



**ALÜMİNYUM ELOKSAL ATIKLARININ YANMAZ KOMPOZİT
MALZEMELERDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Emine BAYİS

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Emine BAYİS tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM ELOKSAL ATIKLARININ YANMAZ KOMPOZİT MALZEMELERDE 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. Çetin ÇAKANYILDIRIM

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.

Emine BAYİS

27/06/2019

ALÜMİNYUM ELOKSAL ATIKLARININ YANMAZ KOMPOZİT MALZEMELERDE DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Emine BAYİS

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Bu araştırmada alüminyum eloksal atıkları sunta türü kompozit panel malzemelerinde kullanılarak potansiyel alev geciktirme etkisi incelendi. Toz haline getirilen alüminyum eloksal atığına 70°C sıcaklıktaki suda %10'luk polimerik bağlayıcı katılarak oluşturulan karışımlarda, kalsiyumkarbonat (CaCO_3) başta olmak üzere %1'lik çinkoborat (%45 ZnO-%36 B_2O_3) ve atık miktarı kadar sodyumbikarbonat (NaHCO_3) sırasıyla kütle oranlarında katıldıktan sonra bağlayıcı eşliğinde sunta yüzeylere uygulandı ve kaplamalar 50°C'de 24 saat etüvde kurutuldu. ASTM D 2863'e göre %27-38 O_2 besleme aralığında sınırlayıcı oksijen indeksi (LOİ) testi uygulandı, 180-240 saniye aralığında alev gecikme süreleri gözlemlendi. En uzun alev gecikme süresi %38 O_2 beslemesiyle 240 saniye olarak bulundu. LOİ testine göre yapılan sınıflandırmada bu değer ekstra alev geciktirici olduğu belirlendi. Ayrıca bu kaplamalar -18°C ve 50°C'lik uç sıcaklıklarda 3 ay bekletildi, fiziksel görünümünde bir değişiklik olmadığı belirlendi. Kaplamalarda yapılan XRD analizinde her iki karışımda da yoğun olarak $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 ve eser miktarda SiO_2 , CaO ve MgO gözlemlendi. Burada alüminyum bileşiklerinin alev geciktirici etkiye sahip olduğu tespit edildi. TG-DTA analizlerinde 568-778°C aralığında çinko borat içeren karışımda %38, sodyum bikarbonat içeren karışımda %37'lik kütle kayıpları gözlemlendi. Alüminyum eloksal atıklarının yangın geciktirici olarak kullanılabilirdiği, aynı zamanda insan sağlığı için zararsız ve çevre dostu olan kompozit panellerin üretimi sağlandı.

Bilim Kodu : 91212

Anahtar Kelimeler : Eloksal atığı, kostik, sunta, yangın geciktirici, LOİ

Sayfa Adedi : 58

Danışman : Prof. Dr. Atilla Mirati MURATHAN

USAGE OF ALUMINUM ANODIC OXIDATION WASTES WITHIN FIREPROOF COMPOSITE MATERIALS

(M. Sc. Thesis)

Emine BAYİS

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

In this study, potential flame retardation effects of aluminum anodic waste were investigated by using them in chipboard type composite panel materials. In the blends formed by adding a 10% polymeric binder at 70°C 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 chipboard coats and the coatings were left to dry at 50°C, 24 hours. A limiting oxygen index (LOI) test was performed at a feed rate of 27-38 % O₂ according to ASTM D 2863 and flame retardance times of 180-240 seconds were observed. The longest flame retardance time was found to be 240 seconds with 38% O₂ feed. In the classification according to the LOI test it was determined that this value is an extra flame retardant. 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 TG-DTA analysis 38 and 37% mass loss was recorded between 568-778°C in the mixture of zinc borate and sodium bicarbonat. Aluminum anodized waste can be used in fire retardant production as well as harmless for human health and environmental friendly composite panels were obtained.

Science Code : 91212

Key Words : Eloxal waste, caustic, chipboard, flame retarder, LOI

Page Number : 58

Supervisor : Prof. Dr. Atilla Mirati MURATHAN

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca bana her konuda destek veren, deneyimleriyle bana yol gösteren değerli Hocalarım Prof. Dr. Ayşe MURATHAN ve Prof. Dr. M. Atilla MURATHAN' a, deneysel çalışmalarım sırasında bana özveriyle yardım eden Kimya Mühendisliği Bölüm personellerine, tez yazım aşamasında bilgilerini benimle paylaşan Hatice Begüm MURATHAN'a ve su bazlı boya temininde destek veren Kardelen Boya ve Kimya San. Tic. Ltd. Şti. firmasına ve Ammar Yasir KILIÇARSLAN' e teşekkür ederim.

Çalışmaları birlikte yürüttüğüm, hayatımda yeri ayrı olan değerli arkadaşım Ahsen KOÇ 'a teşekkür ederim.

Son olarak beni bugünlere getiren, hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteği veren, daima benimle gurur duyan canım ailem; annem, babam ve kardeşime 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. GENEL BİLGİ	3
2.1. Alüminyumun Tarihçesi	3
2.2. Alüminyumun Özellikleri	3
2.3. Neden Alüminyum?	3
2.4. Alüminyumun Kullanım Alanları	4
2.5. Alüminyumun Üretim Aşamaları.....	6
2.5.1. Birincil alüminyum Üretimi	6
2.5.2. İkincil alüminyum Üretimi	9
2.6. Alüminyumun Yüzey İşlemleri	12
2.6.1. Alüminyum oksitin elektrokimyası termodinamiği	14
2.6.2. Alüminyumun anodik oksidasyonu (Eloksal)	15
2.6.3. Eloksal tabakasının genel özellikleri.....	18
2.6.4. Eloksal çamuru.....	19
2.6.5. Eloksal çamurunun fiziksel ve kimyasal yapısı.....	21

	Sayfa
2.7. Ahşap.....	22
2.8. Ahşap Malzemenin Yanma Özelliği	23
2.9. Sunta.....	25
2.10. Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler	26
2.10.1. Çinko Borat	28
2.11. Limit Oksijen İndeksi Tayini	28
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1. Deneme -1	33
4.2. Deneme -2	33
4.3. Deneme -3	33
4.4. Deneme -4	34
4.5. Deneme -5	34
5. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA	39
5.1. XRD Analizi	39
5.2. Termal Analiz	42
5.3. LOI Sonuçları.....	45
KAYNAKLAR	49
EKLER.....	55
EK-1. ASTM D 2863 Standart Testi	56
ÖZGEÇMİŞ	58

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı	4
Çizelge 2.2. 2010 yılı boksit rezervleri açısından zengin ülkeler	8
Çizelge 2.3. Hurdaların yapısına göre geri kazanım oranları	10
Çizelge 2.4. Alüminyum cevheri dış ticareti	12
Çizelge 2.5. Çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları	19
Çizelge 2.6. Eloksal çamuru bileşimindeki katıların yaklaşık olarak toplam çamurda bulunma yüzdeler.....	21
Çizelge 2.7. Odunun sıcaklık değişiminde gerçekleşen pirolizi ve yanması	24
Çizelge 2.8. LOİ'ye göre alev geciktirici sınıflandırması	28
Çizelge 4.1. Su bazlı iç cephe boya formülasyonu	33
Çizelge 5.1. Çinko borat içeren numunenin oksijen konsantrasyonu tayini.....	45
Çizelge 5.2. Sodyum bikarbonat içeren numunenin oksijen konsantrasyonu tayini	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kaynaklarına göre alüminyum üretimi akış diyagramı	6
Şekil 2.2. Dünya boksit üretiminin yıllara göre dağılımı	7
Şekil 2.3.Yıllara ve bölgelere göre dünya alümina üretimi	9
Şekil 2.4. Dünya birincil ve ikincil alüminyum üretimi	11
Şekil 2.5. Türkiye birincil ve ikincil alüminyum üretimi	11
Şekil 2.6. Eloksal prosesinde yüzey işlemlerin akış şeması	13
Şekil 2.7. Anodizasyon işleminin başındaki gözenek oluşum mekanizmasının şematik diyagramı	16
Şekil 2.8. Tipik bir eloksal tesisinin basitleştirilmiş işlem şeması	17
Şekil 2.9. Eloksal işlemi	17
Şekil 2.10. Eloksal tabakasının yapısı	18
Şekil 2.11. Yanma üçgeni	23
Şekil 2.12. Ağaç malzemede kömürleşme oluşumu	24
Şekil 2.13. Yüzeyde meydana gelen kömürleşmiş tabaka.....	27
Şekil 2.14. Alev geciktirici içeren ve içermeyen malzemelerin aleve maruz bırakıldıkları zamanki davranışları	27
Şekil 5.1. Eloksal atığın XRD analizi	39
Şekil 5.2. Sodyum bikarbonat içeren atığın XRD analizi.....	40
Şekil 5.3. Çinko borat içeren atığın XRD analizi	41
Şekil 5.4. Alüminyum eloksal atığında TG-DTA analizi	42
Şekil 5.5. Sodyum bikarbonat içeren atığın TG-DTA analizi	43
Şekil 5.6. Çinko borat içeren atığın TG-DTA analizi.....	44

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Alüminyum eloksal tesisi	20
Resim 2.2. Elokсал çamuru	22
Resim 4.1. Elde edilen sunta panaller (a.Deneme-1, b.Deneme-2, c.Deneme-3,4,5).....	34
Resim 4.2. 1,7×1,7×9,8 cm'lik çubuk bloklar	35
Resim 4.3. Yüzeyi kaplanmış çubuk bloklar	36
Resim 4.4. Testi öncesi ve test anındaki LOI düzeneği.....	37
Resim 4.5. LOI testi sonrası numuneler.....	37
Resim 4.6. XRD cihazı	38
Resim 4.7. TG-DTA cihazı.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

Al₂O₃.nH₂O

Boksit

Al₂O₃

Alümina

Al (OH)₃

Alüminyum trihidrat

CaCO₃

Kalsiyum karbonat

ml

Mililitre

°C

Sıcaklık, Celcius

g

Gram

min

Dakika

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASTM

American Society for Testing and Materials

LOI

Limited oxygen index

TGA

Termogravimetrik analiz

XRD

X-Ray Diffraction

1. GİRİŞ

Dünyada yıllık alüminyum üretimi 30 milyon tondur. Bu miktar, 858 milyon ton/yıl olan demir-çelik üretimi ile kıyaslandığında çok düşük görülebilir. Ancak ton başına sağlanan yıllık katma değer açısından bakıldığında alüminyumun katma değeri demirden 6,8 kat daha fazladır. Türkiye’de alüminyum metalinin inşaat sektöründe yoğun kullanımı ile Etibank Seydişehir Alüminyum tesisleri yerli üretim ihtiyacını karşılamada yetersiz kaldığından günümüzde hammadde açığı dış alımla karşılanmaktadır. Türkiye’de alüminyum ekstrüzyon profil üretimi 2015 yılında 250.000 ton olarak gerçekleşmiştir.

Eloksal kaplama işlemi, önceden ön işlemlerden geçirilmiş olan alüminyum parça yüzeyinin elektrokimyasal yöntemle bir asit banyosunda doğru akım verilerek alüminyum oksit filmi oluşturulması ve bu filmin sıcak su banyosunda tespiti [1]. Bu film tabakasının kalınlığı isteğe bağlı olarak 2-2,5µm arasında olabilir. Profillerde ön yüzey temizliği ve matlaştırma için yağ alma, kostik banyoları ve yıkama banyoları gibi çok sayıda banyo kullanılması gerekmektedir [2, 3].

Binaların Yangından Korunması Yönetmeliği [4], Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği [5] ve Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği [6] uyarınca ısı enerjisinin korunması ile beraber insan sağlığı ve güvenliğinin göz önünde tutulması gerekmektedir. Yaygın olarak kullanılan halojenli alev geciktiriciler, yanma anında zehirli gazlar çıkarmaktadır. Bu nedenle kullanımları azaltılarak yerine daha ‘çevredostu’ inorganik alev geciktiriciler kullanılmaktadır. Yanma anında inorganik alev geciktiriciler fiziksel etki gösterirler. Bu bileşikler dehidratasyon sıcaklığının üzerine çıktığında endotermik reaksiyon vererek hidratasyon suyunu bırakırlar. Reaksiyon endotermik olduğu için ortamın sıcaklığını düşürürler ve polimerin yanma sıcaklığının altına düşmesine katkı sağlarlar. Bu özellik sayesinde polimer malzemelerin direnci artar ve daha yüksek sıcaklıklarda yangına karşı dayanıklılık gösterir. Organik bileşikler ısıya maruz kaldıklarında buharlaşırlar. İnorganik alev geciktiricilerde ise böyle bir özelliğe rastlanmaz; bunun yerine H₂O gibi zararsız, CO₂ gibi daha az zararlı gazlar açığa çıkararak bozunurlar. Alüminyum trihidrat, magnezyum hidroksit, çinkoborat en sık kullanılan inorganik alev geciktiricilerdir [7-10]. Ayrıca alev geciktirici maddelerin malzemeye katılması malzemenin fiziksel ve

kimyasal özelliklerine etki edeceğinden katılma oranları önemlidir, belirlenmesi gerekir [11].

Malzemenin yanma özelliklerinin belirlenmesinde çoğunlukla sınırlayıcı oksijen indeksi kullanılmaktadır. LOİ, bir malzemenin yanması için ortam havasında hacimce bulunması gereken minimum oksijen yüzdesidir. LOİ değerine göre alev geciktirici sınıflandırılması yapılmaktadır. Malzeme, LOİ (%) düzeyi <24 ise alev alabilir, 24-28 sınırlı alev geciktirici, 29-34 alev geciktirici, >34 ekstra alev geciktirici sınıfında değerlendirilmektedir. LOİ değeri yükseldikçe malzemenin yanıcılığı da düşmektedir. Alev geciktiricilerin LOİ değeri yanında katıldığı malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi de hesaba katılmalıdır [12].

Bu çalışmada bol miktarda açığa çıkan alüminyum eloksal atıklarının kompozit panellerde belli oranlarda doğrudan kullanımıyla ekosisteme zarar vermeyen, enerji ve su tasarrufu sağlayan yangına dayanıklı malzeme üretimi amaçlandı.

2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Alüminyumun Tarihçesi

Alüminyum metali, oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, varlığı ancak 1808 yılında İngiliz Sir Humphry Davy tarafından belirlenen bu metal, 1827 yılında Wöhler tarafından saf element olarak elde edilmiştir. 1886 yılında elektroliz yöntemi kullanılmaya başlanmış ve bu sayede alüminyumun ticari üretimi de başlamıştır. K.J.Bayer 1892 yılında Bayer prosesi ile boksitten alümina elde etmiş, bu şekilde alüminyumun endüstriyel alanda üretimi daha kolay bir hal almış ve demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur. Günümüzde alüminyum; bakır, kalay ve kurşunun toplam üretimlerinden çok daha fazlası olarak üretilmektedir [13].

2.2. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum, simgesi Al olan, periyodik cetvelin III A gurubunda bulunan, atom numarası 13, atom ağırlığı 26,89 olan +3 değerlikli bir elementtir. Hafif, kolay işlenebilen gümüşümsü beyaz renktedir. Alüminyumun 20°C'deki yoğunluğu 2,7 g/cm³, ergime noktası 659,8°C, kaynama noktası 2450°C, ısınma ısısı 0,224Cal/g (1000°C'de), erime ısısı 400 Cal/g, 20°C'deki elektriksel iletkenliği bakırın %65'i, ışık yansıtılabilirliği %90'dır. Alaşım elementleri katılarak alüminyumun bu özellikleri büyük ölçüde değiştirilebilmektedir [14].

2.3. Neden Alüminyum?

Alüminyum birçok açıdan diğer metallere göre önemli üstünlüklere sahiptir. Hafiftir, işlenerek yüksek dayanım/ağırlık oranı geliştirilebilir. Bu özelliği oldukça iyi olup birçok alanda güvenle kullanılabilir. Kolay işlenebilirlik, korozyona uğramaması, yüksek yansıtıcılık, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yangına dayanımı, sürdürülebilir olması alüminyumun üstün özelliklerindendir. Alüminyumun istenilen düzeyde olmayan döküm veya mekanik özelliklerinde alaşım yapılarak mukavemeti artırılır ve endüstride birçok alanda kullanılır. Bakır, magnezyum ve silisyum en çok kullanılan alaşım elementleridir [15].

2.4. Alüminyumun Kullanım Alanları

Demir elementi yüksek mukavemete sahip, en iyi bilinen metaldir. Alüminyum alaşımlandırılarak demirin sahip olduğu yüksek mukavemete yakın bir ürün olmaktadır. Bu sayede, demire alternatif olarak kullanılarak birçok alanda avantaj sağlamaktadır. Örneğin otomobil yapımında kullanılması, aracın ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini düşürmektedir. Alüminyum normal atmosfer koşullarında oksijen ile reaksiyona girerek kendi yüzeyinde doğal bir koruyucu film tabakası oluşturur. Bu tabaka alüminyumu korozyona karşı korur. Bakırdan daha hafif olan alüminyum, elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik enerjisi iletim ve dağıtımında bakıra alternatif olarak kullanılmaktadır. Zehirli ve bulaşıcı olmadığı için gıda ve ilaç ambalaj ürünü olarak rahatlıkla kullanılmaktadır. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo şeklinde üretilebilmesi, ışık, aroma ve hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapmaktadır. Alüminyumun bir diğer kullanım alanı da içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutuların %80'i alüminyumdan yapılmaktadır. Bunun nedenleri; hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, geri kazanılabilir oluşu ve çabuk soğutma özellikleridir. Isı ve ışığı çok iyi yansıttığı için aydınlatma ürünlerinde ve ısı yataklarında yaygın olarak alüminyum kullanılmaktadır. Normal şartlarda yanmaz özelliğe sahip olan alüminyum mikro parça boyutuna getirildiğinde yanar. Yanma sırasında yüksek ısı açığa çıkar ve bu özelliği sayesinde roketlerde yakıt olarak kullanılır. %100 geri dönüşümlü olan alüminyum, birincil üretimde çok miktarda enerji harcanıyorsa da, çok düşük bir enerji kullanılarak yeniden kullanıma sunulması, tasarruflu ve az atık meydana getirerek çevre dostu bir ürün olmuştur [16]. Alüminyum kullanım alanları Çizelge 2.1'de verilmiştir .

Çizelge 2.1. Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı [17]

Kullanım Alanı	Miktarı, %
İnşaat	25
Ulaşım	24
Ambalaj	15
Elektrik/ Elektronik	10
Genel Mühendislik	9
Mobilya, ofis eşyaları	6
Demir çelik, metalurji	3
Kimya ve tarım ürünleri sanayi	1

Sanayinin tüm alanları göz önüne alındığında alüminyumun tüketimi diğer metallere göre daha hızlı artmaktadır. Bu açıdan alüminyum ekonomi için ayrıcalıklı bir yere sahiptir. İnşaat sektöründe, kimya ve gıda sanayinde, ulaştırma sektöründe, elektrik ve elektronik sektöründe, makine ve ekipman üretim sektöründe büyük bir yer edinmiştir. Alüminyum pilleri, yeni üretim teknikleri kullanılarak üretilmektedir. Bu piller ile araç hızlarının artırılması planlanmıştır [17]. Alüminyum köpüğü binalarda cephe kaplama, çeşitli alanlarda yalıtım ve ses emici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu gibi avantajların yanında üretim maliyetinin yüksek olması dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle de yeni üretim teknolojileri geliştirilmektedir.

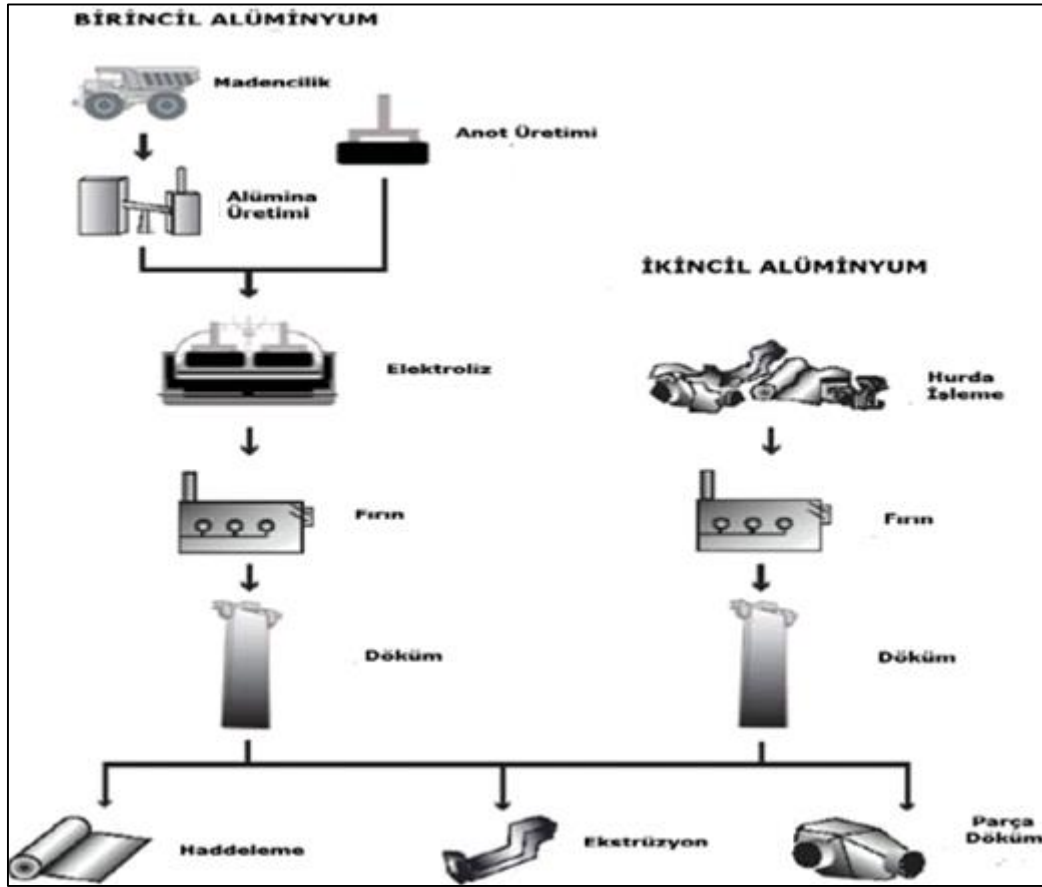
Türkiye’de artan alüminyum ihtiyacının hammaddesinin yurtiçinden karşılaması amacıyla cevher araştırmalarına gidilmiştir. MTA tarafından Seydişehir’in Mortaş Doğankuzu mevkilerinde belirlenen işletilebilir boksit rezervleri, 1956 yılında Etibank’a devredilmiştir. Böylelikle 1974 yılında Etibank Seydişehir Alüminyum tesisleri kurulmuştur. Böylelikle, alüminyumun yurt içinde üretilmesine başlanmasıyla, özellikle küçük boyutlu işletmelerin kurulmasını hızlandırmıştır. Alüminyum kullanım sahalarının gereksinimlerini karşılayabilecek nitelikte ürün üretebilen işletme sayısı hızla 400’e ulaşmıştır. 1980’li yıllar alüminyum sektörünün teknolojik gelişimi ve kapasite artışının simgelendiği dönemdir. Ancak, Seydişehir Alüminyum Tesisleri’nin sıvı alüminyum üretiminde tek kuruluş olması ve kapasitesinin hızla artan yurtiçi ihtiyacı karşılayamaması nedeniyle, 1985 yılından itibaren aradaki hammadde açığını gidermek amacıyla tekrar dış alım yapılmaya başlanmıştır. 1990’lı yıllarla birlikte alüminyum kullanım alanlarındaki artışa paralel olarak sektör ihracata yönelmeye başlamıştır. Bu sektörün örgütü olan ve 1971’de kurulan Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD), 1992’de Avrupa Alüminyum Birliği’ne üye olmuştur.

Alüminyum sektörü, Boksit madeninden birincil alüminyum ve hurdadan ikincil alüminyum üreten, bunları kullanım amaçlarına göre alaşım halinde üretilen ve üretimin yeterli olmadığı durumlarda ithal edilen külçe döküm ve işleme ingotlarını, haddeleme, çekme ve dökme işlemleri sonucu üretim yapan kuruluşları kapsamaktadır. Ülkemizde birincil alüminyum üreten tek kuruluş sadece Seydisehir Alüminyum Tesisi’dir [18].

2.5. Alüminyumun Üretim Aşamaları

Bugün alüminyum üretiminde, cevherden üretilen alüminyum ve hurdadan üretilen alüminyum olmak üzere iki kaynak söz konusudur.

Kaynaklarına göre alüminyum üretimi akış diyagramı Şekil 2.1’de verilmiştir.



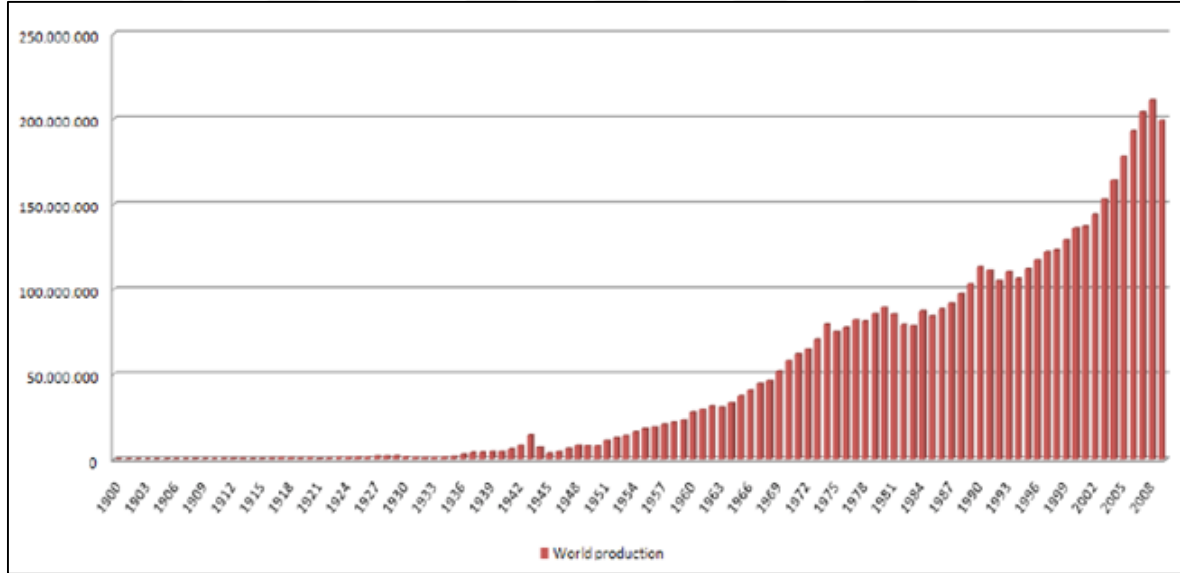
Şekil 2.1. Kaynaklarına göre alüminyum üretimi akış diyagramı [16]

2.5.1. Birincil alüminyum üretimi

Birincil alüminyum üretiminde, boksit madeni işletmeciliği, boksit cevherinden alümina üretimi (kırma, öğütme, çözündürme, çöktürme, kalsinasyon), alüminadan elektroliz yolu ile sıvı alüminyum üretimi (erimiş tuz elektrolizi), sıvı alüminyumun alaşımlandırılarak dökümü, döküm ürünlerinden ekstrüzyon ve haddeme işlemleriyle yarı ve/veya uç ürün üretimi olmak üzere birbirlerini takip eden beş ana üretim aşamasını uygulama zorunluluğu vardır [16].

Boksit

Alüminyum doğada boksit cevheri olarak bulunmaktadır. Boksit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) bir, mineraller topluluğudur ve alüminyum cevherlerine verilen genel isimdir. Boksitler farklı renklerde bulunabilirler. Bunun nedeni; boksitte bulunan demirin türü ve miktarıdır. Ticari olarak işletilebilen boksit cevherinin Al_2O_3 tenörü %30-65 arasında değişmekte, elde edilen boksitin %85'i birincil alüminyum üretimine yöneliktir. 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. Dünya boksit üretiminin yıllara göre dağılımı Şekil 2.2'de verilmiştir [19]. Dünyada 2010 yılı boksit rezervleri açısından zengin ülkeler Çizelge 2.2'de verilmiştir [19].



Şekil 2.2. Dünya boksit üretiminin yıllara göre dağılımı (Üretim(ton)/Yıl) [19]

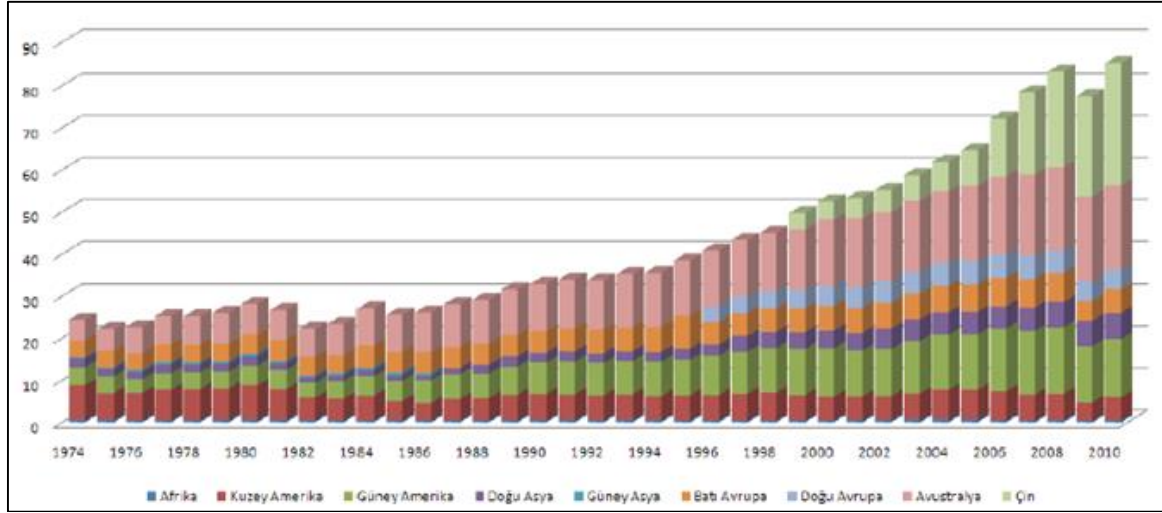
Çizelge 2.2. 2010 yılı boksit rezervleri açısından zengin ülkeler [19]

Ülke	Boksit Rezervi	Dünya Rezervlerinden Aldığı Pay
Gine	8,6 Milyar Ton	% 23
Avustralya	7,9 Milyar Ton	% 21
Vietnam	5,4 Milyar Ton	% 14
Brezilya	2,5 Milyar Ton	% 7
Jamaika	2,5 Milyar Ton	% 7
Çin	2,3 Milyar Ton	% 6
Hindistan	1,4 Milyar Ton	% 4
Guyana	900 Milyar Ton	% 2
Yunanistan	600 Milyar Ton	% 2
Surinam	600 Milyar Ton	% 2
Kazakistan	400 Milyar Ton	% 1

MTA verilerine göre Türkiye 68.910.000 ton boksit rezervine sahiptir. Dünyadaki rezervler ile karşılaştırıldığında Türkiye'deki boksit rezervlerinin miktarı oldukça azdır. Dünyada çıkarılan boksit %90 oranında alüminyum üretiminde kullanılmaktadır ve boksit üretimi, alüminyum talebine göre artış göstermektedir. Dünya boksit üretimi 2010 yılı itibarı ile yılda 214 milyon tona ulaşmıştır [19].

Alümina (alüminyum oksit)

Bayer Prosesi ile boksitten alümina elde edilir. Boksit cevheri yıkanır, daha sonra kırılıp öğütülür. Boksitlerin yüksek ısı ve basınç ortamında NaOH çözeltisi ile reaksiyona girmesiyle cevherdeki alümina (Al_2O_3) sodyum alüminat ($NaAlO_2$) çözeltisi ve demir, silis, titanyum vb. gibi safsızlıkları içeren sıvı faza alınır. Elde edilen hidrat, akışkan yataklı veya döner fırınlarda 1100-1200⁰C sıcaklıkta kimyasal bağlı suyu uçurmak amacıyla kalsine edilerek alümina elde edilmektedir. Dünya alümina üretimi yıllara göre dağılımları sırasıyla Şekil 2.3'te verilmiştir [19].



Şekil 2.3. Yıllara ve bölgelere göre Dünya alümina üretimi (Üretim Miktarı (milyon ton)/Yıl) [19]

2.5.2. İkincil Alüminyum Üretimi

Dünyada artan nüfus ile birlikte tüketim de giderek artmaktadır. Tüketicinin fazla olması kaynakların azalmasına, çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kaynak arayışı kadar tüketim sonucunda meydana gelen atıkların değerlendirilmesi de önem kazanmaktadır. Atıkların geri dönüştürülmesi ile kaynakların uzun süre kullanılması, üretimde maliyetin azalması, çevre kirliliğinin azalması gibi birçok avantaj elde edilmektedir. Alüminyumun çok çeşitli özelliklerinden bir tanesi de geri dönüştürülebilir olmasıdır. Ham metal üretiminde cevherin kullanılması için yüksek enerji ve maliyet gerekmektedir. Bu nedenle alüminyumun tekrar kullanılabilme özelliği metal sektöründe çok önemli bir yere sahiptir [19].

Hurdadan alüminyumun geri kazanılması

İkincil alüminyum üretimi, hurda alüminyum kullanılarak yapılmaktadır. Hurda alüminyum kaynağı iki çeşittir. İlki, birincil alüminyum üretim aşamasında oluşan ve geri dönüşümü %100 olan yeni hurda; diğeri ise kullanım ömrünü tamamlamış ve geri dönüşümü sınırlı olan eski hurdadır.

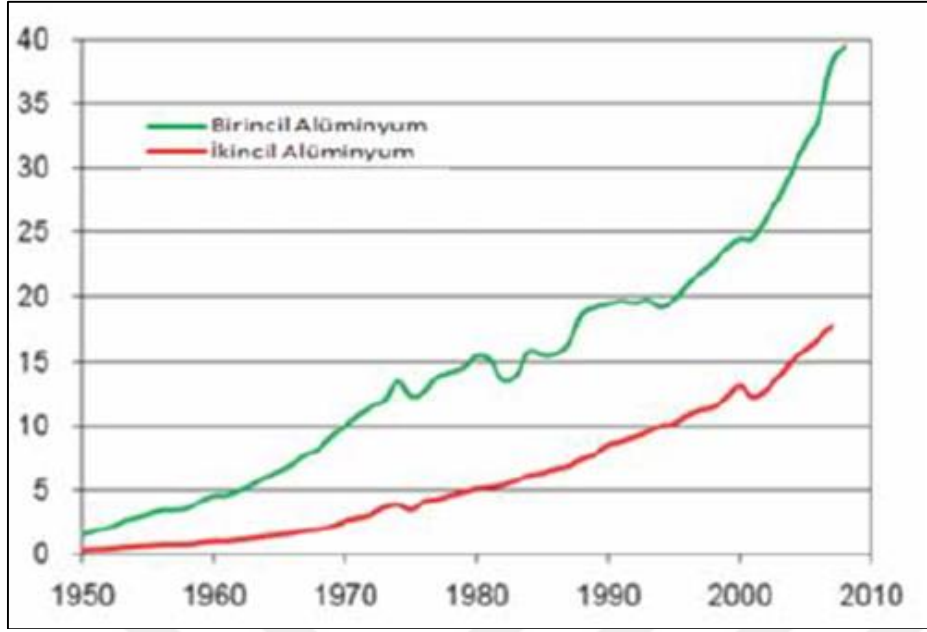
İkincil alüminyum üretimi kısaca; hurdaların toplanması, gruplanması, ayrılması gibi çeşitli hazırlık aşamalarından sonra eritilmesiyle oluşur. Geri dönüşümün kaliteli şekilde

yapılabilmesi için bu aşamaların dikkatli yapılması gerekmektedir. Kirlenmiş hurdaların yeniden kullanımını sağlamakta, hurdanın yüzey alanı/hacim oranı büyük öneme sahiptir.

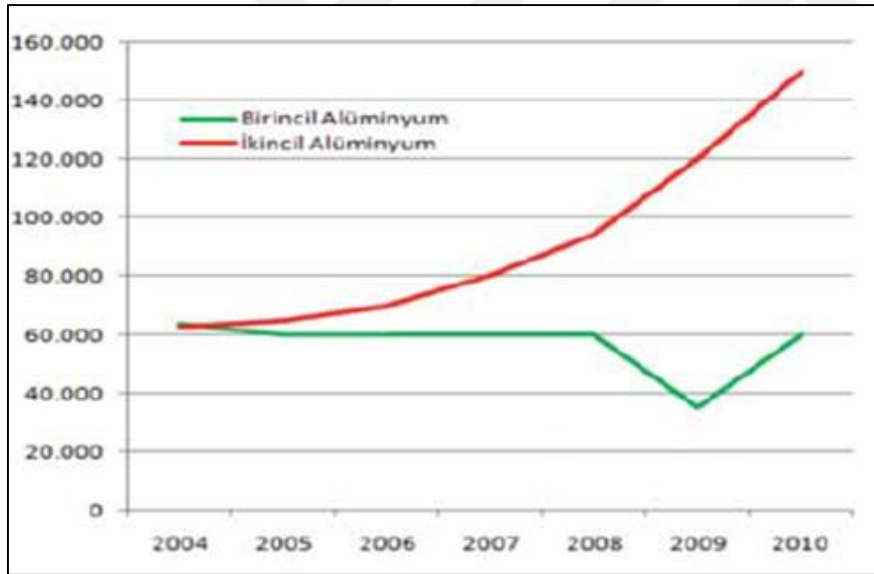
Alüminyum hurdalar türlerine göre gruplandırılır. Boyalı ve yağlı hurdalar ergitme kalitesini düşürmesin diye yağ ve boya hurdadan uzaklaştırılır. Daha sonra nemin giderilmesi için ön ısıtma işlemi uygulanır. Hurdanın türü ve elde edilecek ürünün özelliklerine göre ikincil alüminyum üretiminde çeşitli fırınlar kullanılır. Bunlar; döner, reverber ve indüksiyon fırınlardır. İkincil alüminyum üretiminde kullanılan fırınlarda hurdaların yapısına göre geri kazanım oranları Çizelge 2.3’de verilmiştir [16]. Dünya’da ve Türkiye’de birincil ve ikincil alüminyum üretimi Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de verilmiştir [19].

Çizelge 2.3. Hurdaların yapısına göre geri kazanım oranları [16]

HURDALARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDE GERİ KAZANIM ORANLARI			
HURDA CİNSİ	Geri Kazanım oranı (%)		
	R. FIRINI	D. FIRIN	İ. FIRINI
Levha, kırpıntı, araiş	87	90	93
Preslenmiş talaş, folyo	80	85	90
Döküm makine parçaları	85	88	-
İçecek kutuları	75	85	85
Şişe kapakları	65	70	75



Şekil 2.4. Dünya birincil ve ikincil alüminyum üretimi (ton/yıl) [19]



Şekil 2.5. Türkiye birincil ve ikincil alüminyum üretimi (ton/yıl) [19]

Alüminyumun hurdadan geri kazanılmasının önemi

Enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle alüminyumun hurdadan geri kazanılması ekonomik açıdan son derece önemlidir. İkincil alüminyum üretimi için gerekli olan yatırım maliyeti birincil alüminyum üretimine göre çok daha düşüktür. Alüminyum üretimi arttıkça kullanım ömrünü dolduran alüminyum parçalarının miktarı da artmaktadır. Günümüzde hurdalarının dönüştürülmesi konusu önem kazanmaktadır. Yıllar geçtikçe bu konu giderek daha da çok önem kazanacaktır [20].

Bir kilogram alüminyumun cevherden elde edilmesi için yaklaşık 48-60kWh enerji gerektirmektedir. Bu değer bakır için 20kWh, çelik için 9kWh'dır. Bu değerlere bakıldığında alüminyumun ham madde olarak kullanılması, bakır ve demire göre maliyeti oldukça yükseltmektedir. Alüminyum hurdalarının geri dönüştürülmesi için kilogram başına 3kWh enerji gerektirmektedir. Bu da alüminyumun cevherden üretimin %5 ile %7'si kadar enerjiye eşdeğerdir. Alüminyumun geri dönüşümle eritilmesi için gerekli enerji maliyeti, dönüşüm sayısına göre değişmektedir. Alüminyum ne kadar çok geri dönüştürülürse eritme için gerekli enerji de o kadar düşmektedir. Bu nedenle alüminyum hurdalarının eritilerek yeniden alaşım haline getirilmesi ülkemizin ekonomisi için çok önemli bir konudur. Alüminyum hurdalarının geri dönüşüm işlem sayısında belirli bir sınır bulunmamaktadır. Burada en önemli nokta alüminyum hurdalarının dönüşüm öncesindeki hazırlık aşamalarıdır. Bu aşamalar ne kadar düzgün yapılırsa elde edilen alaşımların fiziksel ve kimyasal özellikleri o kadar düzgün olur [20].

Alüminyum, birçok özelliği sayesinde günümüzde dünyada en fazla kullanım alanı çeşitliliğine sahip metal haline gelmiştir. Bu da alüminyum talebinin nüfus ve gelir artışı, şehirleşme ve küresel ısınma gibi temel faktörlerin etkileri ile şekillendiğini ortaya koymaktadır.

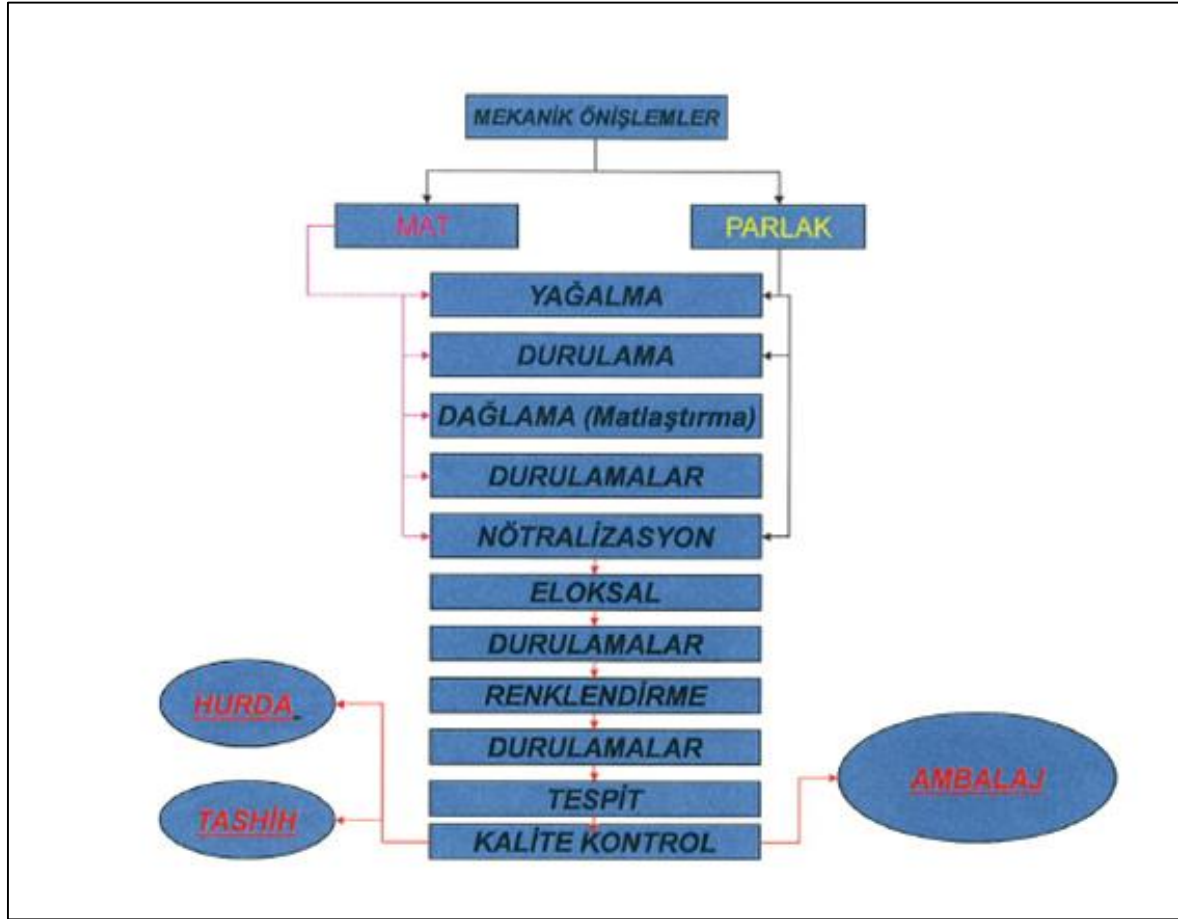
Çizelge 2.4. Alüminyum cevheri dış ticareti [21]

Yıllar	İhracat		İthalat	
	Miktar (kg)	Değer (\$)	Miktar (kg)	Değer (\$)
2013	215.732.175	7.231.111	34.716.157	15.976.394
2014	212.747.263	8.813.512	32.589.010	14.307.093
2015	226.021.519	8.785.103	30.493.172	10.371.356
2016	502.506.237	13.750.101	34.900.010	9.831.494
2017	627.036.214	14.854.686	52.143.788	16.980.195

2.6. Alüminyumun Yüzey İşlemleri

Yapılan yüzey işlemleri, ürünün görünümünü değiştirmek, daha iyi hale getirmek ve korozyon ve aşınmaya karşı korumak için yapılır. Aynı zamanda, alüminyum profilin, ısı emme veya yansıtma ile elektriksel özellikleri de yüzey işlemleri ile değiştirilebilir. Elokso, dilimize Almanca'dan girmiş bir terimdir. Anodik oksidasyon, anodizasyon olarak da tanımlanır. Alüminyuma yüzey işlemleri uygulanmadan önce yüzeyi hazırlamak için yüzey

ön işlemleri uygulanır. Yüzey ön işlemleri mekanik ve kimyasal olarak ikiye ayrılır. Mekanik ön işlemler Şekil 2. 6'deki basamakları kapsamaktadır [22].



Şekil 2.6. Eloksal prosesinde yüzey işlemlerin akış şeması [22]

Profil yüzeyine uygulanan anodik oksit tabakası şeffaftır ve profil yüzeyini gösterir. Yüzeyin mat veya parlak olması isteniyor ise anodik oksidasyon öncesinde bu yüzey ön işlemleri uygulanır. Eloksal kaplama öncesinde bu ön işlemlerden biri ya da birkaçı istenilen kaplama özelliğine göre alüminyum yüzeye uygulanır.

Parlatma öncesi yüzeyde olan çizgileri gidermek ya da yüzeye özel desenler vermek amacıyla uygun niteliklerde zımpara kullanılır. Profillerin yüzeyinin parlatılması için yüzeye fırça ile özel cila uygulanır. Eğer yüzey fazla çizilmiş ise, parlatma fırçaları bu çizikleri düzeltemez. Bant zımpara kullanılarak parlatma öncesinde bu çizikler giderilir. Kimyasal ön yüzey işlemlerinden biri olan yağ alma genellikle, su bazlı çözeltiler kullanılarak uygulanır. Bu işlemde karbonat, fosfat gibi malzemeler dışında bazen de kompleks bir yapı içeren bazik çözeltiler tercih edilir. Alternatif olarak, sülfürik veya

fosforik asit ve bazı ilave kimyasallar içeren asidik çözeltiler de tercih edilebilir. Su bazlı yağ giderme banyoları 70 ile 90°C arasında çalışırlar. Oda sıcaklığında çalışan, bazı hidrokarbon çözücüler içeren organik esaslı yağ gidericiler, özellikle mekanik yöntemle parlatılmış yüzeylerdeki polisaj cilasını temizlemekte yetersiz kalırlar. Ayrıca, atık su içinde bulunacak hidrokarbonlar nedeniyle de tercih edilmezler [13, 22].

Alüminyum yüzeyine matlaştırma işlemi yapmak için sodyum hidroksit çözeltileri kullanılır ve bu işleme “kostikleme” denir. Kostik banyosunun çalışma sıcaklığı 60°C’dir. Bu işlem sonunda yüzey alanının her metrekaresinden yaklaşık 80-120g alüminyum çözeltide çözünür. Çözünen alüminyum denge konsantrasyonunu aştığında, çökme olur. Ortamdaki su uzaklaştırılarak, katı atık elde edilir. Katı ve sıvı fazın birbirinden ayrılması ile kostik de geri kazanılmış olur. Matlaştırma işleminde kullanılan kostiğin geri dönüşümü sayesinde atık sular daha az kirlenmiş olur. Kostik banyolarında, alüminyum konsantrasyonu önemlidir ve kontrol edilmelidir. Çözelti içindeki serbest sodyum hidroksitin alüminyuma oranı, banyoda alüminyum çökeltisi oluşmaması yönünden büyük önem taşır. Yüzeyde, “galvaniz” etkisinin görünmemesi için, matlaştırma banyosunun çinko konsantrasyonu da kontrol edilir.

Kumlama olarak adlandırılan işlem ile, paslanmaz çelik mini parçacıkların özel bir cihaz kullanılarak alüminyum yüzeyine uygulanması ile mat bir yüzey elde edilmektedir. Kostikleme ile mat yüzeyde görülebilen “yapısal çizgiler” ve “galvaniz görüntüsü” gibi kusurlar kumlama işlemi uygulanarak ortadan kaldırılır. İstenilen yüzey görünümüne göre kum seçilerek prosesin çalışma şartları iyi bir şekilde ayarlanır [23].

2.6.1. Alüminyum oksitin elektrokimyası termodinamiği

Doğada kendiliğinden meydana gelerek alüminyum üzerinde oksit tabakası oluşur. Bu oksit tabakası Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2’de verildiği gibi Gibss serbest enerji değişimi ile yorumlanır [23].



Eğer alüminyum elektrokimyasal anotlanırsa Eşitlik 2.3 – Eşitlik 2.4’de verildiği gibi, anotta oksit büyür.



Katotda hidrojen gazı gelişir.



Kompleks anyonların olmadığı kabul edilirse, Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6'da verildiği gibi Nernst Eşitliği [23].

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

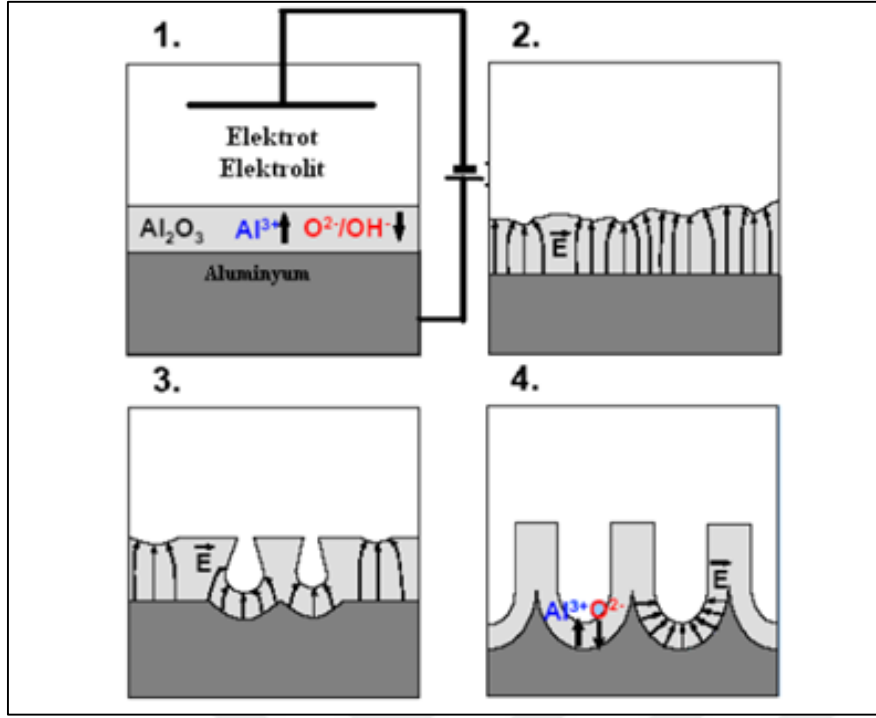
$$E = -1.550 - 0.0591 \text{ pH} \quad (2.6)$$

Bu eşitlikler incelendiğinde, alüminyum yüzeyinde oluşan reaksiyon termodinamik olarak pH değerine bağlıdır [23].

Potansiyel, elektrolit tipi ve konsantrasyonu, sıcaklık, yabancı madde etkisi alüminyum oksit oluşumunu etkileyen parametrelerdir.

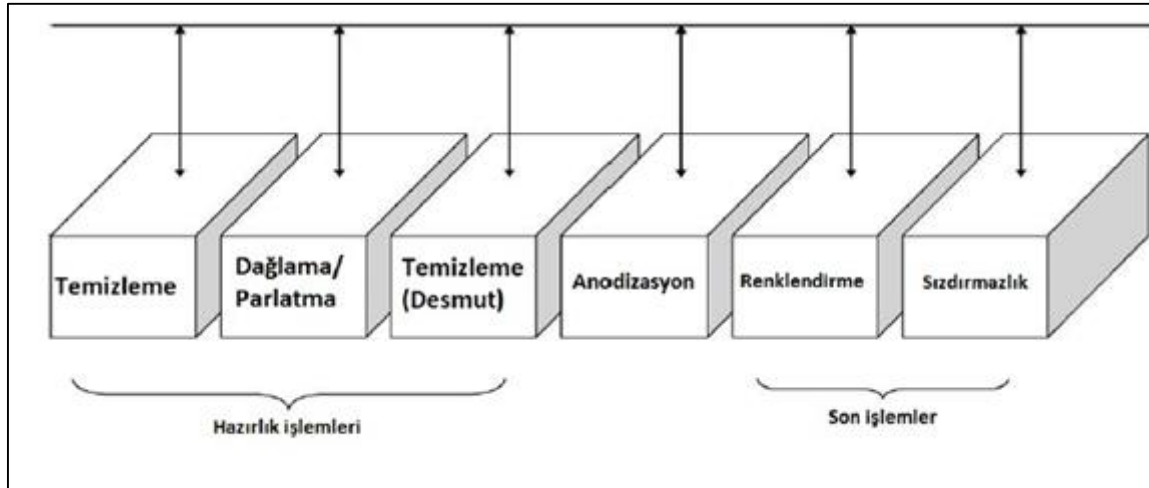
2.6.2. Alüminyumun anodik oksidasyonu (Eloksal)

Elektrokimyasal bir proses ile yapılan eloksal işlemi, alüminyum için özel bir yüzey işlemidir. Kaplanacak alüminyum elektroliz işleminin anodudur. Elektrolit olarak asidik bir çözelti kullanılır. Belirli ve kontrol edilen bir 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. Alüminyum oksidin çözünürlüğü asitli koşullarda oldukça yüksektir. Böylece yüzeyde kendiliğinden oluşan oksit tabakasının çözünmesi sağlanır. Alüminyum ya da alaşımlarının yüzeyinde kendiliğinden oluşan oksit filmi anodik oksidasyon ile biraz daha geliştirilir. Oluşan oksit tabakasının bir kısmı asidik çözelti yardımıyla çözünür ve bu şekilde gözenekli bir yapı elde edilir. Anodizasyon işlemi başlarken meydana gelen gözenekli yapının şematik gösterimi Şekil 2.7'de verilmiştir [23, 24].



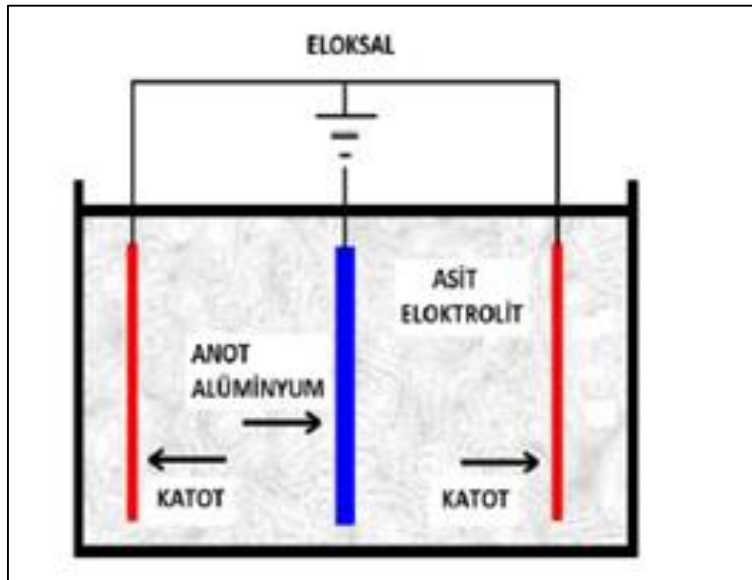
Şekil 2.7. Anodizasyon işleminin başındaki gözenek oluşum mekanizmasının şematik diyagramı [24]

Eloksal kaplama alüminyum ürünlere uygulanan en önemli yüzey işlemlerinden birisidir. Eloksal işlemi dekoratif amaçlı ve endüstriyel uygulamalar için kullanılmaktadır. Eloksal işlem alüminyum dışında başka metallere uygulanamaz. Alüminyumun kullanım yerine ve kullanılan alüminyumun alaşım türüne göre eloksall işlemi farklı tiplerde elektrolitler kullanılarak yapılabilir. Kullanılan elektrolit, genelde asidik bir çözeltidir. Bu asidik çözelti genelde %20 sülfürik asit çözeltisidir ve akımın kolay iletilmesini sağlar. Kaplanacak alüminyum elektroliz işleminin “anot”udur. Belirli ve kontrol edilen bir akım yoğunluğu, kaplanacak alüminyum ile uygun bir anot arasında yine belirli bir süre için geçerlidir. Bu süre, oluşacak eloksall tabakasının özellik ve kalınlığına göre belirtilir. Dekoratif ve koruma amaçlı okzalik asit, sülfo-organi asit, fosforik asit, kromik asit kullanılırken, elektrolitik kapasitör için sitrik asit ve borik asit kullanılmaktadır. Bir eloksall tesisinin basitleştirilmiş işlem şeması Şekil 2.8’de verilmiştir [25].



Şekil 2.8. Tipik bir eloksal tesisinin basitleştirilmiş işlem şeması [25]

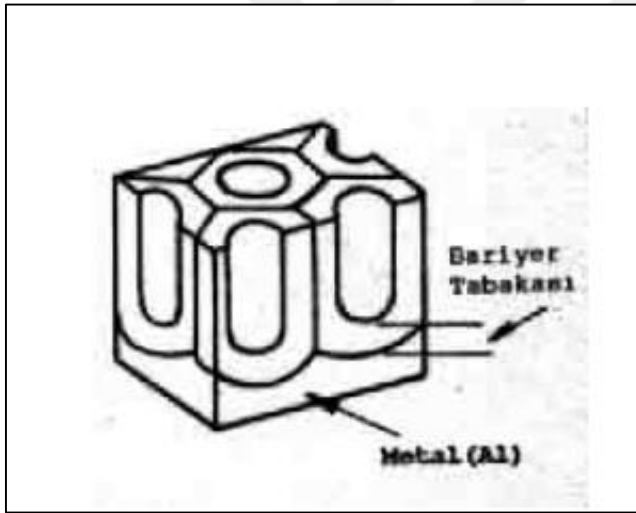
Eloksal işlemi Şekil 2.9'da verilen düzenekte gerçekleşir. Eloksal işlemi sırasında E2.7, E2.8 ve E2.9'da verilen reaksiyonlar gerçekleşir [25]:



Şekil 2.9. Eloksal işlemi [26]

2.6.3. Eloksal tabakasının genel özellikleri

Eloksal tabakası alüminyum yüzey ile bütünleşerek güçlü bir tabaka oluşturur. Eloksal tabakası çok serttir ve bu sayede korozyona karşı direnci çok fazladır. Bu da alüminyuma üstün özellikler kazandırır. Eloksal tabakası şeffaftır ve bu sayede eloksallı kaplanan alüminyumun metalik görünümü ortaya çıkar. Bu özellik sayesinde alüminyum yüzeyinde istenilen parlak veya mat görünüm çeşitli mekanik ve kimyasal işlemler uygulanarak elde edilir. 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 [27]. Eloksal tabakasının yapısı Şekil 2.10’da verilmiştir [28].



Şekil 2.10. Eloksal tabakasının yapısı [28]

Eloksal işlemleri, alüminyum üzerine, istenilen özelliklere göre, çeşitli elektrolitler kullanılarak uygulanır ve farklı eloksallı tabakaları oluşturulur. Endüstride kullanılan çeşitli eloksallı elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları [27]

Elektrolit Asidi	Konsantr. 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

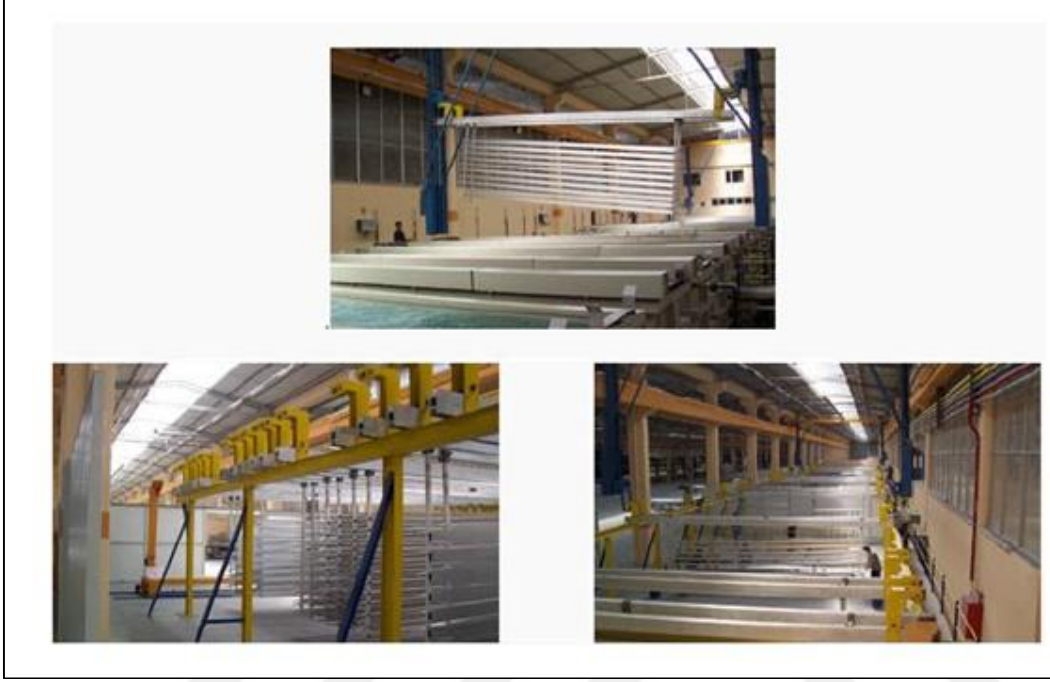
2.6.4. Eloksal çamuru

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 kullanılabilen ve de genel olarak sodyum, silisyum gibi bazı safsızlıklar içermesi sebebiyle ekonomik olarak kullanılamamaktadır. Özellikle alüminyum levhaların elektrolitik yöntemle sınırlı oksidasyonu proseslerinde ele geçen anot çamuru, ilgili endüstride eloksal atığı veya kısaca eloksal olarak adlandırılmaktadır. Özellikle NaOH havuzlarındaki kostik, alüminyum ile reaksiyona girerek $Al(OH)_4^-$ 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 Eşitlik 2.10, Eşitlik 2.11 ve Eşitlik 2.12'de verildiği şekilde gerçekleşir [29].



Eloksal atıkları alüminyum ürünlerin elektrolit bir çözelti içerisinde sınırlı oksidasyonu sırasında oluşur. Resim 2.1'de alüminyum eloksal tesisi ve eloksal banyoları görülmektedir. 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 safsızlıklar barındırdığından direkt olarak endüstriyel uygulamalarda kullanımı uygun bulunamamıştır [28].



Resim 2.1. Alüminyum eloksali tesisi

Alüminyum ekosal işlem atıklarının büyük bir bölümünü eloksali çamuru oluşturmaktadır. Eloksali tesislerinde oluşan atıklar iki gruba ayrılır; kimyasal banyolardan gelen yoğun çözelti ve yıkama suları. Bu atıkların hepsi bir tank içerisinde karıştırılır, nötrale edilir, pıhtılaştırılır (topaklaştırılır) ve çöktürme işlemi yapılır. Elde edilen son ürün eloksali çamurudur [28].

Aşındırma ve eloksali işlemlerinde alüminyum hidroksit çamuru büyük miktarlarda oluşur. Örneğin, 90 m² anodize yüzey alanına sahip 181 gramlık anodize hattı 191 gram alüminyum konvansiyonel arıtma sisteminde hidroksit çamuru oluşturur. Kütlesel olarak alüminyum işleme ve arıtma sisteminde bire bir hidroksit çamuru oluşturur [29].

Bununla beraber dünyada çok sayıda eloksali tesisinde geri kazanma esaslı arıtım yöntemi kullanılarak kimyasal banyoların kullanım süresi uzatılarak arıtma maliyeti düşürülmekte ve beraberinde işletmede üretim kalitesi üniform işletme yapısı nedeniyle artmaktadır.

Beraberinde asit ve NaOH geri kazanıldığı için katı atık ve sıvı atık miktarı önemli bir oranda azalmaktadır.

2.6.5. 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) ve çöktürme işlemi yapılır. Elde edilen son ürün eloksal çamurudur. Çizelge 3’de eloksal çamurunun bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri görülmektedir. Bu çamur değişik kompozisyonlara sahip olabilir fakat üç temel bileşen içerir: alüminyum hidroksit, oksihidroksitler ve bazik sülfatlar (alüminyum sülfat). Eloksal çamuru bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Eloksal çamuru bileşimindeki katıların yaklaşık olarak toplam çamurda bulunma yüzdeleri [24]

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 %80’e varan oranda nem barındırır [24].

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. Resim2.2’de verilen eloksal çamuru su ile karıştırıldığında kolayca çözünür ve homojen bir karışım oluşturur, bu sayede kurutma yapılmadan da su ile birlikte kullanılabilir.



Resim 2.2. Eloxal çamuru

Eloxal çamurunun rengi aşındırma işlemi sırasında kullanılan aside ve diğer işlemlerde kullanılan kimyasallara göre farklılık gösterebilir. Örneğin; siyah yada beyaza yakın sarımtırak renkte olabilir.

2.7. Ahşap

Ahşap, canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilen lifli, heterojen ve anizotrop bir dokuya sahip organik esaslı bir yapı malzemesidir. Ahşabın kullanımı beton ve çelik malzemelerin kullanımından çok daha önce olmuştur. Ağaç kovukları eski zamanlarda insanlar tarafından korunmak amacı ile kullanılmaya başlamış, zamanla birçok alanda kendine yer bulmuştur. Ahşap, dünyada doğal olarak bulunan en önemli hammaddelerden bir tanesidir. Temini kolay, sağlıklı, doğal ve organik bir üründür. Geri dönüştürülebilir ve doğal bir malzeme olduğu için çevre kirliliği oluşturmaz. Hafiftir, aynı zamanda mukavemet özelliği fazladır. Isı ve elektrik yalıtkanlığına sahiptir. Kimyasal maddelerle birlikte kullanılarak kompozit malzeme üretimine uygundur. Bina yapımı, mobilya ve dekorasyon işleri, parke, müzik aleti, tel direği, kaplama levha, kontraplak, yonga levha, lif levha, kâğıt ve karton üretiminde kullanılmaktadır. Hayatımızda birçok kolaylığı sağlamasının yanında kolay tutuşabilme özelliğinden dolayı yangın riskini arttırmaktadır. Ahşap, organik esaslı bir materyaldir. İçeriğinde karbon ve hidrojen olup; yanıcılık özelliği bulunmaktadır. Kendi kendine yanabilmesi için sıcaklığın 275°C olması gerekmektedir. Fakat, herhangi bir alev kaynağında da tutuşma özelliğine sahiptir [30].

Ahşap malzemelere çeşitli yöntemler uygulanarak yangın geciktirici özellik kazandırılmak istenmiştir. Emprenye en çok uygulanan yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde, birçok

kimyasal madde ahşabın yüzeyine çeşitli yollarla emdirilir. Emprenye uygulamış ahşabın dayanıklılığı, yanma direnci artar. Bunu için genellikle bor içeren kimyasallar kullanılır [31].

2.8. Ahşap Malzemenin Yanma Özelliği

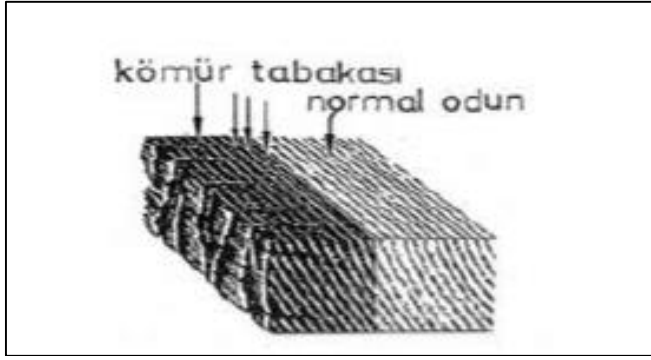
Yanıcı maddelerin ısı ve oksijenle birleşmesi sonucu oluşan kimyasal olaya yanma denir. Yangın ise, kontrol dışında gerçekleşen yanma olayıdır. Yanma olayının gerçekleşmesi için ortamda yeterli miktarda oksijen, ısı ve yanıcı bir maddenin olması gereklidir. Bu üç unsur yangın üçgeni olarak adlandırılır ve Şekil 2.11'deki gibi gösterilir [32].

Bir maddenin yanabilmesi için havanın en az %14 – 18 oksijen içermesi gerekir. Yanma için gerekli oksijen atmosferde bulunmaktadır. Üçüncü bileşen olan yakıt ise malzemenin yapımında kullanılan polimerin kendisidir [33].



Şekil 2.11. Yanma üçgeni [32]

Ahşap yanabilen bir malzemedir. Yanma olayı esnasında ahşap malzemede 170°C'ye kadar kuruma, 270°C'ye kadar CO, CO₂ ve su buharı çıkışı, 250-300°C'de de tutuşma görülmektedir. Ahşabın yüzeyinde ısı etkisiyle oluşan kömür tabakası alevin ahşabın iç kısımlarına girmesini engellemektedir. Bu sayede ahşap daha geç yanmaktadır. Kömürleşmenin oluşumu Şekil 2.12'de gösterilmektedir [34].



Şekil 2.12. Ağaç malzemede kömürleşmenin oluşumu [34]

Odunun termal bozunması 3 aşamada gerçekleşmektedir. Odunun pirolizi veya ısınması ile kömür (katı kalıntı), katran (sıvı kalıntı) ve gazlar oluşturmaları ilk aşamadır. İkinci aşamada ise; uçucu gazlar oksijen ile reaksiyon verirler. Reaksiyonun gerçekleşmesi için uygun bir tutuşturucu kaynağın olması gerekmektedir. Üçüncü aşamada; ekzotermik reaksiyon sonucunda oluşan ısı, katı odun kömürün pirolizinin devam etmesini sağlamaktadır. Meydana gelen ısı, tekrar odun yüzeyine dönmekte ve bir döngü oluşturmaktadır. Bu döngü odun çevresinin tamamen kömür ile kaplanıp bütün olası gazların çıkışına kadar devam etmektedir [32].

Odunun sıcaklık değişiminde gerçekleşen pirolizi ve yanması Çizelge 2.7’de verilmiştir [34].

Çizelge 2.7. Odunun sıcaklık değişiminde gerçekleşen pirolizi ve yanması [34]

Sıcaklık aralığı	Ayrışma işlemleri
>100°C	Kimyasal olarak bağlı olmayan suyun buharlaşması
160-200°C	Odunun üç polimerik bileşeni yavaşça parçalanmaya başlar. Bu aşamada oluşan gazlar yanmaz özelliktedir (Başlıca H ₂ O).
200-225°C	Odunun pirolizi halen çok yavaştır ve üretilen gazların çoğu yanıcı değildir.
225-275°C	Ana piroliz başlar ve alevli yanma öncü alev yardımıyla gerçekleşir.
280-500°C	Açığa çıkan gazlar uçucu (CO, metan vb.) ve duman partikülleri görünür durumdadır. Odunun fiziksel yapısı bozulurken hızla kömür oluşur.
>500°C	Uçucuların ortaya çıkması tamamlanır. Kömür yanar ve CO, CO ₂ ve H ₂ O oluşturmak üzere oksitlemeye devam eder.

2.9. Sunta

Ahşap kökenli levha ürünlerinin gün geçtikçe çeşitleri artmıştır. Sunta bu levha örneklerinden bir tanesidir. Sunta, ince çaplı ve düşük nitelikli odun hammaddesinin kurutma fırınında belli bir nem oranına indirilip, eleme işleminden sonra, tutkal ile karıştırılıp sıcaklık ve basınç altında belirli bir sürede preslenmesi sonucunda ortaya çıkan mamuldür [35].

Günümüzde ahşap esaslı panel üretiminde en fazla kullanılan tutkal grubu formaldehit esaslı sentetik tutkallardır. Bu tutkallardan özellikle üre formaldehit (ÜF) tutkalı ön plana çıkmaktadır. Dünya levha üretiminin yaklaşık %90'ı ÜF tutkalı ile yapılmaktadır [36]. Sunta, düzgün yüzeylidir, istenilen kalınlıkta üretilebilir, homojen bir yapıya sahiptir, çivi, vida ve tutkalla diğer malzemelerle birleştirilebilir. Üretilen suntaların büyük ebatlarda olması işçilikten tasarruf sağlar, üst yüzey işlemleri uygulanabilir, yanmayı geciktiren ve hidrofobik maddelerle muamele edilmesiyle çeşitli özellikler kazandırılabilir. Suntanın işlenmesi kolaydır, masif ağaç malzemede görülen budak, çürük ve lif kıvrıklığı gibi kusurlar bulunmaz ve nispeten ucuzdur.

Temel özellikleri açısından sunta ahşapla karşılaştırılabilir. Ayrıca kendi üretim yönteminden kaynaklanan avantajlara sahiptir. Damar yönü yoktur, homojendir ve farklı yönlerde aynı dayanıklılık derecesine sahiptir, suntanın düz yüzey yönündeki dinamikleri azdır.

Sırasıyla özgül kütlesi $0,59\text{g/cm}^3$ den daha küçük, $0,59\text{-}0,80\text{g/cm}^3$, $0,80\text{ g/cm}^3$ 'den büyük olan suntalar, hafif, orta ve yüksek yoğunlukta suntalar olmak üzere özgül kütlelerine göre üç grupta değerlendirilirler. Avrupa'da ise kütlesi 500 kg/m^3 den daha küçük, $500\text{-}650\text{ kg/m}^3$, 650 kg/m^3 'den büyük olan suntalar, hafif, orta ve yüksek yoğunluğa sahip levhalar olarak değerlendirilirler. Ancak çoğunlukla üretilen yonga levhaların özgül ağırlıkları $600\text{-}700\text{kg/m}^3$ arasında bulunmaktadır [37].

Sunta üretiminde kullanılan üre formaldehit, insan sağlığı açısından zararlıdır. Formaldehit emisyonu sonucunda bağışıklık sistemi zayıflar, kanser, deri, göz ve solunum sisteminde çeşitli reaksiyonlara sebep olur [36]. Emisyon salınımı, özellikle değişken sıcaklık ve bağıl nem koşullarında levha üretimden sonra da uzun süre devam etmektedir.

Alüminyum eloksal atığı ile elde edilen kaplama maddesi sunmaya uygulanarak yanma esnasında ortaya çıkan zehirli gazların da minimuma indirgenmesi göz önünde bulundurulmuştur.

2.10. Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler

Dünyanın her yerinde her an yangın çıkma ihtimali vardır. Yangın oluşum şekline ve büyüklüğüne göre çok ciddi problemler meydana getirebilir. İnsanların ölümüne, maddi kayıplara neden olur. Nüfus artışı, plansız şehirleşme, sanayide meydana gelen olumsuz koşullar sebebiyle yangın çıkma ihtimali artmaktadır.

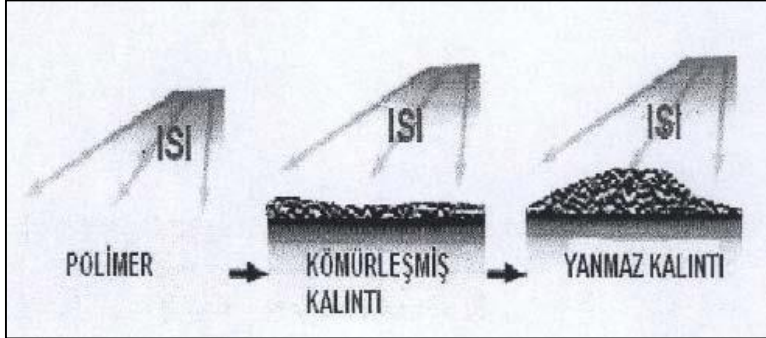
Yangın çok çabuk yayılmaktadır. Bu nedenle olabildiğince erken müdahale edilmelidir. Bunun yanı sıra farklı önlemler de alınmalıdır. Gelişen teknoloji ile yangın konusu de ele alınarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, meydana gelen can ve mal kaybını en aza indirmek için yanmayan ya da yanmayı geciktiren malzemeler geliştirilmiştir.

Farklı sınıflandırılmalara sahip alev geciktiricilerden halojen, fosfor, azot ve metal hidrat içerenler yaygın olarak kullanılanlardır. Bu maddeler, malzemelerin ısı bozunma, tutuşma, ısınma, yanma ve yanmanın ilerlemesi aşamalarının bir veya birkaçına etki ederek malzemeye alev geciktirici özellik kazandırmaktadır. Alev geciktirici ve duman bastırıcı malzemeler, katkı maddeleri ve reaktifler olarak iki ana gruba ayrılırlar. Katkı maddeleri genellikle dolgu maddeleri olarak kullanılıp, reaktif bileşenlerin aksine, diğer bileşenlerle reaksiyona girmez.

Başlıca alev geciktirici katkı maddeleri, halojenli bileşikler, inorganik hidroksitli bileşikler, fosfor içerikli bileşikler, azot içerikli bileşikler, silikon içerikli bileşikler, bor içerikli bileşiklerdir [38].

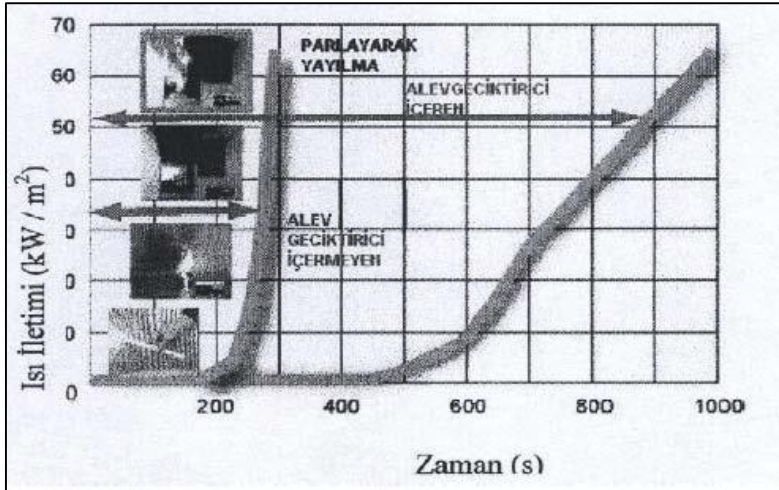
Yangın geciktirici malzemelerle birlikte boratlar kullanılmaya başlanmıştır. Borlar, yanan malzeme ile oksijenin temasını engelleyecek şekilde malzemeyi kaplar ve yanmayı engeller. Kaplanan bu tabaka ile bor bileşikler yanma sırasında meydana gelen reaksiyona etki eder ve reaksiyon ürünleri olan CO ve CO₂'in oluşumunu engeller. Bu bileşikler yerine karbon oluşur.

Aynı zamanda bor içeren yangın geciktirici malzemeler antimon oksit gibi sık kullanılan alev geciktiricilerden daha ucuzdur. Bu sebeple de alev geciktirici malzemelere göre iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Alev geciktiriciler, malzeme ve oksijen arasında bir engel oluşturur ve yanmayı engelleyerek kömürleşen bir tabaka meydana getirir. Bu tabakanın oluşumu Şekil 2.13’de verilmiştir.



Şekil 2.13.Yüzeyde meydana gelen kömürleşmiş tabaka [39]

Yanmayı engelleyen alev geciktiriciler, alev ve duman oluşumunu engelleyerek yerine kömürleşen katı bir atık meydana getirmektedir. Bu sayede yangının büyümesi engellenerek kolaylıkla müdahale edilebilmektedir. Alev geciktirici içeren ve içermeyen malzemelerin yangın anındaki davranışı Şekil 2.14’de verilmiştir [39].



Şekil 2.14. Alev geciktirici içeren ve içermeyen malzemelerin alev maruz bırakıldıkları zamanki davranışları [39]

2.10.1. Çinko borat

Çinko boratlar beyaz, nem tutmaz, toz bir malzemedir. Alev geciktirici maddelerden bir tanesidir. Bunun yanında yanmaya dayanıklı boyalarda, kâğıt endüstrisinde, kumaşlarda, tekstilde, mantar ve böcek öldürücü olarak da kullanılmaktadır. Yapılarında bulunan suyu yüksek sıcaklıklarda koruyabildikleri için ısıya dayanıklıdır. Duman ve zehirli gaz oluşumunu engelledikleri için birçok alev geciktiriciye göre daha güvenilirdir. Çevre dostu, daha yüksek duman bastırıcı etkisi, düşük maliyeti, yüksek performans özellikleriyle alev geciktirici olarak çinko borat kullanımı tercih edilmelidir [40].

2.11. Limit Oksijen İndeksi Tayini

Malzemelerin yanma davranışlarını gözlemlemek için LOİ testi geliştirilmiştir. LOİ, azot-oksijen atmosferinde bir alevi başlatmak ve miktarını değiştirmek için gerekli olan minimum oksijen konsantrasyonudur. LOİ değeri 25'den büyük olan materyal havada genelde kendiliğinden sönmekte; 25'den küçük olan kolayca yanmaktadır. Belirlenen deney şartlarında, şeffaf cam baca içine numune dik bir şekilde yerleştirilir ve bu baca içinden belirlenen oranlarda oksijen ve azot gazı geçirilerek numunenin yanma reaksiyonu gözlemlenir. Farklı oksijen konsantrasyonlarında numune aleve maruz bırakılır ve yanma olayında numunenin değişimi gözlemlenir. Bu sayede yanmanın devam edebilmesi için gerekli minimum oksijen konsantrasyonu bulunur. Oksijen konsantrasyonu hesaplanırken Dixon'ın alt-üst yöntemi kullanılarak hesaplama yapılır. Kullanılan numunenin çeşidi, boyutu gibi parametreler oksijen konsantrasyonunu değiştirebilir. Elde edilen veriler gerçek yangın tehlikelerini önlemek için kesin sonuçlar oluşturmayabilir. Fakat deneyde kullanılan numuneler için özel şartlar elde edilip bu test yenilendiğinde parametreler birlikte değerlendirilerek verimli sonuçlar elde edilebilir. Özellikle, yangın geciktirici malzemeler istenilen numuneye uygulandıktan sonra LOI testi yapılarak numunenin aleve karşı direnci incelenir ve yararlı sonuçlar elde edilir [41]. LOI'ye göre alev geciktirici sınıflandırması Çizelge 2.8'de verilmiştir [12].

Çizelge 2.8.LOI'ye göre alev geciktirici sınıflandırması [12]

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

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Konuklu ve Erbil [42] sülfirik asit anodik oksidasyonun farklı koşullardaki etkilerini incelemişler, %3,5'luk NaCl ve 0,2M Na₂SO₄ çözeltileri içerisinde potansiyel, elektrolit sıcaklığı, kaplama süresi ve elektrolit derişimi parametreleri değiştirilerek yaptıkları seri deneyler sonucunda, en iyi oksit tabakasının düşük sıcaklıklarda (15 – 20°C) ve düşük potansiyellerde (15-20V) elde etmişlerdir. Sülfirik asit kullanılarak yapılan anodizasyon işleminde en önemli parametrenin sıcaklık olduğu, kaplama süresinin koruyuculuğun derişimi üzerinde belirli bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Özlü ve çalışma ark. [43] 180 g/L sülfirik asit içeren eloksal banyosu kullanarak alüminyum yüzeyine eloksal kaplama işlemini gerçekleştirmiştir. Alüminyum yüzeye işlem yapılmadan önce yüzeyi temizlenerek NaOH banyosunda yüzeydeki pürüzlülüğü gidermişlerdir. Kaplama sonrasında, oluşan oksit tabakasının kaplama kalınlığı 13µm olarak tespit etmişlerdir. Aynı zamanda, eloksal kaplama ile alüminyumun korozyona karşı direncinin arttığını vurgulamışlardır.

Akcan ve çalışma ark. [44] alüminyum alaşımına uyguladıkları anodizasyonun arayüzeye etkilerini incelemişler ve alüminyuma uygulanan kumlama ve anodizasyon işlemlerine göre optimum koşullar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yüzeye uygulanan eloksal tabaka kalınlığının 10-15µm arasında olduğu gözlenmiş, yüzey pürüzlülüğü ise kumlanmış alüminyum yüzeyinde en yüksek değere ulaştığını belirlemişlerdir.

Wahab ve çalışma ark. [45] fosforik asit ve asetik asit çözelti karışımı kullanarak anodizasyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. Değişen potansiyelin gözenekli alüminyum oksit yüzeyine etkilerini 10°C - 15°C sıcaklık, 70V- 130V eloksal potansiyeli arasında incelemişler, eloksal potansiyeli arttıkça gözenek çapının da büyüdüğünü gözlemişler, gözeneklerin 100 nm 'den küçük olması için potansiyelin 70V-130V arasında olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Eren ve Aşçı [46] halka açılma metatez polimerizasyonu(ROMP) methodu ile fosfonat içeren polinorbornen türevlerinin sentezlenmesi, karakterizasyonu ve alev geciktirici özelliklerini incelemişler. TGA analizine göre 600°C sıcaklıkta polimerin yaklaşık %50'si

bozunmadan kalmış, fosfor içerikli sentezlenen polimerler kendiliğinden yanmazlık özelliği kazandığını vurgulamışlardır.

Onutaive çalışma ark. [47] sodyum silikatın, sodyum hidroksit ile kütlece oranı 2.5 ve NaOH konsantrasyonu 5, 10 ve 15M arasında olması koşullarında, alüminyum hidroksit ve uçucu kül karışımı kullanarak, jeopolimer üretmişlerdir. Jeopolimerin içeriğindeki alüminyum miktarı arttıkça elastik özelliği de arttığını, jeopolimerin çeşitli sıcaklıklarda ve belirli sürelerde bekletilmeleri sonucunda optimum değerin, 10M NaOH ve 80°C olduğu gözlenmiş ve 40MPa'lık en yüksek sıkıştırma mukavemetine sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Yanar [48] mikroark oksidasyon metodu ile alüminyum levha üzerine geliştirilen alüminyum kaplamaların kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü, sertliğini süreye bağlı olarak incelemiş, 20 dakikanın üzerine çıkıldığında kaplama kalınlığında belirli bir artış olduğunu gözlemlemiş ancak süre arttıkça istenmeyen yüzeydeki pürüzlülüğün arttığını belirtmiştir. Kaplama kalınlığı arttıkça yüzeydeki tabakanın gözenek yapısı artması sebebiyle mikro boyutta çatlaklara neden olmasından optimum kaplama için 4 dakikalık sürenin yeterli olduğunu vurgulamıştır.

Ogundiran ve çalışma ark. [49] uçucu kül ve alüminyum eloksal atıklarını birlikte kullanarak jeopolimerik bir malzeme üretmekte eloksal atığı aktivatör olarak eloksal atığı ve referans olarak potasyum silikat kullanmışlar. Üretilen jeopolimerler sıkışma ve mukavemet özellikleri bakımından üstünlük göstermesi sebebiyle inşaat sektöründe kullanılmasını uygun olacağı vurgulanmıştır.

Kalsiyum sülfür alüminat çimentosu için yüksek miktarda alümina gerekmesi sebebiyle Costaa ve arkadaşları [50] eloksal çamurunu alümina üretiminde kullanılan boksit yerine kullanmışlar ve orjinal çimento ile eloksal çamuru kullanılarak elde edilen çimentonun kimyasal yapıları karşılaştırılmaları sonucunda kalsiyum sülfür alüminat çimentoyu üretmek için eloksal çamuru kullanılmasının, teknik olarak mümkün olduğu ve bu şekilde üretilen çimentonun yüksek mekanik mukavemet özelliğine sahip olduğu belirtmişlerdir.

Yıldırım ve Çelik [51] çalışmalarında, boya içerisine alev geciktirici maddeler (huntit ve hidromanyezit) ilave ederek kompozit malzemeler elde etmiştir. Literatür çalışmalarında

katkı maddelerinin polimerlerin tutuşabilirliğini kısıtladığı görülmüş, bu çalışmayla da desteklenmesi amaçlanmıştır. Yanma önleyici maddeler genellikle SiO_2 , CaCO_3 , karbon siyahı, $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve huntit- manyezit ise aktif takviye olarak bilinmektedir. Çevre dostu oldukları için kullanım olanakları daha fazladır. Bu çalışmada, farklı bileşenlerde nanoboyutlu huntit ve hidromanyezit tozları boya malzemesi ile kompozit kaplama haline getirilip, boyaların alev geciktirme özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu maddeler su bazlı polimer esaslı beyaz boya ile %1, 3, 5, 7 ve 10 oranlarında karıştırılmıştır. Homojen bir karışım elde edildikten sonra polimerik mazlemelerin yüzeyi bu boya ile kaplanmış ve 50°C 'de etüvde kurutulmuştur. Karakterizasyon çalışmaları yanında UL94 test standartlarına göre alev testi yapmışlar. Bu test, numunenin ortasına ardışık 10 saniye sürelerde alev uygulanarak gerçekleştirilmek suretiyle yapmışlar vesaf boya UL94 testinde 4 saniyede yanmaya başladığını, %1 huntit ve hidromanyezit takviyeli polimerik boya 18. saniyede yanmaya başladığını gözlemişlerdir. Huntit ve hidromanyezitinkütlesel % oranları arttırılarak yapılan tekrarlamalarda yanma olmadığını belirtmişlerdir.

Özel ve Vural [52] çalışmalarında, alüminyum alaşım yüzeyi, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \%13 \text{TiO}_2$, Cr_2O_3 ve $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%25 \text{Al}_2\text{O}_3$ tozları plazma püskürtme tekniği kullanılarak kaplamışlar. Numunelere, Al_2O_3 kullanılarak yüzey pürüzlendirme işlemi uygulanmış ve daha sonra $\text{Al}_2\text{O}_3 + \%13 \text{TiO}_2$, Cr_2O_3 ve $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%25 \text{Al}_2\text{O}_3$ tozları numunenin yüzeyine uygulamışlardır. Kaplanan numunelerin mikroyapı resimleri inceleyerek, bütün numunelerin gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde kaplama ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, en düşük pürüzlülük yüzeyine $4,121 \mu\text{m}$ değeri ile $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%25 \text{Al}_2\text{O}_3$ tozu ile yapılan kaplamada sahip olunduğu görülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğü ise $6,540 \mu\text{m}$ değeri ile Cr_2O_3 tozu ile kaplanan numunede olduğunu belirtmişlerdir.

Baysal [53] yaptığı çalışmada borik asit ve boraks karışımı ile emprenye edilen sarıçam odunun yanma özelliklerini incelemiştir. Borik asit ve borakskütlesel olarak 7:3 oranında karıştırılmış ve %7' lik konstantrasyonda bir çözelti elde etmiştir. $13*13*76 \text{ mm}$ boyutunda çubuklar kesilerek önce kurutarak nemi alınmış. Bu çubukları hazırlanan çözelti içerisinde 60 dakika süreyle atmosferik basınçta bekletmiştir. Numuneler kurutulduktan sonra ASTM E160-50 standartına göre yanma deneyi sonundakütle kayıpları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak borik asit ve boraks karışımı ile emprenye edilen numunenin yanma sonunda %68,33 kütle kaybına uğradığını gözlemiştir.

Özdemir ve ark. [54], yaptıkları çalışmada sarıçam ve kayın liflerini kullanarak ürettikleri yüksek yoğunluğa sahip levhanın ısı iletkenliği ve yanmayı geciktirici özelliğini incelemiştir. Levha üretiminde sarıçam ve kayın lifleri kütleli olarak eşit miktarda kullanılmıştır. Yangın geciktirici özellik kazandırmak için levhada kullanılan liflere kütlece %3, %6 ve %9 oranlarında boraks, borik asit, amonyum polifosfat ve alfa-X kimyasal maddeleri ekleyerek elde ettikleri numuneler LOİ test cihazında yakmışlar, kontrol örneğinin LOİ değerini % 27 olarak bulmuşlar, emprenye edilen numunelerden %45 oksijen indeksi oranıyla en yüksek etkiyi amonyum polifosfat gösterdiği, %30 oksijen indeksi ile alfa- X en az etkiyi gösterdiğini belirlemiştir.

Kaya [55] çalışmasında, sarıçam odunun yanma mukavemetini arttırmak için disodyum pentaborat dekahidrat kullanmıştır. %5, %10 ve %15 oranında üç farklı derişimde çözelti hazırlamış ve farklı süreler boyunca emprenye metodunu uygulamıştır. Daldırma yöntemi uygulanarak numuneler farklı sürelerde hazırlanan çözeltilerde bekletmiş, ASTM E160-50 standartına göre emprenye edilen numuneler yakmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, emprenye süresi ve çözelti derişimi arttıkça numunedeki kütle kaybının azaldığını gözlemiştir.

Altuntaş ve ark. [56], termoplastik esaslı kompozit malzeme üretmişler. Bunun için mobilya fabrikalarında oluşan MDF atıkları ve polietilen kullanmışlardır. Lif ve polietilen arasındaki uyumsuzluğu gidermek için de maleik anhidritle muamle edilmiş polietilen (MAPE) kullanmışlardır. Üretilen malzemenin yanmaya karşı direncini arttırmak için borik asit, boraks ve çinko borat kullanarak, ürettikleri levhalardan hazırlamış oldukları numuneler ASTM D 2863 standardına uygun olarak test edilmiş, %12 oranında borik asit, boraks ve çinko borat eklenen numuneler ile orjinal numune karşılaştırmışlar, en iyi değerin %12 oranında çinko borat eklenmesi ile olduğunu gözlemiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneme-1

1. aşama: Akrilik bağlayıcı, fırça ile homojen olarak sunta yüzeylerine 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 çökelekteki sulu faz uzaklaştırıldı.

2. aşama: Elde edilen çökeleğe kütlece % 1 oranında çinkoborat içeren su- bazlı ve hidroksi etil selülozlu iç cephe boyası (Çizelge 4.1) eklenerek karıştırıldı [58]. Oluşturulan karışım bir spatül ile sunta panel ve çubuklara 1-2 mm kalınlığında uygulandı. Üzerine tekrar bir kat bağlayıcı sürülerek 24 saat 50°C’de etüvde bekletildi.

Çizelge 4.1. Su bazlı iç cephe boya formülasyonu [58]

Kimyasal Madde	% w/w	Kimyasal madde	% w/w
Su	20,000	Kalsit (5 μ m)	23,33
Kalgon	0,250	Hidroksietil selüloz	0,3
Amonyak	0,004	Zamk	16,66
Köpük kesici	0,300	Teksanol	1,0
Dispersiyon ajanı	0,320	Akrisol	2,5
TiO ₂	10,000	Çinkoborat	1,0
Kalsit (2 μ m)	28,840		

4.2. Deneme-2

Deneme1’deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe çinkoborat ve bağlayıcı ilave edilerek iyice karıştırıldı ve sunta panellere uygulandı. Üzerine tekrar bir kat bağlayıcı sürülerek 24 saat 50°C’de etüvde bekletildi.

4.3. Deneme-3

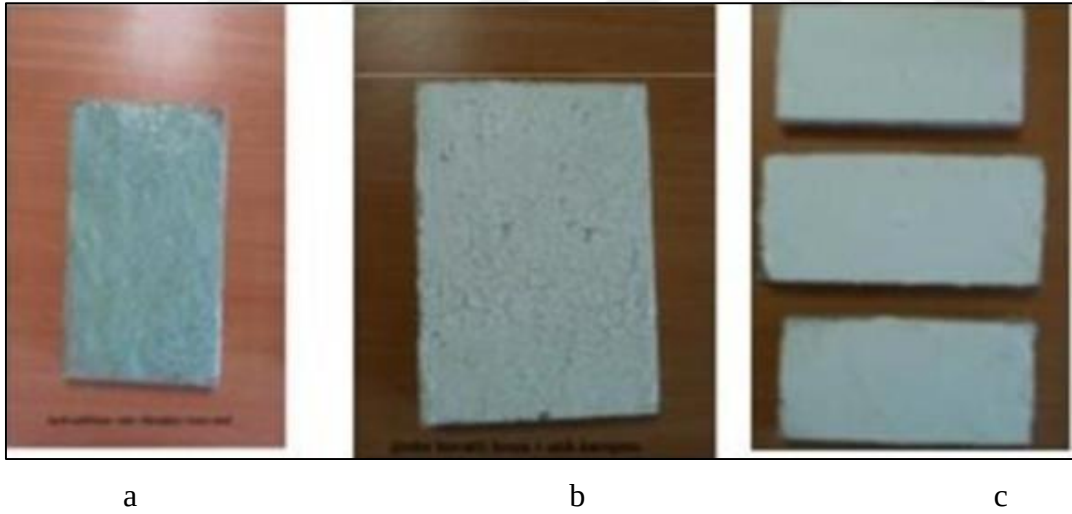
Deneme1’deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe çinko borat ve fiber glass lifleri ile Cr₂O₃ yeşil pigmenti ilave edilerek karıştırıldı ve sunta panellere uygulandı. Üzerine tekrar bir kat bağlayıcı sürülerek 24 saat 50°C’de etüvde bekletildi.

4.4. Deneme-4

Deneme 1'deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe ıslak atık miktarı kadar kalsiyum karbonat ve 0,1M, 10 mL HCl ilave edilerek karıştırıldı. Elde edilen karışıma %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.

4.5. Deneme-5

Deneme 1'deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe ıslak atık miktarının iki katı CaCO_3 ile 0,1 M, 10 mL 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 spatül ile panel ve çubuklara 1-2 mm kalınlığında uygulandı, bağlayıcı uygulandıktan sonra 24 saat 50°C'de etüvde bekletildi. Deneme çalışmalarında elde edilen paneller Resim 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.1. Elde edilen sunta paneller (a. Deneme 1, b. Deneme 2, c. Deneme 3, 4, 5)

Alüminyum eloksal atığı deneme 1, 2, 3, 4 ve 5'de yapılan çalışmalarla sunta yüzeye sürülmüştür. Yapılan bu denemelerde istenilen yüzey kaplama koşulları elde edilememiştir. Bu nedenle farklı bir method tercih edilmiştir.

Alüminyum eloksal atıklarından 150 g örnek porselen havanda ezilerek ASTM 20 mesh numaralı (0,850 mm çapında) elekten geçirildi ve elek altı toz numune 70°C sıcaklıkta

400ml’de suda çözünen 40 g akrilik bağlayıcıya eklendi, reaksiyon için bir süre karıştırılarak bekletildi, süzüldü ve 50 gramlık iki ayrı çökelek alındı.

Çökelekler suyla yıkama yapmadan doğrudan kullanıldı. Akrilik bağlayıcı eşliğinde çinkoborat (Sigma-Aldrich katalog no. 10361-94-1, %45 ZnO-%36 B₂O₃), kalsiyum karbonat (Merck katalog no. 471-34-1, CaCO₃) ve sodyum bikarbonat (Merck katalog no.144-55-8, NaHCO₃) gibi yangına dayanıklı bileşiklerin yanısıra atıklarda bulunan alüminyum trihidrat (Al(OH)₃) ve alümina (Al₂O₃) ile karıştırıldı.

Panellerde matriks olarak görünür yoğunluğu 0,565 g/cm³ olan suntalar kullanıldı. Aleve dayanım deneylerinden önce 1,7×9,8×15cm’lik panellerden 1,7×1,7×9,8cm’lik çubuk bloklar şerit testereyle kesildi, yüzeylerdeki ve kenarlardaki pürüzler zımparayla giderildi. Kullanılan çubuk bloklar Resim 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.2. 1,7×1,7×9,8 cm’lik çubuk bloklar

Elde edilen karışım bir spatül çubuk bloklara 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. Yüzeyi kaplanmış olan çubuk bloklar Resim 4.3’de verilmiştir.



Resim 4.3. Yüzeyi kaplanmış çubuk bloklar

Yüzeyi kaplanan numunelere LOİ testi uygulandı. Oksijen ve azot akış hızlarındaki artış ve azalış miktarları interpolasyon ile bulundu. Bu hesaplamada başlangıç oksijen değeri %27 olarak belirlendi ve bu değere karşılık gelen oksijen akış hızı 67,5 mL/dk, azot akış hızı 88 mL/dk' dır. Oksijen ve azot akış hızları artış ve azalış miktarları EK 1' de [57] verilen ASTM D 2863'deki hesaplama basamakları ve adım aralıkları hesaplama yöntemiyle belirlenmiş olan ve $0,167 < d < 0,377$ 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 oksijen ve azot gazlarının vanaları kapatıldı. ASTM D 2863 standardına göre %27'ye karşılık gelen oksijen değerinde başlatılan denemede yanma süresinin beklenen süreden fazla olduğu tespit edilince sonraki denemelerde doğrudan doğruya %34 ve %38'e karşılık gelen oksijen değerinde çalışılarak bu durum diğer denemelerde aynı şekilde devam ettirildi. Yapılan hesaplamalar ile oksijen ve azotun akış hızları hesaplandı ve deney bu değerlerle beraber tekrarlandı. Değerlerin standart sapması hesaplanarak sonuçların geçerliliği hesaplandı ve doğrulandı. Resim 4.4'de test öncesi ve test anında LOİ test düzeneği görülmektedir. Resim 4.5'de LOİ testi sonrası numuneler verilmiştir.



Resim 4.4. Test öncesi ve test anındaki LOİ düzeneği



Resim 4.5. LOİ testi sonrası numuneler

Alüminyum eloksal atığı ve oluşturulan diğer karışımların karakterizasyonu yapıldı. Yapı analizleri GNRAPD2000PRO Diffractometre ile Cu-K α ışımada 1,46 A'da 40kV ve 30mA şartlarında çalışılarak yapıldı. Kullanılan XRD cihazı Resim 4.6'de verilmiştir.



Resim 4.6. Xrd Cihazı

Alüminyum eloksal atığın 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 4.7’da verilmiştir.

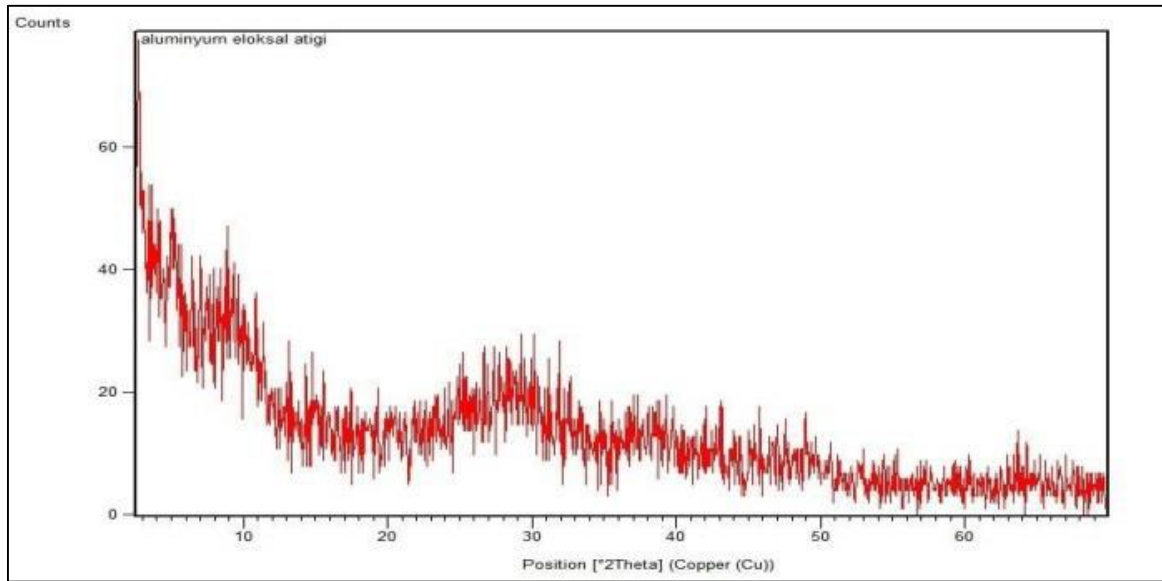


Resim 4.7. TG-DTA cihazı

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

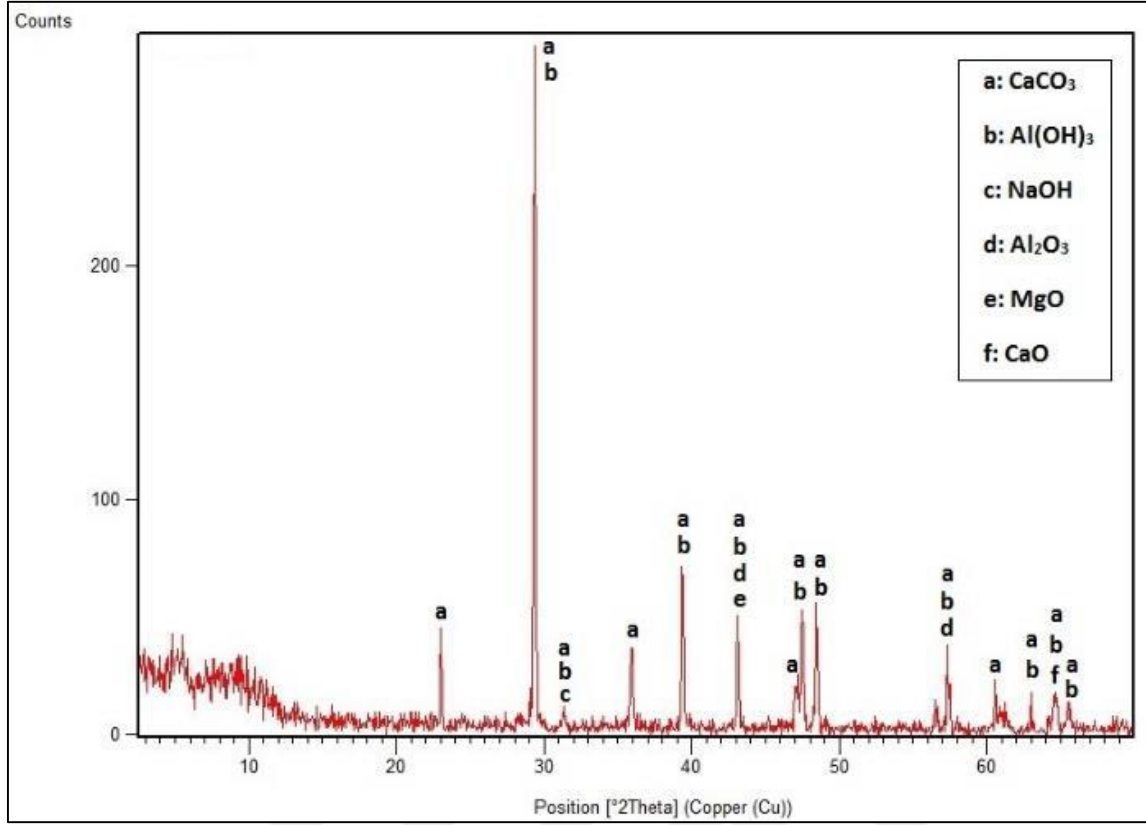
5.1. XRD Analizi

Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de ham alüminyum eloksal atıklarının (%75 nem içerikli), sırasıyla kalsiyum karbonat, sodyum bikarbonat ve çinko borat içeren atıkların GNRAPD2000PRO Diffractometre cihazı ile yapılan XRD analizi görülmektedir.



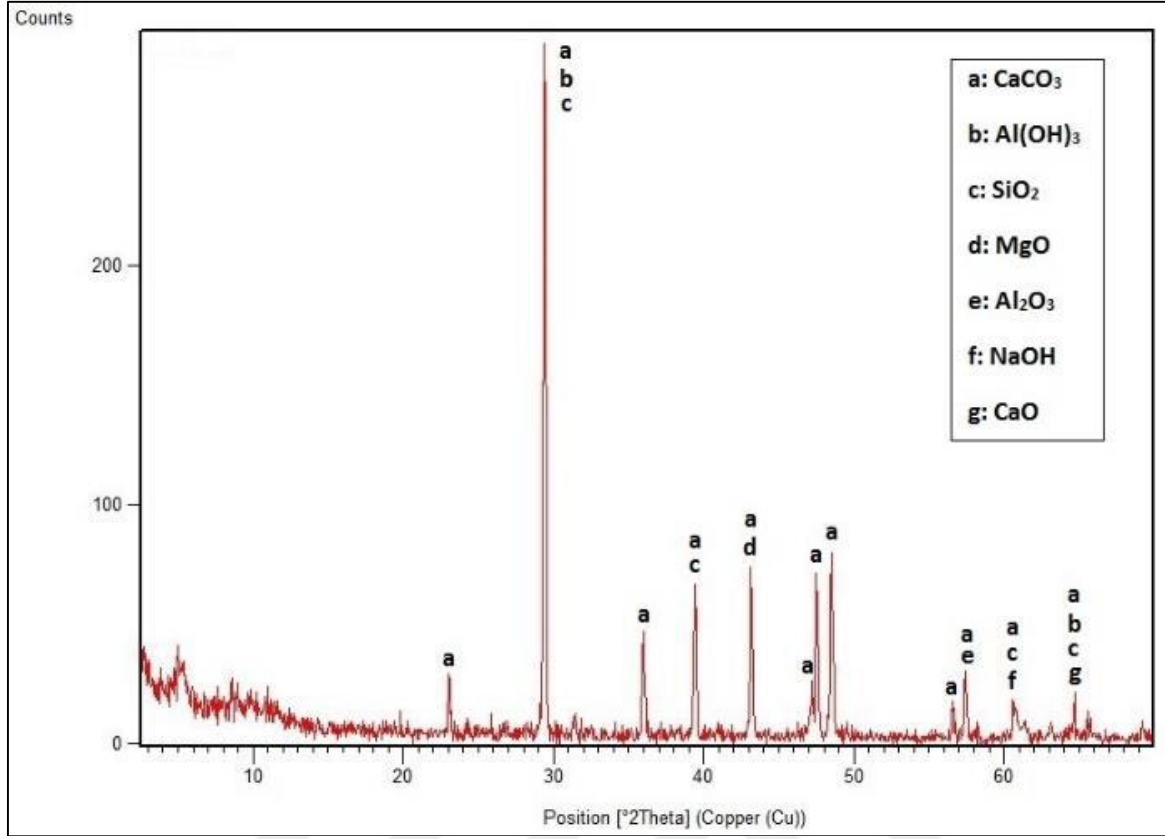
Şekil 5.1. Elokسال atığının XRD analizi

Şekil 5.1’de alüminyum eloksal atıklarında (% 75 nem içerikli), yoğun olarak $\text{Al}(\text{OH})_3$ ile bu yapıya bağlı olarak kostik (NaOH %), alümina (Al_2O_3), SiO_2 , SO_3 ve eser miktarda CaO , MgO bulunduğu görülmektedir. Elokسال atığının XRD analizinde yapısında eser miktardada olsa birçok bileşen olduğu için piklerde sık ve daha karmaşık bir yapı gözlenmektedir.



Şekil 5.2. Sodyum bikarbonat içeren atığın XRD analizi

Şekil 5.2’de sodyum bikarbonat eklenmiş numunenin XRD sonucunda ise yüksek miktarda bulunduğundan, yoğun olarak Al(OH)_3 ile beraber NaOH ile CaCO_3 ve eser miktarda CaO , MgO , SiO_2 olduğu tespit edilmiştir. XRD analiziyle gözlenemeyen reaksiyon ürünü gaz fazında CO_2 ’dir. Aynı zamanda alüminyum eloksal atıklarının yangın geciktirici olarak değerlendirildiği çalışmada olduğu gibi SiO_2 de pik şeklinde gözlenememiştir [59]. Özlem ve çalışma ark. [60], XRD grafiklerinde silisyum elementini içeren minerallerin gözlenmemesini, bu minerallerin amorf yapıda olması ile açıklamışlardır.



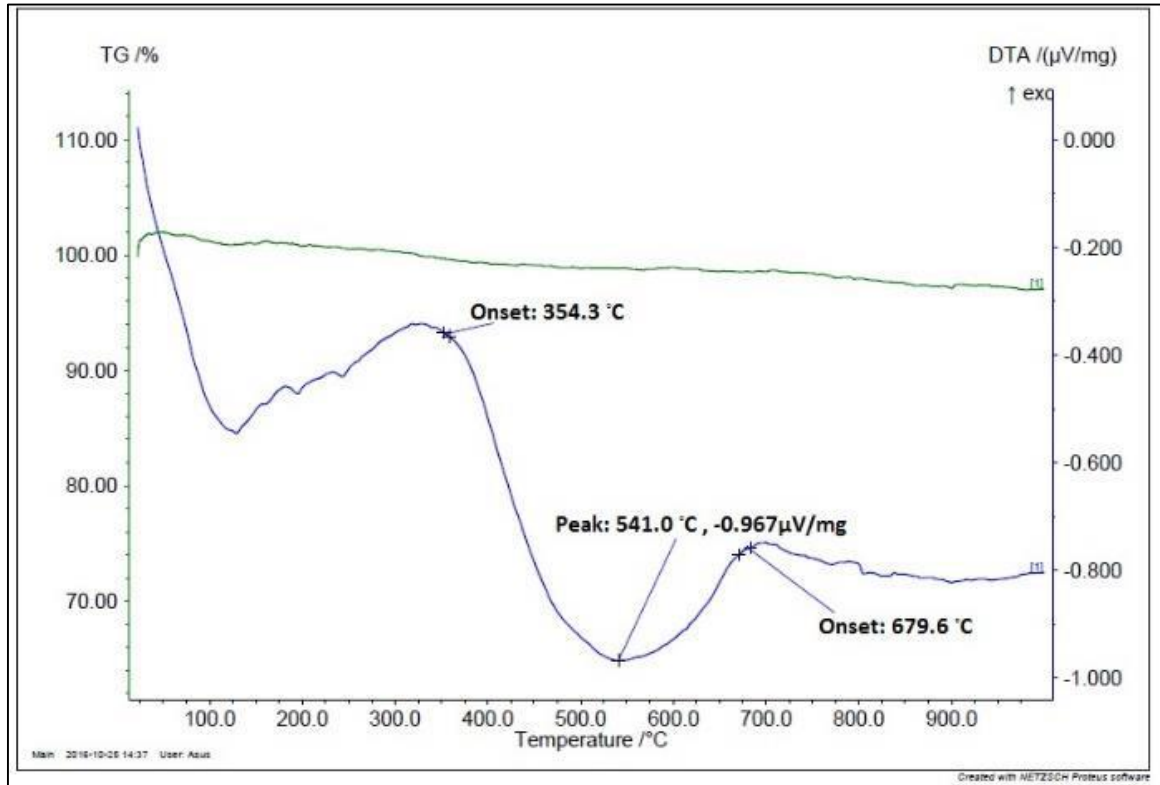
Şekil 5.3. Çinko borat içeren atığın XRD analizi

Şekil 5.3’de sunulan çinko borat eklenmiş numunenin XRD spektrumunda yoğun olarak CaCO_3 pikleri ile eser miktarda CaO , MgO pikleri gözlenmiştir. Çinko borat varlığının tespit edilememesinin sebebi ise kütlece %1 oranında, XRD analizörünün ölçüm sınırının altında, kullanımıdır. SiO_2 , çinko borat varlığında XRD spektrumunda görüldüğü düşünülmektedir. CO_2 gaz fazında bulunduğu XRD analizinde piki görülemez.

Çinkoborat ve sodyum bikarbonat içeren atığın XRD spektrumları incelendiğinde $20^\circ - 65^\circ$ $2(\Theta)$ açılarında oluşan piklerin temelde aynı olduğu, Al(OH)_3 , NaOH , CaCO_3 , Al_2O_3 , MgO ve CaO , SiO_2 bileşiklerinin yapıda fazla olduğu vurgulanmıştır [59]. Şekil 4.2 ve 4.3 karşılaştırıldığında, pik şiddetleri iki spektrum arasında farklılık göstermektedir. Yaraş [61] bu farklılığın, çinkoboratin atık ile oluşturduğu karışımda süzme-kurutma aşamasında oluşabilecek farklılıklardan kaynaklandığını ifade etmektedir.

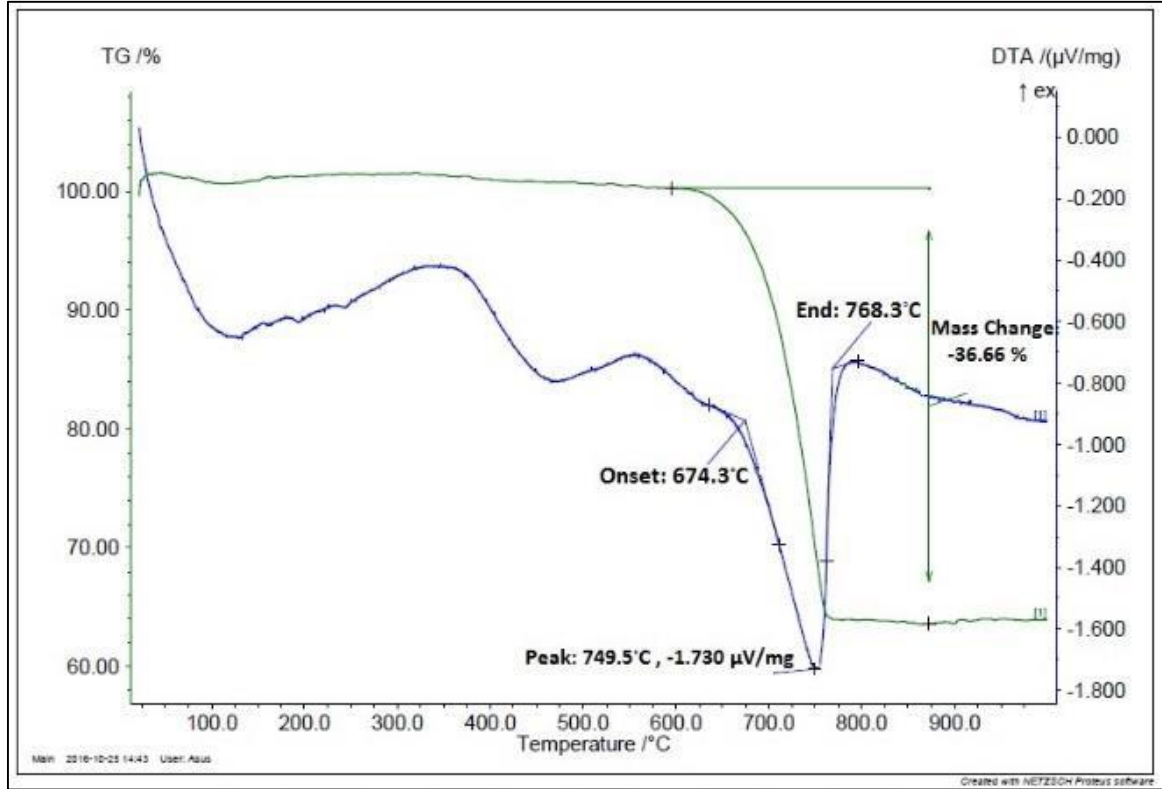
5.2. Termal Analiz

Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da sırasıyla alüminyum eloksal atıkları, sodyum bikarbonat ve çinko borat içeren atığın TG-DTA termal analiz sonuçları görülmektedir. Elokسال atığının, sodyum bikarbonat ve çinko borat içeren atığın termal analizleri NETZSCHSTA449F3JUPITER cihazında argon atmosferinde 10°C/dk. ısıtma hızında çalışılarak yapılmıştır.



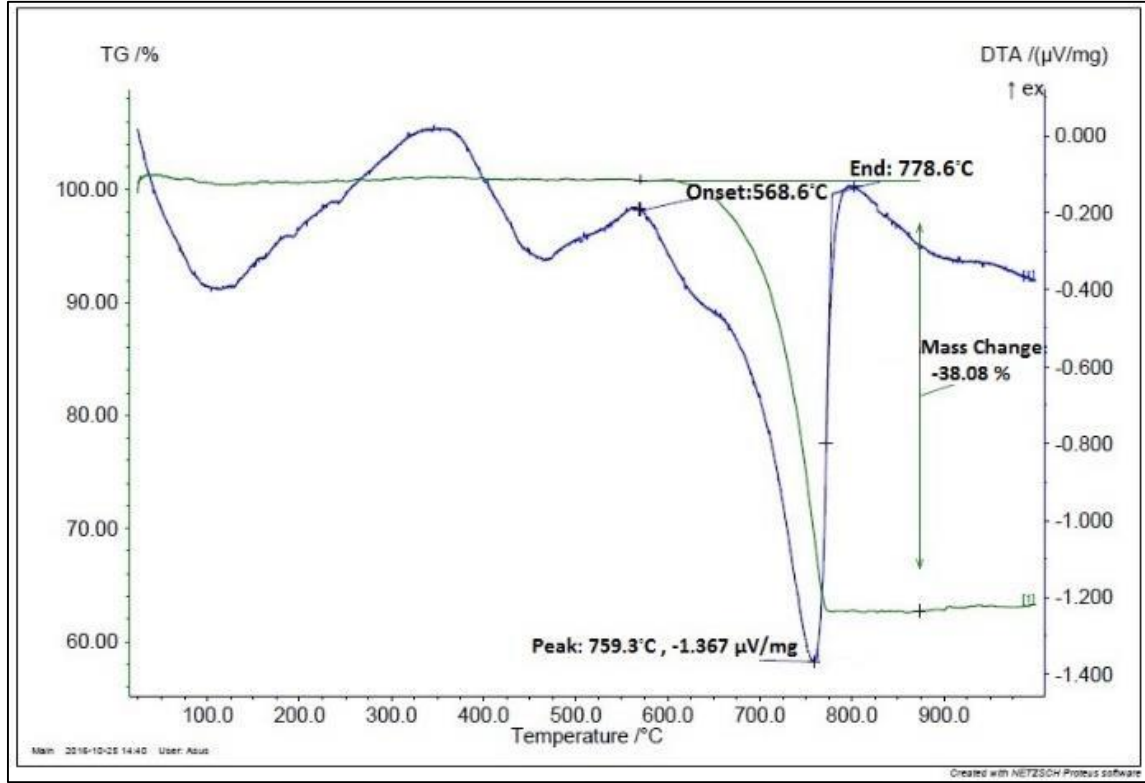
Şekil 5.4. Alüminyum eloksal atığında TG-DTA analizi

Şekil 5.4’de alüminyum eloksal atığının TG-DTA spektrumunda, görünür madde kaybı olmadığı; 100°C sıcaklık aralığında görülen belirgin yayvan pikin yapıdaki suyun buharlaşmasından kaynaklandığı görülmektedir. Devam eden süreçte, 354°C sıcaklıkta oksidasyon reaksiyonları ile Al_2O_3 meydana geldiği düşünülmektedir. Suyun buharlaşması ile oluşan kütle kaybının Al_2O_3 oluşması ile dengelendiğini söyleyebiliriz.



Şekil 5.5. Sodyum bikarbonat içeren atığın TG-DTA analizi

Şekil 5.5’de 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, CaCO_3 ve HCl ’nin reaksiyonu sonucu meydana gelen CO_2 ’nin açığa çıktığı düşünülmektedir. 600°C’den yüksek sıcaklıklarda bozunan CaCO_3 , CaO ve CO_2 ’ye dönüşmektedir. CO_2 yapıdan ayrılır ve geriye CaO kalır [62].



Şekil 5.6. Çinko borat içeren atığın TG-DTA analizi

Şekil 5.6’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 bozunması kaynaklı olduğu ve kütle kaybının en fazla bu karışımda %38,08 olduğu belirlendi. Bu kütle değişimlerinin sebebi olarak yapıda ağırlıklı olarak bulunan NaOH, Al(OH)₃ ve CaCO₃’ün bozunma sıcaklıklarında parçalanması ve meydana gelen reaksiyonlardan ileri geldiği söylenebilir. Ayrıca eloksal atığının ve üretilen kompozit karışımların bozunma sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle alev geciktirici olarak kullanılabileceği belirlendi.

Eren ve Aşçı’nın [46] yaptığı çalışmada alev geciktirici özellik kazanan numunede TGA analizi sonucunda kütle kaybı yaklaşık %50 olmuştur.

5.3. LOI Sonuçları

LOİ uygulamalarındaki tüm örneklerde, %27 oksijen konsantrasyonunda yanma olayı beklenen süreden daha uzun sürdüğünden bir sonraki adımda %34, %35, %37, %38 ve zorlayıcı şart olan % 40 değerine kadar çıkılarak oksijen ve azotun akış hızları Çizelge 5.1’de ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çinko borat içeren numunenin oksijen konsantrasyonu tayini

O ₂ (%)	O ₂ Akış Hızı (ml/min)	N ₂ Akış Hızı (ml/min)	Yanma Süresi (s)
27	67,5	88	480
34	84,5	78	325
35	86	77	300
37	89	75	286
38	90,5	74	240
40	94	72	180

Çizelge 5.2. Sodyum bikarbonat içeren numunenin oksijen konsantrasyonu tayini

O ₂ (%)	O ₂ Akış Hızı (ml/min)	N ₂ Akış Hızı (ml/min)	Yanma Süresi (s)
27	67,5	88	448
34	84,5	78	305
35	86	77	287
37	89	75	264
38	90,5	74	238
40	94	72	165

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 incelendiğinde sodyum bikarbonat ve çinkoborat içeren atık oksijen yüzdesi %38 değerinde alev geciktirici özelliği göstermiştir. %38 oksijen yoğunluğu için, oksijen akış hızı 90,5 mL/dk, azot akış hızı 74 mL/dk’dır. Şartların daha zorlayıcı olabilmesi için %40’lık oksijen yüzdesinde çalışıldı ve çinkoborat içeren numune için 180 saniye, sodyum bikarbonat içeren numune için 165 saniye alev dayandığı tespit edildi.

Alüminyum eloksal atığı doğrudan sunta yüzeye uygulandığında yüzeyde tutunması gerçekleşmemiştir. Bu nedenle LOİ testi uygulanamamıştır. Kaplama yapılmamış ham sunta panellerde tespit edilen oksijen yoğunluğu ise %23 olup bu değere karşılık gelen oksijen akış hızı 65 ml/min, azot akış hızı 86,5 ml/min değerindedir. Görüldüğü gibi ham sunta paneller alev alabilir sınıfında yer almaktadır [12]. LOİ sonuçlarına göre çinko borat içeren numune sodyum bikarbonat içeren numuneye göre daha iyi sonuç vermiştir. Numuneler ekstra alev geciktirici özellikte bulunmuştur.

Deneme 1, 2, 3, 4 ve 5'in LOİ sonuçları incelendiğinde boyanın kullanıldığı numunede bir miktar yüzey çatlaması olduğu tespit edildi. Sebep olarak inşaat boyalarında depolama kararlılığının en fazla 45°C'de yapılması dolayısıyla daha sıcak 70°C'deki kurutma sonucu çatlama olduğu düşünülebilir. Deneme 2 ve 3'de epoksi ve fiber glass yapılarının yanma reaksiyonları sonucunda yapılarındaki olefinik grupların oksidasyonu ile peroksit tipi radikaller oluşturabileceği sebebiyle önerilmemektedir. Ancak bu tür yapıların bulunmadığı kalsiyum karbonat ve sodyum bikarbonatlı karışımlarda bu tehlike olmadığı gibi daha ekonomiktir, aynı zamanda ürün verimi daha yüksektir. Deneme 4'de oluşan reaksiyon E5.1'de verilmiştir.



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.

Elde edilen kaplaması yapılmış sunta paneller 3 ay süreyle -18°C ve 50°C'de uç sıcaklıklarda bekletildi ve fiziksel görünümünde bir değişiklik gözlenmedi.

Yapılan bu çalışmada, alüminyum eloksal atıklarına herhangi bir ön işlem uygulanmasına gerek kalmadan (yıkamayla kostik giderimi, ilave kurutma ve su kullanımı giderleri olmaksızın), edilen kompozit malzemede bulunan çinko borat, SiO₂, CaCO₃ alev geciktirici olarak olumlu sonuçlar oluşturmaktadır. Doğası gereği yanabilen bir malzeme olan sunta, koruma amaçlı kullanılan alüminyum eloksal atık ilavesiyle birlikte çinkoborat ve sodyum bikarbonat ve su bazlı boya eklenerek kaplama yapılmış ve LOİ testi uygulanmıştır. LOİ testi incelendiğinde, oksijen indeksi %23 olan ahşabın, kaplama sonrasında oksijen indeksi

%38'e kadar yükselmiştir. Bu sonuca bakarak sunta malzemenin alev geciktirici özellik kazandığı ifade edilebilir [12] .

Su bazlı boya, alüminyum eloksal atığı ve çinko borat, sodyum bikarbonat ile birlikte kullanılarak elde edilen kaplama malzemesi 180 saniyeden daha fazla bir süre sonunda yanmaya başladığı tespit edilmiştir. Yıldırım ve Çelik [51] benzer bir çalışmada, su bazlı boya içerisine alev geciktirici özelliği olan huntit ve hidromanyezit ilave ederek oluşturulan kompozit malzemelerin UL94 testine göre, doğrudan su bazlı boyada alev testi sonucunda 4. saniyede yanma gerçekleşirken, huntit ve hidromanyezit ilave edildikten sonra 18. saniyede yanmanın gerçekleştiği belirtilmiştir.

Alüminyum eloksal atığının yanmayı geciktirici malzeme olarak kullanılması çevre dostu bir proses olması yanında elde edilen yanma önleyici maddeler içeren kompozit malzemenin toksik madde içermemesi kolayca kullanılmasına imkan sağlar. Benzer bir çalışmada aynı vurgu yapılmaktadır [48].

Elde edilen kompozit yapılar ile “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” [4] gereğince, insan ve çevre sağlığına duyarlı, binalarda iç ve dış cephelerde taşıyıcı olmayan duvar bölmelerinde kullanılabilecek ekonomik paneller elde edilebilir. Suntainın alev dayanımı çok düşük olduğundan (bu çalışmada %23 O₂ olarak tespit edildi) elde edilen bulgular suntalarda alev geciktirme sağlayabilir. Alüminyum fabrikalarında, üretim sonucunda oldukça fazla meydana gelen eloksal atıkların alev geciktirici katkı maddesi olarak kullanılması, çevre kirliliğinin azalmasına, maliyeti düşük ürün elde edildiği için de ekonomiye olumlu yönde katkı oluşturacaktır.

Bu çalışma sonunda, özellikle atığa ek işlem uygulanmadığından atığın doğrudan bir girdi olarak kullanılması, önemli ve yüksek miktardaki atığın alüminyum sanayiinde yangın geciktirici olarak değerlendirilmesi bakımından önemli bir sonuçtur.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda özellikle diğer sektörlerde, alüminyum eloksal atığının diğer malzemelerle birlikte kullanılarak önemli bir yangın geciktirici olabileceğini önerebiliriz.



KAYNAKLAR

1. Günay, D. (2006). Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü*, Ga-06-07-08, Ankara.
2. Alüminyum Yüzey İşlemleriyle İlgili Genel Tanıtıcı Bilgiler. (2000). *Alüminyum Yüzey İşlem Derneği*, İstanbul.
3. Uluca, T. (2000). *Alüminyum Ürün Çeşitleri, Kullanımları Geri Kazanılması, Alüminyum ve Çevre*, İstatiksel Bilgiler, İstanbul.
4. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. (9 Eylül 2009). *Resmi Gazete*, Sayı 27344.
5. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. (5 Aralık 2008). *Resmi Gazete*, Sayı 27075.
6. Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği. (9 Ekim 2008). *Resmi Gazete*, Sayı 27019.
7. Zhang, Y. Y., Xue, L., and Liu, Z. H. (2010). Preparation of Cluster-Like Nanostructure and Nanoribbon or $4\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and the Evaluation of Their Flame Retardant Properties by A Thermal Analysis Method, *Thermochimica Acta*, 506(1), 52-56.
8. Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M., and Dubois, P. (2009). New Prospects in Flame Retardant Polymer Materials: From Fundamentals to Nanocomposites, *Materials Science And Engineering*, 63(3), 100-125.
9. Formicola, C., De Fenzo, A., Zarrelli, M., Frache, A., Giordano, M., and Camino, G. (2009). Synergistic Effects of Zinc Borate and Aluminiumtrihydroxide on Flammability Behaviour of Aerospaceepoxy System, *Express Polymer Letters*, 3(6): 376-384.
10. Ramazani, S.A., Rahimi, A., Frounchi, M., and Radman, S. (2008). Investigation of Flame Retardancy and Physical–Mechanical Properties of Zinc Borate and Aluminum Hydroxide Propylene Composites, *Materials & Design*, 29(5), 1051-1056.
11. Sidebotham, G. W., Cross, J. A., and Wolf, G. L. (1993). A Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support an Intraluminal Flame, in Flammability and Sensitivity of Materials in Oxygen-Enriched Atmospheres: Sixth Volume, Astm International, 354-386.
12. Schmidt, R. (1999). In the Line of Fire, Flame Retardants Overview, *Industrial Minerals*, 37-41.
13. Sheasby, P., G. and Pinner, R. (2001). *The Surface Treatment and Finishing of Aluminium and Its Alloys*, (Sixth Edition), USA, Finishing Publications Ltd. and ASM International, 245-251.
14. Şenel, C. M., Gürbüz, M. ve Koç, E. (2015). Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler, *Mühendis ve Makina*, 6(669), 36-47.

15. Aydın, H., Şendeniz, M. ve Demirci, A. (2009). Ekstrüzyon Öncesi ve Sonrası Uygulanan Isıl İşlemlerin Aa 6063 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 2-8.
16. Alüminyum Komisyonu. (2013). *Alüminyum Raporu*, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2-17.
17. Tübitak. (2001). *Demir Dışı Metaller Sanayii Raporu Alüminyum Sektörü*, Mmp Ek 2b.
18. Özbay, İ. ve Kavaklı, M. (2008, 25-29 Ağustos). *Alüminyum Sektörü Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesislerinin Kontrolü ve İşletme Sorunlarının Çözümlerine Yönelik Uygulanabilir Öneriler*. Uluslararası Karadeniz Çevre Sorunları Sempozyumunda sunuldu, Giresun.
19. Demirci, K. M. (2012). *Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye'nin Yeri*, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği.
20. Kalyoncu, M. (1999). *Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Mmo, 228, 14-15, Konya.
21. Eroğlu, G. ve Şahiner, M. (2018). *Dünya'da ve Türkiye'de Alüminyum*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
22. Altan, A., Seficeli, S., Dikmen, A., Aykanat, F. ve Eras G. (2002). *Alüminyum Yüzey İşlemleri-1*, Türkiye.
23. Gedik, D. (2008). *Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sodyum Dikromat ve Sülfürik Asit Anodizasyon Yöntemiyle Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
24. Konuklu, S. ve Erbil, M. (2008). *Alüminyumun Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 7(7).
25. Doğru, B. (2007). *Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Borik Asit Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
26. Gökşahin, E. (2007). *Sert Eloksal ile Kaplanmış 6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
27. Joel, H. (2006). Compressive Strength and Microstructural Properties of Lightweight High-Strength Cement Mortar Reinforced With Elokal, *Materials and Design*, 27, 657–664.

28. Jorge, M., Joa˜o Silva, E. and Fernando P. (2005). Physical and Chemical Characterisation of Metal Finishing Industrial Wastes, *Journal Of Environmental Management* 75, 157–166.
29. 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.
30. Ulay G. ve Budakçı, M. (2015). Ahşap Yüzeylerde Kullanılan Su Bazlı Vernikler ile İlgili Türkiye’de Yapılan Çalışmalar, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(12), 470-480.
31. Alkış, S. (2005). *Ahşap Malzemelerin Yangına Dayanımının Artırılması*, Akdeniz Üniversitesi TBMYO, 12-16.
32. Peker, H. ve Atılgan, A. (2015). Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun: Yanma Özelliği ve Koruma Yöntemleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(21), 1-12.
33. Kısakürek, D. (2003). *Yanmaya Dayanıklı Polimerler*, XVII Ulusal Kimya Kongresi, 20.
34. İstek, A., Özsoylu, İ., Çelik, S. ve Gönül, Ş. (2017). Ahşap Esaslı Levha Sektöründe Kullanılan Yanma Geciktiriciler, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 389-399.
35. Özdamar, İ. H. (2007). Orman Ürünleri Endüstrisinde İstatiksel Kalite Kontrol: Yonga Levha Üretiminde Bir Çalışma, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1, 79-91.
36. İstek, A., Özlüsoylu, İ., Bakar, S. ve Öz, E. (2018). *Tutkal Çözeltisine Üre İlavesinin Formaldehit Emisyonu ve Levha Özelliklerine Etkisi*, Kırıkkale Üniversitesi, II. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi.
37. Güler, C. (2015). Farklı Kalınlıklarda Üretilmiş Yonga Levhaların Bazı Teknolojik Özellikleri, *Ormancılık Dergisi*, 11(1), 52-63.
38. Lu, S.Y. and Hamerton, I. (2002). *Recent Developments in the Chemistry Of Halogen-Free Flame Retardant Polymers*, Prog. Polym. Sci. 27, 1661–1712.
39. Lewin, M. (1997). *Flame Retardancy of Polymeric Materials*, Chem- Oggi Today, 6–7, 15-41.
40. Baltacı, B., Çakal, G., Bayram, G., Eroğlu, İ. ve Özkar, S. (2013). *Yüzey Etkin Madde Türünün Çinko Borat Sentezine Etkisi*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
41. Kaya, M. ve Oz, D. (1999). *Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastına Katkı Maddeleri*, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.

42. Konuklu, S. ve Erbil, M. (2008). Alüminyumun Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 17(7), 105-113.
43. Özlü, H., Çakar, S. ve Çeper, İ. (2013). AA6063 Alaşımlı Alüminyum Profilin H_2SO_4 Elektroliti Kullanılarak Eloksal Kaplanması, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (6), 41-45.
44. Akcan, E., Mehmetlioğlu, C., Özüyağlı, A. ve Akıncı, A. (2006). Alüminyum Alaşımında Anodizasyonun Arayüzey Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(3), 409-415.
45. Wahab, J. A., Nazree, D. M. and Iqwan, A. H. (2015). *Influence of Anodizing Voltage on Formation of Porous Anodic Aluminium Oxide Thin Films in Mixed Solution of H_3PO_4 and CH_3COOH* , School of Materials Engineering, University Malaysia Perlis, Malaysia.
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*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Bölümü, İstanbul.
47. Onutai, S. Jiemsirilers, P. Thavorniti, T. Kobayashi. (2015). Aluminum Hydroxide Waste Based Geopolymer Composed Of Fly Ash for Sustainable Cement Materials, *Construction and Building Materials*, 101 (2015), 298-308.
48. Yanar, T. (2015). *Mikroark Oksidasyon Metodu ile Alüminyum Levha Üzerine Geliştirilen Alümina Kaplamaların Küçük Ev Aletlerinde Uygulanması ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
49. Ogundiran, M. B., Nugteren, H. W., Witkamp, G. J. (2016). Geopolymerisation of Fly Ashes With Waste Aluminium Anodising Etching Solutions, *Journal of Environmental Management*, 118-123.
50. Costaa, E. B. D., Rodríguez, E. D., Bernalc, S. A., Provisc, 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*, 373-383.
51. 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(1), 387-393.
52. Özel, S. ve Vural, E. (2015). *Alüminyum Alaşımı Yüzeyine Kaplanan Tabakaların Mikroyapı ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi*, Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bitlis, 211-218.

53. Baysal E. (2003). Borlu Bileşikler ve Doğal Sepi Maddeleriyle Emprenye Edilen Sarıçam Odununun Yanma Özellikleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 59-69.
54. Özdemir, F., Tutuş, A. ve Bal, B. (2013). *Yüksek Yoğunluklu Lif Levhanın Isı İletkenliği ve Limit Oksijen İndeksi Üzerine Yanmayı Geciktiricilerin Etkisi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş.
55. Kaya, O. (2011). *Ahşap Emprenyesinde Bor Bileşiklerinin Kullanımının Ahşabın Yanmasına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
56. Aluntaş, E., Salan, T. ve Alma, M. (2016). Farklı Bor Bileşik Kullanılarak MDF-AYPE Odun Plastik Kompozitlerin Yangına Dayanıklılığının Araştırılması, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 19-23.
57. Astm D 2863, (2009). *Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index)*.
58. Murathan, H. B. ve Murathan, A. (2016). *Low Cost Flame Retarder in Interior Wall Paint*, İstanbul Kongre Merkezi.
59. Murathan, A., Bayis, E., Koç, A. ve Murathan, H. B. (2018). Alüminyum Eloksal Atıklarının Yangın Geciktirici Olarak Değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(1), 149-154.
60. İnternet: Bazı Osmanlı Dönemi Hamam Yapılarının Kubbe ve Duvarlarında Kullanılan Kireç Harçların Özellikleri. Web: www.yapkat.com. adresinden 12 Nisan 2019'da alınmıştır.
61. Yaraş, A. (2016). *Alev Geciktirici Borlu Selülozik Çadır*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
62. Ünlü, F. (2007). *Geçiş Metali Fosfin-Komplekslerinin Termal Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.





EK-1. ASTM D 2863 Standart Testi

ASTM D2863 Standart Testi ile oksijen-azot gazı verilerek meydana gelen alevin tutuşma olayını tetikleyen minimum değerdeki oksijen konsantrasyonu ölçülür. Oksijen yüzde hacim cinsinden ifade edilir. ASTM D 2863 Standart Testi için üç aşama söz konusudur. Bunlar; yüzeyin en uç noktasının alev ile tutuşturulması, tutuşmanın yüzeyde yayılması, minimum oksijen indeks değerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesidir.

Belirli yapıya sahip materyaller ile dik konumda kendiliğinden durma özelliği olan tabakalar bu standart ile incelenebilir. Bu test motodu, belirli koşullarda materyallerin ısı ya da aleve karşı tepkilerini ölçme ve tanımlamada kullanılır. Standarta göre oksijen-azot gaz karışımı içindeki yüzde hacim cinsinden belirlenen oksijen indeksi (LOI) tayini, 23 ± 2 °C’de başlatılır. Dik konumdaki materyalin üst kısmından aşağı kısmına doğru alev kaynağı temas ettirilir ve tutuşma sağlanır. Fazla güçlü olmayan sabit miktardaki alev, malzemenin uç kısmında 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 konsantrasyonu yaklaşık %18; eğer içten hafif hafif yanmaya devam ediyorsa başlangıç oksijen konsantrasyonu yaklaşık %21 ve havada yanması devam etmiyorsa başlangıç oksijen konsantrasyonu yaklaşık %25 alınır [47].

Oksijen ve azot akış hızları artış ve azalış miktarları için ASTM D 2863’de verilen hesaplama basamakları ve adım aralığının geçerliliği Eşitlik 1.1. ve Eşitlik 1.2’de verildi.

$$O_2: \frac{67,5-65}{100} \times 0,2 = 0,5 \text{ artış} \quad (1.1)$$

$$N_2: \frac{88-86,5}{100} \times 0,2 = 0,3 \text{ azalma} \quad (1.2)$$

Bulunan oksijen indeksinin doğrulanması için standart sapma hesabı yapıldı ve Eşitlik 1.3 ile Eşitlik 1.6’da verilen adım aralığının geçerliliği tespit edildi.

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - O, I)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (1.3)$$

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

$$0,315/5 = 0,063 \quad (1.4)$$

$$\sqrt{0,063} = 0,251 = \sigma \quad (1.5)$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} \quad (1.6)$$



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYİS, Emine
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 08.12.1990, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0553 176 08 53
 e-mail : bayisemine@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği	2015
Lise	Hürriyet Anadolu Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü	Sözleşmeli Personel
Şubat-Mayıs 2018	CNN Holding- Bilkent Şehir Hastanesi	İş Güvenliği Uzmanı

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

Sosyal sorumluluk projeleri (hayvan barınaklarına ziyaret, lösemili çocuklar için sosyal faaliyetler düzenleme), latin dansları



GAZİ GELECEKTİR..