutubetteki elastikiyet modülü (kp / cm<sup>2</sup>)

$E(r)$  = % r rutubetteki elastikiyet modülüdür (kp / cm<sup>2</sup>)

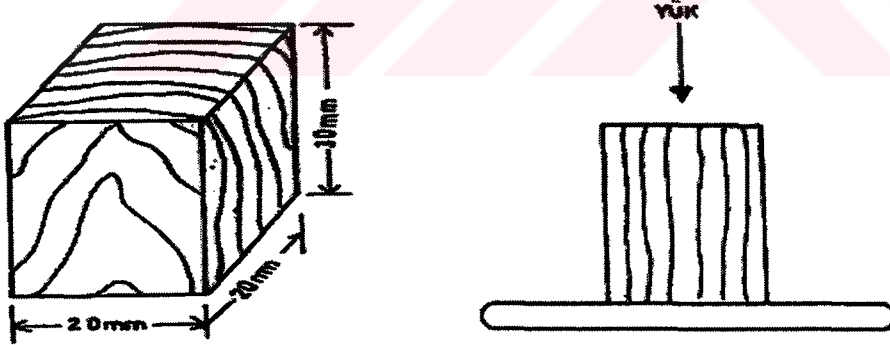


Test örneklerinden elde edilen elastikiyet modülü ( $t_{ael}$ ) değerinin, kontrol örneklerinden elde edilen elastikiyet modülü ( $k_{ael}$ ) değerine oranlanmasıyla belirlenen elastikiyet modülü artış-azalış oranı ( $A_{ael}$ ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [105]:

$$A_{ael} = \frac{t_{ael} - k_{ael}}{k_{ael}} \times 100 \quad (15)$$

### 2.2.3.2. Liflere Paralel Basınç Direnci ve Kalite Değerleri

Liflere paralel basınç direnci deneyleri TS 2595'e göre yürütülmüştür [118]. Deney ve kontrol örneklerinin aynı yıllık halkaları içeren kısımlardan elde edilmesine özen gösterilmiştir. 2 x 2 x 3 cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında her bir varyasyon için 20 adet test ve 20 adet kontrol örneği hazırlanmıştır (Şekil 13). Deneylerden önce denge rutubetine getirilen örneklerin enine kesit boyutları ve lif yönündeki uzunlukları 0.01 mm, ağırlıkları ise 0.001 g duyarlıkta ölçülmüştür.



Şekil 13. Liflere paralel basınç direnci örneklerinin şekli, boyutları ve yükün uygulanması

Deney universal test makinesinde yapılmıştır. Deney hızı örnekler makinede 1.5 – 2 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış olup, kırılma anındaki kuvvet ( $F_{max}$ ) ölçülmüştür. Liflere paralel basınç direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [104, 116, 119]:

$$\sigma\beta = \frac{F_{\max}}{a \times b} \quad (\text{kp} / \text{cm}^2) \quad (16)$$

Eşitlikte;

$\sigma\beta$  : Liflere paralel basınç direnci (kp / cm<sup>2</sup>)

$F_{\max}$  : Kırılma anındaki kuvvet (kp)

a ve b : Örnek enine kesit boyutlarıdır (cm)

Deneylerden sonra örnek rutubetleri belirlenerek rutubetleri % 12'den farklı olan örneklerin basınç direnci değerleri aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak % 12 rutubetteki liflere paralel basınç direnci değerlerine dönüştürülmüştür [104, 116]:

$$\sigma\beta(12) = \sigma\beta(r) [1 + 0.05 (r - 12)] \quad (17)$$

Eşitlikte;

$\sigma\beta(12)$  : % 12 rutubetteki basınç direnci (kp / cm<sup>2</sup>)

$\sigma\beta(r)$  : % r rutubetteki basınç direnci (kp / cm<sup>2</sup>)

r : Deney anındaki örnek rutubettir (%)

Test örneklerinden elde edilen liflere paralel basınç direnci ( $\tau_{ab}$ ) değerinin, kontrol örneklerinden elde edilen liflere paralel basınç direnci ( $\tau_{\text{kab}}$ ) değerine oranlanmasıyla belirlenen liflere paralel basınç direnci azalış oranı ( $A_{\text{ab}}$ ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [105]:

$$A_{\text{ab}} = \frac{\tau_{ab} - \tau_{\text{kab}}}{\tau_{\text{kab}}} \times 100 \quad (18)$$

Liflere paralel basınç direnci ile özgül ağırlık arasındaki ilişkiye dayanarak, odunun basınca göre statik ve spesifik kalite değerinin belirlenmesinde sırasıyla aşağıdaki (1) ve (2) nolu eşitliklerden yararlanılmıştır [91, 120]:

$$St = \frac{\sigma_{\beta(12)}}{100 \times \delta 12} \quad (19)$$

Eşitlikte;

- St : Statik kalite değeri (km)  
 $\sigma_{\beta(12)}$  : % 12 rutubetteki basınç direnci (kp / cm<sup>2</sup>)  
 $\delta 12$  : % 12 rutubetteki özgül ağırlıktır. (g / cm<sup>3</sup>)

$$Sp = \frac{\sigma_{\beta(12)}}{100 \times (\delta 12)^2} \quad (20)$$

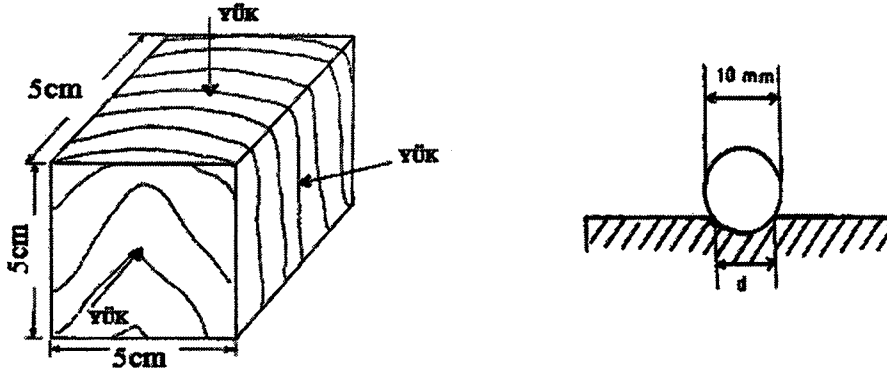
Eşitlikte;

- Sp : Spesifik kalite değeri, (km)  
 $\sigma_{\beta(12)}$  : % 12 rutubetteki basınç direnci (kp / cm<sup>2</sup>)  
 $\delta 12$  : % 12 rutubetteki özgül ağırlıktır. (g / cm<sup>3</sup>)

## 2.2.4. Teknolojik Test Yöntemleri

### 2.2.4.1. Brinell Sertlik Değeri

Brinell Sertlik deneyi TS 2479 standartlarına uygun olarak yürütülmüştür [121]. Her bir varyasyon için 20'şer adet olmak üzere 5 x 5 x 5 cm boyutlarında, hazırlanan ve denge rutubetine getirilen test ve kontrol örnekleri, üniversal deneme makinasının sertlik deneyi aparatı olan 10 mm çaplı çelik bir kürenin etkisine maruz bırakılmıştır. 50 kg olarak uygulanan sabit yüke ulaşmak için 15 sn geçmesi sağlanmış, 30 sn bu yük muhafaza edilmiş ve 15 saniyede de yükün sıfırlanması gerçekleştirilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Sertlik deneyi örneklerinin şekli boyutları ve yükün uygulanması

Teğet, radyal ve enine kesit yüzeylerinde ayrı ayrı yapılan deneylerden sonra, yük etkisiyle örnek yüzeyinde açılan çukurun çapı yıllık halka ölçüm mikroskobu yardımıyla 0.01 mm duyarlılıkta ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlikten Brinell sertlik değeri hesaplanmıştır [104]:

$$HB = \frac{2 \times F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kp} / \text{mm}^2) \quad (21)$$

Bu eşitlikte;

- HB : Brinell sertlik değeri (kp / mm<sup>2</sup>)  
 F : Uygulanan kuvvet (kp)  
 D : Brinell küresi çapı (mm)  
 d : Örnek yüzeydeki çukur çapıdır. (mm)

Deneylerden sonra her bir örneğin özgül ağırlığı ve rutubet miktarı belirlenmiş, rutubet miktarı % 12'den farklı örneklerin sertlik değerleri % 12 rutubetteki sertlik değerlerine aşağıdaki eşitlik yardımıyla dönüştürülmüştür [104]:

$$HB(12) = HB_r [ 1 + 0.04 (r - 12) ] \quad (\text{Liflere paralel yönde}) \quad (22)$$

$$HB(12) = HB_r [ 1 + 0.025 (r - 12) ] \quad (\text{Liflere dik yönde}) \quad (23)$$

Eşitlikte ;

HB(12)	: % 12 rutubetteki Brinell sertlik değeri	( kp / mm <sup>2</sup> )
HBr	: % r rutubetteki Brinell sertlik değeri	( kp / mm <sup>2</sup> )
r	: Deney anındaki örnek rutubetidir.	( % )

Test örneklerinden elde edilen enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik (*tas*) değerlerinin, kontrol örneklerinden elde edilen enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik (*kas*) değerlerine oranlanmasıyla belirlenen sertlik değeri azalış oranı (*A<sub>as</sub>*) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [105]:

$$A_{as} = \frac{tas - kas}{kas} \times 100 \quad (24)$$

## 2.2.5. Kimyasal Test Yöntemleri

### 2.2.5.1. Kimyasal Analiz Öncesi İşlemler

Denemelerde kullanılan odun hammaddesi TAPPI T-11 m-45 [122] standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Odun hammaddesi öncelikle küçük yongalar halinde parçalanmış ve bu parçalar WILLEY tipi değirmende öğütülmüştür. Öğütülen örneklerin elenmesi 40 – 60 mesh'lik elekler ile odun tozlarının toplandığı kaptan oluşan sarsıcı bir elekte gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizlerde kullanılacak odun tozlarının oluşturduğu 60 mesh'lik elek üzerinde kalan odun tozları rutubetleri belirlenmek üzere cam kavanozlarda muhafaza edilmiştir.

### 2.2.5.2. Rutubet Tayini

Örneklerin kuru madde miktarını belirlemek için yapılan deneyde, kullanılacak beherler kurutma fırınında dört saat süre ile kurutulmuştur. Kurutulan beherler bir desikatörde soğutulmuş ve daha sonra hassas terazide daraları belirlenmiştir. İçerisine yaklaşık 2 g odun örneği konmuş olan beherler kurutma fırınında 103 ± 2 °C'de değişmez

ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Kurutma sonrası fırından alınan örnekler bir desikatörde soğutularak tartı işlemine tabi tutulmuş ve örneklerin rutubetleri aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir [104, 123]:

$$R = \frac{m_r - m_o}{m_o} \times 100 \quad (25)$$

Eşitlikte;

R : Örnek rutubeti (%)

$m_r$  : Rutubetli örnek ağırlığı (gr)

$m_o$  : Tam kuru örnek ağırlığıdır. (gr)

### 2.2.5.3. Sıcak Su Çözünürlüğü

Sıcak su çözünürlüğü ile yan bileşiklerden sıcak suda çözünebilen nişasta, şeker, tuzlar, ve tanenli maddelerin yüzde oranları belirlenmektedir [124]. Deney TAPPI T 207 om-88 [125] standardına göre yapılmıştır.

100 ml destile su ile rutubeti önceden belirlenmiş 2 g hava kurusu odun tozu, geri dönüşümlü bir soğutucu ile 200 ml'lik erlenmayere yerleştirilmiştir. Erlenmayer su banyosuna konmuş ve yavaş olarak 3 saat süreyle kaynatılmıştır. Su banyosundaki su seviyesinin erlenmayerdeki çözeltinin seviyesine eşit olmasına dikkat edilmiştir. Kaynama işleminden sonra odun tozları 1 nolu krozeden süzölmüş ve sıcak su ile yıkanmıştır.  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Deney sonunda örnek ağırlığındaki eksilme miktarı tam kuru oduna oranla % olarak hesaplanmıştır.

### 2.2.5.4. % 1'lik NaOH Çözünürlüğü

Odunun seyreltik alkalide çözünürlüğü, uygulamada odun içindeki mantar çürüklüklerinin miktarı hakkında fikir vermektedir. Sağlam oduna oranla çözünürlük miktarı arttıkça çürüklük miktarı da fazlalaşmış olmaktadır [126]. TAPPI T 212 om-88

standardına göre bu yöntem sıcak seyreltik alkali ile çözünmeye karşı odun örneğinin dayanıklılığını da belirlemektedir [125].

Deneyde kullanılan % 1'lik NaOH çözeltisi 10 g katı NaOH'ın az miktarda suda çözüldürülmesi sonucu 1 litreye tamamlanması suretiyle hazırlanmıştır. Deneyden önce rutubetleri belirlenmiş ve 200 ml'lik beher içerisine  $\pm 0.1$  hassasiyette tartılarak konmuş 2 g'lık odun örnekleri üzerine pipetle % 1'lik NaOH çözeltisinden 100 ml ilave edilmiştir. Daha sonra ağızları küçük bir erlenle kapatılarak 97 – 100 °C sıcaklıktaki su banyosunda 1 saat süreyle bekletilmiştir. 10, 15 ve 25. dakikalarda 3 defa karıştırılmıştır. 1 saatin sonunda darası önceden alınmış 1 nolu krozeden süzümüştür. Son olarak % 10'luk 50 ml asetik asitle ve sonra da sıcak saf su ile yıkanmıştır.

Yıkama sonrası kroze ve içindeki örnek  $103 \pm 2$  °C'lik fırında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Kurutulduktan sonra desikatörde soğutularak tartılan örneklerin % 1'lik NaOH çözeltisindeki çözünürlükleri başlangıçtaki kuru ağırlığa oranla % olarak hesaplanmıştır.

#### 2.2.5.5. Alkol – Benzende çözünürlük

Alkol – Benzende çözünürlük, odunun bileşimine giren yağ, reçine, tanen, mum gibi maddelerin miktarını belirlemek için kullanılmaktadır [124].

Çalışmada, örneklerin bir hacim (33 hacim) % 95'lik etil alkol ( $C_2H_5OH$ ) ve iki hacim (67 hacim) benzen ( $C_6H_6$ ) karışımında çözünürlükleri soksolet cihazı kullanılarak, ve TAPPI T 204 om-88 standartlarına göre belirlenmiştir [125].

Darası alınmış her bir süzme krozesi içine yaklaşık olarak 2 g'lık odun örneği tartılarak konulmuştur. Örneğin biri kurutma fırınında  $103 \pm 2$  °C'de 2 saat süreyle kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Bir saatlik periyotlarla ağırlığı sabitleşinceye kadar kurutulmaya devam edilmiş ve bu şekilde örneğin rutubeti belirlenmiştir. Diğer örnek, darası alınmış soksolet ekstraksiyon balonu olan soksolet cihazına konulmuştur. Örnek kaybını önlemek için krozenin tepesine 5 mesh'lik tel elek konisi yerleştirilmiştir. Örnek 200 ml'lik alkol-benzen karışımı ile 6 saat boyunca

kaynatılmıştır. Ekstraksiyon balonundan alkol – benzen çözeltisi buharlaştıktan sonra balon ve içindekiler bir saat süreyle  $103 \pm 2$  °C’de kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Deney sonunda örnek ağırlığındaki eksilme miktarı tam kuru odun örneği yüzdesi olarak belirlenmiştir.

### 2.2.5.6. Holoselüloz Tayini

Karbonhidratların tümü anlamına gelen holoselülozun tam olarak belirlenmesi mümkün değildir. Ancak kullanılan yöntemlerde en az kayıpla sonuç veren Wise ve arkadaşlarının geliştirdiği Klorit Yöntemi en uygun yöntemdir [127]. Bu yöntemin tercih nedeni, uygulanmasındaki kolaylık ile klorlamaya oranla uzaklaştırılan lignin yanında karbonhidratlarda meydana gelen kaybın az oluşudur. Klorit yönteminin uygulanmasında holoselüloz içinde % 2 - % 4 oranında lignin kalabilir. Zira ligninin tamamını herhangi bir karbonhidrat kaybına neden olmadan uzaklaştırmak mümkün değildir [128].

$\text{NaClO}_2$  seyreltik asit etkisiyle  $\text{ClO}_2$ 'yi serbest bırakmakta, bu durumda lignin çözülmüş ürünler şekline dönüşmektedir. Karbonhidratlar ise bu koşullar altında değişmemekte ve holoselüloz olarak elde edilmektedir.

Ekstraksiyona tabi tutulmuş 5 g’lık odun örneği, 160 ml saf su, 1.5 g  $\text{NaClO}_2$  ve 10 damla buzlu asetik asit ile birlikte 250 ml’lik erlenmayere konarak bir saat süreyle 78 –80 °C’deki su banyosunda bekletilmiştir. İçerisine örnek koyulan erlenin ağzı, ters çevrilmiş 50 ml’lik başka bir erlenmayerle kapatılmış ve reaksiyon süresince zaman zaman erlen çalkalanarak karıştırılmıştır. Bir saat sonra karışıma 1.5 g  $\text{NaClO}_2$  ve 10 damla buzlu asetik asit ilave edilerek bir saat süreyle kaynatmaya devam edilmiştir. İYA odunları için genellikle 4 tekrar, YA odunları ve yıllık bitkiler için 3 tekrar yeterli görülmektedir. Klorlama tamamlandıktan sonra kalan kısım beyaz olmalı ve orijinal yapısını korumalıdır.

Süspansiyon bir buz banyosunda son derece zehirli olan klor çıkışını önlemek amacıyla derhal soğutulmuş ve 2 nolu cam krozedden süzülmüştür. Kalıntı önce asetonla daha sonra soğuk destile suyla tekrar yıkanmış,  $103 \pm 2$  °C’de kurutulmuş ve tartılmıştır. Elde edilen sonuç tam kuru oduna oranla % olarak hesaplanmıştır [125].



Deneyde kullanılan asetik asit, ortamın pH'sını 4 dolayında tutmakta, ClO<sub>2</sub> çıkışını sağlamaktadır. ClO<sub>2</sub> lignini oksitleyerek klorolignin haline dönüştürmekte ve çözerek karbonhidratlardan ayırmaktadır [127].

#### 2.2.5.7. Selüloz Tayini

Çalışmada selüloz tayini için Kurschner ve Hoffner'in geliştirdiği "Nitrik Asit" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre, alkol benzen ekstraksiyonuna uğratılmış yaklaşık olarak 2 g örnek bir balona konulmuş, üzerine 10 ml 40° Be ile 40ml % 96'lık etil alkol karışımı ilave edilmiş ve bir soğutucu altında bir saat süreyle su banyosunda kaynatılmıştır. HNO<sub>3</sub>'ün etkisiyle yağlı maddeler çözünmekte, hemiselülozlar hidrolize olmakta ve lignin nitrofenolik bileşiklere dönüşmektedir. Alkol ise selülozu nitrik asitten korumaya yaramaktadır. Bu bir saatlik kaynamadan sonra 2 nolu kroze yardımıyla balondaki sıvı süzölmüş ve 10 ml HNO<sub>3</sub> ile 40 ml etil alkolden oluşan 50 ml'lik yeni karışım, kroze üzerinde kalan test örneklerinin de yıkayarak balona konulmuştur. Tekrar 1 saat süreyle kaynamaya uğratılmış, aynı işlem 3 defa tekrarlanmıştır. Krozeden süzme yapıp sıcak su ile yıkama yapıldıktan sonra 103 ± 2 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak tartılmıştır. Elde edilen sonuç tam kuru örneğe oranla yüzde olarak hesaplanmıştır [125,129].

#### 2.2.5.8. Lignin Tayini

Lignin odunun önemli asli bileşenlerinden birisi olup özellikleri bitki türüne göre değişen, fenil propan monomerinden oluşmuş, aromatik ve amorf yapıda doğal bir polimerdir [130]. 3P-hidroksitarçın asitin enzimatik dehidrasyonu ile oluşan lignin, hücre çeperi içinde daima hemiselülozlarla, kovalent bağların söz konusu olduğu fiziksel bir beraberlik içindedir [131].

Bitkisel maddelerdeki lignin oranının tayini için birçok yöntem kullanılmakta ise de en çok tercih edileni % 72'lik sülfirik asit kullanılan "Klason Lignini" yöntemidir. Belirlenmiş koşullarda sülfirik asit, karbonhidratları hidrolizleyerek çözmekte ve böylece aside dayanıklı lignin olarak adlandırılan bir kalıntı elde edilmektedir [132]. Bazı odun

ekstraktifleri lignin ile birlikte çözünmeden kaldığı için önce uygun çözeltiler kullanılarak ekstraktiflerin ayrılması gerekmektedir. Deneyde çözücü olarak, holoselüloz ve selüloz tainlerinde olduğu gibi alkol-benzen çözeltisi kullanılmıştır.

Lignin tayini TAPPI T 211 om-88 standardına göre uygulanmıştır [125]. Önceden alkol-benzen ekstraksiyonuna tabi tutulmuş hava kurusu odun örneğinden 1 g alınarak bir behere aktarılmış ve yavaşça 12-15 °C'de'ki 15 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilave edilmiş, zaman zaman karıştırılarak 18-20 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda beherdeki materyal yıkanarak 1 litrelik erlenmayere konulmuştur. Asit konsantrasyonu % 3'e düşene kadar destile su ile seyreltilmiştir. Burada seyreltme işlemi erlendeki sıvı miktarı 560 ml olana kadar yapılmıştır. Daha sonra karışım bir soğutucu altında ve yaklaşık sabit hacim koşullarında 4 saat kaynatılmıştır. Çözünmeyen maddenin çökmesi için bir gece beklendikten sonra porozitesi az olan 4 nolu krozeden süzölmüş ve serbest asit artıkları 500 ml sıcak su ile yıkanmıştır. 103 ± 2 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak desikatörde soğutulan ve tartımı yapılan örneklerin lignin ağırlığı ekstrakte edilmemiş tam kuru odun ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanmıştır.

### 2.3. İstatistiksel yöntemler

Veriler SPSS istatistik paket programı kullanılarak ve % 95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir. Dört farklı sıcaklık (130, 150, 180, 200 °C) ve üç farklı süre (2, 6, 10 saat) kullanılarak meydana getirilen 12 test ve bunlara ait 12 kontrol varyasyonu arasında, araştırılan her bir fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özelliklerle ilgili olarak istatistiksel anlamda farklılık olup olmadığı basit varyans analizi (BVA) ile belirlenmiştir. Daha sonra sıcaklık, süre ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere Duncan Testi uygulanmıştır [133]. Ayrıca, sıcaklık ve süre artışlarının yine her bir özellik üzerindeki etkilerinin doğrusal (lineer), parabolik (kuadratik) ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla doğrusal, parabolik ve kübik kontrastlar oluşturulmuş ( $\alpha = 0,05$ ) ve iki faktörlü faktöriyel deneysel düzen sistemi içerisinde test edilmiştir [134].

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Fiziksel Özellikler

##### 3.1.1 Özgül Ağırlık

Dört farklı sıcaklık ve üç farklı süre olmak üzere toplam 12 varyasyon düzeninde, iki farklı ağaç türünde gerçekleştirilen ısı işlem sonunda, test ve kontrol örneklerinin özgül ağırlıklarına ait aritmetik ortalama (x), standart sapma (s), minimum (min) ve maksimum (mak) değerler karşılaştırmalı olarak Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama özgül ağırlık değerleri (g/cm<sup>3</sup>)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	TEST				KONTROL			
			x	s	min.	mak.	x	s	min.	mak.
Kayın	130	2	0,635	0,023	0,60	0,68	0,621	0,040	0,54	0,69
		6	0,637	0,037	0,58	0,71	0,646	0,034	0,60	0,75
		10	0,693	0,022	0,65	0,72	0,745	0,036	0,68	0,80
	150	2	0,694	0,047	0,61	0,77	0,714	0,030	0,66	0,76
		6	0,701	0,025	0,65	0,74	0,743	0,035	0,68	0,81
		10	0,620	0,026	0,58	0,68	0,702	0,032	0,66	0,76
	180	2	0,638	0,041	0,57	0,72	0,719	0,046	0,64	0,81
		6	0,626	0,037	0,56	0,70	0,742	0,043	0,66	0,82
		10	0,612	0,030	0,56	0,67	0,734	0,030	0,57	0,67
	200	2	0,669	0,032	0,61	0,72	0,738	0,030	0,66	0,77
		6	0,626	0,059	0,57	0,78	0,718	0,029	0,63	0,74
		10	0,603	0,028	0,56	0,65	0,731	0,024	0,59	0,67
Ladin	130	2	0,410	0,010	0,42	0,46	0,403	0,016	0,42	0,47
		6	0,392	0,032	0,37	0,49	0,396	0,036	0,38	0,51
		10	0,435	0,031	0,35	0,47	0,447	0,028	0,36	0,45
	150	2	0,383	0,38	0,31	0,44	0,394	0,028	0,34	0,43
		6	0,385	0,029	0,33	0,42	0,397	0,027	0,33	0,41
		10	0,429	0,029	0,31	0,41	0,448	0,028	0,33	0,42
	180	2	0,385	0,027	0,33	0,43	0,396	0,030	0,34	0,44
		6	0,391	0,018	0,35	0,43	0,406	0,016	0,38	0,44
		10	0,401	0,024	0,35	0,46	0,425	0,017	0,38	0,45
	200	2	0,388	0,026	0,34	0,43	0,407	0,034	0,36	0,46
		6	0,409	0,018	0,37	0,45	0,443	0,027	0,36	0,48
		10	0,382	0,018	0,35	0,42	0,427	0,019	0,40	0,47

Kayın ve ladin odununa ait özgül ağırlık değerlerinin her bir varyasyon için kontrolleriyle karşılaştırıldığı BVA sonuçları sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 6. Kayın odununda özgül ağırlık değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD*	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD**
130 °C-2 saat	Gruplar arası	1,86E-03	1	1,860E-03	1,613	BD
	Gruplar içi	4,38E-02	38	1,154E-03		
	Toplam	4,57E-02	39			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	7,75E-04	1	7,754E-04	0,608	BD
	Gruplar içi	4,59E-02	36	1,276E-03		
	Toplam	4,67E-02	37			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	2,66E-02	1	2,657E-02	28,457	***
	Gruplar içi	3,46E-02	37	9,338E-02		
	Toplam	6,11E-02	38			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	3,51E-03	1	3,513E-03	2,248	BD
	Gruplar içi	5,47E-02	35	1,562E-03		
	Toplam	5,82E-02	36			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	1,61E-02	1	1,611E-02	16,526	***
	Gruplar içi	3,41E-02	35	9,750E-04		
	Toplam	5,02E-02	36			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	6,41E-02	1	6,414E-02	72,239	***
	Gruplar içi	3,20E-02	36	8,880E-04		
	Toplam	9,61E-02	37			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	6,42E-02	1	6,422E-02	32,770	***
	Gruplar içi	7,25E-02	37	1,960E-03		
	Toplam	0,137	38			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	0,131	1	0,131	78,778	***
	Gruplar içi	6,17E-02	37	1,668E-03		
	Toplam	0,193	38			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	2,80E-04	1	2,800E-04	0,303	BD
	Gruplar içi	3,70E-02	40	9,241E-04		
	Toplam	3,70E-02	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	2,02E-02	1	2,023E-02	20,788	***
	Gruplar içi	3,70E-02	38	9,730E-04		
	Toplam	5,72E-02	39			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	4,15E-02	1	4,148E-02	19,218	***
	Gruplar içi	8,42E-02	39	2,159E-03		
	Toplam	0,126	40			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	1,28E-02	1	1,280E-02	17,557	***
	Gruplar içi	2,84E-02	39	7,290E-04		
	Toplam	4,12E-02	40			

\* SD: Serbestlik Derecesi

\*\* ÖD: Önem Düzeyi

BVA sonuçlarına göre 130 °C'de 2 saat ve 6 saat, 150 °C'de 2 saat, 180 °C'de 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan varyasyonlarda özgül ağırlık açısından test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, diğer varyasyonlar için ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu gözlenmiştir.

Tablo 7. Ladin odununda özgül ağırlık değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	1,30E-03	1	1,296E-03	7,233	*
	Gruplar içi	6,27E-03	35	1,792E-04		
	Toplam	7,57E-03	36			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	2,96E-03	1	2,959E-0,3	2,456	BD
	Gruplar içi	4,10E-02	34	1,205E-03		
	Toplam	4,39E-02	35			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	3,37E-04	1	3,370E-04	0,374	BD
	Gruplar içi	2,98E-02	33	9,019E-04		
	Toplam	3,01E-02	34			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,458E-04	1	4,578E-04	0,409	BD
	Gruplar içi	3,69E-02	33	1,119E-03		
	Toplam	3,74E-02	34			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	1,36E-03	1	1,358E-03	1,653	BD
	Gruplar içi	3,12E-02	38	8,215E-04		
	Toplam	3,26E-02	39			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	1,16E-03	1	1,156E-03	1,382	BD
	Gruplar içi	3,18E-02	38	8,366E-04		
	Toplam	3,29E-02	39			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	5,42E-06	1	5,421E-06	0,006	BD
	Gruplar içi	3,13E-02	37	8,449E-04		
	Toplam	3,13E-02	38			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	2,09E-03	1	2,086E-03	6,745	*
	Gruplar içi	1,18E-02	38	3,092E-04		
	Toplam	1,38E-02	39			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	6,06E-03	1	6,064E-03	13,229	***
	Gruplar içi	1,79E-02	39	4,584E-04		
	Toplam	2,39E-02	40			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	3,58E-03	1	3,580E-03	3,797	BD
	Gruplar içi	3,58E-02	38	9,429E-04		
	Toplam	3,94E-02	39			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	1,05E-02	1	1,051E-02	20,094	***
	Gruplar içi	1,83E-02	35	5,229E-04		
	Toplam	2,88E-02	36			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	1,97E-02	1	1,973E-02	52,599	***
	Gruplar içi	1,39E-02	37	3,751E-04		
	Toplam	3,36E-02	38			

Ladin odununun özgül ağırlık değerlerine ilişkin olarak elde edilen BVA sonuçlarına göre 130 °C'de 2 saat ve 180 °C'de 6 saat süreyle uygulanan ısı işlem varyasyonlarında test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde, 180 °C'de 10 saat, 200 °C'de 6 ve 10 saat süreyle uygulanan ısı işlem varyasyonlarında 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır. Diğer varyasyonlar için test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu gözlenmiştir.

Sıcaklığın, sürenin ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin özgül ağırlık üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan Testi sonuçları kayın için Tablo 8'de, ladin için Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 8. Kayın odununda özgül ağırlık değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları (P<0,05)

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Vary K. Sıcaklık (°C)	HG*	Vary K Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	7,51E-02	3	2,503E-02	19,31	***	130	a	2	a
Süre: B	2,87E-02	2	1,433E-02	11,05	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	0,138	6	2,292E-02	17,68	***	180	c	10	c
Hata	0,281	217	1,296E-03			200	c		
Toplam	95,843	229							

\* HG: Homojen Gruplar

Aynı harfle işaretlenmiş varyasyonlar istatistiksel olarak farksızdır.

ÇVA sonuçlarına göre; sıcaklık, süre ve bunların kendi aralarındaki etkileşimlerinin 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu gözlenmiştir.

Tablo 9. Ladin odununda özgül ağırlık değerlerine ait ÇVA ve Duncan Testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Vary K. Sıcaklık (°C)	HG	Vary K Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	4,83E-02	3	1,610E-02	23,19	***	130	a	2	ab
Süre: B	3,59E-03	2	1,794E-03	2,58	BD	150	b	6	a
Etkileşim AB	1,44E-02	6	2,398E-03	3,45	**	180	b	10	b
Hata	0,153	220	6,942E-04			200	b		
Toplam	37,226	232							

Tablo 9’da özetlenen ÇVA sonuçlarına göre özgül ağırlık üzerine sıcaklık etkisinin 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı olduğu gözlenirken, süre etkisinin 0,05 anlam düzeyinde istatistiksel olarak önemsiz olduğu anlaşılmıştır. Sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimleri ise 0,01 yanılma ihtimaliyle farklı bulunmuştur.

Sıcaklık ve süre artışlarının özgül ağırlık üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla kontrastlar oluşturularak iki faktörlü faktöriyel varyans analizi yapılmış ( $\alpha = 0,05$ ) ve elde edilen sonuçlar her iki ağaç türü için Tablo 10’da belirtilmiştir.

Tablo 10. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının özgül ağırlığı etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

KAYIN		LADİN	
Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Kübik	Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Parabolik
Kontrast	2,6E-02	Kontrast	1,9E-02
Standart Sapma	0,005	Standart Sapma	0,003
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
Süre ( Saat ) Etkisi →	Doğrusal	Süre ( Saat ) Etkisi →	Parabolik
Kontrast	-2, E-02	Kontrast	-5, E-03
Standart Sapma	0,004	Standart Sapma	0,003
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	*

Bu analizlere göre; kayın odununda özgül ağırlık üzerine sıcaklık artışının kübik, süre artışının ise doğrusal bir etkisi olduğu 0,001 anlam düzeyinde tespit edilmiştir. Ladinde ise sıcaklık artışının özgül ağırlık üzerinde 0,001 anlam düzeyinde parabolik bir etkisi söz konusu iken, süre artışının 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

### 3.1.2. Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik

Farklı kombinasyonlarda ısıl işleme maruz bırakıldıktan sonra farklı sürelerde (2, 4, 8, 24, 48, 72 saat, 1 hafta ve 2 hafta) suda bekletilen kayın ve ladin odunu örneklerinin su alma oranlarına (SAO) ait aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler sırasıyla Tablo 11 - Tablo 18’de, su itici etkinlik(SİE) değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler sırasıyla Tablo 19 - Tablo

22'de ve genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler Tablo 23'te kontrolleriyle karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 11. 130 °C'de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekleme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	TEST				KONTROL			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
130 °C – 2 saat	2 saat	18,93	1,30	16,99	21,86	18,19	1,49	13,70	20,40
	4 saat	27,44	1,57	25,32	32,29	28,40	1,98	22,99	31,61
	8 saat	35,32	3,33	23,77	41,37	39,08	2,43	35,59	43,94
	24 saat	49,93	2,61	46,16	55,27	55,76	4,13	48,24	60,54
	48 saat	60,04	2,61	56,19	64,13	64,18	3,72	57,42	68,27
	72 saat	65,91	2,36	62,40	69,36	69,70	3,41	62,97	74,34
	1 hafta	73,87	4,01	62,96	79,04	78,74	2,33	74,18	82,06
	2 hafta	82,77	2,74	77,16	88,65	86,08	2,38	81,77	90,28
130 °C – 6 saat	2 saat	13,56	2,72	9,01	18,05	15,47	2,62	11,62	19,33
	4 saat	19,83	3,73	14,18	25,31	23,08	3,90	17,43	28,20
	8 saat	27,95	5,14	20,63	35,07	33,23	5,16	25,74	40,22
	24 saat	42,39	7,08	32,94	52,78	49,48	7,52	40,77	61,24
	48 saat	50,55	7,44	40,56	61,41	56,16	7,06	47,48	66,97
	72 saat	54,42	6,75	45,22	63,56	59,11	6,02	51,68	67,75
	1 hafta	73,56	3,93	66,70	78,23	75,48	4,55	69,28	82,25
	2 hafta	80,38	2,95	75,15	85,06	82,15	3,93	76,42	87,36
130 °C – 10 saat	2 saat	20,43	1,42	18,38	23,45	21,92	2,06	19,88	29,14
	4 saat	25,84	1,53	23,46	29,53	28,43	2,01	26,35	35,54
	8 saat	33,35	1,74	30,59	38,44	38,66	1,84	36,16	44,42
	24 saat	46,22	3,10	43,96	57,10	55,56	3,08	43,50	59,80
	48 saat	56,91	1,45	55,01	60,48	63,35	0,80	62,08	65,55
	72 saat	60,90	1,17	58,69	63,84	66,21	0,76	64,95	68,15
	1 hafta	65,48	1,30	63,77	69,71	70,59	2,90	59,14	73,67
	2 hafta	71,32	2,34	66,56	76,00	77,73	1,86	74,24	81,80



Tablo 12. 150 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtım işlemi uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekleme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	TEST				KONTROL			
		x	S	min	mak	x	s	min	mak
150 °C – 2 saat	2 saat	14,61	2,88	9,81	18,59	15,89	2,48	9,86	19,59
	4 saat	20,95	3,84	14,48	27,12	24,37	2,90	18,76	28,94
	8 saat	30,58	4,97	20,41	37,17	33,90	4,54	25,14	40,54
	24 saat	46,24	6,35	33,75	54,58	52,92	4,82	45,35	60,35
	48 saat	54,31	6,02	41,62	61,95	58,79	4,72	49,31	65,66
	72 saat	57,80	5,03	46,75	64,14	61,33	3,81	53,09	66,52
	1 hafta	73,57	3,01	67,50	77,19	75,73	2,75	70,82	80,72
	2 hafta	82,80	2,17	79,36	86,67	83,83	2,16	79,29	87,03
150 °C – 6 saat	2 saat	20,33	1,69	17,81	23,49	22,75	2,44	18,19	26,89
	4 saat	27,49	1,93	24,84	32,09	31,07	2,62	25,94	35,70
	8 saat	37,11	2,16	32,86	42,19	42,22	2,97	37,24	48,40
	24 saat	52,68	3,27	45,27	58,72	60,60	3,06	54,58	65,79
	48 saat	62,76	2,87	57,70	67,05	68,41	3,36	62,73	73,57
	72 saat	67,37	2,62	62,20	72,52	72,23	3,26	67,18	77,69
	1 hafta	71,76	3,50	65,60	77,08	76,86	3,87	70,58	81,81
	2 hafta	77,46	3,73	71,21	83,66	83,33	4,68	74,64	90,02
150 °C – 10 saat	2 saat	10,28	1,68	7,95	13,62	14,09	3,75	9,80	22,90
	4 saat	14,79	2,56	11,41	20,18	20,25	5,30	14,30	31,29
	8 saat	20,66	3,64	15,67	28,66	33,52	25,62	20,59	44,57
	24 saat	32,71	4,98	26,38	44,60	40,98	6,41	33,45	54,12
	48 saat	42,54	5,76	35,83	56,81	49,24	6,20	42,78	63,27
	72 saat	49,37	6,05	41,82	63,62	55,00	6,11	48,33	69,33
	1 hafta	71,03	5,60	63,24	84,83	73,69	5,36	66,55	86,21
	2 hafta	82,51	4,79	73,76	93,26	83,33	5,69	75,31	94,72

Tablo 13. 180 °C'de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekleme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Bekleme Süresi	TEST				KONTROL			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
180 °C – 2 saat	2 saat	14,79	0,85	13,42	16,55	19,59	1,04	17,87	21,47
	4 saat	19,51	1,01	18,02	21,52	27,77	1,69	25,60	31,25
	8 saat	26,13	1,31	23,97	28,60	37,37	2,24	34,02	41,86
	24 saat	40,28	2,03	35,19	43,14	56,07	1,60	52,67	58,13
	48 saat	53,93	2,55	47,40	57,58	68,44	1,31	65,53	70,84
	72 saat	61,88	2,04	56,83	65,19	71,21	1,18	68,83	72,81
	1 hafta	69,41	2,05	66,31	73,01	78,06	2,34	73,17	83,39
	2 hafta	73,75	2,77	69,77	80,49	84,82	2,64	80,16	89,97
180 °C – 6 saat	2 saat	12,77	1,59	10,37	16,88	19,88	1,81	17,33	24,63
	4 saat	17,87	1,86	15,63	22,24	27,84	3,23	23,93	36,74
	8 saat	23,80	3,76	10,68	29,01	37,94	3,80	32,90	46,97
	24 saat	33,73	2,20	31,00	39,76	51,07	3,24	46,29	59,14
	48 saat	41,50	2,19	38,29	47,24	56,45	2,14	53,50	63,00
	72 saat	49,30	2,59	44,76	55,77	65,26	3,04	62,57	74,23
	1 hafta	60,86	2,68	58,45	71,00	73,11	1,98	70,13	80,25
	2 hafta	68,71	3,05	65,12	78,87	82,76	2,92	79,47	92,05
180°C –10 saat	2 saat	12,43	0,96	10,11	13,92	19,70	1,55	16,86	22,42
	4 saat	16,87	1,12	14,35	18,30	26,87	2,03	23,06	30,76
	8 saat	23,44	1,32	20,87	26,06	37,15	2,29	32,37	40,33
	24 saat	34,63	1,72	31,86	39,88	52,45	1,50	48,40	54,30
	48 saat	43,80	1,63	41,42	49,33	59,87	1,42	56,77	63,15
	72 saat	51,99	2,36	47,61	56,48	65,93	1,67	63,50	69,64
	1 hafta	58,18	2,88	53,79	64,55	68,97	1,82	65,90	72,83
	2 hafta	63,08	3,10	60,02	69,94	74,73	2,79	71,01	81,20

Tablo 14. 200 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekleme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Bekletme Süresi	TEST				KONTROL			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
200 °C – 2 saat	2 saat	15,12	2,74	11,31	21,32	20,60	2,22	17,24	27,15
	4 saat	19,43	3,11	14,77	25,47	26,52	2,50	21,95	32,92
	8 saat	25,60	3,09	20,85	31,23	34,93	2,89	29,31	41,74
	24 saat	36,06	2,69	32,51	41,60	48,80	2,68	43,47	53,62
	48 saat	44,22	2,72	39,37	48,81	56,97	1,76	52,76	60,18
	72 saat	54,94	3,03	49,87	59,72	66,66	1,46	62,76	68,55
	1 hafta	56,69	3,55	50,38	62,64	66,78	1,22	65,27	69,12
2 hafta	61,02	3,86	54,05	68,10	69,59	1,42	67,16	71,95	
200 °C – 6 saat	2 saat	10,91	5,49	9,60	30,29	16,94	1,53	16,72	21,14
	4 saat	18,46	6,90	13,38	36,38	27,87	2,17	24,37	30,67
	8 saat	24,08	7,42	17,93	40,87	37,49	2,89	32,93	41,60
	24 saat	36,88	7,54	27,04	50,43	52,70	2,97	46,89	54,99
	48 saat	48,40	6,47	35,34	56,57	61,65	2,28	55,89	63,57
	72 saat	54,78	6,64	42,19	63,43	66,43	2,21	64,78	71,18
	1 hafta	62,34	5,25	55,89	72,34	74,31	2,59	70,11	78,98
2 hafta	68,53	5,09	63,84	79,52	80,27	2,59	76,44	86,97	
200°C –10 saat	2 saat	17,66	3,87	12,94	27,11	29,37	4,71	23,13	36,96
	4 saat	26,40	5,62	18,16	35,85	42,12	4,11	35,49	54,22
	8 saat	33,47	5,79	23,61	44,44	53,54	6,71	40,85	69,52
	24 saat	43,41	5,97	32,94	55,40	63,69	6,38	53,26	75,03
	48 saat	53,24	5,83	43,48	66,21	74,62	6,25	64,40	84,95
	72 saat	58,62	4,71	51,49	69,41	79,87	6,35	68,85	92,22
	1 hafta	67,06	4,66	60,17	77,32	87,27	7,01	74,82	102,1
2 hafta	74,22	4,53	67,33	82,65	94,53	7,05	84,78	109,6	

Tablo 15. 130 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekleme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	TEST				KONTROL			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
130 °C – 2 saat	2 saat	73,45	3,61	65,68	77,71	59,19	5,15	49,58	72,25
	4 saat	75,50	2,71	70,50	78,82	60,20	4,57	52,48	72,25
	8 saat	80,77	2,35	75,91	84,22	64,54	4,71	56,38	76,69
	24 saat	90,45	2,46	84,85	95,48	72,88	5,04	64,35	84,78
	48 saat	113,67	2,39	109,46	118,07	97,86	5,71	83,87	107,90
	72 saat	120,13	2,09	115,06	123,86	105,52	5,61	90,66	115,80
	1 hafta	135,27	3,29	127,55	140,83	121,20	6,87	99,32	131,21
	2 hafta	155,38	5,30	144,16	163,81	142,11	10,1	111,21	159,54
130 °C – 6 saat	2 saat	71,17	6,20	56,88	78,76	57,20	10,8	42,04	72,40
	4 saat	75,94	5,11	63,30	82,22	60,16	8,99	49,13	72,90
	8 saat	81,79	5,27	69,72	91,96	64,84	8,50	54,84	76,56
	24 saat	95,07	3,88	83,85	101,54	77,92	8,69	64,53	92,56
	48 saat	112,96	4,27	102,02	118,22	98,63	8,75	83,39	108,78
	72 saat	119,42	3,81	109,17	125,25	105,87	7,11	92,21	115,84
	1 hafta	137,49	7,06	126,06	161,74	124,48	5,89	109,00	131,87
	2 hafta	158,99	5,56	148,99	170,30	148,76	5,67	129,76	155,18
130 °C-10 saat	2 saat	68,17	3,53	60,15	72,94	50,06	3,95	43,13	58,51
	4 saat	74,10	2,98	67,74	78,97	55,50	2,82	49,81	62,06
	8 saat	80,22	2,54	75,74	84,98	60,13	2,27	54,81	65,07
	24 saat	94,60	2,93	89,18	100,78	72,13	2,56	66,54	77,30
	48 saat	113,81	4,20	103,32	119,17	94,83	2,34	89,23	100,20
	72 saat	120,71	4,63	109,42	125,69	103,82	2,36	100,00	108,30
	1 hafta	139,91	6,22	126,88	147,43	125,33	3,70	116,49	131,42
	2 hafta	164,65	8,42	148,57	177,71	153,70	8,36	133,16	164,57

Tablo 16. 150 °C'de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	TEST				KONTROL			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
150 °C – 2 saat	2 saat	66,73	4,29	57,39	72,66	68,89	3,23	63,43	73,08
	4 saat	74,51	2,67	68,96	79,47	72,72	2,67	68,96	79,47
	8 saat	79,54	2,36	74,05	83,21	75,52	2,44	71,99	81,95
	24 saat	86,66	2,08	82,20	91,59	81,17	3,39	74,62	89,05
	48 saat	94,41	2,65	89,96	101,96	89,58	3,61	82,33	95,99
	72 saat	107,29	2,96	102,27	114,87	103,05	2,97	95,49	107,52
	1 hafta	124,00	3,28	118,18	131,90	119,99	3,36	113,91	126,64
	2 hafta	135,25	2,88	130,11	143,25	130,78	3,27	124,25	136,31
150 °C – 6 saat	2 saat	60,67	9,40	49,71	85,62	68,10	2,23	62,91	72,71
	4 saat	70,97	8,02	62,10	94,99	73,95	1,95	68,55	78,49
	8 saat	78,61	78,26	71,91	103,27	78,26	1,30	76,62	82,07
	24 saat	87,91	3,88	76,25	93,10	84,37	1,65	82,18	89,24
	48 saat	102,76	6,78	97,30	129,85	94,87	2,43	91,64	101,59
	72 saat	113,58	7,19	107,34	142,05	106,15	2,31	102,55	111,55
	1 hafta	131,73	7,66	124,53	162,31	118,00	2,24	114,02	122,71
	2 hafta	154,18	8,18	143,96	185,19	138,91	3,25	131,79	143,23
150 °C – 10 saat	2 saat	48,88	13,10	27,65	66,74	55,35	18,32	30,11	76,22
	4 saat	60,54	12,27	41,01	76,78	64,40	13,79	45,26	80,90
	8 saat	72,37	9,00	58,29	83,89	72,17	8,52	57,97	84,27
	24 saat	87,20	5,16	78,48	93,88	78,58	6,62	67,24	88,58
	48 saat	101,72	4,56	92,83	109,83	89,86	7,09	78,88	98,99
	72 saat	112,87	4,21	104,26	119,25	101,16	7,50	88,15	110,14
	1 hafta	134,58	3,43	125,67	139,73	115,78	4,96	106,03	126,04
	2 hafta	154,63	5,38	141,76	165,21	128,29	4,49	120,91	137,28

Tablo 17. 180 °C'de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Bekletme Süresi	TEST				KONTROL			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
180 °C – 2 saat	2 saat	31,85	3,30	27,42	38,79	34,11	1,45	30,65	36,43
	4 saat	43,89	3,75	38,66	51,64	48,62	1,92	41,94	50,90
	8 saat	59,01	5,32	52,55	76,55	60,97	2,30	52,62	63,27
	24 saat	77,60	3,00	72,77	82,84	68,92	2,15	61,29	71,43
	48 saat	88,99	1,82	85,68	91,32	73,32	2,16	65,73	75,51
	72 saat	98,03	2,04	93,61	101,16	79,59	2,91	70,56	83,90
	1 hafta	136,25	2,20	132,60	141,16	107,66	4,70	93,35	115,72
	2 hafta	162,26	3,53	155,07	168,69	127,59	5,2	112,90	133,94
180 °C – 6 saat	2 saat	67,67	7,69	43,88	77,71	61,79	5,90	46,49	71,04
	4 saat	75,90	7,43	52,62	83,67	66,96	4,69	55,96	74,76
	8 saat	83,43	6,30	64,27	89,16	69,83	4,21	60,18	76,52
	24 saat	97,02	3,84	88,37	102,32	78,02	4,49	68,07	86,11
	48 saat	105,78	5,05	92,04	112,03	84,13	4,92	72,81	92,17
	72 saat	114,10	5,10	100,58	121,31	89,60	5,15	77,34	98,04
	1 hafta	144,18	5,62	128,93	150,42	121,50	6,64	105,02	132,68
	2 hafta	160,28	5,27	148,16	166,88	135,59	7,09	117,72	146,97
180 °C – 10 saat	2 saat	71,62	4,58	64,44	80,04	62,13	3,96	54,99	70,80
	4 saat	77,89	4,71	70,91	85,80	65,56	3,66	60,25	73,85
	8 saat	86,54	4,33	80,40	93,21	69,81	3,91	64,49	78,44
	24 saat	96,84	4,23	90,63	103,62	75,52	4,58	70,30	86,07
	48 saat	104,71	4,50	98,15	112,58	81,16	4,90	75,19	92,75
	72 saat	112,95	4,90	105,35	120,26	89,56	5,74	81,49	103,44
	1 hafta	138,73	4,65	131,31	146,91	114,90	7,95	104,89	130,92
	2 hafta	154,50	5,32	147,47	164,61	127,92	8,99	116,79	145,99

Tablo 18. 200 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan ladin odunu test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SAO (%)

Varyasyon	Suda Bekletme Süresi	TEST				KONTROL			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
200 °C – 2 saat	2 saat	59,87	4,43	50,65	66,74	67,26	2,70	63,24	71,59
	4 saat	69,66	3,46	63,97	75,82	71,50	3,29	66,54	80,00
	8 saat	78,32	3,81	71,21	87,38	74,33	3,26	69,02	83,05
	24 saat	89,66	2,97	84,64	94,66	79,18	3,15	74,19	88,19
	48 saat	98,35	3,47	92,41	105,34	84,01	3,21	78,97	93,14
	72 saat	105,11	4,50	97,24	113,14	87,5	3,38	82,22	9,95
	1 hafta	128,72	6,41	115,52	141,27	110,96	4,86	102,60	121,33
	2 hafta	143,00	6,42	130,69	153,59	119,52	5,99	108,94	130,29
200 °C – 6 saat	2 saat	71,19	4,95	35,71	83,48	67,00	6,15	28,01	81,71
	4 saat	78,94	5,53	41,81	90,75	71,56	4,81	35,23	82,93
	8 saat	87,13	5,10	50,63	98,90	75,57	2,66	44,16	85,55
	24 saat	98,63	1,30	69,12	106,83	81,44	1,46	55,68	90,06
	48 saat	106,08	8,62	82,77	111,89	85,78	10,3	60,23	94,75
	72 saat	112,34	7,77	91,39	117,79	90,10	10,6	63,47	99,44
	1 hafta	137,51	5,72	121,22	144,34	114,17	10,8	85,06	123,24
	2 hafta	150,92	5,19	144,54	166,99	121,06	12,5	80,84	130,10
200 °C – 10 saat	2 saat	51,48	7,80	30,16	61,34	55,82	3,29	47,59	61,48
	4 saat	60,29	8,36	36,28	70,14	63,89	2,97	56,84	69,06
	8 saat	69,25	8,96	43,54	79,88	69,38	2,56	63,20	74,85
	24 saat	85,85	9,34	59,41	93,99	75,75	3,77	66,93	81,04
	48 saat	96,27	8,92	70,75	104,33	81,67	2,12	76,88	86,03
	72 saat	103,91	8,84	79,37	112,50	86,23	2,24	80,92	90,62
	1 hafta	135,32	9,38	109,75	145,91	115,72	2,71	108,86	119,12
	2 hafta	154,15	9,62	129,25	166,11	126,08	2,93	118,69	130,00

Tablo 19. 130 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%)

Varyasyon	Suda Bekletme Süresi	KAYIN				LADİN			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
130 °C – 2 saat	2 saat	5,44	2,46	2,54	9,18	-28,00	4,26	-21,12	-36,63
	4 saat	8,67	3,14	4,26	11,79	-28,03	3,14	-21,90	-32,89
	8 saat	9,03	2,80	5,03	13,94	-27,41	2,80	-17,38	-34,63
	24 saat	11,99	2,32	8,43	15,30	-27,01	2,32	-17,99	-37,53
	48 saat	7,75	1,49	5,63	11,03	-17,54	1,49	-11,02	-24,28
	72 saat	6,71	1,63	4,21	9,93	-15,07	1,63	-10,38	-23,23
	1 hafta	5,46	1,37	3,23	7,79	-10,87	1,37	-7,87	-13,99
	2 hafta	5,04	2,20	2,12	9,46	-9,54	2,20	-3,00	-16,04
130 °C – 6 saat	2 saat	13,66	3,34	9,91	20,28	-32,87	13,49	-13,65	-48,68
	4 saat	14,11	3,63	9,16	20,66	-30,59	12,83	-12,02	-45,52
	8 saat	16,60	4,05	11,02	23,75	-28,90	11,37	-12,17	-41,54
	24 saat	15,17	3,12	10,48	21,53	-23,23	9,77	-11,22	-38,42
	48 saat	10,80	2,65	6,49	15,20	-14,49	7,07	-6,30	-26,28
	72 saat	9,10	2,48	5,08	13,62	-12,55	5,94	-4,15	-19,27
	1 hafta	4,25	1,97	1,96	8,05	-11,61	3,22	-5,86	-16,48
	2 hafta	4,00	1,38	2,36	6,20	-6,77	3,35	-2,01	-10,51
130 °C –10 saat	2 saat	15,22	8,30	7,47	32,97	-36,77	7,94	-23,00	-46,76
	4 saat	15,48	6,65	9,37	30,74	-33,72	5,86	-22,96	-42,11
	8 saat	16,19	3,23	11,69	23,06	-33,56	6,15	-22,64	-41,85
	24 saat	17,22	3,22	6,89	19,73	-31,31	6,41	-19,32	-40,87
	48 saat	11,28	1,46	8,48	13,42	-21,18	4,12	-13,11	-25,58
	72 saat	8,85	1,18	7,15	11,04	-16,67	2,32	-12,98	-19,16
	1 hafta	8,33	1,39	6,16	11,37	-11,70	2,77	-8,59	-16,05
	2 hafta	7,97	2,85	4,35	13,19	-8,61	3,35	-4,18	-14,89



Tablo 20. 150 °C'de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı suda bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%)

Varyasyon	Suda Bekletme Süresi	KAYIN				LADİN			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
150 °C – 2 saat	2 saat	9,82	3,17	4,55	14,96	1,38	3,67	-0,92	5,86
	4 saat	11,31	3,64	6,30	19,27	-2,54	2,86	-0,14	1,44
	8 saat	13,38	3,86	7,99	20,36	-4,98	3,20	-0,09	-9,47
	24 saat	11,61	4,14	6,61	22,33	-5,88	2,18	-2,14	-10,73
	48 saat	8,55	3,71	4,94	15,60	-4,95	3,00	-0,82	-11,60
	72 saat	7,26	2,80	4,29	11,94	-3,39	1,77	-0,16	-5,75
	1 hafta	4,21	1,51	2,17	6,97	-2,76	2,98	-0,58	-11,34
	2 hafta	3,56	1,67	1,31	5,81	-2,72	2,64	-0,23	-7,18
150 °C – 6 saat	2 saat	14,25	6,67	5,20	24,42	9,10	13,88	-3,92	23,38
	4 saat	14,32	5,14	8,35	22,21	4,30	8,03	-2,79	12,22
	8 saat	14,86	4,23	9,16	20,44	1,28	5,94	-2,40	9,47
	24 saat	12,95	2,86	7,57	17,44	-3,38	3,84	-0,96	7,84
	48 saat	8,23	1,66	3,42	10,58	-6,81	2,89	-1,59	-11,23
	72 saat	7,01	1,55	4,94	10,39	-6,63	2,09	-3,15	-9,06
	1 hafta	6,93	1,23	4,88	9,29	-9,91	1,63	-6,96	-11,87
	2 hafta	6,82	2,14	1,87	9,80	-10,13	2,09	-7,56	-14,65
150 °C – 10 saat	2 saat	21,76	5,09	12,35	32,51	9,50	9,44	-1,68	27,10
	4 saat	22,89	4,99	15,88	32,87	5,83	6,64	-4,34	15,21
	8 saat	23,36	3,65	18,27	31,89	1,52	7,06	-1,00	21,42
	24 saat	20,07	4,36	14,41	31,02	-9,87	6,55	-3,21	7,70
	48 saat	14,39	3,02	9,86	20,50	-13,68	6,85	-0,14	-22,38
	72 saat	12,20	2,33	8,23	16,03	-12,08	6,88	-1,54	-24,09
	1 hafta	6,83	2,43	2,33	11,23	-16,69	4,50	-11,56	-24,83
	2 hafta	4,42	2,45	1,31	8,10	-18,58	5,02	-11,15	-27,82

Tablo 21. 180 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıt işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı suda bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%)

Varyasyon	Suda Bekletme Süresi	KAYIN				LADİN			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
180 °C – 2 saat	2 saat	24,88	2,75	15,99	29,41	10,83	9,02	-8,18	20,46
	4 saat	28,96	3,82	21,60	35,28	10,00	8,99	-1,59	19,82
	8 saat	29,75	4,66	21,57	39,34	4,49	7,32	-0,31	14,19
	24 saat	27,75	2,31	24,68	32,64	-12,63	4,28	-6,22	-19,95
	48 saat	20,96	2,26	17,91	25,79	-21,46	4,10	-15,69	-35,16
	72 saat	12,70	1,91	10,32	16,11	-21,32	2,13	-16,84	-23,73
	1 hafta	12,07	2,30	8,36	16,76	-25,55	3,14	-18,74	-29,86
	2 hafta	13,32	1,95	10,32	17,48	-26,90	4,64	-21,43	-41,35
180 °C – 6 saat	2 saat	33,90	7,69	16,02	42,30	-10,28	11,97	-0,70	10,60
	4 saat	34,32	5,66	23,16	43,18	-13,52	10,57	-3,45	5,97
	8 saat	35,22	5,93	24,02	40,17	-18,86	8,29	-3,31	-30,21
	24 saat	33,94	2,92	28,96	39,55	-23,06	6,53	-10,73	-34,37
	48 saat	26,85	2,05	23,17	29,24	-26,59	5,56	-17,28	-37,76
	72 saat	25,19	3,04	20,56	29,15	-26,41	4,57	-15,81	-33,92
	1 hafta	17,28	1,86	14,51	19,87	-18,18	4,19	-11,12	-26,84
	2 hafta	17,17	2,68	11,49	20,88	-17,37	3,24	-11,61	-21,98
180 °C – 10 saat	2 saat	34,78	3,68	29,39	42,44	-15,49	7,46	-7,02	2,32
	4 saat	35,25	2,31	29,16	38,40	-18,96	6,71	-2,33	-29,25
	8 saat	36,14	2,22	32,59	40,43	-24,14	6,31	-9,33	-30,95
	24 saat	34,68	1,14	31,54	36,58	-27,89	6,11	-14,89	-36,39
	48 saat	27,22	1,49	24,52	29,83	-29,25	6,10	-17,27	-36,31
	72 saat	21,45	1,89	18,08	23,78	-28,16	6,12	-20,10	-36,30
	1 hafta	16,57	2,32	12,01	19,94	-20,04	5,07	-10,84	-27,95
	2 hafta	16,09	2,17	11,13	20,15	-19,56	4,16	-12,43	25,42

Tablo 22. 200 °C’de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin farklı suda bekletme sürelerine ait ortalama SİE değerleri (%)

Varyasyon	Suda Bekletme Süresi	KAYIN				LADİN			
		x	s	min	mak	x	s	min	mak
200 °C – 2 saat	2 saat	28,47	5,87	17,86	36,47	9,08	7,27	-2,97	19,87
	4 saat	29,06	5,81	19,98	38,37	4,67	7,33	-5,59	15,01
	8 saat	29,64	6,18	20,46	43,02	-5,52	6,42	-2,24	6,60
	24 saat	26,95	4,45	19,64	33,03	-13,35	4,96	-5,50	-23,08
	48 saat	24,69	4,17	18,35	31,01	-16,54	4,46	-9,51	-24,05
	72 saat	19,12	4,94	10,87	25,92	-18,47	4,87	-10,13	-25,16
	1 hafta	16,89	5,64	10,52	25,17	-17,13	3,19	-12,64	-24,36
	2 hafta	14,57	5,95	8,09	23,70	-19,70	3,43	-15,09	-24,93
200 °C – 6 saat	2 saat	36,76	5,54	27,69	43,07	-6,49	5,49	-2,05	4,07
	4 saat	34,27	8,10	23,05	45,32	-11,24	3,71	-2,76	-18,67
	8 saat	36,29	6,76	26,67	54,55	-14,68	7,70	-10,65	14,67
	24 saat	30,33	10,13	14,15	40,73	-20,22	5,62	-18,04	1,12
	48 saat	21,43	8,04	11,47	32,70	-22,77	3,42	-18,09	-32,83
	72 saat	17,64	9,77	10,37	34,00	-22,57	2,49	-17,82	-25,98
	1 hafta	16,72	5,17	9,30	22,93	-18,10	3,95	-12,36	-28,19
	2 hafta	14,59	4,88	8,66	21,28	-20,01	3,85	-15,13	-32,16
200 °C – 10 saat	2 saat	41,71	4,12	33,29	47,89	3,49	6,04	-2,54	11,40
	4 saat	42,21	7,39	24,28	51,69	1,43	4,84	-0,00	9,59
	8 saat	42,52	3,07	37,13	48,11	-3,02	6,12	-0,38	13,87
	24 saat	33,56	6,10	25,27	46,04	-16,69	3,66	-12,86	-26,22
	48 saat	29,94	3,92	24,05	34,59	-20,99	2,96	-15,37	-26,82
	72 saat	27,39	2,89	23,75	31,13	-22,78	3,95	-12,51	-29,98
	1 hafta	23,70	3,44	17,80	32,31	-20,31	2,94	-15,48	-25,59
	2 hafta	23,30	4,60	16,50	35,38	-19,88	7,07	-3,82	-25,66

Tablo 23. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama GET değerleri (%)

GET	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADİN			
			x	s	min.	mak.	x	s	min.	mak.
GET	130	2	6,70	1,99	2,51	9,76	0,13	3,14	-4,36	8,01
		6	7,63	1,97	4,76	10,69	2,68	3,40	-4,76	8,33
		10	9,42	2,81	6,82	13,98	7,15	3,95	1,53	16,66
	150	2	12,59	2,23	9,28	16,26	7,08	3,57	3,66	15,66
		6	16,33	2,73	12,19	21,65	8,42	2,53	4,26	13,33
		10	19,53	2,21	15,22	22,82	19,73	3,26	15,23	24,86
	180	2	28,90	3,35	21,55	36,72	18,32	3,08	15,23	22,90
		6	40,68	2,93	36,61	45,94	30,60	2,92	25,23	34,65
		10	42,64	2,78	38,54	48,57	32,99	3,84	26,55	39,97
200	2	48,16	3,78	40,02	54,11	31,35	2,95	26,11	35,95	
	6	52,25	2,92	46,77	55,83	37,29	3,33	31,73	42,29	
	10	52,94	1,96	50,37	56,46	40,19	2,58	36,05	45,05	

Farklı sıcaklık ve süre kombinasyonlarında ısıtılma tabii tutulduktan sonra farklı suda bekletme sürelerindeki su alma oranları belirlenen kayın ve ladin odunu test örneklerinin kontrolleriyle karşılaştırıldığı BVA sonuçları her bir varyasyon için ayrı ayrı tablolar halinde sunulmaktadır. 130, 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat süreli varyasyonlarda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO'larına ilişkin BVA sonuçları sırasıyla Tablo 24 - Tablo 35'te, aynı sıcaklık ve sürelerde muamele edilen ladin odunu örneklerinin SAO'larına ilişkin BVA sonuçları ise sırasıyla Tablo 36 - Tablo 47'de verilmektedir.

Tablo 24. 130 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’larına ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
130°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	17,197	1	17,197	2,378	BD
		Gruplar içi	289,287	40	7,232		
		Toplam	306,484	41			
	4 saat	Gruplar arası	123,215	1	123,215	10,607	**
		Gruplar içi	464,642	40	11,616		
		Toplam	587,857	41			
	8 saat	Gruplar arası	115,622	1	115,622	5,086	*
		Gruplar içi	909,404	40	22,735		
Toplam		1025,026	41				
24 saat	Gruplar arası	468,500	1	468,500	14,712	***	
	Gruplar içi	1273,823	40	31,846			
	Toplam	1742,323	41				
48 saat	Gruplar arası	210,644	1	210,644	7,186	*	
	Gruplar içi	1172,549	40	29,314			
	Toplam	1383,193	41				
72 saat	Gruplar arası	131,063	1	131,063	6,566	*	
	Gruplar içi	798,386	40	19,960			
	Toplam	929,448	41				
1 hafta	Gruplar arası	48,910	1	48,910	5,871	*	
	Gruplar içi	333,225	40	8,331			
	Toplam	382,135	41				
2 hafta	Gruplar arası	11,241	1	11,241	2,389	BD	
	Gruplar içi	188,232	40	4,706			
	Toplam	199,473	41				

Tablo 24’e göre; 130 °C’de 2 saat süreyle ısıtılma tabii tutulan kayın odunu örneklerinin 2 saatlik ve 2 haftalık suda bekletme süreleri sonunda, SAO ‘ları açısından test ve kontrol örnekleri arasında 0,05 yanılma ihtimaliyle fark bulunmazken, 4 saatlik suda bekletme sonucunda 0,01; 24 saatlik suda bekletme sonunda 0,001 ve 8, 48, 72 saat ve 1 haftalık suda bekletme süreleri sonunda ise 0,05 anlam düzeyinde önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Tablo 25. 130 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
130°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	38,528	1	38,528	5,377	*
		Gruplar içi	286,600	40	7,165		
		Toplam	325,129	41			
	4 saat	Gruplar arası	110,808	1	110,808	7,590	**
		Gruplar içi	583,941	40	14,599		
		Toplam	694,750	41			
	8 saat	Gruplar arası	292,264	1	292,264	10,981	**
		Gruplar içi	1064,586	40	26,615		
Toplam		1356,850	41				
24 saat	Gruplar arası	527,823	1	527,823	9,879	**	
	Gruplar içi	2137,202	40	53,430			
	Toplam	2665,024	41				
48 saat	Gruplar arası	330,362	1	330,362	6,276	*	
	Gruplar içi	2105,593	40	52,640			
	Toplam	2435,956	41				
72 saat	Gruplar arası	231,419	1	231,419	5,652	*	
	Gruplar içi	1637,912	40	40,948			
	Toplam	1869,331	41				
1 hafta	Gruplar arası	38,887	1	38,887	2,147	BD	
	Gruplar içi	724,467	40	18,112			
	Toplam	763,354	41				
2 hafta	Gruplar arası	32,853	1	32,853	2,714	BD	
	Gruplar içi	484,208	40	12,105			
	Toplam	517,062	41				

Test örnekleri ile kontrol örneklerinin SAO’ları arasındaki fark 2, 48 ve 72 saatlik suda bekletme sürelerinde 0,05 anlam düzeyinde, 4, 8 ve 24 saatlik suda bekletme sürelerinde ise 0,01 anlam düzeyinde önemli bulunurken; 1 ve 2 haftalık suda bekletme periyotlarında ise SAO’ları açısından test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılığın 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu görülmektedir.

Tablo 26. 130 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
130°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası	158,986	1	158,986	18,774	***
		Gruplar içi	355,671	42	8,468		
		Toplam	514,657	43			
	4 saat	Gruplar arası	328,351	1	328,351	18,931	***
		Gruplar içi	728,456	42	17,344		
		Toplam	1056,806	43			
	8 saat	Gruplar arası	1819,167	1	1819,167	5,433	*
		Gruplar içi	14064,25	42	334,863		
		Toplam	15883,41	43			
	24 saat	Gruplar arası	751,956	1	751,956	22,773	***
		Gruplar içi	1386,841	42	33,020		
		Toplam	2138,797	43			
	48 saat	Gruplar arası	493,849	1	493,849	13,769	***
		Gruplar içi	1506,422	42	35,867		
Toplam		2000,271	43				
72 saat	Gruplar arası	349,828	1	349,828	9,437	**	
	Gruplar içi	1556,947	42	37,070			
	Toplam	1906,775	43				
1 hafta	Gruplar arası	77,843	1	77,843	2,587	BD	
	Gruplar içi	1263,764	42	30,090			
	Toplam	1341,607	43				
2 hafta	Gruplar arası	7,435	1	7,435	0,268	BD	
	Gruplar içi	1163,612	42	27,705			
	Toplam	1171,046	43				

BVA sonuçlarına göre; sözkonusu varyasyonda 2, 4, 24 ve 48 saatlik suda bekletme süreleri sonunda SAO’ları açısından test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde; 72 saatlik suda bekletme süresi sonunda 0,01 anlam düzeyinde ve 8 saatlik suda bekletme süresi sonunda 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. 1 ve 2 haftalık bekletme periyotları sonunda ise meydana gelen farklılığın 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 27. 150 °C'de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO'na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
150°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	5,710	1	5,710	2,911	BD
		Gruplar içi	78,457	40	1,961		
		Toplam	84,167	41			
	4 saat	Gruplar arası	9,696	1	9,696	3,017	BD
		Gruplar içi	128,570	40	3,214		
		Toplam	138,266	41			
	8 saat	Gruplar arası	148,079	1	148,079	17,364	***
		Gruplar içi	341,113	40	8,528		
Toplam		489,191	41				
24 saat	Gruplar arası	357,067	1	357,067	29,862	***	
	Gruplar içi	478,294	40	11,957			
	Toplam	835,361	41				
48 saat	Gruplar arası	179,611	1	179,611	17,342	***	
	Gruplar içi	414,273	40	10,357			
	Toplam	593,884	41				
72 saat	Gruplar arası	151,305	1	151,305	17,578	***	
	Gruplar içi	344,304	40	8,608			
	Toplam	495,609	41				
1 hafta	Gruplar arası	248,521	1	248,521	23,032	***	
	Gruplar içi	431,601	40	10,790			
	Toplam	680,122	41				
2 hafta	Gruplar arası	115,001	1	115,001	17,449	***	
	Gruplar içi	263,625	40	6,591			
	Toplam	378,627	41				

150 °C'de 2 saat süreyle ısıtılma maruz bırakıldıktan sonra 2 ve 4 saat süreyle suda bekletilen test örnekleri ile kontrol örneklerinin SAO'ları bakımından ortaya koyduğu farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu, diğer varyasyonlarda ise bu farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu gözlenmektedir.



Tablo 28. 150 °C'de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO'na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
150°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	61,508	1	61,508	13,900	***
		Gruplar içi	176,998	40	4,425		
		Toplam	238,506	41			
	4 saat	Gruplar arası	134,587	1	134,587	25,338	***
		Gruplar içi	212,470	40	5,312		
		Toplam	347,057	41			
	8 saat	Gruplar arası	273,901	1	273,901	40,406	***
		Gruplar içi	271,150	40	6,779		
Toplam		545,051	41				
24 saat	Gruplar arası	658,658	1	658,658	65,489	***	
	Gruplar içi	402,302	40	10,058			
	Toplam	1060,960	41				
48 saat	Gruplar arası	335,083	1	335,083	34,175	***	
	Gruplar içi	392,195	40	9,805			
	Toplam	727,278	41				
72 saat	Gruplar arası	247,872	1	247,872	28,220	***	
	Gruplar içi	351,342	40	8,784			
	Toplam	599,214	41				
1 hafta	Gruplar arası	272,547	1	272,547	19,928	***	
	Gruplar içi	547,055	40	13,676			
	Toplam	819,601	41				
2 hafta	Gruplar arası	362,737	1	362,737	20,194	***	
	Gruplar içi	718,499	40	17,962			
	Toplam	1081,236	41				

Söz konusu varyasyondan elde edilen BVA sonuçlarına göre; test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerindeki SAO'ları bakımından ortaya koydukları farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 29. 150 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
150°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası	23,192	1	23,192	7,391	**
		Gruplar içi	125,510	40	3,138		
		Toplam	148,702	41			
	4 saat	Gruplar arası	70,081	1	70,081	21,795	***
		Gruplar içi	128,615	40	3,215		
		Toplam	198,696	41			
	8 saat	Gruplar arası	295,814	1	295,814	91,958	***
		Gruplar içi	128,673	40	3,217		
Toplam		424,487	41				
24 saat	Gruplar arası	914,732	1	914,732	95,371	***	
	Gruplar içi	383,652	40	9,591			
	Toplam	1298,385	41				
48 saat	Gruplar arası	435,524	1	435,524	314,22	***	
	Gruplar içi	55,441	40	1,386			
	Toplam	490,965	41				
72 saat	Gruplar arası	296,028	1	296,028	300,49	***	
	Gruplar içi	39,405	40	0,985			
	Toplam	335,433	41				
1 hafta	Gruplar arası	274,669	1	274,669	54,102	***	
	Gruplar içi	203,075	40	5,077			
	Toplam	477,745	41				
2 hafta	Gruplar arası	430,611	1	430,611	95,667	***	
	Gruplar içi	180,045	40	4,501			
	Toplam	610,657	41				

150 °C’de 10 saat süreyle ısıtılma işlemi gören kayın odunu test örneklerinde farklı bekletme sürelerine ait SAO’nun kontrolleriyle karşılaştırıldığı BVA sonuçlarına göre; test ve kontrol örnekleri arasında tespit edilen farklılığın 2 saatlik suda bekletme sonunda 0,01; diğer bekletme sürelerine ait varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 30. 180 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
180°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	253,808	1	253,808	280,84	***
		Gruplar içi	37,957	42	0,904		
		Toplam	291,765	43			
	4 saat	Gruplar arası	749,787	1	749,787	384,28	***
		Gruplar içi	81,947	42	1,951		
		Toplam	831,734	43			
	8 saat	Gruplar arası	1389,644	1	1389,644	411,17	***
		Gruplar içi	141,949	42	3,380		
Toplam		1531,593	43				
24 saat	Gruplar arası	2742,085	1	2742,085	812,60	***	
	Gruplar içi	141,727	42	3,374			
	Toplam	2883,811	43				
48 saat	Gruplar arası	2315,427	1	2315,427	561,03	***	
	Gruplar içi	173,338	42	4,127			
	Toplam	2488,765	43				
72 saat	Gruplar arası	957,165	1	957,165	343,79	***	
	Gruplar içi	116,933	42	2,784			
	Toplam	1074,097	43				
1 hafta	Gruplar arası	821,474	1	821,474	169,00	***	
	Gruplar içi	204,15	42	4,861			
	Toplam	1025,624	43				
2 hafta	Gruplar arası	1348,208	1	1348,208	183,24	***	
	Gruplar içi	309,014	42	7,357			
	Toplam	1657,223	43				

Tablo 30’da görülen BVA sonuçlarına göre; test ve kontrol örneklerinin farklı bekletme sürelerindeki SAO’ları bakımından ortaya koydukları farklılıkların, 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 31. 180 °C'de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO'na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
180°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	530,958	1	530,985	181,51	***
		Gruplar içi	117,014	40	2,925		
		Toplam	647,999	41			
	4 saat	Gruplar arası	1042,932	1	1042,932	149,69	***
		Gruplar içi	278,674	40	6,967		
		Toplam	1321,606	41			
	8 saat	Gruplar arası	2098,583	1	2098,583	146,74	***
		Gruplar içi	572,052	40	14,301		
Toplam		2670,635	41				
24 saat	Gruplar arası	3158,461	1	3158,461	410,00	***	
	Gruplar içi	308,143	40	7,704			
	Toplam	3466,604	41				
48 saat	Gruplar arası	2346,981	1	2346,981	497,12	***	
	Gruplar içi	188,843	40	4,721			
	Toplam	2535,824	41				
72 saat	Gruplar arası	2676,681	1	2676,681	335,05	***	
	Gruplar içi	319,556	40	7,989			
	Toplam	2996,237	41				
1 hafta	Gruplar arası	1574,434	1	1574,434	283,12	***	
	Gruplar içi	222,438	40	5,561			
	Toplam	1796,872	41				
2 hafta	Gruplar arası	2071,053	1	2071,053	231,76	***	
	Gruplar içi	357,435	40	8,936			
	Toplam	2428,489	41				

BVA sonuçlarına göre, SAO'ları bakımından test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıklar her bir bekletme periyodu için 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı farklılıklar içermektedir.

Tablo 32. 180 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
180°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası	553,730	1	553,730	329,68	***
		Gruplar içi	67,182	40	1,680		
		Toplam	620,912	41			
	4 saat	Gruplar arası	1050,27	1	1050,273	387,60	***
		Gruplar içi	108,387	40	2,710		
		Toplam	1158,659	41			
	8 saat	Gruplar arası	1972,313	1	1972,31	559,81	***
		Gruplar içi	140,927	40	3,523		
Toplam		2113,24	41				
24 saat	Gruplar arası	3336,144	1	3336,144	1279,7	***	
	Gruplar içi	104,272	40	2,607			
	Toplam	3440,416	41				
48 saat	Gruplar arası	2713,713	1	2713,713	1158,2	***	
	Gruplar içi	93,715	40	2,343			
	Toplam	2807,428	41				
72 saat	Gruplar arası	2039,975	1	2039,975	484,62	***	
	Gruplar içi	168,377	40	4,209			
	Toplam	2208,352	41				
1 hafta	Gruplar arası	1222,636	1	1222,636	209,86	***	
	Gruplar içi	233,034	40	5,826			
	Toplam	1455,670	41				
2 hafta	Gruplar arası	1424,655	1	1424,655	163,41	***	
	Gruplar içi	348,713	40	8,718			
	Toplam	1773,368	41				

Tablo 32’ye göre; farklı bekletme sürelerinde SAO’ları açısından test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 33. 200 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
200°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	314,99	1	314,999	50,392	***
		Gruplar içi	250,040	40	6,251		
		Toplam	565,038	41			
	4 saat	Gruplar arası	528,430	1	528,430	66,022	***
		Gruplar içi	320,156	40	8,004		
		Toplam	848,585	41			
	8 saat	Gruplar arası	914,399	1	914,399	101,73	***
		Gruplar içi	359,538	40	8,988		
Toplam		1273,937	41				
24 saat	Gruplar arası	1704,290	1	1704,290	235,26	***	
	Gruplar içi	289,761	40	7,244			
	Toplam	1994,051	41				
48 saat	Gruplar arası	1707,599	1	1707,599	324,40	***	
	Gruplar içi	210,549	40	5,264			
	Toplam	1918,147	41				
72 saat	Gruplar arası	1442,172	1	1442,172	253,57	***	
	Gruplar içi	227,491	40	5,687			
	Toplam	1669,663	41				
1 hafta	Gruplar arası	1070,000	1	1070,000	151,60	***	
	Gruplar içi	282,312	40	7,058			
	Toplam	1352,312	41				
2 hafta	Gruplar arası	772,596	1	772,596	90,904	***	
	Gruplar içi	339,962	40	8,499			
	Toplam	1112,558	41				

Bu analizlerden, farklı bekletme sürelerine ait SAO’larının test ve kontrol örnekleri açısından 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı farklılıklar içerdiği sonucuna varılmaktadır.

Tablo 34. 200 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
200°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	13,333	1	13,333	0,819	BD
		Gruplar içi	651,136	40	16,278		
		Toplam	664,468	41			
	4 saat	Gruplar arası	31,451	1	31,451	1,200	BD
		Gruplar içi	1048,516	40	26,213		
		Toplam	1079,967	41			
	8 saat	Gruplar arası	245,737	1	245,737	7,743	**
		Gruplar içi	1269,422	40	31,736		
Toplam		1515,159	41				
24 saat	Gruplar arası	1211,929	1	1211,929	36,883	***	
	Gruplar içi	1314,356	40	32,859			
	Toplam	2526,285	41				
48 saat	Gruplar arası	1120,592	1	1120,592	47,576	***	
	Gruplar içi	942,148	40	23,554			
	Toplam	2062,740	41				
72 saat	Gruplar arası	1568,876	1	1568,876	64,020	***	
	Gruplar içi	980,237	40	24,506			
	Toplam	2549,112	41				
1 hafta	Gruplar arası	1037,134	1	1037,134	60,330	***	
	Gruplar içi	687,646	40	17,191			
	Toplam	1724,780	41				
2 hafta	Gruplar arası	904,115	1	904,115	55,315	***	
	Gruplar içi	653,790	40	16,345			
	Toplam	1557,905	41				

Tablo 34’ten; 2 ve 4 saatlik suda bekletme sürelerinde, SAO’ları bakımından test ve kontrol örnekleri arasında ortaya çıkan farklılıkların 0,05 yanılma ihtimaliyle önemsiz olduğu; 8 saatlik suda bekletme periyodunda 0,01, ve diğer bekletme periyotlarında ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 35. 200 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen kayın odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
200°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	1404,562 723,437 2127,99	1 39 40	1404,562 18,550	75,719	***
	4 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	2532,186 955,471 3487,657	1 39 40	2532,186 24,499	103,35	***
	8 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	4129,071 1527,771 5656,843	1 39 40	4129,071 39,174	105,40	***
	24 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	4211,485 1488,875 5700,361	1 39 40	4211,485 38,176	110,31	***
	48 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	4683,645 1423,594 6107,239	1 39 40	4683,645 36,502	128,31	***
	72 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	4624,719 1211,696 5836,415	1 39 40	4624,719 31,069	148,85	***
	1 hafta	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	4181,933 1369,763 5551,697	1 39 40	4181,933 35,122	119,06	***
	2 hafta	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	4225,335 1356,609 5581,944	1 39 40	4225,335 34,785	121,47	***

Bu analizlerden, farklı bekletme sürelerine ait SAO’larının test ve kontrol örnekleri arasında, 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı farklılıklar bulunduğu anlaşılmaktadır.



Tablo 36. 130 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
130°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	2031,742	1	2031,742	102,47	***
		Gruplar içi	753,453	38	19,828		
		Toplam	2785,195	39			
	4 saat	Gruplar arası	2341,733	1	2341,733	165,38	***
		Gruplar içi	538,058	38	14,159		
		Toplam	2879,791	39			
	8 saat	Gruplar arası	2635,298	1	2635,298	189,52	***
		Gruplar içi	528,387	38	13,905		
		Toplam	3163,685	39			
	24 saat	Gruplar arası	3084,375	1	3084,375	195,43	***
		Gruplar içi	599,719	38	15,782		
		Toplam	3684,094	39			
	48 saat	Gruplar arası	2499,023	1	2499,023	130,20	***
		Gruplar içi	729,357	38	19,194		
Toplam		3228,380	39				
72 saat	Gruplar arası	2135,785	1	2135,785	118,84	***	
	Gruplar içi	682,915	38	17,971			
	Toplam	2818,700	39				
1 hafta	Gruplar arası	1980,377	1	1980,377	68,078	***	
	Gruplar içi	1105,415	38	29,090			
	Toplam	3085,792	39				
2 hafta	Gruplar arası	1760,111	1	1760,111	26,766	***	
	Gruplar içi	2498,812	38	65,758			
	Toplam	4258,923	39				

Tablo 36’ya göre; farklı bekletme sürelerinde SAO’ları açısından test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 37. 130 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
130°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	1952,502	1	1952,502 77,815	25,092	***
		Gruplar içi	2956,957	38			
		Toplam	4909,459	39			
	4 saat	Gruplar arası	2490,301	1	2490,301 53,545	46,508	***
		Gruplar içi	2034,726	38			
		Toplam	4525,026	39			
	8 saat	Gruplar arası	2872,699	1	2872,699 50,037	57,411	***
		Gruplar içi	1901,407	38			
Toplam		4774,106	39				
24 saat	Gruplar arası	2942,264	1	2942,264 45,381	64,835	***	
	Gruplar içi	1724,465	38				
	Toplam	4666,729	39				
48 saat	Gruplar arası	2052,008	1	2052,008 47,455	43,241	***	
	Gruplar içi	1803,291	38				
	Toplam	3855,299	39				
72 saat	Gruplar arası	1835,950	1	1835,950 32,547	56,409	***	
	Gruplar içi	1236,799	38				
	Toplam	3072,748	39				
1 hafta	Gruplar arası	1693,124	1	1693,124 42,332	39,996	***	
	Gruplar içi	1608,624	38				
	Toplam	3301,748	39				
2 hafta	Gruplar arası	1044,621	1	1044,621 31,568	33,091	***	
	Gruplar içi	1199,578	38				
	Toplam	2244,198	39				

Buna göre; test ve kontrol örnekleri arasında SAO’ları açısından her farklı bekletme süresi için 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı farklılıklar gözlenmektedir.

Tablo 38. 130 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
130°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	3280,415 534,006 3814,421	1 38 39	3280,415 14,053	233,43	***
	4 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	3459,116 321,016 3780,132	1 38 39	3459,116 8,448	409,47	***
	8 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	4034,626 221,942 4256,568	1 38 39	4034,626 5,841	690,79	***
	24 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	5048,523 288,771 5337,294	1 38 39	5048,523 7,599	664,34	***
	48 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	3602,734 440,386 4043,12	1 38 39	3602,734 11,589	310,87	***
	72 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	2850,484 515,281 3365,764	1 38 39	2850,484 13,560	210,21	***
	1 hafta	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	2126,705 996,436 3123,140	1 38 39	2126,705 26,222	81,104	***
	2 hafta	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	1199,066 2678,253 3877,319	1 38 39	1199,066 70,480	17,013	***

Tablo 38’e göre; farklı bekletme sürelerindeki test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasında, 0,001 yanılma ihtimaliyle istatistiksel anlamda önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Tablo 39. 150 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
150°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	46,596	1	46,596	3,221	BD
		Gruplar içi	549,66	38	14,465		
		Toplam	596,261	39			
	4 saat	Gruplar arası	0,000	1	0,000	0,000	BD
		Gruplar içi	271,675	38	7,149		
		Toplam	271,675	39			
	8 saat	Gruplar arası	161,311	1	161,311	27,953	***
		Gruplar içi	219,289	38	5,771		
Toplam		380,601	39				
24 saat	Gruplar arası	302,262	1	302,262	37,957	***	
	Gruplar içi	302,603	38	7,963			
	Toplam	604,865	39				
48 saat	Gruplar arası	233,890	1	233,890	23,298	***	
	Gruplar içi	381,489	38	10,039			
	Toplam	615,379	39				
72 saat	Gruplar arası	179,321	1	179,321	20,264	***	
	Gruplar içi	336,271	38	8,849			
	Toplam	515,592	39				
1 hafta	Gruplar arası	160,995	1	160,995	14,584	***	
	Gruplar içi	419,484	38	11,039			
	Toplam	580,479	39				
2 hafta	Gruplar arası	200,116	1	200,116	21,023	***	
	Gruplar içi	361,726	38	9,519			
	Toplam	561,842	39				

Elde edilen sonuçlara göre; 2 ve 4 saat süreyle suda bekletilen ladin odunu test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasında 0,05 anlam düzeyinde önemli farklılıkların bulunmadığı tespit edilirken, diğer varyasyonlar için ortaya çıkan farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu gözlenmektedir.

Tablo 40. 150 °C'de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO'na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
150°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	552,211	1	552,211	11,824	***
		Gruplar içi	1774,691	38	46,702		
		Toplam	2326,902	39			
	4 saat	Gruplar arası	88,680	1	88,68	2,597	BD
		Gruplar içi	1297,637	38	34,148		
		Toplam	1386,318	39			
	8 saat	Gruplar arası	1,245	1	1,245	0,046	BD
		Gruplar içi	1025,905	38	26,997		
Toplam		1027,150	39				
24 saat	Gruplar arası	125,367	1	125,367	14,061	***	
	Gruplar içi	338,809	38	8,916			
	Toplam	464,176	39				
48 saat	Gruplar arası	622,638	1	622,638	23,945	***	
	Gruplar içi	988,091	38	26,002			
	Toplam	1610,729	39				
72 saat	Gruplar arası	551,897	1	551,897	19,324	***	
	Gruplar içi	1085,273	38	28,560			
	Toplam	1637,171	39				
1 hafta	Gruplar arası	1883,243	1	1883,243	59,123	***	
	Gruplar içi	1210,418	38	31,853			
	Toplam	3093,661	39				
2 hafta	Gruplar arası	2329,864	1	2329,864	60,022	***	
	Gruplar içi	1475,045	38	38,817			
	Toplam	3804,909	39				

BVA sonuçlarından; 4 ve 8 saat süreyle suda bekletilen ladin odunu test ve kontrol örnekleri arasında, SAO'ları bakımından 0,05 anlam düzeyinde önemli farklılıkların bulunmadığı; diğer bekletme sürelerinde ortaya çıkan farklılıkların ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 41. 150 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
150°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	439,500 10148,46 10587,96	1 40 41	439,500 253,711	1,732	BD
	4 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	156,418 6818,572 6974,989	1 40 41	156,418 170,464	0,918	BD
	8 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	0,410 3073,684 3074,094	1 40 41	0,410 76,842	0,005	BD
	24 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	779,002 1411,818 2190,820	1 40 41	779,002 35,295	22,071	***
	48 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	1477,171 1423,461 2900,632	1 40 41	1477,171 35,587	41,509	***
	72 saat	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	1439,044 1482,324 2921,368	1 40 41	1439,044 37,058	38,832	***
	1 hafta	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	3712,780 729,898 4442,678	1 40 41	3712,780 18,247	203,46	***
	2 hafta	Gruplar arası Gruplar içi Toplam	7289,540 985,197 8274,737	1 40 41	7289,540 24,630	295,96	***

Elde edilen sonuçlara göre; 2, 4 ve 8 saat süreyle suda bekletilen ladin odunu test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasında 0,05 yanılma ihtimaliyle önemli farklılıkların bulunmadığı tespit edilirken, diğer varyasyonlar için ortaya çıkan farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 42. 180 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
180°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	50,685	1	50,685	7,766	**
		Gruplar içi	248,002	38	6,526		
		Toplam	298,686	39			
	4 saat	Gruplar arası	223,811	1	223,811	25,081	***
		Gruplar içi	339,101	38	8,924		
		Toplam	562,912	39			
	8 saat	Gruplar arası	38,408	1	38,408	2,278	BD
		Gruplar içi	640,635	38	16,859		
		Toplam	679,043	39			
	24 saat	Gruplar arası	751,881	1	751,881	110,24	***
		Gruplar içi	259,170	38	6,820		
		Toplam	1011,051	39			
	48 saat	Gruplar arası	2455,358	1	2455,358	612,77	***
		Gruplar içi	152,264	38	4,007		
Toplam		2607,622	39				
72 saat	Gruplar arası	3400,261	1	3400,261	537,10	***	
	Gruplar içi	240,570	38	6,331			
	Toplam	3640,831	39				
1 hafta	Gruplar arası	8174,755	1	8174,755	605,81	***	
	Gruplar içi	512,766	38	13,494			
	Toplam	8687,521	39				
2 hafta	Gruplar arası	12017,50	1	12017,503	600,50	***	
	Gruplar içi	760,472	38	20,012			
	Toplam	12777,97	39				

Tablo 42’deki sonuçlardan; 2 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasında 0,01 anlam düzeyinde önemli farklılıkların bulunduğu , 8 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasındaki farklılıkların 0,05 yanılma ihtimaliyle önemsiz olduğu, diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıkların ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 43. 180 °C’de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
180°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	345,648	1	345,648	7,351	**
		Gruplar içi	1786,750	38	47,020		
		Toplam	2132,399	39			
	4 saat	Gruplar arası	799,761	1	799,761	20,674	***
		Gruplar içi	1469,991	38	38,684		
		Toplam	2269,752	39			
	8 saat	Gruplar arası	1850,723	1	1850,723	64,447	***
		Gruplar içi	1091,239	38	28,717		
		Toplam	2941,961	39			
	24 saat	Gruplar arası	3609,522	1	3609,522	206,54	***
		Gruplar içi	664,090	38	17,476		
		Toplam	4273,611	39			
	48 saat	Gruplar arası	4688,552	1	4688,552	188,12	***
		Gruplar içi	947,081	38	24,923		
Toplam		5635,633	39				
72 saat	Gruplar arası	5999,781	1	5999,781	228,14	***	
	Gruplar içi	999,320	38	26,298			
	Toplam	6999,101	39				
1 hafta	Gruplar arası	5145,253	1	5145,253	135,83	***	
	Gruplar içi	1439,371	38	37,878			
	Toplam	6584,624	39				
2 hafta	Gruplar arası	6095,928	1	6095,928	156,05	***	
	Gruplar içi	1484,344	38	39,062			
	Toplam	7580,273	39				

BVA sonuçlardan; 2 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasında 0,01; diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıkların ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.



Tablo 44. 180 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
180°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası	900,228	1	900,228	49,016	***
		Gruplar içi	697,906	38	18,366		
		Toplam	1598,134	39			
	4 saat	Gruplar arası	1521,093	1	1521,093	85,316	***
		Gruplar içi	677,499	38	17,829		
		Toplam	2198,592	39			
	8 saat	Gruplar arası	2797,754	1	2797,754	163,94	***
		Gruplar içi	648,486	38	17,065		
Toplam		3446,240	39				
24 saat	Gruplar arası	4543,305	1	4543,305	233,42	***	
	Gruplar içi	739,636	38	19,464			
	Toplam	5282,940	39				
48 saat	Gruplar arası	5546,281	1	5546,281	249,66	***	
	Gruplar içi	844,160	38	22,215			
	Toplam	6390,441	39				
72 saat	Gruplar arası	5469,686	1	5469,686	191,86	***	
	Gruplar içi	1083,307	38	28,508			
	Toplam	6552,993	39				
1 hafta	Gruplar arası	5675,678	1	5675,678	133,68	***	
	Gruplar içi	1613,279	38	42,455			
	Toplam	7288,956	39				
2 hafta	Gruplar arası	7067,515	1	7067,515	129,23	***	
	Gruplar içi	2078,066	38	54,686			
	Toplam	9145,581	39				

Tablo 44’e göre; farklı bekletme sürelerindeki test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasında, 0,001 yanılma ihtimaliyle istatistiksel anlamda önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Tablo 45. 200 °C’de 2 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
200°C-2 saat	2 saat	Gruplar arası	532,313	1	532,313	38,962	***
		Gruplar içi	505,509	37	13,662		
		Toplam	1037,822	38			
	4 saat	Gruplar arası	33,931	1	33,931	2,970	BD
		Gruplar içi	434,074	38	11,423		
		Toplam	468,004	39			
	8 saat	Gruplar arası	158,771	1	158,771	12,621	***
		Gruplar içi	478,017	38	12,579		
Toplam		636,788	39				
24 saat	Gruplar arası	1096,955	1	1096,955	116,71	***	
	Gruplar içi	357,144	38	9,399			
	Toplam	1454,098	39				
48 saat	Gruplar arası	2056,378	1	2056,378	183,22	***	
	Gruplar içi	426,481	38	11,223			
	Toplam	2482,858	39				
72 saat	Gruplar arası	3082,719	1	3082,719	194,28	***	
	Gruplar içi	602,950	38	15,867			
	Toplam	3685,668	39				
1 hafta	Gruplar arası	3153,305	1	3153,305	97,201	***	
	Gruplar içi	1232,757	38	32,441			
	Toplam	4386,062	39				
2 hafta	Gruplar arası	5514,531	1	5514,531	142,79	***	
	Gruplar içi	1467,462	38	38,617			
	Toplam	6981,992	39				

BVA sonuçlarından; 4 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu diğer bekletme sürelerinde ortaya çıkan farklılıkların ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 46. 200 °C'de 6 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO'na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
200°C-6 saat	2 saat	Gruplar arası	175,336	1	175,336	0,724	BD
		Gruplar içi	9208,415	38	242,327		
		Toplam	9383,751	39			
	4 saat	Gruplar arası	544,083	1	544,083	2,362	BD
		Gruplar içi	8752,989	38	230,342		
		Toplam	9297,072	39			
	8 saat	Gruplar arası	1335,161	1	1335,161	6,871	*
		Gruplar içi	7384,391	38	194,326		
Toplam		8719,551	39				
24 saat	Gruplar arası	2955,424	1	2955,424	24,912	***	
	Gruplar içi	4508,146	38	118,635			
	Toplam	7463,570	39				
48 saat	Gruplar arası	4120,248	1	4120,248	45,542	***	
	Gruplar içi	3437,902	38	90,471			
	Toplam	7558,149	39				
72 saat	Gruplar arası	4947,887	1	4947,887	57,110	***	
	Gruplar içi	3292,229	38	86,638			
	Toplam	8240,116	39				
1 hafta	Gruplar arası	5449,728	1	5449,728	72,336	***	
	Gruplar içi	2862,866	38	75,339			
	Toplam	8312,594	39				
2 hafta	Gruplar arası	8919,196	1	8919,196	97,214	***	
	Gruplar içi	3486,431	38	91,748			
	Toplam	12405,63	39				

Tablo 46'daki sonuçlardan; 2 ve 4 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO'ları arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz; 8 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO'ları arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemli; diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıkların ise 0,001 yanılma ihtimaliyle önemli olduğu anlaşılmaktadır

Tablo 47. 200 °C’de 10 saat varyasyonunda test edilen ladin odunu örneklerinin SAO’na ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Suda Beklet. Süresi	Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ort.	F-Hesap	ÖD
200°C-10 saat	2 saat	Gruplar arası	187,969	1	187,969	5,237	*
		Gruplar içi	1363,826	38			
		Toplam	1551,794	39			
	4 saat	Gruplar arası	129,293	1	129,293	3,280	BD
		Gruplar içi	1497,841	38			
		Toplam	1627,134	39			
	8 saat	Gruplar arası	0,173	1	0,173	0,004	BD
		Gruplar içi	1651,285	38			
Toplam		1651,457	39				
24 saat	Gruplar arası	1020,005	1	1020,005	20,085	***	
	Gruplar içi	1929,813	38				
	Toplam	2949,817	39				
48 saat	Gruplar arası	2130,534	1	2130,534	50,633	***	
	Gruplar içi	1598,972	38				
	Toplam	3729,506	39				
72 saat	Gruplar arası	3125,859	1	3125,859	75,099	***	
	Gruplar içi	1581,680	38				
	Toplam	4707,539	39				
1 hafta	Gruplar arası	3840,199	1	3840,199	80,408	***	
	Gruplar içi	1814,834	38				
	Toplam	5655,034	39				
2 hafta	Gruplar arası	7880,882	1	7880,882	155,65	***	
	Gruplar içi	1924,001	38				
	Toplam	9804,883	39				

BVA’den elde edilen sonuçlara göre; 2 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemli, 4 ve 8 saat süreyle suda bekletilen test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasındaki farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıkların ise 0,001 yanılma ihtimaliyle önemli olduğu anlaşılmaktadır

Sıcaklığın sabit tutulmasıyla süre etkisinin, sürenin sabit tutulmasıyla sıcaklık etkisinin ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin farklı suda bekletme sürelerindeki su itici etkinlik değerleri üzerine etkileri her iki ağaç türü için ÇVA ile belirlenmiştir. Bu analizlerin uzantısı olarak ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere Duncan testi uygulanmıştır. Kayın ve ladin odunları için sıcaklık etkili analiz sonuçları sırasıyla Tablo 48 ve Tablo 50’de, süre etkili analiz sonuçları ise Tablo 49 ve Tablo 51’de verilmektedir.

Tablo 48. Kayın odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine sıcaklık etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Suda Beklt. Süresi	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F- Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık (°C)	HG	Var.K Süre (Saat)	HG
2 saat	Sıcaklık: A	14815,65	3	4938,551	178,4	***	130	a	2	a
	Süre: B	3476,683	2	1738,342	62,81	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	300,132	6	50,022	1,807	BD	180	c	10	c
	Hata	4511,069	163	27,675			200	d		
	Toplam	136144,8	175							
4 saat	Sıcaklık: A	15986,17	3	5328,722	210,7	***	130	a	2	a
	Süre: B	2607,426	2	1303,713	51,57	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	494,505	6	82,418	3,260	**	180	c	10	c
	Hata	4221,577	167				200	d		
	Toplam	138827,7	179							
8 saat	Sıcaklık: A	17284,33	3	5761,45	320,1	***	130	a	2	a
	Süre: B	2713,472	2	1356,736	75,39	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	522,076	6	87,013	4,836	***	180	c	10	c
	Hata	3203,016	178	17,994			200	d		
	Toplam	147175,9	190							
24 saat	Sıcaklık: A	13789,80	3	4596,600	225,9	***	130	a	2	a
	Süre: B	1776,332	2	888,166	43,65	***	150	a	6	b
	Etkileşim AB	392,953	6	65,492	3,219	**	180	b	10	c
	Hata	4211,703	207	20,346			200	c		
	Toplam	134027,5	219							
48 saat	Sıcaklık: A	12089,01	3	4029,671	266,4	***	130	a	2	a
	Süre: B	1150,502	2	575,251	38,03	***	150	a	6	a
	Etkileşim AB	770,874	6	128,479	8,494	***	180	b	10	b
	Hata	3176,536	210	15,126			200	b		
	Toplam	84901,35	222							
72 saat	Sıcaklık: A	7878,983	3	2626,328	193,6	***	130	a	2	a
	Süre: B	1239,044	2	619,522	45,66	***	150	a	6	b
	Etkileşim AB	1256,207	6	209,368	15,43	***	180	b	10	c
	Hata	2672,456	197	13,566			200	c		
	Toplam	61118,57	209							
1 hafta	Sıcaklık: A	6313,560	3	2104,520	251,1	***	130	a	2	a
	Süre: B	551,433	2	275,716	32,90	***	150	a	6	b
	Etkileşim AB	326,720	6	54,453	6,498	***	180	b	10	c
	Hata	1491,580	178	8,380			200	c		
	Toplam	37314,68	190							
2 hafta	Sıcaklık: A	5471,263	3	1823,754	167,7	***	130	a	2	a
	Süre: B	429,430	2	214,715	19,74	***	150	a	6	a
	Etkileşim AB	823,796	6	137,299	12,62	***	180	b	10	b
	Hata	1913,891	176	10,874			200	c		
	Toplam	34826,53	188							

Tablo 48'de özetlenen ÇVA sonuçlarına göre; 2 saatlik suda bekletme süresi sonunda sıcaklık ve sürenin SİE değerleri üzerine etkileri 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı bulunurken, sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimleri 0,05 anlam düzeyinde

önemsiz bulunmuştur. 4 ve 24 saatlik suda bekletme periyotlarında SİE üzerine sıcaklık ve sürenin 0,001; her iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin 0,01 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır. Diğer bekletme sürelerindeki tüm etkileşimler ise 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.



Tablo 49. Kayın odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine süre etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Suda Beklt. Süresi	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F- Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık (°C)	HG	Var.K Süre (Saat)	HG
2 saat	Sıcaklık: A	14896,04	3	4965,347	330,9	***	130	ab	2	a
	Süre: B	828,944	2	414,472	27,62	***	150	a	6	a
	Etkileşim AB	1625,739	6	270,957	18,06	***	180	b	10	b
	Hata	2595,580	173	15,003			200	c		
	Toplam	83026,17	185							
4 saat	Sıcaklık: A	15725,73	3	5241,910	206,5	***	130	a	2	a
	Süre: B	2641,791	2	1320,896	52,04	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	484,928	6	80,821	3,184	**	180	c	10	c
	Hata	4162,666	164	25,382			200	d		
	Toplam	136300,4	176							
8 saat	Sıcaklık: A	17284,33	3	5761,445	320,1	***	130	a	2	a
	Süre: B	2713,472	2	1356,736	75,39	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	522,076	6	87,013	4,836	***	180	c	10	c
	Hata	3203,016	178	17,994			200	d		
	Toplam	147175,9	190							
24 saat	Sıcaklık: A	13789,80	3	4596,600	225,9	***	130	a	2	a
	Süre: B	1776,332	2	888,166	43,65	***	150	a	6	b
	Etkileşim AB	392,953	6	65,492	3,219	**	180	b	10	c
	Hata	4211,703	207	20,346			200	c		
	Toplam	134027,5	219							
48 saat	Sıcaklık: A	12134,34	3	4044,781	266,8	***	130	a	2	a
	Süre: B	1194,144	2	597,072	39,39	***	150	a	6	a
	Etkileşim AB	783,478	6	130,580	8,616	***	180	b	10	b
	Hata	3228,206	213	15,156			200	c		
	Toplam	85892,26	225							
72 saat	Sıcaklık: A	8091,834	3	2697,278	188,8	***	130	a	2	a
	Süre: B	1275,973	2	637,986	44,67	***	150	a	6	b
	Etkileşim AB	1398,872	6	233,145	16,32	***	180	b	10	c
	Hata	2899,232	203	14,282			200	c		
	Toplam	61507,82	215							
1 hafta	Sıcaklık: A	6400,326	3	2133,442	256,7	***	130	a	2	a
	Süre: B	547,890	2	273,945	32,96	***	150	a	6	b
	Etkileşim AB	338,768	6	56,461	7	***	180	b	10	c
	Hata	1504,061	181	8,310	6,795		200	c		
	Toplam	37568,13	193							
2 hafta	Sıcaklık: A	5389,985	3	1796,662	164,4	***	130	a	2	a
	Süre: B	427,596	2	213,798	19,56	***	150	a	6	a
	Etkileşim AB	823,467	6	137,245	12,55	***	180	b	10	b
	Hata	1912,496	175	10,929			200	c		
	Toplam	34804,79	187							

Tablo 49'da özetlenen ÇVA sonuçlarına göre; 4 ve 24 saatlik suda bekletme süresi sonunda sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimlerinin SİE değerleri üzerine etkileri 0,01

yanılma ihtimaliyle anlamlı bulunurken, diğer bekleme sürelerindeki tüm etkileşimler ise 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 50. Ladin odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine sıcaklık etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Suda Beklt. Süresi	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık (°C)	HG	Var.K Süre (Saat)	HG
2 saat	Sıcaklık: A	44734,27	3	14911,42	187,5	***	130	a	2	a
	Süre: B	3189,040	2	1594,520	20,05	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	7168,311	6	1194,718	15,02	***	180	c	10	b
	Hata	15188,66	191	79,522			200	d		
	Toplam	80771,66	203							
4 saat	Sıcaklık: A	32759,99	3	10919,99	175,9	***	130	a	2	a
	Süre: B	3178,603	2	1589,301	25,60	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	9290,726	6	1548,454	24,94	***	180	c	10	b
	Hata	12351,15	199	62,066			200	d		
	Toplam	77895,79	211							
8 saat	Sıcaklık: A	25744,86	3	8581,620	176,3	***	130	a	2	a
	Süre: B	2228,294	2	1114,147	22,89	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	8890,728	6	1481,788	30,44	***	180	c	10	b
	Hata	10414,36	214	48,665			200	d		
	Toplam	84845,73	226							
24 saat	Sıcaklık: A	11946,15	3	3982,050	121,9	***	130	a	2	a
	Süre: B	1686,122	2	843,061	25,81	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	1932,171	6	322,028	9,860	***	180	c	10	c
	Hata	6695,007	205	32,659			200	d		
	Toplam	93383,12	217							
48 saat	Sıcaklık: A	8735,436	3	2911,812	127,4	***	130	a	2	a
	Süre: B	1364,840	2	682,420	29,88	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	691,554	6	115,259	5,047	***	180	c	10	c
	Hata	4636,266	203	22,839			200	d		
	Toplam	86376,65	215							
72 saat	Sıcaklık: A	9169,392	3	3056,464	165,6	***	130	a	2	a
	Süre: B	929,299	2	464,649	25,18	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	441,494	6	73,582	3,988	***	180	c	10	c
	Hata	3450,298	187	18,451			200	d		
	Toplam	72624,88	199							
1 hafta	Sıcaklık: A	4860,699	3	1620,233	133,2	***	130	a	2	a
	Süre: B	419,220	2	209,610	17,24	***	150	b	6	a
	Etkileşim AB	2085,487	6	347,581	28,59	***	180	c	10	b
	Hata	2407,101	198	12,157			200	d		
	Toplam	58816,53	210							
2 hafta	Sıcaklık: A	6548,973	3	2182,991	127,0	***	130	a	2	a
	Süre: B	286,287	2	143,144	8,331	***	150	b	6	a
	Etkileşim AB	2669,789	6	444,965	25,89	***	180	c	10	b
	Hata	3247,529	189	17,183			200	c		
	Toplam	58314,83	201							



ÇVA sonuçlarından; her farklı suda bekletme süresi sonunda sıcaklık süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin SİE değerleri üzerine etkilerinin 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 51. Ladin odunu örneklerinde SİE değerleri üzerine süre etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Suda Beklt. Süresi	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F- Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık (°C)	HG	Var.K Süre (Saat)	HG
2 saat	Sıcaklık: A	44655,21	3	14885,07	183,4	***	130	a	2	a
	Süre: B	2968,815	2	1484,408	18,29	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	6834,951	6	1139,159	14,04	***	180	c	10	b
	Hata	15577,92	192	81,135			200	d		
	Toplam	80838,58	204							
4 saat	Sıcaklık: A	32759,99	3	10919,99	175,9	***	130	a	2	a
	Süre: B	3178,603	2	1589,301	25,60	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	9290,726	6	1548,454	24,94	***	180	c	10	b
	Hata	12351,15	199	62,066			200	d		
	Toplam	77895,79	211							
8 saat	Sıcaklık: A	25744,86	3	8581,620	176,3	***	130	a	2	a
	Süre: B	2228,294	2	1114,147	22,89	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	8890,728	6	1481,788	30,44	***	180	c	10	b
	Hata	10414,36	214	48,665			200	d		
	Toplam	84845,73	226							
24 saat	Sıcaklık: A	11946,15	3	3982,050	121,9	***	130	a	2	a
	Süre: B	1686,122	2	843,061	25,81	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	1932,171	6	322,028	9,860	***	180	c	10	c
	Hata	6695,007	205	32,659			200	d		
	Toplam	93383,12	217							
48 saat	Sıcaklık: A	8735,436	3	2911,812	127,4	***	130	a	2	a
	Süre: B	1364,840	2	682,420	29,88	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	691,554	6	115,259	5,047	***	180	c	10	c
	Hata	4636,266	203	22,839			200	d		
	Toplam	86376,65	215							
72 saat	Sıcaklık: A	9215,452	3	3071,817	160,1	***	130	a	2	a
	Süre: B	956,328	2	478,164	24,92	***	150	b	6	b
	Etkileşim AB	434,101	6	72,350	3,771	***	180	c	10	c
	Hata	3607,130	188	19,187			200	d		
	Toplam	73452,27	200							
1 hafta	Sıcaklık: A	4779,266	3	1593,089	131,0	***	130	a	2	a
	Süre: B	426,300	2	213,150	17,53	***	150	b	6	a
	Etkileşim AB	2014,335	6	335,723	27,61	***	180	c	10	b
	Hata	2394,715	197	12,156			200	d		
	Toplam	57977,07	209							
2 hafta	Sıcaklık: A	6349,015	3	2116,338	117,7	***	130	a	2	a
	Süre: B	351,036	2	175,518	9,765	***	150	b	6	a
	Etkileşim AB	2988,135	6	498,023	27,70	***	180	c	10	b
	Hata	3397,075	189	17,974			200	c		
	Toplam	59245,19	201							

Tablo 51'e göre; her farklı suda bekletme süreleri sonunda sıcaklık süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin SİE üzerindeki etkileri, 0,001 yanılma ihtimaliyle önemli bulunmuştur.

Sürenin sabit tutularak ısıtma işlem sıcaklığının etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde sıcaklık ve süre artışlarının SİE üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi suretiyle kontrastlar oluşturularak gerçekleştirilen iki faktörlü faktöriyel varyans analizi sonuçları her varyasyona ait farklı suda bekletme süreleri için ayrı ayrı belirlenmiştir. Kayın ve ladin odunlarının 2, 4, 8 ve 24 saatlik suda bekletme süreleri sonunda sıcaklık ve süre artışlarının SİE üzerine etkileri Tablo 52'de, 24, 48, 72 saatlik ve 1 ve 2 haftalık suda bekletme süreleri sonunda sıcaklık ve süre artışlarının SİE üzerine etkileri Tablo 53'te, özetlenmektedir.

Tablo 52. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ )

SICAKLIK		ETKİLİ	
KAYIN		LADİN	
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	19,518	Kontrast	20,718
Standart Sapma	0,932	Standart Sapma	1,280
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	8,106	Kontrast	3,738
Standart Sapma	0,726	Standart Sapma	1,091
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>4 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>4 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	19,505	Kontrast	16,845
Standart Sapma	0,875	Standart Sapma	1,116
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	6,750	Kontrast	4,534
Standart Sapma	0,666	Standart Sapma	0,932
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>8 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>8 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	18,906	Kontrast	13,074
Standart Sapma	0,680	Standart Sapma	0,922
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	6,412	Kontrast	3,019
Standart Sapma	0,527	Standart Sapma	0,805
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>24 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>24 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	13,323	Kontrast	12,213
Standart Sapma	0,634	Standart Sapma	0,778
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	4,864	Kontrast	-4,800
Standart Sapma	0,525	Standart Sapma	0,673
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Tablo 53. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ )

SICAKLIK		ETKİLİ	
KAYIN		LADİN	
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>48 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>48 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	13,319	Kontrast	11,060
Standart Sapma	0,535	Standart Sapma	0,638
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	3,759	Kontrast	-4,357
Standart Sapma	0,455	Standart Sapma	0,567
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>72 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>72 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	11,661	Kontrast	10,609
Standart Sapma	0,527	Standart Sapma	0,611
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	4,274	Kontrast	-3,738
Standart Sapma	0,453	Standart Sapma	0,528
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>1 Hafta</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>1 Hafta</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	11,107	Kontrast	6,050
Standart Sapma	0,425	Standart Sapma	0,470
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	2,995	Kontrast	-2,240
Standart Sapma	0,370	Standart Sapma	0,415
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Hafta</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Hafta</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	10,140	Kontrast	4,783
Standart Sapma	0,492	Standart Sapma	0,583
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	2,635	Kontrast	-1,281
Standart Sapma	0,436	Standart Sapma	0,508
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Sıcaklığın sabit tutularak ısı işlem süresinin etkisini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde sıcaklık ve süre artışlarının SİE üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi suretiyle kontrastlar oluşturularak gerçekleştirilen iki faktörlü faktöriyel varyans analizi sonuçları her varyasyona ait farklı suda bekletme süreleri için ayrı ayrı belirlenmiştir. Kayın ve ladin odunlarının 2, 4, 8 ve 24 saatlik suda bekletme süreleri sonunda sıcaklık ve süre artışlarının SİE üzerine etkileri

Tablo 54'te, 24, 48, 72 saatlik ve 1 ve 2 haftalık suda bekletme süreleri sonunda sıcaklık ve süre artışlarının SİE üzerine etkileri Tablo 55'de, özetlenmektedir.

Tablo 54. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ )

SÜRE		ETKİLİ	
KAYIN		LADİN	
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	16,457	Kontrast	20,609
Standart Sapma	0,685	Standart Sapma	1,292
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	3,734	Kontrast	3,589
Standart Sapma	0,526	Standart Sapma	1,099
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>4 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>4 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	19,490	Kontrast	16,845
Standart Sapma	0,877	Standart Sapma	1,116
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	6,827	Kontrast	4,534
Standart Sapma	0,670	Standart Sapma	0,932
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>8 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>8 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	18,906	Kontrast	13,074
Standart Sapma	0,680	Standart Sapma	0,922
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	6,412	Kontrast	3,019
Standart Sapma	0,527	Standart Sapma	0,805
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>24 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>24 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	13,323	Kontrast	12,213
Standart Sapma	0,634	Standart Sapma	0,778
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	4,864	Kontrast	-4,800
Standart Sapma	0,525	Standart Sapma	0,673
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Tablo 55. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışlarının SİE değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları ( $\alpha = 0,05$ )

SÜRE		ETKİLİ	
KAYIN		LADİN	
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>48 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>48 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	13,294	Kontrast	11,060
Standart Sapma	0,535	Standart Sapma	0,638
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	3,771	Kontrast	-4,357
Standart Sapma	0,452	Standart Sapma	0,567
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>72 Saat</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>72 Saat</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	11,529	Kontrast	10,593
Standart Sapma	0,520	Standart Sapma	0,623
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	4,245	Kontrast	-3,775
Standart Sapma	0,451	Standart Sapma	0,536
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>1 Hafta</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>1 Hafta</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	11,100	Kontrast	6,005
Standart Sapma	0,422	Standart Sapma	0,472
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	2,949	Kontrast	-2,275
Standart Sapma	0,364	Standart Sapma	0,417
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Hafta</b>	<b>Suda Bekletme Süresi</b>	<b>2 Hafta</b>
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Kübik</b>
Kontrast	10,152	Kontrast	4,557
Standart Sapma	0,494	Standart Sapma	0,589
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	2,663	Kontrast	-1,470
Standart Sapma	0,444	Standart Sapma	0,516
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Hem sıcaklık hem de süre etkili olarak gerçekleştirilen kontrast sonuçlarına göre; kayın odununda SİE değerleri üzerine sıcaklık ve süre artışlarının doğrusal bir etkisi olduğu 0,001 anlam düzeyinde tespit edilmiştir. Ladinde ise 2 ve 4 saatlik suda bekletme süreleri için sıcaklık artışının doğrusal, süre artışının parabolik etkisi 0,001 anlam düzeyinde elde edilmiştir. Aynı ağaç türü için, 8 saatlik suda bekletme süresi sonunda sıcaklık artışının kübik, süre artışının parabolik etkisi 0,001 anlam düzeyinde söz konusu

iken, diğer bekletme sürelerinde sıcaklık artışlarının SİE değerlerini etkileme şekli 0,001 anlam düzeyinde kübik, süre artışlarını etkileme şekli 0,001 anlam düzeyinde doğrusal bir yönelim sergilemiştir.

Kayın ve ladin odununda genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değerlerine ait ÇVA sonuçları sırasıyla Tablo 56'da ve Tablo 57'de sunulmaktadır.

Tablo 56. Kayın odununda GET değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Vary K. Sıcaklık °(C)	HG	Vary K Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	75701,45	3	25233,816	912,782	***	130	a	2	a
Süre: B	2452,71	2	1226,357	44,361	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	1669,133	6	278,189	10,063	***	180	c	10	b
Hata	6607,141	239	27,645			200	d		
Toplam	279516,3	251							

Yapılan ÇVA sonucuna göre; kayın odununda GET üzerine sıcaklığın, sürenin ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimleri 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı bulunmuştur.

Tablo 57. Ladin odununda GET değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Vary K. Sıcaklık °(C)	HG	Vary K Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	46760,08	3	15586,693	220,742	***	130	a	2	a
Süre: B	4650,203	2	2325,102	32,929	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	854,887	6	142,481	2,018	BD	180	c	10	b
Hata	16734,67	237	70,610			200	d		
Toplam	153771,5	249							

ÇVA sonucuna göre; ladin odununda GET üzerine sıcaklığın ve sürenin etkisi 0,001 anlam düzeyinde önemli iken bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimleri 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

### 3.1.3. Denge Rutubeti Miktarı

Isıl işleme tabi tutulmuş kayın ve ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin denge rutubeti miktarı (DRM) değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri Tablo 58’de özetlenmektedir.

Tablo 58. Kayın ve ladin odununa ait ortalama DRM değerleri (%)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	TEST				KONTROL			
			x	s	min.	mak	x	s	min	mak
Kayın	130	2	9,10	0,05	9,06	9,20	9,31	0,08	9,23	9,44
		6	8,87	0,07	8,77	8,94	8,90	0,53	7,96	9,23
		10	8,70	0,13	8,55	8,87	9,09	0,09	8,99	9,23
	150	2	8,64	0,14	8,53	8,88	9,10	0,11	8,98	9,26
		6	8,01	0,13	7,86	8,15	9,15	0,28	8,79	9,60
		10	7,60	0,14	7,39	7,76	9,32	0,18	9,03	9,51
	180	2	6,85	0,25	6,57	7,20	9,02	0,06	9,20	9,36
		6	6,19	0,35	5,82	6,78	9,31	0,04	9,28	9,38
		10	6,23	0,10	6,13	6,39	9,37	0,13	9,20	9,51
	200	2	6,09	0,20	5,84	6,35	9,31	0,02	9,29	9,36
		6	5,95	0,32	5,64	6,40	9,19	0,07	9,12	9,31
		10	5,61	0,63	5,21	6,71	9,10	0,06	9,01	9,18
Ladin	130	2	10,02	0,22	9,76	10,29	10,32	0,21	10,0	10,59
		6	9,80	0,14	9,57	9,96	10,32	0,08	10,22	10,42
		10	9,73	0,17	9,57	10,04	10,27	0,14	10,08	10,44
	150	2	9,67	0,10	9,48	9,76	10,14	0,09	9,98	10,22
		6	8,86	0,21	8,56	9,14	10,29	0,07	10,22	10,42
		10	8,61	0,11	8,51	8,78	10,35	0,09	10,22	10,47
	180	2	7,71	0,21	7,44	8,04	10,16	0,11	10,07	10,35
		6	6,85	0,05	6,80	6,95	10,26	0,32	9,77	10,56
		10	6,09	0,26	5,78	6,52	10,15	0,11	10,04	10,28
	200	2	7,04	0,15	6,79	7,21	10,10	0,09	9,98	10,22
		6	6,18	0,30	5,69	6,44	10,15	0,24	9,85	10,51
		10	6,33	0,25	6,17	6,77	10,04	0,11	9,88	10,17

Kayın ve ladin odununa ait DRM değerlerinin her bir varyasyon için kontrolleriyle karşılaştırıldığı BVA sonuçları sırasıyla Tablo 59 ve Tablo 60’da verilmektedir.



Tablo 59. Kayın odununda DRM değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	0,105	1	0,105	20,967	**
	Gruplar içi	4,00E-02	8	5,003E-03		
	Toplam	0,145	9			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	1,90E-03	1	1,902E-03	0,13	BD
	Gruplar içi	1,162	8	0,145		
	Toplam	1,164	9			
130 °C -10saat	Gruplar arası	0,388	1	0,388	30,583	***
	Gruplar içi	0,101	8	1,286E-02		
	Toplam	0,489	9			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,537	1	0,537	31,621	***
	Gruplar içi	0,136	8	1,700E-02		
	Toplam	0,673	9			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	3,240	1	3,240	63,307	***
	Gruplar içi	0,409	8	5,118E-02		
	Toplam	3,649	9			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	7,335	1	7,335	258,083	***
	Gruplar içi	0,227	8	2,842E-02		
	Toplam	7,562	9			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	14,839	1	14,839	440,146	***
	Gruplar içi	0,270	8	3,371E-02		
	Toplam	15,109	9			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	24,327	1	24,327	383,222	***
	Gruplar içi	0,508	8	6,348E-02		
	Toplam	24,835	9			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	24,686	1	24,686	1729,966	***
	Gruplar içi	0,114	8	1,427E-02		
	Toplam	24,800	9			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	25,950	1	25,950	1156,640	***
	Gruplar içi	0,179	8	2,244E-02		
	Toplam	26,129	9			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	26,334	1	26,334	486,154	***
	Gruplar içi	0,433	8	5,417-02		
	Toplam	26,768	9			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	30,439	1	30,439	151,433	***
	Gruplar içi	1,608	8	0,201		
	Toplam	32,047	9			

BVA sonuçlarından, 130 °C'de 6 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan varyasyonda DRM bakımından test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılığın 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu gözlenirken, 130 °C'de 2 saat süreli varyasyonda bu farklılığın 0,01 ve diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 60. Ladin odununda DRM değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	S D	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	0,229	1	0,229	4,782	BD
	Gruplar içi	0,383	8	4,784e-02		
	Toplam	0,612	9			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	0,672	1	0,672	45,158	***
	Gruplar içi	0,119	8	1,488E-02		
	Toplam	0,791	9			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,704	1	0,704	26,654	***
	Gruplar içi	0,211	8	2,641E-02		
	Toplam	0,915	9			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,565	1	0,565	54,554	***
	Gruplar içi	8,29E-02	8	1,036E-02		
	Toplam	0,648	9			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	5,133	1	5,133	193,453	***
	Gruplar içi	0,212	8	2,654E-02		
	Toplam	5,346	9			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	7,456	1	7,546	640,921	***
	Gruplar içi	9,42E-02	8	1,177E-02		
	Toplam	7,640	9			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	15,036	1	15,036	508,246	***
	Gruplar içi	0,237	8	2,958E-02		
	Toplam	15,273	9			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	29,207	1	29,207	533,617	***
	Gruplar içi	0,438	8	5,473E-02		
	Toplam	29,644	9			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	41,162	1	41,162	988,895	***
	Gruplar içi	0,33	8	4,162E-02		
	Toplam	41,495	9			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	23,338	1	23,338	1437,765	***
	Gruplar içi	0,130	8	1,623E-02		
	Toplam	23,467	9			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	39,532	1	39,532	524,869	***
	Gruplar içi	0,603	8	7,532E-02		
	Toplam	40,135	9			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	34,459	1	34,459	902,198	***
	Gruplar içi	0,306	8	3,819E-02		
	Toplam	34,764	9			

BVA sonuçlarına göre 130 °C'de 2 saat süreyle ısıl işleme uygulanan kombinasyonda test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılığın 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, diğer varyasyonlarda ise bu farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu görülmektedir.

Sıcaklığın, sürenin ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin denge rutubeti miktarı üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları kayın için Tablo 61’de, ladin için Tablo 62’de verilmektedir

Tablo 61. Kayın odununda DRM değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları (P<0,05)

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	88,799	3	29,600	427,621	***	130	a	2	a
Süre: B	4,151	2	2,075	29,982	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	0,943	6	0,157	2,271	BD	180	c	10	c
Hata	3,323	48	6,922E-02			200	d		
Toplam	3316,154	60							

ÇVA sonuçlarına göre sıcaklığın ve de sürenin DRM üzerinde 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu gözlenirken her iki varyans kaynağının kendi aralarındaki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 62. Ladin odununda DRM değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları (P<0,05)

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	119,063	3	39,688	1000,33	***	130	a	2	a
Süre: B	9,132	2	4,566	115,084	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	2,846	6	0,474	11,954	***	180	c	10	c
Hata	1,904	48	3,967E-02			200	d		
Toplam	4048,871	60							

Tablo 62’ye göre; sıcaklığın, sürenin ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin DRM üzerinde 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Sıcaklık ve süre artışlarının DRM üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla kontrastlar oluşturularak

yapılan iki faktörlü faktöriyel varyans analizi ( $\alpha = 0,05$ ) sonuçları Tablo 63'te gösterilmektedir.

Tablo 63. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının DRM'ni etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

<b>KAYIN</b>		<b>LADIN</b>	
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	0,134	Kontrast	0,219
Standart Sapma	0,068	Standart Sapma	0,051
Önem Düzeyi	*	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	- 0,449	Kontrast	0,188
Standart Sapma	0,059	Standart Sapma	0,045
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Kontrast sonuçlarına göre; kayın odununda DRM üzerine sıcaklık artışının parabolik bir etkisi olduğu 0,01 anlam düzeyinde önemli olarak tespit edilirken; süre artışının doğrusal etkisi 0,001 anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur. Ladin odununda ise sıcaklık ve süre artışının parabolik etkisi 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

### 3.2. Mekanik Özellikler

#### 3.2.1. Statik Eğilme Direnci

Dört farklı sıcaklık ve üç farklı süre olmak üzere toplam 12 varyasyonda ve iki farklı ağaç türünde gerçekleştirilen ısıl işlemin mekanik özelliklerden eğilme direnci üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelenmiş ve buna göre varyasyonlar arasındaki farklılıklar kontrolleri ile karşılaştırmalı olarak tablolar halinde özetlenmiştir. Isıl işleme tabi tutulmuş kayın ve ladin odunu örneklerinin eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler kontrolleri ile birlikte Tablo 64'te sunulmaktadır.

Tablo 64. Kayın ve ladin odunu örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri  
(kg/cm<sup>2</sup>)

Odun Türü	Sıc. (°C)	Süre Saat	TEST				KONTROL			
			x	s	min.	mak.	x	s	min.	mak.
Kayın	130	2	1189,79	87,78	990,50	1322,62	1190,59	116,10	915,80	1356,79
		6	1113,58	97,06	941,18	1477,04	1222,22	98,69	1088,0	1477,04
		10	1178,06	89,45	1010,7	1348,55	1210,34	88,67	1059,5	1427,72
	150	2	1084,28	88,34	905,82	1261,74	1164,57	74,95	1031,7	1312,56
		6	943,43	84,55	791,41	1137,87	1097,60	81,60	937,18	1215,58
		10	898,05	75,75	764,46	1023,55	1081,80	147,24	602,78	1258,79
	180	2	918,07	132,84	654,01	1090,18	1068,63	83,57	937,28	1309,23
		6	545,43	100,89	267,66	696,87	1000,87	57,57	897,60	1118,99
		10	676,89	117,26	421,73	860,76	1109,18	136,22	828,21	1281,33
	200	2	525,70	74,85	377,45	676,94	1040,69	106,58	861,08	1214,89
		6	399,66	78,55	278,71	610,63	1106,22	116,15	785,38	1254,17
		10	406,48	148,22	167,96	706,79	1115,58	76,65	908,31	1216,86
Ladin	130	2	622,63	57,26	529,71	727,68	670,43	60,10	589,13	786,97
		6	626,76	100,56	406,83	801,91	686,94	103,94	488,43	893,41
		10	596,20	95,35	338,19	774,43	660,74	146,10	342,29	846,34
	150	2	603,50	663,94	350,89	775,64	663,94	128,58	420,20	818,70
		6	534,66	65,99	410,88	648,64	685,37	100,61	488,32	800,65
		10	572,86	101,61	385,61	745,19	737,82	132,36	280,16	816,40
	180	2	587,05	86,06	388,69	709,54	710,12	200,79	545,00	909,22
		6	460,79	116,83	53,79	687,78	750,59	168,82	670,64	880,73
		10	371,98	77,48	254,09	568,35	775,84	72,04	644,85	898,26
	200	2	362,17	116,99	199,95	550,34	674,49	180,36	500,42	918,59
		6	242,34	43,58	175,00	338,64	668,90	60,27	527,41	795,82
		10	194,22	44,40	72,22	255,09	711,28	87,06	531,28	863,13

Kayın ve ladin odunu test örneklerinin kontrolleri ile karşılaştırıldığı eğilme direnci değerlerine ait BVA sonuçları sırasıyla Tablo 65 ve Tablo 66'da gösterilmektedir.

Tablo 65. Kayın odununda eğilme direnci değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	6,782	1	6,782	0,001	BD
	Gruplar içi	423718,2	40	10592,954		
	Toplam	423724,9	41			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	123908,4	1	123908,375	12,934	***
	Gruplar içi	383207,8	40	9580,195		
	Toplam	507116,2	41			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	10939,38	1	10939,378	1,379	BD
	Gruplar içi	317293,6	40	7932,341		
	Toplam	328233,0	41			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	67694,78	1	67694,777	10,088	**
	Gruplar içi	268407,9	40	6710,198		
	Toplam	336102,7	41			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	249555,0	1	249554,983	36,148	***
	Gruplar içi	276150,1	40	6903,753		
	Toplam	525705,1	41			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	354516,7	1	354516,696	25,861	***
	Gruplar içi	548339,3	40	13708,483		
	Toplam	902856,0	41			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	232209,5	1	232209,536	19,068	***
	Gruplar içi	474943,8	39	12178,045		
	Toplam	707153,3	40			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	1965085	1	1965084	283,27	***
	Gruplar içi	249730,7	36	6936,965		
	Toplam	2214815	37			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	2007805	1	2007805,330	124,75	***
	Gruplar içi	659853,6	41	16093,991		
	Toplam	2667659	42			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	2784346	1	2784846	328,36	***
	Gruplar içi	339243,0	40	8481,076		
	Toplam	3124089	41			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	5241829	1	5241828,699	533,24	***
	Gruplar içi	393200,6	40	9830,015		
	Toplam	5635029	41			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	5150888	1	5150887,886	364,55	***
	Gruplar içi	551038,4	39	14129,190		
	Toplam	5701926	40			

BVA sonucuna göre; test ve kontrol örneklerinin eğilme direnci değerleri arasındaki farklılıklar, 130 °C'de 2 saat ve 10 saat süreyle ısıtılma uygulanan varyasyonlarda 0,05 anlam düzeyinde önemsiz; 150 °C'de 2 saat süreyle ısıtılma uygulanan varyasyonda 0,01 ve diğer varyasyonlarda 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 66. Ladin odununda eğilme direnci değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	22852,85	1	22852,853	6,633	*
	Gruplar içi	130926,7	38	3445,440		
	Toplam	153779,6	39			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	35291,66	1	35291,661	3,378	BD
	Gruplar içi	386600,0	37	10448,648		
	Toplam	421891,6	38			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	13348,51	1	13348,506	0,877	BD
	Gruplar içi	578304,7	38	15218,546		
	Toplam	591653,2	39			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	36532,43	1	36532,430	2,631	BD
	Gruplar içi	527676,1	38	13886,213		
	Toplam	564208,5	39			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	227139,8	1	227139,766	31,381	***
	Gruplar içi	275052,4	38	7238,222		
	Toplam	502192,2	39			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	35957,54	1	35957,541	2,583	BD
	Gruplar içi	529046,4	38	13922,274		
	Toplam	565004,0	39			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	98157,13	1	98157,134	4,113	*
	Gruplar içi	906772,7	38	23862,439		
	Toplam	1004930	39			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	839870,6	1	839870,639	39,853	***
	Gruplar içi	800827,2	38	21074,400		
	Toplam	1640698	39			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	1670836	1	1670835,630	299,12	***
	Gruplar içi	217842,7	39	5585,711		
	Toplam	1888678	40			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	1024208	1	1024207,815	44,323	***
	Gruplar içi	924308,6	40	23107,716		
	Toplam	1948516	41			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	1819484	1	1819483,712	657,85	***
	Gruplar içi	105099,4	38	2765,775		
	Toplam	1924583	39			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	2673544	1	2673543,858	559,85	***
	Gruplar içi	181465,9	38	4775,417		
	Toplam	2855010	39			

Tablo 66'ya göre; 130 °C'de 6 ve 10 saat ile 150 °C'de 2 ve 10 saat süreli ısıl işlem uygulamalarında eğilme direnci değerleri açısından test ve kontrol örnekleri arasında 0,05 yanılma ihtimali ile fark gözlenmemiştir. 130 °C ve 180 °C'de 2 saat süreyle muamele edilen test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıklar 0,05 anlam düzeyinde ve diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

Sıcaklık, süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin eğilme direnci üzerine etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Kayın için Tablo 67'de ve ladin için Tablo 68'de verilmiştir.

Tablo 67. Kayın odununda eğilme direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	18429894	3	6143297,904	609,56	***	130	a	2	a
Süre: B	1469256	2	734628,210	72,893	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	673568,9	6	112261,480	11,139	***	180	c	10	c
Hata	2408671	239	10078,122			200	d		
Toplam	1,93E+08	251							

Tablo 68. Ladin odununda eğilme direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	4232812	3	1410937,385	181,41	***	130	a	2	a
Süre: B	569341,2	2	284670,586	36,601	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	290860,6	6	48476,765	6,233	***	180	c	10	c
Hata	1781065	229	7777,577			200	d		
Toplam	62025413	241							

Tablo 67 ve Tablo 68'de belirtilen kayın ve ladin odununa ait ÇVA sonuçlarına göre; sıcaklık, süre ve bu iki varyans kaynağının kendi aralarındaki etkileşimlerinin eğilme direnci değerleri üzerinde 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır.

Sıcaklık ve süre artışlarının eğilme direnci üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla kontrastlar oluşturularak yapılan iki faktörlü faktöriyel varyans analizi ( $\alpha = 0,05$ ) sonuçları Tablo 69'da gösterilmektedir.



Tablo 69. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının eğilme direnci değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

KAYIN		LADİN	
Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Doğrusal	Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Doğrusal
Kontrast	-539,234	Kontrast	-249,752
Standart Sapma	12,654	Standart Sapma	11,345
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
Süre ( Saat ) Etkisi →	Parabolik	Süre ( Saat ) Etkisi →	Doğrusal
Kontrast	89,112	Kontrast	-82,569
Standart Sapma	11,000	Standart Sapma	9,831
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Kontrast sonuçlarına göre; kayın ve ladin odunlarında eğilme direnci üzerine sıcaklık artışının kübik etkisi 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bulunurken, süre artışının parabolik etkisi kayın odunu için 0,001 anlam düzeyinde önemli, ladin odunu için ise 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

### 3.2.2. Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü

Isıl işleme tabi tutulmuş kayın ve ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin elastikiyet modülü değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri Tablo 70'de sunulmaktadır.

Tablo 70. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama elastikiyet modülü değerleri  
(kg/cm<sup>2</sup>)

Odun Türü	Sıc. (°C)	Süre Saat	TEST				KONTROL			
			x	s	min.	mak.	x	s	min.	mak.
Kayın	130	2	116900	9041	100850	132766	115800	11604,7	10142	131991
		6	112153	11295	93751	133416	115502	997,76	95597	132772
		10	98852	9181	83662	115785	110544	1028,7	94459	127688
	150	2	89224	10961	73801	108697	106253	833,55	95262	122791
		6	79148	8821	65684	94414	98711	600,44	91891	112776
		10	85065	5900	74697	93301	100563	1016,1	89780	121664
	180	2	76847	11300	58230	94281	98446	792,29	89401	114130
		6	71115	8400	55171	86797	84142	722,41	71842	101343
		10	76634	13634	58903	99828	104347	1213,6	84378	119960
	200	2	65516	11800	52291	87585	92533	667,76	82521	106045
		6	71250	9581	53403	83374	96100	927,02	80091	123260
		10	136312	20360	99413	165031	98071	979,11	85613	120660
Ladin	130	2	84213	8269	68849	95527	87643	9766	69607	100689
		6	72893	11189	50366	91606	76113	10093	62544	97395
		10	74287	13048	55517	91290	68527	15555	54016	107771
	150	2	81940	11963	57734	98002	83696	20000	48536	119689
		6	70853	11861	47905	87614	85677	16671	49576	105210
		10	80573	11046	55484	92924	87130	12551	58314	104545
	180	2	77617	10193	55497	90639	81043	26672	59900	108515
		6	75153	10490	61170	94647	85156	21263	73769	103635
		10	76510	9184	58817	92062	85780	10260	66650	104497
	200	2	57870	20001	20802	91987	85100	15311	55503	105137
		6	51203	18236	21793	68474	87533	9344	58575	97593
		10	60407	12597	35430	78712	79546	10683	67342	100401

Elastikiyet modülü değerlerine ait kayın ve ladin odunu test örneklerinin kontrolleri ile karşılaştırıldığı BVA sonuçları sırasıyla Tablo 71 ve Tablo 72'de verilmektedir.

Tablo 71. Kayın odununda eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	100119,0	1	100118,994	0,094	BD
	Gruplar içi	32908219	31	1061555,456		
	Toplam	33008338	32			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	1036805	1	1036804,820	0,910	BD
	Gruplar içi	39890416	35	1139726,172		
	Toplam	40927221	36			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	13298935	1	13298935,29	13,941	***
	Gruplar içi	3529763	37	953939,531		
	Toplam	48594698	38			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	26658576	1	26658576,19	27,460	***
	Gruplar içi	33978559	35	970815,984		
	Toplam	60637136	36			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	33270220	1	33270219	56,552	***
	Gruplar içi	19414324	33	588312,847		
	Toplam	52684544	34			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	21010362	1	21010361,63	33,337	***
	Gruplar içi	21428330	34	630245,006		
	Toplam	42438692	35			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	37182198	1	37182197	38,174	***
	Gruplar içi	29220378	30	974012,596		
	Toplam	66402576	31			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	13979849	1	13979849,37	22,156	***
	Gruplar içi	20191212	32	630975,375		
	Toplam	34171061	33			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	53409981	1	53409980,93	31,408	***
	Gruplar içi	57817831	34	1700524,452		
	Toplam	1,11E+08	35			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	58827102	1	58827101,52	59,084	***
	Gruplar içi	30865055	31	995646,951		
	Toplam	89692157	32			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	51746814	1	51746814,19	57,933	***
	Gruplar içi	28583159	32	893223,709		
	Toplam	80329973	33			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	1,39E+08	1	138959547,5	54,431	***
	Gruplar içi	91905799	36	2552938,873		
	Toplam	2,31E+08	37			

BVA sonuçlarına göre; 130 °C'de 2 ve 6 saat süreyle ısıl işleme maruz bırakılan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örnekleri arasında 0,05 anlam düzeyinde fark gözlenmemiştir. Diğer varyasyonlarda bu fark 0,001 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Tablo 72.Ladin odununda eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	9546669	1	9546668,516	1,291	BD
	Gruplar içi	2,51E+08	34	7395609,876		
	Toplam	2,61E+08	35			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	8366561	1	8366560,631	0,814	BD
	Gruplar içi	3,50E+08	34	10282644,59		
	Toplam	3,58E+08	35			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	29101043	1	29101042,69	1,561	BD
	Gruplar içi	6,90E+08	37	18637004,53		
	Toplam	7,19E+08	38			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	2561867	1	2561867,070	0,103	BD
	Gruplar içi	8,67E+08	35	24774572,27		
	Toplam	8,70E+08	36			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	1,73E+08	1	172927420,9	9,089	**
	Gruplar içi	6,28E+08	33	19025722,63		
	Toplam	8,01E+08	34			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	33845748	1	33845747,72	2,680	BD
	Gruplar içi	4,17E+08	33	12628062,93		
	Toplam	4,51E+08	34			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	9470446	1	9470445,730	0,247	BD
	Gruplar içi	1,30E+09	34	38298058,90		
	Toplam	1,31E+09	35			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	76274062	1	76274062,26	2,904	BD
	Gruplar içi	8,41E+08	32	26266505,86		
	Toplam	9,17E+08	33			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	69377417	1	69377417,05	8,075	BD
	Gruplar içi	2,92E+08	34	8591357,250		
	Toplam	3,61E+08	35			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	6,01E+08	1	600539716,6	21,033	***
	Gruplar içi	9,71E+08	34	28552438,49		
	Toplam	1,57E+09	35			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	1,13E+09	1	1125453771	61,560	***
	Gruplar içi	6,58E+08	36	18282120,44		
	Toplam	1,78E+09	37			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	2,37E+08	1	237450761,0	19,507	***
	Gruplar içi	3,41E+08	36	12172830,98		
	Toplam	5,78E+08	37			

Tablo 72'den anlaşılacağı üzere; 150 °C'de 6 saat süreyle uygulanan ısı işlem varyasyonunda test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılık 0,01 anlam düzeyinde, 200 °C'de 2, 6, ve 10 saat süreyle uygulanan ısı işlem varyasyonlarında ise 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunurken, diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılığın 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu anlaşılmıştır.

Sıcaklık, süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin eğilme direnci üzerine etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Kayın için Tablo 73'te ve ladin için Tablo 74'te verilmiştir.

Tablo 73. Kayın odununda eğilmede elastikiyet modülüne ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	3,42E+08	3	114151922,6	88,270	***	130	a	2	a
Süre: B	1,18E+08	2	59244144,06	45,811	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	5,25E+08	6	87431742,06	67,608	***	180	c	10	c
Hata	2,83E+08	219	1293217,267			200	d		
Toplam	1,99E+10	231							

ÇVA sonucuna göre; sıcaklık, süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimleri, eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 74. Ladin odununda eğilmede elastikiyet modülüne ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	1,38E+09	3	458489881,4	30,806	***	130	a	2	a
Süre: B	2,05E+08	2	102421902,9	6,882	***	150	a	6	b
Etkileşim AB	1,02E+08	6	16918563,57	1,137	BD	180	a	10	a
Hata	2,89E+09	194	14883153,94			200	b		
Toplam	1,01E+11	206							

ÇVA sonucuna göre; sıcaklık ve sürenin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu, sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimlerinin ise 0,05 yanılma ihtimali ile önemsiz olduğu anlaşılmıştır.

Sıcaklık ve süre artışlarının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla

kontrastlar oluşturularak yapılan iki faktörlü faktöriyel varyans analizi ( $\alpha = 0,05$ ) sonuçları her iki ağaç türü için Tablo 75'te gösterilmektedir.

Tablo 75. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının eğilmede elastikiyet modülü değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

KAYIN		LADİN	
Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Parabolik	Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Parabolik
Kontrast	1999,845	Kontrast	-1110,5
Standart Sapma	149,888	Standart Sapma	541,254
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
Süre ( Saat ) Etkisi →	Doğrusal	Süre ( Saat ) Etkisi →	Parabolik
Kontrast	908,367	Kontrast	1629,041
Standart Sapma	129,896	Standart Sapma	465,407
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Bu analizlere göre; kayın odunu örneklerine ait eğilmede elastikiyet modülü değerlerine sıcaklık artışının parabolik, süre artışının doğrusal bir etkisi olduğu 0,001 anlam düzeyinde tespit edilmiştir. Ladin odununda ise sıcaklık artışının elastikiyet modülü üzerinde 0,05 anlam düzeyinde kübik etkisi söz konusu iken, süre artışının parabolik etkisi 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

### 3.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci

Isıl işleme tabi tutulmuş kayın ve ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri Tablo 76'da sunulmaktadır. Kayın ve ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait ortalama statik ve spesifik kalite değerleri ile kalite sınıfları sırasıyla Tablo 77 ve Tablo 78'de verilmektedir.

Tablo 76. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama liflere paralel basınç direnci (kg/cm<sup>2</sup>)

Odun Türü	Sıc. (°C)	Süre Saat	TEST				KONTROL			
			x	s	min.	mak.	x	s	min.	mak.
Kayın	130	2	559,20	29,72	446,76	588,23	560,99	21,41	527,44	592,39
		6	558,95	29,77	477,14	606,20	554,65	33,87	494,98	628,80
		10	582,35	37,22	474,10	625,77	604,98	43,25	512,65	682,09
	150	2	658,23	41,42	578,58	725,93	676,36	37,97	607,29	751,36
		6	631,06	54,99	553,68	729,61	656,30	50,99	586,52	743,30
		10	537,05	77,89	354,07	666,86	565,37	70,08	518,30	724,90
	180	2	569,47	59,29	511,27	677,15	602,98	59,51	516,41	673,84
		6	549,95	40,66	456,88	633,90	593,70	43,70	536,31	682,24
		10	533,78	38,13	531,23	653,75	576,67	36,42	524,44	637,50
	200	2	522,83	37,24	459,67	593,38	596,89	19,51	549,50	641,69
		6	350,97	69,85	224,02	472,20	576,17	28,21	532,96	639,16
		10	364,08	57,45	212,78	449,73	572,67	18,14	535,27	596,47
Ladin	130	2	321,70	39,38	239,71	381,34	329,58	44,31	225,73	389,86
		6	341,90	45,56	250,21	406,42	341,89	56,70	246,18	461,68
		10	359,61	37,35	236,57	393,28	367,07	29,52	296,22	416,23
	150	2	351,79	29,17	306,17	392,45	356,07	29,37	315,02	407,96
		6	332,98	17,04	303,28	369,33	349,63	19,56	320,08	379,20
		10	336,10	19,22	307,75	377,76	354,10	18,78	317,40	402,66
	180	2	356,62	18,16	330,36	392,19	378,98	18,14	349,98	412,72
		6	316,99	32,74	222,29	401,53	361,74	11,23	335,47	386,61
		10	309,92	25,38	282,07	401,88	366,51	24,42	328,15	408,24
	200	2	323,83	12,37	290,98	344,65	382,92	12,25	361,99	413,41
		6	231,00	30,72	191,25	289,73	379,60	13,84	338,60	401,66
		10	248,06	45,57	76,80	292,02	367,16	11,28	350,11	389,55

Tablo 77. Kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait ortalama statik ve spesifik kalite değerleri ve kalite sınıfları

Varyasyon	Değişkenlik Kaynağı	Statik Kalite Değeri (km)	Statik Kalite Sınıfı	Spesifik Kalite Değeri (km)	Spesifik Kalite Sınıfı
130 °C-2 saat	Test	8,81	İyi	13,86	Yumuşak
	Kontrol	9,03	İyi	14,55	Yumuşak
130 °C-6 saat	Test	8,77	İyi	13,77	Yumuşak
	Kontrol	8,59	İyi	13,29	Yumuşak
130 °C-10 saat	Test	8,40	İyi	12,13	Orta Sert
	Kontrol	8,12	İyi	10,90	Orta Sert
150 °C-2 saat	Test	9,48	İyi	13,66	Yumuşak
	Kontrol	9,47	İyi	13,27	Yumuşak
150 °C-6 saat	Test	9,00	İyi	12,84	Yumuşak
	Kontrol	8,83	İyi	11,89	Orta Sert
150 °C-10 saat	Test	8,66	İyi	13,97	Yumuşak
	Kontrol	8,05	İyi	11,47	Orta Sert
180 °C-2 saat	Test	8,93	İyi	13,99	Yumuşak
	Kontrol	8,39	İyi	11,66	Orta Sert
180 °C-6 saat	Test	8,79	İyi	14,03	Yumuşak
	Kontrol	8,00	İyi	10,78	Orta Sert
180 °C-10 saat	Test	8,72	İyi	14,25	Yumuşak
	Kontrol	7,86	İyi	10,70	Orta Sert
200 °C-2 saat	Test	7,82	İyi	11,68	Orta Sert
	Kontrol	8,09	İyi	10,96	Orta Sert
200 °C-6 saat	Test	5,61	Düşük	8,95	Sert
	Kontrol	8,02	İyi	11,18	Orta Sert
200 °C-10 saat	Test	6,04	Orta	10,01	Orta Sert
	Kontrol	7,83	İyi	10,72	Orta Sert



Tablo 78. Ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait ortalama statik ve spesifik kalite değerleri ve kalite sınıfları

Varyasyon	Değişkenlik Kaynağı	Statik Kalite Değeri (km)	Statik Kalite Sınıfı	Spesifik Kalite Değeri (km)	Spesifik Kalite Sınıfı
130 °C-2 saat	Test	7,85	İyi	19,13	Yumuşak
	Kontrol	8,18	İyi	20,29	Yumuşak
130 °C-6 saat	Test	8,72	İyi	22,24	Yumuşak
	Kontrol	8,63	İyi	21,80	Yumuşak
130 °C-10 saat	Test	8,27	İyi	19,00	Yumuşak
	Kontrol	8,21	İyi	18,37	Yumuşak
150 °C-2 saat	Test	9,19	İyi	23,98	Yumuşak
	Kontrol	9,04	İyi	22,94	Yumuşak
150 °C-6 saat	Test	8,65	İyi	22,47	Yumuşak
	Kontrol	8,81	İyi	22,18	Yumuşak
150°C-10 saat	Test	7,83	İyi	18,27	Yumuşak
	Kontrol	7,90	Orta	17,64	Yumuşak
180 °C-2 saat	Test	9,26	İyi	24,06	Yumuşak
	Kontrol	9,57	İyi	24,17	Yumuşak
180 °C-6 saat	Test	8,11	İyi	20,73	Yumuşak
	Kontrol	8,91	İyi	21,95	Yumuşak
180 °C-10 saat	Test	7,73	İyi	19,27	Yumuşak
	Kontrol	8,62	İyi	20,29	Yumuşak
200 °C-2 saat	Test	8,35	İyi	21,52	Yumuşak
	Kontrol	9,41	İyi	23,12	Yumuşak
200 °C-6 saat	Test	5,65	Düşük	13,81	Orta Sert
	Kontrol	8,57	İyi	19,35	Yumuşak
200 °C-10 saat	Test	6,49	Orta	17,00	Yumuşak
	Kontrol	8,60	İyi	20,14	Yumuşak

Liflere paralel basınç direnci değerlerine ait kayın ve ladin odunu test örneklerinin kontrolleri ile karşılaştırıldığı BVA sonuçları sırasıyla Tablo 79 ve Tablo 80'de verilmektedir.

Tablo 79. Kayın odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	33,588	1	33,588	0,050	BD
	Gruplar içi	26849,36	40	671,234		
	Toplam	26882,95	41			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	193,640	1	193,640	0,190	BD
	Gruplar içi	40683,30	40	1017,082		
	Toplam	40876,94	41			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	5377,062	1	5377,062	3,302	BD
	Gruplar içi	65140,25	40	1628,506		
	Toplam	70517,31	41			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	3448,804	1	3448,804	2,184	BD
	Gruplar içi	63173,47	40	1579,337		
	Toplam	66622	41			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	6687,986	1	6687,986	2,378	BD
	Gruplar içi	112494,2	40	2812,356		
	Toplam	119182,2	41			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	74650,74	1	74650,743	13,598	***
	Gruplar içi	219599,5	40	5489,987		
	Toplam	294250,2	41			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	119,538	1	119,538	0,034	BD
	Gruplar içi	141156,0	40	3528,901		
	Toplam	141275,6	41			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	20099,39	1	20099,388	11,280	**
	Gruplar içi	71273,93	40	1781,848		
	Toplam	91373,32	41			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	0,178	1	0,178	0,000	BD
	Gruplar içi	55622,66	40	1390,566		
	Toplam	55622,84	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	57597,49	1	57597,488	65,152	***
	Gruplar içi	35361,93	40	884,048		
	Toplam	92959,42	41			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	544890,4	1	544890,382	188,68	***
	Gruplar içi	118398,6	41	2887,770		
	Toplam	663289,0	42			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	467457,8	1	467457,761	252,45	***
	Gruplar içi	75918,17	40	1851,663		
	Toplam	543375,9	42			

BVA sonuçlarına göre; 180 °C’de 6 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örnekleri arasındaki farklılığın 0,01 anlam düzeyinde önemli olduğu, 200 °C –2, 6, 10 saat ve 150 °C’de 10 saat süreyle muamele edilen test örnekleri ile kontrol örnekleri arasındaki farklılığın 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu, diğer varyasyonlarda ise bu farklılıkların 0,05 yanılma ihtimaliyle önemsiz olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 80. Ladin odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	650,566	1	650,566	0,370	BD
	Gruplar içi	70306,21	40	1757,655		
	Toplam	70956,78	41			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	3,74E-04	1	3,74E-04	0,000	BD
	Gruplar içi	105830,9	40	2645,773		
	Toplam	105830,9	41			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	584,440	1	584,440	0,516	BD
	Gruplar içi	45342,12	40	1133,553		
	Toplam	45926,56	41			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	192,892	1	192,892	0,225	BD
	Gruplar içi	34288,99	40	857,225		
	Toplam	34481,88	41			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	2912,554	1	2912,554	8,654	**
	Gruplar içi	13462,97	40	336,574		
	Toplam	16375,53	41			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	3404,383	1	3404,383	9,421	**
	Gruplar içi	14454,47	40	361,362		
	Toplam	17858,86	41			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	5249,198	1	5249,198	15,927	***
	Gruplar içi	13183,43	40	329,586		
	Toplam	18432,63	41			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	21028,62	1	21028,620	35,086	***
	Gruplar içi	23973,79	40	599,345		
	Toplam	45002,41	41			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	33629,35	1	33629,353	54,198	***
	Gruplar içi	24819,46	40	620,486		
	Toplam	58448,81	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	36668,02	1	36668,020	241,76	***
	Gruplar içi	60066,825	40	151,671		
	Toplam	42734,85	41			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	231871,7	1	231871,682	408,35	***
	Gruplar içi	22712,79	40	567,820		
	Toplam	254584,5	41			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	148940,3	1	148940,309	135,11	***
	Gruplar içi	44092,93	40	1102,323		
	Toplam	193033,2	41			

Tablo 80'e göre; 130 °C'de 2, 6 10 saat ve 150 °C'de 2 saat süreyle ısıl işlem gören ladin odunu test örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu, 150 °C'de 6 saat ve 10 saat süreyle muamele edilen örneklerde bu farklılıkların 0,01 anlam düzeyinde, diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır.

Sıcaklık, süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin liflere paralel basınç direnci üzerine etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları Kayın için Tablo 81’de ve ladin için Tablo 82’de verilmiştir.

Tablo 81. Kayın odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	1442571	3	480856,99	195,348	***	130	a	2	a
Süre: B	201237,1	2	100618,55	40,876	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	371783,1	6	61963,845	25,173	***	180	a	10	b
Hata	593231,2	241	2461,540			200	c		
Toplam	7569574 3	253							

Tablo 82. Ladin odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	209722,7	3	69907,567	81,779	***	130	a	2	a
Süre: B	47472,16	2	23736,078	27,767	***	150	a	6	b
Etkileşim AB	94940,53	6	15823,421	18,511	***	180	b	10	c
Hata	204305,5	239	854,835			200	c		
Toplam	2628605 5	251							

Tablo 81 ve Tablo 82’de belirtilen ÇVA sonuçlarına göre; kayın ve ladin odunlarına ait liflere paralel basınç direnci değerleri üzerinde, sıcaklığın, sürenin ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin 0,001 yanılma olasılığı ile anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Sıcaklık ve süre artışlarının liflere paralel basınç direnci üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla kontrastlar oluşturularak yapılan iki faktörlü faktöriyel varyans analizi ( $\alpha = 0,05$ ) sonuçları her iki ağaç türü için Tablo 83'te gösterilmektedir.

Tablo 83. Kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının liflere paralel basınç direnci değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

KAYIN		LADİN	
<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>	<b>Sıcaklık ( °C ) Etkisi →</b>	<b>Doğrusal</b>
Kontrast	- 29,937	Kontrast	-50,136
Standart Sapma	6,547	Standart Sapma	3,697
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***
<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>	<b>Süre ( Saat ) Etkisi →</b>	<b>Parabolik</b>
Kontrast	21,554	Kontrast	17,397
Standart Sapma	5,393	Standart Sapma	3,193
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	***

Kontrast sonuçlarına göre; kayın ve ladin odunlarında sıcaklık ve süre artışının liflere paralel basınç direnci değerlerini etkileme şekli 0,001 anlam düzeyinde parabolik bir yönelimle gerçekleşmiştir.

### 3.3. Teknolojik Özellikler

#### 3.3.1. Brinell Sertlik

Isıl işleme tabi tutulmuş kayın ve ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri sırasıyla Tablo 84 ve Tablo 85'te sunulmaktadır.

Tablo 84. Kayın odunu test ve kontrol örneklerinin enine, radyal ve teğet kesitteki ortalama sertlik değerleri (kg/mm<sup>2</sup>)

Kesit	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	TEST				KONTROL				
			x	s	min.	mak.	x	s	min.	mak.	
Enine	130	2	5,57	0,67	4,38	7,14	6,25	1,71	4,68	10,80	
		6	5,52	0,70	4,29	6,93	6,20	0,85	4,27	7,13	
		10	6,14	0,96	4,76	7,71	6,97	0,59	4,60	6,71	
	150	2	6,11	1,04	4,96	8,48	6,85	0,85	5,66	8,77	
		6	6,04	0,73	4,52	7,38	6,92	0,89	4,18	8,00	
		10	6,03	1,15	4,65	8,84	6,99	0,90	4,89	7,86	
	180	2	5,99	0,81	4,30	7,19	6,68	0,94	4,73	8,79	
		6	5,83	1,08	4,93	8,52	6,83	0,77	5,34	8,28	
		10	5,02	1,24	3,67	7,64	6,78	1,09	4,69	8,00	
	200*	2	5,53	0,60	4,50	6,58	6,65	0,64	4,81	7,19	
	Radyal	130	2	2,74	0,57	1,99	3,97	3,20	0,43	2,75	4,16
			6	2,61	0,48	1,80	3,66	3,10	0,84	1,64	5,63
10			2,49	0,46	1,69	3,52	2,98	0,51	1,75	3,55	
150		2	2,55	0,40	1,86	3,68	3,06	0,62	2,11	4,72	
		6	3,10	0,54	2,48	4,78	3,76	0,35	2,42	3,80	
		10	2,90	0,48	1,99	4,07	3,53	0,78	2,24	4,77	
180		2	2,84	0,68	1,82	4,39	3,44	0,63	2,44	5,08	
		6	3,31	0,65	2,09	4,98	4,05	0,73	2,21	5,66	
		10	1,90	0,40	1,47	2,87	3,46	0,52	2,35	4,14	
200*		2	2,71	0,52	1,32	3,77	3,43	0,34	2,63	3,92	
Teğet		130	2	2,98	0,63	1,87	4,31	3,54	0,98	2,44	6,24
			6	2,87	0,38	2,41	3,71	3,45	0,73	2,05	5,63
	10		2,48	0,31	2,08	3,12	3,02	0,27	2,11	3,14	
	150	2	2,84	0,36	2,12	3,59	3,47	0,65	2,64	5,29	
		6	3,13	0,51	2,33	3,86	3,96	0,51	2,29	4,52	
		10	2,82	0,39	2,16	3,79	3,66	0,63	2,28	4,50	
	180	2	3,09	0,65	2,09	4,54	3,85	0,56	2,21	4,53	
		6	2,38	0,60	2,05	4,41	3,38	0,50	2,43	4,64	
		10	1,88	0,38	1,44	2,49	3,23	0,41	2,31	3,81	
	200*	2	2,71	0,32	1,90	3,40	3,45	0,28	2,43	3,39	

\*: Yüksek ısıda, uzun süre (200°C'de 6 ve 10 saat) ısıl işlem gerektiren varyasyonlar, geniş boyutlu sertlik örneklerinde kömürleşmeye yol açtığı için gerçekleştirilememiştir.

Tablo 85. Ladin odunu test ve kontrol örneklerinin enine, radyal ve teğet kesitteki ortalama sertlik değerleri

Kesit	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	TEST				KONTROL				
			x	s	min.	mak.	x	s	min.	mak.	
Enine	130	2	2,85	0,30	2,26	3,34	2,59	0,37	2,19	3,99	
		6	3,01	0,47	2,38	3,66	2,79	0,55	1,61	3,96	
		10	3,05	0,39	2,45	4,13	2,78	0,27	2,32	3,15	
	150	2	3,06	0,62	2,30	4,60	2,91	0,50	2,34	4,12	
		6	2,90	0,37	2,43	3,89	2,65	0,38	2,04	3,22	
		10	2,97	0,48	2,22	3,89	2,60	0,47	1,78	3,30	
	180	2	2,75	0,49	2,01	3,94	2,67	0,46	2,04	3,64	
		6	2,50	0,30	2,00	2,93	3,03	0,40	2,33	3,73	
		10	2,28	0,39	1,78	3,05	2,84	0,53	2,24	4,41	
	200	2	3,01	0,59	1,71	3,95	3,13	0,54	1,80	3,94	
	Radyal	130	2	1,26	0,27	0,87	2,17	1,40	0,30	1,02	1,91
			6	1,43	0,35	0,82	2,07	1,61	0,33	0,83	2,49
10			1,48	0,28	0,89	1,99	1,69	0,29	1,15	2,23	
150		2	1,59	0,43	0,86	2,72	1,78	0,24	1,41	2,32	
		6	1,31	0,27	0,82	1,79	1,58	0,20	1,27	1,90	
		10	1,36	0,27	0,94	2,16	1,95	0,26	1,08	2,08	
180		2	1,09	0,24	0,79	1,69	1,52	0,28	1,05	1,98	
		6	0,87	0,22	0,63	1,40	1,63	0,39	1,02	2,49	
		10	0,82	0,25	0,51	1,58	1,44	0,27	0,82	1,95	
200		2	1,29	0,39	0,70	2,00	1,72	0,22	1,33	2,17	
Teğet		130	2	1,31	0,20	0,95	1,63	1,53	0,38	1,14	2,54
			6	1,32	0,28	0,94	2,11	1,46	0,28	0,99	2,20
	10		1,36	0,31	1,06	2,14	1,62	0,34	1,05	2,37	
	150	2	1,25	0,25	0,89	1,87	1,44	0,24	1,05	1,90	
		6	1,32	0,34	0,93	2,21	1,47	0,26	0,85	2,03	
		10	1,30	0,25	0,91	2,08	1,43	0,20	1,11	1,91	
	180	2	1,18	0,25	0,81	1,78	1,43	0,23	1,05	1,90	
		6	0,93	0,14	0,68	1,17	1,61	0,39	1,19	3,01	
		10	0,77	0,13	0,56	1,03	1,34	0,20	1,02	1,83	
	200	2	0,91	0,23	0,61	1,54	1,48	0,37	0,73	2,29	

Enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerlerine ait kayın odunu test örneklerinin kontrolleri ile karşılaştırıldığı BVA sonuçları sırasıyla Tablo 86, Tablo 87 ve Tablo 88'de verilmektedir.

Tablo 86. Kayın odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	18,727	1	18,727	11,020	**
	Gruplar içi	71,373	42	1,699		
	Toplam	90,100	43			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	7,49E-02	1	7,488E-02		BD
	Gruplar içi	25,741	42	0,613		
	Toplam	25,816	43			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	1,278	1	1,278	1,998	BD
	Gruplar içi	26,862	42	0,640		
	Toplam	28,140	43			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	6,029	1	6,029	6,611	*
	Gruplar içi	38,304	42	0,912		
	Toplam	44,332	43			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	7,39E-04	1	7,389E-04	0,001	BD
	Gruplar içi	28,273	42	0,673		
	Toplam	28,274	43			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	1,529	1	1,529	1,428	BD
	Gruplar içi	44,989	42	1,071		
	Toplam	46,518	43			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	2,363	1	2,363	3,044	BD
	Gruplar içi	32,598	42	0,776		
	Toplam	34,961	43			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	1,40E-05	1	1,397E-05	0,000	BD
	Gruplar içi	35,401	40	0,885		
	Toplam	35,401	41			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	9,938	1	9,938	12,139	*
	Gruplar içi	24,726	40	0,965		
	Toplam	27,664	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	0,169	1	0,169	0,433	BD
	Gruplar içi	16,419	42	0,391		
	Toplam	16,588	43			

BVA sonuçlarına göre; 130 °C'de 2 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin enine kesitteki sertlik değerleri 0,01 anlam düzeyinde, 150 °C'de 2 saat ve 180°C'de 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin enine kesitteki sertlik değerleri 0,05 anlam düzeyinde farklı bulunmuştur. Diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıklar 0,05 yanılma ihtimaliyle önemsiz bulunmuştur.



Tablo 87. Kayın odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	3,653	1	3,653	14,002	***
	Gruplar içi	10,958	42	0,261		
	Toplam	14,611	43			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	1,57E-03	1	1,57E-03	0,003	BD
	Gruplar içi	20,109	42	0,479		
	Toplam	20,111	43			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	2,73E-03	1	2,727E-03	0,011	BD
	Gruplar içi	10,088	42	0,240		
	Toplam	10,090	43			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	2,897	1	2,897	10,423	**
	Gruplar içi	11,673	42	0,278		
	Toplam	14,570	43			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	1,57E-02	1	1,567E-02	0,073	BD
	Gruplar içi	8,988	42	0,214		
	Toplam	9,004	43			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	3,640	1	3,640	8,511	**
	Gruplar içi	17,964	42	0,428		
	Toplam	21,605	43			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	4,038	1	4,038	9,258	**
	Gruplar içi	18,320	42	0,436		
	Toplam	22,358	43			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	0,160	1	0,160	0,329	BD
	Gruplar içi	19,453	40	0,486		
	Toplam	19,613	41			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	12,104	1	12,104	55,507	***
	Gruplar içi	3,925	40	0,218		
	Toplam	16,030	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	1,960	1	1,960	10,085	**
	Gruplar içi	8,162	42	0,194		
	Toplam	10,122	43			

Bu analizlere göre; 130 °C’de 2 saat ve 180 °C’de 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerleri 0,001 anlam düzeyinde, 150 °C’de 2 ve 10 saat, 180 °C’de 2 saat ve 200 °C’de 2 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin enine kesitteki sertlik değerleri 0,01 anlam düzeyinde farklı bulunmuştur. Diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıklar 0,05 yanılma ihtimaliyle önemsiz bulunmuştur.

Tablo 88. Kayın odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	6,496	1	6,496	9,436	**
	Gruplar içi	28,917	42	0,688		
	Toplam	35,413	43			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	2,28E-02	1	8,279E-02	0,242	BD
	Gruplar içi	14,392	42	0,343		
	Toplam	14,475	43			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,138	1	0,138	1,597	BD
	Gruplar içi	3,638	42	8,663E-02		
	Toplam	3,777	43			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	4,443	1	4,443	15,812	***
	Gruplar içi	11,802	42	0,281		
	Toplam	16,245	43			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	1,06E-02	1	1,058E-02	0,040	BD
	Gruplar içi	11,185	42	0,266		
	Toplam	11,196	43			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	3,223	1	3,223	11,567	***
	Gruplar içi	11,701	42	0,279		
	Toplam	14,924	43			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	2,254	1	2,254	6,007	*
	Gruplar içi	15,764	42	0,375		
	Toplam	18,019	43			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	1,05E-03	1	1,049E-03	0,003	BD
	Gruplar içi	12,286	40	0,307		
	Toplam	12,287	41			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	9,091	1	9,091	56,584	***
	Gruplar içi	2,892	40	0,161		
	Toplam	11,983	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	0,249	1	0,249	2,703	BD
	Gruplar içi	3,862	42	9,195E-02		
	Toplam	4,110	43			

Tablo 88'e göre; 130 °C'de 2 saat süreyle ısıtılan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerleri 0,01 anlam düzeyinde, 180 °C -2 saat süreyle ısıtılan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerleri 0,05 anlam düzeyinde, 150 °C'de 2 ve 10 saat, 180 °C'de 10 saat süreyle ısıtılan kayın odunu test ve kontrol örneklerinin enine kesitteki sertlik değerleri 0,001 anlam düzeyinde farklı bulunmuştur. Diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıklar 0,05 yanılma ihtimaliyle önemsiz bulunmuştur.

Enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerlerine ait ladin odunu test örneklerinin kontrolleri ile karşılaştırıldığı BVA sonuçları sırasıyla Tablo 89, Tablo 90 ve Tablo 91’de verilmektedir.

Tablo 89. Ladin odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	0,720	1	0,720	60,190	*
	Gruplar içi	4,654	40	0,116		
	Toplam	5,374	41			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	0,479	1	0,479	1,792	BD
	Gruplar içi	10,159	38	0,267		
	Toplam	10,638	39			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,788	1	0,788	6,807	*
	Gruplar içi	4,515	39	0,116		
	Toplam	5,303	40			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,261	1	0,261	0,823	BD
	Gruplar içi	12,985	41	0,317		
	Toplam	13,246	42			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	0,613	1	0,613	4,293	*
	Gruplar içi	5,569	39	0,143		
	Toplam	6,182	40			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	1,158	1	1,158	4,965	*
	Gruplar içi	9,326	40	0,233		
	Toplam	10,184	41			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	7,43E-02	1	7,435E-02	0,322	BD
	Gruplar içi	9,249	40	0,231		
	Toplam	9,323	41			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	2,008	1	2,008	14,657	***
	Gruplar içi	4,110	30	0,137		
	Toplam	6,119	31			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	3,240	1	3,240	14,610	***
	Gruplar içi	8,870	40	0,222		
	Toplam	12,110	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	0,161	1	0,161	0,492	BD
	Gruplar içi	12,781	39	0,328		
	Toplam	12,942	40			

Tablo 89’dan anlaşılacağı üzere; 130 °C’de 2 ve 10 saat, 150 °C’de 6 ve 10 saat süreyle ısıl işlem uygulanan ladin odunu test örnekleri ve kontrol örneklerinin enine kesitteki sertlik değerleri arasındaki farklılıklar 0,05 anlam düzeyinde, benzer şekilde 180 °C’de 6 ve 10 saat süreyle muamele edilen test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıklar

0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer varyasyonlarda test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıklar 0,05 yanılma ihtimali ile önemsiz bulunmuştur.

Tablo 90. Ladin odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	0,206	1	0,206	2,436	BD
	Gruplar içi	3,384	40	8,460E-02		
	Toplam	3,590	41			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	0,311	1	0,311	2,660	BD
	Gruplar içi	4,448	38	0,117		
	Toplam	4,759	39			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,432	1	0,432	5,161	*
	Gruplar içi	3,266	39	8,374E-02		
	Toplam	3,698	40			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,406	1	0,406	3,264	BD
	Gruplar içi	5,102	41	0,124		
	Toplam	5,508	42			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	0,748	1	0,748	12,752	***
	Gruplar içi	2,288	39	5,866E-02		
	Toplam	3,036	40			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	0,471	1	0,471	6,604	*
	Gruplar içi	2,852	40	7,131E-02		
	Toplam	3,323	41			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	1,938	1	1,938	27,324	***
	Gruplar içi	2,836	40	7,091E-02		
	Toplam	4,774	41			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	4,178	1	4,178	34,226	***
	Gruplar içi	3,662	30	0,122		
	Toplam	7,841	31			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	4,109	1	4,109	59,893	***
	Gruplar içi	2,744	40	6,860E-02		
	Toplam	6,853	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	1,899	1	1,899	17,899	***
	Gruplar içi	4,137	39	0,106		
	Toplam	6,036	40			

BVA sonuçlarına göre; 130 °C'de 10 saat ve 150 °C'de 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerleri, 0,05 anlam düzeyinde önemli bulunurken, 130 °C'de 2 ve 6 saat ve de 150 °C'de 2 saat süreyle muamele edilen test ve kontrol örnekleri arasında, radyal kesitteki sertlik değerleri açısından 0,05 yanılma olasılığı ile fark gözlenmemiştir. Diğer varyasyonlarda gözlenen farklılıklar 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 91. Ladin odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	0,542	1	0,542	5,707	*
	Gruplar içi	3,802	40	9,504E-02		
	Toplam	4,344	41			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	0,196	1	0,196	2,404	BD
	Gruplar içi	3,092	38	8,137E-02		
	Toplam	3,288	39			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,703	1	0,703	6,617	*
	Gruplar içi	4,146	39	0,106		
	Toplam	4,849	40			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,386	1	0,386	6,125	*
	Gruplar içi	2,586	41	6,308E-02		
	Toplam	2,973	42			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	1,72E-02	1	1,720E-02	0,177	BD
	Gruplar içi	3,793	39	9,725E-02		
	Toplam	3,810	40			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	0,197	1	0,197	3,681	BD
	Gruplar içi	2,144	40	5,359E-02		
	Toplam	2,341	41			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	0,621	1	0,621	10,319	**
	Gruplar içi	2,408	40	6,021E-02		
	Toplam	3,030	41			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	3,373	1	3,373	30,079	***
	Gruplar içi	3,364	30	0,112		
	Toplam	6,737	31			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	3,422	1	3,422	115,08	***
	Gruplar içi	1,189	40	2,974E-02		
	Toplam	4,612	41			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	3,357	1	3,357	34,743	***
	Gruplar içi	3,768	39	9,661E-02		
	Toplam	7,124	40			

Bu analizlere göre; 130 °C'de 2 saat ve 10 saat ve 150 °C'de 2 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerleri 0,05 anlam düzeyinde önemli bulunurken, 180 °C'de 2 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerleri 0,01 anlam düzeyinde farklı bulunmuştur. 130 °C'de 6 saat, 150 °C'de 6 ve 10 saat süreli muamelelerdeki farklılıklar 0,05 anlam düzeyinde önemsizken, diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıklar 0,001 yanılma ihtimaliyle anlamlı bulunmuştur.

Kayın odununda sıcaklık, süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerleri üzerine etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları sırasıyla Tablo 92, Tablo 93 ve Tablo 94'te verilmektedir.

Tablo 92. Kayın odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	5,526	3	1,842	2,258	BD	130	ab	2	a
Süre: B	4,625	2	2,312	2,835	BD	150	b	6	a
Etkileşim AB	26,401	4	6,600	8,091	***	180	b	10	a
Hata	160,702	197	0,816			200	a		
Toplam	7471,835	207							

Tablo 92'de özetlenen ÇVA sonuçlarına göre kayın odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık ve süre etkisinin 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu gözlenirken, sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimlerinin 0,001 yanılma olasılığı ile önemli olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 93. Kayın odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	1,915	3	0,638	2,215	BD	130	a	2	a
Süre: B	9,048	2	4,524	15,704	***	150	a	6	b
Etkileşim AB	11,489	4	2,872	9,970	***	180	a	10	a
Hata	56,752	197	0,288			200	a		
Toplam	1656,343	207							

Tablo 93'e göre kayın odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık etkisinin 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu gözlenirken, süre etkisinin ve de sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimlerinin 0,001 yanılma olasılığı ile önemli olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 94. Kayın odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	2,015	3	0,672	2,937	*	130	ab	2	a
Süre: B	15,645	2	7,822	34,209	***	150	b	6	b
Etkileşim AB	8,756	4	2,189	9,573	***	180	b	10	c
Hata	45,047	197	0,229			200	a		
Toplam	1776,830	207							

Tablo 94'e göre kayın odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık etkisinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu gözlenirken, süre etkisinin ile sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimlerinin 0,001 yanılma olasılığı ile önemli olduğu anlaşılmıştır.

Ladin odununda sıcaklık, süre ve bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerleri üzerine etkilerinin araştırıldığı ÇVA ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları sırasıyla Tablo 95, Tablo 96 ve Tablo 97'de verilmektedir.

Tablo 95. Ladin odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	7,718	3	2,573	12,036	***	130	a	2	a
Süre: B	0,467	2	0,233	1,092	BD	150	a	6	a
Etkileşim AB	2,610	4	0,652	3,052	*	180	b	10	a
Hata	40,612	190	0,214			200	a		
Toplam	1688,11	200							

ÇVA sonuçlarına göre; ladin odunu örneklerinin enine kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklığın 0,001 anlam düzeyinde önemli, sürenin 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bir etkisi söz konusu iken, sıcaklık ve sürenin karşılıklı etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 96. Ladin odunu örneklerinin radyal kesitteki değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	8,127	3	2,709	27,772	***	130	a	2	a
Süre: B	0,396	2	0,198	2,028	BD	150	a	6	a
Etkileşim AB	1,925	4	0,481	4,934	***	180	b	10	a
Hata	18,533	190	9,754E-02			200	a		
Toplam	353,189	200							

ÇVA sonuçları; ladin odunu örneklerinin radyal kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık etkisinin 0,001 anlam düzeyinde önemli, süre etkisinin 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğunu sonucunu ortaya koymuştur.

Tablo 97. Ladin odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerlerine ait ÇVA ve Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Ortalama Kareler	F-Hesap	ÖD	Var. K. Sıcaklık °(C)	HG	Var. K. Süre (Saat)	HG
Sıcaklık: A	6,100	3	2,033	30,999	***	130	a	2	ab
Süre: B	0,359	2	0,180	2,738	BD	150	a	6	b
Etkileşim AB	1,597	4	0,399	6,087	***	180	b	10	a
Hata	12,462	190	6,559E-02			200	b		
Toplam	299,065	200							

Tablo 97'den; ladin odunu örneklerinin teğet kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık etkisinin 0,001 anlam düzeyinde önemli, süre etkisinin 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, bu iki varyans kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcaklık ve süre artışlarının enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerleri üzerine etkilerinin doğrusal, parabolik ya da kübik bir ilişki gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla kontrastlar oluşturularak yapılan iki faktörlü faktöriyel varyans analizi ( $\alpha = 0,05$ ) sonuçları sırasıyla Tablo 98, Tablo 99 ve Tablo 100'de gösterilmektedir.



Tablo 98. Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcaklık ve süre artışının enine kesitteki sertlik değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

KAYIN		LADİN	
Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Parabolik	Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Kübik
Kontrast	-0,502	Kontrast	-0,246
Standart Sapma	,193	Standart Sapma	0,101
Önem Düzeyi	*	Önem Düzeyi	*
Süre ( Saat ) Etkisi →	Parabolik	Süre ( Saat ) Etkisi →	Belirgin etki yok
Kontrast	-0,261	Kontrast	-
Standart Sapma	0,115	Standart Sapma	-
Önem Düzeyi	*	Önem Düzeyi	BD

Bu analizlerden, kayın odununun enine kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık artışının kübik, süre artışının doğrusal bir etkisi olduğu, ladin odununda ise sıcaklık artışının doğrusal, süre artışının parabolik bir etkisi olduğu 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

Tablo 99. Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcaklık ve süre artışının radyal kesitteki sertlik değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

KAYIN		LADİN	
Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Kübik	Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Kübik
Kontrast	-0,201	Kontrast	0,341
Standart Sapma	0,114	Standart Sapma	0,068
Önem Düzeyi	*	Önem Düzeyi	***
Süre ( Saat ) Etkisi →	Parabolik	Süre ( Saat ) Etkisi →	Belirgin etki yok
Kontrast	-0,354	Kontrast	-
Standart Sapma	0,069	Standart Sapma	-
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	BD

Tablo 99'a göre; kayın odununun radyal kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık artışının doğrusal etkisi 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bulunurken, süre artışının doğrusal etkisi 0,01 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur. Benzer şekilde ladin odununun radyal kesitteki sertlik değerleri üzerine, sıcaklık artışının kübik etkisi 0,001 anlam düzeyinde önemli, süre artışının parabolik etkisi ise 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

Tablo 100. Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcaklık ve süre artışının teğet kesitteki sertlik değerlerini etkileme şekline ilişkin kontrast sonuçları

KAYIN		LADİN	
Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Küçük	Sıcaklık ( °C ) Etkisi →	Doğrusal
Kontrast	-0,228	Kontrast	-0,281
Standart Sapma	0,102	Standart Sapma	0,055
Önem Düzeyi	*	Önem Düzeyi	***
Süre ( Saat ) Etkisi →	Parabolik	Süre ( Saat ) Etkisi →	Doğrusal
Kontrast	-0,366	Kontrast	-7,516E-03
Standart Sapma	0,061	Standart Sapma	0,032
Önem Düzeyi	***	Önem Düzeyi	*

Kontrast sonuçlarına göre; kayın odununun teğet kesitteki sertlik değerleri üzerine sıcaklık artışının parabolik etkisi 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, süre artışının doğrusal etkisi 0,01 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur. Benzer şekilde ladin odununun teğet kesitteki sertlik değerleri üzerine, sıcaklık ve süre artışlarının parabolik etkisi ise 0,05 anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

### 3.4. Kimyasal Özellikler

Isıl işlemin odunun kimyasal yapısında meydana getirdiği değişiklikleri ortaya koymak üzere, sıcak su çözünürlüğü, % 1'lik NaOH çözünürlüğü, alkol-benzende çözünürlük, selüloz, holoselüloz ve lignin tayinleri yapılmıştır.

#### 3.4.1. Rutubet

Kayın ve ladin örneklerindeki rutubet değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler Tablo 101'de sunulmaktadır.

Tablo 101. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama rutubet değerleri

RUTUBET	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADİN			
			x	s	min	mak	x	s	min	mak
TEST	130	2	93,01	0,14	92,93	93,18	91,26	0,30	90,92	91,51
		6	90,80	0,25	90,64	91,11	89,67	0,47	89,32	90,22
		10	92,66	0,44	92,22	93,11	89,99	0,13	89,85	90,10
	150	2	92,24	0,12	92,10	92,34	90,04	0,33	89,80	90,43
		6	93,00	0,05	93,00	93,01	89,81	0,59	89,12	90,20
		10	93,78	0,08	93,70	93,87	89,99	0,29	89,69	90,28
	180	2	91,16	0,44	90,77	91,65	90,16	0,32	89,84	90,48
		6	94,05	0,18	93,87	94,25	90,13	0,18	89,92	90,25
		10	93,29	0,17	93,28	93,31	91,13	0,44	90,84	91,65
	200	2	95,17	0,16	95,05	95,36	90,74	0,42	90,40	91,22
		6	94,75	0,36	94,37	95,08	91,52	0,63	90,81	92,01
		10	94,71	0,28	94,44	95,00	92,01	0,10	91,90	92,10
KONTROL	→		93,06	0,20	92,83	93,19	88,65	0,10	88,54	88,75

### 3.4.2. Sıcak Su Çözünürlüğü

Kayın ve ladin odunu örneklerinde sıcak su çözünürlüğüne ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri Tablo 102'de, BVA sonuçlarını kapsayan istatistiksel analizler kayın odunu örnekleri için Tablo 103'te, ladin odunu örnekleri için Tablo 104'te sunulmaktadır.

Tablo 102. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama sıcak su çözünürlükleri

SICAK SU ÇÖZ.	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADİN			
			x	s	min	mak	x	s	min	mak
TEST	130	2	3,43	0,00	3,43	3,45	5,12	0,16	4,95	5,28
		6	2,99	0,00	2,05	2,09	4,71	0,30	4,47	5,06
		10	2,01	0,01	2,00	2,02	5,94	0,00	5,94	5,95
	150	2	3,19	0,00	3,19	3,20	4,74	0,00	4,73	4,75
		6	3,26	0,00	3,26	3,27	5,39	0,08	5,31	5,48
		10	3,64	0,23	3,43	3,90	6,38	0,01	6,37	6,39
	180	2	4,39	0,09	4,29	4,49	4,56	0,13	4,43	4,70
		6	6,21	0,10	6,12	6,33	5,82	0,07	5,74	5,88
		10	8,35	0,00	8,35	8,37	5,82	0,22	5,62	6,07
	200	2	6,29	0,00	6,29	6,30	5,55	0,20	5,31	5,70
		6	6,67	0,16	6,52	6,84	4,80	0,09	4,70	4,90
		10	6,76	0,02	6,74	6,79	4,85	0,10	4,75	4,97
KONTROL	→		2,07	0,02	2,05	2,09	2,59	0,05	2,54	2,65

Tablo 103. Kayın odununda sıcak su çözünürlüğüne ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	2,809	1	2,809	9246,4	***
	Gruplar içi	1,22E-03	4	3,038E-04		
	Toplam	2,810	5			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	1,287	1	1,287	4601,1	***
	Gruplar içi	1,12E-03	4	2,797E-04		
	Toplam	1,288	5			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	5,58E-03	1	5,581E-03	15,682	*
	Gruplar içi	1,42E-03	4	3,559E-04		
	Toplam	7,01E-03	5			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	1,889	1	1,889	6669,2	***
	Gruplar içi	1,13E-03	4	2,833E-04		
	Toplam	1,891	5			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	2,141	1	2,141	6705,1	***
	Gruplar içi	1,28E-03	4	3,193E-04		
	Toplam	2,142	5			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	3,716	1	3,716	129,65	***
	Gruplar içi	0,115	4	2,866E-02		
	Toplam	3,830	5			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	8,066	1	8,066	1567,1	***
	Gruplar içi	2,06E-02	4	5,147E-03		
	Toplam	8,087	5			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	25,774	1	25,774	4358,5	***
	Gruplar içi	2,37E-02	4	5,913E-03		
	Toplam	25,798	5			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	59,252	1	59,252	182967	***
	Gruplar içi	1,30E-03	4	3,238E-04		
	Toplam	59,254	5			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	26,788	1	26,788	92294	***
	Gruplar içi	1,16E-03	4	2,902E-04		
	Toplam	26,789	5			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	31,803	1	31,803	2399,4	***
	Gruplar içi	5,30E-02	4	1,325E-02		
	Toplam	31,856	5			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	33,093	1	33,093	58051	***
	Gruplar içi	2,28E-03	4	5,701E-04		
	Toplam	33,095	5			

Tablo 103'e göre; 130 °C'de 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin sıcak su çözünürlükleri arasındaki farklılık 0,05 anlam düzeyinde, diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 104. Ladin odununda sıcak su çözünürlüğüne ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	9,628	1	9,628	640,39	***
	Gruplar içi	6,01E-02	4	1,503E-02		
	Toplam	9,688	5			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	6,711	1	6,711	137,12	***
	Gruplar içi	0,196	4	4,894E-02		
	Toplam	6,906	5			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	16,805	1	16,805	11158,7	***
	Gruplar içi	6,02E-03	4	1,506E-03		
	Toplam	16,811	5			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	6,912	1	6,912	4475,46	***
	Gruplar içi	6,18E-03	4	1,544E-03		
	Toplam	6,918	5			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	11,739	1	11,739	2231,08	***
	Gruplar içi	2,10E-02	4	5,262E-03		
	Toplam	11,760	5			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	21,477	1	21,477	13485,4	***
	Gruplar içi	6,37E-03	4	1,593E-03		
	Toplam	21,484	5			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	5,82	1	5,820	565,222	***
	Gruplar içi	4,12E-02	4	1,030E-02		
	Toplam	5,862	5			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	15,671	1	15,671	3618,66	***
	Gruplar içi	1,73E-02	4	4,331E-03		
	Toplam	15,688	5			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	15,644	1	15,644	575,429	***
	Gruplar içi	0,109	4	2,719E-02		
	Toplam	15,752	5			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	13,118	1	13,118	560,617	***
	Gruplar içi	9,36E-2	4	2,340E-02		
	Toplam	13,212	5			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	7,310	1	7,310	1141,82	***
	Gruplar içi	2,56E-02	4	6,402E-03		
	Toplam	7,336	5			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	7,653	1	7,653	1050,46	***
	Gruplar içi	2,91E-02	4	7,285E-03		
	Toplam	7,682	5			

BVA sonuçlarına göre; ladin odunu test ve kontrol örneklerinin sıcak su çözünürlükleri arasındaki farklılık bütün varyasyonlar için 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

### 3.4.3. % 1'lik NaOH Çözünürlüğü

Kayın ve ladin odunu örneklerinde % 1'lik NaOH çözünürlüklerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler Tablo 105'te, BVA sonuçları kayın odunu örnekleri için Tablo 106'da, ladin odunu örnekleri için Tablo 107'de sunulmaktadır.

Tablo 105. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama % 1'lik NaOH çözünürlükleri

% 1'lik NaOH ÇÖZ.	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADİN			
			x	s	min	mak	x	s	min	mak
TEST	130	2	14,31	0,31	14,00	14,63	14,51	0,09	14,42	14,62
		6	15,45	0,20	15,22	15,61	14,53	0,01	14,52	14,55
		10	15,52	0,44	15,12	15,99	15,65	0,24	15,41	15,90
	150	2	14,58	0,12	14,50	14,73	14,30	0,26	14,04	14,57
		6	15,81	0,39	15,38	16,13	15,69	0,64	15,04	16,33
		10	16,51	0,18	16,33	16,70	17,86	0,15	17,74	18,03
	180	2	16,45	0,05	16,41	16,51	14,56	0,93	13,73	15,58
		6	25,74	0,09	25,65	25,84	16,07	0,33	15,73	16,40
		10	33,83	0,21	33,64	34,07	21,41	0,23	21,28	21,68
	200	2	25,86	0,10	25,76	25,96	15,81	0,49	15,27	16,25
		6	40,17	0,06	40,10	40,23	18,75	0,65	18,10	19,41
		10	44,04	0,21	43,84	44,26	19,88	0,06	19,85	19,96
KONTROL	→		13,79	0,00	13,79	13,80	10,72	0,22	10,58	10,99

Tablo 106. Kayın odununda % 1'lik NaOH çözünürlüğüne ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	0,404	1	0,404	8,282	*
	Gruplar içi	0,195	4	4,883E-02		
	Toplam	0,600	5			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	4,153	1	4,153	190,84	***
	Gruplar içi	8,70E-02	4	2,176E-02		
	Toplam	4,240	5			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	4,500	1	4,500	46,348	**
	Gruplar içi	0,388	4	9,710E-02		
	Toplam	4,889	5			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,936	1	0,936	116,98	***
	Gruplar içi	3,20E-02	4	8,004E-03		
	Toplam	0,968	5			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	6,105	1	6,105	80,042	***
	Gruplar içi	0,305	4	7,627E-02		
	Toplam	6,41	5			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	11,112	1	11,112	670,84	***
	Gruplar içi	6,63E-02	4	1,656E-02		
	Toplam	11,178	5			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	10,645	1	10,645	8127,0	***
	Gruplar içi	5,24E-03	4	1,310E-03		
	Toplam	10,651	5			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	214,358	1	214,358	48243,6	***
	Gruplar içi	1,78E-02	4	4,443E-03		
	Toplam	214,376	5			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	602,511	1	602,511	25494,8	***
	Gruplar içi	9,45E-02	4	2,363E-02		
	Toplam	602,605	5			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	218,428	1	218,428	41164,6	***
	Gruplar içi	2,12E-02	4	5,306E-03		
	Toplam	218,450	5			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	1044,287	1	1044,287	452238	***
	Gruplar içi	9,24E-03	4	2,309E-03		
	Toplam	1044,296	5			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	1372,806	1	1372,806	61958,6	***
	Gruplar içi	8,86E-02	4	2,216E-02		
	Toplam	1372,894	5			

Tablo 106'ya göre; 130 °C'de 2 saat ve 130 °C'de 10 saat süreyle ısıtılma tabii tutulan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin % 1'lik NaOH çözünürlükleri arasındaki farklılık sırasıyla 0,05 ve 0,01 anlam düzeyinde, diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 107. Ladin odununda % 1'lik NaOH çözünürlüğüne ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	21,558	1	21,558	706,69	***
	Gruplar içi	0,122	4	3,051E-02		
	Toplam	21,680	5			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	21,730	1	21,730	846,80	***
	Gruplar içi	0,103	4	2,566E-02		
	Toplam	21,833	5			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	36,368	1	36,368	654,01	***
	Gruplar içi	0,222	4	5,561E-02		
	Toplam	36,591	5			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	19,201	1	19,201	321,51	***
	Gruplar içi	0,239	4	5,972E-02		
	Toplam	19,440	5			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	37,085	1	37,085	158,35	***
	Gruplar içi	0,937	4	0,234		
	Toplam	38,021	5			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	76,447	1	76,447	2069,85	***
	Gruplar içi	0,148	4	3,693E-02		
	Toplam	76,595	5			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	22,077	1	22,077	47,497	**
	Gruplar içi	1,859	4	0,465		
	Toplam	23,936	5			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	42,893	1	42,893	518,552	***
	Gruplar içi	0,331	4	8,272E-02		
	Toplam	43,224	5			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	171,212	1	171,212	3288,585	***
	Gruplar içi	0,208	4	5,206E-02		
	Toplam	171,420	5			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	38,793	1	38,793	261,639	***
	Gruplar içi	0,593	4	0,148		
	Toplam	39,387	5			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	96,729	1	96,729	399,616	***
	Gruplar içi	0,968	4	0,242		
	Toplam	97,967	5			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	125,780	1	125,780	4537,657	***
	Gruplar içi	0,111	4	2,772E-02		
	Toplam	125,891	5			

Tablo 107'de özetlenen BVA sonuçlarından; 180 °C'de 2 saat süreyle ısıtılma tabii tutulan ladin odunu test örnekleri ile kontrol örnekleri arasında % 1'lik NaOH çözünürlükleri açısından ortaya çıkan farklılıkların 0,01; diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu sonucuna varılmıştır.



### 3.4.4. Alkol-Benzen Çözünürlüğü

Kayın ve ladin odunu örneklerinde alkol-benzen çözünürlüklerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler Tablo 108'de, BVA sonuçları kayın odunu örnekleri için Tablo 109'da, ladin odunu örnekleri için Tablo 110'da sunulmaktadır.

Tablo 108. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama alkol-benzen çözünürlükleri

ALKOL - BENZEN ÇÖZ.	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADİN			
			x	s	min	mak	x	s	min	mak
TEST	130	2	1,67	0,27	1,48	1,86	1,84	0,06	1,80	1,89
		6	1,33	0,03	1,32	1,36	1,16	0,02	1,15	1,18
		10	1,82	0,10	1,75	1,89	1,41	0,19	1,27	1,55
	150	2	2,04	0,29	1,84	2,25	0,91	0,06	0,86	0,96
		6	2,18	0,85	1,58	2,79	1,07	0,41	0,78	1,37
		10	2,40	0,08	2,34	2,46	1,30	0,22	1,14	1,46
	180	2	1,32	0,23	1,16	1,50	0,88	0,25	0,70	1,06
		6	4,16	0,14	4,07	4,27	0,91	0,15	0,80	1,02
		10	5,96	0,73	5,45	6,49	1,67	0,25	1,50	1,85
	200	2	4,82	0,34	4,58	5,06	2,63	0,03	2,62	2,66
		6	5,74	0,01	5,74	5,76	1,86	0,13	1,76	1,96
		10	6,16	0,41	5,87	6,46	2,69	0,34	2,45	2,94
KONTROL	→		1,79	0,00	1,79	1,80	0,14	0,05	0,11	0,18

Tablo 109. Kayın odununda alkol-benzen çözünürlüğüne ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	1,58E-02	1	1,583E-02	0,422	BD
	Gruplar içi	7,50E-02	2	3,751E-02		
	Toplam	9,08E-02	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	0,210	1	0,210	438,077	**
	Gruplar içi	9,60E-04	2	4,801E-04		
	Toplam	0,211	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	5,83E-04	1	5,832E-04	0,111	BD
	Gruplar içi	1,05E-02	2	5,26E-03		
	Toplam	1,11E-02	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	6,25E-02	1	6,248E-02	1,434	BD
	Gruplar içi	8,71E-02	2	4,356E-02		
	Toplam	0,150	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	0,152	1	0,152	0,420	BD
	Gruplar içi	0,724	2	0,362		
	Toplam	0,876	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	0,367	1	0,367	97,402	**
	Gruplar içi	7,53E-03	2	3,765E-03		
	Toplam	0,374	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	0,218	1	0,218	7,747	BD
	Gruplar içi	5,62E-02	2	2,808E-02		
	Toplam	0,274	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	5,629	1	5,629	560,263	**
	Gruplar içi	2,01E-02	2	1,005E-02		
	Toplam	5,649	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	17,419	1	17,419	64,345	**
	Gruplar içi	0,541	2	0,271		
	Toplam	17,961	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	9,146	1	9,146	156,224	**
	Gruplar içi	0,117	2	5,855E-02		
	Toplam	9,263	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	15,599	1	15,599	147121	***
	Gruplar içi	2,12E-04	2	1,060E-04		
	Toplam	15,599	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	19,087	1	19,087	225,224	**
	Gruplar içi	0,169	2	8,475E-02		
	Toplam	19,256	3			

BVA sonuçlarına göre; 130 °C'de 2 ve 10 saat, 150 °C'de 2 ve 6 saat, 180 °C'de 2 saat süreyle ısıtma işlemi uygulanan varyasyonlara ait kayın odunu test örneklerinin alkol-benzen çözünürlükleri ile kontrol örneklerinin alkol benzen çözünürlükleri arasındaki farklılıklar 0,05 anlam düzeyinde istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, 200 °C'de 6 saat varyasyonunda söz konusu farklılığın 0,001 anlam düzeyinde, diğer varyasyonlarda ise 0,01 anlam düzeyinde önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 110. Ladin odununda alkol-benzen çözünürlüğüne ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	2,881	1	2,881	821,528	***
	Gruplar içi	7,01E-03	2	3,506E-03		
	Toplam	2,888	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	1,037	1	1,037	638,298	**
	Gruplar içi	3,25E-03	2	1,625E-03		
	Toplam	1,041	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	1,599	1	1,599	77,196	**
	Gruplar içi	4,14E-02	2	2,072E-02		
	Toplam	1,641	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,587	1	0,587	162,210	**
	Gruplar içi	7,24E-03	2	3,620E-03		
	Toplam	0,594	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	0,871	1	0,871	9,853	BD
	Gruplar içi	0,177	2	8,839E-02		
	Toplam	1,048	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	1,331	1	1,331	51,509	**
	Gruplar içi	5,17E-02	2	2,585E-02		
	Toplam	1,383	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	0,542	1	0,542	16,276	BD
	Gruplar içi	6,66E-02	2	3,331E-02		
	Toplam	0,609	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	0,584	1	0,584	45,041	*
	Gruplar içi	2,59E-02	2	1,297E-02		
	Toplam	0,610	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	2,338	1	2,338	70,860	*
	Gruplar içi	6,60E-02	2	3,299E-02		
	Toplam	2,404	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	6,203	1	6,203	3446,668	***
	Gruplar içi	3,60E-03	2	1,800E-03		
	Toplam	6,206	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	2,946	1	2,946	266,300	**
	Gruplar içi	2,21E-02	2	1,106E-02		
	Toplam	2,968	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	6,504	1	6,504	104,732	**
	Gruplar içi	0,124	2	6,210E-02		
	Toplam	6,628	3			

Buna göre; 130 °C ve 200 °C'de 2 saat süreli varyasyonlar ile 180 °C'de 6 ve 10 saat süreli varyasyonlara ait ladin odunu test örneklerinin alkol-benzen çözünürlükleri ile kontrol örneklerinin alkol benzen çözünürlükleri arasındaki farklılıklar sırasıyla 0,001 ve 0,05 anlam düzeyinde önemli bulunurken, 150 °C'de 6 ve 180 °C'de 2 saat süreli varyasyonlarda söz konusu farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, diğer varyasyonlarda ise 0,01 anlam düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

### 3.4.5. Selüloz

Kayın ve ladin odunu örneklerinde selüloz değerlerine ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler Tablo 111'de, BVA sonuçları kayın odunu örnekleri için Tablo 112'de, ladin odunu örnekleri için Tablo 113'te sunulmaktadır.

Tablo 111. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama selüloz değerleri

SELÜLOZ	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADIN			
			x	s	min	mak	x	s	min	mak
TEST	130	2	56,13	0,36	55,88	56,39	57,52	0,38	57,26	57,80
		6	55,45	0,26	55,26	55,64	55,41	0,45	55,10	55,74
		10	53,76	6,45	53,72	53,81	55,85	0,46	55,52	56,18
	150	2	55,85	0,94	55,19	56,53	56,59	0,69	56,10	57,08
		6	56,65	0,14	56,55	65,75	57,24	0,23	57,07	57,41
		10	53,97	0,71	53,47	54,48	56,32	0,49	55,98	56,67
	180	2	53,54	0,21	53,39	53,70	56,21	0,00	56,21	56,21
		6	55,34	0,80	54,77	55,91	56,19	1,26	55,30	57,09
		10	54,40	0,29	54,20	54,61	55,45	1,08	54,69	56,23
	200	2	55,17	0,15	55,06	55,28	55,27	0,11	55,19	55,36
		6	54,04	0,00	54,04	54,04	54,46	0,54	54,08	54,84
		10	53,67	0,00	53,67	53,67	50,39	0,44	50,09	50,71
KONTROL	→		54,19	1,09	53,42	54,97	54,12	0,00	54,12	54,12

Tablo 112. Kayın odununda selüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	3,760	1	3,760	5,624	BD
	Gruplar içi	1,337	2	0,669		
	Toplam	5,097	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	1,574	1	1,574	2,468	BD
	Gruplar içi	1,275	2	0,637		
	Toplam	2,848	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,186	1	0,186	0,308	BD
	Gruplar içi	1,208	2	0,604		
	Toplam	1,394	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	2,762	1	2,762	2,633	BD
	Gruplar içi	2,098	2	1,049		
	Toplam	4,861	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	6,023	1	6,023	9,832	BD
	Gruplar içi	1,225	2	0,613		
	Toplam	7,249	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	4,85E-02	1	4,874E-02	0,57	BD
	Gruplar içi	1,714	2	0,857		
	Toplam	1,762	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	0,422	1	0,422	0,676	BD
	Gruplar içi	1,250	2	0,625		
	Toplam	1,672	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	1,315	1	1,315	1,418	BD
	Gruplar içi	1,855	2	0,927		
	Toplam	3,169	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	4,43E-02	1	4,433E-02	0,069	BD
	Gruplar içi	1,288	2	0,644		
	Toplam	1,333	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	0,953	1	0,953	1,552	BD
	Gruplar içi	1,228	2	0,614		
	Toplam	2,181	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	2,39E-02	1	2,392E-02	0,040	BD
	Gruplar içi	1,204	2	0,602		
	Toplam	1,228	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	0,271	1	0,271	0,450	BD
	Gruplar içi	1,204	2	0,602		
	Toplam	1,474	3			

BVA sonuçlarına göre; kayın odunu test ve kontrol örneklerinin selüloz oranları arasında bütün varyasyonlar için 0,05 anlam düzeyinde fark gözlenmemiştir.

Tablo 113. Ladin odununda selüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	11,599	1	11,599	160,057	**
	Gruplar içi	0,145	2	7,274E-02		
	Toplam	11,744	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	1,678	1	1,678	16,022	BD
	Gruplar içi	0,209	2	0,105		
	Toplam	1,888	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	2,991	1	2,991	27,656	*
	Gruplar içi	0,216	2	0,108		
	Toplam	3,207	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	6,081	1	6,081	25,042	*
	Gruplar içi	0,486	2	0,243		
	Toplam	6,567	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	9,720	1	9,720	339,132	**
	Gruplar içi	5,73E-02	2	2,866E-02		
	Toplam	9,778	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	4,847	1	4,847	39,787	*
	Gruplar içi	0,244	2	0,122		
	Toplam	5,091	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	4,369	1	4,369	8,7E+08	***
	Gruplar içi	1,00E-08	2	5,000E-09		
	Toplam	4,369	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	4,297	1	4,297	5,369	BD
	Gruplar içi	1,601	2	0,800		
	Toplam	5,898	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	1,781	1	1,781	3,010	BD
	Gruplar içi	1,183	2	0,592		
	Toplam	2,965	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	1,333	1	1,333	189,333	**
	Gruplar içi	1,41E-02	2	7,039E-03		
	Toplam	1,347	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	0,114	1	0,114	0,774	BD
	Gruplar içi	0,294	2	0,147		
	Toplam	0,408	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	13,872	1	13,872	143,142	**
	Gruplar içi	0,194	2	9,691E-02		
	Toplam	14,065	3			

BVA sonuçlarına göre; 130 °C'de 2, 150 °C'de 6, 200 °C'de 2 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan ladin odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin selüloz oranları arasında 0,01; 130 °C'de 10, 150 °C'de 2 ve 10 saat varyasyonlarında 0,05; 180 °C'de 2 saat varyasyonunda 0,001 anlam düzeyinde fark gözlenirken, diğer varyasyonlarda ortaya çıkan farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu anlaşılmıştır.

### 3.4.6. Holoselüloz

Kayın ve ladin odunu örneklerinde holoselüloz değerlerine ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler Tablo 114'te, BVA sonuçları kayın odunu örnekleri için Tablo 115'de, ladin odunu örnekleri için Tablo 116'da sunulmaktadır.

Tablo 114. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama holoselüloz değerleri

HOLOSELÜLOZ	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADİN			
			x	s	min	mak	x	s	min	Mak
TEST	130	2	78,69	0,28	78,50	78,90	71,20	0,00	71,20	71,20
		6	78,69	0,00	78,70	78,70	67,41	0,13	67,32	67,52
		10	78,43	0,92	77,78	79,09	66,50	0,02	66,48	66,52
	150	2	79,72	0,56	79,33	80,13	66,94	0,74	66,42	67,47
		6	79,34	0,17	79,23	79,47	67,01	0,00	67,02	67,02
		10	78,98	0,73	78,47	79,50	64,70	0,04	64,68	64,74
	180	2	79,45	0,14	79,34	79,56	64,42	0,30	64,21	64,64
		6	69,92	0,31	69,69	70,15	62,22	0,79	61,66	62,78
		10	60,91	0,31	60,70	61,14	58,12	0,12	58,04	58,21
	200	2	59,41	0,31	59,20	59,64	58,65	0,07	58,60	58,71
		6	56,43	0,35	56,18	56,68	56,52	0,22	56,37	56,69
		10	55,38	0,55	55,00	55,78	52,39	0,20	52,25	52,54
KONTROL	→		78,85	0,52	78,49	79,23	75,55	0,66	75,09	76,03

Tablo 115. Kayın odununda holoselüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	2,56E-02	1	2,562E-02	0,145	BD
	Gruplar içi	0,353	2	0,177		
	Toplam	0,379	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	2,64E-02	1	2,639E-02	0,195	BD
	Gruplar içi	0,271	2	0,135		
	Toplam	0,297	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,179	1	0,179	0,318	BD
	Gruplar içi	1,124	2	0,562		
	Toplam	1,302	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	0,756	1	0,756	2,564	BD
	Gruplar içi	0,589	2	0,295		
	Toplam	1,345	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	0,236	1	0,236	1,578	BD
	Gruplar içi	0,300	2	0,150		
	Toplam	0,536	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	1,57E-02	1	1,565E-02	0,039	BD
	Gruplar içi	0,809	2	0,404		
	Toplam	0,824	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	0,348	1	0,348	2,378	BD
	Gruplar içi	0,293	2	0,146		
	Toplam	0,641	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	79,916	1	79,916	429,091	**
	Gruplar içi	0,372	2	0,186		
	Toplam	80,289	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	321,955	1	321,955	1748,775	***
	Gruplar içi	0,368	2	0,184		
	Toplam	322,323	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	377,954	1	377,954	2043,351	***
	Gruplar içi	0,370	2	0,185		
	Toplam	378,324	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	503,053	1	503,053	2550,631	***
	Gruplar içi	0,394	2	0,197		
	Toplam	503,448	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	550,916	1	550,916	1906,189	***
	Gruplar içi	0,578	2	0,289		
	Toplam	551,494	3			

Tablo 115'te özetlenen BVA sonuçlarından; 180 °C'de 6 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örnekleri ile kontrol örnekleri arasında holoselüloz değerleri açısından ortaya çıkan farklılıkların 0,01; 180 °C'de 10, 200 °C'de 2, 6 ve 10 saat olarak uygulanan varyasyonlarında söz konusu farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu, diğer varyasyonlarda ise 0,05 yanılma ihtimali ile önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.



Tablo 116. Ladin odununda holoselüloz değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	18,980	1	18,980	87,068	*
	Gruplar içi	0,436	2	0,218		
	Toplam	19,416	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	66,272	1	66,272	290,989	**
	Gruplar içi	0,455	2	0,228		
	Toplam	66,727	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	82,030	1	82,030	375,762	**
	Gruplar içi	0,437	2	0,218		
	Toplam	82,467	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	74,325	1	74,235	150,198	**
	Gruplar içi	0,989	2	0,494		
	Toplam	75,224	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	72,973	1	72,973	334,747	**
	Gruplar içi	0,436	2	0,218		
	Toplam	73,409	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	117,741	1	117,741	537,714	**
	Gruplar içi	0,438	2	0,219		
	Toplam	118,179	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	123,914	1	123,914	469,092	**
	Gruplar içi	0,528	2	0,264		
	Toplam	124,442	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	177,858	1	177,858	334,469	**
	Gruplar içi	1,064	2	0,532		
	Toplam	178,922	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	303,916	1	303,916	1347,255	****
	Gruplar içi	0,451	2	0,226		
	Toplam	304,368	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	285,695	1	285,695	1291,703	***
	Gruplar içi	0,442	2	0,221		
	Toplam	286,137	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	362,238	1	362,238	1483,814	***
	Gruplar içi	0,488	2	0,244		
	Toplam	362,726	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	536,485	1	536,485	2247,096	***
	Gruplar içi	0,477	2	0,239		
	Toplam	536,963	3			

Tablo 116'da özetlenen BVA sonuçlarından; 130 °C'de 2 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örnekleri ile kontrol örnekleri arasında holoselüloz değerleri açısından ortaya çıkan farklılıkların 0,05; 180 °C'de 10, 200 °C'de 2, 6 ve 10 saat olarak uygulanan varyasyonlarında söz konusu farklılıkların 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu, diğer varyasyonlarda ise 0,05 yanılma ihtimali ile önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.4.7. Hemiselüloz

Kayın ve ladin odunu örneklerinin hemiselüloz oranı, deneysel olarak hesaplanan ortalama holoselüloz ve selüloz oranı farklarının alınmasıyla belirlenmiştir. Her iki ağaç türü için hemiselüloz değerlerine ilişkin aritmetik ortalamalar Tablo 117'de sunulmaktadır. Hemiselüloz değerleri hesap yoluyla bulunduğu için bunlarla ilgili istatistiksel analiz yapılamamıştır.

Tablo 117. Kayın ve ladin odunu örneklerinin ortalama hemiselüloz değerleri (%)

HEMİSELÜLOZ	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN x	LADİN x
TEST	130	2	22,56	13,67
		6	23,24	11,99
		10	24,67	10,64
	150	2	23,87	10,35
		6	22,69	9,77
		10	25,00	8,38
	180	2	25,90	8,21
		6	14,57	6,02
		10	6,51	2,66
	200	2	4,24	3,37
		6	2,38	2,06
		10	1,71	1,99
KONTROL	→		24,66	21,43

### 3.4.8. Lignin

Kayın ve ladin odunu örneklerinde lignin değerlerine ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler Tablo 118'de, BVA sonuçları kayın odunu örnekleri için Tablo 119'da, ladin odunu örnekleri için Tablo 120'de sunulmaktadır

Tablo 118. Kayın ve ladin odunlarına ait ortalama lignin değerleri

LİGNİN	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	KAYIN				LADİN			
			x	s	min.	mak	x	s	min	mak
TEST	130	2	21,29	0,00	21,29	21,29	27,68	0,10	27,61	27,75
		6	21,56	0,27	21,37	21,76	30,10	0,08	30,04	30,17
		10	21,73	0,19	21,59	21,86	30,09	0,12	30,01	30,18
	150	2	20,57	0,07	20,53	20,63	28,14	0,16	28,04	28,26
		6	20,69	0,43	20,39	21,00	28,60	0,00	28,60	28,60
		10	21,28	0,50	20,93	21,64	28,60	0,28	28,40	28,80
	180	2	20,16	0,12	20,08	20,25	28,44	0,28	28,25	28,65
		6	20,79	0,73	20,28	21,31	30,55	0,57	30,15	30,97
		10	33,44	0,00	33,44	33,44	32,21	0,38	31,94	32,49
	200	2	36,92	1,10	36,14	37,71	31,37	0,00	31,37	31,37
		6	40,13	0,00	40,12	40,14	34,03	0,36	33,78	34,30
		10	42,02	0,15	41,92	42,13	39,40	0,94	38,74	40,08
KONTROL	→		22,25	0,00	22,25	22,25	24,37	0,06	24,33	24,42

Tablo 119. Kayın odununda lignin değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	0,921	1	0,921	1,8E+08	***
	Gruplar içi	1,00E-08	2	5,000E-09		
	Toplam	0,921	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	0,475	1	0,475	12,763	BD
	Gruplar içi	7,44E-02	2	3,721E-02		
	Toplam	0,549	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	0,280	1	0,280	15,378	BD
	Gruplar içi	3,64E-02	2	1,821E-02		
	Toplam	0,316	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	2,804	1	2,804	1031,129	***
	Gruplar içi	5,44E-03	2	2,720E-03		
	Toplam	2,180	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	2,421	1	2,421	25,667	*
	Gruplar içi	0,189	2	9,431E-02		
	Toplam	2,609	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	0,953	1	0,935	7,256	BD
	Gruplar içi	0,258	2	0,129		
	Toplam	1,193	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	4,345	1	4,345	584,747	**
	Gruplar içi	1,49E-02	2	7,430E-03		
	Toplam	4,360	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	2,123	1	2,123	7,903	BD
	Gruplar içi	0,537	2	0,269		
	Toplam	2,660	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	125,256	1	125,256	2,5E+10	***
	Gruplar içi	1,00E-08	2	5,000E-09		
	Toplam	125,256	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	215,404	1	215,404	350,000	**
	Gruplar içi	1,231	2	0,615		
	Toplam	216,635	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	319,621	1	319,621	9181216	***
	Gruplar içi	6,96E-05	2	3,481E-05		
	Toplam	319,621	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	390,983	1	390,983	34568,7	***
	Gruplar içi	2,26E-02	2	1,131E-02		
	Toplam	391,006	3			

BVA sonuçlarına göre; 150 °C'de 6 saat ile 180 ve 200 °C'de 2 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan varyasyonlara ait kayın odunu test örneklerinin lignin oranları ile kontrol örneklerinin lignin oranları arasındaki farklılıklar sırasıyla 0,05 ve 0,01 anlam düzeyinde önemli bulunurken, 130 °C'de 6 ve 10 saat, 150 °C 'de 10 saat ve 180 °C'de 6 saatlik varyasyonlarda söz konusu farklılıkların 0,05 anlam düzeyinde önemsiz, diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 120. Ladin odununda lignin değerlerine ilişkin BVA sonuçları

Varyasyon	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
130 °C-2 saat	Gruplar arası	10,924	1	10,924	1478,122	***
	Gruplar içi	1,48E-02	2	7,390E-03		
	Toplam	10,939	3			
130 °C-6 saat	Gruplar arası	32,815	1	32,815	5739,248	***
	Gruplar içi	1,14E-02	2	5,718E-03		
	Toplam	32,827	3			
130 °C -10 saat	Gruplar arası	32,717	1	32,717	3591,785	***
	Gruplar içi	1,82E-02	2	9,109E-03		
	Toplam	32,735	3			
150 °C -2 saat	Gruplar arası	14,239	1	14,239	965,207	***
	Gruplar içi	2,95E-02	2	1,475E-02		
	Toplam	14,268	3			
150 °C -6 saat	Gruplar arası	17,866	1	17,886	9452,074	***
	Gruplar içi	3,78E-03	2	1,892E-03		
	Toplam	17,889	3			
150 °C -10 saat	Gruplar arası	17,875	1	17,875	432,236	**
	Gruplar içi	8,27E-02	2	4,135E-02		
	Toplam	17,957	3			
180 °C -2 saat	Gruplar arası	16,594	1	16,594	402,624	**
	Gruplar içi	8,24E-02	2	4,122E-02		
	Toplam	16,677	3			
180 °C -6 saat	Gruplar arası	38,251	1	38,251	229,366	**
	Gruplar içi	0,334	2	0,167		
	Toplam	38,585	3			
180 °C -10 saat	Gruplar arası	61,474	1	61,474	812,811	***
	Gruplar içi	0,151	2	7,563E-02		
	Toplam	61,625	3			
200 °C -2 saat	Gruplar arası	48,953	1	48,953	25870,3	***
	Gruplar içi	3,78E-03	2	1,892E-03		
	Toplam	48,957	3			
200 °C -6 saat	Gruplar arası	93,348	1	93,348	1359,520	***
	Gruplar içi	0,137	2	6,866E-02		
	Toplam	93,486	3			
200 °C -10 saat	Gruplar arası	225,991	1	225,991	503,563	**
	Gruplar içi	0,898	2	0,449		
	Toplam	226,889	3			

Tablo 120'de özetlenen BVA sonuçlarından; 150 °C'de 10 saat, 180 °C'de 2 ve 6 saat, 200 °C'de 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan ladin odunu test örnekleri ile kontrol örnekleri arasında lignin değerleri açısından ortaya çıkan farklılıkların 0,01 anlam düzeyinde, diğer varyasyonlarda ise 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

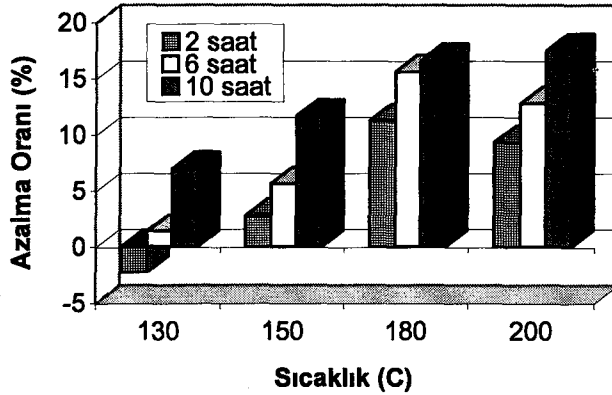
## 4. İRDELEME

Çalışmanın bu bölümünde; farklı varyasyonlarda uygulanan ısı işleme sıcaklık ve sürelerinin kayın ve ladin odunu örnekleri üzerindeki etkileri, grafiksel analizlerin ışığı altında açıklanmaya çalışılmıştır.

### 4.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi

#### 4.1.1. Kayın ve Ladin Odununda Isıl İşlemin Özgül Ağırlık Üzerine Etkisi

130 °C'de 2 saat süreyle ısı işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde özgül ağırlık değerlerinin kontrole oranla çok küçük bir miktar ( % 2,25 ) arttığı gözlenmiştir. Diğer varyasyonlarda ısı işleme sıcaklık ve süresinin artmasına paralel olarak özgül ağırlık değerleri azalma oranlarında artış kaydedilmiştir (Şekil 15). En fazla azalma oranı 200 °C'de 10 saatlik uygulamada gerçekleşmiştir (% 18,37). Kayın odununda, artan sıcaklık ve süreyle doğru orantılı olarak ısı işleme sonucunda ağırlık kaybının da arttığına ilişkin gözlemlerin yer aldığı birçok çalışma bulunmaktadır [2, 15, 27, 29, 38, 135,].



Şekil 15. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları (Negatif değer artış oranını ifade etmektedir)

Kayın odununda özgül ağırlık değerleriyle yapılan ÇVA ve iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçları (Tablo 8-10) birlikte ele alınırsa, ısı işleme 180°C'ye kadar özgül

özgül ağırlık değerini azaltıcı yönde etkide bulunduğu; bu sıcaklıktan sonra özgül ağırlık değişiminin doğrusal azalma niteliğini kaybettiği belirtilebilir. Kayın odununda sıcaklık etkili kontrast sonucunun kübik olması da bunu doğrulamaktadır. Isıl işlemde sürenin özgül ağırlığa etkisi incelendiğinde, iki faktörlü faktöriyel analiz sonucuna göre (Tablo 10) doğrusal bir ilişki olduğu; yani, ısıl işlem süresi arttıkça özgül ağırlığın azaldığı belirginleşmektedir. ÇVA sonuçlarına göre de (Tablo 8) bütün süreler özgül ağırlığı etkilemek bakımından istatistiksel olarak birbirinden farklı çıkmak suretiyle bunu doğrulamaktadır.

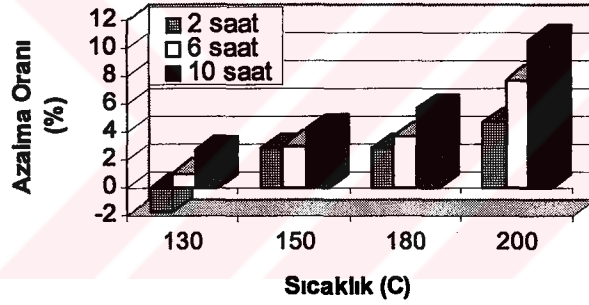
Ladin odununda, kayın odunundakine benzer şekilde 130 °C sıcaklığının en düşük ısıl işlem süresi olan 2 saatlik uygulamada özgül ağırlık oranının yine çok küçük bir miktarda (% 1,73) arttığı, diğer varyasyonlarda ise, ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artmasına paralel olarak özgül ağırlık değerleri azalma oranlarında artış meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 16). En fazla azalma oranı kayın odunundaki kadar olmamakla birlikte, 200 °C'de 10 saatlik uygulamada gerçekleşmiştir (%10,53). Yapılan bir çalışmada, 130-200 °C sıcaklıkları arasında ısıl işleme tabi tutulan kayın ve ladin odunu örneklerinde ağırlık kaybı oranının kayın odununda, ladin odununa göre daha fazla oranda olduğu tespit edilmiştir [28]. Isıl işlemin değişik ağaç türleri üzerindeki etkileri hemiselülozların tipine ve miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin bir yapraklı ağaç türü olarak kayın, bir iğne yapraklı ağaç türü olarak çama göre daha yoğun reaksiyonlar göstermekte, çamdaki reaksiyon yoğunluğu da ladine göre daha fazla olmaktadır. Böylece; optimum ağırlık kaybı / boyutsal stabilizasyon değerleri, kayın odununda çam ve ladin odununa göre bir dereceye kadar daha yüksek olmaktadır [14].

Bir başka çalışmada; 180-200 °C sıcaklıklarda ve 8-10 bar'lık bir inert gaz atmosferinde ısıl işlem uygulanan kayın (*Fagus sylvatica*) odunundaki ağırlık kaybının % 10-15, ladin (*Picea abies*) odunundaki ağırlık kaybının da % 5-10 oranlarında olduğu gözlenmiştir [11].

Yapılan çalışmalarda artan sıcaklığa ve süreye paralel olarak, meydana gelen ağırlık kaybı oranında artış tespit edilmiştir. 24 saat boyunca ısıl işleme tabi tutulan ladin (*Picea abies*) odununda, 120°C' de başlayan ağırlık kaybı % 0,8 iken, 200°C' de bu oran % 15,5 olmuştur [27]. Dakikada 5°C artan sıcaklıklarla ısıl işlem görmüş kayın (*Fagus*

olmuştur [27]. Dakikada 5°C artan sıcaklıklarla ısıl işlem görmüş kayın (*Fagus sylvatica*) odunundaki ağırlık kaybı 150°C'de % 8,1 iken, 200°C' de %9,8 olarak tespit edilmiştir [2].

Hücre çeperi bileşenlerinin bozunması ve ekstraktif maddelerin gaz fazında kaybolması ısıl işleme tabi tutulan odunda meydana gelen ağırlık kaybının iki temel sebebidir. Odun bileşenlerinin degradasyonu sırasında mevcut hidroksil gruplarının azalması sonucu odunun bünyesinde doğal olarak bulunan su kaybolmaktadır; ayrıca, en çok hemiselüloz birimleri yıkılmaktadır [1, 2, 11]. Eğer ısıl işlem normal atmosfer (hava) koşullarında yapılırsa ağırlık kaybı daha fazla olmaktadır. Çeşitli İYA ve YA odunlarıyla yapılan ısıl işlem araştırmaları sonucunda; genel olarak YA odunlarının İYA odunlarına göre daha fazla oranda bozunduğu bildirilmektedir [32]. Özgül ağırlık azalma oranlarına göre, kayın odunundaki azalma oranlarının ladin odunundakilerden daha yüksek olması (Şekil 15 ve Şekil 16) bu genel yapıyı doğrulayıcı bir nitelik arz etmektedir.



Şekil 16. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları (Negatif değer artış oranını ifade etmektedir)

Ladin odununda özgül ağırlık değerleriyle yapılan ÇVA ve iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre (Tablo 9 ve 10); 150 °C'ye kadar ısıl işlemle özgül ağırlıkta meydana gelen azalmanın doğrusal olduğu , bundan sonra ise sıcaklık etkisinin azaldığı ve özgül ağırlık değişiminin parabolik bir yapı kazandığı ifade edilebilir. Yani, 150°C 'den itibaren sıcaklığın özgül ağırlığı azaltma etkisi sona ermektedir. Isıl işlemde sürenin özgül ağırlığa etkisi incelenirse, ÇVA analizine göre (Tablo 9); 2 saat ile 10 saatlik ve 2 saat ile 6 saatlik işlem süreleri arasında farklılık bulunmazken, 6 saat ile 10 saatlik ısıl işlem süreleri arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunduğu gözlemlenmektedir. Kontrast sonucunun parabolik olması da bunu desteklemektedir (Tablo 10). Bunlara göre; süre baz alındığında,



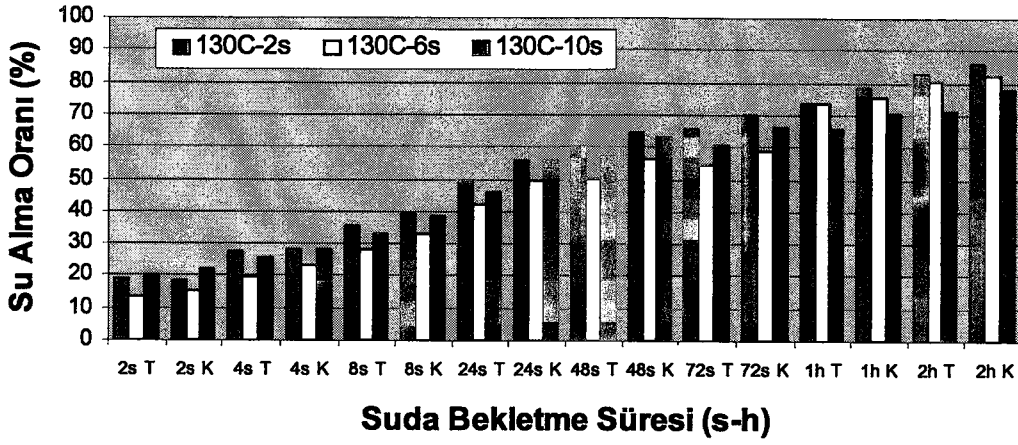
eğer diğer özelliklerin daha üst seviyelere çıkması için daha uzun süreli ısıtma işlemi gerek duyuluyorsa, ısıtma işlem süresinin uzaması ladin odununda özgül ağırlığı olumsuz yönde etkilemeyecektir denilebilir.

#### **4.1.2. Isıtma İşlemi Su Alma Oranları , Su İtici Etkinlik Değerleri ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerleri Üzerine Etkileri**

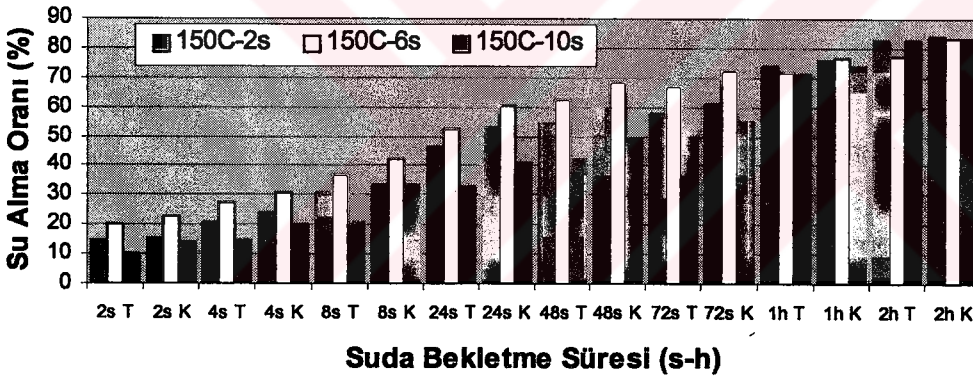
Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtma işlemi tabii tutulmuş kayın ve ladin odunu test örnekleri ile bunlara ait kontrol örneklerinin 2, 4, 8, 24, 48,72 saat, 1 hafta ve 2 hafta boyunca suda bekletilmesi sonucunda tam kuru odun ağırlığına kıyasla belirlenen ortalama su alma oranı değerleri kontrolleri ile karşılaştırmalı olarak dört farklı sıcaklık varyasyonu ve her iki ağaç türü için ayrı ayrı grafikler halinde sunulmuştur. Muamele edilmemiş kontrol örneklerine oranla ısıtma işlemi tabii tutulmuş test örneklerinin su absorblama oranlarında meydana gelen azalma miktarı olarak ifade edilebilecek su itici etkinlik (SİE) değerleri ile test örneklerinin genişleme miktarında kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı, dolayısıyla ısıtma işlemi maruz bırakılmış odun örneklerinden elde edilen boyut stabilizasyonunu ifade eden genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri (GET) ise yine her iki ağaç türü için grafikler yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

##### **4.1.2.1. Kayın Odununda Isıtma İşlemi Su Alma Oranı , Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerleri Üzerine Etkileri**

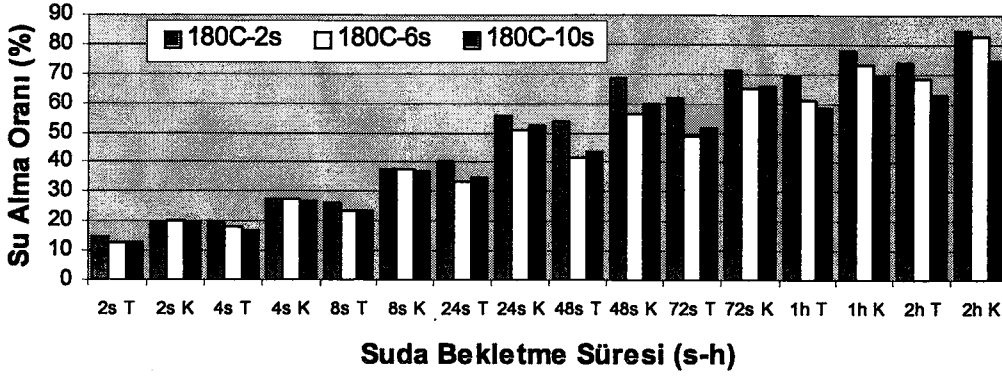
Isıtma işlemi tabii tutulan kayın odunu test örneklerinin SAO'ları, kontrolleri ile karşılaştırılmalı olarak her sıcaklık değeri için ayrı ayrı olmak üzere sırasıyla 130 °C için Şekil 17'de, 150 °C için Şekil 18'de, 180 °C için Şekil 19'de ve 200 °C için Şekil 20'de özetlenmiştir.



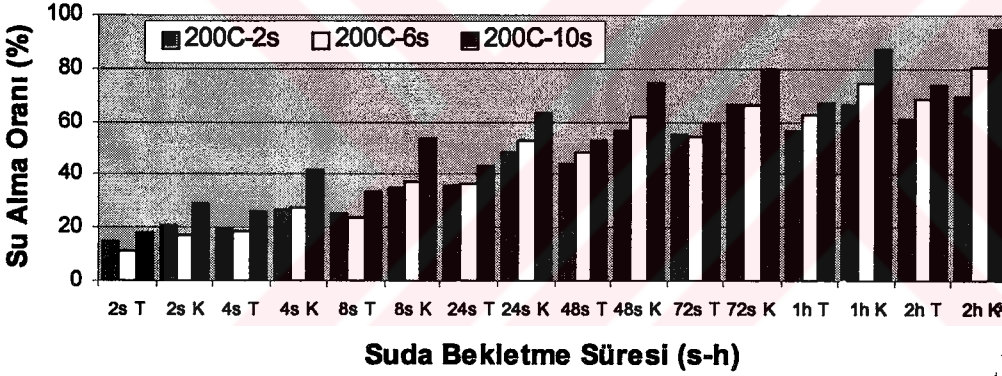
Şekil 17. 130 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



Şekil 18. 150 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



Şekil 19. 180 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri

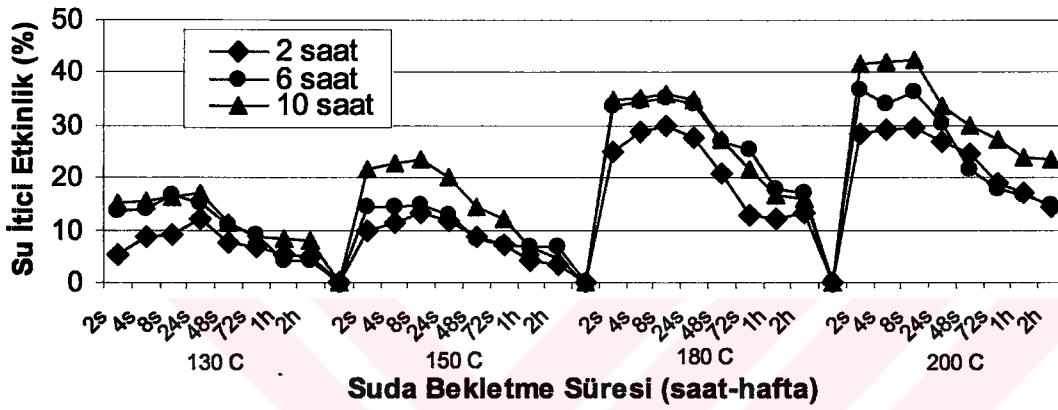


Şekil 20. 200 °C’de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri

Bu şekillerden de anlaşılacağı üzere, 2 saatten 2 haftaya kadarki tüm suda bekletme süreleri için farklı sıcaklık varyasyonlarına ait test örneklerinin SAO’ları, kontrol örneklerinin SAO’larına kıyasla bir miktar azalmıştır. Ancak, 130°C’de yapılan ısıtılma işleminde sonuçlar biraz daha farklı olmuştur; bu sıcaklıktaki bütün ısıtılma sürelerinde, kısa ve orta süreli suda bekletme deneylerinde test ve kontrol örnekleri arasında istatistiksel anlamda farklılık varken, 1 ve 2 haftalık suda bekletme deneylerinde su alma oranları arasında belirgin bir farklılık bulunmamıştır (Tablo 24-26). Ancak, diğer sıcaklıklarda test ve kontrol örnekleri arasında çoğunlukla istatistiksel farklılık

bulunmaktadır (Tablo 27-35). Buna göre; ısıl işleme tabi tutulmuş örneklerde sıcaklık arttıkça su alma oranının azaldığını söylemek mümkündür.

Kontrol örneklerine oranla ısıl işleme tabi tutulmuş test örneklerinin su absorbe etme oranlarında meydana gelen azalma miktarı olarak ifade edilebilecek su itici etkinlik (SİE) değerleri Şekil 21'de gösterilmektedir.



Şekil 21. Kayın odunu örneklerinde SİE değerleri

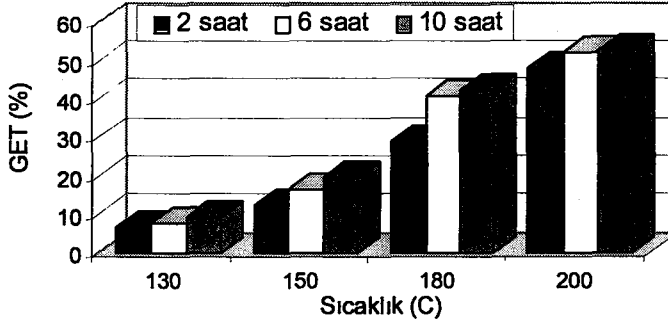
Şekil 21'den de anlaşılacağı üzere, kayın odunu test örneklerinin SİE değerleri, kısa süreli bekletme olarak ta nitelendirilebilen 2, 4 ve 8 saatlik suda bekletme sürelerinde giderek artan, 24 saat ve sonrasındaki bekletme sürelerinde ise giderek azalan bir eğilim göstermiştir. Kısa süreli bekletme sürelerinde gözlenen SİE değerlerindeki bu artış, sıcaklık ve sürenin arttığı varyasyonlara paralel olarak artmıştır. SİE oranlarının suda bekletme süresi arttıkça azalması aslında su itici etkinlik kavramına uygundur. Çünkü, su iticilik kazandıran muamelelerden sonra işlem görmüş odun normal oduna göre daha az su almakta, fakat zamanla alınan su (veya rutubet) miktarı normal odunla aynı seviyelere kadar artmaktadır [106]. SİE değerlerinin oransal olarak en çok artış gösterdiği varyasyonlar 200 °C'de 6 ve 10 saat süreli varyasyonlar olmuştur. 200 °C'de 10 saat süreli varyasyona ait artış oranları 2 saatlik bekletme süresi için ortalama % 41,71, 4 saatlik bekletme süresi için ortalama % 42,21 ve 8 saatlik bekletme süresi için ortalama % 42,52 olmuştur. Yapılan bir çalışma, 205 °C'de 6 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan siyah sakız ağacı örneklerinin higroskopisitelelerinin, orijinal değerlerinin yarısı oranında azaldığını ortaya koymuştur [4].

Kayın odununda ısıtma işlemi sonucu elde edilen SİE değerlerine ait sıcaklık ve süre etkili ÇVA ve iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre (Tablo 48, 49 ve Tablo 52-55); kısa süreli suda bekletme deneylerinde sıcaklık varyasyonlarının her birinin birbirinden belirgin olarak farklı olduğu, ancak, orta ve uzun süreli suda bekletme deneylerinde 130 ve 150°C'de yapılan ısıtma işlemleri arasında genellikle farklılık bulunmadığı, 150°C'den itibaren sıcaklık arttıkça SİE değerlerinin de belirgin olarak arttığı gözlenmektedir. Yine, bütün sıcaklık varyasyonlarında, ısıtma işlem sürelerinin su itici etkinliği istatistiksel anlamda belirgin olarak arttırdığı görülmektedir. ÇVA'ne göre yapılan bu değerlendirmeler, iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarıyla da desteklenmektedir. Şöyle ki; gerek sıcaklık etkili gerekse süre etkili yapılan kontrast testlerinde, bütün suda bekletme sürelerinde, ısıtma işlem sıcaklığının ve süresinin SİE üzerine olan etkisi her zaman doğrusal çıkmıştır (Tablo 52-55). Sonuç olarak, kayın odununda su itici etkinliği arttırmak için, sıcaklık ve süreyi mümkün olan en yüksek seviyede uygulamak yerinde olacaktır.

Isıtma işlemine tabi tutulmuş odunların sorpsiyon kapasitelerinde tespit edilen değişimler, selüloz, odun polyozları, lignin ve bunların farklı termal stabiliteleri kadar odunun kimyasal yapısındaki oranları ile açıklanmaktadır [15]. Ayrıca, sorpsiyon davranışlarının incelendiği bir çalışma göstermiştir ki; sorpsiyon kapasitesi, ısıtma işlem sırasında ortamdaki havanın varlığından ya da yokluğundan etkilenmektedir. Hava yokluğunda ısıtma işlemine tabi tutulan örneklerin sorpsiyon kapasitelerinin, genellikle hava varlığında ısıtma işlemine tabi tutulan örneklerin sorpsiyon kapasitelerine oranla ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının artmasına paralel olarak azaldığı gözlenmiştir [28]. Sorpsiyon kapasitesini etkileyen bir başka özellik ısıtma işlemine maruz bırakılacak olan odun numunelerinin başlangıç rutubetleridir [17]. Stamm vd., kuru odunun ısıtma işlemine maruz bırakılması sonucunda higroskopisitede önemli oranda bir azalma meydana geldiğini, aynı işlemin rutubetli oduna uygulanmasıyla higroskopisitenin azalmadığını, [4] ayrıca rutubetli oduna uygulanan ısıtma işleminin kuru oduna uygulanan ısıtma işlemine oranla odunu 10 kat daha hızlı degrade ettiğini bildirmişlerdir [5-8].

Test örneklerinin genişleme miktarında kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı ifade eden ortalama GET değerleri Şekil 22'de verilmektedir. Buna göre; sıcaklık ve süre artışı ile doğru olarak artan GET değerlerindeki çarpıcı artışlar özellikle 180 ve 200 °C sıcaklık grubuna ait varyasyonlardan elde edilmiştir. 180 °C'de 6 ve 10 saatlik

varyasyonlarda sırasıyla ortalama % 40,68 ve % 42,64 olan GET değeri, 200 °C'de 10 saatlik varyasyonda % 52,94'e ulaşmıştır. Yapılan bir çalışmada atmosferik basınç altında, 180 °C'de 3 saat süreyle uygulanan ısı işlemden sonra elde edilen GET değerinin yaklaşık % 25 olduğu gözlenmiştir [136].



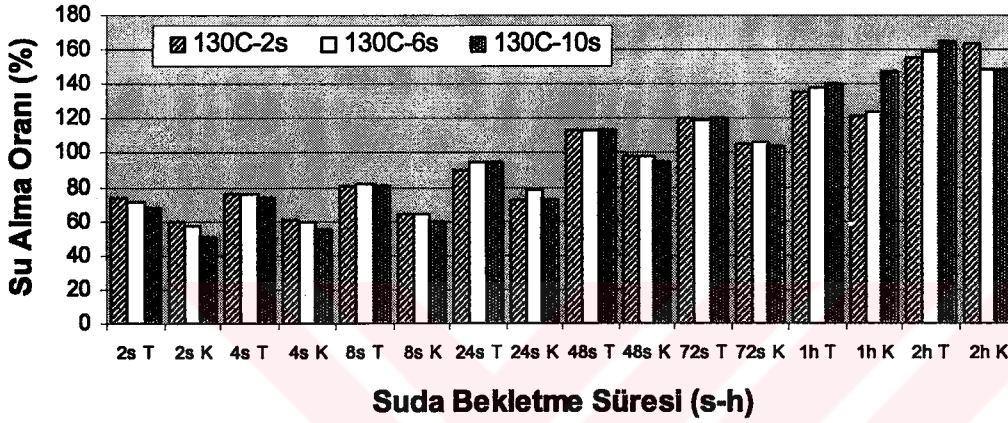
Şekil 22. Kayın odunda ortalama GET (%) değerleri

Kayın odununda elde edilen GET değerleriyle ilgili olarak yapılan ÇVA sonuçlarına göre (Tablo 56), sıcaklık varyasyonları arasında istatistiksel anlamda belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Isıl işlem sıcaklığı boyut stabilizasyonunu doğrusal bir yapıda etkilemektedir; sıcaklık arttıkça elde edilen boyut stabilizasyonu da artmaktadır. Isıl işlem süresinde ise, 2 ve 6 saatlik süreler arasında istatistiksel olarak farklılık bulunurken, 6 ve 10 saatlik süreler arasında böyle bir farklılık yoktur. Yani, sıcaklığa bağlı olmaksızın ısıl işlem süresini en üst seviyeden uygulamak boyut stabilizasyonuna olumlu bir katkıda bulunmamaktadır. Bu durumda, özellikle yüksek sıcaklıklarda orta süreli bir ısıl işlem uygulamak bir anlamda daha ekonomik bir seçenek olacaktır. Bütün bu değerlendirmelere göre; kayın odununun çalışmasını azaltmak üzere, orta süreli ve mümkün olan en yüksek sıcaklıkta uygulanan bir ısıl işlem en etkili sonucu verecektir denebilir.

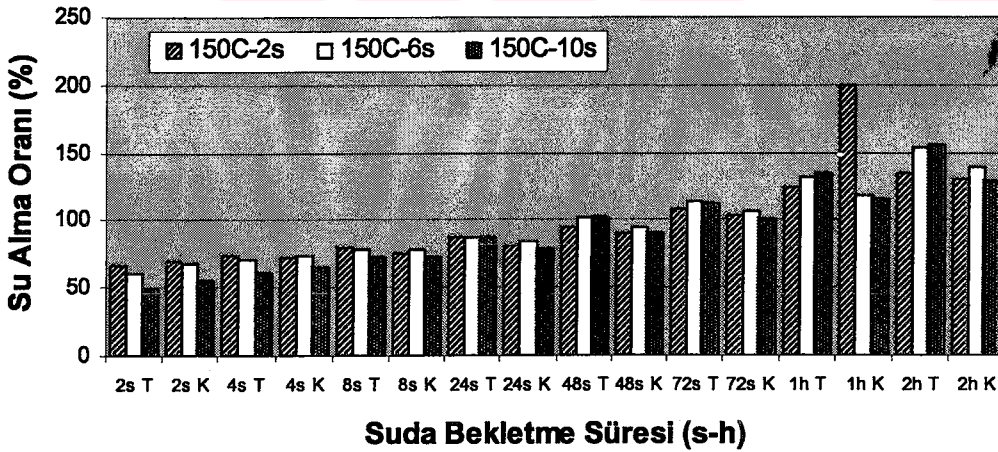
Birçok araştırmacının daha önceden ortaya koyduğu gibi; odun, yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında daha az higroskopik olmaktadır. Higroskopitedeki azalma ısıl işlem süresi ve sıcaklığının kombinasyonuna bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanmış odunda, oldukça higroskopik olan hemiselüloz nispi payı azalmaktadır ve boyut stabilizasyonundaki artışın açıklanması; yüksek sıcaklıktan büyük oranda etkilenen odundaki hemiselüloz miktarına dayandırılarak yapılmaktadır [137].

#### 4.1.2.2. Ladin Odununda Isıl İşlemin Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerleri Üzerine Etkileri

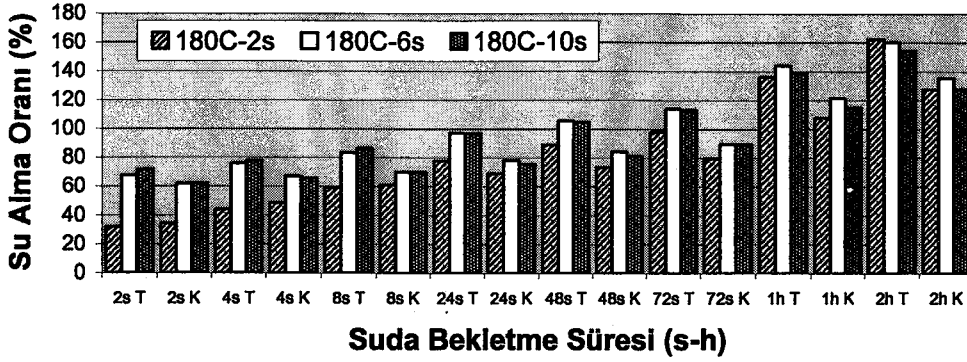
Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinin SAO'ları, kontrolleri ile karşılaştırılmalı olarak her sıcaklık grubu için ayrı ayrı olmak üzere sırasıyla 130 °C sıcaklık için Şekil 23'te, 150 °C sıcaklık için Şekil 24'te, 180 °C sıcaklık için Şekil 25'te ve 200 °C sıcaklık için Şekil 26'da özetlenmiştir.



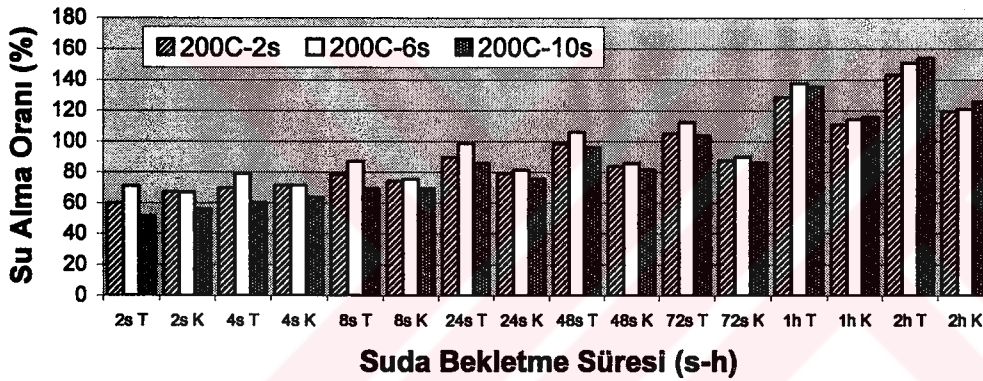
Şekil 23. 130 °C'de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



Şekil 24. 150 °C'de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



Şekil 25. 180 °C'de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



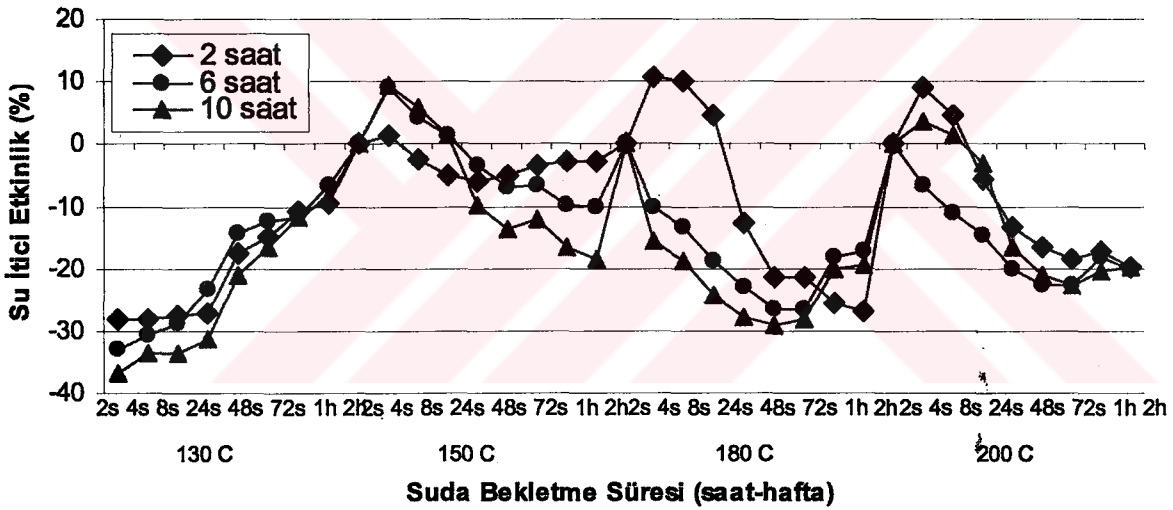
Şekil 26. 200 °C'de 2, 6, ve 10 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri

Şekillerden de anlaşılacağı üzere genellikle ladin odunu test örneklerinin SAO'ları ilginç bir şekilde kontrol örneklerine kıyasla daha fazla bulunmuştur. Bu durum 130 °C'de 2, 6 ve 10 saatlik varyasyonlara ait farklı suda bekletme sürelerinin tümünde söz konusu iken, 150 °C'de 2 saatlik varyasyonun 2 saatlik; 150 °C'de 6, 10 ve 180°C'de 2 saatlik varyasyonların 2, 4 ve 8 saatlik; 200 °C'de 2 ve 10 saatlik varyasyonların ise 2 ve 4 saatlik suda bekletme süreleri dışında kalan diğer tüm varyasyonlarda gözlenmiştir. Yine, 130°C ısıtılma varyasyonlarının tamamında, bütün suda bekletme sürelerinde test ve kontrol örnekleri arasında su alma oranı bakımından istatistiksel anlamda farklılık bulunurken (Tablo 36-38); diğer sıcaklıkların yukarıda sözü edilen varyasyonlarında ısıtılma tabi tutulmuş örneklerle bunlara ait kontrol örnekleri arasında belirgin farklılık bulunamamıştır.



Ancak, bu varyasyonlar dışında kalan bütün varyasyonlarda test ve kontrol örnekleri arasında su alma oranı bakımından istatistiksel farklılık söz konusudur (Tablo 39-47). Buna göre; özellikle bazı kısa süreli suda bekletme periyotları dışında, orta ve uzun süreli suda bekletme periyotlarının tamamında ısıl işlem sonucu ladin odununun su alma oranı artmaktadır. Bu durum büyük oranda ısıl işlem sonunda ladin odununda oluşan bir takım yapısal boşluklara atfedilmektedir [76]. Dolayısıyla, söz konusu varyasyonlar dışında kalan diğer bütün varyasyonlarda SİE değerleri de negatif yönde gerçekleşmektedir.

Kontrol örneklerine kıyasla, ısıl işleme tabi tutulmuş test örneklerinin su absorblama oranlarında meydana gelen azalma miktarı olarak ifade edilebilecek su itici etkinlik (SİE) değerleri Şekil 27’de gösterilmektedir.



Şekil 27. Ladin odunu örneklerinde SİE değerleri

130 °C’de 2, 6 ve 10 saatlik ısıl işlem varyasyonlarının SİE değerleri, kısa süreli suda bekletme sürelerinde (2, 4, 8 saat) diğer suda bekletme sürelerine oranla negatif yönde daha fazla azalmış olup, bu azalma ısıl işlem süresinin uzadığı varyasyonların (6 ve 10 saatlik) kısa süreli bekletme periyotlarında daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Sıcaklığın 150 °C’ye çıkarıldığı ısıl işlem varyasyonlarında SİE değerleri, 130 °C’deki muameleye oranla daha yüksek bulunmuştur. 150 °C’de 2 saatlik varyasyonun 2 saatlik suda bekletme süresinde küçük bir miktar artış gösteren SİE değerleri (%1,38), 4, 8

ve 24 saatlik suda bekletme sürelerinde negatif yönde azalmış, 24 saatten sonra azalma oranları küçülmüştür. 150 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonların 2 saatlik suda bekletme periyotlarında, sırasıyla % 9,10 ve % 9,50 oranında artan SİE değerleri 4 ve 8 saatlik suda bekletme sürelerinde pozitif yönde; 24 saat ve sonrasındaki suda bekletme sürelerinde de negatif yönde giderek azalmıştır. Yapılan bir çalışma, 150 °C sıcaklığın, su buharı ile kombine edilerek sağlandığı bir ortamda 4 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan hava kurusu odun örneklerinin rutubet absorpsiyonunun % 10-25 oranında azaldığını göstermiştir [4].

Sıcaklığın 180 °C'ye çıkarıldığı ısıtılma varyasyonlarında SİE değerleri 130 °C'deki muameleye oranla daha yüksek, 150 °C'deki muameleye oranla düşük bulunmuştur. 180 °C'de 2 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan ladin odunu örneklerinin SİE değerleri bütün varyasyonlar içerisinde en yüksek 2 saatlik suda bekletme süresi sonunda elde edilmiş (% 10,83), 4 ve 8 saatlik suda bekletme sürelerinde pozitif yönde azalmış, 24 saat ve sonrasındaki suda bekletme sürelerinde ise negatif yönde giderek azalmıştır. 180 °C'de 6 ve 10 saatlik ısıtılma varyasyonlarında 1 haftalık suda bekletme süresine kadar negatif yönde giderek azalan SİE değerleri 1 ve 2 haftalık bekletme periyotlarında daha az oranda azalmıştır.

200 °C'de 2 saat süreyle ısıtılma gören ladin odunu örneklerinin SİE değerleri 2 ve 4 saatlik suda bekletme sürelerinde sırasıyla % 9,08 ve % 4,67 oranlarında, 200 °C'de 10 saat süreyle ısıtılma gören ladin odunu örneklerinin SİE değerleri ise 2 ve 4 saatlik suda bekletme sürelerinde sırasıyla % 3,49 ve % 1,43 oranlarında pozitif yönde artmış, diğer varyasyonlar ve bunlara ait bekletme sürelerinde negatif yönde azalmıştır (Şekil 27).

Isıtılma tabi tutulmuş ladin odunu örneklerinin değerlendirildiği sıcaklık ve süre etkili ÇVA'lerinin sonuçları birbirlerine bütünüyle benzemektedir. Su itici etkinliğin pozitif veya negatif yönde gerçekleşmesine bakılmaksızın; bütün ısıtılma sıcaklıklarında elde edilen SİE değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin farklılıklar bulunmaktadır (Tablo 50 ve 51). Buna göre; sıcaklık arttıkça SİE değeri de pozitif veya negatif yönde artma eğiliminde olacaktır. Isıtılma süresinin SİE değerini etkilemesine bakıldığında; kısa süreli suda bekletme deneylerinde 6 ve 10 saatlik ısıtılma süreleri arasında farklılık bulunmadığı, buna karşılık, orta süreli suda bekletme deneylerinde bütün ısıtılma süreleri arasında farklılık olduğu ve uzun süreli suda bekletme deneylerinde 2 ve 6 saatlik ısıtılma

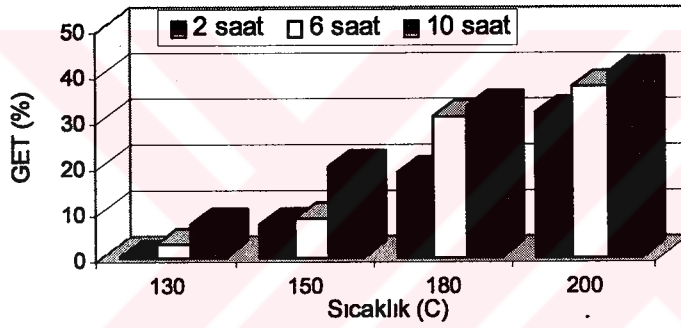
işlem süreleri arasında da farklılık olmadığı gözlenmektedir (Tablo 50 ve 51). Buna göre, özellikle 1 ve 2 haftalık suda bekletme deneylerinde SİE değerinin daima negatif değer vermesinden yola çıkılarak, ladin odununda pozitif yönde SİE elde etmek için ısı işlem süresinin düşük sıcaklıklarda (150°C'ye kadar) uzun; yüksek sıcaklıklarda (200°C ve üstü) mümkün olduğunca kısa tutulması yerinde olacaktır. İki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre benzeri yorumları yapmak mümkündür. Kısa süreli suda bekletme deneylerinde (2 ve 4 saat) sıcaklığın SİE üzerine etkisi doğrusaldır; sıcaklık arttıkça SİE değeri pozitif veya negatif yönde artmaktadır. Bununla birlikte, orta süreli suda bekletme deneylerinden başlayarak 1 ve 2 haftalık suda bekletme periyotlarında sıcaklığın etkisi kübik olmaktadır; yani, doğrusal niteliğini kaybetmektedir (Tablo 52-55). Buna karşılık, kısa süreli suda bekletme periyotlarında (2, 4 ve 8 saat) parabolik olan ısı işlem süresinin etkisi, orta ve uzun süreli suda bekletme periyotlarında doğrusal bir nitelik arz etmektedir (Tablo 52-55). Bütün bu değerlendirmelerin ışığı altında, ısı işlem sıcaklığı arttıkça pozitif yönlü bir SİE elde etmek için işlem süresini mümkün olduğunca kısaltmak tavsiye edilebilir. Öte yandan, SİE değerleriyle GET değerleri bir arada düşünülerek ve kullanım yerine bağlı olarak; istenen performans kriterinin su iticilik veya boyut stabilizasyonu olmasına göre de ısı işlem sıcaklık ve süreleri ayarlanabilir.

175 ve 195 °C sıcaklıklarda ve 10 barlık basınç altında 2-3 saat süreyle ısı işleme tabi tutulduktan sonra farklı sıcaklık ve bağıl nemlerdeki iklimlendirme odalarında kondisyonlanan kayın ve ladin odunu örneklerinin higroskopik davranışlarının incelendiği bir çalışmada, ladin odununda her iki sıcaklık seviyesinde rutubet miktarının artması ile birlikte su absorblama oranının da arttığı gözlenmiştir. Bu ilginç durum; ısı işlemden dolayı meydana gelen odundaki hücre çeperi yapısının içsel değişimi ile bağdaştırılmıştır. Fakat hala, yüksek ısıda, hemiselülozları degrade olabilen kayın gibi bir yapraklı ağaç odununda niçin böyle bir oluşumun gözlenmediği tam olarak bilinmemektedir [11]. Bu konuda Kollmann ve Fengel'in [64] ortaya koyabildikleri tek sebep, İYA selülozlarının YA selülozlarından daha düşük bir termal kararlılığa sahip olmaları ve 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bozunmalarınıdır [11].

Bu konudaki bir başka açıklamayı ısı işlem sonucunda ladin odununun anatomik yapısında meydana gelen değişimlere dayanarak yapmak mümkündür. Isı işlem sırasında ladin odununun kenarlı geçitlerinin toruslarında depolanan amorf maddelerin, sıcaklık

etkisi ile yumuşayıp, margo ve geçit kenarlarına doğru aktığı gözlenmiştir. Torus maddesinin kimyasal değişimi bu maddenin çözülebilme kabiliyetinde meydana gelen değişim ile belirlenmiştir. 180 ve 200 °C sıcaklıklarda torus maddesi etanol-benzende çözülebilmiş ve bu ekstraksiyondan sonra torusun selüloz zarları boş bir paket gibi kalmıştır [2]. Isıl işlem etkisiyle degrade olan bu yapıda, su absorblama kapasitesinin ısıl işleme uğramamış odun örneklerine nazaran daha fazla olacağı kanaatine varılmıştır.

Test örneklerinin genişleme miktarında kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı, dolayısıyla ısıl işleme maruz bırakılmış odun örneklerinden elde edilen boyut stabilizasyonunu ifade eden genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri (GET) Şekil 28'de verilmektedir.



Şekil 28. Ladin odunda ortalama GET (%) değerleri

Isıl işlemin olumlu etkisinin fazlaca hissedilemediği SAO ve SİE değerlerine karşılık, GET değerlerinden ladin odunu örneklerinin kayın odunundaki kadar olmamakla birlikte % 40'a varan bir boyut stabilizasyonu kazandığı gözlenmektedir (Şekil 28). Her sıcaklık grubunun en uzun süreli varyasyonlarında en büyük GET değerlerine ulaşıldığı ve bu değerlerin artan sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı ve de tüm varyasyonlar içerisinde en yüksek GET değerinin ısıl işlem sıcaklık ve süresinin en yüksek olduğu varyasyonda elde edildiği anlaşılmıştır (% 40,19).

Ladin odununda elde edilen GET değerleriyle yapılan ÇVA'ne göre (Tablo 57), ısıl işlem sıcaklık varyasyonlarının arasında istatistiksel anlamda belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Yani, sıcaklık arttıkça ladin odununun boyut stabilizasyonu artmaktadır. Ancak, ısıl işlem süresi için aynı durum söz konusu değildir. 2 ve 6 saatlik ısıl işlem

süreleri arasında belirgin bir farklılık bulunurken; 6 ve 10 saatlik süreler arasında böyle bir farklılık gözlenmemiştir. SİE etkinlikle ilgili değerlendirmelerde olduğu gibi, burada da özellikle yüksek sıcaklıklarda uzun süreli ısı işlem uygulamak teğetsel genişlemeyi belirgin olarak arttırmamaktadır. Bu durumda, SİE değerinde negatif yönde gerçekleşen yapılanmayı da önleyecek şekilde, % 35-40 civarında bir boyut stabilizasyonu sağlamak üzere 2 ila 6 saat arasında bir ısı işlem süresi uygulamak hem daha akılcı hem de daha ekonomik bir yaklaşımdır denilebilir.

Teoride odun, hücre çeperi içerisindeki en higroskopik polimerlerin yer aldığı hemiselülozların termal olarak bozundurulup, suyla reaksiyona girebilecek serbest polar adsorpsiyon grupları miktarının yani higroskopisitenin azaltılmasıyla stabilize edilmektedir [10,11]. Yapılan birçok araştırmada özellikle 100-230 °C' ler arasındaki sıcaklıklarda ve 2-48 saat süreli ısı işlem uygulamalarıyla, kayın, kızılâğaç, meşe, ökaliptus, kavak , sarıçam, fin çamı, akça ağaç, huş, ladin, göknar gibi ağaç türlerinde meydana gelen boyutsal stabilite değişiklikleri incelenmiştir. Bu çalışmalarda genellikle sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte kullanılan tekniğe de bağlı olarak % 55-90'a varan bir boyut stabilizasyonu sağlanmıştır [11,14,18-24, 137 ].

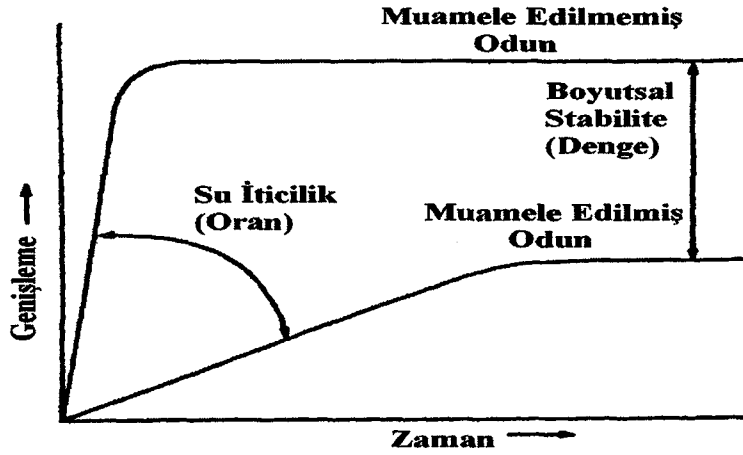
Yüzey koruma amacıyla yaygın olarak kullanılan farklı ürünlerle muamele edilmiş *Eucalyptus globulus* Labill. odunu örneklerinden elde edilen GET değerleri; parafin muamelesinde % 10, vaks muamelesinde % 14, glukoz muamelesinde % 12, 180 °C'deki ısı işlem muamelesinde ise % 24 olarak tespit edilmiştir [136].

Genel bilgiler kısmında çalışma prensibi anlatılan Plato-Proses yöntemi ile ısı işleme tabi tutulan kayın ve ladin odunu örneklerinde GET değerleri yaklaşık % 50 oranında elde edilmiştir. Aynı ağaç türlerine ait daralmayı önleyici etkinlik değerleri (DÖE) kayın odunu örneklerinde radyal yönde % 10, teğet yönde % 13, ladin odunu örneklerinde ise radyal yönde % 13, teğet yönde % 40 olarak kaydedilmiştir [32].

### **4.1.2.3. Isıl İşlem Sonuçlarının Su İticilik ve Boyut Stabilizasyonu Kavramları Bakımdan Değerlendirilmesi**

#### **4.1.2.3.1. Su İticilik ve Boyut Stabilizasyonu Kavramları**

Su iticilik (water – repellency) ve boyut stabilizasyonu ( dimensional stabilization) kavramları literatürde çoğu kez birbiriyle karıştırılan ve aynı anlama geldikleri sanılan iki ayrı kavramdır. Su iticilik bir oranı ifade ederken; boyut stabilizasyonu bir denge durumunu belirlemektedir. Su iticilik sağlayan muameleler, odunda sıvı su alımını kontrol etmeye veya önlemeye yöneliktir. Parafin veya silikon yağına daldırmak suretiyle odunun muamele edilmesi su iticilik sağlayan yöntemlere örnek olarak verilebilir. Burada, kullanılan maddeler odundaki kapılar boşlukları doldurarak ve fiziksel bir engelleyici (bariyer) görevi üstlenerek odunda sıvı su alımının azaltılmasını sağlamaktadır. Böyle bir su itici muamelede, odunun hücre çeperinin kimyasal konfigürasyonunu değiştirmeye veya odunu en genişlemiş haline getirmeye yönelik bir yaklaşım sözkonusu olmadığından odunun nihai genişleme (çalışma) derecesi normal odunla aynı kalmakta; ancak, bu nihai genişleme derecesine ulaşmak için geçmesi gereken zaman artmaktadır ( Şekil 29). Boyut stabilizasyonu sağlayan yöntemler ise, odunda rutubet hareketi dolayısıyla oluşan genişleme ve daralmayı azaltmaya yönelik ve daha ziyade kimyasal yönden etkili yöntemlerdir. Boyut stabilizasyonu yöntemlerinde, odunun özellikle higroskopik ve polar bir yapıya sahip olan serbest hidroksil grupları hedef alınarak odunun kimyasal konfigürasyonu modifiye edilir. Kullanılan kimyasal maddelerin serbest hidroksil gruplarıyla reaksiyona girmesi sonucu daha az higroskopik olan veya hiç olmayan metilen, asetat anyonu, üretan gibi yapılar oluşmakta ve böylece odunun çalışması azaltılmaktadır (Şekil 29), [138, 139].

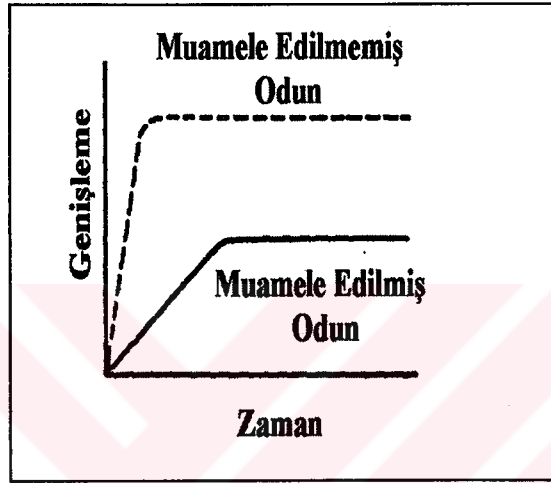


Şekil 29. Su itici etkinlik ve boyutsal stabilizasyon yöntemlerinde genişleme-zaman grafiği

### Doğu Kayını

Doğu kayını odununda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ısıtma işlemi sonunda kısmi bir su itici etkinlikle birlikte % 50'ye varan bir boyut stabilizasyonu sağlandığı görülmektedir (Şekil 21-22). Yani, kayın odunu örneklerinde su itici etkinlik ve boyut stabilizasyonu aynı anda sağlanabilmiştir. Öncelikle, kayın odunu örneklerindeki su itici etkinliğin oluşum mekanizmasını irdelemek gerekmektedir (Şekil 30). Bilindiği gibi, normal odun sıvı suyla temas ettiğinde, içerdiği polar ve dolayısıyla su molekülleriyle reaksiyona girmeye yatkın olan serbest hidroksil grupları nedeniyle odun-sıvı su temas açısı  $90^\circ$ 'den küçük olmakta ve sıvı su odun içersinde kendiliğinden ilerlemektedir [106]. Isıtma işlemi sonunda odunun kimyasal yapısı değiştiğinden, odun-su temas açısının  $90^\circ$ 'den küçük olmasını sağlayan polar fonksiyonel grupların miktarı ve dolayısıyla hücre çeperinin polarlığı azalmaktadır. Bu nedenle, ısıtma işlemi görmüş kayın odununun sıvı su alma oranı azalmış; su itici etkinliği artmış olabilir. Isıtma işleminden en çok etkilenen hücre çeper bileşeni hemiselülozdur. Hemiselülozun en higroskopik hücre çeperi bileşeni olduğu da bilinmektedir [35, 140]. Termal kararlılığı selüloz ve ligninden daha düşük olan hemiselüloz birimleri ısıtma işleminden çok çabuk etkilenmektedir. Buna göre; öncelikle hemiselülozdaki ve sonrasında selülozdaki higroskopik grupların ısıtma işlemiyle azaltılmasının su itici etkinliği artırmış olabileceği söylenebilir. Ancak burada, önemli bir farklılık söz konusudur: su itici etkinliğin fiziksel bir bariyer teşkil edilmekle değil, hemiselüloz ve

selüloz polimerlerindeki primer ve sekonder alkolik hidroksil gruplarının azaltılmasıyla sıvı suyun odun içersinde kendiliğinden ilerlemesini sağlayan mekanizmanın geriletilmesiyle elde edildiğini düşünmek mümkündür. Diğer yandan, ısı işlem sonucunda selülozun amorf zonlarının miktarı azaltılmakta; bu da söz konusu kısımlarda bulunan kapilar boşluklara su moleküllerinin girmesini engellemektedir [2]. Bu durumun ısı işlem görmüş kayın odununda sıvı su alımını azaltan etkenlerden biri olduğu da düşünülebilir.



Şekil 30. Kayın odununda ısı işlem sonucu meydana gelmesi muhtemel su itici etkinlik ve boyut stabilizasyonunun grafiksel gösterimi

Bu çalışmada, boyut stabilizasyonu ölçümleri teğet yöndeki nihai genişleme miktarı baz alınarak yapılmıştır. Kayın odununda % 50'yi geçen GET değerinin; literatürdeki bazı değerlerden yüksek [32], bir çoğu ile de aynı seviyede bulunduğu gözlemlenmiştir [106]. Kayın odununda ısı işlem sonucu boyut stabilizasyonunun artmasının en önemli sebeplerinden biri – su itici etkinliğin sebepleri arasında da sayılan- serbest hidroksil gruplarının kimyasal olarak dönüşmesidir. Hemiselülozların kimyasal yönden bozunmasıyla asetik asit oluşmaktadır. Asetik asit odun karbonhidratlarının parçalanmasına ve polimerizasyon derecelerinin düşmesine neden olmaktadır [32]. Hemiselülozların asetil gruplarının kopması yüksek sıcaklıklardaki ısı işlemin ilk aşamalarında meydana gelmektedir. Daha sonraki aşamalarda ve özellikle 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda formaldehit, furfural ve diğer aldehitler gibi bileşikler oluşmaktadır [35]. Selülozdaki kimyasal değişimlere bakıldığında, öncelikle 100°C civarında odunda ve özellikle selülozun amorf zonlarında hidrojen bağı yapmış olan su

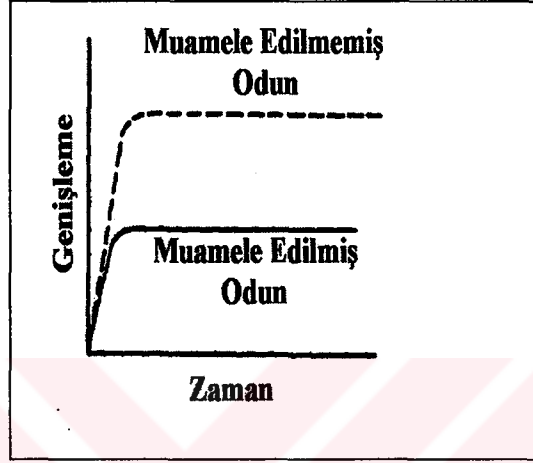


moleküllerinin koptuğu görülmektedir. Daha sonra, polimerizasyon derecesinin azalması 120°C civarında başlamaktadır. Hava ortamında yapılan ısıl işlemin sonucunda hidroksil gruplarının oksidasyonu ile karbonil ve karboksil gruplarının miktarında artış olmaktadır. Ayrıca, depolimerizasyon reaksiyonları sonunda levoglukozan, anhidroglukoz, levoglukozen ve furan bileşikler oluşmaktadır [32, 35]. Diğer yandan, ısıl işlemin ilk aşamalarında ligninin otokondenzasyonu başlamakta ve ilk metilen köprüleriyle birlikte difenilmetan bileşiklerinin oluşumu söz konusu olmaktadır. Isıl işlemin daha ileri aşamalarında metilen köprülerinin miktarı artmakta ve bunların sayesinde aromatik halka yapısındaki bileşikler birbirine bağlanarak odun dokusu içinde bir çapraz bağlanma (cross-linking) etkisi meydana getirilmektedir [65]. Sözü edilen bütün bu kimyasal değişimler sonucunda kayın odununun boyut stabilizasyonunun arttığı ifade edilebilir. Burada, hücre çeperini genişleten (bulking) bir yaklaşımla değil, hücre çeper bileşenlerinin kimyasal olarak modifiye edilmesiyle (chemical modification) oduna boyut stabilizasyonu kazandırılmıştır. Isıl işlemin sıcaklık ve süre değerleri arttıkça GET değerlerinin de artmış olması (Şekil 22), yukarıda sözü edilen kimyasal konfigürasyon değişiminin kayın odununda da meydana gelmiş olabileceğini ortaya koymaktadır.

### **Doğu Ladini**

Doğu ladini odununda ısıl işlem görmüş test örneklerinin SAO değerleri çoğunlukla kontrol örneklerinden daha yüksek çıkmıştır. Buna bağlı olarak SIE değerleri de genellikle eksi seviyede kalmıştır. Bu sonucun bir önceki konu başlığında açıklananlardan başka bazı sebepleri daha söz konusu olabilir. Genel olarak yapraklı ağaçlarda ısıl işlem iğne yapraklı ağaçlara göre daha şiddetli koşullarda meydana gelmektedir. Çünkü; İYA'larda YA'lara göre lignin oranı daha fazla, hemiselüloz oranı daha azdır. Böylece, bir İYA ağaç türü olan ladinde ısıl işlem sonucu meydana gelen kimyasal yapı değişimi kayın odunuyla aynı oranda olmamış olabilir. Diğer yandan, daha önce yapılan bazı çalışmalarda, ladin odununun ısıl işlemde diğer türlere göre daha olumsuz etkilendiği; büyük boyutlu kerestelerde budaklı kısımların çatlayarak ayrıldığı; yıllık halka yapısının bir hayli gevşediği bildirilmektedir [76, 35]. Bu durumda, ısıl işlem sonunda ladin odununda bazı yapısal boşlukların oluştuğu ve bu nedenle su alma oranının arttığı düşünülebilir. Ayrıca, ladin odununun kayına göre daha düşük olan özgül ağırlığı ve kayın odunu gibi sıkı bir

dokuya sahip olmaması da ısıtma işlemi sonunda oluşan boşluk oranını arttırmış olabilir. Bununla birlikte, ladin odunu örneklerinde su itici etkinlik sağlanamadığı halde % 40'lara varan bir boyut stabilizasyonu elde edildiği görülmektedir (Şekil 28). Buna göre; ladin odununda su itici etkinlik değil, ancak boyut stabilizasyonu etkinliği elde edilmiştir (Şekil 31).

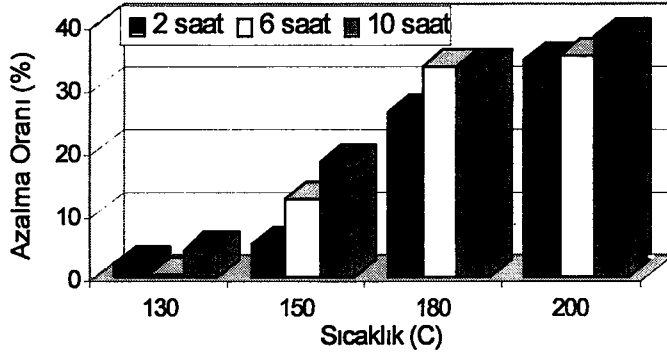


Şekil 31. Ladin odununda ısıtma işlemi sonucu meydana gelmesi muhtemel su itici etkinlik ve boyut stabilizasyonunun grafiksel gösterimi

Doğu ladin örneklerinde elde edilen boyut stabilizasyonunun kayın odunu için açıklanan kimyasal yapıya dayandığı belirtilebilir. Ancak, daha önce de ifade edildiği gibi, ladin odununda hemiselüloz miktarının daha az, buna karşılık lignin miktarının daha fazla olması, elde edilen boyut stabilizasyonunun kayına göre daha düşük değerlerde oluşmasına neden olmuştur denilebilir.

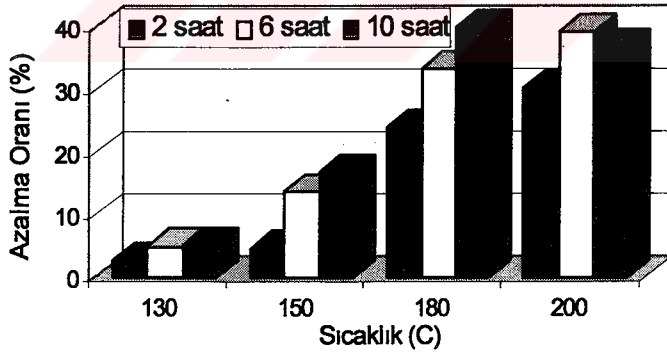
#### 4.1.3. Kayın ve Ladin Odununda Isıtma İşlemi Denge Rutubeti Miktarı Üzerine Etkisi

İklimlendirme odası şartlarında ulaşılan denge rutubeti miktarı (DRM) değerlerindeki azalma oranları kayın odunu için Şekil 32'de, ladin odunu için Şekil 33'te özetlenmektedir.



Şekil 32. Kayın odunu örneklerinde DRM azalma oranları

Şekil 32'ye göre; DRM değerleri, sıcaklık ve sürenin artmasına paralel olarak azalmıştır. En düşük sıcaklık ve süredeki (130 °C'de 2 saat) kayın odunu test örneklerinin DRM değeri ortalama % 9,10 iken, kontrol örneklerine kıyasla elde edilen DRM değeri azalma oranı söz konusu varyasyon için % 2,19 olmuştur. En yüksek sıcaklık ve süredeki DRM değeri (200 °C'de-10 saat) % 5,61 iken bu varyasyona ait DRM değeri azalma oranı % 38,32 olmuştur. Kontrol örneklerinin homojen yapıdaki DRM değeri bütün varyasyonların genel ortalamasına göre % 9,18 olarak bulunmuştur.



Şekil 33. Ladin odunu örneklerinde DRM azalma oranları

Ladin odununda da Şekil 33'ten de anlaşılacağı üzere, DRM değerleri sıcaklık ve sürenin artmasına paralel olarak azalmıştır. DRM değeri 130 °C'de 2 saat süreyle ısı işleme maruz bırakılan test örneklerinde % 10,02 iken; 200 °C'de 6 saatlik varyasyonda % 6,18 olmuştur. Söz konusu varyasyonlara ait DRM değeri azalma oranları sırasıyla % 2,93 ve % 39,14'tür. Kontrol örneklerinin homojen yapıdaki DRM değeri bütün varyasyonların genel

ortalamasına göre % 10,21 olarak bulunmuştur. Isıl işlemin DRM'nı düşürücü etkisi kayın odununda, ladin odununa kıyasla daha belirgin derecede hissedilmiştir.

Kayın ve ladin odunlarında ısıl işleminden sonra elde edilen DRM değerleriyle yapılan ÇVA'lerine göre (Tablo 61 ve 62); ısıl işlem sıcaklık varyasyonlarının istatistiksel anlamda birbirlerinden farklı oldukları gözlenmektedir. Yani, sıcaklık ve süre arttıkça ısıl işlem sonucu denge rutubeti miktarındaki azalma oranı da artmaktadır. Bununla birlikte, her iki ağaç türünde DRM değerleriyle yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre; kayın odununda sıcaklığın etkisi parabolik, sürenin etkisi doğrusal bir nitelik arz ederken, ladin odununda hem sıcaklığın hem de sürenin etkisi parabolik yapıdadır (Tablo 63). Buna göre; gerek kayında gerekse ladinde sıcaklığın bir noktaya kadar artışı denge rutubeti miktarını düşürecek, ancak o kritik noktadan sonra sıcaklığın etkisi azalacaktır. Nitekim, Şekil 32 ve 33'den anlaşıldığı gibi, her iki ağaç türü için de bu kritik sıcaklık değeri 180°C civarındadır. Dolayısıyla, kayın ve ladin odunlarında optimum bir denge rutubeti azalması elde etmek için 180 °C'yi aşmayan bir ısıl işlem yeterli olabilecektir. Diğer yandan, kayın odununda ısıl işlem süresinin etkisi doğrusal olduğundan optimum denge rutubeti miktarına ulaşmak için orta veya uzun süreli (6-10 saat) ısıl işlem uygulamak yerinde olacaktır. Ladin odununda ise bu etki parabolik olduğundan orta süreli (6 saat) uygulama yapılması daha iyi sonuç verebilecektir.

Yapılan bir çalışmada 110, 130, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulan % 12 rutubetteki 10, 20 ve 40 mm kalınlığındaki çam diri odunu ve 20 mm kalınlığındaki kayın odunu örneklerine ait DRM değerlerinin dikkate değer oranda azaldığı gözlenmiştir [30].

Bir başka çalışmada, 105-155 °C sıcaklıkları arasında 10-160 saat süreleri arasında ısıl işleme tabi tutulan *Okaliptus saligna* odununa ait DRM değerlerinin artan sıcaklık ve süreye paralel oranda azaldığı görülmüştür [29].

Hava kurusu haldeki dişbudak ağacı ve Sitka ladini örneklerinin 138 °C'de 1-8 gün süreyle ısıl işleme maruz bırakıldığı bir çalışmada, farklı rutubet ortamlarındaki DRM değerlerinin % 30-40 oranında azaldığı gözlenmiştir [4].

175 °C sıcaklıkta ve 10 barlık basınç altında 2-3 saat süreyle ısıtılma tabii tutulduktan sonra farklı sıcaklık ve bağıl nemlerdeki iklimlendirme odalarında kondisyonlanmış ladin odunu örneklerinin DRM değerleri % 28-30 oranında azalırken, sıcaklığın 195 °C'ye çıkarılması durumunda DRM azalma miktarı da % 42-45 oranına yükselmiştir. Aynı işleme tabii tutulan kayın odununda ise 175 °C sıcaklık uygulaması için % 18-30 oranında azalan DRM değerleri, 195 °C sıcaklık uygulaması için % 53-59 oranında azalma göstermiştir [11]. DRM 'nda gözlenen bu tür düşüşler, ısıtılma işlemi ile odundaki higroskopik grupların sayıca azalması ile açıklanmaktadır [11]. Isıtılma işlemi ile hemiselülozlar dekompoze olduğu zaman, odundaki reaktif hidroksil gruplarının sayıları azalmaktadır. Hidrojen grupları hidrojen bağlarından ve su moleküllerinden ibarettir. Dolayısıyla sayıca azalmış hidroksil grupları DRM'nın düşmesini sağlamaktadır [35].

Gerek kayın gerekse ladin odunlarında ısıtılma işlemi sonucu meydana gelen ve daha önceki bölümde ayrıntılı olarak anlatılan kimyasal konfigürasyon değişimleri ısıtılma işlemi görmüş odunların higroskopisitesini ve dolayısıyla denge rutubeti miktarını azaltmaktadır. Daha önce yapılan bir çalışmada, %65 bağıl nem ve 20°C koşullarında kayın odunu için adsorpsiyon halindeki DRM %6,5 ; desorpsiyon halindeki DRM ise %7,5 olarak tespit edilmiştir. Buna göre; histerez olarak bilinen rutubet olarak veya vererek ulaşılan DRM'ları arasındaki farklılık ısıtılma işlemi tabii tutulmuş odunlar için de geçerli olmaktadır [32].

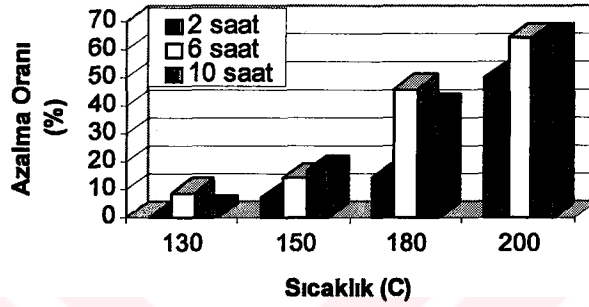
Isıtılma işlemi tabii tutulmuş odunun sıvı suya batırıldığında kolaylıkla suyu absorbe ettiği, kurutulduğunda da suyun odunu çok çabuk ve kolay biçimde terk ettiği belirlenmiştir. Böyle bir karakteristik özellikle ısıtılma işlemi görmüş odun yapı malzemesi olarak kullanıldığında büyük önem kazanmaktadır [76].

#### **4.2. Isıtılma İşleminin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi**

Yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlemi uygulamaları genellikle mekanik özelliklerde azalmaya yol açmaktadır. Bununla birlikte, bütün mekanik özelliklerin ısıtılma işleminden etkilenme şekli aynı biçimde olmamaktadır. Odunun direnç değerlerindeki azalmalar, 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bile meydana gelebilmektedir [35]. Direnç değerlerindeki azalmaların miktarı kullanılan ısıtılma işlemi tekniğine, ağacın türüne ve rutubet miktarına, ortamı kuşatan atmosfere göre değişiklik göstermektedir [39, 45].

#### 4.2.1. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Eğilme Direnci Üzerine Etkisi

12 farklı varyasyon sonucunda elde edilen test örneklerinin ısıl işlem sonrası test ve kontrol örneklerinin eğilme direnci değerleri Tablo 64'te, eğilme direncinde ısıl işlem sonucu meydana gelen azalma oranları kayın odunu için Şekil 34'te, ladin odunu için Şekil 35'te görülmektedir.



Şekil 34. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları

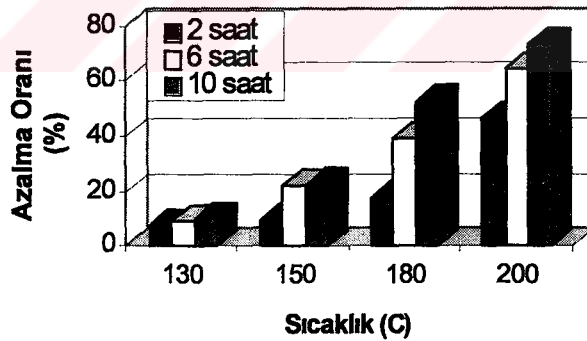
Buna göre; ilk üç varyasyona ait kayın odunu test örneklerinin eğilme direnci değerleri birbirlerine yakın oranlarda bulunmuştur. Aynı varyasyonlardaki kontrol örneklerinin eğilme direnci değerlerine kıyasla elde edilen azalma oranlarının her üç süre uygulamasının genel ortalamasına göre (% 3,87) dikkate değer olmaması mevcut varyasyonlar arasında en düşük sıcaklık denemesi olarak 130 °C'nin belirleyici bir sıcaklık kriteri oluşturmadığını göstermektedir.

150 °C'de 2, 6, ve 10 saat lik uygulamalar sonucunda ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artmasıyla birlikte eğilme direnci test örneklerinde kontrol örneklerine oranla bir azalma meydana gelmiştir. Yapılan bir çalışmada; 150 °C'deki bir etüvde ısıl işleme maruz bırakılan kuru odun örneklerinin eğilme direncine tabi tutulması sonrasında gözlenen azalma oranının 130 °C'deki muameleye oranla 5 kat daha fazla olduğu bildirilmektedir [39].

180 ve 200 C°deki uygulamalarda eğilme direncindeki değerler azalmaya devam etmiştir. Deneme desenindeki en düşük eğilme direnci değerleri beklendiği üzere 200 C°de 6 ve 10 saatlik uygulamalarda meydana gelmiştir. Bu varyasyonlara ait ortalama eğilme direnci azalma oranları sırasıyla % 63,87 ve % 63,56 olarak tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada 200 °C'de 5 saat süreyle ısıl işlem uygulanan *Chamaecyparis obtusa* ve *Fagus crenata* örneklerinin eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları yaklaşık % 50 civarında bulunmuştur. Çalışmamızda eğilme direncinin en fazla azaldığı varyasyonlar aynı zamanda ağırlık kaybının da en fazla olduğu varyasyonlar olmuştur. Yapılan çalışmalarda artan sıcaklık ve süreye paralel olarak meydana gelen ağırlık kaybı oranlarında artış tespit edilmiştir [2, 27, 29, 51]. Dolayısıyla ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artmasıyla azalan eğilme direnci değerlerini, yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan termal bozunma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybıyla; aynı zamanda kimyasal analizler sonucunda ortaya çıkan hemiselüloz miktarındaki azalmayla ilişkilendirmek mümkündür.

Ladin odunu test örneklerinin eğilme direnci değerleri, kontrolleri ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan azalma oranlarının kayın odununa göre daha yeknesak bir yapı sergilediği görülmüştür (Şekil 35). Her farklı sıcaklık grubunun 10 saat süreli denemeleri, azalma oranlarının en çok belirginleştiği varyasyonlar olmuştur. Eğilme direnci azalma oranlarının en yüksek olduğu varyasyonlar ise, kayın odununa benzer şekilde 200 C°de 6 ( %63,77) ve 10 ( % 72,69) saatlik varyasyonlar olarak tespit edilmiştir.



Şekil 35. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları

Literatürde termal bozunmadan olumsuz olarak en çok etkilenen odun özelliklerinden birinin eğilme direnci olduğu bildirilmekle birlikte, modifiye edilmiş ısıl işlem şartlarında bu kaybın % 0-30 oranında değiştiği belirtilmektedir [6,7,13, 19, 40, 41]. Isıl işlemin odunun direnç özellikleri üzerine verebileceği zararı daha katlanılabilir hale getirmek için su buharıyla desteklenmiş bir sistemde ısıl işleme tabi tutulan çam odunu

örneklerinin eğilme direnci değerlerinin muamele edilmeyen örneklere nazaran % 14 oranında bir azalma gösterdiği bildirilmiştir [22].

Bu çalışmada, eğilme direncinde ortaya çıkan azalmaların her iki ağaç türü için çarpıcı bir şekilde 180 C°'de 6 saatlik uygulamadan sonra başladığı ve azalarak devam ettiği; en yüksek sıcaklık ve süre uygulamalarında ise bu azalmaların % 63- % 72'lere ulaştığı gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık ve sürelerde bahsedilen değerlerin yaklaşık iki-buçuk katı kadar bir azalmayla sonuçlanan bu durum; oksijen varlığında yapılan ısı işlem uygulamalarının direnç özelliklerini daha fazla yıkımlandırmasına dayandırılmaktadır [4,39].

Genel bilgiler kısmında çalışma prensibi anlatılan Plato-Proses yöntemi ile ısı işleme tabi tutulan kayın odununun eğilme direnci  $910 \text{ kg/cm}^2$ , ladin odununun eğilme direnci  $780 \text{ kg/cm}^2$  olarak bulunmuştur. Kayın odununda kontrole oranla eğilme direncindeki azalma oranı sadece % 3,19 iken, ladin odununda bu değer, % 10,34 olarak tespit edilmiştir [32]. Herhangi bir teknikle modifiye edilmemiş daha önceki çalışmalarda direnç kaybının yaklaşık % 50 ve daha fazla oranlara çıkabildiği bilinmektedir [3, 36, 77, 141]. Kayın odunundaki nispeten düşük direnç kaybı kısmen muameleden sonra bu ağaç türünde kendiliğinden oluşan yoğunluk artışı ile ilişkilendirilmiştir.

Kayın ve ladin odunlarında ısı işlem sonrası belirlenen statik eğilme direnci değerleriyle yapılan ÇVA'lerine göre (Tablo 67 ve 68); her iki ağaç türünde de sıcaklık ve süre varyasyonları birbirlerinden istatistiksel anlamda farklı bulunmuşlardır. Dolayısıyla, her iki ağaç türünde, sıcaklık ve sürenin artmasıyla eğilme direncinin giderek azalmakta olduğu sonucuna varılabilir. Ancak, bu azalmanın kendi içindeki karakteristiğini ortaya çıkarmak üzere yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre; kayın odunundaki ısı işlemde sıcaklık etkisinin doğrusal, süre etkisinin ise parabolik olduğu görülmektedir (Tablo 69). Buradan yola çıkılarak, kayın odununda sıcaklığın artmasıyla eğilme direncinin azalacağını kesin olarak söylemek mümkündür. Diğer yandan, orta ve uzun süreli ısı işlemler arasında eğilme direnci kaybı bakımından çok önemli farklar bulunmadığı görülmektedir (Şekil 34). Süre etkisinin parabolik olmasına da dayanılarak, eğer diğer fiziksel, biyolojik, mekanik veya teknolojik özellikler bakımından daha iyi sonuçlar veriyorsa, kayın odununda ısı işlem süresini uzun tutmanın eğilme direncini daha fazla olumsuz etkilemeyeceği ifade edilebilir. Örneğin; kayın odununda 200°C'de 6 ve 10 saat

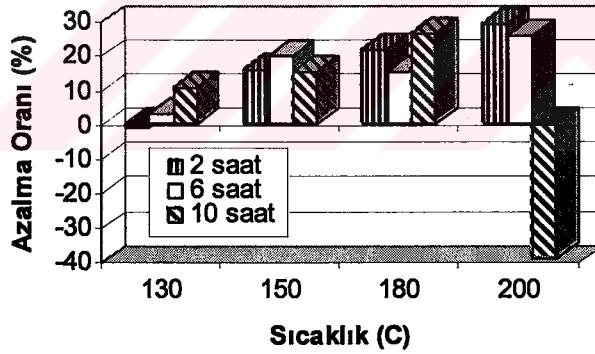


olarak yapılan ısı işlemler sonunda eğilme direnci kaybı eşit olup yaklaşık % 63 civarındadır. Aynı varyasyonlarda, en yüksek su itici etkinlik değerleri 6 ve 10 saatlik süreler için sırasıyla % 33 ve % 43 olmuştur (Şekil 21). Bu durumda, ısı işlem süresini uzatmak su itici etkinliği artırırken, eğilme direnci kaybını değiştirmemektedir.

Ladin odununda yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz testine göre; hem sıcaklık hem de süre etkisi doğrusaldır (Tablo 69). Yani, sıcaklığın ve sürenin artmasına paralel olarak eğilme direncindeki kayıpların da doğrusal olarak artacağını kesin olarak ifade etmek mümkündür. Bu nedenle, ısı işleme tabi tutulmuş ladin odunlarının statik eğilme direncinin önem kazandığı kullanım alanlarında değerlendirilmemesi gerekmektedir [76].

#### 4.2.2. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Üzerine Etkisi

Elastikiyet modülü değerlerindeki azalma oranları kayın odunu için Şekil 36'da, ladin odunu için Şekil 37'de görülmektedir.



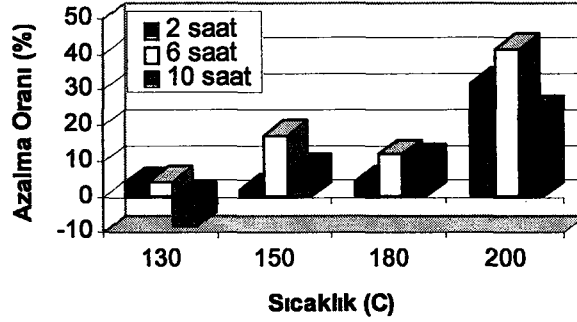
Şekil 36. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait azalma oranları (Negatif değer artış oranını ifade etmektedir)

130 °C'de 2 saat süreyle uygulanan ısı işlem sonucunda, kayın odunu test örneklerinin elastikiyet modülü değerleri kontrole kıyasla % 0,95 oranında bir artış sergilemiştir. Aynı sıcaklığın 6 ve 10 saat süreli varyasyonlarında azalmaya başlayan elastikiyet modülü değerleri ilerleyen varyasyonlarda da azalmaya devam etmiştir. 150, 180 ve 200 ° C sıcaklık gruplarına ait varyasyonların 10 saat süreli uygulamalarından elde edilen elastikiyet modülü azalma oranlarının 6 saat süreli uygulamalara kıyasla daha düşük

edilen elastikiyet modülü azalma oranlarının 6 saat süreli uygulamalara kıyasla daha düşük bulunması, uzayan ısı işlem süresinin elastikiyet modülündeki azalma oranını düşürdüğünü ortaya koymuştur. Bununla birlikte, elastikiyet modülünü % 38,99 oranında arttıran 200 ° C’de 10 saatlik varyasyon dikkat çekici bulunmuştur. Literatürde ısı işlemin eğilmede elastikiyet modülünü arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur [10, 136]. Hills ve Rozsa’ya [24] göre yüksek sıcaklık ve sürenin elastikiyet modülünü artırıcı rolü şu şekilde açıklanmaktadır; odun, kısmen kristal yapıdaki mikrofibrillerden ve geniş olarak ta hemiselüloz ve lignin gibi amorf polimerik bileşenlerden meydana gelmektedir. Belli bir sıcaklığın üzerinde ısı işleme tabi tutulduğunda çoğu amorf polimerik materyaller kırılğan (glassy-camsı) yapılarını elastik duruma dönüştürebilmektedirler. Kristal yapıdan elastik yapıya dönüş veya yumuşama sıcaklığında, bireysel polimerlerin karşılıklı çekim kuvvetlerini azaltan yeterli enerjiye sahip olmaları söz konusudur. Böylelikle, bu odun polimerleri elastiki veya daha büyük oranda plastik bir yapıya dönüşebilmektedirler. Odunu plastikleştirmek amacıyla ağaç cinslerinin büyük bir kısmının su veya buharla ısıtıldığı bilinmektedir. Buharlama sırasında pektinin tümü ve ligninin bir kısmı çözülür. Orta lameldeki bağlayıcı maddenin çözülmesi dokuları gevşetmekte ve odun böylece daha elastik bir yapı kazanabilmektedir [142].

Kayın odunu örneklerinde ısı işlem sonucu elde edilen statik eğilmede elastikiyet modülü değerleriyle yapılan ÇVA’ne göre (Tablo 73); ısı işlemde uygulanan sıcaklık ve süre varyasyonlarında ortaya çıkan elastikiyet modülü değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Yani, ısı işlemde sıcaklığın artması ve sürenin uzatılması elastikiyet modülündeki kayıpları arttırmaktadır. Ancak, kayın odununda muhtemel sebepleri daha önce açıklanan istisnai bir sonuç meydana gelmiştir: 200°C’de 10 saat süreyle uygulanan ısı işlem sonunda elastikiyet modülü azalmamış, aksine % 40 oranında artmıştır (Şekil 36). Öte yandan, kayın odununda yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz testine göre ısı işlem sıcaklığının elastikiyet modülüne olan etkisi paraboliktir (Tablo 75). Bu iki veri bir arada değerlendirildiği takdirde, kayın odununda 200°C civarında uygulanan ısı işlemde sürenin de uzun tutulmasıyla, eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin azalma eğiliminden çıkıp artmaya başlayacağını söylemek mümkün olabilir. Bununla birlikte, ısı işlem uygulanan odun örneklerinin küçük boyutlu olmasından kaynaklanan bir değişimin söz konusu olabileceği de unutulmamalıdır. Kontrast testinde, ısı işlemin süresinin eğilmede elastikiyet modülünü doğrusal yönde etkilediği belirlenmiştir (Tablo 75). Buna göre; ısı

yandan, Şekil 36'daki verilere göre özellikle 10 saatlik ısıtma süresinin daha belirleyici olduğunu söylemek mümkündür. Sonuç olarak, elastikiyet modülü kaybını azaltmak üzere, 200°C altındaki sıcaklıklarda kısa veya orta süreli; 200°C ve üstündeki sıcaklıklarda uzun süreli ısıtma uygulamanın yerinde olacağı belirtilebilir.



Şekil 37. Isıtma işlemine tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait azalma oranları (Negatif değer artış oranını ifade etmektedir)

Ladin odununda, 130°C'de 10 saat süreli uygulamada elastikiyet modülü değerinin % 8,41 oranında arttığı gözlenirken; 150, 180 ve 200 ° C'de 10 saat süreyle ısıtma maruz bırakılan test örneklerinin elastikiyet modülü değerlerinin, ait oldukları sıcaklık grubunun 6 saatlik ısıtma uygulamasındaki elastikiyet modülü değerlerine oranla ve kayın odununa benzer şekilde daha düşük oranda azaldığı gözlenmektedir. Elastikiyet modülü azalma oranı en fazla 200 C'de 6 saat süreyle ısıtma uygulanan varyasyondan elde edilmiştir [ % 41,50 ], ( Şekil 37).

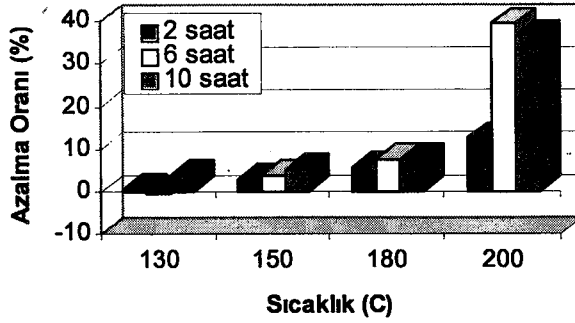
Yapılan bir çalışmada 100, 130, 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda 6, 24 ve 48 saat süreyle ısıtma maruz bırakılan çam diri odununda, 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda elastikiyet modülü değerlerinin dikkate değer oranda azaldığı gözlenmiştir [47]. Eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen kayıplardan büyük oranda örneğin sahip olduğu rutubet miktarı ve kendisini çevreleyen atmosfer şartları sorumlu tutulmaktadır. Taze haldeki örneklerin elastikiyet modülü kaybı tam kuru haldeki örneklerinkine oranla daha hızlı olmaktadır. 150 °C sıcaklıkta ve 16 saat boyunca azot ortamında ısıtma maruz bırakılan tam kuru haldeki örneklerin elastikiyet modülü değerlerinde hiçbir azalma gözlenmemiştir. Hava ortamında ısıtma maruz bırakılan örneklerin elastikiyet modülü kaybı, taze haldeki örneklerde tam kuru haldekilere kıyasla

değerlerinde hiçbir azalma gözlenmemiştir. Hava ortamında ısıl işleme maruz bırakılan örneklerin elastikiyet modülü kaybı, taze haldeki örneklerde tam kuru haldekilere kıyasla 14 kat daha hızlı olmuştur. Tam kuru haldeki örneklerin elastikiyet modülü değerlerine ait azalma oranları ihmal edilebilirken, taze haldekiler için bu kayıp % 27 olarak saptanmıştır. Oksijen ortamında ısıl işlem uygulanan tam kuru haldeki örneklerin elastikiyet modülü oranları oldukça düşük bulunmuştur [39].

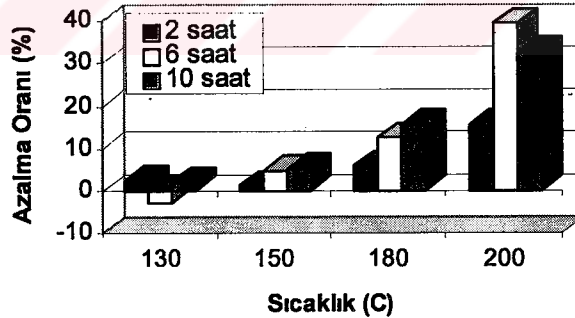
Ladin odununda ısıl işlem sonucu elde edilen statik eğilmede elastikiyet modülü değerleriyle yapılan ÇVA'ne göre (Tablo 74); 130, 150 ve 180°C sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlem sonucu ortaya çıkan elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunmamaktadır. Bu durum, ladin odunu test ve kontrol örnekleri arasında yapılan BVA sonuçlarında da gözlenmektedir (Tablo 72). 150 °C'de 6 saatlik uygulama dışında 130, 150 ve 180°C'lerde yapılan ısıl işlem sonucunda test ve kontrol örneklerinin elastikiyet modülü değerleri arasında belirgin bir istatistiksel fark bulunamamıştır. Diğer yandan, ladin odununda yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz testinde sıcaklığın elastikiyet modülüne etkisi parabolik çıkmıştır (Tablo 75). Bütün bunlara göre; ladin odununda elastikiyet modülü kaybı bakımından kritik sıcaklık 200°C civarındadır. Yani, bu sıcaklığa kadar yapılan ısıl işlemin elastikiyet modülünü önemli ölçüde azaltmayacağını ifade etmek mümkündür. Ladin odununda yapılan kontrast testinde ısıl işlemin süresinin elastikiyet modülünü parabolik yönde etkilediği belirlenmiştir (Tablo 75). ÇVA'nde de 2 ve 6 saatlik ile 6 ve 10 saatlik işlem süreleri arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğu; buna karşılık, 2 ve 10 saatlik süreler arasında belirgin bir fark olmadığı ortaya çıkmıştır (Tablo 74). Buna göre; 6 saatlik orta süreli işlem süresi ladin odunu için sakıncalı olmaktadır. Bu durum, muhtemelen 2 saatlik sürede etkinin tam olarak ortaya çıkmamasından, 10 saatlik sürede ise ısıl işlemin odunda meydana getirdiği etkinin tamamlanmış olmasından kaynaklanmaktadır. Yani, ladin odununun elastikiyet modülündeki kaybı azaltmak açısından ele alındığında, parabolik eğrinin en üstündeki işlem süresi değeri 6 saattir. Isıl işlemin diğer özelliklere olan etkisi göz önüne alınarak, ladin odununda ya kısa (2 saat) ya da uzun (10 saat) süreli ısıl işlem uygulamak elastikiyet modülü kaybını azaltmak bakımından en olumlu yaklaşım olarak ele alınabilir.

#### 4.2.3. Kayın ve Ladin Odununda Isıl İşlemin Liflere Paralel Basınç Direnci Üzerine Etkisi

Kayın ve ladin odunlarında, test ve kontrol örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerleri Tablo 76'da yer almakta ve her iki ağaç türünde ısıl işlem sonucu bu dirençte meydana gelen azalma oranları Şekil 38 ve 39'da görülmektedir.



Şekil 38. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları (Negatif değer artış oranını ifade etmektedir)



Şekil 38. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları (Negatif değer artış oranını ifade etmektedir)

Buna göre; her iki ağaç türünün liflere paralel basınç direnci azalma oranları açısından varyasyonlar itibarı ile birbirine paralel bir seyir izlediklerini söylemek mümkündür. Özellikle ladin odununda daha fazla olmak üzere, her iki ağaç türünün 130 °C'de 6 saat süren ısıl işlem varyasyonuna ait basınç direnci değerlerinde kontrole oranla küçük de olsa bir miktar artış kaydedilmiştir. Yapılan bir çalışmada; 138 °C'de 8 gün

boyunca ısıtılma tabii tutulan Sıtka ladini odununda ve 115 °C’de ısıtılma tabii tutulan Avrupa ladini odununda basınç direnci değeriinin değışmeden kaldığı bildirilmiştir [45]. İlerleyen varyasyonların özellikle 10 saatlik uygulamalarında basınç direnci değeriinde düşüş tespit edilmiştir. Ancak, 200 °C sıcaklıktaki varyasyonların, kayın odununda daha fazla olmak üzere 10 saatlik uygulamalarından elde edilen basınç direnci azalma oranlarının 6 saatlik uygulamaya oranla daha az olduğu gözlemlenmiştir. 180 C’de 6 saatlik uygulamaya kadar her iki ağaç türü için de mutedil seyreden basınç direnci azalma oranları söz konusu varyasyon için ladin odununda daha dikkat çekici bir çıkış göstermiştir. Benzer bir sonuç Schneider [47] tarafından yapılan bir çalışmada da gözlenmiştir. Schneider, 180°C’de 6 saat kadar uyguladığı ısıtılma sonucunda % 12 rutubetteki kayın odunu basınç direnci değeriinin çam diri odununa göre daha az azaldığını tespit etmiştir. En çarpıcı azalma oranları, her iki ağaç türü için de 200 °C’de 6 saatlik ( %39) varyasyonda gözlenmiştir (Şekil 38, Şekil 39).

Kayın odununda liflere paralel basınç direnci değeriileriyle yapılan ÇVA’ne göre (Tablo 81); 130 ve 180°C’lerde yapılan ısıtılma sonrası elde edilen basınç direnci değeriileri arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunmamakta, bu sıcaklık varyasyonlarıyla 150 ve 200°C varyasyonları arasında ise belirgin farklılık bulunmaktadır. Buna göre; 180 °C’ye kadar yapılan ısıtılmanın basınç direncine çok önemli bir olumsuz etkisinin olmadığı belirtilebilir. BVA sonuçlarında da bu durum gözlenmektedir; 150°C’de 10 saatlik ve 180°C’de 6 saatlik varyasyonlar dışında tüm varyasyonlarda test ve kontrol örneklerinin basınç direnci değeriileri arasında istatistiksel fark bulunamamıştır (Tablo 79). Kayın odununda liflere paralel basınç direnci değeriileriyle yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre, sıcaklığın basınç direncine olan etkisi parabolik çıkmıştır (Tablo 83). Dolayısıyla, kayın odununda basınç direnci bakımından kritik sıcaklık değeri 200°C olarak belirtilebilir. Aynı kontrast testine göre, ısıtılma süresinin basınç direncine etkisi de parabolik yapıdadır (Tablo 83). Buradan orta (6 saat) ve uzun süreli (10 saat) ısıtılma işlemleri arasında çok önemli bir farklılık olmadığı sonucuna varılabilir (Şekil 38). Yani, sürenin parabolik etkisinin üst sınırı 6 saatlik işlemler süresidir. Bu durumda, diğer özellikler de göz önüne alınarak, kayın odununda 180-200°C’ler arasında uzun süreli ısıtılmanın liflere paralel basınç direncindeki kayıpları katlanılabilir sınırlarda tutacağı kanaatine varılabilir.

Liflere paralel basınç direnciyle ilgili olarak ladin odununda yapılan ÇVA, 130 ve 150°C 'lik ısıtma işlemlerinde elde edilen direnç değerleri arasında istatistiksel farklılık olmadığını; buna karşın, 180 ve 200°C 'lerde elde edilen değerlerin belirgin bir farklılığa sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 82). Aynı ÇVA tablosunda ısıtma işlem süreleri arasında anlamlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; 150°C'ye kadar yapılan ısıtma işleminin ladin odununda basınç direncini çok fazla etkilemediği söylenebilir. Bu durum BVA sonuçlarında da açık bir şekilde belirmektedir. 150°C'de 6 saatlik varyasyondan başlayarak bütün varyasyonlarda test ve kontrol örneklerinin basınç direnci değerleri arasında istatistiksel farklılıklar bulunmaktadır (Tablo 80). Diğer yandan, ısıtma işlem süresi arttıkça basınç direnci kayıplarının da artacağını belirtmek mümkündür. Bununla birlikte, ladin odununda yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre (Tablo 83); liflere paralel basınç direnci üzerinde ısıtma işlem sıcaklığının etkisi doğrusal, süresinin etkisi ise paraboliktir. Bütün bunlara göre; ladin odununda ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça basınç direnci kaybı da doğru orantılı olarak artacak, fakat bu etki özellikle 150-180°C sıcaklık aralığından itibaren daha belirgin olacaktır. ısıtma işlem süresi ise basınç direnci kaybını 6 saate kadar doğrusal yapıda arttırmakta, bu kritik işlem süresinden sonra sürenin kaybı arttırıcı etkisi yavaşlamaktadır (Şekil 39). Bu duruma göre, ladin odununda 150-180°C'ler arasında orta veya uzun süreli; 200°C ve daha yüksek derecelerde kısa süreli ısıtma işlem yapılabilir.

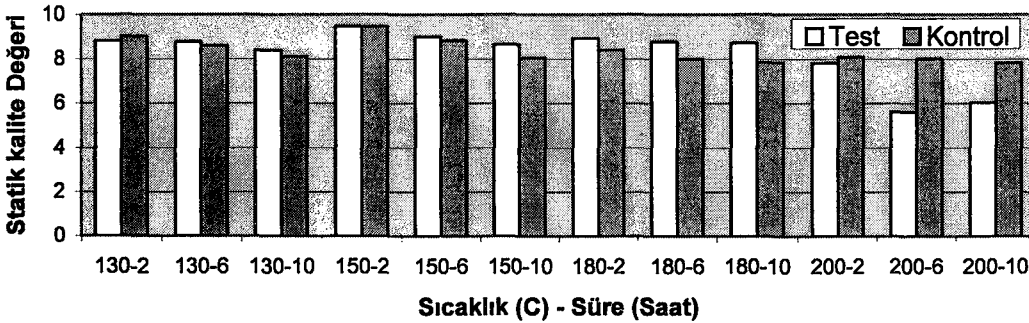
Yapılan bir çalışmada; 105°-155C' lerde 10-160 saat süre ile ısıtma işleme maruz bırakılan *Eucalyptus saligna* odununda sıcaklık ve sürenin artmasıyla birlikte liflere paralel basınç direnci değerlerinde azalmalar kaydedilmiştir [51]. Bir başka çalışmada kuru haldeki çam ve kayın odununda 100-200°C' lerde 96 saate kadar sürdürülen ısıtma işleminin, lif yönünde maksimum basınç direnci üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmada, termal bozunma oranı ve madde kaybıyla ilişkilendirilen basınç direnci özelliklerinde meydana gelen azalmanın, hava varlığında ve yokluğunda yaklaşık olarak benzer sonuçlar verdiği görülmüştür [38].

Yapılan çalışmalara göre; dirençteki azalmalar, esas olarak odun polimerlerinin depolimerizasyon reaksiyonları yüzünden olmaktadır. 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda moleküller arasındaki ve moleküllerin kendi içerisindeki bağlar kopmaya başlamaktadır. Kopan bağların oranı sıcaklık yükseldikçe artmaktadır [35]. Çalışmamızın kimyasal

analizlere dayanan kısımlarında belirtildiği üzere, artan sıcaklık ve süreye paralel olarak azalan hemiselüloz miktarını ve kopan bağların sayısındaki muhtemel artışı göz önüne alarak, direnç değerlerinin olumsuz yönde etkilediğini söylemek mümkündür.

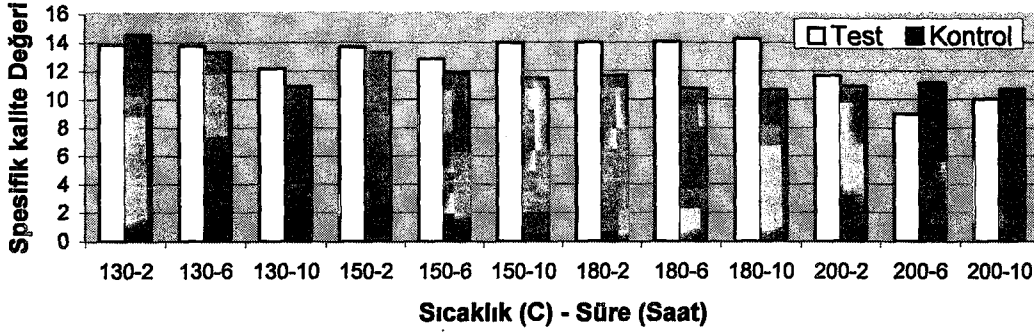
#### 4.2.3.1. Liflere Paralel Basınç Direncinde Statik ve Spesifik Kalite Değerleri

Doğu kayını odunu örneklerine ait statik ve spesifik kalite değerlerinin kontrolleri ile karşılaştırıldığı diyagramlar sırasıyla Şekil 40 ve Şekil 41'de; ladin odunu örneklerine ait statik ve spesifik kalite değerlerinin kontrolleri ile karşılaştırıldığı diyagramlar ise sırasıyla Şekil 42 ve Şekil 43'te sunulmaktadır. Buna göre; kayın odunu test örneklerinin statik kalite değerleri 200 °C grubuna ait varyasyonlar dışında 7,86-9,48 km civarlarında seyretmiş ve genel olarak iyi kalite sınıfına girmiştir. Son iki varyasyonun test örneklerine ait statik kalite değerleri sırasıyla 5,61 ve 6,04 km olmuş, statik kalite sınıfları ise sırasıyla düşük ve orta derecede bulunmuştur. Kayın odunu kontrol gruplarına ait statik kalite değerleri genellikle 7,83-9,47 km aralığında seyretmiş ve iyi kalite sınıfına dahil olmuştur (Tablo 77, Şekil 40). Kayın odunu kontrol örneklerine ait ortalama liflere paralel basınç direnci (595 kg/cm<sup>2</sup>) ve statik kalite değerleri (8,35 km) literatürle paralellik arz etmiştir [82]. Bu verilere göre; 200 °C'ye kadar ısıl işleme meydana gelen özgül ağırlık kaybıyla basınç direnci kaybının birbirine paralel oldukları söylenebilir. Bir başka ifadeyle, 200 °C'ye kadar yapılan ısıl işlem kayın odununun kullanım alanıyla ilgili olarak köklü bir değişikliğe sebep olmamaktadır. Ancak, bu sıcaklıktan itibaren statik kalite değeri düşük olmaktadır, yani, 200°C 'den sonra basınç direncindeki kayıplar özgül ağırlık kaybına göre daha fazladır. Bu da 200°C ve daha üstündeki sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulan kayın odunlarının kullanım yeri seçeneklerini kısıtlayıcı bir rol oynayabilecektir.



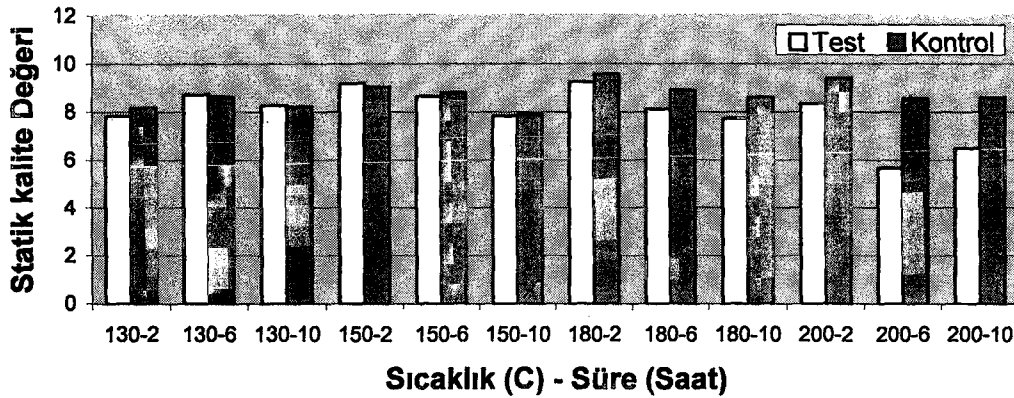
Şekil 40. Kayın odunu örneklerinde statik kalite değerleri





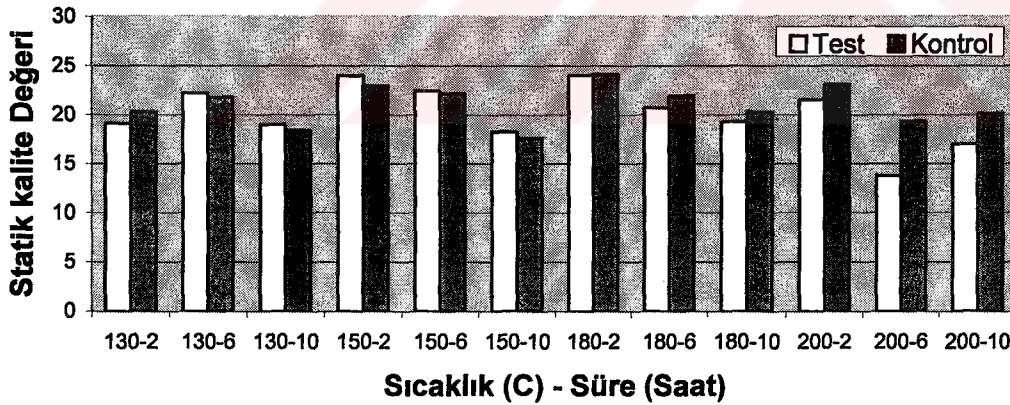
Şekil 41. Kayın odunu örneklerinde spesifik kalite değerleri

Aynı ağaç türünün test örneklerine ait spesifik kalite değerleri, genel olarak, en yüksek sıcaklık varyasyonlarının söz konusu olduğu son üç varyasyon dışında, 12,13-14,25 km civarında bulunurken; kontrol örneklerine ait spesifik kalite değerleri, 10,70-14,55 km değerindedir. 130 °C'de 2, 200 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonlar dışında kayın odunu kontrol örneklerinin spesifik kalite değerleri, test örneklerinininkine oranla bir miktar düşük bulunmuştur. Kayın odunu test örneklerinin dahil olduğu spesifik kalite sınıfları; 130 °C'de 10, 200 °C'de 2 ve 10 saatlik varyasyonlarda orta sert, 200 °C'de 6 saatlik varyasyonda sert ve diğer varyasyonlarda yumuşak kalite sınıfı şeklinde gruplanmıştır. Kontrol örneklerinin dahil olduğu spesifik kalite sınıfları ise, 130 °C'de 2 ve 6 saat ve de 150 °C'de 2 saatlik varyasyonlarda yumuşak, diğerlerinde orta sert şeklinde olmuştur (Tablo 77, Şekil 41). Buna göre; ısı işlem sonucu kayın odununun genellikle orta sert olan spesifik kalite değeri 200°C'ye kadar olan sıcaklıklarda yumuşak olmuş; 200°C sıcaklıkta ise ya aynı kalmış veya sert hale dönmüştür.



Şekil 42. Ladin odunu örneklerinde statik kalite değerleri

Ladin odunu test örneklerinin statik kalite değerleri, 200 °C’de 6 ve 10 saatlik varyasyonlar haricinde 7,73-9,26 km arasında değişmiş ve genellikle iyi kalite sınıfına dahil olmuştur. Son iki varyasyonun statik kalite değeri sırasıyla 5,65 ve 6,49 km iken, statik kalite sınıfı düşük olarak kaydedilmiştir. Ladin odunu test örneklerinin statik kalite değeri ve statik kalite sınıfı oransal olmamakla birlikte genel gidişat açısından kayın odununkine benzerlik göstermektedir. Ladin odunu kontrol örneklerinin statik kalite değerleri 7,90-9,57 oranlarında değişirken statik kalite sınıfları 150 °C’de 10 saatlik varyasyonda orta, diğer varyasyonlarda ise iyi kalitede bulunmuştur. 130 °C’de 6, 130 °C’de 10 ve 150 °C’de 2 saatlik varyasyonlar dışında ladin odunu test örneklerinin statik kalite değerleri kontrole oranla bir miktar düşük bulunmuştur (Tablo 78, Şekil 42). Ladin odununda da, kayında olduğu gibi, 200°C’ye kadar özgül ağırlık kaybıyla basınç direnci kaybının birbirine paralel gittiği söylenebilir. Çünkü, bu sıcaklığa kadar test ve kontrol örneklerinin statik kalite sınıfları aynı kalmaktadır. Ancak, 200°C sıcaklıkta basınç direnci kaybı özgül ağırlık kaybından çok daha fazla olmakta ve test örneklerinin statik kalite sınıfı düşük olmaktadır. Bu durumun yüksek sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulan ladin odunlarının kullanım yeri seçeneklerini sınırlayacağını belirtmek gerekir.



Şekil 43. Ladin odunu örneklerinde spesifik kalite değerleri

Ladin odunu test örneklerinin spesifik kalite değerleri, diğer kalite gruplarının eğilimine benzer şekilde son iki varyasyon dışında 18,27-24,06 km arasında değişmiş, spesifik kalite sınıfları, spesifik kalite değeri en düşük (13,81) olan 200 °C’de 6 saatlik varyasyonda orta sert, diğer varyasyonlarda ise yumuşak kalitede bulunmuştur. 130 °C’de 6, 10 saat ve 150 °C’de 2, 6 ve 10 saatlik varyasyonlar dışında ladin odunu test örneklerine ait spesifik kalite değerleri kontrol örneklerine oranla bir miktar düşük bulunmuştur.

Kontrol örneklerinin spesifik kalite değerleri 17,64 ile 24,17 km arasında değişmiştir. Kontrol örneklerine ait bütün varyasyonlar yumuşak kalite sınıfına dahil olmuştur (Tablo 78, Şekil 43). Bunlara göre; ısıtma işlemi ladin odununda genel olarak yumuşak olan spesifik kalite sınıfını 200°C'ye kadar değiştirmemiş; 200°C'de ise sadece 6 saatlik varyasyonda orta sertte dönüştürmüştür. Bu durumda, ısıtma işleminin ladin odununun spesifik kalite sınıfıyla ilgili kullanım alanlarını önemli bir değişikliğe uğratmayacağını ifade etmek mümkündür.

#### 4.2.4. Isıl İşlemin Mekanik Özellikleri Etkilemesine İlişkin Genel Değerlendirme

Odunun mekanik özellikleri denilince; boyut ve şekil değişmelerine (deformasyon), gerilme ve kırılmalara yol açan mekanik cinsten dış kuvvetlere ve çeşitli yüklemelerin etkilerine karşılık odunun karşı durma derecesi ve durumu anlaşılmaktadır [104]. Hücre çeperi bileşenlerinin odunun mekanik özelliklerini belirleme özelliği aşağıdaki sırada olmaktadır:

kristal selüloz >> amorf selüloz + hemiselüloz + lignin > lignin

Buradan anlaşılacağı gibi, odunun mekanik özellikleri ilk olarak kristal selüloza, ondan sonra da amorf selüloza atfedilmektedir. Daha sonra hemiselüloz ve lignin bileşenleri mekanik özelliklere katkı sağlamaktadır [144]. Selüloz molekülleri arasında bulunan çok sayıdaki hidrojen bağları, özellikle selülozun kristal zonunda güçlü bir yapı oluşturmaktadır. Selülozun % 60'dan fazlası kristal zondadır ve bu kristal yapı amorf zondan daha katı ve güçlüdür. Öte yandan, lignin fenolik bir polimer olarak odunun katılığına önemli bir katkı sağlamaktadır [140].

Araştırma sonuçlarına göre, ısıtma işleminin düşük sıcaklık varyasyonlarında (130 ve 150°C) selüloz ve lignin bileşenlerinin oranlarında önemli bir değişim olmazken, hemiselüloz oranı özellikle ladin odununda bir hayli azalmıştır (Tablo 111, 117 ve 118). Isıtma işleminde sıcaklığın ve sürenin artmasıyla C-C ve C-O bağlarının kopması gündeme gelmekte ve bu odun polimerlerinin arasındaki bağlantıyı azaltmaktadır. Böylece, lignin-hemiselüloz kopolimer sisteminin ayrışması; hemiselülozun ve amorf selülozun depolimerizasyonu söz konusu olmaktadır [140]. Bu yapıya göre; 200°C'ye kadar olan

sıcaklıklarda öncelikle hemiselüloz bileşeni bozduğundan, mekanik özelliklerde çok önemli azalmalar kaydedilmemiştir. Çünkü, hemiselülozun mekanik özelliklere katkısı selülozdan sonra gelmektedir ve bu sıcaklıklarda selüloz bileşeninde oransal kayıp çok azdır. 200°C'den itibaren selülozda kayıplar başladığından mekanik özelliklerde de önemli azalmalar olmuştur. Bununla birlikte, 200°C'de yapılan ısıtma işleminde gerek kayıpta gerekse ladinde selüloz kaybının çok fazla olmadığı da gözlenmektedir. Buna rağmen mekanik özelliklerde meydana gelen azalmaları, selülozdaki çok az oranlı azalmaların bile önemli direnç kayıplarına neden olmasında aramak mümkündür [140].

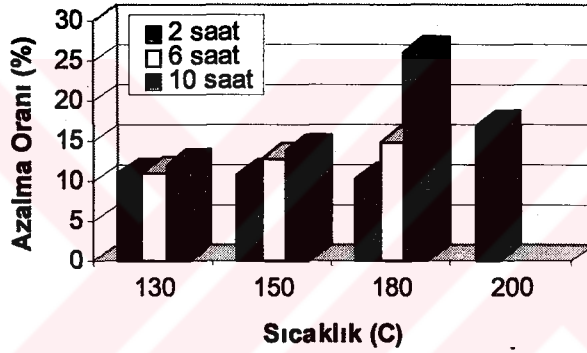
### 4.3. Isıl İşlemin Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi

#### 4.3.1. Kayın Odununda Isıl İşlemin Enine, Radyal ve Teğet Kesitteki Sertlik Değerleri Üzerine Etkileri

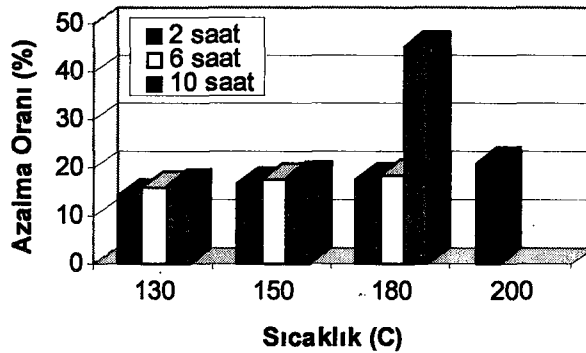
Kayın odunu örneklerinde ısıtma işlem sonrası kaydedilen sertlikte azalma oranları Şekil 44, 45 ve 46 'da görülmektedir. Test örneklerinin enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerleri, ait oldukları varyasyonlar bütünü içerisinde kıyaslandığında 180 °C'de 10 saat süreli varyasyon haricinde birbirlerine benzer oranlarda bulunmuştur (Tablo 84). Söz konusu varyasyon dışında enine kesitteki azalma oranları; % 10 -17 arasında; radyal kesitteki azalma oranları % 14 - 21 arasında; teğet kesitteki azalma oranları biraz daha hissedilir olmak üzere % 16-23 arasında değişkenlik göstermiştir. Yapılan bir çalışmaya göre; 110 ° C sıcaklıkta ısıtma işlem uygulanan Douglas göknarı odununda tespit edilen teğet kesitteki sertlik direnci azalma oranı % 15 olmuştur [45]. Aynı çalışmada; 138 °C'de 8 gün süreyle ısıtma işlemine tabi tutulan Sitka ladin odununun sertlik direnci değerlerinde azalmalar kaydedilmiştir [45]. Diğer deneme desenlerinin tümünde uygulanan 200 ° C sıcaklık grubuna ait 6 ve 10 saatlik ısıtma işlem periyotları, büyük boyutlu sertlik örneklerinde kömürleşmeye yol açtığı için gerçekleştirilememiştir. Enine, radyal ve teğet kesitteki en düşük sertlik değerleri sırasıyla; 5,02 kg/mm<sup>2</sup>, 1,90 kg/mm<sup>2</sup> ve 1,88 kg/mm<sup>2</sup> olmak üzere 180 ° C'de 10 saat süreyle uygulanan ısıtma işlem varyasyonlarından elde edilmiştir. Kontrol örneklerine kıyasla elde edilen enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik direnci azalma oranları söz konusu varyasyon için (180°C'de 10 saat) sırasıyla; % 26, %45 ve % 41 olmuştur (Şekil 44-46). Birbirine yakın oranlarda elde edilen sertlik değeri genel ortalamaları -birinci değer test örneğini, ikinci değer kontrol örneğini ifade etmek üzere-

enine kesitteki sertlik değeri için 5,86-6,71 kg/mm<sup>2</sup>, radyal kesitteki sertlik değeri için 2,81-3,40 kg/mm<sup>2</sup> ve teğet kesitteki sertlik değeri için 2,81-3,50 kg/mm<sup>2</sup> olmuştur. 180 ° C'de 10 saatlik varyasyon dışında kalan ve kendi içlerinde benzer sonuçlar veren enine ve radyal kesitteki sertlik değerleri azalma oranlarının genel ortalaması sırasıyla, % 13 ve % 17 olmuştur. Enine ve radyal kesitteki göre azalma oranı bir miktar artmış olan ve varyasyonlara göre daha heterojen bir azalma eğilimi gösteren teğet kesitteki azalma oranı 180 ° C'de 10 saatlik varyasyonda % 41 olarak kaydedilmiştir.

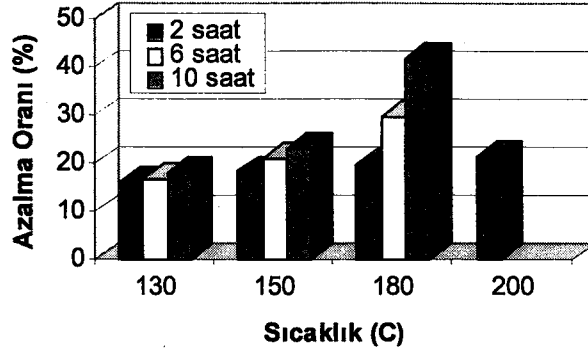
Her üç kesitteki sertlik değerlerinin azalma oranları, genel olarak ait oldukları sıcaklık gruplarının en uzun süreli (10 saat) varyasyonlarında artan bir yönelim sergilemişlerdir.



Şekil 44. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen enine kesitteki sertlik değerlerine ait azalma oranları



Şekil 45. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen radyal kesitteki sertlik değerlerine ait azalma oranları



Şekil 46. Isıl işleme tabi tutulan kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen teğet kesitteki sertlik değerlerine ait azalma oranları

Enine kesitte liflere paralel yönde ölçülen sertlik değeri radyal ve teğet yüzeylerde ölçülen sertlik değerlerine göre daha çok önem taşımaktadır [91]. Kayın odunu örneklerinde elde edilen sertlik değerleriyle yapılan ÇVA'ne göre (Tablo 92); sıcaklık ve süre varyasyonları arasında istatistiksel farklılık bulunamamış; ancak bunların karşılıklı etkileşimleri anlamlı bulunmuştur. Dolayısıyla, 12 deneme varyasyonunda uygulanan ısıl işlemin enine yöndeki sertlik değerine etkisi birbirinden farksızdır. Bu durumda, diğer fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimi göz önüne alarak, kayın odununda seçilen bir sıcaklık-süre varyasyonunda ısıl işlem yapmak sertliği önemli ölçüde etkilemeyecektir. Nitekim, test ve kontrol örneklerinin enine sertlik değerleri arasında yapılan BVA sonuçlarına göre; 130 ve 150°C'de 2 saat süreyle uygulanan ısıl işlemler haricindeki bütün varyasyonlarda test ve kontrol örnekleri arasında enine sertlik değeri bakımından farklılık bulunmamaktadır (Tablo 86). BVA sonuçlarına göre; düşük sıcaklıklarda 2 saat, yüksek sıcaklıklarda 6 veya 10 saatlik ısıl işlem uygulamaları daha riskli olmaktadır. Kayın odununda enine sertlik değerleriyle yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre (Tablo 98); sıcaklığın ve sürenin sertliğe etkisi parabolik çıkmıştır. Bu durumda, 180°C'de 10 saatlik uygulama varyasyonuna kadar giderek artma eğiliminde olan sertlik değeri kaybı, bu noktadan itibaren azalmaya başlamıştır denilebilir. Diğer yandan, düşük sıcaklıklarda kısa (2 saat), yüksek sıcaklıklarda uzun (10 saat) işlem süreleri olumsuz sonuç verdiği için optimum süre 6 saat olarak belirlenmiştir. Bütün bu değerlendirmelere göre; yüksek sıcaklıklarda orta süreli olarak uygulanan ısıl işlemin enine yöndeki sertlik değeri kaybını katlanılabılır sınırlar içinde tutacağı ifade edilebilir (Şekil 44-46).

Kayın odununda radyal sertlik değerleriyle yapılan ÇVA'ne göre (Tablo 93); sıcaklık varyasyonları arasında istatistiksel farklılık bulunamamış; süre varyasyonları ve sıcaklık-sürenin karşılıklı etkileşimleri farklılık ortaya koymuştur. Buna göre; diğer özellikler dikkate alınarak seçilen herhangi bir sıcaklık varyasyonunda orta süreli (6 saat) ısı işlem uygulaması radyal yöndeki sertlik kaybını en optimum düzeyde tutabilecektir (Şekil 45). BVA sonuçlarına göre; bütün sıcaklıkların (200°C dışında) 6 saat süreli varyasyonlarında test ve kontrol örnekleri arasında istatistiksel fark olmaması da bunu doğrular niteliktedir (Tablo 87). Diğer yandan, radyal yöndeki sertlik değerleriyle yapılan kontrast testine göre, radyal sertliğe sıcaklığın etkisi kübik, sürenin etkisi parabolik olmuştur (Tablo 99). Bu da yukarıdaki ifadeleri destekler niteliktedir. Sıcaklık etkisinin kübik çıkması, sıcaklık varyasyonları arasında bir farklılık olmadığını bir kez daha ortaya koymaktadır. Süre etkisinin parabolik çıkması da, radyal sertlikte optimum kayıp açısından 6 saatlik ısı işlemin en uygun olduğunu belirlemektedir. Sonuç olarak; radyal sertlikteki kayıpları katlanılabilir düzeyde tutmak için, sıcaklık ne olursa olsun orta süreli ısı işlem uygulaması yerinde olacaktır denilebilir (Şekil 45).

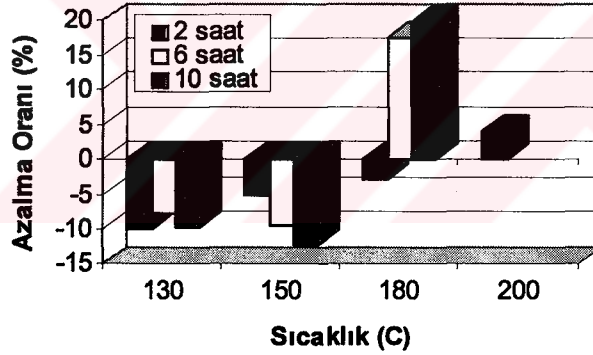
Teğet yönde sertlik değerleriyle yapılan ÇVA sonuçlarına göre (Tablo 94); sıcaklık, süre ve sıcaklık sürenin kendi etkileşimleri arasında istatistiksel anlamda farklılıklar bulunmaktadır. Homojenlik gruplarına bakılırsa, sıcaklık varyasyonları arasında çok fazla farklılık olmadığı, sadece 200°C ile 180 ve 150°C'ler arasında belirgin fark bulunduğu gözlenmektedir. Süre varyasyonları ise birbirinden farklıdır (Tablo 94). Radyal sertlikte olduğu gibi, teğet sertlik değerleriyle yapılan kontrast testinde de, sıcaklığın etkisi kübik, sürenin etkisi parabolik olmuştur (Tablo 100). Bunlara göre; teğet sertlikteki kayıpları en uygun düzeyde tutabilmek için, tercih edilen sıcaklık ne olursa olsun orta süreli (6 saat) ısı işlem daha yerinde olacaktır denilebilir.

Kayın odununda, sertlik değerlerinde yüksek oranlı olmasa da meydana gelen kayıpların temel sebebinin ısı işlem sonucu oluşan özgül ağırlık kaybı olduğunu ifade etmek mümkündür. Bununla birlikte, kayın odununda, ısı işlemin özellikle en önemli sertlik olan enine yöndeki sertlik değerini çok fazla oranda ve istatistiksel fark çıkaracak şekilde azaltmaması kayda değer bir sonuçtur. Çünkü, kayın odununda ısı işlem sonunda boyut stabilizasyonunun önemli ölçüde artması, buna karşılık sertliğin azalmaması yer düşemesi (parke) gibi kullanım alanlarında ısı işlemin uygulanabileceğine işaret

etmektedir. Örneğin; 200°C’de 2 saat olarak uygulanan ısıtma işlem sonunda % 42 oranında boyut stabilizasyonu sağlanırken (Tablo 23), test ve kontrol örneklerinin enine sertlik değerleri arasında istatistiksel farklılık olmamış; enine, radyal ve teğet yöndeki sertlik değerlerindeki kayıplar sırasıyla, % 17, % 20 ve % 20 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 44-46). Diğer yandan, parkelerin genel anlamda laboratuvar ölçeğinde hazırlanan ısıtma işlem örneklerinde olduğu gibi küçük boyutlu olması da bu sonuçların doğrudan uygulamaya aktarılabilmesini kolaylaştırabilecektir.

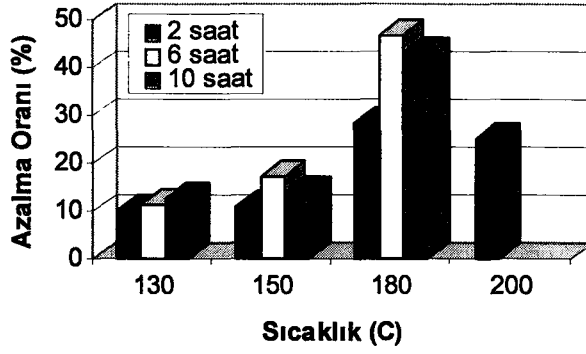
#### 4.3.2. Ladin Odununda Isıtma İşleminin Enine, Radyal ve Teğet Kesitteki Sertlik Değerleri Üzerine Etkileri

Ladin odununda, enine kesitteki sertlik değerlerine ait azalma-artma oranları Şekil 47’de, radyal ve teğet kesitlerdeki azalma oranları ise sırasıyla Şekil 48 ve Şekil 49’da gösterilmektedir.

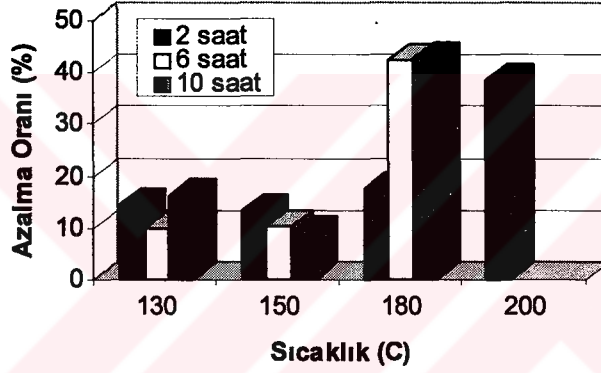


Şekil 47. Isıtma işlemine tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen enine kesitteki sertlik değerlerine ait azalma oranları (Negatif değerler artış oranını ifade etmektedir)





Şekil 48. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen radyal kesitteki sertlik değerlerine ait azalma oranları



Şekil 49. Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen teğet kesitteki sertlik değerlerine ait azalma oranları

Ladin odununda enine kesitteki sertlik değerleri son üç varyasyona kadar kontrole kıyasla, ısıl işlem sıcaklık ve süresiyle doğru orantılı olmayan bir artış sergilemiştir (Şekil 47). En fazla artış oranı %12.5 olup, 150 °C’de 10 saatlik varyasyonda elde edilmiştir; bunu takiben, 130 °C’de 2 saatlik varyasyonda %10’luk bir artış gözlenmiştir. Son üç varyasyona ait sertlik değerlerinde azalmalar kaydedilmiştir. 180 °C’de 6 ve 10 saatlik varyasyonlardaki azalma oranları sırasıyla % 17,5 ve % 20; 200 °C’de 2 saatlik varyasyondaki azalma oranı ise % 4 olarak tespit edilmiştir. Radyal kesitte sertlik değeri ısıl işlemin bütün varyasyonlarında azalmıştır. 180°C’ye kadar sıcaklık artışına paralel sertlik kaybı meydana gelmiştir. Sertlik kaybının en az olduğu varyasyonlar 130°C’de 2 ve 6 saatlik, 150°C’de 2 saatlik varyasyonlar olup, kayıp oranı değerleri sırasıyla, % 8, %9 ve %8’dir. Sertlik kaybının en yüksek olduğu varyasyonlar ise 180°C’de 6 ve 10 saatlik ısıl

işlem varyasyonları olup, kayıp oranları sırasıyla % 45 ve % 42 olmuştur (Şekil 48). Teğet kesitteki sertlik değerlerine ait azalma oranları sıcaklık ve sürenin artmasına paralel bir yapıda değildir . En yüksek azalma oranlarının elde edildiği varyasyonlar 180 °C’de 6 saat (% 42) ve 10 saat (% 43) ile 200 °C’de 2 saat (% 39) süreli varyasyonlar olurken; en düşük oranların elde edildiği varyasyonlar 150 °C’de 10 saat (% 9) ve 130 °C’de 6 saat (% 10) süreli varyasyonlar olmuştur (Şekil 49).

Ladin odunu örneklerinden elde edilen her üç kesitteki sertlik değerleri ile sıcaklık-süre varyasyonları arasında doğrusal bir korelasyon kurulamadığı gözlenmektedir. Sertlik değerlerindeki değişimlerin, genel anlamda mekanik değişimler için belirleyici bir ölçüt olmadığını savunan Salamon [143], 150 ve 200 °C sıcaklıklarda 20- 60 dakika süreyle ısıtılma işlemine tabi tuttuğu güney çamı örneklerinin sertlik değerlerinde ciddi azalmalar tespit etmiştir. Ancak; 200 °C’de 40 dakika süreyle ısıtılma işlemi uygulanan örneklerin sertlik değerlerindeki azalma oranı yaklaşık % 50 iken, aynı sıcaklıklarda 60 dakika süreyle ısıtılma işlemi uygulanan örneklerin sertlik değerlerindeki azalma oranı yaklaşık % 25 olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan ısıtılma işleminden geçirilmiş sarıçam, ladin ve huş odunlarından elde edilen Thermo-wood adlı ticari üründe yüzey sertliğinde önemli bir azalma meydana gelmediği belirtilmektedir [76].

Ladin odununda, enine yönde sertlik değerleriyle yapılan ÇVA’ne göre (Tablo 95); sıcaklık varyasyonları arasında ve sıcaklık-sürenin karşılıklı etkileşiminde istatistiksel anlamda farklılık bulunurken, süre varyasyonları arasında belirgin fark bulunamamıştır. Homojenlik gruplarına göre 130, 150 ve 200°C ‘lik varyasyonlar arasında farklılık yoktur; sadece 180°C sıcaklıkta elde edilen sertlik değerleri diğerlerinden farklıdır. Bu durumda, ladin odununda 180°C’nin orta ve uzun süreli varyasyonları dışında, önemli bir sertlik kaybı olmaksızın ısıtılma işlemi uygulamak mümkün olabilecektir. Diğer yandan, 130 ve 150°C’lerdeki bütün varyasyonlarda ve 180°C’nin 2 saatlik varyasyonunda kaydedilen sertlik artışını, ısıtılma işlemi sonunda sertlikte meydana gelen bir artma olarak değil, ısıtılma işleminin sertlik değerini etkilememesi olarak algulamak daha yerinde olacaktır. Enine yönde sertlik değerleriyle yapılan iki faktörlü faktöriyel analiz testinin sonuçlarına göre; sertlik değerine sıcaklığın etkisi kübik çıkmış, sürenin ise belirgin bir etkisi bulunamamıştır (Tablo 98). Sıcaklıkta kübik yapının ortaya çıkması, sıcaklık varyasyonları arasında hem sertlik artışının hem de sertlik kaybının bir arada bulunmasından kaynaklanmış olabilir. Isıl

işlem süresinin sertlik üzerinde istatistiksel anlamda herhangi bir etkisi bulunmamakla birlikte; -diğer fiziksel özellikler de göz önüne alınarak- yüksek sıcaklıklarda (180 ve 200°C) kısa süreli (2 saat) ısıtma işlemi uygulanması ladin odununda sertlik bakımından optimum bir sonuç verebilecektir (Şekil 47). Örneğin; 200°C’de 2 saat süreyle uygulanan ısıtma işlemi sonunda ladin odununda %31’lik bir boyut stabilizasyonu artışına karşılık (Tablo 23), sadece %4’lük bir sertlik kaybı söz konusudur (Şekil 47). Böylece, ısıtma işleminden geçirilmiş ladin odununun boyut stabilizasyonunun önem kazandığı kullanım alanlarında sertlik kaybı olmaksızın değerlendirilmesi mümkün olabilecektir.

Radyal yöndeki sertlik değerleriyle yapılan ÇVA sonuçlarına göre (Tablo 96); ısıtma işlemi sıcaklıkları arasında ve sıcaklıkla sürenin karşılıklı etkileşiminde istatistiksel anlamda farklılık söz konusudur. Süre varyasyonları arasında ise bir farklılık gözlenmemektedir. Homojenlik gruplarında 180°C dışında diğer sıcaklıklar arasında istatistiksel farklılık olmadığı görülmektedir. Kontrast testinde ise, sıcaklığın radyal yöndeki sertlik değerine etkisi kübik çıkarken, sürenin belirgin bir etkisi görülmemektedir (Tablo 99). Sıcaklığın kübik etkisi, 180°C’de 6 ve 10 saatlik varyasyonlar dışında diğer varyasyonlardaki sertlik kayıplarının birbirine benzer oranlarda olmasından kaynaklanmış olabilir. Bunlara göre; ısıtma işleminin yüksek sıcaklıklarda kısa süreli olarak uygulanması radyal yöndeki sertlik kaybını tolere edilebilir sınırlar dahilinde tutabilecektir (Şekil 48).

Ladin odununda teğet yöndeki sertlik değerleriyle yapılan çoğul varyans analizinde de; diğer iki sertlikte olduğu gibi, sıcaklık varyasyonları arasında ve sıcaklık-sürenin kendi arasındaki etkileşimde istatistiksel farklılık bulunurken; süre varyasyonları arasında belirgin farklılık bulunmamıştır (Tablo 97). Sertlik değerleri itibarıyla 130 ve 150°C ile 180 ve 200°C sıcaklıklar birbirleriyle homojendir. İki faktörlü faktöriyel analiz sonuçlarına göre; sıcaklığın ve sürenin teğet yöndeki sertlik değerine etkisi doğrusal karakterlidir (Tablo 100). Sıcaklığın doğrusal etkisinin sebebi, 200°C’de 2 saat varyasyonunda elde edilen ve diğer sertliklere göre daha yüksek olan kayıp oranı (%36) olabilir. Bunlara göre; teğet yöndeki sertlik kaybını optimum düzeyde tutmak amacıyla, 180°C’de kısa süreli (2 saat) ısıtma işlemi seçeneği tercih edilebilir. Bu varyasyon, enine ve radyal yöndeki sertlik kayıplarında olduğu gibi teğet yöndeki sertlik kaybının da en düşük düzeyde tutulması bakımından ön plana çıkmaktadır (Şekil 49).

Ladinde sertlik değerlerinde kayına göre daha fazla olan değişkenliğin, öncelikle özgül ağırlık kayıplarıyla ilişkili olduğu düşünülebilir. Daha önce de ifade edildiği gibi, sertliği etkileyen en önemli etkenlerin başında özgül ağırlık gelmektedir. Ladin odununda ısıl işleme meydana gelen özgül ağırlık kayıpları kayın odunundan daha düşüktür (şekil 15 ve 16). Ladin odununda 130 ve 150°C’lerde meydana gelen özgül ağırlık kayıplarının kayındakilerin yaklaşık yarısı kadar olması nedeniyle, bu sıcaklıklarda genel olarak ladin odunundaki sertlik kayıplarının kayın odunundan daha düşük bulunduğu ifade edilebilir. Ancak, 180°C’nin 6 ve 10 saatlik varyasyonlarından itibaren ladindeki sertlik kayıpları kayındakinden daha yüksek olmaya başlamaktadır. Bunun bir nedeni, ladindeki özgül ağırlık kaybının bu varyasyonlardan itibaren artmaya başlaması; diğer bir nedeni de ladin odununda özellikle yüksek sıcaklıklardaki ısıl işlemler sonucunda yapısal bir takım boşlukların meydana gelmesi olabilir. Çünkü, zgl ağırlık kaybının yanı sıra, odundaki boşluk hacminin ve dolayısıyla hava miktarının artması da sertlik değerinin düşmesine sebep olmaktadır [91].

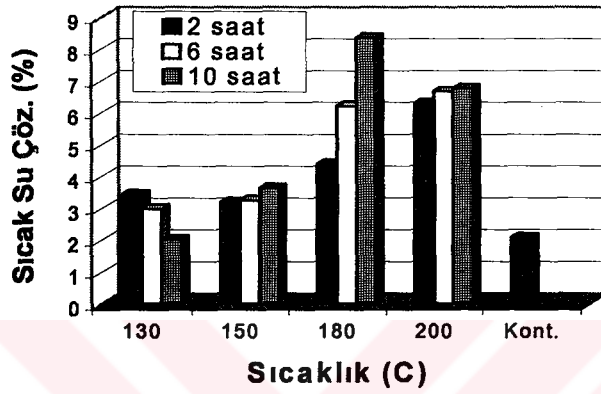
#### 4.4. Isıl İşlemin Kimyasal zellikler zerine Etkisi

Odunun termal bozunmasıyla, şimdiye kadar yalnızca bir kısmı açıklanabilen aynı anda çok farklı kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Odunu oluşturan bileşenlerin pirolizi veya termal bozunması kimyasal yapı değişikliği ile kendini hissettirmektedir. Odunu etkileyen pirolizin derecesi ve oluşma oranı, reaksiyonun gerçekleştiği sıcaklığa, ortamda var olan havanın miktarına ve reaksiyon süresine bağlıdır [145]. 100 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda moleküller arasındaki ve moleküllerin kendi içerisindeki bağlar kopmaya başlamaktadır. Kopan bağların oranı sıcaklık yükseldikçe artmaktadır. 100-200 °C sıcaklıkları arasında karbondioksit, su buharı ve organik madde kalıntıları gibi yanmayan ürünler meydana gelmektedir. 200 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda sellzun dekompoze olmaya başlamasıyla katranlar ve yanabilen ürünler ortaya çıkmaktadır. 450 °C’nin üzerinde bütün buharlaşabilen ürünler serbest kalmaktadır [35].

130-200 °C sıcaklıkları arasında, 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan kayın ve ladin odunu örneklerinin kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler bir dizi analiz yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

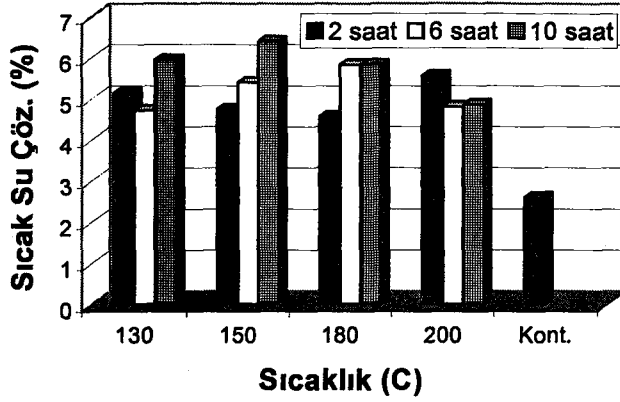
#### 4.4.1. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Sıcak Su Çözünürlükleri Üzerine Etkisi

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işleme tabi tutulan kayın ve ladin odunu örneklerinin sıcak su çözünürlükleri sırasıyla Şekil 50 ve Şekil 51’de kontrol örnekleriyle karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 50. Kayın odunu örneklerinde ortalama sıcak su çözünürlükleri

Şekil 50’ye ve Tablo 102’ye göre; 130 °C sıcaklıkta sürenin uzamasıyla ters orantılı olarak azalan kayın odunu test örneklerinin sıcak su çözünürlükleri ilerleyen varyasyonlarda sıcaklık ve sürenin artmasına paralel olarak artmıştır. Kontrol örneğine ait sıcak su çözünürlüğünün ortalama % 2,07 olarak tespit edildiği muamelede; çözünürlüğün en yüksek oranda bulunduğu varyasyon, 180 °C’de 10 saat süreli varyasyon (% 8,35), en düşük oranda bulunduğu varyasyon ise 130 °C’de 10 saat süreli varyasyon olmuştur (% 2,01). Kayın odununda sıcak su çözünürlüğü ile ilgili olarak yapılan BVA sonuçlarına göre; 12 ısıl işlem varyasyonunun tamamında test ve kontrol örnekleri arasında istatistiksel farklılık bulunmaktadır (Tablo 103). En düşük sıcaklık ve en kısa süre varyasyonlarında bile ısıl işlem sonucu bir takım termal bozuşum ürünlerinin açığa çıktığını ortaya koymaktadır.



Şekil 51. Ladin odunu örneklerinde ortalama sıcak su çözünürlükleri

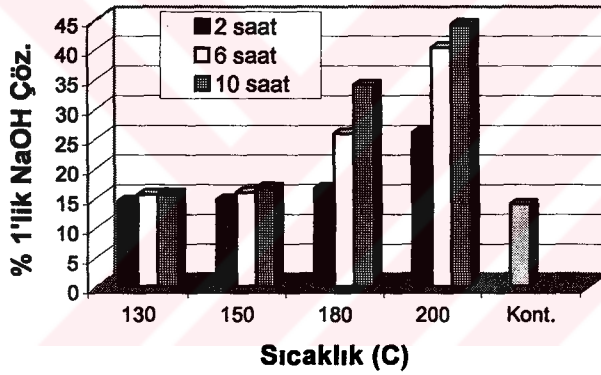
Şekil 51'den ve Tablo 102'den de anlaşılacağı üzere; ladin odunu örneklerinin sıcak su çözünürlükleri kontrole oranla yüksek bulunmuştur. Ladin odunu test örneklerinde, kayın odunu test örneklerinininkine benzer şekilde sıcaklık ve süreye bağlı bariz ve doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. 150 °C'de 10 saatlik varyasyon, sıcak su çözünürlüğünün en yüksek bulunduğu varyasyon olmuştur ( % 6,38 ). Ladin odununda da sıcak su çözünürlüğüne ilişkin yapılan BVA'nde test ve kontrol örnekleri arasında 12 varyasyonun tamamında istatistiksel farklılıklar mevcuttur (Tablo 104). Burada da ısıl işlemde kaynaklanan termal bozulum ürünlerinin ilk aşamalarda ve kayımdan daha hızlı biçimde ortaya çıktığı belirtilebilir.

120-200 °C sıcaklıklar arasında ısıl işlem uygulanan ladin odunu örneklerinin sıcak su ekstraksiyonunda çözülebilir bileşenlerin; galaktoglukomannan, arabinoksilan, ksilan ve muhtemelen galaktanın yan gruplarına  $\alpha$ -glikozidikal bağ yapan arabinoz olduğu bildirilmiştir. Odunun termal muamelesinden sonra sıcaklık artışına paralel olarak sıcak su ekstraktlarının arttığı gözlenmiştir. 100 °C sıcaklıktan sonra başlayan bu artışın 150-180 °C sıcaklıkları arasında daha belirgin olduğu anlaşılmıştır. Sıcak su ekstraksiyonunda 120 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda arabinoz miktarında azalmalar kaydedilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı 200 °C'ye ulaştığında, sıcak su çözünürlüğü etkilerinin daha fazla hissedilebilir olduğu odunda, büyük değişiklikler meydana gelmiştir. 200 °C sıcaklıktan sonra arabinoz tamamen gözden kaybolmuş ve hidroliz sırasında muhtemelen tagatose ile özdeşleştirilen yeni bir şeker meydana gelmiştir. Sıcak su ekstraksiyonu sonucunda, polisakaritlerin buharlaşabilen ürünlere dönüşmesi iki şekilde açıklanmaktadır. Birincisi; suda çözülebilir

kısımların artmasına yol açan uzun zincir yapısının, kısalarak kendini gösterdiği kısmi dekompozisyonla, ikincisi kısa zincirlerin dağılıp ayrılarak monosakkaritlere, onların da tekrar dağılıp ayrılarak buharlaşan ürünlere dönüşmesiyle ya da ara ürün durumundaki olisakkaritlere dönüşmesi ile açıklanmaktadır [59].

#### 4.4.2. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin % 1'lik NaOH Çözünürlükleri Üzerine Etkisi

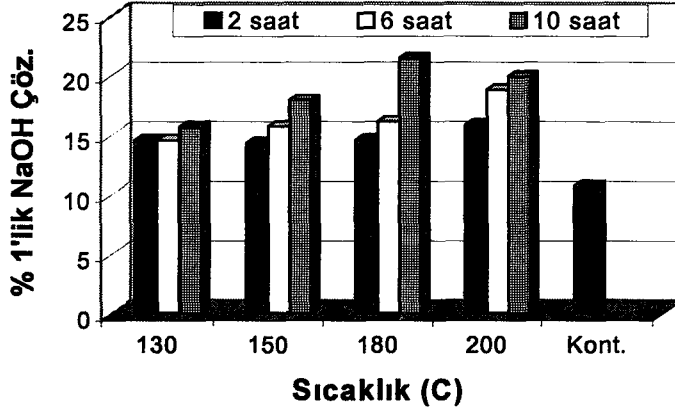
Mantar çürüklüğünün veya ısı, ışık, oksidasyon vb. degradasyonların derecesi hakkında bilgi veren sıcak alkali çözeltisi, odunda bozunmuş selüloz ve hemiselülozları içeren düşük molekül ağırlığındaki karbonhidratları ekstrakte etmektedir [126]. Şekil 52'de kayın odunundaki, Şekil 53'de ladin odunundaki NaOH çözünürlükleri görülmektedir.



Şekil 52. Kayın odunu örneklerinde ortalama % 1'lik NaOH çözünürlüğü

Şekil 52'ye göre; kayın odunu test örneklerinin % 1'lik NaOH çözünürlüğü sıcaklık ve sürenin artmasına paralel olarak artmıştır. Çözünürlüğün bir başka deyişle degradasyonun en düşük olduğu varyasyon sıcaklık ve sürenin en düşük oranda uygulandığı 130 °C'de 2 saat süreli varyasyon (% 14,31), çözünürlüğün ya da degradasyonun en yüksek olduğu varyasyon, sıcaklık ve sürenin en yüksek oranda uygulandığı 200 °C'de 10 saat süreli varyasyon olmuştur (% 44,04). Kontrol örneklerinin ortalama çözünürlük oranı % 13,79 olarak bulunmuştur. Tablo 106'daki BVA, 12 ısı işlem varyasyonunun tamamında, kayın odunu test ve kontrol örneklerinin %1'lik NaOH çözünürlükleri arasında istatistiksel farklılık bulunduğunu göstermektedir. Alkali etkisiyle odunda özellikle hemiselülozların çözüldüğü bilinen bir gerçektir. Buna göre, ısıl işlemin

düşük sıcaklıklardan itibaren hemiselüloz üzerinde etkili olduğu ve hemiselülozun termal bozuşum ürünlerinin alkali çözünürlüğünü arttırdığı düşünülebilir.



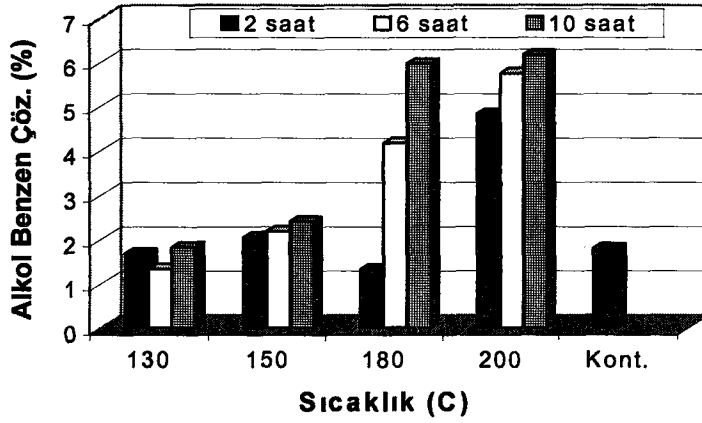
Şekil 53. Ladin odunu örneklerinde ortalama % 1'lik NaOH çözünürlüğü

Ladin odunu test örneklerinin % 1'lik NaOH çözünürlükleri kayın odunundaki kadar olmamakla birlikte artış göstermiştir (Şekil 53). 130 ve 150 °C'deki varyasyonlara ait çözünürlük değerleri birbirlerine benzer oranlarda bulunmuştur. Kontrol örneklerine ait ortalama çözünürlüğün % 10,7 olduğu muamelede, en yüksek çözünürlük ya da en fazla degradasyon 180 °C'de 10 saat süreli varyasyonda meydana gelmiştir ( % 21,4). Ladin odununda elde edilen NaOH çözünürlükleriyle yapılan BVA'nde (Tablo 107), bütün ısıl işlem varyasyonlarında test ve kontrol örnekleri arasında belirgin farklar olduğu görülmektedir. Bu durumun, yukarıda kayın odunu için açıklandığı gibi, hemiselülozun termal bozuşumundan kaynaklandığı belirtilebilir.

#### 4.4.3. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Alkol-Benzen Çözünürlükleri Üzerine Etkisi

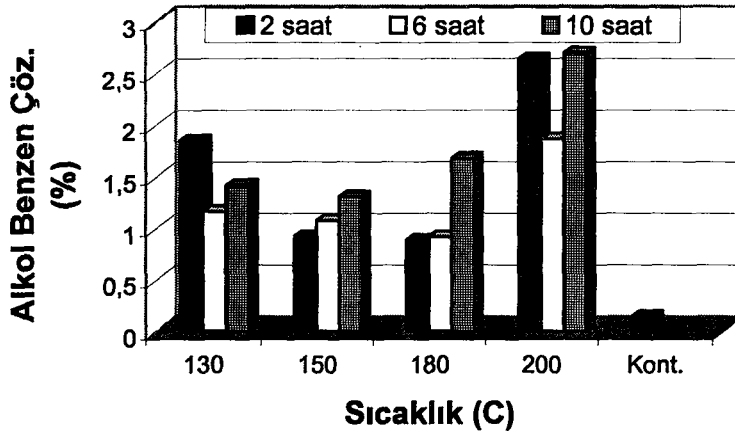
Kayın odunu test örneklerinin alkol benzen çözünürlükleri çok üniform olmamakla birlikte genellikle sıcaklık ve sürenin yüksek olduğu varyasyonlarda kontrole oranla artmıştır. Kontrol örneklerine ait çözünürlük oranı ortalama % 1,8 iken bu oran, 180 ve 200 °C' de 10 saatlik varyasyonlarda sırasıyla % 5,9 ve % 6,1'e ulaşmıştır (Şekil 54).





Şekil 54. Kayın odunu örneklerinde ortalama Alkol-Benzen Çözünürlüğü (%)

Kayın odununda alkol-benzen çözünürlüğü değerleriyle yapılan BVA sonuçlarına göre (Tablo 109); test ve kontrol örnekleri arasında 130°C'de 6 saat, 150°C'de 10 saat, 180°C'de 6 ve 10 saat ve 200°C'de 2, 6 ve 10saat varyasyonlarında istatistiksel farklılık bulunurken, diğer varyasyonlarda belirgin fark bulunamamıştır. Buna göre; düşük sıcaklıklarda ve kısa süreli ısı işleme tabi tutulan kayın odununda alkol-benzen çözünürlüğü normal odunla aynı düzeyde kalmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ise çözünürlük bir hayli artmaktadır. Alkol-benzen çözünürlüğü odunda özellikle ekstraktif maddelerin miktarıyla ilgilidir, yani ekstraktif madde miktarı fazla olan odunların alkol-benzen çözünürlüğü de yüksek olmaktadır. Daha önce yapılan bir çalışmada, yapraklı ağaç olarak huş odununda ısı işlem sonucu odun karbonhidratlarının ve lignin birimlerinin ekstraktif madde benzeri birimlere dönüştüğü, bunun da alkol-benzen çözünürlüğünü arttırdığı belirtilmektedir [35]. Aynı durumun kayın odun örnekleri için de geçerli olduğu ifade edilebilir.

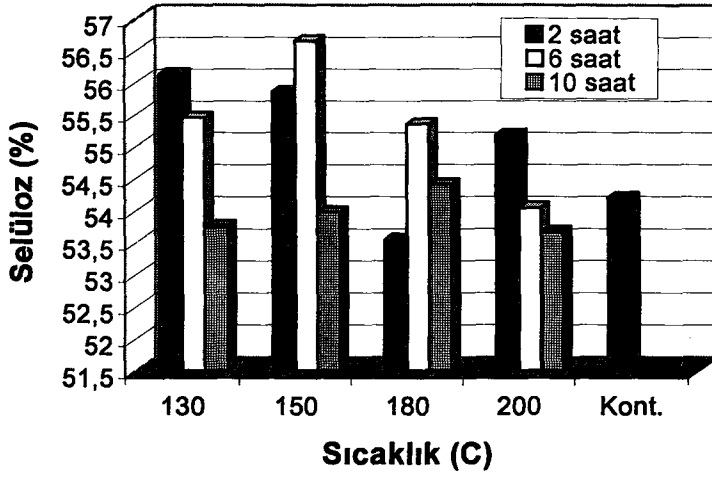


Şekil 55. Ladin odunu örneklerinde ortalama Alkol-Benzen Çözünürlüğü (%)

Ladin odunu test örneklerine ait çözünürlük oranları incelendiğinde (Şekil 55); 200 °C sıcaklık grubuna ait varyasyonlar dışında, çözünürlüklerin sıcaklık ve süreyle ilişkilendirilebilecek bir eğilim izlemedikleri gözlenmiştir. Kayın odununa göre düşük bulunan kontrol örneklerine ait ortalama çözünürlük miktarı % 0,14 oranında tespit edilmiştir. Çözünürlük miktarı en yüksek, 200 °C’de 10 saat süreyle muamele edilen test odunu örneklerinden elde edilmiştir (%2,69). BVA sonuçlarına göre (Tablo 110); 150°C’de 6 saat ve 180°C’de 2 saat varyasyonları dışında kalan tüm varyasyonlarda test ve kontrol örneklerinin alkol-benzen çözünürlüğü değerleri arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunmaktadır. Ladin odununda çözünürlük oranı kayından daha düşük olmasına rağmen, kontrole göre ısıl işlem görmüş örneklerde çözünürlüğün artma oranı kayından çok daha yüksektir (Şekil 54-55). Bu yüzden, çoğu varyasyonda test ve kontrol örnekleri arasında belirgin farklar bulunmaktadır. Odun karbonhidratlarının ve lignin birimlerinin ekstraktif madde benzeri birimlere dönüşmesi ile çözünürlüğün artması ladin odunu için de geçerli olabilecektir.

#### 4.4.4. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Selüloz Üzerine Etkisi

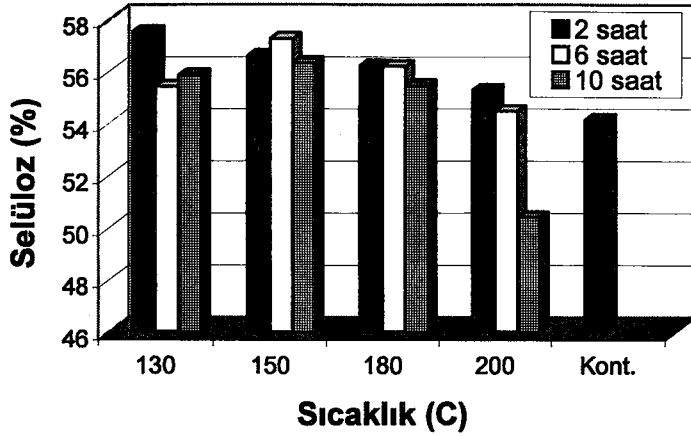
Kayın ve ladin odunu örneklerine ait ortalama selüloz değerleri kontrolleri ile karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 56 ve Şekil 57’de gösterilmektedir.



Şekil 56. Kayın odunu örneklerinde ortalama selüloz miktarı (%)

Kayın odunu test örneklerinin ortalama selüloz değerleri hemen her varyasyon için birbirlerine benzer oranlarda bulunmuştur. Kontrol örneklerine ait ortalama selüloz değeri % 54,2 iken, test örneklerinin ortalama selüloz değerleri % 53,5 ile % 56,1 arasında değişmiştir. Bu değişim aralığının sıcaklık ve süre artışı ile doğrusal bir ilişkisi söz konusu değildir. Bu durumda mevcut sıcaklık ve süre varyasyonlarının selüloz üzerinde herhangi bir yıkımlama etkisi yaratmadığını hatta bazı varyasyonlarda kontrole oranla bir miktar artış meydana getirdiğini söylemek mümkündür. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; selülozun kristalimsi yapısı, bulunduğu şartlara bağlı olarak 200°C' ye kadar yükselebilen belli sıcaklıklarda değişmemekte, hatta iyileşmektedir. 160°C' ye kadar çeşitli sıcaklıklarda ısıtılan pamuğun müteakiben % 10' luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile hidrolizi sırasındaki davranışlardan selülozdaki kristal bölgelerin, sıcaklık derecesinin ve süresinin artmasıyla arttığı sonucuna varılmıştır. 200°C' de gergin sentetik liflerin yumuşaması, selülozun kristalleşmesinde bir büyüme ve kristallik derecesinde bir artış başlamaktadır [2].

Kayın odununda elde edilen selüloz oranlarıyla yapılan BVA'ne göre (Tablo 112); bütün ısıl işlem varyasyonlarında test ve kontrol örnekleri arasında selüloz miktarı bakımından istatistiksel farklılık bulunamamıştır. Buna göre, ısıl işlemin kayın odununda selüloz miktarını önemli ölçüde azaltmadığı ortaya çıkmaktadır. Benzeri bir araştırmada, kayın odununda 130-194°C'ler arasında yapılan ısıl işlem sonucu selüloz miktarının değişmediği bildirilmektedir [146].



Şekil 57. Ladin odunu örneklerinde ortalama selüloz miktarı (%)

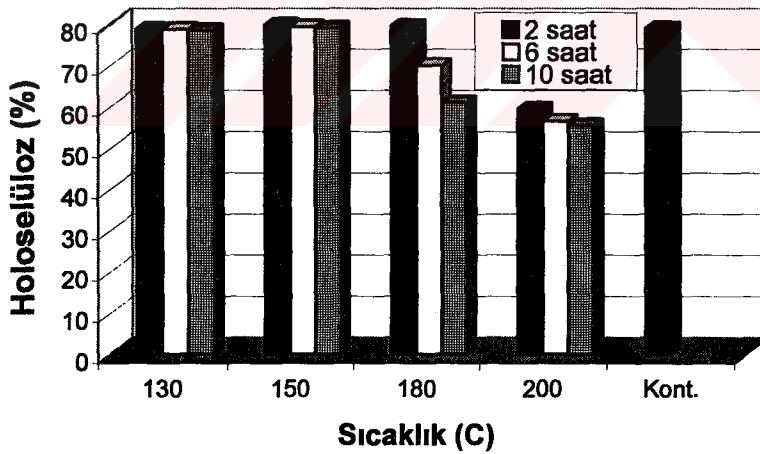
Kayın odununa benzer şekilde ladin odunu test örneklerinin ortalama selüloz değerleri birbirlerine benzer oranlarda bulunmuştur (Şekil 57). Kontrol örneklerine ait ortalama selüloz değeri % 54,1 olarak bulunmuştur. Selülozun sadece, sıcaklığın ve sürenin en yüksek derecede uygulandığı varyasyonda (200 °C’de 10 saat) kontrole ve her iki ağaç türünün diğer test grubu varyasyonlarına oranla küçük bir miktar azaldığı gözlenmiştir (% 50,4). Ladin odununun kimyasal yapılarının incelendiği bir çalışmada kapalı bir sistemde, 130-194 °C sıcaklıkları arasında gerçekleştirilen ısı işlem uygulaması ile selüloz miktarının ladin odununda azaldığı gözlenmiştir [146]. BVA sonuçlarına göre (Tablo 113); ladin odununda 130, 180 ve 200°C’lerde orta süreli olarak uygulanan ısı işlemin selüloz miktarında istatistiksel bir farklılık ortaya koymadığı, diğer varyasyonlarda ise belirgin farklılık olduğu gözlenmektedir. Buradan da, ladin odununda selülozun kayına göre daha kolay bir şekilde ısısal çözülmeye maruz kaldığı belirtilebilir.

Termal olarak muamele edilmiş ladin odununda, alkaliye mukavemet gösteren selülozun kristalitesi, daha kısa zincirli moleküllerin tercihen degradasyonu yüzünden 200°C sıcaklık derecelerine kadar artmaktadır [55]. Termogravimetrik analizlerin ışığı altında yapılan çalışmalara göre; selülozdaki kütle kaybı öncelikle adsorblanan suyun eliminasyonu ile yaklaşık 100 °C’de başlamakta, ancak bu kayıp, 100-300 °C sıcaklıkları arasında oldukça yavaş olmaktadır. Sıcaklığın 200°C’ nin üzerine çıkmasıyla selülozun termal bozunması ve buharlaşan ürünlerin formasyonu söz konusu olmaktadır. Levoglukosan’ ın en önemli asli degradasyon ürünü olduğu sıkça belirtilmekte olup, aynı zamanda diğer anhidroglukozların (1.2-1.4- anhidroglukoz, 1,6-anhidroglukofuranoz),

furan ve furan türevlerinin de meydana geldiği bilinmektedir [2]. 300 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kütle kaybı artmakta, ve 400 °C'de kuru ağırlığa oranla odun maddesinin % 80'den fazlası buharlaşmaktadır. Diferansiyel termogravimetrik analizlere göre; en fazla kütle kaybı 325-400 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmektedir [35].

#### 4.4.5. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Holoselüloz Üzerine Etkisi

Kayın odunu test örneklerine ait ortalama holoselüloz değerleri, 130 °C sıcaklıktaki 2, 6 ve 10 saat süreli varyasyonlarda birbirlerine ve kontrol örneğinin holoselüloz miktarına (% 78,9) benzer oranlarda bulunmuştur (Şekil 58). 150 °C'de, kontrol örneğine oranla küçük bir miktar artış gözlenmiştir. Benzer bir çalışmada; ısıl işleme tabi tutulmayan titrek kavak odunu örneklerinin toplam karbonhidrat miktarı % 77.2 iken, 150 °C'de 3 saat ve 160 °C'de 3 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan test örneklerinin toplam karbonhidrat miktarı sırasıyla % 78,2 ve % 79,0 olarak bulunmuştur [35]. 180 °C'de 2 saat süreli ısıl işlem varyasyonundan sonra başlayan holoselüloz miktarı azalma oranı, en fazla 200 °C'de 6 saat (% 56,4) ve 10 saat (% 55,4) süreli varyasyonlarda gözlenmiştir.

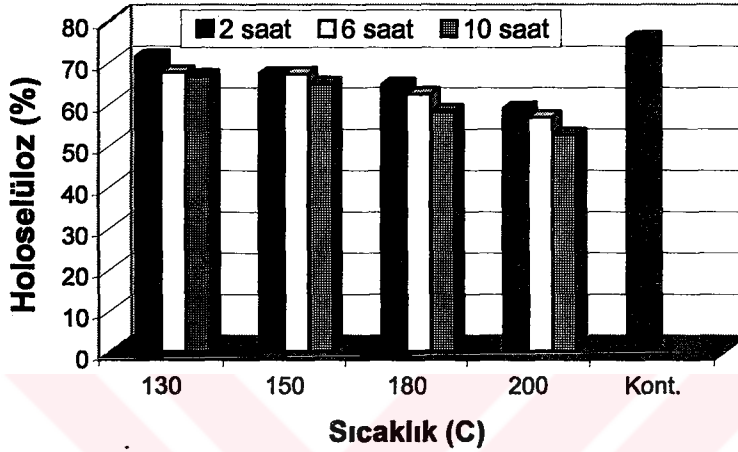


Şekil 58. Kayın odunu örneklerinde ortalama holoselüloz miktarı (%)

Kayın odununda test ve kontrol örneklerinin holoselüloz miktarları arasında 180°C'de 6 saatlik varyasyona kadar istatistiksel anlamda farklılık bulunmazken, bu varyasyondan itibaren belirgin farklar ortaya çıkmaktadır (Tablo 115). Buna göre, 180°C'ye kadar kayın odununda toplam karbonhidrat miktarı çok fazla değişmemektedir.

Daha sonra, özellikle hemiselülozların bozunmasıyla holoselüloz kaybı giderek artmaktadır (Şekil 58).

Ladin odununda holoselüloz miktarında meydana gelen değişimler Şekil 59'da görülmektedir.



Şekil 59. Ladin odunu örneklerinde ortalama holoselüloz miktarı (%)

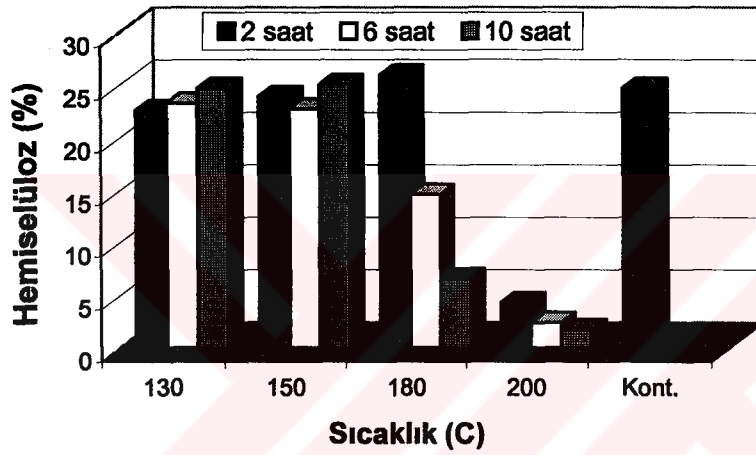
Isıl işlemin holoselüloz miktarını azaltıcı etkisi ladin odunu örneklerinde daha belirgin bir görüntü sergilemiştir (Şekil 59). Isıl işlemin en az etkilediği varyasyon, sıcaklık ve sürenin en düşük miktarda uygulandığı (130 °C'de 2 saat) varyasyon olmuştur (% 71,2). Ladin odununda yapılan BVA'ne göre (Tablo 116); bütün ısıl işlem varyasyonlarında test ve kontrol örneklerinin holoselüloz oranları arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunduğu görülmektedir. Bu durum, ladin odunundaki karbonhidrat birimlerinin kayına göre daha kolay termal bozunmaya uğradığını ortaya koymaktadır. Yapılan bir çalışmada; 100 °C sıcaklıkta 24-48 saat süreyle ısıl işleme maruz bırakılan çam diri odunundaki holoselüloz miktarının azaldığı kaydedilirken, aynı sürelerde 130 °C süreyle ısıl işleme maruz bırakılan meşe odununda holoselüloz miktarının değişmeden kaldığı gözlenmiştir [64].

Ladin odunu örneklerinin holoselüloz miktarı azalma oranları ilerleyen varyasyonlarda artarak devam etmiş ve en düşük oranına kayın odununda olduğu gibi 200 °C'de 6 saat (% 56,5) ve 10 saat (%52,4) süreli varyasyonlarda ulaşmıştır. Yükselen

muamele sıcaklığının ve uzayan reaksiyon süresinin holoselüloz degradasyonunu kolaylaştırdığı bildirilmektedir [35, 64].

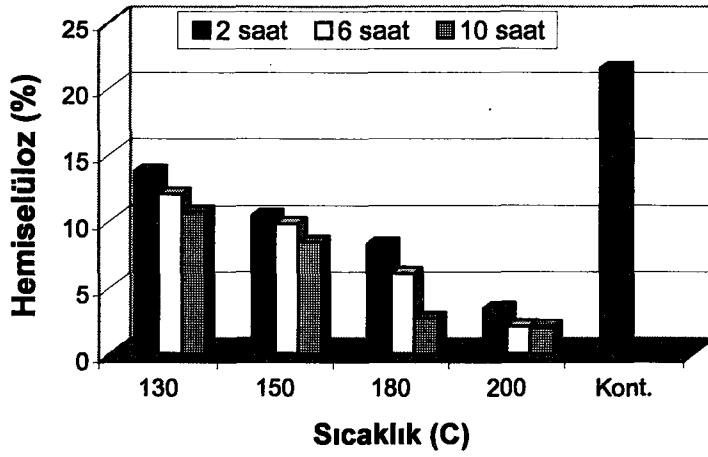
#### 4.4.6. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Hemiselüloz Üzerine Etkisi

Holoselüloz miktarından selüloz miktarının çıkarılmasıyla hesaplanan ortalama hemiselüloz oranları kayın odunu için Şekil 60'ta, ladin odunu için Şekil 61'de ve Tablo 117'de verilmektedir.



Şekil 60. Kayın odunu örneklerinde ortalama hemiselüloz miktarı (%)

Buna göre; kayın odununda 130 °C sıcaklıkta sürenin artmasıyla artan hemiselüloz değerlerinin 150 °C sıcaklıkta daha kararsız bir yapı sergilediği gözlenmiştir. 180 °C'de 6 saat süreli varyasyona kadar birbirlerine ve kontrole benzer oranlarda (% 24,7) seyreden ortalama hemiselüloz değerleri, ilerleyen varyasyonlarda azalmaya başlamış ve bu azalmanın 200 °C'de 10 saatlik varyasyonda % 1,71'e kadar düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 61. Ladin odunu örneklerinde ortalama hemiselüloz miktarı

Ladin odunu örneklerinde ise (Şekil 61) farklı varyasyonlara ait hemiselüloz miktarlarının genellikle sıcaklık-süre değerlerinin artmasıyla ve kontrole oranla azaldığı görülmüştür. Kontrol örneklerine ait hemiselüloz oranının % 21,4 olduğu muamelede, en yüksek hemiselüloz miktarı 130 °C'de 2 saat süreli (% 13,7) varyasyondan, en düşük hemiselüloz miktarı da 200 °C'de 10 saat (% 2) süreli varyasyondan elde edilmiştir. Kayın ve ladin odunlarının kimyasal yapılarının incelendiği bir çalışmada kapalı bir sistemde, 130-194 °C sıcaklıkları arasında gerçekleştirilen ısıl işlem uygulaması ile özellikle 180 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hemiselüloz miktarının azaldığı kaydedilmiştir [146].

Hemiselülozların heterojen yapıları, sergiledikleri termokimyasal davranışların açıklanmasını zorlaştırmaktadır. Ksilan (pentozan) en reaktif odun hemiselülozudur ve genellikle degradasyon ve dehidrasyon reaksiyonlarına karşı son derece hassastır. Hemiselülozların en çok yıkımlandığı termal bozunma sıcaklıkları 200-260 °C'dir. Selülozla karşılaştırıldığında, hemiselülozun düşük termal kararlılığı; genellikle kristal yapılarının olmayışı ile açıklanmaktadır. Ayrıca, hemiselülozların pirolizi sırasında selüloza kıyasla daha fazla gaz ürünleri ve daha az kömürleşmiş kalıntılar meydana gelmektedir [35]. Bundan başka, hemiselülozların selüloza oranla çok daha higroskopik bir yapı sergilediklerini unutmamak gerekir [145].

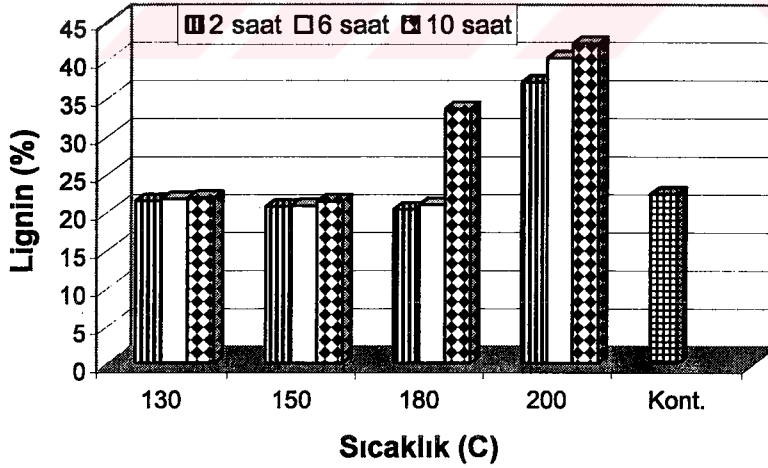
Çalışmamızda kayın odunu test ve kontrol örneklerine ait hemiselüloz miktarları, ladin odunu test ve kontrol örneklerine ait hemiselüloz miktarlarından daha yüksek oranlarda bulunmuştur. Bir başka deyişle kayın odunu hemiselülozlarının termal



dayanımları ladin odununa oranla biraz daha iyi bulunmuştur. Halbuki literatürde; hemiselüloz fraksiyonu ksilan bakımından zengin olan kayın odunu termal degradasyonun, hemiselüloz fraksiyonu galaktoglukomannan bakımından zengin olan çam odunu termal degradasyonuna oranla daha kolay olduğu belirtilmektedir. Ancak, şunu da belirtmek gerekir ki; ısı işlem sırasında bireysel odun yapıları üzerinde aynı anda çok sayıda kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Örneğin; lignin ve karbonhidratlar, tedricen buharlaşabilen ürünlere ve ayrıca ekstraktif benzeri maddelere dönüşebilmektedirler. Bu ekstraktif benzeri maddelerin bir kısmı orijinal ekstraktiflerin bazıları ile birlikte bozunmakta, bir kısmı da buharlaşabilen ürünlere dönüşebilmektedir. Dolayısıyla; ısı işlem boyunca sözü edilen kimyasal reaksiyonlara benzer yapılanmaları göz önüne alarak bireysel odun bileşenlerinin bozunmasıyla ilgili kesin yargılara varmak oldukça güçtür [35].

#### 4.4.7. Kayın ve Ladin Odunlarında Isıl İşlemin Lignin Üzerine Etkisi

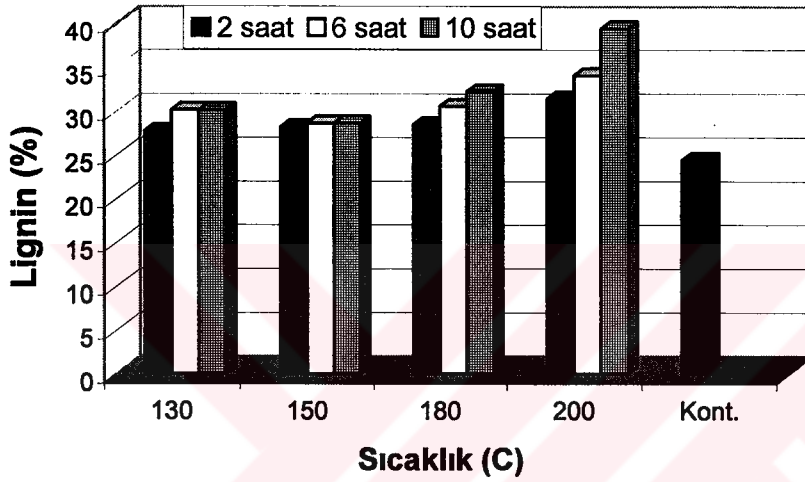
Ortalama lignin oranları kontrolleri ile karşılaştırmalı olarak kayın odunu için Şekil 62'de, ladin odunu için Şekil 63'de verilmektedir.



Şekil 62. Kayın odunu örneklerinde ortalama lignin miktarı (%)

Kayın odunu test örneklerinde (Şekil 62) 180 °C'de 10 saat süreli varyasyona kadar, % 20,2 - % 21,7 oranları arasında, artan sıcaklık ve süreyle orantısız bir şekilde seyreden ortalama lignin miktarları, sözü edilen varyasyondan itibaren artmaya

başlamıştır. Kayın odunu için en yüksek % 42,02'ye kadar varan lignin miktarı artış oranı, 200 °C'de 10 saat süreli varyasyondan elde edilmiştir. Kontrol örneklerine ait ortalama lignin miktarları kayın odunu için % 22,3 olarak tespit edilmiştir. Kayın odununda lignin değerleriyle yapılan BVA'ne göre (Tablo 119); 130°C'de 6 ve 10 saat, 150°C'de 10 saat, 180°C'de 6 saat varyasyonları dışında test ve kontrol örneklerinin lignin oranları arasında istatistiksel anlamda farklılıklar bulunmaktadır. Buna göre, sıcaklığın artmasıyla lignin miktarındaki artış daha da belirginleşmektedir.



Şekil 63. Ladin odunu örneklerinde ortalama lignin miktarı (%)

Ladin odununda da 180°C'de 10 saat varyasyonuna kadar % 27,7 - % 30,6 oranları arasında artmaya devam eden lignin miktarı, en yüksek değerine 200°C'de 10 saat varyasyonunda % 39,4 ile ulaşmıştır. Ladin odunu kontrol örneklerinde lignin miktarı ortalama % 24,4 oranındadır (Şekil 63). Ladin odununda yapılan BVA sonuçlarına göre (Tablo 120); bütün ısıl işlem varyasyonlarında test ve kontrol örnekleri arasında lignin miktarı bakımından farklılık olduğu görülmektedir. Diğer yandan, ladin odun test örneklerinde elde edilen lignin miktarları bütün varyasyonlarda kontrol örneklerinin lignin miktarından daima daha yüksek bulunmuştur. Bunlara göre; ladin odununda ısıl işlem sonucu oluşan ve orijinal lignin miktarına eklenen polikondenzasyon ürünlerinin daha fazla ve daha belirgin olduğu ifade edilebilir. Runkel ve Linke [146], 130-194 °C sıcaklıkları arasında kapalı bir sistemde kayın ve ladin odunlarına uyguladıkları ısıl işlem sonunda, lignin miktarının özellikle 170 °C'den sonra bariz bir şekilde arttığını gözlemlemişlerdir.

Yapılan çalışmalar üç temel odun bileşeni arasında ısısız çözümlenin öncelikle hemiselüloz ve takiben selüloz üzerinde etkilili olduğunu, termal olarak en dayanıklı odun bileşeninin ise özellikle oksijensiz ortamda lignin olduğunu ortaya koymuştur [2, 56, 60]. Bununla birlikte, odun bileşenleri arasında termal olarak en kararlısı olmakla birlikte 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bile lignin yapısında birtakım değişiklikler gözlenmiştir.

Bu çalışmada; kayın ve ladin odunu test örneklerinde özellikle 180 °C'de 6 saat süreli varyasyondan sonra, sıcaklığın yükselmesine ve sürenin uzamasına paralel olarak artan lignin miktarları; Risto'[35] nun çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. 160-260 °C sıcaklıklarda 300 dakika süreyle ısıl işleme tabi tutulan Norveç ladinin örneklerinin bağıl kütle oranı, sıcaklık ve sürenin uzamasına paralel olarak artarken, benzer şekilde karbonhidratların kütle oranlarında azalma kaydedilmiştir. Diğer yandan; karbonhidratların bazı termal bozunma ürünlerinin lignin fraksiyonu içinde kalabildikleri belirtilmektedir. [35]. Yapılan bir başka çalışmada; termal olarak muamele edilen odunların (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*) lignin miktarının belirlenmesinde, sıcaklığın 200°C' ye kadar yükselmesiyle birlikte hidrolize edilemeyen kalıntı miktarında bir artış meydana geldiği görülmüştür [2].

## 5. SONUÇLAR

### 5.1. Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar

#### 5.1.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Özgül Ağırlık Değerlerine İlişkin Sonuçlar

130 °C'de 2 saat süreyle ısıtılma tabii tutulan kayın ve ladin odunu test örneklerinde özgül ağırlık değerlerinin kontrole oranla çok küçük bir miktar ( % 2,25-% 1,73) arttığı gözlenmiştir. Diğer varyasyonlarda, ısıtılma sıcaklık ve süresinin artmasına paralel olarak özgül ağırlık değerleri azalma oranlarında artış kaydedilmiştir (Şekil 15, Şekil 16). Her iki ağaç türüne ait en fazla azalma oranı 200 °C'de 10 saatlik uygulamada gerçekleşmiştir. Kayın odunundaki özgül ağırlık azalma oranı % 18,4 iken; ladin odununda kayın odunundaki kadar olmamakla birlikte %10,5 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar ağırlık kaybı oranlarının, bu araştırma sonuçlarına benzer şekilde, ısıtılma sıcaklık ve süresinin artmasıyla doğru orantılı olarak arttığını ortaya koymuştur.

#### 5.1.2. Kayın Odununda Isıl İşlemin Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerlerine Ait Sonuçlar

2 saatten 2 haftaya kadarki tüm suda bekletme süreleri için farklı sıcaklık gruplarına ait kayın odunu test örneklerinin su alma oranları (SAO), kontrol örneklerinin su alma oranlarına kıyasla bir miktar azalmıştır.

Su itici etkinlik (SİE) değerleri, kısa süreli suda bekletme olarak da nitelendirilebilen 2, 4 ve 8 saatlik suda bekletme sürelerinde giderek artan, 24 saat ve sonrasındaki orta ve uzun süreli suda bekletme sürelerinde (2 haftalık suda bekletme süresine kadar) ise giderek azalan bir eğilim göstermiştir. Kısa süreli suda bekletme sürelerinde gözlenen SİE değerlerindeki bu artış, sıcaklık ve süre artışına paralel bir nitelik arz etmektedir. SİE değerlerinin oransal olarak en çok artış gösterdiği varyasyonlar 200 °C'de 6 ve 10 saat süreli varyasyonlar olmuştur. 200 °C'de 10 saat süreli varyasyona ait artış oranları 2 saatlik bekletme süresi için ortalama % 41,7; 4 saatlik bekletme süresi için ortalama % 42,2 ve 8 saatlik bekletme süresi için ortalama % 42,5 olmuştur. SİE

değerlerinin oransal olarak en düşük olduğu varyasyon 130 °C'de 2 saat süreli varyasyon olmuştur. 130 °C'de 2 saat süreli varyasyona ait SİE değerleri; 2 saatlik bekletme süresi için ortalama % 5,4; 4 saatlik bekletme süresi için ortalama % 8,7 ve 8 saatlik bekletme süresi için ortalama % 9 olmuştur.

Genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değerleri; sıcaklık ve süre artışı ile doğru olarak artan bir seyir izlemiştir. Kayın odunu GET değerlerindeki çarpıcı artışlar özellikle 180 ve 200 °C sıcaklık grubuna ait varyasyonlardan elde edilmiştir. 180 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonlarda sırasıyla, ortalama % 40,7 ve % 42,6 oranlardaki GET değeri, 200 °C'de 10 saatlik varyasyonda % 52,9'a ulaşmıştır. Yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında daha az higroskopik olan kayın odunu test örneklerinden elde edilen GET değerleri literatür değerleriyle paralellik arz etmektedir.

### **5.1.3. Ladin Odununda Isıl İşlemin Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerlerine Ait Sonuçlar**

Genellikle ladin odunu test örneklerinin SAO'ları kontrol örneklerine kıyasla daha fazla bulunmuştur. Ladin odununun kendine has anatomik yapısıyla bağdaştırılan ve literatürde de teyit edilen bu ilginç durum, 130 °C'de 2, 6 ve 10 saatlik varyasyonlara ait farklı bekletme sürelerinin tümünde söz konusu iken, 150 °C'de 2 saatlik varyasyonun 2 saatlik, 150 °C'de 6 ve 10 saatlik ve 180°C'de 2 saatlik varyasyonların 2, 4 ve 8 saatlik, 200 °C'de 2 ve 10 saatlik varyasyonların ise 2 ve 4 saatlik suda bekletme süreleri dışında kalan diğer tüm varyasyonlar ve bunlara ait bekletme sürelerinde de gözlenmiştir. Dolayısıyla, söz konusu varyasyonlar dışında kalan diğer bütün varyasyonlarda SİE değerleri de negatif yönlü olmuş, yani azalmıştır. SİE değerlerinin pozitif yönde en yüksek olduğu varyasyon 180 °C'de 2 saat süreli varyasyonun 2 saatlik suda bekletme periyodundan (10,8); negatif yönde en düşük olduğu varyasyon ise, 130 °C'de 10 saat süreli varyasyonun 2 saatlik suda bekletme periyodundan (-36,8) elde edilmiştir.

Ladin odunu örneklerine ait GET değerlerinden, kayın odunundaki kadar olmamakla birlikte % 40'a varan bir boyut stabilizasyonu sağlandığı gözlenmektedir (Şekil 28). Her sıcaklık grubunun en uzun süreli varyasyonlarında en büyük GET değerlerine ulaşıldığı ve bu değerlerin artan sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı, ayrıca,

tüm varyasyonlar içerisinde en yüksek GET değerine ısıtıl işlem sıcaklık ve süresinin en yüksek olduğu varyasyonda ulaşıldığı anlaşılmıştır ( % 40,2).

#### **5.1.4. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Denge Rutubeti Miktarlarına İlişkin Sonuçlar**

Her iki ağaç türünde de denge rutubeti miktarı (DRM) değerleri, sıcaklık ve süre arttıkça azalmıştır. Kayın odunu test örneklerinde DRM'nin en yüksek olduğu varyasyon, sıcaklık ve sürenin en düşük seviyede uygulandığı 130 °C'de 2 saat süreli varyasyon olmuştur (% 9,1). Kontrol örneklerine kıyasla elde edilen DRM değeri azalma oranı söz konusu varyasyon için % 2,2 olmuştur. DRM'nin en düşük olduğu varyasyon, sıcaklık ve sürenin en yüksek değerlerde uygulandığı 200 °C'de 10 saat süreli varyasyon olmuştur (% 5,6). Söz konusu varyasyona ait DRM değeri azalma oranı % 38,3 olarak tespit edilmiştir. Kayın odunu kontrol örneklerinin homojen yapıdaki DRM değeri bütün varyasyonların genel ortalamasına göre % 9,2 olarak bulunmuştur.

Ladin odununda en yüksek DRM değeri 130 °C'de 2 saat süreyle ısıtıl işleme maruz bırakılan test örneklerinden elde edilmiştir (% 10). En düşük DRM değeri ise, 200 °C'de 6 saat süreyle ısıtıl işleme maruz bırakılan test örneklerinden elde edilmiştir (% 6,2). Söz konusu varyasyonlara ait DRM azalma oranları sırasıyla % 2,9 ve % 39,1 olarak tespit edilmiştir. Ladin odunu kontrol örneklerinin homojen yapıdaki DRM değeri bütün varyasyonların genel ortalamasına göre % 10,2 olarak bulunmuştur. Isıl işlemin DRM'nü düşürücü etkisi kayın odununda, ladin odununa kıyasla daha belirgin derecede hissedilmiştir.

## **5.2. Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar**

### **5.2.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Eğilme Direnci Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

130 °C'de 2, 6 ve 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın odunu test örneklerinin eğilme direnci değerleri birbirlerine yakın oranlarda bulunmuştur. Aynı varyasyonlardaki kontrol örneklerinin eğilme direnci değerlerine kıyasla elde edilen azalmaların, aynı sıcaklıktaki her üç süre uygulamasının genel ortalamasına göre (% 3,8) dikkate değer

olmaması mevcut varyasyonlar arasında en düşük sıcaklık denemesi olarak 130 °C'nin belirleyici bir sıcaklık kriteri oluşturmadığı, selüloz, hemiselüloz ve lignin oranlarında gözlenen kararlılığa da dayanılarak doğrulanmıştır. 150°C'de 2, 6, ve 10 saatlik uygulamalar sonucunda ısı işlem süresinin artmasıyla birlikte eğilme direnci test örneklerinde kontrol örneklerine oranla bir azalma meydana gelmiştir. 180 ve 200 C°deki uygulamalarda eğilme direncindeki değerler azalmaya devam etmiştir. Deneme desenindeki en düşük eğilme direnci değerleri 200 C°de 6 ve 10 saatlik uygulamalarda meydana gelmiştir. Bu varyasyonlara ait ortalama eğilme direnci azalma oranları sırasıyla % 63,9 ve % 63,6 olarak tespit edilmiştir. Normal atmosfer koşullarında eğilme direncinde benzeri azalmaların kaydedildiği çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Ladin odunu test örneklerinin eğilme direnci değerleri, kontrolleri ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan azalma oranlarının kayın odununa göre daha yeknesak bir yapı sergilediği görülmüştür. Tüm ısı işlem varyasyonlarının 10 saat süreli uygulamaları, azalma oranlarının en çok belirginleştiği varyasyonlar olmuştur. Eğilme direnci azalma oranlarının en yüksek olduğu varyasyonlar ise, kayın odununa benzer şekilde 200 C°de 6 saat (% 63,8) ve 10 saatlik (% 72,7) varyasyonlar olarak tespit edilmiştir.

### **5.2.2. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odununda Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

130 °C'de 2 saat süreyle uygulanan ısı işlem sonucunda, kayın odunu test örneklerinin elastikiyet modülü değerleri kontrole kıyasla % 0,95 oranında bir artış sergilemiştir. Aynı sıcaklığın 6 ve 10 saat süreli varyasyonlarında azalmaya başlayan elastikiyet modülü değerleri ilerleyen varyasyonlarda da azalmaya devam etmiştir. 150, 180 ve 200 ° C sıcaklık gruplarına ait varyasyonların 10 saat süreli uygulamalarından elde edilen elastikiyet modülü azalma oranlarının 6 saat süreli uygulamalara kıyasla daha düşük bulunması, uzayan ısı işlem süresinin elastikiyet modülündeki azalma oranını düşürdüğünü ortaya koymuştur. En ilginç sonuç, elastikiyet modülünü % 39 oranında arttıran 200 ° C'de 10 saatlik varyasyonda elde edilmiştir.

Ladin odununda, 130°C'de 2 ve 6 saat süreli varyasyonlarda elastikiyet modülü değerleri azalma oranları sırasıyla % 3,9 ve % 4,2 olarak tespit edilmiştir. 130°C'de 10 saat

sürekli uygulamada elastikiyet modülü değerinin % 8,4 oranında arttığı gözlenmiştir. Kayın odununa benzer şekilde; 150, 180 ve 200 ° C'de 10 saat süreyle ısıtılma maruz bırakılan test örneklerinin elastikiyet modülü değerlerindeki azalmanın, ait oldukları sıcaklık grubunun 6 saatlik ısıtılma uygulamasındaki elastikiyet modülü değerlerinde elde edilenden daha düşük seviyede olduğu anlaşılmıştır. Elastikiyet modülü azalma oranı en fazla 200°C'de 6 saat süreli ısıtılma uygulamasından elde edilmiştir ( % 41,5 ).

### **5.2.3. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Liflere Paralel Basınç Direnci Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

Kayın ve ladin odunu örneklerine ait liflere paralel basınç direnci azalma oranlarının varyasyonlar itibarı ile birbirlerine paralel bir seyir izlediklerini söylemek mümkündür. Özellikle ladin odununda daha fazla olmak üzere, her iki ağaç türünün 130 °C'de 6 saat süren ısıtılma varyasyonuna ait basınç direnci değerlerinde kontrole oranla küçük de olsa bir miktar artış kaydedilmiştir. İlerleyen varyasyonların özellikle 10 saatlik uygulamalarında basınç direnci değerlerinde düşüş tespit edilmekle beraber, 200 °C sıcaklıktaki varyasyonların, kayın odununda daha fazla olmak üzere, 10 saatlik uygulamalarından elde edilen basınç direnci azalma oranlarının 6 saatlik uygulamaya oranla daha az olduğu anlaşılmıştır. Liflere paralel basınç direnci azalma oranlarını her iki ağaç türü için de en fazla 200 °C'de 6 saatlik ( %39) varyasyonda tespit edilmiştir.

Kayın odunu test örneklerinin statik kalite sınıfları, 200 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonlar dışında iyi kalite sınıfına girmiştir. 200 °C'de 6 ve 10 saat süreli varyasyonların test örneklerine ait statik kalite sınıfları sırasıyla düşük ve orta derecede bulunurken, kayın odunu kontrol gruplarına ait statik kalite sınıfları ise tüm varyasyonlarda iyi derecede bulunmuştur. Kayın odunu test örneklerinin dahil olduğu spesifik kalite sınıfları; 130 °C'de 10, 200 °C'de 2 ve 10 saatlik varyasyonlarda orta sert, 200 °C'de 6 saatlik varyasyonda sert ve diğer varyasyonlarda yumuşak kalite sınıfı şeklinde gruplanmıştır. Kontrol örneklerinin dahil olduğu spesifik kalite sınıfları ise, 130 °C'de 2 ve 6 saat ve de 150 °C'de 2 saatlik varyasyonlarda yumuşak, diğerlerinde orta sert şeklinde olmuştur.



Ladin odunu test örneklerinin statik kalite sınıfı, 200 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonlar haricinde iyi kalite sınıfına dahil olmuştur. 200 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonların statik kalite sınıfı düşük ve orta şeklinde cereyan etmiştir. Ladin odunu kontrol örneklerinin statik kalite sınıfları 150 °C'de 10 saatlik varyasyonda orta, diğer varyasyonlarda ise iyi derecede bulunmuştur. Ladin odunu test örneklerinin spesifik kalite değeri 200 °C'de 6 saatlik varyasyonda orta sert, diğer varyasyonlarda ise yumuşak kalitede bulunurken, kontrol örneklerine ait bütün varyasyonlar yumuşak kalite sınıfına dahil olmuştur.

### **5.3. Teknolojik Özelliklere Ait Sonuçlar**

#### **5.3.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odununun Enine, Radyal ve Teğet Yöndeki Sertlik Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

Kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen enine, radyal ve teğet yöndeki sertlik değerlerine ait azalma oranları en fazla 180 °C'de 10 saat süreli varyasyonda görülmüştür. Söz konusu varyasyonda enine, radyal ve teğet yöndeki sertlik değerlerine ait azalma oranları sırasıyla % 25,9; % 45,1 ve % 41,8 olmuştur. Buna göre; enine yöndeki sertlik değerlerinin, birbirlerine benzer oranlarda elde edilen teğet ve radyal yöndeki sertlik değerlerine kıyasla daha iyi termal kararlılığa sahip olduklarını söylemek mümkündür. 180 °C'de 10 saat süreli varyasyon dışında kalan her üç yöndeki diğer sertlik değerleri, ait oldukları varyasyon bütünlüğü içerisinde birbirlerine benzer oranlarda tespit edilmiştir.

Ladin odununda enine yöndeki sertlik değerleri son üç varyasyona kadar kontrole kıyasla, ısı işlem sıcaklık ve süresiyle doğru orantılı olmayan bir artış sergilemiştir. Bu artış en fazla 150 °C'de 10 saatlik (%12,5) varyasyonu takiben, 130 °C'de 2 saatlik (%10) varyasyonda gözlenmiştir. Son üç varyasyona ait sertlik değerlerinde azalmalar kaydedilmiştir. 180 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonlardaki azalma oranları sırasıyla % 17,5 ve % 19,7; 200 °C'de 2 saatlik varyasyondaki azalma oranı ise % 3,8 olarak tespit edilmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan ladin odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen radyal yöndeki sertlik direnci değerlerine ait azalma oranları, 130 °C'de 2, 6 ve

10 saat süreli varyasyonlarda sürenin artmasına paralel olarak sırasıyla % 10 ; % 11,2 ve %12,4 oranlarında artış göstermiştir. 150 ve 180 °C'deki varyasyonların 10 saatlik uygulamalarına ait sertlik değeri azalma oranları aynı sıcaklıkların 2 ve 6 saat süreli uygulamalarına oranla daha düşük bulunmuştur. Azalma oranlarının en çok artış gösterdiği varyasyonlar, 180 °C'de 6 saatlik (% 46,6) ve 180 °C'de 10 saatlik (% 43) varyasyonlar olarak kaydedilmiştir.

Sıcaklık ve süre artışı ile teğet yöndeki sertlik değerleri azalma oranları arasında doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. Azalma oranlarının en fazla artış gösterdiği varyasyonlar 180 °C'de 6 saatlik (% 42,2) ve 10 saatlik (% 42,5) ile 200 °C'de 2 saatlik (% 38,5) saat süreli varyasyonlar olurken, en az olduğu varyasyonlar ise 150 °C'de 10 saat (% 9,1), ve 130 °C'de 6 saat (% 9,6) süreli varyasyonlar olmuştur.

#### **5.4. Kimyasal Özelliklere Ait Sonuçlar**

##### **5.4.1. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Sıcak Su Çözünürlüklerine İlişkin Sonuçlar**

130 °C sıcaklık grubuna ait varyasyonlar dışında genellikle sıcaklık ve sürenin artmasına paralel olarak artan, kayın odunu test örneklerinin sıcak su çözünürlükleri kontrol örneklerine oranla da artış göstermiştir. Kontrol örneklerine ait sıcak su çözünürlüğünün ortalama % 2,07 olarak tespit edildiği muamelede, çözünürlüğün en yüksek oranda bulunduğu varyasyon, 180 °C'de 10 saat (% 8,35) süreli varyasyon olmuştur. Çözünürlük oranının kontrolden de az olduğu tek ve en düşük varyasyon 130 °C'de 10 saat süreyle uygulanan varyasyon olmuştur (% 2,01).

Ladin odunu test örneklerinin sıcak su çözünürlükleri kontrole oranla yüksek bulunmuştur. Ladin odunu test örneklerinde, kayın odunu test örneklerinkine benzer şekilde, sıcaklık ve süreye bağlı bariz ve doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. 150 °C'de 10 saatlik varyasyon, sıcak su çözünürlüğünün en yüksek bulunduğu varyasyon olmuştur (% 6,38).

#### **5. 4. 2. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında % 1'lik NaOH Çözünürlüklerine İlişkin Bulgular**

Kayın odunu test örneklerinin % 1'lik NaOH çözünürlükleri, sıcaklık ve sürenin artmasına paralel olarak arttığı gibi kontrole kıyasla da artış göstermiştir. Çözünürlüğün en düşük olduğu varyasyon sıcaklık ve sürenin en düşük oranda uygulandığı 130 °C'de 2 saat süreli varyasyon ( % 14,31); çözünürlüğün en yüksek olduğu varyasyon, sıcaklık ve sürenin en yüksek oranda uygulandığı 200 °C'de 10 saat süreli varyasyon olmuştur ( % 44,04). Kontrol örneklerinin ortalama çözünürlük oranı % 13,79 olarak bulunmuştur.

Ladin odunu test örneklerinin % 1'lik NaOH çözünürlükleri, ait oldukları sıcaklık gruplarının artan sürelerine paralel olarak artmıştır. Çözünürlük oranı en yüksek 180 °C'de 10 saat (21,41) süreli varyasyonda, en düşük 150 °C'de 2 saat (14,3) süreli varyasyonda meydana gelmiştir.

#### **5.4.3. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarında Alkol-Benzen Çözünürlüklerine İlişkin Sonuçlar**

Kayın odunu test örneklerinin alkol benzen çözünürlükleri çok belirgin olmamakla birlikte genellikle sıcaklık ve sürenin yüksek olduğu varyasyonlarda kontrole oranla artmıştır. Kontrol örneklerine ait çözünürlük oranı ortalama % 1,79 iken; bu oran 180 ve 200 °C' de 10 saatlik varyasyonlarda sırasıyla % 5,96 ve % 6,16'ya ulaşmıştır.

Ladin odununda 200 °C sıcaklık grubuna ait varyasyonlar dışında çözünürlüklerin, sıcaklık ve süreyle ilişkilendirilebilecek bir eğilim izlemedikleri, ancak, yine de kontrole oranla arttıkları tespit edilmiştir. Kayın odununa göre düşük bulunan kontrol örneklerine ait ortalama çözünürlük miktarı % 0,14 oranında tespit edilmiştir. En yüksek çözünürlük miktarı, 200 °C'de 10 saat süreyle muamele edilen test odunu örneklerinden elde edilmiştir (%2,69).

#### **5.4.4. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Selüloz Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

% 53,54 ile % 57,52 arasında değişen ve sıcaklık ve süre artışı ile doğrusal bir ilişkisi bulunmayan kayın ve ladin odunu test örneklerinin ortalama selüloz değerleri

kontrolle karşılaştırıldığında (%54), mevcut sıcaklık ve süre varyasyonlarının selüloz üzerinde herhangi bir yıkımlama etkisi yaratmadığı anlaşılmıştır. Yanlıca 200 °C'de 10 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan ladin odunu örneklerine ait ortalama selüloz oranında küçük bir miktar azalma tespit edilmiştir (% 50,39).

#### **5.4.5. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Holoselüloz Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

130°C sıcaklıktaki 2, 6 ve 10 saat süreli varyasyonlarda birbirlerine ve kontrol örneğinin holoselüloz miktarına (% 78) benzer oranlarda elde edilen kayın odunu test örneklerine ait ortalama holoselüloz değerleri, 150 °C sıcaklık grubuna ait varyasyonlarda yine birbirlerine benzer oranlarda, fakat kontrol örneğinden nispeten fazla miktarda elde edilmiştir. 180 °C'de 2 saat süreli ısıtıl işlem varyasyonundan sonra başlayan holoselüloz miktarı azalma oranı, en yüksek değerine 200 °C'de 10 saat süreli varyasyonda ulaşmıştır (% 55,38).

Ladin odunu örneklerinde daha belirgin bir kompozisyon sergileyen ısıtıl işlemin holoselüloz miktarını azaltıcı etkisi, en az 130 °C'de 2 saat süreli varyasyonda hissedilmiştir (%71,20). Ladin odunu örneklerinin holoselüloz miktarı azalma oranları, ilerleyen varyasyonlarda artarak devam etmiş ve en düşük oranına kayın odununda olduğu gibi 200 °C'de 10 saat süreli varyasyonda ulaşmıştır (% 52,39).

#### **5.4.6. Isıl İşlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Hemiselüloz Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

Kontrol örneğine ait ortalama hemiselüloz oranının % 24,66 olduğu muamelede önemli azalmaların 180 °C'de 2 saat süreli varyasyondan sonra başladığını, ilerleyen varyasyonlarda azalma oranlarının artarak devam ettiğini ve 200 °C'de 10 saatlik varyasyonda bu azalmanın % 1,71'e kadar düştüğünü belirtmek gerekmektedir.

Ladin odunu örneklerine ait hemiselüloz miktarlarının genellikle artan sıcaklık ve süreye, ayrıca, kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir. Kontrol örneklerine ait hemiselüloz oranının % 21,43 olduğu muamelede, en yüksek hemiselüloz miktarı 130 °C'de 2 saat süreli (% 13,67) varyasyondan, en düşük hemiselüloz miktarı da 200 °C'de 10 (% 1,99) saat süreli varyasyondan elde edilmiştir.

#### **5.4.7. Isıl işlem Uygulanan Kayın ve Ladin Odunlarının Lignin Değerlerine İlişkin Sonuçlar**

Kayın ve ladin odunu test örneklerinde özellikle 180 °C'de 6 saat süreli varyasyondan sonra, sıcaklık ve süreye paralel olarak artan lignin oranları dikkat çekici bulunmuştur. Kayın odunu test örneklerinde lignin oranının % 42,02'ye kadar, ladin odununda ise % 39,40'a kadar yükseldiği varyasyon 200 °C'de 10 saat süreli varyasyon olmuştur. Her iki ağaç türünün kontrol örneklerine ait ortalama lignin oranları kayın için % 22,25; ladin için ise % 24,37 olarak tespit edilmiştir. Ladin odunu test örneklerine ait ortalama lignin değerleri tüm varyasyonlarda kontrole oranla yüksek bulunmuştur

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmada temel amaç, ülkemizin masif olarak yüksek miktarlarda değerlendirilen biri yapraklı, diğeri iğne yapraklı önemli iki ağaç türünde, ısıl işlemin fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal bir takım özelliklere olan etkisini belirlemek olmuştur. Böylece, bu iki ağaç türü odunlarının ısıl işleme tabi tutulmasına ilişkin bir veri tabanı oluşturulması hedeflenmiştir. Bu veri tabanında yer alan bilgiler, odun endüstrisinde ısı etkisinin söz konusu olduğu bütün aşamalarda ve alanlarda kullanılabilir olacaktır.

Günümüzde özellikle Finlandiya, Almanya, Fransa, Hollanda ve İsveç gibi Avrupa ülkelerinde ısıl işlem odun koruma alanında çok önemli bir alternatif olarak ele alınmakta ve ısıl işlem konusunda bu ülkeler arasında çok yoğun bir işbirliği yaşanmaktadır. Buradan yola çıkılarak, ülkemizde de ısıl işlemin alternatif bir odun koruma yöntemi olarak ele alınması gerekir. Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen veri tabanının bu amaca yönelik olarak değerlendirilmesi de mümkün olabilecektir.

Çalışmada, ısıl işlemin odun özellikleri üzerine olan etkisi üç farklı kategoride incelenmiştir. Su alma oranı, su itici etkinlik, genişlemeyi önleyici etkinlik, denge rutubeti miktarı gibi fiziksel özellikler bakımından genellikle olumlu neticelerin alındığı çalışmada, ladin odunu verilerinin su iticilik değerleri bakımından olumsuz bir yapı sergilemesi dikkati çekmiş olup, bunun ısıl işleme tabi tutulmuş bir başka iğne yapraklı ağaç türü verileri ile karşılaştırılması, yorumlanan sonuçların teyidi bakımından yerinde olacaktır. Diğer yandan, gerek kayında gerekse ladinde boyut stabilizasyonunun önemli ölçüde artırılmış olması, bu iki türde çalışma sakıncasının azaltılması bakımından ısıl işlemin tavsiye edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Kayın odununda %52'yi bulan boyut stabilizasyonuna karşılık, özellikle sertlikte önemli bir kaybın olmaması, ayrıca, bu çalışmada kullanılan örnek boyutlarının parke döşemesi boyutlarıyla benzer yapıda olması, kayın odunu parkelerinde ısıl işlemin hemen uygulamaya aktarılabilmesini kolaylaştıracaktır.

Mekanik ve teknolojik özellikler açısından; çalışmada direnç ve kısmen sertlik kaybına yol açan mevcut yöntemin, en klasik ısı işlem yöntemi olarak normal atmosfer koşullarında yapılan bir ısı işlem olmasından kaynaklandığını ifade etmek mümkündür. Bununla birlikte, en ekonomik ısı işleminin bu en klasik yöntem olduğu da unutulmamalıdır. Son dönemlerde koruyucu gaz olarak su buharının kullanıldığı, artan basınç altında ve üç kademede uygulanan (ön ısı işlem, gerçek ısı işlem ve kondüsyonlama ya da soğutma-stabilize etme) yeni ve modern tekniklerle ısı işlem yapılması tavsiye edilmektedir. Tabii, bu tip yöntemlerde girdi maliyetleri bir hayli artmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu yöntemlerde, odunun direnç özelliklerindeki azalmalar tolere edilebildiği gibi, biyolojik dayanımı ve boyutsal stabilizasyon değerleri daha da artmakta; çatlak, yarık, renk ayrılıkları vb deformasyonlar da bertaraf edilmektedir.

Kimyasal özellikler açısından ise; ısı işleme tabi tutulmuş her iki odun türünün kimyasal yapısında meydana gelen özelliklerin daha kapsamlı bir biçimde incelenmesi önerilebilir. Bu bağlamda; ısı işlem uygulanmış odunun elementer yapısı karbon, hidrojen, nitrojen ve oksijen miktarları bakımından incelenebilir. Ayrıca, ekstraktif madde miktarı ve kül miktarları belirlenebilir. Böylelikle, ısı işlemle meydana gelen kimyasal konfigürasyon değişimleri daha iyi anlaşılabilir, ısı işlem uygulamaları daha verimli hale getirilebilir. Tez kapsamında; ısı işleminin odunun fiziksel özelliklerini olumlu mekanik ve teknolojik özelliklerini de olumsuz yönde etkilemeye başladığı kritik sıcaklık noktası genel olarak 180 °C civarında belirginleşmiştir. Bu durumda, daha sonraki aşamalarda 180-230 °C sıcaklıklar arasını daha dar bir skalada incelemek optimum ısı işlem sıcaklık ve süresini bulmak açısından yerinde olacaktır. Diğer yandan, eldeki mevcut veri tabanı kullanılarak, modellemeye dayalı sayısal yöntemlerle 130-200°C'ler arasında bütün özellikler bir arada değerlendirilerek en optimum sıcaklık-süre varyasyonları tahmin edilebilir.

Finlandiya'da ısı işlem prosesi her odun türü için farklı uygulanmaktadır ve her bir ağaç türüne ait uygulama sonuçları farklı kimyasal kompozisyonlarından ve hücresel yapılarından ötürü farklı bulunmaktadır. Dış ortama ya da çürümeye karşı daha iyi bir koruma arzu edildiğinde ısı işlem sıcaklığı 200 °C'nin üzerinde, iç mekânlardaki kullanımlar için ise 200 °C'nin altında uygulanmaktadır. Genellikle iğne yapraklı ağaç türleri yapraklı ağaç türlerine oranla daha güç muamele edilmekte ve kullanım yeri olarak rutubetten korunması gereken bahçe mobilyası, pencere, kapı, duvar ya da çit kazıkları gibi

dış mekanlarda ve dış yapı alanlarında değerlendirilmektedir. Yapraklı ağaç türleri ise daha ziyade sauna ve mutfak mobilyaları, paneller ve parkeler gibi iç yapı alanlarında tercih edilmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, ısıtım işlemi uygulanmış kayın odunu mutfak araç gereçlerinde, iç ve üstü kapalı dış yer döşemelerinde, marangozluk ve mobilya amaçlarında, iç duvar panellerinde, bahçe mobilyalarında verimli olarak kullanılabilir. Isıtım işlemi görmüş ladin odunu ise, mutfak araç gereçlerinde, taşıyıcı eleman olmamak kaydıyla mobilyada, dış cephe kaplaması, duvar malzemesi ve pencere/kapı doğraması olarak değerlendirilebilir.

Isıtım işlemine tabi tutulacak odunun kalitesi iyi olmalıdır. Örneğin, çatlaklar ya da düşebilen budaklar problem yaratabilmektedir. Ayrıca, çürümüş odun, muameleden sonra renk ayrılıklarına neden olmaktadır. Odun yüksek sıcaklıklarda ısıtım işlemine maruz bırakılarak iyileştirilmiş olmasına rağmen toprakla temas eden yerlerde kullanılmamalıdır. Ağacın biçilme yöntemi de ısıtım işlemi sonucunu etkileyen bir diğer faktördür. Basit geleneksel kesim özellikle iğne yapraklı ağaç odunlarında yıllık halkaların soyulmasına sebep olabilmektedir. Bu durumda yıllık halkalar neredeyse yüzeye yatay düşmektedir. Eğer odun örnekleri yıllık halkalar yüzeye en az 45 °lik açı yapacak şekilde biçilirse deformasyonlar daha az, yüzey sertliği daha fazla ve muamele sonrası genel görünüm daha iyi olmaktadır.

Isıtım işlemi sırasında odun degrade olmakta ve başta asetik asit üzere formik asit, bir miktar fenolik bileşikler ve diğer aromatik bileşikler ile odun ekstraktifleri açığa çıkmaktadır. Muamele sırasında çevreyi saran karbonmonoksit, karbondioksit ve metanol gibi gazlar ekipmana zarar vermektedir. Dolayısıyla, ekipmanların paslanmaz çelikten yapılmış olması ve degradasyon ürünlerinin absorbe edildiği yerlere yıkama sistemlerinin kurulması gereklidir.

Isıtım işlemine tabi tutulmuş odunun geliştirilmiş özellikleri kereste endüstrisinde yeni bir potansiyel olarak değerlendirilmekte ve çekici yeni fırsatlar sunmaktadır. Muamele edilmeyen odunla mukayese edildiğinde en önemli özelliği denge rutubeti miktarının ve dolayısıyla daralma ve genişlemesinin azalmasıdır. Isıtım işlemi muamelesinin ticari değeri olmayan odun türlerine yeni bir kullanım yeri alternatifi ortaya koyması da mümkündür.



## 7. KAYNAKLAR

1. Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A., and Viitaniemi, P., The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce, IRG/WP/40032 Annual Meeting, May 29-June 3-1994, Indonesia, Section 4, 1-4.
2. Fengel, D., Wegener, G., Wood, Walter de Gruyter and Co., Berlin. New York, 1989.
3. Seborg, R.M., Tarkow, H., Stam, A.J., Effect of Heat upon the Dimensional Stabilization of Wood, J. Forest Prod. Res. Soc., 3,3 (1953) 59-67.
4. Stamm, A.J., Hansen, L.A., Minimizing Wood Shrinkage and Swelling: Effect of Heating in Various Gases, Ind. Eng. Chem., 29,7 (1937) 831-833.
5. Skaar, C., Effect of High Temperatures on the Rate of Degradation and Reduction in Hygroscopicity of Wood, Pages 113-127 in C.C. Gerhards, McMillen, J.M., eds. Proceedings, High Temperature Drying Effects on Mechanical Properties of Soft-Wood Lumber, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, February 1976, 25-26.
6. MacLean, J.D., Rate of Disintegration of Wood under Different Heating Conditions, Am. Wood Preservers' Assoc. Proc., 47 (1951) 155-168.
7. MacLean, J.D., Effect of Steaming on the Strength of Wood, Am. Wood Preservers' Assoc. Proc., 49 (1953) 88-112.
8. Stamm, A.J., Thermal Degradation of Wood and Cellulose, Ind. Eng. Chem., 48,3 (1956) 413-417.
9. Tiemann, H.D., Effect of Different Methods of Drying on the Strength and Hygroscopicity of wood, 3 rd ed, The Kiln Drying of Lumber, Chap. 11, J.P. Lippincott Co., Philadelphia, PA, 1920.
10. Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., Rowell, R.M., Steam or Heat Fixation of Compressed Wood, Wood and Fiber Science, 25,3 (1993) 224-235.
11. Feist, W.C., Sell, J., Weathering Behavior of Dimensionally Stabilized Wood Treated by Heating under Pressure of Nitrogen Gas, Wood and Fiber Science, 19,2 (1987) 183- 195.

12. Hillis, W.E., The Role of Wood Characteristics in High Temperature Drying, J. Inst. Wood Sci., 7,2 (1975) 60-67.
13. Millett, M.A., Gerhards, C.C., Accelerated Aging: Residual Weight and Flexural Properties of Wood Heated in Air at 115 °C to 175 °C, Wood Sci., 4,4 (1972) 193-201.
14. Giebeler, E., Dimensional Stabilization of Wood by Moisture-Heat-Pressure Treatment, Holz Roh-u. Werkstoff, 41 (1983) 87-94.
15. Kollmann, F., Schneider, A., The Sorption Behavior of Heat-Treated Wood, Holz Roh-u. Werkstoff, 21,3 (1963) 77-85.
16. D' yakanov, K.F., Kur' yanova, T.K., Shchekin, V.A., Reducing Swelling and the Limit of Hygroscopicity of Wood, Derevoobrabatyvayushchaya-Promshlennost', 5 (1989) 12- 13.
17. Nikolov, S., Enceev, E., Effect of Heat Treatment on the Sorption Dynamics of Beech Wood, Nauc. Trud. Lesoteh. Inst., Sofija, 14 (1967) 71-77.
18. Burmester, A., Effect of Heat-press ure Treatments of Semi-Dry Wood on its Dimensional Stability, Holz Roh-u. Werkstoff, 31,6 (1973) 237-243.
19. Heat Treatment of Wood, (Web sitesi en son 28.05.1998 tarihinde ziyaret edildi), <http://www.vtt.fi/rte/wmt/index.htm>
20. Burmester, A., Deppe, H.J., Experiments to Improve Dimensional Stability of Particle Board by Applying the FWD (moisture / heat / pressure) Process to Chips, Holzbearbeitung, 20,7 (1973) 24-30.
21. Stamm, A.J., Burr, H.K., Kline, A.K., Heat-Stabilized Wood (Staybwood), USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab, Rep. No. 1621, USDA, 1960.
22. Viitaniemi, P., Decay-Resistant Wood Created in a Heating Process, Industrial Horizons, December (1997) 23.
23. Hillis, W.E., High Temperature and Chemical Effects on Wood Stability, Wood Sci, Technol, 18 (1984) 281-293.
24. Hillis, W.E., Rozsa, A.N., The Softening Temperatures of Wood, Holzforschung, 32,2 (1978) 68-73.

25. Inoue, M., Norimoto, M., Otsuka, Y., Yamada, T., Surface Compression of Coniferous Wood Lumber II: Permanent Set of Compression Wood by Low Molecular Weight Phenolic Resin and Some Physical Properties of the Products, Mokuzai Gakkaishi, 35,3 (1991) 227-233.
26. Hsu, W.E., Steam Pretreatment of Wood Fibers, O. Suchsland, ed, Proceedings, Stabilization of the Wood Cell Wall, Michigan state Univ., East Lansing, MI. (1988) 65- 71.
27. Fengel, D., On the Changes of the Wood and its Components Within the Temperature Range up to 200 °C-Part III: Thermally and Mechanically Caused Structural Changes in Sprucewood, Holz Roh-u. Werkstoff, 24,11 (1966) 529-536.
28. Schneider, A., Rusche, H., Sorption Behavior of Beech and Spruce Wood after Heat Treatment in Air and in Vacuum, Holz Roh-u. Werkstoff, 31,8 (1973) 313-319.
29. Vital, B.R., Lucia, R.M.D., Effect of heating on Dimensional Stability and Hygroscopicity of Wood, Revista-Arvore, 6,2 (1982) 150-161.
30. Schneider, A., Investigations on the Convection Drying of Lumber at Extremely High Temperatures, Holz Roh-u. Werkstoff, 31(1973)198-206.
31. Mailum, N.P., Arenas, C.V., Effect of heat on the Natural Decay Resistance of Philippine Woods, Philippine Lumberman, 20,10 (1974) 18-19.
32. Miltz, H., Thermal Treatment of Wood: European Processes and their Background, IRG/WP 02-40241, 33<sup>rd</sup> Annual Meeting 12-17 May 2002, Cardiff-Wales, Section 4, 1-17.
33. Kantay, R., Kereste, Kurutma ve Buharlama, Yayın No: 6, Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı, İstanbul, 1993.
34. Ja'msa", S., Ahola, P., Viitaniemi, Long-term Natural Weatherin of Coated Thermo Wood, Piment & Resin Technology, 29, 2 (2000) 68-74.
35. Kotilainen, R., Chemical Changes in Wood During Heating at 150-260 °C PhD Thesis, Jyväskylä University, Research Repot 80, Finland, 2000.
36. Mayes, D., Oksanen, O., Thermo Wood Handbook, B y: Thermowood, Finforest, Stora, 2002.

37. Kantay, R., Ağaç Malzemenin Yüksek Sıcaklıkta Kurutulması, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 30,2 (1978) 134-151.
38. Rusche, H., Thermal Degradation of Wood at Temperatures up to 200 °C-Part I: Strength Properties of Dried Wood after Heat Treatment, Holz Roh-u. Werkstoff, 31 (1973) 273-281.
39. Mitchell, P.H., Irreversible Property Changes of Small Loblolly pine Specimens Heated in Air, Nitrogen, or Oxygen, Wood and Fiber Science, 20,3 (1988) 320-355.
40. MacLean, J.D., Effect of Heating in Water on the Strength Properties of Wood, Am. Wood Preservers' Assoc. Proc., 50 (1954) 253-280.
41. MacLean, J.D., Effect of Oven-Heating and Hot-Pressing on Strength Properties of Wood, Am. Wood Preservers' Assoc. Proc., 51 (1955) 227-250.
42. Koch, P., Process for Straightening and Drying Southern Pine 2 by 4's in 24 Hours, Forest Prod. J. 21,5 (1971) 17-24.
43. Koch, P., Strength of Southern Pine Lumber Dried at High Temperatures, Proc. Research Conference on High-Temperature Drying Effects on Mechanical Properties of Softwood Lumber, Madison, WI., (1976) 38-49.
44. Price, E.W., Koch, P., Kiln Time and Temperature Affect Shrinkage, Warp and Mechanical properties of Southern Pine Lumber, Forest Prod. J., 30,8 (1980) 41-47.
45. Yao, J., Taylor, F., Effect of High-Temperature Drying on the Strength of Southern Pine Dimension Lumber, Forest Prod. J., 29,8 (1979) 49-51.
46. Davis, W.H., Thompson, W.S., Influence of Thermal Treatments of Short Duration on the Toughness and Chemical Composition of Wood, For. Prod. J., 14, 8 (1964) 350-366.
47. Schneider, A., Investigations on the Influence of Heat Treatment in the Temperature Range 100-200 °C on the Modulus of Elasticity, Holz Roh-u. Werkstoff, 29,11 (1971) 431-440.
48. Kitahara, K., Chugenji, M., Effects of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Wood, J. Jap. For. Soc., 33 (1951) 414-419.
49. Voss, K., Heat Treatment of Hardboards, Holz Roh-u. Werkstoff, 10,8 (1952) 299-305.

50. Klauditz, W., Stegman, G., Fundamental Chemical and Physical, Process in the Heat Treatment of Wood-Fibre Boards, Holzforschung, 5,3 (1951) 68-74.
51. Vital, B.R., Lucia, R.M., Euclides, R.F., Effect of Heating on Some Properties of *Eucalyptus saligna* Wood, Revista-Arvore, 7,2 (1983) 136-146.
52. Panaiotov, P., Mateeva, G., The Effect of Non-Flame Heat Treatment on the Bending and Compression Strength of Modified Beech Wood, Nauchni Trudove, Vissh Lesotekhnicheski Institut, Sofiya, Mekhanichna Teknologiya-na-D'rvesinata, 27, 28 (1984) 55-60.
53. Tomek, A., Heat Treatment of Wood Chips, a New Process for Making Particle Board Water-Repellent, Holztechnol, 3 (1966) 157-160.
54. Rozsa, M.E., Fortes, M.A., Effects of Water Vapour Heating on Structure and Properties of Cork, Wood Sci. Technol, 23 (1989) 27-34.
55. Fengel, D., On the Changes of the Wood and its Components Within the Temperature Range up to 200°C-Part IV :The Behaviour of Celluloses in Sprucewood under Thermal Treatment, Holz Roh-u. Werkstoff, 25 (1967) 102- 111.
56. Sanderman, W., Augustin, H., Chemical Investigations on the Thermal Decomposition of Wood-Part I/II: Investigations by Means of the Differential Thermal Analysis, Holz als Roh-und Werkstoff, 21,8 (1963), 256-265 / 305-315.
57. Shimizu, K., Teratani, F., Miyazakai, K., Effect of the Thermal Treatment on Wood Hemicelluloses, II The Change of Xylan by heating, Mokkuzai Gakkaishi, 11 (1968) 376-381.
58. Fengel , D., On the Changes of the Wood and its Compenents in the Temperature Range up to 200°C –Part II : The Hemi-Celluloses in Untreated and Thermally Treated Sprucewood , Holz Roh-u . Werkstoff, 24,3 (1966) 98-108 .
59. Fengel, D., On the Changes of the Wood and its Compenents Within the Temperature Range up to 200°C–Part I :Hot and Cold Water Extracts of Thermally Treated Sprucewood, Holz Roh-u . Werkstoff, 24,1 (1966) 9-14 .
60. Sanderrmann, W., Augustin, H., Chemical Investigations on the Thermal Decomposition of Wood-Part III: Chemical Investigation on the Course of Dedomposition, Holz als Roh-und Werkstoff, 22,10 (1964) 377-386.

61. Shafizadeh, V., DeGroot, W. F., Combustion Characteristics of Cellulosic Fuels, In: Thermal Uses and Properties of Carbohydrates and Lignins (Shafizadeh, F., Sarkanen, K. V., Tillman, D. A., Eds.). Academic Press, New York, San Francisco, London, 1976.
62. Cabradilla, K.E., Zeronian, S.H., Effect on Changes in Supramolecular Structure on the Thermal Properties, Pyrolysis of Cellulose. In: Modified Cellulosics (Rowell, R.M., Young, R.A., Eds.). Academic Press, New York, 1978.
63. Björkman, A., Significance of pyrolysis for gasification/combustion, Proc. Int'l Conf. of Recovery of Pulping Chemicals, 1981, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 3-7.
64. Kollmann, F., Fengel, D., Changes in the Chemical Composition of Wood by Thermal Treatment, Holz Roh-Werkst, 23,12 (1965) 461-468.
65. Funaoka, M., Kako, T., Abe, I., Condensation of Lignin During Heating of Wood, Wood Sci. Technol, 24 (1990) 277-288.
66. Avni, E., Davoudzadeh, F., Coughlin, R.W., Flash Pyrolysis of Lignin, Fundamentals in Thermochemical Biomass Conversion, Overend, R.P., Milne, T.A., Mudge, L.K. (Eds), London, Great Britain, Elsevier Applied Science, 1985.
67. Brocksiepe, H.G., In: Ullmanns Encyklopadie der Technischen Chemie (4th Ed.) Verlag Chemie. Weinheim, Holzverkohlung (1976) 703-708.
68. Hileman, F.D., Wojcik, L.H., Futrell, J.H., Einhorn, I.N., Comparison of the Thermal Degradation Products of  $\alpha$ -Cellulose and Douglas Fir under Inert and Oxidative Environments. In: Thermal Uses and Properties of Carbohydrates and Lignins (Shafizadeh, F., Sarkanen, K.V., Tillman, D.A., Eds.) Academic Press, New York, San Francisco, London, 1976.
69. Knight, J.A., Pyrolysis of Pine Sawdust. In: Thermal Uses and Properties of Carbohydrates and Lignins (Shafizadeh, F., Sarkanen, K.V., Tillman, D.A., Eds.) Academic Press, New York, San Francisco, London, 1976.
70. Stamm, A.J., Beachler, H., Decay Resistance and Dimensional Stability of five Modified Woods, Forest Prod. J., 10 (1960) 22-26.
71. Dirol, D., Guyonnet, R., The Improvement of Wood Durability by Retification Process, IRG/WP/40015, 1993, Section 4, 11.
72. Troya, M.T., Navarrete, A., Study of The Degradation of Retified Wood Through Ultrasonic and Gravimetric Techniques, IRG/WP/40030, Annual Meeting, May 29-June 3-1994, Indonesia, Section 4, 10-16.

73. Petri, V.N., Belenkov, D.A., Effect of Heat Treatment of Scots Pine Wood on its Resistance to decay, Lesn, Z., Arhangel'sk, 6,1 (1963) 104-109.
74. Buro, A., Effect of Heat Treatment on the Fungus Resistance of Pine and Beech Wood, Holz Roh-u. Werkstoff, 12,8 (1954) 297-304.
75. Conradie, W.E., Pizzi, A., Progressive Heat-Inactivation of CCA Biological Performance, Holzforchungund-Holzverwertung, 39,3 (1987) 70-77.
76. Syrjänen, T., Oy, K., Jämsä, S., Viitaniemi, P., Militz, H., Tjeerdsma, B., Andreas, O.P., Sailer, M., Veronis, M., Cost Action E 22, Review on Heat Treatments of Wood, Proceedings of the Special Seminar Held in Antibes, February 2001, France, 7-61.
77. Rapp, A.O., Sailer, M., Heat Treatment in Germany, Proceedings of Seminar "Production and Development of Heat Treated Wood in Europe", Nov. 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo.
78. Koran, Z., Electron Microscopy of Tangential Tracheid Surfaces of Black Spruce Produced by Tensile Failure at Various Temperatures, Svensk Paperstidn, 71,17 (1968) 567-576.
79. Tjeerdsma, B.F., Boonstra, M., Militz, H., Thermal Modification of Non-Durable Wood Species. 2. Improved Wood Properties of Thermally Treated Wood, IRG/WP/40124, 1998.
80. TS 4176, Odunun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Tayini için Homojen Meşçerelerden Numune Ağacı ve Laboratuvar Numunesi Alınması, I. Baskı, T.S.E., Ankara, Eylül, 1984.
81. Kayacık, H., Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği, Cilt 2, Angiospermae, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 287, İstanbul, 1981.
82. Malkaoçoğlu, A.K., Doğu Kayını (*Fagus orientalis L.*) Odununun Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1994.
83. Anşin, R., Özkan, Z.C., Tohumlu Bitkiler, Odunsu Taksonlar, KTÜ Orman Fakültesi, Yayın No: 167/19, Trabzon, 1993.
84. Şanlı, İ., Doğu Kayınının Türkiye'de Çeşitli Yörelerde Oluşan Odunları Üzerinde Anatomik Araştırmalar, Doktora Tezi, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul, 1978.

85. Saatçioğlu, F., Silvikültür I, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 22, İstanbul, 1976.
86. Atalay, İ., Kayın Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Transferi Yönünden Bölgelere Ayrılması, Orman Bakanlığı-Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Yayın No: 5, Ankara, 1992.
87. Anşin, R., Tohumlu Bitkiler, Gymnospermae (Açık Tohumlular), Cilt 1, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 112/15, Trabzon, 1988.
88. Anonim, Doğu Ladini, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, El Kitabı Dizisi: 5, Muhtelif Yayınlar serisi: 58, Ankara, 1989.
89. Yaltırık, F., Efe, A., Dendroloji Ders Kitabı, Gymnospermae-Angiospermae, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 3836/431, İstanbul, 1994.
90. Bailey, P.J., The Permeability of Softwoods, Journal Inst. Of Wood Science, 12 (1964) 44-55.
91. Berkel, A., Ağaç Malzeme Teknolojisi, Birinci Cilt, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 1448/147, İstanbul, 1970.
92. Core, H.A., Cote, W.A.J., Day, A.C., Wood Structure and Identification, Second Edition, Syracuse University Press, USA, 1979.
93. Eyüboğlu, K., Küçük, M., Atasoy, H., Saf Doğu Ladini Meşcerelerinin Doğal Yolla Gençleştirilmesi Üzerine Çalışmalar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten No: 248, Ankara, 1995.
94. Kayacık, H., Doğu Ladininin Coğrafi Yayılışı, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 10,2 (1960) 25-33.
95. Anşin, R., Saf Doğu Ladini Florası ile Traşlama Kesimleri Yöntemine Göre Açılan Doğu Ladini Alanlarında Oluşan Yabani Floranın Kıyaslanması, K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 4,2 (1981) 239-252.
96. Anşin, R., Terzioğlu, S., Ülkemizin En Boylu Ağacı ve Tek Ladin Türü: Doğu Ladini, Ahşap Araştırma, Teknoloji, Tasarım ve Dekorasyon Dergisi 5 (1994) 62-63.
97. Eraslan, İ., Doğu Ladininin Teknik Vasıfları ve Kullanım Yerleri Hakkında Araştırmalar, Çankaya Yayınevi, Ankara, 1947.
98. Arganaskvili, L.N., Rational Utilization of Resonance Wood, Lesnoe-Khozyaistvo, 10 (1988) 54-55.



99. TS 2470, Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler için Numune Alma Metotları ve Genel Özellikleri, T.S.E., Ankara, Kasım 1976.
100. TS 2471, Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler için Rutubet Miktarı Tayini, I. Baskı, T.S.E., Ankara, Kasım 1976.
101. TS 2472, Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler için Birim Hacim Ağırlığı Tayini, T.S.E., Ankara, Kasım 1976.
102. TS 53, Odunun Fiziksel Özelliklerinin Tayini için Numune Alma, Muayene ve Deney Metotları, T.S.E., Ankara, Mayıs 1982.
103. Örs, Y., Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, I. Odunun Fiziksel Özellikleri, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Ders Teksiri Serisi, No: 15, Trabzon 1986.
104. Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3445/388, İstanbul 1987.
105. Yıldız, Ü.C., Bazı Hızlı Büyüyen Ağaç Türlerinden Hazırlanan Odun-Polimer Kompozitlerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.
106. Rowell, R. M., Banks, W.B., Water Repellency and Dimensional Stability of Wood, Gen. Tech. Rep., FPL-50, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, WI, 1985.
107. Rowell, R. M., Youngs, R.L., Dimensional Stability of Wood in Use, Gen. Tech. Rep., FPL-50, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, WI, 1980.
108. Voulgaridis, E., Effect of Water Temperature and Melting Point of Wax on Water Repellency in Treated Wood, Holzforschung und Holzverwertung 38,6 (1986) 141-144.
109. Yıldız, Ü. C., Hafizoğlu, H., Su İtici Maddelerle Odunda Su Alımının Azaltılması, Doğa-Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 14 (1990) 368-375.
110. TS 4083, Odunda Radyal ve Teğet Doğrultuda Çekmenin tayini, I. Baskı, T.S.E., Ankara, Şubat 1984.
111. Rowell, R.M., Moisuk, R., Meyer, J.A., Wood-Polymer Composites: Cell Wall Grafting with Alkylene Oxides and Lumen Treatments with Methyl Methacrylate, Wood Sci, 15,2 (1982) 90-96.

112. Loos, W.E., Dimensional Stability of Wood-Plastic Combinations to Moisture Changes, Wood Science and Technology 2 (1968) 116-128.
113. Raczkowska, H., Raczkowski, J., Effect of Swelling under Mechanical Restraint on the Shrinkage of Beech Wood Modified with PMMA and PST, Holzforschung und Holzverwertung 29,2 (1977) 27-32.
114. Rowell, R.M., Ellis, W.O., Determination of Dimensional Stabilization of Wood Using Water-Soak Method, Wood and Fiber Sci., 10,2 (1978) 104-111.
115. TS 2474, Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, T.S.E., Ankara, 1977.
116. Örs, Y., Odunun Mekanik Özellikleri, Basılmamış Ders Notları, K.T.Ü Orman Fakültesi, Trabzon, 1996.
117. TS 2478, Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, T.S.E., Ankara, Kasım 1978.
118. TS 2595, Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımının Tayini, T.S.E., Ankara, Mart 1997.
119. Bozkurt, A. Y., Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 3403/380, İstanbul 1986.
120. Kollmann, F., Wilfred, A.C., Principles of Wood Science and Technology, Solid Wood, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1968.
121. TS 2479, Odunun Statik Serliğinin Tayini, T.S.E., Ankara, Kasım 1976.
122. TAPPI Standarts, Official Test Methods Association of the Pulp and Paper Industry, U.S.A 1992.
123. Huş, S., Orman Mahsülleri Kimyası, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 150, İstanbul, 1969.
124. Önal, S., Ferah, O., Sözen, R., Toros Sediri Odununun Kimyasal Bileşenleri, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Raporlar Serisi, No: 206, Ankara, 1989.
125. TAPPI Test Methods, 1992-1993 TAPPI Pres, Atlanta, Georgia, 1992.

126. Welcher, J.F., Standarts Methods of Chemical Analysis Sixth Edition, Volume 2, D. Van Nostrand Co, Princeton, New Jersey, 1963.
127. Wise, E.L., Karl, H.L., Cellulose and Hemicellulose in Pulp and Paper Science and Technology, Vol. I., Pulp, Edited by C. Earl Libby Mc Graw Hill Book Co., New York, 1962.
128. Browning, B.L., Methods of Wood Chemistry, Volume I, John Wiley and Sons Inc., New York, 1967.
129. E.P.F. Manipulationsde Chimie Papetiere, Grenoble, 1969.
130. Eroğlu, H., Lif Levha Endüstrisi Ders Notları, K.T.Ü Orman Fakültesi, Yayın No:304, Trabzon, 1988.
131. Hafizoğlu, H., Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları, Cilt I, Yayın No:52, Trabzon, 1982.
132. Rydholm, S.A., Pulping Process, Interscience Publishers, Fiesta, 1965.
133. Yavuz, H., Çok Değişkenli Verilerle Önemlilik Testleri, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Güz Yarıyılı Semineri, 1996, Trabzon, Seri No: 1, 49-56.
134. Mead, R., The Design of Experiments, Cambridge University Pres, 1988.
135. Kollmann, F., Schnider, A., Untersuchungen Über den Einfluß von Wärmebehandlungen im Temperaturbereich bis 200 °C und von, Wasserlagerung bis 100 °C auf wichtige physikalische und Physikalisch-Chemische Eigenschaften des Holzes, Forschungsber, Nordrhein-Westfalen, No: 1399, Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen, 1964.
136. Santos, J.A., Mechanical Behaviour of Eucalyptus Wood Modified by Heat, Wood Science and Technology, 34 (2000) 39-43.
137. Edvardsen, K., Sandland, K.M., Increased Drying Temperature-Its Influence on the Dimensional Stability of Wood, Holz als Roh-und Werkstoff 57 (1999) 207-209.
138. Yıldız, Ü.C., Odun Modifikasyonu Yöntemleri, (Basılmamış Ders Notları), K.T.Ü Orman Fakültesi, Trabzon, 2001.

139. Yıldız, Ü.C., Ağaç Malzemenin Yapısında Meydana Getirilen Değişikliklerle Bazı Teknolojik Özelliklerin İyileştirilmesi, Orenko 92, Eylül 1992, Trabzon, Bildiri Metinleri I. Cilt, 403-413.
140. Rowell, R.M., The Chemistry of Solid Wood, Advances in Chemistry Series 207, American Chemical Society, Washington, D.C., 1984.
141. Rapp, A.O., Sailer, M., Heat Treatment of Wood by the Plato-Process: Proceedings of Seminar "Production and Development of Heat Treated Wood in Europe", Nov. 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo.
142. Çolakoğlu, G., Tabakalı Ağaç Malzeme (BasılmamışDers Notları), K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon, 2001.
143. Salamon, M., Hihg-Temperature Drying and its Effect on Wood Properties, Forest Product Journal, 19, 3 (1969) 27-34.
144. Rowell, R.M., Chemical Modification of Wood, Its Application to Composite Wood Products, Proceedings of the Composite Wood Products Symp., 1988, New Zealand, 57-67.
145. Eroğlu, H., Usta, M., Liflevha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 200/30, Trabzon, 2000.
146. Runkel, R.O.H., Wilke, K.D., Chemical Composition and Properties of Wood Heated at 140 to 200 °C in a Closed System without Free Space, Part II, Holz als Roh-und Werkstoff, 9 (1951) 260-270.

## ÖZGEÇMİŞ

14. 07. 1970 tarihinde Ordu'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Ordu'da tamamladıktan sonra 1988 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümüne kaydoldu. 1991-1992 eğitim-öğretim yılı sonunda lisans öğrenimini tamamlayarak mezun oldu. 1992-1993 eğitim-öğretim yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde lisansüstü öğrenimine başlayıp 1994 yılında aynı birime Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1994-1995 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 1995 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamlayarak K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde doktora programına kaydoldu ve aynı birime 1996 yılında Araştırma Görevlisi olarak yeniden atandı. 2000 yılında KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümüne Öğretim Görevlisi olarak atandı. Halen öğretim görevlisi olarak çalışmakta olup, İngilizce bilmektedir ve evlidir.