



NİKEL (II) İYONLARININ ATIK ÇAY'A BİYOSORPSİYONU: DENGE, KİNETİK VE TERMODİNAMİK ÇALIŞMALARI

Mustafa ÖZTÜRK^{1*}, Sayiter YILDIZ², Şükrü ASLAN³

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Sivas, Türkiye
^{2,3} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Biyosorpsiyon, Nikel, Atık Çay, Denge, Kinetik.</i>	<p>Bu çalışmada atık çay (AÇ) kullanılarak Ni(II) iyonunun biyosorpsiyonu araştırılmıştır. Ni(II) giderme veriminin (E) ve biyosorpsiyon kapasitesinin (q_e) belirlenebilmesi amacıyla temas süresi, sıcaklık, pH, başlangıç Ni(II) derişimi ve AÇ dozu gibi çeşitli deney koşulları altında kesikli deneyler yapılmıştır. Biyosorpsiyonun ilk dakikalarda çok hızlı gerçekleştiği ve ilk 30 dk.'da dengeye ulaşıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca pH'nın yükselmesi ile biyosorpsiyon veriminin arttığı ve pH 5–7 arasında en yüksek değerlerde olduğu ve çözelti sıcaklığının artmasıyla q_e'nin de yükseldiği belirlenmiştir. Deneysel veriler kullanılarak hesaplanan R^2, q_{den} ve q_{hes} değerlerine göre adsorpsiyon eşitliğinin en iyi, Langmuir ve Temkin izoterm modelleri ile tanımlanmaktadır. Deney verileri Ni(II) iyonlarının AÇ'ye biyosorpsiyonunun ekzotermik bir reaksiyon olduğunu göstermektedir. Kinetik modeller kıyaslandığında, biyosorpsiyonun en iyi yalancı II. derece kinetik model tarafından tanımlandığı belirlenmiştir. Termodinamik parametreler adsorpsiyon işleminin AÇ tarafından Ni(II) iyonlarının uzaklaştırılmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca farklı çözücüler ile yapılan desorpsiyon çalışmasında AÇ'nin sorbent olarak yeniden kullanılabilirliği belirlenmiştir.</p>

BIOSORPTION OF NICKEL (II) IONS ONTO TEA WASTE: EQUILIBRIUM, KINETIC AND THERMODYNAMIC STUDIES

Keywords	Abstract
<i>Biosorption, Nickel, Tea Waste, Equilibrium, Kinetic.</i>	<p>In this study, the biosorption of Ni (II) ions onto the tea waste (TW) was investigated. The batch experiments were carried out to determine the removal efficiency (E) and biosorption capacity (q_e) of Ni (II) under various experimental conditions such as contact time, temperature, pH, initial Ni (II) concentration and TW dose. It was determined that the biosorption was very fast in the first minutes and the equilibrium was reached in the first 30 minutes. The biosorption efficiency increased with the increase of pH and the highest sorption of Ni(II) onto the TW was observed at the initial pH values between 5–7. The q_e value increased with the increase of solution temperature. According to the R^2 value, q_{exp} and q_{cal}, the adsorption equilibrium was well described by the Langmuir and Freundlich isotherm models. Experimental data show that the biosorption of Ni(II) ions onto the TW is an exothermic reaction. By the comparison of kinetic models, results demonstrated that the system was best described by the pseudo second-order kinetic model. Thermodynamic parameters show that the adsorption process can be used to remove Ni (II) ions by the TW. It was also revealed in the desorption studies conducted with different solvents that the TW could be reuse after desorption.</p>

Alıntı / Cite

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.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Öztürk, 0000-0002-8825-6283
S. Yıldız, 0000-0002-3382-2487
Ş. Aslan, 0000-0001-8735-8029

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.05.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.10.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.10.2020
Yayın Tarihi / Published Date	25.12.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: mozturk@cumhuriyet.edu.tr, +90-346-219-1010-2364

1. Giriş (Introduction)

Ağır metaller, yer kabuğunda doğal olarak bulunmakla beraber, tüm canlılar için ciddi sorunlara neden olabilmektedir (Fu ve Wang, 2011; Al-Samman, 2015). Başlıca arsenik, çinko, nikel, bakır, civa, kurşun, krom, kobalt gibi ağır metal/loid iyonları son yıllarda dünyanın çeşitli yerlerinde özellikle su kirliliği açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır. Birçok kirletici arasında, metal iyonları kirliliği, metallerin parçalanamayan doğası nedeniyle önemlidir (Siddiqui vd., 2020). Metal iyonları arasında ise nikel kötü şöhretli bir su kirleticisi olarak kabul edilir ve paslanmaz çelik, metalik alaşımlar, süper alaşımlar, demir dışı metaller, porselen, piller, madeni paralar, bakır sülfat, elektrokaplama, emaye, boya, buharlı elektrik santralleri gibi çeşitli endüstriyel atıksularda bulunmaktadır (Villaescusa vd., 2004; Padmavathy vd., 2003; Hasar, 2003; Aksu, 2002). Atıksular, uygun yöntemler ile arıtılmazsa Ni(II) iyonları, su ortamlarına karışmaktadır (Siddiqui vd., 2020).

İnsanlar yüksek derişimlerde Ni(II)'ye maruz kaldığında, oksidatif enzim aktivitesinin inhibisyonu, baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı ve kusma, göğüs ağrısı, göğüste sıkışma, kuru öksürük ve nefes darlığı gibi, uzun süreli maruziyette ise akciğer sertleşmesi, akciğer, burun ve kemik kanseri, böbrek ödemi, cilt dermatiti gibi sağlık problemleri ortaya çıkmaktadır (Siddiqui vd., 2020; Meena vd., 2005). Bu nedenle, alıcı ortama deşarj edilmeden önce Ni(II)'nin sudan giderilmesi gerekmektedir. Yapılan literatür taramasında Ni(II)'nin sudan giderilmesinde iyon değişimi ve çöktürme (Papadopoulos vd., 2004; Keränen vd., 2015), çöktürme (Shaidan vd., 2012), ters ozmoz (Ipek, 2005), koagülasyon ve flokülasyon (Heredia ve Martín 2009), foto-katalitik giderme (Shirzad Siboni vd., 2011; Ali vd., 2018), membran filtrasyonları (Murthy ve Chaudhari 2008) ve elektrokimyasal yöntemler (Dermentzis vd., 2011; Chen vd., 2013) uygulanmaktadır. Ancak uygulanan arıtım yöntemlerinin düşük verimlilik, yüksek işletim maliyeti, hassas çalışma koşulları ve ikincil kirleticilerin üretimi gibi sınırlamaları, ilave arıtım işlemlerini gerektirmektedir (Siddiqui vd., 2020). Sadeliği, uygun maliyeti ve doğası nedeniyle adsorpsiyon süreci, atıksuların arıtılmasında oldukça etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Vakili vd., 2020; Saini vd., 2020; Rizwan vd., 2020; Panda vd., 2007; Moawad vd., 2020). Özellikle doğada bol miktarda bulunan malzemeler veya endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan bazı atık malzemeler, adsorbent olarak daha ucuz ve etkili oldukları için tercih edilmektedir (Panneerselvam vd., 2009).

Genel olarak, az işlem gerektiren, bol bulunan veya başka bir endüstriden elde edilen yan ürün veya atık malzeme "düşük maliyetli" adsorbent olarak tanımlanmaktadır (Tahir ve Rauf, 2003). Literatürde yapılmış olan deneylerde turba yosunu (Ho vd., 1995), hindistan cevizi kabuğu, greyfurt kabuğu (Torab-Mostaedi vd., 2013), şeker endüstrisi atığı (Rao vd., 2002), fındık kabuğu (Tunç Dede, 2016) fıstık kabuğu (Yıldız, 2018), kaju fıstığı kabuğu (Kumar vd., 2011), pirinç samanı (Tran vd., 2017), şeker kamışı sapı kalıntısı (Alomá vd., 2012), kitin (Benguella ve Benaissa 2002), talaş (Rafatullah vd., 2009), yeşil algler (Malkoc ve Nuhoglu, 2003), yerel algler (Rizwan vd., 2020), su yosunu (Bermúdez vd., 2011), maya (Padmavathy vd., 2003; Cojocararu vd., 2009), uçucu kül (Serencam ve Uçurum, M, 2019; Lin ve Chang, 2001), kemik kömürü (Cheung vd., 2001), linyit (Eligwe vd., 1999), zeolit (Panneerselvam vd., 2009), odun (Ćurković vd., 2009) ve atık çay (Tran vd., 2017; Malkoc ve Nuhoglu, 2006b; Malkoc ve Nuhoglu, 2006a; Malkoc ve Nuhoglu, 2005; Cay vd., 2004; Aslan vd., 2016) biyolojik hücreler (Özdemir vd., 2009; Congeevaram vd., 2007; Chen vd., 2008; Aslan vd., 2018; Alzahrani vd., 2017; Aksu ve Donmez, 2006; Akar vd., 2013; Ahmady-Asbchin ve Bahrami, 2011) gibi farklı düşük maliyetli malzemeler, ağır metallerin adsorpsiyonunda kullanılmıştır.

Atık çay (AÇ), ağır metal iyonlarının su ortamından uzaklaştırılmasında adsorban olarak kullanılabilir (Weng vd., 2014; Wan vd., 2014). Çay (Theaceae familyasına ait *Camellia sinensis*), ülkemizde Doğu Karadeniz bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen bir bitkidir (Malkoc ve Nuhoglu, 2005). Bitki yapraklarının sıcak su ile haşlanarak tüketilen çay içeceği, Türkiye'nin her yöresinde oldukça popülerdir ve dünyada yılda 5 milyon ton civarında çay tüketilmektedir (Öztürk vd., 2015).

Ni(II)'nin çaya biyosorpsiyonu ile ilgili sınırlı sayıda ki deneysel çalışmada genellikle izoterm ve kinetik çalışılmıştır (Yang vd., 2016; Panneerselvam vd., 2011; Malkoc ve Nuhoglu, 2005; Ahluwalia ve Goyal, 2005). Bu çalışmada farklı izoterm ve kinetik modellerinin yanısıra desorpsiyon çalışması da yapılmıştır. Atık çayın (AÇ) Ni(II) iyonlarını sorplama kapasitesinin belirlenmesi, AÇ'nin endüstriyel atıksuların arıtımında ön arıtma olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada, ülkemizde oldukça yüksek miktarda tüketilen AÇ'nin, Ni(II) biyosorpsiyonunda sorbent olarak kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında, Ni(II) iyonlarını içeren sentetik atıksuyun arıtımında AÇ, adsorbent olarak kullanılmıştır. Biyosorpsiyon çalışmasında denge süresi belirlenerek, farklı sıcaklık ve pH'larda, sorbent miktarı ve Ni(II) derişiminlerinin biyosorpsiyona etkisi incelenmiştir. Ayrıca farklı pH ve sıcaklarda biyosorpsiyon izotermi, kinetik ve termodinamik çalışmaları yapılmıştır. AÇ'nin Ni(II) biyosorpsiyonunda tekrar kullanılabilirliği desorpsiyon deneyleri ile araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1 Biyosorbentin Hazırlanması (Preparation of the Biosorbent)

İçecek olarak tüketilmesi ile toplanan kalıntı AÇ, kirleticilerden temizlemek için çeşme suyu ve saf su ile yıkanmıştır. Temizlenen AÇ, yaklaşık 60 °C'de, 24 saat süre ile etüvde kurutulmuştur. Kuru katı biyosorbent, havan ile öğütülmüş, 250µm elekten geçirilmiş ve elde edilen toz AÇ, adsorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır. Genel olarak çay atıklarının kimyasal içeriği; %49,6 C, %5,1 H, %42,6 O ve %2,7 N olarak, nem ve kül içeriği ise sırasıyla %6,5 ve 3,4 olarak verilmektedir (Demirbas, 1999).

2.2 Sentetik Atıksuyun Hazırlanması (Preparation of Synthetic Wastewater)

Sentetik atıksu çözeltileri, analitik saflıkta NiCl₂.6H₂O (Merck) saf su içerisinde çözdürülerek 1000 mg/L derişimi olacak şekilde hazırlanmıştır. Çözeltiler, deneyler için gerekli derişimlerde seyreltilmiştir.

2.3 Kesikli Biyosorpsiyon Deneyleri (Batch Biosorption Experiments)

Ni(II)'nin, AÇ'ye biyosorpsiyonunda etkin pH, sıcaklık ve adsorbent dozu, 100 mL Ni(II) çözelti hacminde, 0,1 g AÇ ile 250 mL cam kapaklı erlenmeyerlerde belirlenmiştir. Biyosorpsiyon çalışmaları 125 dev/dk. karıştırma hızında sürdürülmüştür (Aslan vd., 2018). Deneysel çalışmalarda uygulanacak başlangıç Ni(II) derişimi 25 mg/L, ön deneysel çalışmalarda tespit edilmiştir. Ni(II) biyosorpsiyonda, denge süresinin belirlenmesinde sıcaklık 35°C'de sabit tutulmuş ve karıştırma süresi 240 dk. alınmıştır. Diğer deneyler, tespit edilen denge süresinde ve pH 5,0 ± 0,1'de gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, sıcaklık kontrollü çalkalayıcı (Gerhardt) ile yürütülmüştür ve çözelti pH'sı 0,01 N H₂SO₄ ve/veya NaOH çözeltileri ile ayarlanmıştır.

2.4 Desorpsiyon ve Yeniden Kullanım Deneyleri (Desorption and Reuse Experiments)

Ni(II) iyonları ile yüklü AÇ'nin desorpsiyonu, 0,1 M H₂SO₄, 0,1 M HCl çözeltileri ve saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 1,0 g AÇ ve 250 mg/L Ni(II) derişiminde, 100 mL çözelti hacminde sorpsiyon deneyleri yapılmıştır. Sorpsiyon deneylerinin tamamlanmasından sonra çözelti, 0,45 µm membran filtreden süzümüştür. Süzüntü Ni(II) ölçümleri yapılarak AÇ tarafından tutulan Ni(II) miktarı tespit edilmiştir. Sorpsiyon deneylerinde kullanılan Ni(II) yüklü AÇ, etüvde kurutulmuş ve farklı yıkama çözeltileri (100 mL; 0,1 M H₂SO₄, 0,1 M HCl ve saf su) ile Ni(II), AÇ'den desorbe edilmiştir. Desorpsiyon çalışması, 100 mL yıkama çözeltisinde 30 dakika karıştırma süresinde gerçekleştirilmiştir. Karıştırma tamamlandıktan sonra erlen içeriği süzülerek, süzükte Ni(II) miktarı ölçülmüş ve desorpsiyon verimi hesaplanmıştır. Ayrıca süzülerek elde edilen AÇ, tekrar saf su ile yıkama ve kurutma sonrası sorpsiyonda kullanılmıştır. Desorpsiyon ile AÇ'nin Ni(II) adsorpsiyon verim değişimi hesaplanmıştır.

2.5 Ölçüm Yöntemi (Measurement Method)

Başlangıç çözeltisinden ve deney sonrası alınan örneklerde Ni(II) ölçümleri yapılmıştır. Analizler, 10 dk., 4000 dev/dk.'da (NF800, NUVE) santrifüj edilmesi ile elde edilen üst sıvıdan alınan numunelerde gerçekleştirilmiştir. Ni(II) derişimleri, spektroquant kit ile (Merck 14767), Merck PHARO100 spektrofotometrede ölçülmüştür. Örnek pH ölçümleri, HANNA marka pH metre ile yapılmıştır. Biyosorpsiyon deneyleri en az üç tekerrürlü olarak yapılmış, ortalama değerler hesaplanmış ve grafikler oluşturulmuştur (standart sapma ≤5%). Her deney setinde en az bir adet şahit örnek kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

AÇ'ye Ni(II) iyonlarının biyosorpsiyon verimi (% E) ve kapasitesi (q_e) Eşitlik (1) ve (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

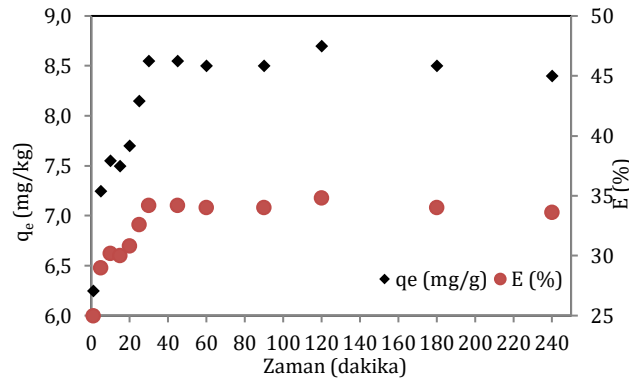
$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e (mg/g) = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (2)$$

Burada; C₀ başlangıç Ni(II) çözelti derişimi (mg/L), C_e biyosorpsiyon sonrası Ni(II) çözelti derişimi (mg/L), q_e biyosorplanan Ni(II) miktarı (mg Ni(II)/g AÇ), V çözelti hacmi (L) ve m biyosorbent miktarını (g) vermektedir.

3.1 Temas Süresi Etkisi (Effect of Contact Time)

Temas süresi ve başlangıç derişimi, adsorbat türlerinin sulu çözeltiden uzaklaştırılmasında önemli etkiye sahip iki parametredir (Panneerselvam vd., 2011). Şekil 1'de görüldüğü gibi Ni(II)'nin, AÇ'ye biyosorpsiyonu ilk 5 dk.'da hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Giderme verimi 1. ve 5. dk.'da sırasıyla %25 ve %29 olarak hesaplanmıştır. 5. dk.'dan itibaren temas süresi arttıkça, giderme verim hızı düşmüş ve 30. dk.'da %34,2 olarak tespit edilmiştir. Bu sürede, q_e 8,55 mg Ni(II)/g AÇ olarak hesaplanmıştır. 45 dk.'da giderme verimi değişmeyerek %34,2 olarak ölçülmüştür. Karıştırma süresi arttırıldığında Ni(II) giderme verimi ve q_e değeri sabit kaldığından etkin temas süresi 30 dk. olarak kabul edilmiştir. Bu durum AÇ'in sorpsiyon yüzeylerinin açık olduğunu ve yüksek çözelti derişimi nedeniyle biyosorpsiyon hızının da yüksek olduğunu göstermektedir. Aktif sorpsiyon yüzeylerinin Ni(II) metali ile kaplanması, biyosorpsiyon hızının düşmesine sebep olmaktadır. Ni(II)'nin AÇ'ye biyosorpsiyon kapasitesinin incelendiğibenzer çalışmalarda, farklı temas süreleri elde edilmiştir. Bazı çalışmaların bir kıamında etkin temas süresi 100–120 dk. aralığında (Thakur ve Parmar, 2013; Shah vd., 2015; Panneerselvam vd., 2011) belirlenirken, farklı çalışmalarda ise 20–30 dk. aralığında da yüksek giderim hızı tespit edilmiştir (Malkoc ve Nuhoglu, 2005; Ahluwalia ve Goyal, 2005). Bu çalışmada denge süresi 30 dk.olarak belirlenmiştir.

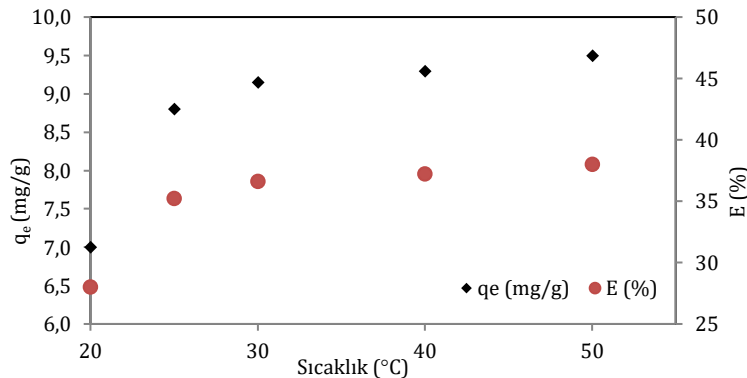


Şekil 1. Temas süresinin Ni(II) giderme verimine ve q_e 'ye etkisi (Effect of contact time on Ni(II) removal efficiency and q_e)

3.2 Sıcaklık Etkisi (Effect of Temperature)

Sıcaklık, metal katyonunun hareketliliğini arttırdığından önemli bir faktördür (Wan vd., 2014; Malkoc ve Nuhoglu, 2005). Ayrıca sorbentlerin yüksek denge kapasitesinden dolayı, sıcaklığın yükselmesi sorbent matrisini değiştirebilmekte ve daha fazla sorpsiyon bölgelerine yol açabileceğinden, biyosorpsiyon kapasitesinin artmasına neden olmaktadır (Liu vd., 2009). Bununla beraber, sıcaklık artışının, AÇ'nin iç yapısında, metal katyonunun daha fazla nüfuz etmesini sağlayan bir genişleme etkisi oluşturabileceği bildirilmiştir (Aksu, 2002).

Sıcaklığın biyosorpsiyona etkisi, 20-50 °C aralığında 5 farklı sıcaklıkta incelenmiştir. AÇ'nin Ni(II) biyosorpsiyon kapasitesinin; 20–30 °C aralığında sıcaklık artışına bağlı olarak hızla arttığı, 30–50 °C aralığında ise sıcaklık artışına bağlı olarak düşük de olsa artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). En düşük biyosorpsiyon verimi (%28) en düşük çalışma sıcaklığı olan 20 °C'de, en yüksek verim ise (%38) 50 °C'de görülmüştür. q_e değeri ise verim ile paralellik göstererek en düşük 20 °C'de 7 mg Ni(II)/g AÇ, olarak hesaplanırken en yüksek, 50 °C'de 9,5 mg Ni(II)/g AÇ olarak bulunmuştur. Genel olarak sıcaklık artışının AÇ'nin biyosorpsiyon kapasitesini artırması, Ni(II) adsorpsiyonunun endotermik bir süreç olduğunu göstermektedir (Aslan vd., 2018). Adsorpsiyon verimi ve kapasitesinin artan sıcaklık ile yükselmesi AÇ'ye Ni(II)'nin adsorpsiyonunun sadece fiziksel olmadığını aynı zamanda kimyasal sorpsiyon olduğunu göstermektedir (Aksu, 2002).

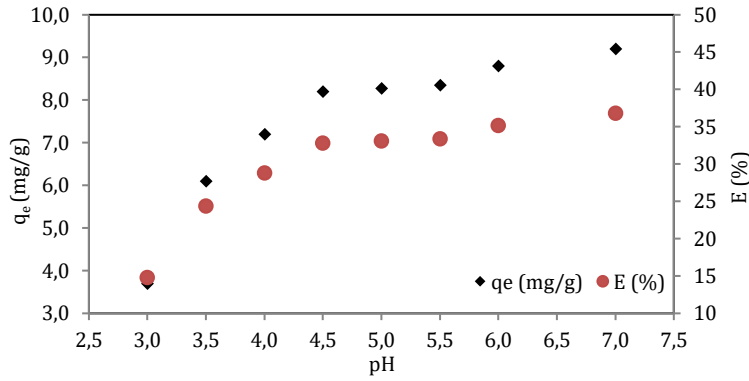


Şekil 2. Sıcaklık değişiminin Ni(II) biyosorpsiyonuna etkisi (Effect of temperature change on Ni(II) biosorption)

3.3 Başlangıç pH Etkisi (Effect of Initial pH)

Çözeltinin pH'sı biyosorpsiyon hızını ve derecesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Shah vd., 2015; Kratochvil ve Volesky, 1998). pH, adsorbentin özelliğini ve aynı zamanda ağır metal iyonlarının tür dağılımını etkileyebilmektedir (Yang vd., 2016). pH < 3,0 olması durumunda, H⁺ iyonları, adsorbent yüzeyi için Ni(II) iyonlarıyla rekabet ederek, sorbentin bağlanma bölgelerine ulaşmasını engellemektedir. Biyosorpsiyon kapasitesine pH etkisi, pH 3,0-7,0 aralığında incelenmiştir.

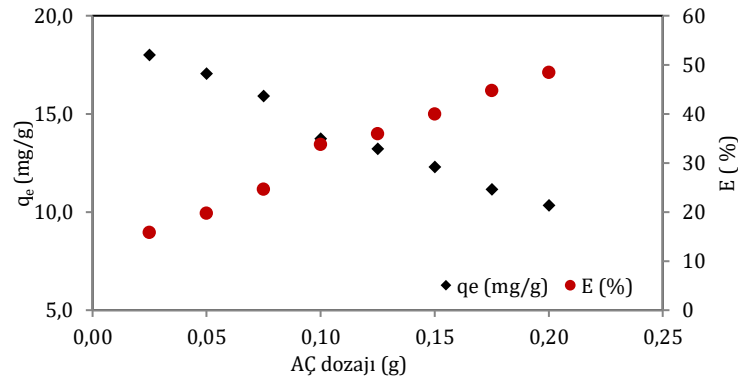
pH'nın yükseltilmesi ile AÇ'nin biyosorpsiyon kapasitesi artış göstermektedir (Şekil 3). Biyosorpsiyon verimi, pH 3,0'da %14,8 iken, pH'nın 7,0'a yükseltilmesi ile %36,8'e artmıştır. Ayrıca pH 3,0'te, q_e 3,7 mg Ni(II)/g AÇ, pH 7,0'de ise 9,2 mg Ni(II)/g AÇ olarak hesaplanmıştır. Metallerin adsorpsiyonu farklı pH değerlerinde optimize edilmektedir (Wahi vd., 2010). Ayrıca kullanılan biyokütle tipi de metal adsorpsiyonunda optimum pH'ı etkilemektedir (Jamali vd., 2009). Ni(II)'nin çay bitkisine biyosorpsiyonuyla ilgili yapılan çalışmalarda pH 5-7 değerleri en uygun koşullar olarak belirtilmektedir (Yang vd., 2016; Shah vd., 2015; Panneerselvam vd., 2009; Malkoc ve Nuhoglu, 2005; Aslan vd., 2016).



Şekil 3. pH'nın Ni(II) biyosorpsiyonuna etkisi (Effect of pH on Ni(II) biosorption)

3.4 Sorbent Dozajı Etkisi (Effect of Sorbent Dosage)

Sorbent dozu, sorpsiyon sürecini etkileyen önemli bir faktördür. Genel olarak, sorbent dozu arttıkça, metal iyonlarının bağlanması için sorpsiyon bölgelerinin artması nedeniyle giderim verimi artmaktadır (Shah vd., 2015; Panneerselvam vd., 2011). Deneysel, sabit sıcaklık (35 °C) ve Ni(II) derişiminde, farklı AÇ dozlarında (0,025-0,20 g AÇ) sorbent dozunun biyosorpsiyona etkisi araştırılmıştır. AÇ miktarının artması ile çözeltiden giderilen Ni(II) miktarı da artmaktadır (Şekil 4). En düşük sorbent derişiminde (0,025 g AÇ) giderim verimi %15,80 olarak elde edilirken, en yüksek derişim olan 0,20 g AÇ için ise verim % 48,40'a yükselmiştir. Biyosorpsiyon sırasında AÇ'nin aktif bağlanma yüzeylerinin doygunluğa ulaşmamasından dolayı, AÇ miktarı arttığında, biyosorpsiyon kapasitesi azalmaktadır (Jianlong vd., 2000). Sorbent dozunun çözeltide artırılması, giderilmesi istenen kirleticinin adsorpsiyonunda daha fazla aktif yüzey alanı sağlamak ve kirleticinin, adsorbentin aktif sorpsiyon bölgelerine aktarımını (penetrasyon) kolaylaştırmaktadır (Kovacevic vd., 2000).



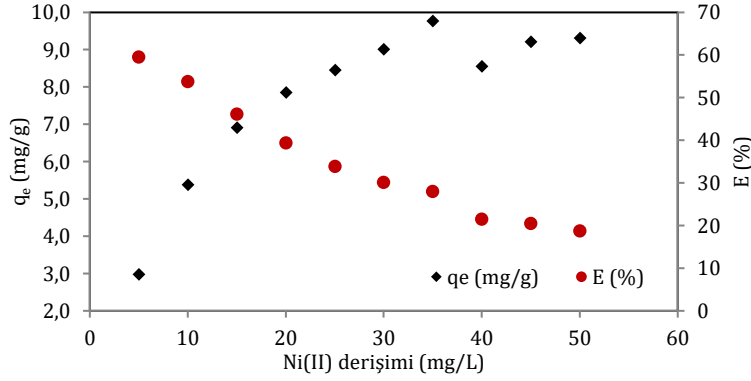
Şekil 4. AÇ dozajının Ni(II) biyosorpsiyonuna etkisi (Effect of TW dosage on Ni(II) biosorption)

3.5 Başlangıç Ni(II) Derişiminin Etkisi (Effect of Initial Ni(II) Concentration)

Çözeltideki metal derişimindeki artış, metal iyonları ile adsorbentin etkili adsorpsiyon bölgeleri arasındaki temas olasılığını artırdığından, adsorpsiyon kapasitesi artmaktadır (Yang vd., 2016). Literatürde ayrıca ağır metallerin

yüzde olarak giderilmelerinin başlangıç metal iyonları derişimine bağı olduğu ve derişimindeki artışla birlikte giderimin azaldığı bildirilmektedir (Thakur ve Parmar, 2013).

Ni(II) derişiminin AÇ'ye biyosorpsiyonuna etkisi, optimum koşullar olarak belirlenen sıcaklık (30 °C) ve pH (5)'da, 5-50 mg/L Ni(II) derişim aralığında incelenmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi Ni(II) derişiminin artması ile birlikte biyosorpsiyon verimi azalırken q_e değeri, artmıştır. 5 mg/L Ni(II) derişiminde verim %59,40 ve q_e 2,97 mg/g iken, 50 mg/L derişimde giderim verimi %18,60 ve q_e 9,30 mg/g olarak tespit edilmiştir. Düşük iyon derişimlerinde, AÇ yüzey aktif bölgelerinin çözeltideki mevcut toplam iyon derişimine oranı yüksek olduğunda, tüm metal iyonları adsorbent ile etkileşim içindedir ve sudan uzaklaştırılabilmektedir. Ancak, adsorbentin birim kütlesine adsorplanan metal miktarı, yüksek derişimlerde artmaktadır (Amarasinghe ve Williams, 2007). Çözelti içerisinde metal iyon derişimi arttığında, adsorbentin birim yüzey alanında daha fazla metal iyonu bulunduğundan yüzey adsorpsiyonu artmaktadır (Bermúdez vd., 2011).



Şekil 5. Ni(II) derişiminin biyosorpsiyona etkisi (Effect of Ni(II) concentration on biosorption)

3.6 Denge Çalışmaları (Equilibrium Studies)

Kirleticilerin katı yüzeye adsorpsiyonu yoluyla giderilmesi için denge çalışmalarının tanımlanmasında çeşitli matematiksel modeller kullanılmaktadır (Panneerselvam vd., 2011). Farklı adsorpsiyon izoterm modelleri, adsorpsiyon sürecinde giderim kapasitesinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Sahu vd., 2020). Bu çalışmada Freundlich, Langmuir, Temkin ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izotermelerini içeren denge modelleri araştırılmış ve adsorpsiyon sürecini açıklamak için deneysel veriler incelenmiştir. Çözelti ve sorbent arasında Ni(II) dağılımını değerlendirmek amacıyla Tablo 1'de verilen izoterm eşitlikleri kullanılmıştır.

Tablo 1. İzoterm model eşitlikleri (Isotherm model equations)

İzoterm modelleri	Eşitlikler	Grafik eksenleri	Kaynak
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \times K_L} + \frac{1}{q_m} C_e$ $R_L = \frac{1}{(1 + K_L \times C_0)}$	$x - \text{ekseni} \rightarrow \frac{C_e}{q_e}$ $y - \text{ekseni} \rightarrow C_e$	Moreira vd., 2019
Freundlich	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \times \log C_e$	$x - \text{ekseni} \rightarrow \log q_e$ $y - \text{ekseni} \rightarrow \log C_e$	
Temkin	$q_e = \frac{R \times T}{b_T} \times \ln(A_T \times C_e)$	$x - \text{ekseni} \rightarrow q_e$ $y - \text{ekseni} \rightarrow \ln C_e$	Ho vd., 2002
D-R	$\ln q_e = \ln q_{max} - \beta \times \varepsilon$ $\varepsilon = R \times T \times \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$ $E = \frac{1}{\sqrt{2 \times \beta}}$	$x - \text{ekseni} \rightarrow \ln q_e$ $y - \text{ekseni} \rightarrow \varepsilon^2$	Lin ve Juang, 2002

Tablo 1'de sunulan eşitlikle; β , ortalama serbest enerji (mol^2/j^2), E biyosorpsiyon enerjisi, K_L Langmuir sabiti (L/mg), K_F Freundlich sabiti (L/mg), $1/n$ adsorpsiyon yoğunluğu, q_{max} maksimum biyosorpsiyon kapasitesi (mg/g), b_T ve A_T , Temkin parametresi (L/mg) olarak verilmiştir. Modellerde, ideal gaz sabiti R 8,314 joule/mol.K ve sıcaklık (T) Kelvin (K) olarak alınmıştır.

Adsorbent ve Ni(II) derişimlerine göre hesaplanan izoterm parametreleri Tablo 2’de sunulmuştur. Deneysel verilerin uygulandığı izoterm modellerinde R^2 değerine ($> \%85$) göre tüm izoterm modellerinin uygun olduğu görülmektedir. Uygulanan modeller ve deneysel veriler ile elde edilen yüksek R^2 değeri, AÇ’nin Ni(II) biyosorpsiyonunda yüksek adsorpsiyon kapasitesine ve metal çekimine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Sorbent dozu ve Ni(II) derişimlerine göre izoterm sabitleri (Isotherm constants for the sorbent dose and Ni (II) concentrations)

Model	İzoterm Parametreleri	Sorbent Dozajı	Ni(II) Derişimi
Langmuir	R^2	0,91	0,99
	K_L (L/mg)	11,90	3,92
	q_{max} (mg/g)	0,17	2,61
	R_L	0,0033	0,010
Freundlich	R^2	0,95	0,87
	K_F (L/g)	4086	2,89
	n	0,44	2,84
Temkin	R^2	0,99	0,92
	A_T (L/g)	0,14	2,78
	b_T	-15,705	2,0973
D-R	R^2	0,98	0,91
	β (mol ² /j ²)	-24,763	-1,0727
	q_{max} (mg/g)	24,70	8,64
	E (kJ/mol)	0,142	0,682

Öncelikle gaz-katı faz adsorpsiyonunu tanımlamak için tasarlanmış olan Langmuir adsorpsiyonu, ayrıca çeşitli adsorbentlerin adsorpsiyon kapasitesini ölçmek ve karşılaştırmak amacıyla da kullanılmaktadır (Elmorsi, 2011; Ayawei vd., 2017). Langmuir izotermi, metal iyonlarının alımının, homojen bir yüzey üzerinde tek tabakalı adsorpsiyon meydana geldiğini ve sorplanan türler arasında bir etkileşim olmadığını varsaymaktadır (Sahu vd., 2020; Panneerselvam vd., 2011). Adsorpsiyon ve desorpsiyon hızı, sorbentin sırasıyla açık ve kapalı yüzeylerinin oranlarına bağlıdır. Çalışmada tüm modeller için yüksek R^2 değerleri elde edilmiş olmakla birlikte Ni(II) dozajı için en yüksek R^2 (0,99), Langmuir izoterminde, adsorpsiyon dozajı için ise Temkin izoterminde elde edilmiştir ($R^2=0,99$).

Langmuir izotermine başlıca karakteristiği olan boyutsuz parametresi olan ayırma faktörü (R_L), Ni(II) derişimi ve adsorpsiyon dozajı için sırasıyla 0,010 ve 0,0033 olarak hesaplanmıştır. $R_L > 1$ olması adsorpsiyonun Langmuir’e göre elverişsiz, $R_L = 1$ olması doğrusal, $0 < R_L < 1$ olması uygun ve $R_L = 0$ olması geri döndürülemez olduğunu ifade etmektedir (Ayawei vd., 2017). Bu çalışmada Ni(II)’nin AÇ’ye biyosorpsiyonunun Langmuir modeline göre elverişli olduğunu göstermektedir.

Freundlich izotermi heterojen yüzeylerde oluşan adsorpsiyon süreçlerine ve adsorpsiyon işleminin çok katmanlı olması durumunda uygulanabilmektedir (Sahu vd., 2020; Ayawei vd., 2017). Doğrusal grafiklerden adsorpsiyon dozajı için bulunan R^2 (%95) değeri, biyosorpsiyonunun Freundlich modeli tarafından da uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca $1/n$ heterojenite faktörüdür ve yüzey ne kadar heterojense $1/n$ değeri o kadar sıfıra yakındır (Çakmak ve Canbaz 2020). $1/n$ değeri adsorbent/adsorbat sisteminin uygunluğu ve kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Pek çok durumda $1 < n < 10$ arasındaki değerler adsorpsiyonun verimli olduğunu ifade etmektedir (Shahwan ve Erten, 2002; Bhattacharyya ve Sharma, 2005). Bu çalışmada adsorpsiyon dozajı ve Ni(II) derişimi için bulunan n değerleri adsorpsiyonun verimli olduğunu göstermektedir.

Temkin izotermi, adsorbentler ve adsorbe edilecek metal iyonları arasındaki etkileşimleri dikkate almaktadır ve serbest sorpsiyon enerjisinin yüzey kapsama alanının bir işlevi olduğu varsayımına dayanmaktadır. D-R modeli ise yüzey enerjilerinin heterojenliğini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Das vd., 2014). D-R modeli, derişim ve sorbent miktarı için adsorpsiyon enerjileri (E) sırasıyla 0,682 kJ/mol ve 0,142 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. 8–16 kJ/mol arasındaki E değeri, sorpsiyonun esas olarak iyon değişimi yoluyla gerçekleştiğini göstermektedir. 8 kJ/mol’ün altındaki bir “E” değeri ise, sorpsiyon mekanizmasının fiziksel bir etkileşimlerle açıklanabileceğini göstermektedir (Sawalha vd., 2006). Bu çalışmada E değerleri 8 kJ/mol’ün altında hesaplanması sorpsiyon mekanizmasının fiziksel etkileşimlerle açıklanabileceğini göstermektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada elde edilen Ni(II)’nin AÇ’ye biyosorpsiyon kapasite değerleri, AÇ ile yapılan diğer çalışmaları ile uyumluluk göstermektedir (Yang vd., 2016; Wasewar vd., 2008; Panneerselvam vd., 2011; Nuhoglu

ve Malkoc, 2009; Ma vd., 2013). Ayrıca AÇ'nin, Ni(II) gideriminde diğer atık maddeler ile rekabet edebilir bir doğal atık madde olduğu görülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Ni(II) için farklı adsorbentlerin biyosorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması (Comparison of biosorption capacities of different adsorbents for Ni(II))

Adsorbent	q _{max} (mg Ni(II)/g, biyosorpsiyon kapasitesi)	Kaynak
AÇ	18,00	Bu çalışma
AÇ	1,07	Aikpokpodion vd., 2010
AÇ	4,9	Ahluwalia ve Goyal, 2005
AÇ	38,30	Panneerselvam vd., 2011
AÇ	42,19	Tran vd., 2017
Pirinç samanı	21,23	Tran vd., 2017
Çay fabrikası atığı	15,26	Malkoc ve Nuhoglu, 2005
Yeşil çay atığı	0,3116	Yang vd., 2016
Su yosunu	70	Bermúdez vd., 2011
Atlantik algi	45	Bermúdez vd., 2011
Mikroalg (<i>C. vulgaris</i>)	48–60	Aksu, 2002
<i>Sargassums p. ve Padinas p.</i>	35	Sheng vd., 2004
<i>Ulvas p. ve Gracilarias p.</i>	17	Sheng vd., 2004
Ekmek mayası	11,38	Padmavathy vd., 2003
Şeker kamışı sapı kalıntısı	2,234	Alomá vd., 2012
Siyah havuç kalıntısı	6,511	Güzel vd., 2008
Greyfurt kabuğu	46,13	Torab-Mostaedi vd., 2013
Pirinç samanı	11,5	Krishnani vd., 2008
Arpa samanı	36,80	Thevannan vd., 2010
Kaju fıstığı kabuğu	18,868	Kumar vd., 2011
Fıstık kabuğu	2,15	Yıldız, 2018

3.7 Adsorpsiyon Kinetikleri (Adsorption kinetics)

Adsorpsiyon sürecini daha iyi anlamak için kinetik çalışma yapılması gereklidir. Adsorpsiyon kinetiği çalışması, adsorpsiyon verimliliğini göstermektedir (Banerjee vd., 2014). Adsorpsiyon sürecinin kinetik analizi, adsorbat alım oranını, adsorpsiyon süreci için gerekli denge süresini ve süreç mekanizmalarını tarif etmektedir. Bu faktörlerin tanımlanması, adsorpsiyonun tasarlanması ve ölçeklendirilmesinde önemlidir (Magdy vd., 2020). Bu çalışmada adsorpsiyon sürecinin hızı ve mekanizması, birinci ve ikinci derece hız eşitlikleri, partikül içi difüzyon modeli (Weber–Morris) ve Elovich modeline uygulanarak araştırılmıştır. Deneysel verilerin uygulandığı bu modellere ait eşitlikler Tablo 4'te sunulmuştur. Ni(II)'nin AÇ'ye biyosorpsiyon kinetikleri, farklı pH ve sıcaklık için incelenmiştir. Hesaplanan kinetik katsayıları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Kinetik model eşitlikleri (Kinetic model equations)

Kinetik modeller	Eşitlikler	Grafik eksenleri	Kaynak
Yalancı I. derece reaksiyon	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 \times t}{2.303}$	$x - \text{ekseni} \rightarrow \log(q_e - q_t)$ $y - \text{ekseni} \rightarrow t$	Özacar ve Şengil 2005
Yalancı II. derece reaksiyon	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$	$x - \text{ekseni} \rightarrow t/q_t$ $y - \text{ekseni} \rightarrow t$	Ho ve McKay 2000
Weber–Morris modeli	$q_t = k_{id} t^{1/2} + C$	$x - \text{ekseni} \rightarrow t^{1/2}$ $y - \text{ekseni} \rightarrow q_t$	Özcan vd., 2005
Elovich modeli	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln \alpha \beta + \frac{1}{\beta} \ln t$	$x - \text{ekseni} \rightarrow \ln t$ $y - \text{ekseni} \rightarrow q_t$	Özacar ve Şengil 2005

Tablo 5. Ni(II) için farklı pH ve sıcaklıklarda kinetik katsayılar (Kinetic coefficients for Ni(II) at different pH and temperatures)

	q_e mg/g	Yalancı I. dereceden			Yalancı II. dereceden			Weber-Morris			Elovich		
		K_1	q_e	R^2	K_2	q_e	R^2	k_{id}	C	R^2	β	α	R^2
pH													
4	7,2	0,13	0,52	0,87	0,18	8,0	0,99	0,5	5,35	0,81	1,2	924,2	0,95
5	8,55	0,05	0,47	0,86	0,10	8,5	0,99	0,4	5,98	0,91	1,7	25203	0,90
6	8,8	0,05	0,59	0,44	0,11	8,8	0,99	0,5	5,99	0,90	1,3	3439	0,97
7	9,2	0,09	0,38	0,83	0,10	9,0	0,99	0,7	5,31	0,82	0,9	220,9	0,95
T (°C)													
25	8,80	0,13	0,23	0,98	0,07	9,1	0,99	0,77	4,87	0,95	0,9	141,6	0,99
35	8,55	0,05	0,47	0,86	0,10	8,5	0,99	0,43	5,98	0,91	1,7	25060	0,90
45	9,10	0,11	0,25	0,95	0,07	9,3	0,99	0,74	5,27	0,99	0,9	260,5	0,95

Deney başlangıcında, adsorbentin aktif sorpsiyon bölgelerinin açık olması, metal iyonlarının aktif bölgeler ile hızla temas etmesini sağlamaktadır. Çözelti katı-sıvı ara kesitinde metal derişim farklılığı, adsorpsiyon sürüklenme kuvvetinin deney başlangıcında yüksek olması sonucu (Amarasinghe ve Williams, 2007) kısa karıştırma sürelerinde AÇ'ye, Ni(II) biyosorpsiyonunun hızla gerçekleştiği belirlenmiştir. Deney süresince, çözünenin adsorbente daha yavaş difüzyonu etkisi ile adsorpsiyon yavaşlayabilmektedir (Amarasinghe ve Williams, 2007). Uygulanan modeller için R^2 değeri %90'nın üzerinde olmasına rağmen gerek pH gerekse sıcaklık çalışması için en yüksek R^2 değeri (0,99) II. dereceden hız eşitliği modeli için belirlenmiştir. Aynı zamanda deneysel olarak belirlenen adsorpsiyon kapasitesi değeri en yakın II. dereceden hız eşitliği modelinde tespit edilmiştir. Bu duru, sorpsiyonun ikinci dereceden model tarafından kontrol edilebileceğini göstermektedir.

Çalışmamda elde edilen veriler Ni(II)'nin AÇ'ye biyosorpsiyonu ile ilgili yapılan diğer çalışmaları ile uyumluluk göstermektedir (Yang vd., 2016; Wasewar vd., 2008; Shah vd., 2015; Nuhoglu ve Malkoc, 2009; Ma vd., 2013).

3.8 Adsorpsiyon Termodinamiği (Adsorption Thermodynamics)

Temel termodinamik kavramına dayanılarak, yalıtılmış bir sistemde enerjinin kazanılamayacağı veya kaybedilemeyeceği ve entropi değişikliğinin tek itici güç olduğu varsayılmaktadır. Çevre mühendisliği uygulamasında, hangi sürecin kendiliğinden gerçekleşeceğini belirlemek için hem enerji hem de entropi faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır (Malkoc ve Nuhoglu, 2005; Demirbaş vd., 2002). AÇ'ye, Ni(II) biyosorpsiyon termodinamiği Eşitlik (3)–(5) ile değerlendirilmiştir (Kumar vd., 2010; Cojocar vd., 2009).

$$\Delta G^\circ = -R_g \times T \times \ln K_L \quad (3)$$

$$\ln K_L = -\frac{\Delta H^\circ}{R_g \times T} + Sabit \quad (4)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \times \Delta S^\circ \quad (5)$$

Denklemlerde, ΔG° , Gibbs serbest enerji değişimi, adsorpsiyon ısısı olarak da bilinen adsorpsiyon entalpi değişimi (ΔH°), entropi değişimi (ΔS°) ve T, mutlak sıcaklık olmak üzere; R_g , gaz sabiti, (8,314 joule/mol.K) olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (3)–(5)'te verilen denklemler kullanılarak elde edilen parametreler Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Termodinamik parametreleri (Thermodynamic parameters)

T	ΔG° (kJ/mol.K)	ΔH° (kJ/mol.K)	ΔS° (kJ/mol.K)
293	-22,69		
298	-14,91		
303	-13,65		
308	-16,53	-11,412	0,031
313	-17,02		
318	-14,55		
323	-12,97		

Tablo 6'da görüldüğü gibi, $\Delta S^\circ = 0,031$ kJ/mol.K, $\Delta H^\circ = -11,412$ kJ/mol.K ve $\Delta G^\circ = -12,97/-22,69$ kJ/mol.K olarak hesaplanmıştır. Tüm sıcaklıklarda ΔG° negatif olarak hesaplanmış ve sıcaklık artışıyla ΔG° artmaktadır. İncelenen tüm sıcaklıklarda ΔG° 'nin negatif değerleri, biyosorpsiyon işleminin kendiliğinden gerçekleştiğini ve yüksek sıcaklıklarda daha iyi bir adsorpsiyonun elde edildiğini (Malkoc ve Nuhoglu, 2005), ΔH° 'nin negatif olması biyosorpsiyon sürecinin ısı veren (ekzotermik) doğası ile açıklanabileceğini (Nollet vd., 2003; Bermúdez vd., 2011) göstermektedir. ΔS° 'nin pozitif değeri ise metal iyonlarının adsorbent üzerine adsorpsiyonu sırasında katı/çözelti arayüzünde artan rastgelelik olduğunu bildirmektedir (Aksu, 2002).

Bu çalışma da termodinamik verileri, Ni(II)'nin AÇ'ye biyosorpsiyonunun ekzotermik bir reaksiyon olduğunu, negatif serbest enerji değişimi ise biyosorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. Adsorpsiyonunun fiziksel veya kimyasal adsorpsiyon olduğu, serbest enerji değişiminin büyüklüğünden belirlenmektedir. Ayrıca $\Delta G^\circ \geq -15$ kJ/mol.K ise fiziksel adsorpsiyon, $\Delta G^\circ \leq -30$ kJ/mol.K ise kimyasal adsorpsiyon gerçekleştiğini göstermektedir (Bermúdez vd., 2011). Çalışmada ΔG° 'nin, $-12,97$ kJ/mol.K ile $-22,69$ kJ/mol.K aralığında hesaplanması, elektrostatik etki ile fiziksel adsorpsiyonun arttığını göstermektedir.

3.9 AÇ'nin Desorpsiyon Verimi ve Yeniden Kullanımı (Desorption Efficiency and Reuse of TW)

Desorpsiyon çalışması, sorbentin tekrar kullanılabilirlik potansiyelinin belirlenmesinde önemlidir. Desorpsiyon verimi ve AÇ'nin yeniden kullanımında biyosorpsiyon kapasitesindeki (q_{yk}) değişim incelenmiştir. Metal yüklü AÇ'den metal iyonunun desorpsiyonunu araştırmak amacıyla verimli bir metal desorbantı olduğu bildirilen asit çözücüler (Shroff ve Vaidya, 2011; Reddy vd., 2011; Padmavathy, 2008; Iqbal ve Saeed, 2007) ve saf su kullanılarak desorpsiyon verimleri karşılaştırılmıştır (Tablo 7). Desorpsiyon verimi (% E) Eşitlik (6) kullanılarak hesaplanmıştır (León vd., 2018).

$$E = \frac{C_d}{C_a} \times 100 \quad (6)$$

Buradaki C_d ve C_a , sırasıyla desorbe ve adsorbe edilen Ni(II) derişimleridir (mg/L).

Tablo 7. Desorpsiyon verimi ve sorpsiyon kapasitesinin değişimi (Desorption efficiency and change of sorption capacity)

Kullanılan çözücü	Desorpsiyon verimi (%)	Desorpsiyon sonrası AÇ'nin yeniden kullanılması durumunda q_{yk} (mg Ni(II)/g)
0,1 M H ₂ SO ₄	57,7	8,05
0,1 M HCl	59,6	5,15
Saf Su	14,9	4,98

Desorpsiyon çalışması AÇ sorbentinin özellikle çeşitli asidik çözeltiler kullanılarak Ni(II) iyonlarından ayrıldığını göstermektedir. HCl ve H₂SO₄ kullanımında sırasıyla %59,6 ve 57,7 desorpsiyon verimleri elde edilmiştir. Ayrıca çay sorbentinin tekrar kullanımında sorbent özelliklerinin çok değişmediği q_e değerleri ile belirlenmiştir. Saf su ile geri yıkamada kazanım verimi, asit çözeltilere göre daha düşük elde edilmiştir. AÇ adsorpsiyon bölgelerinin saf su ile yıkanmadığından, Ni(II)'nin sorpsiyon veriminin AÇ'nin tekrar kullanımında önemli ölçüde azaldığı tahmin edilmektedir. Atık çayın bir ekonomik değeri olmamasına rağmen, Ni(II) geri kazanılabilir ve AÇ tekrar biyosorpsiyonda kullanılabilir.

4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada yaygın olarak tüketilen çay atıklarının Ni(II)'nin biyosorpsiyonunda kullanılabilirliği incelenmiştir. Karıştırma süresi 30 dk. olarak belirlenen kesikli deneysel çalışmalarda q_e , 18,0 mg Ni(II)/g AÇ olarak hesaplanmıştır. Ni(II)'nin maksimum sorpsiyonu pH 5-7 arasında elde edilmiştir. İzoterm araştırması, Ni(II) biyosorpsiyonunun Langmuir ve Temkin tarafından daha iyi tanımlandığını ortaya koymuştur. Ayrıca, kinetik çalışmasında Ni(II) biyosorpsiyonunun yalancı II. dereceden kinetik modeline uyduğu tespit edilmiştir. Ni(II)'nin AÇ'ye biyosorpsiyonu kendiliğinden, ısı veren ve fiziksel adsorpsiyon olarak tanımlanmaktadır.

Deneysel veriler özellikle ülkemizde oldukça yüksek miktarda tüketilen çay atıklarının ağır metallerin gideriminde ön işlem olarak uygulanabileceğini göstermektedir. Evsel katı atık olarak uzaklaştırılan AÇ'nin hiçbir ücret ödenmeden temin edilebileceği göz önünde bulundurulduğunda ekonomik açıdan katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca yapmış olduğumuz çalışma AÇ'nin desorpsiyon sonrasında yeniden kullanılabilirliğini de göstermektedir. Ancak AÇ'nin desorpsiyon verimi düştüğünde doğaya ve canlılara zarar vermeden uygun bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ahluwalia, S.S. & Goyal, D., 2005. Removal of heavy metals by waste tea leaves from aqueous solution. *Engineering in life Sciences*, 5(2), 158-162.
- Ahmady-Asbchin, S. & Bahrami, A.M., 2011. Nickel biosorption by immobilized biomass of *Bacillus* sp. from aqueous solution. *Advances in Environmental Biology*, 1656-1663.
- Aikpokpodion, P.E., Ipinmoroti, R.R., & Omotoso, S.M., 2010. Biosorption of nickel (II) from aqueous solution using waste tea (*Camella cinencis*) materials. *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences*, 2(2), 72-82.
- Akar, T., Celik, S., Gorgulu Ari, A., & Tunali Akar, S., 2013. Nickel removal characteristics of an immobilized macro fungus: equilibrium, kinetic ve mechanism analysis of the biosorption. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88(4), 680-689.
- Aksu, Z., & Dönmez, G., 2006. Binary biosorption of cadmium (II) ve nickel (II) onto dried *Chlorella vulgaris*: Co-ion effect on mono-component isotherm parameters. *Process Biochemistry*, 41(4), 860-868.
- Aksu, Z., 2002. Determination of the equilibrium, kinetic ve thermodynamic parameters of the batch biosorption of nickel (II) ions onto *Chlorella vulgaris*. *Process Biochemistry*, 38(1), 89-99.
- Ali, I., Alharbi, O.M., Allothman, Z.A. & Badjah, A.Y., 2018. Kinetics, Thermodynamics, ve modeling of Amido Black dye photodegradation in water using Co/TiO₂ nanoparticles. *Photochemistry ve photobiology*, 94(5), 935-941.
- Alomá, I., Martín-Lara, M.A., Rodríguez, I.L., Blázquez, G. & Calero, M., 2012. Removal of nickel (II) ions from aqueous solutions by biosorption on sugarcane bagasse. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(2), 275-281.
- Al-Samman, T., 2015. Effect of heavy metal impurities in secondary Mg alloys on the microstructure ve mechanical properties during deformation. *Materials & Design* (1980-2015), 65, 983-988.
- Alzahrani, N.H., Alamoudi, K.H., & El-Gendy, M.M.A.A., 2017. Molecular Identification ve Nickel Biosorption with the Dead Biomass of Some Metal Tolerant Fungi. *J Microb Biochem Technol*, 9, 310-315.
- Amarasinghe, B.M.W.P.K. & Williams, R.A., 2007. Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu ve Pb from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 132(1-3), 299-309.
- Aslan, S., Yildiz, S., & Ozturk, M., 2018. Biosorption of Cu²⁺ ve Ni²⁺ ions from aqueous solutions using waste dried activated sludge biomass. *Polish Journal of Chemical Technology*, 20(3), 20-28.
- Aslan, S., Yildiz, S., Ozturk, M., Polat, A., 2016. Adsorption of heavy metals onto waste tea. *European Scientific Journal*, Special Edition, 111-117.
- Ayawei, N., Ebelegi, A.N. & Wankasi, D., 2017. Modelling ve interpretation of adsorption isotherms. *Journal of Chemistry*.
- Banerjee, S., Chattopadhyaya, M.C., Srivastava, V. & Sharma, Y.C., 2014. Adsorption studies of methylene blue onto activated saw dust: kinetics, equilibrium, ve thermodynamic studies. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(3), 790-799.
- Benguella, B., & Benaissa, H., 2002. Cadmium removal from aqueous solutions by chitin: kinetic ve equilibrium studies. *Water research*, 36(10), 2463-2474.
- Bermúdez, Y.G., Rico, I.L.R., Bermúdez, O.G. & Guibal, E., 2011. Nickel biosorption using *Gracilaria caudata* ve *Sargassum muticum*. *Chemical Engineering Journal*, 166(1), 122-131.
- Bhattacharyya, K.G., & Sharma, A., 2005. Kinetics ve thermodynamics of methylene blue adsorption on neem (*Azadirachta indica*) leaf powder. *Dyes ve pigments*, 65(1), 51-59.
- Cay, S., Uyanık, A. & Özaşık, A., 2004. Single ve binary component adsorption of copper (II) ve cadmium (II) from aqueous solutions using tea-industry waste. *Separation ve purification technology*, 38(3), 273-280.
- Chen, X., Huang, G. & Wang, J., 2013. Electrochemical reduction/oxidation in the treatment of heavy metal wastewater. *Journal of Metallurgical Engineering (ME) Volume*, 2(4).
- Chen, Z., Ma, W., Han, M., 2008. Biosorption of nickel ve copper onto treated alga (*Undaria pinnatifida*): Application of isotherm ve kinetic models. *Journal of hazardous materials*, 155(1-2), 327-333.
- Cheung, C.W., Porter, J.F., & McKay, G., 2001. Sorption kinetic analysis for the removal of cadmium ions from effluents using bone char. *Water research*, 35(3), 605-612.
- Cojocar, C., Diaconu, M., Cretescu, I., Savić, J., & Vasić, V., 2009. Biosorption of copper (II) ions from aqua solutions using dried yeast biomass. *Colloids ve Surfaces A: Physicochemical ve Engineering Aspects*, 335(1-3), 181-188.
- Congeevaram, S., Dhanarani, S., Park, J., Dexilin, M., & Thamaraiselvi, K., 2007. Biosorption of chromium ve nickel by heavy metal resistant fungal ve bacterial isolates. *Journal of hazardous materials*, 146(1-2), 270-277.
- Ćurković, L., Trgo, M., Mioč, A.R., & Medvidović, N.V., 2009. Removal of Cu ve Pb ions from aqueous solutions by electric furnace slag: Kinetic ve thermodynamic aspects.
- Çakmak, N.K., & Canbaz, G.T., 2020. TiO₂ Nanopartikülü ve TiO₂/Aktif Çamur Sentezi ile Sulu Çözümlerden Cu (II) İyonlarının Adsorpsiyonu. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 86-98.
- Das, B., Mondal, N.K., Bhaumik, R., & Roy, P., 2014. Insight into adsorption equilibrium, kinetics ve thermodynamics of lead onto alluvial soil. *International Journal of Environmental Science ve Technology*, 11(4), 1101-1114.
- Demirbas, A., 1999, Evaluation of biomass materials as energy sources: Upgrading of tea waste by briquetting process. *Energy sources*, 21(3), 215-220.
- Demirbaş, O., Alkan, M., & Doğan, M., 2002. The removal of Victoria blue from aqueous solution by adsorption on a low-cost material. *Adsorption*, 8(4), 341-349.
- Dermentzis, K., Christoforidis, A., & Valsamidou, E., 2011. Removal of nickel, copper, zinc ve chromium from synthetic ve industrial wastewater by electrocoagulation. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(5), 697-710.

- Eligwe, C.A., Okolue, N.B., Nwambu, C.O., & Nwoko, C.I., 1999. Adsorption thermodynamics ve kinetics of mercury (II), cadmium (II) ve lead (II) on lignite. *Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology*, 22(1), 45-49.
- Elmorsi, T.M., 2011. Equilibrium isotherms ve kinetic studies of removal of methylene blue dye by adsorption onto miswak leaves as a natural adsorbent. *Journal of Environmental Protection*, 2(06), 817.
- Fu, F., & Wang, Q., 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of environmental management*, 92(3), 407-418.
- Güzel, F., Yakut, H., & Topal, G., 2008. Determination of kinetic ve equilibrium parameters of the batch adsorption of Mn (II), Co (II), Ni (II) ve Cu (II) from aqueous solution by black carrot (*Daucus carota* L.) residues. *Journal of hazardous materials*, 153(3), 1275-1287.
- Hasar, H., 2003. Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk. *Journal of hazardous materials*, 97(1-3), 49-57.
- Heredia, J.B., & Martín, J.S., 2009. Removing heavy metals from polluted surface water with a tannin-based flocculant agent. *Journal of hazardous materials*, 165(1-3), 1215-1218.
- Ho, Y.S., & McKay, G., 2000. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. *Water research*, 34(3), 735-742.
- Ho, Y.S., Porter, J.F., & McKay, G., 2002. Equilibrium isotherm studies for the sorption of divalent metal ions onto peat: copper, nickel ve lead single component systems. *Water, air, ve soil pollution*, 141(1-4), 1-33.
- Ho, Y.S., Wase, D.J., & Forster, C.F., 1995. Batch nickel removal from aqueous solution by sphagnum moss peat. *Water Research*, 29(5), 1327-1332.
- Ipek, U., 2005. Removal of Ni (II) ve Zn (II) from an aqueous solution by reverse osmosis. *Desalination*, 174(2), 161-169.
- Iqbal, M., & Saeed, A., 2007. Production of an immobilized hybrid biosorbent for the sorption of Ni (II) from aqueous solution. *Process Biochemistry*, 42(2), 148-157.
- Jamali, H.A., Mahvi, A.H., & Nazmara, S., 2009. Removal of cadmium from aqueous solutions by hazel nut shell. *Adsorption*, 2, 4.
- Jianlong, W., Yi, Q., Horan, N., & Stentiford, E., 2000. Bioadsorption of pentachlorophenol (PCP) from aqueous solution by activated sludge biomass. *Bioresource Technology*, 75(2), 157-161.
- Keränen, A., Leiviskä, T., Salakka, A., & Tanskanen, J., 2015. Removal of nickel ve vanadium from ammoniacal industrial wastewater by ion exchange ve adsorption on activated carbon. *Desalination ve Water Treatment*, 53(10), 2645-2654.
- Kovacevic, F.Z., Sipos, L., Briski, F., Sipos, L., & Briski, F., 2000. Biosorption of chromium, copper, nickel ve zinc ions onto fungal pellets of *Aspergillus niger* 405 from aqueous solutions.
- Kratochvil, D., & Volesky, B., 1998. Advances in the biosorption of heavy metals. *Trends in biotechnology*, 16(7), 291-300.
- Krishnani, K.K., Meng, X., Christodoulatos, C., & Boddu, V.M., 2008. Biosorption mechanism of nine different heavy metals onto biomatrix from rice husk. *Journal of hazardous materials*, 153(3), 1222-1234.
- Kumar, P.S., Ramalingam, S., Kirupha, S.D., Murugesan, A., Vidhyadevi, T., & Sivanesan, S., 2011. Adsorption behavior of nickel (II) onto cashew nut shell: Equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism ve process design. *Chemical Engineering Journal*, 167(1), 122-131.
- León, O., Muñoz-Bonilla, A., Soto, D., Pérez, D., Rangel, M., Colina, M., & Fernández-García, M., 2018. Removal of anionic ve cationic dyes with bioadsorbent oxidized chitosans. *Carbohydrate polymers*, 194, 375-383.
- Lin, C.J., & Chang, J.E., 2001. Effect of fly ash characteristics on the removal of Cu (II) from aqueous solution. *Chemosphere*, 44(5), 1185-1192.
- Lin, S.H., & Juang, R.S., 2002. Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite. *Journal of hazardous materials*, 92(3), 315-326.
- Liu, N., Lin, D., Lu, H., Xu, Y., Wu, M., Luo, J., & Xing, B., 2009. Sorption of lead from aqueous solutions by tea wastes. *Journal of environmental quality*, 38(6), 2260-2266.
- Ma, H.F., Li, W., Han, Q.J., & Wang, J., 2013. Research on the Adsorption Kinetics ve Thermal Adsorption Model of Ni (II) with Tea Dust [J]. *Science Technology ve Engineering*, 16.
- Magdy, Y.H., Altaher, H., & Al Yaqout, A.F., 2020. Sustainable Adsorptive Removal Of Nickel ve Chromium Using An Eco-Friendly Industrial Waste: A Kinetic Study. *Journal of Chemical Technology & Metallurgy*, 55(2).
- Malkoc, E., & Nuhoglu, Y., 2005. Investigations of nickel (II) removal from aqueous solutions using tea factory waste. *Journal of hazardous materials*, 127(1-3), 120-128.
- Malkoc, E., & Nuhoglu, Y., 2006a. Removal of Ni (II) ions from aqueous solutions using waste of tea factory: Adsorption on a fixed-bed column. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3), 328-336.
- Malkoc, E., & Nuhoglu, Y., 2006b. Fixed bed studies for the sorption of chromium (VI) onto tea factory waste. *Chemical engineering science*, 61(13), 4363-4372.
- Malkoc, E., & Nuhoglu, Y., 2003. The removal of chromium (VI) from synthetic wastewater by *Ulothrix zonata*.
- Meena, A.K., Mishra, G.K., Rai, P.K., Rajagopal, C., & Nagar, P.N., 2005. Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent. *Journal of hazardous materials*, 122(1-2), 161-170.
- Moawad, M.N., El-Sayed, A.A., & El-Naggar, N.A., 2020. Biosorption of cadmium ve nickel ions using marine macrophyte, *Cymodocea nodosa*. *Chemistry ve Ecology*, 1-17.
- Moreira, V.R., Lebron, Y.A.R., Freire, S.J., Santos, L.V.S., Palladino, F., & Jacob, R.S., 2019. Biosorption of copper ions from aqueous solution using *Chlorella pyrenoidosa*: Optimization, equilibrium ve kinetics studies. *Microchemical Journal*, 145, 119-129.
- Murthy, Z.V.P., & Chaudhari, L.B., 2008. Application of nanofiltration for the rejection of nickel ions from aqueous solutions ve estimation of membrane transport parameters. *Journal of hazardous materials*, 160(1), 70-77.
- Nollet, H., Roels, M., Lutgen, P., Van der Meeren, P., & Verstraete, W., 2003. Removal of PCBs from wastewater using fly ash. *Chemosphere*, 53(6), 655-665.
- Nuhoglu, Y., & Malkoc, E., 2009. Thermodynamic ve kinetic studies for environmentally friendly Ni (II) biosorption using waste pomace of olive oil factory. *Bioresource Technology*, 100(8), 2375-2380.

- Özacar, M., & Şengil, İ.A., 2005. A kinetic study of metal complex dye sorption onto pine sawdust. *Process Biochemistry*, 40(2), 565-572.
- Özcan, A., Özcan, A.S., Tunali, S., Akar, T., & Kiran, I., 2005. Determination of the equilibrium, kinetic ve thermodynamic parameters of adsorption of copper (II) ions onto seeds of *Capsicum annuum*. *Journal of hazardous materials*, 124(1-3), 200-208.
- Özdemir, S., Kilinc, E., Poli, A., Nicolaus, B., & Güven, K., 2009. Biosorption of Cd, Cu, Ni, Mn ve Zn from aqueous solutions by thermophilic bacteria, *Geobacillus toebii* sub. sp. *decanicus* ve *Geobacillus thermoleovorans* sub. sp. *stromboliensis*: Equilibrium, kinetic ve thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, 152(1), 195-206.
- Öztürk, N.K., Öztürk, S., Sütçü, M., Sever, K., 2015. Fındık kabuğu ve evsel çay atığı katkılı yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerin belirlenmesi". XIX. Ulusal Mekanik Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Padmavathy, V., 2008. Biosorption of nickel (II) ions by baker's yeast: Kinetic, thermodynamic ve desorption studies. *Bioresource Technology*, 99(8), 3100-3109.
- Padmavathy, V., Vasudevan, P., & Dhingra, S.C., 2003. Biosorption of nickel (II) ions on Baker's yeast. *Process Biochemistry*, 38(10), 1389-1395.
- Panda, G.C., Das, S.K., Bandopadhyay, T.S., & Guha, A.K., 2007. Adsorption of nickel on husk of *Lathyrus sativus*: behavior ve binding mechanism. *Colloids ve Surfaces B: Biointerfaces*, 57(2), 135-142.
- Panneerselvam, P., Bala, V., Thinakaran, N., Baskaralingam, P., Palanichamy, M., & Sivanesan, S., 2009. Removal of nickel (II) from aqueous solutions by adsorption with modified ZSM-5 zeolites. *Journal of Chemistry*, 6(3), 729-736.
- Panneerselvam, P., Morad, N., & Tan, K.A., 2011. Magnetic nanoparticle (Fe3O4) impregnated onto tea waste for the removal of nickel (II) from aqueous solution. *Journal of hazardous materials*, 186(1), 160-168.
- Papadopoulos, A., Fatta, D., Parperis, K., Mentzias, A., Haralambous, K.J., & Loizidou, M., 2004. Nickel uptake from a wastewater stream produced in a metal finishing industry by combination of ion-exchange ve precipitation methods. *Separation ve Purification Technology*, 39(3), 181-188.
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A., 2009. Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) ve lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2-3), 969-977.
- Rao, M., Parwate, A.V., & Bhole, A.G., 2002. Removal of Cr6+ ve Ni2+ from aqueous solution using bagasse ve fly ash. *Waste management*, 22(7), 821-830.
- Reddy, D.H.K., Ramana, D.K.V., Seshaiyah, K., & Reddy, A.V.R., 2011. Biosorption of Ni (II) from aqueous phase by *Moringa oleifera* bark, a low cost biosorbent. *Desalination*, 268(1-3), 150-157.
- Rizwan, M., Naz, A., Khan, A., Shah, W., Mujtaba, G., Syed, M., ... & Fatima, N., 2020. Role of Pretreatment in Adsorption of Cobalt, Mercury ve Nickel by Native Algae. In *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies ve Best Practices for Environmental Sustainability* (pp. 521-524). Springer, Cham.
- Sahu, S., Pahi, S., Sahu, J.K., Sahu, U.K., & Patel, R.K., 2020. Kendu (*Diospyros melanoxylon* Roxb) fruit peel activated carbon— an efficient bioadsorbent for methylene blue dye: equilibrium, kinetic, ve thermodynamic study. *Environmental Science ve Pollution Research*, 1-14.
- Saini, S., Gill, J. K., Kaur, J., Saikia, H.R., Singh, N., Kaur, I., & Katnoria, J.K., 2020. Biosorption as Environmentally Friendly Technique for Heavy Metal Removal from Wastewater. In *Fresh Water Pollution Dynamics ve Remediation* (pp. 167-181). Springer, Singapore.
- Sawalha, M.F., Peralta-Videa, J.R., Romero-González, J., & Gardea-Torresdey, J.L., 2006. Biosorption of Cd (II), Cr (III), ve Cr (VI) by saltbush (*Atriplex canescens*) biomass: thermodynamic ve isotherm studies. *Journal of Colloid ve Interface Science*, 300(1), 100-104.
- Serencam, H., Uçurum, M., 2019. Taguchi Deney Tasarımı Kullanılarak Uçucu Kül ile Ni (II) Gideriminde Bazı Adsorpsiyon Parametrelerinin Etkinliğinin İrdelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 336-344.
- Shah, J., Jan, M.R., ul Haq, A., & Zeeshan, M., 2015. Equilibrium, kinetic ve 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.
- Shahwan, T., & Erten, H.N., 2002. Thermodynamic parameters of Cs+ sorption on natural clays. *Journal of radioanalytical ve nuclear chemistry*, 253(1), 115-120.
- Shaidan, N.H., Eldemerdash, U., & Awad, S., 2012. Removal of Ni (II) ions from aqueous solutions using fixed-bed ion exchange column technique. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(1), 40-45.
- Sheng, P.X., Ting, Y.P., Chen, J.P., & Hong, L., 2004. Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, ve nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity ve investigation of mechanisms. *Journal of colloid ve interface science*, 275(1), 131-141.
- Shirzad Siboni, M., Samadi, M.T., Yang, J.K., & Lee, S.M., 2011. Photocatalytic reduction of Cr (VI) ve Ni (II) in aqueous solution by synthesized nanoparticle ZnO under ultraviolet light irradiation: a kinetic study. *Environmental technology*, 32(14), 1573-1579.
- Shroff, K.A., & Vaidya, V.K., 2011. Kinetics ve equilibrium studies on biosorption of nickel from aqueous solution by dead fungal biomass of *Mucor hiemalis*. *Chemical Engineering Journal*, 171(3), 1234-1245.
- 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*, 113078.
- Tahir, S.S., & Rauf, N., 2003. Thermodynamic studies of Ni (II) adsorption onto bentonite from aqueous solution. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 35(12).
- Thakur, L.S., & Parmar, M., 2013. Adsorption of heavy metal (Cu2+, Ni2+ ve Zn2+) from synthetic waste water by tea waste adsorbent. *International Journal of Chemical ve Physical Sciences*, 2(6), 6-19.
- Thevannan, A., Mungroo, R., & Niu, C.H., 2010. Biosorption of nickel with barley straw. *Bioresource technology*, 101(6), 1776-1780.

- Torab-Mostaedi, M., Asadollahzadeh, M., Hemmati, A., & Khosravi, A., 2013. Equilibrium, kinetic, ve thermodynamic studies for biosorption of cadmium ve nickel on grapefruit peel. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(2), 295-302.
- Tran, V.T., Nguyen, D.T., Ho, V.T.T., Hoang, P.Q.H., Bui, P.Q., & Bach, L.G., 2017. Efficient removal of Ni 2 ions from aqueous solution using activated carbons fabricated from rice straw ve tea waste. *J. Mater. Environ. Sci*, 8(2), 426-437.
- Tunç Dede, Ö., 2019. Potential Use Of Hazelnut Processing Plant Wastes As A Sorbent For The Simultaneous Removal Of Multi-Elements From Water. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 301-312.
- Vakili, M., Rafatullah, M., Yuan, J., Zwain, H.M., Mojiri, A., Gholami, Z., ... & Cagnetta, G., 2020. Nickel ion removal from aqueous solutions through the adsorption process: a review. *Reviews in Chemical Engineering*, 1(ahead-of-print).
- Villaescusa, I., Fiol, N., Martínez, M., Miralles, N., Poch, J., & Serarols, J., 2004. Removal of copper ve nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes. *Water research*, 38(4), 992-1002.
- Wahi, R., Kanakaraju, D., & Yusuf, N.A., 2010. Preliminary study on zinc removal from aqueous solution by sago wastes. *Global Journal of Environmental Research*, 4(2), 127-134.
- Wan, S., Ma, Z., Xue, Y., Ma, M., Xu, S., Qian, L., & Zhang, Q., 2014. Sorption of lead (II), cadmium (II), ve copper (II) ions from aqueous solutions using tea waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(9), 3629-3635.
- Wasewar, K.L., Atif, M., Prasad, B., & Mishra, I.M., 2008. Adsorption of zinc using tea factory waste: kinetics, equilibrium ve thermodynamics. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 36(3), 320-329.
- Weng, C.H., Lin, Y.T., Hong, D.Y., Sharma, Y.C., Chen, S.C., & Tripathi, K., 2014. Effective removal of copper ions from aqueous solution using base treated black tea waste. *Ecological engineering*, 67, 127-133.
- Yang, S., Wu, Y., Aierken, A., Zhang, M., Fang, P., Fan, Y., & Ming, Z., 2016. Mono/competitive adsorption of Arsenic (III) ve Nickel (II) using modified green tea waste. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 213-221.
- Yildiz, S., 2018. Artificial neural network approach for modeling of Ni (II) adsorption from aqueous solution by peanut shell. *Ecological Chemistry ve Engineering S*, 25(4), 581-604.