

**YENİ BİR YANMA DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI ve ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ
AĞAÇ MALZEMELERİN YANMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Cemal ÖZCAN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

BARTIN

Şubat 2011

KABUL:

Cemal ÖZCAN tarafından hazırlanan "YENİ BİR YANMA DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI VE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ AĞAÇ MALZEMELERİN YANMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
11.02.2011

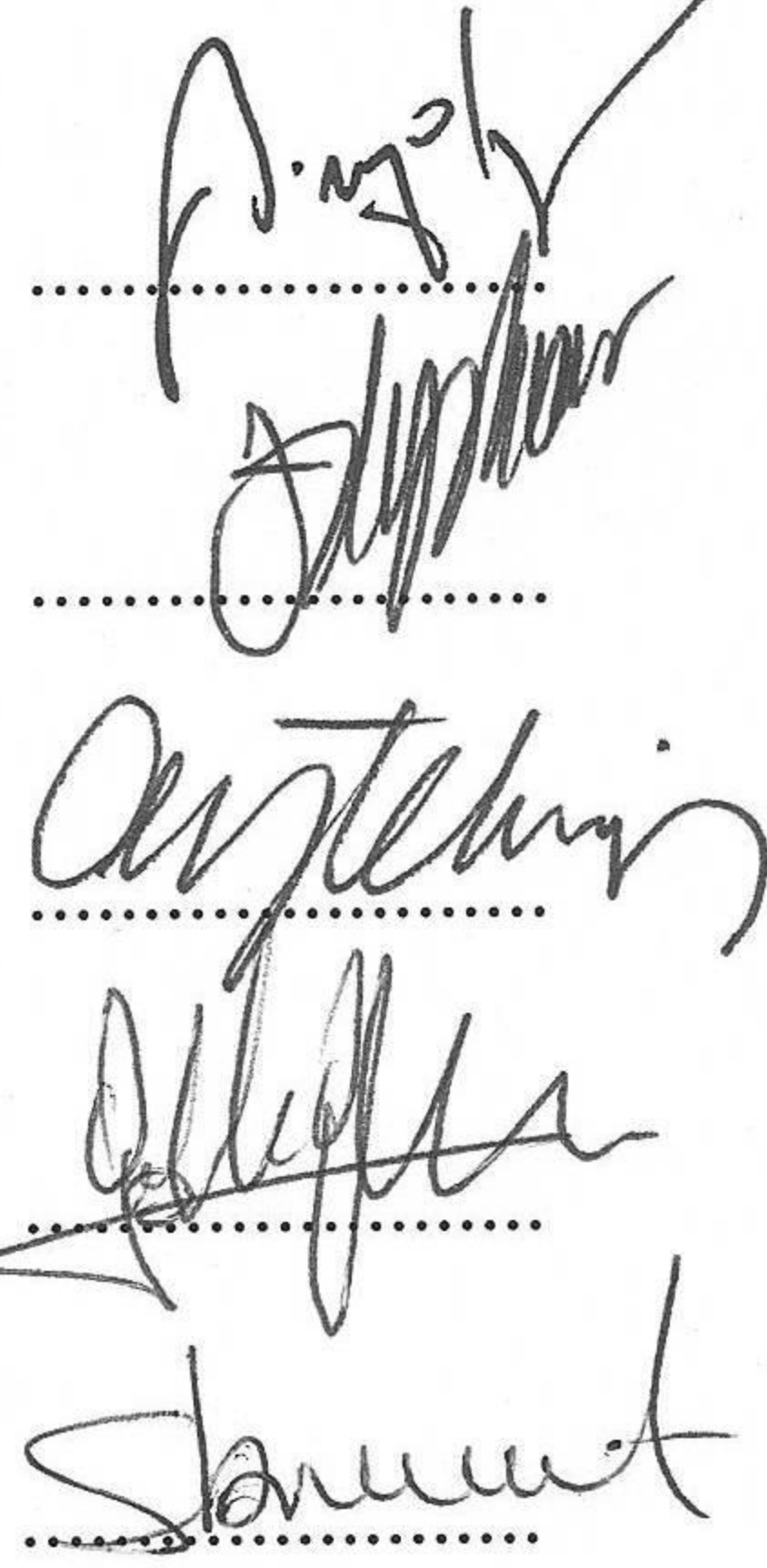
Başkan: Prof. Dr. Burhanettin UYSAL (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Selman KARAYILMAZLAR (BÜ)

Üye : Doç. Dr. Alper AYTEKİN (BÜ)

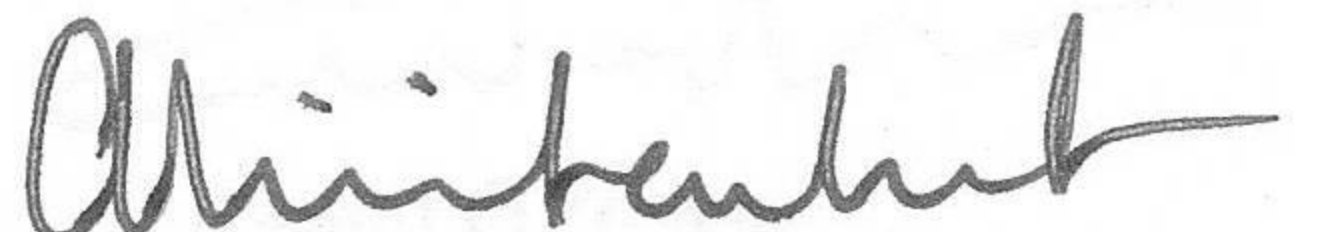
Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ (BÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şeref KURT (KBÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 10./3/2011


Doç. Dr. Ali Naci TANKUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Cemal ÖZCAN

ÖZET

Doktora Tezi

YENİ BİR YANMA DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI ve ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ AĞAÇ MALZEMELERİN YANMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Cemal ÖZCAN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ

Şubat 2011, 127 sayfa

Ağaç malzeme insanların kullandığı çeşitli yapı malzemeleri içerisinde en eski olanlardandır. Çağımızın getirdiği teknik yeniliklere ve çok sayıda yeni malzemenin var olmasına rağmen sahip olduğu üstün özellikleri nedeniyle günümüzde de önemini korumaktadır. Ağaç malzeme bu özellikleri yanı sıra istenmeyen bazı özelliklere de sahiptir. Bunlardan en önemli olanı yanmasıdır. Ağaç malzeme bileşiminde karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle yanmaya müsaittir. Ağaç malzemenin yanma özelliklerinin belirlenmesi, yapıda kullanım yeri ve amacına uygunluk bakımından önemlidir. Bu nedenle ağaç malzemenin yanma özellikleri konusunda farklı yanma düzenekleriyle birçok çalışma yapılmıştır. Ancak ağaç malzemenin yanma özelliklerinin literatürdeki önemi göz önüne alındığında mevcut yanma düzenekleri gelişen teknolojiye ve artan isteklere cevap verememektedir. Bu sebeplerden dolayı bilgisayar kontrollü yanma düzeneğine gerek duyulmuştur. Bu çalışmada, yeni bir yanma düzeneği hazırlanmış ve ısıtılmış sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin yanma özellikleri

ÖZET (devam ediyor)

belirlenmiştir. Yanma sonucu elde edilen ölçümlerin ve yanma sürecinin en hassas şekilde izlenmesi bilgisayar üzerinde gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Elle yapılan ölçme kaynaklı hataların en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Yanma sonucu elde edilen parametrelerin artırılması ve bu parametreler üzerinde daha hızlı işlemler yapılması sağlanmıştır. Yanma işlemi boyunca ve bitiminde elde edilen verilerin işlenmesi ve analizlerin yapılması yine bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Ölçüm sonucu kaydedilen tüm verilerin daha sonra yapılacak yanma çalışmalarında faydalanılmak üzere depolanması sağlanmıştır. Geliştirilen yanma düzeneğinde; yüzde ağırlık kaybı, üst sıcaklık, orta sıcaklık, alt sıcaklık, kül miktarı, nem miktarı parametrelerin ölçümü yapılmıştır.

Isıl işlemle ilgili yapılan çalışmalar daha çok bu malzemenin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin yanma özellikleri üzerine yeterli çalışma yoktur. Bu çalışma da ısıl işlem görmüş ağaç malzemelerin yanma özellikleri belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen örnek yanma deneyleri sonucunda tasarlanan sistemin veri kayıplarını önlediği, hassas ölçümlerle daha iyi sonuçlar verdiği ve özellikle zaman ve iş gücünden tasarruf sağladığı görülmüştür. Veri kayıplarının önlenmesi daha az deney tekrarının neden olmuştur. Bu sayede hazırlanan düzenek, ağaç malzeme koruma teknolojisi ve ağaç malzemenin yanma özelliklerinin belirlenmesi alanında kullanılabilir özelliklerine sahip olmuştur.

Yanma sonuçlarına göre, ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin ağırlık kaybı değerleri, genel olarak kontrol ağaç malzemedен düşüktür. Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin üst sıcaklık ve baca sıcaklık değerleri, kontrol ağaç malzemedен yüksektir. Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin karbon monoksit, azot monoksit ve oksijen kaybı değerleri, genel olarak kontrol ağaç malzemedен yüksektir.

Anahtar Sözcükler : Yanma, yanma düzeneği, gerçek zamanlı kontrol, ısıl işlem

Bilim Kodu : 502.09.01

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

PREPARATION OF A NEW COMBUSTION MECHANISM and DETERMINE COMBUSTION PROPERTIES HEAT TREATMENT OF WOOD MATERIALS

Cemal ÖZCAN

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Industrial Engineering

Thesis Advisor:

Asst. Prof. Gökhan GÜNDÜZ

February 2011, 127 pages

Wood material is among the oldest building material that people used. Although there are lots of new techniques and various building materials, it is still very important in terms of its excellent features. Besides these features, wooden material has also some disadvantages. Among these disadvantages, the important one is combustion. It is tend to combustion since wooden material includes carbon and hydrogen in its blend. Defining the features of wooden material is important in terms of its field of usage and purpose. For that reason, many works are conducted in the issue of combustion of wooden material and its features. However, available combustion mechanism cannot meet the needs of developing technology when the importance of the features of wooden material in literature is taken into consideration. For these reasons, computer aided combustion mechanism is needed. In this study, a new combustion mechanism was prepared and combustion properties of heat-treated scotch pine, oriental beech and oak wood materials were determined. The most accurate monitoring of measurements obtained by the combustion and combustion process has been realized in real time on the computer. It is aimed to minimize manual measurement related errors.

ABSTRACT (continued)

Increasing parameters obtained by the results of combustion and faster operations on these parameters are provided. Processing of data obtained as a result of combustion process and analysis are realized in computer environment. The obtained data are presented by tables and graphics. Storing of all data recorded as a result of measurement is provided for further usage. On developed combustion mechanism; percent mass reduction, upper temperature, medium temperature, lower temperature, ash content and humidity parameters have been measured.

Studies relevant with heat-treated have focused on physical and mechanical properties of this material. It is not enough work on the combustion properties of the heat-treated wood material. In this study, combustion properties of heat-treated wood materials were determined.

It has been observed that the designed computer-aided combustion system prevents the data-loss and gives better results with sensitive measurements. Since repetition of the experiment is reduced, time, work and energy savings are provided. This mechanism can be used in the field of wooden material protection technology and in determining the combustion properties of wooden material.

According to the results of combustion, values of mass reduction heat-treated wood material are generally lower than values of massive (control) wood material. Values of upper temperature and flue temperature of heat-treated wood material are higher than values of massive (control) wood material. Values of carbon monoxide, nitrogen monoxide and oxygen reduction of heat-treated wood material are generally higher than values of massive (control) wood material.

Key Words : Combustion, combustion mechanism, real time control, heat treatment

Science Code : 502.09.01

TEŞEKKÜR

“Yeni Bir Yanma Düzeneginin Hazırlanması ve Isıl İşlem Görmüş Ağaç Malzemelerin Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi” isimli bu çalışma, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmamda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesi sırasında ayrıca akademik alanda değerli bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Burhanettin UYSAL’a şükranlarımı arz ederim.

Doktora çalışmamın yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen ve her zaman destekçi olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ’e şükranlarımı arz ederim.

Doktora çalışmamın yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen ve her zaman destekçi olan sayın hocam Prof. Dr. Selman KARAYILMAZLAR ve Yrd. Doç. Dr. Şeref KURT’a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmamın laboratuvar aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Öğr. Gör. Nuri YILDIRIM, Arş. Gör. Raşit ESEN, İzham KILINÇ, Mustafa KORKMAZ ve değerli ağabeylerim İsmail ALTINKAYA ve Haşim BOSTANOĞLU’na teşekkür ederim.

Çalışmalar boyunca birlikte olduğumuz ve sorunların üstesinden birlikte geldiğimiz Arş. Gör. Caner ÖZCAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman manevi desteklerini gördüğüm eşim, kızım ve aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER	5
2.1 AĞAÇ MALZEMENİN YANMA ÖZELLİĞİ	5
2.1.1 Termik Bozunmanın Olumsuz Yönü: Yangın	6
2.1.2 Sıcaklığın Ağaç Malzemeye Olan Etkisi	9
2.1.3 Yangının Yapı Malzemelerine Etkileri	13
2.2 ISIL İŞLEM YÖNTEMİ	15
2.2.1 Isıl İşlem Yönteminin Sınıflandırılması ve Kullanıldıkları Yerler	16
2.2.2 Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Özellikleri Üzerine Etkisi	17
2.2.2.1 Isıl işlem Süresince Meydana Gelen Kimyasal Değişimler	18
2.2.2.2 Isıl işlem Süresince Meydana Gelen Fiziksel Değişimler	19
2.2.2.3 Isıl işlem Süresince Meydana Gelen Mekaniksel Değişimler.....	22
2.2.2.4 Isıl işlem Süresince Meydana Gelen Biyolojiksel Değişimler.....	24
2.3 LİTERATÜR ÖZETİ	25
2.3.1 Yanma ile İlgili Çalışmalar	25
2.3.2. Isıl İşlem ile İlgili Çalışmalar	28
2.4 ÇALIŞMADA KULLANILAN AĞAÇ TÜRLERİNE AİT GENEL BİLGİLER.....	31

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	Sayfa
2.4.1 Sarıçam (<i>Pinus sylvestris L.</i>)	31
2.4.1.1 Makroskobik Özellikler	32
2.4.1.2 Mikroskobik Özellikler	32
2.4.1.3 Bazı Teknolojik Özellikleri	33
2.4.1.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	33
2.4.2 Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis L.</i>)	33
2.4.2.1 Makroskobik Özellikler	34
2.4.2.2 Mikroskobik Özellikler	34
2.4.2.3 Bazı Teknolojik Özellikleri	34
2.4.2.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	35
2.4.3 Meşe (<i>Quercus petraea L.</i>)	35
2.4.3.1 Makroskobik Özellikler	35
2.4.3.2 Mikroskobik Özellikler	36
2.4.3.3 Bazı Teknolojik Özellikleri	36
2.4.3.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler	37
BÖLÜM 3 MATERYAL ve METOD	39
3.1 AĞAÇ MALZEME	39
3.2 DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI	39
3.2.1 Kullanılan Isıl İşlem Metodu	40
3.2.2 Özgül Ağırlıklar	40
3.2.2.2. Hava Kurusu Özgül ağırlık	41
3.3 YANMA DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI	41
3.3.1 Yanma Düzeneği Tasarlanması	41
3.3.2 Yanma Düzeneği Altyapısı	46
3.3.2.1 Bilgisayar, Veri Alış-Veriş Kartı ve Terminal Bordu	46
3.2.2.2 Sıcaklık Algılayıcı ve Amplifikatörler	47
3.3.2.3 Ağırlık Algılayıcı	48
3.3.2.4 Nem Algılayıcı	49
3.3.2.5 Yanma Kabini	49
3.4 YANMA DÜZENEĞİ KULLANICI ARAYÜZLÜ YAZILIM TASARIMI	50
3.4.1. Süreç Denetimi	50

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	Sayfa
3.4.2 Matlab Kullanılarak Gerçek Zamanlı Veri Alınması	51
3.4.2.1. Matlab Veri Alış-Veriş Sistemi	52
3.4.2.2. Matlab Simulink Modeli	54
3.4.3. Kullanıcı Arayüzlü Yazılım Tasarımı	56
3.4.3.1 Gerçek Zamanlı Veri Alış-Verişi	56
3.4.3.2 Veri Gösterimi ve Kaydetme	59
3.5 YANMA DÜZENİĞİNİN ÇALIŞMASI	65
3.6 BACA GAZI ANALİZİ	66
3.7 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	68
BÖLÜM 4 BULGULAR	71
4.1. AĞAÇ MALZEME ÖZGÜL AĞIRLIKLARI	71
4.1.1 Kontrol Örnekleri Özgül Ağırlıkları	71
4.1.2 Isıl İşlem Sonrası Örneklerin Özgül Ağırlıkları	71
4.2. YANMA DENEYLERİ	72
4.2.1. Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri	72
4.2.1.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri	72
4.2.1.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri	73
4.2.1.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri	74
4.2.1.4 Ağaç Malzeme Türleri % Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması	76
4.2.2 Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri	77
4.2.2.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri	77
4.2.2.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri	78
4.2.2.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri	80
4.2.2.4 Ağaç Malzeme Türleri Üst Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması	81
4.2.3 Ölçülen % O ₂ Değerleri	82
4.2.3.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen % O ₂ Değerleri	82
4.2.3.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen % O ₂ Değerleri	84
4.2.3.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen % O ₂ Değerleri	85
4.2.3.4 Ağaç Malzeme Türleri için %O ₂ Değerlerinin Karşılaştırılması	86
4.2.4 Ölçülen CO Değerleri	88
4.2.4.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen CO Değerleri	88

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	Sayfa
4.2.4.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen CO Değerleri.....	89
4.2.4.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen CO Değerleri.....	90
4.2.4.4 Ağaç Malzeme Türleri CO Değerlerinin Karşılaştırılması	92
4.2.5 Ölçülen NO Değerleri	93
4.2.5.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen NO Değerleri	93
4.2.5.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen NO Değerleri.....	94
4.2.5.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen NO Değerleri.....	96
4.2.5.4 Ağaç Malzeme Türleri NO Değerlerinin Karşılaştırılması	97
4.2.6 Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri.....	98
4.2.6.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri.....	98
4.2.6.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri	100
4.2.6.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri	101
4.2.6.4 Ağaç Malzeme Türleri Baca Sıcaklığı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	102
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
5.1 YENİ HAZIRLANAN YANMA DÜZENEĞİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR	105
5.2 YAPILAN DENEYLER İLE İLGİLİ SONUÇLAR.....	106
5.3 ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Yangın Üçgeni.....	7
2.2 Yanma Olayının Isı Gelişimi.....	8
2.3 Bir alevdeki gaz ve yanma bölgeleri.....	9
2.4 Ağaç malzemede kömürleşmenin (charring) oluşumu.....	10
2.5 Isıl işlem diyagramı.....	16
3.1 Ateş borusu yanma düzeneği tasarımı.....	42
3.2 Yanma düzeneği tasarımı.....	44
3.3 Yanma düzeneği görünümü.....	45
3.4 Veri alış-veriş kartı ve terminal bordu.....	46
3.5 Sıcaklık algılayıcı örnek resmi.....	47
3.6 Sıcaklık Algılayıcı Yükselteç.....	48
3.7 Çekme tipi ağırlık algılayıcı.....	48
3.8 Basma tipi ağırlık algılayıcı.....	49
3.9 Nem algılayıcı.....	49
3.10 Kapalı çevrim denetim sistemi.....	51
3.11 Veri alış-veriş sistemi ve bileşenleri.....	53
3.12 Yanma düzeneği simulink modeli.....	55
3.13 Analog giriş özellikleri ekranı.....	57
3.14 Kart ayarları ekranı.....	58
3.15 Gerçek zamanlı veri okuma ekranı.....	59
3.16 Tek bir ölçüm için grafik gösterimi ekranı.....	60
3.17 Tüm ölçümler için grafik gösterimi ekranı sol bölümü.....	61
3.18 Tüm ölçümler için grafik gösterimi ekranı sağ bölümü.....	62
3.19 Veri kaydetme ekranı.....	63
3.20 Deney verileri tablosu (30 saniyelik).....	63
3.21.Kayıtlı veri gösterimi ekranı.....	64
3.22.Deney tanımlamaları ekranı.....	65
3.23 Analiz cihazı Testo T350 XL ana parçaları.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.24 Analiz cihazı Testo T350 XL kontrol ünitesi.....	67
3.25 Testo probunun bacadaki konumu.	67
5.1 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre % ağırlık kaybı değerleri.....	107
5.2 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre üst sıcaklık değerleri.	109
5.3 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre O ₂ değerleri.	110
5.4 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre CO değerleri.....	111
5.5 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre NO değerleri.....	112
5.6 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre baca sıcaklığı değerleri.....	113

TABLolar DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ağaç malzemenin farklı sıcaklıklara gösterdiği tepkileri	11
2.2 İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların kullanım yerleri.	17
4.1 Ağaç malzemelerin özgül ağırlık değerleri	71
4.2 Isıl işlem sonrası ağaç malzemelerin özgül ağırlık değerleri	71
4.3 Sarıçam örneklerinin % ağırlık kaybı ortalama değerleri.	72
4.4 Sarıçam örneklerinde % ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.	73
4.5 Kayın örneklerinin % ağırlık kaybı ortalama değerleri.....	73
4.6 Kayın örneklerinde % ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	74
4.7 Meşe örneklerinin % ağırlık kaybı ortalama değerleri.....	75
4.8 Meşe örneklerinde % ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	75
4.9 % Ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.	76
4.10 Ağaç ve işlem türünün % ağırlık kaybına etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.....	77
4.11 Sarıçam örneklerinde üst sıcaklık ortalama değerleri.	77
4.12 Sarıçam örneklerinde üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	78
4.13 Kayın örneklerinde üst sıcaklık ortalama değerleri.....	79
4.14 Kayın örneklerinde üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analiz sonuçları	79
4.15 Meşe örneklerinde üst sıcaklık ortalama değerleri.....	80
4.16 Meşe örneklerinde üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.	81
4.17 Üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.	81
4.18 Ağaç ve işlem türünün üst sıcaklık etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.	82
4.19 Sarıçam örneklerinde % O ₂ ortalama değerleri.....	83
4.20 Sarıçam örneklerinde % O ₂ değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.	83
4.21 Kayın örneklerinde % O ₂ ortalama değerleri.	84
4.22 Kayın örneklerinde % O ₂ değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	85
4.23 Meşe örneklerinde % O ₂ ortalama değerleri.	85
4.24 Meşe örneklerinde % O ₂ değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	86
4.25 % O ₂ değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.	87
4.26 Ağaç malzeme ve işlem türünün % O ₂ etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.	87

TABLÖLAR DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.27 Sarıçam örneklerinde CO ortalama değerleri.....	88
4.28 Sarıçam ağaç malzemede CO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	89
4.29 Kayın örneklerinde CO ortalama değerleri.....	89
4.30 Kayın örneklerinde CO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	90
4.31 Meşe örneklerinde CO ortalama değerleri.....	91
4.32 Meşe örneklerinde CO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	91
4.33 CO değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.....	92
4.34 Ağaç malzeme ve işlem türünün CO etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.....	93
4.35 Sarıçam örneklerinde NO ortalama değerleri.....	93
4.36 Sarıçam örneklerinde NO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	94
4.37 Kayın örneklerinde NO ortalama değerleri (ppm).....	95
4.38 Kayın örneklerinde NO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	95
4.39 Meşe örneklerinde NO ortalama değerleri (ppm).....	96
4.40 Meşe örneklerinde NO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	97
4.41 NO değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.....	97
4.42 Ağaç malzeme ve işlem türünün NO etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.....	98
4.43 Sarıçam örneklerinde baca sıcaklığı ortalama değerleri.....	99
4.44 Sarıçam örneklerinde baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	99
4.45 Kayın örneklerinde baca sıcaklığı ortalama değerleri.....	100
4.46 Kayın örneklerinde baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	101
4.47 Meşe örneklerinde baca sıcaklığı ortalama değerleri.....	101
4.48 Meşe örneklerinde baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.....	102
4.49 Baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.....	103
4.50 Ağaç ve işlem türünün, baca sıcaklığına etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.....	103

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Santigrad derece
CaCl ₂	: Kalsiyum klorür
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
Cu ₂ SO ₄	: Bakır sülfat
g	: Gram
H	: Hidrojen
h	: Saat
kHz	: Kilohertz
KNO ₃	: Potasyum nitrat
Kcal	: Kilo kalori
m	: Metre
mA	: Miliamper
mm	: Milimetre
ms	: Milisaniye
mV	: Milivolt
Na ₂ B ₄ O ₇	: Sodyum tetra borat
Na ₂ O ₂	: Borat
Na ₂ SO ₄	: Sodyum sülfat
NO	: Azot monoksit
NO ₂	: Azot dioksit
OH	: Hidroksil
O ₂	: Oksijen
ppm	: Parts per million
V	: Volt
ZnSO ₄	: Çinko sülfat

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
A/D	: Analog/Dijital
D/A	: Dijital/Analog
DLL	: Dynamic Link Library
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy
LAM	: Lamine Ağaç Malzeme
LOI	: Limiting Oxygen Index
MAX.	: Maksimum Değer
MDF	: Orta Yoğunluklu Levha (Medium Density Fiberboard)
MİN.	: Minimum Değer
MOR	: Eğilme Direnci (Modulus of Rupture)
MOE	: Elastkiyet Modülü (Modulus of Elasticity)
MOR	: Eğilme Direnci (Modulus of Rupture)
ORT.	: Ortalama Değer
PCI	: Peripheral Component Interconnect
PVAc	: Polyvinyl Acetate Klorür
RTWT	: Real Time Windows Target
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ağaç malzeme, insanoğlunun çok eski çağlardan bugüne kadar her türlü ürün yapımında kullanmış olduğu bir hammaddedir. Günümüzde hızla artan dünya nüfusu ile insanoğlunun gelişen teknoloji ve yaşam standartlarına bağlı olarak artan ihtiyaçlarının yanı sıra bilinçsiz tüketim neticesinde doğal kaynaklar azalmaktadır. Bu durum üreticileri doğal kaynakları nasıl daha verimli ve çeşitli kullanabilecekleri yönünde çalışmalara girmeye zorlamaktadır.

Geniş kullanım yelpazesine sahip olan ağaç malzeme, her alana hitap edebilen, doğal ve yenilenebilir bir hammaddedir. Fiziksel, kimyasal ve mekaniksel olarak yapısına müdahale edilebilen yoğunluğuna oranla direnci yüksektir. Bununla birlikte kolay işlenebilmesi, ses elektrik ve ısı izolasyonu, akustik özellikleri, renk ve desen uyumu, üstyüzey işlemlerinin uygulanabilmesi, dekor anlamında kaliteli ve yetenekli olması ağaç malzemeyi, yapı malzemesi olarak vazgeçilmez kılmaktadır.

Ağaç malzeme bu üstün özelliklerinin yanında bazı istenmeyen özelliklere de sahiptir. Bunlar; organik bir madde olmasından dolayı bakteriler, mantar ve tahripçi böcekler ile oyucu deniz organizmaları tarafından kolayca tahrip edilebilir olması, higroskopik ve anizotropik yapısı nedeniyle içinde bulunduğu ortamın sıcaklığı ve bağıl nemine göre elde edeceği denge rutubeti miktarına bağlı olarak ortam ile rutubet alış verişinde bulunmasıdır. Ayrıca, ağaç malzeme bileşiminin karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle yanmaya müsait olmasıdır (Le Van ve Winandy 1990).

Ağaç malzeme hammaddesinin organik bir madde olması nedeni ile uygun şartların oluşması durumunda yanması önemli olumsuz özelliklerindedir. Ağaç malzemenin yanıcılığı dışındaki diğer olumsuz özellikleri sadece maddi kayıplara neden olurken, ağaç malzemenin yanması durumunda hayati tehlikeler de oluşmaktadır. Ağaç malzemenin yanması durumunda oluşan alevler ve gazlar insan hayatını tehdit etmekte ve ölümlere neden olabilmektedir (Terzi 2008). Bu nedenle ağaç malzemenin yanma özellikleri konusunda farklı yanma düzenekleriyle birçok

çalışma yapılmaktadır. Ancak ağaç malzemenin yanma özelliklerinin literatürdeki önemi göz önüne alındığında mevcut yanma düzenekleri gelişen teknolojiye ve artan isteklere cevap veremeyeceği düşünülmektedir.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalar bilgisayar kullanmaksızın verilerin gözlemlerle okunması ve kaydedilmesi şeklindeydi. Bu çalışma da ise oluşan hataların azaltılması ve yanma sürecinin etkin bir şekilde izlenmesi gerçekleştirilmektedir. Hataların tespit edilmesi ve deney performansının izlenmesi gerçek zamanlı olarak sağlanmaktadır. Bu sayede düzenek, ağaç malzeme koruma teknolojisi ve ağaç malzemenin yanma özelliklerinin belirlenmesi alanında kullanılabilir özelliklerine sahip olmaktadır. Ülkemizdeki ahşap yapıların yanmaya karşı korunmasıyla ilgili yapılacak çalışmalara laboratuvar imkanı tanıyacaktır.

Ağaç malzemenin modifikasyonunun tarihsel sürecinde gelinen en son teknoloji ısıtma işlem teknolojisi. Isıtma işlemi ağaç malzeme de görülen olumsuzlukların birçoğunu minimize etmiş, bir kısmını da ortadan kaldırmıştır. Son zamanlardaki ağaç sektöründeki gelişmelerle birlikte ağaç ürünlerine ilgi artmaktadır. Bu yönelimin en büyük faktörü de ısıtma işlem teknolojisi. Isıtma işlemi denge rutubetini düşürdüğü için ileride oluşabilecek eğilme, bükülme, çekme ve uzama (çalışma) gibi olumsuzlukları ortadan kaldırır.

Ağaç malzemenin ısıtma işlemi tabii tutulması bilimsel olarak ilk defa Almanya’da 1930’lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafında yapılmıştır. 1940’lı yıllarda Amerika’da White ve 1950’li yıllarda Almanya’da Bavendam, Rundel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman ve Schnoider 1960’lı yıllarda buldukları bilgileri yayınlamışlar ve bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır (Mayes ve Oksanen, 2002). Bu çalışmalar özellikle 1990’lı yıllardan sonra Finlandiya, Fransa ve Hollanda’da bilim adamları tarafından ele alınmıştır. Çoğu önemli; teorik ve bilimsel çalışmalar Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından yapılmıştır. Isıtma işlemi birkaç metotla (Hollanda–Plato yöntemi, Fransa–Retification ve Les Bois Perdure, Almanya–Yağla ısıtma işlemi, Finlandiya–ThermoWood) yapılmasına rağmen en çok kullanılan metot VTT tarafından geliştirilen “ThermoWood” olarak adlandırılan ısıtma işlemi yöntemidir. Günümüz ticarileşmiş tek yöntemde “ThermoWood” metodudur (Aydemir 2007).

Isıl işlemle ilgili yapılan çalışmalar daha çok bu malzemenin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin yanma özellikleri üzerine yeterli çalışma yoktur.

Bu çalışmanın amacı, bilgisayar kontrollü yanma deney düzeneği hazırlanması ve ısıl işlem görmüş ağaç malzemesinin yanma özelliklerinin belirlenmesidir. Bu sayede elle yapılan ölçme kaynaklı hataların en aza indirilmesi, yanma sonucu elde edilen parametrelerin arttırılması ve yanma sürecinin en hassas şekilde izlenmesi gerçekleştirilmesidir. Yapılan ölçümlerin gerçek zamanlı olarak bilgisayar ortamına aktararak kaydedilmesi sağlanmaktadır. Yanma işlemi boyunca ve bitiminde elde edilen verilerin işlenmesi ve analizlerin yapılması yine bilgisayar ortamında gerçekleştirilmekte, elde edilen veriler tablo ve grafiklerle sunulmaktadır. Ölçüm sonucu kaydedilen tüm verilerin daha sonra yapılacak yanma çalışmalarında faydalanılmak üzere depolanması sağlanmaktadır.

Bu amaçla, ısıl işlem görmüş sarıçam, kayın ve meşe odunları geliştirilen bilgisayar kontrollü yanma düzeneğinde yakılmıştır. Elde edilen sonuçlara SPSS istatistik paket programı kullanılarak çoklu varyans analizi uygulanmıştır. Faktörlerin karşılıklı etkileşiminin % 5 hata payı ile anlamlı çıkması halinde anlam derecesini belirtmek için Duncan testi uygulanmıştır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 AĞAÇ MALZEMENİN YANMA ÖZELLİĞİ

Ağaç malzemenin ısı etkisiyle bozunduğu, insanoğlunun ateşi keşfinden bu yana bilinmektedir. Termik bozunma, ısı ve ışık sağladığı için geçmişte olumlu bir işlem olarak görülmüştür. Günümüzde de ağaç malzemedен ısı ve ışık kaynağı olarak zorunlu veya zevk için (şömine ve kamp ateşi) yararlanılmaktadır (Baysal 1994).

Maddenin, ısı ve oksijenle birleşmesi sonucu oluşan kimyasal olaya yanma denir. Yavaş yanma; yanıcı maddenin bünyesi itibariyle, yanıcı buhar ve gaz meydana getirmediği, yeterli ısının olmadığı, yeterli oksijenin olmadığı halde gerçekleşen yanmadır. Hızlı yanma; yanmanın bütün belirtileri ile olduğu bir olaydır. Belirtileri alev, ışık, ısı ve korlaşmadır. Parlama-Patlama şeklinde yanma; kolayca ateş alan maddelerde parlama görülmektedir. Bir anda parlayarak yanan maddeler çeşitli gazlar halinde gelmekte ve son derece büyük bir hacim genişlemesine uğrayarak etrafını zorlamakta ve patlamalar oluşmaktadır. Kendi kendine yanma; yavaş yanmanın zamanla hızlı yanmaya dönüşmesidir (Esen 2009).

Alevlenebilen bir malzeme olan ağaç malzeme, yeterli ısı ve atmosferde yeterli oksijenle bulunduğu yanmaya başlar. Yanma kılavuzlu ve kılavuzsuz olarak iki şekilde meydana gelir. Kılavuzlu yanma kıvılcım ya da alev gibi kaynağının bulunduğu durumlarda meydana gelir. Kılavuzsuz yanma kaynağı da yanma kaynağının bulunmadığı durumdur. Ağaç malzemenin yüzeyindeki yanma enerji akışından ya da alev veya ısıtılmış kaynaklardan dolayı oluşan ısı değişikliğinden meydana gelir. Bu enerji akışı ya da ısı değişimi, her ikisi de ısı ve ışın bileşimlerine sahip olabilir (White ve Diätenberger 1999).

2.1.1 Termik Bozunmanın Olumsuz Yönü: Yangın

İnsanoğlunun yaşamına, yıldırım düşmesi sonucunda veya kuru ağaç dallarının birbirine sürtünmesi sonucu giren ateş, yaşıntımızın çok önemli bir parçası olmuştur. Medeniyetin bugünkü aşamaya gelmesinde ateşin yeri tartışmasız büyüktür. Bu olumlu yönlerine karşın denetimden çıktığı andan itibaren ateş, yangını oluşturur (Kordina vd. 1977).

Yanma; en genel anlamda yanıcı denen bir maddenin yakıcı olarak adlandırılan bir başka madde ile birleşmesi sonucunda ısı vererek meydana getirdiği olayların tümüdür. Yakıcı, çoğunlukla oksijen veya oksijen içeren bir başka maddedir. Başka bir tanımlamada ise yanma; malzemenin alev, ışık ve ısı özellikleri gösteren ve çevresine ısı vererek hızlı bir şekilde oluşan oksidasyonu veya tutuşma sıcaklığına kadar ısı almış bir cismin oksijenle birleşmesine denir. Bir maddenin yanabilmesi için havanın en az % 14 - % 18 oksijen içermesi gerekir. Normal şartlar altında havadaki oksijen oranı % 21 dir (Gökmen 1965). Yangın ise "zaman ve mekanda kontrol dışı gelişen yanma olgusudur (Sunar 1983).

Yangın hemen hemen her yapıda meydana gelebilecek büyük bir tehlikedir. Hatta, yangına karşı en iyi bir şekilde korunmuş olan ahşap yapılarda dahi yangın tehlikesi tamamen ortadan kaldırılamamaktadır. Yangının felaket olarak nitelendirilmesi hiç kuşkusuz onun kontrol dışı bir olgu olmasından ileri gelmektedir. Yalnız, yangın biz insanlar için devamlı bir tehdit ve tehlike unsuru olmasına rağmen toplum nazarında felaket olma görünümünü, neden olduğu can kayıpları ve maddi zararlar sonucu ortaya koyar. Yangın, tabii afetler içerisinde düşünülmesi gereken önemli bir konudur. Geçmişte meydana gelen yangınlar can ve mal kayıplarının yanı sıra şehir dokularının bile değişmesine sebep olmuştur. Günümüzde de görülen bu sorun önemli derecede mal ve iş gücünü yok etmekte, manevi değeri ölçsüz tarihi öneme sahip kültürümüzün seçkin örnekleri yangınlarla birer birer yitirilmektedir (Uysal 1997).

Ağaç malzeme ısıya ve havaya maruz kaldığında yanacaktır. Ahşabın termal bozunması aşamalar halinde meydana gelir. Bozunma prosesi ve termal bozunma ürünlerinin tümüyle ortaya çıkması ısı oranına ve sıcaklık değerine bağlıdır. Ahşabın tutuşması sırasında meydana gelen olaylar zinciri şöyledir.

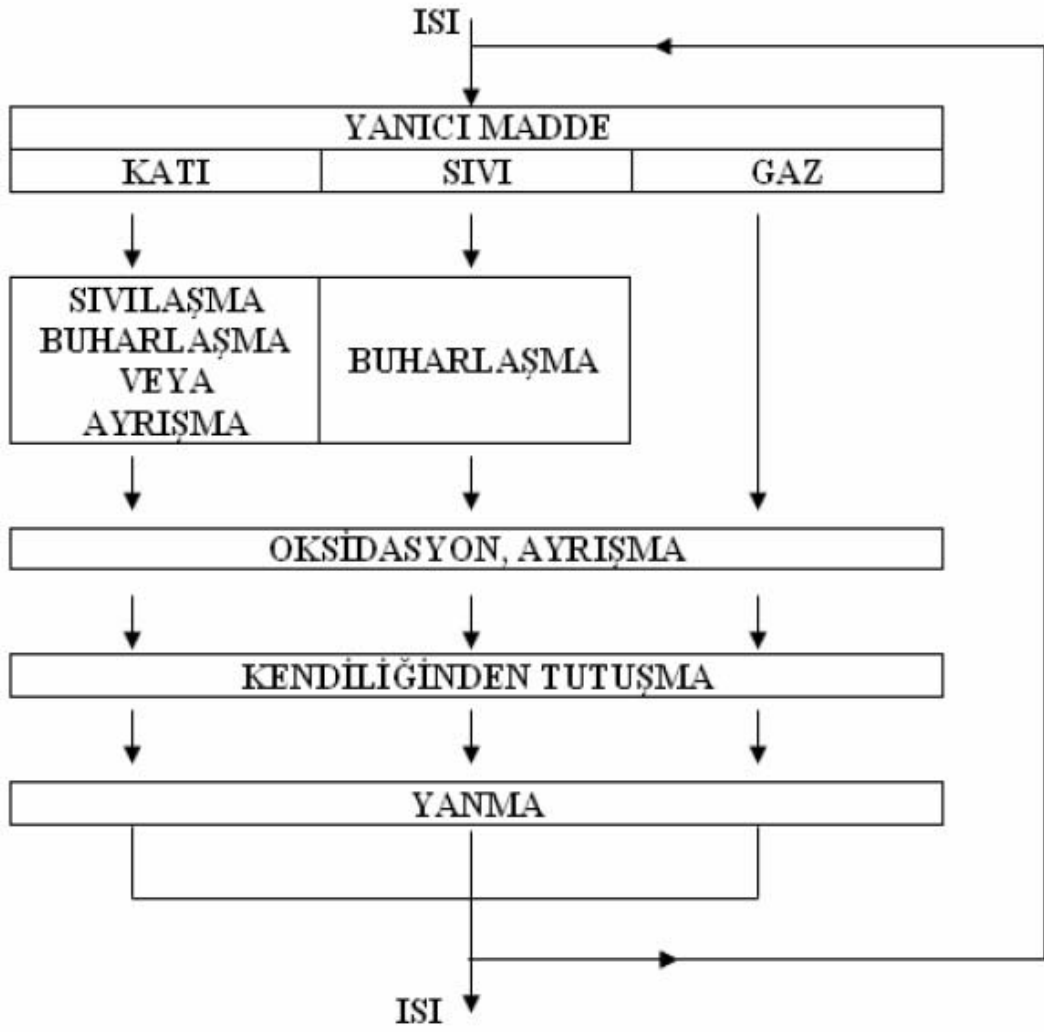
Şekil 2.1 'de belirtildiği gibi bir yanma olayının meydana gelebilmesi için;

- Yakıt,
- Oksijen,
- Isı unsurunun tutuşma sıcaklığına ulaşmış olması gerekmektedir (White ve Dietenberger 1999).



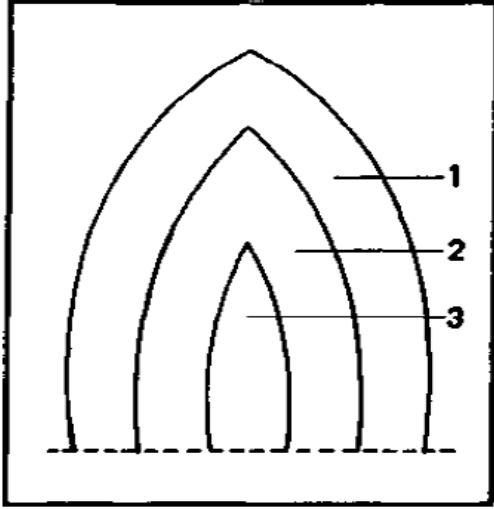
Şekil 2.1 Yangın Üçgeni

Yanma esnasında sadece gaz halindeki yanıcı maddelerin etkili olmaları nedeni ile, katı ve akıcı maddeler önce ısısız değişimlere uğrarlar. Yanma olayının ısı gelişimi Şekil 2.2' de gösterilmiştir (Uysal 1997).



Şekil 2.2 Yanma Olayının Isı Gelişimi(Uysal 1997).

Yanma esnasında görülen alevin oksijen alan dış yüzeyi parlayan, ışık saçan gaz akımıdır. Bu yanma bölgesi altında tam bir yanmanın olmadığı parıldama bölgesi ve çekirdekte ise halen yanmaya girmemiş yanıcı gazlar mevcuttur (Uysal 1997).



- 1- Parlama Bölgesi
- 2- Parlama-Kısmi Yanış Bölgesi
- 3- Gaz Bölgesi

Şekil 2.3 Bir alevdeki gaz ve yanma bölgeleri.

Yangınlar çoğunlukla konutun içerisinde bulunan eşyalardan başlamaktadır. Direkt olarak konutun ağaç malzeme kısmından başlamamaktadır. Ancak, konut içerisinde başlayan yüzeysel yangınlarda sıcaklık çok kısa zamanda yüksek derecelere ulaşarak çevredeki her türlü eşya, malzeme ve yapının konstrüksiyonun da yangının başlamasına neden olmaktadır. Böylelikle tehlike ve zarar çok büyük boyutlara ulaşmaktadır (Uysal 1997).

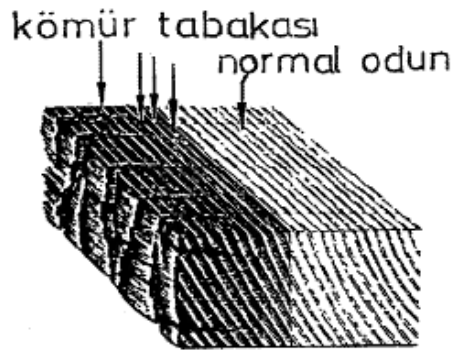
2.1.2 Sıcaklığın Ağaç Malzemeye Olan Etkisi

Sentetik polimerlerden farklı olarak ağaç malzeme, homojen olmayan ve aynı zamanda da anizotropik bir maddedir. Organik bir madde olan ağaç malzemedeki en çok bulunan dört elementin miktarları yaklaşık olarak $C = \% 48 - 51$, $O = \% 43 - 45$, $H = \% 5 - 7$, $N = \% 0,2$ ' dir (Fengel ve Wegener 1984). Bu değerler yakma analizleri sonucunda elde edilmiştir. Türkiye'de yetişen ağaçların odunları $\% 0,1-0,5$ oranlarında inorganik madde içermektedir (Yılgör 1993). Ağaç malzeme, yüksek molekül ağırlığına sahip doğal polimerlerin kompleks bir karışımıdır. Bunların en önemlileri selüloz ($\% 50$), hemiselüloz ($\% 25$) ve lignin ($\% 25$) olup, bu dağılımlar türden türe değişmektedir (Madorsky 1964). Hücre çeperi incelendiğinde çeperin farklı boyut ve özellikteki tabakalardan oluştuğu görülmektedir. Hücre çeper tabakaları, selüloz fibrillerinin farklı şekilde düzenlenmiş olmaları ve kimyasal bileşenlerinin farklı olması nedeni ile birbirinden ayrılmaktadır (Fengel ve Wegener 1984).

Ağaç malzemenin yukarıda açıklanan kompleks yapısı yanma davranışının matematiksel bir fonksiyon olarak açıklanmasını zorlaştırır. Ağaç malzemenin özellikleri lif yönü ile birlikte

değişmektedir. Örneğin liflere paralel termal iletkenlik değeri liflere dik iletkenlik değerinin yaklaşık iki katıdır. Gaz permeabilitesinde daha da büyük farklar vardır. Liflere paralel yöndeki gaz permeabilitesi, liflere dik yöndeki gaz permeabilitesinin 103 katıdır (Roberts 1971). Dolayısı ile uçucu maddelerin odundan lif yönü doğrultusunda uzaklaşmaları daha kolaydır. Yanan bir tomruk enine kesitinde oluşan yoğun alevlerin nedeni de yanıcı uçucu gazların bu noktalardan olan yoğun çıkışıdır (Drysdale 1998).

Ağaç malzemenin yanabilirliği yanında, yanma hızı ve derecesi özel bir öneme sahiptir. Yanma olayı oksijen yokluğunda gerçekleşmediğinden geniş enine kesitli ağaç malzeme yüzeyinde yavaş bir yanma olduktan sonra kömürleşme başlar. Sıcaklık yükseldiğinde, malzemenin yüzeyde tutuşarak yanan gazlar çıkar. Sıcaklık daha da arttığında yüzeyde kömürleşme (charring) başlar (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Ağaç malzemedeki kömürleşmenin (charring) oluşumu.

Yangın geciktirici maddeler ile işlem görmüş ağaç malzemenin kömür tabakasının mikro yapısal incelemesi yapıldığında; işlem görmemiş ağaç malzemeye göre farklı kömürleşme olduğu, bu kömürleşme içerisinde yangın geciktiricilerin makro parçalarının bulunduğu bu parçaların oluşumu, kömürleşme derecesi ve kömürün görünümü üzerinde etkili olmaktadır (Zicherman vd. 1982).

Ağaç malzemedeki kömürleşme derecesi, boyutlarındaki azalma olarak değerlendirilirken, bir yandan diğer tarafa doğru yanma hızı ağırlık kaybı olarak dikkate alınmaktadır. Büyük yapısal elamanlarda kömürleşme derecesi (charring rate), boyutların taşıdığı yüke destek olması nedeniyle önem taşımaktadır. Kömürleşme derecesi; detaylı dizayn yanında ısı iletkenliği ve yoğunluğu gibi tasarımda göz önüne alınması gereken iki faktöre bağlıdır (Yalınkılıç 1993).

Russell vd. (2004) ağaç malzemenin termal degradasyonunu 3 kademeli olarak açıklamaktadır. Birinci aşamada ağaç malzemenin pirolizi ya da ısınması ile kömür (katı kalıntı), katran (sıvı kalıntı) ve gazlar oluşmaktadır. Ağaç malzemenin tipi ve yanma koşullarına bağlı olarak gaz fazındaki madde miktarı artmaktadır. İkinci aşamada ise uçucu gazların oksijen ile reaksiyonu gerçekleşmektedir. Reaksiyonun gerçekleşmesi için uygun bir tutuşturucu kaynağın olması gerekmektedir. Üçüncü aşamada ekzotermik reaksiyon sonucunda oluşan ısı katı ağaç malzeme/kömür'ün pirolizinin devam etmesini sağlamaktadır. Böylece daha fazla miktarda uçucu madde açığa çıkmaktadır. Dolayısı ile oluşan ısı tekrar ağaç malzeme yüzeyine dönmekte ve bir döngü oluşturmaktadır. Bu döngü ağaç malzemenin etrafının tamamen kömür ile kaplanıp bütün olası gazların çıkışına kadar devam etmektedir. Russell vd. (2004) ağaç malzemenin farklı sıcaklıklara gösterdiği tepkileri Tablo 2.1'de özetlemiştir.

Tablo 2.1 Ağaç malzemenin farklı sıcaklıklara gösterdiği tepkileri (Russell vd. 2004).

Sıcaklık (°C)	REAKSİYONLAR
100-200	Ağaç malzeme düzenli olarak ağırlık kaybeder ve CO ₂ gibi yanıcı olmayan gazlar, az miktarda formik asit, asetik asit ve su buharı meydana gelir.
160	Lignin'in bozunmasıyla birlikte ağaç malzeme yüzeyinde kömürleşmiş tabaka oluşumu başlar.
200-260	Ekzotermik reaksiyonlar başlar. Parçalanma ürünleri olan gazların ve yüksek kaynama noktasına sahip katran oluşum miktarının artması ekzotermik reaksiyonların başlamasının işaretidir. Ayrıca, düşük kaynama noktasına sahip hidrokarbonların açığa çıktığı alanlarda yanma görülür.
275-280	KontROLSÜZ olarak yüksek miktarda ısı açığa çıkar. Metanol, etonoik asit ve bu maddelerin homologları olan gaz ve sıvı ürünlerde artış olur.
>280	Gaz çıkışı ve kömürleşmiş tabaka oluşumu hızlanır. 280–320 °C pik sıcaklık aralığında reaksiyonlar oldukça ekzotermiktir.
>300	Eğer bu noktada yeterli oksijen varsa gaz karışımı tutuşur. Yanma, ağaç malzemenin kendi yüzeyinden ziyade yüzeyin biraz üzerinde gaz fazda devam eder. Bu noktada ısı kaynağının ortamdaki uzaklaştırılmasından sonra da ağaç malzeme yanabilir. Ağaç malzeme, özelliğine bağlı olarak 300–400 °C sıcaklık aralığında tutuşur. Yanma bütün ağaç malzeme bileşenlerinin ve uçucu gazların yanmasına kadar devam eder. Yanma yaklaşık 450 °C sıcaklığa kadar devam eder.
>450	Geriye kömür kalır. Karbondioksit, karbonmonoksit ve suyun okside olması ile degradasyon daha da ileri gider.

200 °C'nin üzerindeki sıcaklık derecelerinde malzemede oluşan termik olaylar, hızlı piroliz, tutuşma, yanma, korlaşma veya kor halinde yanma, alevlenme veya alevin yayılması, duman ve zehirli gazların oluşumudur (Uysal 1997).

500 °C sıcaklık seviyesi üzerinde ağaç malzeme hızlı termal bir bozunmaya uğramaktadır. Hızlı termal bozunma sonucunda ağaç malzeme biyolojik bir yakıtta dönüşmektedir. 500 °C ile 1300 °C sıcaklıklar arasında ağaç malzeme katranı, kömür ve gazlardan oluşan birçok ürün elde edilmektedir (Şahin 2005).

Ağaç malzemeler yanma için gerekli olan oksijeni sağlayan çevrede belirli yüksek sıcaklık şartlarına maruz kaldıklarında tutuşurlar. Bu dış etkiler neticesinde çözünme ve ayrışmayla malzeme gaz ve kömür kalıntısına dönüşür. Bu etkiler neticesinde ısıl çözünmeden sonra, kömür yerinde yanabilir veya alevli yanarak veya için için yanarak dağılabilir. Çıkan gazlar havadaki oksijene karışarak yanma aleviyle birleşir. İçin için yanma alevli veya alevsiz olarak ilerler böylece termal bozunmanın işareti olarak etkilenmiş kısımlarda bir kaç dakika içerisinde ağırlık kaybıyla birlikte bir renk değişmesi olur (Forest 1987).

Tutuşma iki şekilde gerçekleşir. Bunlar; kontrollü ve kontrolsüz tutuşmadır Kontrollü tutuşma, termal bozunma neticesinde çıkan gazlar için tutuşma kaynağı olarak hizmet gören bir alevin bulunmasıdır. Tutuşma şekli tutuşma olayının anlaşılması bakımından önemlidir (Forest 1987).

Birçok faktörün tutuşma üzerinde etkili olmasından dolayı, ağaç malzemenin belirli bir tutuşma sıcaklığı yoktur. Bunun için bütün olaylara tatbik edilecek özel bir tutuşma değerini vermek mümkün değildir. Selülozik maddelerin, yayılan (radiant) ısıtması için kontrolsüz geçici tutuşma 600 °C olarak belirlenirken, kontrollü geçici tutuşma 300 °C-410 °C belirlenmektedir. Sürekli alevli tutuşma 320 °C'den daha yüksek sıcaklıkta elde edilebilir. Ağaç malzemenin konveksiyonel ısıtılması ile kontrolsüz tutuşma 270 °C'ye kadar düşer (Forest 1987).

Havadaki oksijen miktarının oranının artması yanma sıcaklığına varıncaya kadar geçen süreyi azalmaktadır. Pirolizde oksijensiz ortamda gerçekleşen yanmadaki ısı, oksijen varlığında yanmaya dönüştüğünden kontrol altına alınamaz ve tahripkar bir hal alır (Uysal 1997). Ağaç malzemenin şekli, yanmanın derecesi ve kendi kendine devamı üzerine öncelikle etki etmektedir. Yanma bir yüzey olayıdır, bu nedenle malzemede yüzey/hacim oranı önemlidir. Piroliz gazlarının hızlı çıkışı, oksijenin malzeme yüzeyine yaklaşımını ve kömürleşmeyi engeller. Alevlenme ağaç malzeme yüzeyinden dikkate değer oranda bir uzaklıkta ve çoğu kez gaz fazında oluşur. Yüzeyde kömürleşme olduğu takdirde, bu tabaka alt kısımlardaki ağaç

malzemenin alevli ısıdan izolasyonunu sağlar. Alev kaynağı olan uçucu gazların yüzeye çıkması engellenirse ve herhangi bir dış tutuşturucu kaynak da yok ise yanma durur(Baysal 1994).

2.1.3 Yangının Yapı Malzemelerine Etkileri

Yangın ortamında bulunan yapı elemanları (kolon, kiriş, döşeme, duvar vb.) ile yapı malzemeleri (kaplamalar, mobilyalar, döşemeler vb.), yangının klasik ısı transferi yöntemleriyle tutuşmaya uğrarlar. Bu durum yangın şiddetini arttıran önemli bir unsurdur. Teknoloji geliştikçe çeşitlenen yapı malzemelerinin kimyasal yapılarının özellikleri dikkate alındığında, yangın gelişiminin kolaylaştığı görülebilir. Bu durumun aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de birincil derecede olumsuz etkileri gözlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yangın sonucu ölümlerin % 70 - 75' inin, oluşan duman ve dumanın zehirlilik gücü (lethat effect) ile dumanın diğer ölümcül etkilerinden (sublethal effect) kaynaklandığı rapor edilmektedir (Gann vd. 2001).

Bu gerçeklerden hareketle, yangınla mücadele kavramının yanında yangın güvenliği kavramı hızla gelişmektedir. Yangın güvenliği kavramının temel mantığı, yangının çıkma olasılığını ve yangın çıktıktan sonra yayılmasını mümkün olduğunca engellemeye dayanmaktadır. Özellikle bina yangınlarında geliştirilen önlemler aktif ve pasif güvenlik önlemleri olarak iki gruba ayrılmıştır. Aktif güvenlik önlemleri ağırlıklı olarak yangınla mücadeleye yönelik sistem ve malzemeleri kapsamaktadır. Pasif güvenlik önlemleri ise, bina tasarım aşamasından itibaren can güvenliğinin ve tahliyeye yönelik alınan önlemleri ifade etmektedir (Küçük 2001).

Yangın hemen hemen her yapıda meydana gelebilecek büyük bir tehlikedir. Hatta yangına karşı en iyi bir şekilde korunmuş olan ahşap yapılarda dahi yangın tehlikesi tamamen ortadan kaldırılamamaktadır. Binalarda yapı şekillerinin yangında önemli etkileri bulunmaktadır. Ağaç yapılar genel olarak üç kategoride toplanırlar (White 1985).

1. Ağır ve büyük boyutlu ahşap yapılar
2. Orta boyutlu ahşap yapılar
3. Küçük boyutlu hafif ahşap yapılar

Bu yapı sınıflarının içerdiği ahşap elemanların durumuna göre yangının yayılma hızı da değişik olmaktadır. Ağaç malzemenin her ne kadar önemli dezavantajlarından birisi tutuşabilmesi ise de, yanma ancak yanabilen bir materyalin oksijen varlığında yeterli bir ısı etkisinde bırakılması ile gerçekleşir. Oksijen, ısı kaynağı ve yanabilir madde üçlüsünden birinin olmaması durumunda tutuşma olmaz (Kollman ve Cote 1968).

Ağaç malzemenin yanabilir olmasına karşın, diğer yapısal materyallere oranla yangına katkısının minimum düzeyde olduğu ve yangının ilk aşamalarında da olsa mükemmel bir direnç özelliği gösterdiği bilinmektedir. Yangının yayılmasına karşı ağaç malzeme yüksek direnç gösterirken, önemli bir tahribat veya direncinde hızlı bir azalma gözlenmemektedir (Richardson 1978).

Diğer organik maddelerde de olduğu gibi ağaç malzemede de oksijen, malzemenin kimyasal yapısındaki karbonu yakmakta ve bu arada bir yanma ısı meydana gelmektedir. Yangın karşısında 70 °C ye kadar kuruma 270 °C ye kadar CO, CO₂ ve buhar çıkışı meydana gelir. Tutuşma sıcaklığı 250 °C -300 °C dir (Eriç 1985).

Ağaç malzemede ısı iletkenlik katsayısının küçük oluşu ve bunun yanısıra kesitinin artmasıyla da tutuşma gecikir. Yanmayla birlikte dış yüzeyinden başlayarak çevresel kömürleşme başlar. Kömür tabakası kalınlaştıkça ısının içeri girip kritik dereceye erişmesi o ölçüde zorlaşır. Çünkü, odun kömürü ısıyı kötü iletir (0.03 K.Cal /m h °C). Bu kömür tabakası, kesitin içerisinde kalan kısmın uzun süre yangına karşı dayanıklı kalmasını sağlamaktadır (Erşen 1986). Ağaç malzeme tutuşma sıcaklığına eriştikten sonra ortaya çıkan gazlar oksijenle birleşerek uzun alevli bir yanmaya dönüşür. Reçine oranının fazla olması yanmayı hızlandırıcı rol oynar. Yanma süreci içinde sıcaklığın artması daha çok gaz çıkarmasına ve yangının devamına yol açar (Eriç 1978).

Binalarda kullanılan yapı elemanlarının ve malzemelerinin yangın dayanımlarının arttırılmaları da pasif güvenlik önlemleri kapsamında değerlendirilen çalışmalardır. Bu alandaki çalışmalar başlıca iki nokta üzerinde yoğunlaşmaktadır. Malzemelerin yanma düzeyleri ile ilgili standartları geliştirmek, zor yanar malzemelerin kullanımını kolaylaştırıp yaygınlaştırmak ve malzemelerin yanması sonucu oluşan zararlı gazların tespit edilip insan sağlığı üzerindeki etki mekanizmalarını aydınlatmak. Yapı elemanları ve malzemelerinin yangın dayanımlarının arttırılması sonucu, binaların yapısal çökmelere karşı daha dirençli

olacağını, yanma sonucu oluşan dumanın, zehirliliğinin kompleks yapısının ve yangın şiddetinin azalacağını düşünmek olasıdır. Özellikle yangın dumanlarının zehirliliği yaklaşık kırk yıldır araştırılan bir konudur ancak bu konuda henüz tüm taraflar açısından kabul edilmiş tek bir model geliştirilmemiştir (Gann vd. 2001).

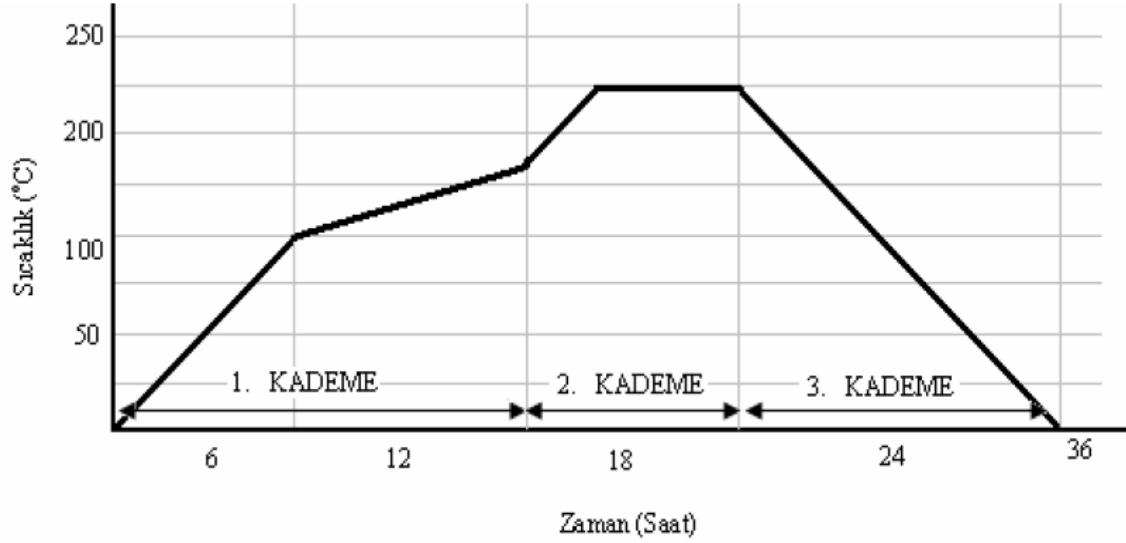
2.2 ISIL İŞLEM YÖNTEMİ

Ağaç malzemenin endüstriyel ölçekte ısıtım işlem muamelesi VTT tarafından geliştirilmiş olan “ThermoWood” olarak adlandırılan bir yöntemdir. ThermoWood üretim işlemi 3 kademe gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.5). Bunlar:

Kademe 1 (Kurutma Fazı); Isıtım işlemde en fazla zaman alan fazdır. Bu faz ayrıca, yüksek sıcaklıkta kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Kuruma fazının başlangıcında ağaç malzeme kuru veya yaş halde olabilir. Başarılı bir kurutmada iç çatlamların olmaması önemlidir. Sıcaklık artırılarak su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta kurutma yapılır. Burada önce ağaç malzemenin sıcaklığı hızla 100 °C’ye çıkarılır, daha sonra yavaşça 130 °C’ye kadar yükseltilir. Aynı zaman da ağaç malzeme de çatlakları önlemek için, ağaç malzeme de ön koruma amaçlı su buharı tatbik edilir. Nem miktarı hemen hemen sıfıra indirilir.

Kademe 2 (Isıtım işlem Fazı); Birinci evreyi takiben ısıtım işlem prosesi seviyesine bağlı olarak sıcaklık 185–215 °C’ye kadar yükseltilebildiği kapalı odalarda yapılmaktadır. Yanmasını engellemekte kullanılan gaz hem ağaç malzemenin korunmasında hemde ağaç malzemedeki gerçekleşen kimyasal değişime etkisi bulunmaktadır. Isıtım işlem 2–3 saat içerisinde gerçekleşmektedir.

Kademe 3 (Kondisyonlama); Ağaç malzeme ısıtım işleminden sonra bir kontrol yolu olarak soğutulur. Burada ağaç malzeme ve dış hava arasındaki yüksek sıcaklığın sebep olabileceği çatlamalardan dolayı bu basamak titizlikle takip edilmelidir. Muamele sıcaklığına ve keresteye bağlı olarak Kondisyonlama 2–5 saat arasında yapılabilir (Aydemir 2007).



Şekil 2.5 Isıl işlem diyagramı (Mayes ve Oksanen 2002).

Isıl işlem süresince kullanılan enerjinin % 80'i 1. Kademede Kurutma için kullanılmaktadır. Bu kullanılan enerji klasik kereste kurutma prosesinde kullanılan enerjinin sadece % 25'ini oluşturmaktadır. Ayrıca, ısıl işlem yönteminde hiçbir kimyasal gerektirmeyip sadece su ve ısı enerjisi kullanılmaktadır (Mayes ve Oksanen 2002).

2.2.1 Isıl İşlem Yönteminin Sınıflandırılması ve Kullanıldıkları Yerler

İğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinde özelliklerine göre farklı sınıflandırma yapılmaktadır. Isıl işlem 2 standart muameleye göre sınıflandırılır. Bunlar: Thermo-S ve Thermo-D olarak 2'ye ayrılırlar:

Thermo-S; S harfi kararlılık (stability) anlamına gelmektedir. Kararlılık bu tür ürünlerin son kullanım yerinde anahtar bir özelliktir. Ortalama rutubetten dolayı teğet yönde ki şişme ve daralma Thermo-S sınıfı muamele edilmiş ağaç malzemede % 6-8 arasındadır.

Thermo-D; D harfi direnç (Durability) anlamına gelmektedir. Bu ürünlerin karakteristik özellikleri biyolojik zararlılara karşı direnç anahtar bir özelliktir. Ortalama nemden dolayı teğet yönde şişme ve daralma Thermo-D sınıfı ısıl işlem görmüş ağaç malzemede % 5-6 dolaylarındadır.

Thermo-S ($190\text{ °C} \pm 3$) ve Thermo-D ($212\text{ °C} \pm 3$) iğne yapraklı ağaçlar için muamele sınıfıdır. Yapraklı ağaçlar için ise ($185\text{ °C} \pm 3$) ve ($200\text{ °C} \pm 3$) kadardır. İğne yapraklı ağaçlar

ve yapraklı ağaçlar için Thermo-S ve Thermo-D kullanım yerleri Tablo 2.2’de verilmiştir (Mayes ve Oksanen 2002).

Tablo 2.2 İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların kullanım yerleri.

İğne Yapraklı Ağaçlar	
Thermo-S	Thermo-D
Bina Yapımı Duvar ve Tavan Panelleri Mobilyalarda Bahçe Mobilyalarında Kapı ve Pencerelelerde Saunada Çatılarda Kaplamalarda Panjurlarda	Kaplamalarda Dış Birleştirmelerde Panjurlarda Ses Bariyerlerinde Sauna ve Banyo Kaplamalarında Gemi Güvertelerinde Bahçe Mobilyalarında Diğer Dış Ortam Yapılarında Çatı Şeritlerinde
Yapraklı Ağaçlar	
Thermo-S	Thermo-D
Duvar ve Tavan Panelleri Mobilyalarda Bahçe Mobilyalarında Tavanlarda Saunada	Thermo-S ile aynı kullanım yerlerine sahiptir. Tek farkı daha koyu bir renk istenir ise Thermo-D kullanılmalıdır.

2.2.2 Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Özellikleri Üzerine Etkisi

Isıl işlem görmüş keresteler arasında doğal farklılıktan dolayı özelliklerindeki değişimlerde farklı olabilmektedir. Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri kalıcı bir şekilde değişir. Özelliklerdeki değişim tamamen hemiselülözün termik degradasyonundan dolayı meydana gelmektedir. İstenilen değişimler yaklaşık olarak 150 °C’de elde edilmeye başlanır ve bu değişimler her kademedeki sıcaklığın artırılmasıyla devam eder. Sonuçta nemden dolayı oluşan şişme ve büzülme düşer, biyolojik direnç artar, renk koyulaşır ve ağaç malzemenin birçok ekstraktif madde uzaklaşmış olur. Isıl işlemde sıcaklık en önemli etkidir. Ancak ağaç türü, ısıl işlem süresi, işlem atmosferi, basınç, rutubet miktarı ve sıcaklığın eşit dağılımı sonuca doğrudan etkisi bulunmaktadır (Viitanen vd. 1994). Ağaç malzemenin termal bozunması 100 °C sınırından itibaren başlamaktadır. 200 °C’nin üzerinde yapısal hasar, ağaç malzeme bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve gaz fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. 270 °C’nin üzerinde ağaç malzemenin piroliz ve yanma olayı başlamaktadır (Fengel ve Wegener 1989).

2.2.2.1 Isıl İşlem Süresince Meydana Gelen Kimyasal Değişimler

Ağaç malzemenin yüksek sıcaklıklarda muamele sürecinde hemiselülozların, diğer makro moleküler bileşenlerden daha fazla degrade olduğu kabul edilir. Fakat selüloz ve lignin direncini belirlemek zordur. Genellikle polisakkaritlerin kaybı özellikle 180 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda başlamaktadır. Fakat bu durum muamele şartlarına bağlı olarak değişebilir. Farklı bileşiklerin degradasyonlarının net oranları kullanılan deney metotlarına bağlıdır. Bu alandaki çalışmaların çoğunda makromoleküler bileşenlerin nispi oranlarını belirlemek için standart gravimetrik analiz metodu kullanılmıştır (Beall 1969; 1971).

Termal analiz tekniğinin kullanımı sonucunda elde edilen veriler; deney parametrelerinin, özellikle ısıtma ve atmosfer kadar materyallerin hazırlanmasına da bağlı olduğunu göstermiştir. Ağaç malzeme yüksek sıcaklıkta ısıtılırken 140 °C altındaki sıcaklıklarda su ve uçucu ekstraktiflerin kaybıyla yoğunlaşabilen parçacıkların oluşumu başlar. Bu sıcaklıkların üzerinde hücre duvarı polimerlerine bağlı olan daha gevşek yapılardan oluşan selülar parçalanma ürünlerinin oluşumu çok daha önemlidir. Bu durum özellikle hemiselülozun parçalanmasıyla meydana gelen asetik asit formasyonundan dolayı kaynaklanmaktadır. Bunun yanında ağaç malzeme ısıtmaya devam ederken yoğunlaşan gazların (özellikle CO₂) oluşumu kadar formik asit ve metanolün de bu şekilde etki yapabilmektedir. 140 °C sıcaklıkların üzerinde “suyun yapı taşı” olarak adlandırılan dehidrasyon reaksiyonlarının oluşumu başlar. OH içeriğinde düşüş meydana gelir ve sıcaklığın artmasıyla başlayan bu durumun çok daha önemli olduğu düşünülmektedir. Sıcaklık artarken CO ve CO₂ ayrıca, oluşan gazlar içerisinde belirlenmiştir (Bourgois ve Guyonnet 1991).

Ağaç malzeme de 270 °C sıcaklıkta ekzotermik reaksiyonların gerçekleşmesi ile reaksiyon kinetiklerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Artan sıcaklıklar süresince oluşan reaksiyonların doğasında açık bir değişim belirlenmiştir. Oksitlenmenin olduğu şartlar altında ki ısıtma da karbonil içeren grupların sayısında bir artış gözlenmiştir. İç atmosferdeki veya sıcaklıklardaki düşüş oksijen içerikli bileşiklerin kaybolmasına yol açarken, OH içeriğinde düşüş olmasına rağmen karbonil fonksiyonlarında çok küçük bir artış olabilmektedir. Oksijen ortamında ağaç malzemenin ısıtılması ilerleyen ısıtma süresince karbonil içeriğindeki artışı takiben bir düşüş meydana gelebilmektedir (Chow 1971). Bu düşüşün oksidasyon karboksilasyonundan dolayı gerçekleşen artışlarla ester bağlı ve karboksil içerikli gruplardaki düşüslere katkısı vardır. Karbonil band yoğunluğundaki düşüş nitrojen ortamında ısıtma

yapıldığında belirlendi. Bu durum daha uzun muamele zamanlarında daha da netleşmektedir (Bourgois ve Guyonnet 1991).

Su ya da buhar varlığında ağaç malzemenin ısıtılması organik asitlerin oluşumunu hızlandırılmasıyla sonuçlanır (ilk oluşan asetik asittir) ki bu durum hemiselülozların hidrolizini ve amorf selülozun daha küçük boyutlarda kataliz olmasına yol açar. Bu asitlerin oluşumu asit varlığında daha da artmaktadır (ıslak oksidasyon). Fakat muamele boyunca buhar olarak suyun verilmesi oksidatif oluşumunu engelleyebileceği ifade edilmektedir. Hidrotermal proses de, asetik asitten hidronium iyonu oluşumu daha önemli olmasına rağmen suyun otonizasyonu ile oluşan hidronium iyonlarının aktivasyonundan dolayı polisakkaritler hidrolize uğrarlar (Garrote vd. 1999). 150 °C'den 230 °C'ye ısı değişimleri genellikle kullanılan sıcaklıklardır. Çünkü, hidroliz düşük sıcaklıklarda daha yavaş gerçekleşir. Buna rağmen 210–220 °C sıcaklıklarda selülozun parçalanma reaksiyonları başlar. Selülozun parçalanması 270 °C'de yoğun olarak gerçekleşmektedir (Garrote vd. 1999).

Yapraklı ağaç hemiselüloz üniteleri (pentozanlar), iğne yapraklı ağaç hemiselüloz ünitelerine (heksozlar) göre daha kolay degrade olurlar. Bu yüzden yapraklı ağaçlar, iğne yapraklı ağaçlara göre daha hızlı parçalanırlar. Bunun nedeni de yapılan çalışmalara göre yapraklı ağaçlarda daha fazla sayıda asetil grubunun olmasından dolayı kaynaklandığı ifade edilmektedir (Feist ve Sell 1987; Hillis 1975; Millet ve Gerhrds 1972).

2.2.2.2 Isıl İşlem Süresince Meydana Gelen Fiziksel Değişimler

Ağaç malzemenin ısıtılması; muamele metodu, sıcaklık ve maruz zamanına bağlı olarak ağaç malzemenin hacminde ve kütleinde düşüşe sebep olur (Rusche 1973; Fung vd. 1974). Isıl muamele ile meydana gelen ağırlık kayıpları, mevcut hidroksil gruplarının azalmasıyla görülen ağaç malzeme yapısındaki suyun kaybı, hücre çeperindeki maddesel kayıplar ve hemiselülozların parçalanmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir (Viitanen vd. 1994; Fengel vd. 1989; Feist vd. 1987).

110–180 °C sıcaklıklarda ısıl işleme maruz bırakılan kayın ve çam diri odununda meydana gelen kurutma deformasyonu incelenmiştir. Çam diri odununda boyuna yönde yüzey çatlaklarıyla, kollaps ve çarpılmalar olmaksızın kurutulmuştur. Buna karşın birçok durumda iç çatlaklar meydana gelmiştir. Kayın ağaç malzemedede, yüksek sıcaklıkta uygulanan ısı

muamelesinden sonra boyuna yüzey üzerinde herhangi bir yüzey çatlakları görülmemiştir. Fakat iç çatlak oluşumları çam diri odununa göre çok daha belirgin olmuştur (Schneider ve Rusche 1973).

İğne yapraklı ağaç örneklerinin su itici etkinlik değerleri hem muamele sıcaklığı hem de zamanına bağlı olarak değişmektedir. Üç iğne yapraklı ağaç türü çalışılmış ve benzer özellik gösterdiği belirlenmiştir. Su itici etkinlikteki değişimlerin belli bir kinetiği olduğu belirlenmiştir. Isıl muameleden sonra elde edilen su itici etkinlikteki artış, ısıtmadan dolayı oluşan ağırlık kaybına karşı oluşan değişimler asimptatik bir ilişkiyi takip ettikleri gözlenmiştir. Ağırlık kaybı % 20'ye yaklaştığında su itici etkinlik değeri maksimuma ulaşır. Fakat elde edilen sonuçlar hava varlığında değişir ve daha düşük su itici etkinlik değerleri havasız ortamda elde edildiği bulunmuştur. 165 °C'den 205 °C'ye değişen sıcaklıklarda kuru odunun ısıtılması, su itici etkinlikteki düşüş 6 saat ya da daha fazla sürede olduğu bulunmuştur. Fakat odunun su varlığında ısıtıldığı zaman, odunun yapısında su kaybına sebebiyet veren termal degradasyonları önlediği bulunmuştur. Hava ortamın da ısıtılmış (yumuşak atmosfer) odunlarla karşılaştırıldığında su itici etkinlikte ciddi düşüşler meydana geldiği görülmüştür (Rusche 1973).

Boyutsal stabilizasyondaki değişim kullanılan muamele atmosferine bağlı olarak ciddi oranda değiştiği gözlenmiştir. Odun örnekleri 300 °C'de hava ya da nitrojen ortamında ısıtılmış ve ağırlık kaybının % 20 olduğu noktada, boyutsal stabilizasyon maksimuma ulaştığı belirlenmiştir. Bu ağırlık kaybının yanında boyutsal stabilizasyondaki artış kapalı sistemlerde daha fazla gerçekleştiği bulunmuştur. Boyutsal stabilizasyon açık sistemlerde nitrojen ortamında yapıldığında kütle kaybı % 20'yi geçtiği zaman değişim görülmemiştir fakat örnekler yine açık sistemlerde hava ortamında ısıtıldığında boyutsal stabilizasyonda düşüşler gözlenmiştir. Konsantre olmuş sıvı sodyum hidroksit, morp haline ya da primidin de modifiye olmuş odunun şişmesi, modifiye olmamış oduna göre aynı seviyede ya da daha yüksektir. Ancak odunun suda şişmesi düşmektedir. Bu elde edilen verilerden boyutsal stabilizasyondaki artışın, termal modifikasyon süresince eter çapraz bağlarının oluşumunun ciddi bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Ligninde çapraz bağ oluşumu, termal olarak modifiye olmuş odunun boyutsal stabilizasyonunda bir gelişme sağlayan faktörler arasında olmayabileceği düşündürmektedir (Burmester 1975).

Odunda oluşan fiziksel değişim muamele metoduna bağlıdır. Hava ortamında gerçekleşen kararın nitrojen ortamında yapılanlara göre daha fazla gerçekleşir. Inoue vd. (1993), Sugi (*Sryptmeria japonica* D. Don) odunu 180, 200, 220 °C sıcaklıklarda 2, 4, 6, 8 dk. buharla ve 4, 8, 12, 16 ve 20 dk. ısı ile muamele edilmiş ve ısı muamelesi süresince renk değişimleri incelenmiştir. L–a–b tekniğine göre yapılan renk testleri sonucunda 180 °C’de buharla yapılan örneklerde düşük seviyelerde sararma gözlenmiştir. 200 ve 220 °C ısı muamelesiyle odun yapısında koyulaşma gözlenmiştir. Sonuçta çeşitli zaman periyotlarında ve özellikle yüksek sıcaklıklardaki tüm örneklerde koyu bir renk değişimi belirlenmiştir.

65–95 °C’de sarıçam ve ladinin diri odununun termal muamelesinde renk değişimleri gerçekleştiği belirlenmiştir. Ekstraktiflerdeki bileşikler bu değişikliklerin ana sebebi olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak renk değişimleri kompleks değişimlerin orijinlerinde lignin, hemiselülozun degradasyonu ve belirli ekstraktif bileşiklerden kaynaklandığını görülmüştür (Sehlstedt 2003).

Daha yüksek sıcaklıkta daha koyu bir renk elde edilebilmekte ve iğne yapraklı ağaçlarda renk sürekliliği, kullanılan odunun özgül ağırlığına ve ilkbahar ya da yaz odunu olup olmamasına bağlı olarak değiştii görülmüştür. Kullanım esnasında renk performansını belirlemek için bazı çalışmalar yapılmıştır (Bourgeois vd. 1991; Bekhta ve Niemz, 2003).

Termal olarak modifiye olmuş odunun renk stabilizesi hızlandırılmış dış ortam direnci süresince kontrol örneklerinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Fakat renk, ısı işlem görmüş odun da bir dış koruyucuyla muamele edilmezse kaybolduğu gözlenmiştir (Syrjanen ve Kangas 2000; Ayadi vd. 2003).

Renk bileşenleri karbonhidrat ve aminoasitlerden reaksiyon mekanizması Amadori-Maillard tip olduğuna inanılır. Bu reaksiyon tipi aminoasitler ya da diğer nitrojen içerikli bileşikler olmaksızın gerçekleşirse bu durum kramelizasyon olarak adlandırılır. Kramelizasyonla oluşan renkli polimerik bileşiklerin örnekleri karamelin, karamelen ve karamelan gibi maddelerdir (Kamuf vd. 2003).

2.2.2.3 Isıl İşlem Süresince Meydana Gelen Mekaniksel Değişimler

Isıl muamele süresince gerek ağaç malzeme içerisinde gerekse yüzeylerde meydana gelen çatlaklar ve yarılmalar ağaç malzemenin direncinde ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu yüzden ağaç malzemenin mekaniksel özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda olduğu bilinen formik ve asetik asit formasyonu öncelikle hemiselülozdan başlayarak birçok ağaç malzeme bileşenini tahrip etmekte ve bunun sonucunda kütle kayıpları meydana gelmektedir. Kütle kayıpları sonucunda yoğunluğun düşüşü diğer yoğunluğa bağlı olan mekanik özellikleri de olumsuz yönde etkilemektedir (Aydemir 2007).

Eğilme direnci, ısıl işlem görmemiş ağaç malzeme ile karşılaştırıldığında % 40'dan daha fazla düşüş gösterdiği görülmüştür. Bu kusurlu olan bölgelerde daha da fazla olmaktadır. Fakat 4 saat 190 °C'lik düşük sıcaklıklarda ısıl işlem görmüş ağaç malzemedeki bu düşüş çok daha azdır. Isıl işlem görmüş olan ağaç malzemedeki az ya da çok orandaki düşüşten dolayı ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin yapılarda kullanılması tavsiye edilmemektedir. Birçok çalışmada, ağaç malzeme termal olarak kısa zaman periyotlarında muamele edilmiş ve elastikiyet modülünde küçük bir artış olduğu belirlenmiştir. Elastikiyet modülündeki düşüş muamele sıcaklığı ve diğer şartlara bağlı olarak değişmektedir. Kayının termal degradasyonunun ve çamın farklı sıcaklık ve zaman periyotlarında ısıl işlem çalışmalarında direnç ve maksimum yükteki kayba kütle kaybına 1. etkisi olmasına rağmen, muamele ve türleri hesaba katmadan, elastikiyet modülündeki kayıp, kütle kaybı % 8 geçtiği zaman önemli bir durum almaktadır (Rusche 1973; Gren 1999).

Viitaniemi (1997), çam odunu kısa periyotlarda 180–250 °C sıcaklık altında su buharı kullanılarak ısı ile muamele edilmiş ve sonuç olarak çam odununun eğilme direncinin kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında % 14 oranında azaldığı belirlenmiştir. Kayın ve çam diri odunları 100, 130, 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda 6, 24 ve 48 saat süreyle ısıl muamele uygulanarak 150 °C üzerindeki sıcaklıklarda eğilme direnci ve elastikiyet modülünde ciddi bir düşüş gözlenmiş ve aynı düşüş basınç ve şok direncinde yapılan iste de belirlenmiştir. 180 °C sıcaklıktaki basınç direnci Çam ağacı diri odununda kayın odununa göre daha az oranda gerçekleştiği belirlenmiştir. 130 °C sıcaklıktaki muamelelerde çam diri odununun sok direncinde yapılan is önemli derecede düştüğü belirlenmiştir (Schneider 1971).

140–180 °C sıcaklıklarda 15–30 saatlik zaman periyotlarında sert lif levhaya uygulanan ısı muamelesinden sonra, çekme ve eğilme dirençlerinin benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür. Muamele süresinin uzunluğuna bağlı olarak öncelikle direnç değerlerinde hafif bir artış kaydedilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda daha yavaş olmak üzere muamele sıcaklığı arttıkça 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 sergilemektedir. 160 °C, 2–3 saatlik uygulama ile % 16,30 saatlik uygulama ile % 28, 150 °C için 4 saat uygulama ile % 12 50 saat uygulama ile % 18 ve 140 °C için 12 saatlik uygulama ile % 12 ve 50 saatlik uygulama ile % 4 oranlarında düşüş kaydedilmiştir (Schneider 1971).

105–155 °C sıcaklıklarda 10–160 saat arasında değişen sürelerde okaliptüs odunu muamele edilmiş ve sonuçta elastikiyet modülünde, eğilme, makaslama ve basınç dirençlerinde ciddi düşüşler olduğu belirlenmiştir (Vital vd. 1983). Kayın ve ladin örnekleri 100–200 °C sıcaklıklarda 96 saat süreyle hava ve vakum altında ısıyla muamele edilmiştir. Aynı oranda ağırlık kaybı değerlerinde, maksimum direnç ve maksimum yüklemeye kadar yapılan isin çekme direncinde, basınç direncine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Rusche, 1973). 200 °C sıcaklıkta ısıtılan Ladin odununun % 50 oranında eğilme direncinde kayıp olduğu belirlenmiş ve bu durumda elastikiyet modülü üzerinde çok az bir düşüşe neden olmuştur (Bekhta ve Niemz 2003).

Ağaç malzeme örneklerinin elastikiyet modülü (akçaağaç, karaağaç, kavak ve kayın) termal modifikasyondan sonra ufak artışlar göstermiş, ancak daha aşırı muamelelerde elastikiyet modülünde bir düşüş olmuştur (Chang ve Keith 1978). Kapalı sistemlerde 150 °C sıcaklıkta rutubetli şartlar altında odunun termal muamelesinden dolayı elastikiyet modülündeki düşüşün belli bir kinetiğe uymadığı belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta kuru muameleler de genellikle elastikiyet modülünde küçük artışlar olur ve bu durumda uzun ısıtma periyotlarında oksijen varlığında olduğu beklenmektedir. Rutubet mevcutken ancak tüm elastikiyet modülünde kısa ısıtma periyotlarında düşüşler gerçekleşir (Mitchell 1988).

Elastikiyet modülünün aksine, kısa periyotlarda ısıtma işlemine maruz kalmış odunun kopma modülü direncinde herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum kopma modülünde hata oluştuğunda liflerdeki eş değer baskısından dolayı olduğu düşünülmektedir. Bu durum odunun son eğilme direncine etkisinin olduğu bulunmuştur (Dinwoodie 2000).

Termal olarak muamele edilmiş odunun fiziksel özellikleri gibi kopma modülünde oluşan düşüş muamele şartlarından dolayı gerçekleşmektedir. Çoğu termal değişimlerin saf oksijen ortamında bulunmasına rağmen kapalı sistemlerde 150°C sıcaklıkta hava ortamında kuru muamele ya da nitrojen ortamında kopma modülünde meydana gelen düşüşlerin önemsenecek kadar düşük olduğu belirlenmiştir. Fakat rutubetli şartlar altında kopma modülü, muamele şartlarına bağlı olarak düştüğü belirlenmiştir. Rutubetli şartlarda odunun termal degradasyonundan dolayı kopma modülündeki düşüş ilk sıra kinetiğine uymadığı gözlenmiştir ve lineer olmayan bir eşitlik kullanılarak özellik değişimleri belirlenebilmektedir. Nemli odun örneklerinin hava ortamında ısıtılması fırın kurusu odunun ısıtılmasıyla karşılaştırıldığında MOR'da ciddi bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, örnekler artan periyotlar süresince 120 °C gibi düşük sıcaklıklarda ısıtıldığında MOR'da ciddi bir kayıp olduğu görülmüştür (Kim vd. 1998).

Şok direnci test sonuçları ısı işlem görmüş ağaç malzemenin şok direnci değerlerinin normal kurutulmuş ağaç malzemelerden daha az olduğunu göstermiştir. Yüksek sıcaklıkta (220 °C ve 3 saat) test sonuçları ısı işlem görmüş odunun şok direncinin yaklaşık olarak % 25 kadar düştüğü belirlenmiştir (Mayes ve Oksanen 2002).

2.2.2.4 Isıl İşlem Süresince Meydana Gelen Biyolojik Değişimler

Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin biyolojik direncini ölçmek için 3 tip test yapılır. Bu testler EN 113 standartlarına göre gerçekleştirilmektedir. Deneyle küçük örneklerde kısa sürelerde yapılır. 8, 16, 24 ve 32 haftalar arası test mantarı *Coniophara puteana* ve *Poria placenta* ki bu mantarlar en yaygın ve en fazla çürümeye sebep olan biyolojik zararlıdır. Sonuçlar kahverengi çürüklüğe karşı direncin ısı işlem görmüş ağaç malzemedede daha iyi olduğunu göstermiştir (Aydemir 2007). Isı ile muameleyle tahrip edici mikroorganizmalara karşı ağaç malzemenin biyolojik olarak dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bunun üç nedeni bulunmaktadır. İlki ağaç malzemenin yapısında doğal olarak bulunan suyun buharlaşması, mevcut hidroksil gruplarının azalması ve bu grupların çürüklüğe daha dirençli olan gruplarla yer değiştirmesinden dolayı olduğu belirlenmiştir. Kavak, göknar ve ladin örnekleri 200–260 °C termal olarak muamele edilmiş ve sonuçta mikrobiyolojik saldırılara karşı örneklerin dirençlerinin arttığı belirlenmiştir (Fengel ve Wegener 1989).

Kavak ağaç malzemeyi 220, 230, 240, 250 ve 260 °C sıcaklıklarda 5, 10, 15, 20 saat termal muamele sonucunda kavak ağaç malzemenin çürüme direncinin ciddi oranlarda arttığı belirlenmiştir (Troya ve Navarrete 1994). sıcak hava ve sıcak yağla yapılan ısıl muameleden sonra deniz zararlıları ile ilgili çalışmalar halen devam etmesine rağmen ilk yayınlanan sonuçlara göre ısıl işlem uygulamasının olumlu etkiler gösterdiği belirlenmiştir (Rapp ve Sailer 2000).

Yapılan testlere göre ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin böceklere karşı direncinin iyi olduğunu göstermiştir. Fakat özellikle ısıl işlem görmüş çam ağaç malzemesine bal arılarının yumurtalarını bırakmaları için en uygun yer olduğunu göstermiştir. Bunun nedeninin de ısıl işlem görüş odunun terpen emülsiyonunun normal odundan daha düşük olduğundandır. Aynı zamanda bu durum termitler içinde geçerli olduğu için tehlikeli bir durum arz etmektedir. Çeşitli türlerin ağaç malzeme örnekleri 150 °C buhar ortamında ve 150 °C'de hava ortamında çeşitli periyotlar süresince C. formosonus ya da R. speratus termit türleriyle saldırı ortamında ısıtma yapılmıştır (Doi vd. 1997; 1999).

Tjeerdsma vd. (1998), sterilize olmamış toprak testlerinde yumuşak çürüklüğe termal olarak muamele edilmiş ağaç malzemenin direnci artmıştır. Çürüme direnci termal olarak muameleyle artmasına rağmen, tamamıyla saldırılardan korumak olası değildir. Çürüme direncinde iyi bir performans gösteren muameleler ciddi direnç kayıpları gösterir (Welzbacher ve Rapp 2004).

2.3 LİTERATÜR ÖZETİ

2.3.1 Yanma ile İlgili Çalışmalar

Cullis (1981), ağaç malzemenin yanmaya karşı direncinin arttırılması amacıyla yapılan çalışmalar tarih öncesine rastlamaktadır. Mısırlılar şap çözeltisinin ağaç malzemenin tutuşmasını belirli oranda geciktirdiğini keşfetmişlerdir. Daha sonra bu çözelti M.Ö.83 yılında Piracus'un kuşatılmasında kulelerin yangına karşı korunması amacıyla kullanılmıştır. Benzer şekilde M.Ö. 4. yüzyılda Aeneas'ın yangına karşı dayanıklılığın arttırılması amacıyla ağaç malzemenin sirke ile emprenyesini tavsiye ettiği ve aynı işlemin daha sonra Romalılar tarafından kullanıldığı bildirilmektedir.

Hartman (1936), 1625 yılında alınmış olan bir İngiliz patenti gemilerdeki ağaç malzemeyi ve halatları ateşe karşı koruması bakımından bir metot ihtiva etmektedir. Bu zamandan sonra yanmaya karşı korunma konusunda bir çok tavsiyelerde bulunulmuş, patentler alınmış, tartışmalar yayınlanmış, yüzlerce formül ve işlem ortaya atılmış, fakat bunlardan çok azı yeterli bulunulmuş ve ticari bakımdan önem kazanmıştır.

Lee vd. (1989), çeşitli yangın geciktirici kimyasallar ile emprenye ettikleri, *meranti plywood* örneklerini ASTM D 2863-77 standardına göre LOI (limiting oxygen index) testine tabi tutmuşlardır. Deney sonuçlarına göre, diammonium phosphate ile emprenye edilen deney örneklerinde 43,4 ile en yüksek LOI değerini elde etmişlerdir. Araştırmacıların elde ettikleri bu verilere göre, düşük oksijen indeksi seviyesinde tutuşabilen materyallerin yanmaya karşı direncinin az olduğu buna karşılık yüksek oksijen indeksinde tutuşan materyallerin yanmaya karşı direncinin daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Uysal (1997), farklı kimyasal maddelerin ağaç malzemenin yanma dayanıklılığına etkisini doktora tezi olarak araştırmıştır. Araştırmada iki farklı ağaç (sarıçam ve doğu kayını) iki farklı yöntem (uzun süreli batırma ve dolu hücre yöntemi) ve beş farklı kimyasal madde (potasyum nitrat (KNO_3), çinko sülfat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), boraks (Na_2O_2), sodyum sülfat (Na_2SO_4), bakır sülfat (CU_2SO_4) kullanmıştır. Kimyasal maddelerin emprenye öncesi ve sonrasında pH değerlerinde önemli bir değişim olmadığı bildirilmiştir. ASTM-E-69 standardına göre yapılan ateş borusu deneyleri sonucunda; CU_2SO_4 , $ZnSO_4$ ve Na_2SO_4 sarıçam ve kayında yanmaya dayanıklılık kazandırmıştır. Yöntem olarak da dolu hücre metodu ile yapılan işlemlerin daha etkili olduğunu belirtilmiştir.

White ve Dietenberger (1999), ağaç malzeme ısıya ve havaya maruz kaldığında yanacaktır. Ahşabın termal bozunması aşamalar halinde meydana gelir. Bozunma prosesi ve termal bozunma ürünlerinin tümüyle ortaya çıkması ısı oranına ve sıcaklık değerine bağlıdır.

Ozaki (1999), furfiril alkol ve çeşitli borlu bileşiklerle muamele ettiği Sugi odunundan hazırlanmış olduğu deney örneklerinin LOI değerlerinin incelemiştir. Test sonuçlarına göre, borlu bileşiklerle emprenye edilen deney örneklerinin, muamelesiz kontrol örneklerine oranla tutuşabilmesi için daha fazla oranda oksijene gereksinim duyduklarını bildirmiştir.

Uysal vd. (2002), alevlenebilen maddeler, tutuşma sıcaklığına ulaşınca dışarıdan bir alev gerek duymadan tutuşabilir. Yanabilen maddeler ise yabancı bir alevin içinde yanar, fakat alev söndüğü anda maddenin yanması son bulur. Bu tür maddeleri yanmaz hale getirmek mümkün değildir. Yanmayı önleyen ve/veya geciktiren emprenye maddeleri, ağaç malzemenin bozunma sıcaklığının altında bozunarak selülozu hızla odun kömürüne veya suya dönüştürürler. Böylece daha yüksek sıcaklıkta oluşacak olan uçucu ve yanıcı maddeler oluşmadığı için odunun alevlenme özelliği azalmakta ve alevin savrulması çevreye yayılması önlenmektedir.

Baysal vd. (2004), ağaç malzeme, karbon ve hidrojen içeren organik esaslı bir materyal olduğundan yanıcıdır. Kendi kendine yanabilmesi için sıcaklığın 275 °C'ye çıkarılması gerekmektedir. Bununla birlikte herhangi bir tutuşturucu alev kaynağı varlığında çok daha düşük sıcaklıklarda tutuşarak yanabilmektedir. Oksijen, ısı kaynağı ve yanabilir madde üçlüsünden birinin olmaması durumunda tutuşma olmaz. Her ne kadar yangın esnasında çoğu yapısal materyale oranla üstün yönleri varsa da yanmaya karşı direnci artırıcı emprenye maddeleriyle muamele, emniyetin sağlanması ve yanmanın engellenmesi bakımından kaçınılmaz olmaktadır.

Uysal ve Kurt (2005), bor bileşikleri ile emprenye edilmiş kayın ve sarıçam ağaç malzemeler kullanılarak yapılan yanma deneyleri sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel olarak analizi neticesinde, yanmayı geciktirici ve/veya önleyici emprenye maddesi olarak Boraks-Borik Asit karışımı ve iğne yapraklı ağaç olan sarıçam ağacı daha iyi sonuç vermektedir .

Baysal ve Yalınkılıç (2005), ağaç malzemenin yanmasını geciktirici olarak kullanılan çeşitli borlu bileşiklerin, biyolojik performans özelliklerini belirlemek amacı ile yaptıkları ve borlu bileşiklerle emprenye ettikleri Sugi (*Cryptomeria japonica* Don.) odunu deney örneklerini, *Tyromycetes palustris* ve *Coriolus versicolor* mantarlarına maruz bırakmışlar, 12 haftalık çürüklük testleri sonucunda, yanmayı önleyici etkileri bilinen borlu bileşiklerin, aynı zamanda çürüklük mantarlarına karşı, muamelesiz kontrol örneklerine oranla, deney örneklerinde ağırlık kaybını önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir.

Temiz vd. (2008), ASTM D 1413-88 esaslarına göre sarıçam ve kızılğaç (*Alnus glutinosa* L.) ağaç malzemelerden hazırlanarak borlu bileşiklerden borik asit, boraks ve ikisinin karışımı ile emprenye edilen deney örneklerinin tutuşma ve yangına karşı direnç özelliklerinin

araştırılması için yaptıkları çalışmalarında en az kütle kaybının her iki ağaç türünde de % 5 borik asit ve boraks çözeltisiyle emprenye edilen deney örneklerinde gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, % 5'lik boraks çözeltisinin alev hali yanma süresi bakımından etkili işlem olduğunu bildirmişlerdir.

Uysal vd. (2008), Yapılan çalışmada sarıçam ağaç malzemedan elde edilen deney örnekleri ASTM -E-69 standartlarında verilen esaslara göre hazırlanmış. Üst yüzey işlemleri uygulanan ağaç malzemelerin yanma özellikleri araştırılmıştır. Örneklere, sentetik, selülozik, poliüretan, asit sertleştiricili ve polyester vernik üst yüzey maddesi olarak kullanılmıştır. Her örnek için yanma başladığı andan itibaren ağırlık kaybı, sıcaklık ve açığa çıkan gazlar (O₂, CO, NO) her 30 saniyede bir ölçülmektedir. Çalışma neticesinde yanma sırasında verniklerin yanmayı tetikleyici ve arttırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, vernik işlemlerinde kullanılan verniklerin yanmayı kolaylaştırıcı, yangın durumunda sıcaklığı arttırıcı özelliği ve yanma ürünü olan gazları arttırma özelliği göz önünde bulundurulmalıdır. Yangın riski bulunan ortamlarda vernik işlemi uygulanmamış malzemelerin kullanılmasında fayda olduğu düşünülmektedir. Vernik uygulanacak ağaç malzemelere vernikleme öncesinde çeşitli emprenye maddeleri tatbik edilmeli ve verniklerin yanma durumundaki olumsuzlukları önlenmelidir.

Kurt ve Uysal (2008), ASTM E-69 standartlarına göre yapılan çalışmada, meşe ağaç malzemedan fenol formaldehit ve PVAc tutkallı kullanılarak elde edilen ve diamonyum fosfat, alüminyum sülfat, potasyum karbonat, kalsiyum klorür ve çinko klorür ile emprenye edilen 3 katmanlı lamine ağaç malzemenin yanma özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre fenol formal dehit ile yapıştırılmış ve çinko klorür ile emprenye edilmiş lamine ağaç malzemelerin yangın geciktirici olarak başarılı bulunduğu belirtilmiştir.

2.3.2. Isıl İşlem ile İlgili Çalışmalar

Winandy (1996), Isıl işlem süresince odun türünde meydana gelen direnç özelliklerindeki düşüş ısıl işlem görmüş olan ağaç malzemenin; ahşap yapılarda, yük kaldırma özelliği olan yapılarda ve direnç özelliği istenen uygulama yerlerinde kullanılmasını sınırlamaktadır. Fakat uygun ısıl işlem metotları kullanılarak odunun direncindeki kayıplar en iyi şekilde engellenebilirse bazı kullanım yerleri olabilmektedir.

Bhuiyan vd. (2000), ağaç malzemenin yüksek sıcaklıklarda fırın kurusu ve nem içerikli şartlar altında selüloz kristallerinin değişimi x-ray yardımıyla incelenmiştir. Sonuçta odun selülozunun kristalliğinin artırdığı ve kristalleşmenin çoğunun yüksek nemli şartlarda kuru fırın şartlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Saf selülozda, her iki şartta da aynı oranda kristalizasyon görülmüştür. Buna karşın kristalizasyonun artışı odun selülozunda, saf selülozdan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre odun selülozunun yanında diğer odun bileşenlerinin de muamele süresince kristalliklerinde artış gözlenmiştir. Odun selülozunda ve saf selüloz daha fazla yarı kristalin bölgeler belirlenmiştir.

Edlund ve Jermer (2004), ladin ve Sarıçam odunları 220 °C sıcaklıklarda 4 saat boyunca termal olarak muamele edilmiş ve 2 yıl süreyle örneklerde hiçbir çürüme veya renk değişimi görülmemiştir. Sonuçlara göre ayrıca, ağaç malzemenin ıslanabilirliğinin arttığını ve daha az renk değişimi yapan mantarlardan etkilendiklerini göstermiştir. Ayrıca, termal olarak modifiye edilen ağaç malzemeler bakır içerikli koruyucularla muamele edilmiş olan örneklerle göre dahi iyi bir performans göstermiştir.

Bekhta ve Niemz (2003), kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) ağaç malzemenin mekanik özellikleri, boyutsal stabilizasyonu ve renk değişimi üzerinde yüksek sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Sonuçta mekanik özelliklerde düşüşün gerçekleştiğini, ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonunun arttığını ve ağaç malzeme renginin koyulaştığı belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığı 200 °C'ye yaklaştıkça renk değişiminin arttığı ve bu renkteki koyulaşmanın 4 saat muameleden sonra daha da yoğunlaştığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta muamele edilmiş ağaç malzemenin eğilme direncindeki ortalama düşüşün % 5–40 arasında olduğu, elastikiyet modülünde bu değerlerin (MOE) % 4–9 oranlarında olduğu belirlenmiştir. Isıtma zamanı ve sıcaklığının, renk değişimi üzerinde nispi nemden daha önemli olduğu bulunmuş ve toplamda renk değişimi, elastikiyet modülü ve eğilme direnci arasında güçlü bir bağ olduğu belirlenmiştir.

Hillis (2004), ısı işlem süresince meydana gelen farklı oluşumların ağaç malzemenin temel özellikleri üzerine selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarlarındaki değişim ve farklılıklar, farklı şartlar altında oluşan degradasyon ürünleri araştırılmıştır. Doğal hemiselülozlardaki değişimler, farklılaşan ağaç malzeme yapısında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Isıl işlem sonucunda kerestelerin öz odununun hacimlerinin, nem yüzdesi ve diğer özelliklerinin değiştiği belirlenmiştir.

Hakkoul (2005), göknar, kavak, kayın ve çam türleri buhar ortamında 8 saat süre ile fırın sıcaklığı 20 °C artışla muamele edilmiştir. 100–160 °C arasında değişen sıcaklıklarda ısıtılardan sonra ağaç malzemenin ıslanabilirliği ani bir şekilde değişmiş ve temas açısı ortalama 90 °C'ye ulaşmıştır. 160 ve 260 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda muamele için, ağaç malzeme 90 °C'de hidrofobik bir karakteristik özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Kütle kaybı hemiselülozun degradasyonundan dolayı olduğu düşünülmektedir. Terpenler gibi uçucu ekstraktiflerin varlığı zayıf bir kütle kaybına sebebiyet verebileceği fakat sadece 200 °C'den düşük sıcaklıklarda da gözlemlendiği belirtilmiştir. Sonuçlar, herhangi bir kütle kaybı belirlenmeden önce 100–160 °C'ler arası sıcaklık alanlarında ıslanabilirlik değişimleri görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda yapılan muamele çalışılan ağaç malzeme türlerinin ıslanabilirliğini etkilemediği gözlenmiştir.

Tjeerdsma ve Militz (2005), kayın ve çam ağaç malzemeleri ısıtılama tabi tutulup FTIR spektroskopunda analiz edilmiştir. Hemiselülozun asetil gruplarının parçalanması nemli şartlar ve artan sıcaklıklar altında ilk muamele basamağında gerçekleştiği bulunmuştur. Asetik gruplarının çoğunun yüksek sıcaklıklarda ağaç malzemenin muamelesi boyunca çatladığı bulunmuştur. Buna karşın bölgesel deasetilasyonunun yüksek muamele sıcaklıklarında oluştuğu bulunmuştur. Liginin kompleksinde oluşan esterler yeni karboksil grupları oluştuğu ısıtılama işlemi görmüş odunda belirlenmiştir. Fakat odundan ayrılan hemiselülozda bu varlık tespit edilmemiştir. Esterleşme odununun higroskopluğunda düşüşte katkısının bulunduğu ve boyutsal stabilizasyon ve direnç gelişiminde rol oynadığı elde edilen sonuçlardan belirlenmiştir. Fakat higrotermal muamele işleminde higroskopluğunun düşüşünde esterleşmenin rolü, odunun ısıtılama işlemi boyunca oluştuğu bilinen çapraz bağlanma reaksiyonlarının etkisiyle karşılaştırıldığında çok önemsiz seviyelerde kaldığı görülmüştür.

Gündüz vd. (2008), Camıyanı Karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *Pallasiana* var. *pallasiana*) odununun bazı fiziksel (tam kuru özgül ağırlık, hava kurusu özgül ağırlık ve genişleme) ve mekanik özellikleri (basınç direnci ve janka sertlik) ile yüzey pürüzlülüğü üzerine ısıtılama işleminin etkisini araştırmışlardır. ısıtılama işleminde uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak tüm özelliklerde bir azalmanın söz konusu olduğu, direnç değerlerindeki azalmanın yüzey pürüzlülüğü ve genişlemede meydana gelen azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite ile dengelenebileceği ve ısıtılama işlemi sayesinde bu türün yeni kullanım alanlarında değerlendirilebileceği vurgulanmıştır.

Korkut ve Bektaş (2008), Uludağ Göknaarı (*agabeyes bornmuellerinana* Mattf.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun fiziksel özellikleri üzerine ısıtıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Her iki ağaç türünde de ısıtıl işleminde uygulanan sıcaklığa ve süreye bağılı olarak tam kuru ve hava kurusu yoğunluğun azaldığı ve yine genişleme değerinin de azalması neticesinde ısıtıl işlemin boyutsal stabilite üzerine olumlu etkisinin olduğu vurgulanmıştır.

Korkut vd. (2008), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı teknolojik özellikleri üzerine, ısıtıl işlemin etkilerini belirlemişlerdir. Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen deney örneklerine 2, 6 ve 10 saat süre ile 120, 150 ve 180 °C sıcaklıkta olmak üzere 9 varyasyonda ısıtıl işlem uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; en az direnç kaybının 120 °C'de 2 saat ısıtıl işlem uygulaması ile, en fazla direnç kaybının 180 °C'de 10 saat ısıtıl işlem uygulaması neticesinde elde edildiği, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında ısıtıl işleminde uygulanan sıcaklık ve süreye bağılı olarak direnç değerlerinin değiştiği ve farklı ısıtıl işlem yöntemlerinin kullanılması ile ticari değeri olmayan türlerin daha çok kullanım yerlerinde değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Gündüz ve Aydemir (2009) Camıyanı Karaçam odununun bazı teknolojik özellikleri üzerine, ısıtıl işlemin etkilerini belirlemişlerdir. Deney örneklerine 2 ve 6 saat süre ile 160, 180 ve 200°C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; sıcaklık artıkça örneklerin ağırlık kaybının arttığı, özgül ağırlık, eğilme ve basınç dirençlerinin azaldığı belirtilmiştir.

Gündüz vd. (2009) Isıtıl işlem görmüş Karaçam ağacınının kütle kaybının mekanik özellikleri üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Deney örneklerine 2 saat süre ile 160 °C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; elastikiyet modülü yaklaşık % 5 artarken eğilme direnci ve basınç direnci ortalama % 7 azaldığı belirtilmiştir.

2.4 ÇALIŞMADA KULLANILAN AĞAÇ TÜRLERİNE AİT GENEL BİLGİLER

2.4.1 Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)

Mevcut çam türleri içerisinde en geniş coğrafi yayılışı olan Sarıçam, Avrupa ve Asya'da yaklaşık 3700 km eninde ve 14700 km uzunluğunda çok geniş bir yayılış alanına sahiptir. Sarıçam, 20-40 m arasında boy yapmakta, ülkemizde saf ve karışık olarak bir milyon hektara yakın bir saha üzerinde yayılmıştır. Kuzey Doğu Anadolu, Ardahan, Oltu, Posof, Sarıkamış

dolaylarında çoğunlukla saf, Yanlıçam Dağları'nda saf veya Ladin ve Gökmar gibi diğer ağaç taksonları ile karışık olarak geniş ormanlar kurar. Karadeniz Bölgesi'nde Of, Sürmene, Artvin, Rize, Gümüşhane, Giresun, Amasya, Sinop ve Abant çevresinde geniş bir yayılış gösteren Sarıçam Türkiye toplam orman alanının % 5,5'ini oluşturmaktadır (Yaltırık 1994; Aslan 1994; Anşin ve Özkan 1993).

2.4.1.1 Makroskobik Özellikler

Yetişme muhiti sarıçam odununun özellikleri üzerine çok etkilidir. Yüksek rakımlarda yıllık halkalar dar, deniz seviyesine yakın yerlerde ise geniştir. Dağlık bölgelerde yetişen üstün özellikli odunlarda koyu renkli bir öz odunu vardır. Alçak yerlerde yetişen üstün özellikli odunlarda da koyu renkli öz odunu oluşur. Kötü yetişme koşullarında öz odunu oluşmaz. Boyuna reçine kanalları enine, radyal ve teğet kesit düzlemlerinde çıplak gözle rahatlıkla görülür (Merev 2003).

2.4.1.2 Mikroskobik Özellikler

İlkbahar odunu traheitlerinin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler çoğunlukla üniseridir. Yaz odunu traheitlerinin teğet çeperlerinde de nadiren küçük çaplı kenarlı geçitlere rastlanabilir. Özışınları üniseri ve heterojendir. Özışını yüksekliği 15 hücreyi geçmez. Enine traheidler, özışını paranzim hücrelerine göre daha bol miktarda olup, çeperleri belirgin testere dişi gibi kalınlaşma içerir. Enine traheitler bol miktarda küçük kenarlı geçitler içermektedir. Boyuna traheitlerle özışını paranzim hücrelerinin karşılaşma yerlerinde pencere şeklinde geçitler vardır. Reçine kanalları normal boyuna ve enine kanallardır. Boyuna kanallar genellikle yaz odunu zonunda yer alır. Kanalların epitel hücreleri ince çeperlidir. Boyutları 100-150 mikrondur. Enine reçine kanalları öz ışınları multiseridir (Merev 2003).

Traheidlerin oduna katılım oranı % 93,1'dir. traheidlerin uzunluğu 1.8 - 4.5 mm ve teğet çapları 10- 50 µm'dur. Özışınları heterojen ve üniseridir. Enine reçine kanallarının bulunduğu özışınları multiseridir. Özışınları genellikle 1-12 bazen 15 den fazla hücrelidir. Karşılaşma yeri geçitleri 1-2 adet pencere tipindedir. Boyuna reçine kanalları tek tek ve çoğunlukla yaz odunu içinde ve çapları 100-150 µm olup epitel hücreleri ince çeperlidir(Bozkurt ve Erdin, 1989). Sarıçam odununda selüloz miktarı % 40-57, lignin miktarı % 25-29, pentozan miktarı % 8-11 ve alkol benzende çözünen ekstraktif madde miktarı % 3,4'dür (Bozkurt ve Erdin 1989).

2.4.1.3 Bazı Teknolojik Özellikleri

Sarıçam odunu kolay kurutulur, çatlamaya ve dönüklüğe eğilimi azdır. İyi işlenebilme ve yapışma özelliğine sahiptir. Yüzey işlemlerinde, reçine sızıntısı nedeniyle güçlük meydana gelir. Öz odunu oldukça dayanıklı, diri odunu mantar ve böceklerle karşı hassas, odunun rutubeti % 25'ten fazla olduğu hallerde, 20–25 °C sıcaklıklarda mavi renk oluşumu görülür. Öz odun orta derecede güç, diri odun kolay emprenye edilmektedir. Binalarda iç ve dış maksatlarda, emprenye edildiğinde toprak ve su tahkimatında, maden direği, tel direği ve travers olarak, kaplama levha ile kâğıt endüstrisinde ve mobilya yapımında kullanılmaktadır (Aslan 1994; Bozkurt vd. 2000).

2.4.1.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Sarıçamın tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak 0,470-0,490 g/cm³ ve hava kurusu yoğunluk ise 0,520 g/cm³' dür. Doğu Kayını odununun hacim yoğunluk değeri 0,426 g/cm³ ' dür (Bozkurt ve Erdin 1989) .

Liflere paralel basınç direnci, 550 kg/cm², eğilme direnci, 1000 kg/cm², makaslama direnci, 100 kg/cm², dinamik eğilme direnci 0,4 kg/ cm², yarıлма direnci 4,6 kg/ cm² 'dir (Örs ve Keskin, 2001).

2.4.2 Doğu Kayını (*Fagus orientalis L.*)

Doğu kayını, genel görünüşü bakımından kardeş tür olan Avrupa kayını'na çok benzer. Avrupa kayınına göre daha yerel bir coğrafi yayılımı vardır. Kafkasya, Kuzey İran, Türkiye ve Kuzey Doğu Avrupa' da yayılır. Türkiye' de asıl yayılımını ve en iyi gelişimini Karadeniz sahillerinde yapmaktadır. Doğu'da Türk-Rus sınırından başlayarak tüm Karadeniz sahilleri boyunca batıya doğru Demirköy, Kırklareli bir başka deyişle, Istranca dağlarına kadar uzanır. Doğu kayını 30-40 m.'ye kadar boylanabilen bir metrenin üzerinde çap yapabilen dolgun ve düzgün gövdeli birinci sınıf orman ağacıdır. Açık kül renginde kabuk ince ve kül rengindedir. Yaprakları elips ve ters biçiminde sivri ya da kısa uçludur (Anşin ve Özkan 1993; Hafizoğlu 1994).

2.4.2.1 Makroskobik Özellikler

Odun tabii halde kırmızımsı beyaz, fırınlanmış halde tuğla kırmızısı renktedir. İleri yaşlarda Meydana gelen kırmızımsı kahverenkli ve içerisinde daha koyu şeritler bulunan bir öz odun (kırmızı yürek) oluşur. Genellikle 80-100 yaşlarında oluşan bu yalancı öz odunu kusur sayılır. Kırmızı yürek odunun doğal güzelliğini bozar ve emprenye edilemez. Ayrıca, gevrek yapılı olup asitli koku yayar (Örs ve Keskin 2001).

2.4.2.2 Mikroskobik Özellikler

Dağınık küçük traheli yapraklı ağaç grubundandır. Trahe çevresindeki paranzim hücrelerinde tül oluşmaktadır. Besi suyu iletme görevi yapan boyuna yönde vasküler traheidler bulunur. Kalın ve yüksek öz ışınları radyal kesitte parlak öz ışını levhaları oluşturur. Her üç kesitte de öz ışınları açık olarak görülür. Enine kesiti genellikle tek renklidir. 80-100 yaşından sonra kırmızı kahverengi bir öz odunu oluşur. Yaşlı ağaçlarda öz çürümüş durumdadır. Yıl halkaları enine kesitte oldukça belirgindir. Sonbahar halkası ilkbahar halkasına göre daha koyuca renktedir. Teğet kesitte ince parlak çizgiler, radyal kesitte sivri uçlu iğler şeklinde sıralanmıştır (Örs ve Keskin 2001; Hafizoğlu 1994).

2.4.2.3 Bazı Teknolojik Özellikleri

Doğu kayını düzgün yapılıdır ve az çalışır. Fırındandıktan sonra bu çalışma daha da azalır. Nemli ortamda kolay çürür ve kuru ortamda oldukça dayanıklıdır. Buharlanınca bu direncinden biraz kaybeder. Orta sertlikte bir ağaçtır. Kolay işlenir. Buharla bükme işlemine elverişlidir. Kırılma direnci az fakat aşınma direnci fazladır. Genç iken kolay yanılır ve kalite yüksektir. Rendelenen yüzey parlak ve pürüzsüzdür. Yaşlı ağaçlarda yüzey daha pürüzlüdür. Ülkemizde mobilya yapımında kullanım alanı en geniş ağaçtır. Her çeşit masif mobilya işinde, iç doğramalarda, merdiven basamak ve korkuluklarında, parke döşemelerinde, dilme ve soyma kaplama olarak, yonga levha (Sunta) yapımında, araba ve ambalaj sanayinde, kalıp işlerinde, oturma mobilyası, bükme sandalye, alet sapı, iş tezgahı, okul sırası yapımında, torna işlerinde çok kullanılır. Kimyasal boyalarla, değişik renklere boyanmaya elverişlidir. Her çeşit cila ve vernik işlemi başarı ile uygulanabilir (Bozkurt vd. 2000; Malkoçoğlu 1994)

2.4.2.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Doğu Kayınının tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak 0,610- 0,630 g/cm³ ve hava kuru yoğunluk ise 0,660 g/cm³' dır. Doğu Kayını odununun hacim yoğunluk değeri 0,448 g/cm³' dır (Bozkurt ve Erdin 1989) .

Liflere paralel basınç direnci, 644 kg/cm², eğilme direnci, 870 kg/cm², makaslama direnci, 150 kg/cm², dinamik eğilme direnci 1,0 kg/ cm², yarıлма direnci 8,6 kg/ cm² 'dir (Örs ve Keskin 2001).

2.4.3 Meşe (*Quercus petraea* L)

Meşe ağacının yaklaşık dünyada 400 türü vardır. Yayılışı Avrupa, Türkiye ve Kuzey Afrika'dır. Meşeler özellikle kuzey yarı kürenin ılıman ve sıcak bölgelerinde yetişir. Meşelerin hemen, hemen hepsi dökülen yada sürekli, az yada çok parçalı yapraklı ağaçlardır. Türkiye'de 18 türü bulunmaktadır. Ak meşeler, kırmızı meşeler, ve herdem yeşil meşeler olmak üzere üç ayrı grupta incelenir. Yurdumuzda sert ağaç türlerinden en fazla meşe türü vardır. Palamut meşesi % 12, yeşil meşelerden kermes meşesi ile pırnal meşesi % 3,5 ve % 21,2 nispetinde de diğer meşe türleri vardır. Türkiye'deki bütün ormanlarda karışık halde, bazen de ayrı orman halinde bulunur. Özellikle Trakya'da, Marmara ve Bolu dolaylarında bol meşeye rastlanır. Yetiştığı bölgelerde bazen pelit bazen de palamut ağacı olarak isimlendirir (Yaltırık 1994; Anşin ve Özkan 1993).

2.4.3.1 Makroskobik Özellikler

Diri odun 2-5 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, öz odun açık kahverengi ile sarımsı kahverenginde, giderek koyulaşır. Taze halde yetiştirme yeri ile ilgili olarak hafif kırmızımsı renkte olanları vardır. Tekstür kaba, iğne çizikli, genellikle düzgün bazen düzensiz lifli, yetiştirme yeri ile ilgili olarak çapraz liflilik görülmektedir. Parlak, dekoratif. Radyal kesitler üzerinde geniş öz ışınlarından dolayı büyük parlak levhalar bulunur. İlkbahar odunu traheleri çok büyük halka şeklinde sıralanmış ve fazla miktarda tüllerle dolu, yaz odunu traheleri ise daha küçük, açık renkte radyal sıralı ve alev şeklinde bir yayılış gösterir. Yıllık halka sınırları, ilkbahar odunu traheleri, geniş öz ışınları çıplak gözle, boyuna paranzimler ise lup altında görülür (Bozkurt ve Erdin 1989).

2.4.3.2 Mikroskopik Özellikler

Halkalı büyük traheli, ilkbahar odunu traheleri çok sıralı, yaz odunu traheleri radyal yönde ve çoğunlukla çatal şeklinde sıralı. Sapsız meşenin ilkbahar odunu traheleri 1-2 sıralı, yuvarlak ve saplı meşeden daha küçük, yaz odunu traheleri dar radyal sıralar oluşturur. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş anidir. Saplı meşede; ilkbahar odunu traheleri elips şeklinde 1-5 sıralı, yaz odunu traheleri geniş radyal sıralar oluşturur. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaştır. İlkbahar odunu traheleri 150-350 µm yaz odunu traheleri 30-140 µm çapta mm² de ilkbahar odununda 5-13 adet, yaz odununda 25 adete kadar. Tüller çok miktarda görülür. Oran dar yıllık halkalarda % 39,4, geniş yıllık halkalarda % 7,7. Boyuna paranzimler; apotraheal dağınık ile apotraheal teğet sıralı, oran % 4,9. Öz ışınları; homojen, iki değişik genişlikte, geniş öz ışınları, 6-80 mm yükseklikte, 500-1000 µm genişlikte, dar öz ışınları; 80-240 µm veya 25 hücreye kadar yükseklikte, 8-25 µm veya 1 hücre genişlikte, oran dar yıllık halkalarda % 16,2, geniş yıllık halkalarda % 29,3. Lifler; libriform lifleri, lif traheidleri ve vassisentrik traheidlerden oluşur. Uzunlukları 280-1600 µm oran; dar yıllık halkalarda % 44,3, geniş yıllık halkalarda % 58,1. Dayanıklılık; diri odun az dayanıklı, öz odun dayanıklıdır (Bozkurt ve Erdin 1989).

2.4.3.3 Bazı Teknolojik Özellikleri

Meşenin sert veya yumuşak olması çoğunlukla yetiştiği yere bağlıdır. Az çalışır, kolay yarılr, yumuşak kereste veren türleri kolay işlenir. Bünyesindeki bol tanen yüzünden en iyi boyanabilen ağaç meşedir. Kolay verniklenir. Sert ağaç standartlarına göre biçilmiş olarak kalas, tahta, kadron vb. biçimlerde hazır parke halinde paketlenmiş olarak satılır. Mobilya ve iç mimaride kullanılan meşenin büyük bir bölümü de kaplama halinde satılır. Dar ve sık yıl halkalı meşe kerestesi eş yapılı özellik gösterir ve genellikle yumuşak olur. İşlenme özellikleri yıllık halka genişliğine bağlı olarak değişir. Orta ile şiddetli derecede körleştirme etkisi vardır. Aletler keskin olmalıdır. Çapraz ve düzensiz lifli materyalin planyalanmasında radyal yüzeyler için kesiş açısı 20° alınmalıdır. Çivileme güç olduğundan ön delme işlemine gerek vardır. Yapıştırılması iyidir. Ancak alkali tutkullarla lekelenme meydana gelebilir. Renk verilebilir. Yüzeyler doldurulduktan sonra iyi cila kabul eder. Dermatit ve astıma neden olabilir. Kurutmanın ilk safhalarında çok yavaş bir program uygulanmalıdır. Çatlamaya eğilimi nedeni ile çok yavaş kurutulur. Açık havada kurutmada ince istif lataları kullanılmalı ve enine kesitlerin korunması için önlem alınmalıdır. Fırında kurutmada hızlı kurutma söz

konusu olduğundan iç çatlakları ve çarpılmalar görülebilir. Kullanım yerinde stabilitesi orta derecedir (Aslan 1994; Şanıvar ve Zorlu 1998).

2.4.3.4 Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Meşenin tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak 0,620- 0,650 g/cm³ ve hava kurusu yoğunluk ise 0,690 g/cm³'dür. Meşe odununun hacim yoğunluk değeri 0,432 g/cm³'dür (Bozkurt ve Erdin 1989) .

Liflere paralel basınç direnci, 650 kg/cm², eğilme direnci, 1100 kg/cm², makaslama direnci, 110 kg/cm², dinamik eğilme direnci 0,6 kg/ cm², yarıлма direnci 8,8 kg/ cm²'dir (Örs ve Keskin 2001).

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1 AĞAÇ MALZEME

Yapılan çalışmada, ağaç malzeme olarak; Sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*), Doğu Kayını (*Fagus Orientalis L.*) ve Meşe (*Quercus Petraea L.*) odunları kullanılmıştır.

Denemede kullanılan ağaç malzeme, piyasadan “Rasgele Seçim” yöntemi ile temin edilmiştir. Temin edilen ağaç malzemeler, hava kuru hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra yapılacak olan deneylere göre ağaç malzemelerden kaba kesim yapılmıştır. Harmanlama işlemi kontrol grubunu ve diğer grupları temsil edecek şekilde yapılmıştır. Ağaç malzemenin budaksız, reçinesiz, büyüme kusurları bulunmayan, sağlam, düzgün lifli ve diri odun kısmı olmasına dikkat edilmiştir. Örneklerin hazırlanma işlemi Karabük Üniversitesi Safranbolu Meslek Yüksekokulu Uygulama Atölyesi, Ahşap Kültürünü Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.2 DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Deney örneklerinin hazırlanmasında sarıçam, doğu kayını ve meşe ağaçlarından seçilen örnekler, TS 345, TS 1476 standartlarına göre, ağacı temsil edecek şekilde budaksız, ardaksız, sağlam, düzgün lifli, diri odun kısmından, reçinesi ve büyüme kusuru bulunmayan parçalardan seçilerek hazırlanmıştır. Deney numune ölçüleri ASTM-E-69’a göre $9.5 \times 19 \times 1016 \text{ mm} \pm 0,8 \text{ mm}$ boyutlarında düzgün şekilde kesilmiştir.

Sarıçam, doğu kayını ve meşe ağaçlarından ısı işlem görmüş ve kontrol örnekleri için 30’ar adet deney numunesi hazırlanmıştır. Buna göre toplam 180 adet örnek hazırlanmıştır.

ASTM-E-69' a göre yanma testi yapılacak malzemelerin rutubeti tam kuru ağırlığına oranla % 12±3 olması gerekmektedir. Bunun için örnekler klimatize dolabında 20 °C±2 ve % 65±5 bağıl nemde % 12 rutubet dengesi oluşuncaya kadar kurutulmuştur.

3.2.1 Kullanılan Isıl İşlem Metodu

Örneklerin ısıl işlemleri Gerede'de bulunan Nova Orman Ürünleri tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Bu tesislerde VTT Finlandiya ve Finlandiya Ağaç Yapı Sanayinin geliştirdiği, ağaç için endüstriyel ölçekli ısıl işlem metodu kullanılmaktadır. Metod Finlandiya Kurumu tarafından lisanslıdır. İğne yapraklı (Sarıçam) ağaç malzeme örneklerine Thermo-D (212 °C±3) sınıfı uygulanmıştır. Yapraklı ağaçlar (Kayın ve Meşe) için ise Thermo-D (200 °C±3) uygulanmıştır.

Thermowood metodu üç ana safhada uygulanmaktadır. Birinci safha yüksek ısıda kurutma safhasıdır. Bu safhada ısı ve su buharı kullanılarak fırın sıcaklığı hızlı bir şekilde 100 °C ye çıkarılır. Sonra, ısı durmadan 130 °C ye yükseltilir, bu süre içerisinde ağaç kurutulur ve nem sıfıra indirilir. İkinci safha ısıl işlem safhası olup ahşabın içindeki sıcaklık iğne yapraklı ağaçlarda 212 °C ye ve yapraklı ağaçlarda 200 °C (Thermo D) ye çıkarılır. Hedef sıcaklığa ulaşıldığında, bu süre 2 – 3 saat uygulanır. Son safha soğutma ve nemlendirme safhasıdır. Su spreyi sistemi kullanılarak ahşabın ısı 50-60 °C ye düşürülür ve ahşabın nemi % 4-6 ya ulaşınca kadar devam edilmiştir.

3.2.2. Özgül Ağırlıklar

3.2.2.1. Tam Kuru Özgül Ağırlık

Tam kuru yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Özgül ağırlıkların belirlenmesi için TS 2472 esaslarına uyulmuştur. Tam kuru özgül ağırlık (δ_0) tayini için, örnekler etüv'de 103 °C ±2 sıcaklık derecesinde ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen örnekler, kurutma fırınından alınarak içerisinde CaCl₂ bulunan desikatörde soğutulduktan sonra 0,001 g duyarlıklı elektronik terazide tartılmıştır. Örneklerin boyutları ±0,01 mm duyarlıklı dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri hesaplandıktan sonra tam kuru özgül ağırlıkları (δ_0); tam kuru ağırlık (M_0) ve hacim (V_0) değerlerine göre;

$$\delta_0 = M_0 / V_0 \text{ (g/cm}^3\text{)} \text{ formülü ile hesaplanmıştır.} \quad (3.1)$$

3.2.2.2. Hava Kuru Özgül Ağırlık

Hava kuru özgül ağırlıklarının belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örneklerin rutubetleri TS 2471, özgül ağırlıkları TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2471 1976; TS 2472 1976). Buna göre; deney örnekleri 20 °C ±2 sıcaklık ve % 65±3 bağıl nem şartlarındaki kabinde bekletilerek değişmez ağırlığa ve boyutsal stabiliteye ulaştıktan sonra 0,001 g duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları ± 0,01 mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kuru haldeki ağırlık (M_{12}) ve hacim (V_{12}) değerine göre hava kuru özgül ağırlık (δ_{12});

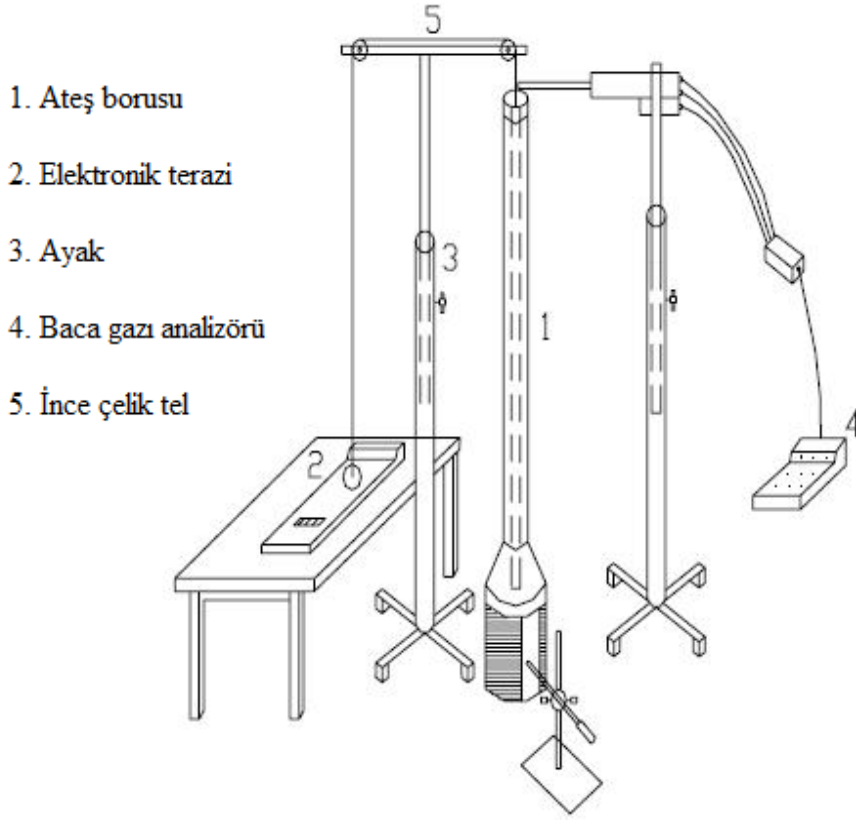
$$\delta_{12} = M_{12} / V_{12} \text{ g/cm}^3 \quad (3.2)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

3.3 YANMA DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI

3.3.1 Yanma Düzenegi Tasarlanması

Ateş borusu cihazı yaklaşık olarak 1928 yılında Amerika Birleşik Devletleri Orman Ürünleri Laboratuvarı'nda T.R. Truax ve C.A. Harrison tarafından geliştirilmiş olup, o zamandan beri ASTM içerisine alınmış bulunmaktadır. Ağaç malzemeyi yangına karşı koruyucu empenye maddelerinin koruma etkisi üzerine yapılmış deneylerde bu metotdan faydalanılmıştır. Bu metot en fazla bilinen ve kullanılan metot olup, birçok ülkede uygulanmakta ve yangına karşı koruyucu maddelerle yapılmış empenye işleminin ağaç malzemeyi koruma etkisi hakkında en iyi fikri vermektedir. Böylece, yangına karşı koruyucu maddeler etki derecelerine göre sınıflara ayrılabilir (Berkel 1972).



Şekil 3.1 Ateş borusu yanma düzeneği tasarımı (Uysal 1997).

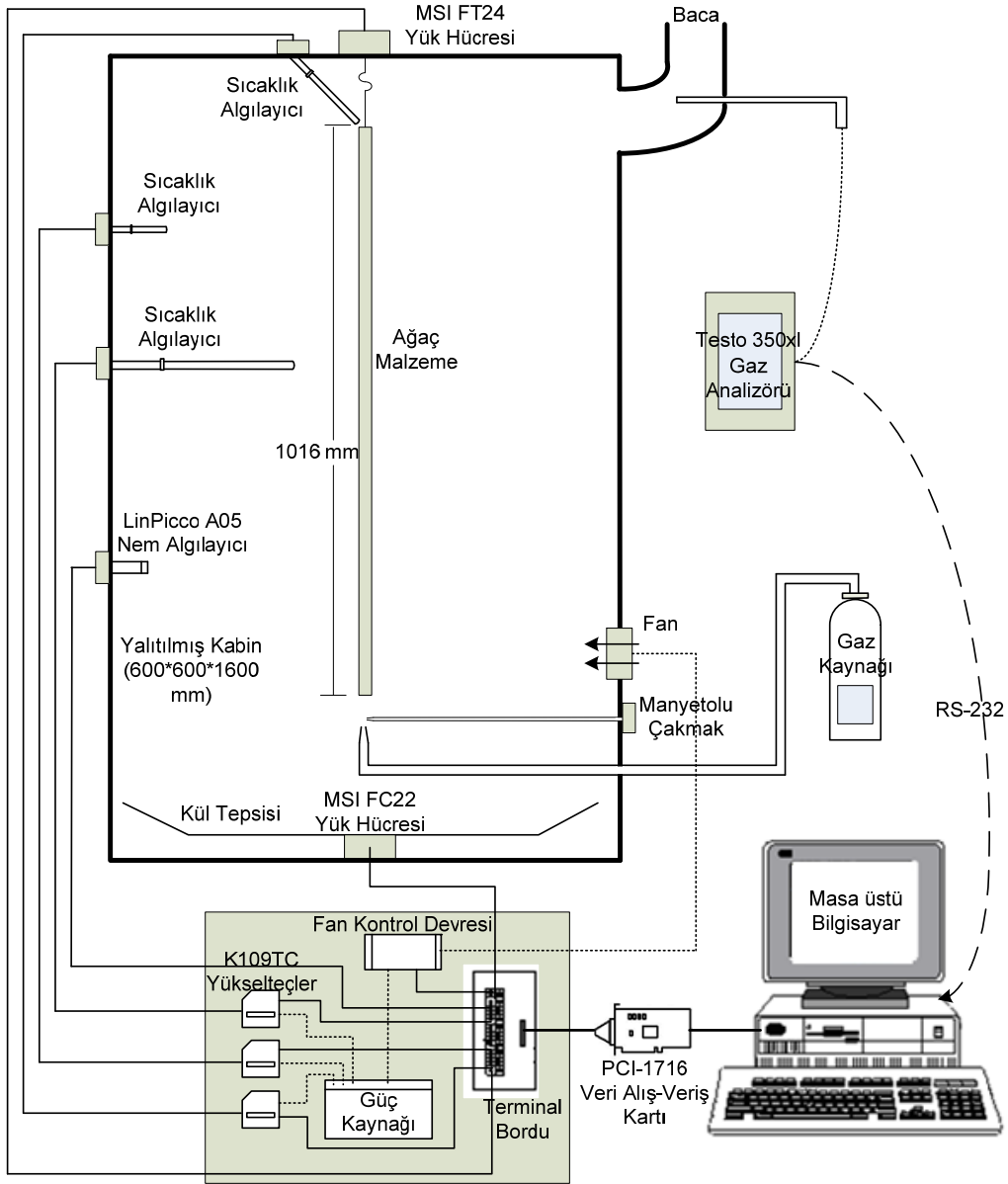
Ateş borusu cihazı ile yapılan deneylerde standart bir alev etkisi ile yanmakta olan ağaç malzemenin yanma ile meydana gelen ağırlık kaybı devamlı olarak ölçülerek yanma hızı elde edilmektedir. Bu yöntemin klasik olduğu ve hassas ölçüm yapamayacağı düşünülerek deney standında değişiklik yapılmış, ağaç malzemedeki yanmadan dolayı meydana gelen ağırlık kaybı ölçümü Şekil 3.1' de gösterildiği gibi analitik hale getirilmiştir. Bu amaçla 0,01 g duyarlılıkta ölçüm yapabilen bir elektronik teraziden faydalanılmıştır. Ateş borusunun üst tarafına baca gazı analiz cihazı Testo 350-xl probu yerleştirilerek malzemenin yakılmasıyla meydana gelecek sıcaklık değişiminin ve yanma ürünü olarak açığa çıkan gazların ölçümü yapılmıştır (Uysal 1997).

Ağaç malzemenin yanma özelliklerinin literatürdeki önemi göz önüne alındığında mevcut yanma düzenekleri günümüzde gelişen teknoloji ve artan isteklere cevap verememektedir. Bu sebeplerden dolayı bilgisayar destekli yanma deney düzeneğine gerek duyulmaktadır. Elle yapılan ölçme kaynaklı hataların en aza indirilmesi, yanma sonucu elde edilen parametrelerin ve yanma sürecinin en hassas şekilde izlenmesi hedeflenmektedir. Bu maksatla bilgisayar

kontrollü ağaç malzeme yanma düzeneği tasarlanmıştır. Yanma kontrol düzeneği tasarımı Şekil 3.2’de verilmiştir. Bilgisayar kontrollü yanma düzeneğinde ölçümü yapılan değerler;

1. Yanan parça ağırlık kaybı
2. Düzenek içi üst, orta ve alt bölüm sıcaklıkları
3. Yanan parça kül miktarı
4. Düzenek içi nem miktarı
5. Baca gaz analizi(O₂, CO, NO, SO₂, CO₂, NO₂, NO_x, Sıcaklık)

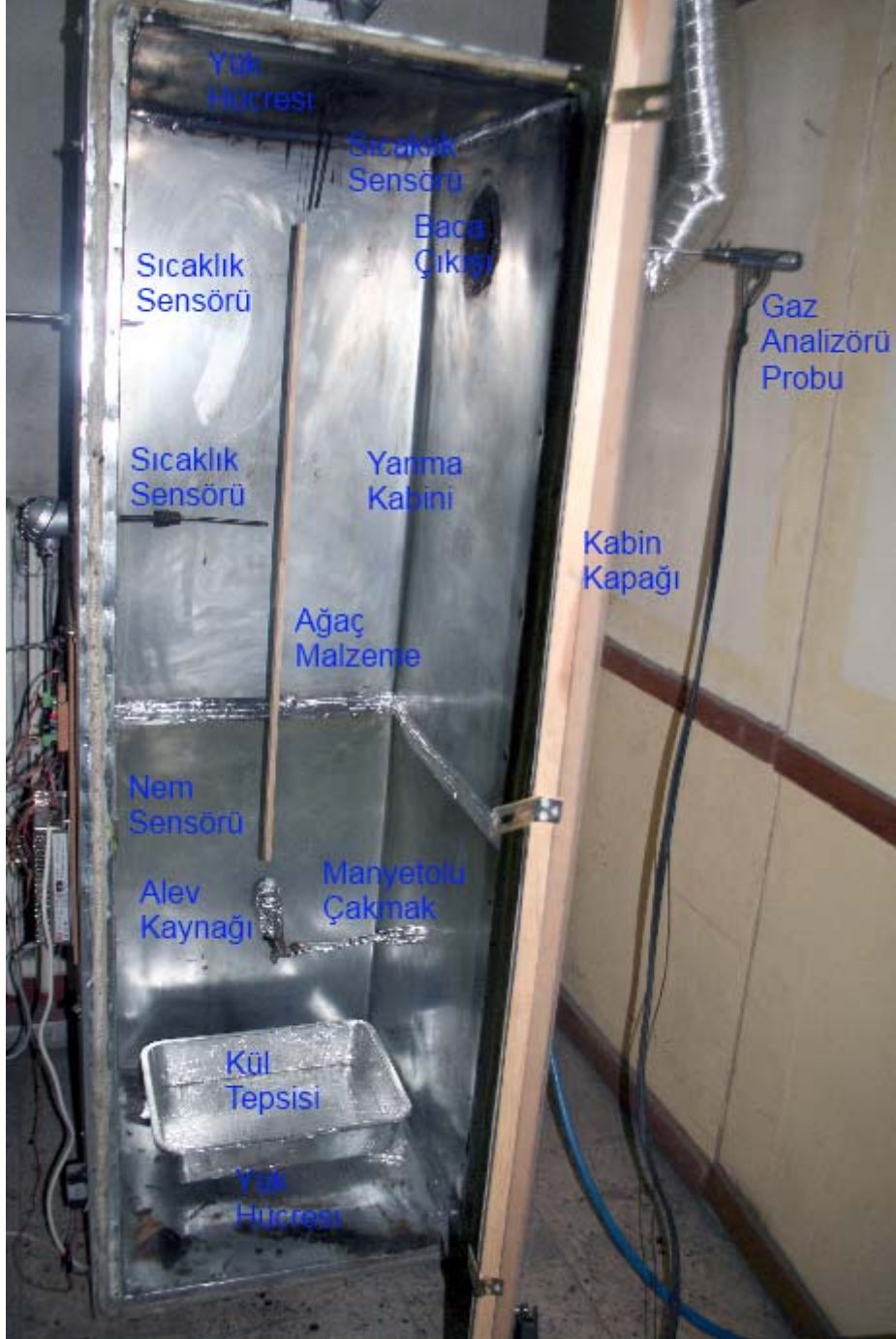
Yanma kontrol düzeneğinde çekme tipi yük hücresi ile yanan ağaç malzemenin ağırlık kaybının yüzde olarak değişimi ölçülmektedir. Basma tipi yük hücresi ile de oluşan kül miktarının ağırlığı ölçülmektedir. Düzenekte üç farklı noktaya (üst, orta, alt) yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcıları ile sıcaklıklar ölçülerek bilgisayar ortamına gerçek zamanlı aktarılmaktadır. Düzeneğin üst tarafına yerleştirilen sıcaklık sensörü yanan ağaç malzemenin üst kısmındaki sıcaklık değişimini ölçmektedir. Düzeneğin yan tarafına yerleştirilen sıcaklık sensörü yanan ağaç malzemenin orta kısmındaki sıcaklık değişimini ölçmektedir. Düzenek içi ortam sıcaklığını ölçmek için de düzeneğin yan tarafına yerleştirilen sıcaklık sensörü kullanılmaktadır. Ölçüm değerleri ilgili dönüştürücülerden geçirildikten sonra terminal borduna aktarılmaktadır. Düzeneğe yerleştirilen baca gaz analizi cihazı ile yanma sonucu ortaya çıkan gazların ölçümü yapılmaktadır.



Şekil 3.2 Yanma düzeneği tasarımı.

Ölçülen bu değerler doğrudan terminal borduna aktarılmaktadır. Bu sistem sayesinde meydana gelen ağırlık kayıpları ve ölçüm hataları giderilerek daha doğru verilerin elde edilebileceği deney düzeneği oluşturulmuştur. Düzenek içindeki nem miktarını ölçmek için nem algılayıcısından yararlanılmaktadır. Ölçülen değer yine direk olarak terminal borduna gönderilmektedir. Terminal borduna gelen tüm ölçüm değerleri buradan da veri alış-veriş kartı aracılığıyla alınıp işlenmek ve depolanmak üzere bilgisayar ortamına alınmaktadır. Kullanılan veri alış-veriş kartı gerçek zamanlı veri iletimini sağlamaktadır. Düzeneğin hava girişine yerleştirilen fan, nem sensöründen gelen ölçüm değerine göre kontrol edilmektedir. Bu sayede düzenek içerisindeki hava akışı sağlanmaktadır. Ölçüm verileri deney çalışması

sonunda sonraki çalışmalarda değerlendirilmek üzere kayıt altına alınıp saklanmaktadır. Bu sayede ileride yapılacak çalışmaların doğruluğu deneysel tecrübelerle kontrol edilebilecektir. Şekil 3.3' de ağaç malzeme yanma düzeneği genel görünümü verilmiştir.



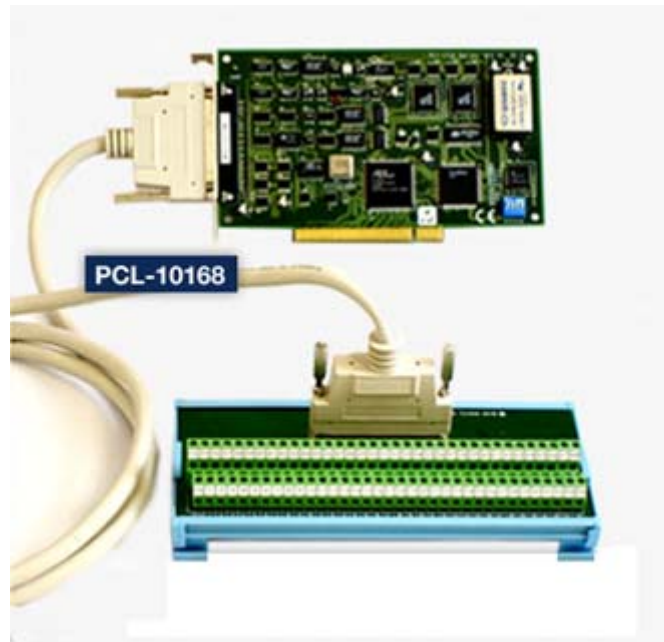
Şekil 3.3 Yanma düzeneği görünümü

3.3.2 Yanma Düzeneği Altyapısı

3.3.2.1 Bilgisayar, Veri Alış-Veriş Kartı ve Terminal Bordu

Deneyisel çalışmalarda gerçek zamanlı sistemler için daha iyi performans sunan dört çekirdekli bir masa üstü bilgisayar kullanılmıştır. Seçilen bilgisayar işlemci gücü sayesinde yoğun işlem potansiyeline sahiptir.

Sensörlerden gelen ölçümler, öncelikle terminal borduna alınmakta ardından PCL-10168 kablo bağlantısı ile PCI-1716 veri alış-veriş kartına gönderilmekte ve bu şekilde bilgisayara ortamına aktarılmaktadır. Terminal bordu olarak 68 pinli kablo terminal modülü olan, veri alış-veriş kartları ile hızlı ve güvenli iletişim imkanı sunan ADAM-3968 kullanılmıştır. PCL-10168 korumalı kablosu daha iyi sinyal kalitesi için dolanmış çift kablodur. Bu sayede çapraz-karışma ve diğer sinyal kaynaklarından gelen gürültüler azaltılmış olur. Bu kabloda analog ve dijital hatlar birbirinden ayrı kaplamalı ve korumalı yapılmıştır. PCI-1716, PCI veriyolu için güçlü, yüksek çözünürlüklü ve çok işlevli veri alış-veriş kartıdır. 250 kHz örnekleme zamanlı 16 bit A/D dönüştürücüye sahiptir. 16 adet analog giriş, 2 adet analog çıkış bunun yanı sıra 16 adet dijital giriş ve 16 adet çıkış kanalına sahiptir. Bu yapısıyla kullanılan kart farklı kullanıcı ihtiyaçlarına özel fonksiyonlar sağlamaktadır (Advantech Co. 2001). Şekil 3.4’de veri alış-veriş kartı ve terminal bordu verilmektedir.



Şekil 3.4 Veri alış-veriş kartı ve terminal bordu.

3.2.2.2 Sıcaklık Algılayıcı ve Amplifikatörler

Düzenek üzerinde yapılan sıcaklık ölçümleri için J tipi sıcaklık algılayıcılar kullanılmıştır. Bu sıcaklık algılayıcılar insetli tip olup, metal koruyuculu ve rekor bağlantılı montajdır. Kafa ile rekor arası standart 120 mm'dir. Düzeneğin yan kısmında bulunan ve ortam sıcaklığını ölçmede kullanılan sıcaklık algılayıcılar 0-600 °C arasında ölçüm yapabilmektedir. Düzeneğin üst ve yan kısmında bulunan ve ağaç malzemenin üst ve orta kısmındaki sıcaklıklarını ölçmede kullandığımız sıcaklık algılayıcılar ise 0-1200 °C arasında ölçüm yapabilmektedir. Sıcaklık algılayıcılardan alınan ölçüm sonuçları yükselteçler üzerinden geçirildikten sonra terminal borduna aktarılmaktadır. Sıcaklık algılayıcılar ile yükselteçler arasındaki bağlantılar özel kablolar kullanılarak yapılmıştır. Bu kablolar sıcaklık algılayıcılar kompanzasyon kabloları olarak bilinmektedir. Kompanzasyon kablolarının iletkenleri yine sıcaklık algılayıcılar eleman telinin özelliklerine yakın özel alaşımlardır. Sıcaklık bilgisi sıcaklık algılayıcılardan yükselteçlere kompanzasyon kabloları sayesinde daha uygun olarak taşınmış olur. Şekil 3.5'de kullanılan sıcaklık algılayıcılar için örnek bir resim verilmiştir.



Şekil 3.5 Sıcaklık algılayıcı örnek resmi.

Yükselteç, sıcaklık algılayıcı tarafından okunan sıcaklık sinyalini voltaj ya da akım sinyaline dönüştürmek için kullanılır. Yükselteç 19,2-30 Vdc girişi gerilimi ile beslenmekte ve maksimum 24 mA çıkış vermektedir. Aynı zamanda çıkış voltajı olarak 0-5 Vdc, 1-5 Vdc, 0-10 Vdc ve 10-0 Vdc verebilmektedir. Çıkış gerilimi için 1 mV çözünürlüğe, 14 bit A/D dönüştürücüye ve % 0,1 hata oranına sahiptir. Deney düzeneğine yerleştirilen sıcaklık algılayıcı çıkışını yükseltmek için kullanılan yükselteçler terminal borduna 0-5 volt arası çıkış göndermektedir. Şekil 3.6'da kullanılan yükselteç ait görüntü verilmiştir.



Şekil 3.6 Sıcaklık Algılayıcı Yükselteç.

3.3.2.3 Ağırlık Algılayıcı

Yanma düzeneğinde yanan ağaç malzemenin ağırlık kaybını ölçmek için Şekil 3.7’de verilen çekme tipi ağırlık algılayıcı kullanılmıştır. Bu ağırlık algılayıcı düşük ölçümlü işlemlerde ve birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. 0-4500 g arasında ölçüm yapabilirken, % 0,05 den daha küçük hassasiyete sahiptir. 3,3-5 Vdc arası gerilim ile beslenmekte ve 0,5-4,5 V arası çıkış vermektedir.



Şekil 3.7 Çekme tipi ağırlık algılayıcı.

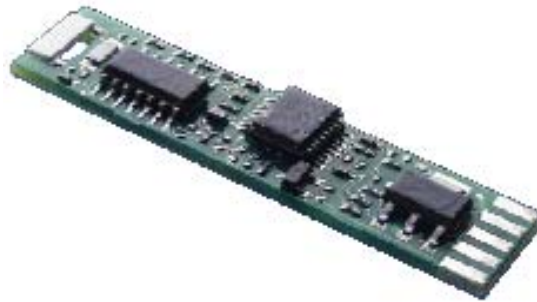
Deney düzeneğinde ağaç malzemenin yanması sonucu oluşan kül ağırlığını ölçmek için Şekil 3.7’de verilen basma tipi ağırlık algılayıcı kullanılmıştır. Bu ağırlık sensörü her türlü ölçüm uygulamalarında yüksek güvenilirlik ve doğruluk sağlamaktadır. 0-4500 g arasında ölçüm yapabilirken, % 0,05 den daha küçük hassasiyete sahiptir. 3,3-5 Vdc arası gerilim ile beslenmekte ve 0,5-4,5 V arası çıkış vermektedir. Algılayıcının sahip olduğu yükselteç ile dönüştürülmüş çıkış kablo yapısı çekme tipi modeli ile aynı olup Şekil 3.8’de verilmektedir.



Şekil 3.8 Basma tipi ağırlık algılayıcı.

3.3.2.4 Nem Algılayıcı

Düzenek içerisindeki nem miktarını yüzde olarak ölçmek için LinPicco A05 nem algılayıcı kullanılmıştır. Nem algılayıcı düzenek içerisindeki nem miktarını yüzde olarak ölçmek için kullanılmıştır. % 3 doğruluk ile çalışmakta, 8-32 Vdc arası gerilim ile beslenmekte ve 0-5 V arası çıkış vermektedir. Çıkış değeri terminal borduna direk olarak iletilmektedir. Algılayıcı kablo bağlantı yapısı Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 Nem algılayıcı.

3.3.2.5 Yanma Kabini

Yanma kabini 600x600x1600 mm boyutlarda kaplamalı MDF den yapılmıştır. Kabinin iç yüzeyine çıtalar çakılmış ve bu çıtaların arasına ısı yalıtımını sağlamak için cam yünü konulmuştur. Daha sonra cam yününün üstü de kalıp halinde hazırlanan galvanizli sac ile kaplanmıştır. Yanma kabinin kapağı da aynı malzemelerden hazırlanıp üzerine yüksek ısıya dayanıklı temperli cam yerleştirilmiştir ve menteşelerle düzeneğe monte edilmiştir. Kapakla kabin arasına yalıtım sağlamak için ısı fitilleri çekilerek silikonla desteklenmiştir.

Bilgisayar kontrollü yanma düzeneğinin içerisinde hava akışını sağlamak için kabinin ön tarafına fan girişi açılmış ve fan yerleştirilmiştir. Gaz kaynağı için kabinin yan tarafından bir giriş açılmıştır. Manyetolu çakmak için de yine kabinin aynı tarafından bir giriş açılmıştır. Nem, sıcaklık ve ağırlık algılayıcılar için düzeneğin üzerinde belirlenen noktalarda girişler açılarak istenilen ölçüm sonuçlarının alınabilmesi sağlanmıştır.

3.4 YANMA DÜZENEĞİ KULLANICI ARAYÜZLÜ YAZILIM TASARIMI

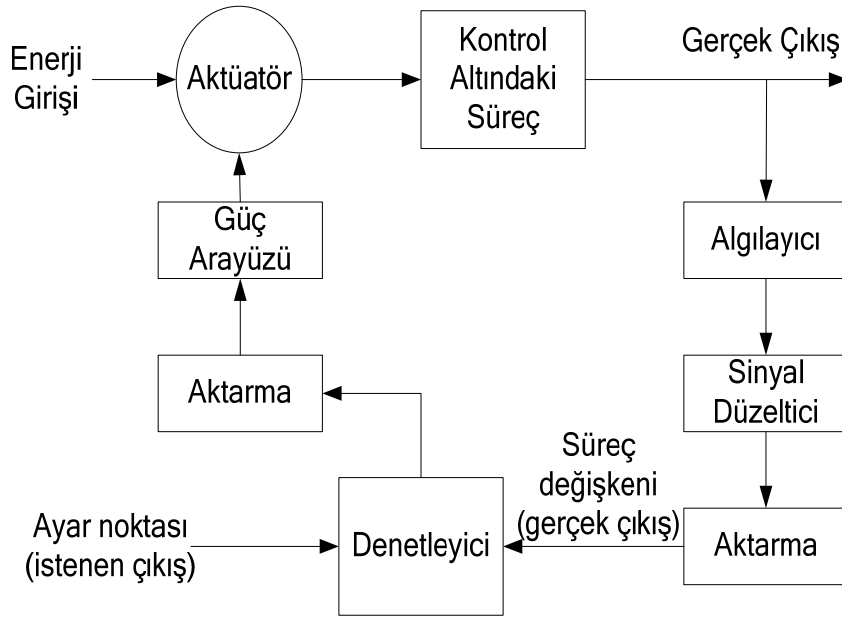
Bilgisayar kontrollü yanma düzeneği için öncelikle Matlab Simulink ortamında yanma kontrol modeli oluşturulmuştur. Bu model sayesinde düzeneğin üzerinden alınan verilerin istenen örnekleme zamanında gerçek zamanlı bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Daha sonra hazırlanan kullanıcı arayüzlü yazılım tasarımı ile de verilerin veri alış-veriş kartından alınarak gerçek zamanlı işlenmesi ve depolanması gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan yazılım sayesinde algılayıcılardan veriler istenen örnekleme zamanında alınabilmekte ve grafiklerle ekranda kullanıcılara sunulmaktadır.

3.4.1. Süreç Denetimi

Süreç denetim sistemi, maddeleri fiziksel ya da kimyasal olarak değiştirmek için gerekli fonksiyon ve işlemler olarak tanımlanabilir. Süreç denetimi, endüstride ürünlerin üretimi veya işlenmesini ifade eder. Her işlem birden fazla denetimi ya da dinamik değişkeni içerir. Denetim değişkeni bizim sabit tutmaya çalıştığımız değişkendir. Süreçler ayrıca, birden daha fazla ayarlanan değişken ya da denetim etkenine sahiptir. Ayarlanan değişken, süreci düzenlemek için kullandığımız değişkendir. Ayarlanan değişken özellikle denetim değişkenini sabit tutmamızı sağlar. Denetim ve ayarlanan değişkenlere örnek olarak sıcaklık, nem, ağırlık, basınç, sıvı akışı ve sıvı seviyesi verilebilir. Her süreç denetim sistemi birden fazla bozukluğa sahip olabilir. Bozukluk denetim değişkenini değiştirmeye yönelir. Süreç denetim sisteminin fonksiyonu, bozukluk denetim değişkeninin değerini değiştirdiği zaman onu ayarlamaktır (Humphries ve Sheets 1989).

Süreç denetim genel olarak açık ve kapalı çevrim denetim olmak üzere iki gruba ayrılır. Kapalı tip çevrim ölçümlerinde değişkenler denetim altında tutulur. Şekil 3.10'da kapalı çevrim proses denetim sistemi verilmektedir. İyi tasarlanmış süreç denetim sistemleri hem maddi hem de zaman olarak büyük kazançlar sağlayabilir. Hataları azaltarak ürün kalitesinin

arttırılmasını ve iş güvenliğinin daha iyi olmasını sağlayabilir. Bu avantajlarından dolayı özel süreç denetim sistemlerine üretim endüstrisinde sık sık rastlanır. Önleyici ve düzeltici bakım görevleri sistemin karmaşıklığı ile doğrudan değişmektedir. Bu nedenle, teknisyenler süreç denetim sistemleri arkasında sağlam bir kavrayışa sahip olmalıdır. Otomatik denetim ayrıca, aşırı ve tehlikeli koşullarda çalışma sağlar. Bu avantajlar otomatik denetim sisteminin, önemli insan müdahalesi olmadan bazı önemli süreç parametrelerini istenilen değerde tutmak üzere tasarlanmış olmasından sağlanır (Jacob 1989).



Şekil 3.10 Kapalı çevrim denetim sistemi (Jacob 1989).

3.4.2 Matlab Kullanılarak Gerçek Zamanlı Veri Alınması

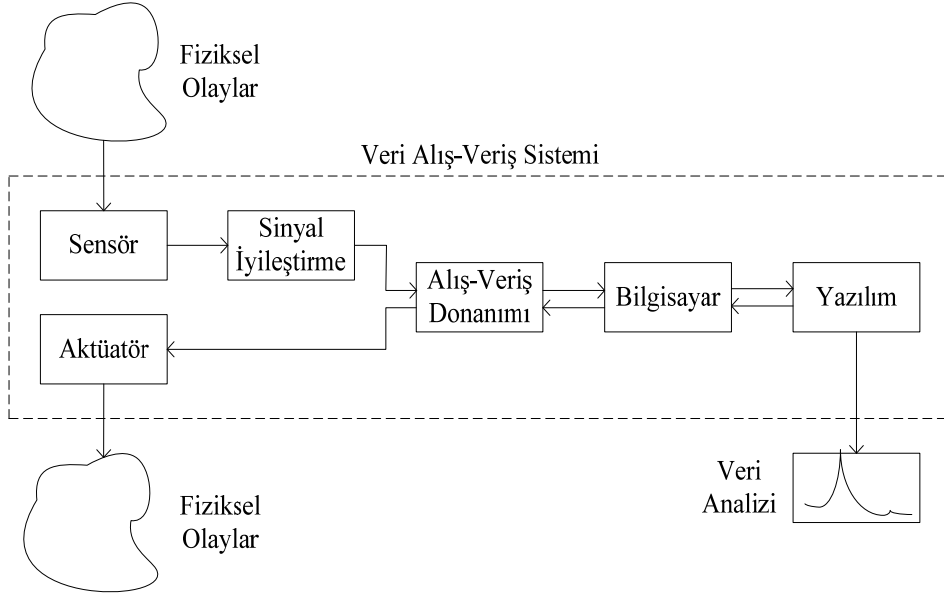
Matlab sayısal hesaplamaları, ileri düzey grafikleri ve üst düzey programlama dilini birleştiren bir hesaplama ortamıdır. Matlab'da bir sistemin modelini oluşturmak ve gerçek zamanlı olarak kontrol etmek mümkündür. Bu işlem iki türlü gerçekleştirilir. Bunlardan birincisi model veya sistem Matlab ortamında oluşturulur ve girdi ve/veya kontrol girişleri ile model test edilir. İkinci tür gerçek zamanlı çalışmalarda ise gerçek sistem Matlab ortamından kontrol ve/veya test edilir. Bu işlemler için xPC Target ve RTWT (Real Time Windows Target) araçları kullanılarak yapılır. Matlab'ın bu iki kütüphanesini kullanarak veri işleme, gerçek zamanlı denetim, vb. birçok konuda çalışmalar yapılmaktadır. RTWT verileri gerçek zamanlı olarak Matlab çalışma ortamına aktarır. Deneye ait verileri gerçek zamanlı olarak Windows işletim sisteminde almak oldukça zordur. Matlab Windows işletim sisteminin

kescmelerini ve yapacağı işlemleri engeller veya bekletir. Bu sayede 100 kHz kadar gerçek zamanlı veri alma ve denetim işlemini Windows işletim sistemi üzerinden gerçekleştirebilir (User Guide 2008).

Gerçek zamanlı veri aktarımı, algılayıcılar ile alınan verilerin veri alış-veriş kartı sayesinde bilgisayar ortamına Matlab RTWT kütüphanesi yardımıyla aktarılması ile sağlanmaktadır. Veri aktarımı bilgisayara bağlanan PCI veri alış veriş kartı ile gerçekleştirilmektedir. Bu veri alış-veriş kartı gerçek zamanlı veri iletiminde Matlab yazılımının RTWT kütüphanesi tarafından da desteklendiği için tercih edilmiştir.

3.4.2.1. Matlab Veri Alış-Veriş Sistemi

Veri alış-veriş sistemi çeşitli bilgisayarlarda uygun veri kazanım donanımlarına analog ve dijital giriş çıkışları sağlar. Matlab ortamına alınan ve buradan aktarılan verilerin düzenlenmesi ve analizi için kullanılır. Bunun temelinde Matlab ortamının, alınan verilerin kolay bir şekilde özelleştirilmesi ve donanım parçalarının özelliklerinin oluşturulmasına imkan sağlaması bulunmaktadır. Veri alış-veriş sistemi analiz işleme ve veri kazancı girişini desteklemek için tek ve bütünleşik bir ortam sunmaktadır. Bu sistemin en büyük kazancı, sistem verileri toplarken, Matlab bu sırada bilgileri düşünebilir ve analiz edebilir. Analog giriş ve çıkış veri alış-veriş sistemi tarafından sağlanmaktadır. Sistem bilgi alışverişinde çok önemli olan A/D ve D/A (Dijital/Analog) veri değişimlerini otomatik olarak yerine getirir. Analog giriş metotları analog giriş objeleri için özel olan komutlar sağlar. Bu fonksiyonlar analog giriş oluşturma, objelere kanal ekleme, çalışma alanındaki bilgileri okuma ve son zamanlarda kazanılmış bilgiyi göstermeyi sağlar. Analog çıkış fonksiyonları donanıma bilgi göndermeyi sağlar. Bu fonksiyonlar obje oluşturma, kanal ekleme, çıkış için bilgi grubunu sıralama ve örnek bilgiyi dışarıya göndermeyi sağlar.



Şekil 3.11 Veri alış-veriş sistemi ve bileşenleri (User Guide 2008).

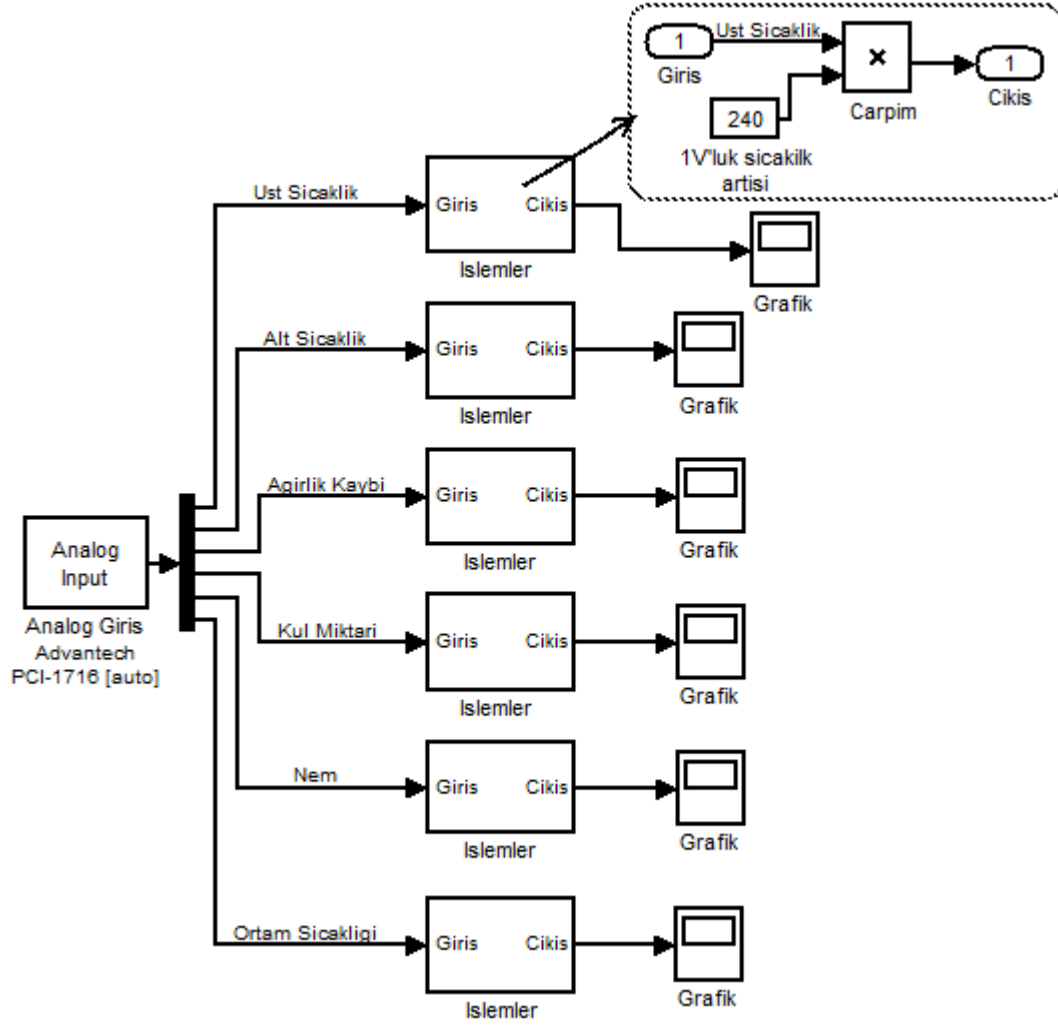
Veri alış-veriş sistemi ve bileşenleri Şekil 3.11’de verilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere veri alış-veriş sisteminin iki önemli özelliği tanımlanmaktadır. İlki sinyaller algılayıcılara giriş olarak gelmekte, iyileştirme işlemi yapılmakta, bilgisayarın okuyabileceği ikili sisteme dönüştürülmekte ve anlamlı bilgiler oluşturulmak için analiz edilmektedir. İkincisi ise bilgisayar tarafından analog bir sinyale dönüştürülen bilgiler aktüatöre çıkış olarak gönderilmektedir.

Dış ortamdan alınan bilgilerin Matlab çalışma ortamına gerçek zamanlı alınmasını RTWT kütüphanesi sağlamaktadır. Bunu sağlamak için simulink modeli üzerinde bazı ayarlamalar yapılması gerekmektedir. RTWT yazılımı gerçek zamanlı sistemin işletim sistemi ile koordinasyonunu sağlayan çekirdek birimini içerir. Bu çekirdek istenilen örnekleme hızında gerçek zamanlı çalışmanın en öncelikli hale getirilmesini sağlamaktadır. Modelin gerçek zamanlı çalışması süresince çekirdek, işlemciyi kullanma önceliği verilmiş modelin işlemini denetim altında tutar ve gerektiğinde müdahale eder. İşlem bittikten sonra çekirdek işlemciyi boşa çıkarır ve diğer Windows tabanlı uygulamaların isteğine sunar. RTWT çekirdek işletim sistemi üzerinde otomatik olarak yüklenmiş değildir. Gerçek zamanlı uygulama çalıştırmadan önce çekirdek kurulumunun gerçekleştirilmesi gerekir. Simulink parametre ayarları bölümünden simülasyon başlangıç süresi, bitiş süresi ve adım seçeneklerinin gerçek zamanlı çalışma için uygun hale getirilmesi gerekir. Son olarak değişken adımlı çözüm gerçek zaman

sistemi tarafından desteklenmediği için bu kısımda sabit adım seçeneği seçilmelidir (User Guide 2008).

3.4.2.2. Matlab Simulink Modeli

Verilerin gerçek zamanlı olarak bilgisayar ortamına alınıp işlenmesi için Matlab'da Simulink modeli oluşturulmuştur. Simulink yazılımı, karmaşık sistemleri modelleme, simülasyon ve analiz yapma imkanı sunmaktadır. Sistemlerin tasarımında büyük oranda bilgisayar simülasyonlarından faydalanılmakta, mümkün olduğunda tasarımın test aşamaları da bilgisayarlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu da prototiplere olan ihtiyacı azaltarak maliyetlerin büyük oranda düşmesini sağlamaktadır. Dinamik sistemlerin Simulink ile simüle edilmesi iki adımda gerçekleştirilir. İlk olarak simüle edilecek sistemin grafik modeli oluşturulur. Bu model girişler, durum değişkenleri ve çıkışlar arasında zamana bağlı matematiksel ilişkiyi gösterir. Daha sonra belirli bir zaman aralığında sistem davranışı Simulink kullanılarak simüle edilir. Yanma düzeneği Simulink modeli Şekil 3.12'de verildiği gibidir.



Şekil 3.12 Yanma düzeneği simulink modeli.

Veri alış-veriş kartının analog input girişlerinden alınan verilerin Simulink ortamına alınması için RTWT kütüphanesi altındaki analog giriş bloğu kullanılmıştır. Yeni bir kart yükle seçeneği ile veri alış-veriş kartı seçilmiştir. Saniyede 5 veri almak için örnekleme zamanı olarak 0,2 değerini verdik. Veri alış-veriş kartının 6 girişinden veri almak için giriş kanalları alanına [1 2 3 4 5 6] değerini yazılmıştır. Ölçümlerini yapılan algılayıcıların çıkışları 0-5 ve 0,5-4,5 V arasında değiştiği için giriş aralığı için 0-5 V olarak belirlenmiştir.

Simulink modelinde algılayıcılardan gelen volt bilgilerini ilgili ölçüm değerlerine dönüştürmek için çeşitli hesaplama blokları kullanılmıştır. Sıcaklık algılayıcılarının çıkışı dönüştürücüden geçtikten sonra 0-5 V arasına alınmaktadır. 0-1200 °C ve 0-600 °C arasında ölçüm yapan sıcaklık algılayıcılarında 1 voltluk değişimin sıcaklık karşılığı ayrı ayrı hesaplanarak bloklara girilmiştir. Ağırlık algılayıcılarının çıkışı da 0,5-4,5 V arasında

değiştirdiği ve 0-4500 g arasında ölçüm yaptığı için 1 voltluk değişimin ağırlık karşılığı hesaplanarak bloğa girilmiştir. Nem algılayıcı ile ilgili yapılan çalışmalarda da 0-5 voltluk ölçüm aralığı yüzde nem oranına dönüştürülmekte bunun için 1 voltluk değişimin nem oranı karşılığı hesaplanarak bloğa girilmiştir. Bu şekilde ölçülen volt değerlerin ilgili ölçüm birimlerine dönüştürülmesi sağlanmaktadır.



Bilgisayar kontrollü yanma kontrol sistemi için öncelikle Matlab Simulink ortamında yanma kontrol modeli oluşturulmuştur. Bu model sayesinde düzeneğin üzerinden alınan verilerin istenen örnekleme zamanında gerçek zamanlı bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Daha sonra hazırlanan kullanıcı arayüzlü yazılım tasarımı ile de verilerin veri alış-veriş kartından alınarak gerçek zamanlı işlenmesi ve depolanması gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan yazılım sayesinde sensörlerden veriler istenen örnekleme zamanında alınabilmekte ve grafiklerle ekranda kullanıcılara sunulmaktadır.

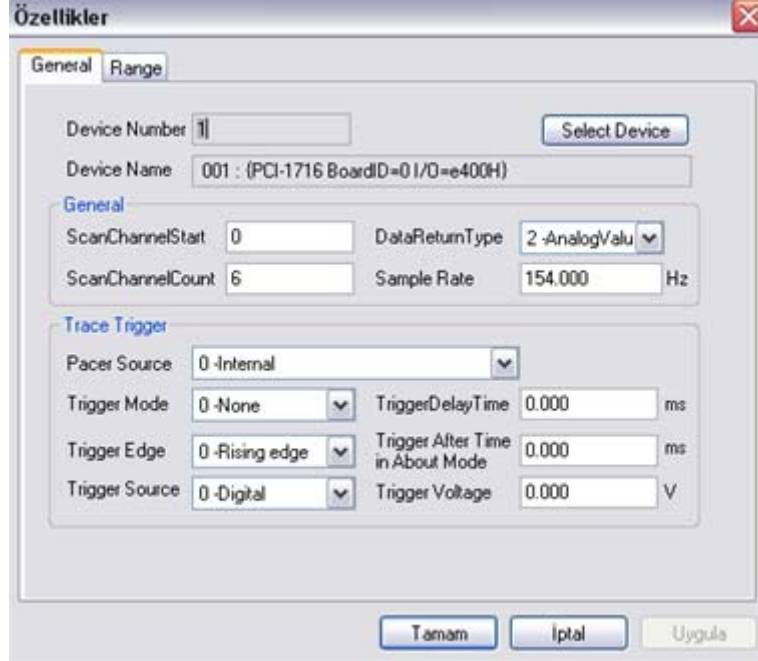
3.4.3. Kullanıcı Arayüzlü Yazılım Tasarımı

Yanma kontrol düzeneği için Visual C# görsel programlama dilinde kullanıcı arayüzlü yazılım tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yazılım tasarımında öncelikle veri alış-veriş kartı ile iletişimi sağlayacak veri aktarım alt yapısı oluşturulmuştur. Veri alış-veriş kartının sürücüsü bilgisayara yüklenmiş ve test edilmiştir. Gerçek zamanlı veri aktarımı alt yapısı sağlandıktan sonra alınan verilerin kullanıcıya gösterilmesini sağlayan arayüz ve grafik ekranları tasarlanmış ve kodları yazılmıştır. Yapılacak deneyin bilgilerinin girildiği, deney özelliklerinin belirlendiği ve ölçümü gerçekleştirecek verilerin ölçekleme ayarlarının yapıldığı arayüz ekranı hazırlanmıştır. Verilerin gerçek zamanlı işlenmesi ve depolanması için gerekli kodlamalar yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarının daha sonra kullanılmak üzere kayıt edilmesi için veritabanı alt yapısı oluşturulmuştur.

3.4.3.1 Gerçek Zamanlı Veri Alış-Verişi

Yazılım tasarımına veri alış-veriş kartının sürücüsünün yüklenmesi ile başlanmıştır. Yükleme başarılı ile sağlandıktan sonra kartın bilgisayar tarafından tanınıp tanınmadığı kontrol edildi. Daha sonra veri alış-verişi için kullanılacak kartın seçilmesi ve özelliklerinin belirlenmesine başlanmıştır. Kart seçimi işlemine geçilmeden editörün proje tabı altındaki referans ekleme menüsünden proje referans dosyasına veri alış-verişi için gerekli analog giriş ve çıkış DLL

dosyaları eklendi. Ardından yazılım arayüz ekranımıza bir adet analog giriş  ve bir adet analog çıkış  nesnesi eklendi. Analog giriş nesnesinin sahip olduğu genel özellikler Şekil 3.13’de verildiği gibidir. Bu özellikler kart ayarlamaları ekranında kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.

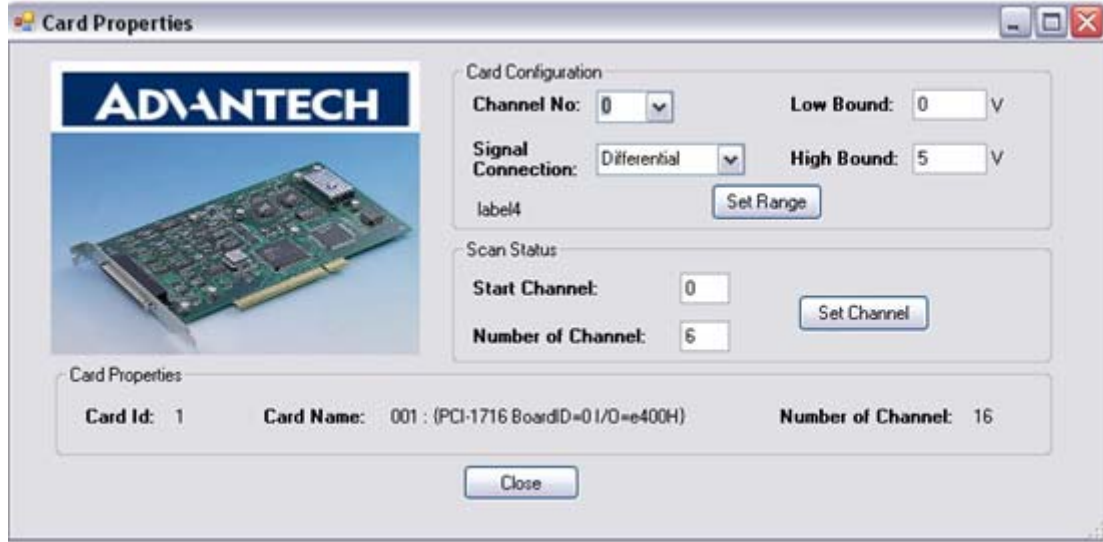


Şekil 3.13 Analog giriş özellikleri ekranı.

Analog giriş nesnesinin sahip olduğu kanalların aralık özellikleri Şekil 3.13’te verilen “Range” sekmesi altından değiştirilebilmektedir. Bu özellikler de kart ayarlamaları ekranında kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.

Proje çalıştırıldığında kart seçimi işlemi otomatik olarak arka planda yapılmaktadır. Bu şekilde kullanıcıların işlemlerini daha hızlı yapması ve kart seçme işlemi ile uğraşmamları amaçlanmıştır. Fakat kullanıcılar bu işlemi kendileri yapmak isterlerse kart seçimi işlemi için sistemde yüklü kartların listelendiği ekran gelmektedir.

Projede gerçek zamanlı veri alış-verişi için kullanacağımız kart seçildikten sonra kart ayarlamalarını yapacağımız arayüze “DAQ Card” menüsü altındaki “Properties” yolundan ulaşabilir. Şekil 3.14’te verilen bu ekranın alt kısmında kullandığımız kartın adı, numarası ve kanal sayısı gibi özelliklerini görebilmekteyiz. “Card Configuration” grubu altında veri okuması yapılacak kanalların değer aralıklarını ve sinyal bağlantı tiplerini belirlenebilir.



Şekil 3.14 Kart ayarları ekranı.

“Scan Status” grubu altında ise okuma yapılacak başlangıç kanalı ve kaç adet kanaldan okuma yapılacağı belirlenebilmektedir.

Düzenek üzerinden gelen ölçüm değerleri veri alış-veriş kartından analog giriş modülü yardımıyla istenen örnekleme zamanında alınabilmektedir. Alınan veriler örnekleme zamanına göre Şekil 3.15’de verildiği gibi kullanıcıya sunulmaktadır. Veri gösterimi ekranı üzerinde çalışılan kartın numarası ve adı verilmektedir. Genel örnekleme zamanı için 0-1000 ms arasında seçim yapılabilme imkanı sunulmaktadır. Örnekleme zamanı başlangıç olarak 200 ms olarak belirlenmiştir. 200 ms’lik örnekleme zamanı saniyede 5 veri alınması anlamına gelmektedir.

Kart ayarları ekranında 6 kanaldan okuma yapılacağı belirtildiği için “Input Channels” grubu altında 6 kanaldan verilerin gösterimi gerçekleştirilmiştir.



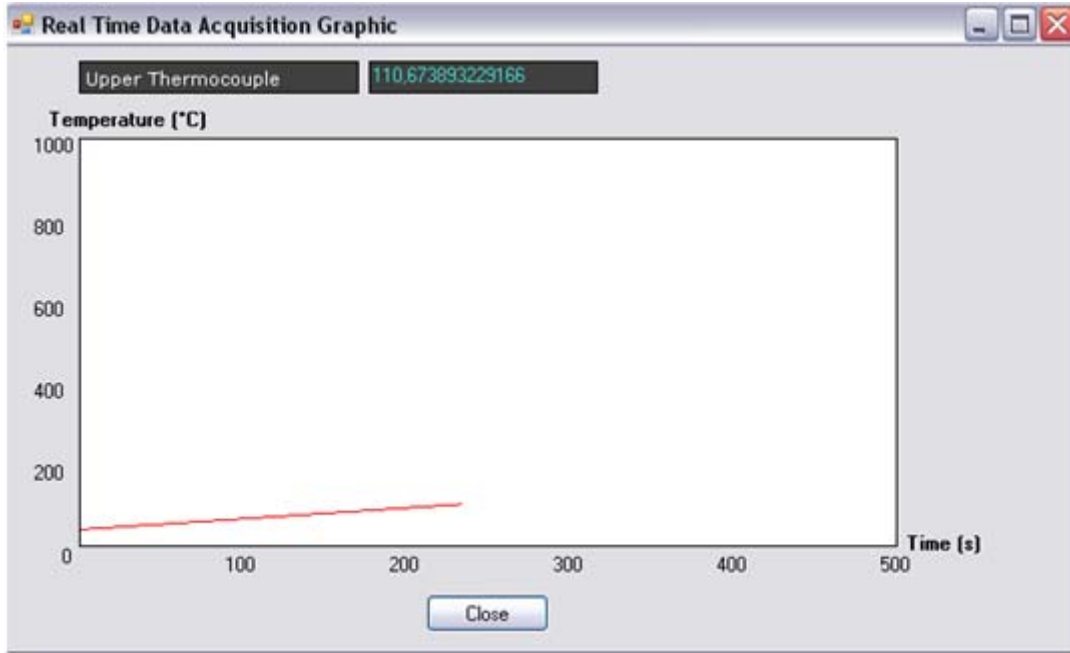
Şekil 3.15 Gerçek zamanlı veri okuma ekranı.

3.4.3.2 Veri Gösterimi ve Kaydetme

Sensörlerden gelen ölçüm verilerinin kullanıcıya gösterildiği ekrandır. Kanal penceresi gruplarında her kanalın örnekleme zamanı ayrı ayrı ayarlanabilmektedir. Örnek olarak sıcaklık ölçümü için saniyede 10 veri alınması istenirken, çekme tipi ağırlık ölçümü için saniyede 50 veri alınması istenebilir. Bunun için sıcaklık ölçümü için örnekleme zamanı 100 olarak seçilirken, çekme tipi ağırlık ölçümünde örnekleme zamanı 20 olarak seçilmektedir. Ölçüm verileri Şekil 3.15’de gösterildiği gibi gerçek zamanlı olarak ilgili alanlara yazılmaktadır. Bu sayede kullanıcılar alınan verileri gerçek zamanlı olarak gözlemleyebilmektedir.

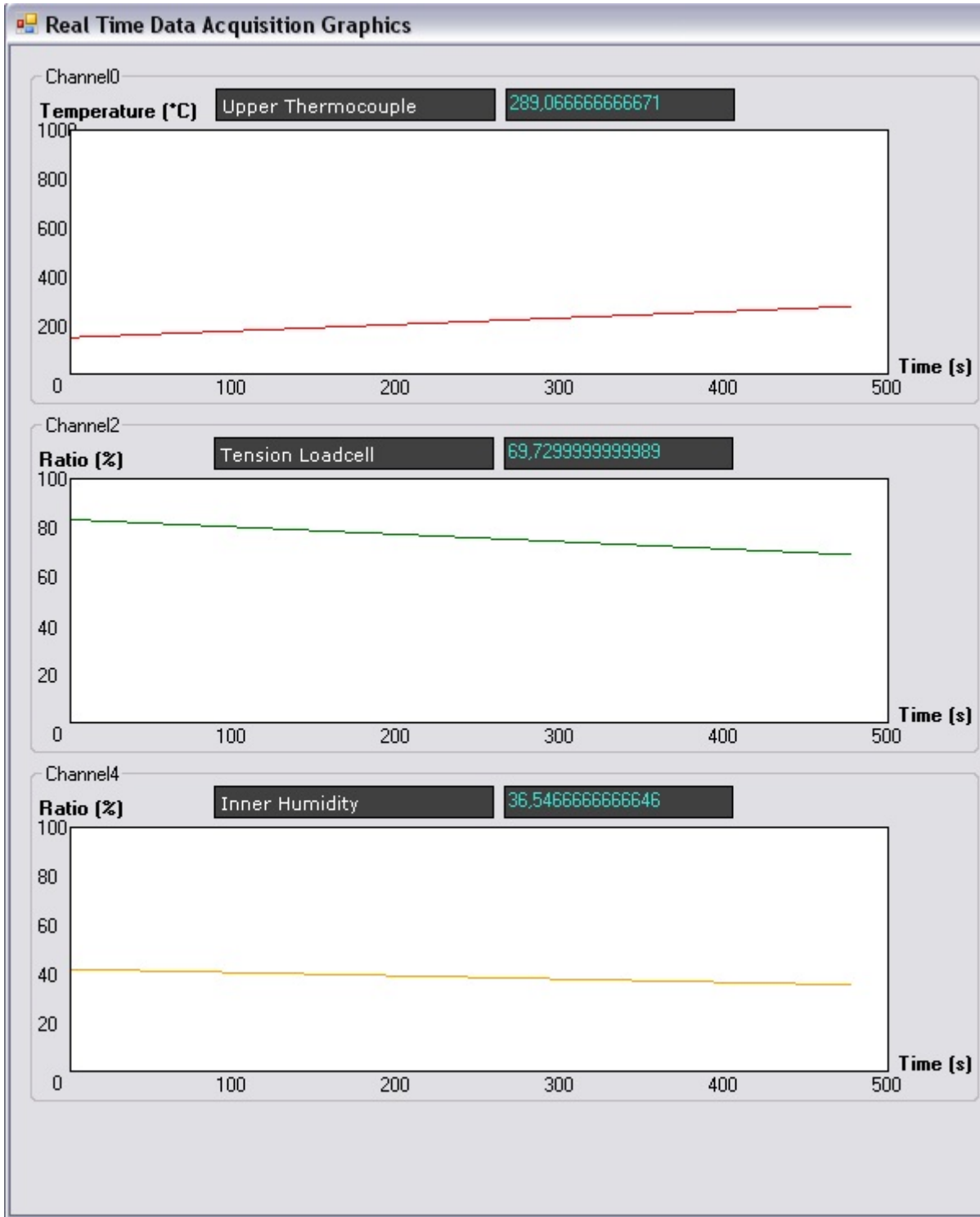
Kanallardan alınan ölçüm verileri etiketler üzerinde gösterilmesinin dışında grafiksel olarak da kullanıcıya sunulmaktadır. “Show Graphic” butonu ile tek bir veri için grafik gösterimi yapılırken, tüm verilerin tek bir ekranda gösterilmesi de “Show Graphics” butonu ile sağlanabilmektedir.

Her bir sensörden gelen verilerin gösterildiği alanın altında bulunan “Show Graphic” butonuna basılarak ilgili kanaldan alınan verinin grafiği gerçek zamanlı olarak ekrana yansıtılmaktadır. Şekil 3.16’da verildiği gibi veriler grafiksel olarak örnekleme zamanına göre çizilmektedir. Aynı zamanda gelen verinin değeri etikete de yazılarak anlık değişimleri kullanıcıya sunulmaktadır.

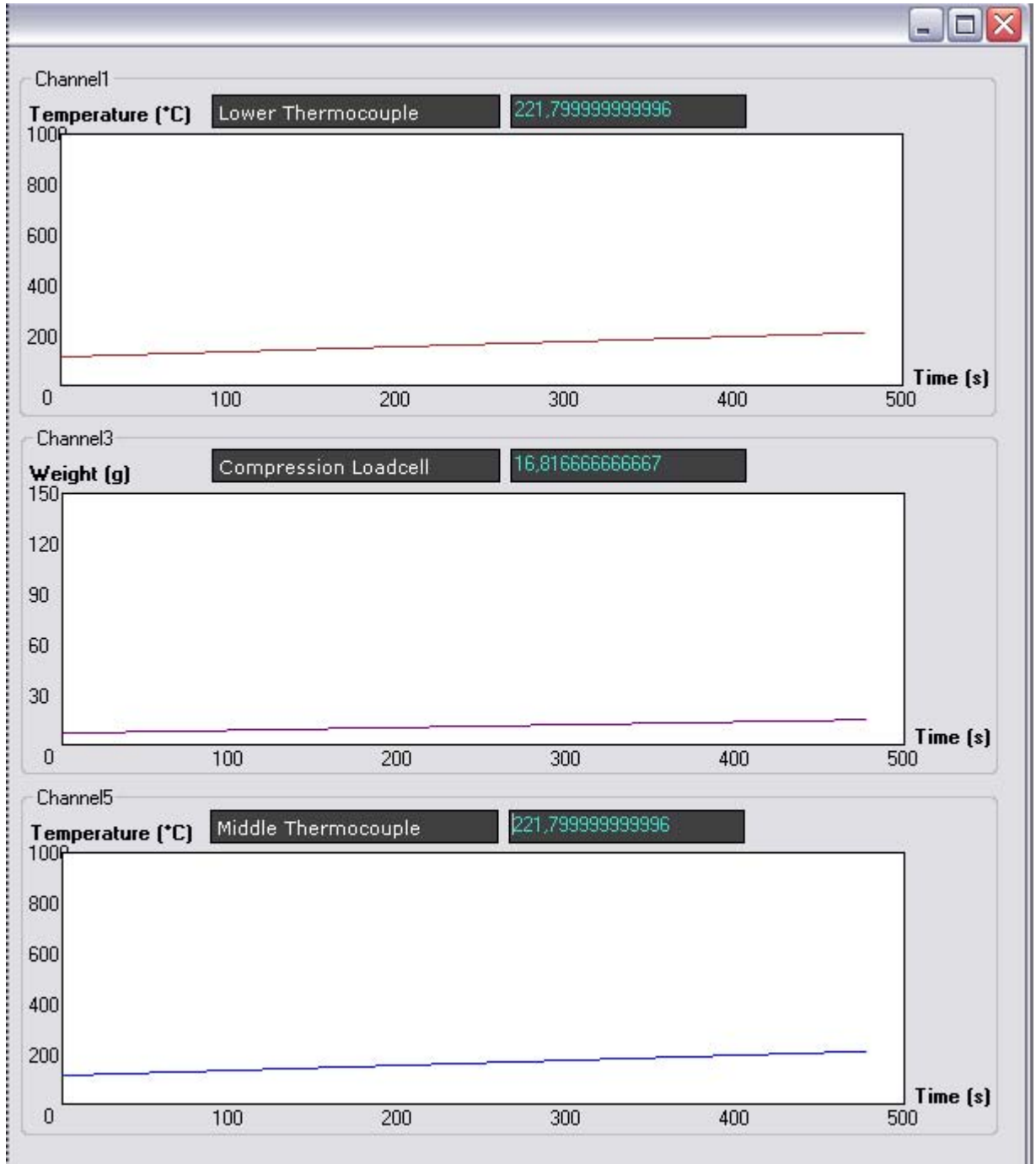


Şekil 3.16 Tek bir ölçüm için grafik gösterimi ekranı.

Tüm verilerin tek bir ekranda gösterilmesi de “Show All Graphics” butonu ile sağlanabilmektedir. Bu ekrana ait örnek görüntüleri ise Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verildiği gibidir. Bu ekranda kullanıcılar alınan verilerin grafiğini toplu olarak görebilmekte ve değerlendirmelerini daha etkin yapabilmektedir.

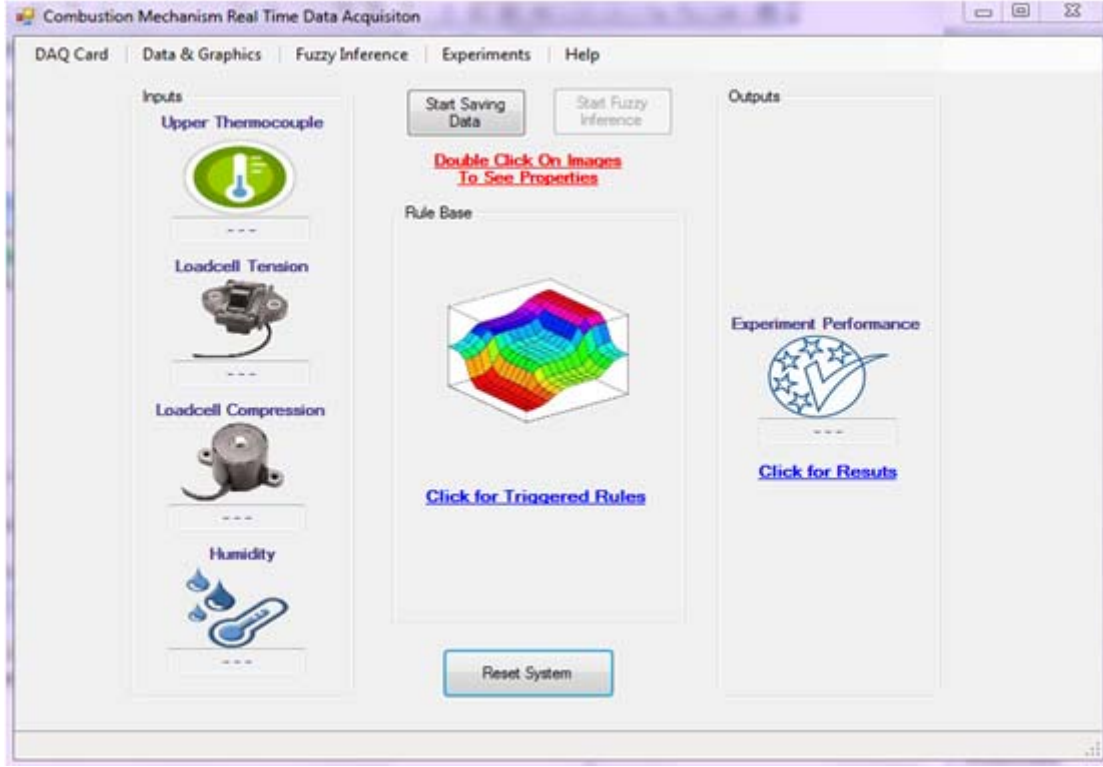


Şekil 3.17 Tüm ölçümler için grafik gösterimi ekranı sol bölümü.



Şekil 3.18 Tüm ölçümler için grafik gösterimi ekranı sağ bölümü.

Sensörlerden gelen veriler daha sonra kullanılmak üzere veri tabanı ortamında saklanmaktadır. Veri kaydetme işlemine başlanması için Şekil 3.19’da verilen “Start Saving Data” butonuna basılması gerekmektedir. Bu butona basıldıktan sonra veriler gerçek zamanlı olarak istenilen örnekleme zamanında veri tabanına kaydedilmektedir. Gerçek zamanlı kayıt işlemi veri kaybının önüne geçilmesini sağlamaktadır. Kayıt edilen bu verilerin ileride yapılacak aynı tür yanma çalışmalarında değerlendirilmek üzere kullanılabilmesi sağlanacaktır.



Şekil 3.19 Veri kaydetme ekranı.

Verilerin tutulması için Access veri tabanı kullanılmıştır. Bu veri tabanının seçilmesinin nedeni çok fazla tablo ve alana ihtiyaç duyulmamasıdır. Yaygın olarak kullanılmasının yanında yönetimi de kullanıcılar için kolaydır.

Yanma kontrol düzeneği ile yapılan deney çalışmalarında istenilen örnekleme zamanında veri kaydedilmesi sağlanabilmektedir. Burada 30 saniyede bir verilerin kaydedildiği veri tabanı tablosu Şekil 3.20’de verilmektedir. Tablo içerisinde veri numarası, deney numarası ve ölçüm sonuçları alanları bulunmaktadır.

upperThermo	lowerThermo	loadcellTension	loadcellCompression	innerHumidity	middleThermo	experimentPerf
50,13333	42,6	96,60999	1,88333	48,49333	42,6	70
54,13333	45,6	96,15999	2,13333	48,29333	45,6	70
58,13333	48,6	95,70999	2,38333	48,09333	48,6	70
62,13333	51,6	95,25999	2,63333	47,89333	51,6	70
66,13333	54,6	94,80999	2,88333	47,69333	54,6	65,95
70,13333	57,6	94,35999	3,13333	47,49333	57,6	60,88
74,13333	60,6	93,90999	3,38333	47,29333	60,6	57,6
78,13333	63,6	93,45999	3,63333	47,09333	63,6	55,24

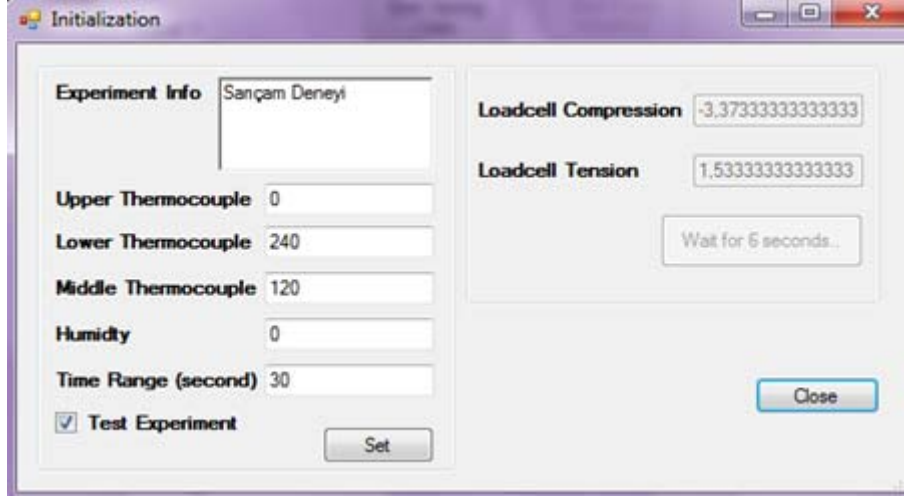
Şekil 3.20 Deney verileri tablosu (30 saniyelik).

Sensörlerden gelen verilerin kullanıcının kullanımına sunulduğu Şekil 3.21’de verilen ekrandır. Burada kayıtları görülmek istenen deneyin solda bulunan listeden seçilmesi gerekmektedir. Seçilen deneye göre orta kısımda bulunan listeye ilgili deney sonuçları getirilmektedir. Kullanıcılar ilgili deneyin ölçüm verilerine “Data Group” grubu altındaki seçimleri kullanarak ulaşabilmektedir. Kullanıcı istediği takdirde deney sonuçlarını “Export to Excel” butonuna tıklayarak excel ortamına aktarabilmektedirler.

Experiments	Upper Thermocouple	Lower Thermocouple	Loadcell Tension	Loadcell Compression	Inner Humidity	Middle Thermocouple
1. 18.10.2010 14:21:32	21,87	21,6	99,71	5,13	47,89	21,07
2. 18.10.2010 10:02:10	25,37	24,6	99,16	5,38	47,69	23,07
3. 18.10.2010 09:59:55	28,87	27,6	98,61	5,63	47,49	25,07
4. 18.10.2010 09:48:42	32,37	30,6	98,06	5,88	47,29	27,07
5. 18.10.2010 09:45:52	35,87	33,6	97,51	6,13	47,09	29,07
6. 18.10.2010 09:15:33	39,37	36,6	96,96	6,38	46,89	31,07
7. 18.10.2010 09:12:26	42,87	39,6	96,41	6,63	46,69	33,07
8. 18.10.2010 13:01:05	46,37	42,6	95,86	6,88	46,49	35,07
9. 17.10.2010 12:49:18	49,87	45,6	95,31	7,13	46,29	37,07
10. 17.10.2010 11:38:21	53,37	48,6	94,76	7,38	46,09	39,07
11. 17.10.2010 11:28:54	56,87	51,6	94,21	7,63	45,89	41,07
12. 17.10.2010 11:24:38	60,37	54,6	93,66	7,88	45,69	43,07
13. 17.10.2010 10:57:48						
14. 17.10.2010 10:57:41						
15. 17.10.2010 10:55:04						
16. 17.10.2010 10:52:27						
17. 17.10.2010 10:52:27						
18. 17.10.2010 10:52:27						

Şekil 3.21.Kayıtlı veri gösterimi ekranı.

Yapılacak deney çalışmasının bilgilerinin girildiği ve sensörler için başlangıç tanımlamalarının yapıldığı Şekil 3.22’de verilen ekrandır. Burada belirtilen alanlara sensörlerden alınan volt değerlerini ilgili birimlere dönüştürmek için gerekli katsayı tanımlamaları yapılır.



Şekil 3.22.Deney tanımlamaları ekranı.

Şayet çalışma sistemin genel kontrolü için yapılan bir test çalışması ise “Test Experiment” ifadesi seçilmelidir. Alanlar belirlenen değerlerle doldurulduktan sonra “Set” butonuna tıklanarak bu değerler kaydedilir. Ağırlık sensörleri için 10 saniyelik ağırlıksız ölçüm, 10 saniyelik de ağırlıklı ölçüm ilgili butona tıklanarak yapılır. Bu sayede birim dönüşümü için gerekli katsayılar hesaplanmış olur.

3.5 YANMA DÜZENEĞİNİN ÇALIŞMASI

Deney öncesinde yük hücrelerinin kalibrasyon işlemi yapılacak olup bu işlem program üzerinden yük hücreleri boş iken gerçekleştirilecek. Daha sonra üstteki yük hücresine numune, alttaki yük hücresine ise kül tepsisi yerleştirildikten sonraki değerler kaydedilerek deneye geçilecek. Deney gaz vanası açılıp ateşleme yapılarak alev kaynağı oluşacak aynı anda bilgisayar programımız çalıştırılarak veriler alınmaya başlanacak ve deney başlayacaktır. Yanma işlemi başladığı andan itibaren düzenek içindeki, sıcaklık algılayıcıları ile sıcaklık değerleri ölçülüp yükselteçlerden geçtikten sonra terminal bordu ve veri alış-veriş kartı aracılığıyla değerlendirilmek ve depolanmak üzere bilgisayara aktarılacaktır. Kül tepsisinin altına konan ağırlık algılayıcısı ile düşen kül miktarının ölçümü yapılacak, deney örneğinin asıldığı tele bağlanan diğer ağırlık algılayıcısı ile de ağaç malzemenin kalan ağırlığı ölçülecektir. Bu algılayıcılardan gelen bilgilerde terminal bordu üzerinden sisteme aktarılacaktır. Nem algılayıcısından gelen ölçüm değerleri de bu şekilde alınıp bilgisayara iletilecektir. Yanma deneyinin ilk dört dakikası boyunca yanma işlemi aynı seviyede gaz sisteme verilerek devam edecektir (alev kaynaklı yanma). Bu süre sonunda tüpten gelen gaz

akışı kesilerek yanma işlemine altı dakika daha devam edilecektir (alev kaynaksız yanma). Ağaç malzemenin yanma işlemi bitene kadar algılayıcılar aracılığıyla veriler gerçek zamanlı olarak alınmaya devam edilecektir.

Yanma düzeneği için görsel programlama dilinde yazılım tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yazılım tasarımında öncelikle veri alış-veriş kartı ile iletişimi sağlayacak veri aktarım alt yapısı oluşturulmuştur. Veri alış-veriş kartının sürücüleri bilgisayara yüklenerek ilgili tanımlama dosyaları yazılım alt yapısına eklenmiştir. Gerçek zamanlı veri aktarımı sağlandıktan sonra bu verilerin ekranda gösterilmesini sağlayacak arayüz ve grafik ekranları tasarlanmıştır. Veriler işlenmek ve depolanmak üzere hazırlanan veritabanına kayıt edilmektedir.

3.6 BACA GAZI ANALİZİ

Baca gazı analiz cihazı Testo T350 XL üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar;

- Kontrol Ünitesi
- Analiz Kutusu
- Prob

Baca gazı analiz cihazı Testo T350 XL Şekil.3.23, Şekil.3.24' te tanıtılmıştır.



Şekil.3.23 Analiz cihazı Testo T350 XL ana parçaları.



Şekil.3.24 Analiz cihazı Testo T350 XL kontrol ünitesi

Baca gazı analizi ölçümlerinde prob baca çıkışına yerleştirilmiştir. Testo probunun bacadaki konumu Şekil 3.25’de verilmiştir.



Şekil.3.25 Testo probunun bacadaki konumu.

Baca gazı analiz cihazı Testo T350 XL bazı ölçüm parametreleri aşağıda verilmiştir.

Sıcaklık Ölçümü

Ölçüm Aralığı: -40 ile +1200°C
Doğruluk: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ (0 ile +99.9°C)
Çözünürlük: 0.1/1°C (+1000°C)
Sıcaklık Sensörü, Type K (NiCr-Ni)
Tepki Süresi : t 90 <30s

CO Ölçümü

Ölçüm Aralığı : 0-8000 ppm
Doğruluk : ± 20 ppm
Çözünürlük : % 0.1
Ölçme işlemi : Elektrokimyasal ölçü hücresi.
Tepki Süresi : t 90 <30s

NO ölçümü

Ölçüm Aralığı : 0 ile NO max
Doğruluk : $\pm \% 0.2$
Çözünürlük : % 0.1
Ölçme işlemi : Elektrokimyasal ölçü hücresi.
Tepki Süresi : t 90 <30s

O₂ ölçümü

Ölçüm Aralığı : % 0-21
Doğruluk : $\pm \% 0.2$
Çözünürlük : % 0.1
Ölçme işlemi : Elektrokimyasal ölçü hücresi.
Tepki Süresi : t 90 <20s

3.7 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, ağaç türü, işlem türü, alevli - alevsiz yanma direnci ve yanma ürünü olarak açığa çıkan gazlar araştırılmıştır. Bu verileri belirlemek amacıyla deneylerden elde edilen

sonuçlara SPSS istatistik paket programı kullanılarak çoklu varyans analizi uygulanmıştır. Faktörlerin karşılıklı etkileşiminin % 5 hata payı ile anlamlı çıkması halinde anlam derecesini belirtmek için Duncan testi uygulanmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR

4.1. AĞAÇ MALZEME ÖZGÜL AĞIRLIKLARI

4.1.1 Kontrol Örnekleri Özgül Ağırlıkları

Ağaç malzemelerin kontrol örneklerinin hava kurusu özgül ağırlıkları ölçülerek elde edilen değerler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Ağaç malzemelerin özgül ağırlık değerleri (g/cm³)

Ağaç Türü	Hava Kurusu Özgül Ağırlık
Çam	0,52
Kayın	0,69
Meşe	0,71

Tablo 4.1 de görüldüğü gibi özgül ağırlık değeri en yüksek olan ağaç malzeme meşe daha sonra kayındır. En düşük özgül ağırlık değeri ise sarıçam odunu örneklerindedir.

4.1.2 Isıl İşlem Sonrası Örneklerin Özgül Ağırlıkları

Ağaç malzemelerin ısı işlem sonrası hava kurusu özgül ağırlık ölçülerek elde edilen değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Isıl işlem sonrası ağaç malzemelerin özgül ağırlık değerleri (g/cm³)

Ağaç Türü	Hava Kurusu Özgül Ağırlık
Çam	0,49
Kayın	0,64
Meşe	0,66

Tablo 4.2 de görüldüğü gibi ısıtım işlem sonrası özgül ağırlık değeri en yüksek olan ağaç malzeme meşe daha sonra kayındır. En düşük özgül ağırlık değeri ise sarıçam örneklerindedir.

4.2. YANMA DENEYLERİ

4.2.1. Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri

4.2.1.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıtım işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.3’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Sarıçam örneklerinin % ağırlık kaybı ortalama değerleri.

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıtım İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	2,09	0,85	4,00	0,7693	1,00	0,85	4,00	0,5509
2*	5,44	2,57	9,97	1,9289	2,79	2,57	9,97	0,9264
3*	10,64	6,79	17,97	3,1125	5,91	6,79	17,97	1,8343
4*	17,92	12,94	27,50	4,5225	10,40	12,94	27,50	2,9373
5*	25,91	19,08	37,16	5,5891	16,61	19,08	37,16	3,8669
6*	33,81	27,03	43,72	5,0296	23,21	27,03	43,72	5,0018
7*	41,78	36,19	50,27	4,8278	29,56	36,19	50,27	7,2910
8*	49,17	42,29	59,14	5,6658	35,05	42,29	59,14	8,1826
9	56,93	48,92	68,86	7,0945	41,42	48,92	68,86	9,2312
10	66,10	55,32	79,35	8,5801	47,86	55,32	79,35	10,7456
11	76,11	63,77	92,70	10,6699	56,59	63,77	92,70	12,1801
12	82,73	70,49	97,47	9,2564	64,30	70,49	97,47	12,3475
13	86,80	74,36	98,42	7,4348	74,33	74,36	98,42	12,1135
14	90,29	79,43	98,76	5,6822	80,51	79,43	98,76	9,8509
15	91,42	81,24	98,76	5,5052	86,25	81,24	98,76	8,2436
16	94,06	87,57	98,99	3,9075	91,25	87,57	98,99	5,8711
17	96,43	91,26	98,99	2,2877	94,67	91,26	98,99	3,6144
18	97,40	94,01	99,24	1,4975	97,12	94,01	99,24	1,9396
19	98,50	96,73	99,39	0,7742	98,46	96,73	99,39	0,5134
20	98,77	97,17	99,45	0,6053	98,76	97,17	99,45	0,4482

* Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıtım işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; alev kaynaklı yanmanın sonunda kontrol örneklerinde ağırlık kaybı % 49,17 bulunmuşken, ısıtım işlem

görmüş ağaç malzeme örneklerinde % 35,05 bulunmuştur. Yanma sonunda ise kontrol örnekleri ve ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde birbirine yakın değerler bulunmuştur.

Tablo 4.4 Sarıçam örneklerinde % ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	1442511,436	39	36987,473	896,826	0,000
Sabit Terim	3893767,385	1	3893767,385	94411,198	0,000
A:İşlem Türü	20730,461	1	20730,461	502,646	0,000
B:Ölçüm zamanı	1409242,161	19	74170,640	1798,397	0,000
Etkileşim A*B	12538,814	19	659,938	16,001	0,000
Hata	47841,467	1160	41,243		
Toplam	5384120,288	1200			
Düzeltilmiş Toplam	1490352,903	1199			

a $R^2 = 0,968$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, sarıçam örneklerinin yanması sonucu ölçülen % ağırlık kaybı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.1.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.5’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.6’de verilmiştir.

Tablo 4.5 Kayın örneklerinin % ağırlık kaybı ortalama değerleri.

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	1,08	0,42	1,59	0,3630	1,46	0,76	2,56	0,6116
2*	2,61	1,78	3,57	0,6747	3,12	1,94	6,25	1,4742
3*	6,16	4,00	7,52	1,0327	7,03	4,32	11,90	2,3650
4*	11,91	8,01	14,91	2,1055	12,46	8,21	18,39	2,9022
5*	19,70	13,33	24,37	3,5336	19,51	12,95	24,24	3,9864
6*	28,46	20,42	34,83	4,6022	24,91	19,24	29,65	3,1030
7*	36,17	29,61	43,70	4,6323	31,23	25,81	36,38	3,2288
8*	44,86	34,34	51,41	5,8197	37,77	31,91	44,82	4,3388
9	52,35	40,60	64,59	7,2837	44,15	37,59	52,82	5,0210
10	60,97	45,93	75,84	8,6879	52,00	45,64	67,18	6,0978
11	70,92	51,67	84,32	10,5194	63,12	54,96	81,98	8,4690

12	77,61	57,55	92,03	10,3685	70,24	62,45	86,13	7,3887
13	85,87	75,43	98,27	5,9533	79,77	70,29	93,15	7,1585
14	89,45	82,53	98,58	3,7226	84,02	75,58	98,75	6,0939
15	91,28	83,98	97,84	3,4202	87,25	82,31	99,00	4,8062
16	93,14	86,33	97,91	3,1576	89,06	83,80	98,96	4,5502
17	94,75	88,31	98,19	2,5152	92,47	87,72	98,95	3,1296
18	96,42	92,19	98,97	1,8164	94,90	91,77	99,09	2,0664
19	97,57	95,04	99,04	1,2412	96,26	93,69	99,22	1,5887
20	98,53	96,94	99,91	0,7526	97,99	96,20	99,61	0,9796

* Alev kaynaklı yanma

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; alev kaynaklı yanmanın sonunda kontrol örneklerinde ağırlık kaybı % 44,86 bulunmuşken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde % 37,77'dir. Yanma sonunda ise kontrol örnekleri ve ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinin birbirine yakın değerler bulunmuştur.

Tablo 4.6 Kayın örneklerinde % ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	1448597,619	39	37143,529	1590,269	0,000
Sabit Terim	3792557,353	1	3792557,353	162375,160	0,000
A:İşlem Türü	3789,453	1	3789,453	162,242	0,000
B:Ölçüm zamanı	1441683,940	19	75878,102	3248,657	0,000
Etkileşim A*B	3124,227	19	164,433	7,040	0,000
Hata	27093,840	1160	23,357		
Toplam	5268248,812	1200			
Düzeltilmiş Toplam	1475691,459	1199			

a $R^2 = 0,982$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, kayın örneklerinin yanması sonucu ölçülen % ağırlık kaybı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.1.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen % Ağırlık Kaybı Değerleri

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.7'de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Meşe örneklerinin % ağırlık kaybı ortalama değerleri.

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	1,30	0,12	2,94	0,8416	0,73	,52	1,31	0,2870
2*	2,67	0,65	5,45	1,2751	1,73	1,07	3,24	0,6996
3*	5,78	3,33	9,32	1,5834	3,64	2,16	6,37	1,6460
4*	10,14	7,01	14,75	2,0148	8,06	6,28	11,66	1,7835
5*	16,30	11,88	22,07	2,4831	13,69	11,55	17,47	1,9621
6*	23,48	18,26	30,89	2,9782	20,93	18,33	25,71	2,2880
7*	31,55	25,52	40,91	3,4776	27,42	24,24	32,44	2,7413
8*	39,94	32,40	51,40	4,2778	34,28	31,06	41,15	2,8028
9	47,14	37,38	60,68	5,2187	41,34	36,94	47,95	3,6818
10	55,87	43,30	72,02	6,2957	48,69	43,83	60,37	4,5451
11	63,63	50,05	81,20	6,8216	59,25	54,23	75,54	6,3387
12	69,67	59,09	84,16	5,8078	68,45	61,50	85,50	6,3957
13	75,61	63,92	87,52	6,3103	75,71	67,26	89,86	6,2350
14	80,55	72,92	90,09	5,3061	81,52	71,73	89,62	5,4343
15	85,51	75,96	92,88	5,8801	87,22	84,21	93,08	2,3837
16	89,35	79,76	95,03	5,0473	89,96	87,40	96,16	2,4612
17	92,15	86,65	96,81	3,3012	93,78	92,17	98,12	1,3789
18	95,61	89,96	98,38	2,3906	95,36	92,79	98,30	1,8776
19	97,87	93,80	99,72	1,3793	97,10	94,56	99,74	1,8301
20	98,92	96,91	99,78	0,7549	98,37	96,71	99,87	1,0321

* Alev kaynaklı yanma

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; alev kaynaklı yanmanın sonunda kontrol örneklerinde ağırlık kaybı % 39,94 bulunmuşken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde % 34,28 bulunmuştur. Yanma sonunda ise kontrol örnekleri ve ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinin birbirine yakın değerler bulunmuştur.

Tablo 4.8 Meşe örneklerinde % ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	1464759,105	39	37557,926	2568,998	0,000
Sabit Terim	3404148,054	1	3404148,054	232846,974	0,000
A:İşlem Türü	960,711	1	960,711	65,714	0,000
B:Ölçüm zamanı	1461964,093	19	76945,479	5263,144	0,000
Etkileşim A*B	1834,301	19	96,542	6,604	0,000
Hata	16958,828	1160	14,620		
Toplam	4885865,987	1200			
Düzeltilmiş Toplam	1481717,933	1199			

a $R^2 = 0,989$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, meşe örneklerinin yanması sonucu ölçülen % ağırlık kaybı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.1.4 Ağaç Malzeme Türleri % Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

Sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı ölçümlerine ait değerlerin karşılaştırılması sonucu elde edilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 4.9’de verilmiştir.

Tablo 4.9 % Ağırlık kaybı değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	4365067,561	119	36681,240	1389,106	0,000
Sabit Terim	11081273,392	1	11081273,392	419644,102	0,000
A:Ağaç Türü	9199,401	2	4599,700	174,189	0,000
B: İşlem Türü	18649,544	1	18649,544	706,252	0,000
C: Ölçüm zamanı	4308948,560	19	226786,766	8588,339	0,000
Etkileşim A*B	6831,080	2	3415,540	129,345	0,000
Etkileşim A*C	3941,635	38	103,727	3,928	0,000
Etkileşim B*C	12223,910	19	643,364	24,364	0,000
Etkileşim A*B*C	5273,431	38	138,775	5,255	0,000
Hata	91894,134	3480	26,406		
Toplam	15538235,087	3600			
Düzeltilmiş Toplam	4456961,695	3599			

a $R^2 = 0,979$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, diğer bütün etkileşimler aynı anda ölçülen % ağırlık kaybı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

Ağaç malzeme ve işlem türüne bağlı olarak % ağırlık kaybı değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 4.10’da verilmektedir. Tabloda verilen değerler, ölçüm zamanını genel olarak değerlendirirken, ağaç malzeme ve işlem türünün % ağırlık kaybı üzerindeki değişimlerini göstermektedir.

Tablo 4.10 Ağaç ve işlem türünün % ağırlık kaybına etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

İşlem Türü	Ağaç Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Kontrol	Sarıçam	61,12	X
	Kayın	58,00	XX
	Meşe	54,16	XX
Isıl İşlem	Sarıçam	52,81	X
	Kayın	54,44	XX
	Meşe	52,37	X

Ağaç malzeme ve işlem türünün istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, ısıl işlem görmüş ve kontrol sarıçam, kayın ve meşe örneklerinin % ağırlık kaybında istatistiksel olarak fark görülmektedir. Etkileşimlerde ısıl işlem görmüş sarıçam örnek grupları ile meşe örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Etkileşimlerde meşe kontrol örnek grupları ile ısıl işlem görmüş kayın örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak fark görülmektedir.

4.2.2 Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri

4.2.2.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri

Sarıçam ağaç malzemedeki kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.11’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.11 Sarıçam örneklerinde üst sıcaklık ortalama değerleri (°C).

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	84,7	55,2	133,7	21,39	75,7	48,9	135,8	26,81
2*	107,9	75,4	147,7	20,14	98,0	72,5	147,1	23,50
3*	133,6	98,1	172,5	20,33	124,1	98,0	162,6	20,20
4*	161,3	123,8	200,0	21,20	152,9	125,2	183,7	18,08
5*	189,3	152,9	230,0	20,12	183,4	154,7	213,1	17,70
6*	214,0	178,9	251,5	17,93	211,5	177,6	245,7	19,25
7*	235,9	201,4	272,7	17,40	234,8	197,2	273,1	21,72
8*	261,7	228,8	306,9	20,01	256,1	218,5	302,5	25,14
9	300,2	253,0	387,2	38,51	282,9	236,8	352,4	34,91
10	376,6	281,9	529,4	89,86	327,5	239,9	483,7	71,42
11	473,2	341,5	637,3	97,72	424,0	254,3	647,8	133,77
12	548,5	445,4	613,7	41,75	528,4	272,4	764,0	164,26

13	557,2	467,8	676,8	62,81	617,0	305,0	830,4	150,94
14	536,0	399,4	707,3	110,85	611,1	356,0	756,7	108,85
15	482,5	347,5	730,8	119,09	590,0	421,7	688,0	76,39
16	410,8	309,7	640,6	93,33	533,8	359,9	641,7	73,34
17	355,2	280,6	507,2	62,57	461,6	316,7	616,7	81,75
18	316,5	257,8	420,4	43,88	396,2	285,3	520,5	62,13
19	288,0	239,6	365,2	32,90	343,6	260,2	423,1	42,47
20	254,6	224,4	325,7	26,21	304,7	239,5	363,8	30,89

* Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek üst sıcaklık 557,2 °C bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 617 °C bulunmuştur.

Tablo 4.12 Sarıçam örneklerinde üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	30355148,807	39	778337,149	168,382	0,000
Sabit Terim	127667311,958	1	127667311,958	27619,000	0,000
A:İşlem Türü	165505,491	1	165505,491	35,805	0,000
B:Ölçüm zamanı	29377925,406	19	1546206,600	334,500	0,000
Etkileşim A*B	811717,910	19	42721,995	9,242	0,000
Hata	5362036,432	1160	4622,445		
Toplam	163384497,197	1200			
DDüzeltilmiş Toplam	35717185,239	1199			

a $R^2 = 0,850$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, sarıçam örneklerinin yanması sonucu ölçülen üst sıcaklık değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.2.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri

Kayın ağaç malzemedeki kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.13'de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.13 Kayın örneklerinde üst sıcaklık ortalama değerleri (°C).

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	76,6	46,9	112,0	22,38	70,4	43,7	128,5	24,23
2*	100,6	69,6	136,9	22,13	92,3	72,6	140,3	20,12
3*	130,0	96,6	167,4	23,64	119,5	104,8	158,7	17,54
4*	165,5	130,9	205,7	26,05	150,7	132,0	183,8	17,67
5*	207,3	173,2	251,3	27,89	182,4	161,1	216,3	19,00
6*	244,8	207,0	292,5	27,27	219,3	197,7	254,1	19,63
7*	277,7	235,2	328,9	28,33	248,1	224,7	298,1	22,91
8*	310,7	262,4	400,8	38,81	284,1	246,4	386,4	41,95
9	356,5	290,0	544,4	70,55	338,3	270,1	542,2	85,32
10	447,0	313,1	738,9	112,28	431,7	303,8	692,6	143,1
11	526,4	312,4	768,2	127,56	566,7	381,0	818,9	157,93
12	633,4	426,0	811,5	121,82	687,2	567,1	815,4	89,50
13	668,7	387,1	844,4	120,19	716,1	598,8	811,5	62,04
14	613,4	341,7	837,8	137,97	703,7	496,4	851,5	133,98
15	550,8	308,8	802,2	154,01	641,5	430,1	850,2	160,73
16	469,6	273,4	794,6	145,74	498,5	383,4	608,2	83,57
17	402,7	252,6	653,1	108,21	420,5	347,8	510,1	54,95
18	353,2	234,7	518,5	77,23	372,2	320,1	445,3	42,22
19	318,5	219,5	439,6	60,52	336,5	297,7	398,4	34,92
20	291,6	206,1	385,8	50,26	310,9	281,2	363,5	29,86

* Alev kaynaklı yanma

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek üst sıcaklık 668,7 °C bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 716,1 °C bulunmuştur.

Tablo 4.14 Kayın örneklerinde üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	43268310,875	39	1109443,869	156,255	0,000
Sabit Terim	158499724,120	1	158499724,120	22323,223	0,000
A:İşlem Türü	45314,506	1	45314,506	6,382	0,012
B:Ölçüm zamanı	42830286,848	19	2254225,624	317,487	0,000
Etkileşim A*B	392709,522	19	20668,922	2,911	0,000
Hata	8236251,666	1160	7100,217		
Toplam	210004286,661	1200			
Düzeltilmiş Toplam	51504562,541	1199			

a $R^2 = 0,840$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, kayın örneklerinin yanması sonucu ölçülen üst sıcaklık değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.2.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen Üst Sıcaklık Değerleri

Meşe ağaç malzemedeki kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.15’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.16’de verilmiştir.

Tablo 4.15 Meşe örneklerinde üst sıcaklık ortalama değerleri (°C).

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	71,1	49,3	100,5	17,55	65,2	46,3	100,9	17,92
2*	92,4	70,9	121,0	16,69	90,6	69,9	117,3	14,66
3*	121,6	98,4	149,1	16,73	117,8	96,5	151,4	14,99
4*	154,6	127,5	181,4	17,81	151,2	127,8	184,9	14,57
5*	191,5	157,0	217,4	20,60	186,0	160,3	256,4	19,01
6*	232,6	191,3	264,4	23,63	231,7	195,4	341,4	31,86
7*	275,2	224,4	310,8	28,47	273,2	221,1	479,2	49,65
8*	319,7	251,8	365,5	38,24	313,2	249,4	510,06	67,11
9	383,7	274,4	456,8	63,08	384,8	300,4	687,5	95,59
10	486,8	298,6	622,9	116,41	475,5	337,4	767,1	125,54
11	617,9	343,9	765,4	162,95	630,9	437,6	900,8	130,36
12	702,4	461,4	836,3	142,03	739,1	612,5	878,9	82,38
13	741,1	581,7	861,1	96,42	814,7	728,6	932,4	66,57
14	718,5	496,0	823,1	79,75	778,9	719,5	883,5	43,99
15	643,2	360,0	782,2	100,39	677,3	575,9	898,5	94,38
16	550,9	350,0	732,7	96,09	581,6	484,5	834,4	100,92
17	455,7	290,0	577,8	75,42	501,0	420,6	655,6	65,60
18	387,7	220,0	478,2	74,73	417,2	373,8	512,1	43,39
19	347,0	200,0	410,1	62,58	377,3	334,0	438,1	30,26
20	310,4	133,0	365,0	66,96	328,8	291,8	386,3	30,26

* Alev kaynaklı yanma

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek üst sıcaklık 741,1 °C bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 814,7 °C bulunmuştur.

Tablo 4.16 Meşe örneklerinde üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	58719160,277	39	1505619,494	280,332	0,000
Sabit Terim	190604706,845	1	190604706,845	35488,838	0,000
A:İşlem Türü	82510,098	1	82510,098	15,363	0,000
B:Ölçüm zamanı	58462304,369	19	3076963,388	572,902	0,000
Etkileşim A*B	174345,810	19	9176,095	1,709	0,029
Hata	6230169,076	1160	5370,835		
Toplam	255554036,198	1200			
Düzeltilmiş Toplam	64949329,353	1199			

a $R^2 = 0,904$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına meşe örneklerinin yanması sonucu ölçülen üst sıcaklık değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur. Ağaç türü-işlem türünün etkileşimi de üst sıcaklık değerleri üzerinde anlamlı bulunmuştur.

4.2.2.4 Ağaç Malzeme Türleri Üst Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması

Sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıtma işlemi görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen üst sıcaklık ölçümlerine ait değerlerin karşılaştırılması sonucu elde edilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17 Üst sıcaklık değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	135485991,849	119	1138537,747	199,819	0,000
Sabit Terim	473628371,033	1	473628371,033	83124,305	0,000
A:Ağaç Türü	3143371,890	2	1571685,945	275,839	0,000
B: İşlem Türü	274180,908	1	274180,908	48,120	0,000
C: Ölçüm zamanı	127713549,213	19	6721765,748	1179,706	0,000
Etkileşim A*B	19149,187	2	9574,593	1,680	0,186
Etkileşim A*C	2956967,409	38	77814,932	13,657	0,000
Etkileşim B*C	992457,675	19	52234,614	9,167	0,000
Etkileşim A*B*C	386315,566	38	10166,199	1,784	0,002
Hata	19828457,174	3480	5697,833		
Toplam	628942820,057	3600			
Düzeltilmiş Toplam	155314449,023	3599			

a $R^2 = 0,872$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, ağaç türü- ölçüm zamanı, işlem türü-ölçüm zamanı ve ağaç türü-işlem türü-ölçüm zamanı aynı anda ölçülen üst sıcaklık değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur. Ağaç türü-işlem türünün etkileşimi üst sıcaklık değerleri üzerinde % 19'luk yanılma ile anlamlı bulunmamıştır

Ağaç malzeme ve işlem türüne bağlı olarak üst sıcaklık değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları Tablo 4.18'da verilmektedir. Tabloda verilen değerler, ölçüm zamanını genel olarak değerlendirirken, ağaç malzeme ve işlem türünün üst sıcaklık üzerindeki değişimlerini göstermektedir.

Tablo 4.18 Ağaç ve işlem türünün üst sıcaklık etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

İşlem Türü	Ağaç Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Kontrol	Sarıçam	314,4	X
	Kayın	357,3	XX
	Meşe	390,3	XX
Isıl İşlem	Sarıçam	337,9	X
	Kayın	369,6	XX
	Meşe	406,8	X

Ağaç malzeme ve işlem türünün istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, ısı işlem görmüş ve kontrol sarıçam, kayın ve meşe örneklerinin üst sıcaklık değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmektedir. Etkileşimlerde ısı işlem görmüş sarıçam örnek grupları ile kayın kontrol örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Etkileşimlerde ısı işlem görmüş meşe örnek grupları ile kontrol meşe örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak fark görülmektedir.

4.2.3 Ölçülen % O₂ Değerleri

4.2.3.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen % O₂ Değerleri

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısı işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % O₂ ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.19'da verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.19 Sarıçam örneklerinde % O₂ ortalama değerleri.

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	20,50	20,03	20,94	0,2609	20,40	19,88	20,79	0,2446
2*	19,59	19,14	19,94	0,2342	19,37	18,56	20,32	0,5529
3*	18,81	18,34	19,20	0,2448	18,74	17,79	20,29	0,7751
4*	18,17	17,73	18,52	0,2439	18,11	17,14	20,10	0,9434
5*	17,65	17,21	18,13	0,2444	17,53	16,57	19,67	1,0034
6*	17,50	17,10	18,05	0,2294	17,36	16,34	19,18	0,8917
7*	17,39	16,75	18,14	0,3226	17,18	16,20	18,45	0,6260
8*	17,35	16,94	18,01	0,2474	17,01	16,39	17,63	0,3647
9	17,28	16,73	17,97	0,2683	16,91	15,81	17,64	0,4585
10	17,25	16,45	18,24	0,4567	16,83	15,54	17,88	0,6513
11	17,24	16,08	18,34	0,5392	16,99	16,06	17,87	0,4501
12	17,77	16,39	18,44	0,4603	17,08	15,97	18,01	0,4894
13	18,48	17,63	19,94	0,6682	17,29	16,63	18,23	0,5104
14	19,07	17,76	20,62	1,0388	17,82	16,42	19,70	0,8646
15	20,02	18,88	20,83	0,6141	18,34	16,90	20,53	1,0313
16	20,59	19,86	20,95	0,2793	19,14	18,03	20,73	0,9628
17	20,77	19,99	21,02	0,2522	19,68	17,69	20,86	1,0906
18	20,83	20,11	21,03	0,2273	19,82	17,58	20,87	1,1857
19	20,82	20,23	21,05	0,2190	20,04	17,80	20,90	1,0505
20	20,85	20,36	21,04	0,1860	20,51	19,64	20,92	0,3698

* Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % O₂ ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en düşük % O₂ değeri (en fazla oksijen kaybı) % 17,24 bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde % 16,83 bulunmuştur.

Tablo 4.20 Sarıçam örneklerinde % O₂ değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	2254,852	39	57,817	148,464	0,000
Sabit Terim	415475,744	1	415475,744	1066871,764	0,000
A:İşlem Türü	103,849	1	103,849	266,667	0,000
B:Ölçüm zamanı	2075,562	19	109,240	280,510	0,000
Etkileşim A*B	75,441	19	3,971	10,196	0,000
Hata	451,743	1160	0,389		
Toplam	418182,339	1200			
Düzeltilmiş Toplam	2706,595	1199			

a $R^2 = 0,833$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, sarıçam örneklerinin yanması sonucu ölçülen % O₂ değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.3.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen % O₂ Değerleri

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % O₂ ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.21’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.21 Kayın örneklerinde % O₂ ortalama değerleri.

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	20,67	20,05	20,98	0,3122	20,54	20,09	21,09	0,2890
2*	20,03	19,29	20,74	0,4767	19,88	19,32	20,76	0,3765
3*	19,16	18,01	20,06	0,6046	18,93	18,34	20,00	0,4383
4*	18,44	17,35	19,34	0,5955	18,18	17,71	19,27	0,4221
5*	17,73	17,01	18,76	0,5330	17,65	17,30	18,54	0,3062
6*	17,12	16,37	17,89	0,4033	16,90	16,28	17,39	0,3223
7*	16,91	16,24	17,41	0,3244	16,81	15,69	17,55	0,5665
8*	16,81	16,03	17,44	0,4719	16,76	16,04	17,23	0,3908
9	16,72	15,75	17,28	0,5349	16,64	15,46	17,46	0,5188
10	16,47	14,56	17,15	0,7640	16,15	15,49	16,83	0,4022
11	16,34	14,59	17,43	0,7578	16,26	15,37	16,81	0,4679
12	16,96	15,31	18,46	0,8916	16,37	14,93	18,04	0,854
13	17,81	15,81	19,25	1,1764	17,41	15,73	19,95	1,0931
14	18,56	16,05	20,10	1,4607	18,03	15,97	20,06	0,9614
15	19,12	16,47	20,51	1,2671	19,09	16,38	20,10	0,9555
16	19,76	18,35	20,53	0,6644	19,81	18,55	20,22	0,4209
17	20,07	19,18	20,53	0,3388	20,05	19,81	20,31	0,1168
18	20,24	19,89	20,54	0,1896	20,21	19,93	20,44	0,1224
19	20,37	20,17	20,60	0,1248	20,39	20,21	20,60	0,0889
20	20,51	19,55	20,79	0,2376	20,62	20,42	20,79	0,0918

* Alev kaynaklı yanma

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % O₂ ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en düşük (en fazla oksijen kaybı) % O₂ değeri % 16,34 bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde % 16,15 bulunmuştur.

Tablo 4.22 Kayın örneklerinde % O₂ değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	2874,101	39	73,695	187,170	0,000
Sabit Terim	407028,461	1	407028,461	1033770,715	0,000
A:İşlem Türü	7,186	1	7,186	18,252	0,000
B:Ölçüm zamanı	2856,938	19	150,365	381,897	0,000
Etkileşim A*B	9,976	19	0,525	1,334	0,153
Hata	456,729	1160	0,394		
Toplam	410359,291	1200			
Düzeltilmiş Toplam	3330,830	1199			

a $R^2 = 0,863$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına kayın ağaç malzemenin yanması sonucu ölçülen % O₂ değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur. İşlem türü -ölçüm zamanı aynı anda, kayın örneklerinin yanması sonucu ölçülen % O₂ değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmamıştır.

4.2.3.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen % O₂ Değerleri

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıtılmış işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % O₂ ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.23’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.24’de verilmiştir.

Tablo 4.23 Meşe örneklerinde % O₂ ortalama değerleri.

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	20,46	20,19	20,87	0,1910	20,47	20,06	20,86	0,1863
2*	19,57	19,26	20,15	0,2291	19,66	19,25	20,12	0,2254
3*	18,66	18,26	19,33	0,2721	18,72	18,18	19,16	0,2553
4*	17,88	17,53	18,58	0,2777	18,02	17,50	18,41	0,2364
5*	17,25	16,93	17,99	0,2867	17,10	16,72	17,43	0,1956
6*	16,77	16,40	17,50	0,2850	16,60	16,19	16,85	0,1819
7*	16,38	16,10	17,08	0,2568	16,15	15,89	16,49	0,1865
8*	16,23	15,98	16,94	0,2716	15,93	15,57	16,12	0,1497
9	16,16	15,51	16,74	0,3796	15,72	15,31	16,03	0,2433
10	15,80	15,18	16,94	0,4756	15,51	14,96	16,10	0,4014
11	16,36	15,95	17,44	0,4778	15,65	14,21	16,74	0,8266
12	16,91	16,11	17,61	0,4526	16,52	15,61	18,47	0,7152
13	17,43	15,45	18,00	0,7010	17,05	16,20	19,17	0,7937
14	18,04	17,17	18,86	0,4679	17,57	14,99	19,36	1,2178
15	19,15	18,21	20,57	0,6878	18,60	16,71	20,32	1,2329

16	20,36	19,69	20,83	0,3062	19,61	17,58	20,40	0,7912
17	20,64	20,04	20,81	0,2167	20,05	18,53	20,45	0,5260
18	20,68	20,18	20,83	0,1824	20,56	20,14	20,75	0,1669
19	20,72	20,38	20,84	0,1220	20,72	20,49	20,88	0,1095
20	20,77	20,52	20,85	0,0864	20,77	20,58	20,90	0,0912

* Alev kaynaklı yanma

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % O₂ ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en düşük (en fazla oksijen kaybı) % O₂ değeri % 15,80 bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde % 15,51 bulunmuştur.

Tablo 4.24 Meşe örneklerinde % O₂ değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	3986,026(a)	39	102,206	451,167	0,000
Sabit Terim	396844,588	1	396844,588	1751791,649	0,000
A:İşlem Türü	20,741	1	20,741	91,557	0,000
B:Ölçüm zamanı	3944,625	19	207,612	916,461	0,000
Etkileşim A*B	20,660	19	1,087	4,800	0,000
Hata	262,782	1160	0,227		
Toplam	401093,396	1200			
Düzeltilmiş Toplam	4248,808	1199			

a R² = 0,938

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, meşe örneklerinin yanması sonucu ölçülen % O₂ değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.3.4 Ağaç Malzeme Türleri için %O₂ Değerlerinin Karşılaştırılması

Sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen % O₂ ölçümlerine ait değerlerin karşılaştırılması sonucu elde edilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 4.25'de verilmiştir.

Tablo 4.25 % O₂ değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	9222,171	119	77,497	230,258	0,000
Sabit Terim	1219241,601	1	1219241,601	3622578,929	0,000
A: Ağaç Türü	107,192	2	53,596	159,243	0,000
B: İşlem Türü	101,217	1	101,217	300,734	0,000
C: Ölçüm zamanı	8670,314	19	456,332	1355,843	0,000
Etkileşim A*B	30,559	2	15,280	45,398	0,000
Etkileşim A*C	206,811	38	5,442	16,170	0,000
Etkileşim B*C	51,929	19	2,733	8,121	0,000
Etkileşim A*B*C	54,149	38	1,425	4,234	0,000
Hata	1171,254	3480	0,337		
Toplam	1229635,026	3600			
Düzeltilmiş Toplam	10393,425	3599			

a $R^2 = 0,887$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, diğer bütün etkileşimler aynı anda ölçülen % O₂ değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

Ağaç malzeme ve işlem türüne bağlı olarak % O₂ değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları Tablo 4.26'da verilmektedir. Tabloda verilen değerler, ölçüm zamanını genel olarak değerlendirirken, ağaç malzeme ve işlem türünün % O₂ üzerindeki değişimlerini göstermektedir.

Tablo 4.26 Ağaç malzeme ve işlem türünün % O₂ etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

İşlem Türü	Ağaç Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Kontrol	Sarıçam	18,90	X
	Kayın	18,49	X
	Meşe	18,32	X
Isıl İşlem	Sarıçam	18,31	X
	Kayın	18,34	X
	Meşe	18,05	X

Ağaç malzeme ve işlem türünün istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, ısıtılmış işlem görmüş ve kontrol sarıçam, kayın ve meşe örneklerinin % O₂ değerlerinin de istatistiksel olarak fark görülmüştür. Etkileşimlerde ısıtılmış işlem görmüş ve kontrol kayın örnek grupları ile meşe kontrol örnek grupları ve ısıtılmış işlem görmüş sarıçam örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak fark görülmektedir.

4.2.4 Ölçülen CO Değerleri

4.2.4.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen CO Değerleri

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen CO ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.27’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.28’de verilmiştir.

Tablo 4.27 Sarıçam örneklerinde CO ortalama değerleri (ppm)

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	25	3	70	16,14	49	0	75	76,10
2*	86	34	137	28,06	84	0	129	39,67
3*	126	83	176	23,36	122	14	198	63,72
4*	150	111	215	21,53	160	21	255	75,56
5*	169	121	249	26,79	196	43	291	78,84
6*	206	131	374	60,25	238	96	377	77,99
7*	288	137	563	119,75	321	166	634	132,90
8*	368	169	648	137,02	475	226	859	196,55
9	431	282	626	89,11	542	252	851	197,56
10	475	351	669	79,07	576	277	949	215,47
11	394	255	560	78,72	610	297	1009	243,04
12	283	142	448	97,64	568	150	869	218,41
13	237	116	399	90,09	523	176	803	205,63
14	226	110	435	96,88	477	205	789	194,37
15	206	92	423	89,28	384	121	600	143,26
16	172	54	329	81,58	332	153	497	106,22
17	129	38	229	54,91	285	132	414	99,43
18	84	23	171	43,48	249	111	346	84,11
19	47	10	107	30,29	220	92	320	71,59
20	31	7	65	18,76	183	71	309	63,06

* Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen CO ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek CO değeri 475 ppm bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 610 ppm bulunmuştur.

Tablo 4.28 Sarıçam ağaç malzemede CO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	32679718,415	39	837941,498	64,007	0,000
Sabit Terim	86627929,197	1	86627929,197	6617,111	0,000
A:İşlem Türü	4551509,635	1	4551509,635	347,669	0,000
B:Ölçüm zamanı	25589327,977	19	1346806,736	102,876	0,000
Etkileşim A*B	2538880,803	19	133625,305	10,207	0,000
Hata	15186142,770	1160	13091,502		
Toplam	134493790,383	1200			
Düzeltilmiş Toplam	47865861,186	1199			

a $R^2 = 0,683$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, sarıçam örneklerinin yanması sonucu ölçülen CO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.4.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen CO Değerleri

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen CO ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.29'da verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.29 Kayın örneklerinde CO ortalama değerleri (ppm).

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	34	16	72	16,70	41	16	72	20,84
2*	74	21	158	40,31	81	40	150	24,46
3*	119	56	181	44,47	118	82	177	21,09
4*	157	101	213	39,64	146	121	196	16,00
5*	186	140	219	29,59	169	143	208	14,86
6*	216	170	265	27,76	230	167	338	52,68
7*	285	189	381	59,86	360	195	536	118,36
8*	424	218	564	118,62	482	317	587	75,43
9	528	251	666	129,69	595	450	742	88,68
10	645	318	830	137,09	707	549	1123	162,84
11	686	550	803	86,9	749	486	1079	162,16
12	654	406	836	110,491	817	421	1084	245,29
13	607	450	791	102,9	707	361	957	168,68
14	571	404	814	136,15	603	382	1011	160,76
15	525	355	1007	190,18	564	365	915	146,64
16	449	294	878	169,38	490	340	713	122,34

Tablo 4.29 (devam ediyor).								
17	375	232	801	160,28	430	285	672	122,28
18	296	172	690	143,72	372	239	827	171,69
19	218	127	552	118,40	300	168	942	219,19
20	135	22	321	71,60	247	111	957	239,42

* Alev kaynaklı yanma

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen CO ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek CO değeri 686 ppm bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 817 ppm bulunmuştur.

Tablo 4.30 Kayın örneklerinde CO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	59659836,816	39	1529739,406	97,825	0,000
Sabit Terim	178130147,151	1	178130147,151	11391,154	0,000
A:İşlem Türü	785128,477	1	785128,477	50,208	0,000
B:Ölçüm zamanı	58296292,952	19	3068225,945	196,208	0,000
Etkileşim A*B	578415,388	19	30442,915	1,947	0,009
Hata	18139600,029	1160	15637,586		
Toplam	255929583,997	1200			
Düzeltilmiş Toplam	77799436,846	1199			

a $R^2 = 0,767$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, kayın örneklerinin yanması sonucu ölçülen CO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.4.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen CO Değerleri

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen CO ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.31'de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.31 Meşe örneklerinde CO ortalama değerleri (ppm).

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	34	18	83	18,94	30	3	85	28,34
2*	82	63	99	11,89	70	29	99	24,15
3*	122	94	137	13,04	115	75	140	21,05
4*	145	124	160	11,14	146	120	173	13,89
5*	159	141	177	9,88	168	145	203	14,22
6*	170	157	186	9,75	185	160	230	16,55
7*	179	167	202	10,76	211	170	287	29,01
8*	198	179	232	19,10	289	215	431	63,30
9	342	309	421	33,01	440	289	575	101,09
10	461	348	510	57,84	527	394	637	83,61
11	533	429	668	67,06	604	367	760	123,22
12	641	467	867	105,86	709	186	938	213,54
13	716	517	797	74,16	799	232	1005	215,72
14	702	631	855	66,13	750	252	940	194,65
15	596	521	751	65,93	643	274	781	138,59
16	487	443	601	46,26	524	290	666	112,62
17	353	307	431	32,36	405	286	484	63,73
18	275	234	365	34,78	307	169	404	67,02
19	193	133	258	35,37	228	129	307	59,01
20	124	74	161	22,11	145	97	220	36,54

* Alev kaynaklı yanma

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen CO ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek CO değeri 716 ppm bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 799 ppm bulunmuştur.

Tablo 4.32 Meşe örneklerinde CO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	62095175,556	39	1592183,989	247,804	0,000
Sabit Terim	143373000,005	1	143373000,005	22314,285	0,000
A:İşlem Türü	461834,793	1	461834,793	71,879	0,000
B:Ölçüm zamanı	61317704,425	19	3227247,601	502,282	0,000
Etkileşim A*B	315636,338	19	16612,439	2,586	0,000
Hata	7453193,348	1160	6425,167		
Toplam	212921368,909	1200			
Düzeltilmiş Toplam	69548368,904	1199			

a $R^2 = 0,893$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, meşe örneklerinin yanması sonucu ölçülen CO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.4.4 Ağaç Malzeme Türleri CO Değerlerinin Karşılaştırılması

Sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen CO ölçümlerine ait değerlerin karşılaştırılması sonucu elde edilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 4.33'de verilmiştir.

Tablo 4.33 CO değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	162870968,917	119	1368663,604	116,799	0,000
Sabit Terim	399694838,225	1	399694838,225	34109,228	0,000
A:Ağaç Türü	8436238,129	2	4218119,064	359,967	0,000
B: İşlem Türü	4561078,518	1	4561078,518	389,234	0,000
C: Ölçüm zamanı	127129691,219	19	6691036,380	571,001	0,000
Etkileşim A*B	1237394,387	2	618697,193	52,798	0,000
Etkileşim A*C	18073634,135	38	475621,951	40,589	0,000
Etkileşim B*C	2313290,615	19	121752,138	10,390	0,000
Etkileşim A*B*C	1119641,914	38	29464,261	2,514	0,000
Hata	40778936,147	3480	11718,085		
Toplam	603344743,289	3600			
Düzeltilmiş Toplam	203649905,064	3599			

a $R^2 = 0,887$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, diğer bütün etkileşimler aynı anda ölçülen CO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

Ağaç malzeme ve işlem türüne bağlı olarak CO değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları Tablo 4.34'de verilmektedir. Tabloda verilen değerler, ölçüm zamanını genel olarak değerlendirirken, ağaç malzeme ve işlem türünün CO üzerindeki değişimlerini göstermektedir.

Tablo 4.34 Ağaç malzeme ve işlem türünün CO etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

İşlem Türü	Ağaç Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Kontrol	Sarıçam	207,1	X
	Kayın	360,7	X
	Meşe	326,0	X
Isıl İşlem	Sarıçam	330,3	X
	Kayın	410,8	X
	Meşe	365,3	X

Ağaç malzeme ve işlem türünün istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, ısıl işlem görmüş ve kontrol sarıçam, kayın ve meşe örneklerinin CO değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmektedir. Etkileşimlerde ısıl işlem görmüş sarıçam örnek grupları ile meşe kontrol örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Etkileşimlerde ısıl işlem görmüş meşe örnek grupları ile kontrol kayın örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak fark görülmektedir.

4.2.5 Ölçülen NO Değerleri

4.2.5.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen NO Değerleri

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen NO ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.35’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.36’da verilmiştir.

Tablo 4.35 Sarıçam örneklerinde NO ortalama değerleri (ppm).

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	2	0	5	1,24	1	0	4	1,18
2*	4	2	6	1,45	3	0	7	1,77
3*	7	5	10	1,82	6	0	13	3,89
4*	11	7	15	2,38	11	0	20	5,70
5*	15	10	23	2,96	17	3	27	7,51
6*	17	13	26	2,54	17	7	26	5,93
7*	17	14	24	2,15	19	13	26	4,27
8*	17	14	25	2,67	19	15	26	3,59
9	18	13	26	3,39	21	16	25	2,60
10	20	14	32	4,04	23	18	30	3,08
11	23	16	39	4,90	24	19	30	3,02
12	21	16	41	4,65	24	20	31	3,20

13	17	7	25	4,13	24	17	30	3,59
14	13	4	24	5,77	21	8	30	5,95
15	7	2	13	3,24	19	3	30	8,26
16	3	1	6	1,42	13	2	24	7,76
17	2	1	5	0,85	9	1	26	8,10
18	1	0	5	0,88	7	1	27	8,22
19	1	0	4	0,85	5	1	25	7,12
20	1	0	5	0,99	3	0	10	3,19

* Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıtım işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen NO ortalama değeri tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek NO değeri 23 ppm bulunurken, ısıtım işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 24 ppm bulunmuştur.

Tablo 4.36 Sarıçam örneklerinde NO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	74462,946	39	1909,306	100,280	0,000
Sabit Terim	205028,308	1	205028,308	10768,434	0,000
A:İşlem Türü	3574,650	1	3574,650	187,747	0,000
B:Ölçüm zamanı	66980,120	19	3525,269	185,153	0,000
Etkileşim A*B	3908,176	19	205,693	10,803	0,000
Hata	22086,112	1160	19,040		
Toplam	301577,365	1200			
Düzeltilmiş Toplam	96549,057	1199			

a $R^2 = 0,771$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, sarıçam örneklerinin yanması sonucu ölçülen NO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.5.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen NO Değerleri

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıtım işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen NO ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.37’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.38’de verilmiştir.

Tablo 4.37 Kayın örneklerinde NO ortalama değerleri (ppm).

Ölçüm	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	1	0	2	0,72	1	0	3	1,06
2*	2	1	5	1,38	3	1	8	2,06
3*	7	3	17	3,69	8	3	13	2,58
4*	13	6	26	5,35	13	8	17	3,00
5*	20	11	30	5,66	23	16	28	3,64
6*	26	16	37	5,87	28	23	37	4,97
7*	29	20	38	5,92	33	25	43	6,46
8*	29	19	40	7,05	34	25	48	5,61
9	30	20	42	7,76	35	23	53	7,04
10	34	21	52	8,84	37	26	50	6,13
11	36	18	51	9,52	40	32	46	3,75
12	34	13	52	11,19	40	29	48	6,44
13	30	13	50	12,97	34	9	59	17,38
14	23	7	49	16,85	29	6	74	25,02
15	17	3	47	15,69	20	11	39	9,87
16	12	2	44	12,10	14	7	32	6,12
17	8	2	35	9,27	9	3	22	4,11
18	5	2	14	3,40	6	2	11	2,30
19	3	1	7	1,67	4	4	7	1,66
20	2	1	5	1,18	3	1	5	1,20

* Alev kaynaklı yanma

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen NO ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek NO değeri 36 ppm bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 40 ppm bulunmuştur.

Tablo 4.38 Kayın örneklerinde NO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	203265,622	39	5211,939	72,853	0,000
Sabit Terim	474935,430	1	474935,430	6638,723	0,000
A:İşlem Türü	2185,785	1	2185,785	30,553	0,000
B:Ölçüm zamanı	200235,533	19	10538,712	147,312	0,000
Etkileşim A*B	844,305	19	44,437	0,621	0,893
Hata	82986,610	1160	71,540		
Toplam	761187,662	1200			
Düzeltilmiş Toplam	286252,232	1199			

a $R^2 = 0,710$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına kayın ağaç malzemenin yanması sonucu ölçülen NO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur. İşlem türü-ölçüm zamanı aynı anda, kayın örneklerinin yanması sonucu ölçülen NO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmamıştır.

4.2.5.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen NO Değerleri

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıtılmış işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen NO ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.39’da verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.40’da verilmiştir.

Tablo 4.39 Meşe örneklerinde NO ortalama değerleri (ppm).

Ölçüm (30 sn.)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	2	0	4	1,04	1	0	2	1,09
2*	5	4	7	0,82	4	2	7	1,67
3*	11	8	13	1,31	10	8	16	2,35
4*	16	15	18	0,97	16	14	20	1,72
5*	21	18	23	1,42	22	18	25	2,01
6*	24	22	28	1,60	28	24	31	2,08
7*	28	26	30	1,34	31	26	37	3,77
8*	30	27	31	1,11	32	25	41	4,52
9	30	28	37	3,08	32	25	40	4,74
10	35	29	41	3,58	37	28	47	5,83
11	33	30	40	2,87	42	32	59	9,21
12	30	25	35	2,69	36	18	45	7,55
13	27	22	38	5,26	33	10	44	8,84
14	24	18	38	5,75	30	10	46	11,29
15	16	5	35	8,00	21	6	40	13,00
16	8	4	32	8,08	11	4	37	10,04
17	6	2	31	8,68	7	2	30	7,94
18	4	2	15	3,88	4	2	12	2,76
19	2	2	6	1,19	3	2	5	1,06
20	2	1	4	0,81	2	0	5	1,39

* Alev kaynaklı yanma

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıtılmış işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen NO ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek NO değeri 35 ppm bulunurken, ısıtılmış işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 42 ppm bulunmuştur.

Tablo 4.40 Meşe örneklerinde NO değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	191160,989	39	4901,564	172,541	0,000
Sabit Terim	450122,004	1	450122,004	15844,882	0,000
A: İşlem Türü	1852,940	1	1852,940	65,226	0,000
B: Ölçüm zamanı	187105,586	19	9847,662	346,651	0,000
Etkileşim A*B	2202,463	19	115,919	4,081	0,000
Hata	32953,324	1160	28,408		
Toplam	674236,317	1200			
Düzeltilmiş Toplam	224114,313	1199			

a $R^2 = 0,853$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, meşe örneklerinin yanması sonucu ölçülen NO değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.5.4 Ağaç Malzeme Türleri NO Değerlerinin Karşılaştırılması

Sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen NO ölçümlerine ait değerlerin karşılaştırılması sonucu elde edilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 4.41’de verilmiştir.

Tablo 4.41 NO değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	503479,190	119	4230,918	106,673	0,000
Sabit Terim	1095496,109	1	1095496,109	27620,341	0,000
A:Ağaç Türü	34589,633	2	17294,817	436,048	0,000
B: İşlem Türü	7458,712	1	7458,712	188,054	0,000
C: Ölçüm zamanı	429745,459	19	22618,182	570,264	0,000
Etkileşim A*B	154,663	2	77,332	1,950	0,142
Etkileşim A*C	24575,779	38	646,731	16,306	0,000
Etkileşim B*C	4141,792	19	217,989	5,496	0,000
Etkileşim A*B*C	2813,152	38	74,030	1,866	0,001
Hata	138026,045	3480	39,663		
Toplam	1737001,345	3600			
Düzeltilmiş Toplam	641505,236	3599			

a $R^2 = 0,785$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, ağaç türü- ölçüm zamanı, işlem türü-ölçüm zamanı ve ağaç türü-işlem türü-ölçüm zamanı aynı

anda ölçülen üst sıcaklık değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur. Ağaç türü-işlem türünün etkileşimi NO değerleri üzerinde % 14'lük yanılma ile anlamlı bulunmamıştır

Ağaç malzeme ve işlem türüne bağlı olarak NO değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları Tablo 4.42'de verilmektedir. Tabloda verilen değerler, ölçüm zamanını genel olarak değerlendirirken, ağaç malzeme ve işlem türünün NO üzerindeki değişimlerini göstermektedir.

Tablo 4.42 Ağaç malzeme ve işlem türünün NO etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

İşlem Türü	Ağaç Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Kontrol	Sarıçam	11,4	X
	Kayın	18,4	X
	Meşe	18,1	X
Isıl İşlem	Sarıçam	14,8	X
	Kayın	21,2	X
	Meşe	20,6	X

Ağaç malzeme ve işlem türünün istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, ısıl işlem görmüş ve kontrol sarıçam, kayın ve meşe örneklerinin NO değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmektedir. Etkileşimlerde kayın kontrol örnek grupları ile meşe kontrol örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Etkileşimlerde ısıl işlem görmüş kayın örnek grupları ile ısıl işlem görmüş meşe örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak fark görülmektedir.

4.2.6 Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri

4.2.6.1 Sarıçam Örneklerinde Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen baca sıcaklığı ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.43'de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.44'de verilmiştir.

Tablo 4.43 Sarıçam örneklerinde baca sıcaklığı ortalama değerleri (°C).

Ölçüm (30 sn)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	56,0	39,9	76,1	11,10	57,0	41,2	70,0	9,71
2*	80,8	56,4	99,3	11,24	80,6	62,0	95,3	12,98
3*	102,0	69,7	119,4	12,96	100,7	82,2	120,9	13,98
4*	120,5	82,3	144,5	18,03	121,4	102,1	150,0	14,89
5*	137,1	93,9	164,9	20,70	136,6	115,8	175,0	16,24
6*	148,7	111,8	175,7	18,39	148,8	122,0	186,4	18,24
7*	158,8	129,5	182,8	15,99	158,4	129,8	192,8	18,58
8*	168,7	148,7	194,1	14,08	168,6	141,2	203,8	19,61
9	180,5	159,2	204,0	13,25	174,8	137,9	208,2	22,24
10	191,0	168,6	212,0	13,38	185,8	142,30	224,3	25,00
11	190,8	162,3	218,5	19,46	196,8	151,8	232,1	23,58
12	187,8	149,8	220,7	27,54	204,1	164,0	236,4	21,47
13	181,8	139,2	219,4	30,79	204,0	171,2	224,4	15,22
14	169,4	130,4	205,7	27,94	195,6	171,3	220,4	15,95
15	152,1	119,2	173,6	21,05	181,2	159,8	214,6	18,08
16	137,2	109,7	162,0	18,74	161,3	143,0	190,4	15,80
17	122,9	98,5	151,2	16,84	148,1	130,3	177,2	15,95
18	112,5	89,3	139,8	15,66	134,9	111,6	155,0	13,31
19	93,1	74,3	112,0	13,21	124,1	100,2	138,4	10,73
20	75,7	57,4	99,5	15,69	114,2	88,9	131,4	11,20

* Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen baca sıcaklığı ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek baca sıcaklığı 191,0 °C bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 204,1 °C bulunmuştur.

Tablo 4.44 Sarıçam örneklerinde baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	2003008,700	39	51359,197	160,347	0,000
Sabit Terim	24936520,053	1	24936520,053	77853,449	0,000
A:İşlem Türü	39460,012	1	39460,012	123,197	0,000
B:Ölçüm zamanı	1904745,124	19	100249,743	312,986	0,000
Etkileşim A*B	58803,564	19	3094,924	9,663	0,000
Hata	371548,899	1160	320,301		
Toplam	27311077,652	1200			
Düzeltilmiş Toplam	2374557,598	1199			

a $R^2 = 0,844$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, sarıçam örneklerinin yanması sonucu ölçülen baca sıcaklığı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.6.2 Kayın Örneklerinde Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen baca sıcaklığı ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.45’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.46’da verilmiştir.

Tablo 4.45 Kayın örneklerinde baca sıcaklığı ortalama değerleri (°C).

Ölçüm (30 sn)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	56,4	37,4	67,2	9,39	57,2	30,1	89,7	15,66
2*	81,3	43,9	109,3	21,38	81,3	33,6	121,4	22,75
3*	109,3	53,0	150,3	32,75	107,2	43,1	151,1	29,56
4*	138,1	69,2	190,6	43,70	134,7	56,5	182,7	36,80
5*	162,2	71,7	218,9	48,48	157,9	70,7	195,6	39,65
6*	179,8	75,6	242,2	51,06	180,0	97,7	217,2	37,64
7*	191,6	87,6	256,4	60,01	190,3	98,7	230,8	36,51
8*	205,0	89,2	246,8	48,45	208,3	104,2	254,5	39,91
9	218,5	95,5	260,9	48,70	222,6	72,5	269,7	54,07
10	237,6	98,5	295,3	55,45	247,6	77,3	289,2	59,31
11	227,5	88,3	275,1	55,03	242,2	97,5	276,9	49,62
12	211,1	72,2	261,1	57,34	221,7	100,3	263,8	43,78
13	191,7	70,4	262,7	54,58	207,3	108,1	260,7	37,59
14	177,1	64,3	260,9	52,50	184,3	99,7	231,6	30,97
15	164,3	59,2	255,6	51,92	170,9	95,4	205,1	26,60
16	145,3	55,6	216,0	44,62	151,1	84,2	179,3	23,42
17	129,3	52,9	186,1	38,32	140,3	78,3	155,3	21,50
18	115,5	51,0	171,4	31,78	129,8	74,7	146,8	20,95
19	103,7	48,8	161,4	28,10	120,4	71,0	139,9	20,25
20	91,8	47,5	152,6	25,84	110,8	68,5	133,7	20,49

* Alev kaynaklı yanma

Kayın ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen baca sıcaklığı ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek baca sıcaklığı 237,6 °C bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 247,6 °C bulunmuştur.

Tablo 4.46 Kayın örneklerinde baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	3196391,047	39	81958,745	49,934	0,000
Sabit Terim	30767262,805	1	30767262,805	18745,131	0,000
A:İşlem Türü	12435,496	1	12435,496	7,576	0,006
B:Ölçüm zamanı	3168963,883	19	166787,573	101,616	0,000
Etkileşim A*B	14991,668	19	789,035	0,481	0,971
Hata	1903962,443	1160	1641,347		
Toplam	35867616,295	1200			
Düzeltilmiş Toplam	5100353,490	1199			

a $R^2 = 0,627$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına kayın ağaç malzemenin yanması sonucu ölçülen baca sıcaklığı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur. İşlem türü -ölçüm zamanı aynı anda, kayın örneklerinin yanması sonucu ölçülen baca sıcaklığı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmamıştır.

4.2.6.3 Meşe Örneklerinde Ölçülen Baca Sıcaklığı Değerleri

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıtılmış işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen baca sıcaklığı ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 4.47’de verilmiştir. Çoklu varyans analiz sonuçları Tablo 4.48’de verilmiştir.

Tablo 4.47 Meşe örneklerinde baca sıcaklığı ortalama değerleri (°C).

Ölçüm (30sn)	Kontrol				Isıl İşlem Görmüş			
	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma	Ort.	Min.	Max.	Std.Sapma
1*	56,8	35,7	66,5	9,98	53,7	32,2	72,1	11,93
2*	82,4	58,7	93,5	11,65	77,3	47,8	99,6	15,54
3*	107,5	68,6	122,5	18,08	98,1	69,3	127,3	17,99
4*	132,3	85,9	148,0	21,68	120,5	89,3	152,8	19,65
5*	155,4	100,3	174,9	25,63	147,3	106,8	180,7	21,96
6*	177,3	112,1	200,8	30,35	170,3	126,8	200,6	19,40
7*	196,1	121,3	221,4	35,06	190,9	142,8	227,4	22,00
8*	208,3	127,0	233,2	37,21	206,5	170,3	243,6	20,41
9	220,3	133,2	246,4	38,03	227,9	190,8	267,2	22,34
10	235,9	138,1	263,1	41,27	242,7	204,2	282,7	21,16
11	244,3	142,0	273,0	42,41	248,9	224,1	265,3	8,81
12	243,5	141,0	273,4	40,88	258,9	231,2	286,3	15,06
13	237,8	136,5	266,4	37,87	249,5	201,9	278,5	22,86
14	217,6	126,1	249,4	38,30	229,9	187,5	254,6	20,13

15	189,1	112,1	223,86	36,15	206,9	165,5	235,0	21,32
16	167,5	102,3	193,4	31,19	184,4	135,5	209,6	22,17
17	153,7	95,4	176,9	28,21	168,3	127,2	193,9	20,05
18	139,9	86,2	164,7	26,60	152,4	111,5	172,1	18,92
19	127,5	78,3	154,0	25,97	137,4	105,6	162,2	19,72
20	114,7	72,4	144,8	26,60	127,4	87,6	154,4	21,53

* Alev kaynaklı yanma

Meşe ağaç malzemenin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen baca sıcaklığı ortalama değer tablolarının sonuçlarına göre; kontrol örneklerinde en yüksek baca sıcaklığı 244,3 °C bulunurken, ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde 258,9 °C bulunmuştur.

Tablo 4.48 Meşe örneklerinde baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	3844713,208	39	98582,390	143,263	0,000
Sabit Terim	35770820,975	1	35770820,975	51983,177	0,000
A:İşlem Türü	6210,621	1	6210,621	9,025	0,003
B:Ölçüm zamanı	3810726,058	19	200564,529	291,466	0,000
Etkileşim A*B	28086,478	19	1478,236	2,148	0,003
Hata	797534,581	1159	688,123		
Toplam	40447035,524	1199			
Düzeltilmiş Toplam	4642247,789	1198			

a $R^2 = 0,828$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, işlem türü - ölçüm zamanı aynı anda, meşe örneklerinin yanması sonucu ölçülen baca sıcaklığı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur.

4.2.6.4 Ağaç Malzeme Türleri Baca Sıcaklığı Değerlerinin Karşılaştırılması

Sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin yanma deneyi sonucunda elde edilen baca sıcaklığı ölçümlerine ait değerlerin karşılaştırılması sonucu elde edilen çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 4.49'da verilmiştir.

Tablo 4.49 Baca sıcaklığı değerleri çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlam Düzeyi
Düzeltilmiş Model	9538666,007	119	80156,857	90,746	0,000
Sabit Terim	90987178,221	1	90987178,221	103006,724	0,000
A:Ağaç Türü	491922,004	2	245961,002	278,453	0,000
B: İşlem Türü	50426,220	1	50426,220	57,088	0,000
C: Ölçüm zamanı	8518796,401	19	448357,705	507,586	0,000
Etkileşim A*B	7668,547	2	3834,274	4,341	0,013
Etkileşim A*C	367880,341	38	9681,062	10,960	0,000
Etkileşim B*C	79946,862	19	4207,730	4,764	0,000
Etkileşim A*B*C	21936,627	38	577,280	0,654	0,950
Hata	3073045,923	3479	883,313		
Toplam	103625729,471	3599			
Düzeltilmiş Toplam	12611711,931	3598			

a $R^2 = 0,756$

Çoklu varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü, işlem türü ve ölçüm zamanı tek başına, ağaç türü-işlem, ağaç türü- ölçüm zamanı ve işlem türü-ölçüm zamanı ağaç türü-işlem türü-ölçüm zamanı aynı anda ölçülen baca sıcaklığı değerleri üzerinde etkileri anlamlı bulunmuştur. Ağaç türü-işlem türü-ölçüm zamanı etkileşimi baca sıcaklığı değerleri üzerinde % 95'lik yanılma ile anlamlı bulunmamıştır

Ağaç malzeme ve işlem türüne bağlı olarak baca sıcaklığı değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları Tablo 4.50'de verilmektedir. Tabloda verilen değerler, ölçüm zamanını genel olarak değerlendirirken, ağaç malzeme ve işlem türünün baca sıcaklığı üzerindeki değişimlerini göstermektedir.

Tablo 4.50 Ağaç ve işlem türünün, baca sıcaklığına etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

İşlem Türü	Ağaç Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Kontrol	Sarıçam	138,4	X
	Kayın	149,9	X
	Meşe	156,9	X
Isıl İşlem	Sarıçam	163,3	X
	Kayın	170,6	X
	Meşe	175,3	X

Ağaç malzeme ve işlem türünün istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, ısıl işlem görmüş ve kontrol sarıçam, kayın ve meşe örneklerinin baca sıcaklık değerlerinde

istatistiksel olarak fark görülmektedir. Etkileşimlerde ısıt işlem görmüş sarıçam örnek grupları ile meşe kontrol örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Etkileşimlerde ısıt işlem görmüş kayın örnek grupları ile ısıt işlem görmüş meşe örnek grupları arasında fark görülmemiştir. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak fark görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yeni bir yanma düzeneği hazırlanmış ve ısı işlem görmüş sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin yanma özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, yanma sonucu elde edilen ölçümlerin ve yanma sürecinin en hassas şekilde izlenmesi bilgisayar üzerinde gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Elle yapılan ölçme kaynaklı hataların en aza indirilmesi, yanma sonucu elde edilen parametrelerin artırılması ve bu parametreler üzerinde daha hızlı işlemler yapılması sağlanmıştır. Yanma işlemi boyunca ve bitiminde elde edilen verilerin işlenmesi ve analizlerin yapılması yine bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiş, elde edilen veriler tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Ölçüm sonucu kaydedilen tüm verilerin daha sonra yapılacak yanma çalışmalarında faydalanılmak üzere depolanması sağlanmıştır.

5.1 YENİ HAZIRLANAN YANMA DÜZENEĞİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR

Yapılan yanma düzeneğinin kullanıcılara sunduğu avantajlar;

- Veri kayıplarının en aza indirilmesi
- Bilgisayar kontrollü olmasından deneylerin kolay yapılabilir olması
- Kapıdaki cam sayesinde deneyin izlenebilmesi
- Özgün yazılım kullanılması
- Kullanışlı arayüz
- Verilerin gerçek zamanlı izlenmesiyle deneye müdahale imkanı
- Yapılan deneylerin verilerinin depolanması
- Sonuçların Excel'e aktarılması.

Yapılan yanma düzeneğinde ölçümü yapılabilecek parametreler;

- % Ağırlık kaybı
- Üst sıcaklık
- Orta sıcaklık

- Alt sıcaklık
- Kül miktarı
- Nem miktarı
- Baca sıcaklığı (Analiz cihazı)
- O₂ miktarı (Analiz cihazı)
- CO miktarı (Analiz cihazı)
- NO miktarı (Analiz cihazı)
- SO₂ miktarı (Analiz cihazı)
- CO₂ miktarı (Analiz cihazı)
- NO₂ miktarı (Analiz cihazı)
- NO_x miktarı (Analiz cihazı)

Gerçekleştirilen örnek yanma deneyleri sonucunda tasarlanan sistemin veri kayıplarını önlediği, hassas ölçümlerle daha iyi sonuçlar verdiği ve özellikle zaman ve iş gücünden tasarruf sağladığı görülmüştür. Veri kayıplarının önlenmesi daha az deney tekrarını sağlamıştır. Bu sayede düzenek, ağaç malzeme koruma teknolojisi ve ağaç malzemenin yanma özelliklerinin belirlenmesi alanında kullanılabilme özelliklerine sahip olmuştur.

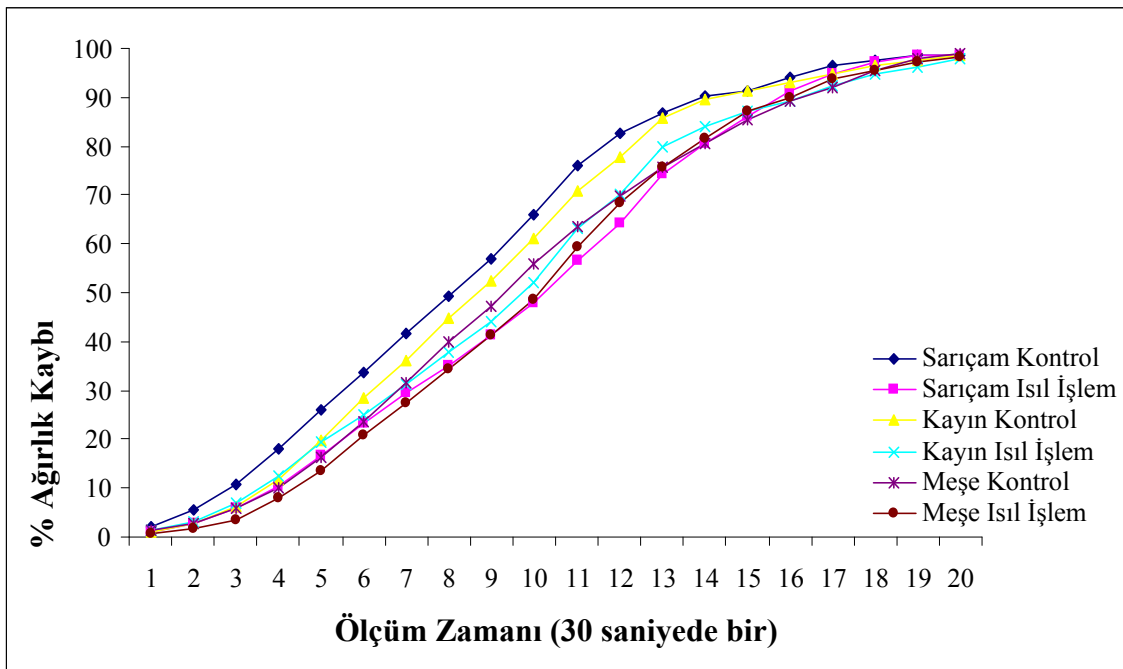
5.2 YAPILAN DENEYLER İLE İLGİLİ SONUÇLAR

Çalışmada hava kurusu özgül ağırlık değerleri sonuçlarına göre; sarıçam kontrol 0,52 g/cm³ bulunurken ısıtıl işlem sonrası ise 0,49 g/cm³ bulunmuştur. Kayın kontrol 0,69 g/cm³ bulunurken ısıtıl işlem sonrası ise 0,64 g/cm³ bulunmuştur. Meşe kontrol 0,71 g/cm³ bulunurken ısıtıl işlem sonrası ise 0,66 g/cm³ bulunmuştur. Isıtıl işlem görmüş ağaç malzemeler örneklerinin kontrol örneklerine göre daha düşük özgül ağırlıkta olduğu bulunmuştur. Özgül ağırlıkların sarıçam ağaç malzemedeki özgül ağırlık % 5,8, kayın ağaç malzemedeki % 7,2, meşe ağaç malzemedeki ise % 7 düştüğü gözlemlenmiştir. Bunu nedeni, ısıtıl işlem ile meydana gelen ağırlık kayıpları, mevcut hidroksil gruplarının azalması sonucu görülen odun bünyesinde tutulan suyun kaybı, odun hücre çeperi bileşenlerindeki maddesel kayıplar ve hemiselülozların yıkımı ile ilişkilendirilmektedir (Viitanen vd. 1994; Fengel vd. 1989; Feist vd. 1987).

Isıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinin özgül ağırlık değerlerinin kontrol örneklerine göre azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Schneider ve Rusche (1973) Yaptıkları çalışma da yapraklı ağaçların genellikle, belirli şartlar altında ısıtıldığında iğne yapraklı ağaçlardan daha yüksek kütle kaybına uyguladığı belirtmişlerdir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin % ağırlık kaybı değerlerine ait grafik Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre % ağırlık kaybı değerleri.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen % ağırlık kaybı değerleri ısıl işlem ve kontrol örneklerine göre incelendiğinde alev kaynaklı yanmanın sonunda (8.ölçüm veya 4.dakika) ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örnekleri kontrol örneklerine göre daha düşük bulunmuştur. % Ağırlık kaybı değerlerinin, sarıçam ağaç malzemedeki % 29, kayın ağaç malzemedeki % 16, meşe ağaç malzemedeki ise % 14 düştüğü gözlemlenmiştir.

Sarıçam kontrol örneklerindeki reçine varlığı yanmayı hızlandırarak daha erken ölçüm zamanlarında daha fazla ağırlık kaybetmesine neden olduğu düşünülmektedir.

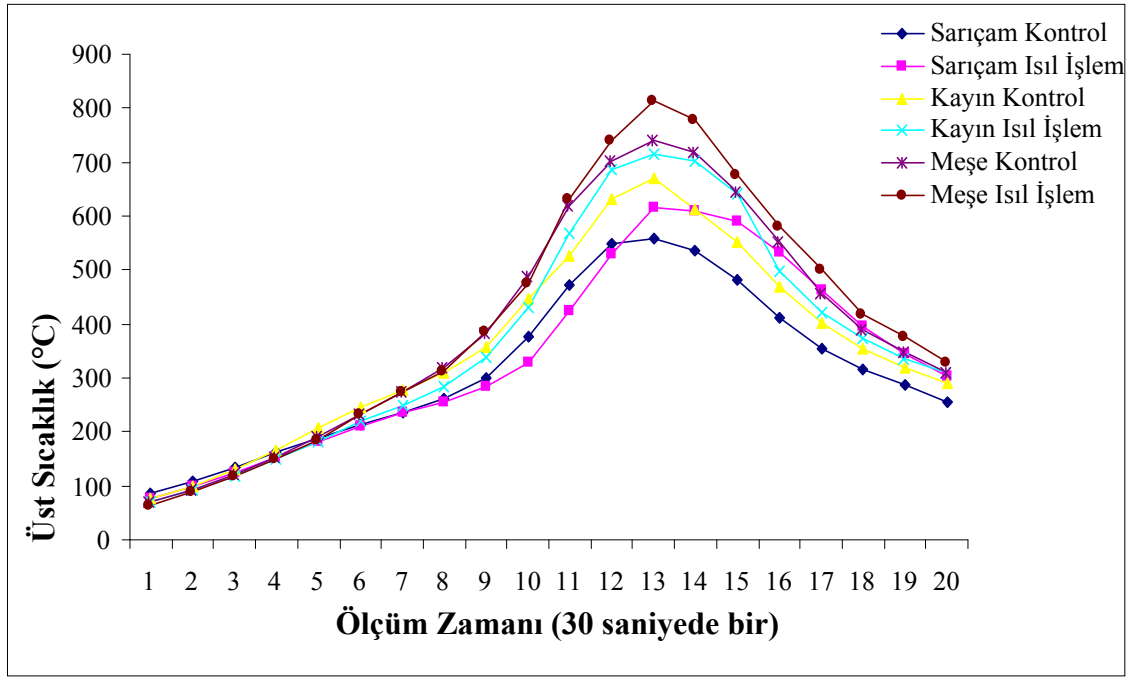
Sarıçam ağaç malzeme ısıtıl işlem sonrası kayın ve meşe ağaç malzemeye göre yanmaya karşı direnç kazanmıştır. Isıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin ısı iletkenliği düşmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda ısıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin ısı iletkenliği kontrole kıyasla % 20-25 azalır bu nedenle ThermoWood yanmaya karşı direnç söz konusu olduğu kullanım alanlarında idealdir (Militz 2002; Mayes ve Oksanen 2002).

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen % Ağırlık kaybı değerleri kontrol örneklerine göre incelendiğinde alev kaynaklı yanmanın sonunda (8.ölçüm veya 4.dakika) sarıçam ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. % Ağırlık kaybı değerlerinin sarıçam ağaç malzemeye göre; kayın ağaç malzemedede % 9, meşe ağaç malzemedede ise % 19 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Kontrol örneklerindeki ağırlık kaybı miktarları ağaç malzeme yoğunluklarıyla paralellik taşımaktadır. Ağaç malzemenin yoğunluğu azaldıkça tutuşması da o kadar kolay ve hızlı olmaktadır. Yoğunluk arttıkça tutuşma zorlaşmakta ve yanma hızı yavaşlamaktadır (Kantay 1987).

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen % Ağırlık kaybı değerleri ısıtıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerine göre incelendiğinde alev kaynaklı yanmanın sonunda (8.ölçüm veya 4.dakika) kayın ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. % Ağırlık kaybı değerlerinin kayın ağaç malzemeye göre; sarıçam ağaç malzemedede % 7, meşe ağaç malzemedede ise % 9 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıtıl işlem görmüş örneklerinin üst sıcaklık değerlerine ait grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.



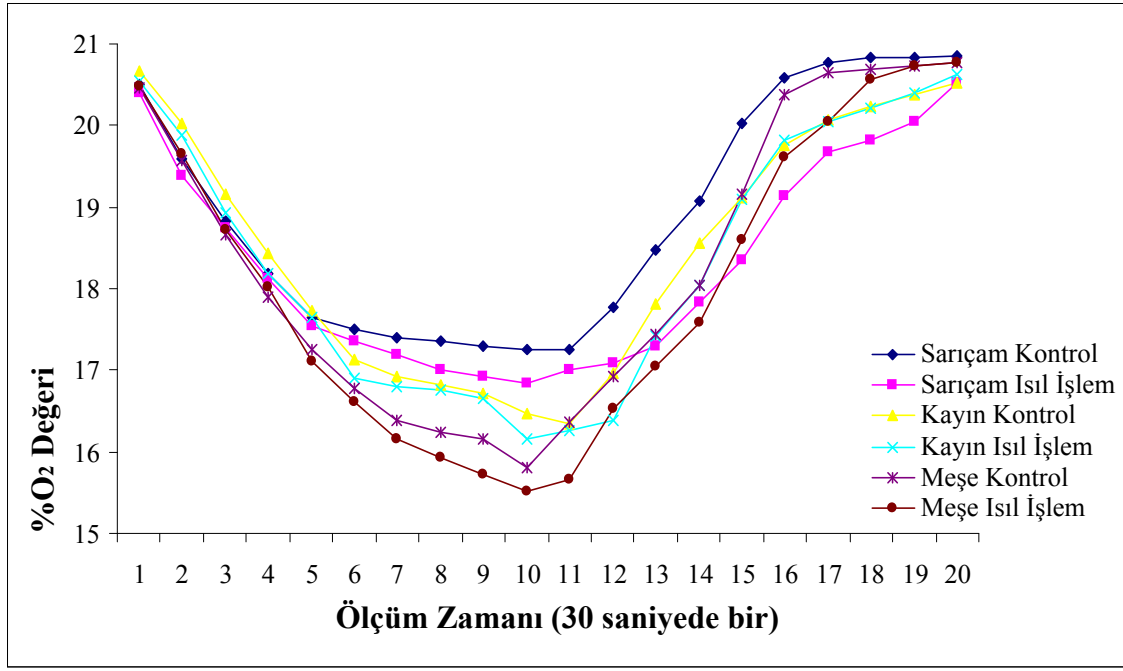
Şekil 5.2 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre üst sıcaklık değerleri.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen üst sıcaklık değerleri incelendiğinde en yüksek üst sıcaklık değerleri ısıl işlem görmüş meşe ağaç malzeme örneklerinde bulunmuştur. En düşük üst sıcaklık ise sarıçam ağaç malzeme kontrol örneklerinde bulunmuştur. Isıl işlem görmüş ağaç malzeme örnekleri kontrol örneklerine göre daha yüksek bulunmuştur. Üst sıcaklık değerlerinin ısıl işlem görmüş örneklerde kontrol örneklerine göre; sarıçam ağaç malzemedeki % 7, kayın ağaç malzemedeki % 3, meşe ağaç malzemedeki ise % 4 arttığı gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen üst sıcaklık değerleri kontrol örneklerine göre incelendiğinde meşe ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. Üst sıcaklık değerlerinin meşe ağaç malzemeye göre; sarıçam ağaç malzemedeki % 19, kayın ağaç malzemedeki ise % 8 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen üst sıcaklık değerleri ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerine göre incelendiğinde meşe ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. Üst sıcaklık değerlerinin meşe ağaç malzemeye göre; sarıçam ağaç malzemedeki % 17, kayın ağaç malzemedeki ise % 9 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin O₂ değerlerine ait grafik Şekil 5.3'de verilmiştir.



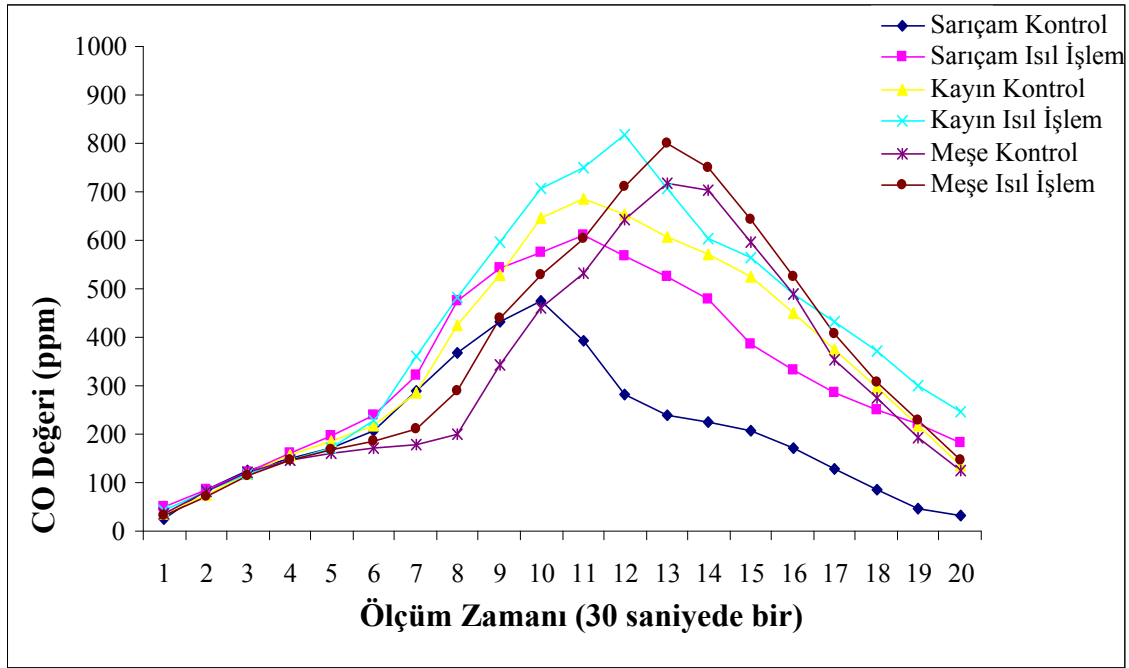
Şekil 5.3 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre O₂ değerleri.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen O₂ değerleri incelendiğinde en yüksek O₂ değerleri sarıçam ağaç malzeme kontrol örneklerinde bulunmuştur. En düşük O₂ değerleri ise ısıl işlem görmüş meşe ağaç malzeme örneklerinde bulunmuştur. Isıl işlem görmüş ağaç malzeme örnekleri kontrol örneklerine göre daha düşük bulunmuştur. O₂ değerlerinin ısıl işlem görmüş örneklerde kontrol örneklerine göre; sarıçam ağaç malzemedede % 3, kayın ağaç malzemedede % 1, meşe ağaç malzemedede ise % 2 düştüğü gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen O₂ değerleri kontrol örneklerine göre incelendiğinde sarıçam ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. O₂ değerlerinin sarıçam ağaç malzemeye göre; kayın ağaç malzemedede % 2, meşe ağaç malzemedede ise % 3 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yanma olayını çabuk tamamlayan sarıçam kontrol grubunda yanma sonrası ölçülen O₂ miktarı artmakta ve O₂ ortalamasını yükseltmektedir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen O₂ değerleri ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerine göre incelendiğinde sarıçam ve kayın ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. O₂ değerlerinin sarıçam ve kayın ağaç malzemeye göre; meşe ağaç malzemedede ise % 2 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıl işlem görmüş örneklerinin CO değerlerine ait grafik Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre CO değerleri.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen CO değerleri incelendiğinde en yüksek CO değerleri ısıl işlem görmüş kayın ağaç malzeme örneklerinde bulunmuştur. En düşük CO değerleri ise sarıçam ağaç malzeme kontrol örneklerinde bulunmuştur.

CO miktarının sarıçam ağaç malzeme kontrol örneklerinde düşük olmasının sebebi daha hızlı yanmasından kaynaklandığı söylenebilir (Goldstein 1973).

Isıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinde CO değerleri kontrol örneklerine göre daha yüksek bulunmuştur. CO değerlerinin ısıl işlem görmüş örneklerde kontrol örneklerine göre; sarıçam ağaç malzeme % 59, kayın ağaç malzeme % 14, meşe ağaç malzeme ise % 12 arttığı gözlemlenmiştir.

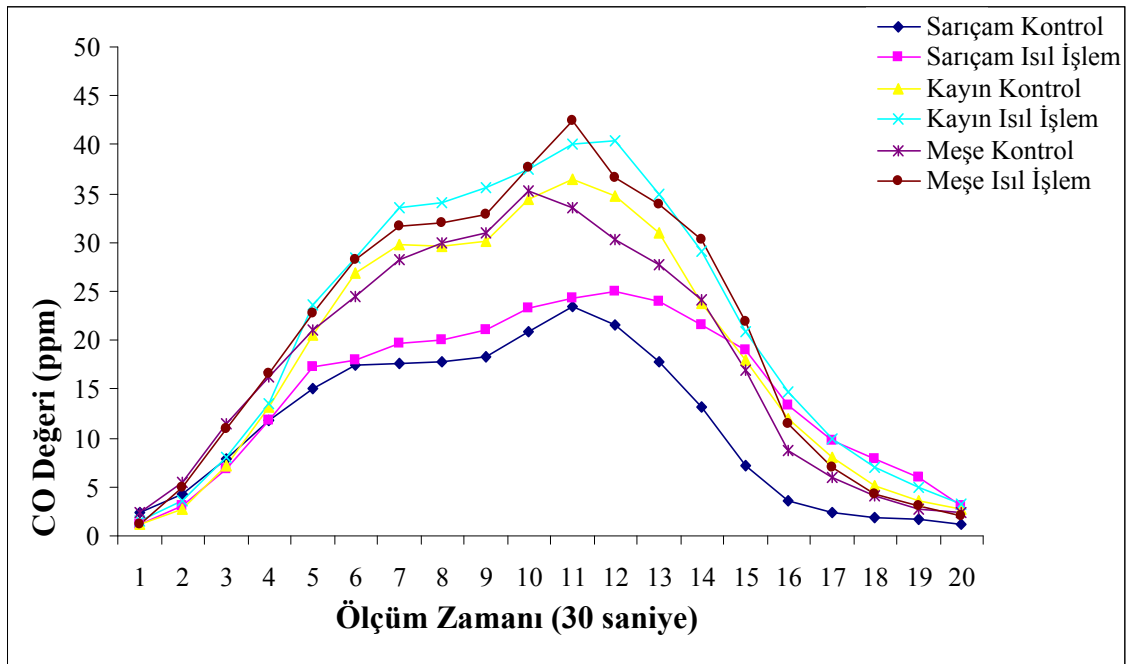
Goldstein'in yapmış olduğu araştırmaya göre hızlı pirolizde CO ve metan gibi gazlar oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlardaki ısıl işlem görmüş sarıçam örneklerinde CO miktarının fazla olmasının nedeni yavaş yavaş yanmasından kaynaklanabilir. CO miktarının sarıçam

kontrol örneklerinde az olmasının sebebi daha hızlı yanmasından kaynaklandığı söylenebilir (Goldstein 1973).

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen CO değerleri kontrol örneklerine göre incelendiğinde kayın ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. CO değerlerinin kayın ağaç malzemeye göre; sarıçam ağaç malzemedeki % 43, meşe ağaç malzemedeki ise % 10 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen CO değerleri ısıtılmış ağaç malzeme örneklerine göre incelendiğinde kayın ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. CO değerlerinin kayın ağaç malzemeye göre; sarıçam ağaç malzemedeki % 20, meşe ağaç malzemedeki ise % 11 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıtılmış örneklerinin NO değerlerine ait grafik Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre NO değerleri.

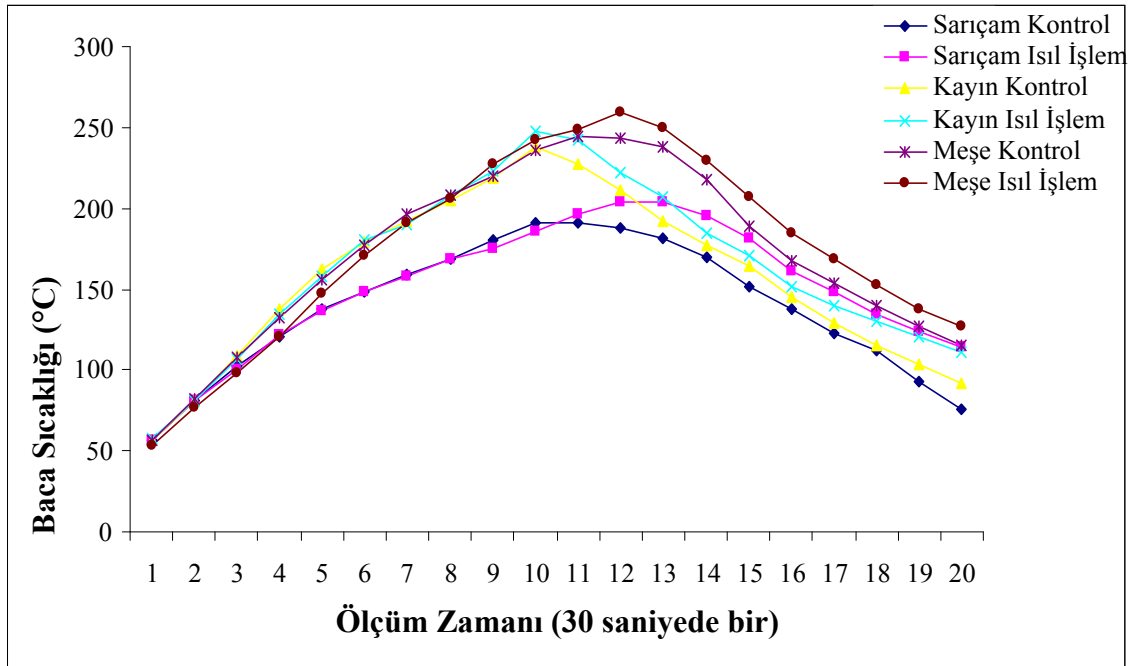
Yanma deneyleri sonucunda elde edilen NO değerleri incelendiğinde en yüksek NO değerleri ısıtılmış kayın ağaç malzeme örneklerinde bulunmuştur. En düşük NO değerleri ise sarıçam ağaç malzeme kontrol örneklerinde bulunmuştur. Isıtılmış ağaç malzeme

örnekleri kontrol örneklerine göre daha yüksek bulunmuştur. NO değerlerinin ısıtılmış örneklerde kontrol örneklerine göre; sarıçam ağaç malzemesinde % 36, kayın ve meşe ağaç malzemesinde % 17 arttığı gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen NO değerleri kontrol örneklerine göre incelendiğinde kayın ve meşe ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. NO değerlerinin kayın ve meşe ağaç malzemesine göre; sarıçam ağaç malzemesinde % 39 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen NO değerleri ısıtılmış ağaç malzeme örneklerine göre incelendiğinde kayın ve meşe ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. NO değerlerinin kayın ve meşe ağaç malzemesine göre; sarıçam ağaç malzemesinde % 29 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen sarıçam, kayın ve meşe ağaç malzemelerin kontrol ve ısıtılmış örneklerinin baca sıcaklığı değerlerine ait grafik Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 Ağaç malzemeler ve ölçüm zamanına göre baca sıcaklığı değerleri.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen baca sıcaklığı değerleri incelendiğinde en yüksek baca sıcaklığı ısıtılmış meşe ağaç malzeme örneklerinde bulunmuştur. En düşük

baca sıcaklığı ise sarıçam ağaç malzeme kontrol örneklerinde bulunmuştur. Isıl işlem görmüş ağaç malzeme örnekleri kontrol örneklerine göre daha yüksek bulunmuştur. Baca sıcaklığı değerlerinin ısıl işlem görmüş örneklerde kontrol örneklerine göre; sarıçam ağaç malzemedede % 18, kayın ağaç malzemedede % 14 ve meşe ağaç malzemedede ise % 12 arttığı gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen baca sıcaklığı değerleri kontrol örneklerine göre incelendiğinde meşe ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. Baca sıcaklığı değerlerinin meşe ağaç malzemeye göre; sarıçam ağaç malzemedede % 12, kayın ağaç malzemedede ise % 5 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyleri sonucunda elde edilen baca sıcaklığı değerleri ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerine göre incelendiğinde meşe ağaç malzeme örneklerinde en yüksek bulunmuştur. Baca sıcaklığı değerlerinin meşe ağaç malzemeye göre; sarıçam ağaç malzemedede % 7, kayın ağaç malzemedede ise % 2 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yanma deneyi sonuçları genel olarak ele alındığında ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin, ısıl işlem görmemiş ağaç malzemeye göre;

Ağırlık kaybının daha düşük,

Üst sıcaklık ve baca sıcaklığı değerlerinin daha yüksek,

O₂ kaybı, CO ve NO salınımı daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte ısıl işlem görmüş ağaç malzeme örneklerinin tutuşma süresi ısıl işlem görmemiş ağaç malzemeye göre arttırdığı belirlenmiştir.

5.3 ÖNERİLER

“Yeni bir yanma düzeneğinin hazırlanması ve ısıl işlem görmüş ağaç malzemelerin yanma özelliklerinin belirlenmesi” adlı bu çalışma sonucunda aşağıdaki öneriler verilebilmektedir.

Isıl işlem görmüş ağaç malzeme, yanmaya karşı direnç söz konusu olan kullanım alanlarında idealdir. Ağaç malzeme olarak eğer sarıçam kullanılacaksa ısıl işlem görmüş sarıçam tavsiye edilebilir.

Ağaç malzemenin yanma özelliklerini belirleme konusunda hazırlanan bilgisayar kontrollü yanma düzeneği daha sonra yapılacak geliştirmelerle daha fazla parametre ölçümüne imkan tanıyacak hale getirilebilir. Bunlar; duman yoğunluğunun izlenmesi, kabin içi oksijen miktarı belirlenmesi ve kontrol edilmesi, kapak üzerine dokunmatik ekran yerleştirilip alınan değerlerin buradan izlenebilmesi sağlanabilir.

İleride yapılacak çalışmalarda ölçüm sonuçları yapay sinir ağıları değerlendirilip kontrol edilebilir. Yanma çalışmalarının internet üzerinden izlenmesi veya kontrol edilmesi sağlanabilir. Prototip olarak geliştirilen bu sistem eğitim amaçlı üniversitelerin ilgili bölümlerinde veya Ar-Ge merkezlerinde kullanılmak üzere geliştirilebilir.

Bu düzenek bölgedeki tarihi ahşap yapıların yanmaya karşı korunmasıyla ilgili yapılacak çalışmalara ve projelere imkan tanıyacaktır. Herhangi bir yanma tehlikesi esnasında, yangıcı ve alevlenebilen organik bir madde olan ahşabın, yanma tehlikesine karşı korunabilmesi ayrıca, dünya miras şehirleri listesinde bulunan Safranbolu'daki tarihi kültürümüzün sürdürülebilirliğine de katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- ASTM E 69** (2007) Standard test method for combustible properties of treated wood by the fire tube apparatus, American national standards institute, New York, A.B.D.
- Aydemir D** (2007) Göknar (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus Betulus* L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 175 s.
- Anşın R ve Özkan ZC** (1993) *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*, KTÜ Orman Fakültesi, 167/19, 1.Baskı, Trabzon, 512 s
- ASLAN S**, (1994) *Ağaç Dendrolojisi ve Odun Anatomisi*, Hacettepe Üniversitesi, Mesleki Teknoloji Yüksek Okulu Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, 81-104
- Ayadi N, Lejeune F, Charrier F, Charrier B ve Merlin A** (2003) Color stability of heat treated wood during artificial weathering. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 61(3): 221–226.
- Baysal E** (1994) Çeşitli Borlu ve WR Bileşiklerin Kızılçam Odunun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 111 s.
- Baysal E ve Yalınkılıç M K** (2005) A Comparative Study on Stability and Decay Resistance of Some Environmentally-Friendly Fire Retardant Boron Compounds. *Wood Science and Technology*, 39(5): 169-186
- Baysal E, Peker H ve Tan H** (2004) Bazı Emprenye Maddelerinin Ladin (*Picea orientalis* Link.) Odunun Yanma Özelliklerine Etkileri. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 16(1), 163-175.
- Beall FC** (1969) Thermogravimetric analysis of wood lignin and hemicelluloses, *Wood and Fiber*, 1(3):215–226.
- Beall FC** (1971) Differential calometric analysis of wood and wood components, *Wood Science and Technology*, 5(3):159–175.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bekhta P ve Niemz P** (2003) Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57(5):539–546.
- Berkel A** (1972) Ağaç Malzeme Teknolojisi, Ağaç Malzemenin Korunması ve Emrenye Tekniği”, *İ.Ü.Orman Fakültesi*, Orman Fakültesi, Yayın No: 183, Sermet Matbaası, İstanbul, Cilt 2.
- Bhuiyan TR, Nobuyuki H ve Nobuo S** (2000) Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions, *Journal of wood science*, vol. 46(6): 431–436.
- Boonstra MJ, Rijdsdijk JF, Sander C, Kegel E, Tjeerdsma B, Militz H, Van AJ ve Steven M** (2006) Microstructural and Physical Aspects of Heat Treatment Wood. Part. 1. Softwoods, *Maderas Ciencia y tecnologia* 8(3):193–208.
- Bourgeois J, Janin G ve Guyonnet R** (1991) Measuring colour: a method of studying and optimising the chemical transformations of thermally-treated wood. *Holzforschung*, 45(5):377–382.
- Bozkurt AY ve Erdin N** (1989) *Ticarette Önemli Bazı Ağaçlar*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, İstanbul.
- Bozkurt AY, Göker Y ve Erdin N** (2000) *Odun Anatomisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İ.Ü. Rektörlüğü Yayın No:4263, O.F. Yayın No: 466, ISBN 975-404-592-5, İstanbul.
- Burmester A** (1975) The dimensional stabilization of wood. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2(2):112–119.
- Chang C I and Keith C T** (1978) Properties of heat-darkened wood. II – Mechanical properties and gluability. Ottawa: Eastern Forest Products Laboratory. *Fisheries and Environment*, Canada: 1–19.
- Chow S Z** (1971) Infrared spectral characteristics and surface inactivation of wood at high decomposition of cellulose, hemicellulose and lignin, *Cellulose Chemistry and Technology*, 1(3):277–285.
- Cullis C F, Hirschler M M** (1981) The Combustion of Organic Polymers. *Clarendon Pres-Oxford*, The City University- London.
- Dinwoodie J M** (2000) Timber: its Nature and Behaviour, 2nd edn. E. and F.N. Spon, (Ed.), *The Chemistry of Solid-Wood*. ACS Sym Series 208. Washington DC, pp 211–255.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Drysdale D** (1998) *An introduction to fire dynamics*, 2nd ed., John Wiley, England, 0-471-97291-6.
- Doi S, Kurimoto Y, Ohmura W, Ohara S, Aoyama M and Yoshimura T** (1999) Effects of heat treatments on the feeding behaviour of two subterranean termites, *Holzforschung*, 53(3):225–229
- Doi S, Kurimoto Y, Takahashi M and Yoshimura T** (1997) Effects of steaming heat treatment on the stimulation of termite feeding. *International Research Group on Wood Preservation*, Doc. No. IRG/WP 97-10212.
- Edlund M L and Jermer J** (2004) Durability Of Heat-Treated Wood, *Final Workshop COST Action E22-Environmental Optimisation of Wood Protection*, Lisboa–Portugal.
- Eriç M** (1985) *Yapılarda Yangının Malzemeye Etkisi, Birinci Yangın Ulusal Kurultayı Bildirileri*, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, Ankara, 290-314.
- Eriç M** (1978) Dünün ve Bugünün Ahşap ve Ahşaptan Üretilmiş Malzemesinin Türkiye Şartları İçinde Yapıda Rasyonel Kullanılma İmkanlarının Araştırılması, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul.
- Erşen N** (1986) Tutkallı Taşıyıcı Ahşap Yapı Elemanları
- Esen R** (2009) Emprenye Yapılmış Ağaç Malzeme Üzerine Uygulanan Üstyüzey İşlemlerinin Yanma Direncine Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 111 s.
- Feist WC ve Sell J** (1987) Weathering behaviour of dimensionally stabilized wood by heating under pressure of nitrogen gas, *Wood and Fiber Science*, 19(2):183– 195.
- Fengel D ve Wegener G** (1989) Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. *Walter De Gruyter*, Berlin /New York, 3(9):333–335.
- Fengel D ve Wegener G** (1984) *Wood Chemistry, Ultrastructure Reactions. Walter de Gruyter*, Berlin/New York, 3(11):008481-3.
- Forest Products Laboratory** (1987) Forest Service U. S. Department of Agriculture, , Handbook of Wood and Wood –Based Materials for Engineers, Architects and Builders, London, chapter 15.
- Fung DPC, Stevenson JA ve Shields JK** (1974) The effect of heat and $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ on the dimensional and anatomical properties of Douglas-fir. *Wood Science*, 7(1):13–20.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gann GR, Averill DJ, Butler MK, Jones WW, Mulholland WG, Neviasser LJ, Ohlemiller JT, Peacock DR, Reneke AP ve Hail RJJr.** (2001) International Study of the Sublethal Effects of Fire Smoke on Survivability and Health (SEFS): Phase I Final Report. National Institute of Standard and Technology (USA), Technical Note 1439.
- Garrote G, Domínguez H ve Parajó JC** (1999) Hydrothermal processing of lignocellulosic materials, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57(3):191–202.
- Goldstein IS** (1973) *Degradation and Protection of Wood from Thermal Attack*, In: Wood Degradation and Its Prevention By Preservative Treatments, Ed. D.D. Nicholas, Vol. I, Syracuse Pres, Syracuse, New York, 307-339.
- Gökmen Ş** (1965) *Yangın Bilgisi*, Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.
- Green DW** (1999) Adjusting Modulus of Elasticity of Lumber for Changes in Temperature. *Forest Products Journal*, 49(10):82–94.
- Gündüz G, Korkut S ve Korkut SD** (2008) The Effects of Heat Treatment on Physical and Technological Properties and surface Roughness of Camıyanı Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) Wood, *Bioresource Technology*, 99 (7): 2275-2280, ISSN: 0960-8524.
- Gündüz G, Aydemir D ve Karakaş G** (2009) The Effects of Thermal Treatment on the Mechanical Properties of Wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) Wood and Changes in Physical Properties, *Materials and Design*, 30, 4391–4395.
- Gündüz G ve Aydemir D** (2009) The Influence of Mass Loss on the Mechanic Properties of Heat-treated Black Pine Wood, *Wood Research*, 54 (4): 33-42.
- Hafizoğlu H** (1994) *Orman Yan Ürünleri Kimyası*, Ders Notları, 1994, Trabzon.
- Hakkou M, Pe´trissans M, El Bakali I, Ge´rardin P ve Zoulalian A** (2005) Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood, *Holzforschung*, Vol. 59:35–37.
- Hartman EF** (1936) Report of Special Committee on Processing of Wood, *Wood Preservers*, 425-28.
- Hillis WE** (2004) High temperature and chemical effects on wood stability, *Wood Science and Technology*, Vol. 18(4):281–293.
- Hillis WE** (1975) The Role of Wood Characteristics in High Temperature Drying, *J. Inst. Wood Sci.*, 7(2):60-67.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Inoue M, Norimoto M, Tanahashi M ve Rowell RM** (1993) Steam or Heat Fixation of Compressed Wood, *Wood and Fiber Science*, 25(3):224-235.
- Humphries JT ve Sheets LP** (1989) Industrial Electronic, Delmar Publishers.
- Jacob JM** (1989) Industrial Control Electronics Applications and Design. Purdue University, Printice-Hall.
- Kamuf W, Nixon A, Parker O ve Barnum C** (2003) Overview of caramel colors. *Cereal Foods World*, (48): 64-69.
- Kim GH, Yun KE ve Kim JJ** (1998) Effect of heat treatment on the decay resistance and bending properties of radiata pine sapwood, *Material and Organismen*, 32(2): 101–108.
- Kollman F ve Cote J R** *Principles of Wood Science and Technology: I. Solid Wood*, Springer–Verlag, 149-151, (1968).
- Kantay R** (1987) Pratikte Uygulanan Kurutma Yöntemleri, Orman Ürünleri Kurutma Seminerleri, İ.Ü. Orman Fakültesi yayınları, (1-3): İstanbul.
- Kordina K ve Meyer-Ottens C** (1977) *Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen*. Dusseldorf, Deutschland.
- Korkut S, Akgül M ve Dündar T** (2008) The Effects of Heat Treatment on some Technological Properties of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood, *Bioresource Technology*, 99 (6): 1861-1868.
- Korkut S ve Bektaş İ** (2008) The Effects of Heat Treatment on Physical Properties of Uludag Fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood, *Forest Products Journal*, 58 (3): 95-99.
- Kurt Ş ve Uysal B** (2009) Combustion Properties of Oak (*Quercus robur* L.) Laminated Veneer Lumbers Bonded With PVAc, PF Adhesives and Impregnated With Some Fire-Retardants, *Composite Interfaces* 16, 175–190.
- Küçük S** (2001) Yangın Sırasında Oluşan Yanma Ürünleri ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Olumsuz Etkileri, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 125 s
- Lee PW, Eom YG ve Kim HJ** (1989) Oxygen Index of Fire-Retardant-Treated Plywood in Burning Test, *Jour. Korean For. Soc.*, 78(4) : 419 – 424.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- LeVan SL, Winandy JE** (1990) Effects of Fire Retardant Treatments on Wood Strength: A Review. *Wood and Fiber Science*, 22 (1):113-131.
- Madorsky SL** (1964) *Thermal degradation of organic polymers*, John Wiley, New York, 978-0470563250.
- Malkoçoğlu A** (1994) Doğu kayını Odununu Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 152.
- Mayes D ve Oksanen O** (2002) *ThermoWood Handbook*, Finnforest, Finland.
- Merev N** (2003) Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı, KTÜ, Orman Fakültesi, Genel Yayın No:210, Fakülte Yayın No:32, IBSN 975-6983-30-2, Trabzon.
- Militz H** (2002) Heat treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art, in: Proceedings of Conference on Enhancing the durability of lumber and engineered wood products, *Forest Products Society*, Madison, US.
- Mitchell PH** (1988) Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen, *Wood and Fiber Science*, 20(3): 320–355.
- Millett MA ve Gerhards GC** (1972) Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C, *Wood Science*, 4(4): 193–201.
- Novawood** (2010) El Kitabı, Gerede, Bolu.
- Ozaki S K** (1999) Effect of Furfuryl Alcohol Combined with Boron Compounds Treated Wood, M.D. University of Sao Paulo Physical Institute of Sao Carlos Department of Physick and Material Science, Sao Carlos, Pp:56-57.
- Örs Y Keskin H** (2001) *Ağaç Malzeme Bilgisi*, Atlas Yayın Dağıtım, GÜTEF, Ankara.
- PCI-1710 series User's Manual** (2001) *Advantech Co., Ltd.*, Part No. 2003171600, 1st Edition, Taiwan.
- Rapp AO ve Sailer M** (2000) Heat Treatment in Germany, *Proceedings of Seminar Production and Development of Heat Treated Wood in Europe*, Helsinki, Oslo
- Real-Time Windows Target User's Guide** (2008) The MathWorks, Inc.
- Richardson B** (1978) *Wood Preservation*, The Construction Pres. Ltd., Lancaster, England, Pp: 238.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Roberts AF** (1971) Problems associated with the theoretical analysis of the burning of wood, *13 th Symposium on Cumbustion*, The Combustion Institute, Pittsburg, 893-903.
- Rusche H** (1973) 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: 273–281.
- Russell LJ, Marney DCO, Humphrey DG, Hunt AC, Dowling VP ve Cookson LJ** (2004) *Combining fire retardant and preservative systems for timber products in exposed applications state of the art review.*
- Schneider A** (1971) Investigations on the Influence of Heat Treatment in the Temperature Range 100-200°C on modulus of Elasticit., *Holz Roh-u Werkstoff*, 29(11): 431-440.
- Schneider A ve Rusche H** (1973) Sorption behaviour of beech and spruce wood after heat treatment in air and in vacuum, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31(8): 313–319.
- Sehlstedt P M** (2003) Colour responses to heat-treatment of extractives and sap from pine and spruce, *Proceedings 8th International IUFRO Wood Drying Conference*, Brasov, Romania.
- Sunar Ş** (1983) Bina Yangın Güvenliği, *Birinci Yangın Ulusal Kurultayı Bildirileri*, ODTÜ-TUBİTAK, Mimarlık Fakültesi, Ankara, 281-291
- Syrjänen T ve Kangas E** (2000) Heat treated timber in Finland, *International Research Group on Wood Preservation*, Doc. No. IRG/WP 00–40158, 14-19 May 2000, Hawaii, USA.
- Şahin HT** (2005) Ağaç malzemenin termal bozulma ürünleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Mühendisliği Dergisi*, 42, 10-12.
- Şanıvar N, Zorlu İ** (1998) *Ağaçşleri Gereç Bilgisi*, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul.
- Temiz A, Gezer ED, Yıldız ÜC ve Yıldız S** (2008) Combustion properties of alder (*Alnus glutinosa L. Gaertn. subsp. barbata (C.A. Mey) Yalt.*) and southern pine (*Pinus sylvestris L.)* wood treated with boron compounds, *Construction and Building Materials*, 22: 2165- 2169
- Terzi E** (2008) Amonyum Bileşikleri ile Emprenye Edilen Ağaç Malzemenin Yanma Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 106 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tjeerdsma BF, Boonstra M ve Militz H** (1998) Thermal modification of nondurable wood species 2. Improved wood properties of thermal treated wood, *International Research Group on Wood Preservation*, Doc. No. IRG/WP/98– 40124.
- Tjeerdsma BF ve Militz H** (2005) Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heattreated wood, *Holz als Rohund Werkstoff*, 63: 102–111.
- Troya MT ve Navarette A** (1994) Study of the degradation of retified wood through ultrasonic and gravimetric techniques, *International Research Group on Wood Preservation*, Doc. No. IRG/ WP 94–40030.
- TS 1476** (1984) Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerin Tayini İçin Homojen Mescerelerden Numune Ağacı ve Laboratuvar Numunesi Alınması, *T.S.E.*, Ankara.
- TS 2471** (1976) Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyle İçin Rutubet Miktarı tayini, I. Baskı, *T.S.E.*, Ankara.
- TS 2472** (1976) Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyle İçin Birim Hacim Ağırlığın Tayini, *T.S.E.*, Ankara.
- Uysal B** (1997) Çeşitli Kimyasal Maddelerin Ağaç malzemenin yanmaya dayanıklılığı üzerine etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 100s
- Uysal B, Özçifçi A ve Yılmaz S** (2002) Farklı Ağaç Türlerinin Yanma Özellikleri, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 79-87.
- Uysal B ve Kurt Ş** (2005) Borlu Bileşiklerle Emprenye Edilmiş Kayın ve Sarıçam Ağaçlarının Yanma Özellikleri, *I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, sayfa 33, Ankara.
- Uysal B, Kurt Ş, Seferoğlu D, ve Özcan C** (2008) Combustion Propeties Of Scotch Pine Of Finishing Processed, *Teknoloji*, 11(4) 305-313.
- Viitaniemi P** (1997) Decay-resistant Wood Created in a Heating Process, *Industrial Horizons*, 23: 77-85.
- Viitanen H, Jämsä S, Paajanen L, Nurmi A ve Viitaniemi P** (1994) The effect of heat treatment on the properties of spruce, A preliminary report, *International Research Group on Wood Preservation*, Doc. No. IRG/WP 94-40032 Annual meeting, Section 4,1-4, Nusa Dua, Bali, Indonesia.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Vital BR ve Lucia MD** (1983) Effect of heating on some properties of *Eucalyptus saligna* Wood, *Revista-Arvore*, 7(2): 136-146.
- Welzbacher CR ve Rapp AO** (2004) Comparison of thermally treated wood originating from four industrial scale processes-durability, *International Research Group on Wood Preservation*, Doc. No. IRG/WP 02-40229.
- White RH ve Dietenberger MA** (1999) Fire Safety, Handbook of Wood and Wood Based Materials for Engineers, *Forest Product Laboratory Forest Service U.S. Department of Agriculture*, Madison, 287-303.
- White RH** (1985) Reporting of Fire Incidents in Heavy Timber Structures, USD A, Forest Products Laboratory Research Paper, FPL, 464, 9.
- Winandy JE** (1996) Effects of Treatment, Incising, and Drying on Mechanical Properties of Timber, *Forest Products Laboratory*, USDA Forest Service, pp.9.
- Yalınkılıç MK** (1993) Malzemenin Yanma, Higroskopisite ve Boyutsal Stabilité Özelliklerinde Çeşitli Emprenye Maddelerinin Neden Olduğu Değişiklikler ve Bu Maddelerin Odundan Yıkanabilirlikleri. Doçentlik Tezi, KTÜ Orman Fak. Trabzon, 312 s
- Yaltırık F ve Efe A** (1994) *Dendroloji* Ders Kitabı, Gymnospermae-Angiospermae, İ.Ü. Yayın No:3836, Fak. Yayın No:431, ISBN 975-404-363-9, İstanbul.
- Yılğör N** (1993) Üç yüz yıl su altında kalmış odunun kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişmeler, Yüksel Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 104 s.
- Zicherman JB ve Williamson RB** (1982) Microstructure of Wood Char, Part: 2, Fire Retardant Treated Wood, *Wood Science and Technology*, 16, 1, 19-34, USA.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Zonguldak'ın Karabük ilçesinde doğan Cemal ÖZCAN, ilköğretimini Karabük'te tamamladıktan sonra liseyi Karabük Meslek Lisesi'nde 1998-1999 Eğitim-Öğretim döneminde tamamlamıştır; 2001 yılında SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü'nde Yüksek Öğrenimine başladı; 2005 yılında öğrenimini tamamlayarak mezun oldu; 2005-2006 Eğitim-Öğretim yılında Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mobilya ve Dekorasyon Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansa başladı; 2007 yılının Haziran ayında yüksek lisansını tamamladı; 2007-2008 eğitim öğretim yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programını kazanmış olup halen Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programına devam etmektedir. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Bölümü'ne Araştırma görevlisi olarak atanmıştır ve halen görevini sürdürmektedir. Yabancı dili İngilizce olan Cemal ÖZCAN evli ve bir çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Karabük Üniversitesi T.E.F. B10 100.yıl Balıklar kayası mevki

KARABÜK

Tel: (0370) 433 82 00 - 1268

Cep Tel: 0535 250 45 93

E-posta: cemalozcan@karabuk.edu.tr