



**ALÜMİNYUM ELOKSAL ATIKLARININ ISI YALITIM KÖPÜKLERİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ahsen KOÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Ahsen KOÇ tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM ELOKSAL ATIKLARININ ISI YALITIM KÖPÜKLERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Atilla M. MURATHAN

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. İrfan AR

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Nihan KAYA

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hitit Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 27/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahsen KOÇ

27/06/2019

ALÜMİNYUM ELOKSAL ATIKLARININ ISI YALITIM KÖPÜKLERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahsen KOÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Bu araştırmada alüminyum eloksal atıkları ile binalarda dış cephe yalıtımında matris elemanı olarak kullanılan yüksek yoğunluklu ısı yalıtım köpükleri kullanılarak oluşturulan kompozit panellerdeki potansiyel alev geciktirme etkisi incelendi. Toz haline getirilen alüminyum eloksal atığına sıcak sudaki %10'luk polimerik bağlayıcı ilave edilerek oluşturulan karışımlarda, kalsiyum karbonat (CaCO_3) başta olmak üzere %1'lik çinko borat (%45ZnO-%36B₂O₃) ve atık miktarı kadar sodyum bikarbonat (NaHCO_3) sırasıyla kütle oranlarında katıldıktan sonra bağlayıcı eşliğinde köpük yüzeylere uygulandı, bu kaplamalar 50°C'de 24 saat kurumaya bırakıldı. Alev dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla malzemenin yanması için gerekli hacimce en az oksijen yüzdesinin belirlendiği ASTM D 2863 standardizasyonuna göre yapılan limit oksijen indisi (LOI) testi %27-37 O₂ besleme aralığında uygulandı. En uzun alev gecikme süresi 133 saniye süreyle değeri %31 olarak tespit edildiğinden panellerin LOI testine göre yapılan alev geciktirici sınıflandırmasına göre alev geciktirici özelliğe sahip olduğu; dolayısıyla “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” gereğince önemli sonuçlar alındığı söylenebilir. Ayrıca bu kaplamalar -18°C ve 50°C'lik uç sıcaklıklarda 3 ay bekletildi, fiziksel görünümünde değişiklik olmadığı gözlemlendi. Kaplamalarda yapılan XRD analizinde her iki karışımda da yoğun olarak $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 ve eser düzeyde SiO_2 , CaO ve MgO gözlemlendi. Bu alüminyum bileşiklerinin alev geciktirici etkiye sahip oldukları belirlendi. Yapılan TG-DTA analizlerinde 568–778°C aralığında çinko borat içeren karışımda %38, sodyum bikarbonat içeren karışımda ise %37'lik kütle kayıpları gözlemlendi. Alüminyum eloksal atıklarının alev geciktirici üretiminde kullanılabilirliğinin yanısıra insan sağlığı için zararsız ve çevre dostu olan kompozit paneller elde edildi.

Bilim Kodu : 912912
Anahtar Kelimeler : Alüminyum eloksal atık, ekstrüde polistiren (XPS) köpük, alev geciktirici, LOI
Sayfa Adedi : 61
Danışman : Prof. Dr. Atilla M. MURATHAN

EVALUATION OF ALUMINUM ANODIC WASTES IN HEAT INSULATION FOAMS

(M. Sc. Thesis)

Ahsen KOÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

In this study, flame retardation potential of composite panel material that is formed by using aluminum anodic waste and high density heat insulation foam that is used as matrix elements of exterior insulation of buildings, was investigated. In the blends formed by adding a 10% polymeric binder in hot water to the powdered aluminum anodizing wastes, 1% zincborate (45% ZnO-36% B₂O₃), mainly calcium carbonate (CaCO₃), and sodium bicarbonate (NaHCO₃) as much as waste were respectively in mass ratios added to the foam coats and the coatings were left to dry at 50°C, 24 hours. In order to determine the flame retardance properties, the limiting oxygen index (LOI) test according to ASTM D 2863 standardization, in which the minimum percentage of oxygen is determined required for combustion of material was performed at a feed rate of 27-37% O₂. Since the longest flame delay time was determined as 133 seconds and the value was 31%, the panels have flame retardant properties according to flame retardant classification according to test; Therefore, it can be said that significant results are obtained in accordance with the Implementing Regulation on the Protection of Buildings from Fire. In addition, these coatings were held for 3 months at extreme temperatures of -18°C and 50°C, and there was no change in their physical appearance. In the XRD analysis of the coatings, intensely of Al(OH)₃ and Al₂O₃, trace amount of SiO₂, CaO and MgO were observed in both mixtures. It has been found here that aluminum compounds have flame retardant effect. In the TG-DTA analysis, mass loss of 38% in the mixture of containing zinc borate and 37% in the mixture of containing sodium bicarbonate was observed between 568-778°C. Aluminum anodized waste can be used in flame retardant production as well as harmless for human health and environmentally friendly composite panels were obtained.

Science Code : 912912

Key Words : Aluminum anodic (eloxal) waste, extruded polystyrene (XPS) foam, flame retarder, LOI

Page Number. : 61

Supervisor : Prof. Dr. Atilla M. MURATHAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocalarım Prof. Dr. Ayşe MURATHAN ve Prof. Dr. M. Atilla MURATHAN'a, deneysel çalışmalarım sırasında desteklerini gördüğüm Bölüm personeli ve Lisansüstü öğrencilerine özellikle Hatice Begüm MURATHAN'a, deneysel çalışmalarımındaki malzeme yardımları için Kardelen Boya ve Kimya San. Tic. Ltd. Şti.'ye ve Ammar Yasir KILIÇARSLAN'a, çalışmalarımızı beraber yürüttüğümüz, her zaman yanımda olan sevgili arkadaşım Emine BAYİS'e, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan canım aileme çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM.....	3
2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri.....	3
2.2. Alüminyum'un Üretim Teknikleri	4
2.2.1. Birincil üretim.....	5
2.2.2. İkincil üretim	8
2.3. Alüminyum Eloksal (Anodik Oksidasyon) İşlemi	9
2.3.1. Mekanik ön işlemler	10
2.3.2. Kimyasal ön işlemler	10
2.3.3. Eloksal tabakasının yapısı	12
2.3.4. Alüminyum oksitin elektrokimyası.....	12
2.3.5. Alüminyum oksitin termodinamiği	13
2.3.6. Eloksal tabakasının genel özellikleri.....	13
2.3.7. Eloksal tabakalar	14
2.3.8. Eloksal çamuru	15
3. YANMA	17
3.1. Alev Geciktiriciler	17
3.2. Alev Geciktirici Test Metotları	20

	Sayfa
3.2.1. Limit oksijen indisi (LOI) testi.....	22
4. POLİSTİREN (PS) KÖPÜKLER	23
4.1. Ekstrüde (Extruded) Polistiren (XPS)	24
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	27
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	33
7. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	43
7.1. XRD Analiz Sonuçları.....	43
7.2. Termal Analiz Sonuçları.....	45
7.3. LOI Testi Sonuçları.....	48
KAYNAKLAR	53
EKLER	57
EK-1. ASTM D 2863 Standart Testi.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Alüminyumun özellikleri	3
Çizelge 2.2. Çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları.....	14
Çizelge 2.3. Eloksal çamurunun bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri	16
Çizelge 3.1. Yanma karakteristiğini belirleyen test yöntemleri	21
Çizelge 3.2. LOI'ye göre alev geciktirici sınıflandırması	22
Çizelge 6.1. Su bazlı iç cephe boya formülasyonu	33
Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan XPS köpük levhanın özellikleri.....	36
Çizelge 7.1. Denemelerde tespit edilen alev geciktirme süreleri.....	50
Çizelge 7.2. Sodyum bikarbonatlı numunenin LOI testi sonuçları.....	51
Çizelge 7.3. Çinko boratlı numunenin LOI testi sonuçları	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Birincil ve ikincil alüminyum üretimi akış diyagramı.....	4
Şekil 2.2. Birincil ve ikincil alüminyum üretimi malzeme akışı	5
Şekil 2.3. Birincil alüminyum üretim şeması	6
Şekil 2.4. Alüminyum'un Geri Dönüşümü.....	8
Şekil 2.5. Tipik bir eloksal tesisinin basitleştirilmiş işlem şeması	10
Şekil 2.6. Elokmal tabakasının yapısı.....	12
Şekil 3.1. Yanma döngüsü.....	17
Şekil 4.1. Polistiren Üretim Şeması	24
Şekil 6.1. LOI deney düzeneği.....	38
Şekil 7.1. Alüminyum eloksal atığının XRD analizi.....	43
Şekil 7.2. Sodyum bikarbonat içeren atığının XRD analizi	44
Şekil 7.3. Çinko borat içeren atığının XRD analizi	45
Şekil 7.4. Alüminyum eloksal atığında TG-DTA analizi.....	46
Şekil 7.5. Sodyum bikarbonat içeren atığının TG-DTA analizi	47
Şekil 7.6. Çinko borat içeren atığının TG-DTA analizi.....	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Alüminyum eloksal atığı ve ASTM 20 mesh numaralı elekten geçirilmiş elek altı toz numunesi	35
Resim 6.2. XPS polistiren köpük levha.....	36
Resim 6.3. 10 x 2 x 1 cm ve 15 x 10 x 1 cm boyutlarında kesilmiş kaplama öncesi köpük numuneleri	37
Resim 6.4. Deney öncesinde yüzeyleri kaplanmış köpük numuneleri.....	37
Resim 6.5. LOI testi sonrası köpük numuneleri	39
Resim 6.6. LOI testi öncesi ve test anındaki deney düzeneği.....	39
Resim 6.7. -18°C-50°C uç sıcaklıklarda 3 ay bekletilmiş numuneler	40
Resim 6.8. XRD cihazı ve iç haznesi.....	40
Resim 6.9. TG-DTA cihazı	41
Resim 7.1. Elde edilen sunta paneller	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A/dm^2	Akım yoğunluğu
Al	Alüminyum
Al (OH) ₃	Alüminyum trihidrat
Al ₂ O ₃	Alümina
Al ₂ O ₃ .nH ₂ O	Boksit
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
cm ³	Santimetreküp
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
g	Gram
g/cm ³	Yoğunluk
g/l	Derişim
H	Hidrojen
H ₂ O	Su
J	Joule
k	Isı iletim katsayısı
K	Sıcaklık, Kelvin
kA	Kiloamper
KAl(SO ₄) ₂	Şap
kJ	Kilojoule
kPa	Kilopascal
m ²	Metrekare
MgO	Magnezyum oksit
min	Dakika
ml	Mililitre

Simgeler**Açıklamalar****Na₂O**

Sodyum oksit

NaAlO₂

Sodyum alüminat

nm

Nanometre

O₂

Oksijen

pm

Pikometre

s

Saniye

SiO₂

Silisyumdioksit

V

Volt

W

Watt

ZnO-B₂O₃

Çinkoborat

λ

Isı iletkenlik katsayısı

°C

Sıcaklık, Celcius

ΔG °

Gibss serbest enerji değişimi

μm

Mikrometre

Kısaltmalar**Açıklamalar****ASTM**

American Society for Testing and Materials

CSAB

Kalsiyum Sülfoalüminat-Belit Çimentosu

DTA

Diferansiyel Termal Analiz

EPS

Genleştirilmiş (Expanded) Polistiren

FTIR

Fourier Transform Infrared

LOI

Limiting Oxygen Index

NIST

National Institute of Standards and Technology

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TGA

Termogravimetrik Analiz

XPS

Ekstrüde (Extruded) Polistiren

XRD

X-Işını Kırınımı

1. GİRİŞ

Yerkabuğunun ağırlıkça yaklaşık %8'ini oluşturan alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan elementtir. 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılması ile endüstriyel çapta üreilmeye başlanılan alüminyum, dünyada yıllık 30 milyon ton üretimi ile demir çelikten sonra en çok üretilen metal olmuştur [1]. Demir ve demir dışı metaller sektörü ihracatında değer olarak en büyük paya sahip olan alüminyum hafifliği, yüksek iletkenliği, işlevselliği, ekonomikliği ve kolay işlenebilirliği gibi diğer metallere göre sahip olduğu avantajlı özellikleri sebebiyle endüstrinin birçok alanında kullanımına sahiptir [2].

Alüminyum havayla temas ettiğinde, yüzeyinde ince bir oksit tabakası meydana gelir. Kendiliğinden oluşan bu oksit tabakasının koruyuculuğunu arttırmak için metale bazı yüzey işlemleri uygulanır ve alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının kalınlığı artırılır. En önemli yüzey işlemlerinden birisi olan bu elektrokimyasal prosese anodizasyon veya eloksal işlemi adı verilir [3]. Bu alüminyum ürünlerin elektrolit bir çözelti içerisinde sınırlı oksidasyonu sırasında oluşan alüminyum oksit ve/veya alüminyum hidroksit çamuru, anot çamuru, ilgili endüstride eloksal atığı veya kısaca eloksal olarak adlandırılan bir tesis atığı meydana gelir. Bu eloksal atığı genel olarak alüminyum oksit, alüminyum hidroksit, sodyum, silisyum, magnezyum ve kalsiyum gibi bazı maddelerin bir karışımıdır [4]. Alüminyum üretimlerinin çokluğu düşünüldüğünde ortaya çıkan bu atığın miktarı da oldukça fazladır.

Yangınlardan dolayı ortaya çıkan can ve mal kaybını en aza indirmek için alınacak önlemlerden biri de yanmayan veya yanmayı geciktirici malzemelerin kullanımıdır [5]. Alev geciktiricilerin, öncelikle alev geciktirme etkisine sahip olması ve içine katıldığı ana malzemenin işleme özelliklerine zarar vermemesi ve uygunluğu beklenir [6]. Belli oranlarda ilave edilen alev geciktirici katkı maddeleri malzemelerin yanma sürecini engelleyebilir, minimize edebilir, bastırabilir veya bitirebilir [7].

Kullanılan alev geciktiricilerin büyük bir kısmı organik bileşikler ve fosforlu halojen bileşikler içerir. Bu alev geciktiriciler yanma esnasında çıkardıkları toksik ve korozyon gazlarından dolayı çevre dostu değildir ve belediyesel yönetmeliklerden dolayı inorganik bileşiklere özellikle metal hidroksitlere büyük bir ilgi gösterilmektedir. Bu nedenle inorganik alev geciktiricilerin önemi artmıştır.

En çok kullanılan inorganik alev geciktiriciler hidrokarbonatlar, metal hidroksitler (alüminyum ve magnezyum) ve boratlardır. İnorganik katkılar fiziksel alev geciktirici özelliğine sahiptir. Sistemin sıcaklığı arttıkça katkı maddeleri endotermik olarak bozunur ve sonuç olarak enerjiyi absorplar. Dahası H_2O ve CO_2 gibi zararsız ve yanmayan molekülleri açığa çıkarırlar [8]. Böylece, inorganik alev geciktirici katkısı ile polimer malzemelerin yangına karşı dayanımları daha yüksek sıcaklıklara çıkarılmış olur.

Bugünlerde geniş boyutlarda yangına karşı yeni ve modern engelleme teknikleri güvenli tedbirleri getirir. Binaların Yangından Korunması Yönetmeliği [9], Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği [10] ve Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği [11] uyarınca ısı enerjisinin korunması ile beraber insan sağlığı ve güvenliğinde göz önünde tutulması gerekmektedir.

Polimerlerin yanıcılığı tutuşabilirlik, alev yayılma hızı ve ısı salınımı ile karakterize edilebilir. Endüstride ve/veya akademik laboratuvarlarda küçük, orta ve/veya tam boyutlu yanma testleri yapılır. En yaygın kullanılan yanma testi tekniği limit oksijen indisi (LOI) testidir [12]. ASTM D 2863 ile standardizasyonu yapılan LOI testi malzemenin yanması için gereken oksijen ve azot karışımındaki gerekli en az hacimce % O_2 miktarını belirler [13].

Bu çalışmada alüminyum üretiminin bir sonucu olarak büyük miktarlarda oluşan alüminyum eloksal atıklarının yüksek yoğunluklu ısı yalıtım köpüklerinde belli oranlarda doğrudan kullanımıyla elde edilen ve ekosisteme zarar vermeyen, enerji ve su tasarrufu sağlayan yangına dayanıklı kompozit panellerin üretimi amaçlandı.

2. ALÜMİNYUM

2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyumun (Al) atom numarası 13 tür. Yumuşak ve hafif bir metal olan alüminyum gümüşümsü renktedir. Alüminyumun özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Genellikle doğada boksit cevheri halinde bulunur. Alüminyum içeren cevherlerden, metalik alüminyum kazanımı karmaşık bir prosestir.

Alüminyum, adını yaptığı en önemli bileşiği olan şap adı verilen $KAl(SO_4)_2$ birleşimindeki tuzundan almıştır. Bu çift tuz, doğada da bulunmakta alünit, alün veya alaun gibi adlarla anılmakta olduğundan, alüminyum kelimesi de mineralin bu adından türetilmiştir [14].

Geri dönüşümü kolaydır. Alüminyumun yeniden kullanılışı %95’e varan bir enerji tasarrufu sağlar. Binalarda kullanılan alüminyumun; eskime, değiştirme ve yıkılma gibi nedenlerle geri dönüş oranı %85-90’dır. [14] Ekonomik ömrünü doldurmuş ve proses sürecinde hurdaya çıkmış malzemeler başlangıçtaki metalurjik özelliklerini büyük ölçüde yitirmeden, birincil üretimin %5’i kadar bir maliyetle yeniden kullanılabilir [15].

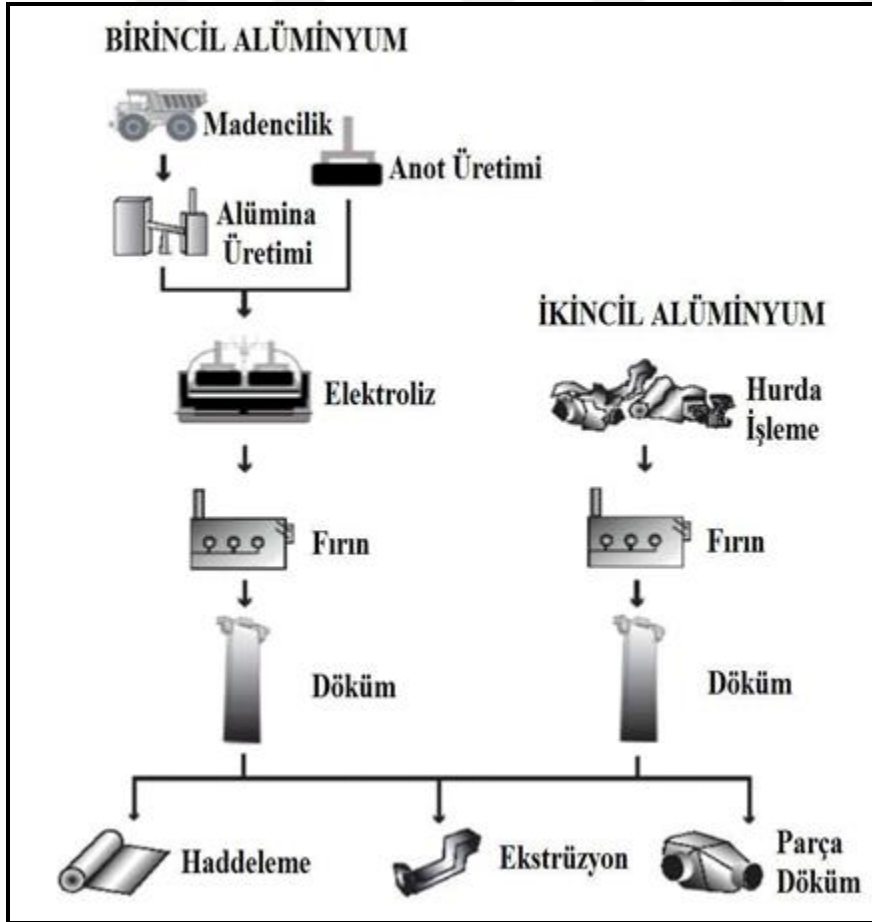
Çizelge 2.1. Alüminyumun özellikleri [16].

Maddenin hali	Katı (298K’de)
Atom Numarası	13
Atom Kütlesi	26,9815386 g/mol
Yoğunluk	2,702 g/cm ³
Yükseltgenme seviyeleri	(3+) (amfoter oksit)
Elektronegatifliği	1,61 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	577,5 kJ/mol
Atom yarıçapı	143 pm
Atom yarıçapı (hes.)	118 pm
Erime Noktası	660,37 °C
Kaynama Noktası	2467 °C
Isı İletkenliği (K)	237 W/m.K
Elektrik iletkenliği	64,94% (Saf Al, 2°C'de)
Buharlaşma Isısı	294 kJ/mol
Isı Kapasitesi	24,2 J/(mol.K)

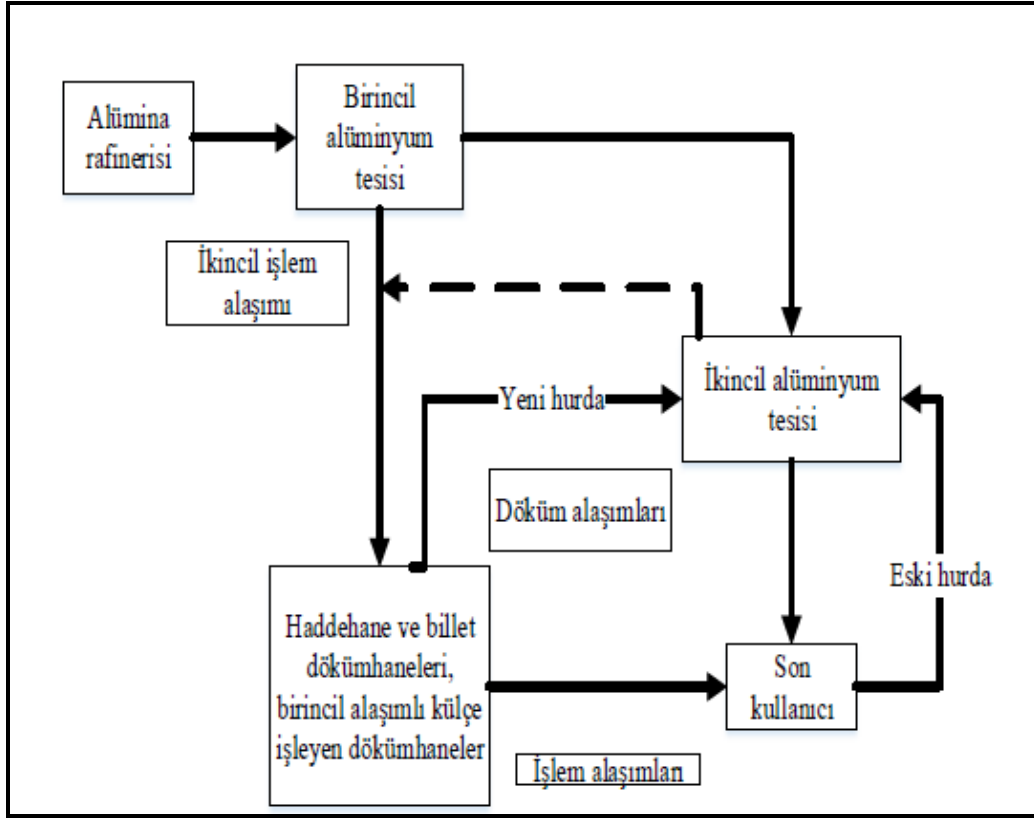
2.2. Alüminyum'un Üretim Teknikleri

Boksit cevherlerinden “Birincil alüminyum üretimi”, ve hurdalardan “İkincil alüminyum üretimi” olmak üzere iki üretim yolu vardır [17].

Her iki metotla alüminyum üretiminin akış diyagramı Şekil 2.1’ de verilmiştir. Şekil incelendiğinde birincil alüminyum üretim adımlarının ikincil alüminyum üretim adımlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Birincil alüminyum üretim adımları fazla olmasının yanı sıra adımların maliyeti ve uygulaması da ikincil alüminyuma kıyasla %95 daha fazladır. Alüminyum üretim sürecinde üretilen malzemelerin akış diyagramı Şekil 2.2’ de verilmiştir.



Şekil 2.1. Birincil ve ikincil alüminyum üretimi akış diyagramı [17].

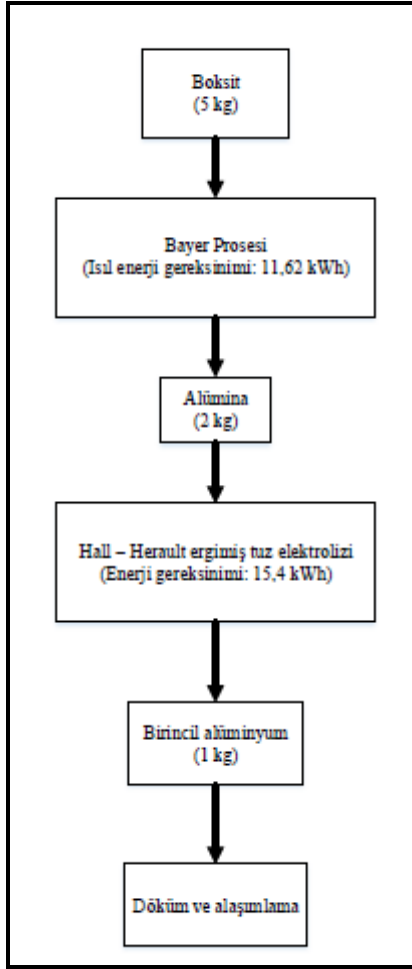


Şekil 2.2. Birincil ve ikincil alüminyum üretimi malzeme akışı [18].

2.2.1. Birincil üretim

Birincil alüminyum üretimi, boksit madenciliği, boksit cevherlerinden alümina üretimi ve alüminadan metalik alüminyum üretimi olmak üzere birbirinden bağımsız üç süreçten oluşur [18].

Alümina rafinerilerinde, Bayer Prosesi ile boksit cevherleri alüminyum okside (alümina) dönüştürülür. Boksit cevherinden alüminaya geçiş için, boksit kimyasal olarak proses edilmelidir. Çünkü prensip olarak alümina ve alümina ile birlikte bulunan diğer oksitlerin seçici olarak ayrıştırılması gerekir. Boksit minerallerinin alümina içeriği %30-60 arasında değişir. Boksitler kullanım alanlarına göre aşındırıcı, çimento kalitesi, kimyasal kalitesi, metalürji kalitesi (alümina üretimi için) ve refrakter kalitesi gibi sınıflandırılabilir. Birincil alüminyum üretimi Şekil 2.3' de gösterilmiştir [18].



Şekil 2.3. Birincil alüminyum üretim şeması [18].

Boksit

Farklı bileşikleri olmasına karşın, alüminyum metali üretiminde boksit cevherleri kullanılmaktadır. Boksit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) bir mineralden çok, minerallerden teşekkül etmiş mineraller topluluğu ve alüminyum cevherlerine verilen genel isimdir. Ticari olarak işletilebilen boksit cevherinin Al_2O_3 tenörü %30-65 arasında değişmekte, elde edilen boksitin %85'i birincil alüminyum üretimine yöneliktir. Birincil alüminyum üretiminin ikinci kademesi olan alümina üretiminin yapıldığı tesislerin büyük çoğunluğunda işlenen boksitlerin en az %40 Al_2O_3 , en fazla %15 SiO_2 içermesi gerekmektedir. Birincil alüminyum üretiminde kullanılan boksitlerin kimyasal ve mineralojik bileşenlerine bağlı olmak koşulu ile 4-5 ton boksitten 2 ton alümina, 2 ton alüminadan da yaklaşık 1 ton alüminyum elde edilmektedir [17].

Alümina (Alüminyum Oksit)

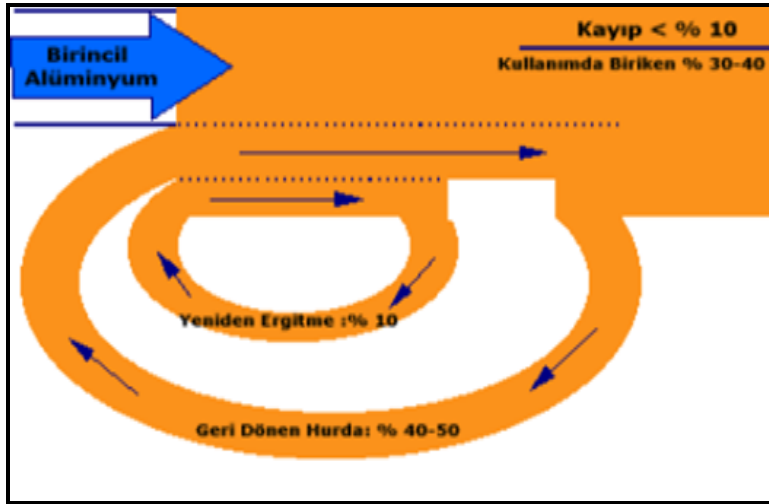
Birincil alüminyum üretiminde ikinci kademe ise bayer prosesi ile gerçekleştirilen alümina üretimidir. Boksit cevheri yıkandıktan sonra kırılıp öğütülür. Öğütülüp, ham pulp haline getirilmiş boksitler, yüksek ısı ve basınçta NaOH çözeltisi ile reaksiyona sokulmak suretiyle, kimyasal yolla cevherdeki alümina (Al_2O_3), sodyum alüminat ($NaAlO_2$) çözeltisi ve demir, silis, titanyum gibi safsızlıkları içeren sıvı faza alınır. Çözünmeyen bileşenler tankın dibine çökerek, oluşan atıkları içeren kırmızı çamur ayrılır. Yıkanmış çamur, özel baraja sevk edilerek depolanır böylece içerdiği sudkostiğin çevreyi kirlletmesi önlenir. Başka bir tanka gönderilen istenilen temizlikteki sodyum alüminat çözeltisi aşıl原因arak tabanda $Al(OH)_3$ kristal halinde çöktürülür. Elde edilen hidrat, akışkan yataklı veya döner fırınlarda 1100-1200 °C sıcaklıkta bağlı suyu uçurmak amacıyla kalsine edilerek alümina elde edilmektedir. Her ne kadar tenörü ve mineralojik yapısına bağlı olsa da genellikle %56 Al_2O_3 tenörlü cevher işleyen Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nde olduğu gibi, 2 ton boksit cevherinden yaklaşık 1 ton alümina elde edilmektedir [17].

Alüminyum

Alümina üretiminden sonraki aşama, alüminanın erimiş kriyolit banyosunda elektrolizi ile metalik alüminyuma dönüştürülmesidir. Birincil alüminyum, alüminanın alüminyum elektroliz hücrelerinde yüksek akım (100-400 kA) altındaki 960-970°C sıcaklıkta elektrolit adı verilen kriyolit-alüminyum florür erimiş tuz içinde çözünmesi, ayrışması ve indirgenmesi sonucu nötralleşen alüminyum metalinin tabanda birikmesi ile elde edilmektedir. Proses sırasında alüminanın parçalanmasıyla açığa çıkan oksijen ise petrol koku ve bağlayıcı olarak taş kömürü zifti'nden oluşan anot karbonu ile birleşerek oluşan CO_2 , CO, C_nH_n ve elektrolitteki reaksiyonlar sonucu gaz fazına geçen flor bileşikleri ile birlikte gaz temizleme sistemine gitmektedir. Tabanda biriken sıvı alüminyum belirli periyotlarla kapalı vakum potalarıyla çekilip alaşımlandırılır veya kalıplara dökülür. Ticari boyutta birincil alüminyum üretiminin tamamı alüminyum elektroliz hücrelerinde gerçekleştirilmektedir. Hall-Heroult yöntemine dayalıdır [17].

2.2.2. İkincil üretim

İkincil üretim, hazır durumda olan hammadde kullanımı ve buna bağlı olarak hammadde tasarrufu, enerji kullanımı, buna bağlı olarak enerji tasarrufu ve enerji üretim süreçlerindeki kirli gaz salınımının azaltılması, hem birincil üretim sürecindeki atıkların olmayışı hem de hurdaya çıkmış malzemelerin yeniden üretime katılması ile çevre kirliliği ile mücadele, ekonomik kazanç sağlama isteği sebepleriyle gerçekleştirilen bir üretim tarzıdır. Alüminyum hurdalarının daha fazla toplanması ve döngüye dahil olarak daha fazla yeniden üretilmiş alüminyum ürün kullanılması hem alüminyum endüstrisi hem de sürdürülebilir kalkınma kaygısı taşıyan herkes için oldukça önemlidir. İkincil alüminyum üretim süreci hurda toplama, hurda ayırma, hazırlama ve ön işlemler, eritme, alaşım yapma, metal rafinasyonu, döküm curuf temizleme ve değerlendirme olmak üzere beş aşamadan oluşan bir süreçtir. [19]. Alüminyum üretiminde Şekil 2.4’de verilen döngü söz konusudur. İkincil alüminyum üretiminde metal kaynağı olarak hurda alüminyum kullanılmaktadır. Hurda alüminyumların işlem ve döküm ürünlerinin üretimi sırasında oluşan geri kazanma olasılığı %100 olan yeni hurda ile kullanım ömrünü doldurmuş geri kazanma olasılığı yapısına, şekline ve et kalınlığına göre %30-95 arasında değişen eski hurda ikincil üretimin başlıca iki kaynaklarıdır [17].



Şekil 2.4. Alüminyum'un Geri Dönüşümü [17].

2.3. Alüminyum Eloksal (Anodik Oksidasyon) İşlemi

Alüminyum profillerinin korozyon direncini arttırmak için uygulanan en önemli yöntem eloksal (anodik oksidasyon) işlemidir [14].

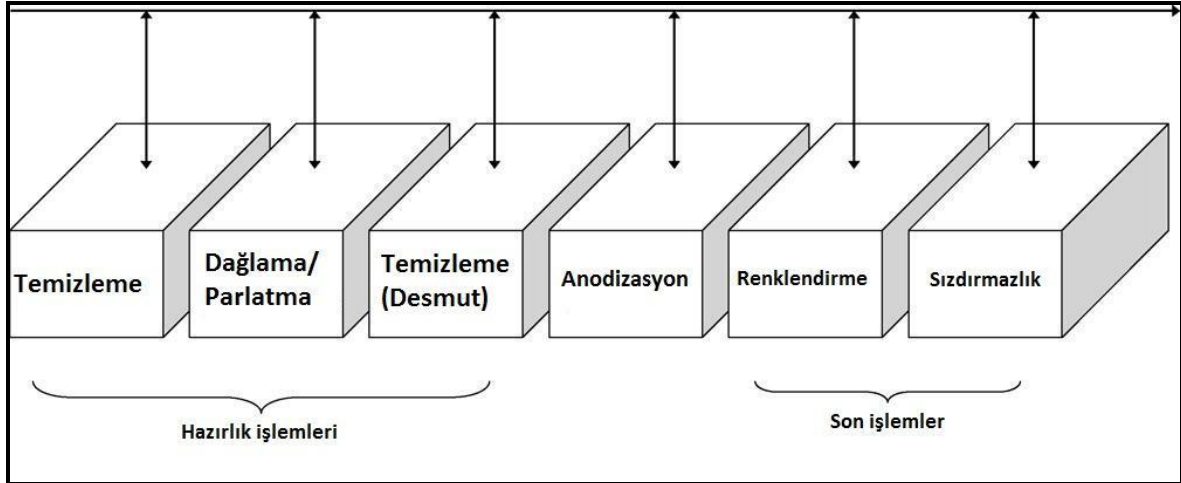
Eloksal, alüminyum için çok özel bir yüzey kaplamadır; elektrokimyasal bir proses ile yapılır. Kullanılan elektrolit, genelde asidik bir çözeltilidir. Kaplanacak alüminyum, elektroliz işleminin anotudur. Belirli ve kontrol edilen bir akım genellikle doğru akım yoğunluğu, kaplanacak alüminyum ile uygun bir katot arasında, yine belirli bir süre için geçirilir. Bu süre, oluşacak eloksal tabakasının özellik ve kalınlığına göre belirlenir.

Proses sırasında ısı ortaya çıkar ve elektrolitin sıcaklığını sabit tutmak için elektrolitin soğutulması gerekir. Kaliteli bir eloksal elde etmek için malzemenin metalurjik yapısının kaliteli olması ve eloksal tesisinin gerekli mühendislik kriterlerine göre dizayn edilmiş olması gerekir [20].

Mimari uygulamalar için eloksal tabakasının renklendirilmesi amacı ile birçok çalışmalar yapılmış ve prosesler geliştirilmiştir. Bu proseslerin çoğu, eloksal tabakasının gözenekli yapısının, renk verici pigmentleri barındırması esasına dayanmaktadır [21].

Eloksal yapabilmek için profil, levha, ya da aksesuar şeklinde olabilen alüminyum malzeme kullanılır. Alüminyum dışında başka metallere eloksallama yapılamaz. Sülfürik asitli elektroliz yöntemiyle sadece alüminyum ve alaşımları eloksallanabilir. Günde ortalama 15 ton civarında bir eloksal üretimi için yaklaşık 50 ton suya ihtiyaç vardır. Bunların yanı sıra sülfürik asit, kostik, nitrik asit, kalay sülfat gibi kimyasallara da ihtiyaç duyulur. Buhar ve elektrik enerjisi de eloksallama işlemi için gereklidir [20].

Yüzey işlemleri, ürünün estetik görünümünü iyileştirmek, korozyon ve aşınmaya karşı direncini arttırmak için yapılır. Şekil 2.5' de alüminyum eloksal tesisinin işlem şeması verilmiştir.



Şekil 2.5. Tipik bir eloksal tesisinin basitleştirilmiş işlem şeması [20].

2.3.1. Mekanik ön işlemler

Mekanik işlemler arasında polisaj, satinaj, çapak alma veya kumlama gibi işlemler sayılabilir. Çapak alma ve kumlama gibi işlemler daha ziyade küçük parçalar için uygulanır. Polisaj ve satinaj işlemleri ise genellikle profillere uygulanır. Satinaj işlemi sonucunda özellikle ekstrüzyon çizgilerini kamufle etme ve/veya kimyasal matlaştırmayı kolaylaştırmaya yönelik, kullanılan fırça tellerinin kalınlığına bağlı olarak, hafif çizgiler oluşturulur. Polisaj işlemi sonucunda parlak bir yüzey elde edilir [20].

2.3.2. Kimyasal ön işlemler

Kimyasal ön işlemler, sonuçta istenen yüzey kalitesine göre seçilir. Sonuçta mat yüzey elde etmek için sodyum hidroksit içeren çözeltilerde dağlama yapılırken, parlak yüzey eldesi için de asit içeren çözeltilerle kimyasal daldırma veya elektrokimyasal parlatma metotları kullanılır [21]. Parlatma için kullanılan çözeltilerde, fosforik, sülfürik, nitrik, kromik asitlerin tamamı veya birkaçı bulunabilir. Kimyasal ön işlemler, birkaç etaptan oluşur.

Matlaştırmaya yönelik kostikleme veya parlatma işlemlerinden önce, yağ alma olarak adlandırılan yüzeye aşındırıcı tesirde bulunmayan bir temizleyici işlem uygulanır. Kostikleme veya parlatma işlemini ise, yüzeyde oluşacak reaksiyon kalıntılarını temizlemeye yönelik bir asitle temizleme işlemi takip eder.

Yağ alma

Genellikle, yağ alma çözeltileri, su-esaslı çözeltiler olup, karbonat, fosfat, ıslatıcı ajan ve bazen de bir kompleks yapıcı içeren bazik çözeltilerdir. Alternatif olarak, sülfürik veya fosforik asit ve bazı ilave kimyasallar içeren asidik bir çözeltilerde olabilir. Oda sıcaklığında çalışan, bazı hidrokarbon çözücüler içeren organik esaslı yağ alıcılar, özellikle mekanik yöntemle parlatılmış yüzeylerdeki polisaj cilasını temizlemekte yetersiz kalırlar [21].

Matlaştırma

Alüminyum yüzeyinin matlaştırılması için genelde sodyum hidroksit içeren çözeltiler kullanılır ve bu işleme "kostikleme" denir. Kostik banyosu, 60°C civarında çalışır [20]. Reaksiyon sonucunda, yüzey alanının her metrekaresinden 80-120 gr alüminyum çözünerek eriyiğe geçer. Eriyiğe geçen alüminyum denge derişimini aştığında, banyo dibine çökeler. Sodyum hidroksit banyolarında, alüminyum derişimi önemlidir ve kontrol edilmelidir [21].

Sodyum hidroksit rejenerasyonu

Sodyum hidroksit banyosunda çözünen alüminyum çözeltilerden temizlenir ve böylece çözelti içindeki sodyum hidroksit geri kazanılır. Rejenerasyon işleminde, sodyum hidroksit çözeltisi sodyum hidroksit banyosu ile kristalizatör arasında kapalı devre dolaşır. Kristalizatör, bir çeşit depo olup, çözelti içindeki alüminyumun, alümina trihidrat olarak çöktürüldüğü yerdir. Bu çökelti içindeki su giderilerek, %90 oranında katı atık elde edilebilir [4].

Polisaj (Parlatma)

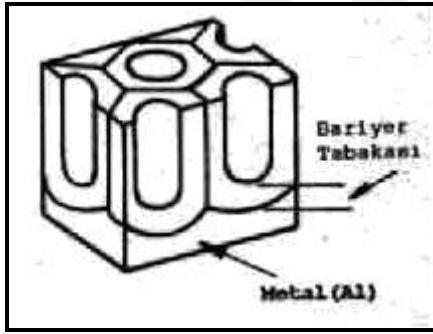
Parlatma, kimyasal veya elektrokimyasal olmak üzere iki metotla yapılabilir: Kimyasal parlatmada en parlak yüzey alüminyumun önce mekanik polisaj işleminden geçirilmesi, sonra da 100°C civarında çalışan ve fosforik, sülfürik, nitrik asit içeren çözeltilere daldırılması ile elde edilir. Elektrokimyasal parlatma ise kimyasal parlatma banyosuna elektrik akımı yapılır. Bu banyolar; fosforik, kromik, sülfürik ve nitrik asitlerin karışımlarından hazırlanır [21].

Temizleme

Sodyum hidroksitle yapılan matlaştırma veya kimyasal parlatma işlemleri sonucunda, alüminyum yüzeyinde bir çamur tabakası oluşur. Bunun temizlenmesi için, asidik bir banyo kullanılır. Bu amaçla en yaygın kullanılan banyo, oda sıcaklığında çalışan ve hacimsel olarak %30-50 derişiminde nitrik asit içeren banyodur [4].

2.3.3. Eloksal tabakasının yapısı

Eloksal tabakası, alüminyuma entegre bir tabaka olarak oluşur ve metal/oksit ara kesitinde oluşan bölümüne özel olarak bariyer tabakası adı verilir. Eloksal tabakasının gözenekli yapısı, bu bariyer tabakasının üstünde büyür. Şekil 2.6' da eloksal tabakasının şematik üç boyutlu kesiti görölmektedir [4].



Şekil 2.6. Eloksal tabakasının yapısı [4].

2.3.4. Alüminyum oksitin elektrokimyası

Alüminyumun elektrokimyasal olarak oksidasyonunun tarihçesi geçtiğimiz yüzyıla dayanır. Yıllardan beri anodik proses, kromik, sülfürik, okzalik asit gibi elektrolitler kullanılarak ele alınmıştır. Alüminyum ve alaşımlarını korozyondan korumak için ilk patent 1923'te Bengough ve Stuart tarafından alınmıştır [22]. Anodizasyon, alüminyumun metalik görünüşünün korunduğu tek yüzey işlemidir. Anodik kaplamalar küçük ve muntazam gözeneklidir. Gözenek boyutu genelde anodizasyon voltajına bağlıdır ve tipik olarak 1 nm/volt mertebesinde. Değişik elektrolitlerin kullanımı 10~250 nm çapında gözenek elde etmeyi mümkün kılar. 10^2 - 10^5 /m² düzeyinde gözenek yoğunluğu elde edilebilir ve 100 µm'a erişen kalınlıkta anodik kaplamalar üretilebilir [23].

2.3.5. Alüminyum oksitin termodinamiği

Atmosferde alüminyum üzerinde oksidin oluşumu için doğal reaksiyon ilerleyişi Eş. 2.1 ile Eş. 2.6'da verildiği gibi geniş negatif Gibbs serbest enerji değişimi ile yorumlanır.



Eğer alüminyum elektrokimyasal anotlanırsa; (alüminyum) anotta oksit büyür.



Katotda hidrojen gazı gelişir.



Kompleks anyonların olmadığı kabul edilirse, Nernst eşitliği;

$$E = E^\circ - (RT/zF) \ln Q \quad (2.5)$$

$$E = -1.550 - 0.0591 \text{ pH} \quad (2.6)$$

Eşitliklere göre anot elektrot (Al) daki reaksiyon termodinamik olarak pH değerine, ayrıca elektrolit türü ve derişimi ile sıcaklığa bağlıdır. Bu değer elektrolit ve sıcaklık ile belirlenir [22].

2.3.6. Eloksal tabakasının genel özellikleri

Eloksal tabakasının alüminyuma tutunması, alüminyum ile bütünleşerek oluşmasından dolayı mükemmel sonuç verir. Eloksal tabakası çok sert ve böylece aşınmaya karşı çok dayanıklı olduğundan, alüminyuma üstün özellikler kazandırır. Tespit işlemi tamamlanmış bir eloksal tabakası çeşitli asit ve diğer kimyasallara karşı dayanıklı olduğundan, birçok ortamda alüminyumu korozyona karşı korur. Eloksal tabakasının şeffaf yapısı, alüminyumun metalik görünümünü ortaya çıkarır.

Bu özellik sayesinde alüminyum yüzeyine parlak veya mat görünüm verecek çeşitli mekanik veya kimyasal işlemler uygulanabilir. Eloksal tabakası, elektrik yalıtkanır.

Eloksal tabakası, alkali kimyasallardan olumsuz etkilenir. Bu nedenle, alkali ortamda, eloksallı yüzey üzerine korunma için özel bant veya kendiliğinden soyulabilen lake kaplama ile koruyucu film uygulanır.

Bu durum, özellikle, mimari uygulamalarda önem kazanır. İnşaat sahasında, eloksallı alüminyumun kireç, harç veya çimento ile temas etmemesi için gerekli önlem alınmalıdır. İnşaat bittikten sonra, eloksallı alüminyum üzerindeki koruyucu film çıkarılır [24].

2.3.7. Eloksal tabakalar

Alüminyum üzerine, istenilen özelliklere göre, çeşitli elektrolitler kullanılarak, farklı eloksal (anodik oksidasyon) tabakaları oluşturulur.

Endüstride kullanılan çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları Çizelge 2.2' te gösterilmiştir [24].

Çizelge 2.2. Çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları [24]

Elektrolit Asidi	Derişim, g/l	Sıcaklık, °C	Akım Y., A/dm ²	Voltaj, V	Tabaka Kalınlığı, mikron
Sülfürik	150/200	18/20	1,0/2,0	12/22	5/30
Sülfürik	180/400	-5/+5	1,5/3,0	15/70	25/125
Sülfürik/Okzalik	160/180	10/20	1,2/2,0	12/25	5/35
Kromik	30/100	25/55	0,1/1,0	30/70	2/8
Sulfosalisilik	60/70	18/25	2,0/3,0	35/75	15/35
Fosforik	120/250	20/30	1,0/2,0	30/120	1/30
Borik	40/50	70/100	1,0	50/5000	0,5'e kadar
Tartarik	20/40	70/80	2,0	120/150	0,16'ya kadar

2.3.8. Eloksal çamuru

Elektroliz metoduyla alüminyum profil veya metal levhaların sınırlı oksidasyonu proseslerinde elektrolit çözelti içinde oluşan alüminyum oksit ve/veya alüminyum hidroksit çamuru, bazı alüminyum bileşiklerinin üretiminde kullanılabilmekte ise de genel olarak sodyum, silisyum gibi bazı safsızlıklar içermesi sebebiyle ekonomik olarak kullanılamamaktadır, özellikle alüminyum levhaların elektrolitik yöntemle sınırlı oksidasyonu (eloksal) proseslerinde ele geçen anot çamuru, ilgili endüstride eloksal atığı veya kısaca eloksal olarak adlandırılmaktadır.

Özellikle kostik (NaOH) havuzlarındaki kostik, alüminyum ile reaksiyona girerek $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ oluşturur. Buradan atığın Al içerdiği tespit edilir. Bu zararı önlemek üzere inhibitör görevi gören katkı maddeleri ilave edilir. Ancak yine de kostik ile alüminyumun reaksiyonu engellenemez. Reaksiyonlar Eş. 2.7 ile Eş. 2.9'daki gibidir [25].



Eloksal atıkları alüminyum ürünlerin elektrolit bir çözelti içerisinde sınırlı oksidasyonu sırasında oluşur. Tesis atığı olan eloksal çamuru bu banyoların içerisinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Eloksal atıkları genel olarak alüminyum oksit, alüminyum hidroksit ve sodyum, silisyum, magnezyum ve kalsiyum gibi bazı maddelerin bir karışımıdır. Eloksal atıkları bazı değerli alüminyum bileşiklerinin üretiminde kullanılmıştır fakat içerisinde sodyum, silisyum gibi bazı safsızlıkları barındırdığından direkt olarak endüstriyel uygulamalarda kullanımı uygun bulunamamıştır [4].

Alüminyum eloksal işlem atıkları büyük bölümü eloksal çamuru oluşturmaktadır. Eloksal tesislerinde oluşan atıklar kimyasal banyolardan gelen yoğun çözelti ve yıkama suları olmak üzere ikiye ayrılır. Bu atıkların hepsi bir tank içerisinde karıştırılır, nötralize edilir, pıhtılaştırılır ve çöktürme işlemi yapılır. Elde edilen son atık ürün eloksal çamurudur. Bu çamur değişik kompozisyonlara sahip olabilir fakat üç temel bileşen içerir: alüminyum hidroksit, oksihidroksitler ve bazik sülfatlar (alüminyum sülfat) [4].

Eloksal çamurunun fiziksel ve kimyasal yapısı

Eloksal tesislerinde oluşan atıklar iki gruba ayrılır; kimyasal banyolardan gelen yoğun çözelti ve yıkama suları. Bu atıkların hepsi bir tank içerisinde karıştırılır, nötralize edilir, pıhtılaştırılır (topaklaştırılır) ve çöktürme işlemi yapılır. Elde edilen son ürün (atık ürün) eloksal çamurudur. Çizelge 2.3'te sulu eloksal çamurunun katı madde bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri görülmektedir. Bu çamur ağırlıklı olarak alüminyum hidroksit ve oksihidroksitleri içerir.

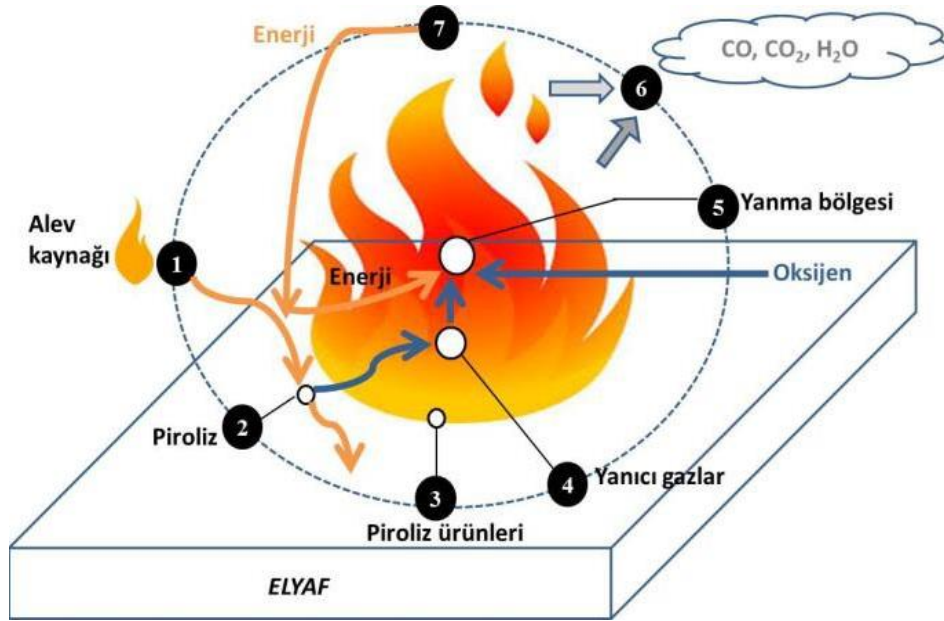
Çizelge 2.3. Sulu eloksal çamurunun katı madde bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri [20].

Bileşenler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
%	0,5-1	50-60	0,2-1	1-2	1-4	5-8

Eloksal çamuru yüksek su içeriğine sahiptir ve jelsi bir yapısı vardır. Çamur içerisinde %75 oranında nem barındırır. Bazı ham maddelerle homojen karışımlar yapmak zordur. Genellikle karıştırma işlemi yapılmadan önce eloksal çamuru ön kurutma işlemine tabi tutulmalıdır ki çamurun sertliği ve yoğunluğu artsın. Eloksal çamuru su ile karıştırıldığında kolayca çözünür ve homojen bir karışım oluşturur, bu sayede kurutma yapılmadan da su ile birlikte kullanılabilir [20]. Eloksal çamurunun rengi aşındırma işlemi sırasında kullanılan aside ve diğer işlemlerde kullanılan kimyasallara göre farklılık gösterebilir.

3. YANMA

Yanma mekanizması; ısı, oksijen ve yanıcı maddeye ihtiyaç duyan ekzotermik bir tepkimedir. Yanıcı madde oksijenli ortamda tutuşma sıcaklığına kadar ısıtıldığı zaman alev olarak yanmaya başlar ve yanma işlemi ortamda oksijen ve yanıcı madde kalmayınca kadar devam eder [26]. Şekil 3.1’de yanma döngüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. Yanma döngüsü [26].

Yanma genellikle insanlık tarihinde kazayla olan feci olaylardan biridir. Bugünlerde geniş boyutlarda yangına karşı yeni ve modern engelleme teknikleri güvenli tedbirleri getirir. Geçmiş yüzyıllarda büyük şehirlerde olan yangın felaketleri günümüzde hemen hemen ortadan kaldırılmıştır. 21. yy göz önünde bulundurulduğunda polimerik malzeme tüketimi oldukça artmaktadır. Bu sebeple polimerik malzemelerin tasarımı sırasında alev geciktiricilerin eklenmesiyle alev davranışının tahmini ve yapısal iyileşmesi oldukça önem arz etmektedir [27].

3.1. Alev Geciktiriciler

Yangınlardan dolayı ortaya çıkan can ve mal kaybını en aza indirmek için alınacak önlemlerden biride yanmayan veya yanmayı geciktirici malzemelerin kullanımıdır [5]. Alev geciktiricilerin, öncelikle alev geciktirme etkisine sahip olması ve içine katıldığı ana malzemenin işlenme özelliklerine zarar vermemesi ve uygunluğu beklenir [6].

Belli oranlarda ilave edilen alev geciktirici katkı maddeleri malzemelerin yanma prosesini engelleyebilir, minimize edebilir, bastırabilir veya bitirebilir [7].

Kullanılan alev geciktiricilerin birçoğu organik bileşikler ve fosfor içeren halojen bileşikler içerir. Yapısına bağlı olarak, bu geciktiricilerin her biri fiziksel ve kimyasal olarak katı, sıvı ve gaz fazlarda olabilir [27].

Alev geciktiricilerin çoğu çevre dostu değildir ve belediyesel yönetmeliklerden dolayı çevre dostu inorganik alev geciktiricilere ilgi artmıştır. En çok kullanılan inorganik bileşiklerden biri metal hidroksitlerdir. Metal hidroksitlerin endotermik bozunması etraftaki ısıyı absorplar, böylece endotermik bozunmanın hızını düşürerek alev geciktirme etkisi sağlar.

Alev geciktiriciler çevreye salınan yanıcı gazların buharlı sularını biriktirerek yanıcılığın düşmesini sağlar. Polimer ısı kapasitesini saf polimere göre geciktirir ve ısısal enerjiyi düşürür. Böylece alev gecikme potansiyeli gelişmiş olur.

Dolgu maddeleri malzemelerin yapısına eklendiğinde yapıda katı bir faz oluşturarak malzemenin yanabilirliğini etkiler ve malzeme aleve karşı daha dayanıklı olur.

Yanma işlemi boyunca ısısal bozunma reaksiyonu ile metalin yüzeyinde oluşan oksit tabakası malzemenin ısı kapasitesini düşürür ve bu tabaka ısıya karşı yalıtkan özellik göstererek aleve dayanımının artmasını sağlar [7].

Mühendislik yaklaşımı ekonomik ve kolay uygulanabilir olmalıdır. Bu alev koruyucu kalkanın kullanılmasını gerektirir. Ancak, bu metot damlama ve/veya bozunma, yapışkanlığın kaybı ve etki veya yaşlanmadan dolayı aşınması gibi bazı sınırlamalara sahiptir [27].

Kendiliğinden alev geciktiricili polimerler değişik türlerde üretilebilir ve farklı uygulamalarda kolaylıkla kullanılırlar. Ancak bu tür polimerlerin kullanımı yüksek fiyat ve geri dönüşümünün zorluğundan dolayı düşük alevlenebilir polimerler kullanılır [27].

Alev geciktiricilerin kullanılması ekonomik olup polimerlerin içerisine kolaylıkla ilave edilebilmektedir. Ancak, malzemenin geri dönüşümü zorlaştırır [27].

Alev geciktirici sistemler ortamdaki alev geciktirici sistemin doğasına bağlı olarak katı, sıvı, gaz fazında kimyasal ya da fiziksel olarak hareket edebilir. Bu hareketler tek başına olmaz fakat her bir farklı basamağın aynı anda gerçekleşmesiyle bir basamağın daha baskın olması sonucu oluşan kompleks bir prosestir [27].

Fosfor içerikli katkıların bozunması ısısal kararlılıktaki pirofosforik veya polifosforik türlerin ısısal kararlılığına sebep olur ve bu türler koruyucu bariyer oluşturmak için polimerleri katalizler.

Benzer mekanizma borik asit esaslı ilaveler, inorganik boratlar veya silikon içerikli bileşikler kullanılarak da gözlemlenebilir. Kömür verimi yanı sıra, kütle veya ısı transferi bariyeri olarak kömür kalitesi de önemlidir. Kömür kalitesi grafit karbon içeriğinden, ısısal oksidasyon direncinden ve morfolojik özelliklerden etkilenir. Karbon esaslı malzemeler alev geciktirici polimer sistemlerde “karbon içerenler” (kömür oluşturunucular) olarak etkin olarak değerlendirilir. Karbon esaslı malzemelerin ilavesi sadece kömür verimini iyileştirmez aynı zamanda kömür yüzeyini ve grafit karbon içeriğinin kompaktlığını da geliştirir [8-27].

Alev geciktiriciler değişik kimyasal bileşikleri içerir. Bu kimyasal bileşikler başlıca fosfor, halojen, silisyum, nanometre boyutundaki partiküller ve mineral katkı maddeleri olabilir. Fosfor esaslı ilaveler organik fosfor, inorganik fosfor, kırmızı fosfor ve şişme alev geciktirici sistemlerini içerir. Silisyum esaslı ilaveler silisyum dioksit (SiO_2) ve silikonları, nanometre boyundaki ilaveler karbon nanotüpleri, nanokilleri ve nanoboyuttaki partikülleri içerir. Mineral esaslı alev geciktiriciler ise hidrokarbonat, metal hidroksit ve boratları içerir [27].

Az miktardaki silisyum esaslı bileşiklerin polimerlere ilavesiyle onların alev geciktiriciliği oldukça iyileşebilir. Bu silisyum esaslı bileşikler silikon, silisyum dioksit (SiO_2), organosilikat, silseskioksan ve silikat olabilir [27].

Polimer matris içerisinde tabakalı, lifli ve partiküllü nano boyuttaki parçalar iyi dağılım gösterdiğinden ısısal, mekanik veya alev dayanımı özellikleri gelişir Her nano boyutlu partikülün alev geciktiriciliğe etkisi değişkenlik gösterir ve onun kimyasal yapısına, geometrisine bağlıdır [27].

İnorganik katkıları fiziksel alev geciktirici özelliğine sahiptir. Sistemin sıcaklığı arttıkça katkı maddeleri endotermik olarak bozunur ve sonuç olarak enerjiyi absorplar. Dahası H_2O ve CO_2 gibi yanmayan molekülleri açığa çıkarırlar. Bu moleküller sulu yanıcı gazları oluşturur ve aynı zamanda koruyucu seramik veya camsı tabaka oluşturur [8].

3.2. Alev Geciktirici Test Metotları

Malzemenin aleve dayanıklılığını belirlemek için yapılan testler gerek malzemenin türü, şekli ve boyutları ve gerekse testin yapıldığı cihaz anlamında farklılık arzeder. Bu malzemeler için tutuşabilirlik, malzemenin kendi kendine sönebilme zamanı, yüzeyin alev alabilirliği ve duman oluşumu gibi sonuçlar alınabilmektedir. Ayrıca, yanan bölgeyle ilgili olan testin uygulandığı geometri de önem taşımaktadır. Yani, malzemenin üst bölgesine ya da alt kısmına dikey veya yatay olarak alev uygulanabilmekte; ya da alev belli bir açıyla malzeme ile temas ettirilebilmektedir.

Polimerlerin aleve karşı gösterdikleri davranışlarını tam anlamıyla analiz edebilmek için birtakım standart test yöntemlerini uygulamak gerekir.

Uygulanan testler arasında, tutuşabilirliğin belirlenmesinde en önemli test, limit oksijen indisi testidir. NIST’de yapılan bir araştırmaya göre de alevlenme esnasındaki en önemli değişkenlerden birinin ısı salma hızıdır [29].

Malzemenin alev alabilirliğinin belirlenmesinde kullanılabilen bazı testler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir [12].

Çizelge 3.1. Yanma karakteristiğini belirleyen test yöntemleri [12].

Test No	Test Tipi	Test Sonuçları
ASTM D2843	Duman yoğunluğu	Yanma basamaklarında oluşan dumanın miktarı, dumanın oluşma hızı
ASTM D2863 (ISO 4589-2)	Limit oksijen indisi (LOI)	Malzemenin yanması için gereken en az hacimce % O ₂ miktarı
ASTM D635	Yatay pozisyonda plastiklerin yanma hızı ve yanma süresi	Çubuk şeklinde, levha veya panellerden kesilmiş plastiklerin yatay pozisyonda doğrusal yanma hızı ve yanma süresi
ASTM D1929 (ISO 871)	Plastiklerin tutuşma sıcaklığının belirlenmesi	Sıcak hava fırını içerisinde plastiklerin flaş tutuşma sıcaklığı ve kendiliğinden tutuşma sıcaklığı tayini
ASTM D380112 (UL 94) (ISO 9772) (ISO 9773)	Dikey pozisyonda plastiklerin karşılaştırmalı yanma davranışları testi	20 mm lik önceden ayarlanmış alevin dikey pozisyondaki numuneye tutulmasıyla yanma davranışlarının karşılaştırılması
ASTM E1354	Oksijen ortamında ısı ve görünür duman çıkış hızının belirlenmesi	Numunenin ağırlık kayıp hızıyla ısı salma hızı arasındaki ilişkiden bulunan etkin yanma ısısı ve duman oluşum miktarı

Polimerlerin yanıcılığı tutuşabilirlik, alev yayılma hızı ve ısı salınımı ile karakterize edilebilir. Endüstride ve/veya akademik laboratuvarlarda küçük, orta ve/veya tam boyutlu yanma testleri yapılır. En yaygın kullanılan yanma testi teknikleri koni kalorimetre, limit oksijen indisi (LOI), underwriters' laboratories (UL-94) ve Ohio devlet üniversitesi (OSU) ısı yayılım hızı testleridir [27].

3.2.1. Limit oksijen indisi (LOI) testi

Limit oksijen indisi (LOI), malzemenin yanmasını desteklemek için oksijen ve azot karışımındaki gerekli minimum oksijen derişimidir. Bu durum hacim yüzdesi (% hacim) olarak belirtilir. 1966'da Fenimore ve Martin tarafından ilk olarak ortaya çıkarılan LOI testi, malzemelerin bağıntılı yanıcılığını ifade etmek için kullanılır. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ASTM D 2863) (Ek-1), Fransa'da (NFT 51-071) ve uluslararası (ISO 4589) olarak standardizasyonu yapılmıştır [27-30].

Plastik endüstrisinde hem tutuşma hem de yanma dayanımının izleme ve kalite kontrolünün yapıldığı en önemli metottur. Ancak LOI ölçümleri oda sıcaklığında yapılır ve LOI değerleri sıcaklık arttıkça düşer. LOI testi boyunca polimerin erimesi ve damlaması numunenin sönmesine ve bu sebeple doğru olmayan yüksek LOI değerlerinin elde edilmesine sebep olabilir.

LOI testi cihazının pahalı olmaması ve test için sadece küçük boyutlu örneklerle ihtiyaç duyulması bu testin avantajlı yönlerini oluşturur [8].

LOI değeri 25'ten büyük olan materyal havada genelde kendiliğinden sönmekte; 25'ten küçük olan ise çok kolay yanmaktadır [6]. LOI'ye göre alev geciktirici sınıflandırması Çizelge 3.2'de verilmiştir [13].

Çizelge 3.2. LOI'ye göre alev geciktirici sınıflandırması [13]

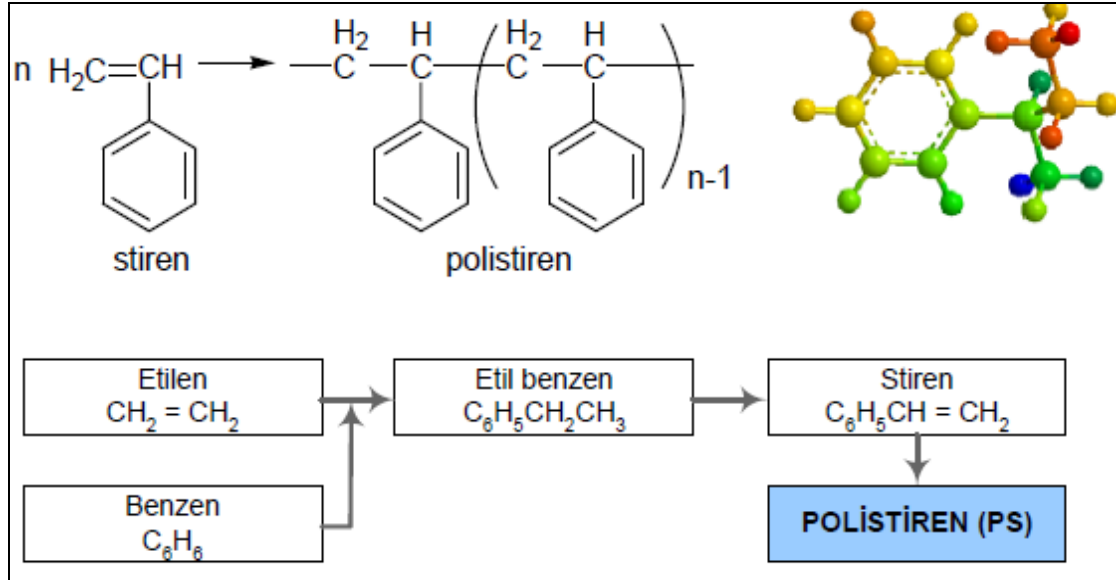
<%24	Yanabilir, alev alabilir
%24-28	Sınırlı alev geciktirici
%29-34	Alev geciktirici
>%34	Ekstra alev geciktirici

4. POLİSTİREN (PS) KÖPÜKLER

Polistiren bilinen en eski vinil polimerlerinden biridir; ilk olarak Fransız kimyacı M. Berthelot tarafından 1851’de benzen ve etilenin sıcak tüplerden geçirilmesiyle elde edilmiştir. Genel amaçlı ve kristalin homopolimerleri ile, stiren-akrilonitril (SAN), stiren-maleik anhidrid (SMA), stiren-bütadien (SBR) ve stiren-akrilikler gibi çeşitli kopolimerleri bulunur. Stiren ortam sıcaklığında bile çok kolaylıkla polimerleşebilen bir monomerdur; ancak bu koşullarda polimerizasyonun tamamlanması aylarca sürer. Sıcaklığın artması polimerizasyonu hızlandırır; örneğin, 150°C’de polimerizasyon süresi sadece birkaç saattir. Isının yükseltilmesiyle beraber bir başlatıcı (inisiyatör) ilave edildiğinde reaksiyonlar daha kısa sürede biter. Yüksek molekül ağırlıklı ve dayanıklı ürün elde etmek, yan reaksiyonları asgariye indirmek için proseslerin çoğu orta derecelerdeki sıcaklıklarda ve bir başlatıcıyla yapılır. Polistiren üretim şeması Şekil 4.1’de verildi [31].

Üretim metoduna göre iki şekilde olabilmektedirler. Şişirme metodu ile üretilene genişletilmiş (expanded) polistiren (EPS), extrude metodu ile üretilene de ekstrüde polistiren (XPS) adı verilmektedir. Şişirme metodunda, malzeme önce blok olarak şişirilmekte, sonra levhalar kesilmektedir. Extrude metotta ise banttan sürekli olarak malzeme alınmaktadır. Genleşmiş polistiren (styropor), polietilen zincirine iki karbondan bir, bir hidrojen yerine benzen eklenmiş polimerin köpürtülmesi ile elde edilmektedir.

Kalitesi yoğunluğuna bağlı olup, yoğunluk arttıkça basınç dayanımında, buhara karşı olan direncinde ve fiyatlarında artışlar görülmektedir [32]. Kapalı gözenekli bir malzeme olduğu için akustik düzenlemede kullanılmaz [33]. Diğer ülkelerde başlangıcından itibaren inşaatlarda da kullanılan EPS, Türkiye’de ancak 1986’dan sonra inşaatlara girebilmiştir. Bugün diğer ülkelerde olsun, Türkiye’de olsun inşaatlarda en çok kullanılan yalıtım malzemelerinin öncülerindendir. Bunun nedeni, her türlü ısı yalıtım malzemesinin en ucuzu oluşu ve sahip olduğu teknik özelliklerdir [34].



Şekil 4.1. Polistiren Üretim Şeması [31].

4.1. Ekstrüde Polistiren (XPS)

Ekstrüde polistiren (XPS), polistiren hammaddesinin ekstrüzyonla levha halinde çekilmesiyle üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Dow Chemical tarafından icat edilmiş, 1950’li yıllarda Amerika’da, 60’lı yıllarda ise Avrupa’da üretimine başlanmıştır. 1989’da ilk olarak Türkiye’ye ithal olarak gelmeye başlamış ve 1995’de de iki fabrikanın (Dow ve İzocam XPS fabrikaları) kurulmasıyla Türkiye’de imalatına geçilmiştir.

Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve basma mukavemetinde, değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha olarak üretilabilmektedir. Isı yalıtımı maksadıyla kullanılmaktadır. Isı iletkenlik değerleri (λ) oldukça düşüktür. (0,025 – 0,035) W/mK Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu = 90-100$ ’dür. Su buharı difüzyon direnç katsayısı yoğunluğa göre değişmektedir. En düşük yoğunluk 25 kg/m^3 için $g=80-150$; en yüksek yoğunluk 45 kg/m^3 için $g=150-220$ arasında olmaktadır [34]. Kullanım sıcaklığı - $50^\circ\text{C}/+75^\circ\text{C}$ aralığındadır. %100 kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olup bünyesine su almamaktadır. Bizzat suyun içinde dahi donma çözülme dirençleri oldukça yüksektir ve özelliklerini kaybetmemektedir. Kapiler emiciliği yoktur. Basma dayanımı çok yüksektir. Rijit-mekanik mukavemetleri (basma, 50 yıl süreyle sünme, çekme) oldukça yüksektir. (200 – 1000 kPa) Alman Normu olan DIN 4102’ye göre “zor alevlenici malzemeler” olan B1 sınıfında, TS EN 13501-1’e göre E sınıfındadır. Alerji yapmamakta ve en ekonomik ısı yalıtım malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Güneşin ultraviyole ışınlarından ve tiner gibi çeşitli çözücülerden korunmalıdır, aksi halde deformasyona uğrayabilirler. Çatı (teras – kırma), duvar (dıştan, sandviç, içten), toprak altı yalıtımlar (bodrum perde duvarı, temel yalıtımı, donmaya karşı yol, havaalanı pistleri ve demiryolu yalıtımları), döşeme (döşeme betonu altı, üstü ve şap altı vb.) gibi tüm binalarda ve mühendislik yapılarında güvenle kullanılmaktadır [35-36].

Yoğunluğun ve hücre sayısının polistren köpük malzemelerde diğer ısı yalıtım malzemelerinde de olduğu gibi ürün performansı üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Daha çok sayıda hücre (daha yoğun malzeme); hücrelerin küçülmesi, hücre sayısının artması ve şişirme gazının küçük hücreler içerisine hapsolarak daha düşük ısı iletkenlik değeri (λ) oluşmasını ve bu değerin uzun süre ile korunmasını sağlar [36].



5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Erdem ve arkadaşları [25] eloksalın portland çimentosunun hızlı sertleşmesi için bir katkı maddesi olarak etkisini araştırmışlardır. Portland çimentosu ile karışımı takiben farklı oranlarda kurutulmuş, çimento karışımlarının hidrasyon gelişimi, ayar süreleri, ekstrüzyon sıkıştırma uzunlukları, hacim açılımı, X-ışını kırınımı ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) tekniklerini kullanarak incelemişlerdir. Kütlece %4'e kadar çeşitli oranlarda Portland çimentosuna eloksal ilave edilerek hazırlanan çimentolar için, sertleşme süreleri hafifçe kısalırken, flüoresan ve basınç dayanımlarının arttığını görmüşlerdir.

Ogundiran ve arkadaşları [37] uçucu kül jeopolimerleri üretmek için yaygın olarak kullanılan silikat çözeltilerinin yerine atık alüminyum eloksal çamurunun kullanılmasının etkilerini araştırmışlardır. Uçucu kül ve eloksal atık kullanılmasının ekonomik ve çevresel kazanımlarını da vurgulamışlardır.

Costaa ve arkadaşları [38] CSAB klinkerleri üretmek üzere boksitin yerine alüminyum eloksal atığının kullanılmasını değerlendirmişlerdir. Klinkerlerin alüminyum kaynağını alüminyum eloksal atığından elde etmişler, bu klinkerlerin, reaktif maddeler ile üretilen bir referans klinker ile karşılaştırıldığında, daha düşük bir ye'elimit (kalsiyum sülfat) içeriği (%35,5) ve aynı zamanda alit (trikalsiyum silikat) oluşumu (%8,2) gösterdiğini belirtmişlerdir. Hidratlı çimentolarda alüminyum eloksal atığın, CSAB çimentosunu üretmek için kullanılmasının, teknik olarak mümkün olduğunu kanıtlamışlardır.

Mikio Kumita ve arkadaşları [39] su soğutma sistemleri ve ısı pompaları için, alüminyum eloksal ve kalsiyum klorürden oluşan yeni bir katı sorbent önermişlerdir. Alüminyumun asit banyolarında elektrolize edilmesiyle yüzeyinde ince ve gözenekli bir alüminyum oksit film tabakası oluşur ve bu tabaka elektrolitik sülfürik asit banyosu kullanılarak hazırlanır. Alüminyum eloksalın fiziksel özellikleri, akım yoğunluğu, işlem süresi ve sıcaklık gibi elektrolitik koşullar ile belirlenebilir. Kalsiyum klorür-alüminyum eloksal kompozit sorbentini emprenye yöntemi ile hazırlamışlardır. Alüminyum eloksal tabakalarına emprenye edilen kalsiyum klorür miktarı, ağırlıkça %16,1'e ulaşmış ve bu katmandaki kalsiyum klorür birikimi X-ışını analizi ile belirlenmiştir.

Elde ettikleri deneysel sonuçlarda, alüminyum eloksalın yalnız kullanımında çok az su buharı adsorbe ettiğini, ancak hazırlanan kalsiyum klorür-alüminyum eloksal kompozitinin, düşük basınç aralığında dahi su buharına karşı aktif olduğunu gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla, bu kompozitin, su soğutma sistemleri ve ısı pompaları için umut verici bir sorbent olduğunu belirtmişlerdir.

Sujitra Onutai ve arkadaşları [40] alüminyum hidroksit atığının jeopolimerlerde yeniden kullanımıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmalarında, çimento malzemeleri için alüminyum atık ve uçucu külleri ağırlıkça %10-60 olan farklı içeriğe sahip alüminyum atıklarına karıştırmışlardır. 5, 10 ve 15M NaOH derişimlerindeki NaOH'leri, jeopolimerizasyon için alkali aktifleştirici olarak kullanılmışlardır. Jeopolimerlerin çamur özelliklerini viskoelastisite ölçümleri yaparak, daha yüksek alüminyum içeren çamurun daha yüksek bir elastik modüle sahip olduğunu ve ayar süresinin saf uçucu külden daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Jeopolimerliğin NaOH derişimi arttıkça arttığını gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri jeopolimerlerin mekanik özelliklerini, mikro yapılarını, bağlanma özelliklerini ve fazlarını tespit etmişlerdir. Jeopolimerlerdeki alüminyum atıklarının içeriğinin jeopolimerin kuvvetini etkilediğini görmüşlerdir. Sonuç olarak elde ettikleri jeopolimerdeki ağırlıkça %40'lık alüminyum atık içeriğinin, 80°C'de sertleştirildiğinde yaklaşık 40 MPa'lık en yüksek sıkıştırma mukavemetine ve 2,8 g/cm³'lük en yüksek kütle yoğunluğuna sahip olduğunu, X-ışını tarama sonuçlarıyla da elde edilen sonuçları destekleyen yoğun bir yapıya sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Álvarez-Ayuso ve arkadaşları [41] alüminyum eloksal endüstrisindeki atık akışıyla ilgili düzenlemeler sunmuşlardır. Alüminyum eloksal sanayisinden ortaya çıkan atıklar için kaynak malzemelerinin geri kazanılmasını ve çevreye verilen emisyonların azaltılmasını amaçlayan jeokimyasal süreçler gibi yenilikçi yöntemler önermişlerdir. Refrakter gövdelerin imalatındaki eloksal çamurunun kullanımı, aşındırma, eloksal ve parlatma işlemlerinden kaynaklanan atık sulardan faydalı minerallerin sentezi gibi umut verici çözümler sunmuşlardır. Alüminyum eloksal endüstrisinin atık akışının düzenlenmesi için çevre dostu görünen bu yöntemler, nihai ürünün işlem maliyetinin ve pazardaki var olabilirliğinin, yakın gelecekte uygulanabilir olmasında belirleyici faktörler olduğunu belirtmişlerdir.

Colonetti ve arkadaşları [42] yaptıkları çalışmalarda birincil alüminyum kaynaklarındaki alüminyum bileşiklerinin yerine alüminyum eloksal atığından elde ettikleri kimyasal olarak bağlanmış fosfat seramikleri içeren kaplamalar kullanılmışlardır. Alüminyum eloksal atıkları monoalüminyum fosfat bağlayıcısının hazırlığında kullanılan alüminyum hidroksit eldesi için yıkama işlemine tabi tutulmuş ve alümina elde etmek için kalsine edilmiştir. Kaplamalar seramik substratlara püskürtülerek uygulanmış ve 20 saat 350 ° C'de tutulmuş, sertleştikten sonra, kaplamalar SEM, XRD ve aşınma testi ile karakterize edilmiştir. MAP biçiminde alüminyum eloksal kullanımıyla elde edilen sonuçların birincil alüminyum hidroksit kaynağı kullanılarak elde edilen sonuçlarla aynı olduğunu farketmişlerdir. 1500°C'de kalsine edilen alüminyum eloksal atığının, ticari alümina ile üretilen numunelere eşdeğer aşınma direnci gösterdiğini ve benzer yüzey alanına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ile alüminyum eloksal atığının CBPC'lerin üretimi için hammadde olarak kullanılabileceğini ve endüstriyel atıkların ticari ürünlere alternatif olarak değerlendirilebilmesinin önemini vurgulamışlardır.

Garcia-Valles ve arkadaşları [43] endüstriyel atıklardan elde edilen PROUSÓ isimli yeni bir malzeme elde etmişlerdir. Bu çevre dostu malzeme için ham madde olarak alüminyum geri dönüşüm sürecinden elde edilen cürufu, mermer endüstrisinden elde edilen tozları, dökümhane kumlarını, geri dönüştürülmüş ambalajdan elde edilen geri dönüştürülmüş genişletilmiş polistireni ve plastik killer gibi bazı doğal malzemeleri kullanmışlardır. PROUSÓ elde etmek için, yeni mineral fazlar oluşturan ve kirlenmiş elementleri yapıya dahil eden konvensiyonel seramik bir proses kullanmışlardır. 500 Hz frekans bandındaki sesi % 95 emdiği ve basınç dayanımı, seramik duvar yapımında kullanım için ideal olduğu belirtilen PROUSÓ'nun mükemmel bir akustik ve ısı yalıtım malzemesi olduğu görülmüştür.

Yaraş [26] yaptığı çalışmada selülozik çadır kumaşlarına alev geciktirici nitelik kazandırma amacı ile fiziksel ve kimyasal değişiklik yöntemleri uygulamıştır. Fiziksel değişiklik yöntemi ile çadır kumaşının nano boyuttaki hegzagonal bor nitrür (h-BN) tabakalarıyla kaplanması sonucu alev geciktirici etki sağlanmadığı görülmüştür. Bor nitrür tabakaları sayesinde süper hidrofobik selüloz yüzey elde edilmiş, su temas açısı 120,2° olarak ölçülmüştür. Borik asit ve boraks emdirme yöntemi ile ayrı ayrı ve birlikte selülozik çadır kumaşına uygulandığında, kütlece %5 borik asit ve %5 boraks derişiminde en yüksek değerine (45,0) ulaşılmış fakat yıkamaya karşı dayanım sağlanamamıştır.

Yıkama dayanımını geliştirmek amacıyla boya banyosuna farklı derişimlerde borik asit, boraks ve çinko borat ilave edilmiş, bor bileşiklerinin selüloz ile tepkimeleri başarısız olduğundan alev geciktirme sağlanamamıştır. Selülozik çadır kumaşına yıkamaya dayanıklı ve alev geciktirici özellik kazandırmak amacıyla sodyum silikat ile sırasıyla kütlece %5 borik asit ve %5 çinko borat emdirme yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Yıkama öncesi kumaşların değerleri sırasıyla 34,5 ve 34,3; 5 yıkama sonrasında ise 31,3 ve 31,5 olarak tespit edilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları termal gravimetrik analiz (TGA), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çoban ve arkadaşları [44] yaptıkları çalışmada, trifenil fosfat ile yanmazlık özelliği geliştirilmiş ve plastikleştirilmiş poli(laktik asit)'in özellikleri üzerine farklı nano katkıların etkisini incelemişlerdir. Bunun için kontrol numunesi olarak plastikleştirilmiş ve trifenil fosfat eklenmiş poli(laktik asit) kompozitini üretmişler ve bu kompozite üç farklı oranda nanokil, karbon nanotüp ve amino propil izobütil poli(hedral oligomerik silseski okzan), alev geciktirici miktarını azaltarak eklemişlerdir. Örnekleri ekstruderde eriyikten karıştırma ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile hazırlamışlar ve ısı, mekanik, yanmazlık ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çekme testine göre %1 amino propil izobütil poli(hedral oligomerik silseski okzan) içeren nanokompozit en yüksek çekme dayanımı ve kopma uzaması değerini göstermiştir. Karbon nanotüp ve amino propil izobütil poli(hedral oligomerik silseski okzan) kullanıldıklarında artan yükleme miktarına bağlı olarak kopma uzaması ve çekme dayanımı değerlerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Termogravimetrik analiz sonuçlarına göre tüm nanokompozitlerin bozunma sıcaklıklarının üretim sıcaklığından yüksek olduğunu görmüşlerdir. Taramalı elektron mikroskobu analizlerinde trifenil fosfat, nanokil ve karbon nanotüp içerikli kompozitlerde homojen bir dağılım gözlemlemişlerdir. Geçirimli elektron mikroskobu analizinin bu sonucu desteklediğini farketmişler fakat amino propil izobütil poli(hedral oligomerik silseski okzan) içerikli nanokompozitte nanoboyutta agregalar gözlemlemişlerdir. Yaptıkları limit oksijen indisi testi sonuçlarında en iyi değeri nanokil içerikli kompozitlerde elde etmişlerdir. Dikey yanma testinin sonuçlarına göre ise %1-2 nanokil içeren kompozitlerin V-0 sınıfı ile en iyi yanmazlık özelliğini sergilediğini belirtmişlerdir.

Yıldırım ve arkadaşları [45] boya malzemelerinin alev geciktiricilik özelliklerini incelemiş ve geliştirmeye yönelik çalışmalar yapmışlardır. Boya malzemelerine çevre dostu (halojen içermeyen), nanoboyutlu alev geciktirici malzemeleri (Huntit/Hidromanyezit) farklı miktarlarda ilave ederek kompozit malzemeler elde etmişlerdir. XRD, FTIR, XPS ve SEM ile karakterizasyon analizlerini, alev geciktiricilik özelliklerinin incelenmesi amacıyla da UL94 testlerini yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda huntit ve hidromanyezit takviyeli polimerik kompozit kaplamaların/boyaların alev geciktirici özelliklerinin artmasının yanında mekanik özelliklerinin de geliştiğini gözlemlemişlerdir.

Eren ve arkadaşları [46] yaptıkları çalışmalarda kontrollü polimerizasyon tekniklerinden ROMP (Halka açılma metatez polimerizasyonu) metodunu kullanarak fosfonat esteri ve fosfonik asit içerikli polimerlerin homo ve blok kopolimerlerini sentezlemişler ve bunların alev geciktirici özelliklerini incelemişlerdir. Yanmazlık testleri kapsamında TGA analizlerinin yanısıra, LOI (limit oksijen indisi) değerlerini de incelemişlerdir. Sentezlenen polimerlerin TGA analizleri sonucuna göre 600°C sıcaklıkta yaklaşık %50'sinin bozunmadan kaldığını, özellikle fosfonik asit esaslı polimerlerin, fosfonat esteri esaslı olanlara göre ısı kararlılığının daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Elde edilen fosfor içerikli bu polimerlerin alev geciktirici başka bir katkı malzemesi olmaksızın polimerlerin kendiliğinden yanmaz özellik kazandığını belirtmişlerdir.

Aydoğan ve arkadaşları [47] endüstriyel uygulamaların birçok alanında kullanılan, kolay tutuşma ve yanma özelliklerine sahip olan esnek poliüretan köpük malzemelerin yanma davranışlarını iyileştirmek amacıyla farklı katkı ve dolgu malzemelerinin ilave edildiği çalışmalar yapmışlardır. Esnek poliüretan köpük malzemeye amonyum polifosfat, pentaeritritol ve melaminden oluşan kabaran alev geciktirici sistemleri %5 ve %10 oranlarında ilave etmişlerdir. Konik kalorimetre testleri ile KAG ilaveli esnek poliüretan köpük malzemenin zamana bağlı ısı yayılım hızları ve toplam ısı yayılım miktarlarının yanı sıra yanma sırasında oluşan zararlı emisyonlar olan is, karbon monoksit ve azot oksit oluşumlarını da incelemişlerdir. %5 ve %10 oranlarında kabaran alev geciktirici ilavesi ile oluşan karbonlaşmış kabuğun etkisi ile başlangıçta yanmanın şiddetinin azalarak maksimum ısı yayılım hızının düştüğünü, bununla birlikte oluşan kabuğun parçalanması ile yeniden ısı yayılım hızının arttığını, yanma sırasında is ve NO oluşumlarının kabaran alev geciktirici ilavesi ile azaldığını, fakat karbon monoksit emisyonunun arttığını gözlemlemişlerdir.



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneme-1

1. aşama: Akrilik bağlayıcı fırça ile homojen olarak sunta yüzeylere sürüldü, 1 saat 50°C’de etüvde bekletildi. Yüzeylere sürülecek karışımı oluşturmak için ayrı olarak 70°C’lik suda bağlayıcıyla beraber eloksal atığı bir süre karıştırıldı, oda sıcaklığına geldikten sonra kaba süzgeç kağıdından süzüldü. Elde edilen çökelekte sulu faz uzaklaştırıldı.

2. aşama: Elde edilen karışıma kütlece %1 oranında çinko borat içeren su-bazlı ve hidroksi etil selülozlu iç cephe boyası (Çizelge 6.1) eklenerek karıştırıldı. Oluşturulan karışım bir spatula ile sunta panel ve çubuklara 1-2 mm kalınlığında uygulandı. Üzerine tekrar bir kat bağlayıcı sürülerek 24 saat 50°C’ de etüvde bekletildi [48].

Çizelge 6.1. Su bazlı iç cephe boya formülasyonu [48].

Kimyasal Madde	%w/w
Su	20,0
Kalgon	0,25
Amonyak	0,004
Köpük Kesici	0,3
Dispersiyon Ajanı	0,32
TiO ₂	10,0
Kalsit (2µm)	28,84
Kalsit (5µm)	23,33
Hidroksietil selüloz	0,3
Zamk	16,66
Teksanol	1,0
Akrisol	2,5
Çinkoborat	1,0

Deneme-2

Deneme-1'deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe çinko borat ve bağlayıcı ilave edilerek iyice karıştırıldı ve sunta panellere uygulandı. Üzerine tekrar bir kat bağlayıcı sürülerek 24 saat 50°C'de etüvde bekletildi.

Deneme-3

Deneme-1'deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe çinko borat ve fiber glass lifleri ile Cr_2O_3 yeşil pigmenti ilave edilerek iyice karıştırıldı ve sunta panellere uygulandı. Üzerine tekrar bir kat bağlayıcı sürülerek 24 saat 50°C'de etüvde bekletildi.

Deneme-4

Deneme-1'deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe ıslak atık miktarı kadar kalsiyum karbonat ve 0,1M HCl ilave edilerek karıştırıldı. Elde edilen karışıma kütlece %1 oranında çinkoborat ilave edildi, bir spatula ile panel ve çubuklara 1-2 mm kalınlığında uygulandı. Üzerine tekrar bir kat bağlayıcı sürüldü. 24 saat 50°C'de etüvde bekletildi.

Deneme-5

Deneme-1'deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe ıslak atık miktarının iki katı kadar CaCO_3 ile 0,1 M HCl ilave edilerek karıştırıldı. Burada CaCO_3 miktarının fazla olmasının sebebi NaHCO_3 kullanılmasındandır. Karbondioksit gazı çıkışıyla gözenekli ve daha yüksek miktarda karışım elde edildi. Elde edilen karışım bir spatula ile panel ve çubuklara 1-2 mm kalınlığında uygulandı, bağlayıcı uygulandıktan sonra 24 saat 50°C'de etüvde bekletildi. Tüm numunelerin sıcak ve soğuk şartlara dayanım sonucunu görebilmek için 3 ay süreyle - 18°C ve 50°C'de uç sıcaklıklarda bekletildi [48].

Yapılan bu ön çalışmalar doğrultusundaki elde edilen sonuçlarda istenilen sonuç elde edilemediği için farklı çalışma şartlarında karışım yüksek yoğunluklu ısı yalıtım köpüklerinde uygulandı.

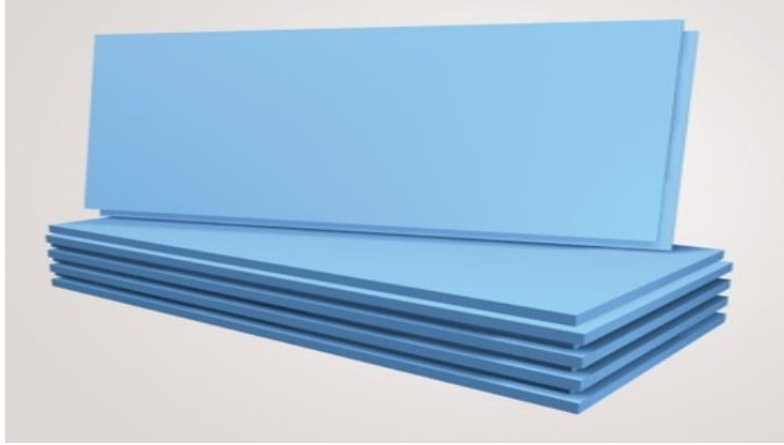
Resim 6.1'de verilen alüminyum eloksal atıklarından 150 gr örnek porselen havanda ezilerek ASTM 20 mesh numaralı (0,850 mm çapında) elekten geçirildi.

Elek altı toz numune 70°C sıcaklıkta 400 ml’de suda çözünen 40 g akrilik bağlayıcıya eklendi, reaksiyon için bir süre karıştırılarak bekletildi, süzüldü ve 50 gramlık iki ayrı çökelek alındı. Suyu yıkama yapmadan doğrudan kullanıldı. Akrilik bağlayıcı eşliğinde kalsiyum karbonat (Merck katalog no. 471-34-1, CaCO_3) ve 0,1M HCl (Merck katalog no. 1003172500, HCl) eklendi. Karışımlardan birine sodyum bikarbonat (Merck katalog no.144-55-8, NaHCO_3), diğerine ise çinko borat (Sigma-Aldrich katalog no. 10361-94-1, %45 ZnO-%36 B_2O_3) eklendi. Sodyum bikarbonat ve çinko borat gibi borlu ve yangına dayanıklı bileşiklerin yanısıra atıklarda bulunan alüminyum trihidrat ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ve alümina (Al_2O_3) bileşiklerinin birleştirilmesi ile sinerjik etkiyle alev geciktirici olarak kullanıldı.



Resim 6.1. Alüminyum eloksal atığı ve ASTM 20 mesh numaralı elekten geçirilmiş elek altı toz numunesi

Panellerde matriks elemanı olarak Wallboard Tip 2500 Düz markalı, 10 mm kalınlığında, ortalama yoğunluğu $0,029 \text{ g/cm}^3$ olan, %100 kapalı gözenekleri sayesinde homojen hücre yapısına sahip, azami kullanım sıcaklığı -50 ile +75 C arasında olan, E sınıfı zor alevlenen yangın sınıfında, alev yürütmez özelliğine sahip, düz yüzeyli XPS köpükler kullanıldı [49]. Resim 6.2’de deneylerde kullanılan XPS köpük numunesi ve Çizelge 6.2’de kullanılan XPS köpük levhanın özellikleri verilmiştir.



Resim 6.2. XPS polistiren köpük levha [49].

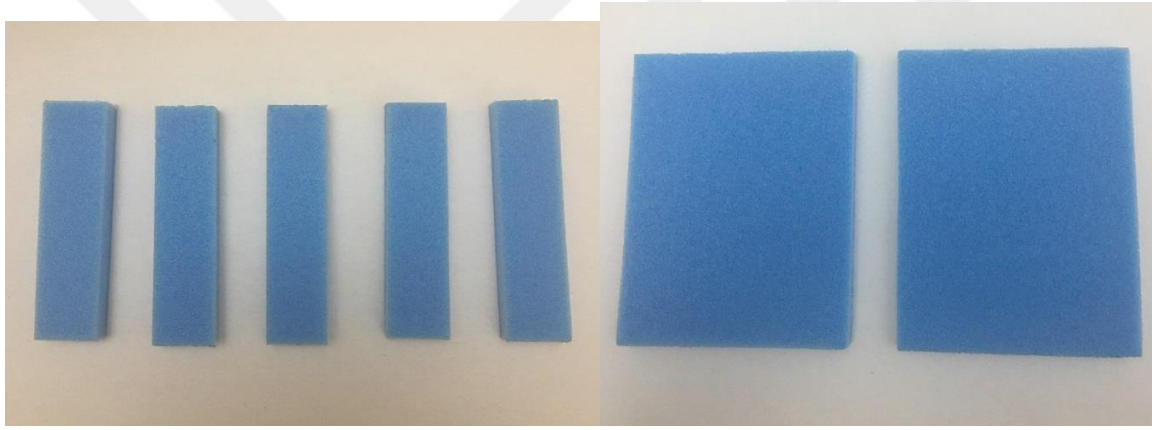
Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan XPS köpük levhanın özellikleri [49].

Özellikler	Tip 2500	
	Duvar-Teras	İç-Dış
Dış Yüzey	Düz	Desenli Kanallı
Min Yoğunluk (kg/m ³)	28-30	
Isı İletkenlik Kat Sayısı (90/90, 90d)	0,032	0,033
Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı MU (Δ)	100	
Yangın Sınıfı (11925-2)	E	
Min. Basınç Dayanımı %10 Deformasyonla CS (10/Y) (TSE EN 11989)	≥200	≥200
Tam Daldırma ile Uzun Sürede Su Emme WL(T)/TS EN 13164 / 26.06.2010	WL(T)0,7 (<%0,7)	
Kapilarite	YOKTUR	
Azami Kullanım Sıcaklığı (°C)	-50/+75	
Yüzeylerden Dik Çekme (TR kPa)	≥ 200	
Boyut Kararlılığı Belirtilen Basma Yüğü ve Sıcaklık Şartlarında	DLT (1)5 DLT (2)5	
Boyut Kararlılığı Belirtilen Sıcaklık ve Nem Şartlarında	≤ 5 (70±2° C'de 48 saat sonra) ≤5 (70°C'de ve %90±5 bağıl nem şartlarında 48 saat sonra) ≤2 (23°C'de ve %90±5 bağıl nem şartlarında 48 saat sonra)	
Donma - Çözülme Dayanımı (FT%)	FT2 (≤%1)	FT2 (≤%1)
Lineer Uzama Katsayısı (mm/mK)	≤0,07	
Kalınlık T(mm)	20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 - 80 - 100	
Kenar Profili	Düz veya Binili	
Genişlik w(mm)	600	
Uzunluk L(mm)	1250 - 3000	

Aleve dayanım deneylerinden (LOI) önce XPS köpükler 15 x 10 x 1 cm'lik boyutlarında köpük paneller ve 10 x 2 x 1 cm'lik boyutlarında çubuk bloklar şerit halinde kesildi ve Resim 6.3'te verildi. Köpüklerin bütün yüzeylerine elde edilen karışım fırça yardımıyla homojen bir şekilde sürüldü ve Resim 6.4'de verildi. 1-2 mm kalınlığında dış yüzeyler kaplandı ve 50°C'de 24 saat kurumaya bırakıldı.

15 x 10 x 1 cm'lik boyutlarındaki kaplanan köpükler -18°C ve 50°C'lik uç sıcaklıklarda, fiziksel görünüm testi için 3 ay bekletildikten sonraki görünümleri Resim 6.7'de verildi.

10 x 2 x 1 cm'lik boyutlarındaki kaplanan köpük numuneleri ise LOI testi için hazırlandı.

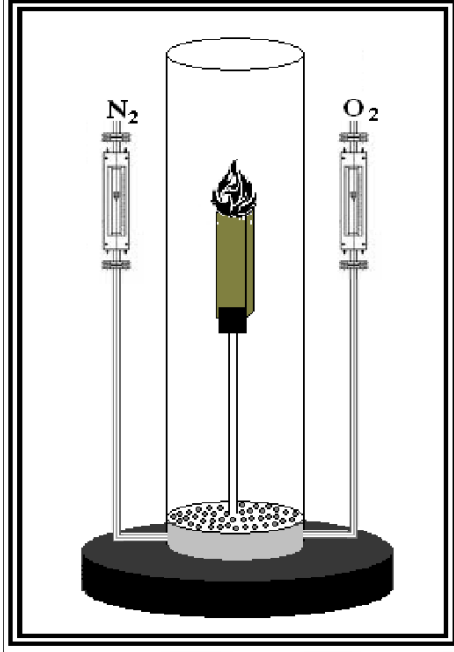


Resim 6.3. 10 x 2 x 1 cm ve 15 x 10 x 1 cm boyutlarında kesilmiş kaplama öncesi köpük numuneleri



Resim 6.4. Deney öncesinde yüzeyleri kaplanmış köpük numuneleri

Şekil 6.1’de verilen LOI deney düzeneğinde Dynisco Polymer Test–Limiting Oxygen Index Chamber (LOI) cihazı kullanılarak yapıldı. Testler ASTM D 2863 standardına [30] uygun olarak yapıldı. LOI testi sonrasına ait köpük numunelerin görselleri Resim 6.5’de verildi.



Şekil 6.1. LOI deney düzeneği

LOI testinde örnekler ASTM D 2863’e uygun olarak şekilde gösterildiği gibi düşey doğrultuda cam bacanın merkezine yerleştirilir. Gaz karışımının baca boyunca ve cam boncuklar kullanılarak homojen karışım sağlanarak akışı sağlanır. Dikey yerleştirilen numunenin uç kısmı yakıcıyla tutuşturulur. Burada LOI değeri 3 (üç) dakika boyunca malzemenin yanmaya devam etmesi ya da malzemenin 5 cm’lik kısmının yanarak tükendiği oksijen azot karışımındaki minimum oksijen derişimidir. Yüksek LOI değerine sahip malzemeler genellikle daha iyi bir alev geciktirici özelliği gösterir.

Elde edilen test sonuçları da yine ASTM D 2863 standardında belirtilen yöntemle göre hesaplanarak numunelerin oksijen indisleri hesaplandı [30]. Ölçülen bu O₂ yüzdeleri ile LOI testine göre yapılan alev geciktiricilik sınıflandırmasına göre malzemenin alev geciktiricilik potansiyeli konusunda fikir sahibi olunmuştur [13].



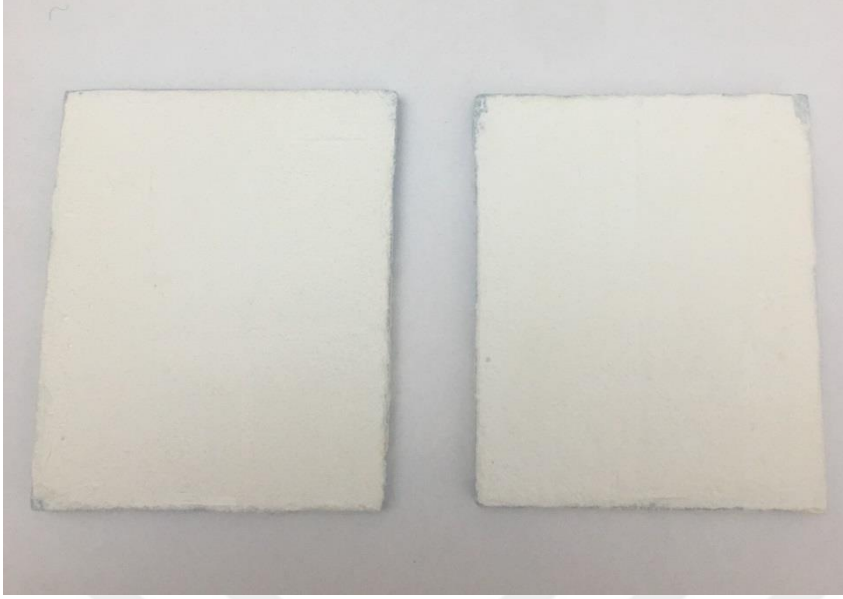
Resim 6.5. LOI testi sonrası köpük numuneleri

Uygulanan Dixon metoduna göre yanma süresi 180 saniyenin altında ise “O” tepkisi, 180 saniyenin üstünde ise “X” tepkisi vereceği belirlendi [30]. %27’ye karşılık gelen oksijen değerinde başlatılan 1.denemede yanma süresi 97 saniye olduğu tespit edilince sonraki denemelerde doğrudan doğruya %31, %33, %35 ve %37’e karşılık gelen oksijen derişimlerinde çalışıldı. Yapılan hesaplamalar ile oksijen ve azotun akış hızları hesaplandı ve deney bu değerlerle beraber tekrarlandı. Değerlerin standart sapması hesaplanarak sonuçların geçerliliği hesaplanarak doğrulandı.

Resim 6.6’da LOI testi öncesi ve LOI testi anındaki deney düzeneğinin durumu görülmektedir.

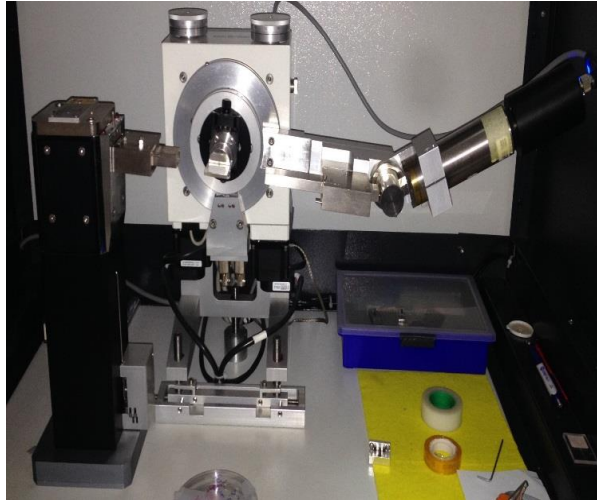


Resim 6.6. LOI testi öncesi ve test anındaki deney düzeneği



Resim 6.7. -18 °C-50°C uç sıcaklıklarda 3 ay bekletilmiş numuneler

Atıkların ve oluşturulan diğer karışımların yapı analizlerinin tayini için GNRAPD2000PRO X-Ray Diffractometer cihazı ile Cu-K α ışımada 1,46 Å'da 40KV ve 30mA koşullarında çalışılarak yapıldı. Kullanılan XRD cihazı Resim 6.8' de verilmiştir.



Resim 6.8. XRD cihazı ve iç haznesi

Atıkların ve oluşturulan diğer karışımların TG-DTA termal analizleri NETZSCHSTA449F3JUPITER cihazında argon atmosferinde 150-2400°C aralığında 10°C/dakika ısıtma hızında çalışılarak yapıldı. Kullanılan TG-DTA cihazı Resim 6.9'da verilmiştir.



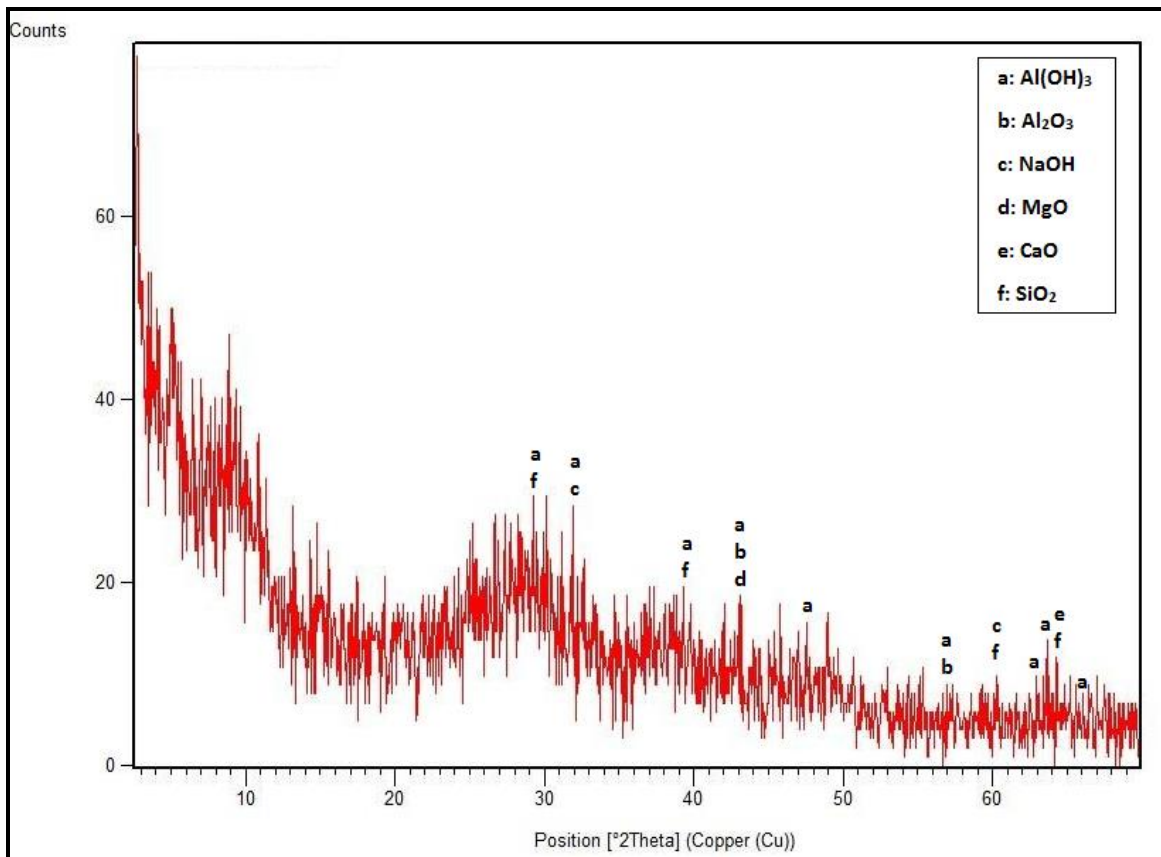
Resim 6.9. TG-DTA cihazı



7. SONUÇ VE TARTIŞMA

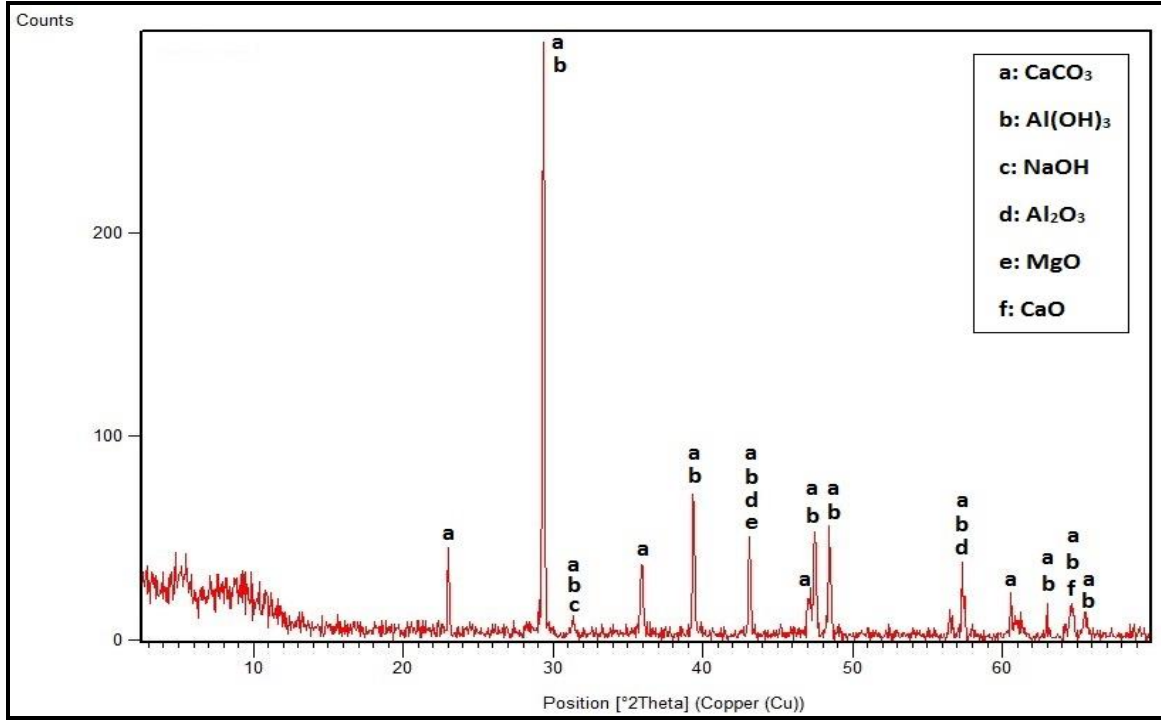
7.1. XRD Analiz Sonuçları

Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te ham alüminyum eloksal atıkları (%75 nem içerikli), kalsiyum karbonat içeren sodyum bikarbonat ve çinko borat içeren atığın Cu-K α ışığında 1,46 Å'da 40KV ve 30mA koşullarında çalışılarak yapılan XRD analiz sonuçları sırasıyla görülmektedir.



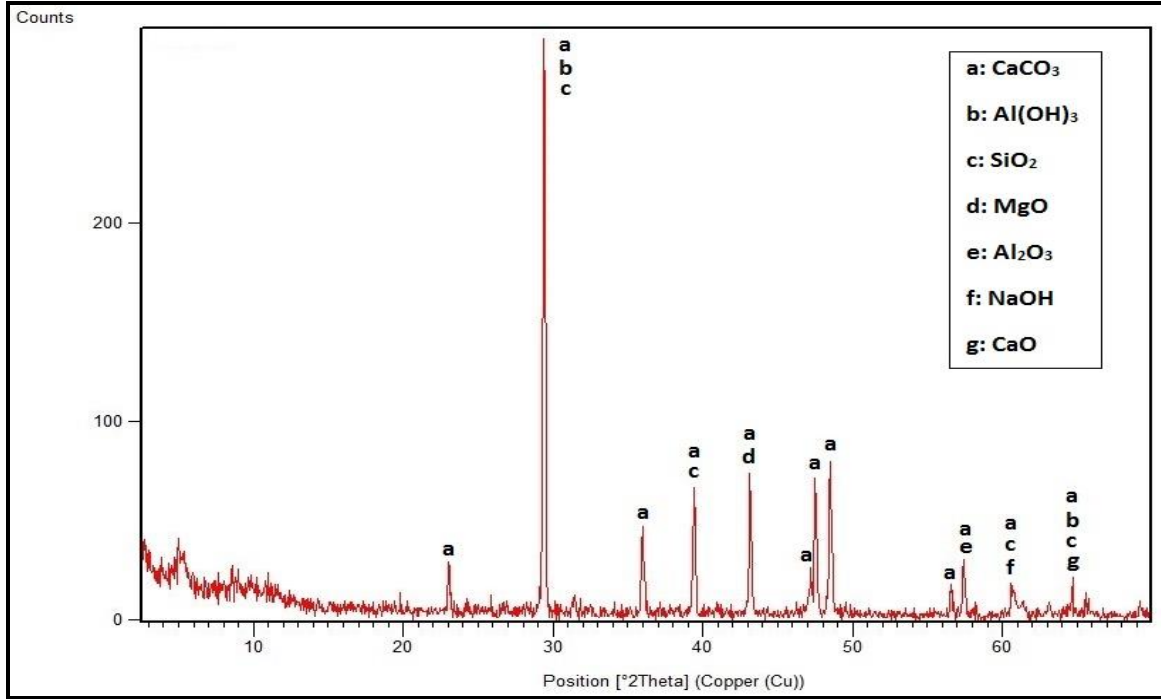
Şekil 7.1. Alüminyum eloksal atığının XRD analizi

Şekil 7.1'de %75 nem içeren sulu alüminyum eloksal atığında yoğun olarak Al(OH)₃ tespit edilmiş, bu yapıya bağlı olarak alümina (Al₂O₃), NaOH, SiO₂ ve eser miktarda MgO, CaO bulunmaktadır. Eloksal atığın ham hali olması ve birçok bileşeni içermesi sebebiyle kromatogram gürültülü çıkmıştır. Sonuçların Çizelge 2.3 ile uyumlu olduğu belirlendi.



Şekil 7.2. Sodyum bikarbonat içeren atığın XRD analizi

Şekil 7.2’de sodyum bikarbonat eklenmiş %75 nem içeren alüminyum eloksal atık numunesinin XRD sonucuna göre, ağırlıklı olarak CaCO_3 ve Al(OH)_3 içerdiği, bununla beraber NaOH ve eser miktarda da CaO , MgO , SiO_2 bulunduğu tespit edildi. XRD analiziyle gözlenemeyen reaksiyon ürünü gaz fazında CO_2 ’dir. Aynı zamanda alüminyum eloksal atıklarının alev geciktirici olarak değerlendirildiği çalışmada olduğu gibi SiO_2 ’de pik şeklinde gözlenememiştir [50]. Bu durumu Özlem ve arkadaşları [51] XRD grafiklerinde silisyum elementini içeren minerallerin gözlenmemesini amorf yapıda olması ile açıklamışlardır.



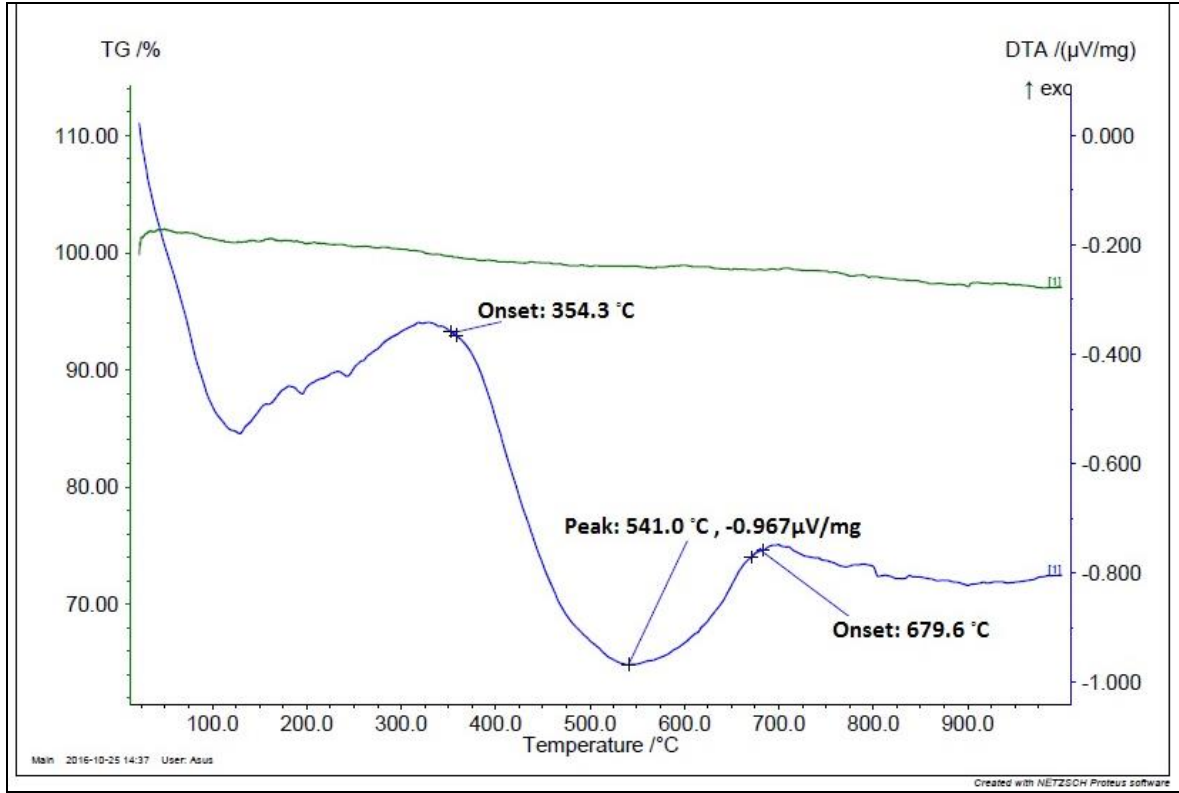
Şekil 7.3. Çinko borat içeren atığın XRD analizi

Şekil 7.3'te çinko borat eklenmiş %75 nem içeren alüminyum eloksal atık numunesinin XRD analizinde yoğun olarak CaCO_3 ve Al(OH)_3 pikleri ile eser miktarda CaO , MgO belirlendi. Çinko borat varlığının tespit edilememesinin sebebi ise kütlece %1 oranında, XRD analizörünün ölçüm limitinin altında kullanılmasıdır. Çinko borat içeren atık numunesinde sodyum bikarbonatlı atık numunesinin aksine SiO_2 'in varlığı gözlenmiştir.

Çinko borat ve sodyum bikarbonat içeren atığın XRD spektrumları incelendiğinde 20° - 65° $2(\theta)$ açıları arasında oluşan piklerin temelde aynı olduğu, Al(OH)_3 , NaOH , CaCO_3 , Al_2O_3 , MgO ve CaO , SiO_2 bileşiklerinin yapıda fazla olduğu görülmüştür [50]. Çinkoborat ve sodyum bikarbonat içeren atığın XRD spektrumlarında pik şiddetleri iki spektrum arasında farklılık göstermektedir. Yaraş [26] bu farklılığın, çinko boratın atık ile oluşturduğu karışımda süzme-kurutma aşamasında oluşabilecek farklılıklardan kaynaklandığını ifade etmektedir.

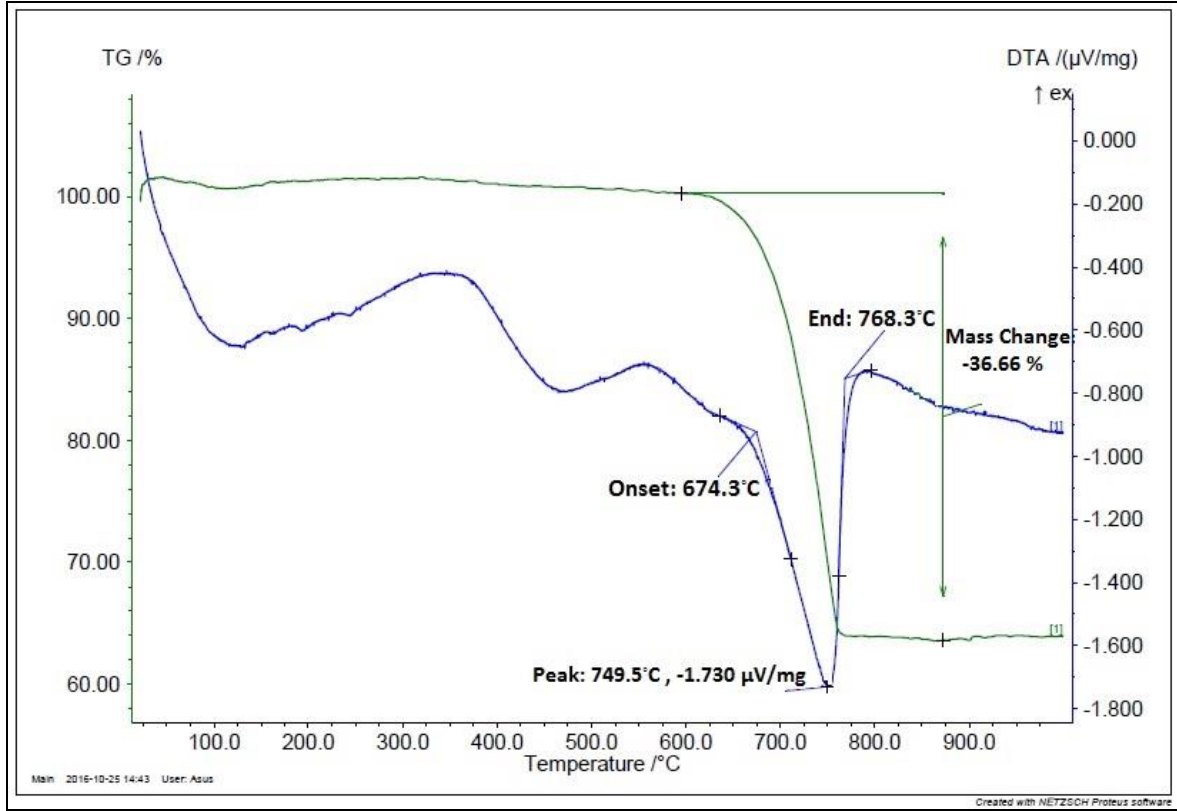
7.2. Termal Analiz Sonuçları

Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da sırasıyla alüminyum eloksal atıklarının (%75 nem içerikli), kalsiyum karbonatlı sodyum bikarbonat içeren atığın ve kalsiyum karbonatlı çinko borat içeren atığın argon atmosferinde 150 - 2400°C aralığında ve $10^\circ\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızında çalışılarak yapılan TG-DTA termal analiz sonuçları görülmektedir.



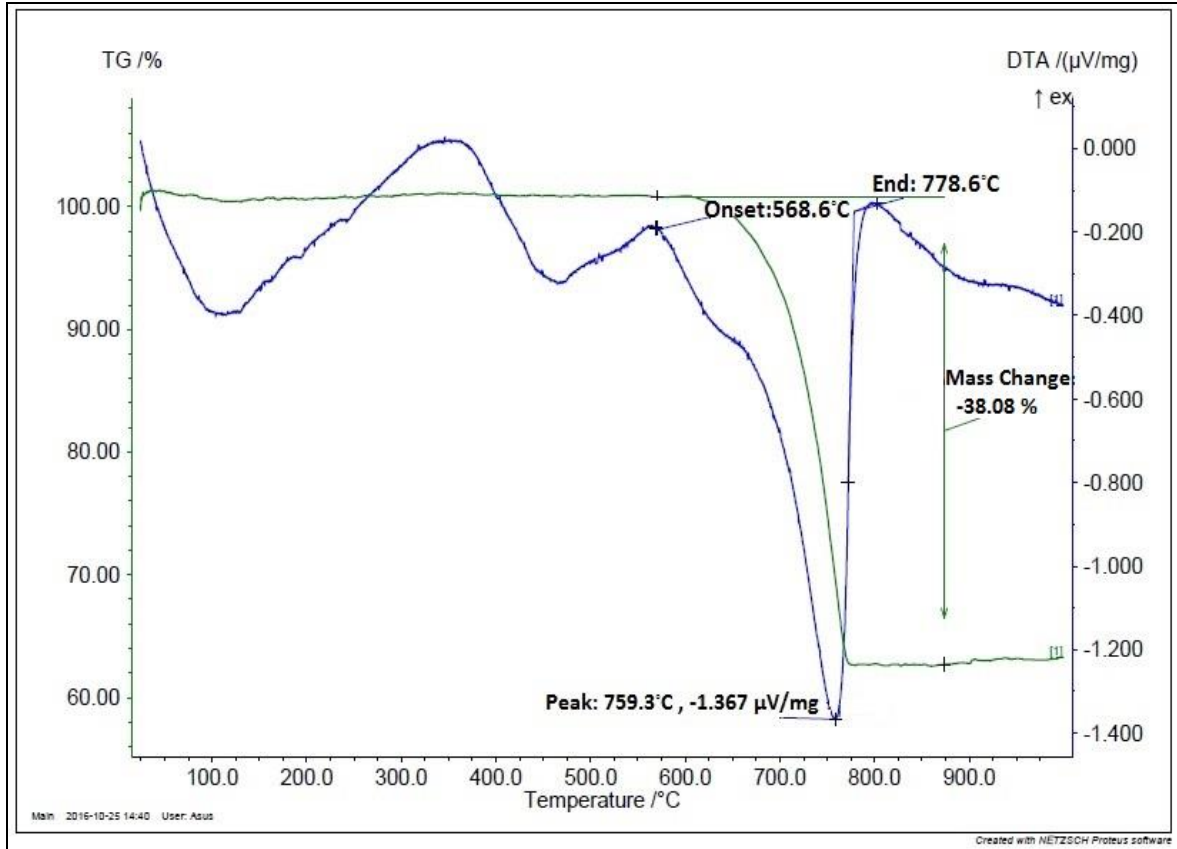
Şekil 7.4. Alüminyum eloksal atığında TG-DTA analizi

Şekil 7.4’te alüminyum eloksal atığının TG-DTA analizinde, 100°C’de meydana gelen endotermik pikin %75 nem içeren sulu alüminyum eloksal çamurundaki serbest suyun buharlaşmasından kaynaklandığı ve yapıdaki nemin uzaklaştığı görülmektedir. 354,3°C’de meydana gelen ekzotermik pikin oksidasyon reaksiyonundan kaynaklandığı gözlenmiştir. Bu belirgin piklere karşılık TGA eğrisinde, 100°C’de meydana gelen su kaybı ile oluşan kütle kaybının, 354,3°C’deki oksidasyon reaksiyonları sonucundaki alümina oluşumu ile meydana gelen kütle artışını dengelediği belirlenmiştir.



Şekil 7.5. Sodyum bikarbonat içeren atığın TG-DTA analizi

Şekil 7.5'te sodyum bikarbonat içeren atığın TG-DTA analizinde, 100°C'de meydana gelen endotermik pikin %75 nem içeren sulu alüminyum eloksal çamurundaki serbest suyun buharlaşmasından kaynaklandığı ve yapıdaki nemin uzaklaştığı görülmektedir. Görünür madde kaybının %36,66 olduğu; bozunma sıcaklığının 674,3-768,3°C aralığında ve maksimum bozunmanın 749,5°C sıcaklıkta olduğu belirlendi. 450°C'de CaCO_3 ve HCl'nin reaksiyonu sonucu meydana gelen CO_2 'nin açığa çıkarak yapıdan ayrıldığı, 600°C'den yüksek sıcaklıklarda CaCO_3 'ın bozunduğu, CaO ve CO_2 'e dönüştüğü gözlemlendi [52].



Şekil 7.6. Çinko borat içeren atığın TG-DTA analizi

Şekil 7.6’da çinko boratlı atığın TG-DTA analizinde 100°C’de meydana gelen endotermik pikin %75 nem içeren sulu alüminyum eloksal çamurundaki serbest suyun buharlaşmasından kaynaklandığı ve yapıdaki nemin uzaklaştığı görülmektedir. Bozunma sıcaklığının 568,6-778,6 °C aralığında olduğu, maksimum bozunma sıcaklığının 759,3°C olarak çinko borat bozunmasından kaynaklandığı, görünür madde kaybının %38,08 olduğu ve kütle kaybının en fazla bu karışımda meydana geldiği belirlendi. Bu kütle değişimlerinin sebebi olarak yapıda ağırlıklı olarak bulunan $\text{Al}(\text{OH})_3$, NaOH , ve CaCO_3 ’ın bozunma sıcaklıklarında parçalanması ve meydana gelen reaksiyonlardan ileri geldiği söylenebilir.

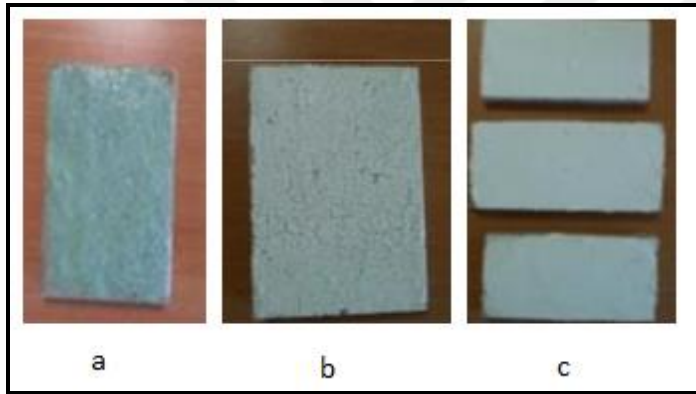
Elde edilen TG-DTA sonuçlarına göre alüminyum eloksal atığının ve üretilen kompozit karışımların bozunma sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle alev geciktirici olarak kullanılabileceği belirlendi.

7.3. LOI Testi Sonuçları

Yangına dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla malzemenin yanması için hacimce en az oksijen yüzdesinin belirlendiği ASTM D 2863 standardizasyonuna göre yapılan alev dayanım testi limit oksijen indisi (LOI) testidir.

Bu LOI testine göre yapılan uygulamalarda elde edilen derişimlere karşılık gelen alev geciktirme sınıflandırmasına göre malzemelerin alev dayanım özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmaktadır [13].

Resim 7.1’de yapılan ön çalışmalardaki denemelerde kaplaması yapılan sunta panel görüntüleri deneme sırasına uygun olarak verilmiştir [48].



Resim 7.1. Elde edilen sunta paneller (a.Deneme 1, b. Deneme 2, c. Deneme 3, 4, 5) [48].

LOI testi %38 oksijen yoğunluğu için, oksijen akış hızı 90,5 ml/min, azot akış hızı 74 ml/min şartlarında uygulanmış, denemelerde elde edilen kompozitlerde ulaşılan alev geciktirme süreleri Çizelge 7.1’de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Kaplama yapılmamış ham sunta panellerde tespit edilen oksijen yoğunluğunun %23 olduğu ve bu değere karşılık gelen oksijen akış hızı 65 ml/min, azot akış hızı 86,5 ml/min değerinde olduğu ve ham sunta panellerin alev alabilir sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir[48].

Çizelge 7.1. Denemelerde tespit edilen alev geciktirme süreleri [48].

Deneme	Süre (s)
Deneme 1	180
Deneme 2	220
Deneme 3	180
Deneme 4	180
Deneme 5	240

1, 2 ve 3 no.lu denemelerde elde edilen LOI sonuçları ekstra alev geciktirici özellikte bulunmuştur. Boyanın kullanıldığı numunede bir miktar yüzey çatlaması olduğu tespit edilmiş, 70°C’de kurutma yapılan bu numunede çatlama olmasına sebep olarak inşaat boyalarında depolama kararlılığının en fazla 45°C’de yapılması gösterilmiştir [48]. Deneme 2 ve 3’ de bu durum gözlenmemesine ve ekstra alev geciktirici bulunmasına rağmen boya, epoksi ve fiber glass yapılarının yanma reaksiyonları sonucunda yapılarındaki olefinik grupların oksidasyonu ile peroksit tipi radikaller oluşturabileceği sebebiyle önerilmemiştir. Ancak bu tür yapıların bulunmadığı kalsiyum karbonat ve sodyum bikarbonatlı karışımlarda bu tehlikenin olmadığı, daha ekonomik ve ürün veriminin daha yüksek olduğu belirtilmiştir [48].

Yapılan ön çalışmalar doğrultusunda elde edilen en iyi şartlardaki karışım yüksek yoğunluklu ısı yalıtım köpüklerinde uygulandı.

Sodyum bikarbonatlı ve çinko boratlı karışımla kaplanmış köpük numunelere %27’ye karşılık gelen %67,5 oksijen ve %88 N₂ azot değerinde başlatılan ilk LOI denemesinde yanma süresi 97 saniye tespit edilince bir sonraki denemelerde doğrudan doğruya %31’e karşılık gelen oksijen değerinde çalışılarak bu durum diğer denemelerde aynen devam ettirildi. Çizelge 7.2’de sodyum bikarbonatlı numunenin ve Çizelge 7.3’de çinko boratlı numunenin %27, %31, %33, %35 ve %37 ‘lik LOI değerlerine karşılık gelen oksijen derişimlerinde alev dayanım süreleri verilmiştir.

Çizelge 7.2. Sodyum bikarbonatlı numunenin LOI testi sonuçları

O ₂ (%)	O ₂ Akış Hızı (ml/min)	N ₂ Akış Hızı (ml/min)	Yanma Süresi (s)
27	67,5	88	90
31	80	81	94
33	83	79	48
35	86	77	44
37	89	75	40

Çizelge 7.3. Çinko boratlı numunenin LOI testi sonuçları

O ₂ (%)	O ₂ Akış Hızı (ml/min)	N ₂ Akış Hızı (ml/min)	Yanma Süresi (s)
27	67,5	88	97
31	80	81	133
33	83	79	38
35	86	77	37
37	89	75	35

Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3’den görüldüğü gibi çinko boratlı eloksal atıkları ile kaplanmış numunelerin yanma süreleri sodyum bikarbonatlılara göre daha uzun olduğu görülmektedir. %27’ den %37’e kadar çalışılan oksijen yüzdelerinde sodyum bikarbonatlı numuneler için en iyi şartlar %31 oksijen derişiminde yanma süresi 94 saniye iken çinko boratlı numunelerdeki en iyi şartlar yine %31 oksijen derişiminde elde edilmiş fakat 133 saniye ile en uzun alev geciktirme süresi elde edilmiştir.

Oksijen derişiminin 83 ml/min’den sonra yani %33 LOI derişiminden sonra giderek artırılması sonucu aleve dayanım sürelerinin azaldığı görüldü. %31 LOI değeri ile 133 saniye dayanım gösteren çinko boratlı karışım ile kaplanmış köpük panellerin LOI testi sonucu Çizelge 3.2’de verilen alev geciktirici sınıflandırmasına göre %29-%34 aralığında kalması sebebiyle alev geciktirici özelliğe sahip olduğu; dolayısıyla “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” gereğince önemli sonuçlar alındığı söylenebilir [9-13].

Yapılan LOI testi ve Resim 6.5'deki görsellere göre alüminyum eloksal atığına kalsiyum karbonat, sodyum bikarbonat ve çinko borat eklenerek hazırlanmış karışımlarla homojen olarak kaplanmış aleve dayanıklı XPS köpüklerin LOI testi sonrasında dış kaplamalarının test sırasında döküldüğü, alevin bu dökülmeler sonucu numunenin içerisine nüfuz etmesi ile panellerin aleve karşı eğilme hareketi göstererek büzülüp küçüldüğü yani içerisinde bulunan XPS köpüklerin eriyerek katılaştığı fakat aleve karşı tutuşmadığı görüldü. Bunun sebebi olarak kaplamanın koruyucu ve alev geciktirici etkisi ve XPS köpüğün E sınıfı zor alevlenen yangın sınıfına dahil olması, alev yürütmez özelliğine sahip olması gösterilebilir. Zor alevlenen yangın sınıfına dahil olsa da herhangi bir işleme tabi tutmadan XPS köpüğün yanma süresi yaklaşık 5 saniye olarak ölçüldü. Bu sebeple işlem gören panellerde 133 saniye aleve dayanım ile binaların dış yalıtımında kullanılan XPS köpükler için önemli sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

Kalsiyum karbonat ve sodyum bikarbonatlı karışımlar ekonomiktir, aynı zamanda ürün verimi yüksektir. Elde edilen karışımda oluşan reaksiyon Eş. 7.1 de verildi.



Bu reaksiyon sonucu karbondioksit gazı çıkışıyla gözenekli ve hava boşluklu ürün elde edildi. Elde edilen bu ürünler blok halinde preslenerek aynı zamanda ytong (gaz beton) türü yapılarda rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca Resim 6.7'de görüldüğü gibi kaplaması yapılmış köpük panellerin 3 ay süreyle -18°C ve 50°C'de uç sıcaklıklarda bekletilmesi sonucunda fiziksel görünümlerinde bir değişiklik olmadı.

Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlara göre, alüminyum eloksal atıklarına herhangi bir ön işlem uygulanmasına gerek kalmadan (yıkamayla kostik giderimi, ilave kurutma ve su kullanımı giderleri olmaksızın) yüksek yoğunluklu ısı yalıtım köpüğü malzemelerine alev geciktirici özellik kazandırılmıştır. Elde edilen kompozit yapılar ile “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” gereğince, insan ve çevre sağlığına duyarlı, binalarda iç ve dış cephelerde taşıyıcı olmayan duvar bölmelerinde kullanılabilecek ekonomik paneller elde edildi. Köpük malzemenin aleve dayanımı çok düşük olduğundan elde edilen bulgular köpüklerde alev geciktirme sağlayabilir. Aynı zamanda oldukça fazla yer kaplayan ve bu atıklar nedeni ile zorluk yaşayan üretici firmaların atıkları uygun biçimde değerlendirilmiş, dolayısıyla insan sağlığı ve çevre sağlığı korunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Edwards, C. (2001). Aluminium Furniture, 1886-1986: The Changing Applications and Reception of a Modern Material. *Journal of Design History*, 14 (3), 207.
2. Çırakoğlu, Z. (2019). Alüminyum Sektörü Şubat 2019 Değerlendirilmesi. *İDDMİB*, 1.
3. Lu, C. and Chen, Z. (2011). *Anodic aluminum oxide-based nanostructures and devices*, *Encyclopedia Nanoscience Nanotechnology*, Switzerland: Springer Interational Publishing AG, 235-259.
4. Jorge, M., Joaõ Silva, E. and Fernando P. (2005). Physical and chemical characterisation of metal finishing industrial wastes. *Journal of Environmental Management*, 75, 157-166.
5. Tüyak. (1996). Yangınlarda Korunma Yönetmeliği. *Türkiye Yangından Korunma ve İtfaiye Eğitim Vakfı*, (3), 3.
6. Kaya, M. ve Oz, D. (1999). *Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastırma Katkı Maddeleri*. 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumunda sunuldu, İzmir.
7. Ramazani, S. A. A., Rahimi A., Frounchi M., and Radman S. (2007). Investigation of flame retardancy and physical-mechanical properties of zinc borate and aluminum hydroxide propylene composites. *Materials and Design*, 29 (5), 1051-1056.
8. Mngomezulu, M. E., John, M. J., Jacobs, V., and Luyt, A. S. (2014). Review on flammability of biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 111, 149-182.
9. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. (9 Eylül 2009). *Resmi Gazete*, 27344.
10. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. (5 Aralık 2008). *Resmi Gazete*, 27075.
11. Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, TS 825. (9 Ekim 2008). *Resmi Gazete*, 27019.
12. ASTM D635 Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position. (2003). *ASTM International*, 308-314.
13. Schmidt, R. (1999). In the line of fire, flame retardants overview. *Industrial Minerals*, 37-41.
14. Ademci, K. Tuba. (2000). *Alüminyum Giydirmeye Cephelerde Su ve Nem Problemleri*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 49-50.
15. Tortu, Ş., Ş. (2006). *Alüminyum Giydirmeye Cephelerde Isıl Performans Durabilite İlişkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 49.
16. İnternet: Bentor, Y. (2019). Basic information and structure of aluminum Web: <http://www.chemicalelements.com/elements/al.html> adresinden 8 Mayıs 2019'da alınmıştır.

17. İnternet: TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu. (2004). Alüminyum Raporu. 24.dönem çalışma raporu, TMMOB, 1-7 Web: https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_1445.pdf adresinden 8 Mayıs 2019'da alınmıştır.
18. Zelder, G., Race, S. A. and Pinderhughes, R. R. (2003). *Bauxite and Aluminium: A Cradle to Grave Analysis*, (Ders Notu)
19. Schlesinger, M. E. (2007). *Aluminium Recycling*, CRC Press
20. Doğru, B. (2007). *Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının borik asit sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Uni., FBE, Adana.
21. Viguri, J., Andreas, A., Ruiz, C., Irabien, A. and Castro, F., (2001). Cement-Waste and Clay-Waste derieved products from metal hydroxides wastes. Environmental Characterization, Institution of Chemical Engineers, Trans IChemE, 79, B.
22. İnternet: Web: <http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/dissonline/04/04H055/t2.pdf> adresinden 8 Mayıs 2019'da alınmıştır.
23. Sheasby, P.G., 2001. *The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys 2* (6. Baskı). UK: ASM International and finishing publications, 39.
24. Joel, H. (2006). Compressive strength and microstructural properties of lightweight high-strength cement mortar reinforced with eloxal. *Materials and Design*, 27, 657-664.
25. Erdem, E., Gunay, M.E. and Donat, R. (2003). Hydration and mechanical properties of Portland cement containing eloxal waste from aluminium industry. *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 35–38.
26. Yaraş, A. 2016. Alev Geciktirici Borlu Selülozik Çadır, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
27. Arslan, F. (2019). *Haejensiz Alev Geciktirici İçeren Aype/Pla Karışımların Alev Dayanımı Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 39-50
28. Wang X., Kalali E. N., Wan J. T., and Wang D. Y. (2017, Feb). Carbon-family materials for flame retardant polymeric materials. *Progress in Polymer Science*, 22-46.
29. Yavuz, H. (2007). “Plazma Polimerizasyon Yöntemi İle Polimerik Malzemelere Yanmazlık Özelliğinin Kazandırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 19-32
30. ASTM D 2863. (2009). Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index)
31. İnternet: From character to personality. (2019). *Termoplastikler, Genel Ticari Plastikler, Polipropilen, Polistiren, Polivinilklorür*, Web: http://besergil.cbu.edu.tr/5_polietlen.pdf adresinden 8 Mayıs 2019'da alınmıştır.

32. Evcil, N. (2000). *Isı İzolasyonu ve Dış Duvarların Enerji Etkin Yenilenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 24.
33. Altınışık, K. (2006). *Isı Yalıtımı* (1.Basım), Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 7.
34. Akıncı H. (2007). *Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 225.
35. Gel, M. K. (2001). Ektrüde Polistren Isı Yalıtım Levhaları ile Çatı ve Döşeme Yalıtımları. *İzolasyon Dünyası Dergisi*, 27, 38-40.
36. Topçu, D. ve Korkmaz, G. (2002). Ülkemizde XPS Üretiminde Yoğunluk Parametresinin Önemi ve Bağımsız Kontrol Sisteminin Değerlendirilmesi. *İzolasyon Dünyası Dergisi*, 33, 41-44.
37. Ogundiran M. B., Nugteren H. W. and Witkamp G. J. (2016). Geopolymerisation Of Fly Ashes With Waste Aluminium Anodising Etching Solutions. *Journal of Environmental Management*, 181, 118-123.
38. Costaa E.B.D., Rodríguez E. D., Bernalc S.A., Provise J. L., Gobboe L. A. and Kirchheim A. P. (2016). Production And Hydration Of Calcium Sulfoaluminate-Belite Cements Derived From Aluminium Anodising Sludge. *Construction and Building Materials*, 122, 373-383.
39. Kumita M., Meiwa M., Watanabe K. and Kodama A. (2013). Preparation Of Calcium Chloride-Anodized Aluminum Composite For Water Vapor Sorption. *Applied Thermal Engineering*, 50, 1564-1569.
40. Onutai S., Jiemsirilars S., Thavorniti P. and Kobayashi T. (2015). Aluminum Hydroxide Waste Based Geopolymer Composed Of Fly Ash For Sustainable Cement Materials. *Construction and Building Materials*, 101, 298-308.
41. Álvarez-Ayuso E. (2009). Approaches For The Treatment Of Waste Streams Of The Aluminium Anodising Industry. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 409-414.
42. Colonetti E., Kammer E. H. and Junior A. D. N. (2014). Chemically-Bonded Phosphate Ceramics Obtained From Aluminum Anodizing Waste For Use As Coatings. *Ceramics International*, 40, 14431-14438.
43. Garcia-Valles M., Avila G., Martinez S., Terradas R. and Nogués J.M. (2008). Acoustic Barriers Obtained From Industrial Wastes. *Chemosphere*, 72, 1098–110.
44. Çoban, M. ve Aytaç, A. (2017). Alev geciktiricilik özelliği geliştirilmiş ve plastikleştirilmiş poli(laktik asit)'in özelliklerine farklı nano katkıların etkisinin incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(4), 1109-1119.
45. Yıldırım, S. ve Çelik, E. (2014). Alev Geciktirici Huntit ve Hidromanyezit Nanopartikül Takviyeli Polimerik Kompozit Kaplamalar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 387-393.

46. Eren, T. ve Aşçı, A. (2015). Fosfonat İçeren Polinorbornen Türevlerinin Romp (Halka Açılma Metatez Polimerizasyonu) Metodu ile Sentezi, Karakterizasyonu ve Alev Geciktirici Özelliklerinin İncelenmesi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 33(4), 615-625.
47. Aydoğan, B. Ve Usta, N. (2018, 25-27 Nisan). *Kabaran Alev Geciktirici İlaveli Esnek Poliüretan Köpük Malzemelerin Yanma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi*, 14th International Combustion Symposium (INCOS2018), Karabük.
48. Bayis, E. (2019). *Alüminyum eloksal atıklarının yanmaz kompozit malzemelerde değerlendirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
49. İnternet: Wallboard XPS Köpük Levhalar. (2019), Web: <http://www.wallboard.com.tr/Wallboard-XPS.html>, adresinden 8 Mayıs 2019'de alınmıştır.
50. Murathan, A., Bayis, E., Koç, A., Murathan, H. B. (2018). Alüminyum Eloksal Atıklarının Yangın Geciktirici Olarak Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(1), 149-154.
51. İnternet: Bazı Osmanlı Dönemi Hamam Yapılarının Kubbe ve Duvarlarında Kullanılan Kireç Harçların Özellikleri. (2019), Web: www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/7308008074760670391321182.pdf adresinden 8 Mayıs 2019'de alınmıştır.
52. Ünlü, F. (2007). *Geçiş Metali-Fosfin Komplekslerinin Termal Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 11.



EK-1. ASTM D 2863 Standart Testi

Aleve karşı cevabın incelendiği bu standartta, ortama verilen oksijen-azot gaz karışımında alev karşısında tutuşma olayını meydana getiren minimum oksijen derişimi ölçülür ve bu değer yüzde hacim cinsinden ifade edilir.

Test üç aşamadan oluşur:

1. Yüzeyin en uç noktasının alev ile tutuşturulması
2. Tutuşmanın yüzeyde yayılması
3. Minimum oksijen indisi değerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi

Test, kalıp, tabaka formundaki ya da selülozik yapıdaki materyaller ve polimerler ile dikey konumda kendiliğinden destekli durabilen esnek, ince film biçimindeki kalıp veya tabakaların incelenmesinde uygun bir standarttır.

Bu test motodu, kontrollü koşullar altında materyal, ürün veya parçaların ısı ya da aleve karşı cevaplarını ölçme ve tanımlamada kullanılır ancak direk ateşe maruz kaldıkları andaki durumunu kesin olarak belirleyemez [30]. Standarta göre oksijen-azot gaz karışımı içindeki yüzde hacim cinsinden belirlenen oksijen indisi (LOI) tayini, 23 ± 2 °C’de başlatılır. Tutuşma, alev kaynağının dikey konumda numunenin en üst kısmına aşağı doğru teması ile gerçekleştirilir. Fazla güçlü olmayan sabit miktardaki alev, malzemenin uç kısmında (gerekirse üst yüzeyi kaplayacak biçimde) sürekli hareket ettirilmek suretiyle, 30 saniye kadar uygulanır ve her 5 saniyede bir uzaklaştırılarak numunenin kendiliğinden yanmaya devam edip etmeyeceği gözlenir. Alevin, dikey konumdaki malzemenin yüzey ya da köşelerine sürekli temas halinde bırakılmaması önemli bir parametredir. ASTM D standardına göre gerçekleştirilen alev testinde, teste başlamadan önce malzemenin açık havada yakılarak davranışı incelenir. Eğer ürün hemen yanıyorsa ölçümdeki başlangıç oksijen derişimi yaklaşık %18; eğer içten hafif hafif yanmaya devam ediyorsa başlangıç oksijen derişimi yaklaşık %21 ve havada yanması devam etmiyorsa başlangıç oksijen derişimi yaklaşık %25 alınır [30].

EK-1. (devam) ASTM D 2863 Standart Testi

Diğer ASTM standartları:

D 618: Plastik malzemelerin test için koşullara hazırlanmasını amaçlayan işlemleri kapsar.

D 1071: Gaz halindeki yakıt örneklerinin hacimsel ölçümlerini içerir.

D 1622: Rigid selülozik plastik malzemelerin varlığında kullanılır.

D 4802: Poli (metil metakrilat) Akrilik plastik tabakaların tayininde kullanılır.

E 176: Alev testi standartlarının terminolojisini içerir.

Oksijen indisinin hesaplanması: Yüzde hacim cinsinden hesaplanan oksijen indisi

(OI) aşağıdaki eşitliğe göre bulunur:

$$OI = CF + kd \quad (1.1)$$

CF = Yüzde hacimdeki son oksijen derişimi

d = Yüzde hacim cinsinden kullanılan oksijen derişimleri arasındaki en az bir ondalık haneye karşılık gelen aralık

k = Ölçüm faktörü

Oksijen ve azot akış hızlarındaki artış ve azalış miktarları Eş. 1.2 ve Eş.1.3’de verildiği şekilde interpolasyon ile bulundu: Bu hesaplamada başlangıç O₂ değeri %27 olarak belirlendi ve bu değere karşılık gelen O₂ akış hızı 67,5 ml/min, N₂ akış hızı 88 ml/min. ‘dır [30]. O₂ ve N₂ akış hızları artış ve azalış miktarları için ASTM D 2863’de verilen hesaplama basamakları ve adım aralığının geçerliliği aşağıda verildi.

EK-1. (devam) ASTM D 2863 Standart Testi

$$O_2 : \frac{67,5-65}{100} \times 0,2 = 0,5 \text{ artış} \quad (1.2)$$

$$N_2 : \frac{88-86,5}{100} \times 0,2 = 0,3 \text{ azalma} \quad (1.3)$$

Bulunan oksijen indisinin doğrulanması için standart sapma hesabı yapıldı ve Eş. 1.7’de verilen adım aralığının geçerliliği tespit edildi.

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - 0,1)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (1.4)$$

$$0,315 / 5 = 0,063 \quad (1.5)$$

$$\sqrt{0,063} = 0,251 = \sigma \quad (1.6)$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} \quad (1.7)$$

0,167<d<0,377 aralığında bulunan adım aralığının 0,2 olmasıyla diğer alevlenebilirlik testlerine devam edildi. Alev boyu, numunelerin tüm yüzeyini kaplayacak şekilde yapılan bir süpürme hareketi ile iki paralel numuneye uygulandı. Numunelerin alev almaya başlama anına kadar geçen süre kaydedildi. Bu esnada alev, oksijen ve azot gazlarının vanaları kapatıldı. Uygulanan Dixon metoduna göre yanma süresi 180 saniyenin altında ise “O” tepkisi, 180 saniyenin üstünde ise “X” tepkisi vereceği belirlendi [30].

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KOÇ, Ahsen
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.06.1992, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 360 91 93
 e-mail : ahsen.koc1@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2014
Lise	Öncü Kolej	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Dinçsa İlaç San. Ve Tic. A.Ş.	Kalite Kontrol Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Murathan A., Bayis E., Koç A. ve Murathan H. B. (2018). Alüminyum eloksal atıklarının yangın geciktirici olarak değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(1), 149-154.

Hobiler

Seyahat etmek, sinema ve müzik.



GAZİ GELECEKTİR..