



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN:1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Alüminyum eloksal atıklarının yangın geciktirici olarak değerlendirilmesi

Evaluation of aluminum anodic oxidation wastes as flame retardant

Yazar(lar) (Author(s)): Ayşe MURATHAN¹, Emine BAYİS², Ahsen KOÇ³, Hatice B.MURATHAN⁴

ORCID¹: 0000-0003-0965-8792

ORCID²: 0000-0003-2801-0481

ORCID³: 0000-0002-9140-2851

ORCID⁴: 0000-0002-0491-098X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(Tocitetothisarticle): Murathan A., Bayis E., Koç A. ve Murathan H. B., "Alüminyum eloksal atıklarının yangın geciktirici olarak değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 21(1): 149-154, (2018).

Erişim linki(To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.386873

Alüminyum Eloksal Atıklarının Yangın Geciktirici Olarak Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ayşe MURATHAN^{1*}, Emine BAYİS², Ahsen KOÇ³, Hatice B. MURATHAN⁴

¹ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

⁴ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 21.01.2017 ; Kabul/Accepted : 17.04.2017)

ÖZ

Bu çalışmada alüminyum eloksal atıkları sunta türü kompozit panel malzemelerinde kullanılarak potansiyel alev geciktirme etkisi incelendi. Toz haline getirilen alüminyum eloksal atığına sıcak sudaki %10'luk polimerik bağlayıcı katılarak oluşturulan karışımlarda, kalsiyum karbonat (CaCO_3) başta olmak üzere %1'lik çinkoborat (%45ZnO-%36B₂O₃) ve atık miktarı kadar sodyum bikarbonat (NaHCO_3) sırasıyla kütle oranlarında katıldıktan sonra bağlayıcı eşliğinde sunta yüzeylere uygulandı ve kaplamalar 50°C'de 24 saat kurumaya bırakıldı. ASTM D 2863'e göre %27-38 O₂ besleme aralığında sınırlayıcı oksijen indeksi (LOİ) testi uygulandı, 180-200 saniye aralığında alev gecikme süreleri gözlemlendi. En uzun alev gecikme süresi %38 O₂ beslemesiyle 200 saniye olarak bulundu. LOİ testine göre yapılan sınıflandırmada bu değerler ekstra alev geciktirici olduğu belirlendi. Ayrıca bu kaplamalar -18°C ve 50°C'lik uç sıcaklıklarda 3 ay bekletildi, fiziksel görünümünde bir değişiklik olmadığı gözlemlendi. Kaplamalarda yapılan XRD analizinde her iki karışımda da yoğun olarak $\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 ve eser düzeyde SiO_2 , CaO ve MgO gözlemlendi. 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 üretiminde kullanılabilirliğinin yanısıra insan sağlığı için zararsız ve çevre dostu olan kompozit paneller elde edildi.

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

Evaluation of Aluminum Anodic Wastes as Flame Retardant

ABSTRACT

In this study, the effects of potential flame retardation were investigated using aluminum anodic waste in chipboard type composite panel materials. In the blends formed by adding a 10% polymeric binder in hot water to the powdered aluminum anodizing wastes, 1% zincborate (45% ZnO - 36% B₂O₃), mainly calcium carbonate (CaCO_3), and sodium bicarbonate (NaHCO_3) 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 180-200 seconds were observed. The longest flame retardance time was found to be 200 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 $\text{Al}(\text{OH})_3$ and Al_2O_3 , trace amount of SiO_2 , CaO and MgO were observed in both mixtures. It has been found here that aluminum compounds have flame retardant effect. In the TG-DTA analysis, mass loss of 38% in the mixture of containing zinc borate and 37% in the mixture of containing sodium bicarbonate was observed between 568-778°C. Aluminum anodized waste can be used in fire retardant production as well as harmless for human health and environmentally friendly composite panels were obtained.

Keywords: Eloxal waste, caustic, chipboard, flame retarder, LOI.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada yıllık alüminyum üretimi 30 milyon tondur. Bu miktar, demir-çelik üretimi (858 milyon ton/yıl) 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

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : amurathan@gazi.edu.tr

bu filmin sıcak su banyosunda tespitidir [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 güvenliğinde göz önünde tutulması gerekmektedir. Halojenli alev geciktiriciler şimdiye kadar yaygın olarak kullanılmışsa da, yanma esnasında çıkardıkları toksik ve korozyif gazlardan dolayı giderek azalmakta; bunun yerini 'çevredostu' inorganik alev geciktiriciler almaktadır. İnorganik alev geciktiricilerin yanma olayına etkisi fizikseldir. Bu bileşikler dehidratasyon sıcaklıklarının üzerindeki sıcaklıklarda hidrasyon suyunu bırakarak bozunurlar. Gerçekleşen reaksiyon endotermik olduğundan ortamdan ısı alarak ortam sıcaklığının, polimerin yanma sıcaklığının altına düşmesine sebep olur. Bu sayede polimer malzemelerin dahayüksek sıcaklıklarda yangına karşı dayanıklılık göstermesi sağlanır. Organik bileşiklerin aksine, inorganik alev geciktiriciler ısı etkisiyle buharlaşmaz; bunun yerine H₂O gibi zararsız, CO₂ gibi daha az zararlı gazlar açığa çıkararak bozunurlar. En çok kullanılan inorganik alev geciktiriciler magnezyum hidroksit, alüminyum trihidrat ve çinkoborattır [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 (limiting oxygen index, LOI) kullanılmaktadır. LOI, bir malzemenin yanması için ortam havasında hacimce bulunması gereken minimum oksijen yüzdesidir. LOI değerine göre alev geciktirici sınıflandırılması yapılmaktadır. Malzeme, LOI (%) düzeyi <24 ise alev alabilir, 24-28 sınırlı alev geciktirici, 29-34 alev geciktirici, >34 ekstra alev geciktirici sınıfında değerlendirilmektedir. LOI değeri yükseldikçe malzemenin yanıcılığı da düşmektedir. Alev geciktiricilerin LOI değeri yanında katıldığı malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi de hesaba katılmalıdır [12].

Bu çalışmada bol miktarlarda 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. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Alüminyum eloksal atıklarından 150 gr örnek porselen havanda ezilerek ASTM 20 mesh numaralı (0,850 mm çapında) elekten geçirildi ve elek altı toz numune 70 oC sıcaklıkta 400 ml'de suda çözünen 40 g akrilik bağlayıcıya eklendi, reaksiyon için bir süre karıştırılarak bekletildi, süzülde ve 50 gramlık iki ayrı çökelek alındı.

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 alumina (Al₂O₃) ile karıştırıldı. Atıkların ve oluşturulan diğer karışımların yapı analizleri GNRAPD2000PRO Diffractometre ile Cu-Kα ışınlarında 1,46 A°da 40KV ve 30mA şartlarında çalışılarak yapıldı. TG- DTA termal analizleri NETZSCHSTA449F3JUPITER cihazında argon atmosferinde 150-2400°C aralığında 10°C/dakika ısıtma hızında çalışılarak yapıldı. Panellerde matriks olarak görünür yoğunluğu 0,565g/cm³ olan suntalar kullanıldı. Aleve dayanım deneylerinden önce 1,7×9,8×15 cm'lik panellerden 1,7×1,7×9,8 cm'lik çubuk bloklar şerit testereyle kesildi, yüzeylerdeki ve kenarlardaki pürüzler zımparaya giderildi.

2.1. Deneme-1 (Experiment-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 süzülde. Elde edilen çökelekte sulu faz uzaklaştırıldı.

2.aşama: Elde edilen karışıma kütlece %1 oranında çinkoborat içeren su-bazlı ve hidroksi etil selülozlu iç cephe boyası (Çizelge 3) eklenerek karıştırıldı [13]. 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 3. Su bazlı iç cephe boya formülasyonu (Interior white paint formulation)

Kimyasal madde	%w/w	Kimyasal madde	%w/w
Su	20,0	Kalsit (5µm)	23,33
Kalgon	0,25	Hidroksietil selüloz	0,3
Amonyak	0,004	Zamk	16,66
Köpükkesici	0,3	Teksanol	1,0
Dispersiyon ajanı (P-90)	0,32	Akrisol	2,5
TiO ₂	10,0	Çinkoborat	1,0
Kalsit(2µm)	28,84		

2.2. Deneme-2 (Experiment-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.

2.3. Deneme-3 (Experiment-3)

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

2.4. Deneme-4 (Experiment-4)

Deneme1’deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe ıslak atık miktarı kadar kalsiyum karbonat ve 0,1M HCl ilave edilerek karıştırıldı. Elde edilen karışıma %1 oranındaçinkoborat 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.

2.5. Deneme-5 (Experiment-5)

Deneme1’deki 1. aşamadan elde edilen çökeleğe ıslak atık miktarının iki katı CaCO₃ ile 0,1 M HCl ilave edilerek karıştırıldı. Burada CaCO₃ miktarının fazla olmasının sebebi NaHCO₃ 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.

Tüm numunelerin sıcak ve soğuk şartlara dayanım sonucunu görebilmek için 3 ay süreyle -18°C ve 50°C’de uç sıcaklıklarda bekletildi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Oksijen ve azot akış hızlarındaki artış ve azalış miktarları aşağıdaki Eşitlik 1 ve 2’de verildiği şekilde interpolasyon ile bulundu: Bu hesaplamada başlangıç O₂ değeri %27 olarak belirlendi ve bu değere karşılık gelen O₂ akış hızı 67,5 ml/min, N₂ akış hızı 88 ml/min. ‘dir[14]. O₂ ve N₂ akış hızları artış ve azalış miktarları için ASTM D 2863’de verilen hesaplama basamakları ve adım aralığının geçerliliği aşağıda verildi.

$$O_2 : \frac{67,5 - 65}{100} \times 0,2 = 0,5 \text{ artış} \quad (1)$$

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

Bulunan oksijen indeksinin doğrulanması için standart sapma hesabı yapıldı ve Eşitlik 6’da verilen adım aralığının geçerliliği tespit edildi.

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - O, I)^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$0,315/5 = 0,063 \quad (4)$$

$$\sqrt{0,063} = 0,251 = \sigma \quad (5)$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} \quad (6)$$

0,167 < d < 0,377 aralığında bulunan adım aralığının 0,2 olmasıyla diğer alevlenebilirlik testlerine devam edildi..Alev boyu, numunelerin tüm yüzeyini kaplayacak şekilde yapılan bir süpürme hareketi ile iki paralel numuneye uygulandı. Numunelerin alev almaya başlama anına kadar geçen süre kaydedildi. Bu esnada alev, oksijen ve azot gazlarının vanaları kapatıldı. Uygulanan Dixon metoduna [14] uyularak, standarda göre yanma süresi 180 saniyenin altında ise “O” tepkisi, 180 saniyenin üstünde ise “X” tepkisi vereceği belirlendi. %27’ye karşılık gelen oksijen değerinde başlatılan 1.denemede yanma süresi 480 saniye 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. Şekil 1’de LOİ testi öncesi ve LOİ testi anında test düzeneğinin durumu görülmektedir.

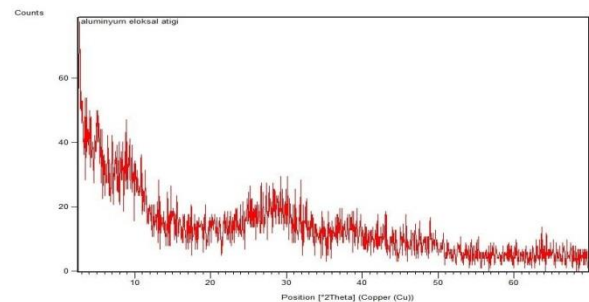


Şekil 1. LOİ Test Düzeneği (Dynisco LOI apparatus)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

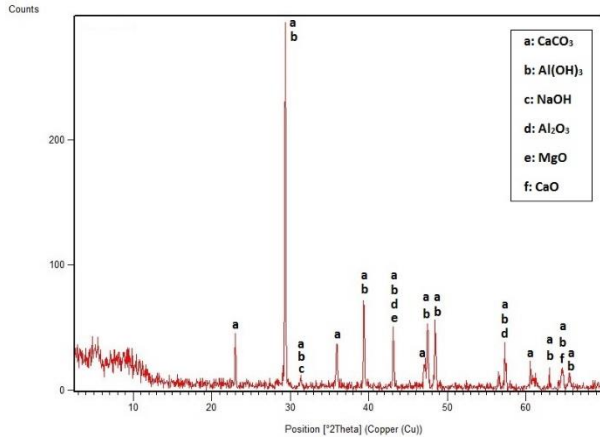
4.1. XRD Analizi (XRD Analysis)

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’de ham alüminyum eloksal atıkları (%75 nem içerikli), kalsiyum karbonat içeren sodyum bikarbonatlı ve çinko boratlı içeren atığın XRD analiz sonuçları sırasıyla görülmektedir.



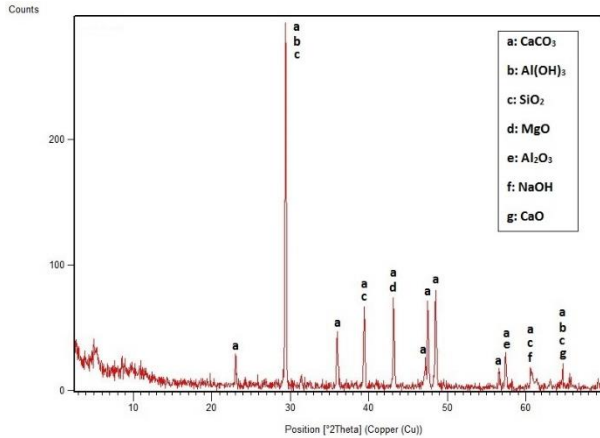
Şekil 2.Eloksal atığın XRD analizi (XRD analysis of the eloxal waste)

Şekil 2’de alüminyum eloksal atıklarında (%75 nem içerikli), yoğun olarak $\text{Al}(\text{OH})_3$ ile bu yapıya bağlı olarak kostik, alümina (Al_2O_3), SiO_2 , SO_3 ve eser miktarda CaO , MgO bulunmaktadır.



Şekil 3. Sodyum bikarbonat içeren atığın XRD analizi (XRD analysis of the waste having sodium bicarbonate)

Şekil 3’te sodyum bikarbonat eklenmiş numunenin XRD sonucunda ise yoğun olarak $\text{Al}(\text{OH})_3$ ile beraber NaOH ile CaCO_3 ve eser miktarda CaO , MgO , SiO_2 bulunduğu tespit edildi. XRD analiziyle gözlenemeyen reaksiyon ürünü gaz fazında CO_2 ’dir.

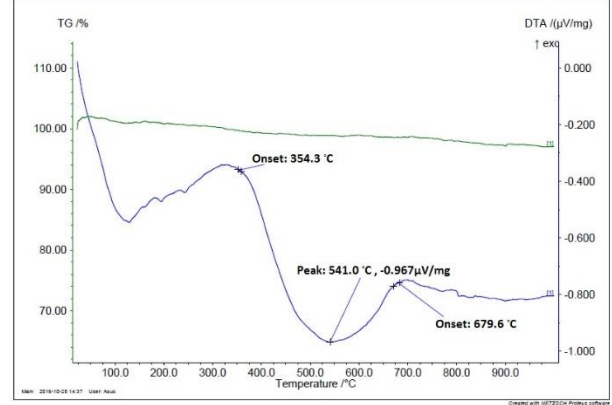


Şekil 4. Çinko borat içeren atığın XRD analizi (XRD analysis of the waste having zinc borate)

Şekil 4’de çinko borat eklenmiş numunenin XRD analizinde yoğun olarak CaCO_3 pikleri ile eser miktarda CaO , MgO belirlendi. Çinko borat varlığının tespit edilememesinin sebebi ise kütlece %1 oranında, XRD analizörünün deteksiyon limitinin altında, kullanımıdır. CO_2 gaz fazında bulunduğu XRD analizinde piki görülemedi.

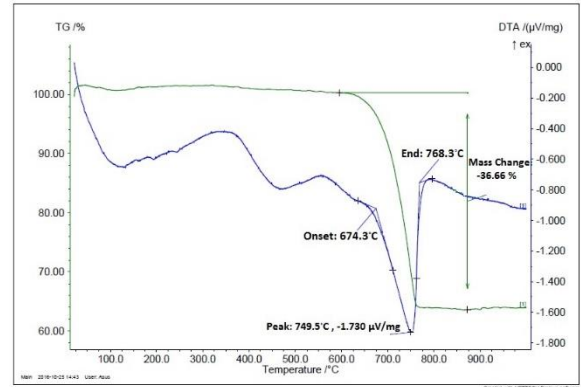
4.2. Termal Analiz (Thermal Analysis)

Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de sırasıyla alüminyum eloksal atıkları (%75 nem içerikli), sodyum bikarbonat ve çinko borat içeren atığın TG-DTA termal analiz sonuçları görülmektedir.



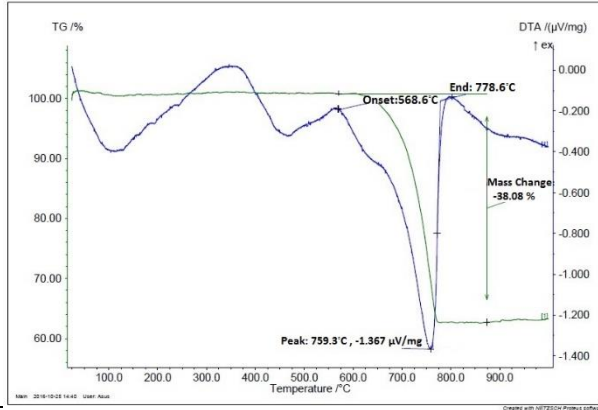
Şekil 5. Alüminyum eloksal atığında TG-DTA analizi (TG-DTA analysis in aluminum anodizing waste)

Şekil 5’de alüminyum eloksal atığının TG-DTA analizinde, görünür madde kaybı olmadığı; 354,3 – 679,6°C sıcaklık aralığında belirgin yayvan pikin yapıdaki suyun buharlaşmasından kaynaklandığı ve yapıdaki $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve kostiğin bazik yapısı sebebiyle ekzotermik geçiş sıcaklıkları olduğu tespit edildi.



Şekil 6. Sodyum bikarbonat içeren atığın TG-DTA analizi (TG-DTA analysis of the waste having sodium bicarbonate)

Şekil 6’da sodyum bikarbonat içeren atığın TG-DTA analizinde görünür madde kaybının %36,66 olduğu; bozunma sıcaklığının 674,3 – 768,3 °C aralığında ve maksimum bozunmanın 749,5 °C sıcaklıkta olduğu belirlendi. Bu yüksek bozunma sıcaklığının CO_2 (450°C); CaO (>750°C) ve CaCO_3 (>600°C) yapılarındaki belirtilen sıcaklıklardaki termal bozunmalardan kaynaklandığı tespit edildi.



Şekil 7. Çinko borat içeren atığın TG-DTA analizi (TG-DTA analysis of the waste having zinc borate)

Şekil 7’de çinko boratlı atığın TG-DTA analizinde 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 maddelerin bozunma sıcaklıklarında parçalanması ve meydana gelen farklı reaksiyonlardan ileri geldiği söylenebilir. Ayrıca eloksal atığının ve üretilen kompozit karışımların bozunma sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle alev geciktirici olarak kullanılabilirliği belirlendi.

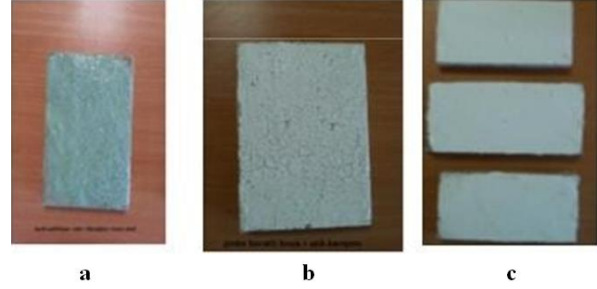
4.3. LOİ Sonuçları (LOI Results)

LOİ uygulamalarındaki tüm örneklerde, %27 oksijen konsantrasyonunda yanma süreleri 480 saniye değerinde elde edildiğinden bir sonraki adımda %34, %38 ve zorlayıcı şart olan %40 değerine kadar çıkılarak oksijen ve azotun akış hızları Çizelge 4’te görüldüğü şekilde hesaplandı.

Çizelge 4. Oksijen konsantrasyonu tayini (Determination of oxygen concentration)

O ₂ (%)	O ₂ akış hızı (ml/min)	N ₂ akış hızı (ml/min)	Yanma Süresi (s)	Hareket
27	67,5	86,5	Tutuşmadı	O
34	84,5	78	Tutuşmadı	O
35	86	77	Tutuşmadı	O
37	89	75	Tutuşmadı	O
38	90,5	74	240	X
40	94	72	180	X

Çizelge 4’ten görüldüğü gibi çinko boratlı ve boya içeren numune için oksijen yüzdesi %38 değerine karşılık gelmektedir. Şartların daha zorlayıcı olabilmesi için %40’lık oksijen yüzdesinde çalışıldı ve 180 saniye aleve dayandığı tespit edildi. Şekil 8’de denemelerde alev testi öncesi ve blok halinde kesilmeden önce kaplaması yapılan sunta panel görüntüleri LOİ testi öncesi ve sonrasına ait olmak üzere deneme sırasına uygun olarak görülmektedir.



Şekil 8. Elde edilen sunta paneller (a. Deneme 1, b. Deneme 2, c. Deneme 3, 4, 5) (Obtained chipboard panels, (a. Experiment 1, b. Experiment 2, c. Experiment 3, 4, 5))



Şekil 8. LOİ testi öncesi ve sonrası (Before and after of LOI test)

LOİ Testi sonuçları tüm denemelerin bitiminden sonra Çizelge 5’te verildiği şekilde hesaplandı. %38 O₂ yoğunluğu için, O₂ akış hızı 90,5 ml/min, N₂ akış hızı 72 ml/min şartları aynı tutularak denemelerde elde edilen kompozitlerde ulaşılan alev geciktirme süreleri Çizelge 5’te görülmektedir. Kaplama yapılmamış ham sunta panellerde tespit edilen O₂ yoğunluğu ise %23 olup bu değere karşılık gelen O₂ akış hızı 65 ml/min, N₂ akış hızı 86,5 ml/min değerindedir. Görüldüğü gibi ham sunta paneller alev alabilir sınıfında yer almaktadır [12].

Çizelge 5. Tespit edilen alev geciktirme süreleri (The obtained flame retarder times)

Deneme	Süre (s)
Deneme 1	180
Deneme 2	220
Deneme 3	180
Deneme 4	180
Deneme 5	250

1, 2 ve 3 no.lu denemelerde elde edilen LOİ sonuçları ekstra alev geciktirici özellikte bulundu. Boyanın kullanıldığı numunede bir miktar yüzey çatlaması olduğu tespit edildi. Sebep olarak inşaat boya depolama kararlılığının en fazla 45°C'de yapılması dolayısıyla daha sıcak 70°C'deki kurutma sonucu çatlama olduğu düşünülebilir. Deneme 2 ve 3'de bu durum gözlenmemesine ve ekstra alev geciktirici bulunmasına rağmen boya, epoksi ve fiber glass yapılarının yanma reaksiyonları sonucunda yapılarındaki olefinik grupların oksidasyonu ile peroksit tipi radikaller oluşturabileceği sebebiyle 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'te oluşan reaksiyon aşağıdaki şekildedir:



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. Sodyum bikarbonatlı karışımda ürün verimi artışı yanı sıra 250 saniye süreyle alev geciktirme elde edildi. Ayrıca elde edilen kaplaması yapılmış sunta paneller 3 ay süreyle -18°C ve 50°C'de uç sıcaklıklarda bekletildi ve fiziksel görünümünde bir değişiklik gözlenmedi.

Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlara göre, alüminyum eloksal atıklarına herhangi bir ön işlem uygulanmasına gerek kalmadan (yıkamayla kostik giderimi, ilave kurutma ve su kullanımı giderleri olmaksızın) sunta türü malzemelerde kullanılacak ekstra alev geciktirici özellik kazandırılmıştır. Elde edilen kompozit yapılar ile "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" gereğince, insan ve çevre sağlığına duyarlı, binalarda iç ve dış cephelerde taşıyıcı olmayan duvar bölmelerinde kullanılacak ekonomik paneller elde edildi. Suntainın alev dayanımı çok düşük olduğundan (bu çalışmada %23 O₂ olarak tespit edildi) elde edilen bulgular suntalarda alev geciktirme sağlayabilir. Aynı zamanda oldukça fazla yer işgal eden ve bu atıklar sebebiyle zorluk yaşayan üretici firmaların atıkları uygun biçimde değerlendirilmiş, dolayısıyla insan sağlığı ve çevre sağlığı korunmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Günay, D. "Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme", *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü*, GA-06-07-08, Ankara, (Eylül 2006).

- [2] "Alüminyum Yüzey İşlemleriyle İlgili Genel Tanıtıcı Bilgiler", *AYİD* / İstanbul, (2000).
- [3] Uluca, T., "Alüminyum Ürün Çeşitleri, Kullanımları Geri Kazanılması", *Alüminyum ve Çevre*, İstatiksel Bilgiler, İstanbul, (2000).
- [4] "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik", *Resmi Gazete*, 9 Eylül 2009-sayı 27344.
- [5] "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği", *Resmi Gazete*, 5 Aralık 2008- sayı 27075.
- [6] "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği", *Resmi Gazete*, 9 Ekim 2008- sayı 27019.
- [7] Zhang, Y. Y., Xue, L., and Liu, Z. H., "Preparation of cluster-like nanostructure and nanoribbon for 4ZnO·B₂O₃·H₂O and the evaluation of their flame retardant properties by a thermal analysis method", *Thermochimica Acta*, 506(1): 52-56, (2010).
- [8] Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M., and Dubois, P., "New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites", *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 63(3): 100-125, (2009).
- [9] Formicola, C., De Fenzo, A., Zarrelli, M., Frache, A., Giordano, M., and Camino, G., "Synergistic effects of zinc borate and aluminiumtrihydroxide on flammability behaviour of aerospace epoxy system", *Express Polymer Letters*, 3(6): 376-384, (2009).
- [10] Ramazani, S. A., Rahimi, A., Frounchi, M., and Radman, S., "Investigation of flame retardancy and physical-mechanical properties of zinc borate and aluminum hydroxide propylene composites", *Materials & Design*, 29(5): 1051-1056, (2008).
- [11] Sidebotham, G. W., Cross, J. A., and Wolf, G. L., "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, (1993).
- [12] Schmidt, R., "In the line of fire, flame retardants overview", *Industrial Minerals*, 37-41, (1999).
- [13] Murathan, H.B., Murathan, A., "Low cost flame retarder in interior wall paints" *Paint İstanbul, Turkcoat*, İstanbul Kongre Merkezi, 23-26 Mart 2016.
- [14] ASTM D 2863, Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), 2009.