



Düşük Maliyetli Kenevir Biyosorbentler ile Sulu Çözültiden Nikel İyonu Adsorpsiyonu

Sevde Üstün Odabaşı^{1*}

^{1*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3533-4089), sevde.ustun@omu.edu.tr

(1st International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS 2022, December 20 - 23, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1231572)

ATIF/REFERENCE: Üstün Odabaşı (2022). Düşük Maliyetli Kenevir Biyosorbentler ile Sulu Çözültiden Nikel İyonu Adsorpsiyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (45), 194-200.

Öz

Bu çalışmada, arıtma prosesi maliyetini azaltmak için çevre dostu ve düşük maliyetli kenevir lifleri biyosorbent olarak kullanılarak nikel iyonu giderimi araştırılmıştır. Kenevir liflerinin safsızlıklarını gidermek için sodyum hidroksit ve sitrik asit ile kimyasal modifikasyon yapıldı. Kenevir liflerinin şartlandırılması sonucu elde edilen biyosorbentlerle Ni (II) iyonu adsorpsiyonuna pH ve başlangıç konsantrasyonunun etkileri incelenmiştir. Ayrıca kenevir biyosorbentlerinin (FTIR, XRD, SEM-EDS) karakterizasyon çalışması yapılarak yüzey morfolojisi ve özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kenevir biyosorbentleri ile Ni (II) iyonu giderimi için optimum pH 4 olarak bulunmuştur. Optimum pH değerinde Ni (II) iyonu giderim verimi %57,34 olarak belirlenmiştir. Başlangıç konsantrasyonu etkisi incelendiğinde, konsantrasyon arttıkça giderim veriminin az da olsa arttığı tespit edilmiştir. Konsantrasyon 40 mg/L iken giderim verimi %61,1 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kenevir, Biyosorbent, Adsorpsiyon, Nikel iyonu, Karakterizasyon.

Nickel Ion Adsorption from Aqueous Solution with Low-Cost Hemp Biosorbents

Abstract

In this study, nickel ion removal was investigated by using environmentally friendly and low-cost hemp fibers as a biosorbent to reduce the treatment process cost. Chemical modification was done with sodium hydroxide and citric acid to remove the impurity of the hemp fibers. The effects of pH, and initial concentration on Ni (II) ion adsorption with biosorbents obtained as a result of conditioning of hemp fibers were investigated. In addition, the characterization study of hemp biosorbents (FTIR, XRD, SEM-EDS) was performed, and the surface morphology and properties were investigated. According to the results, optimum pH was found to be 4 for Ni (II) ion removal with hemp biosorbents. The Ni (II) ion removal efficiency at optimum pH was determined as 57.34%. When the effect of initial concentration was examined, it was determined that the removal efficiency increased slightly as the concentration increased. While the concentration was 40 mg/L, the removal efficiency was determined as 61.1%.

Keywords: Hemp, Biosorbent, Adsorption, Nickel ion, Characterization.

* Sorumlu Yazar: sevde.ustun@omu.edu.tr

1. Giriş

Sanayileşmenin ve teknolojik gelişmelerin, yaşamı eskiye nazaran daha kolaylaştırmasına karşın çevre kirliliğinin artmasındaki payı oldukça büyüktür. Çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bilinen en önemli kirleticilerden biri olan ağır metaller, endüstriyel proses ve ürünlerde son yıllarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Çevrede ağır metallerin varlığı, toksisiteleri, biyolojik birikim eğilimleri ve insanlara ve diğer yaşam biçimlerine yönelik tehditleri nedeniyle büyük bir endişe kaynağıdır. Endüstriyel sulardan metallerin arıtılması için bir çok proses vardır (Marrot, Barrios-Martinez, Moulin, & Roche, 2004). Ancak bu proseslerin birçoğu çevre dostu olmayıp yüksek maliyetler yaratmaktadır. Bu nedenle, ağır metalleri çevreden, özellikle sudan gidermek için en uygun yöntemi bulmak esastır. Ağır metallerin sıvı atıklardan uzaklaştırılması için bir dizi yöntem geliştirilmiştir: kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon veya indirgeme, elektrokimyasal arıtma, buharlaştırmalı geri kazanım, filtrasyon, ters ozmoz, iyon değişimi ve membran teknolojileri (Arora, 2019). Bu yöntemler, yalnızca yüksek ağır metal konsantrasyonu için verimli ve uygun maliyetlidir. Son yıllarda, aktif karbona alternatif olarak biyosorbentler olarak da adlandırılan tarımsal ürünlerden elde edilen adsorbanların geliştirilmesine odaklanılmıştır. Bu kapsamda doğal materyallerle yeşil arıtım giderek önem kazanmıştır (Bailey, Olin, Bricka, & Adrian, 1999; Srivastava & Majumder, 2008). Adsorpsiyonda yeşil arıtımda sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi haline gelmiştir. Adsorpsiyonda arıtım işleminin maliyetini daha da azaltmak için adsorban olarak “düşük maliyetli” veya “sıfır maliyetli” olarak adlandırılan doğal ya da atık malzemeleri kullanmaya yönelmiştir (Anastopoulos & Kyzas, 2014; Kyzas & Kostoglou, 2014; Wang & Chen, 2009; Zou et al., 2012).

Bu kapsamda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kenevir bazlı biyosorbentler, su arıtımındaki uygulamalar, özellikle sulu sentetik çözeltilerden metal iyonlarının uzaklaştırılması için önerilmiştir. Kenevir ve metal iyonları arasındaki etkileşim, Tofan ve çalışma arkadaşları tarafından kesikli sistem ve sabit yataklı kolon çalışmaları kullanılarak yoğun bir şekilde araştırılmıştır (Tofan, Teodosiu, Paduraru, & Wenkert, 2013). Bu amaçla sulu çözeltilerden farklı metallerin (yani Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ag ve Zn) giderilmesinde kenevir liflerinin kapasitesini ve mekanizmasını incelemiştir. Ham kenevir lifleri kullanılmadan önce tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıklar sabun ve soda külü içeren bir solüsyonda 4 saat kaynatıldıktan sonra birkaç kez su ile yıkanarak ve 45 °C'de fırında kurutulularak saflaştırılmışlardır. Araştırmaları, ilk kez, kenevir liflerinin metal adsorpsiyonu için yüksek bir kapasiteye sahip olduğunu ve atık suyun arıtılması için çok yararlı olduğu belirtilmiştir (Paduraru & Tofan, 2002). Yine Kyzas vd. (2015) yaptıkları çalışmada hem kenevir lifleri hem de kenevir kırıntıları ile nikel iyonu adsorpsiyonu çalışmışlardır. pH 3, 4 ve 5'te sırasıyla kenevir kırıntıları için metal giderimi %38, %56 ve %59 ve kenevir lifleri için sırasıyla %42, %62 ve %65 bulunmuştur. Çalışma sonucunda düşük maliyetli biyomalzemeler için alternatif uygulamalar bulmak amacıyla, sulu sistemlerden Ni (II) giderimi için uygun biyosorbentler olarak seçilmiş kenevir bazlı malzemeleri (lifler ve kırıntılar) ve bunların kimyasal türevlerini kullanmışlardır. Bu biyosorbentlerin olası yeniden kullanımını, desorpsiyon, kinetik ve yeniden kullanım döngüleri üzerindeki pH etkisi deneylerini içeren eksiksiz bir rejenerasyon çalışmasıyla doğrulamışlardır (Kyzas et al., 2015). Tofan vd. (2013), kobalt (II)-kenevir sorpsiyon sistemi davranışının kesikli ve sabit yataklı kolon çalışmalarının

kıyaslayan bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonunda, doğal kenevirin test edilen atık sulardan Co(II) iyonlarının giderimi için uygun, düşük maliyetli ve çevre dostu bir sorbent olduğunu tespit etmişlerdir (Tofan et al., 2013).

Bu çalışmada, düşük maliyetli, bol bulunan ve yenilenebilir karaktere sahip kenevir bitkisinden biyosorbent üretimi yaparak endüstriyel atıksulardan nikel (II) ağır metalinin giderimi amaçlamaktadır. Bu çalışmanın bir diğer hedefi olarak kenevir bazlı biyosorbent üretimi ile endüstriyel tesislerin ve atıksu arıtma tesislerinin ağır metal içerikli atıksularının arıtılması hedeflenmiştir. Çalışmanın ana hedefi sudan Ni (II) iyonunun arıtımında alternatif olarak kenevir bazlı biyosorbentlerin kullanılmasının teknik ve ekonomik olarak endüstriyel tesislere uygulanabilirliği araştırılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan lifler, ticari kısa ve birbirine dolanmış kenevir lifleri olup özel bir endüstriden temin edilmiştir. Asetik asit, sodyum klorit ve sodyum hidrokist (Merck) kenevirin şartlandırılması amacıyla kullanılırken, nikel sülfat (Carlo Erba) ise metal çözeltilerinin hazırlanması amacıyla kullanılmıştır.

2.2. Kenevir Biyosorbentinin Hazırlanması (Kimyasal Arıtım)

Kenevir lifleri (Şekil 1), üzerlerindeki kir ve tozdan arındırılması amacıyla birkaç kez su ile yıkanarak, bidistile su ile durulandı. Ardından hemiselülozları veya lignini kademeli olarak gidermek için, literatürde (Pejic, Vukcevic, Kostic, & Skundric, 2009; Vukčević et al., 2014) açıklanan prosedüre göre kenevir lifleri kimyasal olarak işlendi.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan kenevir lifi

Lif numunelerinin %17.5 sodyum hidrokist çözeltisi ile kimyasal muamelesi oda sıcaklığında, 45 dakika ve 1:50 oranında gerçekleştirilmiştir. Bu arıtımın sonucunda, lignin içeriği değişmeden kalırken hemiselülozların aşamalı olarak uzaklaştırılması sağlandı. Daha sonra numuneler %1 asetik asit ile nötralize edildi, yıkandı ve kurutuldu. Kurutma işlemi vakumlu etüvde 60°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Ligninin aşamalı olarak uzaklaştırılması ve hemiselüloz içeriğinin değişmeden tutulması, kenevir liflerinin pH 4, 1:50 oranında, kaynama sıcaklığında 60 dakikalık süreler boyunca %0.7 sodyum klorit ile modifikasyonu ve ardından yıkama ve kurutma işlemi gerçekleştirildi. Kurutma işlemi vakumlu etüvde 60°C sıcaklıkta

gerçekleştirilmiştir. Kimyasal arıtma şeması ve numune listesi Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Kenevirden biyosorbent üretilmesi aşamaları (Pejic et al., 2009)

| | Kimyasal arıtım | Zaman | Sıcaklık |
|----|--|--------|-------------------|
| 1. | Kimyasal arıtım yok saf su ile yıkama | 20 dk. | Oda sıcaklığı |
| 2. | %0,7 NaClO ₂ | 60 dk. | Kaynama sıcaklığı |
| 3. | %17,5 NaOH | 45 dk. | Oda sıcaklığı |

2.3. Karakterizasyon testleri

Hazırlanan biyosorbentin etkinliğini belirlemek için x-ışını kırınım yöntemi (XRD), fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FTIR), taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. XRD ölçümleri SmartLab, FTIR ölçümleri Tensor27 ve SEM ölçümleri JEOL, JSM-7001 marka cihazlarda yapılmıştır. XRD desenleri bir XRD difraktometresine kaydedildi 2θ = aralığında 40 kV ve 40 mA'da kristal faz tanımlaması için CuKα radyasyonu (0.15405 nm) kullanılarak 5 –50° yapılmıştır. SEM görüntüleri, biyosorbent hali ve Ni (II) iyonları içeren bir çözelti ile muameleden sonra kenevir lifinin yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişiklikleri açıkça göstermektedir. Ayrıca, Ni (II) iyonlarını vurgulamak için EDS analizi yapıldı. Numunelerin FTIR spektrumları, potasyum bromür diskleri (kalınlık ~500 µm) kullanılmıştır. Spektrumlar 4000'den 400 cm⁻¹'e 4 cm⁻¹'de çözünürlük olarak kaydedildi, taban çizgisi düzeltilmesi ile sunuldu ve absorbans moduna dönüştürüldü.

2.4. Kesikli sistem

Sorpsiyon deneyleri kesikli koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, yaklaşık 0,25 g kenevir numuneleri, istenen sıcaklıkta (25 °C) ve başlangıç pH'ında (3-4-5-nötral) tanımlanmış miktarda Ni(II) iyonu içeren 100 mL sulu çözelti ile 10 mg/L konsantrasyonu dengelendi. Çalışmanın ikinci aşamasında başlangıç konsantrasyon 10 mg/L, 20 mg/L ve 40 mg/L konsantrasyonlarında çalışılmıştır. Her iki aşamada da optimum değerlerin bulunması amaçlanmıştır.

Karışım daha sonra süzülde ve çözelti, katyon içeriği için analiz edildi. Çözeltilerdeki Ni (II) konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrometrisi (Unicam 420 AAS atomik absorpsiyon spektrometresi) ile belirlenmiştir. Kenevir üzerinde Ni (II) sorpsiyonunun karakteristik parametreleri, Ni (II) çözeltilerinin başlangıç ve son konsantrasyonları arasındaki farktan aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Giderim verimliliği,

$$R(\%) = R = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) * 100 \quad (1)$$

Tutulan metal iyonu miktarı,

$$Q(\text{mg/g}) = Q = \left[\frac{C_0 - C}{G} \right] * V \quad (2)$$

burada C₀ = metal iyonunun başlangıç konsantrasyonu (mg/L),

C= sorpsiyondan sonraki katyon konsantrasyonu (mg/L),

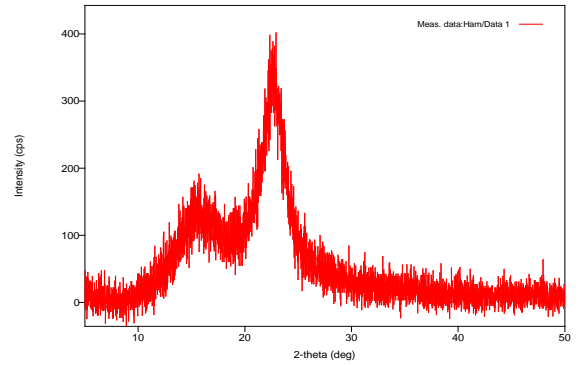
V= çözelti hacmi (L) ve

G = kenevir liflerinin ağırlığı (g).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

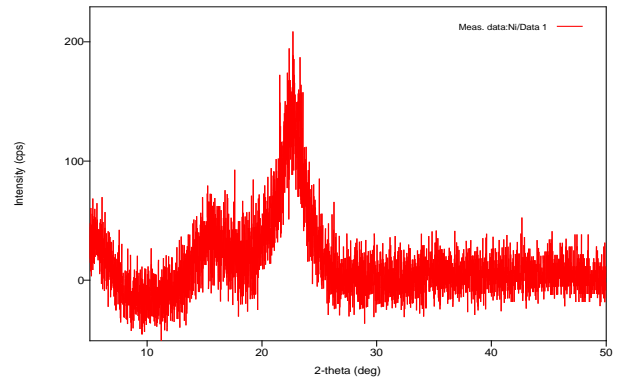
3.1. Kenevir karakterizasyonu

XRD desenleri, kristal faz tanımlaması için CuKα radyasyonu (0.15405 nm) kullanılarak 2θ=5 –50° aralığında 40 kV ve 40 mA'da bir XRD-difraktometrede kaydedildi. Adsorbanların XRD modelleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Kırınım diyagramları (i) kristal düzleminin (14) 15.55°'sinde ve (ii) kristal düzleminin (5) 22.88°'sinde pikleri göstermektedir. Bu tepe noktaları ve geniş amorf arka plan bandı, yüksek selüloz içeriğinden dolayı selülozun kırınım modeli için de karakteristik olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. X-ışını difraktogramları kenevir biyosorbentinin adsorpsiyondan öncesi

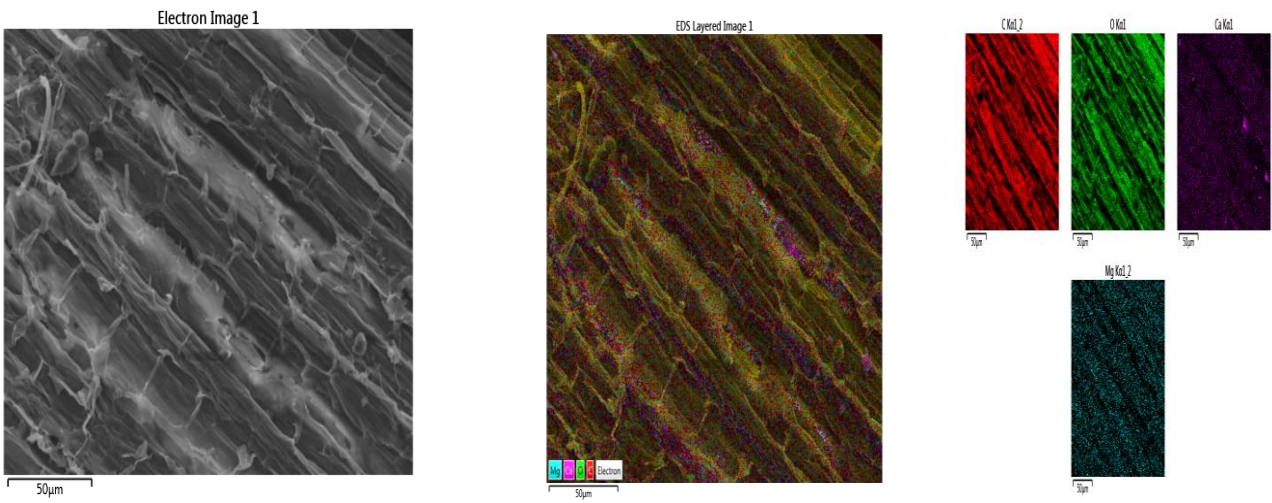
Ni (II) iyonları ve kenevir sorpsiyonları sonucunda XRD görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. Kırınım diyagramları (i) kristal düzleminin 15,8131°'inde ve (ii) kristal düzlemlerinin 22,78°'sinde tepeleri göstermektedir. Bu tepe noktaları ve geniş amorf arka plan bandı, yüksek selüloz içeriğinden dolayı biyosorbent için olduğu gibi selülozun kırınım modeli için de karakteristiktir.



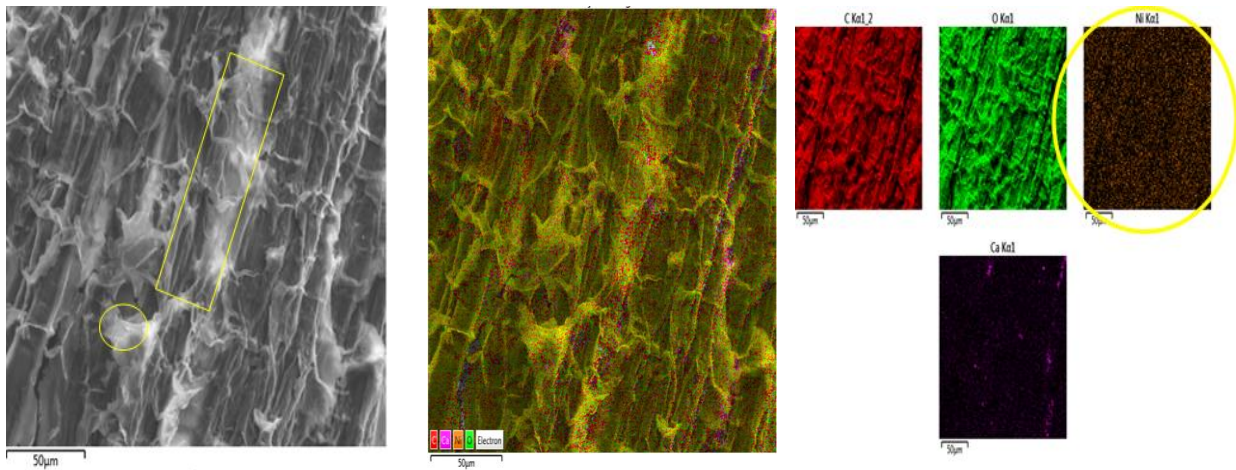
Şekil 3. Ni(II) iyonu sorpsiyonu sonucu kenevir biyosorbentinin X-ışını kırınım deseni

Adsorbanların arıtım öncesi kenevir biyosorbentlerinin SEM ve EDS mikrografları Şekil 4'de sunulmuştur. Liflerin yüzeyi yapıştırıcı görevi gören mumlarla kaplanır ve bu nedenle lifler demetler oluşturur. İşlemden sonra yüzey daha temiz ve pürüzsüz hale gelirken, mumların çıkarılması nedeniyle lif demetleri de fibrilleşir. Selüloz ve hidroksil grupları artık açığa çıktığından ve metal iyonlarıyla daha yeterli bir şekilde etkileşime girmeye hazır olduğundan, bunun liflerin adsorpsiyon kapasitesini ve hidrofilikliğini arttırması beklenir. Ham kenevir biyosorbentinin SEM sonuçları analiz edildiğinde yüzeyindeki silindirik porlu gözenekler görülmektedir (Kyzas et al., 2015; Tofan et al., 2013). Bu kenevir biyosorbentinin etkili bir şekilde adsorpsiyona hazır hale geldiğini göstermektedir. Ayrıca EDS sonuçları incelendiğinde %50,3 karbon, %46,7 oksijen, %2 kalsiyum, %0,8 paladyum ve %0,2 magnezyumdan oluşmaktadır.

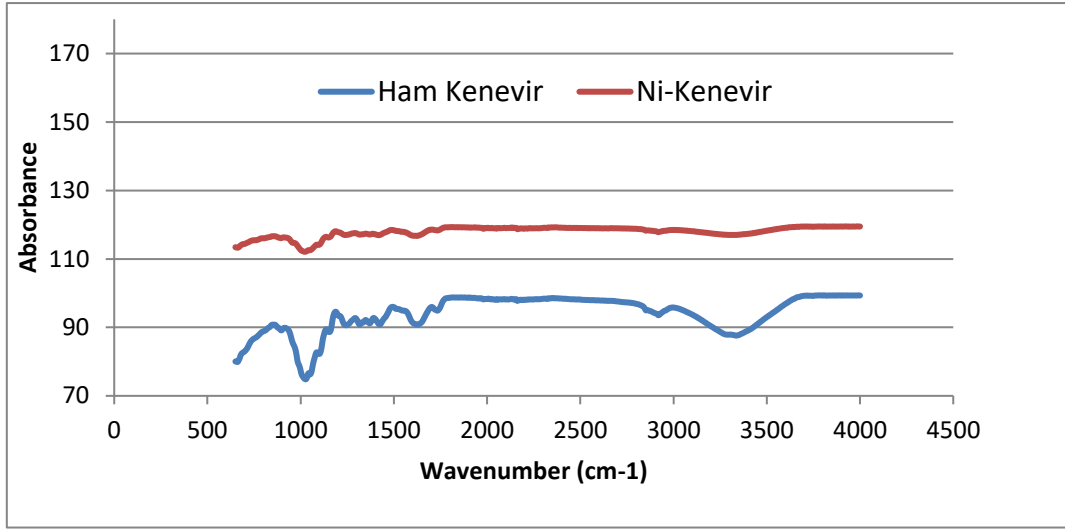
Nikel giderim sonrası kenevir biyosorbentlerinin nikel adsorplaması olup olmadığı SEM-EDS ile analiz edildiğinde Şekil 5'de görüldüğü gibi nikel tutunumu kenevir yüzeyinde gerçekleşmiştir. Kenevir biyosorbenti karakterizasyonunda %52,2 karbon, %43,8 oksijen ve daha önce var olmayan %3,6 nikel gözlemlenmiştir. Ayrıca %0,3 oranında silisyum ve %0,2 oranında kalsiyuma rastlanmıştır. Şekil 5'de kenevirin tüm yüzeyine dağılmış turuncu renkli minik noktalar nikel adsorpsiyonunu ifade etmektedir. SEM-EDS sonuçlarına göre nikelin başarılı bir şekilde kenevir biyosorbenti tarafından adsorplandığı söylenebilir.



Şekil 4. Kenevir biyosorbentinin adsorpsiyondan önce SEM ve EDS görüntüleri



Şekil 5. Nikel adsorpsiyonundan sonra kenevir biyosorbentinin SEM-EDS görüntüsü



Şekil 6. Nikel adsorpsiyonundan sonra kenevir biyosorbentinin SEM-EDS görüntüsü

Kimyasal işlemden sonra ham ve hazırlanmış malzemelerin kimyasal yapısı FTIR spektroskopisi kullanılarak doğrulanabilir. FTIR spektrumları, (i) 3100 – 3500 cm^{-1} 'de selüloz ve hemiselülozların O–H gerilmesine atfedilen bantlar sunar; (ii) selüloz ve hemiselülozlardaki C–H bağlarının simetrik gerilmesinden dolayı 2900 cm^{-1} ; (iii) Soğurulan su moleküllerinin –OH bükülme titreşimlerinden kaynaklanan 1640 cm^{-1} ; (iv) Hem pektin hem de selülozun C–O–C bağlarının bükülme titreşiminden dolayı 1070 cm^{-1} olduğu düşünülmektedir (Kyzas et al., 2015).

3.2. Kesikli çalışmalar

3.1.1. pH etkisi

Tablo 2. Kesikli deney adsorpsiyon pH bağlı verim- metal ölçüm sonuçları (Başlangıç konsantrasyonu 10 mg/L)

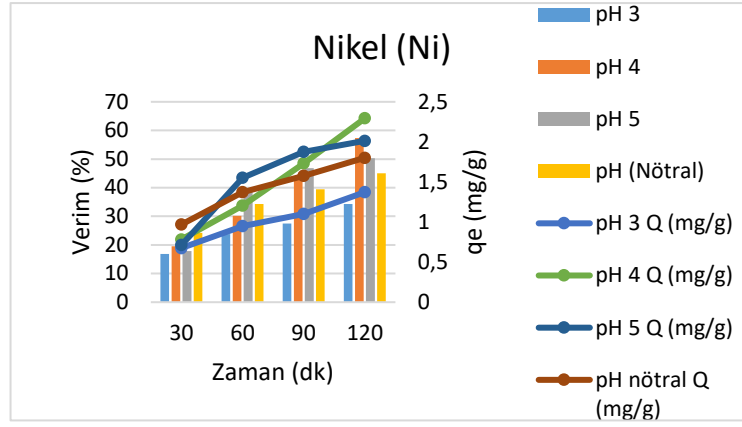
| Zaman (dk) | pH 3 Kons. (mg/L) | Verim (%) | pH 4 Kons. (mg/L) | Verim (%) | pH 5 Kons. (mg/L) | Verim (%) | pH (Nötral) Kons. (mg/L) | Verim (%) |
|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| Nikel (Ni) | | | | | | | | |
| 30 | 8,312 | 16,88 | 8,042 | 19,58 | 8,220 | 17,8 | 7,578 | 24,22 |
| 60 | 7,627 | 23,73 | 6,985 | 30,15 | 6,122 | 38,78 | 6,569 | 34,31 |
| 90 | 7,252 | 27,48 | 5,669 | 43,31 | 5,313 | 46,87 | 6,057 | 39,43 |
| 120 | 6,569 | 34,31 | 4,266 | 57,34 | 4,967 | 50,33 | 5,496 | 45,04 |
| Zaman (dk) | pH 3 Kons. (mg/L) | Q (mg/g) | pH 4 Kons. (mg/L) | Q (mg/g) | pH 5 Kons. (mg/L) | Q (mg/g) | pH (Nötral) Kons. (mg/L) | Q (mg/g) |
| 30 | 8,312 | 0,6752 | 8,042 | 0,7832 | 8,220 | 0,712 | 7,578 | 0,9688 |
| 60 | 7,627 | 0,9492 | 6,985 | 1,206 | 6,122 | 1,5512 | 6,569 | 1,3724 |
| 90 | 7,252 | 1,0992 | 5,669 | 1,7324 | 5,313 | 1,8748 | 6,057 | 1,5772 |

Optimum pH belirleme de verim çalışmaları sonucunda bakır Ni (II) iyonu için pH 4 optimum bulunmuştur. Konsantrasyon çalışmaları optimum pH'lara göre devam edilmiştir. En yüksek giderim verimi %57,34 olarak bulunmuştur. Literatür çalışmaları da Ni (II) iyonun giderim veriminin %50 civarında olduğunu göstermektedir (Kyzas et al., 2015).

Şekil 7 incelendiğinde süre arttıkça Ni (II) iyonunun giderim veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca en yüksek giderim

Sorpsiyon deneyleri kesikli koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, yaklaşık 0.25 g kenevir numuneleri, istenen sıcaklıkta (25 °C) ve başlangıç pH'ında (3-4-5-nötral) tanımlanmış miktarda Ni(II) iyonu içeren 100 mL sulu çözelti ile 10 mg/L konsantrasyonu dengelendi. Karışım daha sonra süzülde ve çözelti, katyon içeriği için analiz edildi. Çözeltilerdeki Ni (II) konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrometrisi (Unicam 420 AAS atomik absorpsiyon spektrometresi) ile belirlenmiştir. Tablo 2'de pH verimleri verilmiştir.

verimi pH 4'te gerçekleştiği görülmüştür. Kenevir biyosorbentinin Ni (II) iyonunu adsorplama değeri ise 120 dakika sonunda pH 4'te Şekil 7 ve Tablo 2'de görüldüğü üzere yaklaşık 4,26 olarak bulunmuştur. Verim sonuçlarına göre kenevir biyosorbentinin Ni (II) iyonunun gideriminde biraz etkili olduğu tespit edilmiştir. Kyzas vd. (2015) kenevir lifleri ile yaptığı çalışmada pH 4'de yaklaşık %55-65 oranında Ni (II) giderimi tespit etmişlerdir. Sonuçlar çalışmaya oldukça benzer olarak bulunmuştur.



Şekil 7. Ni(II) iyonu kenevir biyosorbenti pH'a bağlı verim-izoterm grafikleri

3.1.2. Başlangıç konsantrasyonuna etkisi

Çalışmanın ikinci aşamasında optimum pH (4) değerine göre 10 mg/L, 20 mg/L ve 40 mg/L konsantrasyonlarının etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Ni (II) iyonlarının giderimleri ve metal iyonu tutulma konsantrasyonları

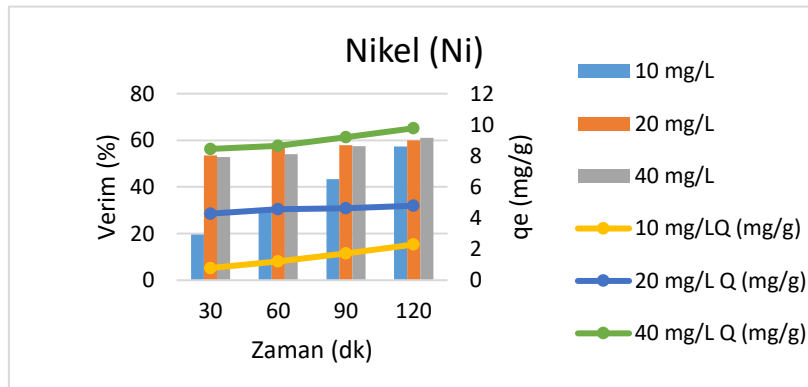
incelenmiştir. Tablo 3'te ve Şekil 8'de başlangıç konsantrasyon değişmesine bağlı olarak giderim verimleri ve metal iyonunu tutulma miktarları verilmiştir.

Tablo 3. Başlangıç konsantrasyona bağlı optimum pH'da metal giderim verimleri ve metal iyonu tutma kapasitesi

| Nikel (Ni) | | | | | | |
|------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| Zaman (dk) | Kons. (10 mg/L) | Verim (%) | Kons. (20 mg/L) | Verim (%) | Kons. (40 mg/L) | Verim (%) |
| 30 | 8,042 | 19,58 | 9,290 | 53,55 | 18,89 | 52,775 |
| 60 | 6,985 | 30,15 | 8,582 | 57,09 | 18,37 | 54,075 |
| 90 | 5,669 | 43,31 | 8,421 | 57,895 | 16,98 | 57,55 |
| 120 | 4,266 | 57,34 | 8,017 | 59,915 | 15,56 | 61,1 |
| Zaman (dk) | Kons. (10 mg/L) | Q (mg/g) | Kons. (20 mg/L) | Q (mg/g) | Kons. (40 mg/L) | Q (mg/g) |
| 30 | 8,042 | 0,7832 | 9,290 | 4,284 | 18,89 | 8,444 |
| 60 | 6,985 | 1,206 | 8,582 | 4,5672 | 18,37 | 8,652 |
| 90 | 5,669 | 1,7324 | 8,421 | 4,6316 | 16,98 | 9,208 |
| 120 | 4,266 | 2,2936 | 8,017 | 4,7932 | 15,56 | 9,776 |

Sonuçlara bakıldığında nikel konsantrasyonu arttıkça giderim verimlerinin de çok az arttığı gözlenmiştir. Ancak genellikle literatür destekli sonuçlar %50-60 bandında seyretmektedir. Kenevir biyosorbentleri Ni (II) iyonu adsorpsiyonunda başarılı olduğu söylenebilir (Hasfalina, Maryam, Luqman, & Rashid, 2010; Kyzas et al., 2015). Ni (II) iyonu giderim verimi

konsantrasyon arttıkça hafif artmış ancak çok büyük bir artış olmamıştır. Kenevir biyosorbentinin Ni (II) iyonu adsorplama kapasitesi hemen hemen tüm konsantrasyon aralıklarında aynıdır. 20 mg/L Ni (II) konsantrasyonunun %59,91 iken 40 mg/L'de Ni (II) konsantrasyonu %61,1 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 8. Ni (II) iyonu giderimi için kenevir biyosorbenti başlangıç konsantrasyonuna bağlı verim-izoterm grafikleri

4. Sonuç

Bu çalışma, Ni (II) iyonu sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için kenevir liflerinin biyosorbentler olarak alternatif bir kullanımını araştırılmıştır. Bu amaçla kenevir malzemeleri, herhangi bir safsızlığı gidermek ve hemiselülozları veya lignini kademeli olarak gidermek için (adsorpsiyonu iyileştiren) sodyum hidroksit ardından sodyum klorit çözeltileri yıkandı ve aktivasyondan sonra kullanıldı. Bu çalışmada uygulanan kimyasal modifikasyon, kısa kenevir liflerinde yapısal ve morfolojik değişikliklere yol açmakta ve sorpsiyon özelliklerini iyileştirdiği için tercih edilmiştir. Kesikli deneyler için Ni (II) iyonları sorpsiyonu için optimum başlangıç pH değeri 4 olarak bulunmuştur. Bu pH değerlerinde en yüksek giderim verimleri sırasıyla Ni (II) %57,34 olarak bulunmuştur. Başlangıç konsantrasyonuna etkisi incelendiğinde konsantrasyon arttıkça giderim veriminin çok az arttığı gözlemlenmiştir. 40 mg/L Ni konsantrasyonunun en yüksek giderim verimi %61,1 olarak tespit edildi. XRD, FTIR ve SEM-EDS karakterizasyon test sonuçları da kenevir biyosorbentinin metal sorpsiyonunda etkili olduğunu kanıtlamıştır. Çalışma sonuçlarına göre kenevir lifleri biyosorbentlerinin Ni (II) iyonu giderim kapasitesi iyi olan materyaller olduğu düşünülmektedir. Kenevirin hem çevre dostu bir yeşil bir malzeme olması hem de ülkemizde bol yetiştirilmesi nedeniyle sanayide alternatif bir adsorban madde olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Modifiye kenevir liflerinin iyi sorpsiyon özellikleri ve diğer ticari sorbentlere kıyasla düşük maliyetleri, bu liflerin atık su arıtımı için filtre üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlarken, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kesikli prosesin tasarlanmasında çok yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmada Ondokuz Mayıs Üniversitesi Proje Yönetim Ofisi tarafından PYO.MUH.1908.21.008 numaralı proje kapsamında destek alınmıştır.

Ayrıca bu çalışmanın özeti "1st International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences, 20-23 Aralık 2022 (Konya / Türkiye)" kongresinde sunulmuştur.

Kaynakça

- Anastopoulos, I., & Kyzas, G. Z. (2014). Agricultural peels for dye adsorption: A review of recent literature. *Journal of Molecular Liquids*, 200, 381–389. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2014.11.006>
- Arora, R. (2019). Adsorption of heavy metals-a review. *Materials Today: Proceedings*, 18(1), 4745–4750. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.462>
- Bailey, S. E., Olin, T. J., Bricka, R. M., & Adrian, D. D. (1999). A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research*, 33(11), 2469–2479. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00475-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00475-8)
- Hasfalina, C. M., Maryam, R. Z., Luqman, C. A., & Rashid, M. (2010). The potential use of kenaf as a bioadsorbent for the removal of Copper and Nickel from single and binary aqueous solution. *Journal of Natural Fibers*, 7(4), 267–275. <https://doi.org/10.1080/15440478.2010.527508>
- Kyzas, G. Z., & Kostoglou, M. (2014). Green Adsorbents for Wastewaters: A Critical Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 7(1), 333–364. <https://doi.org/10.3390/ma7010333>

- Kyzas, G. Z., Terzopoulou, Z., Nikolaidis, V., Alexopoulou, E., & Bikiaris, D. N. (2015). Low-cost hemp biomaterials for nickel ions removal from aqueous solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 209(1), 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.05.060>
- Marrot, B., Barrios-Martinez, A., Moulin, P., & Roche, N. (2004). Industrial wastewater treatment in a membrane bioreactor: A review. *Environmental Progress*, 23(1), 59–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ep.10001>
- Paduraru, C., & Tofan, L. (2002). Equilibrium studies for the sorption of metal ions onto hemp. *Cellulose Chemistry and Technology*, 36, 375–380.
- Pejic, B., Vukcevic, M., Kostic, M., & Skundric, P. (2009). Biosorption of heavy metal ions from aqueous solutions by short hemp fibers: Effect of chemical composition. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.139>
- Srivastava, N. K., & Majumder, C. B. (2008). Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.101>
- Tofan, L., Teodosiu, C., Paduraru, C., & Wenkert, R. (2013). Cobalt (II) removal from aqueous solutions by natural hemp fibers: Batch and fixed-bed column studies. *Applied Surface Science*, 285(PARTA), 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.apusc.2013.06.151>
- Vukčević, M., Pejić, B., Kalijadis, A., Pajić-Lijaković, I., Kostić, M., Laušević, Z., & Laušević, M. (2014). Carbon materials from waste short hemp fibers as a sorbent for heavy metal ions - Mathematical modeling of sorbent structure and ions transport. *Chemical Engineering Journal*, 235, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.047>
- Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27(2), 195–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>
- Zou, X., Fallah, J. El, Goupil, J.-M., Zhu, G., Valtchev, V., & Mintova, S. (2012). Green removal of aromatic organic pollutants from aqueous solutions with a zeolite-hemp composite. *RSC Adv*, 2(7), 3115–3122. <https://doi.org/10.1039/C2RA01176J>