



ZnO-Kitosan Kompoziti ile Ağır Metal Giderimi

Gamze Topal Canbaz^{1*}, Ünsal Açıkkel², Yeşim Sağ Açıkkel³

^{1*} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7615-7627), gtopal@cumhuriyet.edu.tr

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4969-8502), uacikel@cumhuriyet.edu.tr

³ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000), yesims@hacettepe.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 28 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 30 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1094734)

ATIF/REFERENCE: Topal Canbaz, G., Açıkkel, Ü., Sağ Açıkkel, Y. (2022). ZnO-Kitosan Kompoziti ile Ağır Metal Giderimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 603-609.

Öz

Çalışmada *Allium cepa* (*A. cepa*) kabukları kullanılarak yeşil sentez ile ZnO partikülleri sentezlendi ve kitosan (Ch) ile oluşturulan ZnO- Ch kompozitin Nikel (II) (Ni (II)) giderim potansiyeli incelendi. Sentezlenen ZnO-Ch kompozitin taramalı elektron mikroskopisi (SEM), Fourier transform infrared (FTIR) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) ile karakterizasyonu gerçekleştirildi. Çalışmada ZnO-Ch kompoziti ile kesikli sistemde Ni (II) adsorpsiyonu için pH (2,0-6,0), sıcaklık (25-55 °C), adsorban miktarı (0,25-1,0 g/L), temas süresi (15-1440 dk) ve başlangıç kirletici derişimi (20-300 mg/L) incelenerek optimum giderim koşulları incelenmiştir. Elde edilen optimum koşullar pH 5,0, sıcaklık 25 0C, adsorban miktarı 0,5 g/L, temas süresi 300 dakika (dk) olarak belirlenmiştir. Ni (II) gideriminde kompozitin maksimum adsorpsiyon kapasitesi Langmuir izoterm modeline göre 222,22 mg/g olarak hesaplandı. Yapılan sıcaklık çalışmalarında artan sıcaklık ile adsorpsiyon kapasitesinin düşmesi sistemin ekzotermik olduğunu gösterdi.

Anahtar Kelimeler: ZnO, kitosan, Ni(II), adsorpsiyon

Heavy Metal Removal with ZnO-Chitosan Composite

Abstract

In the study, ZnO particles were synthesized by green synthesis using *Allium cepa* (*A. cepa*) shells and the Nickel (II) (Ni (II)) removal potential of the ZnO-Ch composite formed with chitosan (Ch) was investigated. Characterization of the synthesized ZnO-Ch composite was performed by scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared (FTIR) and X-ray diffraction (XRD). In the study, pH (2,0-6,0), temperature (25-55 °C), amount of adsorbent (0,25-1,0 g/L), contact time for Ni (II) adsorption in batch system with ZnO-Ch composite. (15-1440 min) and initial pollutant concentration (20-300 mg/L) were examined and optimum removal conditions were investigated. The optimum conditions obtained were determined as pH 5,0, temperature 25 °C, amount of adsorbent 0,5 g/L, contact time 300 minutes (min). The maximum adsorption capacity of the composite in Ni (II) removal was calculated as 222,22 mg/g according to the Langmuir isotherm model. In temperature studies, the decrease in adsorption capacity with increasing temperature showed that the system was exothermic.

Keywords: ZnO, Chitosan, Ni (II), adsorption

* Sorumlu Yazar: gtopal@cumhuriyet.edu.tr

1. Giriş

Cd, Cr, Cu, Pb ve Ni gibi ağır metaller sanayi, maden ve inşaat gibi endüstriyel faaliyet alanlarının atık sularında bulunabilirler. Ağır metallerin toksik yapıda olması ve biyolojik olarak bozunamaması nedeni ile çevreye salınması durumunda toprak ve su kirliliğine neden olmaktadır. Bu kirlilik çevre ve canlı sağlığı için oldukça büyük sorun haline gelmektedir. Atık sulardan bu metalleri uzaklaştırmak için yeni yöntemler ve malzemeler araştırılmaktadır (Deliyanni vd., 2004; Liu vd., 2011.)

Ağır metal giderim yöntemleri arasında iyon değişimi, çöktürme, koagülasyon-flokülasyon, elektrokimyasal yöntemler ve adsorpsiyon bulunmaktadır (Liu ve Zhou, 2010). Adsorpsiyonun kolay uygulanabilir olması diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmesini sağlar (Nguyen vd., 2013). Literatürde birçok çalışma, toksik metallerin daha ucuz ve ekonomik adsorbanlarla uzaklaştırılmasını tartışmıştır. Yapılan çalışmalar, nanoteknolojinin nanopartiküller kullanılarak toksik ağır metal iyonları için atıksu arıtımında uygulanmasının çok ilgi gördüğünü göstermektedir. Nano ölçekli sıfır değerli demir (Fe^0), Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , TiO_2 , SiO_2 ve Al_2O_3 gibi nanomalzemeler, toksik metal iyonlarının adsorpsiyonu için en çok kullanılanlardandır. Bunların arasında, çinko oksit (ZnO), endüstriyel uygulamalar için kullanılan en önemli çok fonksiyonlu oksit malzemelerden biridir. Ayrıca, nano yapılı ZnO'nun ağır metalleri verimli bir şekilde uzaklaştırabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, son zamanlarda, birlikte mükemmel sinerjistik etkiler veren polimerler ile metal ve metal oksit nanoparçacıkları ağır metallerin uzaklaştırılması için hibrit malzemeler olarak geliştirilmektedir. Bu polimerler arasından kitosan (Ch) düşük maliyetli yenilenebilir doğal bir polimerdir ve mükemmel hidrofilikliğe, biyouyumluluğa, biyolojik olarak bozunabilirliğe, toksik olmayan ve toksik metalleri ve organik bileşikleri adsorbe etmek için aktiftir. Kitosan yapısında amino ve hidroksil gruplarının bulunması, ona birçok aktif bölgede çalışan metal iyonlarını adsorbe etme yeteneği verir (Saad vd., 2018; Çınar vd., 2017).

Bu çalışmada yeşil sentez yöntemi ile sentezlenen ZnO partikülleri ve kitosan ile nano boyutta kompozit yapı oluşturulmuş ve Ni(II) iyonlarının sulu ortamdan giderimi araştırılmıştır. ZnO partiküllerinin sentezinde ise *Allium cepa* (soğan) kabukları kullanılarak atık organik malzemeden yararlanılmıştır. Çalışmada hem atık malzeme değerlendirilmesi hem de atık sulardan Ni (II) iyon giderimi gerçekleştirilerek sentezlenen kompozit yapının giderim potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. ZnO partikül ve ZnO-Ch nanokompozit sentezi

ZnO partiküllerinin sentezinde kullanılacak olan *A. cepa* kabukları su ile yıkanıp sabit tartıma gelene kadar kurutulmuşlardır. 1 gr kabuk 100 ml su ile ekstrakte edilmiş ve elde edilen ekstrakt ZnO partiküllerinin sentezinde indirgeyici olarak kullanılmıştır. ZnO partiküllerin sentezi için başlangıç metali olarak 0,2 M $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (ZnAc) kullanılmıştır. Ekstrakt: ZnAc oranı 1:5 olarak ayarlanmış ve 2 saat tepkime sonunda oluşan ZnO partikülleri 15 dakika 10.000 rpm' de santrifüjlenerek ayrılmış ve etüvde 50°C' de kurutulmuştur.

İyonik jelleşme tekniği ile nano boyutta kitosan sentezlenmiştir. Belirtilen yöntemde tripolifosfat (TPP) çapraz bağlayıcı olarak kullanılmıştır. % 0,25 TPP çözeltisi içerisine %1 asetik asit içerisinde çözünen Ch, Ch: TPP oranı 2:1 olacak şekilde damla damla eklenmiş ve 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Sentezlenen Ch nanopartiküller santrifüjlenerek ayrılmış ve vakum etüvünde kurutulmuşlardır (Erdem vd.,2021).

Kompozit yapının sentezi için 1:1 oranında Ch nanopartiküller ve ZnO manyetik karıştırıcıda 24 saat süre ile karıştırılmış ve süre sonunda elde edilen kompozit santrifüjlenerek kurutulmuş ve adsorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır.

2.1.1. ZnO- Ch karakterizasyonu

Sentezlenen ZnO-Ch karakterizasyonunda yapının boyut ve morfolojisi SEM (TESCAN MIRA3 XMU) ve yapıda bulunan olası fonksiyonel gruplar FTIR analizi ATR yöntemi (Bruker Mode: Tensor II) ile belirlenmiştir. Sentezlenen kompozitin kristal yapısı ise XRD (RIGAKU-MINIFLEX 600) analizi ile belirlenmiştir.

2.1.2. Adsorpsiyon Deneyleri

ZnO-Ch kompoziti ile Ni(II) giderimi kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ ile stok çözelti hazırlanmış ve deneylerde kullanılacak derişimler stok çözülden seyreltilerek hazırlanmıştır. Deney sisteminde çözelti pH'sı, başlangıç kirletici derişimi, temas süresi, adsorban miktarı ve sıcaklık parametreleri incelenmiş ve en iyi giderim koşulları belirlenmiştir. Çözelti pH ayarlamaları derişik ve seyreltik NaOH ve HCl ile yapılmıştır. Sistemden alınan örneklerde adsorplanmadan kalan Ni (II) derişimi nikel (II) iyonlarının sodyum dietil ditiyokarbamat la yaptığı sarı-kahverengi renkli kompleks yardımıyla spektrofotometrik olarak 460 nm'de spektrofotometrede (UV-2600, Shimadzu) absorpsans okunarak tayin edilmiştir (Snell ve Snell)

ZnO-Ch kompoziti ile Ni (II) iyon adsorpsiyonunda % adsorpsiyon ve q_e (mg/g) aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanmıştır;

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad [1]$$

$$\% \text{ Adsorpsiyon} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad [2]$$

Burada C_o başlangıç derişimi (mg/L), C_e dengede adsorplanmadan kalan madde derişimi (mg/L), V çözelti hacmi (L) ve m adsorban kütlesi (g).

2.1.3. Adsorpsiyon Sisteminin Matematiksel Tanımlanması

Adsorpsiyon sistemini tanımlamak için deneysel olarak elde edilen veriler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygulanarak her izotermin parametreleri belirlendi (Alabbad, 2021).

Langmuir izoterm modelinde adsorpsiyonun tek tabadada gerçekleştiği ve yüzeyin homojen olduğu kabul edilir. Langmuir izotermi Eşitlik 3 ile tanımlanır;

$$q_e = \frac{Q^o b C_e}{1 + b C_e} \quad [3]$$

Langmuir izoterminde verilen sabitler; q_e birim adsorban üzerine adsorplanan kirletici madde miktarı (mg/g), C_e sıvıda adsorplanmadan kirletici derişimi (mg/L), Q^o adsorbanın adsorptivitesine bağı olan sabit (mg/g), b adsorpsiyon enerjisine bağı olan sabit (L/mg) olarak tanımlanır.

Freundlich izoterm modeli Eşitlik 4 ile tanımlanır;

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad [4]$$

k_f adsorpsiyon sabiti, n adsorpsiyon derecesi, q_e birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g), C_e sıvıda adsorplanmadan kirletici derişimi (mg/L) olarak tanımlanır.

Temkin izoterm modeli ise yüzeyin kirletici ile kaplanması sonucunda katmandaki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısının doğrusal olarak azaldığını varsayar ve aşağıda verilen Eşitlik 5 ile tanımlanmıştır;

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(AC_e) \quad [5]$$

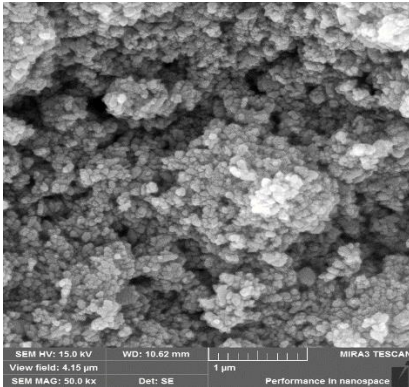
A , Temkin izotermi bağlanma sabiti, b_T Temkin izoterm sabiti, R ideal gaz sabiti (8.314 J/mol K), T mutlak sıcaklık (298 K) olarak tanımlanır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. ZnO-Ch kompozitinin karakterizasyonu

3.1.1. SEM Analiz Sonuçları

ZnO partikülleri ve Ch ile sentezlenen ZnO-Ch kompozit yapının SEM görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir. 50 kX büyütme ile çekilen görüntüde ZnO-Ch yapısının küresel ve gözenekli olduğu gözlenmiştir.

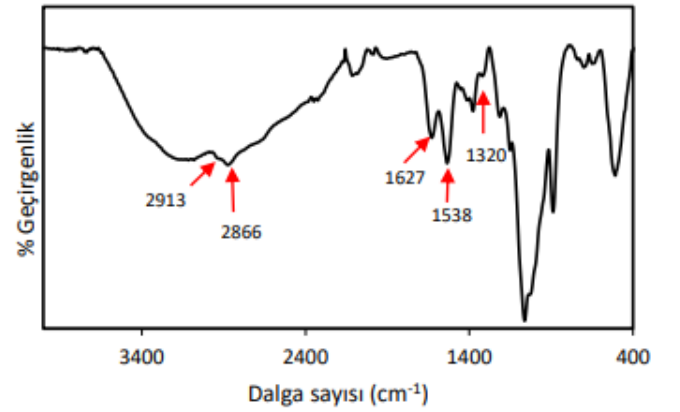


Şekil 1. ZnO-Ch kompoziti SEM görüntüsü
Figure 1. SEM image of ZnO-Ch composite

3.1.2. FTIR analiz Sonuçları

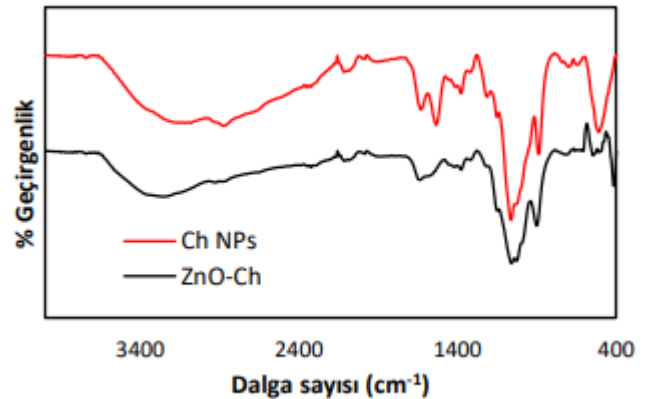
A. cepa ekstraktı ile sentezlenen ZnO partiküllerinin Ch ile oluşturduğu kompozit yapının FT-IR spektrumu incelenmiştir. ZnO-Ch kompozit yapısının araştırılmasında Ch’ nin FT-IR spektrumundan faydalanılmıştır.

Şekil 2’de Ch FT-IR analiz sonucu verilmiştir. Spektrumunda 2913 cm^{-1} ve 2866 cm^{-1} ’de bulunan pikler sırası ile C-H simetrik ve asimetrik gerilmesine gösterir ve bunlar polisakkaritler için karakteristik piklerdir. Ch’nin yapısında bulunan N-asetil grubu varlığı; 1627 cm^{-1} ’ gözlenen amid I kaynaklı C=O gerilmesi ve 1320 cm^{-1} ’de gözlenen amid III kaynaklı N-H gerilmesinden oluşan pikler ile doğrulanmıştır. 1538 cm^{-1} ’de gözlenen pik NH_2 grubundan kaynaklanan N-H bağının varlığını kanıtlar. (Queiroz vd., 2015).



Şekil 2. Ch FT-IR spektrumu
Figure 2. Ch FT-IR spectrum

Şekil 3’de verilen ZnO-Ch kompozitine ait FT-IR spektrumunda polisakkaritleri tanımlayan 2913 cm^{-1} ve 2866 cm^{-1} ’de bulunan pikler C-H saf Ch’ nin FT-IR spektrmunda da bulunmaktadır ve bu da ZnO partiküllerinin Ch ile kompozit bir yapı oluşturduğunu kanıtlamaktadır.



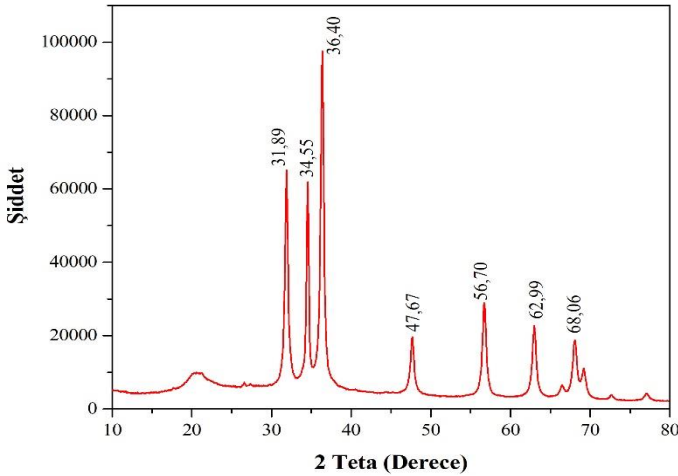
Şekil 3. ZnO-Ch kompoziti ve Ch FT-IR spektrumu
Figure 3. ZnO-Ch composite and Ch FT-IR spectrum

3.1.3. XRD Analiz Sonuçları

Şekil 4' de ZnO-Ch kompozitine ait XRD desenleri bulunmaktadır. ZnO-Ch kompozitinde 21,25° (2θ)' de gözlenen pik Ch' ın karakteristik pikidir. ZnO-Ch kompozitinin XRD analiz sonucunda Ch'ın karakteristik piki bulunmaktadır.

ZnO-Ch kompozitinin XRD deseninde hem ZnO partiküllerinin hem de Ch' ın karakteristik pikleri görülmektedir. Elde edilen XRD deseninden ZnO partiküllerinin kristal yapısı Ch ile kompozit oluşturduktan sonra da yapısını koruduğunu göstermektedir. Ayrıca ZnO-Ch kompoziti yapısında bulunan ve Ch'na karşılık gelen pikin bulunması ZnO-Ch kompozit sentezinin başarılı olduğunu göstermektedir (Dananjaya vd., 2018; Qiu vd., 2019).

ZnO nanopartiküllerin difraksiyon pikleri sırasıyla (010), (002), (011) (012), (110), (013) ve (112) yansıma düzlemleri ile ilişkilendirilen 2θ: 31,89°, 34,55°, 36,40°, 47,67°, 56,70°, 62,99° ve 68,06° deki pikleri de örneğimizin XRD difraktogramında belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Bu sonuç ayrıca ZnO'nun verilen standart XRD modeli (JCPDS 36-1451) ile uyumludur. Ayrıca, ZnO-Ch XRD deseni ZnO dışında herhangi bir XRD piki içermediğinden sentezlenen nano tozun safsızlıklardan arınmış olduğunu da doğrulamakta ve yüksek saflıkta elde edildiğini göstermektedir (Shamhari vd., 2018; Yedurkar vd., 2016; Nesakumar vd., 2012



Şekil 4. ZnO-Ch kompoziti XRD desenleri
Figure 4. ZnO-Ch composite XRD patterns

XRD analizi, ZnO-Ch partiküllerinin ortalama kristalit tane büyüklüğünün hesaplanmasında kullanılmıştır (Boran vd., 2019). Ortalama ZnO-Ch partiküllerinin ortalama kristalit boyutu, (010), (002), (011) (012), (110), (013) ve (112) yansıma düzlemlerinin pik (2θ) yarı yüksekliğindeki tam genişlikleri Debye-Scherrer denkleminde hesaplandı:

$$d_{XRD} = \frac{0,89\lambda}{\beta \cos\theta}$$

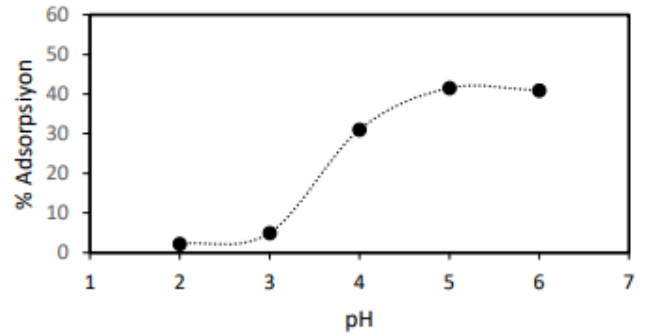
Burada 0.89 K faktörü Scherrer sabiti, β pik yarı yükseklik tam genişlikleri, λ X-ray dalga boyu (1.541871 Å) ve θ Bragg

açısıdır (Shamhari vd., 2018; Boran,2021). XRD verilerinden Debye-Scherrer denklemi ile ZnO-Ch partiküllerinin ortalama kristalit tane büyüklüğü 18,62 nm olarak belirlenmiştir.

3.2. Ni (II) Giderim çalışmaları

3.2.1. pH etkisi

Başlangıç pH değerinin ZnO-Ch kompoziti ile Ni (II) giderim etkisini incelemek için, 24 saat temas süresinde, 100 mg/L başlangıç derişiminde ve oda sıcaklığında (23°C) deneyler yapılmıştır. pH çalışmaları pH 0-6,0 aralığında incelenmiştir. ZnO-Ch kompozitinin Ni (II) % adsorpsiyon sonucu Şekil 5' de verilmiştir.



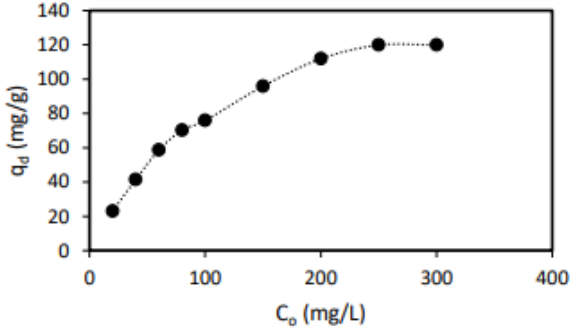
Şekil 5. Ni (II) Adsorpsiyonuna pH etkisi
Figure 5. Effect of pH on Ni(II) adsorption

% Adsorpsiyon grafiğinde ZnO-Ch kompozit yapısının Ni(II) gideriminin pH 2,0 ve pH 3,0 değerlerinde çok düşük olduğu görülmektedir. ZnO-Ch kompozitinin pH 5,0' da % 41 giderim sağladığı bulunmuştur. Ni (II) giderimi ile ilgili literatürde bulunan çalışmalarda pH değerinin 6,0' ın üzerine çıkması ile metal iyonlarının kimyasa çökmeye uğradığı açıklanmıştır. Gürel vd., (2010) yaptığı çalışmada Ni(II) giderimi için çalışma aralığı 1,0-5,0 olarak seçilmiş ve optimum pH değeri 5,0 olarak belirlenmiştir. Barati vd., (2013) yaptığı çalışmada ise poly(methacrilamid-akrilik asit)/montmorillonit nano kompoziti ile Ni (II) ve Cu(II) giderimini incelemişlerdir. Çözelti ortamının pH'ı 2,1'den 6,8'e yükseldiğinde adsorpsiyon kapasitesi 2,3'ten 14,5 mg g⁻¹'e yükselmiş, ancak pH'ın 6,8'den 11,5'e daha fazla artması her iki metal iyonunun adsorpsiyon kapasitesini düşürmüştür.

3.2.2. Başlangıç Kirletici Derişimi Etkisi

Başlangıç kirletici derişimi, metal iyonunun sulu ve yığın fazlar arasındaki tüm kütle transfer direncinin üstesinden gelmesi için önemli bir itici güç sağlar. Bu nedenle, başlangıç nikel iyon derişiminin değışimi, tüm adsorpsiyon çalışmalarında araştırılması gereken önemli bir faktördür (Gürel, 2017).

Ni (II) iyonları başlangıç derişiminin adsorpsiyon sistemine etkisini incelemek amacı ile kirletici derişim aralığı 20-300 mg/L olarak seçilmiştir. Ortam sıcaklığı 23 °C ve pH 5,0' da deneyler yürütülmüştür. Sonuçlar Şekil 6' da adsorpsiyon kapasitesi olarak verilmiştir.

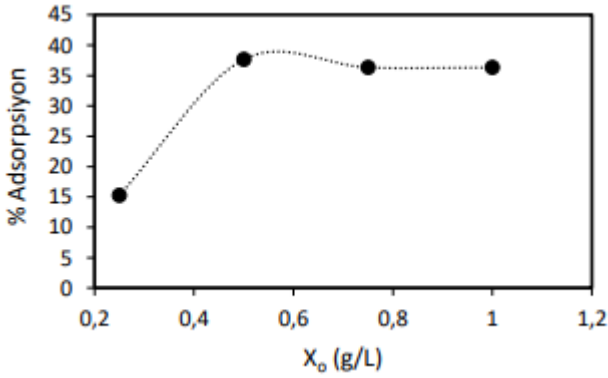


Şekil 6. Ni (II) Adsorpsiyonuna başlangıç kirletici derişimi etkisi
Figure 6. Effect of initial pollutant concentration on Ni(II) adsorption

ZnO-Ch kompozitinin adsorpsiyon kapasitesi 100 mg/L kirletici derişiminde 76 mg/g olarak belirlenmiştir. Başlangıç kirletici derişiminin 300 mg/L' ye çıktığında ise ZnO-Ch kompozitin adsorpsiyon kapasitesi 120 mg/g olarak belirlenmiştir. Kirletici derişiminin artması ile itici gücün artmasını sağlar ve adsorplanan kirletici derişimi artır.

3.2.3. Adsorban Miktarı Etkisi

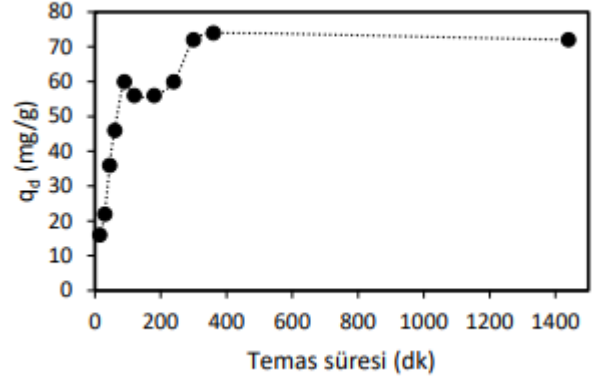
Ni (II) giderimine ZnO-Ch kompozit miktarının etkisini (X₀: 0,25-1,0 g/L) incelemek amacı ile yapılan çalışmada adsorban miktarı 0,25-1,0 g/L aralığında incelenmiştir (Şekil 7). % adsorpsiyon grafiğinde en iyi % adsorpsiyon miktarı 0,5 g/L adsorban miktarında % 37 olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Ni (II) Adsorpsiyonuna adsorban miktarı etkisi
Figure 7. Effect of adsorbent amount on Ni(II) Adsorption

3.2.4. Temas süresi etkisi

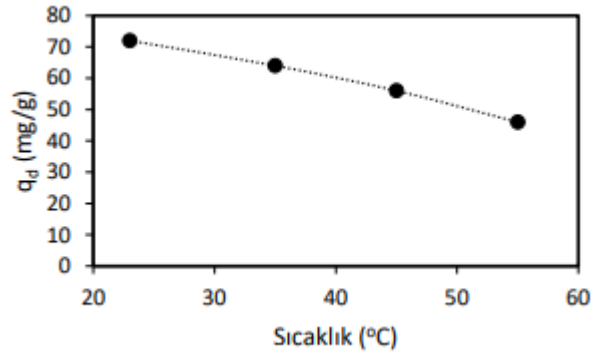
Ni(II) iyonlarının ZnO-Ch kompozit ile giderilmesinde temas süresi etkisi 15-1440 dk aralığında incelenmiştir. Şekil 8' de temas süresinin adsorpsiyon kapasitesine üzerine etkisi verilmiştir. Temas süresinin artması ile adsorpsiyon kapasitesinin arttığı görülmektedir. 15 dakikada 16 mg/g giderim sağlanırken temas süresinin artması ile 300 dk 72 mg/g giderim sağlanmıştır. Denge süresi 300 dk olarak belirlenmiştir. 300 dk' dan sonra giderim veriminde önemli bir değişiklik olmamıştır.



Şekil 8. Ni (II) Adsorpsiyonuna temas süresi etkisi
Figure 8. Contact time effect on Ni(II) adsorption

3.2.5. Sıcaklık etkisi

Ni (II) iyonlarının ZnO-Ch kompoziti ile gideriminde sıcaklığın etkisi 25-55 °C aralığında incelenmiştir. pH 5,0 ve 100 mg/L Ni(II) derişiminde 300 dk temas süresinde deney gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuç Şekil 9' da verilmiştir.



Şekil 9. Ni (II) Adsorpsiyonuna temas süresi etkisi
Figure 9. Contact time effect on Ni(II) Adsorption

ZnO-Ch kompoziti ile yapılan Ni (II) adsorpsiyonunda sıcaklığın artması ile adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü gözlenmiştir. Ortam sıcaklığının 25 °C' den 55 °C' ye çıkması ile Ni(II) giderimi 72 mg/g' dan 46 mg/g' a düşmüştür.

3.3. Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri

ZnO-Ch kompoziti ile Ni (II) adsorpsiyonu 23°C sıcaklıkta, pH 5,0' da ve farklı Ni (II) derişimlerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sonuçları Tablo 1' de verilmiştir. Langmuir izotermine bulunan Q_{max} değeri, 222,2 mg/g olarak bulunmuştur.

Tablo 1. ZnO-Ch kompoziti ile Ni (II) gideriminde izoterm sabitleri

Table 1. Isotherm constants for Ni(II) removal with ZnO-Ch composite

Langmuir izotermi			Freundlich izotermi			Temkin izotermi		
Q _{max} (mg/g)	b (L/mg)	R ²	k _F (L/g)	1/n	R ²	A _t (L/g)	b _t	R ²
222,2	0,0012	0,98	2,53	0,48	0,86	0,307	67,75	0,95

3.4. Literatür ile karşılaştırma

ZnO-Ch kompoziti ile Ni (II) giderim çalışmaları ile elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması Tablo 1’ de verilmiştir. Sentezlenen kompozitin Ni (II) gideriminde kullanılabilir bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Sentezlenen kompozit laboratuvar ortamında Ni (II) giderimi için iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2. Literatürde bulunan adsorbentler ile karşılaştırma

Table 2. Comparison with adsorbents found in the literature

Adsorbent	Q (mg/g)	Referans
Bentonite/GO	402,45	Chang vd., 2020
Pvp/ SiO ₂	46,08	Betiha vd., 2020
Doğal klinoptilolit	3,8	Rajic vd., 2010
Kitosan	2,4	Huang vd., 1996
Fe ₃ O ₄ @TiO ₂ -CN	75,5	Barkat vd., 2014
MWCNTs	6,09	Abdal-Ghani vd., 2015
ZnO- Ch kompozit	222,22	Bu çalışma

4. Sonuç

Çalışmada öncelikle atık organik malzeme ile yeşil sentez yöntemi kullanılarak ZnO partikülleri sentezlendi. Sentezde kullanılan yöntem atık kullanımını kapsadığından ve sentez aşamasında fazla kimyasal madde kullanılmaması ile son zamanlarda ilgi çeken ve önem kazanan “Yeşil sentez” olarak adlandırılmaktadır. Ch iyonik jelleşme yöntemi ile nanopartikül haline getirildikten sonra ZnO partikülleri ile kompozit oluşturuldu. Sentezlenen ZnO-Ch kompoziti Ni (II) iyon gideriminde kullanıldı. Kesikli sistemde yapılan deneylerde optimum parametreler pH 5,0, adsorban miktarı 0,5 g/L, temas süresi 300 dk ve sıcaklık 23 °C olarak belirlendi. ZnO-Ch kompozitinin maksimum adsorpsiyon kapasitesi 222,2 mg/g olarak hesaplandı. Sıcaklık çalışmaları ile adsorpsiyon kapasitesinin artan sıcaklık ile düşmesi sistemin ekzotermik olduğunu gösterdi. Atık maddelerden sentezlenen ZnO partikülleri ve Ch ile oluşturulan ZnO-Ch kompozit yapının sulu ortamdan Ni (II) iyon giderim potansiyeline sahip olduğu belirlendi. Çalışmada laboratuvar koşullarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından M-669 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Abdel-Ghani, N. T., El-Chaghaby, G. A., & Helal, F. S. (2015). Individual and competitive adsorption of phenol and nickel onto multiwalled carbon nanotubes. *Journal of advanced research*, 6(3), 405-415.
- Alabbad, E. A. (2021). Efficacy assessment of natural zeolite containing wastewater on the adsorption behaviour of Direct Yellow 50 from; equilibrium, kinetics and thermodynamic studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(4), 103041.
- Barati, A., Asgari, M., Miri, T., & Eskandari, Z. (2013). Removal and recovery of copper and nickel ions from aqueous solution by poly (methacrylamide-co-acrylic acid)/montmorillonite nanocomposites. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(9), 6242-6255.
- Barkat, M., Chegrouche, S., Mellah, A., Bensmain, B., Nibou, D., & Boufatit, M. (2014). Application of algerian bentonite in the removal of cadmium (II) and chromium (VI) from aqueous solutions. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2014.
- Betiha, M. A., Moustafa, Y. M., Mansour, A. S., Rafik, E., & El-Shahat, M. F. (2020). Nontoxic polyvinylpyrrolidone-propylmethacrylate-silica nanocomposite for efficient adsorption of lead, copper, and nickel cations from contaminated wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 314, 113656.
- Boran, F. (2021). Encapsulation of CuO nanoparticles inside the channels of the multi-walled carbon nanotubes functionalized with thermal stress. *Diamond and Related Materials*, 114, 108306.
- Boran, F., TAŞKIRAN, İ., & Çetinkaya, S. (2019). Poli (sodyum 4-stiren sülfonat) Kaplı SnO₂ Nanoparçacıklarının Sentezi, Karakterizasyonu ve Gaz Algılama Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 412-422.
- Chang, Y. S., Au, P. I., Mubarak, N. M., Khalid, M., Jagadish, P., Walvekar, R., & Abdullah, E. C. (2020). Adsorption of Cu (II) and Ni (II) ions from wastewater onto bentonite and bentonite/GO composite. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(26), 33270-33296.
- Çınar, S., Kaynar, Ü. H., Aydemir, T., Kaynar, S. C., & Ayvacıklı, M. (2017). An efficient removal of RB5 from aqueous solution by adsorption onto nano-ZnO/Chitosan composite beads. *International journal of biological macromolecules*, 96, 459-465.
- Erdem, S., Öztekin, M., & Açıkel, Y. S. (2021). Investigation of tetracycline removal from aqueous solutions using halloysite/chitosan nanocomposites and halloysite nanotubes/alginate hydrogel beads. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100576.
- Dananjaya, S. H. S., Kumar, R. S., Yang, M., Nikapitiya, C., Lee, J., & De Zoysa, M. (2018). Synthesis, characterization of ZnO-chitosan nanocomposites and evaluation of its antifungal activity against pathogenic *Candida albicans*. *International journal of biological macromolecules*, 108, 1281-1288.

- Deliyanni, E. A., Lazaridis, N. K., Peleka, E. N., & Matis, K. A. (2004). Metals removal from aqueous solution by iron-based bonding agents. *Environmental Science and Pollution Research*, 11(1), 18-21.
- Gürel, L. (2010). senturk I, Bahadir T, Buyukgungor H (2010) Treatment of Nickel Plating Industrial Wastewater by Fungus Immobilized onto Rice Bran. *J Microbial Biochem Technol*, 2, 034-037.
- Gürel, L. (2017). Applications of the biosorption process for nickel removal from aqueous solutions—A review. *Chemical Engineering Communications*, 204(6), 711-722.
- Huang, C., Chung, Y. C., & Liou, M. R. (1996). Adsorption of Cu (II) and Ni (II) by pelletized biopolymer. *Journal of Hazardous Materials*, 45(2-3), 265-277.
- Liu, D., Sun, D., & Li, Y. (2010). Removal of Cu (II) and Cd (II) from aqueous solutions by polyaniline on sawdust. *Separation Science and Technology*, 46(2), 321-329.
- Liu, Z. R., & Zhou, S. Q. (2010). Adsorption of copper and nickel on Na-bentonite. *Process safety and environmental protection*, 88(1), 62-66.
- Nesakumar, N., Rayappan, J. B. B., Jeyaprakas, B. G., & Krishnan, U. M. (2012). Influence of pH on structural morphology of ZnO nanoparticle. *Journal of Applied Sciences*, 12(16), 1758-1761.
- Nguyen, N. V., Jeong, J., & Lee, J. C. (2013). Removal of chromium (VI) from the leachate of electronic scrap using non-ionic Amberlite XAD-7HP resin. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88(6), 1014-1022.
- Qiu, B., Xu, X. F., Deng, R. H., Xia, G. Q., Shang, X. F., & Zhou, P. H. (2019). Construction of chitosan/ZnO nanocomposite film by in situ precipitation. *International journal of biological macromolecules*, 122, 82-87.
- Queiroz, M. F., Teodosio Melo, K. R., Sabry, D. A., Sasaki, G. L., & Rocha, H. A. O. (2014). Does the use of chitosan contribute to oxalate kidney stone formation?. *Marine drugs*, 13(1), 141-158.
- Rajic, N., Stojakovic, D., Jovanovic, M., Logar, N. Z., Mazaj, M., & Kaucic, V. (2010). Removal of nickel (II) ions from aqueous solutions using the natural clinoptilolite and preparation of nano-NiO on the exhausted clinoptilolite. *Applied Surface Science*, 257(5), 1524-1532.
- Shamhari, N. M., Wee, B. S., Chin, S. F., & Kok, K. Y. (2018). Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles with small particle size distribution. *Acta Chimica Slovenica*, 65(3), 578-585.
- Snell, F. D., & Snell, C. T. (1959). *Colorimetric Methods of Analysis: Including Photometric Methods by Forster Dee Snell*. van Nostrand.
- Yedurkar, S., Maurya, C., & Mahanwar, P. (2016). Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using ixora coccinea leaf extract—a green approach. *Open Journal of Synthesis Theory and Applications*, 5(1), 1-14.