ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRMIZI ÇAMUR, BENTONİT VE AKTİF KARBON KATKILI ÇİMENTOLU KOMPOZİTLER İLE İÇME SUYU ARITIMI

İnci SEVGİLİ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIRMIZI ÇAMUR, BENTONİT VE AKTİF KARBON KATKILI ÇİMENTOLU KOMPOZİTLER İLE İÇME SUYU ARITIMI

İnci SEVGİLİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Barış ŞİMŞEK

Temiz içme suyuna olan ihtiyaç gün geçtikçe artmakta; ancak mevcut arıtım süreçleri bu ihtiyacı karşılamada gittikçe yetersiz kalmaktadır. Daha verimli bir arıtma süreci için farklı filtreleme malzemelerinin kullanılması süregelen bir arayıştır ve çimentolu kompozitler, nispeten düşük maliyetleri ve tasarım kolaylığı açısından son yıllarda ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada kırmızı çamur, bentonit ve aktif kömür içeren çimento esaslı kompozitlerin su arıtma performansı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olarak değerlendirilmiştir. Katkısız çimento esaslı kompozitler, işlem görmemiş sudan bulanıklık, manganez, kobalt ve demir oksidi uzaklaştırmada çok başarılı olurken, *Enterococcus faecalis* mikroorganizmanın büyümesini ilk iki gün tamamen engellerken, kırmızı çamur ve bentonit çimento esaslı kompozitler kalsiyum, manganez, kobalt ve baryumu adsorbe etmede oldukça başarılı olmuştur. Ayrıca filtrasyondan sonraki ilk iki gün *E. faecalis, Salmonella typhimurium* ve *Pseudomonas aeruginosa* gibi mikroorganizmaların üremesi tamamen engellenirken, *Escherichia coli, E. coli (koliform), Staphylococcus aureus* gibi mikroorganizmaların üremesinde %95'in üzerinde bir başarı kırmızı çamur ve bentonit içeren çimentolu kompozitler sayesinde elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Aktif karbon, Bentonit, Çimentolu kompozitler, kırmızı çamur, Su arıtımı

ABSTRACT

Master Thesis

DRINKING WATER PURIFICATION USING RED MUD, BENTONITE AND ACTIVATED CARBON BLENDED CEMENTITIOUS COMPOSITES

İnci SEVGİLİ

Çankırı Karatekin University
Graduate School Of Natural And Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Assoc. Doç. Dr. Barış ŞİMŞEK

The need for clean drinking water is increasing by the day; however, existing treatment processes have difficulties in meeting this need. The use of different filtering materials for a more efficient treatment process is an ongoing quest, and cementitious composites have come to the fore, in terms of their relatively low cost and ease of design. In this study, the water-treatment performance of cementitious composites containing red mud, bentonite and activated charcoal was evaluated, physically, chemically and microbiologically. While plain cementitious composites have been very successful in removing turbidity, manganese, cobalt and iron oxide from raw dam water, and have completely prevented the growth of *Enterococcus faecalis* for the first two days, red mud and bentonite cementitious composites have also been quite successful in absorbing calcium, manganese, cobalt and barium. In addition, for the first two days after filtration, the growth of microorganisms such as *E. faecalis*, *Salmonella typhimurium* and *Pseudomonas aeruginosa* was completely prevented, while the growth of *Escherichia coli* (fecal), *E. coli* (coliform), *Staphylococcus aureus* and total viable microorganisms was significantly reduced of over 95%, by cementitious composites containing red mud and bentonite.

Keywords: Activated carbon, Bentonite, Cementitious composites, Red mud, Water treatment.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Grafen Oksit Nanokompozitleri İle İçme Suyun Arıtılmasına Yönelik Bir Deney Tasarımı Uygulaması" adlı bu çalışma 2018-2021 yılları arasında hazırlanarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne "Yüksek Lisans Tezi" olarak sunulmuştur.

Çalışmanın her safhasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren, her türlü yardımını esirgemeyen, her zaman destekleyen ve anlayış gösteren değerli Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Barış ŞİMŞEK' e teşekkür ederim. Eş danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk DİLMAÇ tez çalışmam boyunca bilgi ve desteklerini esirgemeyen kıymetli hocama teşekkür ederim.

Deney çalışmaları Çankırı Karatekin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında yapılmıştır. Bu çalışmalar esasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Dr. Haluk KORUCU' ya ve Öğr. Gör. Mücahit UĞUR' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimime sunduğu katkılarından ötürü Çankırı Belediyeleri Su ve Hizmet Birlik Başkanı İsmail Hakkı ESEN' e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen saygıdeğer Su ve Hizmet Birlik Müdürümüz Sayın Recep ÖZEN'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni her zaman destekleyen, hayatımın her safhasında yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Bu aşamaya gelmemde bana emeği geçen tüm hocalarıma, adını burada sayamadığım ve katkısı olan herkese ayrıca şükranlarımı sunarım.

İnci SEVGİLİ

Çankırı, Ocak 2021

İÇİNDEKİLER

İçindekiler

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **v**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vi**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **vii**
DENKLEMLER DİZİNİ ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **3**
2.1 Kırmızı Çamur **3**
2.2 Bentonit **6**
2.3 Aktif Karbon **7**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **12**
3.1 Materyal **12**
3.1 Metot **13**
3.3 Testler **14**
3.4 Metodoloji **15**
4. BULGULAR VE TARTIŞMA **16**
4.1 Çimento esaslı kompozitler **16**
4.2 İçme Suyu Arıtımı **19**
4.3 Literatür ile Karşılaştırma ve Öneriler **25**
5. SONUÇ **28**
6. KAYNAKLAR **30**
EKLER **42**
ÖZGEÇMİŞ **45**

SİMGELER DİZİNİ

Ag	Gümüş
Al_2O_3	Alümina
As	Arsenik
CaO	Kalsiyum oksit
Cd^{+2}	Kadmiyum
CS	Basınç dayanımı
Cr	Krom
DCF	Diklofenak
dk	Dakika
ER	Elektrik özdirenci
IC	İndico Carmine (firma adı)
H/h	Saat
LOI.	Kızdırma Kaybı
Mo	Molibdat
MB	Metilen Boyası
MPa	Milipaskal
Na_2O	Sodyum oksit
Ni^{+2}	Nikel
NP	Nano partiküller
Fe_2O_3 / Fe_3O_4	Demir(II-III) oksit /Manyetit
P	Fosfor
Pb^{2+}	Kurşun
PET	Poli etilen tereftalat
PO	Korozite
RA	Kırmızı çamur, Aktif karbon
RB	Kırmızı çamur, Bentonit
RM	Kırmızı çamur
RM-PPy	Kırmızı çamur – polipirol
S_{BET}	Spesifik alan
SiO_2	Silisyum dioksit
TiO_2	Titanyum dioksit
TS 266	Türk Standardı
UPV	Ultrasonik ses hızı
V	Vanadyum
WA	Su emme yüzdesi
° C	Santigrat derece
ppm/mgL^{-1}	Miligram/litre
TGA	Termogravimetrik analiz

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3-1 İzlenen Metodoloji 16

Şekil 4-1 Adsorptif çimento esaslı kompozitler ile arıtılmış suyun seçilen fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki iyileşme oranları 20

Şekil 4-2 *S. typhimurium* analizi 22

Şekil 4-3 İçinde aktif karbon ile modifiye edilmiş RM çimento esaslı kompozitlerin kullanımıyla olası uygulamalar a) toz halinde kum filtresi, b) soğurucu küpler olarak filtre havuzu ve c) kaplama malzemesi olarak veya iri agregalar yerine geçirgen beton tasarımı 26

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3-1 Malzemelerin Özellikleri 12

Tablo 4-1 Karışım oranları ve sonuçlar 17

Tablo 4-2 Çimentolu kompozitlerle filtrelenmiş suyun mikrobiyolojik analizi 21

Tablo 4-3 Çimento esaslı kompozitlerle arıtılmamış sudan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması..... 24

DENKLEMLER DİZİNİ

Denklem 3-1 TGA (CH %) içeriği portlandit ile hesaplama 15

Denklem 4-1 İyileşme Oranı Hesaplaması 24

1. GİRİŞ

Su, insanın hayatta kalması için gereklidir. Dünyanın yaklaşık % 71'i su İle kaplanmış olsa da, bunun sadece % 2.5'i tatlı sudur (Adu-Manu, Tapparello, Heinzelman, Katsriku, & Abdulai, 2017) ancak mevcut tatlı suyun sadece % 1'i (göllerde, nehirlerde ve yeraltı sularında) mevcuttur. Mevcut Tatlı su kaynaklarının çoğuna erişilemez, çünkü hidrolojik döngülerin (derin akiferler) ve buzullarda (kutup buzunda donmuş) gizlenirler, bu da dünyadaki güvenli içilebilir suyun çok küçük bir orana sahip olduğu anlamına gelir (~% 3) Tatlı su kaynaklarında. Tatlı su, tuzdan arındırma işlemi ile deniz suyundan da elde edilebilir. Bazı ülkelerde yeterli Tatlı su mevcut değildir (fiziksel kıtlık). Bazı ülkelerde bol miktarda tatlı su mevcuttur, ancak kullanımı pahalıdır (ekonomik kıtlık) (Dinka, 2018).

Gelişmekte olan ülkelerde, insanların % 80'i içme suyuna erişemiyor. Kolera hala 50'den fazla ülkede bildirilmektedir (Adu-Manu et al., 2017). İnsanlar da dahil olmak üzere tüm organizmalar hayatta kalmak için suya ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, yeterli su kaynağının sağlanması insan refahı için esastır. Bununla birlikte, güvenli içme suyuna erişim eksikliği, insanlığın 21.yüzyılda karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir (WWAP, 2009). Bu sorun, çözülmek yerine, gelecekte hidrolojik döngüyü ve su kaynaklarının miktarını ve kalitesini doğrudan etkileyen iklim değişikliği ile daha da kötüleşebilir (Capitanescu et al., 2017). Su, insan toplumu ve canlı organizmalar için önemli bir kaynaktır; bu doğal kaynağın verimli bir şekilde korunması, bu yüzyılın ana zorluklarından biri haline gelmiştir. Birçok ülke, nüfus artışı ve ekonomik ve sosyal kalkınma nedeniyle yıllarca ciddi su sıkıntısı sorunları ile karşı karşıya kaldığından, su sorunlarının gelecekte daha ciddi hale geleceği ve suyun şüphesiz önemli bir konu haline geleceği tartışılabilir (Bahyan et al., 2017). Birçok araştırma, yağmur suyu, yüzey suları, atmosferik taşıma ve bitki polenleri ile malzeme taşınması gibi doğal etkenlerin yanı sıra su kaynaklarının daha çok evsel ve endüstriyel atıklar gibi insan faaliyetleri sonucu kirlendiğini göstermektedir. Havzalarda bu kirleticilere karşı yeterli önlem

alınmazsa, göl ortamında uzun süren bir süreçten sonra görülen kirlilik işareti olarak yosun patlaması ve ötrofikasyon ortaya çıkmaktadır (Bahyan et al., 2017).

İklim değişikliği ve yoğun arazi kullanımı uygulamaları, göllerin ekosistem yapısı ve hizmetleri için ana tehditlerdir. Bu nedenle, gelecekteki değişiklikleri tahmin etmek ve bu tür baskılarla mücadele etmek için hafifletici önlemler geliştirmek çok önemlidir (Bucak et al., 2018).

Türkiye'de ve dünyada temiz içme suyu elde edebilmek için birçok arıtma yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; Konvansiyonel Arıtma Prosesleri [Su Alma Yapısı, Izgara ve Elekler, Biriktirme Yapısı, Havalandırma, Nötralizasyon, Hızlı Karıştırma (Koagülasyon veya Pıhtılaştırma), Yumaklaştırma (Yavaş Karıştırma), Çöktürme/Flotasyon, Filtrasyon, Dezenfeksiyon], İleri Arıtma Prosesleri [Adsorpsiyon, Biyolojik Filtreler, İyon Değiştirme, İleri Oksidasyon Prosesleri, Membran Prosesler], Membran prosesler (Ters osmoz ve elektrodiyaliz, Nanofiltrasyon, Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon) yöntemleridir. Arıtılmamış su kaynağına ve özelliklerine bağlı olarak arıtma prosesleri kullanılmaktadır. Kullanılacak arıtma prosesini seçmeden önce hamsuyun fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve radyolojik karakteristiklerinin 5-10 yılını gözden geçirmek gerekmektedir. Potansiyel kirlenme için risk değerlendirmesi dikkate alınmalıdır. Su havzasında ki mevcut ve gelecekteki alan kullanımını değerlendirilmelidir. Türkiye'de genellikle Konvensiyonel Arıtma teknikleri ön planda kullanılmaktadır. Ancak mevcut su ihtiyacı ve iklim değişiklikleri değerlendirildiğinde önümüzdeki yıllar için mevcut su arıtma teknolojilerinin yetersiz olacağı öngörülmektedir. Daha verimli, daha etkin su arıtma teknolojisine duyulan ihtiyaç her gün artmaktadır. Alternatif yöntemler, alternatif malzemeler veya alternatif malzemelerin mevcut yeni malzemelerle kullanımı ilerleyen zamanlarda daha da gündeme gelecektir.

Bu amaçla bu çalışmada içme suyunun daha etkin, daha düşük maliyetle daha verimli arıtımı için kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbon gibi malzeme katkılı absorbative (emici) çimento harcı küpleri tasarlanmıştır. Tasarlanan çimento harcı küpleri Devrez çayı üzerinde bulunan Güldürcek Barajından Çankırı Belediyeleri Su ve Hizmet Birliği

İçme Suyu Arıtma Tesisi Kimya Analiz Laboratuvarına isale hattı ile gelen arıtılmamış sudan temin edilerek Hamsuyun arıtımı gerçekleştirilmiş fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikler bakımından arıtım performansı değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kırmızı Çamur

2008 yılında dünyanın boksit üretimi 205 milyon tondu ve ana üretici ülkeler Avustralya, Çin, Brezilya, Gine, Hindistan ve Jamaika idi. Boksitten üretilen Alüminyum ton başına yaklaşık 1~1.5 (Ribeiro et al., 2012) ton kırmızı çamur üretimiyle sonuçlanır (R.-X. Liu et al.,2016). Boksit büyük miktarda alüminyum hidroksit içerir ve bu nedenle büyük ölçüde ısı (270^0C) (Senff et al., 2011) ve yüksek basınç altında sodyum hidroksit ile reaksiyona dayanan Bayer kimyasal prosesi yoluyla alümina (Al_2O_3) üretimi için kullanılır (Brunori et al.,2005) (R.-X. Liu et al.,2016). ve kırmızı çamur alkali bir süzüntü(liç) atığıdır (D. V. Ribeiro et al.,2011). Dünya çapında RM üretimi yılda 117 milyon tonu aşmaktadır (Gautam et al., 2017) (Ghalehnovi et al., 2019). Bu işlem, uygun yıkama, çökeltme ve filtrasyon işlemlerinden sonra safsızlıkların yoğunlaştığı çözünmeyen hidroksitlerin oluşumuna yol açar (Senff et al., 2011). Kırmızı Çamurun kimyasal ve mineralojik bileşimi, boksit kaynağına ve ilgili işlemlere bağlı olarak oldukça değişkendir. Normalde altı ana oksit, CaO, SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3, TiO_2 ve Na_2O ve çeşitli küçük elementlerin küçük içeriklerini içerir (Yao et al., 2013) (Ghalehnovi et al., 2019). Kırmızı Çamurun %90'ı Avustralya ve Çin çıkışlıdır (Tang et al., 2019). Birçok araştırmacı değerli metalleri kırmızı çamurdan çıkarır, polimer kompozitinde kırmızı çamur kullanır (Park & Jun, 2005) (W. Liu et al., 2009), ve seramik, çimento veya tuğla üretmek için atıkları yeniden kullanır. (Ochsenkühn-Petropoulou et al., 2002; Pontikes et al., 2007; D. Ribeiro et al., 2012; Smirnov & Molchanova, 1997; Tsakiridis et al., 2004; J. Yang et al., 2006; J. Zhang et al., 2005) (Ribeiro et al., 2012) (R.-X. Liu & Poon, 2016). Kırmızı Çamur bertarafı için yüksek maliyetlere ve geniş depolama alanlarına ihtiyaç vardır (Ghalehnovi et al., 2019). Ekonomik ve çevresel açıdan alternatif bir uygulama (örneğin, inşaat malzemesi,

aswood kompozit paneller yerine ve demir açısından zengin sulu çimento, yapı malzemeleri olarak yani tuğla, seramik ve Fayans gibi kırmızı çamurdan ağır metallerin kaldırılması ile kırmızı çamurun kullanımına yol açmıştır (D. V. Ribeiro et al., 2012). Başlangıçta çevresel bir endişe faktörü olan kırmızı çamurun (Ribeiro et al. 2012) pH'ı 10 ile 13 arasında değişen yüksek alkalinitededir (Tang et al. 2019). Kırmızı Çamurun uygunsuz bertarafı ciddi toprak doğurganlığını bozarak toprak kirletebilir. Kırmızı çamurun toksisitesi, onu yeraltı suyu (Nikbin et al., 2018) yaşamı ve canlı organizmalar için olumsuz etki oluşturan yani toksik bir kaynak haline getiren hiper-alkali özelliğine ve As, Cr, Mo ve V de dahil olmak üzere oksianiyonik eser elementlerin hareketliliğine atfedilir (Ghalehnovi et al., 2019). Betonda pasifliği etkilemeden bir inşaat demiri korozyon inhibitörü olarak kırmızı çamurun kullanılmasının ana avantajı olduğunu kanıtlamıştır (Ribeiro et al. 2012). Kırmızı çamurun ana bileşeni olan Fe_2O_3, renkli beton üretmek için onu ilginç bir pozzolanik malzeme haline getirir. Kırmızı çamurun kristal fazları esas olarak çimento macunlarında basınç dayanımının arttırılmasına katkıda bulunabilen bir malzemeleri barındırır (Ghalehnovi et al., 2019). Alkali ve alkali toprak metallerinin hidratlı alümino silikatı olan zeolit, çimento ve betonda kullanım için yaygın bir doğal pozzolan türüdür (Feng & Peng, 2005; Hauri, 2006).Bu malzeme kaldırım taşları, beton levhalar, hazır beton ve yüksek mukavemetli beton boruların üretiminde uygulanmıştır (R.-X. Liu & Poon, 2016).

Rubinos and Spagnoli, 2019'da yaptıkları çalışmada İçme Suyu arıtımında kırmızı çamurun filtre kağıdına kaplamasıyla içme suyunda yer alan arseniği 5,5-6,0 pH değerinde % 99 oranında bertaraf etmeyi başarmışlardır (Rubinos & Spagnoli, 2019).

Babu ve diğerleri 2019'da boya endüstrisinde açığa çıkan atık sulara uyguladıkları saflaştırıma çalışmasında kırmızı çamurun nihai absorpsiyon kapasitesinin 62,6 mg/g olduğu ve Indigo Carmine (IC) boya endüstrisinde boyanın %94 oranında kırmızı çamur kaplı filtre kağıdı kullanılarak su arıtma işlemlerinde etkili olduğu ve potansiyel bir absorban olarak kullanlabileceği belirlenmiştir(Babu et al., 2019).

Shi ve diğerleri 2020'de yine kırmızı çamur ile kapladıkları filtre kâğıdı kullanarak uyguladıkları çalışmada 350 °C kalsinasyon sıcaklığında tetrasiklinin görünür ışık

ışıması altında sudan uzaklaştırılması için fotokatalizör (ışık altında kimyasal reaksiyonu hızlandırma) olarak kullanılmıştır. 100mL, 10mg / L çözelti içerisinde 80 dakika içinde tetrasiklin görünür ışık altında % 88,4 oranında bozunma sergilemiştir (Shi et al., 2020).

Yang ve diğerleri 2020'de kırmızı çamur tabanlı filtre kâğıdı kullanarak yaptıkları çalışmada kâğıda 500 °C'de ısıl işlem uygulamışlar, en yüksek sorpsiyon kapasitesini (42.64 mg g^{-1}) ve en hızlı sorpsiyon oranını belirlemişlerdir. Kırmızı çamurun CD(II) 'un tutulmasında ışıl işleme tabi tutulduğu zaman daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir (T. Yang et al., 2020).

Wang ve diğerleri 2016'da Demir-alum içeren atık suyu modifiye kırmızı çamur ile arıtım performansını incelemiş ve fosfor adsorpsiyon kapasite değeri, ham kırmızı çamurdan 5.1 kat daha yüksek olan 33.56 mg / g mertebesine erişmiştir (Ying Wang et al., 2016).

Aydın ve diğerlerinin 2019'da yaptıkları çalışmada, antibiyotiklerin atık sudan arıtılmasını manyetik olarak ayrılabilir Fe_3O_4-kırmızı çamur nanopartiküller (Fe_3O_4-RM-NP'ler) ile kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Atık sudan Siprofloksasinin uzaklaştırılmasında başarıyla kullanılan Fe_3O_4 / kırmızı çamur nanopartikül kompozitlerinin % 72 oranında gelişme sağladığı görülmüştür (Aydin et al., 2019).

Pietrelli ve diğerleri 2019'da yaptıkları çalışmada içme suyundan Arsenik ve Manganın uzaklaştırılmasında kırmızı çamur ve pirolüzit kullanmışlardır. Maksimum mangan ve arsenik (III) gideriminde: 6,5 pH değerinde sırasıyla % 94 ve % 99.83 oranında iyileşme sağlanmışlardır (Pietrelli et al., 2019).

Bento ve diğerleri 2016'da yaptıkları çalışmada kırmızı çamur ve PET (poli(etilen tereftalat)) atıklarından mekanik karışım (% 10, 15 ve 20 wt.) ile karbon/demir oksit esaslı bir kompozit elde etmişlerdir. Elde edilen PET tozu/kırmızı çamur kompozitine hava altında 400 °C'de kontrollü bir ısıl işlemden geçirmişlerdir. Üretilen kompozitler, metilen mavisi boyayı (MB)uzaklaştırmak için daha yüksek kapasite sunmuş ve 24 saatlik reaksiyondan sonra yaklaşık % 90 iyileşme sağlamışlardır (Bento et al., 2016).

Ghanim ve diğerleri 2020'de yaptıkları çalışmada Vanadyumun (V) uzaklaştırılması için kırmızı çamurla modifiye edilmiş talaş biyo kömürü kullanmışlardır. Ürettikleri kırmızı çamurla modifiye edilmiş talaş biyo kömür ile sudan vanadyum arıtımı prosesi için oluşturdukları adsorpsiyon izotermleri 16.45 mgg^{-1} vanadyumun uzaklaştırıldığını gözlemlemişlerdir (Ghanim et al., 2020).

Li, X. Ve diğerleri yaptıkları çalışmada, polipirol (RM-PPy) ile modifiye kırmızı çamur üretmişler ve şu sonuçlara varmışlardır. Geliştirilmiş fonksiyonel grupların (–OH, –N=, –NH–, N+), spesifik alanın (S_{BET} 102.24 m^2/g) ve mezo gözenek yapısının (yani, ortalama gözenek çapı 3.29 nm' dir) Diklofenak (DCF) ve fosfor (p) bertarafında etkili olduğunu gözlemişlerdir. Diklofenak ve fosforun maksimum bertarafını –NH fonksiyonel grup ile % 71.64 oranında sulu bir çözelti içinde adsorptif olarak sağlamışlardır (X. Li et al., 2020).

Ju, ve diğerleri 2012'de yaptıkları çalışmada atıksuda kadmiyum giderimi için çimento ile karıştırılmış granül kırmızı çamurdan bir harç hazırlamışlardır. Hazırladıkları % 2 çimento ilaveli granül kırmızı çamur içeren absorban harçların 6,5 pH değerinde daha iyi kadmiyum arıtma performansı gösterdiğini tespit etmişlerdir (Ju et al., 2012).

Milenković ve diğerleri 2016'da yaptıkları çalışmada kobalt (II)'yi uzaklaştırmak için mineral bileşenlerin arıtma performansı üzerindeki sinerjistik arındırıcı ve iyileştirici etkisinin kırrmızı çamur uygulaması açısından umut vaad eden bir özellik olarak göstermişlerdir (Milenković et al., 2016).

2.2 Bentonit

Bentonitler, yüksek yüzey alanlarından ve ara katman bölgelerinde suyu emme eğilimlerinden kaynaklanan emme özellikleri nedeniyle oldukça değerlidir (Naseem & Tahir, 2001) . Toprakların ve doğal tortuların inorganik fraksiyonu neredeyse tamamen silika ve çeşitli silikatlardan oluşur. Kil mineralleri sulu silikatlar veya alümino silikatlardır ve baskın olarak toprakların, tortuların, kayaların ve suların kolloidal fraksiyonunu oluşturan mineraller olarak tanımlanabilir. Doğada killer; kuvars, feldispat, kalsit vb. gibi ince bölünmüş minerallerin heterojen bir karışımından kil

mineralleri oluşur. Ancak, kolloidal olarak aktif bileşenler bir veya daha fazla kil mineral türünden oluşur. Kil minerallerinin yapısal çerçevesi temel olarak kendini oluşturan katmanlardan meydana gelir. Silika ve alümina tabakaları bir araya getirilir ve bu katmanların üzerine istiflenir. Çoğu kil mineralinin atomik kafeslerinde iki yapısal birim yer alır. Birinci birim sıkılaştırılmış oksijen ve hidroksil tabakalarından oluşur ve oktahedral levha olarak adlandırılır. İkinci birim ise silika tetrahedronlardan yapılmıştır ve tetrahedral tabaka olarak adlandırılır (Luckham & Rossi, 1999).

Seilkhanova ve diğerleri yaptıkları çalışmada bentonit süspansiyonlarında Poli etilen glikolin doğrudan polimerizasyonu ile bir kompozit hazırlamışlardır ve elde edilen ürünün spesifik yüzey alanını 4.13 m^2 g-1 olarak belirlemişlerdir. Pb^{+2} ve Cd^{+2} iyonlarının adsorpsiyonu için en uygun koşulların % 0,1' lik PEG içeriği ve 60 dakikalık temas süresi olduğu gözlemlemişlerdir (Seilkhanova et al., 2019).

Niu ve diğerleri 2020 de yaptıkları çalışmada sülfat alümina çimento kompozitleri üretmiş ve düşük maliyetli, yüksek verimli adsorbanlar olarak kullanılmışlardır. Cr^{+3}'ün adsorpsiyon için sülfat alümina çimento kompozitlerini adsorpsiyon kapasitelerinin saf bentonit kapasitelerine benzer olduğunu belirlemişlerdir. Pb^{+2} ve Cd^{+2} için adsorpsiyon kapasitelerini en çok etkileyen girdinin bentonit olduğunu göstermişlerdir. Maksimum su arıtma performansını Cr^{+3}, Pb^{+2} ve Cd^{+2} için sırasıyla % 99.956, % 99.838 ve % 99.717 olarak belirlemişlerdir. Adsorpsiyon kapasitelerinin kinetikleri modellemesi için ikinci mertebeden bir denklemin daha başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir (Niu et al., 2020).

2.3 Aktif Karbon

Ticari ve endüstriyel sektörlerde yaygın olarak kullanılan, (Marsh et al., 2006) büyük özgül yüzey alanı, hazırlama kolaylığı, yüksek verimlilik ve nispeten düşük maliyet (Gottipati & Mishra, 2016; Yue et al., 2009) (Yongmei Wang et al., 2020), mikro gözenekli yapısı (Bhatnagar, Hogland, Marques, & Sillanpää, 2013), termal kararlılığı, düşük asit / baz reaktivitesi ve adsorpsiyon gibi benzersiz özellikleri (Foo & Hameed, 2010) nedeniyle (AC) aktif karbon su arıtma gibi bir çok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları, su arıtımı (Bhatnagar et al., 2013;

Derakhshi et al., 2009; Nieto-Delgado & Rangel-Mendez, 2012; Wong et al., 2018), ilaç üretimi, (Haghighat et al., 2008; Tsivadze et al., 2011), metal çıkarma (Lam et al., 2016), tıbbi uygulamalar (Tsivadze et al., 2011; Venault et al., 2010), biyolojik ve çevre uygulamaları (Safarik et al., 2012; Tuan et al., 2011), katalizör üretimi (Dong et al., 2012; Lücking et al., 1998; Santiago et al., 2005), ve enerji depolama uygulamaları (Elanthamilan et al., 2020; Januszewicz et al., 2020) olarak listelenebilir. Aktif karbon çok çeşitli organik bileşikleri (Dwivedi et al., 2004) ve bakteriyel besinleri (LeChevallier et al., 1984) adsorbe etmede etkilidir. Bununla birlikte, bazı çalışmalar içme suyunu arıtmak için aktif karbonun başarılı olduğunu gösterirken diğer çalışmalarda klorlama nedeni ile aktif karbon performansının düşebileceği ortaya koymuştur (Bouki et al., 2013; Camper et al., 1986; Gagnon et al., 2005; Sommer et al., 1999). Aktif karbon endüstride ki en iyi absorbanlardan biri olmasına rağmen, ağır metallerin bertarafı ve mikroorganizmaların inhibasyonunda bazı zorlukların yaşandığı belirlenmiştir. Örneğin, Aktif karbonun içme suyundan arsenik (As) giderilmesinde düşük bir verime sahip olduğu rapor edilmiştir (Deng et al., 2005). Bununla birlikte, demir gibi metal malzemelerle modifiye edilmiş AC' nin, saf AC filtrelere kıyasla arsenik kabiliyetinin önemli ölçüde arttırdığı gösterilmiştir (Deng et al., 2005) (W. Chen et al., 2007). Alüminyum sülfat, alüminyum oksit ve demir oksitten elde edilen floküle edilmiş alüminyum hidroksitin, özellikle ağır metallerin uzaklaştırılması için etkili bir ortam oluşturduğu bildirilmiştir (Ahmed, 2001; Baskan & Pala, 2010; Jeong et al., 2007).

Atıksu arıtma membranlarında seramik membran kullanımı yaygındır. Seramik membran filtrasyonunda en yaygın kullanılan malzemelerin zeolit ve aktif karbon olduğu söylenebilir (Saifuddin et al., 2020). Membranlar, sıvı akışının iki veya daha fazla bileşenini bir membrandan ayırma işlemi olarak tanımlanabilir.

Aktif karbon, ayrıca maliyet etkinliği ve kolay ulaşılabilirliği nedeniyle mevcut su arıtma sistemlerinde tercih edilmektedir (Kotia et al., 2020). Aktif karbon, içyapısının her yerinde bulunan heterojen bir gözenek aralığı (çapı yaklaşık <2 nm olan) ile oldukça gözenekli bir malzemedir (Pezoti et al., 2016). Bu gözenekler özgül yüzey alanını 2500 m^2 / g 'a çıkarır (Dąbrowski et al., 2005). Tipik olarak, aktif karbon % 80 karbondan

oluşurken, geri kalan % 20 oksijen ve nitrojen gibi diğer elementlerden oluşur (Cheng et al., 2005), (Brady-Estévez et al., 2008) (Kotia et al., 2020). Bununla birlikte, düşük özgül yüzey alanı seçiciliği ve düşük absorpsiyon kinetiği nedeniyle sınırlı uzaklaştırma etkinliğine sahip olduğu bilinmektedir (Gehrke et al., 2015).

Granüler aktif karbon; iyon değişimi ile filtreleme, Nanofiltrasyon, ters ozmoz gibi membran teknikleri ile veya polifloroalkil maddeler ile kullanıldığında su arıtımı için etkili etkili olduğu tanımlanmıştır (Appleman et al., 2014; Carter & Farrell, 2010; Chularueangaksorn et al., 2014; Eschauzier et al., 2012; Flores et al., 2013; Franke et al., 2019; Rahman et al., 2014; Vecitis et al., 2009; S. Zhang et al.,2016). Granüler Aktif Karbonun hangi arıtım tekniği kullanılırsa kullanılsın kompozit şeklinde uygulandığında çok daha başarılı sonuçlar elde edildiği (Crittenden et al., 2012; Merino et al., 2016). Bununla birlikte kompoziti oluşturan malzemelerin ne kadar kullanılacağına dikkat edilmelidir. Aktif karbon ile membranı oluşturacak malzeme miktarları maliyet dikkate alınarak optimize edilmelidir (Belkouteb et al., 2020).

Saifuddin ve diğerleri 2020 de yaptıkları çalışmada, kil, zeolit ve aktif karbondan oluşan bir membran tasarlamışlardır. Çalışmada su arıtımında % 100 ile en yüksek Fe^{+2} uzaklaştırma verimliliğini, % 99.94 ile en yüksek Mn^{+2} uzaklaştırma verimliliğini elde etmişlerdir. Bulanıklık değerinde ise % 95.65 bir iyileşme belirlemişlerdir (Saifuddin et al., 2020).

Zuo ve diğerleri yaptıkları çalışmada optimum aktif karbon lifleri elde etmişler ve su arıtma performansını incelemişlerdir. Aktif karbon lif tabanlı filtre elemanları ile Kimyasal oksijen ihtiyacında % 99,48 iyileşme elde etmişlerdir (Zuo et al., 2019).

Belkouteb ve diğerleri 2020 de yaptıkları çalışmada, granül aktif karbon filtrelerini polifinil alkil gidermek kullanmışlardır. Sudaki polifinil alkil maddeleri ortalama arıtma verimliliği % 92 ila % 100 arasında değişmiştir. Akış hızındaki azalışın aktif karbon filtresinin poliflora alkil maddelerini giderme verimliliğinde ortalama % 14 ila % 6,5 artışa neden olduğu gözlemlenmiştir (Belkouteb et al., 2020).

Al-Gaashani ve diğerleri 2021 de yaptıkları çalışmada, Alüminyum oksit (Al_2O_3), aktif karbon ve gümüş (Ag) nanopartiküller ile yeni kompozit malzeme tasarlamışlardır. Geliştirilen kompozit malzemeleri molibden (Mo) ve arseniğin (As) kirli sudan adsorptif olarak uzaklaştırılmasında kullanmışlardır. Hazırlanan kompozit malzemeler ile 6 pH değerinde Arseniğin % 94'ünü ve pH=2' de Molibdan'ın % 97' sinin uzaklaştırılmasında başarılı olduğunu göstermişlerdir. Kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında elektrostatik çekim ve ligand değişim adsorpsiyon mekanizmalarının etkili olduğu belirlenmiştir (Al-Gaashani, Almasri, Shomar, & Kochkodan, 2021).

Wang ve diğerleri 2020 de yaptıkları çalışmada, Yüksek gözenekli Aktif Karbon granüllerini Cr (VI) adsorpsiyonu, adsorpsiyon mekanizmalarının tanımlaması, sürecin modellemesi için farklı sürelerde, farklı sıcaklıklarda ve 3,5 pH değerinde adsorpsiyon testleri ile incelenmişlerdir. (Cruz-Espinoza et al, 2012). Suda Cr^{+4} un arıtılması için fazla miktarda granül aktif karbona ihtiyaç olduğu belirlenmiştir (Yongmei Wang et al., 2020).

Pagalan ve diğerleri 2020 de yaptıkları çalışmada, anilin sarı boya ile kirlenmiş suyu arıtmak için aktif karbon üretiminde kullanılmış kahve telvesi uygulamışlardır. Sonuçta kullanılmış kahve telvesi ile ürettikleri aktif karbonu petek parçacık şekillerine sahip mezopore ve mikro gözeneklere sahip mikropor olduğunu göstermişlerdir. Optimum koşulları 0,6 g adsorban dozu 2,5 h temas süresi olarak 35 ppm başlangıç anilin sarı boya konsantrasyonu için bulmuşlardır. 2.58 mg/g adsorpsiyon kapasitesi ile anilin sarı boya tutulmasında % 88.72 ± 1.88 lik bir başarı elde edilmiştir. (Pagalan Jr et al., 2020).

Maryam ve diğerleri 2019 da yaptıkları çalışmada, aktif karbon mikro emisyonları ile kum filtrasyonunu beraber kullanarak içme suyu arıtımını fiziksel ve kimyasal performansını incelemişlerdir. Kum filtrasyonu ile aktif karbon mikro emisyonlarını kullanarak kimyasal oksijen ihtiyacı değerinde ayrıca, uçucu organik bileşikler olarak ksilen değerinde % 93 oranında bir iyileşme elde etmişlerdir. Bununla birlikte, metallerin ve iyonların çoğunu uzaklaştırmak için kum filtrasyonu yeterli olmadığını

belirlemişlerdir. Bu nedenle, aktif karbonu sörfaktantlarla modifiye ederek çoğu metalin arıtımı için % 100 başarı sağlamışlardır.

Ksilenin su içinden arıtımı için % 95 ten fazla bir uzaklaştırma elde etmişlerdir (Al-Kaabi et al., 2019).

Ribeiro ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada, Aktif Karbon ile TiO_2 kompozitleri sentezlemişler ve içme suyundan kirleticileri gidermek için uygulamışlardır. Çalışma sonunda arıtım sürecinde verilen duraklamaların ve TiO_2 miktarının arıtma performansını olumlu etkilediğini belirlemişlerdir. Yapılan adsorpsiyon çalışmalarında oluşturulan aktif karbon TiO_2 agregalarını kafeinle beraber iyi bir adsorbsiyon kapasitesi elde etmişler ve maksimum adsorbe edilen madde miktarını 353 $mg.g^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Ayrıca UV lamba altında fotokatalitik bozulma prosesi ile başarılı bir arıtım gerçekleştirilmiştir (E. Ribeiro et al., 2020).

Choong ve diğerleri 2020'deyaptıkları çalışmada, palmiye kabuğundan elde edilen aktif karbon tozu ile ve magnezyum silikat ile modifiye etmiş florür adsorpsiyonu için kapsamlı bir şekilde uygulamışlardır. Adsorpsiyon izotermlerinden yararlanarak palmiye kabuğu aktif karbon tozu için $116mgg^{-1}$, magnezyum silikat ile modifiye edilmiş palmiye kabuğu aktif karbon tozu için $150mgg^{-1}$ adsorpsiyon kapasitesi tespit etmişlerdir. Florür adsorbsiyonu için verimlilik değerini yaklaşık % 70 olarak elde etmişlerdir. Florür adsorbsiyonunu esas olarak hidroksil (OH^-) grubunun değişiminden kaynaklandığını göstermişlerdir. Elde ettikleri magnezyum silikat/ palmiye kabuğu aktif karbon tozu kompozitlerini florür tutma kabiliyeti nedeniyle yeraltı suyu ıslahı için önemli bir potansiyel taşıdığını göstermişlerdir (Choong et al., 2020).

Pap ve diğerleri 2017'de yaptıkları çalışmada, endüstriyel ve kentsel organik atıkların bir parçası olan taşların düşük maliyetli arıtma için aktif karbon hazırlanmasında kullanılabileceğini düşünmüşlerdir. Termo kimyasal olarak modifiye edilmiş adsorban kullanarak (Pb^{+2}), (Cd^{+2}), kadmiyum, nikel (Ni^{+2}) ve klorofenol bertarafında %95'in üzerinde bir verimlilik elde etmişlerdir. Pb^{+2}, Cd^{+2} ve Ni^{+2} iyonları için tasarlanmış adsorbanın maksimum adsorpsiyon kapasiteleri Langmuir izotermlerinden sırasıyla 172,43 mg g^{-1}, 112,74 mg g^{-1} ve 63,74 mg g^{-1} olarak hesaplanmıştır (Pap et al., 2017).

Jose ve diğerleri 2019'da yaptıkları çalışmada, elektrokoagülasyon yöntemi kullanarak daha hızlı daha basit ve daha ekonomik yoldan Hindistan cevizi liflerinden aktif karbon elde etmişlerdir. 90 dk boyunca 2000 mili amper akım akışına sahip altı elektrot ile sırasıyla kimyasal oksijen ihtiyacında ve toplam organik karbon miktarında % 92.8 ve % 56 değerinde bir iyileşme sağlamışlardır (Jose et al., 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada minimum 2 günlük basınç dayanımı 12 MPa ve minimum 28 günlük basınç dayanımı 35 MPa olan puzzolan tipi çimento (CEM IV / B (P) 32,5 R; Bolu çimento fabrikası) kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı ve Blaine inceliği EN 196-1 standardına göre 2,76 ve 5200 cm^2 / g olarak belirlenmiştir. Kırmızı çamur örneği (Konya Seydişehir'de yer alan Eti Alüminyum A.Ş. 'den temin edilen kırmızı çamur) özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir. Çimentolu kompozitlerin hazırlanmasında Çankırı da yer alan Canbensan firmasından temin edilen bentonit kullanılmıştır (Tablo 3.1). BASF Master Glenium 608® poli karboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı olarak kullanılmıştır.

Tablo 3-1 Malzemelerin Özellikleri

Özellikler	Çimento	Kırmızı Çamur (RM)	Bentonit (B)
Fe_2O_3 (%)	5.2	32.1	5.54
SiO_2 (%)	27.5	13.8	59.48
CaO (%)	46.0	12.2	6.91
Al_2O_3 (%)	11.7	20.9	15.24
TiO_2 (%)	N/A	3.6	0.76
Na_2O (%)	N/A	6.7	1.67
MgO (%)	1.85	2.7	2.68
Geçiş (wt.100%), mm	0.10	0.25	0.10
LOI	N/A	8.0	N/A
pH	N/A	11-13	10-11
Şişme İndeksi	N/A	N/A	18-25

Kısaltmalar
(LOI.) :Kızdırma Kaybı

Aktif karbon kaynağı olarak Tarkim Karbon Şirketinden temin edilen hindistan cevizi kabuklarından üretilmiş, ortalama tane boyutu 0.075 mm ve kuru yoğunluğu 300 kg / m^3 olan aktif karbon kullanılmıştır. Aktif karbonun nem ve kül içeriği sırasıyla maksimum, % 10 ve % 8 olarak verilmiştir.

3.1 Metot

Çimentolu kompozitlerin üretimi: Çimento, su ve süper-plastikleştirici yaklaşık üç dakika karıştırılmıştır, Daha sonra karışıma deney tasarımına göre kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbon eklenmiştir (Tablo 4.1). Nihai karışım, yaklaşık 3 dakika daha karıştırılmaya devam ettikten sonra mekanik, elektrik ve dayanıklılık testleri 5x5x5 cm. lik çelik kaplara, su arıtma uygulaması için ise 3.3x3.3x2.5 cm. lik silikon prizmatik kalıplara dökülmüştür. Laboratuvar ortam koşullarında (25 ± 3 ° C) de testlerin başlangıcına kadar kürleme işlemi uygulanmıştır. Kürleme suyu olarak ürün özelliklerini daha iyi belirleyebilmek için kürleme suyu olarak damıtılmış su kullanılmıştır.

Membran sistemi: Membran, iki faz arasında seçici olarak bir bariyer (Bariyer) görevi görür. Günümüz membran prosesleri, su arıtımı ve içme suyundaki kirleticilerin arıtımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikrobiyolojik kontaminantların, organik maddelerin ve partiküllerin uzaklaştırılması veya kısmen uzaklaştırılması için membran ayırmalar uygulanabilmektedir (Koltuniewicz & Drioli, 2008) (Saifuddin et al., 2020). İçme suyunun fiziksel kimyasal ve biyolojik analizlerinde mikro parçacık boyutlarına membran filtrasyon sistemleri kullanılagelmektedir. Bu çalışmada barajdan temin edilen hamsu (işlem görmemiş su) ve üretilen çimentolu kompozitler ile arıtılmış suyun (arındırılmış su) fiziksel, kimyasal ve biyolojik analizleri membran filtrasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, membran proseslerinin verimliliğinin malzeme özellikleri ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır (Saifuddin et al., 2020).

Çimentolu kompozitler ile su arıtma: İçme suyu arıtımı için üretilen çimento esaslı kompozitlerin performansını gözlemlemek için Türkiye, Çankırı ili baraj gölünden su numunesi (arıtılmamış) temin edilmiştir. Temin edilen arıtılmamış suyun yarısı (~ 5 l)

fiziksel ve kimyasal testler için kullanılırken, diğer yarısı mikrobiyolojik analizler için ayrılmıştır.

Fiziksel ve kimyasal analiz için, su numunesi 2 litrelik beherlere konulmuştur ve çimentolu kompozit numuneler oda sıcaklığında 48 saat süreyle beherlerde bekletilmiştir. Arıtılmamış su ve çimentolu kompozitler ile filtrelenen suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri, Türk Standardı 266'ya göre test edilmiştir (Ek A tablo A.1). Ağır metal analizleri ise endüktif olarak eşleştirilmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak yapılmıştır. Arıtılmamış ve filtrelenmiş suyun mikrobiyolojik analizleri membran filtrasyon tekniği ile yapılmıştır. (Ghosh & Vandana, 2017). Bu yöntem sırası ile aşağıdaki adımları içermektedir. (Lugo-Arias et al., 2020). 0,45 µm gözenek boyutuna sahip selüloz membran filtrelerden geçirilen arıtılmamış ve filtrelenen su *Enterococcus faecalis, Salmonella typhimurium, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli* (fekal), *E. coli* (koliform), *Staphylococcus aureus* ve *toplam canlı* bakteri üremesinin inhibasyon analizi için sterilize edilmiş içerisinde besiyeri bulunan petri kaplarına yerleştirilmiştir. 37 ° C'de 24 saatlik inkübasyon süresinin ardından besiyerlerinde yer alan koloniler sayılarak mikrobiyolojik analiz testi tamamlanmıştır (Şimşek et al., 2019).

3.3 Testler

Çimento esaslı kompozitler: Kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbon içeren çimento esaslı kompozitlerin elektriksel direncini belirlemek için iki problu yöntem seçilmiştir (Şimşek et al., 2018). Çimento esaslı kompozitlerin korozyon direnci hakkında bilgi veren elektriksel özdirenç testi, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları 5x5x5 cm olduğu için elektriksel direncin belirlenmesinde iki prob yöntemi yeterli kabul edilmiştir. Ultrasonik ses hızı, su emme değerleri (Şimşek et al., 2018) ve gözeneklilik gibi kalıcılık özellikleri sırasıyla ASTM C597-09, EN 12390-7 ve ASTM D 4404'e göre belirlenmiştir (Linares-Alemparte et al., 2019). Numunelerin basınç dayanımı ise ASTM C109 / C109M-16a (2016) standardına göre belirlenmiştir.

Termogravimetrik analiz (TGA) için Retsch Vibratory Disc Mill RS 200 bu cihazda öğütülen numunelerde yaklaşık 10 mg. lık örnek TA Instruments STD Q-600 cihazı ile ısıtma hızı 10 ° C / dak, 600 ° C'ye kadar, azot atmosferinde termal analize tabi tutulmuştur. Numunelerin 90 günlük hidratasyon derecesini tahmin etmek için (H. Yang et al., 2017) ve portlandit içeriğini belirlemek için TGA kullanılmış portlandit (CH %) içeriği Denklem 3-1 yardımıyla hesaplanmıştır (Qureshi & Panesar, 2019). Denklem 3-1 de yer alan 74 ve 18 rakamları sırasıyla kalsiyum hidroksit ve suyun molekül ağırlığını simgelemektedir.

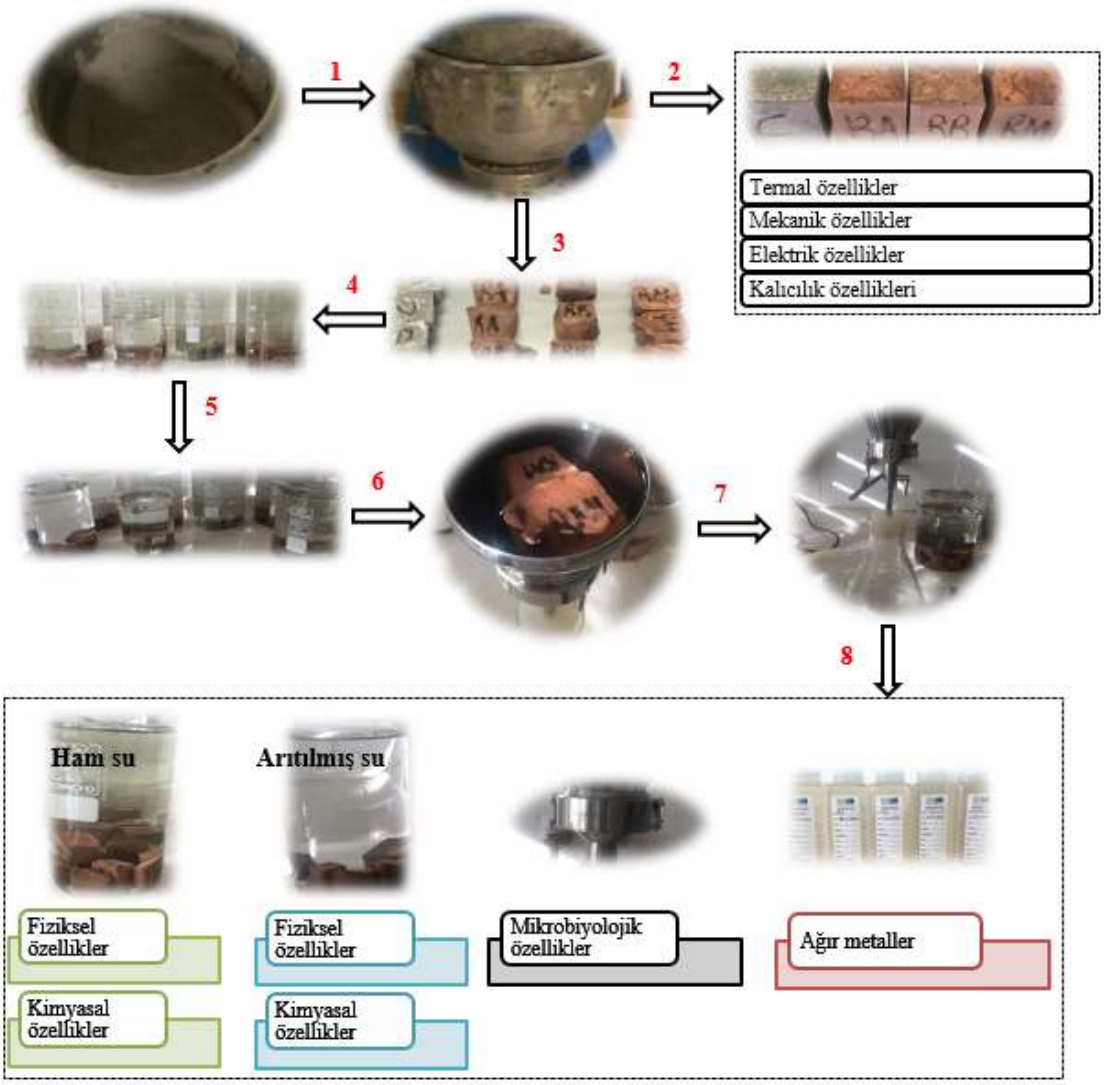
$$CH\% = \left(\frac{\text{Kalsiyum Hidroksitin } 400^0\text{C}-500^0\text{C arası ağırlık kaybı}}{500^0\text{C deki numune ağırlığı}}\right) * \left(\frac{74}{18}\right) * 100(\%) \quad 3.1$$

Denklem 3-1 TGA (CH %) içeriği portlandit ile hesaplama

Arıtılmamış ve filtrelenmiş su için kullanılan test ve ölçüm yöntemlerinin detayları tamamlayıcı materyallerde (Ek A, Tablo A1) verilmektedir (Şimşek et al., 2019). İnsan tüketim standardına (TS 266) göre fiziksel ve kimyasal testler yapılmıştır. Sertlik, çözünmüş oksijen, bulanıklık, demir, manganez, nitrat, amonyak, kalsiyum, klor, magnezyum, ağır metaller (kurşun, kadmiyum, siyanür ve arsenik) ve toplam canlı mikroorganizma sayımlarını içeren mikrobiyolojik testler gerçekleştirilmiştir (Gusain et al., 2020). Mikrobiyolojik analizler için inkübasyon koşulları ve uygulanan standartlar, ek materyallerde (Ek A, Tablo A2) verilmektedir.

3.4 Metodoloji

Şekil 3-1'de görüldüğü gibi, bu çalışmada izlenen metodoloji; Bentonit ve aktif karbon ile modifiye edilmiş kırmızı çamur katkılı çimento esaslı kompozitlerin hazırlanması, özelliklerinin belirlenmesi, su arıtma düzeneğinin hazırlanması, su arıtmasının numunelere uygulanmasından sonra arıtılmamış ve filtrelenmiş suyun analizini içermektedir. Ağır metallerin saflaştırılmasında adsorpsiyon yöntemi, kullanım kolaylığı, maliyet etkinliği (You et al., 2020), minimum çamur üretimi ve rejenerasyon kapasitesi (Maleki et al., 2019) nedeniyle tercih edilmektedir. Çimentolu kompozitlerin su arıtma performansını belirlemek için adsorptif çimentolu kompozit küpler kullanılmıştır.



Şekil 3-1 İzlenen Metodoloji

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çimento esaslı kompozitler

Çimento hamurlarının elektriksel, ısıl ve mekanik özelliklerinin yanı sıra dayanıklılıklarının belirlenmesi için karışım tasarımı dikkate alınarak 5 × 5 × 5 cm

boyutlarında kompozit numuneleri hazırlanmıştır (Tablo 4-1). Hazırlanan harçlar kontrol numunesi için ‘C’, kırmızı çamur katkılı harçlar için ‘RM’, kırmızı çamur bentonit katkılı harçlar için ‘RB’, kırmızı çamur aktif karbon katkılı harçlar için ‘RA’ olarak sembolize edilmiştir (Tablo 4-1).

Hazırlanan çimento esaslı kompozitlerin karışım oranları ve deneylerin sonuçları Tablo 4-1'te verilmiştir.

Tablo 4-1 Karışım oranları ve sonuçlar

KARIŞIM ORANLARI							
Den. No.	**Bileşenler**						**Birim hacim ağırlığı (Kg/m^3)**
	AC (g)	**RM (g)**	**Bentonit (g)**	**Çimento (g)**	**Su (g)**	**SP (g)**	
C	0	0	0	525	225[1]	0.006	1330
RM	0	52.5	0	525	225	0.006	1788
RB	0	52.5	52.5	525	225	0.006	1584
RA	5.25	52.5	0	525	225	0.006	1779
ÇİMENTOLU KOMPOZİTLER İÇİN KARIŞIM ORANLARI							
Den. No.	**Mini-slump(cm)**	**ER (kohm*m)**	**UPV (km/s)**	**CS (MPa)**	**WA (%)**	**PO (%)**	**$Ca(OH)_2$ İçeriği (%)**
C	21	20.1	2.43	11.38	31.99	44.34	8.01
RM	15	23.9	2.16	10.58	32.66	45.03	5.80
RB	9	21.1	2.34	2.25	36.11	47.43	7.44
RA	11	21.9	2.35	7.85	30.75	43.83	4.72

Tablo 3-1’de yer alan ve harçların kalite kriteri olarak tanımlanan çimentolu kompozit özellikleri sırasıyla elektrik özdirenci (ER), Ultrasonik ses hızı (UPV), 28 günlük basınç dayanımı (CS), su emme yüzdesi (WA), korozite (PO) ve kalsiyum hidroksit içeriği olarak belirlenmiştir. Beklendiği gibi, kırmızı çamurun ve aktif karbonun gözenekli yapısı ve bentonitin daha yüksek özgül yüzey alanı, çoğunlukla yapı içindeki suyu hapsettiğinden çimentolu kompozitlerin akışkanlığının azalmasına neden olmuştur. Dahası, bentonit parçacıkları çimento hamurundaki su ihtiyacını arttırmıştır, viskozitenin artmasına ve işlenebilirlikte dramatik bir azalmaya neden olmuştur. Öte yandan, özellikle süper akışkanlaştırıcı etkisiyle bentonit ve kırmızı çamur, çimento

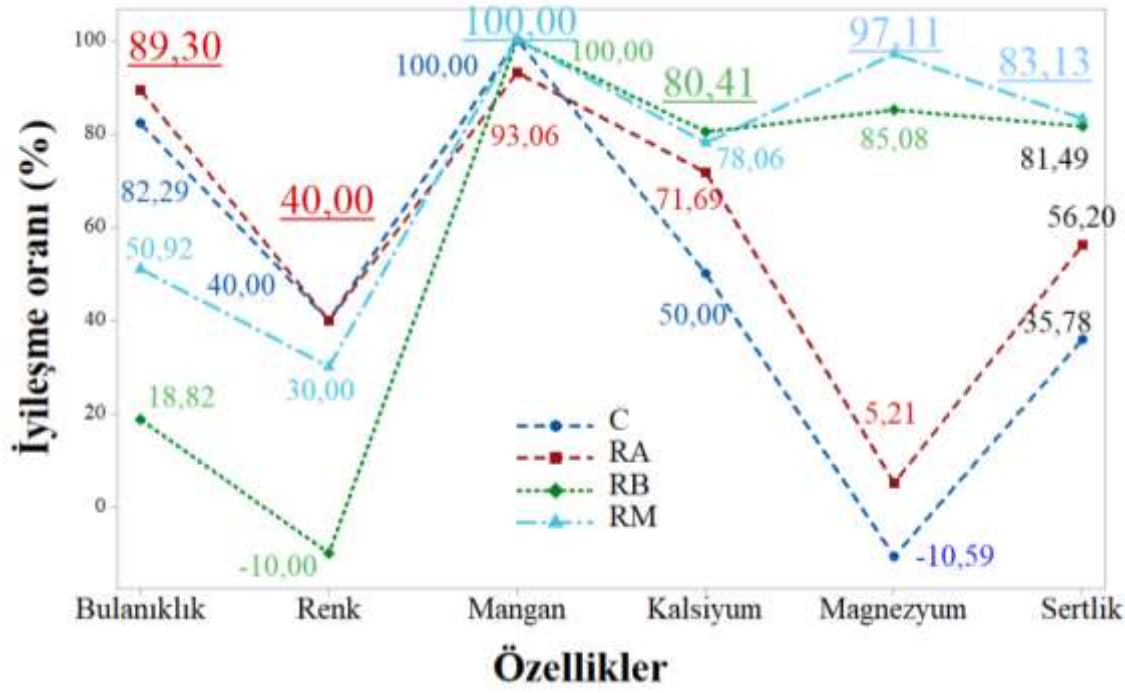
esaslı kompozitteki boşlukları doldurarak yoğunluğunu artırmıştır. RM, RB ve RA çimento esaslı kompozitlerin basınç dayanımı, pozzolanik reaksiyonun genellikle erken aşamalarda daha yavaş olması nedeniyle 28 günde azalmıştır (Masood et al., 2020). Ultrasonik ses hızı ölçümleri de bu sonucu desteklemiştir. Daha gözenekli RM, RB ve RA kompozit yapıları nedeniyle daha düşük Ultrasonik ses hızı değerleri elde edilmiştir. İçeriğindeki demir oksit ve alüminyum oksit nedeniyle kırmızı çamur ilavesi çimentolu kompozitlerin elektriksel direncini artırmıştır. Çimentolu kompozit yapıda gözeneklilik ve su emiliminin artması ile hidratasyon derecesi azalmış ve buna bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı da azalmıştır (Ghalehnovi et al., 2019). Çimentolu kompozitlere kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbon ilave edildiğinde, harcın hidratasyon derecesinde (CH içeriği) önemli bir azalma belirlenmiştir. Bu sonuçlar basınç dayanımı ve ultrasonik ses hızındaki azalma bulguları ile tutarlıdır; ancak bentonit içeren numunede, bentonitten gelen silikon ve kalsiyum nedeniyle hidratasyon derecesindeki azalma nispeten daha az olmuştur (ek malzemeler, Ek B, Şekil B1).

Azalan ultrasonik ses hızı, hidratasyon derecesi (CH içeriği) ve basınç dayanımı, bentonit ve aktif karbon ile modifiye edilmiş kırmızı çamur katkılı çimento hamurlarında artan gözenekliliğin göstergesidir (Tablo 4-1). Bu nedenle sonuçlar, bu katkı maddelerinin taşıyıcı betonda kullanılmasının dezavantajlarını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, gözenekli çimento harçları yapı malzemelerinde ve farklı amaçlar içinde kullanılabilir. Örneğin, bentonit ve aktif karbon ile modifiye edilmiş kırmızı çamur katkılı çimento harçlarının gözenekli yapısı, suyun verimli bir şekilde akmasına ve proseslerdeki kirleticileri filtrelemesine izin verdiğinden, membran filtrasyon tasarımı amaçlı kullanılabilirler. Literatürde görüldüğü gibi, kırmızı çamur kullanılan jeopolimerler ve absorbatif küp tasarımları, kadmiyum, kurşun, bakır, krom (X. Chen et al., 2019) ve manganez gibi ağır metalleri sudan (Li, Huang et al., 2020) gidermeyi başarmıştır; ancak, bu metallerin tek başına içme suyundan giderilmesi, bu malzemelerin su arıtımı için kullanılacağı anlamına gelmez. Bu amaçla Chen, X. ve diğerleri, 2019, yağmur suyundaki diğer kirleticiler için kırmızı çamurun adsorpsiyon kapasitesinin etkili olduğunu öne sürmüşlerdir. Çünkü; normal geçirgen beton ve jeopolimerlerin adsorpsiyon kapasitesine sahip, yüksek fırın cürüfu gibi mineral katkı

malzemeleri içermesi nedeniyle sınırlıdır (Wu et al., 2021). Çimento harçlarının adsorpsiyon kapasitelerini artırmak için bentonit (Niu et al., 2020) ve aktif karbon (Hu et al., 2019) gibi katkı maddeleri deneysel olarak harçlara ikame edilmiştir. Yüksek gözenekliliğe sahip harç tabanlı bir adsorptif tasarım, baca gazı filtresi olarak veya gözenekli yol betonu tasarımı olarak kullanılabilir. Bu harçların içme suyu uygulaması için, gerekli olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik standartları karşılaması gerekir. Harç tabanlı adsorbanlar, toz formunda kullanılabileceği gibi farklı katkı maddeleri ile de değiştirilebilir. Bu nedenle harç tabanlı absorbanlar öğütülerek toz veya granül halinde yahut kompozit formunda çok fonksiyonlu adsorban materyalleri üretilmesi için kullanılabilir.

4.2. İçme Suyu Arıtımı

İçme suyu arıtımında kullanılan fiziksel ve kimyasal özelliklerin analizi ve hedef değerleri (Ek C, Tablo C1) de bulunabilir. Kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbon katkılı çimentolu kompozitlerin içme suyu arıtmasındaki etkilerini gözlemlemek için TS 266 standardına göre fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Barajdan alınan arıtılmamış ve filtrelenmiş (absorban çimentolu kompozitler ile) suyun iyileşme oranları hesaplanmış ve Şekil 2’ ye aktarılmıştır. Özellikle içme suyu arıtımında en önemli ve en başarılı kriterler Şekil 4-1’ de verilmiştir.



Şekil 4-1 Adsorptif çimento esaslı kompozitler ile arıtılmış suyun seçilen fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki iyileşme oranları

Katkısız çimento esaslı kompozitler, arıtılmamış sudaki bulanıklığı gidermede çok başarılı olmuşlardır, bununla birlikte kırmızı çamur ve aktif karbon (ağırlıkça çimento yerine %1 oranında) ilavesi ile iyileşme oranları sırasıyla % 82.29'dan % 89.30'a yükselmiştir. Bentonit ve kırmızı çamur katkılı çimento esaslı kompozit numuneler, bu malzemeler tek başına kullanıldığında, bulanıklığın giderilmesinde başarısız bulunmuştur, ancak kırmızı çamurlu çimentolu kompozitlere sadece çimento yerine ağırlıkça % 1 oranında aktif karbon eklenmesiyle, kırmızı çamurun olumsuz etkisi ortadan kaldırılmıştır (Şekil 4-1). Renk analizi sonuçlarında bulanıklık sonuçlarına benzer değerler elde edilmiştir. Katkısız ve RA kompozitler renk değerinde % 40'lık bir iyileşme sağlarken, RM örnekleri yalnızca % 30'luk bir iyileşme sağlamıştır, bununla birlikte sadece bentonit içeren numuneler renk değerinde herhangi bir iyileştirme oluşturmamıştır (Şekil 4-1). İçme suyu arıtma kalite kriterlerinde sıklıkla karşılaşılan bir sorun, yüksek konsantrasyonlardaki manganezdir. Bu çalışmanın önemli sonuçlarından biri, katkısız çimento kompozitlerinin arıtılmamış sudaki manganezi tamamen bertaraf etmesidir (Şekil 4-1). Çimentoda bulunan metal oksitlerin manganezin adsorbe

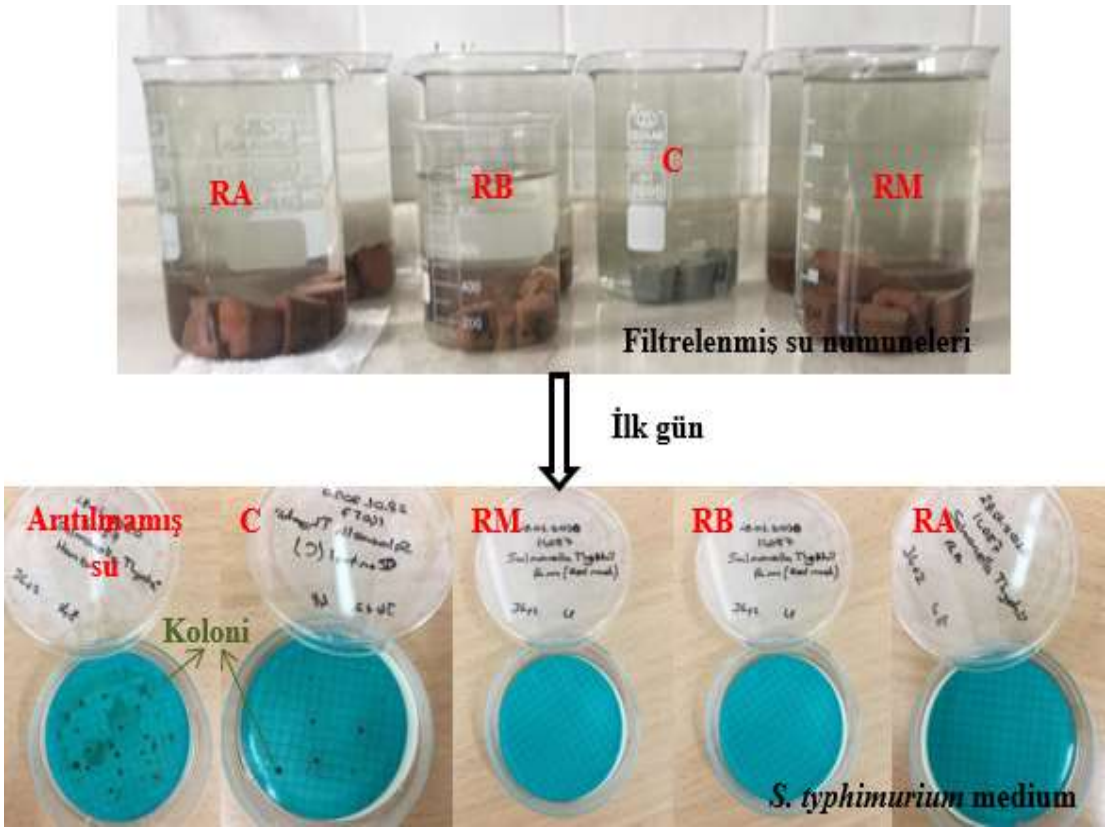
edilmesinde en önemli faktör olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, arıtılmamış sudaki kalsiyumun % 50'si katkısız çimentolu numune kullanılarak elimine edilirken, bu geri kazanım oranı RM ve RB çimentolu numuneler için sırasıyla % 78,6 ve % 80,41 olarak bulunmuştur. Özellikle aktif karbon içerenler, ham sudan magnezyumu elimine etmede başarısız olmuşlardır (Şekil 4-1). RM ve RB çimentolu kompozitlerde neredeyse benzer oranlarda alüminyum oksit olması nedeniyle magnezyum tutulmasında önemli bir iyileşme sağlanmış olabilir. (RB numunesi için % 85,08 ve RM numunesi için % 97,11) (Şekil 4-1). Arıtılmamış suyun sertlik değerinin giderilmesinde beklendiği gibi kalsiyum adsorpsiyon değerlerine benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4-1). Dahası, kırmızı çamur ve bentonit kullanımını arıtılmamış sudaki sülfat, toplam karbon ve alkalinite değerlerini katkısız çimentolu kompozite göre kısmen arttırdığı; bununla birlikte bu değerlerin ve su özelliklerinin istenen standartlar içinde kaldığı gözlemlenmiştir (ek malzemeler, Ek A, Tablo A1).

Arıtılmamış su ve çimentolu kompozitler ile filtrelenmiş suyun mikrobiyolojik analiz sonuçları (Tablo 4-2) ‘e aktarılmıştır. Katkısız çimentolu kompozitlerin su numunesi içinde e.facialis mikroorganizmasının üremesinin önlenmesinde % 100 başarılı olduğu birinci ve ikinci gün testlerinde belirlenmiştir. Ayrıca; S. *Typhimurium, P. Aeruginosa, S. Aureus,* mikroorganizmalarının üremesinin engellenmesinde özellikle birinci gün kısmen başarı katkısız çimentolu kompozitler ile elde edilmiştir. RM, RB, RA çimentolu kompozitler ile ilk iki gün için *E. Facialis, S. Typhimurium, P. Aeruginosa* gibi mikroorganizmaların üremesi tamamen engellenmiştir. RA çimentolu kompozitler ile yine ilk iki gün için *E.Colifecal* mikroorganizmasının üremesinin engellenmesinde %100 başarı sağlanmıştır. Çalışma sonuçları genel olarak özetlendiğinde toplam canlı dahil çalışılan tüm mikroorganizmaların üremesinde çok ciddi bir başarı elde edilmiştir (Tablo 4-2).

Tablo 4-2 Çimentolu kompozitlerle filtrelenmiş suyun mikrobiyolojik analizi

Örnek	Günler	*Toplam canlı*	*E-colifecal*	*E. facialis*	*S. typhimurium*	*P. aeruginosa*	*S. aureus*	*E. coliform*
Arıtılmamış Su	1. gün	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
	2. gün	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
C	1. gün	>100	>100	0	0	0	10	>100
	2. gün	>100	>100	0	>100	>100	40	>100
RM	1. gün	20	0	0	0	0	0	40
	2. gün	25	38	0	0	0	3	46
RB	1. gün	0	0	0	0	0	0	3
	2. gün	5	6	0	0	1	6	5
RA	1. gün	20	0	0	0	0	10	0
	2. gün	30	0	0	0	0	15	0

Çimentolu kompozitler kullanılarak filtrelenmiş su örneklerindeki S. typhimurium analizi ve ortamdaki mikroorganizma büyümesinin inhibisyonu Şekil 4-2 'de görülebilir.



Şekil 4-2 *S. typhimurium* analizi

Kırmızı çamur katkılı çimento esaslı kompozitlerin aktif karbon ile modifiye edilmesi sayesinde gözenekli bir yapı oluşmuş ve macunların adsorptivite ve filtrasyon

kabiliyetini iyileştirmiş olabilirler. Su geçirgen Jeopolimerler *E.colifecal* mikroorganizmalarının büyümesini önlemede başarılı olsa da (López-Carrasquillo & Hwang, 2017); bu çalışma ile harçlara bir proses atığı olan kırmızı çamur ve aktif karbon katkı maddelerinin ilavesi ile *E. Faecalis, S. typhimurium, P. aeruginosa, S. aureus, and S. typhimurium* gibi diğer mikroorganizmalarının büyümesini önlemedeki başarısı ilk kez gösterilmiştir.

İçme suyu arıtımında dikkat edilen ağır metal ve iyonların içme suyundan uzaklaştırılmasında kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbonun etkili olduğu gözlemlenmiştir. Arıtılmamış sudan demirin uzaklaştırılmasında katkısız çimentolu kompozitler % 40,45 oranında iyileştirme sağlamıştır. Bununla birlikte, düşük miktarda demir oksit ve büyük miktarlarda kalsiyum oksit, alüminyum oksit ve silikon oksit içeren çimentolu kompozitler, arıtılmamış sudan demirin bertarafında daha başarılı olmuştur. Katkılı çimentolu kompozitler ile kobalt gideriminde en yüksek iyileşme oranları RB, RA, C ve RM çimentolu kompozitler için sırasıyla % 51.68, % 51.66, % 46.90 ve % 26.67 olarak bulunmuştur (Tablo 4.3). Katkısız çimentolu kompozitler ile arıtılmamış sudan arsenik gideriminde % 10'luk bir iyileşme oranı sağlanırken, kırmızı çamur içerisinde yer alan arsenik nedeniyle diğer çimentolu kompozitler başarılı olamamıştır (Tablo 4-3). En başarılı sonuçlar arıtılmamış sudan baryumun giderilmesi çalışmasında elde edilmiş ve RA, RM ve RB çimentolu kompozitler için sırasıyla %90.17, %90.27 ve %83.26 iyileşme oranları elde edilmiştir (Tablo 4-3). Bununla birlikte, tüm çimentolu kompozitler kurşun, kadmiyum, lityum, gümüş, bor ve silikonu içme suyundan gidermede başarı gösterememişlerdir (Tablo 4-3). Bununla birlikte şu iyi bilinmelidir ki; kırmızı çamurun bileşiminin bölgesel olarak farklılık gösterebileceği ve bu nedenle kırmızı çamurda yer alan ağır metallerin varlığı su arıtma performansını etkilemiş olabilir.

Tablo 4-3 Çimento esaslı kompozitlerle arıtılmamış sudan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması

Örnek	Sonuç	Fe	Co	Pb	As	Cd	Li	Ag	B	Si	Ba
Arıtılmamış su	Sonuçlar	6,838	5,066	0.748	2,381	0.686	<4.26	< 3.7	1,472	12,270	22,954
	Iyi. oranı	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C	Sonuçlar	4,07	2,69	0.775	2,13	0.705	12,08	< 3.7	2,376	12,953	16,023
	Iyi. oranı	40.4	46.9	-3.61	10.3	-2.77	N/A	N/A	-61.41	-5.57	30.20
RM	Sonuçlar	27,52	3,71	1,041	15,9	0.714	49,10	29,50	11,724	15,768	2,233
	Iyi. oranı	-302	26.7	<-10	-569	-4.08	N/A	N/A	-696.5	-28.51	90.27
RB	Sonuçlar	7,097	2,45	0.773	7,59	0.723	33,30	4,012	12,547	18,230	3,843
	Iyi. oranı	-3.79	51.7	-3.34	-219	-5.39	N/A	N/A	-752.4	-48.57	83.26
RA	Sonuçlar	11,84	2,45	0.876	5,66	0.698	26,64	< 3.7	10,031	16,385	2,257
	Iyi. oranı	-73.1	51.7	-17.1	-138	-1.75	N/A	N/A	-581.4	-33.54	90.17

$$\text{İ}yileşme\ oranı\ (Iyi.oranı), \% = \left[\frac{(6.838-4.07)}{6.838}\right] * 100 = 40.4\%$$

Denklem 4-1 İyileşme Oranı Hesaplaması

Kırmızı çamurdaki bentonit, ağır metal giderimi için hayati öneme sahiptir ve su arıtma işleminden sonra demir içeriğindeki artış, kırmızı çamurdaki yüksek demir içeriğinden kaynaklanmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalar, kırmızı çamurun mangan (Y. Li et al., 2020), kadmiyum, kurşun, bakır, krom (X. Chen et al., 2019) ve arsenik (Pietrelli et al., 2019) gibi ağır metalleri gidermede başarılı olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak elde edilen kobalt için % 51,7 ve baryum için % 90,27 iyileşme oranlarıdır. Elde edilen bu çarpıcı yüksek iyileşme oranları özellikle pil endüstrisinde atık olarak ortaya çıkan ve endüstriyel atık sularda fazla miktarda yer alan kobalt ve baryum ağır metallerinin giderimi için kırmızı çamurun kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, kırmızı çamur diğer ağır metalleri çıkarmada başarısız olabilir çünkü bu metaller zaten içeriğinin bir parçasıdır. Gelecekte, araştırmacılar uygun çimento harç karışımı tasarımı için kırmızı çamurun ağır metal içeriğini göz önünde bulundurmalı ve kimyasal maddelerin arıtılmış suyu kirletmesini önlemek için uygun katkı maddelerini harca ilave etmelidir. Bu çalışmada, katkı maddesi olarak kullanılan aktif karbon ve bentonitin baryum ve kobaltın baraj suyundan uzaklaştırılmasında elde ettiği başarı diğer araştırmacılar için yol gösterici nitelikte olacaktır. Kırmızı çamur içeriğine bağlı olarak, tasarımda sülfat alüminat

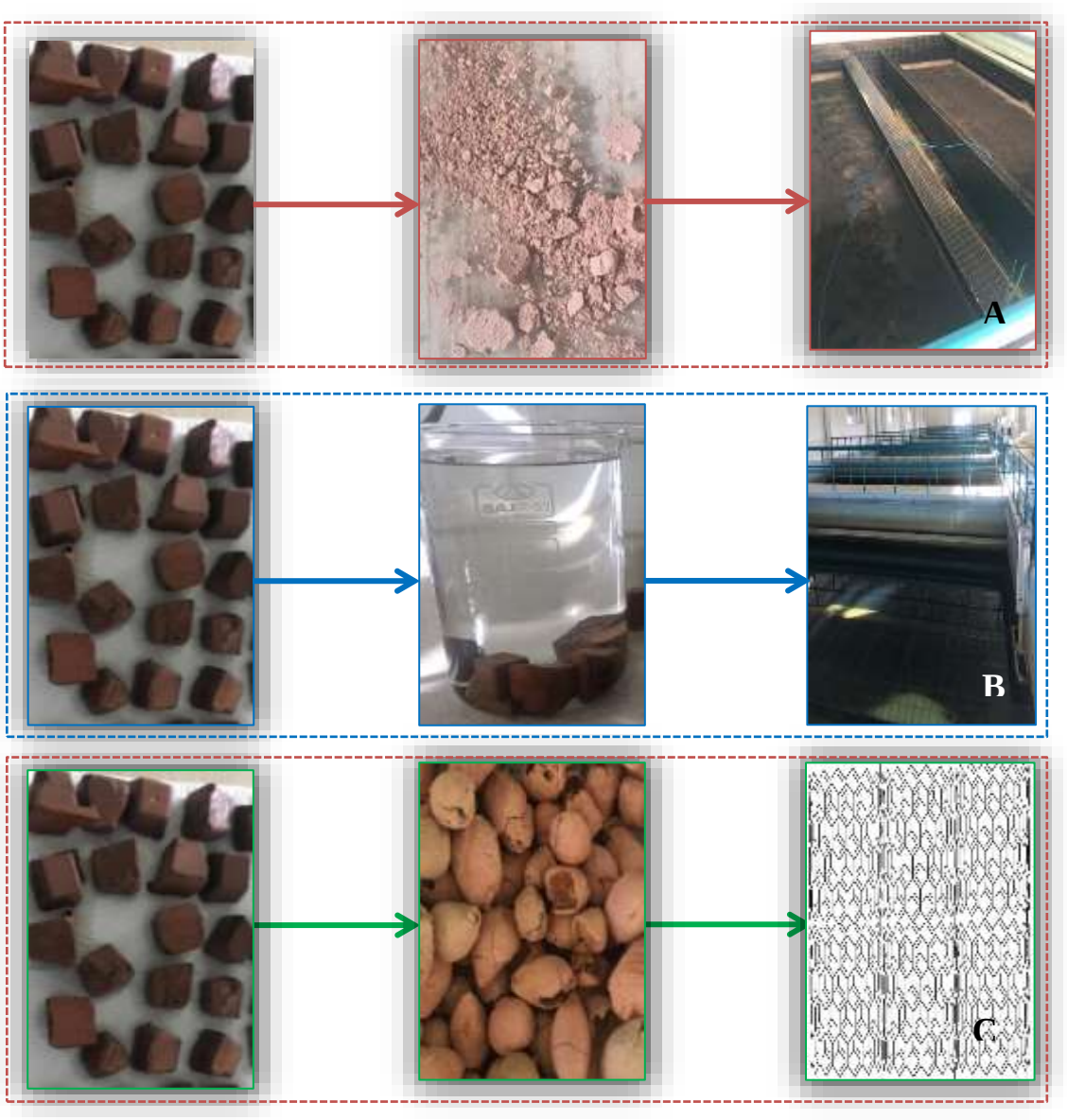
çimentosu (Niu et al., 2020) gibi farklı çimento türleri veya zeolitler, linyit, nanomalzemeler ve biyokömür gibi katkı maddeleri (Han et al., 2020) kullanılabilir. Uygun bir karışım tasarımı, harçların adsorpsiyon kabiliyetini artıracaktır. Kırmızı çamurun içeriğine uygun katkı maddelerinin seçilmesi, daha etkili ve sürdürülebilir bir su arıtma süreci sunacaktır.

4.3 Literatür ile Karşılaştırma ve Öneriler

Chen, X. vd., 2019'da yaptıkları çalışmada jeopolimer bazlı geçirgen beton kullanarak kadmiyum ve kurşun iyonlarının sudan uzaklaştırılma oranını sırasıyla % 45,41 ve % 66,12 olarak bulmuştur. Yaptıkları bu çalışma ile gözenekli betonları ağır metalleri uzaklaştırmada başarılı olduğunu göstermişlerdir. Rubinos ve Spagnoli, 2019'da yaptıkları çalışmada 5.5-6 aralığında bir pH 'ta maksimum % 98 oranında arsenik giderimi gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, daha alkali veya asidik ortamlarda arsenik gideriminin etkinliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Pietrelli ve diğerleri, 2019' da yaptıkları çalışmada arsenik için kırmızı çamur ve pirolüzit kullanarak 6,5 pH değerinde yaklaşık % 95'in üzerinde bir iyileşme elde etmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçlarını, kullanılan arıtma prosesleri, koşulları ve kırmızı çamur içeriğindeki farklılıklar nedeniyle mevcut literatürden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak kolay değildir bununla birlikte, pH ayarının ve gözenekli beton tasarımının su arıtma proseslerinde daha fazla avantaj sağlayacağı açıktır. Daha önce literatürde bildirilmeyen kobalt ve baryum gibi ağır metallerin sudan uzaklaştırılmasında elde edilen % 51.7 ve % 90.27 değerindeki iyileşme oranları ileri de yapılacak çalışmalar için oldukça önemlidir.

Buna ek olarak, aktif karbon ile modifiye edilmiş kırmızı çamur çimento esaslı kompozitlerin gözenekliliği ve geçirgenliği, fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirliliklerin giderilmesi açısından su arıtma sürecini iyileştirmekte ve bu çalışmada su arıtma için kullanılan çimento harç küplerinin gelecekteki su arıtma tesisleri için bir model olması öngörülmektedir. Çünkü; numuneler toz haline getirilebilir ve geleneksel bir su arıtma tesisinde kumun bir kısmı değiştirilerek kum filtrelerinde kullanılabilir (Şekil 4-3A), veya bir beherde kübik numunelerin kullanıldığı bu çalışmadaki deneylerde kanıtladığı gibi, filtre havuzlarında büyük küp numuneler olarak kullanılabilirler (Şekil 4-3B).

Örneğin; 15 cm^3 ölçüsündeki harçlar, 48 saat filtre havuzlarında bırakılarak mevcut arıtma tesislerinde tasarlanıp kullanılabilir (Şekil 4-3B). Bu şekilde, ilave toz haline getirme aşaması olmaksızın mevcut arıtma tesislerinde kullanmak için daha pratik bir yöntem bulunmuş olur. Su arıtma tesisleri dışında bu malzemeler, su geçirgen beton yapımında, belli bir düzeyde iri agrega ilavesi yapılarak veya geçirgen beton imalatında kullanılan agregaların kaplanmasıyla yol yapımı için kullanılabilir (Şekil 4-3C)



Şekil 4-3 İçinde aktif karbon ile modifiye edilmiş RM çimento esaslı kompozitlerin kullanımıyla olası uygulamalar a) toz halinde kum filtresi, b) soğurucu küpler olarak

filtre havuzu ve c) kaplama malzemesi olarak veya iri agregalar yerine geçirgen beton tasarımı

Bilindiği gibi geleneksel yöntemlerde oldukça ağır olan kaba ve ince ızgaralar sadece mekanik ayırma için kullanılmaktadır. Bu adsorptif küpler, bu noktada birkaç alternatif sunabilir. Ucuz ve hafif ızgaraların üretiminde bu küpler kullanılabilir. Aynı zamanda suyun sadece mekanik değil, kimyasal ve biyolojik arıtımı için de çok faydalı bir alternatif sağlayacaktır. Adsorpsiyon yöntemi, kirleticilerin çoğunu uygun maliyetli ve geri dönüşümlü bir şekilde ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir (You et al., 2020). Aktif karbon ile modifiye edilmiş kırmızı çamur çimento esaslı kompozit küplerin adsorpsiyon kapasitesi, gelecekteki araştırmalar için umut verici bir alternatif sunmaktadır.

Bir diğer önemli bulgu, bu adsorptif küpleri kullanarak baryumu giderilmesinin başarılmasıdır. Son derece toksik bir madde olan baryum, plastik, pil ve deri endüstrisinde baryum sülfür olarak kullanılır (Hosseini et al., 2019); baryum karbonat olarak cam üretiminde ve petrol endüstrisinde baryum oksit olarak kullanılmaktadır (Mhareb et al., 2020). Bu çalışmada aktif karbon ile modifiye edilmiş tasarlanan kırmızı çamur çimento esaslı kompozit küpler, bu endüstrilerde atık sularda bulunan baryumun geri kazanılması için önemli bir avantaj sağlayabilir. Ayrıca, baryumun bir başka problemi de suda belirli oranlarda çözünmesi ve bunun çok önemli çevresel riskler yaratmasıdır (Guo et al., 2020; Lamb, et al., 2013). Tasarlanan adsorptif küpler, bu tehdidin etkili bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir ve bu kirleticilerin giderilmesi için daha sürdürülebilir bir yol sunabilir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, aktif karbon ile modifiye edilmiş kırmızı çamur çimento esaslı kompozit küplerin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini ölçerek su arıtmadaki performansı analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1) Kübik çimento harç adsorbanları; kırmızı çamur, bentonit ve yüksek gözenekliliğe sahip aktif karbon kullanılarak tasarlanmıştır. Bu adsorban küpleri ile su arıtma performansı analiz edilmiş ve küplerin toz halinde kum filtrelerinde, filtre havuzlarında adsorptif küpler olarak ve sürdürülebilir kirlilik giderme için bir kaplama malzemesi olarak geçirgen beton üretiminde kullanılabilirliği öngörülmüştür.
2) Aktif karbon küçük miktarlarda dahi kullanıldığında (çimento yerine ağırlıkça %1 oranında) bile gözenekli yapısı sayesinde kırmızı çamur katkılı harçların adsorptivite ve filtrasyon kabiliyetini büyük ölçüde geliştirmiştir. Kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbonun beraber kullanılması (sinerjisi) mikroorganizma büyümesini önemli ölçüde engelleyerek etkili bir biyolojik, fiziksel ve kimyasal su arıtımı sağlamıştır.
3) RA Adsorptif küpler, baryumun (% 90.27) yanı sıra kalsiyum, manganez ve kobaltın adsorbe edilmesinde başarılı olmuştur. Baryum oldukça toksik olduğu ve plastik, boya, petrol, tekstil, mürekkep, kauçuk ve pil üretiminde yaygın olarak kullanıldığı için bu sonuç umut vericidir. 48 saatlik temas süresine sahip kırmızı çamur, bentonit ve aktif karbon katkılı adsorptif çimento esaslı küplerin kullanımı, atık su arıtma tesisleri için kalıcı, sürdürülebilir, uygun maliyetli ve pratik bir çözüm sunar.
4) Sürdürülebilir şehirleri planlarken yağmur suyu taşkın kontrol yönetimini dikkate almak için çok önemlidir. Çoğu şehirde, atık su ve yağmur suyu aynı kanal sisteminde taşınmaktadır, bu da temiz suyu kirletmekte, selleri artırmakta ve atık su arıtma tesislerinde verimliliği düşürmektedir. Bu çalışmada hazırlanan adsorptif küp tasarımı, temiz yağmur suyunun göllere ve barajlara ulaşmasını

sağlamak için şehirlerde kullanılmak üzere daha yüksek gözenekliliğe sahip su geçirgen beton üretmek için umut verici sonuçlar sunmaktadır.

5) Aktif karbon ve bentonit ile modifiye edilmiş kırmızı çamur çimento esaslı kompozitler, suyun sadece mekanik ayrışmasını değil, aynı zamanda kimyasal ve biyolojik özelliklerini de iyileştirerek daha etkili su arıtma sağlar. Özellikle, adsorpsiyon tekniğinin başarısı, uygun adsorban malzemenin bulunmasına dayanır. Çimento bazlı adsorptif küpler, zeolitler, biyokömür ve nanomalzemeler gibi farklı adsorban materyallerin kullanımına izin verdikleri için hem esnek hem de sürdürülebilir üretime olanak verir.

6. KAYNAKLAR

Adu-Manu, K. S., Tapparello, C., Heinzelman, W., Katsriku, F. A., & Abdulai, J.-D. (2017). Water quality monitoring using wireless sensor networks: Current trends and future research directions. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 13*(1), 1-41.

Ahmed, M. F. (2001). *An overview of arsenic removal technologies in Bangladesh and India.* Paper presented at the Proceedings of BUET-UNU international workshop on technologies for arsenic removal from drinking water, Dhaka.

Al-Gaashani, R., Almasri, D., Shomar, B., & Kochkodan, V. (2021). Preparation and properties of novel activated carbon doped with aluminum oxide and silver for water treatment. *Journal of Alloys and Compounds, 858*, 158372. doi:https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.158372

Al-Kaabi, M. A., Al-Ghouti, M. A., Ashfaq, M. Y. M., Ahmed, T., & Zouari, N. (2019). An integrated approach for produced water treatment using microemulsions modified activated carbon. *Journal of Water Process Engineering, 31*, 100830. doi:https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100830

Appleman, T. D., Higgins, C. P., Quiñones, O., Vanderford, B. J., Kolstad, C., Zeigler-Holady, J. C., & Dickenson, E. R. (2014). Treatment of poly-and perfluoroalkyl substances in US full-scale water treatment systems. *Water research, 51*, 246-255.

Aydin, S., Aydin, M. E., Beduk, F., & Ulvi, A. (2019). Removal of antibiotics from aqueous solution by using magnetic Fe3O4/red mud-nanoparticles. *Science of the Total Environment, 670*, 539-546. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.205

Babu, A. N., Reddy, D. S., Sharma, P., Kumar, G. S., Ravindhranath, K., & Mohan, G. V. K. (2019). Removal of Hazardous Indigo Carmine Dye from Waste Water Using Treated Red Mud. *Materials Today: Proceedings, 17*, 198-208. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.419

Bahyan, H., Ergüven, G. Ö., Akkoyunlu, A., & Kanat, G. (2017). The assessment of water quality in Ömerli dam reservoir İstanbul Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 26, 1a, 977-988

Baskan, M. B., & Pala, A. (2010). A statistical experiment design approach for arsenic removal by coagulation process using aluminum sulfate. *Desalination, 254*(1-3), 42-48.

Belkouteb, N., Franke, V., McCleaf, P., Köhler, S., & Ahrens, L. (2020). Removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in a full-scale drinking water

treatment plant: Long-term performance of granular activated carbon (GAC) and influence of flow-rate. *Water research, 182*, 115913. doi:https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115913

Bento, N. I., Santos, P. S. C., de Souza, T. E., Oliveira, L. C. A., & Castro, C. S. (2016). Composites based on PET and red mud residues as catalyst for organic removal from water. *Journal of Hazardous Materials, 314*, 304-311. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.066

Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M., & Sillanpää, M. (2013). An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal, 219*, 499-511. doi:https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.038

Bouki, C., Venieri, D., & Diamadopoulos, E. (2013). Detection and fate of antibiotic resistant bacteria in wastewater treatment plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety, 91*, 1-9.

Brady-Estévez, A. S., Kang, S., & Elimelech, M. (2008). A single-walled-carbon-nanotube filter for removal of viral and bacterial pathogens. *Small, 4*(4), 481-484.

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.

Bucak, T., Trolle, D., Tavşanoğlu, Ü. N., Çakıroğlu, A. İ., Özen, A., Jeppesen, E., & Beklioğlu, M. (2018). Modeling the effects of climatic and land use changes on phytoplankton and water quality of the largest Turkish freshwater lake: Lake Beyşehir. *Science of the Total Environment, 621*, 802-816.

Camper, A. K., LeChevallier, M. W., Broadaway, S. C., & McFeters, G. A. (1986). Bacteria associated with granular activated carbon particles in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology, 52*(3), 434-438.

Capitanescu, F., Marvuglia, A., Benetto, E., Ahmadi, A., & Tiruta-Barna, L. (2017). Linear programming-based directed local search for expensive multi-objective optimization problems: Application to drinking water production plants. *European Journal of Operational Research, 262*(1), 322-334. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.057

Carter, K. E., & Farrell, J. (2010). Removal of perfluorooctane and perfluorobutane sulfonate from water via carbon adsorption and ion exchange. *Separation Science and Technology, 45*(6), 762-767.

Chen, W., Parette, R., Zou, J., Cannon, F. S., & Dempsey, B. A. (2007). Arsenic removal by iron-modified activated carbon. *Water research, 41*(9), 1851-1858.

Chen, X., Guo, Y., Ding, S., Zhang, H., Xia, F., Wang, J., & Zhou, M. (2019). Utilization of red mud in geopolymer-based pervious concrete with function of adsorption of heavy metal ions. *Journal of Cleaner Production, 207*, 789-800. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.263

Cheng, W., Dastgheib, S. A., & Karanfil, T. (2005). Adsorption of dissolved natural organic matter by modified activated carbons. *Water research, 39*(11), 2281-2290.

Choong, C. E., Wong, K. T., Jang, S. B., Nah, I. W., Choi, J., Ibrahim, S., . . . Jang, M. (2020). Fluoride removal by palm shell waste based powdered activated carbon vs. functionalized carbon with magnesium silicate: Implications for their application in water treatment. *Chemosphere, 239*, 124765. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124765

Chularueangaksorn, P., Tanaka, S., Fujii, S., & Kunacheva, C. (2014). Adsorption of perfluorooctanoic acid (PFOA) onto anion exchange resin, non-ion exchange resin, and granular-activated carbon by batch and column. *Desalination and Water Treatment, 52*(34-36), 6542-6548.

Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's water treatment: principles and design*: John Wiley & Sons, United State of Amerika.

Cruz-Espinoza, A., Ibarra-Galván, V., López-Valdivieso, A., & González-González, J. (2012). Synthesis of microporous eskolaite from Cr (VI) using activated carbon as a reductant and template. *Journal of colloid and interface science, 374*(1), 321-324.

Dąbrowski, A., Podkościelny, P., Hubicki, Z., & Barczak, M. (2005). Adsorption of phenolic compounds by activated carbon—a critical review. *Chemosphere, 58*(8), 1049-1070.

Deng, B., Caviness, M., & Gu, Z. (2005). Arsenic removal by activated carbon-based materials. In: ACS Publications, 284-293, America.

Derakhshi, P., Ghafourian, H., Khosravi, M., & Rabani, M. (2009). Optimization of molybdenum adsorption from aqueous solution using granular activated carbon. *World Applied Sciences Journal, 7*(2), 230-238.

Dinka, M. O. (2018). Safe drinking water: concepts, benefits, principles and standards. *Water Challenges of an Urbanizing World, IntechOpen, London*, 163-181.

Dong, H., Yu, H., Wang, X., Zhou, Q., & Feng, J. (2012). A novel structure of scalable air-cathode without Nafion and Pt by rolling activated carbon and PTFE as catalyst layer in microbial fuel cells. *Water research, 46*(17), 5777-5787.

Dwivedi, P., Gaur, V., Sharma, A., & Verma, N. (2004). Comparative study of removal of volatile organic compounds by cryogenic condensation and adsorption by activated carbon fiber. *Separation and Purification Technology, 39*(1-2), 23-37.

Elanthamilan, E., Rajkumar, S., Merlin, J. P., Jona, D. S., Monisha, K., & Meena, B. C. (2020). Effect of decorating cobalt ferrite spinel structures on pistachio vera shell–derived activated carbon on energy storage applications. *Electrochimica Acta, 359*, 136953.

Eschauzier, C., Beerendonk, E., Scholte-Veenendaal, P., & De Voogt, P. (2012). Impact of treatment processes on the removal of perfluoroalkyl acids from the drinking water production chain. *Environmental science & technology, 46*(3), 1708-1715.

Feng, N.-Q., & Peng, G.-F. (2005). Applications of natural zeolite to construction and building materials in China. *Construction and Building Materials, 19*(8), 579-584.

Flores, C., Ventura, F., Martin-Alonso, J., & Caixach, J. (2013). Occurrence of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in NE Spanish surface waters and their removal in a drinking water treatment plant that combines conventional and advanced treatments in parallel lines. *Science of the Total Environment, 461*, 618-626.

Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal, 156*(1), 2-10. doi:https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013

Franke, V., McCleaf, P., Lindegren, K., & Ahrens, L. (2019). Efficient removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: nanofiltration combined with active carbon or anion exchange. *Environmental Science: Water Research & Technology, 5*(11), 1836-1843.

Gagnon, G., Rand, J., O'leary, K., Rygel, A., Chauret, C., & Andrews, R. (2005). Disinfectant efficacy of chlorite and chlorine dioxide in drinking water biofilms. *Water research, 39*(9), 1809-1817.

Gautam, M., & Agrawal, M. (2017). Phytoremediation of metals using vetiver (Chrysopogon zizanioides (L.) Roberty) grown under different levels of red mud in sludge amended soil. *Journal of Geochemical Exploration, 182*, 218-227. doi:https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.03.003

Gehrke, I., Geiser, A., & Somborn-Schulz, A. (2015). Innovations in nanotechnology for water treatment. *Nanotechnology, science and applications, 8*, 1.

Ghalehnovi, M., Roshan, N., Hakak, E., Shamsabadi, E. A., & de Brito, J. (2019). Effect of red mud (bauxite residue) as cement replacement on the properties of

self-compacting concrete incorporating various fillers. *Journal of Cleaner Production, 240*, 118213. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118213

Ghalehnovi, M., Shamsabadi, E. A., Khodabakhshian, A., Sourmeh, F., & De Brito, J. (2019). Self-compacting architectural concrete production using red mud. *Construction and Building Materials, 226*, 418-427.

Ghanim, B., Murnane, J. G., O'Donoghue, L., Courtney, R., Pembroke, J. T., & O'Dwyer, T. F. (2020). Removal of vanadium from aqueous solution using a red mud modified saw dust biochar. *Journal of Water Process Engineering, 33*, 101076. doi:https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101076

Ghosh, S., & Vandana, V. (2017). Nano-structured mesoporous silica/silver composite: Synthesis, characterization and targeted application towards water purification. *Materials Research Bulletin, 88*, 291-300. doi:https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2016.12.044

Gottipati, R., & Mishra, S. (2016). Preparation of microporous activated carbon from Aegle Marmelos fruit shell and its application in removal of chromium (VI) from aqueous phase. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 36*, 355-363.

Guo, T., Gu, H., Ma, S., & Wang, N. (2020). Increasing phosphate sorption on barium slag by adding phosphogypsum for non-hazardous treatment. *Journal of Environmental Management, 270*, 110823.

Gusain, R., Kumar, N., & Ray, S. S. (2020). Recent advances in carbon nanomaterial-based adsorbents for water purification. *Coordination Chemistry Reviews, 405*, 213111.

Haghighat, F., Lee, C.-S., Pant, B., Bolourani, G., Lakdawala, N., & Bastani, A. (2008). Evaluation of various activated carbons for air cleaning–Towards design of immune and sustainable buildings. *Atmospheric environment, 42*(35), 8176-8184.

Han, B., Butterly, C., Zhang, W., He, J.-z., & Chen, D. (2020). Adsorbent materials for ammonium and ammonia removal: A review. *Journal of Cleaner Production*, 124611.

Hauri, F. (2006). Natural zeolites from southern Germany: applications in concrete In: Bowmann RS, Delap SE (eds) Zeolite'06—7th international conference on the occurrence, properties, and utilization of natrural zeolites. *Socorro, New Mexico, USA, 130*.

Hosseini, S., Farhadi, K., & Banisaeid, S. (2019). Improving particle size of BaSO4 with a unique glycerol base method and its impact on the negative active material of the lead-acid battery. *Journal of Energy Storage, 21*, 139-148.

Hu, X., Dai, K., & Pan, P. (2019). Investigation of engineering properties and filtration characteristics of porous asphalt concrete containing activated carbon. *Journal of Cleaner Production, 209*, 1484-1493.

Januszewicz, K., Cymann-Sachajdak, A., Kazimierski, P., Klein, M., Łuczak, J., & Wilamowska-Zawłocka, M. (2020). Chestnut-derived activated carbon as a prospective material for energy storage. *Materials, 13*(20), 4658.

Jeong, Y., Fan, M., Singh, S., Chuang, C.-L., Saha, B., & Van Leeuwen, J. H. (2007). Evaluation of iron oxide and aluminum oxide as potential arsenic (V) adsorbents. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 46*(10), 1030-1039.

Jose, S., Mishra, L., Debnath, S., Pal, S., Munda, P. K., & Basu, G. (2019). Improvement of water quality of remnant from chemical retting of coconut fibre through electrocoagulation and activated carbon treatment. *Journal of Cleaner Production, 210*, 630-637. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.011

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. doi:https://doi.org/10.1016/S1003-6326(12)61766-X

Koltuniewicz, A. B., & Drioli, E. (2008). Membranes in clean technologies-theory and practice-vol. 1. *Environmental Engineering and Management Journal, 7*(5), 649-650.

Kotia, A., Yadav, A., Rohit Raj, T., Gertrud Keischgens, M., Rathore, H., & Sarris, I. E. (2020). Carbon Nanoparticles as Sources for a Cost-Effective Water Purification Method: A Comprehensive Review. *Fluids, 5*(4), 230.

Lam, D. V., Jo, K., Kim, C.-H., Kim, J.-H., Lee, H.-J., & Lee, S.-M. (2016). Activated carbon textile via chemistry of metal extraction for supercapacitors. *ACS nano, 10*(12), 11351-11359.

Lamb, D. T., Matanitobua, V. P., Palanisami, T., Megharaj, M., & Naidu, R. (2013). Bioavailability of barium to plants and invertebrates in soils contaminated by barite. *Environmental science & technology, 47*(9), 4670-4676.

LeChevallier, M. W., Hassenauer, T. S., Camper, A. K., & McFETERS, G. A. (1984). Disinfection of bacteria attached to granular activated carbon. *Applied and Environmental Microbiology, 48*(5), 918-923.

Li, X., Ji, M., Nghiem, L. D., Zhao, Y., Liu, D., Yang, Y., . . . Tran, N. H. (2020). A novel red mud adsorbent for phosphorus and diclofenac removal from wastewater. *Journal of Molecular Liquids, 303*, 112286. doi:https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112286

Li, Y., Huang, H., Xu, Z., Ma, H., & Guo, Y. (2020). Mechanism study on manganese (II) removal from acid mine wastewater using red mud and its application to a lab-scale column. *Journal of Cleaner Production, 253*, 119955.

Linares-Alemparte, P., Andrade, C., & Baza, D. (2019). Porosity and electrical resistivity-based empirical calculation of the oxygen diffusion coefficient in concrete. *Construction and Building Materials, 198*, 710-717.

Liu, R.-X., & Poon, C.-S. (2016). Utilization of red mud derived from bauxite in self-compacting concrete. *Journal of Cleaner Production, 112*, 384-391. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.049

Liu, W., Yang, J., & Xiao, B. (2009). Application of Bayer red mud for iron recovery and building material production from alumosilicate residues. *Journal of Hazardous Materials, 161*(1), 474-478.

López-Carrasquillo, V., & Hwang, S. (2017). Comparative assessment of pervious concrete mixtures containing fly ash and nanomaterials for compressive strength, physical durability, permeability, water quality performance and production cost. *Construction and Building Materials, 139*, 148-158.

Luckham, P. F., & Rossi, S. (1999). The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions. *Advances in Colloid and Interface Science, 82*(1), 43-92. doi:https://doi.org/10.1016/S0001-8686(99)00005-6

Lugo-Arias, J., Burgos-Vergara, J., Lugo-Arias, E., Gould, A., & Ovallos-Gazabon, D. (2020). Evaluation of low-cost alternatives for water purification in the stilt house villages of Santa Marta's Ciénaga Grande. *Heliyon, 6*(1), e03062. doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03062

Lücking, F., Köser, H., Jank, M., & Ritter, A. (1998). Iron powder, graphite and activated carbon as catalysts for the oxidation of 4-chlorophenol with hydrogen peroxide in aqueous solution. *Water research, 32*(9), 2607-2614.

Maleki, A., Hajizadeh, Z., Sharifi, V., & Emdadi, Z. (2019). A green, porous and eco-friendly magnetic geopolymer adsorbent for heavy metals removal from aqueous solutions. *Journal of Cleaner Production, 215*, 1233-1245.

Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). Activated carbon (origins). *Activated carbon*(1997), 13-86.

Masood, B., Elahi, A., Barbhuiya, S., & Ali, B. (2020). Mechanical and durability performance of recycled aggregate concrete incorporating low calcium bentonite. *Construction and Building Materials, 237*, 117760.

Merino, N., Qu, Y., Deeb, R. A., Hawley, E. L., Hoffmann, M. R., & Mahendra, S. (2016). Degradation and removal methods for perfluoroalkyl and

polyfluoroalkyl substances in water. *Environmental Engineering Science*, *33*(9), 615-649.

Mhareb, M., Alqahtani, M., Alshahri, F., Alajerami, Y., Saleh, N., Alonizan, N., . . . Al-Dhafar, S. I. (2020). The impact of barium oxide on physical, structural, optical, and shielding features of sodium zinc borate glass. *Journal of Non-Crystalline Solids, 541*, 120090.

Milenković, A., Smičiklas, I., Bundaleski, N., Teodoro, O. M. N. D., Veljović, Đ., & Vukelić, N. (2016). The role of different minerals from red mud assemblage in Co(II) sorption mechanism. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 508*, 8-20. doi:https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.08.011

Naseem, R., & Tahir, S. S. (2001). Removal of Pb(II) from aqueous/acidic solutions by using bentonite as an adsorbent. *Water research, 35*(16), 3982-3986. doi:https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00130-0

Nieto-Delgado, C., & Rangel-Mendez, J. R. (2012). Anchorage of iron hydro (oxide) nanoparticles onto activated carbon to remove As (V) from water. *Water research, 46*(9), 2973-2982.

Nikbin, I. M., Aliaghazadeh, M., Sh, C., & Fathollahpour, A. (2018). Environmental impacts and mechanical properties of lightweight concrete containing bauxite residue (red mud). *Journal of Cleaner Production, 172*, 2683-2694. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.143

Niu, M., Li, G., Cao, L., Wang, X., & Wang, W. (2020). Preparation of sulphate aluminate cement amended bentonite and its use in heavy metal adsorption. *Journal of Cleaner Production, 256*, 120700.

Ochsenkühn-Petropoulou, M. T., Hatzilyberis, K. S., Mendrinos, L. N., & Salmas, C. E. (2002). Pilot-plant investigation of the leaching process for the recovery of scandium from red mud. *Industrial & engineering chemistry research, 41*(23), 5794-5801.

Pagalan Jr, E., Sebron, M., Gomez, S., Salva, S. J., Ampusta, R., Macarayo, A. J., . . . Arazo, R. (2020). Activated carbon from spent coffee grounds as an adsorbent for treatment of water contaminated by aniline yellow dye. *Industrial Crops and Products, 145*, 111953. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111953

Pap, S., Šolević Knudsen, T., Radonić, J., Maletić, S., Igić, S. M., & Turk Sekulić, M. (2017). Utilization of fruit processing industry waste as green activated carbon for the treatment of heavy metals and chlorophenols contaminated water. *Journal of Cleaner Production, 162*, 958-972. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.083

Park, S.-J., & Jun, B.-R. (2005). Improvement of red mud polymer-matrix nanocomposites by red mud surface treatment. *Journal of colloid and interface science, 284*(1), 204-209.

Pezoti, O., Cazetta, A. L., Bedin, K. C., Souza, L. S., Martins, A. C., Silva, T. L., . . . Almeida, V. C. (2016). NaOH-activated carbon of high surface area produced from guava seeds as a high-efficiency adsorbent for amoxicillin removal: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal, 288*, 778-788.

Pietrelli, L., Ippolito, N. M., Ferro, S., Dovì, V. G., & Vocciante, M. (2019). Removal of Mn and As from drinking water by red mud and pyrolusite. *Journal of Environmental Management, 237*, 526-533. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.093

Pontikes, Y., Nikolopoulos, P., & Angelopoulos, G. (2007). Thermal behaviour of clay mixtures with bauxite residue for the production of heavy-clay ceramics. *Journal of the European Ceramic Society, 27*(2-3), 1645-1649.

Qureshi, T. S., & Panesar, D. K. (2019). Impact of graphene oxide and highly reduced graphene oxide on cement based composites. *Construction and Building Materials, 206*, 71-83.

Rahman, M. F., Peldszus, S., & Anderson, W. B. (2014). Behaviour and fate of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: a review. *Water research, 50*, 318-340.

Ribeiro, D., Labrincha, J., & Morelli, M. (2012). Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete. *Cement and Concrete Research, 42*(1), 124-133.

Ribeiro, D. V., Labrincha, J. A., & Morelli, M. R. (2011). Potential use of natural red mud as pozzolan for Portland cement. *Materials research, 14*(1), 60-66.

Ribeiro, D. V., Labrincha, J. A., & Morelli, M. R. (2012). Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete. *Cement and Concrete Research, 42*(1), 124-133. doi:https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.002

Ribeiro, E., Plantard, G., Teyssandier, F., Maury, F., Sadiki, N., Chaumont, D., & Goetz, V. (2020). Activated-carbon/TiO_2 composites preparation: An original grafting by milling approach for solar water treatment applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 8*(5), 104115. doi:https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104115

Rubinos, D. A., & Spagnoli, G. (2019). Assessment of red mud as sorptive landfill liner for the retention of arsenic (V). *Journal of Environmental Management, 232*, 271-285. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.041

Safarik, I., Horska, K., Pospiskova, K., & Safarikova, M. (2012). Magnetically Responsive Activated Carbons for Bio- and Environmental Applications. *International Review of Chemical Engineering, 4*(3), 346-352.

Saifuddin, S., Lisa, A., Amalia, Z., Faridah, F., & Elfiana, E. (2020). Applications of micro size anorganic membrane of clay, zeolite and active carbon as filters for peat water purification. *JPhCS, 1450*(1), 012010.

Santiago, M., Stüber, F., Fortuny, A., Fabregat, A., & Font, J. (2005). Modified activated carbons for catalytic wet air oxidation of phenol. *Carbon, 43*(10), 2134-2145.

Seilkhanova, G. A., Imangaliyeva, A. N., Mastai, Y., & Rakhym, A. B. (2019). Bentonite polymer composite for water purification. *Bulletin of Materials Science, 42*(2), 60.

Senff, L., Hotza, D., & Labrincha, J. A. (2011). Effect of red mud addition on the rheological behaviour and on hardened state characteristics of cement mortars. *Construction and Building Materials, 25*(1), 163-170. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.043

Shi, W., Ren, H., Li, M., Shu, K., Xu, Y., Yan, C., & Tang, Y. (2020). Tetracycline removal from aqueous solution by visible-light-driven photocatalytic degradation with low cost red mud wastes. *Chemical Engineering Journal, 382*, 122876. doi:https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122876

Smirnov, D., & Molchanova, T. (1997). The investigation of sulphuric acid sorption recovery of scandium and uranium from the red mud of alumina production. *Hydrometallurgy, 45*(3), 249-259.

Sommer, P., Martin-Rouas, C., & Mettler, E. (1999). Influence of the adherent population level on biofilm population, structure and resistance to chlorination. *Food microbiology, 16*(5), 503-515.

Şimşek, B., Sevgili, İ., Ceran, Ö. B., Korucu, H., & Şara, O. N. (2019). Nanomaterials based drinking water purification: comparative study with a conventional water purification process. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 63*(1), 96-112.

Şimşek, B., Uygunoğlu, T., Korucu, H., & Kocakerim, M. M. (2018). Analysis of the effects of dioctyl terephthalate obtained from polyethylene terephthalate wastes on concrete mortar: A response surface methodology based desirability function approach application. *Journal of Cleaner Production, 170*, 437-445.

Tang, W. C., Wang, Z., Donne, S. W., Forghani, M., & Liu, Y. (2019). Influence of red mud on mechanical and durability performance of self-compacting concrete.

Journal of Hazardous Materials, 379, 120802. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120802

Tsakiridis, P. E., Agatzini-Leonardou, S., & Oustadakis, P. (2004). Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker. *Journal of Hazardous Materials, 116*(1-2), 103-110.

Tsivadze, A. Y., Gur'yanov, V., & Petukhova, G. (2011). Preparation of spherical activated carbon from furfural, its properties and prospective applications in medicine and the national economy. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 47*(5), 612.

Tuan, T. Q., Van Son, N., Dung, H. T. K., Luong, N. H., Thuy, B. T., Van Anh, N. T., . . . Hai, N. H. (2011). Preparation and properties of silver nanoparticles loaded in activated carbon for biological and environmental applications. *Journal of Hazardous Materials, 192*(3), 1321-1329.

Vecitis, C. D., Park, H., Cheng, J., Mader, B. T., & Hoffmann, M. R. (2009). Treatment technologies for aqueous perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA). *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China, 3*(2), 129-151.

Venault, A., Bouyer, D., Pochat-Bohatier, C., Faur, C., & Vachoud, L. (2010). Modeling the mass transfers during the elaboration of chitosan-activated carbon composites for medical applications. *AIChE journal, 56*(6), 1593-1609.

Wang, Y., Peng, C., Padilla-Ortega, E., Robledo-Cabrera, A., & López-Valdivieso, A. (2020). Cr(VI) adsorption on activated carbon: Mechanisms, modeling and limitations in water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 8*(4), 104031. doi:https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104031

Wang, Y., Yu, Y., Li, H., & Shen, C. (2016). Comparison study of phosphorus adsorption on different waste solids: Fly ash, red mud and ferric–alum water treatment residues. *Journal of Environmental Sciences, 50*, 79-86.

Wong, S., Ngadi, N., Inuwa, I. M., & Hassan, O. (2018). Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment: a short review. *Journal of Cleaner Production, 175*, 361-375.

Wu, F., Yu, Q., Gauvin, F., Brouwers, H., & Liu, C. (2021). Phosphorus removal from aqueous solutions by adsorptive concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production, 278*, 123933.

Yang, H., Monasterio, M., Cui, H., & Han, N. (2017). Experimental study of the effects of graphene oxide on microstructure and properties of cement paste composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 102*, 263-272.

Yang, J., Chen, F., Xiao, B., & Liu, W. (2006). Engineering application of basic level materials of red mud high level pavement. *China Munic. Eng, 5*, 7-9.

Yang, T., Wang, Y., Sheng, L., He, C., Sun, W., & He, Q. (2020). Enhancing Cd(II) sorption by red mud with heat treatment: Performance and mechanisms of sorption. *Journal of Environmental Management, 255*, 109866. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109866

Yao, Y., Li, Y., Liu, X., Jiang, S., Feng, C., & Rafanan, E. (2013). Characterization on a cementitious material composed of red mud and coal industry byproducts. *Construction and Building Materials, 47*, 496-501. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.030

You, J., Wang, L., Zhao, Y., & Bao, W. (2020). A review of amino-functionalized magnetic nanoparticles for water treatment: Features and prospects. *Journal of Cleaner Production*, 124668.

Yue, Z., Bender, S. E., Wang, J., & Economy, J. (2009). Removal of chromium Cr (VI) by low-cost chemically activated carbon materials from water. *Journal of Hazardous Materials, 166*(1), 74-78.

Zhang, J., Deng, Z., & Xu, T. (2005). Experimental study on acid leach of red mud. *Light Metals, 2*, 13-15.

Zhang, S., Lu, X., Wang, N., & Buck, R. C. (2016). Biotransformation potential of 6: 2 fluorotelomer sulfonate (6: 2 FTSA) in aerobic and anaerobic sediment. *Chemosphere, 154*, 224-230.

Zuo, Q., Zhang, Y., Zheng, H., Zhang, P., Yang, H., Yu, J., . . . Mai, J. (2019). A facile method to modify activated carbon fibers for drinking water purification. *Chemical Engineering Journal, 365*, 175-182. doi:https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.047

EKLER

EK1 Tablo A1:İçme Suyu Özellikleri

Tablo A1 TS 266'ya göre belirlenen içme suyu kriterleri

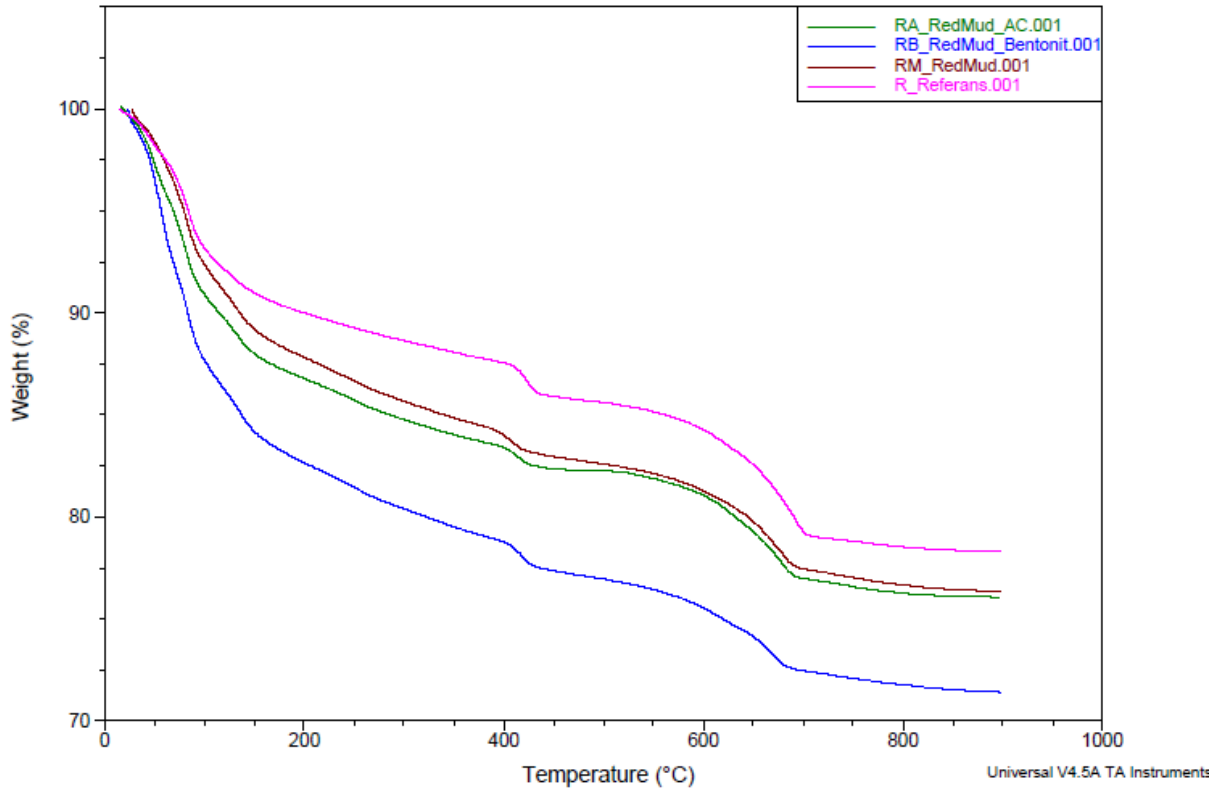
No.	Kalite kriteri	Birim	Standart (TS 266)	Ölçüm tekniği
1	Sıcaklık	ºC	12.0-25.0	Termometre
2	pH	PH	6.5-8.5	pH metre
3	İletkenlik	µmhos/cm	<2500	İletkenlik ölçer
4	Çözünmüş O2	O_2 mg/l	3-8	O_2
5	Alkalinite	mg/l	N/A	Titrasyon
6	Bulanıklık	NTU	0.4-1.0	Turbidity
7	Renk	Pt-Co	1-20	Kalorimetre
8	Mangan	mg/l	0.02-0.05	Spektrofotometre
9	Demir	mg/l	0.05-0.2	Spektrofotometre
10	Nitrat	NO_3 mg/l	<44	Spektrofotometre
11	Nitrit	NO_2 mg/l	<0.1	Spektrofotometre
12	Amonyak	NH_3 mg/l	<0.5	Spektrofotometre
13	Toplam karbon (TC)	mg/l	12-75	Spektrofotometre
14	Toplam inorganic karbon (TIC)	mg/l	10-73	Spektrofotometre
15	Toplam organic karbon (TOC)	CO_2 mg/l	2-65	Spektrofotometre
16	Sulfit	mg/l	0-250	Spektrofotometre
17	Kalsiyum	mg/l	200	Spektrofotometre
18	Sertlik	$CaCO_3$ mg/l	500	Spektrofotometre

EK2 Tablo B1: Mikrobiyolojik özellikler

Tablo B1 Mikrobiyolojik özellikler

No.	Kalite kriteri	İnkübasyon süresi	Koloni sayısı (Sayı/100 ml)	Standart
1	Toplam canlı (STANDART TTC NKS)	30±2˚C/2-5 Gün	<100	TS ISO 21527-1
2	*E-coli*fekal (MFC NKS)	36±2˚C/20+4 Saat	0	TS EN ISO 9308-1
3	*E. faecalis* (AZİDE NKS)	*36*±2˚C/44+4 Saat	0	TS EN ISO 7899-2
4	*S.typhimurium* (BİSMUTH SÜLFİTE NKS)	36±2˚C/48 Saat	0/100ml	TS EN 6579
5	*P.aeruginosa* (CETRİMİDE NKS)	37±1˚C/48+4 Saat	0/250 ml	TS EN ISO 16266
6	*S. aureus* (CHAPMAN NKS)	*36*±2˚C/3 Gün	0/100ml	EN 6888-3
7	*E.coli*	*36*±2˚C/21+3 Saat	0	TS EN ISO 9308-1

Ek 2, Şekil B1: TGA sonuçları



Şekil B1 TGA sonuçları

EK3 Tablo C1: Filtrelenmiş su özellikleri

Tablo C1 Filtrelenmiş su özellikleri

No.	Kalite kriteri	Birim	Standart (TS 266)	Arıtılmamış su	C	RM	RB	RA
1	Sıcaklık	ºC	12.0-25.0	11.9	11.9	14.3	14.6	13.8
2	pH	PH	6.5-8.5	7.28	9.2	10.79	10.22	11.31
3	İletkenlik	µmhos/cm	<2500	199.9	318	592	522	893
4	Çözünmüş O2	O_2 mg/l	3-8	9.42	9.47	9.65	9.07	10.05
5	Alkalinite	mg/l	N/A	95	120	199	199	337.5
6	Bulanıklık	NTU	0.4-1.0	2.71	0.48	1.33	2.2	0.29
7	Renk	Pt-Co	1-20	10	6	7	11	6
8	Mangan	mg/l	0.02-0.05	0.072	0	0	0	0.005
9	Demir	mg/l	0.05-0.2	0.09	0.02	0.02	0.02	0.04
10	Nitrat	NO_3 mg/l	<44	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5
11	Nitrit	NO_2 mg/l	<0.1	0.005	0.01	0.018	0.009	0.012
12	Amonyak	NH_3 mg/l	<0.5	0	0	0.02	0.03	0.02
13	Toplam karbon (TC)	mg/l	12-75	28.8	31.4	30.6	33.7	38.6
14	Toplam inorganik karbon (TIC)	mg/l	10-73	20.5	25.8	18.7	26.8	42.7
15	Toplam organik karbon (TOC)	CO_2 mg/l	2-65	7.94	5.59	11.8	6.96	N/A
16	Sülfit	mg/l	0-250	3	10	51	37	46
17	Kalsiyum	mg/l	200	32	16	7.02	6.27	9.06
18	Sertlik	$CaCO_3$ mg/l	500	10.48	6.73	1.768	1.94	4.59

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İnci SEVGİLİ

Yabancı Dili : İngilizce

Adres : Kırkevler Mah. Kastamonu Cad. Gardenya Sitesi C blok No:1 Çankırı/merkez

Tel : 0532 061 95 18

E-posta : inci_sevgili@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Ticaret Meslek Lisesi / Açık Lise_Kimya (2002)

Lisans : Çankırı Karatekin Üniversitesi (2017)

Yüksek Lisans: Çankırı Karatekin Üniversitesi (2021)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

Çankırı Belediyeleri Su ve Hizmet Birliği İçme Suyu Arıtma Tesisi / Devam ediyor

Yayınlar

Makaleler

1. Şimşek, B., Sevgili, İ., Ceran, Ö. B., Korucu, H., & Şara, O. N. (2019). Nanomalzemelere dayalı içme suyu arıtımı: Geleneksel bir su arıtma işlemi ile karşılaştırmalı çalışma. Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 63(1), 96-112.

Kitap Bölümü

1. Şimşek, B., Sevgili, İ., Ceran, Ö. B., Korucu, Nano Malzemeler Kullanılarak Suyun Arıtılması için Araç ve Teknikler (22.12.2019). Nanotechnology Characterization Tools for Environment, Health, and Safety pp 285-322