



**INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL COMPLIANCE PERFORMANCE  
OF COLOURED CONCRETES PRODUCED FROM WASTE RED MUD**

**Yasemin KILIÇ<sup>\*1</sup>, Esin GÜNAY<sup>1</sup>, Müzeyyen MARŞOĞLU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TUBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Enstitüsü, Gebze-KOCAELİ

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Received/Geliş: 23.11.2012 Accepted/Kabul: 18.02.2013

---

**ABSTRACT**

Red mud is a waste generated by the Bayer process and its disposal is a major problem. Waste red mud from Eti Seydişehir Aluminium Plant of Turkey was considered as a hazardous waste for the environment and human health. The storage of the red mud is difficult due to its high amount of various metal oxides, elements and caustic content. In this study, the environmental compliance tests were done and evaluated according to the "Regulation on Regularly Storage of Waste" of the produced city furnitures with red mud. According to the test results; red mud, a hazardous waste alone, can be used in the city furniture production. The city furnitures produced with red mud does not contain hazardous substances. Also, these city furnitures can be stored as safe substances with "Regulation on Regularly Storage of Waste in Turkey". City furnitures produced with red mud preserving colouring properties at +40°C/-10°C for 1 year period.

**Keywords:** Concrete, environmental compliance test, red mud, life performance test, pigment.

**ATIK KIRMIZI ÇAMUR KULLANILARAK ÜRETİLEN RENKLİ BETON ÜRÜNLERİN  
ÇEVREYE UYUMLULUK PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**ÖZET**

Kırmızı çamur, Bayer prosesinde açığa çıkan bir atık olup, depolanması önemli bir sorun haline gelmektedir. Türkiye Eti Seydişehir Alüminyum tesislerinden temin edilen atık kırmızı çamurun, içerdiği çeşitli metal oksitler, elementler ve kostik özelliği nedeniyle depolanmasına çevre ve insan sağlığı açısından dikkat edilmelidir. Bu çalışmada, kırmızı çamur ikameli şehir mobilyalarına çevreye uyumluluk testleri yapılmış ve "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe" göre değerlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre; tek başına tehlikeli bir atık olarak değerlendirilen kırmızı çamur ikamesiyle üretilen renkli şehir mobilyaları, tehlikeli maddeler içermemekte ve "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe" göre tehlikesiz olarak depolanabilmektedir. Kırmızı çamur ikameli renkli şehir mobilyaları, 1 yıllık sürede ve +40°C/-10°C sıcaklıklarda renk özelliklerini korumaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Beton, çevre uyum test, kırmızı çamur, ömür performans test, pigment.

---

**1. GİRİŞ**

Alüminyum sektöründe giderek artan üretime bağlı olarak açığa çıkan kırmızı çamur atığının depolanması çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Üretilen 1 ton alümina veya 0.5 ton alüminyum metaline karşılık yaklaşık 1 ton kırmızı çamur atığı oluşmaktadır [1].

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: yasemin.demirci@tubitak.gov.tr, tel: (262)

Kırmızı çamurun toksik etkisinin azaltılması yönünde bazı araştırmalar yapılmış olsa da, yapılan bu araştırmaların ekonomik olarak endüstriye uygulanamamış, geri dönüşüm çalışmalarında atık malzemelerin radyoaktivite ve toksik özelliklerinin araştırılması çoğu zaman ihmal edilmiştir. Bu nedenle, atığın depolanması veya bir ürün içinde değerlendirilmesinde çevre açısından tehlikeli olma olasılığı ve radyasyon dozaj kontrolünün araştırılması önem arz etmektedir [2].

Önceki çalışmalarda, atık kırmızı çamur, parke taşı ve bordür üretimlerinde renklendirici pigment, şehir mobilyaları üretiminde ise agrega yerine kullanılarak, betonun mekanik özellikleri olumsuz etkilenmeden kullanım şartları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kırmızı çamurun şehir mobilyaları üretiminde agrega olarak kullanılması ile ticari kuvars esaslı kırmızı renkli agregaya (0-0.5 mm) göre daha iyi kırmızı renk ve daha yüksek basınç dayanımı elde edilebileceği görülmüştür [3,4].

Bu çalışmada ise; Eti Alüminyum Tesis'lerinden elde edilen kırmızı çamur atığının, parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları üretiminde renklendirici pigment veya agrega olarak kullanılabilirliğinin, insan ve çevre sağlığına olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca, kırmızı çamur atığı içeren beton ürünlerin, renk özelliklerinin iklim koşullarından etkilenme derecesi belirlenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan atık kırmızı çamur Eti Alüminyum-Cengiz Grup Seydişehir Tesisleri, Portland çimento ise Aslan Çimento A.Ş'den, RILEM kumu, ticari Bayer 130G pigmenti ve farklı tane boyutlara sahip ticari kuvars esaslı agregalar sırasıyla Limak Trakya Çimento Fabrika, Asil Kimya Boya San. Tic A.Ş., Altınaylar Yapı Kimyasalları A.Ş'den temin edilmiştir.

### 2.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar ve Yöntem

Atık kırmızı çamurun elementel bileşimi Philips PW 2404/00 XRF cihazı, mineralojik analizi ise Shimadzu XRD 6000 cihazı kullanılarak Cu K $\alpha$  radyasyonu ile 1,5418 Å dalga boyu, 2-70° tarama aralığında belirlenmiştir. Kırmızı çamurun pulverizasyon işlemi için Fritsch marka Pulverisette 14 cihazı kullanılmış, tane boyut analizi Malvern marka Mastersizer-2000 cihazı ile belirlenmiştir. Kırmızı çamur ikameli beton ürünlerin renk özellikleri, X-Rite marka SP64 el tipi spektrometre cihazı ile belirlenmiştir. Renk ölçümlerinde L\*, bir cismin açıklık/koyuluğunu göstermekte olup, 0-100 arasında değer almaktadır. a\* değerinin pozitif olması kırmızı rengini, b\* değerinin pozitif olması ise sarı rengini ifade etmektedir. Kırmızı çamur ikameli parke taşlarının iklim koşullarına göre ömür performans testleri ise, Atlas marka SC 600 MGH model solar iklimatik test kabininde, 1 yıllık süreye karşılık gelen 37 gün için simüle edilerek, -10°C ve +40°C sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Atık Kırmızı Çamurun Ön İşlem ve Karakterizasyon Testleri

Eti Alüminyum A.Ş'den temin edilen atık kırmızı çamur %21.5 neme sahip olup, renkli beton üretiminde kullanımı öncesi 2 aşamadan oluşan ön işleme tabi tutulmuştur. 1. aşamada atık kırmızı çamur 90°C'de 72 saat kurutulmuş, 2. aşamada ise, aglomerasyonların dağıtılması için pulverize edilmiştir.

Kırmızı çamurun kurutma sonrası kimyasal bileşimi ve mineralojik analiz sonuçları Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Tane boyut analiz sonuçlarına göre, kırmızı çamurun % 90’nının, 25.339  $\mu\text{m}$ ’den daha ince boyutlarda olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 1.** Atık kırmızı çamurun % ağırlıkça kimyasal bileşimi

$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	Diğer	Kızdırma Kaybı (950°C)
36.942	25.645	18.954	7.037	5.616	3.297	2.509	17.750

**Çizelge 2.** Atık kırmızı çamurun mineralojik analizi

	Kristalografik fazlar	PDF Numarası
1	Hematit, $\text{Fe}_2\text{O}_3$	33-664
2	Hidroksikankrinit $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	46-1457
3	Kalsit, $\text{CaCO}_3$	5-586
4	Gibsit, $\text{Al}(\text{OH})_3$	33-18
5	Ulvospinel, $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$	34-177
6	Rutil, $\text{TiO}_2$	21-1276
7	Kristobalit, $\text{SiO}_2$	39-1425

Kırmızı çamurun kimyasal yapısında yer alan radyoaktif elementler nedeniyle, radyoaktivite kontrolleri Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi’nde (ÇNAEM) gama spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Gama spektroskopisi radyoaktivite ölçüm sonuçlarına göre “Eti Alüminyum A.Ş.’den temin edilen ham kırmızı çamur içerisindeki radyoaktif elementlerin miktarı güvenli limitler içerisinde” [5].

Literatürde farklı ülkelerde çıkan atık kırmızı çamurun kostik olması nedeniyle tehlikeli olduğuna dair bilgiler mevcut olsa da, diğer atıklarda olduğu gibi kırmızı çamurunda, elde edildiği ve kullanıldığı ülkenin yönetmeliklerine göre değerlendirmesi gerekmektedir. Türkiye’de atıkların değerlendirilmesinde 05/07/2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik- (AYGEİY)” kullanılmaktadır [6]. Bu yönetmeliğin amacı; atıkların oluşumlarından, bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetimlerinin sağlanmasına yönelik genel esasların belirlenmesidir. Kırmızı çamur, AYGEİY EK-IV de verilen Atık Listesinde (01) kodlu “Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar” – (01 03) “Metalik minerallerin fiziki ve kimyasal olarak işlenmesinden kaynaklanan atıklar” grubuna dahil olup, bu tür atıklar “Atık Listesi” alt sınıflarında (01 03 09) “01 03 07 dışındaki alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur” olarak kodlanmıştır.

Atık kırmızı çamurun yarı kantitatif analizi sonucu belirlenen elementler AYGEİY EK-III A maddesine göre tehlikeli olarak nitelendirilmektedir. Ancak; söz konusu elementlerin atık numunesi içindeki tespit edilen miktarları, AYGEİY EK-III B maddesinde belirtilen eşik konsantrasyonların oldukça altındadır. Çizelge 3’de “Alevlenebilir (F)” olarak nitelendirilen elementler için AYGEİY EK-III B’ de belirlenmiş bir eşik konsantrasyonu mevcut değildir. Ancak, AYGEİY EK-III B’ de kolay alevlenebilir nitelikteki elementler için “Parlama Noktası” eşik değeri tanımlanmış ve “Parlama Noktası” 55°C değerinden düşük maddeler tehlikeli atık olarak nitelendirilmiştir. “Alevlenebilir (F)” olarak nitelendirilen ve AYGEİY EK-III B’de eşik değeri belirlenmemiş Magnezyum (Mg), Mangan (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S), Skandiyum (Sc), Yttriyum (Y), Çinko (Zn) ve Zirkonyum (Zr) elementlerinin, literatürden belirlenmiş parlama noktaları, AYGEİY EK-III B’ de belirlenmiş parlama noktası eşik değerinin (Parlama noktası  $\leq$  55°C) çok üzerindedir. Kırmızı çamur içerisinde yer alan Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Hidroksikankrinit

( $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), Gibsit ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), Ulvospinel ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ), Rutil ( $\text{TiO}_2$ ) ve Kristobalit ( $\text{SiO}_2$ ) fazlarının toplam miktarı (ağırlıkça %94.5), AYGEİY EK IIIB' de belirtilen eşik değerinden (%20) yüksektir. Kırmızı çamurun  $105^\circ\text{C}$  sıcaklıkta kurutulması sonucu elde edilen katı maddesinde gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemleri sonucunda; ağırlıkça % 0.1 oranında ekstrakt içerdiği tespit edilmiştir. Elde edilen ekstraktın, fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile gerçekleştirilen inceleme sonucunda, parafinik mineral yağ esaslı olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu atık numunesi içindeki parafinik mineral yağın miktarı (% 0.1) AYGEİY EK-IIIB' de belirtilen eşik değerinden (%20) düşüktür (Çizelge 4). Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı, bu çalışmada kullanılan ve Eti Alüminyum A.Ş'den temin edilen atık kırmızı çamurun, AYGEİY kriterlerine göre Çizelge 3 ve Çizelge 4'de verilen özellikleri incelenmiş, kırmızı çamur atığı orijinal haliyle "tehlikeli atık" olarak tanımlanmıştır.

**Çizelge 3.** Atık kırmızı çamurun AYGEİY EK-IIIB yönetmeliğine göre değerlendirilmesi

Element	Miktar (% ağırlıkça)	Tehlike işareti	Eşik değeri
Arsenik (As)	0.016	T: Zehirli madde	$\geq\%3$
Klor (Cl)	0.085	T: Zehirli madde	$\geq\%3$
Krom (Cr)	0.078	F: Alevlenebilir, Xi: Tahriş edici	$\geq\%1$
Galyum (Ga)	0.004	C: Korozif	$\geq\%5$
Potasyum (K)	0.619	F: Alevlenebilir, C: Korozif	$\geq\%5$
Magnezyum (Mg)	0.192	F: Alevlenebilir	- <sup>+</sup>
Mangan (Mn)	0.019	F: Alevlenebilir	- <sup>+</sup>
Niyobyum (Nb)	0.009	Xi: Tahriş edici	$\geq\%20$
Nikel (Ni)	0.059	Xn: Zararlı madde	$\geq\%1$
Fosfor (P)	0.019	F: Alevlenebilir, N: Çevre için zararlı	- <sup>+</sup>
Kurşun (Pb)	0.154	T: Toksik, N: Çevre için tehlikeli	$\geq\%0.5$
Rubidyum (Rb)	0.003	F: Alevlenebilir, C: Korozif	$\geq\%5$
Kükürt (S)	0.273	F: Alevlenebilir, Xi: Tahriş edici	- <sup>+</sup>
Skandiyum (Sc)	0.012	F: Alevlenebilir	- <sup>+</sup>
Stronsiyum (Sr)	0.005	F: Alevlenebilir	$\geq\%20$
Toryum (Th)	0.009	C: Korozif	$\geq\%1$
Yitriyum (Y)	0.016	F: Alevlenebilir	- <sup>+</sup>
Çinko (Zn)	0.007	F: Alevlenebilir	- <sup>+</sup>
Zirkonyum (Zr)	0.107	F: Alevlenebilir	- <sup>+</sup>

<sup>+</sup>: AYGEİY EK-IIIB' de eşik konsantrasyonu belirtilmemiştir.

Çizelge 4. Atık kırmızı çamurun yaş kimyasal analizi

Analiz	Sonuç	Yöntem	Eşik değeri
Katı madde miktarı (% ağırlık)	94.6	ASTM D 1259	<%20
İnorganik madde miktarı (% ağırlık)	94.5	ASTM D 1063	<%20
İnorganik madde cinsi	1) Hematit, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	XRD-Mineralojik analiz	
	2) Hidroksikankrinit, Na <sub>8</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub> (OH) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O		
	3) Kalsit, CaCO <sub>3</sub>		
	4) Gipsit, Al(OH) <sub>3</sub>		
	5) Ulvospinel, Fe <sub>2</sub> TiO <sub>4</sub>		
	6) Rutil, TiO <sub>2</sub>		
	7) Kristobalit, SiO <sub>2</sub>		
Organik madde miktarı (% ağırlık)	0.1	ASTM D 1259	<%20
Organik madde cinsi	Mineral yağ	FTIR spektroskopisi	
Su miktarı (% ağırlık)	3.7	ASTM D 95	

### 3.2. Kırmızı Çamur İkamelı Renkli Beton Üretimi

Kentsel yaşam alanlarının düzenlenmesinde parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları önemli bir yere sahiptir.

**Parke taşı:** Kent içi yollarda (ağır taşıt trafiğinin yoğun olmadığı cadde ve sokaklarda), kaldırımlarda, yaya yollarında kullanılan beton yapı elemanlarıdır. Kullanım yeri ve özelliğine bağlı olarak parke taşları farklı tip ve ebatlarda üretilmektedir.

**Bordür:** Kaldırım ve refüjleri yoldan ayırmak ve yol yüzeyine gelen suları, yağmur suyu sistemine yönlendirmek amacıyla kaldırım ve refüj kenarlarına dizilen çeşitli boy ve kesitlerde betondan imal edilen yapı elemanlarıdır.

**Şehir mobilyası:** Çok değişik fonksiyonları olan ve bunları bir arada barındıran elemanlar sistemi olup, kent yaşamını daha zevkli ve anlamlı kılan, kentsel konfor ve estetik yaratmakta olup, toplumsal yaşama olumlu katkılarda bulunmaktadır. Banklar, çiçeklikler, masalar, çöp kutuları ve sınır elemanları şehir mobilyalarına birer örnektir.

Atık kırmızı çamurun çevre ve insan sağlığına olan zararlı etkilerinin azaltılmasının amaçlandığı bu çalışmada; tek başına tehlikeli olan bu atık, ticari ürünler içerisinde değerlendirilerek, parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları üretilmiştir. Ön işlemlerden geçirilmiş kırmızı çamur; parke taşı ve bordür üretimlerinde, ticari Bayer 130G pigmenti, şehir mobilyaları üretimlerinde ise ticari olarak satılan kuvars esaslı kırmızı renkli mozaik agrega 0-0.5 mm yerine, %100 oranında kullanılmıştır (Çizelge 5-6). Ayrıca; ticari Bayer pigmenti kullanılarak (deneme 2 ve 4), ticari kuvars esaslı kırmızı agrega kullanılarak (deneme 6), kontrol reçeteleri (deneme 1, 3 ve 5) hazırlanarak, üretim sonrası renk ve mekanik özellikleri karşılaştırma için kullanılmıştır.

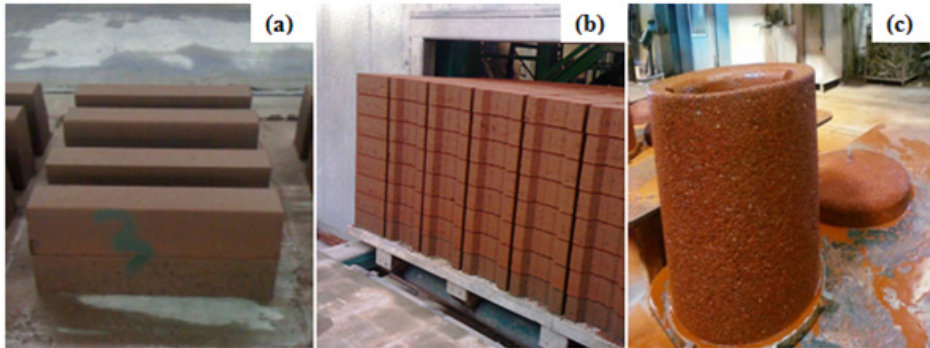
Çizelge 5. Parke taşı ve bordür üst tabaka deneme reçetesi (1 m<sup>3</sup> için)

	% Ağırlıkça				
	CEM I 42.5 Portland çimento	Kum (0-3 mm)	Su	Bayar 130G	Atık kırmızı çamur
<b>Parke taşı</b>					
Deneme 1 (kontrol 1)	19.5	73.1	6.8	0.6	-
Deneme 2	19.5	73.1	6.8	-	0.6
<b>Bordür</b>					
Deneme 3 (kontrol 2)	19.5	73.1	6.8	0.6	-
Deneme 4	19.5	73.1	6.8	-	0.6

Çizelge 6. Şehir mobilyaları deneme reçetesi (1 m<sup>3</sup> için)

	% Ağırlıkça					
	CEM I 32.5 Portland çimento	Kuvars esaslı agrega			Pulverize kırmızı çamur	Su
		(4-6 mm)	(2-4 mm)	(0-0.5 mm)		
Deneme 5 (kontrol 3)	25.97	7.96	51.28	8.29	-	6.49
Deneme 6	25.97	7.96	51.28	-	8.29	6.49

Renkli beton üretimlerine ait görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Renkli beton ürünleri (a) Bordür, (b) Parke taşı, (c) Şehir mobilyası

**3.3. Kırmızı Çamur İkameli Renkli Beton Ürünlerinin Çevreye Uyumluluk Testleri**

Başlangıçta tehlikeli bir atık olan kırmızı çamurun; parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları üretiminde, ticari Bayer 130G pigmenti ve kuvars esaslı agrega yerine % 100 oranında kullanılması sonucu geliştirilen ürünlerin, ADDDY Yönetmeliği ve çevre-iklim şartlarında renk performanslarının ölçülmesi ile çevreye uyumluluk değerlendirilmeleri yapılmıştır. 26/03/2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğinin (ADDDY)” amaçlarından bazıları; atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sürecinde oluşabilecek sızıntı sularının ve depo gazlarının toprak, hava, yeraltı suları ve yüzeysel suların üzerindeki olumsuz etkilerinin en düşük düzeye indirilerek, çevre kirliliğinin önlenmesi için gereken genel kuralları belirlemektir [7]. Yönetmelikte yer alan inert atık, tehlikeli atık ve tehlikesiz atıkların depolanabilme parametreleri sınır değerleri ile parke taşı, bordür ve şehir mobilya denemelerinin parametre değerleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 7). Buna göre; parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları; krom ve toplam çözünen katı madde parametre değerinin “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY)” Ek-2 Atıkların Düzenli Depolanabilmesi için kabul kriterleri- Tehlikesiz Atıkların Depolanabilme Kriterlerine göre II. Sınıf depolama tesisleri için sınır değerlerine göre uygun olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7). Çevreye uyumluluk deneyleri sonucunda kırmızı çamurun başlangıçta tehlikeli bir atık olduğu, ancak bu çamur kullanılarak geliştirilen parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları ürünlerinin tehlikeli olmaktan çıkarak, kullanım sırasında farklı iklim koşullarında (yağmur sularının ürüne ve oradan toprağa sızması gibi) çevreye zarar vermeyeceği ve tehlikesiz atıkların depolanabilme kriterlerine göre kullanılarak, depolanabileceği belirlenmiştir.

Çizelge 7. ADDDY- EK 2 limit değerleri

Parametre (mg/l)	Parke taşı	Bordür	Şehir mobilyası	ADDY/ Ek-2 limit değerler			Analiz Yöntemleri
				İnert atıkların Depolanabilme Kriterleri III. Sınıf Depolama Tesisleri	Tehlikesiz atıkların Depolanabilme Kriterleri II. Sınıf Depolama Tesisleri	Tehlikeli atıkların Depolanabilme Kriterleri I.Sınıf Depolama Tesisleri	
Arsenik	0.002	0.002	0.002	0.05	0.2	2.5	EPA 6020 A (ICP – MS)
Baryum	0.105	0.086	0.045	2	10	30	
Kadmium	<0.00004	<	<0.00004	0.004	0.1	0.5	
Krom	0.076	0.108	0.002	0.05	1	7	
Bakır	0.014	0.018	0.014	0.2	5	10	
Cıva	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.001	0.02	0.2	TS 2537 EN 1483
Molibden	0.0014	0.0014	0.006	0.05	1	3	EPA 6020 A (ICP – MS)
Nikel	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.04	1	4	
Kurşun	0.0064	0.0008	0.0013	0.05	1	5	
Antimon	0.0004	0.0003	0.0005	0.006	0.07	0.5	
Selenyum	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.01	0.05	0.7	
Çinko	0.025	0.033	0.012	0.4	5	20	
Klorür	0.97	2.24	0.27	80	1500	2500	İyon Kromatografi
Florür	0.2	0.22	0.3	1	15	50	İyon Seçici Elektrot
Sülfat	5.8	7.5	4.9	100	2000	5000	İyon Kromatografi
Çözülmüş Organik	1.38	1.26	4.01	50	80	100	Yüksek sıcaklıkta yakma
Toplam Çözünen Katı Madde	568	600	878	400	6000	10000	Gravimetrik
Fenoller	<0.07	<0.07	<0.07	0.1			Fotometrik



### 3.4. Kırmızı Çamur İkameli Renkli Beton Ürünlerin Ömür Performans Testleri

Kırmızı çamur ikameli beton ürünlerin renklerinin, güneş ışığı ve/veya iklim koşullarından etkilenme derecesi TS 5358 EN 12608 standardına göre gerçekleştirilen ömür performans testleri ile belirlenmiştir [8]. Ömür performans testleri için; Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün, Marmara Bölgesi için verdiği istatistiklerden, 1975-2011 yılları arasındaki kış koşullarında, hava sıcaklık verileri ortalaması  $-10^{\circ}\text{C}$ , yaz koşulları için hava sıcaklık verileri ortalaması ise  $+40^{\circ}\text{C}$  hesaplanmıştır [9]. Yaz ve kış sıcaklıkları dikkate alınarak, 1 yıllık süreye karşılık gelen 37 çevrim için bir program oluşturulmuş, geliştirilen ürünler Atlas marka SC 600 MGH model solar klimatik test kabininde bekletilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Renkli beton ürünlerinin iklimlendirme kabineye yerleştirilmesi

Ömür performans testi öncesi ve sonrası renk özellikleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 8) Renk ölçümleri, X-Rite marka SP64 el tipi spektrometre cihazı ile belirlenmiş olup, ölçümlerde  $L^*$ , bir cismin açıklık/koyuluğunu göstermekte ve 0-100 arasında değer almaktadır.  $a^*$  değerinin pozitif olması kırmızı rengi,  $b^*$  değerinin pozitif olması ise sarı rengi ifade etmektedir. Renkli beton ürünlerinin ömür performans testi öncesi ve sonrası aynı bölgeden alınan 5 ölçümün ortalama renk ölçüm sonuçlarına göre, kırmızı çamur ikameli renkli beton ürünlerin  $+a$  verileri ile gösterilmiş olan kırmızı renk özelliklerinin, kış koşullarında değişmediği, yaz koşullarında ise güneş ışığından ise az miktarda etkilendiği belirlenmiştir.

**Çizelge 8.** Kırmızı çamur ikameli renkli beton ürünlerin +40°C’de ve -10°C’de ömür performans testi öncesi ve sonrası ortalama renk ölçüm sonuçları

+40°C				-10°C			
Önce		Sonra		Önce		Sonra	
a*	b*	a*	b*	a*	b*	a*	b*
4.52	6.86	3.89	4.78	3.52	5.47	3.55	5.51

#### 4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Eti Alüminyum-Cengiz Grup A.Ş tesislerinden temin edilen atık kırmızı çamur ve bu çamurun ön iyileştirme işlemleri sonrası kullanımıyla geliştirilen parke taşı, bordür ve şehir mobilyalarının çevreye uyum performansları incelenmiştir. Orijinal haliyle atık kırmızı çamur; içerisinde yer alan radyoaktif elementlerin miktarlarının, Gama spektroskopisi radyoaktivite ölçüm sonuçlarına göre, güvenli limit değerleri içerisinde olduğu belirlenmiştir. Kırmızı çamurun orijinal haldeki, kimyasal ve mineralojik bileşimi “Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğe (AYGEİY)” göre toksik olarak değerlendirilmiştir. Yönetmelikteki limit değerlerine göre; Seydişehir atık kırmızı çamuru tehlikeli bir atık olduğundan, atık olarak bırakıldığında çevre ve insan sağlığı için tehlike arz etmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada kırmızı çamur; parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları gibi ürünlerde renkli pigment ve agrega yerine kullanılmıştır. Üretim sonrası, kırmızı çamur ikameli renkli beton ürünlerin çevre ve insan sağlığı için tehlike limitleri belirlenmiştir. Bu ürünlerin kullanıldıkları yerlerde ve kullanım sürelerince bir nevi depolanma durumu söz konusu olduğundan, değerlendirmeler "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğin (ADDDY)” limit değerlerine göre yapılmıştır. Çevreye uyumluluk deneyleri sonucunda, başlangıçta tehlikeli bir atık olan kırmızı çamurun, parke taşı, bordür ve şehir mobilyaları gibi ürünler içerisinde kullanıldığında, çevreye zarar vermeyeceği ve tehlikesiz atıkların depolanabilme kriterlerine göre kullanılarak, depolanabileceği belirlenmiştir.

Kırmızı çamur ikameli renkli beton ürünlerin; +40°C ve -10°C sıcaklıklarda, 1 yıllık süreye karşılık gelen 37 çevrim için gerçekleştirilen ömür performans testleri sonrası, renk ölçüm sonuçlarına göre, kırmızı renk özelliğinin, kış ve yaz koşullarından fazla etkilenemeyerek kırmızı renklerini koruduğu belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile kırmızı çamur atığının, atık malzeme durumundan çıkarılıp, ürün içerisinde az miktarda olsa bile, toplamda inşaat sektörü gibi büyük miktarlarda tüketimine olanak sağlayacak bir alanda kullanımının mümkün olduğu görülmüştür. Atık kırmızı çamurun ön iyileştirme sonrası renkli beton üretiminde pigment ve agrega olarak kullanımı ile çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeli bir atıktan, tehlikesiz ticari ürünler elde edilebilmiş, ülke ekonomisi ve toplum sağlığı açısından da fayda sağlanmıştır.

#### Acknowledgments / Teşekkür

Çalışmada kullanılan atık kırmızı çamuru sağlayan Cengiz Şirketler Grubu bünyesinde faaliyet gösteren Eti Alüminyum A.Ş.’ye, renkli beton ürünlerin üretimi için İSTON A.Ş.’ye ve AYGEİY yönetmeliğine göre kimyasal analizler için Doç.Dr.Emel YILDIZ’a teşekkür ederiz. Çalışma “Kalsine Kırmızı Çamurun Puzolanik Aktivite ve Betonun Renklendirme, Mineraloji ve Fiziksel Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi” başlıklı doktora tezinin ve EUREKA E!3824 INWASCOMP-“From Industrial Wastes to Commercial Products” ile TEYDEB 1509-9090031 “Endüstriyel Atıklardan Ticari Ürünlere” konulu projenin bir kısmını kapsamaktadır. Yıldız Teknik Üniversitesi’ne ve projedeki mali destekleri için TÜBİTAK TEYDEB’e teşekkür ederiz.

**REFERENCES / KAYNAKLAR**

- [1] Senff, L., Hotza, D., Labrincha, J.A., “Effect of Red Mud Addition on the Rheological Behaviour and on Hardened State Characteristics of Cement Mortars”, *Construction and Building Materials*, 25, 163-170, 2011.
- [2] Akıncı, A., Artır, R., “Characterization of Trace Elements and Radionuclides and Their Risk Assessment in Red Mud”, *Materials Characterization* 59, 417-421, 2008.
- [3] Günay, E., Kılıç, Y., Arslan, E.G., et al., “Utilization of Waste Red Mud in The Production of Coloured Paving Stone and Curb Stone”, *Waste Management*, in press, 2012.
- [4] Günay, E., Arslan, E.G., Kılıç, Y., et al., “The Utilization of Waste Red Mud for Colouring of City Furnitures”, *Waste Management&Research*, in press, 2012.
- [5] İSTON A.Ş., TUBITAK MAM, “Endüstriyel Atıklardan Ticari Ürünlere Projesi”, *Proje Sonuç Raporu*, Kocaeli, 2011.
- [6] 26927 sayılı Resmi Gazete, “Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik”, 05/07/2008.
- [7] 27533 sayılı Resmi Gazete, “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik”, 26/03/2010.
- [8] TS 5358 EN 12608, “Sert Polivinilklorür (PVC-U) Profiller-Pencere ve Kapıların Fabrikasyon Olarak İmalatında Kullanılan Sınıflandırma, Özellikler ve Deney Yöntemleri”, 2004.
- [9] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Available from:<http://mgm.gov.tr> [Erişim tarihi: Haziran 25,2013].
- [10] Kılıç, Y., Arslan, E.G, Kara, M., et. al., “Utilization of Red Mud as a Pigment in the Production of Paving Stone and Curb Stone”, *II. International Ceramic, Glass, Porcelain, Enamel, Glaze and Pigment Congress*, Eskişehir, 2011.