



Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich isotherms studies removal of silver from aqueous solution by the Mint extract

Mine YÜCEL *¹ Ersin YÜCEL²
ORCID: 0000-0002-6595-8231; 0000-0001-8274-7578

¹ İstanbul Technical University, Metallurgical and Materials Engineering Department, Maslak/İstanbul, Turkey

² Eskişehir Technical University, Faculty of Sciences, Department of Biology 26470 Tepebaşı Eskişehir, Turkey

Abstract

At this study, it is aiming to biosorption of the silver from low concentration leach solution that is extracted from the hydrometallurgical processes and the waste solution which includes silver ions by using the mint (*Mentha x piperita*) extracts. With the help of biological processes, it is also aimed to clean the waste water that is polluted with silver ions.

The study was actualized under four main title as preparing the biosorbent, preparing the adsorbent, making the biosorption experiments and interpret the findings. In order to analyze the balance properties at removing the silver ions from the liquid solutions, Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich isotherms are used.

As a result of the performed statistical assessments, the highest correlation coefficient is obtained from Temkin isotherm ($R^2= 0,9736$). It is followed by Dubinin-Radushkevich ($R^2= 0,9665$), Langmuir ($R^2= 0,9174$) and Freundlich ($R^2= 0,9163$) respectively. It is determined that the mint extract bond the silver ion with %99,48 efficiency. Per these results, it is seen that the mint extract shows high biosorption capacity for silver ions and it has usage potential for immobilisation the silver from waste solutions.

The results of the experiments shows that it is possible to recycle the silver ions that is in leach solutions or wastes which are considered economic lost by using mint extract. Also, since the silver is an important pollutant factor in solutions, it is determined that mint can be used as full natural cleaning method the industrial wastes that come out from ore processing.

Key words: biosorption, silver, isotherms, removal, equilibrium, *Mentha piperita*

----- * -----

Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich isotherms araştırmaları, Nane ektraktı ile gümüşün sulu çözeltilerden biyosorpsiyonu

Özet

Bu çalışmada Nane (*Mentha x piperita*) bitkisinden elde edilen ekstraktlar kullanılarak cevher işleyen hidrometalurjik proseslerden çıkan düşük konsantrasyonlu liç çözeltileri ile gümüş iyonları içeren atık çözeltilerden gümüşün biyosorpsiyonu amaçlanmıştır. Ayrıca araştırma konusu olan gümüş iyonları ile kirlenmiş atık suların biyolojik prosesler yardımıyla temizlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışma biyosorbentin hazırlanması, adsorbat hazırlanması, biyosorpsiyon deneylerinin yapılması ve bulguların yorumlanması olmak üzere dört ana başlık altında gerçekleştirilmiştir. Gümüş iyonlarının sıvı çözeltilerden uzaklaştırılmasında denge özelliklerini analiz etmek için Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izotermeleri kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonunda en yüksek korelasyon katsayısı Temkin izoterminden ($R^2= 0,9736$) elde edilmiştir. Temkin modelini, Dubinin-Radushkevich ($R^2= 0,9665$), Langmuir ($R^2= 0,9174$) ve Freundlich ($R^2= 0,9163$) ve modelleri izlemektedir. Nane ekstraktını sıvı çözeltilerden Gümüş iyonları %99,48

* Corresponding author / Haberleşmeden sorumlu yazar: Tel.: +902223350580; Fax.: +902223204910; E-mail: ebitki@gmail.com

verim düzeyinde bağladığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre Nane ekstraktının, gümüş iyonları için yüksek biyosorpsiyon kapasitesi göstermekte olup, gümüşün kirli çözeltilerden immobilizasyonu için kullanılabilme potansiyeli taşımaktadır.

Yapılan deneyler sonunda, liç çözeltilerinde veya atıklarda bulunan ve ekonomik kayıp olarak nitelenen gümüş iyonlarının Nane ekstraktı ile geri kazanımının mümkün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sıvı çözeltilerde bulunan gümüş önemli bir kirlilik unsuru olduğundan, cevher işleme süreçlerinde ortaya çıkan endüstriyel atıkların temizlenmesinde tamamen doğal biyolojik bir yöntem olarak nane kullanılabileceği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: biyosorpsiyon, gümüş, izoterm, giderme, denge, *Mentha x piperita*

1. Giriş

Gümüş (Ag); atom numarası 47 ve atom ağırlığı 107,87 g/mol ve özgül ağırlığı 10,5 g/cm³ olan bir elementtir. Gümüş; daha çok altın, bakır, civa ve diğer metallerle alaşımlar halinde veya saf olarak bulunur. En çok rastlanan filizleri; gümüş klorür (AgCl) ve argentit (Ag₂S) olmakla birlikte, arsenik veya antimonla karışmış sülfür filizleri de vardır.

Gümüş madenciliği Anadolu da antik dönemlerden günümüze kadar devam etmiştir. Amasya-Gümüşhacıköy ve Niğde-Bolkardağ gümüş madenciliğinin ilk yapıldığı yerlerdir. Günümüzde Türkiye'deki işletilen tek gümüş yatağı, Kütahya-Gümüşköy'dür. Türkiye'de birincil kaynaktan gümüş üretimi, Kütahya/Gümüşköy'de 1987 yılında kurulan tesislerde (Eti Holding Gümüş A.Ş.) yapılmaktadır. Bu tesis, % 99,9 saflıkta 85 ton/yıl gümüş üretmektedir [1]. Ayrıca Rize-Çayeli ve Kastamonu-Küre-Aşıköy bölgesinde bakır üretiminin yan ürünü olarak gümüş elde edilmektedir.

Gümüş'ün elektronik, takı süs eşyası yapımı, çeşitli alaşımlar, dişçilik, bilgisayar röle kontaklarında, ayna sırlarının yapımında, pil yapımı, kaplama, fotoğrafçılık, bazı ilaçların yapımında ve metal alaşımların hazırlanmasında kullanılır. Ayrıca saf gümüş, boyalar, asetik asit, ve toz halinde, cam ve ahşabı elektrik iletkeni yapmak için yeni seramik tipi kaplama işlerinde kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde gümüş, civa ve kalay ile birlikte amalgam adı verilen restoratif bir materyal olarak kullanılmaktadır. Gümüş tüm bu faydalı kullanım biçimlerine karşın insan, hayvan, bitki ve mikroorganizmalarda kronik ve akut gümüş toksisitesine neden olmaktadır [2, 3].

Gümüş üretimi, genel olarak, cevherdeki gümüşün anyonik siyanür kompleksleri halinde çözündürülerek sulu faza özütleme (liç) ve sulu fazdan kazanılması proseslerini kapsamaktadır. Siyanürleme sonucu katı fazdan sıvı faza özütleme gümüşün sıvı fazdan geri kazanımı, gümüş derişimlerine ve çözünme kinetiklerine bağlı olarak, CIP (Carbon In Pulp), CIL (Carbon In Leach) ve CIC (Carbon In Column) gibi aktif karbona yüzey soğurma (adsorption) ve geri sıyırma (Desorption) işlemleriyle ön zenginleştirmeden sonra veya doğrudan çinko tozu ile çöktürme veya elektroliz (electrowinning) ve ergitme yoluyla gerçekleştirilmektedir [1, 4]. Uygulanan bu üretim prosesleri sonucu toz, asidik sular, gümüş iyonu salımı gibi sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu süreçlerde kullanılan sular, kullanılan kimyasal çözücüler, askıda katı maddeleri ve düşük düzeyde çözülmüş gümüş iyonlarını içerebilir. Sularda bulunan metallerin artırılarak izin verilebilir sınır değerler seviyesine düşürülmesi çevre sağlığı bakımından büyük önem taşımaktadır [3]. Metallerin elde edilmesinde kullanılan proseslerin çevre kirliliğine neden olması nedeniyle son yıllarda Biyoliç (Biyohidrometalurjik) yöntemi kullanılmaya başlanmıştır [5, 6]. Biyo-hidrometalurjik proseslerin daha az enerjiye ihtiyaç duyması, ayrılma seviyesinin iyi olması, geri kazanılan ürünlerin saflık derecesi yüksek olması gibi avantajları bulunmaktadır [7].

Bu çalışmada Gümüş içeren cevherlerin saflaştırılması veya ikincil ürünlerden geri kazanılması sürecinde endüstriyel atık sularda bulunan Gümüş iyonlarının nane ekstraktı ile doğal yolla, insan ve çevre sağlığına zarar vermeyecek bir şekilde geri kazanılması amaçlanmıştır.

2. Materials and methods

Çalışma dört işlem basamağından oluşmaktadır.

2.1. Biyosorbentin hazırlanması

Nane (*Mentha x piperita*) yaprakları laboratuvar koşullarında kurutulup öğütüldükten sonra total bitki ekstraktı çıkartılmıştır. Rotary evaporator'de filtrat konsantre edilerek liyofilize hale getirilmiştir. Deneyler için kullanılmak üzere, +4°C' de steril buzdolabı ortamında saklanmıştır. Biyosorbent miktarının biyosorpsiyondaki etkisini belirlemek için, 0.6, 1.6 ve 1.8 mg L⁻¹ miktarlarda liyofilize nane ekstraktı biyosorbent olarak kullanılmıştır.

2.2. Adsorbat

Biyosorpsiyon testleri için ticari olarak temin edilebilen Gümüş (I) iyon tuzları kullanılmıştır. İyonize su (4H₂O) ile 100 mg/L Gümüş stok çözeltiler hazırlanarak cam şişelere konmuş, deneylerde kullanılmak üzere +4°C' de steril ortamda muhafaza edilmiştir.

2.3. Batch experiments

Biyosorpsiyon deneyleri için 100 mL'lik ependorf tüp içine önceden hazırlanmış olan gümüş iyonlarını içeren stok çözeltilerden 50 ml konmuştur. Daha sonra ependorf tüplere farklı miktarlarda (0.6 mg, 1,6 mg ve 1.8 mg) liyofilize nane ekstraktı biyosorbent olarak ilave edilmiş, Ependorf tüpler 6000 rpm'de 80 dakika santrifüj edilmiş, dipte oluşan koyu renkli çökelti tüp içinde bırakılmış, üstte kalan sıvı kısım yeni tüpe aktarılmıştır. Yeni tüpe aktarılan sıvı ICP (Inductively Coupled Plasma) Spektroskopisi kullanılarak sıvıdaki kalıntı metal iyonu miktarı belirlenmiştir.

2.4. Biosorption isotherm models

The Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich isotherm models were employed to describe the uptake of **Ag** ions by *Mint* ekstrakt. Isotherm and correlation coefficients (R^2) were calculate from linearized equations of these isotherms in Microsoft Excel program [8, 9].

Langmuir isotherm

$$qe / q_{max} = KLCe / (1 + KLCe)$$

Freundlich isotherm

$$qe = KF Ce^{1/n}$$

Temkin isotherm

$$qe = B \ln A + B \ln Ce$$

$$B = RT/bt$$

Dubinin-Radushkevich isotherm

$$\ln qe = \ln qm - \beta \varepsilon^2$$

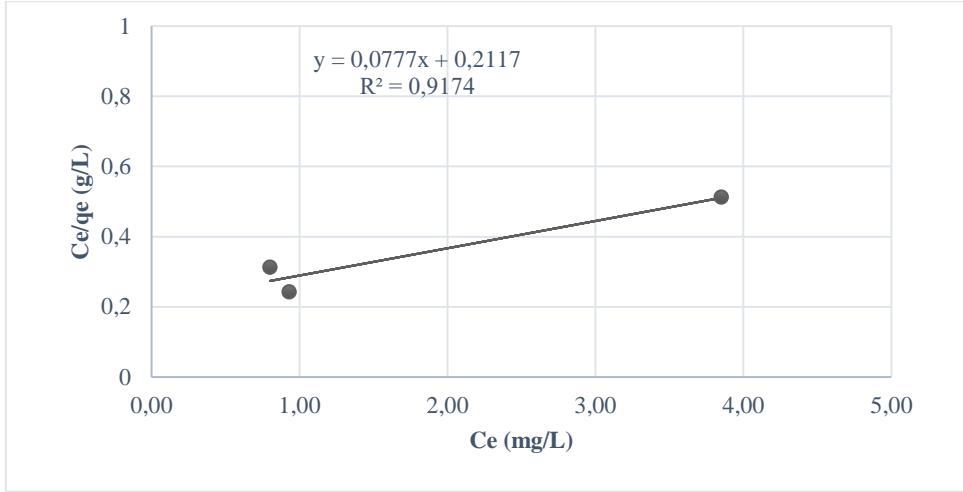
$$\varepsilon = RT \ln(1 + 1/ce).$$

3. Bulgular

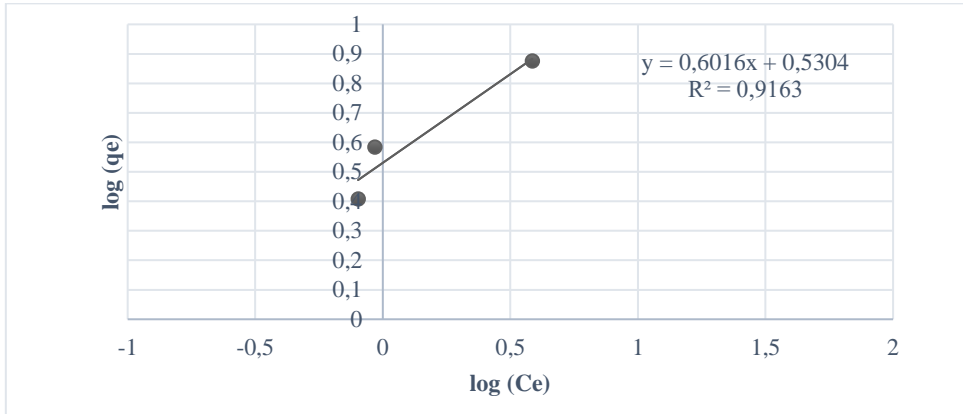
Gümüş metal iyonlarının sıvı çözeltilerden Nane ekstraktı ile biyosorpsiyonuna yönelik yapılan bu çalışmada başlangıç biyosorbent miktarı ve biyosorpsiyon parametreleri araştırılmış ve elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Yapılan deneylerde biyosorbent miktarının artışına bağlı olarak biyosorpsiyon miktarında doğrusal yönde bir artış olmuştur. Nane ekstraktı ile suda bulunan, Ag iyonlarını % 99,48 oranında geri kazanım sağladığı belirlenmiştir. Gümüş iyonlarının tamamına yakınının sıvılardan geri kazanılacak olması, bu sektördeki ekonomik kayıpların önlenmesi ve çevre sağlığı için büyük önem taşımaktadır.

Gümüş iyonlarının sorpsiyonunun denge özelliklerini analiz etmek için Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izotermleri kullanılmıştır. Sorbent miktarı 0,6; 1,2 ve 1,8 g olarak değiştirildiğinde izoterm modelleri tarafından elde edilen grafikler Şekil 1-4'de; tüm sabitler ve R^2 değerleri Tablo 1'de verilmiştir. En yüksek korelasyon katsayıları (R^2 değeri), gümüş uzaklaştırması için Langmuir izoterminden elde edilmiştir. Biyosorpsiyon verilerine göre Langmuir modelinin Freundlich modelinden daha uygun olduğu görülmektedir. Bu sonuç, liyofilize edilmiş nane ekstraktının gümüş giderimi için homojen biyosorpsiyon yolunu izlediğini göstermektedir.

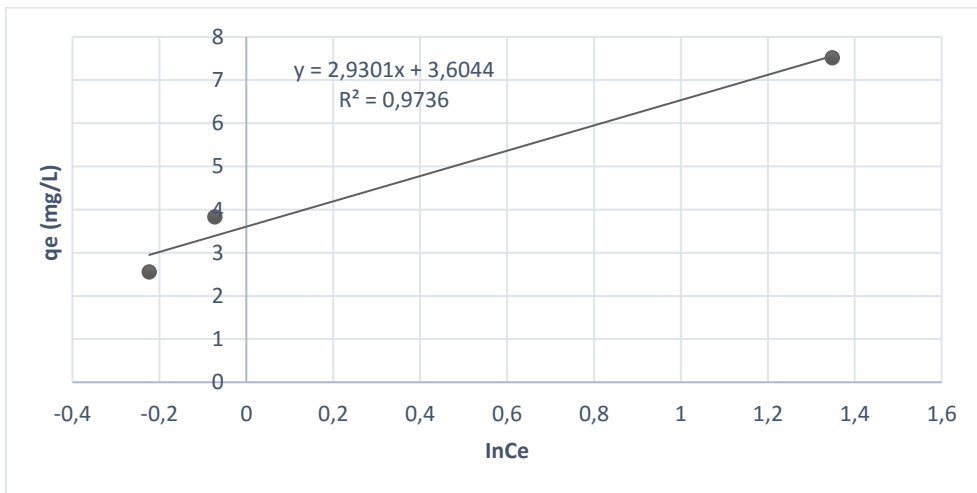
Temkin izotermi korelasyon katsayıları, Dubinin-Radushkevich izotermi katsayılarına göre daha yüksektir. Dubinin-Radushkevich izotermi için, ε değeri 8-16 kJ/mol arasında olması ve kimyasal biyosorpsiyonun, 8 kJ/mol'den daha az olması fiziksel biyosorpsiyonun gerçekleştiğini göstermektedir (Tablo 1). Dubinin-Radushkevich izoterminin korelasyon katsayıları düşük olduğu için deneysel verilere iyi uymadığı belirlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca, hesaplanan ε değeri de fiziksel biyosorpsiyonun gerçekleştiğini göstermesi bakımından önemlidir.



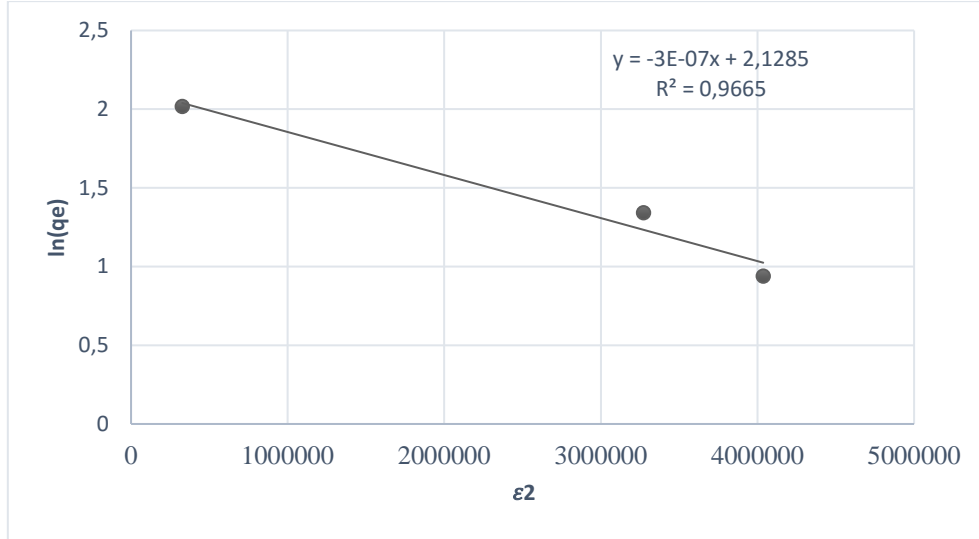
Şekil 1. Gümüşün *Mentha x piperita* ekstractı ile Langmuir modeli biyosorpsion izotermi



Şekil 2. Gümüşün *Mentha x piperita* ekstractı ile Freundlich modeli biyosorpsion izotermi



Şekil 3. Gümüşün *Mentha x piperita* ekstractı ile Temkin modeli biyosorpsion izotermi



Şekil 4. Gümüşün *Mentha x piperita* ekstraktı ile Dubinin–Radushkevich modeli biyosorpsiyon izotermi

Tablo 1. Gümüşün *Mentha x piperita* ekstraktı ile biyosorpsiyonu için Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin - Radushkevich modelinin izoterm sabitleri

Model	Parametreler	Ag
Langmuir modeli	R ²	0,9174
	q _{max} (mg/g)	12,8700
	KL (L/mg)	0,367028814
Freundlich modeli	R ²	0,9163
	n	1,6622
	KF	3,3916E+00
Temkin modeli	R ²	0,9736
	B	2,9301
	bt (J/mol)	0,001183
	A (L/g)	3,42167
Dubinin–Radushkevich modeli	R ²	0,9665
	q _m (mg/g)	8,402254
	β (mol ² /kJ)	3,00E-07
	E (KJ/mol)	1,290994

4. Sonuçlar ve tartışma

Türkiye’de yıllık 200 ton civarında gümüş kullanılmakta olup, bunun yaklaşık % 30’u Eti Holding Gümüş İşletmesi tarafından karşılanmaktadır. Resmi rakamlara göte ortalama 20 ton civarında gümüş ithalatı yapılmaktadır. Ayrıca tamamı ithal edilen röntgen filmlerindeki gümüşün değerlendirilmesi, hurda gümüş dönüşü, gümüş ithalatı ve gayri resmi gümüş girişi yıllık gümüş arzını oluşturmakta; gümüş üretimi Türkiye’de 85 ton/yıl, dünyada ise 16378,4 ton/yıl olarak bildirilmektedir [1]. Buna göre birincil ve ikincil kaynaklarda önemli miktarda gümüş üretimi yapılmaktadır.

Gümüş çevre kirliliğine neden olduğu bilinen ağır metallere biridir [2]. İnsanlar gümüşe dermal, radyografik ve fotografik malzeme, diş amalgamı, gıda, su ve ilaçlar ile gümüş içeren ürünlerin kullanımı yoluyla maruz kalabilir. Gümüş insanlarda aşırı duyarlılık reaksiyonları, astım, kronik bronşit, tekrarlayan akıntular, karın ağrısı, deri ve göz yanması, gece görüşünde azalma gibi toksik ve akut zehirlenmelere neden olur. [10, 11]. Yerleşim yerlerinin atık sularında çeşitli patojenler ve hastalık etmeni mikroorganizmalar bulunmaktadır. İnsan veya hayvanlar tarafından idrar ve dışkı ile sulara atılan patojenler iyi yıkanmamış gıdalarla insanlara taşınmaktadır. Bu nedenle evsel ve endüstriyel atık suların yeterince arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmesi insan sağlığı açısından büyük riskler taşımaktadır. Nane uçucu yağının antimikrobiyal [12, 13] ve antioksidan [14] etkisinin olduğu yapılan bilimsel çalışmalar sonucuna göre açıkça kanıtlanmıştır [15]. Buna göre nane ekstraktı aynı zamanda kirli suların biyolojik olarak arıtılma potansiyeli de taşımaktadır.

Yapılan çalışmalar sonunda biyosorpsiyon verilerinin, Langmuir modelinin Freundlich modelinden daha uygun olduğunu göstermiştir. Buna göre, liyofilize edilmiş nane ekstraktının gümüş giderimi için homojen biyosorpsiyon yolunu izlediğini göstermektedir. Ayrıca Temkin izotermi modelinin Dubinin-Radushkevich izotermine göre daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada sulu bir çözeltilen gümüş iyonlarının maksimum çıkarılması için seçilebilir girdi parametreleri; biyosorbent 0.6 mg, 1,6 mg, 1.8 mg; pH 6.0; 25°C sabit sıcaklık; 180 dakika kontak zaman ve 6000rp santrifüj hızı kullanılmıştır. Ancak yapılacak yeni çalışmalarla adsorbat ile biyosorbent arasındaki biyosorpsiyon sürecinde değişik girdi parametreleri (temas süresi, pH, sıcaklık, biyosorbent miktarı vd.) kullanılarak yeni sonuçlar elde edilebilir.

Gümüş üretimi, genel olarak, cevherdeki gümüşün anyonik siyanür kompleksleri halinde çözündürülerek yapılmaktadır. Siyanürün çevresel, teknik ve ekonomik zorlukları göz önüne alınarak alternatif reaktif sistemleri üzerine uzun yıllardır çok sayıda çalışma yapılmıştır [16, 17, 18, 19]. Ancak yeni bir yöntem olarak nane ekstraktının kullanıldığına ilişkin yapılmış bir araştırmaya rastlanmamıştır.

Sonuç olarak; *Mentha x piperita* bitkisinden elde edilen ekstraktlar kullanılarak, düşük konsantrasyonlu liç çözeltilerinden gümüş iyonlarının geri kazanımının mümkün olduğu belirlenmiştir. Gümüş iyonlarını içeren suların kimyasal olarak arıtılmasına yönelik, zararlı etkisi olmayan tamamen doğal bir reaktif olarak Nane bitkisinden elde edilen ekstraktların kullanılabilmesi saptanmıştır. Ayrıca arıtma sistemlerinde, kirli suların fiziksel kimyasal ve biyolojik olarak arıtılması ve koku kirliliğinin önlenmesi için ekolojik bir çözüm olarak, nane ekstraktının kullanımı mümkündür.

Acknowledgements

Bu araştırma KOSGEB Eskişehir Müdürlüğü tarafından Araştırma-Geliştirme, İnovasyon Ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı kapsamında (PROJE NO: 2015/23) desteklenmiş olup, desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

References

- [1] Anonim 2001, Madencilik ÖİK Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Değerli Metaller Çalışma Grubu Raporu DPT: 2623 - ÖİK: 634, 34 s, Ankara.1763-1766.
- [2] Bianchini, A., Grosell, M., Gregory, S. M., & Wood, C. M. (2002). Acute silver toxicity in aquatic animals is a function of sodium uptake rate. *Environmental science & technology*, 36(8),
- [3] Prabhu, S., & Poulouse, E. K. (2012). Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International nano letters*, 2(1), 32.
- [4] Kawatra S. K., & Natarajan K. A. 2001. Mineral Biotechnology, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Vol. 263.
- [5] Lewis, G., Gaydardzhiev, S., Bastin, D., & Bareel, P. F. (2011). Bio hydrometallurgical recovery of metals from Fine Shredder Residues. *Minerals Engineering*, 24(11), 1166-1171.
- [6] Abdel-Ghani, Nour T., & Ghadir A. El-Chaghaby. (2014). "Biosorption for metal ions removal from aqueous solutions: a review of recent studies." *Int J Latest Res Sci Technol* 3.1: 24-42.
- [7] Jadhav, U. U., & Hocheng, H. (2012). A review of recovery of metals from industrial waste. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 54(2), 159-167.
- [8] Dada, A. O., Olalekan, A. P., Olatunya, A. M., & Dada, O. (2012). Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of Zn²⁺ unto phosphoric acid modified rice husk. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 3(1), 38-45.
- [9] Balarak, D., Mostafapour, F. K., Azarpira, H., & Joghataei, A. (2017). Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of ampicilin unto montmorillonite nanoparticles. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 1-9.
- [10] Faust, R. A. (1992). Toxicity summary for silver. *Chemical Hazard Evaluation and Communication Group. Biomedical and Environmental Information Analysis Section Health and Safety Research Division. Oak Ridge Reservation Environmental Restoration Program. Tennessee.*
- [11] Yücel, M., & Yücel, E. 2013. On the ecotoxicological effects of heavy metal pollution of industrial origin determination of wheat varieties" *Biological Diversity and Conservation*,6/3 6-11.
- [12] Tyagi, A. K., & Malik, A. 2011. Antimicrobial potential and chemical composition of *Mentha piperita* oil in liquid and vapour phase against food spoiling microorganisms. *Food Control*, 22(11), 1707-1714.
- [13] Iscan, G., Kirimer, N. E. S. E., Kürkcüoğlu, M., Baser, H. C., & Demirci, F. 2002. Antimicrobial screening of *Mentha piperita* essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 3943-3946.
- [14] Dorman, H. D., Kosar, M., Kahlos, K., Holm, Y., & Hiltunen, R. 2003. Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha* species, hybrids, varieties, and cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4563-4569.
- [15] Yadegarinia, D., Gachkar, L., Rezaei, M. B., Taghizadeh, M., Astaneh, S. A., & Rasooli, I. 2006. Biochemical activities of Iranian *Mentha piperita* L. and *Myrtus communis* L. essential oils. *Phytochemistry*, 67(12), 1249-1255.

- [16] Ahlatcı, F., Celep, O., & Deveci, H. 2017. Tiyosülfat İle Altın Ve Gümüş Liçinin Temelleri–Bölüm I. Bilimsel Madencilik Dergisi, 56(3), 117-130.
- [17] Aylmore, M.G., 2016. Thiosulfate as an Alternative Lixiviant to Cyanide for Gold Ores. In: M.D. Adams (Ed.), Advances in Gold Ore Processing. Elsevier Science, 485-523.
- [18] Gorain, B.K., Kondos, P.D., & Lakshmanan, V.I., 2016. Innovations in Gold and Silver Processing. In: V.I. Lakshmanan, R. Roy and V. Ramachandran (Eds.), Innovative Process Development in Metallurgical Industry. Springer, 393-428.
- [19] Puente-Siller, D. M., Fuentes-Aceituno, J. C., & Nava-Alonso, F. (2017). An analysis of the efficiency and sustainability of the thiosulfate-copper-ammonia-monoethanolamine system for the recovery of silver as an alternative to cyanidation. *Hydrometallurgy*, 169, 16-25.

(Bu çalışma “3th International Congress On Plant Science And Technology. 18-20 December 2019. Afyon-Turkey” de sözlü bildiri olarak sunulmuştur.)

(Received for publication 17 October 2017; The date of publication 15 December 2019)