

67966

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

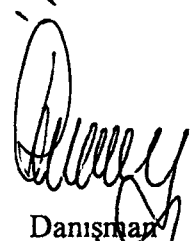
**ÇEŞİTLİ KİMYASAL MADDELERİN AĞAÇ MALZEMENİN YANMAYA
DAYANIKLILIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ**

BURHANETTİN UYSAL

**DOKTORA TEZİ
(KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRILMASI ANABİLİM DALI)**

**1997
ANKARA**

Bu Tezin Doktora Tezi Olarak Uygun Olduğunu Onaylım.



Danışman

Prof. Dr. Ramazan ÖZEN

Bu çalışma, jürimiz tarafından Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırılması Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

SINAV JÜRİSİ:

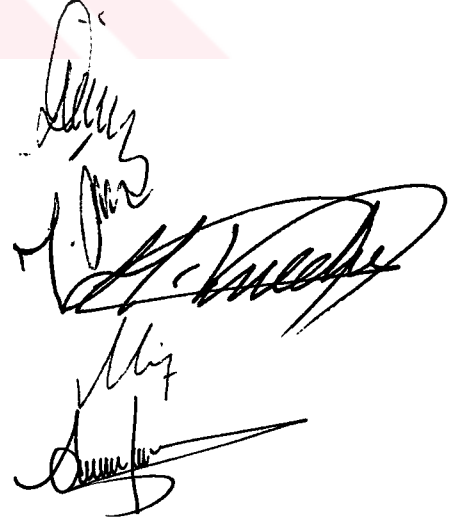
Başkan : Prof. Dr. Ramazan ÖZEN

Üye : Prof. Dr. Yalçın ÖRS

Üye : Prof. Dr. Hasan VURDU

Üye : Prof. Dr. A. Yücel UYAREL

Üye : Doç. Dr. Abdullah SÖNMEZ



Bu Tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Esaslarına Uygundur.

ÖZET

Bu çalışmada, yapı elamanı olarak kullanılan ağaç malzemelerin yanma özellikleri üzerine çeşitli kimyasal maddelerin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla; sarıçam (*Pinus silvestris* L.) ve doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) deney örnekleri ASTM-E-69'a göre hazırlanmıştır. Bunların emprenyesinde iki değişik yöntem kullanılmıştır. Bu malzemelerin emprenyesinde basınç uygulanmayan Uzun süreli daldırma ile basınç uygulanan Dolu hücre metodları kullanılmıştır. Dolu hücre metodunun uygulanmasında iki farklı yol izlenmiştir. Deney örneklerinin bir kısmına emprenye sırasında 1 saat vakum, 1 saat basınç uygulanırken bir kısmına 30 dakika vakum 30 dakika basınç uygulanmıştır. Deney örneklerinin emprenyesinde kullanılan çözeltiler; Sodyum sülfat (Na_2SO_4), Sodyum tetra borat($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), Bakır sülfat (Cu_2SO_4), Potasyum nitrat(KNO_3), Çinko sülfat ($\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Emprenye edilen deney örneklerinin çözelti absorpsiyon miktarı (tam kuru madde miktarı) belirlenmiştir. En fazla çözelti absorpsiyonu sarıçamda (%186.95) 1 saat vakum (alçak basınç), 1 saat basınç uygulanan dolu hücre yönteminde Potasyum nitrat(KNO_3) çözeltisi ile gerçekleşirken, en az çözelti absorpsiyonu (%1.05) uzun süreli batırma yönteminde (36 saat) Sodyum tetra borat($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) çözeltisi ile kayında gerçekleşmiştir. Yanma deneyleri sonucunda, daldırma yöntemi ile emprenye edilen sarıçam ve kayın örneklerinin Dolu hücre metodu ile emprenye edilen örneklerden yanmaya karşı daha az dayanıklı oldukları tespit edilmiştir. Yanmaya karşı en etkili emprenye yöntemi, 1 saat vakum - 1 saat basınç şeklinde uygulanan Dolu hücre metodu olmuştur. Emprenye işlemlerinde kullanılan kimyasal maddelerden Na_2SO_4 , ZnSO_4 , Cu_2SO_4 ın yangın geciktirici özellik taşıdığı, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve ZnSO_4 ın sıcaklık artışını önleme özelliklerinde oldukları, KNO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve ZnSO_4 ın ise yanma esnasında duman oluşumunu azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler : Yangın geciktirici ile emprenye edilmiş ahşap, Yangın, Yanma, Tutuşma, Yangın geciktirici, Alev yayılması, Odun kömürü,

Sayfa sayısı : 121

Danışman : Prof. Dr. Ramazan ÖZEN

SUMMARY

This study deals with evaluations of the various fire retardant chemicals on the wood material which are used as a construction material. In this study, according to the ASTM-E-69 the wood samples had been prepared from the scotch pine (**Pinus silvestris** L.) as a softwood and the oriental beech (**Fagus orientalis lipsky**) as a hardwood. Two different methods were used for impregnation of the wood samples. These are; the long time dipping method is a non-pressure processes which include no external pressure is applied to force the wood preservative into the wood samples and the full-cell method which includes pressure processes. The following solutions were used for impregnation of the wood samples. Sodium sulfate (Na_2SO_4), Sodium tetra borate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), Copper sulfate (Cu_2SO_4), Potassium nitrate (KNO_3), Zinc sulfate ($\text{Zn}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). The amount of absorbed chemical was determined in the wood samples impregnated by the above mentioned methods and solutions. Amount of absorbed chemical was determined on the scotch pine material (**Pinus silvestris** L.) (%186.95) with the treatment of IV. solution by the full-cell method which includes 1 hour vacuum and 1 hour pressure as maximum. It was determined on the oriental beech (**Fagus Orientalis Lipsky**) material (%1.05) with the treatment of II. solution by dipping of 36 hours as minimum. In the result of combustion tests, the impregnated scotch pine and oriental beech samples by dipping method have less resistance against the combustion than impregnated samples by full-cell process. It is determined that the most effective impregnation method against the combustion is full-cell method which contains 1 hour vacuum and 1 hour pressure. From the chemicals which are used in the impregnation process; Na_2SO_4 , ZnSO_4 and Cu_2SO_4 have the fire retardant specification, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ and ZnSO_4 have the effect to prevent fire temperature increasing, KNO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ and ZnSO_4 have decreased the smoke consistence.

Key words : Fire retardant treated wood, Impregnation, Fire resistance, Combustion, Ignition, Flame retardants, Flame resistance, Flame speed, charcoal of wood, Flammability.

Number of Pages : 121

Supervisor : Prof. Dr. Ramazan ÖZEN

TEŞEKKÜR

“Çeşitli Kimyasal Maddelerin Ağaç Malzemenin Yanmaya Dayanıklılığı Üzerine Etkileri” konulu doktora çalışmamda en büyük desteği sağlayan tez danışmanım sayın Prof. Dr. R. ÖZEN’e, kıymetli bilgileriyle tecrübelerinden istifade ettiğim sayın Prof. Dr. Y. ÖRS, Prof. Dr. H. VURDU, Prof. Dr. A. Y. UYAREL, Doç.Dr. A. SÖNMEZ, Yrd.Doç.Dr. İ. KÜRELİ ile Araştırma Görevlileri M. ATAR, A. ÖZÇİFÇİ’ye, istatistiksel işlemlerdeki katkılardan dolayı Doç. Dr. K. KARA’ya ve yetişmemde emeği geçen tüm sayın hocalarıma saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET.....	I
SUMMARY.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIII
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Ağaç Malzemenin Yanma Özelliği.....	4
1.2.1 Termik Bozunmanın Olumsuz Yönü: Yangın.....	5
1.2.2 Sıcaklığın Ağaç Malzemeye Olan Etkisi.....	8
1.2.2.1 Ağaç Malzemeye 200 °C'nin Altındaki Sıcaklıkların Etkisi.....	11
1.2.2.2 200 °C'nin Üzerindeki Sıcaklıklarda Ağaç Malzeme.....	12
1.2.2.2.1 Piroliz.....	12
1.2.2.2.2 Tutuşma ve Yanma (Ignition and combustion).....	13
1.2.2.2.3 Korlaşma veya Kor Halinde Yanma.....	18
1.2.2.2.4 Alevin Yayılması.....	20
1.2.2.2.5 Yanma Isısı.....	20

1.2.2.2.6 Duman ve Zehirli Gazlar	21
1.2.3 Yangının Yapı Malzemelerine Etkileri	23
1.3 Tutuşma, Alevlenme ve Yanmaya Karşı Kullanılan Emprenye Maddeleri (FR =Fire Retardants)	28
1.3.1 FR Maddelerde Bulunması Gerekli Özellikler	30
1.4 Ağaç Malzemeyi Ateşe karşı Korumada Kullanılan Kimyasal Maddelerin (FR) Etkilerine Göre Sınıflandırılması	32
2. LİTERATÜR ÖZETİ	39
3. MATERYAL VE METOT	47
3.1 Ağaç Malzeme	47
3.2 Kimyasal Maddeler	47
3.2.1 Potasyum Nitrat	47
3.2.2 Çinko Sülfat	48
3.2.3 Boraks (Sodyum Tetra Borat)	48
3.2.4 Sodyum Sülfat	49
3.2.5 Bakır Sülfat	49
3.3 Deney Örneklerinin Hazırlanması	50
3.3.1 Deney Örneklerinin Emprenyesi	51
3.3.1.1 Uzun süreli Batırma	51
3.3.1.2 Dolu hücre metodu	52
3.3.2 Emprenyede Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması	54
3.3.3 Emprenye Sonrası Yapılan İşlemler	55

3.3.3.1 Çözelti pH'sı ve yoğunluğunun tesbiti	55
3.3.3.2 Çözelti retensiyon tesbiti	55
3.3.4 Yanma Deneyleri	57
3.3.4.1 Deney Standı Hakkında Genel Bilgiler	57
3.3.4.2 Yanma Deneylerinin Yapılması	61
3.3.4.2.1 Ağırlık kaybı	61
3.3.4.2.1.1 Alev kaynaklı yanma	61
3.3.4.2.1.2 Alev kaynaksız yanma	62
3.3.4.2.2 Sıcaklık artışı	62
3.3.4.2.2.1 Alev kaynaklı yanma	62
3.3.4.2.2.2 Alev kaynaksız yanma	62
3.3.4.2.3 Işık (Duman) yoğunluğu	63
3.3.4.2.3.1 Alev kaynaklı yanma	63
3.3.4.2.3.2 Alev kaynaksız yanma	63
3.3.4.2.4 Kül ve yanmamış parça ağırlığı	63
3.3.5 İstatistik Uygulama	64
4. BULGULAR	65
4.1 Çözelti pH'sı ve yoğunluğu	65
4.2 Retensiyon (Net Kuru Emprenye Maddesi Tutma Miktarı) Oranları	66
4.2.1 Kayın odunun Retensiyon Oranı	66
4.2.2 Sarıçam odununun Retensiyon Oranı	67
4.3 Yanma Deneyleri	70

4.3.1 Ağırlık kaybı	70
4.3.1.1 Alev kaynaklı yanma	70
4.3.1.2 Alev kaynaksız yanma	73
4.3.2 Sıcaklık Ölçümleri	77
4.3.2.1 Alev Kaynaklı Yanma	77
4.3.2.2 Alev Kaynaksız Yanma	81
4.3.3 Işık Yoğunluğu	85
4.3.3.1 Alev Kaynaklı Yanma	85
4.3.3.2 Alev Kaynaksız Yanma	89
4.3.4 Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları	92
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	96
KAYNAKLAR	100

TABLolar LİSTESİ**Sayfa**

Tablo 3.1 Emprenye Deney Planı.....	56
Tablo 4.1 Deney Örneklerinin Emprenyesinde Kullanılan Çözeltilerin Özellikleri.....	65
Tablo 4.2 Kayın odununun tam kuru ağırlığına göre % retensiyon oranı.....	66
Tablo 4.3 Sarıçam odununun tam kuru malzeme ağırlığına oranla % retensiyon oranları.....	68
Tablo 4.4 Sarıçam ve Kayında ağırlık kaybına kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaklı yanma etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları	70
Tablo 4.5 Sarıçam odununun alev kaynaklı (ilk 4 dakika) yanma sırasında ağırlık kayıpları (g).....	71
Tablo 4.6 Kayın odununun alev kaynaklı (ilk 4 dakika) yanma sırasında ağırlık.....	72
Tablo 4.7 Sarıçam odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakika sonunda) yanma sırasında ağırlık kayıpları (g).....	74
Tablo 4.8 Kayın odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakika sonunda) yanma sırasında ağırlık kayıpları (g).....	75
Tablo 4.9 Sarıçam ve Kayında sıcaklık artışına kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaklı yanma etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları	78
Tablo 4.10 Sarıçam odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (°C).....	79

Tablo 4.11 Kayın odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (°C).....	80
Tablo 4.12 Sarıçam Odunu için alev kaynaksız (ilk 4 dakikada sonunda) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (°C).....	82
Tablo 4.13 Kayın odunu için alev kaynaksız (ilk 4 dakikada sonunda) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (°C).....	83
Tablo 4.14 Sarıçam ve Kayında ışık yoğunluğuna kimyasal madde, empenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanma etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları	85
Tablo 4.15 Sarıçam odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında tespit edilen ışık yoğunluğu (Lux) değerleri.....	86
Tablo 4.16 Kayın odunu için alev Kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında tespit edilen ışık yoğunluğu (Lux) değerleri.....	87
Tablo 4.17 Sarıçam Odunu için Alev Kaynaksız (ilk 4 dakika sonrası) Yanma sırasında Tespit edilen Işık Yoğunluğu (Lux) değerleri.....	89
Tablo 4.18 Kayın odunu için Alev Kaynaksız (ilk 4 dakika sonrası) Yanma sırasında Tespit edilen Işık Yoğunluğu (Lux) değerleri.....	90
Tablo 4.19 Sarıçam Odununda Yanma sonunda Geride Kalan Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları(g).....	93
Tablo 4.20 Kayın odununda Yanma sonunda Geride Kalan Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları(g).....	94

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Yangın Üçgeni	6
Şekil 1.2 Bir Alevdeki Gaz ve Yanma Bölgelerin Şematik Gösterilmesi	8
Şekil 1.3 Ağaç malzemede Kömürleşmenin (Charring) Oluşumu	9
Şekil 1.4 Ağaç malzemede Özgül Kütle ile maksimal Yanma Hızı ve Tutuşmada Gecikme Arasındaki İlişki (L.METZ'e göre)	15
Şekil 1.5 Ağaç malzemelerde Yanma Esnasında Ağırlık Kaybı ve Meydana Gelen Maksimal Isı Miktarları (L. METZ'e göre)	16
Şekil 1.6 Çeşitli Yangın Başlangıçlarında Duman Verisi (Baran, 1983).....	22
Şekil 1.7 Bazı Yapı Malzemelerinde Sıcaklıkla Direnç Değerlerinin.....	26
Şekil 3.1 Deney Örneklerinin Emprenyesinde Kullanılan Cam Havuz Düzeneği.	51
Şekil 3.2 Emprenye İşleminde Kullanılan Deney Düzeneği.....	52
Şekil 3.3 Dolu Hücre Metotunun 1 Saat Uygulama Grafiği.	53
Şekil 3.4 Dolu Hücre Metotunun 1/2 Saat Uygulama Grafiği.	53
Şekil 3.5 Ateş Borusu Cihazı.....	59
Şekil 3.6 Yanma Deneyinin Yapılışı	60
Şekil 4.1 Sarıçam ve kayında % retensiyon oranları.....	69
Şekil 4.2 Sarıçam ve Kayında alev kaynaklı yanma sırasında oluşan ağırlık kayıpları (g)	73
Şekil 4.3 Sarıçam ve Kayında alev kaynaksız yanma sırasında oluşan ağırlık kayıpları(g)	76

Şekil 4.4 Sarıçam ve Kayında alev kaynaklı yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri 81

Şekil 4.5 Sarıçam ve Kayında alev kaynaksız yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri..... 84

Şekil 4.6 Sarıçam ve Kayında Alev Kaynaklı Yanma Sırasında Tesbit Edilen IşıkYogunluğu Değerleri..... 88

Şekil 4.7 Sarıçam ve Kayında Alev Kaynaksız Yanma Sırasında Tesbit Edilen Işık Yogunluğu Değerleri 91

Şekil 4.8 Sarıçam ve Kayında Yanma Sonunda Geride Kalan Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları 95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış fakat tez metni içinde açıklanmamış olan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte sunulmuştur.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Emp.	Emprenye
EÖ.	Emprenye öncesi
ES.	Emprenye sonrası
EÖR.	Emprenye öncesi rutubet
Emp.Mad. Konstr.	Emprenye Madde Konsantrasyonu
FR	Fire retardant(Yangın geciktirici)
M _{7eö} .	Emprenye öncesi örneğin % 7 rutubettiki ağırlığı(gr).
M _{7es}	Emprenye sonrası örneğin % 7 rutubettiki ağırlığı(gr).
R	Retensiyon
<u>Kısaltmalar</u>	
ASTM	American Standard Test Methods
KTÜ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
TSE	Türk Standartlar Enstitüsü

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Ağaç malzeme, insanların kullandığı çeşitli yapı malzemeleri içerisinde belkide en eski olanıdır. Çağımızın getirdiği teknik yeniliklere ve çok sayıdaki yeni malzeme ile rekabetine rağmen, sahip olduğu üstün özellikleri nedeniyle günümüzde de bir çok kullanım yerinde önemini korumaktadır. Yenilenebilir organik doğal bir hammadde olması, anatomik yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimi çok farklı ürünler halinde kullanımına olanak sağlamakta, gerek masif halde gerekse kompozit ürünlere dönüştürülerek değerlendirilebilmekte, yapısına fiziksel, mekanik, kimyasal ve biokimyasal müdahale edilebilmektedir. Diğer taraftan özgül kütlesine göre direncinin yüksekliği, alet ve makinalarla kolay işlenebilmesi, iyi boya ve cila kabul etmesi, ısı, ses ve elektriğe karşı izolasyon maddesi olarak kullanılabilmesi, kullanıldığı yerde psikolojik bir sıcaklık hissi vermesi, akustik özelliklerinin üstünlüğü ve dekoratif görüntü verebilmesinden bir çok kullanım yerinde tercih sebebi olmaktadır (Bozkurt,1981).

Ağaç malzeme bu özelliklerinin yanı sıra bazı istenmeyen özelliklere de sahiptir. Bunlar; organik bir madde olmasından dolayı bakteriler, mantar ve tahripçi böcekler ile oyuncu deniz organizmaları tarafından kolayca tahrip edilmesi, 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 bulunmaktadır. Bu su alış verişi higroskopik sınırlar olan % 0 ile lif doygunluğu rutubeti olarak kabul edilen ortalama % 30 arasında meydana geldiğinde boyutlarında değişmelere neden olmaktadır. Boyutsal değişmeler lif yönünde çok az olduğu halde, teğet yönde radyal yönün 1.5-3 katı kadar olabilmektedir. Ağaç malzeme bileşiminin karbon ve hidrojen içermesi nedeniyle yanmaya müsaittir (Leven, 1990).

Ağaç malzemenin istenilmeyen sakıncalı özelliklerini iyileştirici metodlar geliştirilmiştir. Bu maksatla uygulanan teknik işlemlerin en önemlileri kurutma, emprenye ve üstyüzey işlemleridir. Kullanma yerindeki denge rutubeti miktarına uygun olarak fazla suyun atılması sonucu kurutulan ağaç malzemenin direnci, sertliği, çivi tutma kabiliyeti, boya tutma özelliği ile rendeleme, frezeleme, lamba, zıvana açma delik açma vb. işlerde daha düzgün yüzeyler elde edildiği gibi tutkallanma ve yapışma kabiliyeti artmaktadır (Uysal 1993). Doğal haliyle açık hava etkisinde bırakılan ağaç malzeme çeşitli biyotik ve abiyotik zararlıların etkilerine açık olduğundan emprenye edilmesi veya estetik öneme sahip olanlarının koruyucu katman gereçlerle kaplanması gerekir (Sönmez, 1995). Bu çalışmada ağaç malzemenin yanmaya dayanıklı hale getirilmesi araştırma konusu olarak secilmiştir.

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 artırılması amacıyla

ağaç malzemenin sirke ile emprenyesini tavsiye ettiği ve aynı işlemin daha sonra Romalılar tarafından kullanıldığı bildirilmektedir (Cullis, 1981).

Ağaç malzeme yanabilen ve alevlenebilen bir maddedir. Alevlenebilen maddeler, tutuşma sıcaklığa ulaşıncaya yabancı bir alevle gerek duymadan tutuşabilir. Yanabilen maddeler ise, yabancı bir alevin içinde yanar; fakat alev söndürülür söndürülmez 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 kömürü ve suya dönüştürürler. Böylece, daha yüksek sıcaklıkta oluşacak olan uçucu ve yanıcı maddeler oluşmadığı için odunun alevlenme özelliği azalmakta ve alevin savrulması çevreye yayılması önlenmektedir(Kocakuşak, 1986).

Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler ağaç malzemeyi tamamen yanmaz bir duruma getiremezler. Bu maddelerin etkisi tutuşmayı güçleştirmek ve yanma başladıktan sonra ateşin yayılmasını geciktirmektir(Kollmann,1984). Bu maksatla yanmayı geciktirici kimyasallarla muamele için iki genel uygulama metodu vardır(Berkel, 1972).

1-Ağaç malzemenin su veya organik çözücülü kimyasallarla emprenye edilmesi,

2-Ağaç malzeme yüzeyine yangın geciktirici kimyasal katmanların uygulanmasıdır.

Emprenye metodu daha etkin ve uzun süre dayanıklıdır. Üst yüzey işlemlerinin etkinliği daha az olmasına karşın emprenye metodlarına göre daha pratik bir metoddur.

Bu çalışmanın amacı, doğal özelliklerinden dolayı yanabilen ve tutuşabilen ağaç malzemenin yanma direncinin emprenye işlemleri ile artırılmasında etkili olacak kimyasal maddelerin seçimidir. Bunun için; ağaç malzeme olarak yapılarda en çok kullanılan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) malzemelerinin emprenye maddesi olarak suda çözünen tuzlardan Potasyum Nitrat (KNO_3), Çinko Sülfat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), Sodyum Tetra Borat (Boraks) ($Na_2B_4O_7$), Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) ve Bakır Sülfat (Cu_2SO_4) kullanılmıştır. Emprenye metodu olarak basınç uygulanmayan emprenye yöntemlerinden “Uzun Süreli Daldırma Metodu” ve basınç uygulanan emprenye yöntemlerinden “Dolu Hücre Metodu” uygulanmıştır. Yanma deneyleri için ASTM. E-69’ da belirtilen esaslara göre deney cihazı tasarlanarak imal edildi ve yanma deneyleri yapıldı.

1.2 Ağaç Malzemenin Yanma Özelliği

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

geçmişe değin, piroliz yoluyla ağaç malzemenin kontrollü termik bozunması ve damıtılması çeşitli kimyasal maddelerin üretim yöntemi olurken, ağaç malzemenin karbonlaştırılarak odun kömürüne dönüştürülmesi yoluyla da yakıt elde edilmiştir (Baysal,1994).

1.2.1 Termik Bozunmanın Olumsuz Yönü: Yangın

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.

Yanma; en genel anlamda yanıcı denen bir maddenin yakıcı olarak adlandırılan bir başka madde ile birleşmesi sonunda 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,). Yangın ise “zaman ve mekanda kontrol dışı gelişen yanma olgusudur (Sunar,1983). 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.

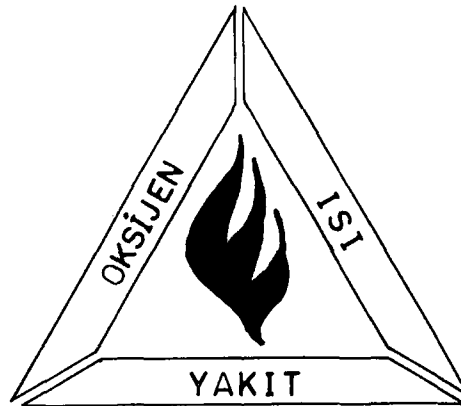
Şekil 1.1’de belirtildiği gibi bir yanma olayının meydana gelebilmesi için;

-yakıt,

-oksijen,

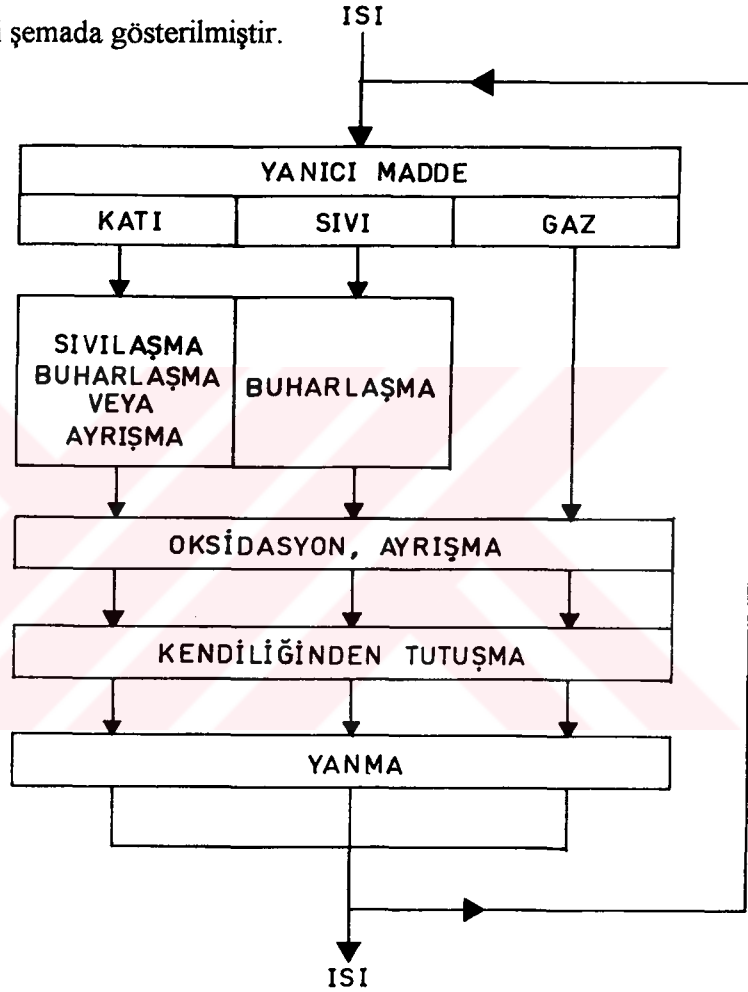
-ısı unsurunun tutuşma sıcaklığına ulaşmış olması gerekir.

Bu üç unsurdan birinin olmayışı halinde “üçgen” tamamlanmayacaktır. Yani yangın sönecektir. Ya da yanma olayı için ön koşul gerçekleşmeyecektir.



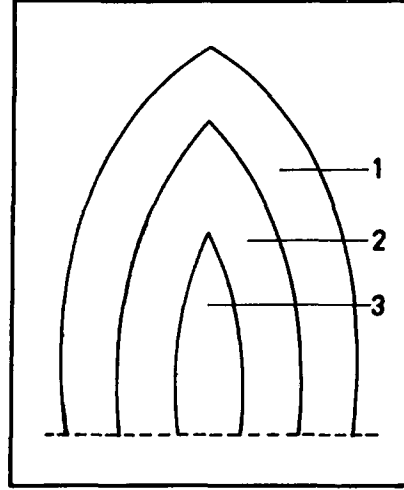
Şekil 1.1 Yangın Üçgeni

Yanma esnasında sadece gaz halindeki yanıcı maddelerin etkili olmaları nedeni ile, katı ve akıcı maddeler önce ısıl değişimlere uğrarlar. Yanma olayının gelişimi aşağıdaki şemada gösterilmiştir.



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(Şekil 1.2)

1. Yanma bölgesi
2. Parlama-kısmi yanış bölgesi
3. Gaz bölgesi



Şekil 1.2 Bir Alevdeki Gaz ve Yanma Bölgelerinin Şematik Gösterilmesi.

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 konstrüksiyonunda yangının başlamasına neden olmaktadır. Böylelikle tehlike ve zarar çok büyük boyutlara ulaşmaktadır.

1.2.2 Sıcaklığın Ağaç Malzemeye Olan Etkisi

1970'li yılları takiben ağaç malzemedeki sıcaklık etkisiyle meydana gelen değişimlerin belirlenmesine yönelik olarak hassas alet ve ölçüm metotları geliştirilmiştir. Bunlar; statik ve dinamik termogravimetrik analizler, değişken termik analizler, yanma sıcaklığı ve ısı ölçümleri ile bozunma ürünlerinin türü ve miktarının belirlenmesi yöntemleridir (Baysal, 1994).

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, malzemedeki yüzeyde tutuşarak yanan gazlar çıkar. Sıcaklık daha da arttığında yüzeyde kömürleşme (charring) başlar(Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Ağaç malzemedeki Kömürleşmenin (Charring) Oluşumu.

Yangın geciktiricilerle işlenmiş ağaçların kömür tabakasının mikroyapısal incelemesi yapıldığında; işlenmemiş ağaca göre farklı kömürleşme

olduğu, bu kömürleşme içerisinde yangın geçiktiricilerin makro arçalarının bulunduğu bu parçaların oluşumu, kömürleşme derecesi ve kömürün görünümü üzerinde etkili olmaktadır(Zicherman,1982).

Ağaç malzemenin termik iletkenliği düşük olup, çeliğin %0,4'ü, bakırın %0.05'i kadardır. Bu nedenle izolasyon malzemelerinden olan mantar, alçı plaster vb. ile aynı gruba girmektedir(Vurdu, 1985). Bu sebeple yanma sırasında yüzeydeki sıcaklığın iç kısımlara iletilmesini sınırlamakta, rutubeti sıcaklıkla birlikte azalmakta, kömürleşmenin ilerlemesiyle artmaktadır. Odun kömürü ısıyı ağaç malzemeye göre 1/2 ile 1/3 oranında daha az iletir. Bu nedenle yanma artığı olan odun kömürleri duvarlarda iyi bir izolasyon maddesi olarak başarı ile kullanılabilir. Sonuçta, ağaç malzeme yüzeyinden iç kısımlara iletilen ısı malzeme içerisinde bulunan yanıcı gazların dışarıya çıkarılmasına yetmediğinden yüzeydeki tutuşma da durmaktadır. Çevredeki yanan eşyaların sıcaklık artışı olmadığı sürece, ağaçta kömürleşme derecesi de gittikçe azalmaktadır(Baysal,1994).

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(Yalınkılç 1993).

1.2.2.1 Ağaç Malzemeye 200 °C'nin Altındaki Sıcaklıkların Etkisi

200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda malzeme tutuşmaz ve odun bileşenlerinin bozunması yavaştır. Oda sıcaklığının üstündeki derecelere doğru ısıtıldığında, higroskopik bileşenlerinden çıkan suyun absorblanması sonucu ilk etki endotermiktir. Bu endotermik etki, suyun kaynama derecesinin oldukça üzerindeki bir sıcaklık derecesi olan 200 °C'yi geçince de devam eder. Çünkü, suyun bir kısmı bağlı su olup, bir kısmı da karbonhidratların bozunmasıyla oluşmaktadır (Yalınkılıç, 1993).

Huş ksilanı ve çam glukomannın'ın 117 °C -127 °C'lerde bozunmaya başladığı, ladin lignininin 130 °C -145 °C'de selülozunun da 156 °C -170 °C'de bozunma gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklıklardaki bozunmanın yavaş olmasına karşılık ihmal edilebilir kadar az olmadığı belirtilmektedir. 28 gün süreyle 160 °C'de tutulan kayın talaşında selülozun geriye ancak %20 'sinin kaldığı, lignin miktarının 14 gün sonunda sadece %2.3 olduğu görülmüştür. Karbonhidradlar ise 80 °C -130 °C'de 2 gün içerisinde yüksek oranda kayba uğradıkları tespit edilmiştir. Bu düşük sıcaklıklarda gerçekleşen pirolizlerde çıkan gazların tutuşmadığı ve bileşiminde su buharı ve CO₂'nin yanı sıra az miktarda CO ve az miktar organik asit bulunduğu kaydedilmektedir (Goldstein).

1.2.2.2 200 °C'nin Üzerindeki Sıcaklıklarda Ağaç Malzeme

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

1.2.2.2.1 Piroliz

Havasız ortamda veya azot altında 200 °C'nin üzerinde ağaç malzeme ısıtıldıkça bozunma artar. Yavaş bozunma ürünleri olarak su, CO₂ ve CO açığa çıkar. Piroliz olayı ağaç malzemenin türüne göre farklı sıcaklıklar arasında oluştuğu, ladinde piroliz sıcaklık dereceleri 280 °C ile 330 °C arasında iken sarıçamda 270 °C ile 340 °C olduğu bildirilmektedir (Baysal, 1994).

Oduun bileşenlerinde düşük sıcaklıklardaki termik stabilite hemiselülozlar< lignin<selüloz sırasını izlerken,yükseksıcaklıklarda bu sıra; hemiselülozlar< selüloz< lignin şekline dönüşmektedir. Hemiselülozların termik yoldan 200 °C -250 °C'de bozunduğu, selülozun 280 °C'de bozunmaya başlayıp 300-350 °C'de tamamen bozunduğu, ligninin de 300-350 °C'de bozunmaya başlayıp 400-450 °C'de bozunmanın tamamlandığı bildirilmektedir. Hızlı pirolizde, tutuşabilir gazlar içinde CO, metan, formaldehit, formik ve asatik asit ile metonal yer almaktadır. Selülozun bozunmasıyla levoglukosan (1,6- anhidro-beta -D -glukopiranoz) ve ligninin bozunma ürünleri olarak açığa çıkan aromatik parçalar olan fenoller, ksilenoller, guaiacoller,

kresoller ve katesoller de hızlı piroliz ürünleridir. 400-500 °C'de karbonizasyonun tamamlanmasıyla ve tutuşucu gazların uzaklaşması sonucu geriye odun kömürü kalmaktadır (Goldstein).

1.2.2.2.2 Tutuşma ve Yanma (Ignition and combustion)

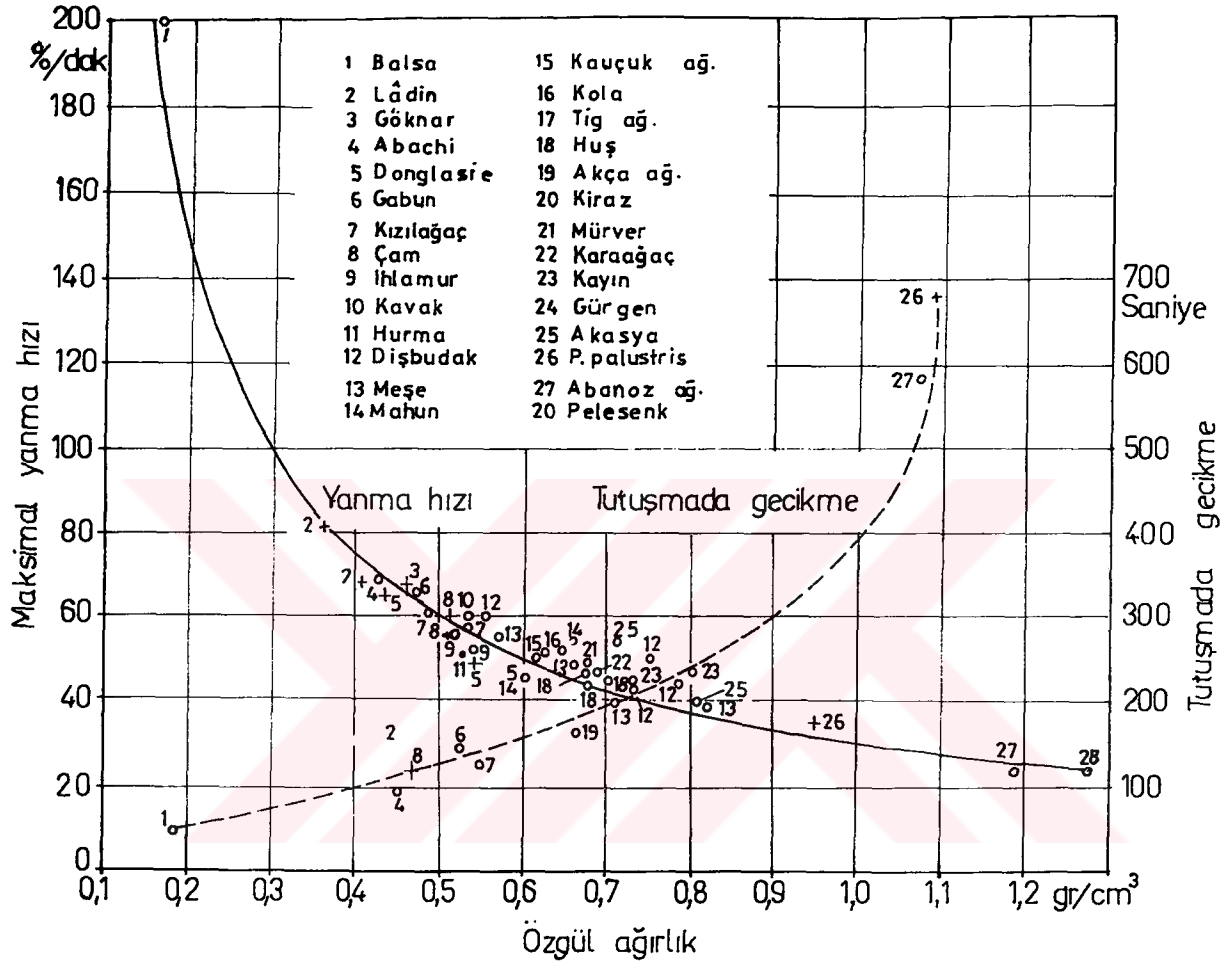
Ağaç malzemeler yanma için gerekli olan oksijeni sağlayan çevrede belirli yüksek sıcaklık şartlarına maruz kaldıklarında tutuşurlar. Bu dış etkiler neticesinde çözünme ve ayrışmayla malzeme gaz ve kömür kalıntısına dönüşür. Bu etkiler neticesinde ısıl çözünmeden sonra, kömür yerinde yanabilir veya alevli yanarak veyahutta için için yanarak dağılılabılır. 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).

Bir çok 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

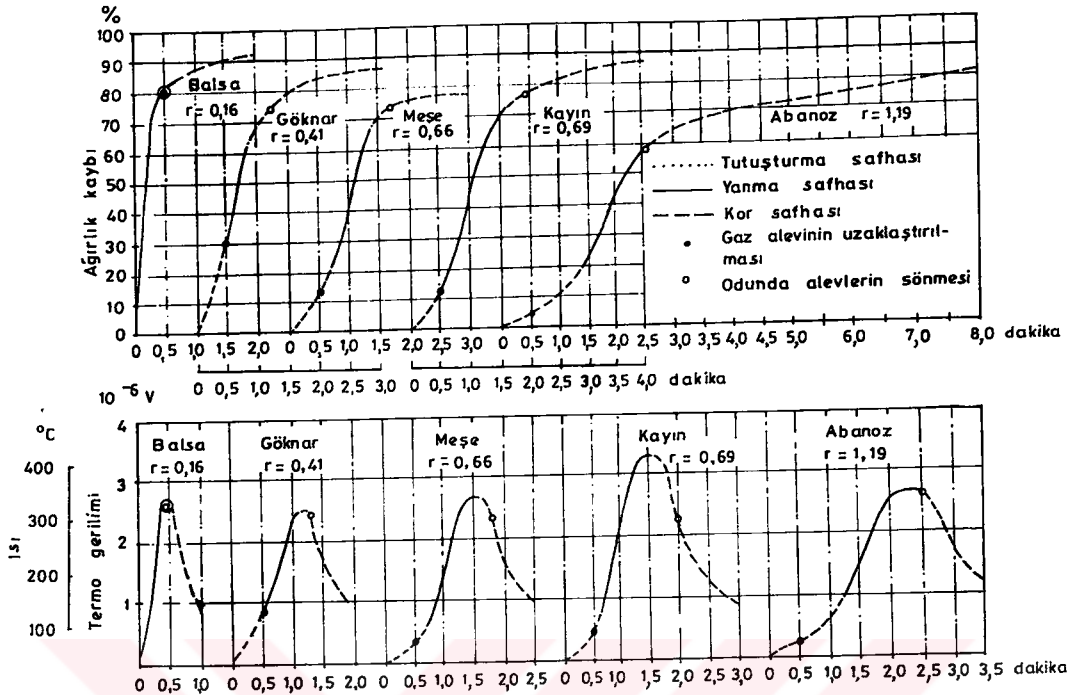
tutuşma 300 °C -410 °C belirlenmektedir. Sürekli alevli tutuşma 320 °C'den daha yüksek sıcaklıkta elde edilebilir. Ağaç malzemenin konveksiyonel ısıtılması ile kontrolsüz tutuşma 270 °C'ye kadar düşer (Forest, 1987).

Tutuşma kabiliyeti ile özgül kütle arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Ağaç malzemenin özgül kütlesi azaldıkca kolay tutuşmakta ve hızlı yanmaktadır. Çeşitli ağaç malzemelerde yanma hızı ile ilgili deney sonuçları Şekil 1.4' de verilmiştir. L. METZ tarafından yapılan yanma kabiliyeti deneylerinde (4× 20× 100 cm³) lk deney örnekleri kullanılmıştır(Berkel 1972).



Şekil 1.4 Ağaç malzemedeki Özgül Kütle ile maksimum Yanma Hızı ve Tutuşta Gecikme Arasındaki İlişki (L.METZ'e göre)

T.R. TROAX ve C.A.HARRISON'un (Ateş Borusu) deney setinde yanma esnasında tesbit edilen ağırlık kaybı ve maksimum ısı miktarları şekil 1.5'de verilmiştir(Berel, 1972).



Şekil 1.5 Ağaç malzemelerde Yanma Esnasında Ağırlık Kaybı ve Meydana Gelen Maksimal Isı Miktarları (L. METZ'e göre)

Şekil 1.5 incelendiğinde yanma hızı ve ağırlık kaybı geniş ölçüde özgül kütle ile ilgili olup yanmada meydana gelen maksimal ısı derecesi özgül kütle artması ile az bir yükseliş göstermektedir (Berkel, 1972).

Ağaç malzeme yüzeyinde bir uçtan diğer uca alevin yayılması gerçekte bir seri tutuşma olayıdır ve bu olayda yanan kısım bitişik yanmayan kısım için bir tutuşma başlatıcısı durumundadır. Böylece, alev yayılma (flame spread); normal tutuşmada rutubet içeriğinden etkilenen bir olaydır. Ancak, bu olay aynı zamanda özgül kütle ve kimyasal bileşimle de ilişkilidir. Yanmayı geciktirici kimyasal işlemler odun kökenli

ürünlerin termik bozunmalarını değiştirerek malzemenin tutuşmasını geciktirme ve alevin yayılmasını önlemede başarılı olmaktadır(Forest, 1987).

Havadaki oksijen oranının artması yanma sıcaklığına varıncaya kadar geçen süreyi kısaltmaktadır. Pirolizde oksijensiz ortamda gerçekleşen yanmadaki ısı, oksijen varlığında yanmaya dönüştüğünden kontrol altına alınamaz ve tahripkar bir hal alır.

Yanıcı gazların tutuşması, sıcaklık, arttığında ve bu gazların oksijene oranla uygun bir miktara ulaşması durumunda gerçekleşir. Minimum tutuşma sıcaklığını etkileyen faktörler; çevredeki havanın sıcaklığı, pirolitik bozunmayla birleşen ekzotermik reaksiyon ve hava akım şiddetidir. Bir dış ısı kaynağının kıvılcım gibi gelen tutuşmanın olduğu parlama noktaları kendi kendine meydana gelen tutuşma sıcaklığından düşüktür. Yanmanın devamı ise alevden oduna yeterli ısı transferine, ısı iletimi de uçucu gazların oluşmasına ve yanma sıcaklığına bağlıdır (Yalınkılıç, 1993).

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). Her hangi bir kimyasal işleme tabi tutulmayan büyük boyutlu ahşap yapı elamanlarının yanma

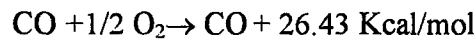
direncinin yüksek olmasının ana nedenlerinden birisi de yanmanın yüzeyde oluşması ve kömürleşmenin malzeme yüzeyinde dış ısı kaynağına karşı izolasyon etkisi göstermesidir. Tek bir kütüğün yakılmasının ve yanmasının devam ettirilmesinin zorluğu burada örnek olarak verilebilir.

Ağaç malzemenin hızlı pirolizi, yavaş pirolize oranla yanma ısısını arttırdığından daha az kömürleşmeye ve daha fazla yanıcı katranlar ve gazların çıkışına yol açmaktadır. Yavaş pirolizde ise, daha fazla kömürleşme ve daha az yanıcı gaz çıkışı olmakta ve ana bileşenlerinden selülozun yanması çoğu tutuşucu gazların çıkışına ve ligninin yanması da kor halinde yanan maddelerin oluşmasına yol açmaktadır (Yalınkılıç,1993).

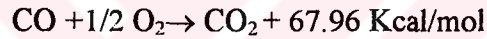
1.2.2.2.3 Korlaşma veya Kor Halinde Yanma

Ağaç malzeme yüksek sıcaklığa maruz kalınca malzemenin daha fazla yanmasını geciktiren yalıtıcı özelliğe sahip olan kömür tabakasını oluşturmaktadır. Yapı elamanının yük taşıma kapasitesi onun enine kesiti boyutlarına bağlıdır. Kömürleşme oranı ahşap yapı elamanlarının yangına dayanımında çok önemli bir unsurdur. Ağaç malzeme 150 °C sıcaklığı kadar ısıtıldığında içerisinde bulunan su çıkmakta, 110 °C'den 200 °C sıcaklığa kadar yavaş yavaş bozunmaktadır. Bu aşamada ortaya çıkan gazlar genellikle yanıcı değildir. Faal ve hızlı bozunma 280 °C ila 500 °C sıcaklıkta olmaktadır. Yanabilen gazlar bu aşamada yayılırlar. Alevlenme, termik bozunmanın neticesinde ortaya çıkan organik maddelerin yanmasıdır (Forest,1987).

Kor halinde yanma, kalıntı kömür kısmının akkor halde ışık yayan bir yanma aşaması olup, sıvı ve gaz fazın alevli yanmasından ayrı bir olaydır. Katı karbon ve oksijenin CO₂ oluşturmak üzere kombinasyonu iki aşamada meydana getirmektedir. Birinci aşamada karbon ve oksijenle yüzeyde gerçekleşir:



Meydana gelen CO, son yanma ürünü CO₂'i oluşturmak üzere daha fazla ısı yayarak gaz fazında yanar:



Akkor halde çıkan ısı, karbonun yüzeyde 600 °C -700 °C bir sıcaklıkta veya koyu kırmızı (akkor) halde kalması için yetmektedir. Kor hali kendi kendine devam eden ve kömür tabakası tümüyle bitene kadar devam edecek olan bir fazdır (Baysal, 1994, Yalınkılıç, 1993).

Kömür tabakasının en iç bölgesinde sıcaklık ortalama 288 °C dir. Ağaç malzemenin düşük termik iletkenliği nedeniyle kömür tabakasından içeriye doğru maksimum sıcaklık 182 °C dir. Bu büyük sıcaklık düşmesinin anlamı, geride kalan kömürleşmemiş enine kesit alanının düşük sıcaklıkta kaldığı ve üzerindeki yükü taşımaya devam edebildiğidir. Kömürleşme süresinde rutubet malzeme içerisine çekilir. Rutubet sınırı kömürün temelinden içe doğru oluşur. En yüksek rutubet miktarı 100 °C'de kömür temelinden yaklaşık 13 mm içeride oluşur (Forest, 1987).

1.2.2.2.4 Alevin Yayılması

Yapı malzemelerinin alev yayılmasına karşı gösterdikleri direnç binalarda can emniyetini artırır. Bunun için alev yayılması bir malzemenin yanma özelliğinin test edilmesine dair çalışmalardan bir tanesidir. Alev yayılmasını ölçen test yöntemlerinden en çok kabul göreni ASTM-E-84 deney yöntemidir. Yöntemin esası, basınçla verilen hava şartları altında 50.8 cm × 762cm ölçülerindeki deney numunelerinin yatay olarak fırına yerleştirilmesini içerir. Daha sonra, fırının dibine yerleştirilen numunelere operatör tarafından alev numunenin alt tarafına çarpacak şekilde tatbik edilir. Operatör 10 dakikalık zaman zarfı içerisinde alevin ön tarafa doğru hareketinin mesafesini ve zamanını kaydeder (Forest,1987).

İç döşeme malzemeleri alev yayılmasına gösterdikleri dirence göre sınıflandırılırlar. Sınıflandırma 0-25 için A sınıfı veya I, 26-75 için B sınıfı veya II ve 76-200 için C sınıfı veya III şekline yapılır. Ağaç malzeme türleri 90 ila 160 arasında alev yayma indeksine sahiptir. Bir kaç türün alev yayma indeksi 75' den aşağıdır (kızılağaç) ve B sınıfı içerisinde mütalaa edilirler (Forest, 1987).

1.2.2.2.5 Yanma Isısı

Ağaç malzemenin yanması sonucu oluşan toplam ısı, öncelikle ağaç türüne, reçine içeriğine ve rutubetine bağlı olarak değişmektedir. Yangının gelişmesi,

yangının maruz kaldığı durumlara, yanmanın tamamlanmasına ve ısının ayrıldığı orana bağlıdır. Son yıllarda ısı ayrılma oranı kavramı toplam ısının elde edilebileceğinden daha önemli bir duruma gelmiştir(Forest,1987).

Başlangıçta bu alandaki araştırmalar, yangının maruz kaldığı şartların çeşitliliği altında nicel ölçümlere yönelikti. İlk çalışmaların sonuçları ısı ayrılma oranı değerinin şartlara ve kullanılan deney aletlerine bağlı olduğunu gösterdi. ASTM E .906 bu tespitlerin yapılma aracı olarak yaygın kabul görmüştür(Forest,1987).

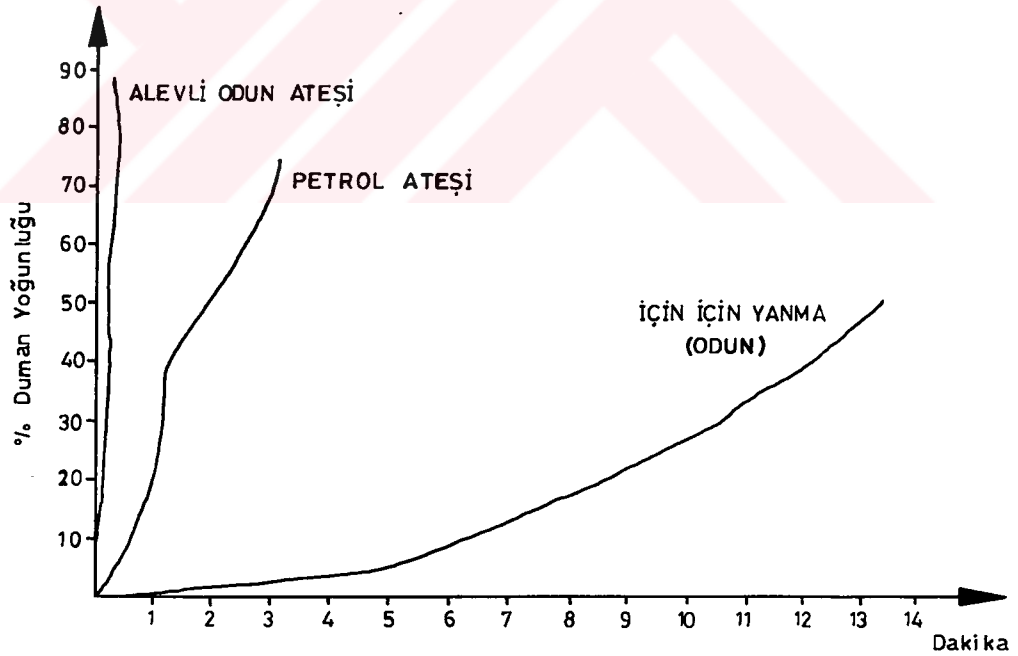
1.2.2.2.6 Duman ve Zehirli Gazlar

Ağaç malzeme tutuştuğunda, ısı ve ışık dışındaki yegane ürünler, yanma sıcaklığında renksiz gazlar olan ve yanmanın tamamlanmasıyla duman haline dönüşen CO₂ ve su'dur. Tam bir yanmanın gerçekleşmesi kontrollü koşullarda bile güçtür. Bu nedenle malzemenin yanması az veya çok dumanlı olup, kısmi yanmadan çıkan katı ve sıvı partiküller yanma gazlarına karışmaktadır. Duman zararlı ve zehirli maddeleri içermesinden ve görmeyi engellemesinden ötürü görünmez tehlikeleri içermektedir. Dumanla ilgili iki genel yaklaşım vardır. Bunlardan birincisi duman oluşumunu engellemektir. Diğeri ise, oluşan dumanının kontrol altına alınmasıdır. Duman akışının kontrolü uzun ve geniş binaların inşasında ve tasarımında önemli bir konudur. Bu binalarda yanan eşya ve malzemeler yangın sahasından uzak alanlarda ciddi şekilde etkili olabilmektedir(Baran, 1983).

Şekil 1.6 incelendiğinde duman oluşumu bakımından ağaç türleri arasında çok az farklılıklar bulunmakta ve alevli yanmada az miktarda duman gözlenmektedir.

Odun radiant (radyosyan veya ısı ışını yayan) alevsiz yanma kaynağıyla karşı karşıya bırakılması durumunda daha fazla duman açığa çıktığı, çıkan dumanın oranının ışınsal ısı kaynağının şiddetine bağlı olduğu bildirilmektedir.

Yanan eşyalardan çıkan gazların zehirliliği önemli bir konudur. Yangınlarda ölenlerin %75-80'ni alevle temas etmemesine rağmen, dumana ve zehirli gazlara maruz kalmaları neticesi veyahut da oksijen tükenmesinden dolayı ölmektedirler (Forest,1987).



Şekil 1.6 Çeşitli Yangın Başlangıçlarında Duman Verisi (Baran, 1983).

Yangın başlangıcında duman ve sıcak gaz çıkmakta, sıcak gaz gittiği yerleri ısıtıp, gereçlerden yanıcı gaz çıkartmakta ve çıkan gazlar yanmaya başlayınca yangın o ölçüde yayılmış olmaktadır. Yangında can kaybının esas nedeni yanma değil boğulmadır. Duman yangından kaçmaya çalışan insanı boğabilmekte, görmesine engel olmakta, öksürtmekte, göz yaşartmakta ve bunlarla gelen panik ölümlere sebep olmaktadır (Yener, 1983).

Ağaç malzemenin duman içeriği, ağaç malzemedeki bulunan bileşiklerin farklılığına, yangının maruz kaldığı şartlara, rutubet içeriğine, oksijen miktarına, ağaç malzemenin türüne ve diğer nedenlere bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla alevlenmesi ve alev yayılmasını geciktirici olarak kullanılan kimyasal maddelerin zehirli gaz yaymaması önem taşımaktadır.

1.2.3 Yangının Yapı Malzemelerine Etkileri

Ağaç malzeme yanabilir olmasına karşın, diğer yapı malzemelerine göre yangına katkısının minimum düzeyde olduğu ve yangının ilk aşamalarında da olsa mükemmel direnç özellikleri gösterdiği bilinmektedir. Yangının yayılmasına karşı nisbeten yüksek direnç gösterirken, önemli bir tahribat veya direncinde hızlı bir azalma oluşmamaktadır. Örneğin, çelik ergime noktasına ulaştığında aniden çökerken, özellikle çelik kısımları çevreleyen ve demir aksamı içine alan beton meydana gelen gerilim farkından dolayı çatlamakta veya parçalanmaktadır. Beton içerisindeki demir

Çubuklar ergime noktasına ulaştıklarında yüksek bir gerilme etkisi altında kaldıklarından yapının tümünün okmesi nlense bile büyük lde tahrip olunmasına engel olunamamaktadır. Hatta, demir ve elik aksam ergime noktasına ulaşmadan yangın söndürülmesine rağmen, meydana gelen gerilmeler nedeniyle deformasyonların ve ayrılmaların bir süre daha devam ettiği bildirilmektedir (Eriç, 1985).

Harç ve beton malzemelerin yangına dayanımları, bağlayıcının direnci ile ilişkilidir. Çimento hamurunun sıcaklıklara göre davranışı farklılık gösterir. Çimento hamuru ilk ısınma ile genleşir, sonra bzlmeye uğrar ve sonuçta tekrar dengeleyici bir genleşme gösterir. 100 C de termik genleşmeye uğrayan imento hamurundan 98 C - 102 C de fiziki bağlı suyun büyük miktarı çıkar. 102 C ile 530 C ler arasında, özellikle 300 C -500 C arasında kimyasal bağlı suyun ayrılmasıyla bir daralma görülür. 530 C üzerindeki dengeleyici ısı genleşmeleri, hidratların tekrar artan sıcaklıklarda okside olmaları ve yapısal dağılmalara rastlanmaktadır. Harç ve betonlar karışım nispetlerine göre, tabii taşlarda grldği gibi ısı genleşmeye uğrarlar. Bağlayıcının büzülme etkisi harç ve betonların azalan bağlayıcı miktarı ile düşer. Çakıllar ve iri kumlar 575 C sıcaklıkta %0.7 ile %1.4 lk bir genleşme gösterirler. Bu nedenle, çakıl ve iri kumlar yangına mukavim harç ve betonlar için uygun değildir (Eriç, 1985).

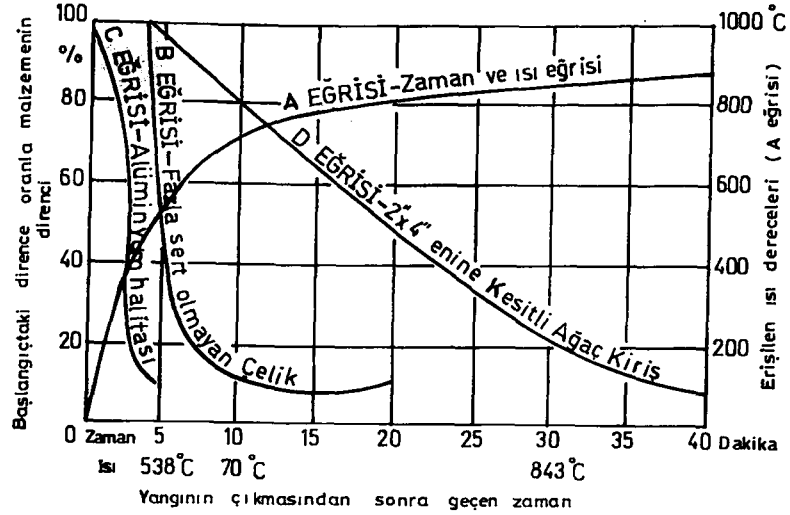
Yangındaki artan sıcaklık metal yapı malzemelerinde özellik değişimine ve büyük genleşmelere neden olur. Buna bağlı olarak aşağıdaki davranışlar izlenir;

-Akma sınırının düşüşü, örneğin çelikte 400 °C de,

-Mukavemet düşüşü, çelikler mukavemetlerini 300 °C de kaybederler, 450 °C de mukavemet müsaade edilen asgari mukavemetin altına düşer. Alüminyum 100 °C -150 °C' de mukavemetini kaybeder. Çekme mukavemeti ilk 250 °C de ilk mukavemetinin 1/2 sine, 400 °C de 1/20' sine iner,

-Elastiklik modülü çelikte 400 °C de %15 , 600 °C de %40 düşüş gösterir. Deformasyonun hızlı artışı taşıyıcılarda büyük şekil değişikliklerine sebep olur. Alüminyum 600 °C de erir (Eriç, 1985).

Betonarme ve öngerilmeli betonun yangına dayanımı bünyesindeki çelikle belirlenir. Önemli olan, sıcaklığa hassas olan tehzatın yüksek derecede ısınmalardan korunmasıdır. Betonun bu görevi ile örneğin bir betonarme plaktaki tehzat çelikleri 1cm kalınlıktaki beton örtü altında 60 dakikada ortalama 600 °C ye kadar ısınıp göçerken, 3 cm kalınlıktaki örtü altında sıcaklık ancak 350 °C ye kadar ulaşır ve çelik taşıyıcı olarak kalır (Şekil 1.7)(Eriç,1985).



Şekil 1.7 Bazı Yapı Malzemelerinde Sıcaklıkla Direnç Değerlerinin Değişimi (Norimoto, 1992).

Tabii taşların kuarzlı bileşenleri 575 °C de hızla genişerek atarlar. Parçalar 600 °C' den başlayarak kristal suyunu kaybederler. İnşaat camı ise 500 °C -600 °C de yumuşar ve 900 °C -1000 °C de kıvamlı bir kütle halinde akar. Pencere camlarının ekseriyeti yangınlarda sıkışma gerilmeleri sebebiyle büyük patlamalara uğrarlar (Eriç,1978).

Diğer organik maddelerde de olduğu gibi ağaç malzeme 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 malzeme de ısı iletkenlik katsayısının küçük oluşu yanında kesitinin artmasıyla da tutuşma gecikir. Yanmayla birlikte dış yüzeyinden başlayarak çep çevre 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). 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).

Avrupa ve Amerika'da yaygın olarak kullanılan, tutkallı kirişler, lamellerin üst üste tutkallanması ile elde edilmekte ve ağaç malzeme sağlamlığının üstünde bir malzeme özelliği göstermektedir. Yapılan deneyler, tutkallı taşıyıcı dikdörtgen kesitli Hetzer - sistemlerin, yangına karşı alüminyum ve çelik konstrüksiyonlara göre daha dirençli olduklarını göstermiştir. Bu gün Avrupa ve bilhassa Amerika'da yangın sigortası için ödenen sigorta primleri ağaç konstrüksiyonlar için çeliğe nazaran daha azdır. Bu da ağaç konstrüksiyonların çelik konstrüksiyonlara nazaran yangına karşı daha emniyetli olduklarını ortaya koymaktadır(Erşen). Ayrıca metal iskelet yapıların yangında ani çökmeler göstermesi tehlikesi nedeniyle yangına karşı mücadele ve söndürme işleri ancak, yapıların dışından yapılabilmektedir. Yangın başlangıcında ağaç malzemenin rutubetini kaybetmesine bağlı olarak direnci bir miktar artmakta, yangının söndürülmesinden sonra da bazı kısımların kömürleşen üst tabaka temizlendikten sonra da kullanılabilirdiği bildirilmektedir. Ancak, bu özelliklerin özellikle yüksek sıcaklıklarda ve küçük boyutlu ağaç malzemelerde yeterli koruma sağlamadığı açıktır. Yangından korunmanın yeterli bir düzeye getirilmesi ancak, yanmaya karşı direnci arttırıcı etkin bir kimyasal koruyucu işlemle mümkün olmaktadır (Yalınkılıç, 1993).

1.3 Tutuşma, Alevlenme ve Yanmaya Karşı Kullanılan Emprenye Maddeleri (FR =Fire Retardants).

Yangın geiktirici madde alevlenmeyi, tahrip derecesini ve kor halinde yanmayı önlemelidir. Ayrıca tutuşmayı geciktirmeli ve alev kaynağı yokluğunda yada söndürme sonrası yanmayı önlemelidir. Diğer taraftan ucuz, temini ve uygulanmasının kolay olması, etkisini uzun süre devam ettirip, korozyon, üst yüzey işlemlerini bozma, direnç azalması ve çevrede zehirli etki oluşturma gibi olumsuz yan etkilerinin olmaması istenir (Peker, 1999).

Üst yüzey işlemlerinde, polimer malzemelerin bünyesine yangın geiktirici elementlerin katılması yerine bu elementleri içeren koruyucu katman yapan boyalar polimerin dış yüzeyine uygulanmalıdır. Sadece boyanın yanmaz olması ve alevin yayılmasını önleyici etki yapması yeterli olmayıp aynı zamanda boya altındaki polimeri ısı akışını azaltarak korumalıdır.

Üst yüzey işlemleriyle ağaç malzemenin yanmaya dayanıklı hale getirilmesinde iki temel metod uygulanmaktadır(Casey,1966).;

1- Ağaç malzeme üzerinde köpük oluşturarak, şişme-genleşme yoluyla malzeme ile alev temasını önleyen ve ısı iletimini sınırlayan intumescent yüzey örtücüleri,

2- Yüzey örtücüleriyle köpük tabakası oluşturmaksızın, alevlenmeyi önlemek için ağır izolasyon maddeleri içeren maddeler yardımıyla yanmayı engelleyici gaz yayan non-intumescent maddeler. Intumescent örtücüler gerçekte boya gibidirler ve doğal olarak dekoratif bir fonksiyon içerirler ve mevcut yapılarda korumayı takviye amacıyla uygulanabilirler. Kapı ve pencere doğramalarında kenarlara konulan intumescent şeritler, intumescent örtücülerle aynı özelliği taşımaktaysalar da daha fazla köpük oluşturarak açıklıkları kapatabilecek bileşimde hazırlanmaktadır. Köpük tabakası oluşturmayan örtücüler ise alevlenmeyi önlemek için ağır izolasyon maddeleri içermekte ve sıcaklık etkisi ile yanmayı önleyici gaz yayarak etkili olmaktadır (White,1985).

Yüzeğe uygulanan bu örtücü sistemlere alternatif olarak FR' in emprenye metodu ile ağaç malzeme içerisine verilme işlemleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Etki biçimi bakımından bu emprenye işlemleri ile artırılmaya çalışılan yanma direnci, örtücü sistemlere benzemektedir. Tutuşmayı engellemede örtücü işlemler kadar veya daha etkin olan emprenye uygulamalarında, izolasyon etkisi ağaç malzemenin yüzeysel bir kısmının kömürleşmesi esasına dayanmaktadır. Yüzeyin fiziksel tahribinden sonra ileri bir etkide bulunamayan yüzey örtücülerinden farklı olarak, derin koruma sağlayıcı bir emprenye ağaç malzemedeki uzun süreli şiddetli yangın etkisine maruz kalması

durumunda bile, kömürleşme derecesi, alevlerin yayılması ve tutuşmanın engellenmesi ile alev kaynaksız yanma gibi parametrelerin kontrol altında tutulmasını mümkün kılmaktadır. Ancak, kullanılan FR'ın etkin olması, emprenye maddesinin yeterli derinliğe nüfuz etmesi ve tutunması ile mümkün olabilir (Rowell, 1987).

Amonyum fosfatlar, amonyum borat, borik asit ve çinko klorür gibi inorganik tuzların sulu çözeltileri en yaygın kullanılan FR. bileşenleridir. Bu tuzların tümü suda çözünen tuzlar olduğundan açık havada rutubet etkisiyle ve yağmurla yıkanabilmektedir. Dış mekanda kullanılan ağaç malzemelerin emprenyesinde kullanılan FR. maddeler, higroskopik maddelerden olduğundan ve ağaç malzemeye oranla daha çok rutubet çekme eğilimleri nedeniyle, üst yüzey işlemleri ile oluşan film katmanları hızla bozular (Schneider, 1990).

1.3.1 FR Maddelerde Bulunması Gerekli Özellikler

Ağaç malzemenin yanmaya karşı korunmasında elde edilen başarı kısmen kullanılacak emprenye metotunun seçimine bağlı olmakla beraber, uygun bir emprenye maddesinin seçiminin önemli etkisi vardır. Koruyucu emprenye maddeleri ağaç malzemeyi zararlı ve tahrip edici mantar, böcek, deniz hayvanları ve yanmaya (tutuşmaya) karşı korumalıdır. Bunlar ender olarak yalnız bir kimyasal bileşim teşkil etmekte olup, çoğunlukla çeşitli kimyasal bileşimlerin amaca uygun şekilde karışımından oluşmaktadır(Yalınkılıç,1993).

Ateşe karşı koruyucu emprenye maddelerinde bulunması istenilen özellikler şunlardır(Bozkurt, 1988).

-Ağaç malzemenin yanma kabiliyetini azaltmalı, yani ateşe karşı koyma kabiliyetini arttırmalı, tutuşması halinde ateşin yayılmasını yavaşlatmalı ve kor halinde yanmayı önlemeli,

-Koruyucu madde odun ile iyi bir şekilde birleşmeli, ona iyice yapışmalı,malzeme içerisinde derine nüfuz etmeli ve yayılma kabiliyeti bulunmalı,

-Ağaç malzemenin özelliklerinde olumsuz etki yapmamalıdır. Özellikle rutubet ve direncini değiştirmemelidir. Ayrıca ağaç malzeme ile birlikte kullanılan metal, cam, seramik ve plastik gibi maddelere etki yapmamalı,

-İnsan ve hayvan sağlığı üzerinde zararlı ve zehirli etki yapmamalı ve ısı etkisi ile zehirli ve zararlı gazlar meydana getirmemeli,

-Bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı koruyucu etkiye sahip olmalı,

-Özellikle kullanım yerinde kokusuz olmalı,

-Suda çözünen maddelerin çözünürlüğü yüksek olmalı, hazırlanması kolay ve ucuz olmalı istenildiği miktarda temin edilebilmeli,

-Yapışma ve boyama özelliklerine olumsuz etki yapmamalı, çabuk kurumalı ve daha sonra işlenme kabiliyeti bulunmalı,

-Kullanım aşamasında dışarı sızmamalı ve gıda maddeleri için zararsız olmalıdır.

Eprenye maddesinin değeri, yukarıdaki özelliklere uygunluk derecesine bağlıdır. Bu özelliklerin hepsini birden sağlamak güç olmaktadır.

1.4 Ağaç Malzemeyi Ateşe karşı Korumada Kullanılan Kimyasal Maddelerin (FR) Etkilerine Göre Sınıflandırılması

Ağaç malzemeyi tamamen yanmaz hale getirmek mümkün değildir. Korumada amaç tutuşmayı ve yanmayı geciktirmek, yanma gerçekleştiğinde tahrip derecesini ve kor halinde yanmayı önlemektir. Bu amaçla kullanılan kimyasal maddelerin etki şekline göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır(Berkel, 1972, İlhan, 1988).

1- Mekanik şekilde etki yapan maddeler: Bu maddeler yüzeye fırça ile sürülmekte veya püskürtülmekte ve böylece ağaç malzeme yüzeyinin havanın oksijen ile temasını bir dereceye kadar keserek tutuşma ve alevin yayılmasını geciktirmektedir. Ancak, bu maddelerin yangın esnasında ağaç malzeme yüzeyinde kalabilmesi için gözenekli ve fazla miktarda esnek olması gerekmektedir. Aksi halde ağaç malzemenin çalışması veya yanma esnasında çıkan gazların etkisi ile çatlamakta ve dökülmektedir.

2- Eriyici madde meydana getiren koruyucu maddeler: Bu kimyasal maddeler ısı etkisiyle erirken, çevresindeki ısıyı sarfettikleri gibi, eridikten sonra da ağaç

malzemenin yüzeyine iyice yapışarak bir tabaka meydana getirmekte ve kömürleşmeyi artırarak ısıyı fena ileten bir yüzey oluşturup, ağaç malzemenin iç tabakalarının korunmasını sağlamaktadır.

3- Köpük tabakası meydana getiren koruyucu maddeler: Yüksek sıcaklıkta ağaç malzeme yüzeyinde odun kömürüne benzeyen bir köpük tabakası meydana getirmektedir. Köpük şeklindeki bu tabaka ısıyı çok iyi bir şekilde izole ettiğinden ağaç malzemenin iç kısımlarını ısının etkisinden koruyabilmektedir.

4- Söndürücü gazlar meydana getiren koruyucu maddeler: Bu grup kimyasal maddeler ısı etkisi ile söndürücü gazlar meydana getirirler. Bu gazlar ağaç malzemenin dış yüzeyinde bir tabaka oluşturarak, ısı etkisi ile dışarıya çıkan ve yanıcı olan odun gazlarının konsantrasyonunu düşürürler ve böylece tutuşma kabiliyetini azaltırlar. Aynı zamanda çevresindeki ısının da bir kısmını kullanarak yangın şiddetini azaltırlar.

5- Ağaç malzemeyi kömürleştiren koruyucu maddeler: Ağaç malzemeyi ateşe karşı koruyan bütün emprenye tuzları düşük ısı derecesinde odundan daha fazla kömürleşme meydana getirmekte ve böylece dış tarafta teşekkül eden ve ısı izolasyonunu arttıran bu tabaka malzemenin iç kısımlarının korunmasını sağlamaktadır. Bu amaçla fosforik asit bileşenlerinden faydalanılmaktadır.

FR bileşiklerinin bileşiminde yer alan kimyasal maddelerin özelliklerini esas alan bir sınıflandırma da aşağıdaki gibi verilmektedir(Goldstein, 1973, Berkel, 1972).

1. İnorganik maddeler

1.1. Amonyum tuzları: Bu tuzlar ısınma sonucu amonyak meydana getirirler. Açığa çıkan amonyak yanıcı gazların yoğunluğunu düşürürken, geriye kalan serbest minarel asitleri odunun kömürleşmesini hızlandırır. Önemli amonyum tuzları şunlardır:

-Diamonyum fosfat (DAP) $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$

-Monoamonyum fosfat (MAP) $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$

-Amonyum sülfat $((\text{NH}_4)\text{SO}_4)$

-Amonyum klorür (NH_4Cl)

-Amonyum tetraborat $((\text{NH}_4)_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$

1.2 Alkali tuzlar: Alkalinite derecesi arttıkça yüksek sıcaklık derecelerinde kömürleşme oranı da artmaktadır. Bu grubun en önemli tuzları şunlardır:

-Potasyum karbonat $(2\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$

-Potasyum fosfat $(\text{K}_3\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$

-Sodyum tetraborat veya boraks $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$

-Sodyum asetat $(\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$

1.3. Bazı Metal Bileşikleri:

-Alüminyum klorür ($\text{Al}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)

-Alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

-Potasyum alüminyum sülfat veya şap ($\text{K Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)

-Çinkoklorür ($\text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

-Çinko borat ($3\text{ZnO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$)

1.4. İnorganik Yüzey Örtücüler: Ağaç malzemeye uygulandıklarında yüzeyi örterek ateşe karşı bir izolasyon tabakası oluştururlar. Açık hava koşullarına duyarlı, yüzeylere güç sürülen ve dekoratif özellikleri örten bu maddelerden inorganik olanların en önemlisi alkali silikatlardır. Bunlar ağaç malzemeye sürüldüklerinde yangın esnasında eriyerek yüzeyde izole edici bir köpük tabakası meydana getirirler. Ancak bu maddeler, havanın teması sırasında CO_2 'in etkisi ile karbonatlara ve silis asitine ayrışır ve etkisiz kalırlar(Baysal, 1994 ve Yalınkılıç, 1993).

2. organik maddeler: Bu maddeler karbon esaslı olmalarından dolayı yanıcı özellik taşırlar. Ancak, bu maddelerden geliştirilen bileşiklerde azot ve yangın geciktirici etkisi olan halojenler ve fosfatlar olduğu için etkinlikleri yüksektir. Bu maddeleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

2.1 Polimerler ve reçineler: Reçinelerin bu alanda kullanımları bazı inorganik tuz bileşimlerini oduna bağlama amaçlıdır.

2.2 Reaktif bileşikler: Bu gruptaki önemli bileşikler aşağıda belirtilen işlemlerle uygulanmaktadır(Yalınkılıç, 1993).

1. Ağaç malzemenin disiyanamid ve fosforik asit ile emprenye edilmesinden sonra 70-100 °C sıcaklıkta kurutulmasıyla emprenye maddesiyle selüloz arasında bir reaksiyon gerçekleştirilmektedir. Bunun neticesinde ağaç malzemenin higroskopik özellikleri giderilebildiği gibi, direnç özellikleri de yükselmektedir.

2. Melamin çapraz bağlayıcı olarak disiyanamid, fosforik asit ve formaldehitte birlikte ağaç malzeme emprenye edildiğinde yıkanabilirliği düşük bir FR elde edilmektedir.

3. Bir diğer önemli uygulamada, tris(L-aziridinyl) fofinoksit (APO)'nun kendiliğinden polimerize olarak, selüloz ve lignin hidroksil gruplarıyla reaksiyona girmesi sağlanmaktadır.

2.3 Diğer organik FR bileşikleri: Bu grup emprenye maddeleri bazı halojenleşmiş organik maddeler ile organofosforların organik çözücüler içerisinde elde edilirler. Bunlarda yüksek derecede uçucu olmayan çözücüler kullanılır. Bu amaçla kullanılan bazı organik çözücülü FR maddeleri şunlardır(Goldstein, 1973 ve Yalınkılıç, 1993):

- Bis (2-bromoetil) 2- bromoetanfosfonat,

- Bis (2-halo-alkil) alkenil fosfonat,

- Klorlanmış alkil fosfonatlar,
- Klorlanmış fosforik ve fosforlu asit diesterleri,
- Klorlanmış naftalenler,
- Fosfat triesterler,
- Katı klorlu hidrokarbonlar(% 40 Cl),
- Triaril fosfatlar.

2.4 Organik yüzey örtüçüleri: Yüzeylerde katman yapan bu ateşe dayanıklı organik maddeler genelde iki gruba ayrılabilirler. Bunlardan biri yüzeyde ısı etkisi ile köpürüp sünger gibi kabarak bir yalıtım tabakası oluşturan (intumescent) örtüçüleri. Diğer grup ise yanıcı olmayan ve ısı geçirmeyen özellikte olan (non-intumescent) örtüçülerdir.

Köpük oluşturuıcı özellikteki bu yalıtıcı maddelerin reaksiyonları için üç temel madde gerekmektedir. Bunlar:

1. Karbon oluşturuıcı bir kısım: Nişasta veya çok yönlü reaksiyona giren alkoller. Örneğin, pentaeritol gibi,
2. Isı teması ile dehidrasyona uğrayıp karbon oluşturuıcı fosfor bileşikleri; Lewis asitleri gibi,

3. Karbonu köpük haline getirici maddeler; su, üre, guanidin ve disiyanamid gibi gaz halindeki azot piroliz ürünleri.

Köpük meydana getiricibileşikler gaz meydana getirebilecek özellikteki dolgu veya bağlayıcı maddelerle de karıştırılmaktadır(Goldstein, 1973).

Köpük oluşturmayan yüzey kaplayıcılardan bir diğer grup da, klorlandırılmış kauçuk veya klorlandırılmış izobütilen polimeridir. Sertleşme olmadan önce, ince parçalara ayrılmış asbest ve üre formaldehit tutkallarıda yüzeylere püskürtülmek suretiyle koruyucu bir tabaka oluşturabilmektedir. İnorganik örtücülerden olmak üzere, boraks ve borikasitkarıştırılmış olan alginat jelatinleri de yüzey örtücü FR olarak kullanılabilir(Goldstein, 1973 ve Yalınkılıç, 1993).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ağaç malzemenin yanmaya karşı direncinin artırılması 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 artırılması amacıyla ağaç malzemenin sirke ile emprenyesini tavsiye ettiği ve aynı işlemin daha sonra Romalılar tarafından kullanıldığı bildirilmektedir(Cullis,1981).

1625 yılında alınmış olan bir İngiliz patenti gemilerdeki ağaç malzemeyi ve halatları ateşe karşı koruması bakımından bir metod 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(Hartman, 1933).

Garrat (1927), Amerika'da ilk olarak ticari mahiyette yanmaya karşı koruyucu emprenye maddesinin ağaç malzemedeki uygulanması Max BACHERT tarafından geliştirilmiş olan, Amonyum fosfat ve Amonyum sülfat kullanan bir metod ve patent ile başlamıştır.

Yalınkılıç (1992), Daldırma ve vakum yöntemleriyle sarıçam ve doğu kayını odunlarının Kreozot, Imersol WR, Tenalith-CBC ve Tanalith C-S kullanılarak emprenyesini ve emprenye edilen örneklerin yanma özelliklerini aşağıdaki gibi belirlemiştir.

1- Kreozotla emprenye edilen sarıçam ve kayın örneklerinde daldırma süresinin uzamasıyla, absorpsiyon miktarının arttığı, absorpsiyon miktarının artmasına bağlı olarak da yanmada ağırlık kaybının, kaynaksız alev yüksekliği, kaynaksız alevli yanma süresinin ve kor hali süresi değerlerinin arttığı,

2- Sıcak Soğuk Açık Tank Metodunda ise; suyla ön kaynatma işlemi, absorpsiyon miktarında düşmelere ve yanma özelliklerinde ise kontrol örneğinin değerine yakın sonuçlar verdiğini tesbit etmiştir.

Baysal (1994), Değişik oranlarda Boraks, Borikasıit, Stiren, Metilmetakrilat, Polietilen glükol ve Parafin çözeltileri kullanılarak emprenyesi yapılan kızılçam odununun yanmaya karşı korunmasında Parafin +Borikasıit + Boraks maddelerinin % 15'lik çözeltisinin en etkili olduğunu bulmuştur.

Lee (1989), Kontrplak, yongalevha ve liflevha (MDF) üzerine yangın geciktirici klorlu kauçuk boyayı 1,2 ve 3 kat sürerek alevin devam süresine ve ağırlık kaybı oranına bağlı olarak boya katmanlarının değerlendirmesini yapmıştır. Buna göre; 3 kat boya tatbik edilen yongalevha yanmaya karşı en fazla direnç gösterirken 1 kat boya tatbik edilen MDF en az direnci gösterdiği, daha fazla boya katmanının tatbik

edilmesiyle yangın geciktiricinin etkinliğinin arttığını tesbit etmiştir. Ayrıca MDF en fazla alevlenebilen malzeme iken yongalevha en az alevlenebilen malzeme olduğunu belirlemiştir. 1 kat boya tatbik edilen kontrplakta ağırlık kaybı oranı en fazla olurken 3 kat boya tatbik edilen MDF ve yongalevhada en az olduğunu tesbit etmiştir.

Yanenko (1988), Yangın geciktiricilerle işlem görmüş ağaç örneklerinin yanmayla oluşan birleşik etkilerin ve zehirliliğin değerlendirilmesi amacıyla; 15 farklı yangın geciktirici ile emprenye edilen çam örneklerinin test işlemlerini Sovyet Standartı GOST 12.1.044-84'e göre yapmıştır. Termik bozunmayla oluşan gaz ürünlerinin etkisi ve anabileşim maddesine katkısı, çıkan gaz ürünlerinin (CO,CO₂,HCN, HxOy) analizleriyle belirlemiştir. Yangın geciktirici işlemlere tabi tutulan malzemelerin zehirli gaz çıkarma oranlarının azaldığı, bu azalmanın daha fazla koruyucu boya katmanı içeren işlemlerde olduğunu belirlemiştir. CO çıkan gazların genel zehirlilik etkisine en büyük katkıyı sağladığı ve bu deneye göre CO ağaç malzemenin yanma ürünlerinin potansiyel tehlikelerini belirlemede temel etken olduğunu tesbit etmiştir.

Indrea (1987), Çam örneklerini 24-172 saat süreyle brom buharına tuttuktan sonra %8 sodyum silikat içerisine tepkimesiz bromu nötürleştirmek için 24 saat süreyle daldırmıştır. 0-168 saat arasında brom buharına tutulmadan önce örneklerin yarısı 6 gün süreyle akan su içerisinde yıkamıştır. % 10 rutubete getirdiği deney örneklerinin yanma direncini değiştirilen “Yanma Borusu Deney Aleti”nde belirlemiştir. Yanmanın başlamasından iki dakika sonrasında ağırlık kaybı, akkor halinde yanma

süresi ve maksimum sıcaklığını kayıtmıştır. 96 saat brom buharına tuttuktan sonra sodyum silikat içerisine daldırdığı örneklerin ağırlık kaybını 2 dakika sonrasında yıkanmamış örnekler için %24.6 ve yıkanmış örnekler için %27 olarak tesbit etmiştir. Ayrıca, akkor halinde yanmayı bu işlemde en az ve maksimum sıcaklığı önemli derecede düşük olarak belirlemiştir. Brom buharına tutulmadan önce sodyum silikat ile ön hazırlık yaptığı örneklerde, ağırlık kaybını yıkanmamış örnekler için % 20.8 ve yıkanmış örnekler için % 42.6 olarak belirlemiştir. 168 saat süreyle yalnız bromlandırma yapılan örneklerde en etkili sonucun alındığını belirtmektedir.

Lee (1984), Farklı özgül kütlede olan akkavak örneklerini amonyum sülfat, monoamonyum fosfat, diamonyum fosfat ve alüminyum klorit ile 1, 15, 30 ve 60 dakika ve 1, 3, 7 gün süreyle muamele etmiştir. 1800 °C sıcaklıkta yaktıktan sonra örneklerin absorblanan kimyasal madde miktarına bağlı olarak ağırlık kaybını ve eğilme direncini değerlendirmiştir. Buna göre; absorblanan kimyasal madde miktarının artmasına bağlı olarak deney örneklerinde ağırlık kayıplarının azaldığını ve kopma modülünün arttığını monoamonyum fosfat ve alüminyum kloritte tesbit etmiştir. Ağırlık kaybı ile kopma modülü arasında negatif bir bağıntının olduğunu ve bu ilişkinin alüminyum kloritte bariz bir şekilde görüldüğünü belirtmektedir.

Inzhenerno (1983), Sarıçam, Norveç Ladini ve Kayın odunu üzerine trikloroetilfosfat esaslı yangın geciktiriciyi fırça ile yüzeye sürmüş, yaptığı yanma deneyleri neticesinde trikloroetilfosfat esaslı kimyasalın çam ve yumuşak yayvan yapraklı ağaç türleri için koruma sağladığını tesbit etmiştir.

Brenden (1986), Duvarların ısı gecirme oranlarının tesbitine yönelik olarak, yalıtım için iç boşluğu olmayan, yük taşımayan iç duvarlara benzer şekilde duvarlar oluşturmuştur. Bu duvar elamanları yangın geciktirici ile işlem görmüş ahşap elamanlardan veya bir duvarın her iki tarafına kalsiyum sülfatlı duvar kaplamalarının bağlandığı çelik elamanlardan oluşturmuştur. Duvar elamanlarını ASTM-E-119-1978'e göre yanma deneylerine tabi tutmuştur. Deney sonucu olarak yangın geciktiricilerle empenye edilen ahşap duvarların ısı gecirme oranlarının çok düşük olduğunu ve tutuşturma ateşine maruz kaldıktan 23 dakika sonra aktif ısı gecirgenliğine başladığının tesbitini yapmıştır.

Uesugi (1981), Çeşitli kimyasallarla işlem görmüş ağaç malzemedeki oluşan zehirli gazların belirlenmesine yönelik olarak; çeşitli kimyasallarla değişik tür ağaçların empenyesini ve yanma deneylerini yaparak çıkan gazların zehirliliğini fareler üzerinde denemiştir. Buna göre; amonyum bromit veya sodyum klorit ile işlem gören örneklerde hayatta kalan fare sayısı en az iken, diamonyum fosfat veya boraks ve borik asitin bir karışımıyla işlem görmüş örneklerde bu sayı en fazla olarak belirlenmiştir.

Kumagai (1975), Ağacın yanması üzerine fosforik asitin etkisini araştırmıştır. Yaptığı deneyler neticesinde H_3PO_4 konsantrasyonunun azalmasıyla O_2 sarfiyatının arttığını ancak, CO tetrici olarak arttığını, yanma sıcaklığındaki artmanın CO'nun C_2 'e dönüşmesiyle orantılı olduğunu tesbit etmiştir.

Siau (1975), Yangın geciktiricilerle ve/veya vinil polimerlerle muamele edilen veya edilmeyen Meşe (*Quercus rubra*), Akçaağaç (*Acer saccharum*) ve Ihlamur (*Tillia Americana*) örneklerinin duman yoğunluğu, yanmaya katılımları ve alev yayılma deneylerini yapmıştır. Buna göre;

- Benzol içeren polimerler veya yangın geciktiriciler duman oluşumunu, alevin yayılmasını ve yanmaya katılımını arttırdığını,
- Alevli yanmanın sona ermesinden sonra duman oluşumunun arttığını,
- Polimetil metakrilit ile muamele edilen ağaç, muamele edilmemiş ağaca göre daha az duman oluşumu ve alev yayılması gösterdiği, ancak, ısı polimerin depolimerizasyonuna neden olduğu ve alevlenebilen monomerler ürettiği,
- Bir intumescent boyanın tatbikiyle ölçümü yapılan tüm özelliklerin azaldığının tesbitini yapmıştır.

Lutomski (1971), Mantarlara karşı kullanılan ve yangın geciktirici özellik taşıyan tuz karışımlarıyla muamele edilen ağacın yanma özelliğinin tesbitine yönelik yaptığı çalışmada; sarçam diriodununu 4 tuz karışımıyla boyamıştır. Bu karışımlar;

I- % 5 lik NaF ve $K_2Cr_2O_7$,

II- I. çözeltiliye ilaveten % 30'luk $(NH_4)_2HPO_4$ ve $(HN_4)_2SO_4$,

III- I. ve II. çözeltilere ilaveten % 15'lik $(HN_4)_2SO_4$,

IV-% 30'luk $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ çözeltisine ilaveten % 15'lik $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,

Truax-Harrison Yangın Borusu'nda yaptığı yanma deneyleri neticesinde; $120\text{g}/\text{m}^2$ retensiyonda II. çözelti yanmaya karşı en iyi sonucu verdiğini, II. çözeltinin $170\text{g}/\text{m}^2$ retensiyonda IV. çözeltime eşit bir sonuç verdiğini belirtmektedir.

Shukla (1981), Dışarıda kullanılan ağaç malzeme yüzeylerine sürülen yangın geciktirici nitro-selüloz boyaların hareketlerinin araştırılması amacıyla $10 \times 0.8 \times 0.8$ cm boyutlarında değişik tür ağaç örnekleri yangın geciktirici amonyum fosfat, çinko klorit, borik asit, bakır sülfat ve sodyum dikromat çözeltisi ile boyadıktan sonra 48 saat süreyle akan su içerisinde yıkamıştır. Yaptığı yanma direnç test sonuçlarında yalnız başına boyalar yangın geciktiricilerin yıkanmasını önlemede etkisiz kalmalarına rağmen boyanmamış örneklerle karşılaştırıldığında yanmaya karşı bir miktar koruma sağladığını tesbit etmiştir.

Lee (1989), Yangın geciktiricilerle emprenye edilmiş kontrplağın yanma deneylerinde oksijen muhteviyatının belirlenmesine yönelik yaptığı bir çalışmada; 3.5 mm kalınlıkta 3 kat Meranti kontrplağını 5 farklı ticari yangın geciktirici ile emprenyesini yaptıktan sonra basınç altında kurutmuştur. Daha sonra oksijen indisini (tutuşma alevini sağlayan minimum oksijen konsantrasyonu) Dixon ve Massey Metoduna göre belirlemiştir. Amonyum sülfat için oksijen muhteviyatını % 28.4, monoamonyum fosfat için % 26.7, diamonyum fosfat için % 43.4, boraks ve borik asit

için % 30.1, minalit için % 32.4 olarak tesbit ederek diamonyum fosfatın en iyi yangın geciktirici olarak tavsiye edilebileceğini belirtmektedir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Ağaç Malzeme

Ağaç malzeme olarak iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) ve yapraklı ağaçlardan doğu kayını (*Fagus orientalis lipsky*) kullanılmıştır.

Ağaç malzemelerin bir kısmı Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Atelyeleri'nden, bir kısmında Ankara Siteler'den temin edilmiştir.

3.2 Kimyasal Maddeler

Aklar Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen ve araştırmada kullanılan kimyasal maddelerin özellikleri aşağıdaki gibidir.

3.2.1 Potasyum Nitrat

Güherçile de denilen Potasyum Nitrat (KNO_3) tabiatta kendiliğinden oluşur. Saf potasyum nitrat renksiz, kristal şeklindedir.

Molokül ağırlığı :101.11

Suda Çözünürlüğü : 320g/l.

Renk ve kristal sistem : Renkli, rombik kristal sistem

Erime noktası : 336 °C

3.2.2 Çinko Sülfat

Çinko sülfat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) büyük rombik sütuncuklar halinde olup, havadan etkilenmez ve suda kolay çözünür. Magnezyum sülfata benzer. Çözeltisi hidrolize olduğunda hafif asit reaksiyonu gösterir. Hekimlikte ve veterinerlikte kullanılır.

Molokül ağırlığı : 287.56

Suda çözünürlüğü : 960g/l

Renk ve kristal sistem : Renksiz, rombik kristal sistem

3.2.3 Boraks (Sodyum Tetra Borat)

Boraks ($Na_2B_4O_7$) bor madeninin en önemli türevidir. Rezerv bakımından dünya sıralamasında ilk sırayı alan Türkiye, üretiminin %80'ini ham cevher olarak ihraç etmektedir. Ağaç malzemenin korunmasında borlu bileşiklerin kullanımı söz konusudur. Boraks çok güç eriyen sert bir madendir. Elektriği çok az iletir(Baysal, 1994).

Molokül ağırlığı : 201g

Suda çözünürlüğü : 26g/l

Renk ve kristal sistem : Renksiz, rombik kristal sistem

Erime noktası : 741 °C

3.2.4 Sodyum Sülfat

Sodyum sülfat (Na_2SO_4) doğada katı halde bulunduğu gibi bazı maden sularının bileşiminde de bulunur. Suda çözünür. Mutfak tuzunun sülfürük asitle veya magnezyum sülfatla işleme sokulmasından elde edilir. Buna Glavber tuzu da denir.

Açık havada beyaz toz haline gelir, tadı acı ve serinleticidir.

Molokül ağırlığı : 142.05

Suda çözünürlüğü : 162g/l

Renk ve kristal sistem : Renksiz, hekzagonal, rombik, monoklin kristal sistem

Erime noktası : 884 °C

3.2.5 Bakır Sülfat

Bakır sülfat (Cu_2SO_4) suda iyi çözünür, çözünürlük derecesi sıcaklık ile fazla artar. Bakır tuzları içerisinde en fazla kullanılanıdır. Bakır tuzlarının büyük bölümü ve bunların çözeltileri mavi renklidir. Doğada kükürt içeren bakır filizlerinin oksitlenmesiyle oluşur. Bu sebeple maden sularının bir çoğunda bulunur.

Molokül ağırlığı : 250

Suda çözünürlüğü : 317 g/l

Renk ve kristal sistem : Beyaz, rombik kristal yapı

3.3 Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deney örneklerinin hazırlanmasında TS 345, TS 5561, TS 5563 ve ASTM - E-69 standartlarında verilen esaslara uyulmuştur. Buna göre, örnekler seçilen ağaçı temsil edecek şekilde budaksız, ardaksız, sağlam, düzgün lifli, ağacın diri odun kısmından, reçinesiz, tül teşekkülü olmayan, büyüme kusurları bulunmayan parçalardan seçilmiştir. Deney örnekleri çıta şeklinde olup, $9.5\text{mm} \times 19\text{mm} \times 1016\text{mm} \pm 0.8\text{mm}$ boyutlarında düzgün şekilde kesilmiştir. ASTM-69'a göre her bir deney parçası 1016 mm boyunda kesilmiş tek bir parçadan oluşabileceği gibi muhtelif daha kısa parçalar uc uca tel kancalarla 1016 mm uzunluk verecek şekilde birleştirme yapılabilmektedir. Bu çalışmada emprenye silindirinin boyutlarının kısa olmasından dolayı 1016 mm uzunluk iki parçanın birleştirilmesiyle elde edilmiştir.

Sarıçam ve kayın ağaçlarından 5 değişik kimyasal madde ve 3 değişik emprenye yöntemi için 8'er adet deney parçası kesilmiştir. Buna göre;

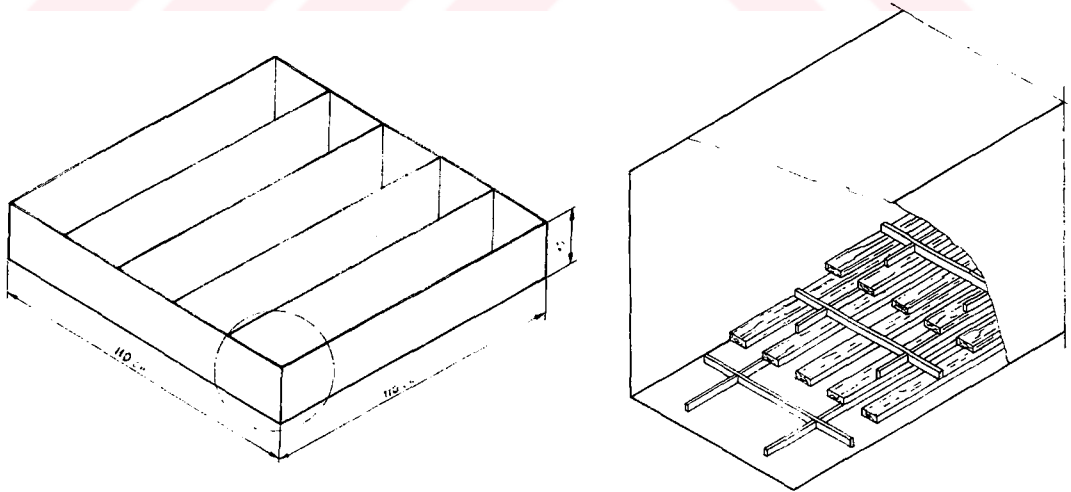
$5 \times 8 \times 3 = 120$ adet sarıçam, $5 \times 8 \times 3 = 120$ adet kayın, 16 adet sarıçam ve kayından oluşan kontrol parçaları ile birlikte toplam 256 adet örnek hazırlanmıştır.

ASTM-E-69'a göre test edilecek malzemenin rutubeti tam kuru ağırlığına oranla $\% (7 \pm 3)$ olmalıdır. Bunun için, örnekler deneyden önce klimatize dolabında $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ve $\% 35 \pm 5$ bağıl nemde $\% 7$ rutubet derecesine kadar kurutulmuştur.

3.3.1 Deney Örneklerinin Emprenyesi

3.3.1.1 Uzun süreli Batırma

9.5x19x1016 mm boyutlarında hazırlanan deney örnekleri emprenye işlemine tabi tutulmadan önce iklim odasında $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $\% 35 \pm 5$ bağıl nemde $\% 7$ rutubete kadar kurutulmuştur. Bu durumda 0.01 g hassasiyetle ölçüm yapan analitik terazide tartılmışlardır. Daha sonra Şekil 3.1’de gösterilen camdan yapılan ve beş ayrı bölmeden oluşan havuzda, her bir bölmedeki kimyasal madde çözeltileri içerisinde 36 saat süreyle bekletilmişlerdir. Deney örnekleri üst üste istiflenirken emprenye çözeltisinin yüzeylere temasını sağlamak için istif aralarına plastik çıtalara yerleştirilmiş ve çözelti üzerinde yüzmeleri için ağırlıklar konulmuş ve çözeltinin deney örneklerinin üst yüzeyinden 4 cm fazla olması sağlanmıştır.



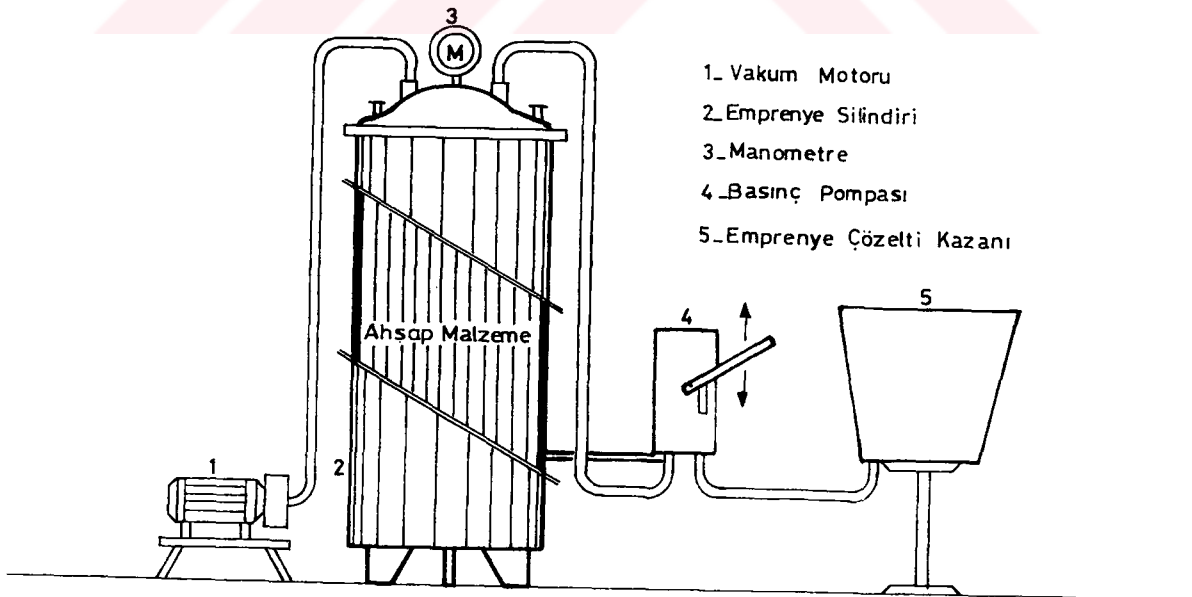
Şekil 3.1 Deney Örneklerinin Emprenyesinde Kullanılan Cam Havuz Düzenği.

3.3.1.2 Dolu hücre metodu

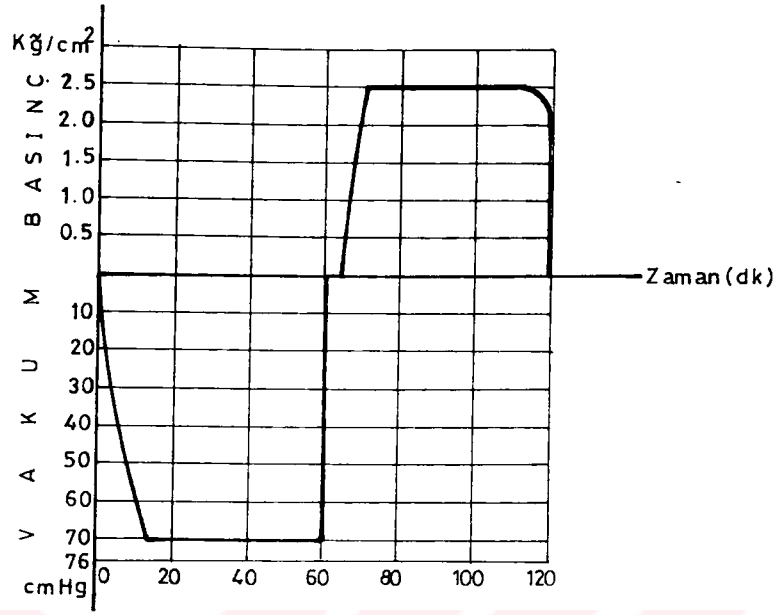
Deney örneklerinin Dolu Hücre Metodu ile emprenyesinde ASTM D 1413-76' da belirtilen esaslara uyulmuştur.

Buna göre; deney örneklerinin bir kısmına Şekil 3.2'de gösterilen emprenye düzeneğinde 60 dakika süreyle 60 cm/Hg'ya eşdeğer ön vakum (şekil 3.3) uygulandıktan sonra , 60 dakika süreyle 2.5 kg/cm² 'lik basınç uygulanmıştır. Geride kalan deney örnekleri için şekil 3.4'de gösterildiği gibi 30 dakika süreyle 60 cm/Hg'ya eşdeğer ön vakum uygulandıktan sonra , 30 dakika süreyle 2.5 kg/cm² 'lik basınç uygulanmıştır.

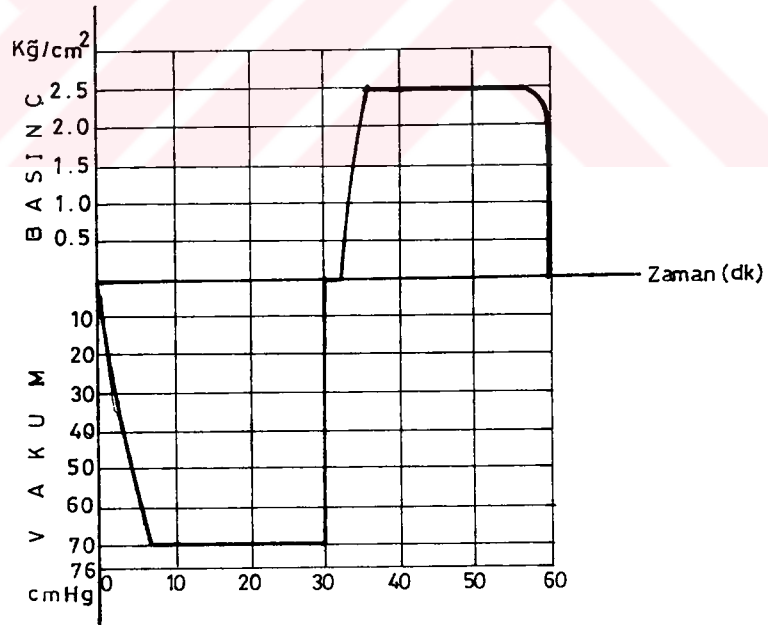
Emprenye işleminin yapılmasında, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan, emprenye tesislerinden faydalanılmıştır.



Şekil 3.2 Emprenye İşleminde Kullanılan Deney Düzeneği.



Şekil 3.3 Dolu Hücre Metotunun 1 Saat Uygulama Grafiği.



Şekil 3.4 Dolu Hücre Metotunun 1/2 Saat Uygulama Grafiği.

3.3.2 Emprenyede Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması

Deney örneklerinin emprenyesinde kullanılan çözeltiler doymun halde olup hazırlanmaları aşağıdaki gibidir.

1. % 24.25'lik kuru potasyum nitrat destile su içerisinde, oda sıcaklığında çözümlenmiştir.

2. % 48.97'lik kuru çinko sülfat destile su içerisinde, oda sıcaklığında çözümlenmiştir.

3. % 4.78'lik kuru boraks(sodyum tetra borat) destile su içerisinde, oda sıcaklığında çözümlenmiştir.

4. % 13.95'lik kuru sodyum sülfat destile su içerisinde, oda sıcaklığında çözümlenmiştir.

5. % 24.06'lık kuru bakır sülfat destile su içerisinde, oda sıcaklığında çözümlenmiştir.

Hazırlanan çözeltilerin , emprenye öncesi ve sonrası asitlik derecesi (pH) ve yoğunlukları (g/ml) belirlenmiştir.

3.3.3 Emprenye Sonrası Yapılan İşlemler

3.3.3.1 Çözelti pH'sı ve yoğunluğunun tesbiti

Hazırlanan çözeltilerin emprenye öncesi ve sonrası pH ve yoğunluk ölçümleri yapıldı. Bu amaçla; yoğunluk ölçümü için Densimetri, pH için pH indikatör kağıtları kullanıldı.

3.3.3.2 Çözelti retensiyon tesbiti

Emprenye işleminden sonra deney örnekleri havuzdan ve emprenye silindirinden çıkartılarak üzerlerindeki fazla sıvı maddenin atılması amacıyla geçici olarak istifleme yapılmıştır. Bundan sonra iklim odasında $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $\% 35 \pm 5$ bağıl nemde $\% 7$ rutubete kadar kurutulan örnekler 0.01 duyarlılıkta analitik terazide tartılmışlardır. Buna göre $\% 7$ rutubette malzemenin absorbe ettiği kuru madde miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

1. Retensiyon (R).

$$R = \frac{M_{7es} - M_{7eö}}{M_{7eö}} \times 100$$

Burada;

$M_{7eö}$: Emprenye öncesi örneğin $\% 7$ rutubetteki ağırlığı

M_{7es} : Emprenye sonrası örneğin $\% 7$ rutubetteki ağırlığı

Tablo 3.1'de deney örneklerinin emprenyesinde uygulanan deney planı verilmiştir.

Tablo 3.1 Emprenye Deney Planı.

Emp. Maddeleri/ İşlem Sırası	Na ₂ SO ₄	Na ₂ BO ₄	Cu ₂ SO ₄	KNO ₃	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
Emp.Edilen Malzemeler	*Sarıçam/Kayın	Sarıçam/Kayın	Sarıçam/Kayın	Sarıçam/Kayın	Sarıçam/Kayın
**E.Ö.R. (%)	7	7	7	7	7
Emp.Mad. Konsantr. (%)	13.95	4.78	24.06	24.25	48.97
İşlem sıcaklığı	20 ± 3	20 ± 3	20 ± 3	20 ± 3	20 ± 3
Çözücü türü	*** Ds	Ds	Ds	Ds	Ds
Daldırma süresi (saat)	36	36	36	36	36
Vakum süresi (dk) 1.Emp/2.Emp	30/60	30/60	30/60	30/60	30/60
Basınç süresi (dk) 1.Emp/2. Emp	30/60	30/60	30/60	30/60	30/60
Vakum miktarı (cmhg)	60	60	60	60	60
Basınç miktarı (kg/cm ²)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

* Her bir emprenye her ağaç malzeme için 8 örnekten oluşmaktadır.

** Emprenye öncesi örnek rutubeti (%).

*** Destile su (Saf su).

3.3.4 Yanma Deneyleri

3.3.4.1 Deney Standı Hakkında Genel Bilgiler

Ateş borusu cihazı yaklaşık olarak 1928 yılında Amerika Birleşik Devletleri Orman Ürünleri Laboratuvarı (U.S. Forest Products Laboratory) de T.R. TRUAX ve C.A.HARRİSON tarafından geliştirilmiş olup, o zamandan beri Amerikan Standardları (ASTM) içerisine alınmış bulunmaktadır. Yayınlanmış bir çok ağaç malzemeyi yangına karşı koruyucu emprenye maddelerinin koruma etkisi üzerine yapılmış deneylerde bu metotdan faydalanılmıştır. Bu metot en fazla yayılmış ve tanınmış olup, bir çok ülkede uygulanmakta ve yangına karşı koruyucu maddelerle yapılmış emprenye işleminin ağaç malzemeyi koruma etkisi hakkında en iyi fikir vermektedir. Böylece, yangına karşı koruyucu maddeler etki derecelerine göre sınıflara ayrılabilir (Berkel, 1972).

Ateş borusu cihazı ile yapılan deneylerde standard bir alev etkisi ile yanmakta olan ağaç malzemenin yanma ile meydana gelen ağırlık kaybı devamlı olarak tespit edilmekte ve böylece yanma hızı elde olunmaktadır.

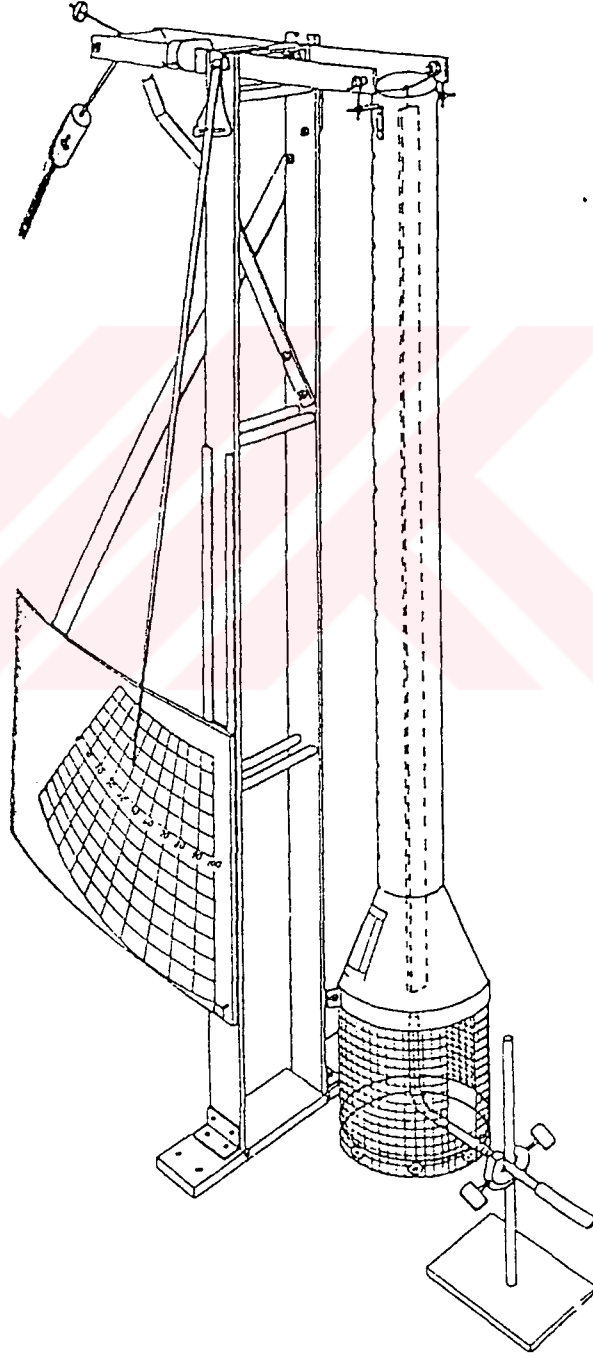
Bu metotta kullanılan ateş borusu şekil 3.5'de gösterilmiştir. Ateş borusu 38 mm merkezli 9.5 mm çapında 25 adet karşılıklı delikten oluşan 711 mm çapında galvanizli demirden yapılmıştır ve alt tarafı 152 mm çapında ve 203 mm uzunluğunda çelik tel kafesten oluşmaktadır. Bu boru içerisine emprenye edilmiş deney örneği özel olarak yapılmış terazinin bir koluna asılmaktadır. Çelik tel kafesin yan tarafından 9.5

mm çapında bir borudan gaz sevki yapılmaktadır. Ateş borusu içerisine asılmış deney parçasının alt ucu ile gaz borusunun arasında 2.54 cm (1 inç) açıklık olacak şekilde yerleştirme yapılmaktadır. Gaz alevi standard olup alevin yüksekliği 25 cm sıcaklığı 1000 °C dir. Böyle bir gaz alevi üst tarafta bulunan ve içerisinde deney parçası bulunmayan “Ateş borusu”nun en üst kısmında (180 ± 5) °C’ lik bir sıcaklık meydana getirmektedir.

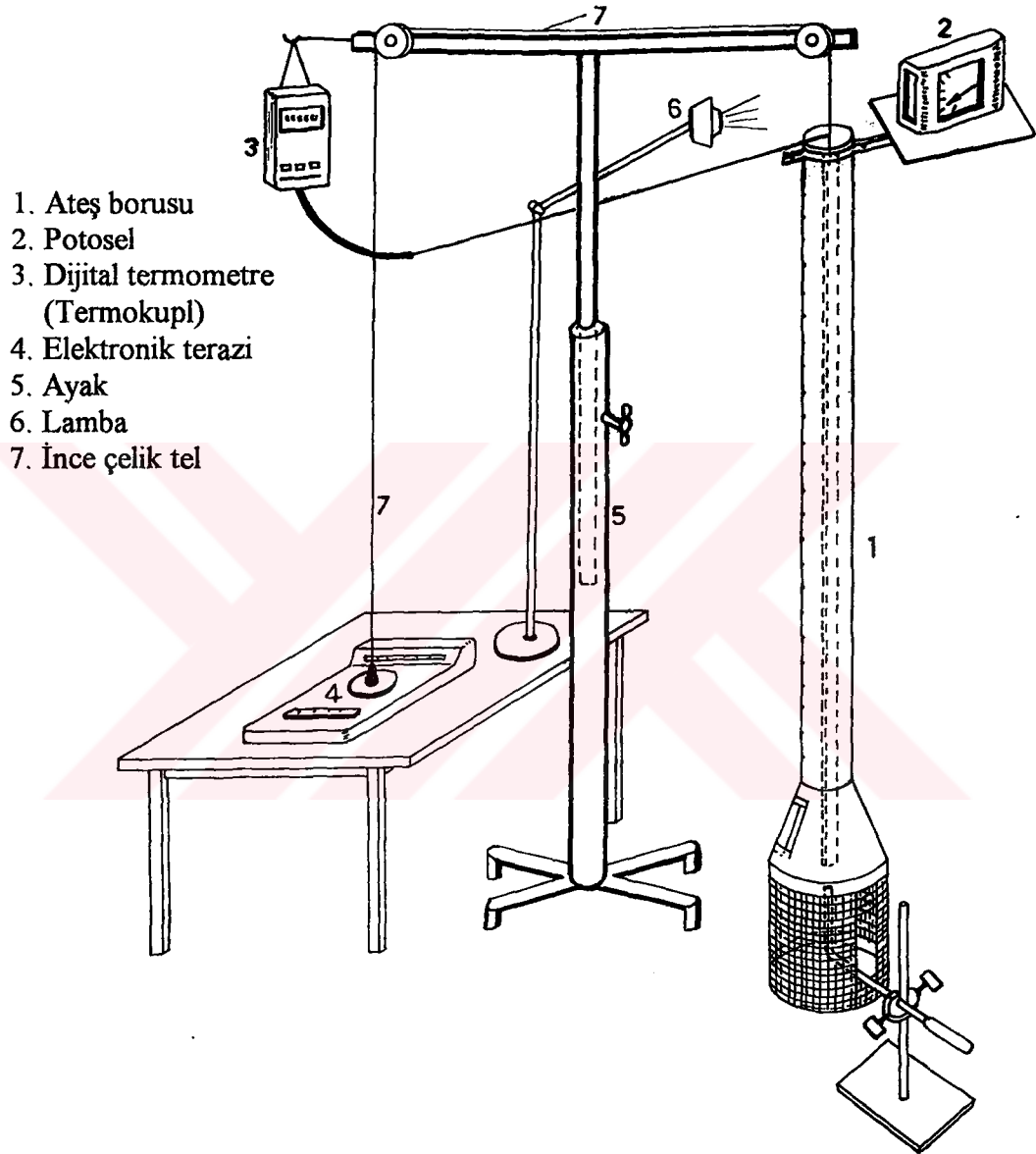
Ateş borusunun yukarıdan 18 inci delik hizasında çelik telden yapılmış bir halka yukarıdan asılı bulunan deney parçasını deney esnasında alt taraftan tespit etmektedir. Ateş borusu aletinde terazinin diğer koluna dengeyi sağlamak üzere ağırlık yerleştirilmiş bulunmaktadır. Terazinin ortada bulunan miline bağlı bir ibre yardımı ile alt tarafta bir karton üzerine %10 aralıklarla %0 dan %100 e kadar çizilmiş bir kadran üzerinde yanma esnasında deney parçasında meydana gelen ağırlık kaybı okunmaktadır(Berkel, 1972 ve ASTM-E-69).

Ancak, bu yöntemin klasik olduğu ve hassas ölçüm yapamayacağı düşünülerek, deney standında bir değişiklik yapılarak, ağaç malzemede yanmadan dolayı meydana gelen ağırlık kaybı ölçümü Şekil 3.6’da gösterildiği şekilde analitik hale getirildi. Bu amaçla 0.01 g duyarlılıkta ölçüm yapabilen bir elektronik teraziden faydalanılmıştır. Ateş borusunun üst tarafına termokupl (termoelementler) yerleştirilerek malzemenin yakılmasıyla meydana gelecek sıcaklık değişimi tespit edildi. Ayrıca, deney örneklerinin yanmasıyla birlikte ortaya çıkan dumanın yoğunluğunu ölçmek için bir lamba ile bir fotosel (Photocell) yerleştirildi.

Yanma deneyleri, hava cerayanı olmayan bir odada, sadece gazlar ve dumanı dışarı atacak kadar bir havalandırma sağlayan çeker ocak altında gerçekleştirildi.



Şekil 3.5 Ateş Borusu Cihazı.



Şekil 3.6 Yanma Deneyinin Yapılışı

3.3.4.2 Yanma Deneylerinin Yapılması

Emprenye edilen ve absorbe ettiği emprenye miktarı belirlenmiş olan deney örnekleri ASTM-E 69'a göre yanma deneylerine tabi tutuldu. Bunun için %7 rutubetteki ağaç malzeme Ateş borusu içerisine dikey olarak asıldıktan sonra, alt tarafta bulunan gaz ocağının ağzı ile malzemenin alt ucu arasında açıklık ayarlanıp, standard gaz alevinin malzemeyle teması sağlanarak yanma deneyi başlatıldı ve aşağıdaki ölçümler yapıldı.

3.3.4.2.1 Ağırlık kaybı

Yanmayla birlikte ağaçta oluşan ağırlık kayıbları alev kaynaklı ve alev kaynaklız olarak iki şekilde tesbit edildi. Bunlar;

3.3.4.2.1.1 Alev kaynaklı yanma

Yanma deneyinin başlamasıyla birlikte her 1/2 dakikada ağaçta meydana gelen ağırlık kaybı bir analitik terazi yardımıyla tesbit edildi. Bu amacla, 0.01 duyarlılıkta 3 kg' ma kadar tartım yapabilen bir analitik terazi kullanıldı.

3.3.4.2.1.2 Alev kaynaklı yanma

Deneyin başlamasından 4 dakika sonra gaz ocağı Ateş borusu içerisinden dışarıya alındı ve ağaç malzemenin alev kaynaklı olarak yanması sırasında oluşan ağırlık kaybı her 1/2 dakikada tesbit edilerek kayıt edildi.

3.3.4.2.2 Sıcaklık artışı

Deney esnasında Ateş borusunun üst tarafı içinde yanmayla oluşan sıcaklık değişimleri alev kaynaklı yanma ve alev kaynaklı yanma sırasında ayrı ayrı tesbit edildi.

3.3.4.2.2.1 Alev kaynaklı yanma

Deneyin başlamasından gaz ocağının Ateş borusu dışına alınana kadar geçen 4 dakikalık süre içerisinde Ateş borusunun üst tarafı içinde meydana gelen sıcaklık değişimleri her 1/2 dakikada 1200 °C sıcaklığa kadar ölçüm yapabilen termokupl yardımıyla kaydedildi. Böylelikle Ateş borusu üst ucu iç kısmında meydana gelen maksimum sıcaklık, bu maksimum sıcaklığa erişilme zamanı, sıcaklığın zamanla değişimi belirlenmiştir.

3.3.4.2.2.2 Alev kaynaklı yanma

Gaz ocağının Ateş borusu dışına alınarak ağacın kendi kendine yanması son bulana kadar ölçümler alev kaynaklı yanmada olduğu gibi yapıldı.

3.3.4.2.3 Işık (Duman) yoğunluğu

Alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanmada oluşan duman yoğunluğunun ölçümü ayrı ayrı yapıldı.

3.3.4.2.3.1 Alev kaynaklı yanma

Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, bir fotosel yardımıyla yanma bacasına 60 cm uzaklıktaki 1000 mumluk ışık kaynağından, çıkan dumana göre algılama yapacak bir doğrultuda yanma bacasından 30 cm uzaklığa yerleştirilen fotosel algılayıcının bir ibreye aktarılan lux birimli ışık miktarı esas alınarak belirlendi.

3.3.4.2.3.2 Alev kaynaksız yanma

Gaz ocağının Ateş borusundan uzaklaştırılmasından sonra ağacın kendi kendine yanması son bulana kadar alev kaynaklı yanmada olduğu gibi ışık yoğunluğunun tesbiti yapıldı.

3.3.4.2.4 Kül ve yanmamış parça ağırlığı

Deney örneği, alev ve kor halinde yanması bitmeden yerinden oynatılmamıştır. Alevli ve korlu hali sona erdikten sonra örneğe ait yanan ve yere düşen kısımlar da dahil tüm parçalar toplanarak tartıldı.

3.3.5 İstatistik Uygulama

Deneylelerden elde edilen verilerin istatistiksel analizlerinde, SPSS/PC istatistik paket programı kullanıldı. Bu programda; varyans analizi, 3 ayrı faktörün (Ağaç malzeme, emprenye yöntemi ve kimyasal maddenin) alev kaynaklı yanmada ve alev kaynaksız yanmada ağırlık kaybı, sıcaklık değişimi ve duman yoğunluğu üzerine etkilerini test etmek amacıyla yapıldı. Faktöriyel varyans analizi etkileri, interaksiyonun $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı görülmesi üzerine $LSD \pm 0.05$ kritik değerleri kullanılarak ikili karşılaştırmalar yapıldı.

4. BULGULAR

4.1 Çözelti pH'sı ve yoğunluğu

Deney örneklerinin emprenyesinde kullanılan çözeltilerin özelliklerinin belirlenmesine ilişkin yapılan ölçüm sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Deney Örneklerinin Emprenyesinde Kullanılan Çözeltilerin Özellikleri

Emprenye Maddesi	Çözelti Konsant. (%)	Ph		Yoğunluk	
		*EÖ	*ES	EÖ	ES
Na₂B₄O₇	4.78	11.2	11.3	1.024	1.024
Na₂SO₄	48.97	4.60	4.64	1.120	1.120
KNO₃	24.25	8.12	8.10	1.050	1.050
ZnSO₄·7H₂O	24.06	4.14	4.14	1.287	1.287
Cu₂SO₄	13.95	4.50	4.50	1.147	1.147

*Emprenye Öncesi/sonrası

Çözücü madde damıtık su
Sıcaklık 20 °C

Tablo 4.1 incelendiğinde çözeltilerin emprenye öncesi ve sonrasında ölçülen pH değerlerinde ve yoğunluklarında önemli bir değişim olmadığı görülür.

pH'sı 7.00'ın üzerinde olan emprenye çözeltileri sırasıyla; Boraks (11.3) ve Potasyum nitrat (8.10) oldukları belirlenmiştir.

Emprenye öncesi ve sonrası çözelti yoğunlukları arasında tüm emprenyelerde herhangi bir değişim olmamıştır. Bu durum her emprenyede taze çözeltiyle çalışmaktan kaynaklanmış olabilir.

4.2 Retensiyon (Net Kuru Emprenye Maddesi Tutma Miktarı) Oranları

4.2.1 Kayın odunun Retensiyon Oranı

Doğu kayını odunu deney örneklerinin değişik emprenye yöntemlerine göre çeşitli kimyasal madde çözeltileriyle emprenye edilmesi sonucu elde edilen retensiyon oranları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Kayın odununun tam kuru ağırlığına göre % retensiyon oranı.

Kimyasal Madde	% retensiyon		
	* I.Emprenye	**II Emprenye	***III Emprenye
Cu_2SO_4	1.77	43.25	47.22
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.75	60.25	121.32
Na_2SO_4	1.99	58.85	51.82
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	1.05	26.72	27.77
KNO_3	6.96	56.47	111.38

* Uzun Süreli Daldırma (36 saat).

** Dolu Hücre Metodu (30 dakika vakum 30 dakika basınç).

*** Dolu Hücre Metodu (1 saat vakum 1 saat basınç).

Tablo 4.2 sonuçlarına göre;

1. Kimyasal maddelerin malzeme içerisindeki tutunma oranları (retensiyon) tam kuru ağırlığına göre % 1.05 - 111.38 arasında değişmektedir.

2. En yüksek tutunma oranı 1 saat vakum 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Potasyumnitratta (KNO_3) gerçekleşirken, en az tutunma uzun süreli daldırma metotunda Boraksta ($Na_2B_4O_7$) gerçekleşmiştir.

3. Retensiyon yüzdesi bakımından çoktan aza doğru aşağıdaki homejenlik gruplarının oluştuğu tespit edildi..

a. Potasyum nitrat(KNO_3),

b. Çinko sülfat($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$),

c. Sodyum sülfat(Na_2SO_4)

d. Bakır sülfat(Cu_2SO_4),

e. Boraks($Na_2B_4O_7$),

4.2.2 Sarıçam odununun Retensiyon Oranı

Sarıçam odunu deney örneklerinin değişik emprenye yöntemlerine göre çeşitli kimyasal madde çözeltileriyle emprenye edilmesi sonucu elde edilen retensiyon oranları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Sarıçam odununun tam kuru malzeme ağırlığına oranla % retensiyon oranları.

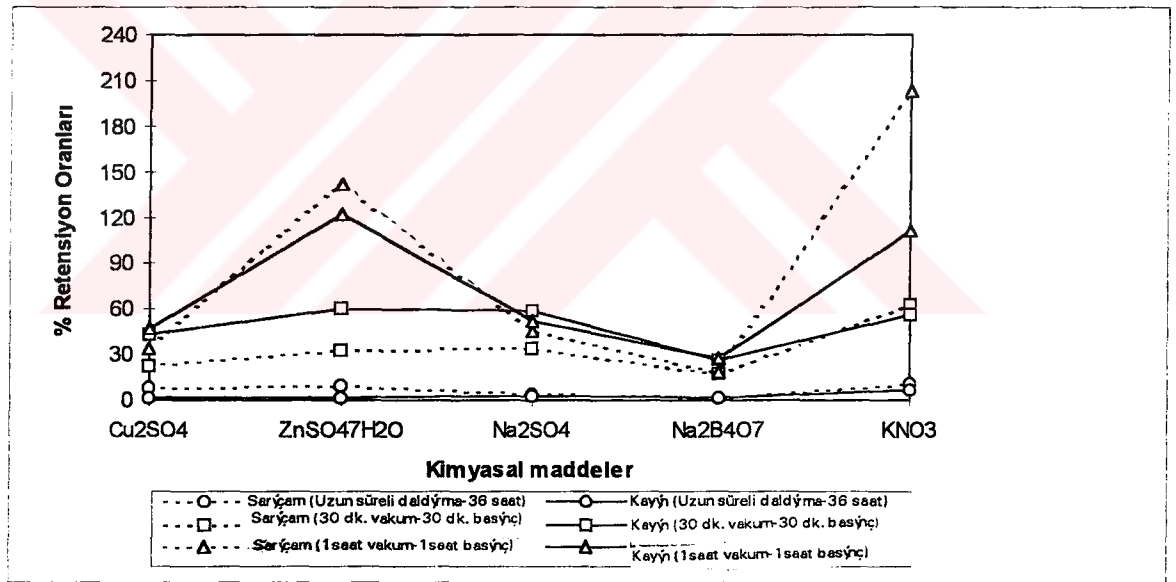
Kimyasal Madde	% retensiyon		
	* I.Emprenye	**II Emprenye	*** Emprenye
Cu₂SO₄	8.45	22.37	34.39
ZnSO₄7H₂O	9.11	33.35	141.36
Na₂SO₄	3.90	34.05	46.43
Na₂B₄O₇	1.09	17.63	18.43
KNO₃	10.71	63.09	203.10

Tablo 4.3 incelendiğinde;

1. Kimyasal maddelerin sarıçam odunu içerisindeki tutunma oranları (retensiyon) tam kuru malzeme ağırlığına oranla % 1.09 - 203.10 arasında değişmektedir.
2. En yüksek tutunma oranı 1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Potasyum nitratta (KNO₃) gerçekleşirken, en az tutunma uzun süreli daldırma metotunda Boraksta (Na₂B₄O₇) gerçekleşmiştir.
3. Retensiyon yüzde oranları bakımından çoktan aza doğru aşağıdaki homejenlik gruplarının olduğu tespit edilmiştir.

- a. Potasyum nitrat(KNO_3), b. Çinko sülfat($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$),
- c. Sodyum sülfat(Na_2SO_4) d. Bakır sülfat(Cu_2SO_4),
- e. Boraks($Na_2B_4O_7$),

Bu sıralama Kayın odununun empenyesinden elde edilen sıralamayla aynı olup retensiyon oranları sarıçamda daha büyüktür (Şekil 4.1). Buna göre sarıçam odununun kayın odununundan daha iyi empenye edilebileceği söylenebilir.



Şekil 4.1 Sarıçam ve kayında % retensiyon oranları

4.3 Yanma Deneyleri

4.3.1 Ağırlık kaybı

4.3.1.1 Alev kaynaklı yanma

Sarıçam ve Kayında alev kaynaklı yanma sırasında oluşan ağırlık kayıpları Tablo 4.4, 4.5, 4.6 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.4 Sarıçam ve Kayında ağırlık kaybına kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaklı yanma etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Ölçüm deney türü	Kaynak	Karaler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kare	F değeri	$\alpha=0.05$ P
Ağırlık Kaybı	Ağaç mal	2856.943	1	2856.943	104.950	0.0
	Kimyasal mad	118.416	4	29.604	1.088	0.363
	Emprenye Yön.	42138.953	3	14046.318	515.993	0.0
	Alev kay - Alev kay.sız yanma	15970.500	1	15970.500	586.678	0.000
	Ağaç mal - Kim mad.	172.354	4	43.089	1.583	0.179
	Ağaç mal -Emp. Yön.	1684.894	3	561.631	20.632	0.0
	Ağaç mal -Alev kay-	334.108	1	334.108	12.273	0.001
	Alev kay.sız yanma	1384.266	12	115.356	4.238	0.000
	Kim mad.-Emp. Yön.	560.758	4	140.189	5.150	0.001
	Kim mad.- Alev kay-	560.758	4	140.189	5.150	0.001
	Alev kay.sız yanma	560.758	4	140.189	5.150	0.001
	Emp.Yön.-Alev kay-	3435.673	3	1145.224	42.070	0.0
	Alev kay.sız yanma	3435.673	3	1145.224	42.070	0.0
	Ağaç mal-Kim mad-Emp Yön.	1030.303	12	85.859	3.154	0.000
	Ağaç mal-Kim mad-Alev kay-Alev kay.sız yanma	192.303	4	48.076	1.766	0.136*
	Ağaç mal-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	160.912	3	53.637	1.970	0.118
	Kim mad-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	867.678	12	72.306	2.656	0.002
	Ağaç mal-Kim mad-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	424.141	12	35.345	1.289	0.218
	Toplam	79572.724	377	211.068		

*Anlamsız çıkmıştır.

Ağırlık kaybına, ağaç malzeme, kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaklı yanmanın etkisi %5 hata payı ile istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır.

Tablo 4.5'e göre; en fazla ağırlık kaybı Daldırma Metotunda KNO_3 emprenye maddesiyle 18.34 g olarak gerçekleşmiştir. Bu değer kontrol örneğinden daha büyük olup, KNO_3 emprenye maddesi kullanılarak Daldırma yöntemiyle yapılan emprenye işlemleri sarıçam odunu için yangına karşı koruyucu olamaz. Daldırma yönteminde tespit edilen en küçük değer Cu_2SO_4 emprenye maddesinde 10.61 g olarak gerçekleşmiştir.

Dolu hücre metotunda (1 saat vakum - 1 saat basınç) en küçük değer Na_2SO_4 emprenye maddesiyle 1.01 g olarak gerçekleşmiştir. Bu değer kontrol örneğinin % 6.08'ü kadardır. Yani Na_2SO_4 ile Dolu hücre metoduyla emprenye edilen sarıçam odunu emprenyesiz malzemeye göre % 6.08 oranında daha az ağırlık kaybetmektedir. Bu yöntemde en yüksek değer Cu_2SO_4 emprenye maddesinde 3.99 g olarak gerçekleşmiştir.

30 dakika vakum-30 dakika basınç şeklinde uygulanan Dolu hücre metotunda ise en küçük değeri 1.21 g ile Na_2SO_4 emprenye maddesi verirken en büyük değer 5.29 g ile Zn SO_4 emprenye maddesinde elde edilmiştir.

Tablo 4.5 Sarıçam odununun alev kaynaklı (ilk 4 dakika) yanma sırasında ağırlık kayıpları (g).

Kimyasal Madde	Kontrol örneği \bar{X}	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	16.61	a	10.61	1.80	c	3.99	1.12	b	2.22	1.47	ab
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	16.61	a	13.07	1.89	bc	2.57	0.43	ab	3.98	1.63	ab
Na_2SO_4	16.61	a	14.60	1.07	b	1.01	0.47	a	1.21	0.83	b
KNO_3	16.61	a	18.34	2.17	a	1.49	0.62	a	1.76	0.87	b
ZnSO_4	16.61	a	12.83	1.95	bc	2.15	1.23	a	5.29	0.67	a

Not: Grup içi benzer harfler, istatistik bakımından anlamsız (farksız), farklı olanlar ise anlamlıdır.

\bar{X} : Ortalama

$S\bar{x}$: Standart hata

Kayın için ağırlık kayıpları tablo 4.6'da verilmiştir. Buna göre; her 30 sn de yapılan ölçümlerde, kontrol örneğine göre en fazla ağırlık kaybı Daldırma yönteminde KNO_3 emprenye maddesiyle (22.32 g), en küçük değer ise Cu_2SO_4 emprenye maddesiyle (15.56 g) gerçekleşmiştir.

1 saat vakum ve 1 saat basınç uygulanan emprenye yönteminde en az ağırlık kaybı (1.26 g) Na_2SO_4 ile gerçekleşirken, en fazla ağırlık kaybı KNO_3 emprenye maddesinde (2.75 g) elde edilmiştir.

30 dk vakum ve 30 dk basınç uygulama halinde en az ağırlık kaybı (1.21 g) Na_2SO_4 ile gerçekleşirken, en fazla ağırlık kaybı KNO_3 emprenye maddesinde (8.49 g) meydana gelmiştir.

Tablo 4.6 Kayın odununun alev kaynaklı (ilk 4 dakika) yanma sırasında ağırlık kayıpları (g).

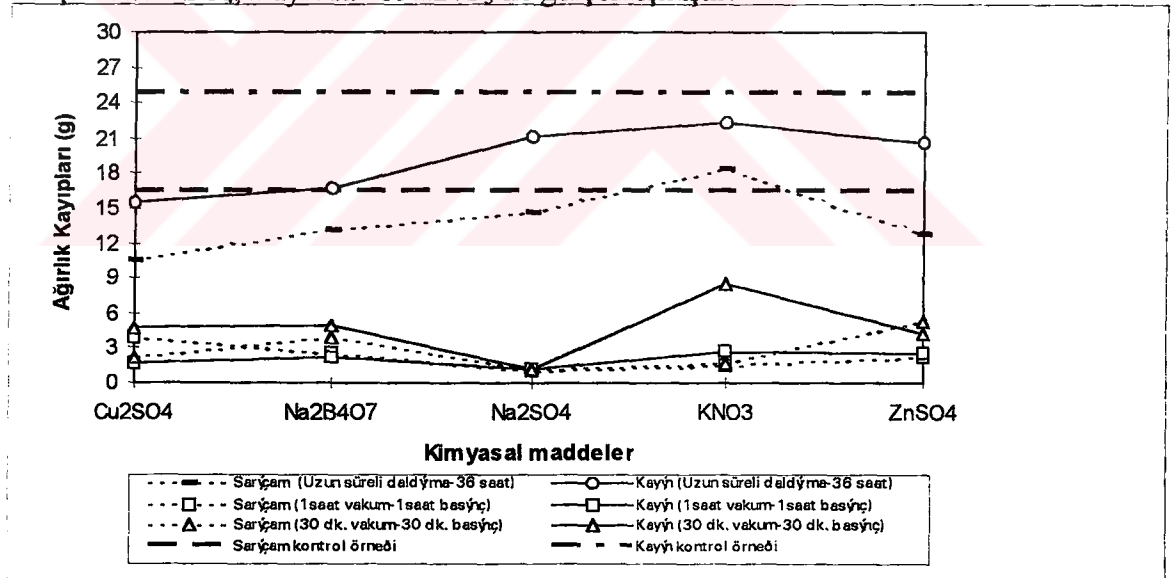
Kimyasal Madde	Kontrol örneği \bar{X}	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	24.85	a	15.56	0.52	b	1.73	0.37	b	4.84	1.32	b
$Na_2B_4O_7$	24.85	a	16.73	0.85	b	2.26	0.18	ab	4.96	1.35	b
Na_2SO_4	24.85	a	21.20	2.92	a	1.26	0.59	a	1.21	0.34	c
KNO_3	24.85	a	22.32	1.14	a	2.75	1.23	a	8.47	0.76	a
$ZnSO_4$	24.85	a	20.56	1.89	a	2.60	0.90	a	4.25	1.74	bc

Şekil 4.2'de her 30 sn' de tespit edilen ağırlık kaybına göre yapılan karşılaştırmada;

1. Daldırma yöntemi ile emprenye edilen sarıçam ve kayın odunlarında KNO_3 yanmayı geciktirme bakımından en az etkili olmuş, en az ağırlık kaybı Cu_2SO_4 ile emprenye edilen sarıçam ve Kayın odununda elde edilmiştir.

2. 1saat vakum- 1 saat basınç uygulanan emprenye yönteminde, her iki malzemede de en az ağırlık kaybı Na_2SO_4 ile gerçekleşirken en fazla ağırlık kaybı sarıçamda Cu_2SO_4 , Kayın odununda ise KNO_3 ile gerçekleşmiştir.

3. 30 dakika vakum-30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en az ağırlık kaybı her iki örnekte de Na_2SO_4 ile gerçekleşirken en fazla ağırlık kaybı sarıçamda ZnSO_4 , Kayında ise KNO_3 ile gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2 Sarıçam ve Kayında alev kaynaklı yanma sırasında oluşan ağırlık kayıpları

4.3.1.2 Alev kaynaksız yanma

Sarıçam ve Kayın için alev kaynaksız yanma sırasında oluşan ağırlık kayıpları tablo 4.7, 4.8 ve şekil 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.7 incelendiğinde; Daldırma yöntemiyle emprenye edilen sarıçamda en fazla ağırlık kaybı (34.43 g) Cu_2SO_4 en az ağırlık kaybı (24.48 g) ZnSO_4 ile elde edilmiştir.

1 saat vakum-1saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en az ağırlık kaybı (3.96 g) ZnSO_4 en fazla ağırlık kaybı Cu_2SO_4 ile (12.15 g) olarak gerçekleşmiştir.

30 dakika vakum-30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en az ağırlık kaybı 4.68 g olarak Na_2SO_4 , en fazla ağırlık kaybı 22.60 g olarak ZnSO_4 ile gerçekleşmiştir. Buna göre ZnSO_4 1 saat vakum-1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda, yanma hızının göstergesi olan ağırlık kaybına karşı en etkili emprenye maddesi olurken diğer yöntemlerde en etkisizler arasındadır.

Tablo 4.7 Sarıçam odunu için alev kaynaksız (ilk 4 dakika sonunda) yanma sırasında ağırlık kayıpları (g).

Kimyasal Madde	Kontrol örneği \bar{X}	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$	
Cu_2SO_4	33.69	a	34.43	2.58	a	12.15	3.24	a	7.73	4.50	c
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	33.69	a	27.98	2.35	bc	5.81	1.30	bc	15.87	6.88	b
Na_2SO_4	33.69	a	30.00	1.94	b	8.01	2.10	b	4.68	3.95	c
KNO_3	33.69	a	26.45	1.55	cd	4.63	1.88	c	4.95	2.06	c
ZnSO_4	33.69	a	24.48	1.39	d	3.96	2.44	c	22.60	7.74	a

Tablo 4.8 incelendiğinde; kayında, Daldırma yönteminde en fazla ağırlık kaybı Na_2SO_4 ile (46.06 g), en az ağırlık kaybı (32.72 g) ZnSO_4 ile gerçekleşmiştir.

1 saat vakum-1 saat basınç şeklinde uygulanan Dolu hücre metotunda en az ağırlık kaybı (3.69 g) Cu_2SO_4 ile gerçekleşirken, en fazla ağırlık kaybı (13.46 g) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile gerçekleşmiştir.

30 dakika vakum-30 dakika basınç şeklinde uygulanan Dolu hücre metotunda ise en az ağırlık kaybı (4.11 g) Na_2SO_4 ile gerçekleşirken en fazla ağırlık kaybı (28.41 g) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile gerçekleşmiştir.

Tablo 4.8 Kayın odunu için alev kaynağısız (ilk 4 dakika sonunda) yanma sırasında ağırlık kayıpları (g).

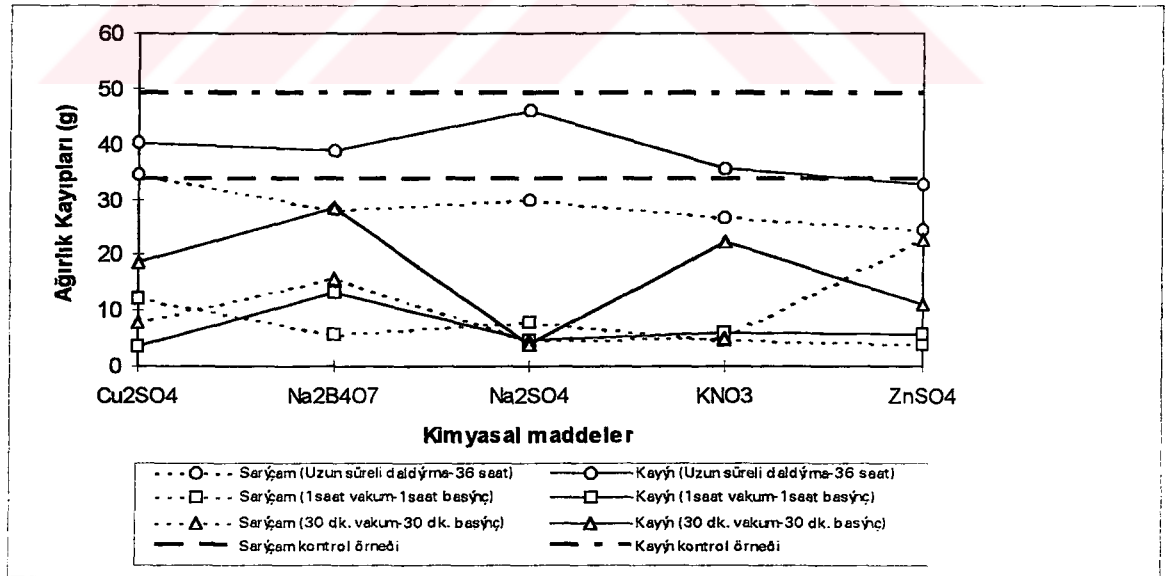
Kimyasal Madde	Kontrol örneği \bar{X}	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	49.14	a	40.18	1.22	b	3.69	0.85	b	18.82	5.03	c
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	49.14	a	38.91	2.05	b	13.46	3.98	a	28.41	4.25	a
Na_2SO_4	49.14	a	46.06	2.91	a	4.58	2.50	b	4.11	1.83	e
KNO_3	49.14	a	35.74	2.06	c	6.15	2.82	b	22.18	1.27	b
ZnSO_4	49.14	a	32.72	4.81	d	5.82	2.21	b	11.28	5.06	d

Şekil 4.3'de alev kaynağısız yanma sırasında tespit edilen ağırlık kayıplarına göre sarıçam ve kayın odunlarının karşılaştırılması;

1. Daldırma yönteminde her iki malzemede de en az ağırlık kaybı $ZnSO_4$ ile en fazla ağırlık kaybı sarıçamda Cu_2SO_4 ile, Kayın odununda ise Na_2SO_4 ile gerçekleşmiştir.

2. 1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en az ağırlık kaybı sarıçam odununda $ZnSO_4$ ile gerçekleşirken Kayın odununda Cu_2SO_4 ile gerçekleşmiştir. Bu yöntemde en fazla ağırlık kaybı sarıçamda Cu_2SO_4 ile kayında ise $Na_2B_4O_7$ ile gerçekleşmiştir.

3. 30 dakika vakum-30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre yönteminde ise en fazla ağırlık kaybı sarıçamda $ZnSO_4$ ile gerçekleşirken Kayında $Na_2B_4O_7$ ile gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3 Sarıçam ve Kayında alev kaynaksız yanma sırasında oluşan ağırlık kayıpları(g)

Alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanma esnasında meydana gelen ağırlık kayıplarına göre yapılan karşılaştırmada;

Alev kaynaklı yanmada sarıçamda en az ağırlık kaybı 1 saat vakum-1saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Na_2SO_4 ile olurken alev kaynaksız yanmada en az ağırlık kaybı yine 1 saat vakum -1saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ZnSO_4 ile gerçekleşmiştir.

Kayında ise alev kaynaklı yanmada en az ağırlık kaybı 30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Na_2SO_4 ile gerçekleşirken alev kaynaksız yanmada 1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Cu_2SO_4 ile gerçekleşmiştir.

4.3.2 Sıcaklık Ölçümleri

4.3.2.1 Alev Kaynaklı Yanma

Sarıçam ve Kayında alev kaynaklı yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 4.9, 4.10, 4.11 ve Şekil 4.4'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Sarıçam ve Kayında sıcaklık artışına kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanma etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Ölçüm deney türü	Kaynak	Karalar toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kare	F değeri	$\alpha=0,05$ P
Sıcaklık Artışı	Ağaç mal	8316.528	1	8316.528	3.296	0.070
	Kimyasal mad	179553.675	4	44888.419	17.788	0.0
	Emprenye Yön.	6695302.101	3	2231767.367	884.399	0.0
	Alev kay - Alev kay.sız yanma	4598325.389	1	4598325.389	1822.213	0.000
	Ağaç mal - Kim mad.	103417.438	4	25854.359	10.245	0.000
	Ağaç mal -Emp. Yön.	40203.367	3	13401.122	5.311	0.001
	Ağaç mal -Alev kay-	16632.809	1	16632.809	6.591	0.011
	Alev kay.sız yanma	199559.029	12	16629.919	6.590	0.0
	Kim mad.-Emp. Yön.	190703.965	4	47675.991	18.893	0.0
	Kim mad.- Alev kay-	2725618.026	3	908539.342	360.034	0.0
	Alev kay.sız yanma					
	Ağaç mal-Kim mad-Emp Yön.	112868.501	12	9405.708	3.727	0.000
	Ağaç mal-Kim mad-Alev kay-Alev kay.sız yanma	54973.199	4	13743.300	5.446	0.000
	Ağaç mal-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	51156.269	3	17052.090	6.757	0.000
	Kim mad-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	339618.067	12	28301.506	11.215	0.0
	Ağaç mal-Kim mad-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	104246.319	12	8687.193	3.443	0.000
	Toplam	16175755.805	377	42906.514		

Sıcaklık artışına ağaç malzeme, kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanma %5 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır.

Tablo 4.10 incelendiğinde; Sarıçamda, daldırma yöntemiyle emprenyede en düşük sıcaklık değeri (359.55 °C) Cu_2SO_4 ile gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri (696.76 °C) ZnSO_4 ile gerçekleşmiştir.

1 saat vatum-1 saat basınç Dolu hücre metotunda en düşük sıcaklık değeri (127.75 °C) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri (347.15 °C) Na_2SO_4 ile gerçekleşmiştir.

30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise en düşük sıcaklık değeri (164.38 °C) Cu_2SO_4 ile gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri (292.88 °C) Na_2SO_4 ile gerçekleşmiştir.

Tablo 4.10 Sarıçam odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (oC).

Kimyasal Madde	Kontrol örneği \bar{X}	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	702.62	a	359.55	26.64	e	165.95	19.65	bc	164.38	21.98	c
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	702.62	a	602.05	27.98	c	127.75	4.84	d	185.25	54.46	bc
Na_2SO_4	702.62	a	643.11	11.14	b	347.15	20.62	a	292.88	20.54	a
KNO_3	702.62	a	502.88	27.15	d	183.45	20.01	b	196.41	20.30	bc
ZnSO_4	702.62	a	696.76	18.86	a	148.47	17.68	cd	205.34	19.20	b

Tablo 4.11 incelendiğinde; Kayında daldırma yöntemiyle emprenyede en düşük sıcaklık değeri (534.05 °C) KNO_3 ile gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri (698.63 °C) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile gerçekleşmiştir.

1 saat vakum-1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en düşük sıcaklık değeri (129.07 °C) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri (240.97 °C) Na_2SO_4 ile gerçekleşmiştir.

30 dakika vakum- 30 basınç dakika uygulanan Dolu hücre metotunda ise en düşük sıcaklık değeri (169.57 °C) KNO_3 ile gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri (224.34 °C) Na_2SO_4 ile gerçekleşmiştir.

Tablo 4.11 Kayın odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (°C).

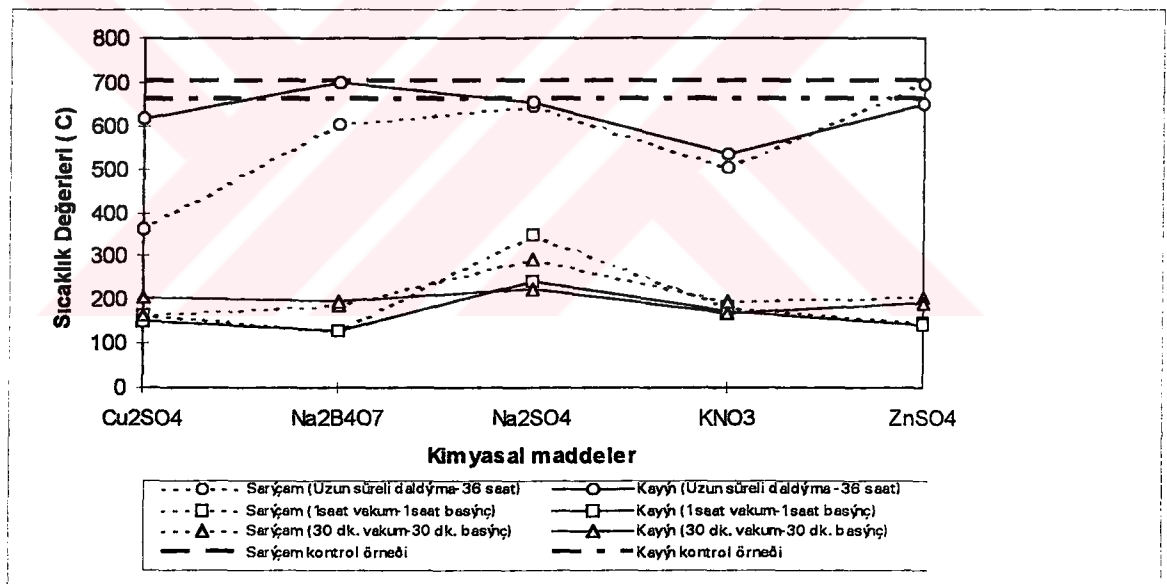
Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	664.61	a	615.68	11.52	ab	149.85	4.96	bc	203.62	28.79	ab
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	664.61	a	698.63	15.15	b	129.07	9.46	c	198.72	30.43	abc
Na_2SO_4	664.61	a	654.89	13.00	a	240.97	36.52	a	224.34	21.76	a
KNO_3	664.61	a	534.05	7.10	c	175.87	15.95	b	169.57	12.74	c
ZnSO_4	664.61	a	649.53	6.61	a	142.02	17.15	c	189.90	9.79	bc

Şekil 4.4'de alev kaynaklı yanma esnasında oluşan sıcaklıklara göre sarıçam ve kayın odunlarını karşılaştırdığında;

1. Daldırma yöntemine göre emprenye edilen sarıçamda en düşük sıcaklık değeri Cu_2SO_4 ile Kayında ise KNO_3 ile emprenyede elde edilmiştir. En yüksek sıcaklık değeri sarıçamda ZnSO_4 ile, Kayında $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ emprenyede oluşmuştur.

2. 1 saat vakum-1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en düşük sıcaklık değeri her iki malzemede de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile emprenyede gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri Na_2SO_4 ile emprenyede gerçekleşmiştir. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ Daldırma yönteminde sıcaklık artışına karşı en etkisiz iken, 1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en etkili olmuştur.

3. 30 dakika vakum- 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise sarıçamda en düşük sıcaklık değeri Cu_2SO_4 ile emprenyede, Kayında KNO_3 ile gerçekleşmiştir. Her iki örnekte de en yüksek sıcaklık değeri Na_2SO_4 ile emprenyede elde edilmiştir.



Şekil 4.4 Sarıçam ve Kayında alev kaynaklı yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri

4.3.2.2 Alev Kaynaksız Yanma

Alev kaynaksız yanmada Sarıçam ve Kayında ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 4.12, 4.13 ve Şekil 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.12'ye göre, Sarıçamda; daldırma yöntemiyle emprenyede en yüksek sıcaklık değeri (324.30 °C) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile gerçekleşirken, en düşük sıcaklık değeri (188.97 °C) ZnSO_4 ile gerçekleşmiştir.

1 saat vakum -1 saat basınç şeklinde uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek sıcaklık değeri (176.15 °C) Na_2SO_4 ile, en düşük değeri (76.47 °C) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ile elde edilmiştir.

30 dakika vakum- 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek değeri (259.58 °C) ZnSO_4 , en düşük değeri (101.82 °C) KNO_3 vermiştir.

Tablo 4.12 Sarıçam Odunu için alev kaynaksız (ilk 4 dakikada sonunda) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (°C).

Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$	
Cu_2SO_4	215.13	a	300.13	18.66	ab	101.58	3.24	b	125.31	27.32	bc
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	215.13	a	324.30	7.02	a	76.47	4.86	b	144.00	50.26	b
Na_2SO_4	215.13	a	282.38	37.56	b	176.15	16.26	a	244.04	70.04	a
KNO_3	215.13	a	310.91	6.69	a	105.23	11.26	b	101.82	21.16	c
ZnSO_4	215.13	a	188.97	14.66	c	82.90	4.49	b	259.58	30.39	a

Tablo 4.13 incelendiğinde; Kayında; daldırma yönteminde en yüksek sıcaklık değerini (329.71 °C) KNO_3 , en düşük sıcaklık değerini (170.38 °C) ZnSO_4 vermiştir.

1 saat vakum-1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek sıcaklık değerini (206.62 °C) Na_2SO_4 , en düşük sıcaklık değerini (75.92 °C) olarak ZnSO_4 vermiştir.

30 dakika vakum- 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek sıcaklık değerini (289.48 °C) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, en düşük sıcaklık değerini (111.56 °C) KNO_3 vermiştir.

Tablo 4.13 Kayın odunu için alev kaynaksız (ilk 4 dakikada sonunda) yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri (°C).

Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	155.63	a	285.46	14.81	b	92.45	5.00	c	112.75	9.07	b
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	155.63	a	308.14	4.08	ab	133.10	27.06	b	289.48	64.18	a
Na_2SO_4	155.63	a	173.17	16.59	c	206.62	59.18	a	130.88	15.48	b
KNO_3	155.63	a	329.71	10.61	a	89.38	5.45	c	111.56	7.05	b
ZnSO_4	155.63	a	170.38	9.77	c	75.92	5.65	c	115.81	9.08	b

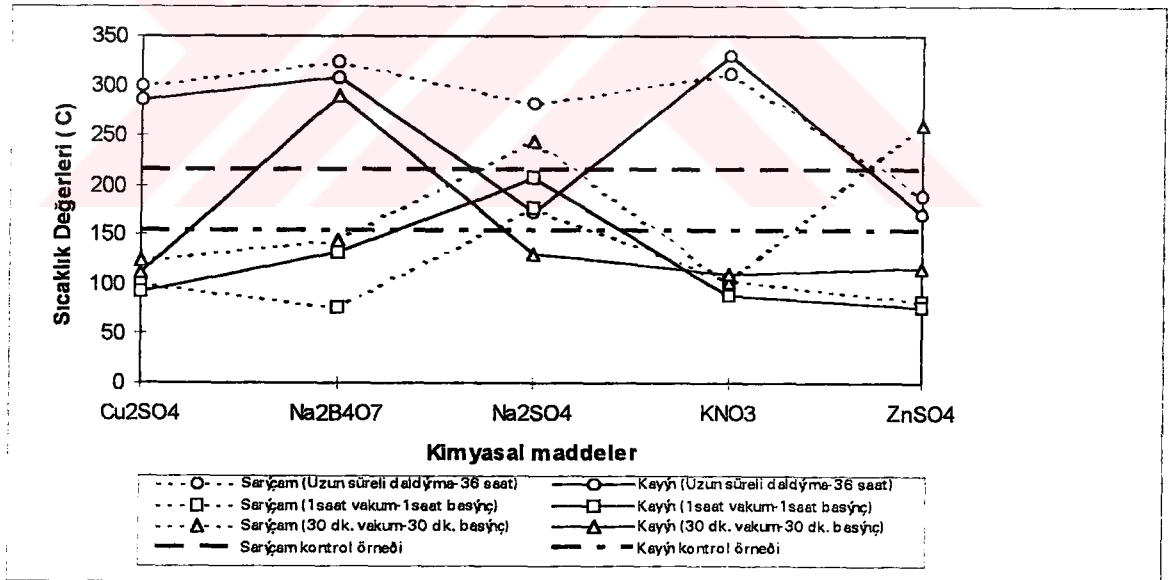
Şekil 4.5'de alev kaynaksız yanma sırasında tespit edilen sıcaklık değerlerine göre sarıçam ve kayın karşılaştırıldığında;

1. Daldırma yönteminde en yüksek sıcaklığı sarıçamda $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ verirken, Kayında KNO_3 vermiştir. Bu yöntemde en düşük sıcaklık değeri her iki malzemede de ZnSO_4 ile elde edilmiştir.

2. 1 saat vatum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda sarıçam ve Kayında en yüksek sıcaklık değerini Na_2SO_4 vermiştir. Bu yöntemde sarıçamda en düşük sıcaklık değerini $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ verirken Kayında ZnSO_4 vermiştir.

3. 30 dakika vakum- 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise en yüksek sıcaklık değerini Sarıçamda ZnSO_4 verirken, Kayında $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ vermiştir. Bu yöntemde en düşük değeri her iki malzemede de KNO_3 vermiştir.

Alev kaynaklı yanmada 1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan dolu hücre yönteminde her iki örnekte de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en etkili olmuştur. Alev kaynaksız yanmada ise sarıçamda 1 saat vakum- 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en etkili olurken, Kayında aynı emprenye metotunun uygulandığı ZnSO_4 en etkili olmuştur.



Şekil 4.5 Sarıçam ve Kayında alev kaynaksız yanma sırasında ölçülen sıcaklık değerleri

4.3.3 Işık Yoğunluğu

4.3.3.1 Alev Kaynaklı Yanma

Alev kaynaklı yanmada Sarıçam ve Kayın için tesbit edilen ışık yoğunluğu değerleri Tablo 4.14, 4.15, 4.16 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.14 Sarıçam ve Kayında ışık yoğunluğuna kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanma etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Ölçüm deney türü	Kaynak	Karaler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kare	F değeri	$\alpha=0.05$ P	
Işık Yoğunlu	Ağaç mal	2432.958	1	2432.958	5.327	0.022	
	Kimyasal mad	6654.567	4	1663.642	3.643	0.006	
	Emprenye Yön.	18582.628	3	6194.209	13.564	0.0	
	Alev kay - Alev kay.sız yanma	988.171	1	988.171	2.164	0.142	
	Ağaç mal - Kim mad.	19512.310	4	4878.077	10.682	0.000	
	Ağaç mal -Emp. Yön.	3018.620	3	1006.207	2.203	0.088	
	Ağaç mal -Alev kay-	1142.005	1	1142.005	2.501	0.115	
	Alev kay.sız yanma	31564.825	12	2630.402	5.760	0.0	
	Kim mad.-Emp. Yön.	8947.553	4	2236.888	4.898	0.01	
	Kim mad.- Alev kay-	19108.849	3	6369.616	13.948	0.0	
	Alev kay.sız yanma	16019.192	12	1334.933	2.923	0.001	
	Ağaç mal-Kim mad-Emp Yön.	1706.035	4	426.509	0.934	0.445	
	Ağaç mal-Kim mad-Alev kay-Alev kay.sız yanma	1967.065	3	655.688	1.436	0.232	
	Ağaç mal-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	12402.037	12	1033.503	2.263	0.009	
	Kim mad-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	5371.592	12	447.633	0.980	0.468	
	Ağaç mal-Kim mad-Emp yön-Alev kay-Alev kay.sız yanma	136090.923	298	456.681			
	Toplam						

Işık yoğunluğuna ağaç malzeme, kimyasal madde, emprenye yöntemi, alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanma %5 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli çıkmamıştır.

Tablo 4.15 incelendiğinde; Sarıçamda, Daldırma yöntemi ile emprenyede en yüksek değer (981.07 lux) Na_2SO_4 ile emprenyede en düşük değer (976.36 lux) ZnSO_4 ile elde edilmiştir. Ancak, bu değerler arasında istatistiksel anlamda farklılık çıkmamıştır.

1 saat vakum-1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek değeri (988.87 lux) KNO_3 verirken, en düşük değeri (972.75 lux) ZnSO_4 vermiştir.

30 dakika vakum- 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise en büyük değeri (985.94 lux) Na_2SO_4 verirken, en düşük değeri (947.19 lux) olarak ZnSO_4 vermiştir.

Tablo 4.15 Sarıçam odunu için alev kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında tespit edilen ışık yoğunluğu (Lux) değerleri.

Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	982.29	a	978.66	2.94	a	985.00	4.84	ab	985.31	1.64	a
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	982.29	a	980.09	0.71	a	980.50	4.14	ab	980.00	2.73	a
Na_2SO_4	982.29	a	981.07	0.59	a	976.25	3.98	ab	985.94	1.86	a
KNO_3	982.29	a	978.22	2.87	a	988.87	5.17	a	983.44	1.11	a
ZnSO_4	982.29	a	976.36	3.23	a	972.75	9.84	b	947.19	27.27	b

Tablo 4.16 incelendiğinde, Kayında ise daldırma yöntemi ile emprenyede en yüksek değeri (981.79 lux) Na_2SO_4 verirken, en düşük değeri (923.48 lux) KNO_3 vermiştir.

1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek değeri (989.00 lux) Cu_2SO_4 verirken, en düşük değeri (949.50 lux) KNO_3 vermiştir.

30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan dolu hücre metotunda ise en yüksek değeri (998.12 lux) Cu_2SO_4 verirken, en düşük değeri (966.56 lux) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ vermiştir.

Tablo 4.16 Kayın odunu için alev Kaynaklı (ilk 4 dakikada) yanma sırasında tespit edilen ışık yoğunluğu (Lux) değerleri.

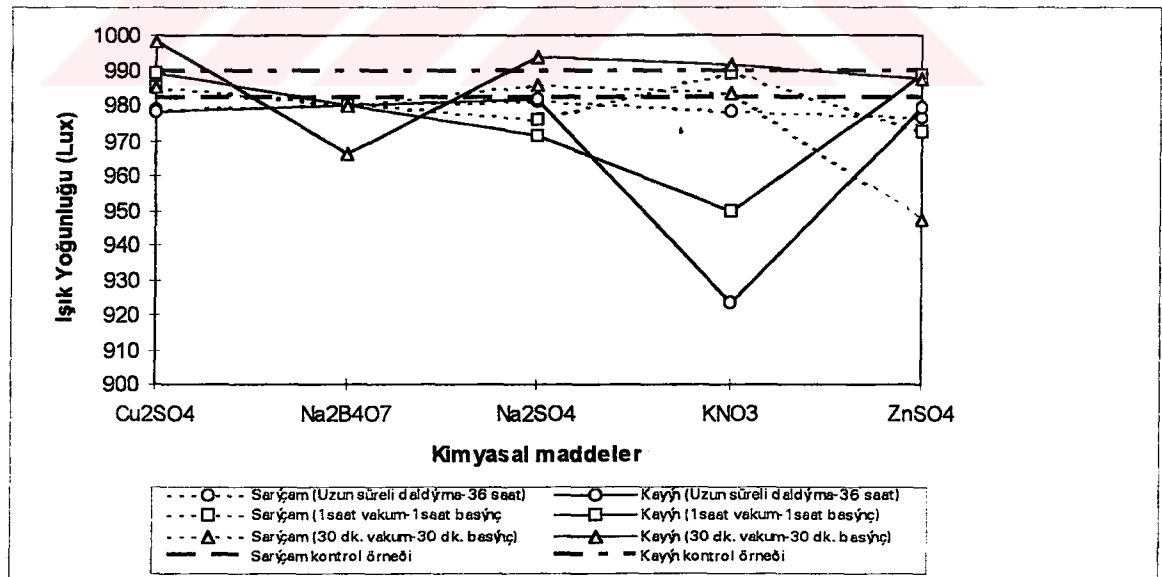
Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$	
Cu_2SO_4	989.58	a	978.57	2.24	a	989.00	2.83	a	998.12	1.14	a
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	989.58	a	979.73	1.27	a	980.00	8.54	ab	966.56	6.93	b
Na_2SO_4	989.58	a	981.79	0.78	a	971.35	4.90	b	993.59	1.98	a
KNO_3	989.58	a	923.48	5.89	b	949.50	16.43	c	991.56	2.04	a
ZnSO_4	989.58	a	979.20	1.20	a	988.50	3.50	a	987.50	4.59	a

Şekil 4.6'da ilk 4 dakika içerisinde alev kaynaklı yanma sırasında her 30 sn.de tespit edilen ışık yoğunluğu değerlerine göre sarıçam ve Kayın karşılaştırıldığında;

1. Daldırma yöntemi ile emprenye edilen her iki tür örnekte de en yüksek değeri Na_2SO_4 verirken, en düşük değeri sarıçamda ZnSO_4 Kayında ise KNO_3 vermiştir.

2. 1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek değeri, Sarıçamda KNO_3 verirken, Kayında Cu_2SO_4 vermiştir. Sarıçamda en düşük değeri ZnSO_4 emprenye maddesi verirken Kayın odununda KNO_3 emprenye maddesi vermiştir.

3. 30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda sarıçamda en yüksek değeri Na_2SO_4 verirken, Kayında Cu_2SO_4 vermiştir. En düşük değeri ise Sarıçamda ZnSO_4 verirken, Kayında $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ vermiştir.



Şekil 4.6 Sarıçam ve Kayında Alev Kaynaklı Yanma Sırasında Tesbit Edilen Işık Yoğunluğu Değerleri

4.3.3.2 Alev Kaynaksız Yanma

Alev kaynaksız yanma sırasında Sarıçam ve Kayında ölçülen ışık yoğunlukları Tablo 4.17, 4.18 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.17 incelendiğinde, Sarıçamda; daldırma yönteminde emprenyede en yüksek değeri (991.85 lux) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ verirken, en düşük değeri (985.48 lux) KNO_3 vermiştir.

1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise en yüksek değeri (992.67 lux) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve ZnSO_4 verirken, en düşük değeri Na_2SO_4 vermiştir.

3. 30 dakika vakum- 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise en yüksek değeri (985.84 lux) KNO_3 verirken, en düşük değeri (948.13 lux) olarak Cu_2SO_4 vermiştir.

Tablo 4.17 Sarıçam Odunu için Alev Kaynaksız (ilk 4 dakika sonrası) Yanma sırasında Tespit edilen Işık Yoğunluğu (Lux) değerleri.

Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$		\bar{X}	$S\bar{x}$	
Cu_2SO_4	993.89	a	986.13	2.46	a	950.14	9.46	b	948.13	46.61	b
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	993.89	a	991.85	1.17	a	992.67	3.23	a	978.44	13.28	a
Na_2SO_4	993.89	a	987.80	1.10	a	922.50	28.06	c	960.42	10.52	b
KNO_3	993.89	a	985.48	2.23	b	988.42	2.64	a	985.84	1.52	a
ZnSO_4	993.89	a	990.56	2.55	a	992.67	3.23	a	960.21	17.49	b

Tablo 6.18 incelendiğinde, kayında; en yüksek değeri (990.00 lux) $ZnSO_4$ verirken, en düşük değeri (947.50 lux) KNO_3 vermiştir.

1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda en yüksek değeri (995.00 lux) $ZnSO_4$, en düşük değeri (916.91 lux) Na_2SO_4 vermiştir.

30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise en yüksek değeri (985.00 lux) $ZnSO_4$, en düşük değeri (918.33 lux) Cu_2SO_4 vermiştir.

Tablo 4.18 Kayın odunu için Alev Kaynaksız (ilk 4 dakika sonrası) Yanma sırasında Tespit edilen Işık Yoğunluğu (Lux) değerleri.

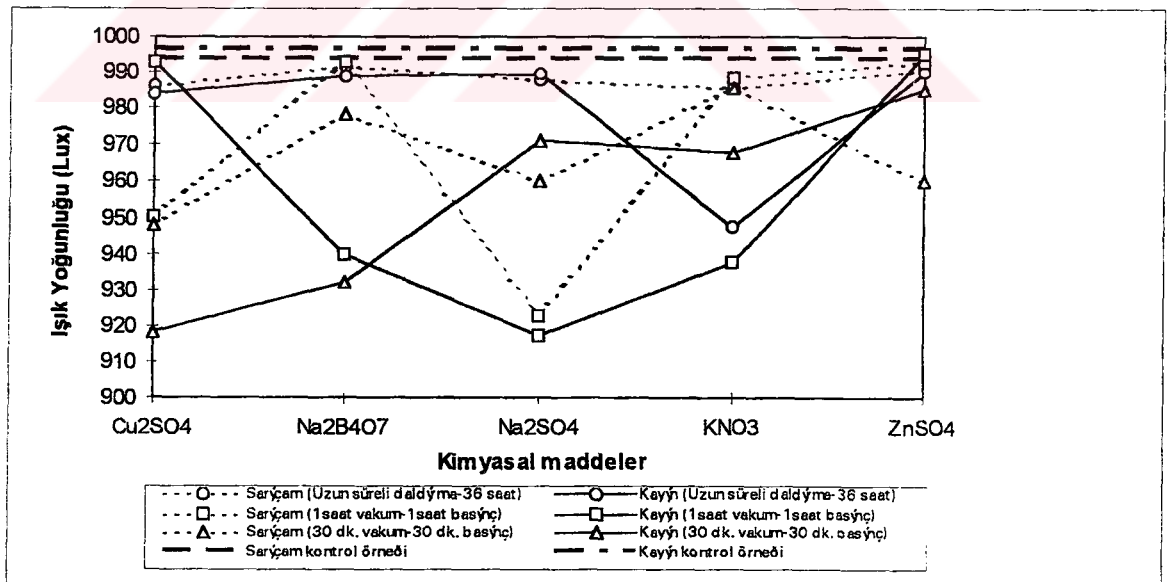
Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi								
			*Emprenye		LSD	**Emprenye		LSD	***Emprenye		LSD
			\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$		\bar{X}	$S\bar{X}$	
Cu_2SO_4	996.95	a	983.87	1.96	a	993.00	1.43	a	918.33	33.44	d
$Na_2B_4O_7$	996.95	a	988.75	1.00	a	939.58	18.00	b	932.09	28.59	c
Na_2SO_4	996.95	a	989.76	2.03	a	916.91	25.91	c	971.25	7.69	b
KNO_3	996.95	a	947.50	7.02	b	937.75	17.84	b	968.12	13.14	b
$ZnSO_4$	996.95	a	990.00	1.42	a	995.00	1.02	a	985.00	6.91	a

Şekil 4.7'de ışık yoğunluğu değerlerine göre Sarıçam ve Kayın karşılaştırıldığında;

1. Daldırma yönteminde sarıçamda $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en yüksek değeri verirken, Kayında ZnSO_4 vermiştir. En düşük değeri ise her ikisinde de KNO_3 vermiştir.

2. 1 saat vakum -1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda sarıçamda en yüksek değeri $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve ZnSO_4 verirken, Kayında ZnSO_4 vermiştir. En düşük değeri her iki örnekte de Na_2SO_4 vermiştir.

3. 30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise sarıçamda en yüksek değeri KNO_3 verirken, Kayında ZnSO_4 vermiştir. En düşük değeri her iki örnekte de Cu_2SO_4 vermiştir.



Şekil 4.7 Sarıçam ve Kayında Alev Kaynaksız Yanma Sırasında Tesbit Edilen Işık Yoğunluğu Değerleri

Işık yoğunluğu değerlerine göre sarıçam ve Kayın karşılaştırıldığında;

1. Alev kaynaklı yanma sırasında 1 saat vakum- 1saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda, sarıçamda duman yoğunluğuna karşı en yüksek değeri KNO_3 vermiştir. Kayında ise 30 dakika vakum - 30 dakika basınç olarak uygulanan Dolu hücre metotunda Cu_2SO_4 olmuştur.

2. Alev kaynaksız yanma sırasında duman yoğunluğuna karşı en yüksek değeri sarıçamda 1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda $Na_2B_4O_7$ ve $ZnSO_4$ vermiştir. Kayında ise aynı metotun kullanıldığı $ZnSO_4$ emprenye maddesi en etkili olmuştur.

4.3.4 Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları

Yanma sonunda Sarıçam ve Kayında geride kalan kül ve yanmamış parça ağırlıkları Tablo 4.19, 4.20 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.19’a göre; Sarıçamda, daldırma yöntemiyle emprenye sonucu 7.04 g yanmamış kısım ve kül ağırlığıyla Na_2SO_4 en az etkiyi gösterirken, 26.29 g yanmamış parça ve kül ağırlığıyla KNO_3 en yüksek etkiyi göstermiştir. Ancak, Daldırma yöntemiyle emprenye edilen deney örneklerinde, az yanmanın göstergesi olan geride kalan yanmamış kısım ağırlıkları vakum-basınç metotunun uygulandığı Dolu hücre metoduyla emprenye edilen örneklere oranla düşük çıkmıştır.

1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metoduyla emprenye edilen sarıçam deney örneklerinde ise 49.89 g kül ve yanmamış kısım ağırlığıyla en etkisiz emprenye maddesi Na_2SO_4 olurken 153.71 gr kül ve yanmamış kısım ağırlığıyla KNO_3 en etkili çıkmıştır.

30 dakika vakum -30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda 23.03 g kül ve yanmamış parça ağırlığıyla $ZnSO_4$ en etkisiz, 85.79 g kül ve yanmamış kısım ağırlığıyla KNO_3 en etkili çıkmıştır.

Tablo 4.19 Sarıçam Odununda Yanma sonunda Geride Kalan Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları(g).

Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi					
			*Emprenye	LSD	**Emprenye	LSD	***Emprenye	LSD
Cu_2SO_4	11.39	a	7.26	a	60.75	a	54.65	a
$Na_2B_4O_7$	11.39	a	15.14	b	69.39	a	41.64	a
Na_2SO_4	11.39	a	7.04	a	49.89	b	58.78	a
KNO_3	11.39	a	26.29	c	153.71	c	85.79	b
$ZnSO_4$	11.39	a	22.56	bc	142.8	c	23.03	c

Tablo 4.20 incelendiğinde; Kayında daldırma yöntemiyle emprenyede 7.78 g ağırlıkla Na_2SO_4 en etkisiz, 24.77 g ağırlık veren KNO_3 en etkili sonucu vermiştir.

1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda 90.82 g kül ve yanmamış kısım ağırlığıyla $Na_2B_4O_7$ en etkisiz, 193.22 g kül ve yanmamış kısım ağırlığıyla $ZnSO_4$ en etkili olmuştur.

30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda 52.92 gr kül ve yanmamış kısım ağırlığıyla $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en etkisiz, 121.74 g ağırlıkla ZnSO_4 en etkili olmuştur.

Tablo 4.20 Kayın odununda Yanma sonunda Geride Kalan Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları(g).

Kimyasal Madde	Kontrol örneği	LSD	Emprenye Yöntemi					
			*Emprenye	LSD	**Emprenye	LSD	***Emprenye	LSD
Cu_2SO_4	12.57	a	9.10	a	139.35	a	78.88	a
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	12.57	a	16.78	b	90.82	b	52.92	b
Na_2SO_4	12.57	a	7.78	a	94.07	b	81.74	a
KNO_3	12.57	a	24.77	c	151.24	c	87.08	a
ZnSO_4	12.57	a	16.40	b	193.22	d	121.74	c

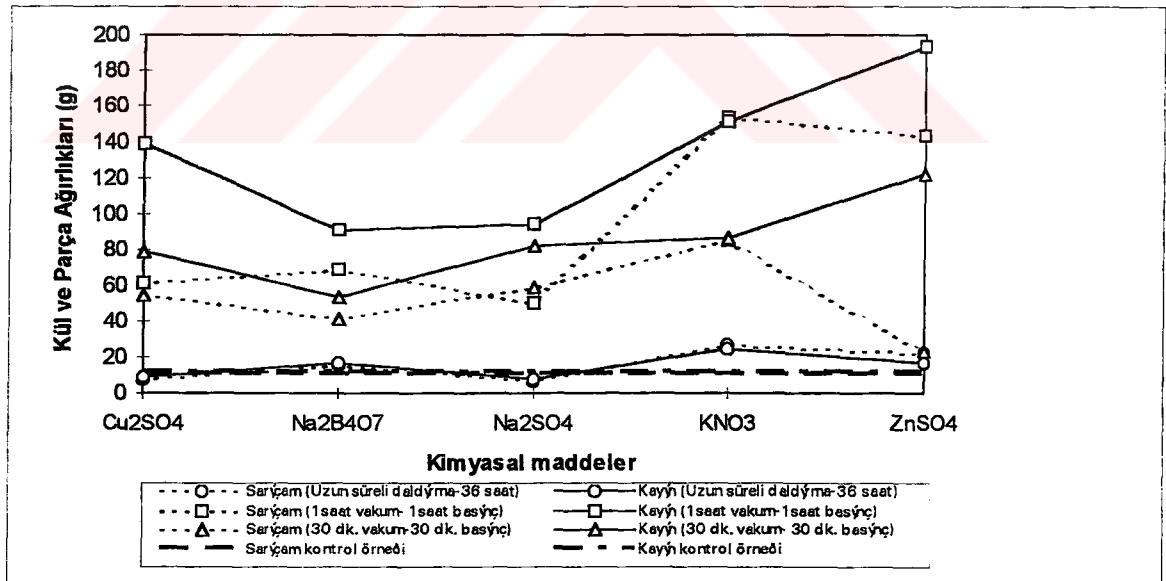
Şekil 4.8'de alev kaynaklı ve alev kaynaksız yanmanın sona ermesinden sonra yanmamış kısımlara ve kül miktarına göre emprenye maddelerinin ve emprenye yöntemlerinin sarıçam ve kayın odunu üzerine yaptıkları etkilere göre karşılaştırılmasında;

Daldırma yönteminde her iki tür malzemede de en etkisiz sonucu Na_2SO_4 , en etkili sonucu KNO_3 vermiştir.

1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan Daldırma yönteminde sarıçamda en etkisiz sonucu Na_2SO_4 , Kayında ise $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ vermiştir. Bu yöntemde en etkili sonucu sarıçamda KNO_3 , Kayında ZnSO_4 vermiştir.

30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda ise her iki tür örnekte de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en etkisiz, en etkili sonucu sarıçamda KNO_3 , Kayında ise ZnSO_4 vermiştir.

KNO_3 , ZnSO_4 emprenye maddeleri her üç emprenye yönteminde de etkili olurken, Cu_2SO_4 , Na_2SO_4 ve $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ etkisiz çıkmıştır.



Şekil 4.8 Sarıçam ve Kayında Yanma Sonunda Geride Kalan Kül ve Yanmamış Parça Ağırlıkları

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan deneylerden elde edilen bulgulara göre;

1- Emprenye öncesi ve sonrası çözelti yoğunlukları arasında tüm emprenyelerde her hangi bir değişim olmamıştır. Bu durum her defasında taze çözelti kullanılmasından ileri gelebilir.

2- Çalışmada kullanılan çözeltilerden $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve KNO_3 'ün bazik, $\text{Zn SO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Cu_2SO_4 , Na_2SO_4 asitik karakter taşıdıkları tespit edilmiştir. Bunların ağaç malzeme mekanik özelliklerine etkileri ayrı bir çalışmanın konusu olabilir.

3- Retensiyon oranları üzerinde ağaç malzeme türü, kimyasal madde konsantrasyon miktarı ile kullanılan emprenye yöntemi etkili olmuştur. Sarıçam ve Kayın odununda en yüksek retensiyon oranları 1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre yönteminde KNO_3 ile gerçekleşmiştir. Bu değer Kayın odunu için 111.38 kg/m^3 iken sarıçam odunu için 203.10 kg/m^3 tür. En küçük retensiyon oranları ise Daldırma yönteminde Kayın odununda 1.05 kg/m^3 Sarıçamda 1.09 kg/m^3 tesbit edilmiştir. Buna göre Sarıçam Kayına göre daha iyi emprenye edilebileceği söylenebilir.

4- Alev kaynaklı yanma sırasında Daldırma yöntemiyle emprenye edilen örneklerde, yanma hızında göstergesi olan ağırlık kaybı bütün kimyasal maddeler

için vakum-basınç metoduyla emprenye edilen malzemelere oranla yüksek çıkmıştır. Ağırlık kaybına karşı en etkili emprenye yöntemi 1 saat vakum-1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metodu olmuştur. Ağırlık kaybına gösterdikleri etkinliğe göre emprenye yöntemleri

-1 saat vakum-1saat basınç uygulanan Dolu hücre metodu,

-30 dakika vakum-30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metodu,

-Daldırma yöntemi(36 saat) olarak sıralanabilir.

5- En az ağırlık kayıpları, Alev kaynaklı yanmada, sarıçamda 1 saat vakum-1saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Na_2SO_4 ile olurken, alev kaynaksız yanmada aynı emprenye metodu için ZnSO_4 ile gerçekleşmiştir.

Kayın odununda ise alev kaynaklı yanmada 30 dakika vakum - 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Na_2SO_4 ile gerçekleşirken, alev kaynaksız yanmada 1 saat vakum-1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Cu_2SO_4 ile gerçekleşmiştir.

6- Alev kaynaklı yanmada 1 saat vakum- 1 saat basınç şeklinde uygulanan Dolu hücre yönteminde her iki ağaç türünde de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ sıcaklık artışına karşı en etkili olmuştur.

Alev kaynaklı yanmada ise Sarıçamda 1 saat vakum- 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en etkili olurken, Kayın odununda aynı emprenye metotunun uygulandığı ZnSO_4 en etkili olmuştur.

7- Alev kaynaklı yanmada, duman yoğunluğuna karşı 1 saat vakum - 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda, sarıçamda KNO_3 etkili olurken, Kayın odununda 30 dakika vakum- 30 dakika basınç uygulanan Dolu hücre metotunda Cu_2SO_4 etkili olmuştur.

8- Alev kaynaklı yanmada duman yoğunluğuna karşı, sarıçamda 1 saat vakum- 1 saat basınç uygulanan Dolu hücre metotunda $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve ZnSO_4 etkili olmuşlardır. Kayında ise aynı metotun kullanıldığı ZnSO_4 en etkili olmuştur.

9- Alev kaynağının ilk 4 dakika sonunda uzaklaştırılmasıyla deney örneklerinin kendi kendilerine yanmaları son bulana kadar beklenilerek geride kalan kül ve yanmamış kısım miktarına göre; KNO_3 , ZnSO_4 her üç emprenye yönteminde de etkili olurken Cu_2SO_4 , Na_2SO_4 ve $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ etkisiz kalmıştır.

Sonuç olarak; Emprenye işlemlerinde kullanılan Na_2SO_4 , ZnSO_4 , Cu_2SO_4 yangın geciktirici özellik taşıdığı, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve ZnSO_4 sıcaklık artışını önleme özelliklerinin bulunduğu,, KNO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve ZnSO_4 ' nin yanma esnasında duman oluşumunu azalttığı söylenebilir. Bu kimyasalların belirlenen özelliklerinden

faýdalanýlarak deęişik oranlarda karýşýmlaryyla yeni emprenye maddeleri úzerinde çalyşýlması önerilebilir.

Ayrıca 1928 yılından beri ağaç malzemeyi yanmaya karşı koruyucu maddelerin koruma etkinliklerinin tesbitinde kullanılan ve çalışmada geliştirilerek kullanılmış olan “Ateş Borusu Deney Aleti” ağırlık kaybı, sıcaklık değişimi ve duman yoğunluğu tesbitini birlikte ve sürekli olarak yapabilecek şekilde geliştirilmesi ayrı bir çalışmaya konu olabilir.



KAYNAKLAR

Adams, E. C., 1993, Yapı Bilgisi 3 :(Çev. S. Dönmez,) Yükseköğretim Kurulu Matbaası, Ankara, 182-217.

ASTM-E-69 Standard Test Method For Combustible Properties Of Treated Wood
By The Fire-Tube Apparatus.

Baran, S., 1983, Elektronik Yangın Uyarı Sistemleri, Birinci Yangın Ulusal Kurultayı Bildirileri, ODTÜ-TUBİTAK, Mimarlık Fakültesi, Ankara, 169-189.

Baysal, E., 1994 Çeşitli Borlu ve WR Bileşiklerinin Kızılçam Odununun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkisi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

Berkel, A., 1970, Ağaç Malzeme Teknolojisi, 1. Cilt, İ.Ü. Yayın No:1448, Orman Fakültesi Yayın No:147, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.

Berkel, A., Y. Bozkurt, Y. Göker, Çit Malzemesinin Dayanmasını Artırmak Bakımından Çeşitli Yerli Ağaçlarımızda Pratik Metotlarla Emprenye Araştırmaları, İ.Ü. Yayın No:1351, Orman Fakültesi Yayın No:125, Kutulmuş Matbaası, İstanbul, 96.

Berkel, Adnan, 1972, Ağaç Malzeme Teknolojisi, Ağaç Malzemenin Korunması ve Emprenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Fakültesi Yayın No:183, Sermet Matbaası, İstanbul, Cilt 2,

Bozkurt, Y. ve Göker, Y., 1981, Orman Ürünlerinden Faydalanma, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No:2840/297, İstanbul.

Bozkurt, Y., Erdin, E., Ağaç malzemenin Korunması ve önemi, MPM Yayınları, Yayın No:338.

Bozkurt, Y., 1986, Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:380, İstanbul, 3-267.

Bozkurt, Y., Erdin, E., 1992, Emprenye Edilmiş Ağaç Malzemenin Önemi, 1. Ulusal Orman Ürünleri Endüstri Kongresi Bildiri Metinleri, KTÜ, Orman Fakültesi, Trabzon, 1, 329-349.

Brenden, J., 1986, Heat release rates from wall assemblies. Oxygen consumption and other methods compared, Research paper, Forest Products Laboratory, USDA, Forest service, 476, 21. USA

Casey, J. P., 1966, Pulp and Paper, Vol: I -III, Interscience Publishers, New York.

Corne, M., 1984, Reaction to fire of various protection products for wood surfaces, importance of thickness of the wood base on the result obtained, Currier de l'industriel du Bois et de l'Ameublement, 51, 11

Cullis, C. F., Hirschler, M.M., 1981, The Combustion of Organic Polymers, Clarendon Pres-Oxford, The City University- London.

Dietz, A.G.H., Materials of construction wood, plastics, fibrics, Toronto, Newyork, London,

Dinçel K., Çelebi N., 1970, Şanıvar, N., Ağaç Teknolojisi, E.Y.Ö.O. Yayınları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.

Eriç, M., 1985, Yapılarda Yangının Malzemeye Etkisi, Birinci Yangın Ulusal Kurultayı Bildirileri, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliğı, Ankara, 290-314.

Eriç, M., Dünün ve Bugünün Ahşap ve Ahşaptan Üretilmiş Malzemesinin Türkiye Şartları İçinde Yapıda Rasyonel Kullanılma İmkanlarının Araştırılması, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, 54-78.

Eroğlu, H., 1994, Lif Levha Endüstrisi, KTÜ, Orman Fakültesi, Yayın No:45, Trabzon, 1-33.

Erşen, N., Tutkallı Taşıyıcı Ahşap Yapı Elemanları.

Esmer, Ö., 1983, Yangın Dinamiğı: Bir Model, Birinci Yangın Ulusal Kurultayı Bildirileri, ODTÜ-TUBİTAK, Mimarlık Fakültesi, Ankara, 223-264.

- Forest Products Laboratory Forest Service U. S. Department of Agriculture, 1987,
Handbook of Wood and Wood -Based Materials for Engineers,
Architects and Builders, London, chapter 15.
- George, S. B. and Henry, R. C., 1990, Materials Handbook, Thirteenth Edition, USA.
- Goldstein, I. S., Degradation and Protection of Wood from Thermal Attack, in; Wood
Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments (D.D
Nicholas, Ed.), Syracuse University Press, Vol.I: 307-339.
- Göker, Y., 1988, Ağaç malzemenin Korunması ve Önemi, Milli Produktivite Merkezi
Yayınları, Yayın No: 338, Ankara, 185-192.
- Gökmen, Ş., Yangın Bilgisi, Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.
- Hafizoğlu, H., 1982, Orman Ürünleri kimyası Ders Notları, K.T.Ü. Basımevi,
Trabzon, 237.
- Indrea, D., 1987 Studies on fire retardant treatment of wood, Jornal of the Timber
Development Association of India, 4, 5-10
- Inzhenerno, S., 1983, Study of the durability of the protective action of a composition
based on trichloroethylphosphate for surface treatment of wood, Lesnoi-
Zhurnal, 6, 82-85

- İlhan, R., 1983, Ağaç Malzeme Koruma ve Emprenye Tekniği, KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orm. Fak. Yayın No:74, Trabzon.
- İlhan, R., 1988, Prefabrik Konut Yapımında Yangına Karşı Alınması Gereken Önlemler, Ağaç malzemenin Korunması, MPM Yayını; 338,Ankara, 89-111.
- İlhan, R., 1990, Türkiye'nin Bazı Ağaç Türlerinin Kurşun Kalem Yapımında Değerlendirilmesi İmkanları Üzerine Araştırmalar, Doğa Türk Tarım ve Orm. Dergisi, 14, 202-214.
- Kocakuşak, S., Kalafatoğlu, E., Yalaz, N., 1986, Ağaç malzemenin Borlu Bileşiklerle Emprenyesi, Kaynak Araştırması, TÜBİTAK-Marmara Bilimsel Ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Yayın No:189, 1-47.
- Kollmann, Franz, F. P., Cote, Wilfred, A., 1984, Principles of Wood Science and Tecnology, 1, solid wood, New York, Tokyo, 149-157.
- Kumagai, Y., and Ohuchi, T., 1975, Effect of phosphoric acid on the combustion of wood. Measurement of combustion heat and concentration of inorganic gas in waste gas, Mokuzai Gakkaishi Jornal of the Japan Wood Research Society, 21, 4, 237-242

Lee, P., 1984, Studies on the residual bending strength of burned wood treated with fire retardant chemicals, Wood Science and Technoloji, Mogjae Gonghak, 12, 2, 10-19

Lee, P., 1989, Study on combustion properties of some wood based materials treated with fire-retarding coating by oxygen index method, Seoul National University Journal of Agricultural Sciences, 14, 2, 205-210

Lee, P., 1989, Oxygen index of fire-retardant treated plywood in burning test, Journal of Korean Forestry Society, 78, 4, 419-424

Leven, S. L., Winandy, J. E., 1990, Effects of Fire Retardant Treatments on wood strength, Wood and Fire Science, 22, 113-131.

Lutomsky, K., 1971, The combustibility of wood treated with fungicidal and fire-retardant salt mixtures, Roczniki Wyzszej Szkoły Rolniczej W Poznaniu, 52, 35-47

Merev, N., 1984, Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı, K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:151, Trabzon.

Norimoto, M., 1992, Rheological Properties of Chemically Modified wood, Wood and Fiber Science, 25-35.

Peker, H., 1994, Değişik Ağaç Türlerinde Yangın Geciktirici Kimyasal Maddelerin Eğilme Direnci Üzerine Etkileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

Rowell, R. M., Konkol, P., 1987, Treatments that Enhance Physical Properties of Wood, Gen. Tec. Rep., FPL-55, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, WI.

Rykov, R., 1983, The strength characteristics under high-temperature heating of wood treated with fire-retardant, Lesnoi, Zhurnal, 2, 64-68 USSR.

Schneider, M. H., Phillips, J. G., Tingley, D. A., Brebner, K. I., 1990, Mechanical Properties of Polymer Impregnated Sugar Maple, Forest Product Journal, 40,1, 37-41.

Shukla, S., 1981 Investigations on the behaviour of nitro-cellulose paints of fire retardant treated wood for exterior use, Van Vigyan, 19, 2, 47-50 India

Siau, J.F., and Campos, G.S., 1975 Fire behavior of treated wood and wood polymer composites, Wood Science, 8, 1, 375-383

Sönmez, A., 1995, Açık Hava Etkisine Maruz Kalmış Ahşap Yüzeylerde Boya-Vernik Katmanlarının Dayanıklılığı, TSE, Standard Dergisi, Yıl:34, Sayı 404, Ağustos 57-59.

Sunar, Ş., 1983, Bina Yangın Güvenliği, Birinci Yangın Ulusal Kurultayı Bildirileri, ODTÜ-TUBİTAK, Mimarlık Fakültesi, Ankara, 281-291.

Tank, T., 1978, Türkiye Kayın ve Gürge Türlerinin NSSC metodu ile Değerlendirme İmkanları, İ.Ü. Yayın No:2326, Orman Fakültesi Yayın No:231. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 97-103.

TS 345, 1974, Ahşap Emprenye Maddeleri Etkilerinin Muayene Metotları, 20.

TS 2471 (Kasım 1976) Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini.

TS 5561,1988, Ahşap Koruma Emprenyeli Ahşaptan Kimyevi Deneyler İçin Laboratuvar Numuneleri Alma Metotları, 3.

TS 5563,1988, Ahşap Koruma-Emprenye Maddelerinin Agar Ortamında Besidiomyceteslere Karşı Zehirlilik Değerinin Tayini, 16.

Uysal, B., 1993, Ankara Ve Çevresinde Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Ağaç malzemenin Kurutulmasında Uygulanan Kurutma Yöntemlerinin Araştırılması, Yük. Lis., Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Uesugi, S., and Fukui, Y., 1981, Combustive gas toxicity for wood treated with chemicals, Journal of the Japon Wood Research Society, 27, 5, 428-436

Vurdu, H., 1985, Wood: as material, ODTÜ, Lecture Outline for Bio. 260, Ankara, 1-189.

White, R.H., 1985, Reporting of Fire Incidents in Heavy Timber Structures, USDA, Forest Products Laboratory Research Paper, FPL, 464, 9.

Yalınkılıç, M. K. , 1992, Daldırma ve Vakum Yöntemleriyle Sarıçam ve Doğu Kayın Odunlarının Kreozot, Imersol WR, Tenalith CBC ve Tenalith CS Kullanılarak Emprenyesi ve Emprenye Edilen Örneklerin Yanma Özellikleri, 1. Ulusal Orman Ürünleri Endüstri Kongresi, Bildiri Metinleri, Trabzon, 1, 373-403.

Yalınkılıç, M. K., 1992, Alma, H., Ağaç Malzemenin Monomerik Kimyasal Maddelerle İşlem Görmesiyle Elde Edilen Yeni Bir Ürün; Odun-Plastik Kompoziti, Yeşile Çerçeve, 30-32.

Yalınkılıç, M. K., 1993, Ağaç Malzemenin Yanma, Higroskopisite ve Boyutsal Stabilite Özelliklerinde Çeşitli Emprenye Maddelerinin Neden Olduğu Değişiklikler ve Bu Maddelerin Odundan Yıkanabilirlikleri, Doçentlik Tezi, KTÜ. Orman Fak. Trabzon.

Yanenko, M., 1988, Evaluation of the toxicity and combined effect of combustion of wood-samples treated with fire-retardants, Protivo Pozharnoi Oborony, Khimiya Drevesiny, 5, 105-107 USSR.

Yener, C., 1983, Yapılarda Yangın Üzerine, Birinci Yangın Ulusal Kurultayı Bildirileri, ODTÜ-TUBİTAK, Mimarlık Fakültesi, Ankara, 375-379.

Zicherman, J. B., Williamson, R. B., 1982, Microstructure of Wood Char, Part: 2, Fire Retardant Treated Wood, Wood Science and Technology, 16, 1, 19-34, USA.

