

Kırmızı Çamur–Aljinat Kompozit Kürelerle Tekstil Boyar Madde Giderimi

Sabriye SİVRİ¹, Elif KOÇ², Özkan BEYAZ², Mehmet İŞLEYEN², Ayşe KALEMTAŞ^{3*}

¹Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

²Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

³Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bursa.
e-posta: ayse.kalemtas@btu.edu.tr

Geliş Tarihi: 02.09.2019; Kabul Tarihi: 14.10.2019

Öz

Bu çalışmanın amacı Konya Eti Alüminyum firmasından temin edilen kırmızı çamur kullanılarak üretilen kompozit kürelerle tekstil atık sularından reaktif boyar madde (mavi, RB21) giderimidir. Bu amaçla milimetre boyutlarında kırmızı çamur–aljinat kompozit küreler üretilmiştir. Kırmızı çamur Bayer prosesiyle alümina üretim sürecinde ortaya çıkan ve karmaşık bir yapıya sahip olan bir endüstriyel katı atıktır. Alümina üretiminde 1 ton alümina üretimi için yaklaşık 1–1,5 ton kırmızı çamur açığa çıkmaktadır. Bu çalışma ile endüstriyel bir katı atığın boyar madde gideriminde kullanılmasıyla çevreye vereceği zararın en aza indirilmesi yanı sıra belirli bir katma değere sahip bir ürüne dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Reaktif bir tekstil boyası (mavi, RB21) içeren çözeltiler, konsantrasyonu 50 ppm olacak şekilde hazırlanmış ve çözeltilerin pH değerleri, NaOH ve HCl çözeltileri kullanılarak pH \approx 3,2–4,4–6,1–8,4–10,1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Boya giderim çalışmaları 100 ml 50 ppm boya çözeltileri ve 0,3 g kurutulmuş ve 1,5 M HCl ile işleme tabi tutulmuş kompozit kürelerle, iki saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda en yüksek boya gideriminin (%98) pH \approx 6,1’de ve en düşük boya gideriminin (%82) pH \approx 3,2’de elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Boyar madde giderimi;
Adsorpsiyon; Kırmızı çamur; Seramik küre.

Removal of Textile Dyes with Red Mud–Alginate Composite Spheres

Abstract

The aim of this study is to remove reactive dye (blue, RB21) from textile wastewater by using composites produced by using red mud taken from Konya Eti Aluminum Company. For this aim, red mud–alginate composite spheres that have millimeter size dimensions were produced. Red mud is a complex industrial solid waste that is provided by Bayer process in the alumina production process. Approximately 1-1.5 tons of red mud is produced for 1 ton of alumina production. In this study, it is aimed to minimize the harmful effect of red mud to the environment by using an industrial solid waste for dye removal and to convert it to a product with a certain added value. Solutions containing 50 ppm reactive textile dye (blue, RB21) were prepared and pH of the solutions were adjusted to pH \approx 3.2–4.4–6.1–8.4–10.1 by using NaOH and HCl solutions. Dye removal studies were carried out for two hours by using 100 ml 50 ppm dye solution and 0.3 g dried and 1.5 HCl treated composite spheres. It was determined that the highest dye removal efficiency (98%) was obtained at pH \approx 6.1 and the lowest efficiency (82%) was obtained at pH \approx 3.2.

Keywords

Dye removal;
Adsorption; Red mud;
Ceramic sphere.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Günümüzde çözülmesi gereken en önemli çevre sorunlarından biri tekstil atık sularında bulunan boyar maddelerin giderimidir. Tekstil endüstrisi

endüstriyel atık su oluşturan tesislerin başında gelmektedir. Özellikle boyama ve terbiye işlemi sırasında çok fazla su tüketilmekte dolayısıyla çok fazla atık su oluşmaktadır. Üretilen ürünün (kumaş,

elyaf vb.) renklendirilmesini içeren boyama adımında ürünü renkli hale getiren kimyasal boyar maddelerdir ve suya zararı veren bu kimyasallardır. Bu çalışmanın amacı Konya Eti Alüminyum firmasından temin edilen kırmızı çamur kullanılarak tekstil atık sularından reaktif boyar madde (mavi, RB21) giderimidir. Bu amaçla kırmızı çamur kullanılarak birkaç milimetre boyutlarında seramik-polimer kompozit küreler üretilecektir. Bu çalışma ile endüstriyel bir katı atığın boyar madde gideriminde kullanılmasıyla çevreye vereceği zararın en aza indirilmesi yanı sıra belirli bir katma değere sahip bir ürüne dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

Kırmızı çamur Bayer prosesiyle alümina üretim sürecinde ortaya çıkan ve karmaşık bir yapıya sahip olan bir endüstriyel katı atıktır. Alümina üretiminde kullanılan boksit mineralinin kostik soda ile liç işlemi sırasında genellikle bir ton alümina üretim sürecinde bir ile bir buçuk ton aralığında kırmızı çamur açığa çıkmaktadır (Brunori, Cremisini, Massanisso, Pinto, & Torricelli, 2005). Alümina ise pek çok farklı endüstriyel uygulama alanında kullanımının yanı sıra alüminyum metalinin üretiminde de kullanılmaktadır. Bir ton alüminyum metalinin üretimi için yaklaşık iki ton alümina kullanılmaktadır. Demir dışı metal endüstrisinde en yaygın kullanıma sahip metal olan alüminyum dünyada çok büyük miktarlarda üretime sahiptir. Alüminyum ve alümina üreten tesisler için ortaya çıkan çok miktardaki kırmızı çamurun depolanması oldukça büyük bir sorun teşkil etmektedir (Kumar, Kumar, & Bandopadhyay, 2006). Alümina ve alüminyum üretim sürecinde çok miktarda kırmızı çamur atık olarak ortaya çıkmakta ancak bu atığın sadece yaklaşık %10 gibi oldukça düşük bir kısmı farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Liu et al., 2016).

Literatürü incelediğimizde kırmızı çamurun çimento (Kavas, Angelopoulos, & Iacobescu, 2015; Ribeiro, Labrincha, & Morelli, 2011; Romano, Bernardo, Maciel, Pileggi, & Cincotto, 2018), beton (de Oliveira & Rossi, 2012; Kohno, Amo, Ogawa, & Gyotoku, 1995; Tang, Wang, Liu, & Cui, 2018),

jeopolimer (Kaya & Soyer-Uzun, 2016), seramik (Babisk et al., 2014; Hu & Wang, 2013; Karasu, Agun, & Kaya, 2005; Karasu, Caki, Akgun, & Kaya, 2004; Kolesnikova et al., 1998) ürünlerin üretimi, değerli metallerin geri kazanımı (Fe, Ni, Ti ve Si gibi) (He et al., 2014; Isshiki & Igaki, 1981; Kasai, Mizota, & Takahashi, 1993), organik kirleticilerin (Aydin, 2016), boyaların (Gupta, Suhas, Ali, & Saini, 2004; Kazak, Eker, Akin, Bingol, & Tor, 2017), kurşun (Babu, Mohan, Kalpana, & Ravindhranath, 2017), kadmiyum, bakır, arsenik gibi toksik diğer kirleticilerin sudan uzaklaştırılması (Apak, Atun, Guclu, Tutem, & Keskin, 1995; Apak, Guclu, & Turgut, 1998a; Ju et al., 2012; Katircioglu, Dursun, & Yavuz, 2016) gibi farklı uygulama alanlarında kullanımına yönelik olarak gerçekleştirilmekte olan bilimsel çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Bu konuda ülkemizde de özellikle kırmızı çamurun karakterizasyonu, adsorpsiyon çalışmalarında değerlendirilmesi ve seramik sektöründe özellikle de tuğla üretiminde kullanımına yönelik değerli bilimsel araştırma çalışmaları yapılmaktadır (Apak et al., 1995; Apak et al., 1998a; Apak, Tutem, Hugul, & Hizal, 1998b; Arslan, Demir, Celikel, Baygul, & Suarez, 2012; Atasoy, 2005; Atun & Hisarlı, 2000; Aydin, 2016; Karasu et al., 2005; Karasu et al., 2004; Katircioglu et al., 2016; Kavas, 2006; Kavas et al., 2015; Kaya & Soyer-Uzun, 2016; Kazak et al., 2017; Kilic, Gunay, & Marsoglu, 2014).

Kırmızı çamurun bileşimi sabit olmamakla birlikte içerisinde genel olarak yüksek oranda Fe_2O_3 (% 30-60) ile birlikte Al_2O_3 (% 5-20), SiO_2 (% 1-20), Na_2O (% 1-10) ve TiO_2 (eser - % 10) bulunmaktadır. Bunların yanı sıra kırmızı çamurda eser miktarlarda baryum, bakır, sodyum, vanadyum, krom, nikel, kurşun, mangan, potasyum ve çinko gibi farklı safsızlıklar da yer alabilmektedir. Kırmızı çamur içerisinde yer almakta olan yüksek miktarlardaki alkali içeriği ekosisteme önemli zararlar vermektedir. Özellikle de toprağa ve yeraltı sularına karışması ciddi sorunlara neden olmaktadır (Zhang, Sun, Liu, & Zhang, 2009). Bu nedenle kırmızı çamurun farklı uygulama alanlarında değerlendirilmesi hem doğal kaynakların verimli kullanılması adına, hem de endüstriyel

üretimlerden kaynaklı çevreye verilen zararın en aza indirilmesi adına oldukça önemlidir.

2. Materyal ve Yöntem

Gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan kırmızı çamur Eti Alüminyum A.Ş. (Konya) firmasından temin edilmiştir. Kırmızı çamur hiçbir ön işleme tabi tutulmadan XRF ile elementel kimyasal analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1). Kırmızı çamurun oldukça yüksek oranda demir, kalsiyum ve alüminyum içerdiği belirlenmiştir. Bu elementlerin yanı sıra azımsanmayacak oranlarda silisyum, sodyum ve titanyum içerdiği saptanmıştır. Ayrıca her biri % 0,5'in altında olmak kaydıyla diğer pek çok elementin de kırmızı çamurda bulunduğu saptanmıştır.

Çizelge 1. Kırmızı çamurun XRF analiziyle belirlenen kimyasal bileşimi.

Element	ağ. %	Element	ağ. %
Fe	37,80	Cr	0,11
Ca	21,50	Ni	0,10
Al	16,70	Zn	0,08
Si	9,28	As	0,04
Na	9,07	P	0,04
Ti	4,13	Co	0,04
Mg	0,32	Sr	0,03
S	0,31	Y	0,03
K	0,29	Cl	0,02
Zr	0,20	Nb	0,01

Küre üretiminde kullanılmak üzere ağırlıkça %3 oranında sodyum aljinat içeren homojen bir çözelti 24 saat süreyle magnetik karıştırma yöntemiyle hazırlanmıştır. Çamur hazırlama süreci aksel değirmende 350 devir/dakika hızla ve 45 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan 150 ml sodyum aljinat çözeltisine 30 gram herhangi bir işleme tabi tutulmamış kırmızı çamur porselen bir havanda öğütüldükten sonra ilave edilmiştir. Çapraz bağlama işleminde kullanılmak üzere ağırlıkça %1 oranında $CaCl_2$ içeren çözelti oda koşullarında, 1 saat süreyle, manyetik karıştırma ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan çamur bir şırınga ve peristaltik pompa yardımıyla $CaCl_2$ içeren çözelti

içerisine damlatılarak küre üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kırmızı çamur-aljinat kompozit kürelere ait temsili bir görüntü Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Hazırlanan kırmızı çamur-aljinat kompozit küreler.

Kırmızı çamur-aljinat kompozit küreler boya giderimi çalışmalarında kullanılmadan önce 1,5 M HCl çözeltisi içerisinde bir saat bekletilmiştir. Sonra da defalarca saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuş ve ardından da 70°C'de etüv içerisinde kurutulmuştur.

Bu çalışmada bir gram RB21 kodlu mavi tekstil boyası 1000 ml distile su içerisinde çözülerek 1000 ppm'lik bir stok çözeltisi hazırlanmıştır. Stok çözeltisi kullanılarak her biri 100 ml olacak şekilde, 5 farklı behere 50 ppm'lik boya çözeltisi hazırlanmıştır. RB21 kodlu tekstil boyasının dalga boyu Thermo Scientific Evolution 201 spektrofotometre cihazı kullanılarak 625 nm olarak ölçülmüştür.

NaOH ve HCl çözeltileri kullanılarak $pH \approx 3,2-4,4-6,1-8,4-10,1$ değerinde beş farklı çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan 100 ml hacminde ve 50 ppm boyar madde derişimine sahip çözelti içerisine 0,3 gram kırmızı çamur-aljinat kompozit kürelerden ilave edilmiştir. Zamana karşı alınan numuneler 0,22 μm şırınga filtreden geçirilerek spektrofotometre ile 625 nm dalga boyunda adsorbansları ölçülmüştür. Buna göre elde edilen dalga boyunda hazırlanan boya çözeltilerinin başlangıç adsorban değerleri ölçülmüş ve daha sonra karıştırıcıda karıştırılmaya bırakılmıştır. Yarım

saat aralıklar ile 2 saat boyunca alınan numunelerin adsorpsiyon değerleri ölçülmüştür.

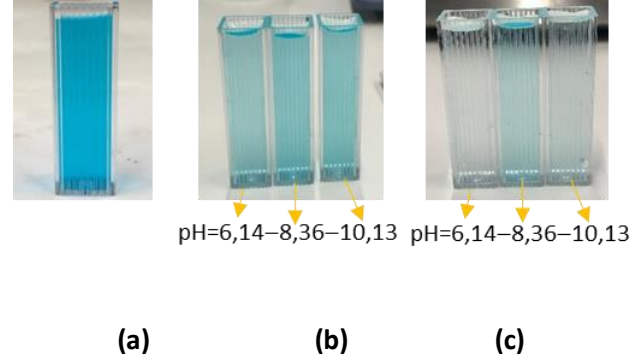
3. Bulgular

Üretilen kırmızı çamur–aljinat kompozit küreler ile gerçekleştirilen boya giderim çalışmalarında iki saatin sonunda boya giderim oranının ~%82–98 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 2). En yüksek boya giderim veriminin $pH \approx 6,1$ 'de ve en düşük verimin ise $pH \approx 3,2$ 'de elde edildiği belirlenmiştir.

Çizelge 2. Zamana ve pH değerine bağlı olarak boya giderim oranları

	pH=3,15	%	pH=4,42	%
Başlangıç	1,203		1,353	
30'	0,249	79,3	0,245	81,9
60'	0,229	81,0	0,198	85,4
90'	0,225	81,3	0,175	87,1
120'	0,220	81,7	0,152	88,8
	pH=6,14	%	pH=8,16	%
Başlangıç	1,336		1,36	
30'	0,211	84,2	0,299	78,0
60'	0,107	92,0	0,153	88,8
90'	0,051	96,2	0,148	89,1
120'	0,031	97,7	0,147	89,2
	pH=10,13	%		
Başlangıç	1,363			
30'	0,301	77,9		
60'	0,113	91,7		
90'	0,098	92,8		
120'	0,096	93,0		

En yüksek boya gideriminin gerçekleştiği $pH \approx 6,1$ 'de ilk yarım saatte %84,2 boya giderim değerine ulaştığı ve en kısa sürede de en yüksek boya gideriminin de yine bu pH değerinde gerçekleştiği belirlenmiştir (Çizelge 2). Şekil 2'de boya giderim sürecinde farklı sürelerde ve pH'larda spektrofotometrede ölçüm alınan çözeltilere ait görsel yer almaktadır.



Şekil 2. Hazırlanan boya karışımlarına ($pH \approx 6,1-8,4-10,1$) kompozit küre ilave edilip boyar madde giderimi çalışması sürecinde çözeltilerin (a) başlangıç, (b) 30 dakika ve (c) 120 dakika sonra görünümü.

4. Tartışma ve Sonuç

- Kırmızı çamur Bayer prosesiyle alümina üretim sürecinde ortaya çıkan ve karmaşık bir yapıya sahip olan bir endüstriyel katı atıktır. Alümina üretim sürecinde genellikle bir ton alümina üretimi sonucunda bir ile bir buçuk ton aralığında kırmızı çamur açığa çıkmaktadır. Bu atığın depolanması bile önemli bir çevre sorununa ve ekonomik sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle bu atığın katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir.
- Bu çalışma ile endüstriyel bir katı atığın boyar madde gideriminde kullanılmasıyla çevreye vereceği zararın en aza indirilmesi yanı sıra belirli bir katma değere sahip bir ürüne dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla kırmızı çamur herhangi bir kimyasal ön işleme tabi tutulmaksızın kullanılarak birkaç milimetre boyutlarında seramik–polimer kompozit küreler üretilmiş ve boya giderim çalışmalarında kullanılmıştır.
- Gerçekleştirilen bu çalışma literatürde ilk defa kırmızı çamurun aljinat ile birlikte kompozit küre üretiminde kullanılarak boya giderim çalışmasında kullanıldığı çalışma olma özelliğindedir.
- İki saat süreyle boya giderim çalışmaları $pH \approx 3,2-4,4-6,1-8,4-10,1$ değerlerinde

gerçekleştirilmiştir. İki saatin sonunda boya giderim oranının ~%82–98 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek boya giderim veriminin $pH \approx 6,1$ 'de ve en düşük verimin ise $pH \approx 3,2$ 'de elde edildiği belirlenmiştir.

- Bu çalışmanın devamında farklı küre bileşimlerinde (kırmızı çamur:aljinat oranı), farklı miktarlarda küre kullanımı ve farklı sıcaklıklarda boya giderim çalışmaları yapılarak kinetik çalışmalar gerçekleştirilecektir. Giderim çalışmaları sonrası kürelerin yapısal karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada üretilen kompozit kürelere tek bir HCl çözeltisi ile ön işlem yapılmıştır. İlerleyen çalışmalarda farklı molaritelere sahip HCl çözeltilerinin boya giderim oranlarına etkisi detaylı olarak incelenecektir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan kırmızı çamur Eti Alüminyum A.Ş. (Konya) firması tarafından temin edilmiştir. Firma yetkililerine bilimsel çalışmalara verdikleri destek için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Apak, R., Atun, G., Guclu, K., Tutem, E., & Keskin, G. 1995. Sorptive Removal of Cesium-137 and Sr-90 from Water by Unconventional Sorbents .1. Usage of Bauxite Wastes (Red Muds). *Journal of Nuclear Science and Technology*, 32(10): 1008-1017.
- Apak, R., Guclu, K., & Turgut, M. H. 1998a. Modeling of copper(II), cadmium(II), and lead(II) adsorption on red mud. *Journal of Colloid and Interface Science*, 203(1): 122-130.
- Apak, R., Tutem, E., Hugul, M., & Hizal, J. 1998b. Heavy metal cation retention by unconventional sorbents (red muds and fly ashes). *Water Research*, 32(2): 430-440.
- Arslan, S., Demir, G. K., Celikel, B., Baygul, M., & Suarez, C. E. 2012. Eti Aluminum Red Mud Characterization and Processing. *Light Metals 2012*: 81-85.
- Atasoy, A. 2005. An investigation on characterization and thermal analysis of the Aughinish red mud. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 81(2): 357-361.

- Atun, G., & Hisarli, G. 2000. A study of surface properties of red mud by potentiometric method. *Journal of Colloid and Interface Science*, 228(1): 40-45.
- Aydin, S. 2016. Removal of Organophosphorus Pesticides from Aqueous Solution by Magnetic Fe₃O₄/Red Mud-Nanoparticles. *Water Environment Research*, 88(12): 2275-2284.
- Babisk, M. P., Altoe, T. P., Lopes, H. J. D., do Prado, U. S., Gadioli, M. C. B., Monteiro, S. N., & Vieira, C. M. F. 2014. Properties of Clay Ceramic Incorporated with Red Mud. *Brazilian Ceramic Conference 57*, 798-799: 509-+.
- Babu, A. N., Mohan, G. V. K., Kalpana, K., & Ravindhranath, K. 2017. Removal of Lead from Water Using Calcium Alginate Beads Doped with Hydrazine Sulphate-Activated Red Mud as Adsorbent. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*.
- Brunori, C., Cremisini, C., Massanisso, P., Pinto, V., & Torricelli, L. 2005. Reuse of a treated red mud bauxite waste: studies on environmental compatibility. *Journal of Hazardous Materials*, 117(1): 55-63.
- de Oliveira, D. R. C., & Rossi, C. R. C. 2012. Concretes with Red Mud Coarse Aggregates. *Materials Research-Ibero-American Journal of Materials*, 15(3): 333-340.
- Gupta, V. K., Suhas, Ali, I., & Saini, V. K. 2004. Removal of rhodamine B, fast green, and methylene blue from wastewater using red mud, an aluminum industry waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43(7): 1740-1747.
- He, A. P., Hu, Z. L., Cao, D. G., Zeng, J. M., Wu, B. L., & Wang, L. J. 2014. Extraction of Valuable metals from Red Mud. *Chemical, Material and Metallurgical Engineering Iii, Pts 1-3*, 881-883: 667-+.
- Hu, C. S., & Wang, X. 2013. Using Red Mud Manufacturing Building Glass-ceramics. *Applied Materials and Technologies for Modern Manufacturing, Pts 1-4*, 423-426: 1014-1017.
- Isshiki, M., & Igaki, K. 1981. Winning of High-Purity Iron from Red Mud and Iron Concentrated Tailing. *Transactions of the Japan Institute of Metals*, 22(6): 418-422.
- Ju, S. H., Lu, S. D., Peng, J. H., Zhang, L. B., Srinivasakannan, C., Guo, S. H., & Li, W.

2012. Removal of cadmium from aqueous solutions using red mud granulated with cement. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22(12): 3140-3146.
- Karasu, B., Agun, E., & Kaya, G. 2005. Effects of red mud based pigments on wall and floor tile glazes. *Cfi-Ceramic Forum International*, 82(10): E41-E44.
- Karasu, B., Caki, M., Akgun, E., & Kaya, G. 2004. Effects of the red mud based pigment addition on the physical and micro-structural properties of porcelain tiles. *Euro Ceramics Viii, Pts 1-3*, 264-268: 1613-1616.
- Kasai, T., Mizota, T., & Takahashi, K. 1993. Waste Materials Utilization of Red Mud from Bayer Process, Recovery of Rare Metals and Zeolite - Synthesis. *First International Conference on Processing Materials for Properties*: 165-168.
- Katircioglu, Z., Dursun, S., & Yavuz, M. S. 2016. Fabrication of magnetic nanoparticles from red mud for arsenic removal. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, 252.
- Kavas, T. 2006. Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick. *Building and Environment*, 41(12): 1779-1783.
- Kavas, T., Angelopoulos, G. N., & Iacobescu, R. I. 2015. Production of belite cement using boron and red mud wastes. *Cement Wapno Beton*, 20(5): 328-+.
- Kaya, K., & Soyer-Uzun, S. 2016. Evolution of structural characteristics and compressive strength in red mud-metakaolin based geopolymer systems. *Ceramics International*, 42(6): 7406-7413.
- Kazak, O., Eker, Y. R., Akin, I., Bingol, H., & Tor, A. 2017. A novel red mud@sucrose based carbon composite: Preparation, characterization and its adsorption performance toward methylene blue in aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3): 2639-2647.
- Kilic, Y., Gunay, E., & Marsoglu, M. 2014. From Hazardous Red Mud Waste to Non-Hazardous Commercial Products. *Materials Testing*, 56(2): 140-144.
- Kohno, K., Amo, K., Ogawa, Y., & Gytoku, M. 1995. Properties of mortar and concrete using red mud and finely ground silica. *Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete - Proceedings, Fifth International Conference, Vols 1 and 2*, 153: 1103-1120.
- Kolesnikova, M. P., Saigofarov, S. S., Nikonenko, E. A., Kalinichenko, I. I., Kochneva, T. P., & Surkova, N. A. 1998. The use of red mud for brick coloring. *Glass and Ceramics*, 55(3-4): 70-71.
- Kumar, S., Kumar, R., & Bandopadhyay, A. 2006. Innovative methodologies for the utilisation of wastes from metallurgical and allied industries. *Resources, Conservation and Recycling*, 48(4): 301-314.
- Liu, T., Li, X., Guan, L., Liu, P., Wu, T., Li, Z., & Lu, A. 2016. Low-cost and environment-friendly ceramic foams made from lead-zinc mine tailings and red mud: Foaming mechanism, physical, mechanical and chemical properties. *Ceramics International*, 42(1, Part B): 1733-1739.
- Ribeiro, D. V., Labrincha, J. A., & Morelli, M. R. 2011. Potential Use of Natural Red Mud as Pozzolan for Portland Cement. *Materials Research-Ibero-American Journal of Materials*, 14(1): 60-66.
- Romano, R. C. O., Bernardo, H. M., Maciel, M. H., Pileggi, R. G., & Cincotto, M. A. 2018. Hydration of Portland cement with red mud as mineral addition. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(3): 2477-2490.
- Tang, W. C., Wang, Z., Liu, Y., & Cui, H. Z. 2018. Influence of red mud on fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 178: 288-300.
- Zhang, N., Sun, H., Liu, X., & Zhang, J. 2009. Early-age characteristics of red mud-coal gangue cementitious material. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1): 927-932.