

TAGUCHİ DENEY TASARIMI KULLANILARAK UÇUCU KÜL İLE Nİ (II) GİDERİMİNDE BAZI ADSORPSİYON PARAMETRELERİNİN ETKİNLİĞİNİN İRDELENMESİ

Hüseyin SERENCAM¹ (ORCID: 0000-0001-8893-8914)*
Metin UÇURUM² (ORCID: 0000-0002-0725-9344)

¹Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

Geliş / Received: 24.04.2018

Kabul / Accepted: 13.06.2018

ÖZ

Bu çalışmada, önemli bir sanayi artığı olan Uçucu Külün, toksik bir ağır metal iyonu olarak bilinen Nikel (II)'in sulu çözeltiden adsorpsiyonunda rol oynayan önemli parametrelerden pH, ilk metal konsantrasyonu ve adsorpsiyon süresi Taguchi deney tasarımı kullanılarak optimize edilmiştir. Adsorpsiyon deneyleri, L₉ ortogonal dizaynına göre 9 adet deney yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde varyans analizi ve sinyal/gürültü oranı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi uzaklaşma verimi (%); pH 6'da, 180 ppm giriş konsantrasyonunda ve 30 dakika adsorpsiyon süresinde elde edilmiştir. Bu çalışma ile birlikte, Taguchi deney tasarımının adsorpsiyon çalışmaları için oldukça uygun bir deney tasarım metodu olduğu ve uçucu külün sulu çözeltilerden ağır metal (nikel) gideriminde adsorplama kabiliyetinin iyi olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, Ağır Metaller, Uçucu Kül, Taguchi Deney Tasarımı

PERFORMANCE EVALUATION OF ADSORPTION PROPERTIES FOR Ni(II) REMOVAL WITH FLYING ASH USING TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN

ABSTRACT

In this study, the pH, initial metal concentration and adsorption duration properties of a well-known industry surplus flying thunder were optimized using Taguchi experiment design for the adsorption of Nickel (II) ions which is known as a toxic heavy metal from aqueous solution. 9 adsorption experiments were conducted based on design of L₉ orthogonal. In order to evaluate the performance results, analysis of variance and signal/noise ratio techniques were used. The results tell us that the best divergence efficiency is achieved at pH 6 with input concentration of 180 ppm and 20-minute adsorption duration. Taguchi experiment design is shown to be an efficient method for adsorption studies. Also, the flying thunder has a good performance for adsorption ability of heavy metal removal from aqueous solution.

Keywords: Adsorption, Heavy Metals, Fly ash, Taguchi Experimental Design

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 458 211 11 53 ; e-mail / e-posta: h.serencam@hotmail.com

TAGUCHİ DENEY TASARIMI KULLANILARAK UÇUCU KÜL İLE Ni (II) GİDERİMİNDE BAZI ADSORPSİYON PARAMETRELERİNİN ETKİNLİĞİNİN İRDELENMESİ

1. GİRİŞ

Ağır metal iyonlarının organizmalarda birikme eğilimine sahip olmalarından dolayı, ekotoksikolojik tehlike olarak kabul edilmiş ve sağlık açısından bu risk günümüzde önemli hale gelmiştir [1]. Ağır metaller organizmaya girdiğinde besin mineralleri ile yarışma haline girerek sağlığa yararlı minerallerin emilimlerini engeller. Yenilen gıdalar için bir filtrasyon sistemi olmadığı için, vücuda alınmadan önce toksik metal miktarını en düşük seviyeye düşürmek elzemdir [2, 3]. Birçok metalin besin değeri tespit edilmesine rağmen, nikelin insan sağlığına faydası henüz tespit edilememiştir. Nikelin alerjik özelliklerine ek olarak, karsinojenik etki gösterdiği de yaygın olarak bilinmektedir [4].

Endüstriyel işlemlerde de kullanılan ağır metaller, atık sularında çözünmüş halde bulunur. Atık sularındaki ağır metaller sadece insan sağlığına değil, çevreye de zarar verir [5, 6]. Her iki zararın etkisi düşünüldüğünde, arıtma işlemlerinin ne derece önemli olduğu sonucuna varılır. Ağır metallerin çok düşük miktarlarda bile çevrede bulunması çeşitli hastalıklara ve hatta ölümlere bile neden olur [7].

Metal işleme, boya, kaplama, seramik ve motorlu araç üretimlerinin atık sularında bulunan nikel iyonlarına; pil, buji ve para üretiminde de sıkça rastlanır. İnsan sağlığına ve çevreye olan zararı düşünüldüğünde, nikelin ve diğer toksik metallerin atık suların uzaklaştırılması için çeşitli fiziksel, kimyasal ve hatta biyolojik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu yüksek maliyet içermekte ve çoğu endüstriyel işlemde olduğu gibi çevresel atıklar oluşturmaktadır. Adsorpsiyon tekniği ise, atık suların arıtımında diğer birçok yöntemlere nazaran düşük maliyetli ve çevresel etkisi düşük olması sebebiyle tercih edilen bir yöntemdir [8, 9]. Yaygın olarak kullanılan adsorpsiyon tekniği, fazlar arasındaki ara yüzeylerde gerçekleşen bir tutunma olayıdır. Adsorpsiyon gibi ağır metal gideriminde kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 1’de ayrıntılarıyla verilmiştir [10, 11].

Çevresel numunelerdeki nikel iyonlarının düşük konsantrasyonlarda bulunmasından dolayı bu iyonların tespiti için güvenilir ve hassas tekniklere ihtiyaç vardır. Mikro plazma atomik emisyon spektrometresi (MP-AES); çeşitli çevresel numunelerde ve su örneklerinde eser ve toksik elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılan hızlı, seçici, hassas ve düşük maliyetli bir tekniktir [12-15].

Yaygın olarak kullanılan aktif karbon, silikajel ve alümina gibi adsorbent türlerinin yanında bilim insanları yeni adsorbentler ile çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmada kullandığımız, ufak taneli ve gri renkteki uçucu kül kimyasal kompozisyon açıdan SiO₂, CaO, Fe₂O₃ ve MgO’ın yer aldığı bileşiklerden oluşmaktadır. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir [16].

Bu çalışmada; uçucu kül kullanılarak Nikel (II) iyonları adsorpsiyonunda rol oynayan pH, ilk metal konsantrasyonu ve adsorpsiyon süresi parametrelerinin etkinliği Taguchi deneysel tasarım tekniği yardımıyla araştırılmıştır.

Tablo 1. Geleneksel metal uzaklaştırma yöntemleri ile bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları [10, 11]

Metot	Avantaj	Dezavantaj
Kimyasal çöktürme ve filtrasyon	Basit, ucuz	Yüksek konsantrasyonlarda zor ayrılma, etkin değil Atık çamur oluşumu
Elektrokimyasal yöntemler	Metali geri elde etme	Pahalı olması, sadece yüksek konsantrasyonlarda
Kimyasal oksidasyon ve indirgenme	İnaktivasyon	Ortam hassasiyeti
İyon değişimi	Etkin arıtım ve saf atık metalin geri kazanımı	Partiküllere hassas ve reçinelerin pahalı olması
Buharlaştırma	Saf atık elde etme	Fazla enerji gereksinimi, pahalı olması, atık çamur oluşumu
Ters osmos	Geri dönüşüm için saf atık eldesi	Yüksek basınç, membran boyutu, pahalı olması
Adsorpsiyon	Sorbentlerin aktif karbon kullanımı	Tüm metaller için uygulanamaması

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada adsorbant olarak Afşin–Elbistan uçucu külünden yararlanılmıştır. Uçucu külün kimyasal analizi Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada adsorbant olarak kullanılan uçucu külün kimyasal olarak %23,08 SiO₂, %6,25 Al₂O₃, %47,03 CaO, %1,60 MgO, %2,58 Fe₂O₃ ve %3,95 kızdırma kaybına sahip olduğu yapılan XRF analizi sonucu belirlenmiştir. Ayrıca uçucu külün tane boyunun ise d₉₀ bazında 45 µm olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Nikel stok çözeltisinin hazırlanmasında Merck firmasının üretmiş olduğu saf NiSO₄.6H₂O bileşiği kullanılmıştır. Bu amaçla, 105 °C etüvde 2 saat kurutulmuş ve deiyonize saf su ile çözülerek nikel iyonu derişimi 1000 ppm olan stok çözelti hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan çözeltilerinin pH ayarları, seyreltik HNO₃ ve NaOH çözeltileri ile JENCO markalı 6173 model pH metre ile yapılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri, oda sıcaklığında ISOLAB marka 613.01.001 model marka manyetik karıştırıcıda 1000 rpm’de gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon testlerinde 1 g uçucu kül ve 100 mL metal çözeltisi kullanılmıştır. Ağır metal çözeltilerinin adsorpsiyon öncesi ve sonrasındaki Ni (II) iyonu derişimleri Agilent firmasının 4200 model mikro plazma atomik emisyon spektrometresi (MP–AES) ile belirlenmiştir. Metal uzaklaşma verimi ise Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Uçucu külün XRF değerleri

Bileşik	%
SiO ₂	23,08
Al ₂ O ₃	6,25
Fe ₂ O ₃	2,58
CaO	47,03
MgO	1,60
SO ₃	14,61
K ₂ O	0,47
Na ₂ O	0,32
Kızdırma Kaybı	3,95

$$Uzaklaşma\ verimi(\%) = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (1)$$

C_o: İlk metal konsantrasyonu (ppm), C_e: Adsorpsiyon sonrası metal konsantrasyonu (ppm)

Deney tasarım ve analiz yöntemi olarak Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin ana basamakları, (1) faktör ve etkileşimlerin belirlenmesi, (2) her bir faktörün seviyelerinin belirlenmesi, (3) uygun orthogonal matrisin seçilmesi, (4) faktör ve etkileşimlerin orthogonal matrislerin sütunlarına aktarılması, (5) deneylerin yapılması, (6) verilerin analizi ve optimal seviyelerin belirlenmesi, ve (7) doğrulama deneylerinin yapılmasıdır [17, 18]. Taguchi tekniğiyle adsorpsiyonda etkin bazı parametreler ve seviyelerinin belirlenmesinde Tablo 3’de verilen parametreler ve seviyeleri kullanılmıştır.

Tablo 3. Parametreler ve seviyeleri

Parametre Kodu	Parametre	Birimi	Seviye		
			1	2	3
A	pH	-	4	5	6
B	İlk Metal Konsantrasyonu	ppm	60	120	180
C	Adsorpsiyon Süresi	dak.	30	45	60

Deney parametreleri ve seviyeleri belirlendikten sonra deney desenin çıkarılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla MatLab programından yararlanılarak 3 parametrelili üç seviyeli Taguchi deney tasarımı L₉ (3³) çıkarılarak Tablo 4’de verilmiştir. Ortaogonal diziler Latin karelerden türetildiği için Latin kareyi ifade eden L harfi ile tanımlanırlar. Ana faktör etkilerinin yanı sıra etkileşimli faktörler de söz konusu oluyorsa bunu dikkate alarak

TAGUCHİ DENEY TASARIMI KULLANILARAK UÇUCU KÜL İLE Ni (II) GİDERİMİNDE BAZI ADSORPSİYON PARAMETRELERİNİN ETKİNLİĞİNİN İRDELENMESİ

uygun bir dizi seçmek gerekir. Ortogonal diziler L_{AB^c} şeklinde gösterilirler. Burada L Latin kareyi, A deney sayısını, B faktör seviyelerini, c ise ortogonal dizideki kolon sayısını göstermektedir [19].

Tablo 4. $L_9(3^3)$ için ortogonal deney planı

Deney no	Parametreler		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Deneylelerden elde edilen uzaklaşma verim (%) sonuçları sinyal/gürültü oranına (S/N) çevrilerek değerlendirme yapılmıştır. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılmayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir. O halde S/N oranındaki gürültü faktörlerini ifade eden N değeri ne kadar küçük olursa istenen hedef değere o kadar yaklaşmış olur. Yani bu analizde amaç S/N oranının maksimize etmektir. Literatürde pek çok S/N oranı bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada Nussetl için “en büyük en iyi” (2) kriteri kullanılmıştır [20].

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{f=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

(2)

burada Y_i performans karakteristik değerini (Nusselt sayısı), n ise Y değerlerinin sayısını ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

L_9 Taguchi deney tasarımı kullanılarak yapılan deneysel çalışmanın faktörlerinin seviyeleri, yapılan adsorpsiyon deneylerinden elde edilen uzaklaşma verim (%) sonuçları ve sinyal/gürültü (S/N) oranları Tablo 5’de verilmiştir. Bu çalışmanın amacı en yüksek adsorpsiyon uzaklaşma verimi (%) değerini elde etmektir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak “en büyük en iyidir” yaklaşımı kullanılmıştır.

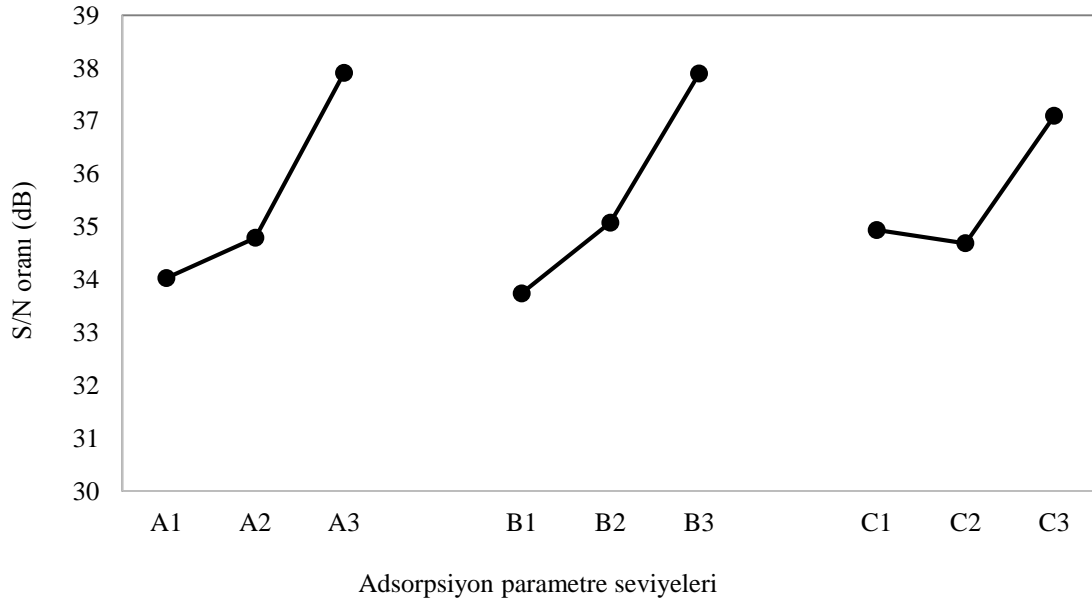
Tablo 5. L_9 deney tasarımı ile uzaklaşma verimi (%) ve S/N (dB) değerleri

Deney No	pH	Parametreler		% Uzaklaşma Verimi	S/N (dB)
		İlk Metal Konsantrasyonu	Adsorpsiyon Süresi		
1	1	1	1	37,82	31,55
2	1	2	2	48,43	33,70
3	1	3	3	69,42	36,83
4	2	1	2	35,62	31,03
5	2	2	3	61,72	35,81
6	2	3	1	75,22	37,53
7	3	1	3	85,61	38,65
8	3	2	1	61,18	35,73
9	3	3	2	92,82	39,35
Ortalama				63,09	35,58

Tablo 2'deki deney tasarımından faydalanarak ve Denklem 1'in kullanılmasıyla elde edilen S/N oranlarının her bir seviye için elde edilen ortalamaları Tablo 6 ve Şekil 1'de verilmiştir. Parametrelerin optimum seviyeleri her zaman için S/N oranının en büyük olduğu seviyelerde gerçekleşmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi; pH parametresinin üçüncü seviyesi olan 6 (A3), ilk metal konsantrasyonunun üçüncü seviyesi olan 180 ppm (B3) ve ve adsorpsiyon süresinin yine üçüncü seviyesi olan 60 dak. (C3) değerlerinin bu deney tasarımı için optimum tasarım parametreleri olduğu görülmüştür (A3B3C3).

Tablo 6. Parametrelerin S/N (dB) cinsinden seviye etkinlik değerleri

Parametre	Seviye		
	1	2	3
pH	34,05	34,77	37,96
İlk Metal Konsantrasyonu (ppm)	33,74	35,08	37,90
Süre (dak.)	34,91	34,69	37,12



Şekil 1. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi

Deney sonuçlarının analizi ile elde etmiş olduğumuz S/N oranları kullanılarak gerçekleştirilen varyans analizleri neticesinde; parametrelerin Adsorpsiyon verimi üzerindeki etkileri tespit edilmektedir. (Tablo 7). Varyans analizinde hedeflenen, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerini ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını ortaya koyabilmektir. Bunun yanı sıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir. Bu amaçla öncelikle denklem 3'e göre sinyal/gürültü oranının toplam değişkenliğini belirten SST değeri (toplam karelerin toplamı) hesaplanır.

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m)^2 \quad (3)$$

η_i = ölçülen kesme kuvvetleri üzerinden hesaplanan sinyal/gürültü oranı,

η_m = ölçülen kesme kuvvetleri üzerinden hesaplanan sinyal/gürültü oranlarının ortalaması,

n = toplam deney sayısı)

SST değeri üç faktörün ayrı ayrı her faktörün karelerinin toplamı değerleri (SSA, SSB ve SSC) ile hata payının karelerinin toplamı olan SSe değerinin toplamından oluşmaktadır. Her faktörün karelerinin toplamının denklem 4 yardımıyla ayrı ayrı hesaplanması sonucu ortaya çıkan değerler Tablo 5'te gösterilmiştir.

TAGUCHİ DENEY TASARIMI KULLANILARAK UÇUCU KÜL İLE Ni (II) GİDERİMİNDE BAZI ADSORPSİYON PARAMETRELERİNİN ETKİNLİĞİNİN İRDELENMESİ

$$SS_A = \sum_{i=1}^{k_A} \left[n_{A_i} * (\eta_{A_i} - \eta_m)^2 \right] \tag{4}$$

kA = A faktörünün seviye sayısı,
 nAi = A faktörünün i seviyesindeki deney sayısı,
 ηA = A faktörünün i seviyesindeki S/N oranı,
 ηm = ortalama S/N oranı)

Bir sonraki adımda ise her deney faktörünün deney sonuçlarını ne ölçüde etkilediğini gösterebilmek için F-Testi adı verilen hesaplama yapılır. F-Testinde toplam karelerin toplamındaki her bileşen için karelerin toplamı değeri o faktörün serbestlik derecesine bölünür ve ortalama karelerin toplamı değeri belirlenir. F değeri ortalama karelerin toplamı değerinin hata değerinin ortalama karelerin toplamına bölünmesi ile bulunur [21].

Her bir parametreye ait F_{Hesap} elde edildikten sonra bu parametrelerin etkin olup olmadıkları F tablosu kullanılarak ortaya konulmaktadır. Üzerinde çalışılan söz konusu çalışma için hesaplanan F değerinin %95 güvenilirlik seviyesi her bir faktör için serbestlik derecesi 2 hata terimi için ise 2 olmak üzere F tablosundan alınan kritik F_{0,05;2;9} değeri ile karşılaştırılması, hedeflenen %95’lik güvenlik seviyesinin sağlanıp sağlanmadığını ortaya koymaktadır. F Tablodan alınan F_{0,05;2;9} değeri ise 4,256 olup bu değerden büyük olan parametreler Etkin olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma için pH ve ilk metal konsantrasyonu parametreleri Etkin olarak tespit edilmiştir. Bu durumda optimum parametre seviyeleri olarak karşımıza A3B3C1 çıkmaktadır. Burada Adsorpsiyon süresinin bir etkisinin olmadığı varyans analizi ile ortaya konulmuş olduğu için en kısa süre olan 30 dakika adsorpsiyon süresi olarak kabul edilmiştir.

Tablo 7. Varyans Analizi

	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Ortalama Karelerin Toplamı (Varyans)	Faktör Etkisi (%)	F _{Hesap}
pH	2	25,98	12,99	37,41	4,66
İlk Metal Konsantrasyonu (ppm)	2	27,05	13,53	38,95	4,85
Süre (dak.)	2	10,84	5,42	15,61	1,94
Hata	2	5,57	2,79	8,03	
Toplam	8	69,44		100	

Varyans analizi neticesinde; birinci ve ikinci parametrelerin etkin, üçüncü parametrenin ise etkin olmadığı ortaya konulmuştur. Bu durumda deney tasarımcısı olarak, optimum çalışma parametrelere seviyelerinin A3B3C1 olduğu kabul edilmiştir. Çünkü karıştırma sürenin en düşük değerlerinin optimum değerler olarak kabul edilmesi tamamen ekonomik bir yaklaşımdan kaynaklanmaktadır. Zira yüksek karıştırma süresi daha fazla enerji kullanımını gerektirmektedir. Bu durumda; A3B3C1 parametre düzeyinin Tablo 3’deki ortagnal deney düzeneğinde çalışılıp çalışılmadığına bakılması gerekmektedir. Söz konusu tablo incelendiğinde A3B3C1 serisinin çalışılmamış olduğu görülmektedir. Bu durumda A3B3C1 şartlarında yani pH=6, ilk metal konsantrasyonu (ppm)=180 ve adsorpsiyon süresi (dak.)= 20 şartlarında deney tekrarının yapılarak sonucun alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. A3B3C1 şartlarında yapılan deney sonucunda ise uzaklaşma verimi %92,68 olarak bulunmuştur. Bu değer S/N oranı ise 39,34 olarak hesaplanmıştır.

Denklem 4 kullanılarak yapılan doğrulama hesaplamasında her faktörün optimum seviyesi için hesaplanan S/N oranı (η_i), tüm deney sonuçlarının ortalaması alınarak bulunan S/N oranından (η_m) çıkartılarak o faktörün optimum seviyesi ile oluşan değişim hesaplanmış olmaktadır. Daha sonra bu değerlerin ortalama S/N oranı ile toplanması, teorik olarak hesaplanan ve optimum seviyelerin kombinasyonundan beklenen S/N oranını vermektedir [22].

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \tag{5}$$

H. SERENCAM, M. UÇURUM

Burada; j = kontrol faktörlerinin sayısı, η_{opt} = tahmin edilen optimum S/N oranı, η_m = S/N değerlerinin aritmetik ortalaması, η_i = i sayılı faktörün optimum seviyesinin ortalama S/N oranı'dır.

A3B3C1 şartlarında yapılan deney sonucunda uzaklaşma verim değeri 92,68 olarak bulunmuştur. Bu değer S/N oranı ise 39,34 dB olarak hesaplanmıştır. S/N tahmini değerin hesaplanmasında etkin parametrelerin yani pH ve İlk Metal Konsantrasyonun optimum seviyesi için hesaplanan S/N oranı (η_i), tüm deney sonuçlarının ortalaması olarak bulunan S/N oranından (η_m) çıkartılarak o faktörün optimum seviyesi ile oluşan değişim hesaplanmış olmaktadır. Daha sonra bu değerlerin ortalama S/N oranı ile toplanması teorik olarak hesaplanan ve optimum seviyelerin kombinasyonundan beklenen S/N oranını vermektedir. Çalışılan örnek için bu hesaplama aşağıda yapılmıştır. Bu çalışmada birinci ve ikinci faktöre etkin olduğu için ve birinci parametrenin yani pH'ın en iyi sonucu üçüncü seviyede elde edilmiş olduğundan bu seviyenin ortalaması daha önce verildiği gibi 37,96 dB olup ikinci parametrenin yani ilk metal konsantrasyonu için yine üçüncü seviye en iyi olup onun değeri ise 37,90 dB ise ;

$$\eta = 35,58 + [(37,96 - 35,58) + (37,90 - 35,58)] = 40,28 \text{ elde edilmektedir.}$$

Doğrulama çalışmaları sonuçları Tablo 8'de topluca verilmiştir.

Tablo 8. Doğrulama deney sonuçları

	Tahmin edilen	Doğrulama deneyi
Seviye	A3B3C1	A3B3C1
Sonuç	S/N=40,28 (dB) Uzaklaşma Verimi=%94,90	S/N=39,34 (dB) Uzaklaşma Verimi=%92,68

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, uçucu külün Ni (II) ağır metal giderimindeki etkinliği Taguchi deney tasarımı kullanılarak araştırılmıştır. Bu kapsamda ANOVA analizleri yapılmış ve parametrelerin adsorpsiyon üzerindeki etkileri yüzde uzaklaşma verimi (%) bazında değerlendirilmiştir. Ayrıca F testi ve doğrulama deneyleriyle de yaklaşımın geçerliliği test edilmiştir. Buna göre; Ortalama S/N oranlarının en yüksek değerlerinin alınmasıyla elde edilen optimum değerler incelendiğinde; pH'ın üçüncü seviyesi olan 6'nın (A3), ilk metal konsantrasyonun üçüncü değeri olan değeri olan 180 ppm ve adsorpsiyon süresinin yine üçüncü değeri olan 60 dakika değerlerinde uzaklaşma veriminin en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Ancak gerçekleştirilen ANOVA analizleri neticesinde ise adsorpsiyon üzerindeki en etkili olan parametrenin ilk metal konsantrasyonu (%38,95) olduğu daha sonra ise bunu pH (%37,41) ın takip ettiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte adsorpsiyon süresinin ise etkin olmadığı yine varyans analizi ile ortaya konulmuştur. Bu bulgular doğrultusunda ortaya konulan optimum seviyeler (A3B3C1) kullanılarak yapılan doğrulama hesap ve deneyi sonrası ise iki sonucunda birbirine son derece yakın olduğu, uzaklaşma verimi (%) bazında sonuçlar arasında sadece yaklaşık %2 oranında bir fark bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, Taguchi deneysel tasarım metodunun, adsorpsiyon çalışmalarında optimum parametrelerinin belirlenmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Teşekkür

XRF analizinin ve boyut dağılımının elde edilmesinde Dr. Öğr. Üyesi Fatih Yılmaz'a, laboratuvar çalışmalarındaki katkılarından dolayı Arş. Gör. Reyhan Merve TOPÇU'ya yazarlar teşekkür ederler.

5. KAYNAKLAR

- [1] MENDİL, D., KİRİS, T., TUZEN, M., SOYLAĞ, M., "Separation Preconcentration of Cu, Cd, Pb And Ni in Various Water and Food Samples on Sepabeads SP-207", International Journal of Food Science and Technology, 48, 1201–1207, 2013.

TAGUCHİ DENEY TASARIMI KULLANILARAK UÇUCU KÜL İLE Ni (II) GİDERİMİNDE BAZI ADSORPSİYON PARAMETRELERİNİN ETKİNLİĞİNİN İRDELENMESİ

- [2] DİVRİKLİ, U., HORZUM, N., SOYLAK, M., ELCİ, L., “Trace Heavy Metal Contents of Some Spices and Herbal Plants from Western Anatolia Turkey”, *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 712–716, 2006.
- [3] TUZEN, M., SOYLAK, M., “Multi-Element Coprecipitation for Separation and Enrichment of Heavy Metal Ions for Their Flame Atomic Absorption Spectrometric Determinations”, *Journal of Hazardous Materials*, 162, 724–729, 2009.
- [4] OZDES, D., DURAN, C., BAYRAK, H., BULUT, V.N., TUFEKCI, M., “Preconcentration by Coprecipitation of Copper and Nickel with Mo(VI)/Triazole Derivative System and Their Determinations by Flame Atomic Absorption Spectrometry in Food and Water Samples”, *Clean Soil Air Water*, 40, 211–217, 2012.
- [5] IMAMOGLU, M., GUNES, V., “Column Solid Phase Extraction of Copper and Nickel on Triethylenetetramine Bonded Silica Gel For Their Atomic Absorption Spectrometric Determination”, *Instrumentation Science & Technology*, 36, 105–116, 2008.
- [6] SENTHIL KUMAR, R., PERIASAMY, V.S., PREETHY PAUL, C., RİYASDEEN, A., ARUNACHALAM, S., AKBARSHA, M.A., “Cytotoxic Effect of a Polymer–copper(II) Complex Containing 2,2'-bipyridyl Ligand on Human Lung Cancer Cells”, *Medicinal Chemistry Research*, 20, 726–731, 2011.
- [7] SERENCAM, H., DURAN, C., OZDES, D., BEKTAS, H., “Application of Carrier Element Free Coprecipitation (CEFC) Method for Determination of Co(II), Cu(II) and Ni(II) ions in Food and Water Samples”, *Acta Chimica Slovenica*, 60, 287–293, 2013.
- [8] APAK, R., TÜTEM, E., HÜGÜL, M., HİZAL, J., “Heavy Metal Cation Retention by Unconventional Sorbents (Red Muds and Fly Ashes)”, *Water Research*, 32(2), 430-440, 1998.
- [9] SRİVASTAVA, V. C., MALL, I. D., MİSHRA, I. M. “Equilibrium Modelling of Single and Binary Adsorption of Cadmium and Nickel Onto Bagasse Fly Ash”, *Chemical Engineering Journal*, 117(1), 79-91, 2006.
- [10] İLERİ, R., Çevre Biyoteknolojisi. 1. Baskı. Adapazarı: Değişim Yayınları, 501–522, 2000.
- [11] HAMUTOĞLU, R., DİNÇSOY, A. B., CANSARAN-DUMAN, D., ARAS, S., “Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları”, *Türkiye Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69, 69, 2012.
- [12] KARANASSIOS, V., “Microplasmas for Chemical Analysis: Analytical Tools or Research Toys?”, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 59(7), 909-928, 2004.
- [13] DURAN, C., GUNDOĞDU, A., BULUT, V.N., SOYLAK, M., ELCİ, L., SENTURK, H.B., TUFEKÇİ M., “Solid-phase Extraction of Mn(II), Co(II), Ni(II), Cu(II), Cd(II) and Pb(II) Ions from Environmental Samples By Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS)”, *Journal of Hazardous Materials*, 146, 347–355, 2007.
- [14] FRENTIU, T., PETREUS, D., SENILA, M., MIHALTAN, A. I., DARVASI, E., PONTA, M., CORDOS, E. A., “Low Power Capacitively Coupled Plasma Microtorch for Simultaneous Multielemental Determination by Atomic Emission Using Microspectrometers”, *Microchemical Journal*, 97(2), 188-195, 2011.
- [15] RAJABI, M., KAMALABADI, M., JAMALI, M.R., ZOLGHARNEİN, J., ASANJARANİ, N., “Application of Response Surface Methodology for Optimization of Ionic Liquid-Based Dispersive Liquid–Liquid Microextraction of Cadmium from Water Samples”, *Human & Experimental Toxicology*, 32, 620–631, 2013.
- [16] BAYAT, B., “Comparative Study of Adsorption Properties of Turkish Fly Ashes: I. The Case of Nickel (II), Copper (II) and Zinc (II)”, *Journal of Hazardous Materials*, 95(3), 251-273, 2002.
- [17] CHEN, Y., TAM, S. C., CHEN, W. L., ZHENG, H. Y., “Application of Taguchi Method in the Optimization of Laser Micro-Engraving of Photomasks”, *International Journal of Materials and Product Technology*, 11, 3-4, 1996.
- [18] MERAL, G., SARIKAYA, M., DİLİPAK, H., “Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4), 332-338, 2011.
- [19] http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/46441/43404/ders_i%C3%A7eri%C4%9Fi.doc. (erişim tarihi 12.01.2018)
- [20] TURGUT, E., DİKİCİ, A., “Eş Eksenli Bir Isı Değiştiricisinin Tasarım Parametrelerinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS' 11)*, 16–18, Elazığ, Türkiye, 2011.

H. SERENCAM, M. UÇURUM

- [21] SAVAŞKAN, M., TAPTIK, Y., ÜRGEN, M., “Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu”, İTÜDERGİSİ/d, 3(6), 117–128, 2010.
- [22] MEZARCIÖZ, S., OĞULATA, R. T., “Süprem Kumaşlarda Patlama Mukavemeti Değerinin Taguchi Ortogonal Dizayna Göre Optimizasyonu”, Tekstil ve Konfeksiyon, 4, 320–328, 2010.