



**ÖKSEOTU (*VISCUM ALBUM L.*) BİTKİSİNDEN AKTİF KÖMÜR ELDESİ,
KARAKTERİZASYONU ve SULU ÇÖZELTİDEN KURŞUN GİDERİMİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Saliha ERENTÜRK^{1*}, Bircan KÖSE¹, Köksal ERENTÜRK²

^{1*}Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, : serenturk@atauni.edu.tr
ORCID:0000-0003-0824-7529

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, bircank28@gmail.com,
ORCID:0000-0002-8895-5455

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, keren@atauni.edu.tr
ORCID: : 0000-0001-7536-1351

Geliş Tarihi(Received Date):06.10.2022

Kabul Tarihi(Accepted Date):01.12.2022

ÖZ

Bu çalışmada dünyada birçok ağaçta asalak olarak yaşayan buna rağmen içeriği bakımından birçok araştırmaya konu olan ökseotu (*Viscum album L.*) bitkisinin adsorbent olarak değerlendirilebilirliğini araştırmak amaçlanmıştır. Ökseotu bitkisi öncelikle sap ve yapraklarıyla birlikte kurutulmuştur. Daha sonra HCl ile muamele edilmiş ve termal metotla aktifleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Aktifleştirme işlemi azot atmosferinde yüksek fırında 400 °C’ de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aktif kömürün karakterizasyonu kimyasal, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Termal Analiz, Brunauer–Emmett–Teller (BET) ve Taramalı Elektron Mikroskopu(SEM) analiz metodları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karakterize edilen aktif kömür sulu çözeltide bulunan kurşunun (Pb²⁺) giderilmesinde kullanılmış ve etkinliği test edilmiştir. Denemeler kesikli proseste gerçekleştirilmiştir. Kurşun gideriminde çözelti pH’ının etkisinin incelenmesi amacıyla altı farklı pH’da (1-6) denemeler yapılmış ve en iyi giderimin qe:50.78 mg/g ile pH: 5 te olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın kurşun giderimine etkisi incelenirken üç farklı adsorpsiyon sıcaklığında(26°C-45°C) denemeler gerçekleştirilmiş sıcaklığın artışı ile giderimin arttığı ve çalışılan sıcaklıklarda en iyi giderimin 45°C olduğu belirlenmiştir. Katı/sıvı oranının giderime etkisi ise üç farklı katı/sıvı oranı(0.4-1g/l) için belirlenmiş olup en yüksek giderim yüzdesini 1g/l lik katı sıvı oranında elde edilirken en iyi adsorpsiyon kapasitesi 0.4g/l lik katı/sıvı oranında belirlenmiştir. Yapılan denemeler sonunda ökseotundan termal metotla aktifleştirilerek elde edilen aktif kömürün kurşun gideriminde ucuz, kolay hazırlanabilir ve kolay temin edilebilir bir adsorbent olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Ökseotu, Aktif Karbon, Karakterizasyon, Adsorpsiyon, Kurşun*

**PRODUCTION of ACTIVATED CARBON from MISTLETOE(*VISCUM ALBUM L.*),
CHARACTERIZATION and INVESTIGATION of ITS USAGE for LEAD REMOVAL from
AQUEOUS SOLUTION**

ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the applicability of mistletoe (*Viscum album L.*) plant, which is parasitic on many trees in the world, but which is the subject of many studies in terms of its content, as an adsorbent. The mistletoe plant is first dried together with its stem and leaves. It was then treated with HCl and activated by thermal method. The activation process was carried out at 400 °C in a blast furnace in a nitrogen atmosphere. The characterization of the obtained activated charcoal was carried out using chemical, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermal Analysis, Brunauer–Emmett–Teller (BET) and Scanning Electron Microscope (SEM) analysis methods. Characterized activated charcoal was used to remove lead (Pb^{+2}) in aqueous solution and its effectiveness was tested. The experiments were carried out in batch process. In order to examine the effect of solution pH on lead removal, experiments were carried out at six different pH (1-6) and it was determined that the best removal was at pH: 5 with q_e : 50.78 mg/g. While examining the effect of temperature on lead removal, experiments were carried out at three different adsorption temperatures (26oC-45oC). The effect of solid/liquid ratio on removal was determined for three different solid/liquid ratios (0.4-1g/l), and the highest removal percentage was obtained at 1g/l solid/liquid ratio, while the best adsorption capacity was determined at 0.4g/l solid/liquid ratio. At the end of the trials, it was determined that the activated charcoal obtained from the mistletoe by the thermal method can be used as a cheap, easily prepared and easily available adsorbent in lead removal.

Keywords: *Mistletoe, Activated Carbon, Characterization, Adsorption, Lead*

1. GİRİŞ

Dünyamız doğal ve yeraltı kaynakları bakımından eşsiz zenginliğe sahiptir. İnsanlığın ve bilimin gelişimi sürecinde kaynakların farklı kullanım alanları keşfedilmiş, dünya nüfusu artmış ihtiyaçlar artmış, gereksinimler değişmiş ve neticesinde sanayileşme kaçınılmaz olmuştur. Dünya nüfusunun artışı ve sanayileşme beraberinde çevresel kirliliği ve sonucunda doğal kaynakların kaybedilmesi tehdidini oluşturmuştur. Doğal kaynakların korunmasının önemi yanında kirleticilerin bertarafı da kaynakların sürdürülebilir olarak kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Canlı varlığının temel yapıtaşı olan su, sanayi tarafından en çok kirleticilere maruz bırakılan kaynaktır. Çünkü birçok üretim tesisi proseslerinde suyu ya doğrudan kullanarak ya da dolaylı yoldan kullanarak üretimlerini gerçekleştirmektedir. Bunların sonucunda da çok çeşitli kirleticilerle yüklenmiş atıksular oluşmaktadır. Çevre bilicinin gelişmesiyle eskiden doğrudan akarsulara göllere veya denizlere deşarj edilen bu atıksuların arıtılmadan doğaya salınımı kanuni düzenlemeler ile engellenmektedir.

Atık sularda kirleticilerin başında kurşun gelmektedir. Çünkü kurşun sanayiinin birçok dalında özellikle tekstil, petrol rafinerisi, tabakhaneler, akümülatör üretimi, yakıtlar, patlayıcı üretimi, fotoğraf malzemeleri, kaplama, havacılık, otomobil, maden işleme ve çelik endüstrileri gibi birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır[1-2]. Bu endüstriler, yüzey ve yeraltı sularının Pb(II) iyonları ile kirlenmesine neden olabilir. Kurşun, kanserojen ve biyolojik olarak parçalanamayan bir maddedir içme suyunda düşük konsantrasyonlarda bile kurşun bulunması vücutta kurşun birikmesine neden olabilir ve bu da kansızlığa, böbrek fonksiyon bozukluğuna, beyin doku hasarına

ve hatta ölüme neden olabilir. [1-2].Kurşunun sudan uzaklaştırılması önemli bir sorundur ve bu sorunu çözmek için kimyasal çöktürme, iyon değişimi, filtrasyon, elektrokimyasal arıtma, membran teknikleri, buharlaştırma ve adsorpsiyon yoluyla geri kazanım gibi çeşitli yöntemler vardır [3-4]. Adsorpsiyon dışındaki tüm bu yöntemler, ya ekonomik olarak elverişsiz ya da teknik olarak karmaşık oldukları için sadece özel durumlarda kullanılmaktadır. Atıksuların arıtılmasında adsorpsiyon en çok çalışılan ve kullanılan kolay ve ucuz bir yöntemdir. Adsorpsiyon yöntemi, birçok atık malzemenin değerlendirilmesine olanak sağlar. Adsorpsiyonda kullanılan adsorbanlar, genellikle tarımsal atıklar gibi karbon yapısını içeren doğal malzemelerden üretilen, düşük maliyetli ve kolayca temin edilebilen malzemelerdir [5]. Literatürde adsorpsiyon metodunda çok farklı adsorbentler kullanılmaktadır bunlara Fındık ve badem kabukları [5], zeytin çekirdeği[6], Ceviz, fındık, badem, fıstık kabuğu ve kayısı çekirdeği [7], Melocanna baccifera Roxburgh (bambu) [8], tütün kökleri [9], Modifiye ceviz kabuğu [10],Hindistan cevizi kabukları [11], Sitrik Asit Modifiye Çam Talaşı [12], ayçiçeği çekirdeği kabuğu [13], hurma ağacı yaprakları[14] , okaliptüs çekirdeği [15], çay atığı biyokütlesi[16] örnek verilebilirler. Herbirinin birbirine üstün ve üstün olmayan yönleri mevcut olmakla birlikte coğrafi bölgelerin farklılıklarına göre de adsorbent seçimi yapılabilir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Ökseotunun Aktifleştirilmesi ve Adsorpsiyon Deneyleri

Aktifleştirilmek amacıyla ökseotu (armut ağacından) Giresun ilinden temin edilmiştir. Kurşun giderimi için yapılan ön denemeler sonucunda aktifleştirilmiş ökseotunun hazırlanan çözeltinin pH'sını yükselttiği ve sulu çözeltinin bazik olmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ortam pH'ı'nın ayarlanabilmesi amacıyla ısıtılma işleminden önce ökseotu bitkisi %10'luk Hidroklorikasit çözeltisinde 3 saat muamele edilmiş, sonrasında süzülerek saf su ile yıkanmış ve 105°C lik etüvde kurutulmuştur [17-18]. Kurutulan ökseotu aktifleştirilmek amacıyla 400°C sıcaklıktaki fırında azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Karbonize edilen bitki nötralizasyon amacıyla% 1 lik NaHCO₃ çözeltisi ile 8 saat muamele edilmiştir. Karbonize edilen ökseotu saf su ile yıkanmış, yıkama suyu pH sı 6.5 olana kadar yıkama işlemi tekrarlanmıştır. Yıkama süzülen ökseotu karbonizasyon ürünü etüvde 105°C'de 24 saat kurutulmuş ve kuru ürün porselen havanda 170-200 mesh aralığına öğütülüp elenmiştir.

Kurşun adsorpsiyonu için denemelerde kullanılacak olan çözeltiler, Pb(NO₃)₂ dan hesaplanan miktarda tartılarak hazırlanmış olan Pb⁺² stok çözeltisinden gerekli seyreltmeler yapılarak elde edilmiştir. Öncelikle 1000 mg/L Pb(II) iyonu içeren stok çözelti, hesaplanan miktarda Pb(NO₃)₂'nin saf suda çözülmesiyle hazırlanmıştır. Denemelerde kullanılan çözeltiler stok çözeltiden seyreltilerek hazırlanmıştır. Herbir denemede istenen konsantrasyonda hazırlanan çözelti çalışılan pH'a ayarlandıktan sonra çalışılacak olan sıcaklığa ayarlanmıştır. Ayarlı çözeltilere incelenecek olan katı/sıvı oranında adsorbent eklenmiştir. Adsorpsiyon deneyleri, 200 rpm çalkalama hızına sahip termostatik bir inkübatör çalkalayıcıda kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon işleminden sonra çözelti süzgeç kağıdından süzülmuş ve elde edilen berrak çözeltide kalan Pb(II) iyonu konsantrasyonu, Atomik Adsorpsiyon (Shimadzu AA 670/Germany)spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. Hesaplamalar aşağıdaki eşitliklerle yapılmıştır[28].

Pb(II) iyonlarının giderim verimliliği,

$$\% \text{ Giderim} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

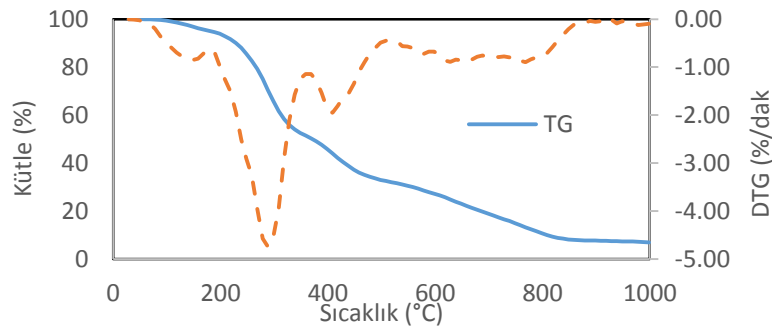
Dengede adsorbe edilen Cu(II) iyonları miktarı,

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

qe:adsorbanın kütle birimi başına adsorbe edilen iyon miktarı (mg/g), C₀:başlangıç Pb(II) konsantrasyonu (mg/L), C_e:dengedeki Pb(II) konsantrasyonu (mg/L), V: çözeltinin hacmi (L), m: adsorbant kütlesi (g)

2.2. Termogravimetrik Analiz

Denemeler 10°C/dak ısıtma hızında ve 30 ml/dak N₂ gazı akış hızında 25°C ile 1000°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.Ökseotu bitkisi yaprakları için TG ve DTG analizi.

Şekil 1’de ökseotu bitkisi karbonizasyon işleminden önce yapılan TG ve DTG analizleri verilmiştir. TG-DTG eğrileri gözlemlenen olayların sıcaklıklarını göstermektedir. Şekle göre I. bölge de 100-150°C aralığında yapraktaki nem kaybını göstermektedir. Bu bölgede gözlenen ağırlık kaybı % 3.76 olarak tespit edilmiştir. Ağırlık kaybının gerçekleştiği II. bölgede % 38.26’lık bir ağırlık kaybı 228-328°C sıcaklık aralığında gerçekleşmiş ve DTG eğrisinin en keskin pikini de içine alan bölge olmuştur. Bu bölge ökseotu bitkisinin makromoleküllerinin bozunduğu depolimerize olduğu bölgedir. III. bölge 488-828°C sıcaklık aralığında gerçekleşmiş olup bu bölgede % 59.63’lük bir ağırlık kaybı tespit edilmiştir Meydana gelen üçüncü olay organik maddenin sabit mineral kalıntılarının karbonlaşması ve oluşumu ile ilgilidir. Bu sebeple ökseotu bitkisi aktifleştirilirken 400°C de işleme tabi tutulmuştur.

2.3. Karakterizasyon

Aktifleştirme işleminden sonra elde edilen aktif kömürün nem, kül uçucu madde sabit karbon içerikleri uygun standartlara göre belirlenmiş olup sonuçlar çizelge1’ de gösterildiği gibidir.

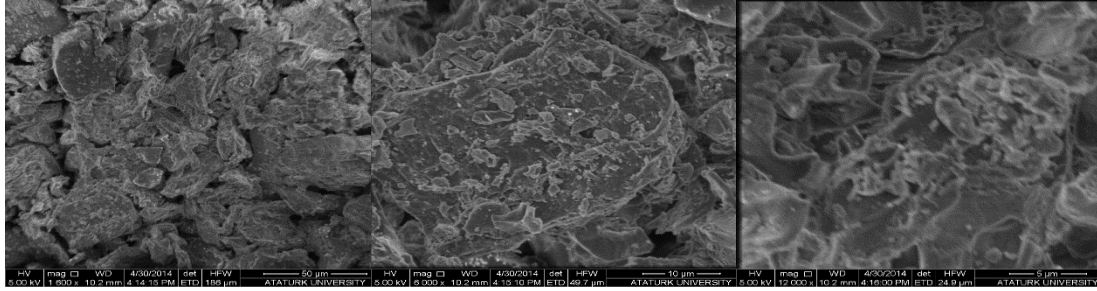
Çizelge1. Aktifleştirilmiş ökseotunun Nem, kül, uçucu madde, sabit karbon içerikleri.

Nem (%)	Kül(%)	Uçucu Madde(%)	Sabit Karbon(%)
3.8	7.3	12.1	76.8

2.4. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Görüntüleri

Elde edilen aktif kömürün SEM fotoğrafları 4000- 16000 kat büyütülmüş olarak şekil 2’de verilmiştir. SEM fotoğraflarından da görüleceği üzere aktif kömürün yüzeyinde oldukça fazla pürüzler, girintiler

çıkıntılar ve kanalların olduğu görülmektedir. Ayrıca gözenek çaplarının oldukça heterojen yapıda ve farklı boyutta olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2. Ökseotundan elde edilen aktif kömürün Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) görüntüleri.

2.5. BET Yüzey Alanı ve Gözenek Boyutu Dağılımı

Adsorbent adsorbat etkileşimlerinde adsorpsiyon verimi açısından adsorbentin yüzey alanı önemli bir parametredir. Yüzey alanı büyüklüğü yanında gözeneklerin boyut dağılımı ve heterojenliği seçilen adsorbentin türüne ve uygulanan işlemlere (sıcaklık, pH, süre) göre değişiklik göstermektedir. Ökseotundan elde edilen aktif kömür için BET yüzey alanı ölçümü Malvern Mastersizer 2000 Hydro 2000MU marka cihazla gerçekleştirilmiş olup. BET yüzey alanı SBET: 2.97 m²/g, toplam gözenek hacmi V_{toplam}:0.01 cm³/g olarak tespit edilmiştir.

2.6. Elementel Analiz

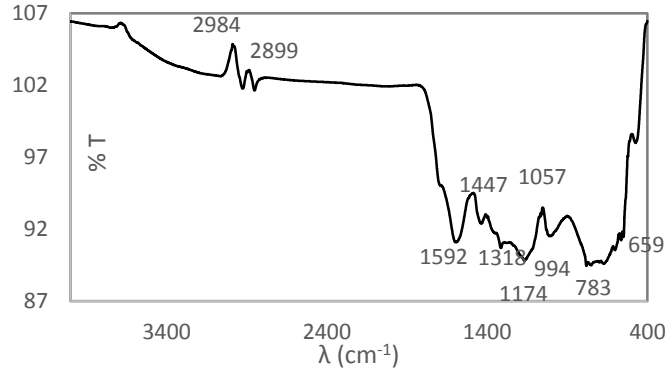
Ökseotundan elde edilen aktif kömür için yapılan elementel analiz sonuçları çizelge2’de verilmiştir. Buna göre ökseotu yapraklı bir bitki olmasına rağmen % 62.8 karbon, %31.87 O içerdiği tespit edilmiştir.

Çizelge2. Karbonizasyon sonucu oluşan ürünün elementel analizi.

Elementel Bileşenler (yaş temel %)				
C	H	N	S	O
62.80	5.05	0.21	0.07	31.87

2.7. FT-IR Analizleri

FT-IR spektroskopisi ile karbon yüzeyinde bulunan fonksiyonel grupların kimyası hakkında bilgi edinilebilir.



Şekil 3. Ökseotundan elde edilen aktif kömür için FT-IR spektrumu.

Ökseotundan elde edilen aktif kömür FTIR spektrumu sonucunda elde edilen grafik şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te 752 ile 814 cm^{-1} arasında görülen pik C-H gerilmelerini, 2800-3000 cm^{-1} aralığında gözlenen pik alifatik C-H gerilme titreşimlerini, 1510-1590 cm^{-1} aralığındaki pik aromatik C=C çift bağlarını, 1060 cm^{-1} civarındaki yoğun C-O titreşim piki, ligninin varlığını destekler. 1070-1170 cm^{-1} arasında görülen pik ise C-C-C bağlarını gösterir [19-20].

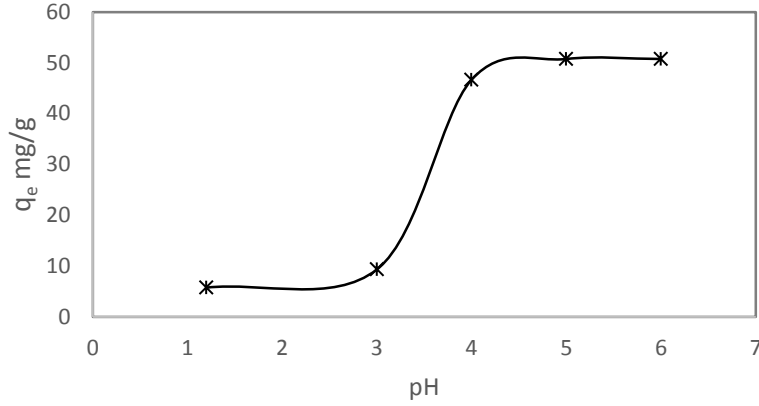
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kurşun Adsorpsiyonu

Adsorpsiyon denemelerinde elde edilen aktif kömürün sulu çözeltide bulunan Pb^{+2} 'yi adsorplama potansiyeli pH'ya, sıcaklığa, adsorbent dozuna bağlı olarak laboratuvar ortamında kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. En iyi Katı/ Sıvı karışımını sağlayan en düşük karıştırma hızı 200 rpm olarak tespit edilmiştir. Bu sebeple adsorpsiyon deneylerinde bu karıştırma hızı kullanılmıştır. Kurşun adsorpsiyonu için denemelerde kullanılacak olan çözeltiler, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan hazırlanmış olan stok çözelti seyreltilerek elde edilmiştir.

3.2. Kurşun Adsorpsiyonuna pH'nın Etkisi

Çözelti pH'sı adsorpsiyon sürecini etkileyen ana değişkenlerden biridir. Adsorpsiyonda sadece metal iyonlarının yüklerini değil, aynı zamanda adsorbentün yüzey yükünü ve reaksiyon sırasında adsorbentin iyonizasyon derecesini de etkiler. Bu sebeple adsorpsiyon işlemlerinde adsorbent ve adsorbentin cinsine bağlı olarak adsorpsiyonun en iyi dercede gerçekleştiği pH değeri belirlenmelidir. Bu amaçla farklı pH'larda (1-6) yapılan adsorpsiyon denemelerinin sonuçları şekil 4'te gösterildiği gibidir. Şekilde de görüldüğü gibi çalışılan aralıkta en iyi giderim pH 5'ten sonra gerçekleşmiştir. pH 6'nın üzerine çıktığında kurşun çöktüğü için pH 6'nın üzerinde deneme yapılmamıştır.



Şekil 4. Pb⁺² adsorpsiyonuna pH etkisi (37°C, 0.4 g/1,50 mg/l).

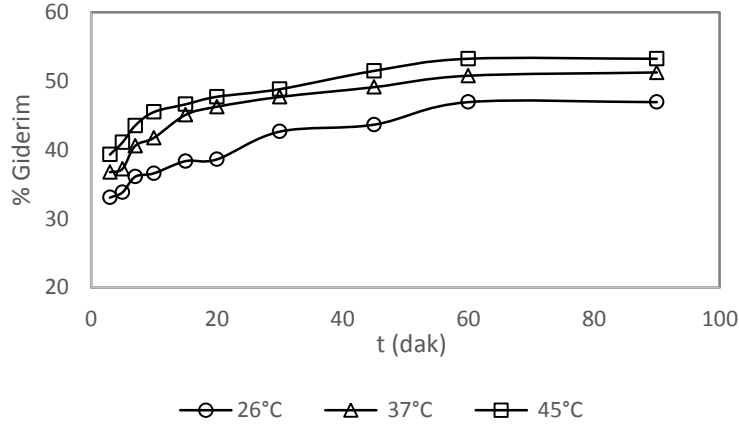
Adsorbent kapasitesi pH:1 de 5.75 mg/g dan pH:6 da 50.78 mg/g' a yükselmiştir. En yüksek adsorpsiyon pH 5 tespit edilmiş olup diğer adsorpsiyon denemelerinde pH 5 kullanılmıştır.

pH çok düşük değerlerde olduğunda çözeltideki hidronyum iyonlarının sayısının artmasına ve adsorban yüzeyinin hidronyum iyonları ile çevrelenmesine neden olur. Bunun sonucunda Pb⁺² iyonlarının adsorbanın aktif bölgelerine bağlanması engellenir. pH arttığında, aktif bölgelere bağlanan hidronyum iyonları adsorban yüzeyini serbest bırakacaktır. Böylece metal iyonlarının boşaltılan yüzeye bağlanma olasılığı artacaktır [21].

PH 4 ten 6'ya yükseldikçe, adsorban yüzeyindeki negatif yükler artacağından, negatif yüklerin elektrostatik çekimi ile pozitif yüklü Pb(II)'nin adsorpsiyonu da artacaktır. Ayrıca adsorpsiyon aktif bölgeleri için Pb(II) ile rekabet edecek daha az H⁺ iyonu mevcut bulunacak ve sonuçta Pb(II) adsorpsiyonu artacaktır[22].

3.3. Kurşun Adsorpsiyonuna Sıcaklığın Etkisi

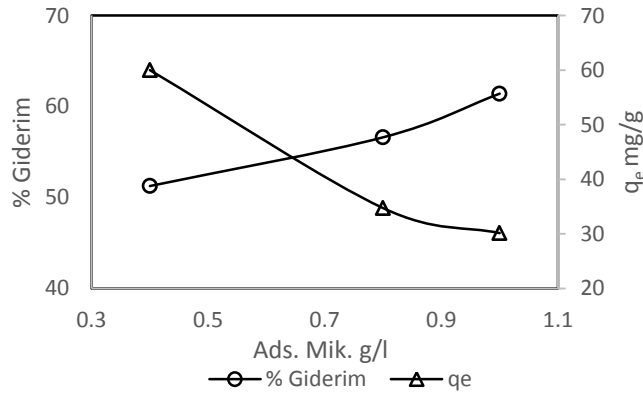
Adsorpsiyon prosesinde sıcaklık, adsorpsiyonun endotermik veya egzotermik olmasına bağlı olarak adsorpsiyon hızını ve adsorplanan madde miktarını etkiler. Proses endotermik ise adsorpsiyon hızı sıcaklığın artması ile, egzotermik ise de sıcaklığın azalması ile artacaktır. Sıcaklığın kurşun giderimine etkisini belirleyebilmek için 26-37-45°C sıcaklıklar parametre olarak seçilmiştir. Diğer parametreler denemelerde sabit tutulmuştur.



Şekil 5. Pb²⁺ adsorpsiyonuna sıcaklığın etkisi (pH5,50 mg/l, 0.4g/l).

Şekil5.'te kurşun adsorpsiyonuna sıcaklığın etkisi görülmektedir. Kurşun giderimi 26°C de % 46.95 iken 37°C de % 51.25, 45°C ise % 53.25 olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın artışı ile adsorpsiyon veriminin arttığı söylenebilir. Bunun nedeni sıcaklığın artması ile adsorbatın çözünürlüğünün artması aynı zamanda çözelti viskozitesinin azalması olabilir. Ayrıca sulu çözeltilerde sıcaklığın artışı ile çözünen iyonların kinetik enerjileri ve hızları artar bunun sonucunda adsorbent yüzeyine çarpma olasılıkları artar. Bunların sonucunda kurşun iyonları adsorbent-çözelti film tabakasındaki direnci yenerek adsorbent yüzeyine oradan da tanecik içi difüzyon ile adsorbent gözeneklerine doğru hareket eder [23-24]. Adsorpsiyon olayının endotermik olması, yukarıda açıklanan taşınım olaylarındaki artış ile açıklanabilir

3.4. Kurşun adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi



Şekil 6. Pb²⁺ adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi (50 mg/l,pH 5, 37°C, t: 90 dakika).

Kurşun giderimine adsorbent miktarının etkisinin incelenmesinde 0.4 g/l, 0.8 g/l ve 1 g/l adsorbent miktarları parametre olarak seçilmiştir. Denemeler sırasında 37°C sıcaklık, 50 mg/l ve pH:5 sabit parametrelerdir. Adsorbent miktarının Pb²⁺ giderimine etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi % kurşun giderimi adsorbent miktarının artışı ile artarken dengede adsorbentin

adsorpladığı kurşun miktarını gösteren qe miktarı azalmaktadır. Kurşun giderim yüzdesi 0.4 g/l de % 51.26 iken 1 g/l'de % 61.41'e artmıştır. Buna karşılık qe değerleri 0.4 g/l de 60 mg/g dan 1 g/l'de 30.1 mg/g'a azalmıştır. Giderim yüzdesinin adsorbent miktarındaki artış ile artması, çözelti içinde bulunan adsorbent yüzey alanının artması ve bununla bağlantılı olarak aktif sitelerin sayısının artması ile açıklanabilir. Aktif yüzey alanının artışı ile metal iyonları tutunacak daha fazla yüzey bulacak ve kolayca katı yüzeyine adsorplanarak giderim yüzdesinin artmasına ve çözeltide bulunan metal iyonu konsantrasyonunun düşmesine neden olacaktır. Adsorpsiyon işlemi gerçekleşirken meydana gelen transfer olayları şu şekilde sıralanabilir: Çözeltide bulunan metal iyonlarının katı-sıvı arayüzeyinde bulunan sınır tabakaya difüzyonu; sınır tabakadan adsorbent dış yüzeyine difüzyonu; dış yüzeyden adsorbent içindeki porlar ve gözeneklere difüzyonu. Tanecik içi difüzyona itici güç olarak çözeltideki metal iyonu konsantrasyonu söylenebilir [23],[24]. Çözeltideki adsorbent miktarının artması metal iyonu konsantrasyonunu düşürür ve itici gücün azalmasına dolayısıyla tanecik içi difüzyonun güçleşmesine neden olur. Sonuçta adsorbent iç bölgelerinde bulunan aktif yüzeyler boş kalır ve qe değeri adsorbent miktarının artışı ile azalır [25],[26],[27],[28].

4. SONUÇLAR

Doğada asalak bir bitki olarak bulunan ve ekonomik değeri olmayan ökseotu bitkisi aktifleştirilerek aktif kömür haline getirilmiştir.

Aktif kömür çeşitli analiz ve görüntüleme metodları ile karakterize edilmiştir.

Elde edilen aktif kömür Pb(II) adsorpsiyonunda kullanılmış ve oldukça yüksek bir adsorpsiyon kapasitesi göstermiştir.

Adsorban heterojen gözenekli boyuta sahip olup, özgül yüzey alanı 2.91 m²/g olarak elde edilmiştir.

Ökseotu üzerindeki Pb(II) adsorpsiyonunun adsorban dozu, başlangıç metal konsantrasyonu, pH ve sıcaklıktan güçlü bir şekilde etkilendiği tespit edilmiştir.

Çözelti pH'ının artmasıyla, adsorpsiyon kapasitesinin arttığı pH 5 ve pH 6 da en iyi giderimin olduğu belirlenmiştir.

Başlangıç kurşun konsantrasyonunun arttırılması, uzaklaştırma yüzdesini azaltmasına rağmen adsorpsiyon kapasitesini arttırmıştır.

Adsorpsiyon işlemi endotermik olarak belirlenmiştir

Sonuç olarak ökseotundan elde edilen aktif kömürün adsorbent olarak kullanılabileceği bu çalışma ile tespit edilmiş olup daha sonraki çalışmalarda diğer kirleticilerin adsorpsiyonunda da kullanılarak etkinliğinin araştırılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Doktora tezi kapsamında Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisi Tarafından Desteklenmiştir (BAP, 2013/108)

KAYNAKÇA

- [1] Naushad, Z. A. AL Othman, M. R. Awual, M., Alam, M., Eldesoky, G. E., (2015), Adsorption kinetics, isotherms, and thermodynamic studies for the adsorption of Pb²⁺ and Hg²⁺ metal ions from aqueous medium using Ti(IV) iodovanadate cation exchanger, *Ionics*, 21, 2237–2245.
- [2] Naushad, Z.A. ALOthman, Inamuddin, H. Javadian, (2015), Removal of Pb(II) from aqueous solution using ethylene diamine tetra acetic acid-Zr(IV) iodate composite cation exchanger: Kinetics, isotherms and thermodynamic studies, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 25 ,35–41.
- [3] Naushad, Z. A., AL Othman, Sharma, G., Inamuddin, H.J., (2015), Kinetics, isotherm and thermodynamic investigations for the adsorption of Co(II) ion onto crystal violet modified amberlite IR-120 resin, *Ionics* ,21:1453–1459.
- [4] Gupta, A. R., (2009), Biosorption of hexavalent chromium by raw and acid-treated green alga *Oedogonium hatei* from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials*, 163, 396-402.
- [5] Bulut, Z., (2007), Adsorption studies on ground shells of hazelnut and almond, *Journal of Hazardous Materials*, 149, 35-41.
- [6] Kula, M. Ugurlu, H. Karaoglu, A. Celik, A., (2008), Adsorption of Cd(II) ions from aqueous solutions using activated carbon prepared from olive stone by ZnCl₂ activation, *Bioresource technology*, 99, 492-501.
- [7] Kazemipour, M. Ansari, S. Tajrobehkar, Majdzadeh, M., Kermani, H.R., (2008), Removal of lead, cadmium, zinc, and copper from industrial wastewater by carbon developed from walnut, hazelnut, almond, pistachio shell, and apricot stone, *Journal of Hazardous Materials*, 150, 322-327.
- [8] Lalhruaitluanga, K. Jayaram, M.N. Prasad, K., Kumar, K, (2010), Lead(II) adsorption from aqueous solutions by raw and activated charcoals of *Melocanna baccifera* Roxburgh (bamboo)--a comparative study, *Journal of Hazardous Materials*, 175, 311-318.
- [9] Li, W., Zhang, L., Peng, J., Li, N., Zhang, S. and Guo, S., (2008), Tobacco stems as a low cost adsorbent for the removal of Pb(II) from wastewater: Equilibrium and kinetic studies, *Industrial Crops and Products*, 28, 294–302.
- [10] Saadat, A. Karimi-Jashni, M., Doroodmand, M., (2014), Synthesis and characterization of novel single-walled carbon nanotubes- doped walnut shell composite and its adsorption performance for lead in aqueous solutions, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2 ,2059-2067.
- [11] Kumar, S. Ramalingam, S.D. Kirupha, A. Murugesan, T. Vidhyadevi, G., Sivanesan, S., (2011), Adsorption behavior of nickel(II) onto cashew nut shell: Equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design, *Chemical Engineering Journal*, 167, 122-131.

- [12] Zhou, R. Zhang, X. Gu, J. Lu, M., (2015), Adsorption of Divalent Heavy Metal Ions from Aqueous Solution by Citric Acid Modified Pine Sawdust, *Separation Science and Technology*, 50, 245-252.
- [13] Zou, Y. Tang, C. Jiang, J. Zhang, M., (2015), Efficient adsorption of Cr(VI) on sunflower seed hull derived porous carbon, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 898-905.
- [14] Shoaib, H., Al-Swaidan, M., (2015), Optimization and characterization of sliced activated carbon prepared from date palm tree fronds by physical activation, *Biomass and Bioenergy*, 73, 124-134.
- [15] Pearlin K., P. Senthil, K., Sangita G., Shahul Hameed, S., Sindhuja, M., Prabhakaran, C., (2014), Study of adsorption kinetic, mechanism, isotherm, thermodynamic, and design models for Cu(II) ions on sulfuric acid-modified Eucalyptus seeds: temperature effect, *Desalination and Water Treatment*, 7, 1-18.
- [16] Gupta A., Balomajumder, C., (2015), Simultaneous adsorption of Cr(VI) and phenol onto tea waste biomass from binary mixture: Multicomponent adsorption, thermodynamic and kinetic study, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 785-796.
- [17] Khoramzadeh, E., Nasernejad, B., Halladj, R., (2013), Mercury biosorption from aqueous solutions by sugarcane bagasse. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44, 266–269.
- [18] Esfandiari, N., Nasernejad, B., Taghi Ebadi, T., (2014), Removal of Mn(II) from groundwater by sugarcane bagasse and activated carbon (a comparative study): Application of response surface methodology (RSM), *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 3726–3736.
- [19] Asadullah, M., Asaduzzaman, M., Kabir, M. S., Mostofa, M.G., Miyazawa, T., (2010), Chemical and structural evaluation of activated carbon prepared from jute sticks for brilliant green dye removal from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials* 174, 437–443.
- [20] Anirudhan, T. S. and Sreekumari, S. S., (2011), Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons, *Journal of Environmental Sciences*, 23(12), 1989–1998.
- [21] Youssef A.M., Ahmed, A.I., Amin, M.I., El-Banna, U.A., (2014), Adsorption of lead by activated carbon developed from rice husk, *Desalination and Water Treatment*, 5, 1-14.
- [22] Chakravarty S., A. Mohanty, T.N. Sudha, A.K. Upadhyay, J. Konar, J.K. Sircar, A. Madhukar, K.K. Gupta, (2010), Removal of Pb(II) ions from aqueous solution by adsorption using bael leaves (*Aegle marmelos*), *Journal of Hazardous Materials*, 173, 502-509.
- [23] Gündoğdu, A., (2010), Fabrika çay atıklarından aktif karbon üretimi, karakterizasyonu ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- [24] Kalavathy, M. H. and Miranda, L. R., (2010),. A solid phase extractant for the removal of copper, nickel and zinc from aqueous solutions, Chemical Engineering Journal, 158, 188–199.
- [25] Sharma, D.C. and Forster, C.F., (1993), Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat, Water Research, 27, 1201–1208.
- [26] Shukla, A., Zhang, Y.H., Dubey, P., Margrave J.L. ve Shukla, S.S., (2002), The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water, Journal of Hazardous Materials, 95, 137–152.
- [27] Calvete, T., Lima, E. C., Cardoso, N. F., Dias, S. L. P. and Pavan, F. A., (2009), Application of carbon adsorbents prepared from the brazilian pine-fruit-shell for the removal of Procion Red MX 3B from aqueous solution kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies, Chemical Engineering Journal, 155, 627–636.
- [28] Köse, B.(2015), Akut Zehirlenmelerin Etkisinin Azaltılmasında Farklı Adsorbentlerin Etkinliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.