



Çöp Döngüsünün Etkili Bileşeni: Poşet Çay Atıkları ve Ni⁺² Adsorpsiyonu

Hakan Çelebi^{1*}, Tolga Bahadır², İsmail Şimşek³, Şevket Tulun⁴, Melayib Bilgin⁵

¹ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7726-128X), hakanaz.celebi@gmail.com

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9647-0338), tolgabahadir61@gmail.com

³ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1950-5159), ismailsimsek@aksaray.edu.tr

⁴ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0570-7617), stulun@aksaray.edu.tr

⁵ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1086-5019), melayib@gmail.com

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1065272)

ATIF/REFERENCE: Çelebi, H., Bahadır, T., Şimşek, İ., Tulun, Ş. & Bilgin, M. (2022). Çöp Döngüsünün Etkili Bileşeni: Poşet Çay Atıkları ve Ni⁺² Adsorpsiyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 62-69.

Öz

Evsel kullanımlar sonucu açığa çıkan yiyecek ve içecek atıklarının çöp döngüsüne atılması yerine geri kazanılması hem çevrenin korunması hem de diğer çevre kirleticilerinin minimize edilmesi için çok büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, demlenmiş yeşil (YÇA) ve kırmızı (KÇA) poşet çay atıklarının Ni⁺² adsorpsiyon sürecine etkisi araştırılmıştır. Yüzde Ni⁺² adsorpsiyon oranının ve adsorpsiyon kapasitesinin tespit edilmesi için temas süresi, YÇA ile KÇA miktarları ve pH gibi çalışma koşullarında kesikli deneylerle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada belirlenen parametrelerin adsorpsiyon sürecine etkisi sabit bir karıştırma hızı (150±5 rpm), sıcaklığı (20±2 °C) ve başlangıç Ni⁺² konsantrasyonu (100±3 mg/L) altında değerlendirilmiştir. Optimum şartlarda YÇA (adsorbent dozu: 0.5 g/L, pH: 5.25, süre: 15 dakika) ve KÇA (adsorbent dozu: 1.0 g/L, pH: 6.47, süre: 30 dakika) ile sırasıyla yaklaşık %76 ve %62 maksimum Ni⁺² giderme verimleri bulunmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına göre YÇA ve KÇA'nın maksimum adsorpsiyon kapasiteleri 7.61 ve 6.25 mg/g olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada YÇA ve KÇA'nın, Ni⁺² giderimi için adsorbent olarak kullanılmalrı diğer adsorbent türlerine göre çevre dostu, ekonomik, kolay temin edilebilir birer seçim olduklarını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Nikel, Poşet çay, Kırmızı çay atığı, Yeşil çay atığı.

Effective Component of the Garbage Cycle: Teabag Waste and Ni⁺² Adsorption

Abstract

Recycling of food and beverage wastes that are released as a result of domestic use instead of throwing them into the garbage cycle is of great importance both for the protection of the environment and the minimization of other environmental pollutants. In this study, the effect of brewed green (GCA) and red (RCA) tea bag wastes on the Ni⁺² adsorption process was investigated. In order to determine the percent Ni⁺² adsorption rate and adsorption capacity, batch experiments were carried out under operating conditions such as contact time, LCA and GCA amounts, and pH. The effects of the parameters determined in the study on the adsorption process were evaluated under a constant stirring speed (150±5 rpm), temperature (20±2 °C) and initial Ni⁺² concentration (100±3 mg/L). At optimum conditions, approximately 76% and 62% maxima with LCA (adsorbent dose: 0.5 g/L, pH: 5.25, time: 15 minutes) and RCA (adsorbent dose: 1.0 g/L, pH: 6.47, time: 30 minutes), respectively. Ni⁺² removal efficiencies were found. According to the test results obtained, the maximum adsorption capacities of LCA and RCA were calculated as 7.61 and 6.25 mg/g. In this study, the use of LCA and GCA as adsorbent for Ni⁺² removal revealed that they are environmentally friendly, economical and easily available choices compared to other adsorbent types.

Keywords: Adsorption, Nickel, Bag tea, Red tea waste, Green tea waste.

* Sorumlu Yazar: hakanaz.celebi@gmail.com

1. Giriş

Günümüzde çok çeşitli endüstri işletmeleri, toksik ve kanserojen organik ve inorganik kökenli büyük oranlarda atık üretmektedirler. Ni^{+2} iyonlarının da dahil farklı su ortamlarında bulunan ağır metal ve metalloid gruplarına ayrıca dikkat etmek gerekmektedir. Çünkü gelişen endüstriyel sektörler ve teknolojik yaklaşımların ortaya çıkardığı ağır metallerin su ortamına salınımları hem su kirliliğine hem de kanserojen etkilere yol açmaktadır. İzin verilen deşarj standartlarının üzerindeki konsantrasyonlarda, bu iyonlar biyolojik olarak parçalanamayarak alıcı ortamlarda kalırlar. Dünya Sağlık Örgütü'nün raporlarına göre Nikel toksik ve tehlikeli maddeler grubunda sınıflandırılmaktadır (Esvandi vd., 2019; Foroutan vd., 2021; Shafiee vd., 2019). Nikel, hem doğal hem de antropojenik kökenli olması nedeniyle suda, havada, toprakta veya yiyeceklerde yaygın olarak bulunur. Ağır metaller arasında Nikel su kirliliği açısından kötü bir şöhrete sahip olup, paslanmaz çelik üretimi, süper-metalik alaşımlar, seramik-porselen boyama, piller, elektro-kaplama, boya, madeni paralar, ucuz takı ürünleri gibi çeşitli endüstri sektörü kaynaklı atıksularda bulunmaktadır (Öztürk vd., 2020; Siddiqui vd., 2020). Nikel, dünya genelinde toplam metal konsantrasyonunun yaklaşık %3'ünü oluşturur ve yerkürede en bol bulunan 24. metal olarak sıralanır (Vakili vd., 2021; Wołowicz ve Wawrzekiewicz, 2021). Nikel, gümüş beyaz renginde ve sert formda bir geçiş metali olup, periyodik tablonun 28. sırasındadır. -1'den +4'e kadar oksidatif durumlarda bulunabilir ancak +2 oksidasyon formu (Ni^{+2}) çevrede en yaygın ve önemli olanıdır (Genchi vd., 2020). Nikel ve diğer Nikel formları, fiziko-kimyasal özellikleri, basitçe alaşım oluşturmaları ve ekonomik maliyetleri sayesinde birçok sektörel alanda kullanıma sahiptir. Nikel, yüksek sıcaklıklara, korozyona çok dayanıklıdır ve oluşturduğu alaşımlar geri dönüştürülebilir (Genchi vd., 2020). Tablo 1, Ni^{+2} 'nin uluslararası ölçekte bazı spesifik özelliklerini, toksisite düzeylerini, sağlık sorunlarını ve üç farklı standart için izin verilebilen sınır değerlerini göstermektedir (USEPA, 2019; WHO, 2017).

Tablo 1. Ni^{+2} 'nin spesifik özellikleri ve limitler

İzin Verilen Limitler (mg/L)			
WHO	USEPA	EU	
0.1	-	0.02	
Kimyasal Özellikler			
Atom No	Molekül Ağırlığı	Yoğunluk	Kow
28	58.7 g/mol	8908 kg/m ³	-0.571
Dizayn	Kaynama noktası	Erime noktası	Koc
[Ar] 3d ⁸ 4s ²	2913 °C	1455 °C	1.20
Maksimum kirletici seviyesi (MKS)			
0.2 mg/L			
Ni^{+2} 'nin insan vücuduna etkisi			
Böbrek ve akciğer hastalıkları, kronik astım, öksürük, mide bulantısı, kusma, ishal, deri dermatiti, alerji, baş ağrıları, kardiyovasküler hastalıklar, akciğer ve burun kanseri			

Ni^{+2} iyonlarının su, hava ve toprak gibi ortamlardan giderimi için çok çeşitli teknikler mevcuttur. Bunlar kimyasal arıtım (Chandra Joshi vd., 2017), koagülasyon/flokülasyon (Abdullah vd., 2019), membran sistemleri (Bolisetty vd., 2019), elektrokimyasal arıtım (Bashir vd., 2019), adsorpsiyon (Bartczak vd., 2018; Chouchane vd., 2021; Tejada-Tovar vd., 2021) şeklinde sıralanabilir. Bu arıtım metotları arasında adsorpsiyon, basit çalışma prensibi (kesikli/yarı kesikli/sürekli), yüksek kirletici giderim verimliliği ve düşük maliyeti nedeniyle farklı su

ortamlarından ağır metal/metalloid iyonlarını gidermek için kullanılan iyi tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir (Burakov vd., 2018; Reinoso-Guerra vd., 2021).

Son yıllarda, kullanımları sonucunda kirlilik oluşturmayan, doğal kaynaklı adsorbentlere odaklanan çok sayıda bilimsel araştırma bulunmaktadır (Bartczak vd., 2018; Ghorbel-Abid ve Trabelsi-Ayadi, 2015; Rao ve Kashifuddin, 2016). Atık malzemenin kirletici gideriminde kullanımı ve bu kavramın ön planda tutulması her geçen gün daha da artmaktadır (Chouchane vd., 2021; Reinoso-Guerra vd., 2021). Ağır metal/metalloid gibi kirleticilerin arıtımında en çok kullanılan adsorbentler arasında tarımsal ve endüstriyel katı atıklar, reçineler, aktif karbon, kitosan, polimerler, nanomalzemeler, zeolitler, doğal killer vb. bulunur (Lim ve Lee, 2015; Tejada-Tovar vd., 2021). Çay atıkları da hem tüketim hem de üretim açısından araştırma konusu olan bir diğer adsorbent türü olup, literatürde çay toplama, işleme gibi faaliyetlerden kaynaklanan atıklar adsorpsiyon metodunda kullanılmıştır. Farklı türde yapraklardan yapılan çay, dünyada ve ülkemizde en çok tüketilen sağlığa faydalı içeceklerden biridir. Uluslararası Çay Komitesi'ne göre, dünyadaki toplam çay tüketimi 2019 verilerine göre 5.8 milyon tonun üzerine çıkmıştır (Guo vd., 2021). Son yıllarda sağlıklı yaşam amacı ile detoks çayları ve bunların türevleri popülerlik kazanmıştır. Özellikle, kullanım pratikliği açısından poşet çay tüketimi hızla artmıştır. Genellikle, çay tüketildikten sonra, birçok insan tek kullanımlık bu poşetleri çöpe atmaktadır. Aslında çöp döngüsü içerisinde poşet çay atıkları farklı kullanım alanlarında değerlendirilebilir. Özellikle, evlerde günlük olarak poşet çay kullanımı diğer alanlara nazaran daha yaygındır. Dolayısıyla açığa çıkan atık miktarı hem fazla hem de çeşitlidir (demlik poşet çay sallama poşet çay gibi). Organik kökenli olan bu atıklar çöp toplama alanlarında büyük bir yük oluşturabilmektedir. Evsel atıkların büyük bir çoğunluğu organik atık olup, bunların sıfır atık yaklaşımı ile toplanması ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda akla ilk gelen yöntem organik gübre olarak kullanımdır. Poşet çay atıklarının çevresel kirlilik açısından da katkıları söz konusudur. Kullanılan bu çay poşetleri mikroplastik formlarına sahip olmaktadır ve sonuçta bunlar içecek aşamasında ve çöplerde diğer alıcı ortamları ve insanları olumsuz etkilemektedir. Doğal çevre koşullarının bozulmaması için, doğadaki en temel kural olan maddesel kütle akışının, optimum olarak uygulanması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak kompost üretimi en yaygın kullanılan uygulamadır. Ayrıca, kozmetik ve boya sektöründe de bu poşet çay atıklarından yararlanılabilir.

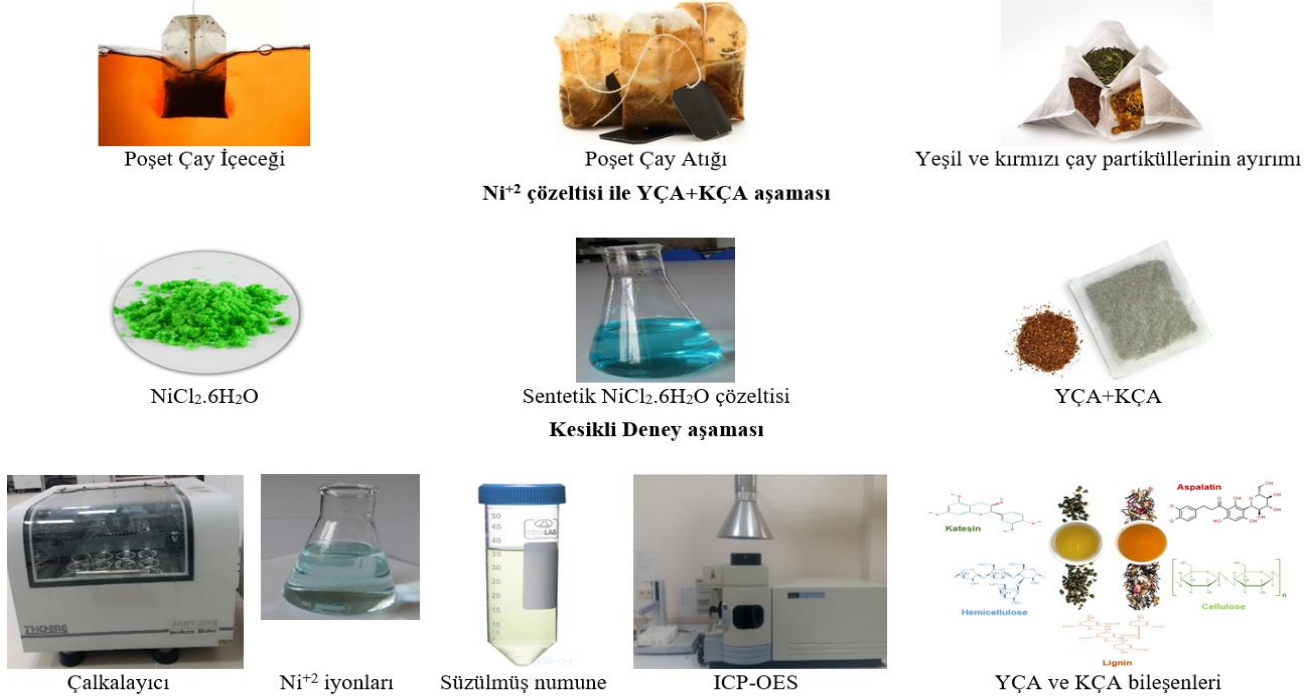
Camelia sinensis'in yapraklarından üretilen yeşil çay düşük fermente edilmiş ve kateşinler içeren bir çay türüdür (Vilela ve Pinto, 2019). *Asphalataus linearis*'ten üretilen kırmızımsı rooibos çayı aspalatine sahiptir (Sishi vd., 2019). Çay atıkları yapılarındaki etken maddeler, lignin ve selülozdan dolayı adsorpsiyonda kullanılabilir olası materyaller olarak araştırılmaktadır. Diğer adsorbentlere nazaran poşet çay atıkları çevreye zararsız formda olup, adsorbent kullanımında rejenerasyonuna uygun malzemelerdir. Bu çalışmada, çöp olarak evlerde ve diğer sosyal alanlarda atılan poşet çay atıklarının (YÇA ve KÇA) birer adsorbent olarak kullanılarak adsorpsiyon süreci ile suda bulunan Ni^{+2} iyonlarının giderimi olasılığı araştırılmıştır. Çay atıkları ile ağır metallerin giderimi çalışmaları genellikle, modifikasyonlarla ya da çay bitkisinin toplanması, işlenmesi süreçlerinden kalan malzemelerle yapılmıştır. Bu çalışmada ise, çöp döngüsüne atılan poşet çay atıkları demleme işlemi sonucunda değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

1000 mg/L'lik stok sentetik atıksu çözeltisi $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile hazırlanmıştır. Kesikli adsorpsiyon deneyleri için farklı konsantrasyonlarda seyreltmeler hazırlanmıştır. Bütün kimyasallar %99 saflıkta olup Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir. Çözeltiler, deneyler için gerekli derişimlerde

seyreltilmiştir. Adsorpsiyon sürecinde çözeltilerin pH değerleri dijital pH metre (HANNA pH 211) ile ayarlanmıştır. pH ayarlama ve dengelenme işlemleri farklı derişimlerdeki HCl ve NaOH çözeltileri ile yapılmıştır. Ni^{+2} iyonlarının YÇA ve KÇA adsorbentlerinin yüzeylerine tutunma sürecinin şematik olarak gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.

YÇA ve KÇA adsorbentlerinin hazırlık aşaması



Şekil 1. Ni^{+2} iyonlarının YÇA ve KÇA adsorbentlerinin yüzeylerine tutunma sürecinin şematik olarak gösterimi

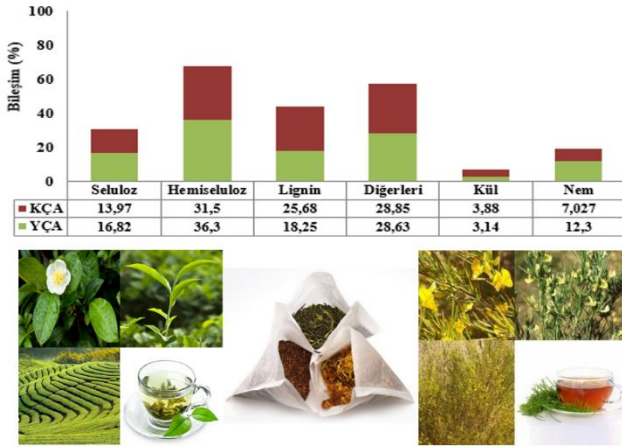
Kesikli süreçte sürdürülen adsorpsiyon çalışmaları 100 mL'lik çalışma hacmine sahip erlenlerde gerçekleştirilmiştir. 100±3 mg/L'lik sabit Ni^{+2} konsantrasyonuna sahip erlenler ZHICHENG analitik model termal çalkalayıcıda 150±5 rpm'lik sabit karıştırma hızı ve 20±2 °C'lik sabit sıcaklıkta çalkalanmıştır. YÇA ve KÇA tarafından tutulan Ni^{+2} konsantrasyonunu belirlemek amacıyla ICP-OES, 2100DV, Perkin Elmer, USA marka eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi cihazı kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri üç tekrarlı yapılmış ve ortalama değerlere göre standart sapma ≤%5 olacak şekilde grafikler çizilmiştir. Adsorpsiyon dengeye ulaştıktan sonra Ni^{+2} adsorpsiyon verimi ve YÇA ve KÇA'nın birim miktarına Ni^{+2} adsorpsiyon kapasitesi değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır. Burada; C_0 ve C_e : Ni^{+2} iyonlarının başlangıç ve son konsantrasyonları (mg/L), m : YÇA-KÇA (g) miktarı, V : çözeltinin hacmi (mL), q_e : YÇA-KÇA tarafından adsorbe edilmiş deneysel Ni^{+2} miktarı (mg/g).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{1000 \times m}$$

$$\text{Verim (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

Çalışmayı yaparken kullanılan yeşil ve kırmızı çay poşeti atıkları evlerden ve kafeteryalardan toplanmıştır. Hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde yoğun olarak tüketilen çay içeceğinin farklı pişirilme yöntemleri sonucu açığa çıkan ve çöp olarak

nitelendirilen atıklar birkaç aşamadan sonra adsorbent kullanımına hazırlanmıştır. Özellikle, pratik olması ve her alanda kullanımı olduğundan poşet çay atıkları bu çalışmada tercih edilmiştir. İlk olarak içecek kullanımı sonrası poşet içerisindeki çay parçaları ayıklanmıştır. Daha sonra suda oluşabilecek renk faktörünü ortadan kaldırmak için YÇA ve KÇA saf su ile yıkanmış ve birkaç gün oda sıcaklığında açık alanda bekletilmiştir. Bekletme kademesinden kaynaklanabilecek toz vb. durumları gidermek için YÇA ve KÇA tekrar saf su ile yıkanmış ve 100 °C'de 24 saat Memmert marka etüvde kurutulmuştur. Son aşamada ise, YÇA ve KÇA girişim yapmayacak plastik kutularda ayrı ayrı saklanmıştır. Şekil 2, literatürde yapılan diğer araştırmalara göre belirlenen YÇA ve KÇA adsorbentlerinin ana bileşenlerini ve lignoselülozik (selüloz, hemiselüloz, lignin) yapılarını gösteren bazı dağılımlarını ifade etmektedir (Çelebi, 2020; Jakhrani vd., 2019; Ukanwa vd., 2019).



Şekil 2. YÇA ve KÇA atıklarının bileşenleri (% kuru ağırlık)

Kesikli adsorpsiyon sürecinde optimum şartlarda izoterm ve kinetik değerlendirmeleri yapılmıştır. Adsorpsiyon kapasitesini belirlemek için, Langmuir, Freundlich izotermi ile Yalancı birinci derece ve Yalancı ikinci derece kinetik modelleri kullanılmıştır (Tablo 2) (Çelebi, 2020; Jakhrani vd., 2019; Ukanwa vd., 2019). Burada; C_e : Çıkış konsantrasyonu (mg/L), q_e : Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g), q_m : Maksimum kapasite (mg/g), K_L : Langmuir sabiti (L/mg), R_L : Boyutsuz sabit ayırma faktörü, n ve K_F : Freundlich sabitleri, k_1 : Yalancı birinci derece sabiti (dk^{-1}), k_2 : Yalancı ikinci derece sabiti (dk^{-1}) ifade etmektedir.

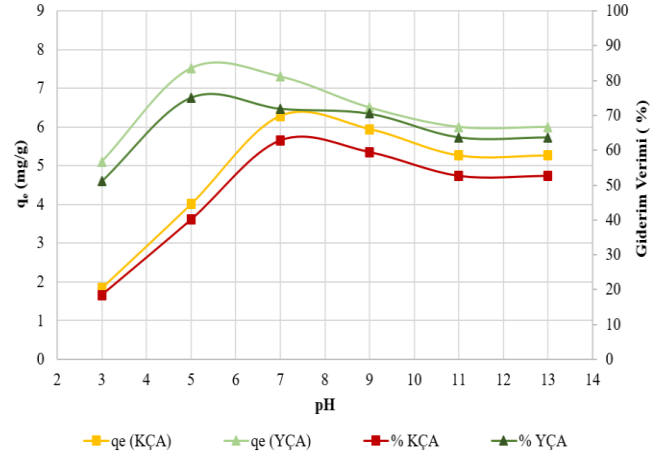
Tablo 2. İzoterm ve kinetik modellerin denklemleri

İzoterm ve Kinetikler	Lineer Denklemler
Langmuir	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$
Freundlich	$q_e = K_F \sqrt[n]{C_e}$
Yalancı Birinci derece	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \times t$
Yalancı İkinci Derece	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_w} t$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. pH'nın Etkisi

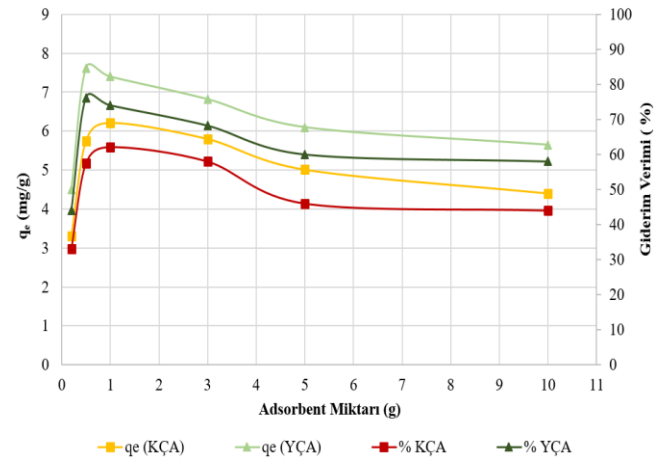
Kesikli ve sürekli adsorpsiyon deneylerinde en önemli etki faktörü çözeltinin pH'ı olup, pH farklılıkları adsorpsiyon alanındaki H^+ ve OH^- iyonlarının yer değiştirmesinden dolayı adsorbent (YÇA ve KÇA) ve adsorbat (Ni^{+2}) arasındaki etkileşimi de değiştirmektedir. Şekil 3'de pH 3-13 aralığında YÇA ve KÇA'nın Ni^{+2} adsorpsiyonunu etkilediği gösterilmiştir. Belirlenen pH aralığında YÇA ve KÇA ile yapılan kesikli deneylere göre maksimum Ni^{+2} giderme verimi YÇA için %75.15, pH 5.25'de bulunmuştur. KÇA ile Ni^{+2} adsorpsiyon sürecinde, pH 6.47'de maksimum giderim verimi %62.83 olarak belirlenmiştir. YÇA ve KÇA için ölçülen pH değerleri sentetik Ni^{+2} çözeltisindeki H^+ ve OH^- iyonları ile adsorbentlerin yüzeylerindeki fonksiyonel gruplar arasındaki etkileşimin sonucu olabilir. Bunun yanı sıra YÇA ve KÇA adsorbentlerinin yapısında bulunan kateşin ($C_{15}H_{14}O_6$), aspalatin ($C_{21}H_{24}O_{11}$), selüloz ($(C_6H_{10}O_5)_n$), lignin, hemiselüloz ile Ni^{+2} iyonları optimum pH seviyesinde bağ kurabilir. Ni^{+2} iyonları ve çay atıkları ile ilgili araştırmalarda adsorpsiyon süreci için ideal pH değerleri 5.0-7.0 arasında olduğu tespit edilmiştir (Öztürk vd., 2020).



Şekil 3. pH'nın Ni^{+2} giderim verimliliğine etkisi

3.2. Adsorbent Miktarının Etkisi

YÇA ve KÇA dozlarının Ni^{+2} iyonlarının adsorpsiyon metodu ile giderimi üzerindeki etkisi, 100 mg/L'lik Ni^{+2} solüsyonunda 20 ± 2 °C'de 150 ± 5 rpm'de 0.2 ile 10.0 g arasındaki dozlarda değerlendirilmiştir. Ni^{+2} iyonlarının verim oranları, YÇA dozu arttıkça hızlı bir şekilde 0.5 g seviyesine kadar artmış daha sonraki miktarlarda düşüşler gözlenmiştir (Şekil 4). Ni^{+2} iyonlarının giderim oranları sırasıyla 0.2, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 ve 10.0 g olan YÇA için yaklaşık %40, %76, %74, %68, %61 ve %57 olarak ölçülmüştür. 0.5 g YÇA dozunda %76 oranında maksimum Ni^{+2} iyonlarının giderimi sağlanmıştır. KÇA için de 0.2 ile 10.0 g arasındaki dozlar araştırılmıştır. YÇA'da olduğu gibi başlangıçta yüzey tutulumu ile alakalı olarak hızlı bir verim sağlanmıştır. Bu durumun etkin ve aktif yüzey alanı ile alakalı olduğu ifade edilebilir. Giderim yüzdesi başlangıçta hızlı bir artış göstermiş ve KÇA için 1.0 g'lık dozda maksimum %62 olmuştur. YÇA ve KÇA adsorbentlerinde belirli dozlardan sonra verim düşüklüğü, yeterli Ni^{+2} tutulmasından sonra YÇA ve KÇA'nın doyumuna atfedilebilir. Doz verim ilişkisi açısından bakıldığında Ni^{+2} arıtımı için KÇA'nın adsorpsiyon kapasitesinin daha düşük olduğu söylenebilir (YÇA>KÇA).

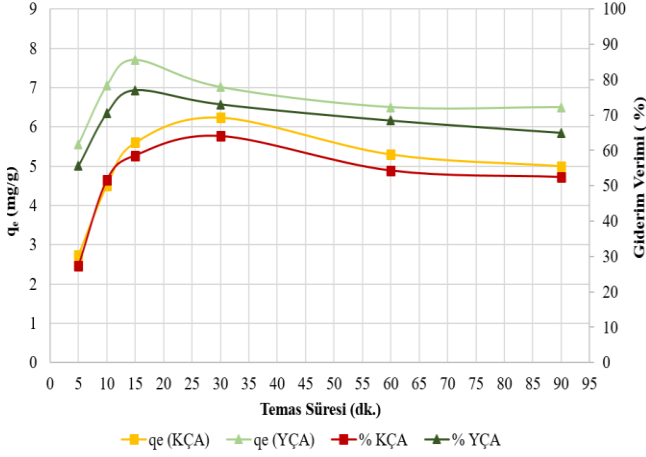


Şekil 4. YÇA-KÇA dozunun Ni^{+2} giderim verimliliğine etkisi

3.3. Temas Süresinin Etkisi

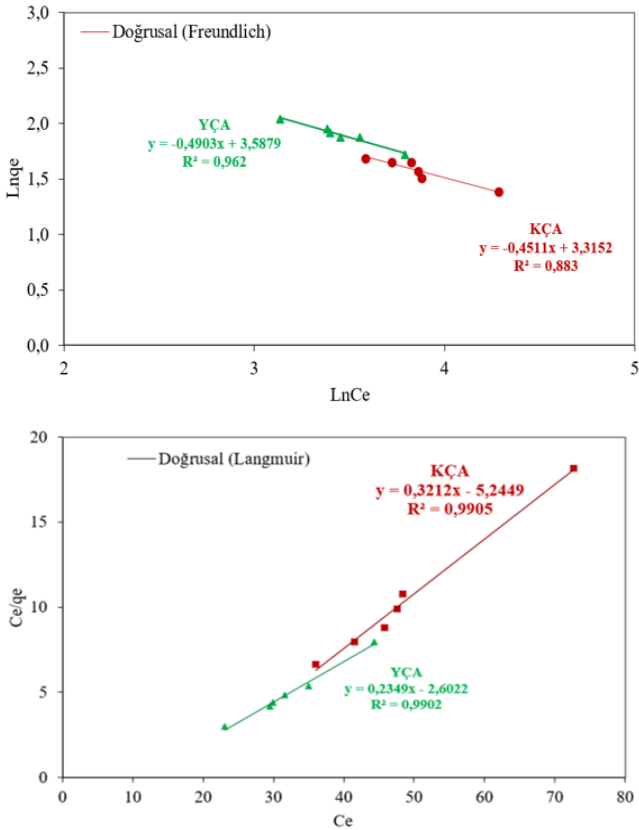
Adsorbent yüzeyi ile adsorbat arasındaki etkileşim süresi hem sürecin hem de adsorbent'in etkinliği açısından önem arz etmektedir. Şekil 5'de gösterildiği gibi Ni^{+2} 'nin, YÇA ve KÇA'ya adsorpsiyonu ilk 30 dk.'da maksimum düzeye ulaşmıştır. Ni^{+2} iyonlarının maksimum giderimi YÇA ve KÇA için 15. ve 30. dk.'da sırasıyla %77 ve %64 olarak belirlenmiştir. Laboratuvar

ölçekli çalışmalarda YÇA ile Ni^{+2} arıtımı 30. dk.'dan sonra azalarak dengeye ulaşmıştır. YÇA ile Ni^{+2} arasındaki ilk 15 dk.'lık artış daha geniş serbest yüzey alanından kaynaklanmış olabilir. KÇA için de üst noktadan sonra 60. ve 90. dk.'larda denge söz konusudur. KÇA için, 30 dk.'lık periyotta hızlı bir adsorpsiyon gerçekleşmiş ve sonrasında yavaşlama ile doygunluğa ulaşılmıştır. Bu durum, KÇA'nın dış yüzeyinde sürecin hızlı oluştuğunu daha sonrasında ise iç gözeneklerde yavaş bir tutulum olduğunu gösterebilir.

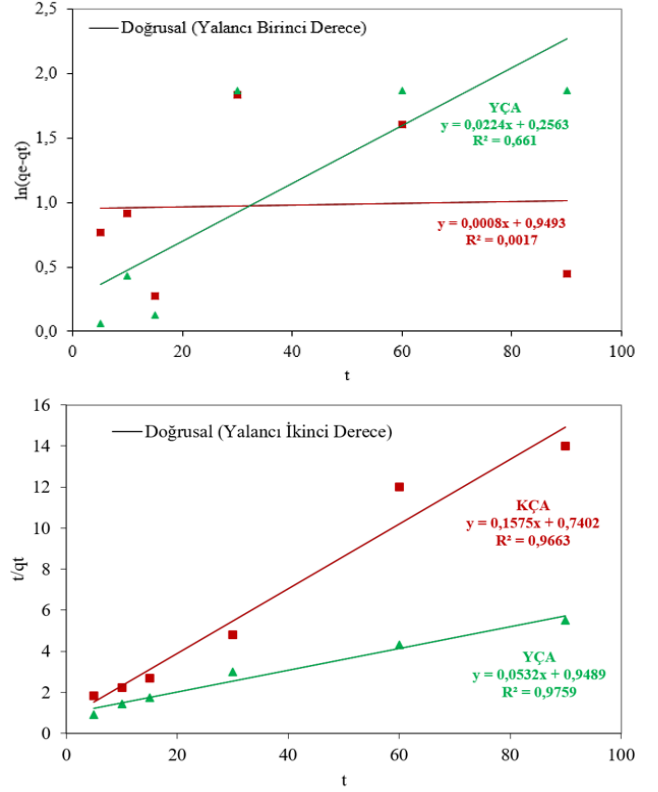


Şekil 5. Sürenin YÇA-KÇA ile Ni^{+2} iyonlarına etkisi

Seçilen izoterm ve kinetik modellere göre hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi YÇA ve KÇA için ideal şartlarda sırasıyla 7.61 ve 6.25 mg/g olarak tespit edilmiştir. Şekil 6 ve 7, YÇA ve KÇA üzerindeki Ni^{+2} 'nin adsorpsiyon izotermelerinin ve kinetiklerinin doğrusal değerlendirmesini göstermektedir.



Şekil 6. YÇA ve KÇA ile Ni^{+2} adsorpsiyonunun izoterm eğrileri



Şekil 7. YÇA ve KÇA ile Ni^{+2} adsorpsiyonunun kinetik eğrileri

Table 3. YÇA ve KÇA ile Ni^{+2} iyonları arasındaki izoterm ve kinetik katsayılar

Modeller	Katsayılar	
Langmuir	q_m (mg/g) _{YÇA}	7.61
	q_m (mg/g) _{KÇA}	6.25
	K_L (L/mg) _{YÇA}	0.061
	K_L (L/mg) _{KÇA}	11.08
	R^2 _{YÇA}	0.9902
Freundlich	R^2 _{KÇA}	0.9905
	K_F (L/mg) _{YÇA}	27.53
	K_F (L/mg) _{KÇA}	36.16
	n _{YÇA}	2.22
	n _{KÇA}	2.04
Yalancı Birinci derece	R^2 _{YÇA}	0.962
	R^2 _{KÇA}	0.883
	k_1 (dak ⁻¹) _{YÇA}	0.022
	k_1 (dak ⁻¹) _{KÇA}	0.006
	q_e (mg/g) _{YÇA}	3.58
Yalancı İkinci Derece	q_e (mg/g) _{KÇA}	1.31
	R^2 _{YÇA}	0.66
	R^2 _{KÇA}	0.002
	k_2 (g/mg/dak) _{YÇA}	0.035
	k_2 (g/mg/dak) _{KÇA}	0.021
Yalancı İkinci Derece	q_e (mg/g) _{YÇA}	6.67
	q_e (mg/g) _{KÇA}	6.35
	R^2 _{YÇA}	0.975
	R^2 _{KÇA}	0.966

Tablo 3'de görülebileceği gibi, Langmuir izotermi, en yüksek korelasyon katsayısı nedeniyle YÇA ($R^2=0.9902$) ve KÇA ($R^2=0.9905$) için en ideal model olarak karşımıza çıkmaktadır. Ni^{+2} iyonları ile YÇA ve KÇA arasındaki ara yüzey kesitinde giderim verimini ortaya koymak için yalancı birinci dereceden ve

yalancı ikinci dereceden kinetik çalışması gerçekleştirilmiştir. Test edilen kinetiklere göre en iyi korelasyon katsayısının sözde ikinci derece ($R^2_{Y\text{ÇA}}=0.9759$, $R^2_{K\text{ÇA}}=0.9663$) olduğu belirlenmiştir. Ni^{+2} iyonları için uygulanan YÇA ve KÇA adsorbentlerinin deneysel olarak adsorpsiyonda başarılı olduğunu göstermektedir. YÇA ve KÇA ile Ni^{+2} iyonları arasındaki adsorpsiyon izotermi ve kinetikleri için elde edilen katsayı değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Ni^{+2} iyonları gibi bütün ağır metallerin adsorpsiyonu farklı pH aralıklarında dengeye ulaşmaktadır. Öztürk vd. (2020) atık çayın Ni^{+2} ’nin adsorpsiyonu için maksimum pH düzeyinin 7.0 olduğunu bildirmiştir. Farklı çalışmalar, optimum Nikel arıtımının ortalama pH 5.0-7.0 aralığında olduğunu göstermiştir (Ş. Aslan vd., 2021; Shah vd., 2015; Yang vd., 2016). Benzer şekilde, Han vd. (2021), pH 6.0’da budanmış çay dalı ile kadmiyum giderimini arttırdığını belirtti. Do vd. (2019) grafit nanopartiküller üzerinde Nikel adsorpsiyonunun en iyi pH 7.0’da olduğunu hesapladı. Ayrıca Shen vd. (2017), Nikel adsorpsiyon işlemi sırasında pirinç kabuğu ile yaptıkları kesikli çalışmalarda Nikel veriminin en iyi pH 5.0’da olduğunu belirlemişlerdir. Malakahmad vd. (2016), adsorpsiyonla sulu çözeltiden Nikel’i arıtmak için siyah çay atıkları kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre pH 5.0 değerinde adsorpsiyon verimli sonuçlanmıştır. Chouchane vd. (2021) yüksek fırın cürufu kullanarak Nikel adsorpsiyonu gerçekleştirmişler ve sonuçta pH değerini 4.5 olarak tespit etmişlerdir.

Bartczak vd. (2018), Ni^{+2} iyonunun uzaklaştırması için turbayı inceledi. Sonuç olarak, 0.5 g turba dozunda %99.4 giderim verimi elde edildi. Hidroksiapatit/ Fe_3O_4 /polidopamin manyetik bileşimi adsorbent olarak kullanılarak Nikel arıtımı 1 g’lık dozda optimum seviyede bulunmuştur (Foroutan vd., 2021). Farklı yapıda malzemelerle (aktif karbon, çekirdek kabuğu, muz kabuğu, gül kabuğu, kül vb.) su ortamında Nikel giderimi için yapılan çalışmada Nikel’in etkin bir şekilde adsorbe edilebileceği fikrine varılmıştır (Vakili vd., 2021). Tejada-Tovar vd. (2021) çalışmalarında benzer deneysel sonuçlar elde ettiler.

Kamatchi vd. (2022) sentetik atıksuda Nikel giderimi için aktif karbon ile kesikli adsorpsiyon gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, aktif karbon ile maksimum Nikel arıtımının 30 dk.’lık süre sonunda %90 olduğunu göstermiştir. Çelebi (2020), yeşil, siyah ve kırmızı çay atıkları kullanarak krom giderimi çalışmaları yapmıştır. Maksimum krom giderimi için temas sürelerini sırası ile 10, 15 ve 45. dk.’larda bulmuştur. Aslan vd. (2018), aktif çamur biyokütlesi kullanarak Ni^{+2} ’nin 20. dakikada yaklaşık %75 olarak giderildiğini tespit etmişlerdir. Wołowicz ve Wawrzekiewicz (2021), yaptıkları reçine bazlı adsorpsiyon çalışmalarında Nikel giderimini 4 saatte optimum düzeye ulaştırmışlardır. Yıldız (2018), Nikel giderimi için fıstık kabuğu kullanarak adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirmiştir. Kesikli çalışmalar sonucunda 60 dak sonunda ideal bir verim elde edilmiştir. Çelebi vd. (2020), demlenmiş siyah çay atığı ile yaptıkları Nikel gideriminde ilk 30 dk.’da %76 Nikel giderim verimine ulaşmışlardır. Literatürdeki birçok çalışmanın bulguları bu araştırmanın sonuçları ile uyumludur (Güler vd., 2007; Koçyigit ve Sahin, 2018; Yadav vd., 2021).

4. Sonuç

YÇA ve KÇA üzerine kesikli Ni^{+2} adsorpsiyon süreci ile elde edilen veriler pH, adsorbent dozu ve temas süresinin önemini ortaya koymaktadır. YÇA’nın maksimum Ni^{+2} giderimi, ideal şartlarda ortalama %76 olarak elde edilmiştir. KÇA için giderme

verimi incelendiğinde ise YÇA’ya göre daha düşük verim elde edilmiş olup, %62 olarak hesaplanmıştır. YÇA ve KÇA için optimum şartlar şu şekildedir: YÇA (adsorbent dozu: 0.5 g/L, pH: 5.25, temas süresi: 15 dakika) ve KÇA (adsorbent dozu: 1.0 g/L, pH: 6.47, temas süresi: 30 dakika). Sonuç olarak, 4E (*Eco-friendly, Economical, Easily available, Efficient*) kuralına göre YÇA ve KÇA’nın sentetik su ortamından Ni^{+2} ’nin arıtımında çevre dostu, ekonomik, kolay temin edilebilir ve verimli birer adsorbent olduğuna varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Atıksu Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

- Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W. J., Jaafar, J., & Ismail, A. F. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029>
- Aslan, S., Yıldız, S., & Ozturk, M. (2018). Biosorption of Cu^{2+} and Ni^{2+} Ions from Aqueous Solutions Using Waste Dried Activated Sludge Biomass. *Polish Journal of Chemical Technology*, 20(3), 20–28. <https://doi.org/10.2478/pjct-2018-0034>
- Aslan, Ş., Yıldız, S., & Öztürk, M. (2021). Biosorption of Cu^{2+} from synthetic wastewater by tea waste sorbent: kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(3), 360–368. <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.27374>
- Bartczak, P., Norman, M., Klapiszewski, Ł., Karwańska, N., Kawalec, M., Baczyńska, M., Wysokowski, M., Zdzarta, J., Ciesielczyk, F., & Jesionowski, T. (2018). Removal of nickel(II) and lead(II) ions from aqueous solution using peat as a low-cost adsorbent: A kinetic and equilibrium study. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1209–1222. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.07.018>
- Bashir, A., Malik, L. A., Ahad, S., Manzoor, T., Bhat, M. A., Dar, G. N., & Pandith, A. H. (2019). Removal of heavy metal ions from aqueous system by ion-exchange and biosorption methods. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 729–754. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00828-y>
- Bolisetty, S., Peydayesh, M., & Mezzenga, R. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chemical Society Reviews*, 48(2), 463–487. <https://doi.org/10.1039/c8cs00493e>
- Burakov, A. E., Galunin, E. V., Burakova, I. V., Kucherova, A. E., Agarwal, S., Tkachev, A. G., & Gupta, V. K. (2018). Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 702–712. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>
- Çelebi, H. (2020). Recovery of detox tea wastes: Usage as a lignocellulosic adsorbent in Cr^{6+} adsorption. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104310. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104310>
- Çelebi, H., Gök, G., & Gök, O. (2020). Adsorption capability of brewed tea waste in waters containing toxic lead(II), cadmium (II), nickel (II), and zinc(II) heavy metal ions. *Scientific Reports*, 10(1), 17570.

- <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74553-4>
- Chandra Joshi, N., Sharma, R., & Singh, A. (2017). Biosorption: A Review on Heavy Metal Toxicity and Advances of Biosorption on Conventional Methods. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, 7(9), 714–724. www.chemistry-journal.org
- Chouchane, T., Khireddine, O., & Boukari, A. (2021). Kinetic studies of Ni(II) ions adsorption from aqueous solutions using the blast furnace slag (BF slag). *Journal of Engineering and Applied Science*, 68(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00039-3>
- Do, Q. C., Choi, S., Kim, H., & Kang, S. (2019). Adsorption of lead and nickel on to expanded graphite decorated with manganese oxide nanoparticles. *Applied Sciences*, 9(24), 5375. <https://doi.org/10.3390/app9245375>
- Esvandi, Z., Foroutan, R., Mirjalili, M., Sorial, G. A., & Ramavandi, B. (2019). Physicochemical Behavior of Penaeuse semisulcatuse Chitin for Pb and Cd Removal from Aqueous Environment. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(2), 263–274. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1345-x>
- Foroutan, R., Peighambaroust, S. J., Ahmadi, A., Akbari, A., Farjadfard, S., & Ramavandi, B. (2021). Adsorption mercury, cobalt, and nickel with a reclaimable and magnetic composite of hydroxyapatite/Fe₃O₄/polydopamine. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105709. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105709>
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Ghorbel-Abid, I., & Trabelsi-Ayadi, M. (2015). Competitive adsorption of heavy metals on local landfill clay. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.02.030>
- Güler, İ., Gürel, L., Bahadır, T., & Büyükgüngör, H. (2007). Biosorption of nickel(II) ions from aqueous solutions by rhizopus arrhizus attached on rice bran. *Journal of Biotechnology*, 131S, S79. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2007.07.137>
- Guo, S., Kumar Awasthi, M., Wang, Y., & Xu, P. (2021). Current understanding in conversion and application of tea waste biomass: A review. *Bioresource Technology*, 338, 125530. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125530>
- Han, C., Wang, M., Ren, Y., Zhang, L., Ji, Y., Zhu, W., Song, Y., & He, J. (2021). Characterization of pruned tea branch biochar and the mechanisms underlying its adsorption for cadmium in aqueous solution. *RSC Advances*, 11(43), 26832–26843. <https://doi.org/10.1039/d1ra04235a>
- Jakhrani, S. H., Ryou, J. S., Atta-ur-Rehman, Jeon, I. K., Woo, B. H., & Kim, H. G. (2019). Prevention of autogenous shrinkage in high-strength mortars with saturated tea waste particles. *Materials*, 12(7), 2654. <https://doi.org/10.3390/ma12172654>
- Kamatchi, C., Arivoli, S., & Prabakaran, R. (2022). Thermodynamic, Kinetic, Batch Adsorption and Isotherm Models for the Adsorption of Nickel from an Artificial Solution Using Chloroxylon Swietenia Activated Carbon. *Phys. Chem. Res.*, 10(3), 315–324. <https://doi.org/10.22036/PCR.2021.300561.1956>
- Koçyigit, H., & Sahin, B. (2018). Effects of egg shells for lead ions removal from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 127, 97–103. <https://doi.org/10.1080/10448593.2018.1488888>
- <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22659>
- Lim, S. F., & Lee, A. Y. W. (2015). Kinetic study on removal of heavy metal ions from aqueous solution by using soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(13), 10144–10158. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4203-6>
- Malakahmad, A., Tan, S., & Yavari, S. (2016). Valorization of Wasted Black Tea as a Low-Cost Adsorbent for Nickel and Zinc Removal from Aqueous Solution. *Journal of Chemistry*, 2016, 5680983. <https://doi.org/10.1155/2016/5680983>
- Öztürk, M., Yıldız, S., & Aslan, Ş. (2020). Nikel(II) İyonlarının Atık Çay'a Biyosorpsiyonu: Denge, Kinetik ve Termodinamik Çalışmaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 985–998. <https://doi.org/10.21923/jesd.742918>
- Rao, R. A. K., & Kashifuddin, M. (2016). Adsorption studies of Cd(II) on ball clay: Comparison with other natural clays. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1233–S1241. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.01.010>
- Reinoso-Guerra, E., Aristizabal, J., Arce, B., Zurob, E., Dennett, G., Fuentes, R., Suescún, A. V., Cárdenas, L., Rodrigues Da Cunha, T. H., Cabezas, R., García-Herrera, C., & Parra, C. (2021). Nanostructured Didymosphenia geminata-based membrane for efficient lead adsorption from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105269. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105269>
- Shafiee, M., Foroutan, R., Fouladi, K., Ahmadlouydarab, M., Ramavandi, B., & Sahebi, S. (2019). Application of oak powder/Fe₃O₄ magnetic composite in toxic metals removal from aqueous solutions. *Advanced Powder Technology*, 30(3), 544–554. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2018.12.006>
- Shah, J., Jan, M. R., Ul Haq, A., & Zeeshan, M. (2015). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for sorption of Ni (II) from aqueous solution using formaldehyde treated waste tea leaves. *Journal of Saudi Chemical Society*, 19(3), 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.04.004>
- Shen, Z., Zhang, Y., McMillan, O., Jin, F., & Al-Tabbaa, A. (2017). Characteristics and mechanisms of nickel adsorption on biochars produced from wheat straw pellets and rice husk. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12809–12819. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8847-2>
- Siddiqui, M. N., Ali, I., Asim, M., & Chanbasha, B. (2020). Quick removal of nickel metal ions in water using asphalt-based porous carbon. *Journal of Molecular Liquids*, 308, 113078. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113078>
- Sishi, M., Muller, M., de Beer, D., van der Rijst, M., & Joubert, E. (2019). Rooibos agro-processing waste as herbal tea products: optimisation of soluble solids extraction from dust and application to improve sensory profile, colour and flavonoid content of stem infusions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3653–3661. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9587>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., Sierra-Ardila, C., Meza-Acuña, M., & Ortega-Toro, R. (2021). Adsorption in a binary system of Pb (II) and Ni (II) using lemon peels. *Revista Facultad de Ingeniería*, 101, 31–44. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200691>
- Ukanwa, K. S., Patchigolla, K., Sakrabani, R., Anthony, E., & Mandavgane, S. (2019). A review of chemicals to produce activated carbon from agricultural waste biomass. *Sustainability*, 11(22), 6204. <https://doi.org/10.3390/su11226204>
- USEPA. (2019). *National Primary Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency*. Washington, DC. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>

- water/national-primary-drinking-water-regulations
- Vakili, M., Rafatullah, M., Yuan, J., Zwain, H. M., Mojiri, A., Gholami, Z., Gholami, F., Wang, W., Giwa, A. S., Yu, Y., Cagnetta, G., & Yu, G. (2021). Nickel ion removal from aqueous solutions through the adsorption process: A review. *Reviews in Chemical Engineering*, 37(6), 755–778. <https://doi.org/10.1515/revce-2019-0047>
- Vilela, A., & Pinto, T. (2019). Grape Infusions: The Flavor of Grapes and Health-Promoting Compounds in Your Tea Cup. *Beverages*, 5(3), 48. <https://doi.org/10.3390/beverages5030048>
- WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality Fourth Edition Incorporating The First Addendum*.
- Wołowicz, A., & Wawrzkiwicz, M. (2021). Screening of ion exchange resins for hazardous Ni(II) removal from aqueous solutions: Kinetic and equilibrium batch adsorption method. *Processes*, 9(2), 1–24. <https://doi.org/10.3390/pr9020285>
- Yadav, S., Yadav, A., Bagotia, N., Sharma, A. K., & Kumar, S. (2021). Adsorptive potential of modified plant-based adsorbents for sequestration of dyes and heavy metals from wastewater - A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102148. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102148>
- Yang, S., Wu, Y., Aierken, A., Zhang, M., Fang, P., Fan, Y., & Ming, Z. (2016). Mono/competitive adsorption of Arsenic(III) and Nickel(II) using modified green tea waste. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.07.007>
- Yildiz, S. (2018). Artificial neural network approach for modeling of Ni(II) adsorption from aqueous solution by peanut shell. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 25(4), 581–604. <https://doi.org/10.1515/eces-2018-0039>