

Fenolün Sulu Çözeltilerden Düşük Maliyetli bir Nano Kompozit ile Giderimi

Fatma Elçin ERKURT*¹, Behzat BALCI¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 16.03.2018

Kabul tarihi: 15.10.2018

Öz

Bu çalışmada, *Eucalyptus camaldulensis* kabuğu/maghemit (ECMC) kompoziti sulu çözeltiden fenol gideriminde düşük maliyetli bir adsorbent olarak kullanılmıştır. ECMC'nin yapısal karakterizasyonu, morfolojisi ve elementel analizleri taramalı elektron mikroskopisi (SEM), enerji dağılımlı X-ışını (EDX) ve X-ışını kırınımı difraktometresi (XRD) ile gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon süreci üzerine temas zamanı, pH, sıcaklık ve başlangıç fenol konsantrasyonu gibi çeşitli parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar ECMC'nin adsorpsiyon kapasitesinin fenol konsantrasyonunun artmasıyla arttığını göstermiştir. ECMC tarafından fenol gideriminde optimum pH'ın 5 olduğu bulunmuştur. 500 mg/L fenol için adsorpsiyon kapasitesi; 1 gram ECMC dozu ile pH 5'de ve 20 °C'de 90,92 mg/g olarak bulunmuştur. Langmuir izotermi adsorpsiyon sürecini 0,998 korelasyon katsayısı ile mükemmel bir şekilde tanımlamıştır.

Anahtar Kelimeler: *Eucalyptus camaldulensis*, Adsorpsiyon, Fenol, Maghemit

Removal of Phenol from Aqueous Solution by a Low-Cost Nano Composite

Abstract

In the present study, *Eucalyptus camaldulensis* bark/maghemite composite (ECMC) was used as a low-cost adsorbent for the removal of phenol from aqueous solution. The structural characterization, morphology and elemental analysis of ECMC were performed by scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray (EDX), and X-ray diffraction (XRD). The effects of various independent parameters such as contact time, initial phenol concentration, temperature, pH on adsorption process were investigated. It was found that the adsorption capacity of ECMC increases with the increasing of phenol concentration. The optimum pH was found to be 5 for the removal of phenol by ECMC. The adsorption capacity for 500 mg/L phenol was found to be 90.92 mg/g with 1 g ECMC at pH 5 and 20 °C. Langmuir isotherm model described perfectly the adsorption process with 0.998 correlation coefficient.

Keywords: *Eucalyptus camaldulensis*, Adsorption, Phenol, Maghemite

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatma Elçin ERKURT, eer Kurt@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen teknolojinin bir sonucu olarak, çevrede toksik olabilen kirleticilerin miktar ve çeşitliliği artış göstermektedir. Özellikle sucul ortamlardaki canlılar ve halk sağlığı için önemli derecede tehdit oluşturan fenol ve bileşikleri su kaynakları için potansiyel kirleticiler pozisyonundadır. Dünya genelinde yılda yaklaşık 6 milyon ton fenol üretimi yapılmaktadır [1]. Fenol ve türevleri rafineri, petrokimya, kok ve kömür işleme atıksuları vasıtasıyla sucul ortamlara ulaşmaktadır [2]. Fenol konsantrasyonu, rafineri endüstrileri atıksularında 500 mg/L'ye, petrokimya endüstrileri atıksularında 1200 mg/L'ye ve kömür işleme atıksularında 3900 mg/L'ye kadar ulaşabilmektedir [3]. Birçok fenol bileşiği, insan sağlığına toksik etki göstermesinden dolayı tehlikeli kirleticiler arasında sınıflandırılmıştır. Fenolün sucul ortamlarda 1 µg/L gibi düşük konsantrasyondaki mevcudiyeti bile sucul organizmalar üzerine toksik etki göstermektedir. Yüzeysel sulardan içme suyu arıtma tesislerine ulaşan ve buradan da insani tüketim amaçlı kullanılan sularda varlık gösterebilecek olan fenol ve türevleri, insan sağlığı açısından potansiyel bir tehdit oluşturur. Fenol kirliliği içeren suların insanlar tarafından tüketilmesi sonucunda şiddetli ağrılar, kılcal damar hasarı ve ölümler meydana gelebilmektedir. İçme sularında fenolün varlığı kötü tat ve kokuya sebep olmaktadır [4]. Atıksulardan fenol ve türevlerinin gideriminde adsorpsiyon, kimyasal oksidasyon, distilasyon, çöktürme, iyon değiştirme, membran prosesleri ve biyolojik parçalama yöntemleri kullanılmaktadır [1]. Yüksek fenol konsantrasyonu içeren atıksular biyolojik süreçlerde mikroorganizmalar üzerinde inhibisyon etkisi gösterebilmektedir. Atıksulardan fenol giderme yöntemleri arasında adsorpsiyon yöntemi, yüksek verimli çıkış suyu eldesi, kolay uygulama, çamur oluşturmama gibi özelliklerden dolayı ön plana çıkmaktadır [5]. Aktif karbon, yüksek yüzey alanından ve kaliteli çıkış suyu sağlamasından dolayı adsorpsiyon proseslerinde yaygın kullanılan bir adsorbenttir. Ancak bunun yanında aktif karbonun kömür gibi pahalı hammaddelerden elde edilmesi, bu malzemenin kullanımına sınır getirmektedir [6].

Manyetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma-Fe_2O_3$) ve hematit ($\alpha-Fe_2O_3$) gibi nano partiküller, spesifik büyüklükte yüzey alanları, yüksek manyetizasyon doyumluğu ve oldukça fazla aktif sorpsiyon sitlerinden dolayı kirleticilerin atıksulardan adsorpsiyon yoluyla gideriminde kullanılmaları son yıllarda bilim dünyasında öne çıkan konular arasına girmiştir [7]. Manyetik nano partiküller manyetik özelliklerinden dolayı adsorpsiyon süreci sonunda manyetik bir alan uygulanarak atıksudan kolaylıkla ayrılabilir. Manyetik nano partiküller aynı zamanda başka malzemelerde yüzey kaplayıcı olarak da kullanılmaktadır. Bu uygulama kaplanan malzemeyi yüzey alanı ve aktif sorpsiyon siteleri açısından iyileştirmekte ve malzemenin atıksuların arıtılmasında adsorbent olarak kullanılabilme potansiyelini arttırabilmektedir [8]. Maghemit yeryüzünde bol miktarda bulunan bir mineraldir ve kübik spinal kristal yapıya sahiptir [9]. Maghemitin düşük maliyetler ile demir tuzlarından hava atmosferinde alkali şartlarda çöktürme işlemi ile kolaylıkla sentezlenebilmesi, bu malzemeyi adsorpsiyon süreçlerinde ön plana çıkarmaktadır.

Bu çalışmada sulu çözeltiliden adsorpsiyon yolu ile fenol gideriminde, düşük maliyet ile elde edilmiş olan *Eucalyptus camaldulensis*/maghemit kompozitinin (ECMC) kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. *Eucalyptus* kabukları, bol bulunan, yenilenebilir ve düşük maliyetli kaynak olmasından dolayı nano kompozit üretiminde ham madde olarak tercih edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. ECMC Eldesi

Eucalyptus kabukları, Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsündeki *Eucalyptus camaldulensis* ağaçlarından toplanmıştır. Kabuklar kir ve tozdan arındırılmak için distile su ile yıkanarak etüvde 60 °C'de, 48 saat boyunca kurutulmuştur. Kabuklar 0,5-1 mm arasında olacak şekilde parçalanıp elek analizine tabi tutulmuştur. ECMC alkali şartlarda kimyasal çöktürme yöntemine göre elde edilmiştir. 5 g kabuk, 5,82 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve 3 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ toplam hacmi 1000 mL olacak şekilde distile suda 2 saat boyunca 70 °C'de

manyetik karıştırıcı ile güçlü bir şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra 5 N NaOH damla damla eklenerek siyah demir oksit partiküllerinin çökmesi sağlanmıştır. Bu işlemi takiben 100 mL %65 HNO₃ eklenerek 80 °C'de 4 saat süresinde güçlü bir şekilde karıştırma işlemi uygulanmıştır. HNO₃ burada kalıntı demir oksitleri, maghemite okside eden bir oksitleyici olarak kullanılmıştır. Son olarak elde edilen ürün distile su ile yıkayıp alkali kalıntılardan temizlenip 70 °C'de 48 saat boyunca kurutulmuştur.

2.2. Fenol Analizi

Fenol tayini spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirilmiştir. Fenol alkali ortamda potasyum ferrisiyanit varlığında 4-amino antipirin ile reaksiyona girerek turuncu bir renk oluşur. Çözeltideki kalıntı fenol konsantrasyonu, oluşan rengin 500 nm dalga boyunda absorpsiyonuna dayalı olarak hazırlanan çalışma eğrisinden tespit edilmiştir.

2.3. ECMC Karakterizasyonu

Elde edilen ECMC'nin ve maghemitin morfolojik araştırması taramalı elektron mikroskopisi kullanılarak (SEM) gerçekleştirilmiştir. ECMC'nin ve ham kabuğun temel elementel bileşenleri ve yüzeyel modifikasyon değerlendirmesi enerji dağılımlı X-ışını (EDX) ile sağlanmıştır (FEI Quanta 650 Field Emission). ECMC'nin manyetik özellikleri süper iletken quantum magnetresi kullanılarak ortaya koyulmuştur (Quantum Design, PPMS DynaCool-9). Ham kabuk ve ECMC kristalin fazları X-ışını kırınımı difraktometresi (XRD) ile araştırılmıştır (PANalytical EMPYREAN XRD).

2.4. Adsorpsiyon Çalışmaları

Fenolün ECMC tarafından adsorpsiyonla giderilmesi süreci üzerine temas zamanının (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 100 dk), pH'nın (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10), çözelti sıcaklığının (10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 °C) ve başlangıç fenol konsantrasyonunun (100, 200, 300 400 ve

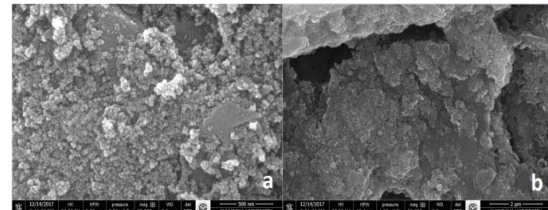
500 mg/L) etkisi araştırılmıştır. Yapılan adsorpsiyon çalışması kesikli süreç olup, 500 mL erlenmayerlerde ve 250 mL hacminde sulu çözeltide 1 gram sabit ECMC dozu ile gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi 250 rpm'de, sıcaklık ayarlı çalkalayıcı ile sağlanmıştır. Tüm analizler 3 tekrarlı gerçekleştirilmiş olup hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. ECMC Karakterizasyonu

3.1.1. SEM

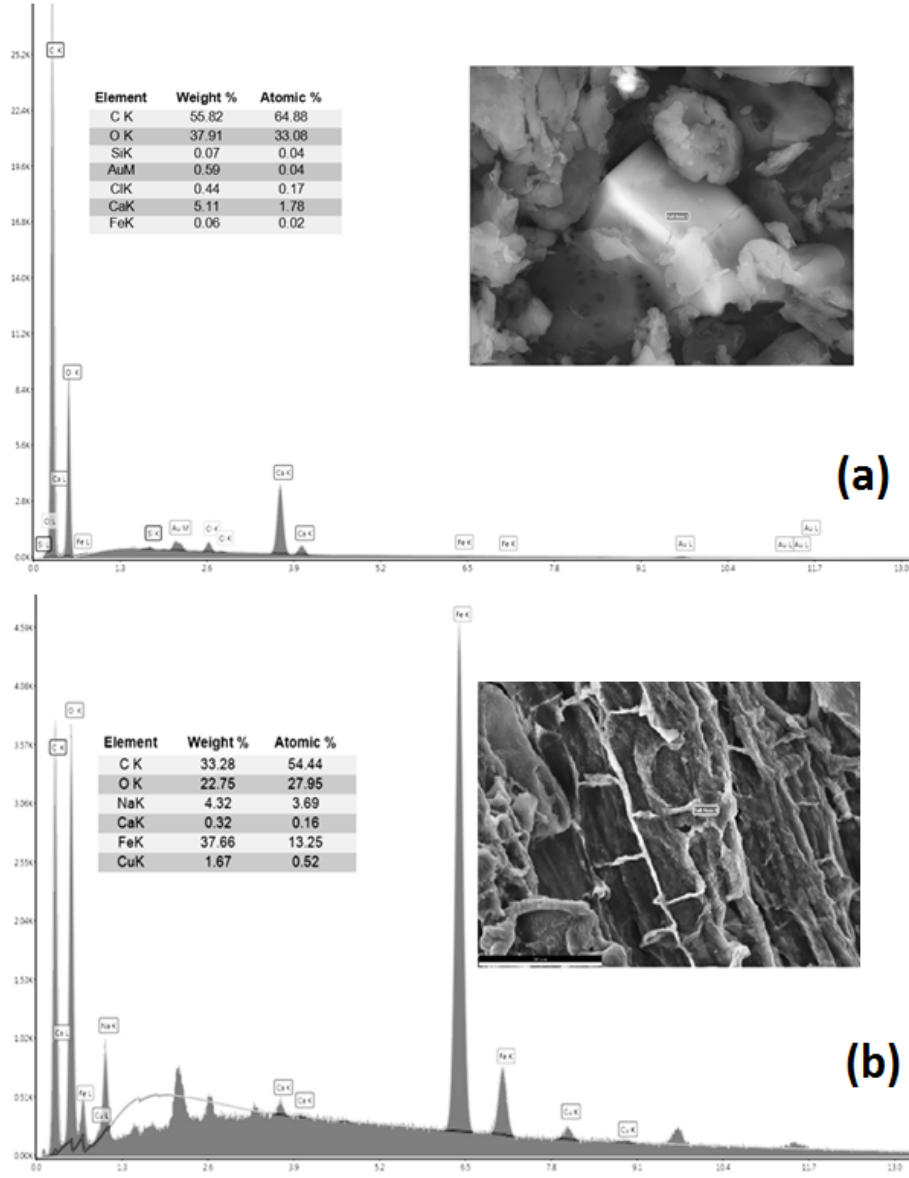
Maghemit ve ECMC'nin SEM görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan SEM analizleri, maghemit partiküllerinin homojen ve çok küçük parçacık yapısında olduğunu göstermiştir. Bunun yanında, ECMC yapısının ağaç kabuğu kaynaklı olmasından dolayı amorf bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Maghemit (a) ve ECMC (b) SEM görüntüleri

3.1.2. EDX

E. camaldulensis kabuklarının ve ECMC'nin EDX analiz sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Yapılan analizler *E. camaldulensis* kabuklarının temel elementlerinin C, O, Si, Au, Cl, Ca ve Fe olduğunu göstermiştir. Bunun yanında ECMC temel elementleri C, O, Na, Ca, Fe ve Cu olarak tespit edilmiştir *E. camaldulensis* kabuklarının ağırlıkça Fe elementi yüzdesi %0,06 bulunurken, ECMC için ağırlıkça Fe elementi yüzdesi %37,66 olarak bulunmuştur. Bu durum *E. camaldulensis* kabuklarının yüzeyinin maghemit ile başarılı bir şekilde kaplandığını göstermektedir.

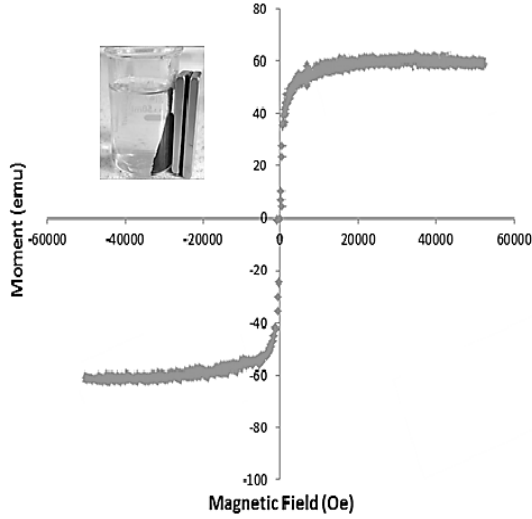


Şekil 2. *Eucalyptus camaldulensis* kabukları (a) ve ECMC (b) için EDX analizleri

3.1.3. Manyetik Özellikler

Nano manyetik adsorbentlerin manyetik doygunluğu, bu adsorbentlerin adsorpsiyon süreçlerinden sonra sıvı fazdan kolayca ayrılabilmesi için önemli bir parametredir. ECMC'nin manyetik analizi Şekil 3'te verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ECMC'nin

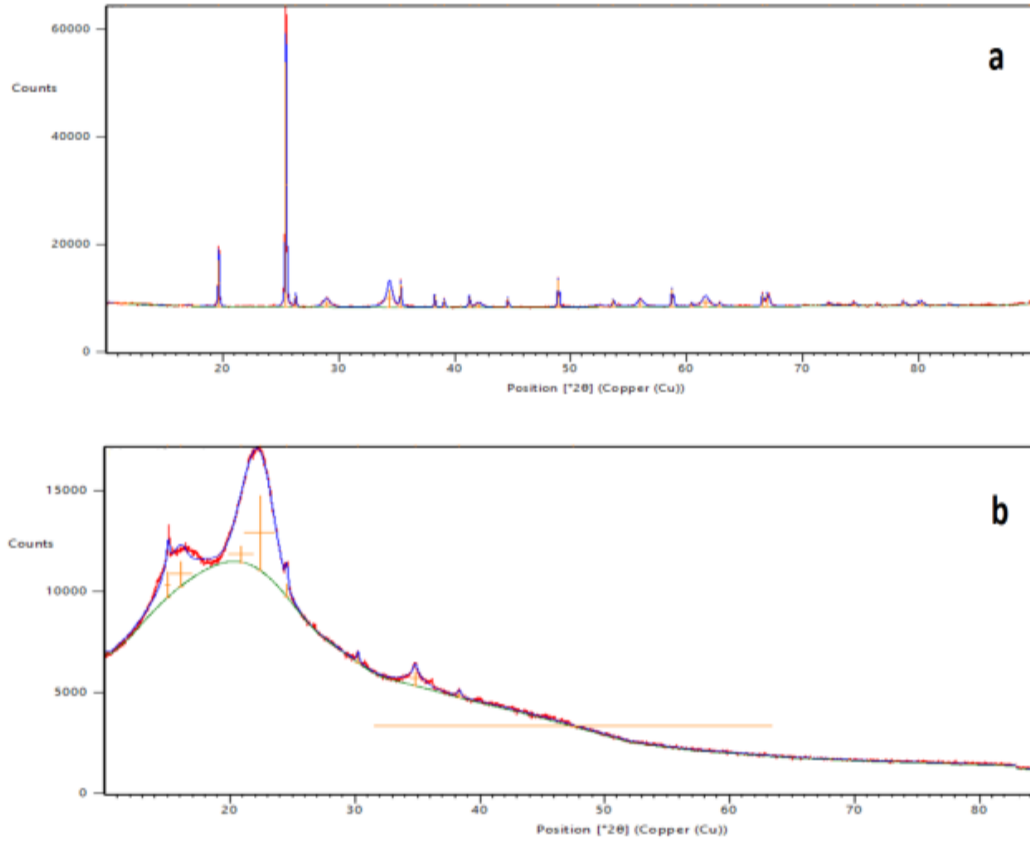
manyetizasyon doygunluk değeri 60,11 emu/g olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu değer, ECMC'nin, manyetik alan uygulaması ile adsorpsiyon sürecinden sonra sıvı fazdan kolayca ayrılabilmesini göstermektedir. Bu durum yüzeyin Fe elementi ile modifiye edilmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

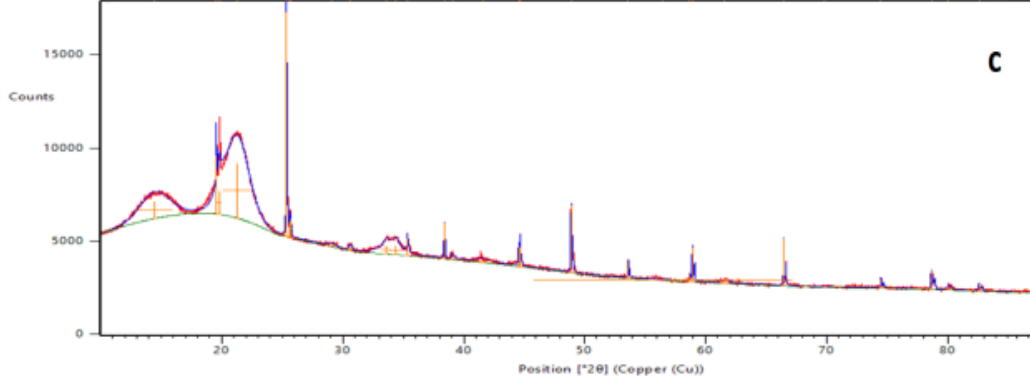


Şekil 3. ECMC manyetik özellikleri

3.1.4. XRD

Maghemit, *Eucalyptus camaldulensis* kabuğu ve ECMC için XRD analizleri Şekil 4'de verilmiştir. Maghemit için kübik spinal kristal yapısına bağlı olan belirgin kırınım pikleri $2\theta=17,6$ (111), 25,43 (211), 28,95 (220), 34,35 (311), 38,26 (320), 39,08 (321) ve 42,04 (400) pozisyonlarında elde edilmiştir ve elde edilen malzemenin maghemit olduğu doğrulanmıştır. (Referans Card No: 98-024-9048). Bunun yanında *Eucalyptus camaldulensis* kabuğu için $2\theta=15,04$ ve $22,38^\circ$ de iki geniş pik elde edilmiştir. Geniş pik yapısı malzemenin amorfliğuna ait bir gösterge olup bu ağacın doğal yapısından dolayı beklenen bir durumdur. ECMC için yapılan XRD analizlerinde ağaç kabuğuna ait piklerin yanı sıra maghemite ait pikler de elde edilmiştir, bu durum kabuğun yüzeyinin maghemit nano partikülleri ile etkili bir şekilde kaplandığını doğrulamaktadır.

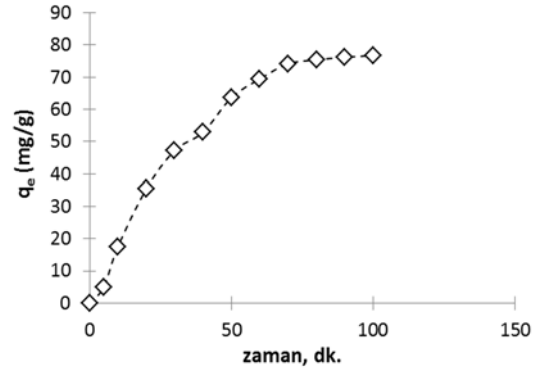




Şekil 4. Maghemit (a), *E. camaldulensis* kabuğu (b) ve ECMC (c) için XRD analizleri

3.2. Adsorpsiyon Denge Zamanı

Adsorpsiyon süreçleri denge tepkimeleri ile benzer yapıdadır. Sıvı fazdaki adsorbatın (tutunan madde) konsantrasyonu ile katı faz üzerinde tutulan adsorbatın konsantrasyonu dengeye ulaştığı zaman adsorpsiyon tamamlanır. Denge zamanını belirlemek için sabit sıcaklıkta, denge anına kadar katı fazın birim gramı üzerinde tutulan adsorbat miktarı (q_t) zamana karşı grafiğe geçirilir [10]. Denge zamanındaki adsorbent birim ağırlığında (g) adsorbe edilen adsorbat miktarı (mg) olan “ q_e ” değerini tespit etmek gerekmektedir [11].



Şekil 5. Adsorpsiyon denge zamanı

Adsorpsiyon denge zamanı çalışması 500 mg/L fenol için pH 7’de, 20 °C’de gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada adsorpsiyon denge zamanının 70 dk. olduğu tespit edilmiştir. Denge zamanında hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi 74,125 mg/g’dır. Adsorpsiyon kapasitesi (q) Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon denge grafiği Şekil 5’de verilmiştir.

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (1)$$

q = Adsorpsiyon kapasitesi, mg/g

C_0 = Başlangıç fenol konsantrasyonu, mg/L

C_e = Çıkış fenol konsantrasyonu, mg/L

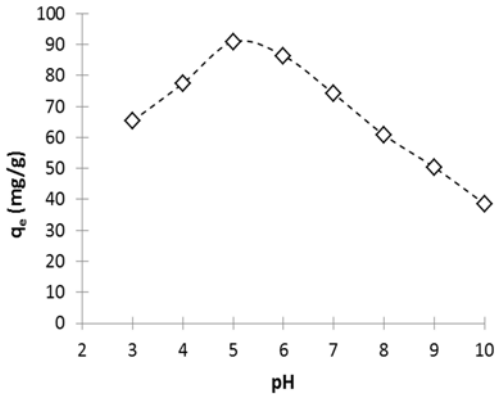
V = Çözelti hacmi, L

W = Adsorbent kütlesi, g

3.3. pH’in Etkisi

pH’in adsorpsiyon süreci üzerine olan etkisinin araştırılması, 500 mg/L fenol için, 20 °C’de ve 1 gram ECMC dozu ile gerçekleştirilmiştir. Adsorbent yüzeyi ile adsorbat arasındaki elektrostatik etkileşimler çözeltideki iyon konsantrasyonu ve ortamın pH’ına bağlı olarak değişebileceğinden, pH adsorpsiyon ile metallerin sıvı fazdan giderimi üzerine önemli derecede etki gösterebilen parametrelerden biridir [12]. Adsorpsiyon kapasitesi üzerine pH’in etkisini gösteren grafik Şekil 6’da verilmiştir. Yapılan çalışmalar ECMC’nin en yüksek adsorpsiyon kapasitesine pH 5’te ulaştığını göstermiştir. pH 5’te ECMC’nin fenol için adsorpsiyon kapasitesi 90,92 mg/g bulunurken, pH 3 ve 10’da sırasıyla 65,42 ve 38,6 mg/g olarak bulunmuştur. Fenol zayıf asit bir karakterde olup pK_a değeri

9,89'dur. pK_a değerinin üzerindeki pH değerlerinde sıvı fazdaki fenolün iyon halinde bulunma yüzdesi artmaktadır. Bunun yanında pH değeri pK_a değerinin altına indikçe çözeltideki fenolün moleküler halde bulunma yüzdesi artmaktadır. Fenolün moleküler halde bulunması adsorbent yüzeyine sorpsiyon eğilimini arttıran bir unsurdur. Yüksek pH değerlerinde elde edilen düşük adsorpsiyon kapasitelerinin, fenolün alkali şartlarda iyon yüzdesinin artması ve adsorpsiyonunun elverişliliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun yanında, pH 3 ve 4'de fenolün pH 5'e göre daha fazla moleküler formda bulunması ve buna bağlı olarak daha çok adsorbe olması beklenirken, pH 3 ve 4'de adsorpsiyon kapasiteleri pH 5'e göre düşüş göstermiştir. Bu durum, düşük pH değerlerinde artan H^+ iyonlarının ECMC yüzeyinde bulunan adsorpsiyon sitlerini işgal etmesi ve fenol adsorpsiyonunu azaltması şeklinde açıklanabilir [13]. Tüm pH değerlerinde denge zamanının 60-70 dk civarı olduğu tespit edilmiştir. Optimum pH değeri olarak 5 seçilmiş ve sonraki çalışmalar bu pH değerinde gerçekleştirilmiştir.

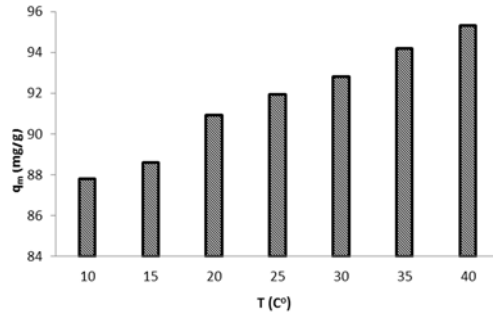


Şekil 6. Adsorpsiyon süreci üzerine pH'ın etkisi

3.4. Sıcaklığın Etkisi

Adsorpsiyon sürecine sıcaklığın etkisinin araştırıldığı deneysel süreç, 500 mg/L fenol konsantrasyonu, pH 5'de ve 1 gram ECMC dozu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, ECMC'nin fenol için adsorpsiyon kapasitesinin, sıcaklığın artmasıyla bir miktar arttığını göstermiştir. Adsorpsiyon kapasitesi 10 °C için

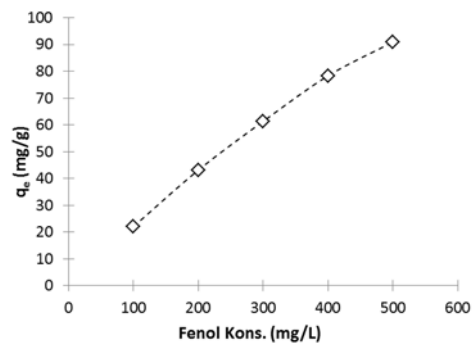
87,8 mg/g bulunurken, 40 °C için 95,3 mg/g olarak tespit edilmiştir. Ekonomik uygulanabilirlik açısından optimum sıcaklık 20 °C olarak belirlenmiş ve sonraki deneyler bu sıcaklık değerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. Adsorpsiyon süreci üzerine sıcaklığın etkisi

3.5. Fenol Konsantrasyonunun Etkisi

Adsorpsiyon süreci üzerine fenol konsantrasyonunun etkisinin araştırılması için yapılan deneysel süreç 20°C'de, pH 5'de ve 1 g ECMC dozu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, adsorpsiyon kapasitesinin, fenol konsantrasyonunun artmasıyla arttığını ve fenol konsantrasyonunun azalmasıyla azaldığını göstermiştir. Adsorpsiyon kapasiteleri 100 ve 500 mg/L fenol konsantrasyonları için sırasıyla; 22,1 ve 90,92 mg/g olarak hesaplanmıştır. Sulu çözeltideki başlangıç fenol konsantrasyonunun adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Adsorpsiyon süreci üzerine fenol konsantrasyonunun etkisi

3.6. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon denge zamanına ulaştığı zaman adsorplanan moleküllerin katı ve sıvı faz arasında nasıl bir dağılım sergilediğini gösterir. Adsorpsiyon sürecinden elde edilen veri ile en iyi izoterm modellerinin elde edilmesi adsorpsiyon proseslerinin dizaynı için önemli bir adımdır [14]. Bu çalışmadan elde edilen bulgular en yaygın ve geçerli olan Langmuir ve Freundlich izotermine uygulanmıştır.

3.6.1. Langmuir İzotermi

Bu izoterm, adsorbent yüzeyinde adsorplayıcı noktaların olduğunu farz eder. Her adsorplayıcı noktanın bir molekül adsorplayacağını kabul ederek oluşan tabakanın bir molekül kalınlığında bir tabaka olacağını söyler. Denge halinde maksimum adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmış ve yüzey tek tabakayla kaplanmış olur [15]. Langmuir eşitliğinin lineer hali Eşitlik 2’de verilmiştir

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{maks}} + \frac{1}{K_L q_{maks}} \quad (2)$$

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)

q_e : Birim adsorbent üzerine toplanan madde miktarı (mg/g)

K_L : Adsorbentin adsorptivitesine bağlı olan sabit (L/mg)

q_{maks} : Adsorbentin maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

q_{maks} ve K_L C_e/q_e ’nin C_e ’ye karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrunun eğiminden ve kesim noktasından hesaplanır.

3.6.2. Freundlich İzotermi

Freundlich, adsorpsiyon prosesini ifade eden ampirik bir denklem geliştirilmiştir. Freundlich’e göre bir adsorbentin yüzeyi üzerinde bulunan

adsorpsiyon alanları heterojendir yani farklı türdeki adsorpsiyon alanlarından teşkil edilmiştir. Freundlich izotermine lineer eşitliği Eşitlik 3’te verilmiştir.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

K_F , izoterm sabitini (L/mg), n (birimsiz) ise adsorpsiyonun yoğunluğunu gösterir. n değeri 0 ile bir arasında değerler alır. n değerinin 0’a yakınlığı yüzey heterojenitesinin yoğunluğunun yüksek olduğunu gösterir [16]. n ve K_F değerleri, $\log q_e$ ’nin $\log C_e$ ’ye karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrunun eğiminden ve kesim noktasından hesaplanır.

Langmuir izotermi 0,998 korelasyon katsayısı ile ECMC’ın fenol için adsorpsiyonundan elde edilen veriyi çok iyi bir şekilde tanımlamıştır. Langmuir izotermi ECMC’nin fenol için maksimum adsorpsiyon kapasitesini 127,96 mg/g olarak tahmin etmiştir. Tahmin edilen bu değer deneysel veri ile elde edilen adsorpsiyon kapasitesi ile uyum göstermektedir.

Langmuir izoterm sabiti olan K_L değeri 2,28 l/mg olarak bulunmuştur. Bunun yanında Freundlich izotermi 0,982 korelasyon katsayısı ile adsorpsiyon sürecini orta derecede bir verimle açıklamıştır.

Freundlich heterojenite faktörü olan “ n ” değeri 0,506 olarak bulunmuştur. “ n ” değerinin 0-1 arasından bir değer olarak tespit edilmesi ECMC ile fenol adsorpsiyonunun elverişli bir süreç olduğunu göstermektedir. Çizelge 1’de farklı adsorbentlerin fenol için benzer şartlar altında elde edilmiş olan maksimum adsorpsiyon kapasiteleri verilmiştir. Çizelge 1’den de anlaşılacağı gibi ECMC diğer adsorbentlere göre genel olarak yüksek bir adsorpsiyon kapasitesi sergilemektedir. Bu durum ECMC’ın sıvı fazdan fenolün adsorpsiyon ile gideriminde, oldukça elverişli bir adsorbent olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Literatür karşılaştırması

Adsorbent	İzoterm	Maks. Ads. Kapasitesi (mg/g)	Kaynak
Akrilonitril/etilen glikol dimetakrilat polimeri	Langmuir	22,2	[17]
NiFe ₂ O ₄ /Toz Aktif Karbon Kompoziti	Langmuir	93,25	[18]
Silika aerojel	Langmuir	7,0	[19]
Hindistan cevizi kabuğu kökenli aktif karbon	Langmuir	122,18	[20]
Dowex Optipore L493 Polimeri	Langmuir	78,77	[21]
Zeolit-Aktif Karbon Kompoziti	Langmuir	37,92	[22]
Karbon Nano Tüp	Langmuir	64,60	[23]
Manyetik Geri Kazanılabilir Karbon	Langmuir	123,45	[24]
Manyetik Demir Oksit/Karbon Nano Kompozit	Langmuir	19,35	[25]
Yumurta Kabuğu Kökenli Aktif Karbon	Langmuir	191,87	[26]
Multi Wall Karbon Nano Tüp	Langmuir	32,25	[27]
Bentonit	Langmuir	66,67	[28]
Doğal Zeolit	Langmuir	35,5	[29]
Azotla Zenginleştirilmiş Aktif Karbon	Langmuir	167	[30]
ECMC	Langmuir	127,96	Bu Çalışma

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada *Eucalyptus camaldulensis*/maghemit kompoziti ile sulu çözeltiden değişen parametreler altında, fenolün adsorpsiyon yolu ile giderimi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar adsorpsiyon süreci üzerine temas zamanının, pH'ın ve başlangıç fenol konsantrasyonunun önemli derecede etki ettiğini göstermiştir. Bunun yanında elde edilen bulgular sıcaklık parametresinin adsorpsiyon süreci üzerine önemli bir etki göstermediğini ortaya koymuştur. 500 mg/L fenol için ECMC'nin adsorpsiyon kapasitesinin, pH 5'de, 20 °C'de ve 1 gram ECMC dozu ile 90,92 mg/g olduğu bulunmuştur. Langmuir izotermi, 0,998 korelasyon katsayısı ile ECMC'nin fenol için maksimum adsorpsiyon kapasitesini 127,96 mg/g olarak tahmin etmiştir. Yapılan çalışmalar *Eucalyptus camaldulensis*/maghemit kompoziti ile fenolün sulu çözeltiden adsorpsiyon ile başarılı bir şekilde giderilebildiğini göstermiştir.

5. KAYNAKLAR

- Busca, G., Berardinelli, S., Resini, C., Arrighi, L., 2008. Technologies for the Removal of Phenol from Fluid Streams: a Short Review of Recent Developments, *J. Hazard. Mater.*, 160, 265-288.
- Moussavi, G., Mahmoudi, M., Barikbin, B., 2009. Biological Removal of Phenol from Strong Wastewaters Using a Novel MSBR. *Water Res.*, 43, 1295-1302.
- Mohammadi, S., Kargari, A., Sanaeepur, H., Abbassian, K., Najafi, A., Mofarrah, E., 2014. Phenol Removal from Industrial Wastewaters: A Short Review, *Desalin. Water Treat.*, 1-20
- Mostafa, M.R., Sarma, S.E. and Yousef, A.M., 1998. Removal of Organic Pollutants from Aqueous Solution: Part 1. Adsorption of Phenols by Activated Carbon, *Indian Journal of Chem.*, 28A, 946-948.
- Ahalya, N., Ramachandra, T.V., Kanamadi, R.D., 2003. Biosorption of Heavy Metals, *Res. J. Chem. Environ.*, 7, 71-78
- Tamer, M.A., Ismail, A., Mohd, A.A., Ahmad, A.F., 2013. Cadmium Removal from Aqueous Solution Using Microwaved Olive Stone Activated Carbon, *J. Environ. Chem. Eng.*, 1(5), 89-99.
- Kang, H., Kim, D., 1998. Transformation of Nanoparticle Magnetite Prepared in Homogeneous Aqueous Solution, *Bull. Korean Chem. Soc.*, 19, 408-410.
- Nethaji, S., Sivasamy, A., Mandal, A.B., 2013. Preparation and Characterization of Corn Cob Activated Carbon Coated with Nano-Sized Magnetite Particles for the Removal of Cr(VI), *Bioresource Technology*, 134, 94-100.
- Shokrollahi, H., Janghorban, K., 2007. Influence of Additives on the Magnetic Properties, Microstructure and Densification of Mn-Zn Soft Ferrites, *Mater. Sci. Eng.: B*, 141, 91-107.
- Aksu, A., Sag, Y., Nourbakhsh, M., Kutsal, T., 1993. Atıksulardaki Bakır, Krom ve Kurşun İyonlarının Çeşitli Mikroorganizmalarla Adsorplanarak Giderilmesinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 19, 285-29.

11. Gupta, S.S., Krishna, G.B., 2011. Kinetics of Adsorption of Metal Ions on Inorganic Materials: A Review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 162(1-2), 39–5.
12. Behzad, H., Susana, R.C., Mohammad, A.A., Mohammad, A., Inderjee, T.T., Shilpi, A., Vinod, K.G., 2015. Kinetics and Thermodynamics of Enhanced Adsorption of the Dye AR 18 using Activated Carbons Prepared from Walnut and Poplar Woods, *J. Mol. Liq.*, 208, 99-105.
13. Dabrowski, A., Podkoscielny, P., Hubicki, Z., Barczak, M., 2005. Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon - a Critical Review, *A. Chemosphere*, 58, 1049-1070
14. Allen, S.J., McKay, G., Porter, J.F., 2004. Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peat in Single and Binary Component Systems, *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 322-333.
15. Benefield, L.D., Judkins, J.F., Weand, B.L., 1982. *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
16. Chiou, M.S., Li, H.Y., 2002. Equilibrium and Kinetic Modeling of Adsorption of Reactive Dye on Cross-Linked Chitosan Beads, *Journal of Hazardous Materials*, 93(2), 233-248.
17. José, A.G.A., Juana, D.S.J., Maribel, L.B., Manuel, S.C., Jenaro, L.V.C., 2017. Synthesis and Characterization of AN/EGDMA-Based Adsorbents for Phenol Adsorption, Reactive and Functional Polymers, 117, 112–119
18. Changmai, M., Purkait, M.K., 2017. Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Study of Phenol Adsorption using NiFe₂O₄ Nanoparticles Aggregated on PAC, *Journal of Water Process Engineering*, 16, 90–97.
19. Joana, M., Telma, M., Artur, J.M.V., António, P., Margarida, J.Q., Licínio, G.L., 2017. Adsorption of Phenol on Silica Aerogels using a Stirred Tank and a Fixed Bed Column, *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 29, 229-233.
20. Rama, R.K., Sahub, J.N., Jayakumar, N.S., 2017. Optimal Isotherm Parameters for Phenol Adsorption from Aqueous Solutions onto Coconut Shell Based Activated Carbon: Error Analysis of Linear and Non-linear Methods, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 80, 472-487.
21. Idil, I., Nalan, K., Mithat, Y., 2017. Separation of Bisphenol A and Phenol from Water by Polymer Adsorbents: Equilibrium and Kinetics Studies, *Journal of Water Process Engineering*, 16, 206-211.
22. Wen, P.C., Wei, G., Xinyu, C., Jing, H., Rui, F. L., 2016. Phenol Adsorption Equilibrium and Kinetics on Zeolite X/Activated Carbon Composite, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 62, 192-198.
23. Mohammad, H.D., Masoome, M., Mahmood, A., Gordon, M., Kaan, Y., Ahmad, B.A., Behzad, H., Mohammad, A., Mubarak, N.M, Sahu, J.N., 2016. High-performance Removal of Toxic Phenol by Single-Walled and Multi-Walled Carbon Nanotubes: Kinetics, Adsorption, Mechanism and Optimization Studies, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 35, 63-74.
24. Babak, K., Mahsa, J., Mohammad, R., Amirhosein, R, Ali, A.B., 2016. Development of Response Surface Methodology for Optimization of Phenol and P-chlorophenol adsorption on Magnetic Recoverable Carbon, Microporous and Mesoporous Materials, 231, 192-206.
25. Roxana, I., Marcela, S., Cornelia, P., Cosmin, L., 2016. Single and Simultaneous Adsorption of Methyl Orange and Phenol onto Magnetic Iron Oxide/Carbon Nanocomposites, *Arabian Journal of Chemistry*, 535, 1-17.
26. Liliana, G., Juan, C.M., 2014. Study of Adsorption of Phenol on Activated Carbons Obtained from Eggshells. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 106, 41-47.
27. Nour, T.A., Ghadir, A.E., Farag, S.H., 2015. Individual and Competitive Adsorption of Phenol and Nickel onto Multiwalled Carbon Nanotubes, *Journal of Advanced Research*, 6(3), 405-415.
28. Hank, D., Azi, Z., Ait, H.S., Chaalal, O., Hellal, A., 2014. Optimization of Phenol Adsorption onto Bentonite by Factorial Design Methodology, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 25, 2256-2263.
29. Rushdi, I.Y., Bassam, E., Ala'a, H.A., 2011. Adsorption Characteristics of Natural Zeolites

- as Solid Adsorbents for Phenol Removal from Aqueous Solutions: Kinetics, Mechanism, and Thermodynamics Studies, *Chemical Engineering Journal*, 171, 1143-1149.
- 30.** Lorenc-Grabowska, E., Gryglewicz, G., Diez, M.A., 2014. Kinetics and Equilibrium Study of Phenol Adsorption on Nitrogen-enriched Activated Carbons, *Fuel*, 114, 235-243.

