

## DENEYSEL TASARIM İLE SULU ÇÖZELTİLERDEN METAL AYRIŞIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN OPTİMİZASYONU

*Burcu Çağlar GENÇOSMAN \**  
*Âli Yurdun ORBAK \**  
*İlkün ORBAK \*\**

**Özet:** Deneysel tasarım endüstri ve kimya sanayisini de kapsayan çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada deneysel tasarım ve cevap yüzeyi metodu sulu çözeltilerden kadmiyum iyonlarının ayrıştırılmasını etkileyen faktörlerin incelenmesinde kullanılmıştır. Kadmiyum iyonlarının ayrıştırılmasını etkileyen faktörler pH, başlangıç metal konsantrasyonu ve çözelti sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan aktive edilmiş karbonlar, kimyasal ve fiziksel aktivasyon metodlarıyla Tunçbilek linyitinden elde edilmiştir. Deneysel tasarım ile faktörler analiz edilmiş ve önem seviyeleri belirlenmiştir. Ele alınan faktörlerin etkileri ve birbirleriyle etkileşimleri varyans analizi yöntemiyle ortaya çıkarılmıştır. Regresyon analiziyle birlikte cevap yüzeyi metodundan da yararlanarak deney limitleri içinde en iyi kadmiyum ayrışımını sağlayacak optimum koşullar belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deneysel tasarım, cevap yüzeyi metodu, faktör analizi.

### Optimization of Metal Removal Factors Using Experimental Design

**Abstract:** Experimental design methodology has been used in various research areas including industrial and chemical engineering. In this paper, factor analysis and response surface optimization approaches were used for cadmium removal from aqueous solutions. The factors affecting removal of Cd ions from aqueous solutions were investigated depending on pH, initial metal concentration and solution temperature. Activated carbon used in the experiments was produced from Tunçbilek lignite by physical activation method. The analysis of important factors is established by using the design of experiments method. The effect and the interaction among the investigated factors are evaluated using the analysis of variance method. Together with regression analysis, response surface optimization is also utilized to obtain optimum conditions for best copper removal within the experimental limits.

**Keywords:** Design of experiments, response surface optimization, factor analysis.

## 1. GİRİŞ

Faktör analizi ve deneysel tasarım yöntemleri pek çok farklı çalışma alanında sistemlerin yapısını anlamak, etkin parametreleri belirlemek ve performans iyileştirmesini gerçekleştirebilmek için kullanılmaktadır (Montgomery, 2008). En iyi yerleşimin belirlenmesi (Örnek ve Ekren, 2008), üretim sistemlerinde kullanılan benzetim tabanlı sezgisel yöntemin analiz edilmesi (Can ve Heavey, 2011) gibi çalışmalar örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada

\* Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059 Bursa.

\*\* Maltepe Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Maltepe, 34857 İstanbul.  
İletişim Yazarı: A.Y. Orbak (orbak@uludag.edu.tr)

deneysel tasarım, kadmiyum ayrışım süreci analizinde kullanılmış ve optimum parametre değerlerinin belirlenmesinde cevap yüzeyi metodundan yararlanılmıştır.

Endüstriyel aktivitelerle tahliye edilen atıksu, çeşitli zehirli ve çevreye zarar verici bileşenler içermektedir. Bu atıksuların karışıkları su çevrelerine negatif etkileri olmaktadır (Monser ve Adhoum, 2002). Krom Cr (III) ve Cr (VI), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Manganez (Mn), Civa (Hg) ve Kadmiyum (Cd) gibi metallerin önemli derecede zehirleyici oldukları bilinmektedir (Allen ve diğ., 1994). Zarar verici metallerin istenmeyen etkileri, bu metallerin çeşitli yöntemlerle sistemden ayrıştırılmasıyla önlenebilmektedir. Metalik türlerin atıksudan ayrılma yöntemleri arasında kimyasal çöktürme, elektro-flotasyon, iyon değişimi, ters ozmoz ve adsorpsiyon sayılabilir (Rios ve diğ., 1999). Adsorpsiyon süreci bir emici madde varlığından yararlanır(adsorbent). Bu emici madde fiziksel çekim, iyon değişimi veya kimyasal bağlayıcı yoluyla molekülleri bağlar. Adsorbentler büyük miktarlarda, çok düşük maliyetlerle bulunabilirler ve yenilenmesi kolay olduğundan tercih edilirler (Gherbi ve diğ., 2004). Aktif karbon, atıksulardaki organik kimyasalların giderilmesinde etkin olduğu gibi, organik olmayan kimyasallar ve ağır metallerin ayrıştırılmasında kullanılmaktadır (Zang ve Fu 1989, Pattanayak ve diğ., 2000). Netzer ve Hughes (1984) yaptıkları çalışmada toz aktif karbonun kurşun, bakır, kadmiyum gibi ağır metallerin sulu çözeltilerden ayrıştırılmasında başarılı olduğunu tespit etmişlerdir.

Kadmiyum, çinko, kurşun ve bakır gibi minerallerle birlikte bulunmaktadır. Kadmiyum, en düşük erime noktasına sahip alaşımların önemli bir bileşenidir. Kullanım alanları arasında %60 ile en büyük payı, elektroliz yoluyla kaplama alır. Endüstride nikel-kadmiyum pillerinde, lehim yapımında, nötron yutucu özelliği nedeniyle nükleer reaktörlerde, galvaniz kaplama, stabilizasyon, termoplastik, pil ve alaşım ürünlerinde kullanılmaktadır. Bazı bileşikler PVC maddeye dayanıklılık kazandırır. Oldukça zehirli bir metal olan Kadmiyum, diğer ağır metaller içerisinde suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Endüstriyel olarak kadmiyum zehirlenmesi, kaynak yapımı esnasında kullanılan alaşım bileşimleri, elektrokimyasal kaplamalar, kadmiyum içeren boyalar ve kadmiyumlu piller nedeniyle meydana gelmektedir. Bundan dolayı EPA standardına göre kadmiyum metali için izin verilen limit 0.005 mg/l'dir. Endüstride atık sulardan kadmiyum giderilmesinde kullanılan başlıca yöntemlerden biri olan aktif karbon, ticari kullanımı olan bir üründür. Suyun temizlenmesi, aktif karbonun önemli kullanım alanlarından birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstriyel ve evsel atık sulardaki organik kirlilikler, tat, koku ve renk bozukluklarının giderilmesi, şeker şurubunun renginin ağartılması, çeşitli gaz faz uygulamaları, ecza ve kimya ürünlerinin saflaştırılması işlemlerinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada sulu çözeltilerden kadmiyum iyonlarının ayrıştırılmasını etkileyen faktörler araştırılmış ve sistemi etkileyen faktörler pH, başlangıç metal konsantrasyonu ve çözelti sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan aktive edilmiş karbonlar, kimyasal ve fiziksel aktivasyon metotlarıyla Tunçbilek linyitinden elde edilmiştir. Deneysel tasarım ile faktörler analiz edilmiş ve önem seviyeleri belirlenmiştir. Ele alınan faktörlerin etkileri ve birbirleriyle etkileşimleri varyans analizi yöntemiyle ortaya çıkarılmıştır. Regresyon analiziyle birlikte cevap yüzeyi metodundan da yararlanarak deney limitleri içinde en iyi kadmiyum ayrışımını sağlayacak optimum koşullar belirlenmiştir.

## 2. DENEYSEL TASARIM

Bu çalışmada kullanılan aktive edilmiş karbonlar, kimyasal ve fiziksel aktivasyon metotlarıyla Tunçbilek linyitinden elde edilmiştir. Hazırlık aşamaları ve kimyasal özellikleri Karatepe ve arkadaşları tarafından detaylandırılmıştır (Karatepe ve diğ., 2008). Adsorpsiyon deneyleri pH (2.0 – 11.0), başlangıç kadmiyum derişimi (500 – 1000 mg/L) ve sıcaklık (298 K ve 323 K) değerleri için gerçekleştirilmiştir. Kadmiyum iyonlarının başlangıç ve bitiş yoğunlukları atomik adsorpsiyon spektrometresi ile ölçülmüştür. Aktif karbon, dengeye erişilmek amacıyla 24 saat boyunca kadmiyum iyonları ile temas halinde tutulmuştur. Parametrelerden biri olan pH değeri, seyreltik hidroklorik asit ve sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak ayarlanmıştır.

## 2.1. Matematiksel Model ve Analiz

Deneyler Tablo 1’de görüldüğü gibi farklı faktör seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Her faktörün 2 farklı seviyesi olduğundan  $2^3$  tam faktöriyel tasarım tercih edilmiştir (Montgomery, 2008). Deneylerin tasarımı ve elde edilen sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir.

**Tablo 1. Kontrol edilebilir faktörler ve seviyeleri.**

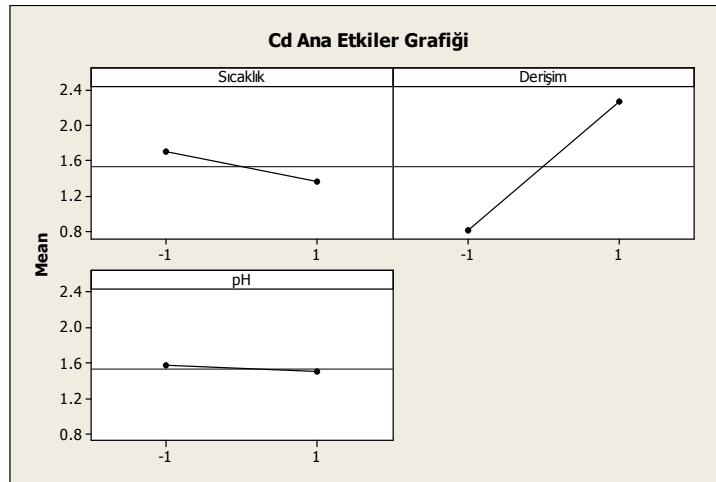
Faktörler	-1	+1
A – Sıcaklık (K)	298	323
B – Derişim	500	1000
C – pH	2	11

**Tablo 2. Deney Sonuçları.**

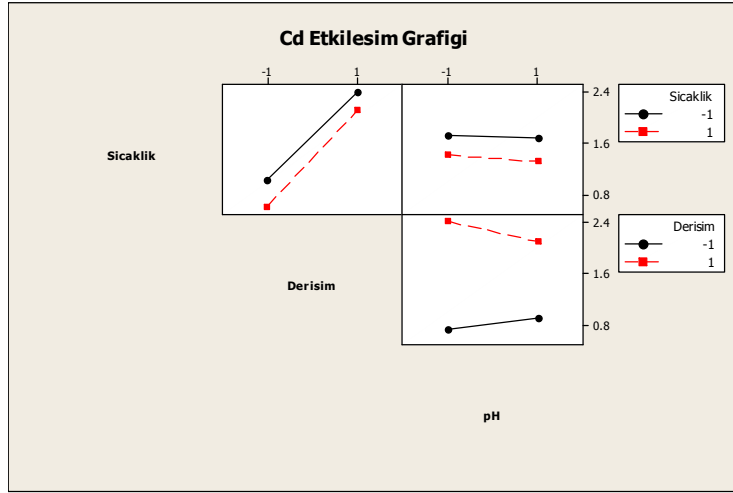
Sıcaklık(A)	Derişim(B)	Ph(C)	Cd(mgCd/gA.K.)
1	-1	-1	0.56
-1	-1	1	1.15
1	-1	1	0.66
-1	-1	-1	0.88
-1	1	-1	2.57
1	1	1	1.97
1	1	-1	2.27
-1	1	1	2.23

$2^3$  tam faktöriyel tasarımlarda (Montgomery, 2008), Tablo 2’de de görüldüğü gibi en az 8 deney yapılmaktadır. Eğer deneylerde 3 tekrar tercih edilirse tam faktöriyel için 24 farklı deneyin yapılması gerekmektedir. Birden fazla tekrarla daha güçlü sonuçlar elde edilmesine rağmen, bu çalışmada her deney çok uzun süre gerektirdiği için tek replikasyon seçilmiştir. Serbestlik derecesindeki eksikliği giderebilmek için üçlü etkileşimler analizden çıkarılmıştır.

Şekil 1’deki ana etkiler grafiği incelendiğinde derişimin en etkin faktör olduğu ve pH değerinin en az etkin faktör olduğu görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde derişim ve pH arasında bir etkileşim olduğu görülmekte ve sıcaklık ile derişim ve pH etkileşimlerinin kadmiyum eliminasyonu sürecinde önemli olmadıkları görülmektedir.

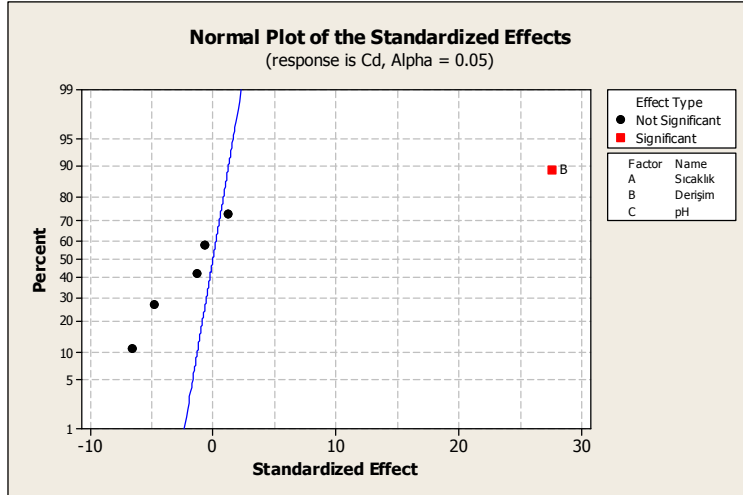


**Şekil 1:**  
Ana Etkiler Grafiği.



**Şekil 2:**  
Etkileşim Grafiği.

Standartlaştırılmış etkilerin normal dağılım grafiği Şekil 3’de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi derişim deney sonuçlarında en önemli etkiye sahip faktördür.



**Şekil 3:**  
Standartlaştırılmış etkilerin normal dağılım grafiği.

Yukarıda yapılan analizler sonrasında Minitab 16 yazılımı kullanılarak emilim miktarı ve parametreler arasındaki ilişkiyi temsil eden lineer regresyon denklemi elde edilmiştir.

$$q_e = 1.54 - 0.17 * A + 0.72 * B - 0.034 * C + 0.031 * AB - 0.016 * AC - 0.13 * BC \quad (1)$$

Şekil 4’de faktöriyel uygunluklar verilmiştir. Regresyon denkleminin 99.18% uygunluk göstermesine rağmen parametre katsayıları oldukça düşük çıkmıştır. Ayrıca Şekil 5’teki varyans analizi incelendiğinde sadece derişim parametresinin etkin olduğu görülmektedir. Bu durumda sistemde var olan değişkenliğin lineer denklemle tespit edilemediği sonucuna varılabilir.

**Factorial Fit: Cd versus Sıcaklık, Derişim, pH**

Estimated Effects and Coefficients for Cd (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.5362	0.02625	58.52	0.011
Sıcaklık	-0.3425	-0.1712	0.02625	-6.52	0.097
Derişim	1.4475	0.7237	0.02625	27.57	0.023
pH	-0.0675	-0.0337	0.02625	-1.29	0.421
Sıcaklık*Derişim	0.0625	0.0312	0.02625	1.19	0.445
Sıcaklık*pH	-0.0325	-0.0163	0.02625	-0.62	0.647
Derişim*pH	-0.2525	-0.1262	0.02625	-4.81	0.131

S = 0.0742462 PRESS = 0.3528  
R-Sq = 99.88% R-Sq(pred) = 92.29% R-Sq(adj) = 99.16%

**Şekil 4:**  
*Faktöriyel Uygunluklar*

Analysis of Variance for Cd (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	4.43424	4.43424	1.47808	268.13	0.045
Sıcaklık	1	0.23461	0.23461	0.23461	42.56	0.097
Derişim	1	4.19051	4.19051	4.19051	760.18	0.023
pH	1	0.00911	0.00911	0.00911	1.65	0.421
2-Way Interactions	3	0.13744	0.13744	0.04581	8.31	0.248
Sıcaklık*Derişim	1	0.00781	0.00781	0.00781	1.42	0.445
Sıcaklık*pH	1	0.00211	0.00211	0.00211	0.38	0.647
Derişim*pH	1	0.12751	0.12751	0.12751	23.13	0.131
Residual Error	1	0.00551	0.00551	0.00551		
Total	7	4.57719				

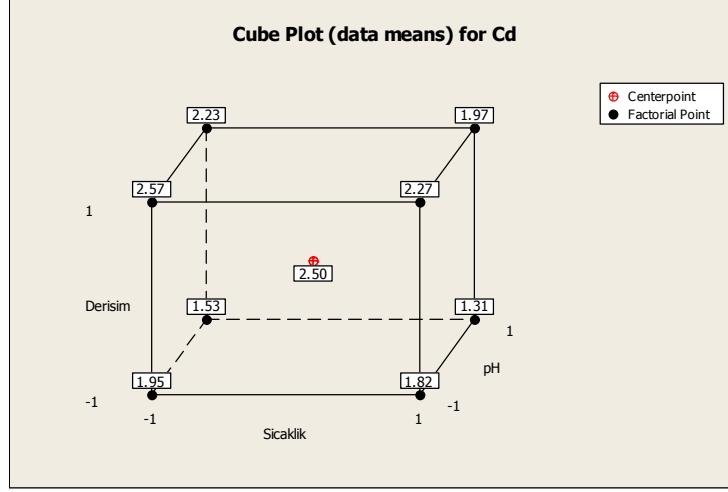
**Şekil 5:**  
*Parametrelerin varyans analizi.*

Şimdiye kadar yapılan analizler özetlenecek olursa, parametrelerin ana etkileri ve birbirleriyle olan etkileşimleri incelenmiştir. Ana etkiler ve ikili etkileşimler için varyans analizi yapılmış ve lineer regresyon denklemi elde edilmiştir. Denklem incelendiğinde parametrelerin katsayılarının oldukça düşük olduğu gözlenmiş ve sistem çıktılarını etkileyen fakat analizlere yansımaya sahip etkilerin var olduğu tespit edilmiştir. Bu etkileri tespit edebilmek için parametrelerin merkez noktasında iki deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki deney sonuçlarıyla birleştirilerek kareselliğin varlığı araştırılmıştır. Karesellik için oluşturulan deneysel tasarım ve deney sonuçları Tablo 4'deki gibi özetlenebilir.

**Tablo 4. Deney Sonuçları.**

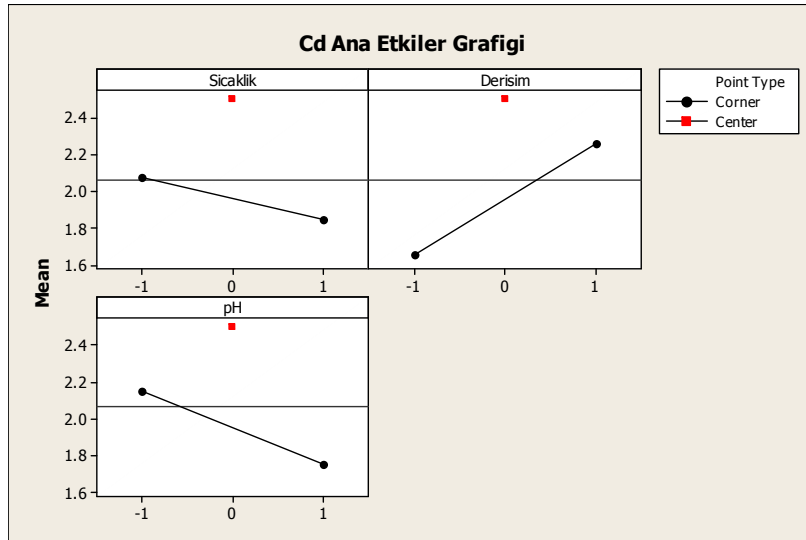
Sıcaklık(A)	Derişim(B)	Ph(C)	Cd(kadmiyum)
-1	-1	-1	1.95
1	-1	-1	1.82
-1	1	-1	2.57
1	1	-1	2.27
-1	-1	1	1.53
1	-1	1	1.31
-1	1	1	2.23
1	1	1	1.97
0	0	0	2.53
0	0	0	2.47

Tablo 4'deki deney sonuçlarıyla yeniden tasarlanan sistemin kimliği Şekil 6'da verilmiştir. Merkez noktanın ortalaması 2.5 olarak görülmektedir.

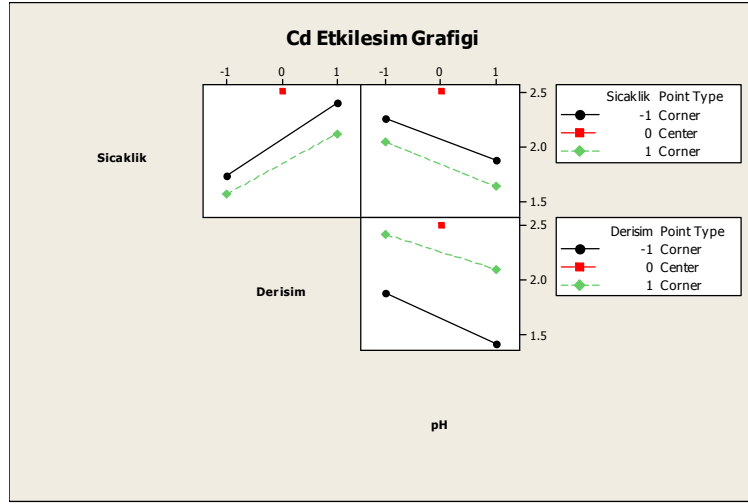


Şekil 6:  
Merkez noktalı tasarımın kimliği

İki merkez nokta ile tekrarlanan analizler sonucunda elde edilen ana etkiler grafiği Şekil 7'de ve parametrelerin etkileşimlerinin gösterildiği etkileşimler grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde önceki analizlerde tespit edilemeyen sıcaklık parametresinin etkisi ortaya çıkarılmıştır. Her üç faktörün de kadmiyum emiliminde etkin oldukları görülmektedir. Parametreler arası etkileşimler incelendiğinde (Şekil 8) özellikle sıcaklık ve derişim arasında az da olsa bir etkileşim olduğu, derişim ve pH arasında ise daha az bir etkileşim olduğu görülmektedir. Sıcaklık ve pH arasında herhangi bir etkileşim gözlenmemiştir. Genel olarak inceleme sonucunda pH arttığında ya da sıcaklık arttığında kadmiyum eliminasyonunun düştüğü, derişim arttığında ise kadmiyum eliminasyonunun arttığı söylenebilir.

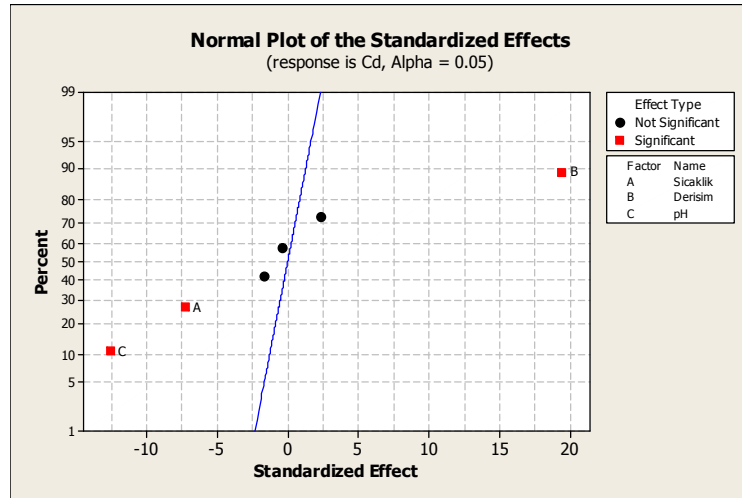


Şekil 7:  
Merkez noktalı ana etkiler grafiği.



**Şekil 8:**  
Merkez noktalı etkileşimler grafiği.

Merkez noktalarındaki deney sonuçları sisteme eklenerek geliştirilen yeni tasarımda ana etkilerin sistem çıktıları üzerinde etkin olduğu görülmüştür. Bunu doğrulamak için Minitab 16'da etkilerin normal dağılımı grafiği elde edilmiştir. Şekil 9'da da görüldüğü gibi ana parametreler oldukça etkin çıkmışlardır.



**Şekil 9:**  
Merkez noktalı tasarımda etkilerin normal dağılım grafiği

Yeni tasarım için varyans analizi tekrarlanmış ve Şekil 10'da da görüldüğü gibi sıcaklık, derişim ve pH değerlerinin etkin çıkmasının yanında karesellik de etkin çıkmıştır.

Analysis of Variance for Cd (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	1.14974	1.14974	0.383246	195.91	0.005
Sıcaklık	1	0.10351	0.10351	0.103512	52.91	0.018
Derişim	1	0.73811	0.73811	0.738112	377.31	0.003
pH	1	0.30811	0.30811	0.308113	157.50	0.006
2-Way Interactions	3	0.01634	0.01634	0.005446	2.78	0.275
Sıcaklık*Derişim	1	0.00551	0.00551	0.005512	2.82	0.235
Sıcaklık*pH	1	0.00031	0.00031	0.000313	0.16	0.728
Derişim*pH	1	0.01051	0.01051	0.010513	5.37	0.146
Curvature	1	0.47306	0.47306	0.473063	241.82	0.004
Residual Error	2	0.00391	0.00391	0.001956		
Lack of Fit	1	0.00211	0.00211	0.002112	1.17	0.475
Pure Error	1	0.00180	0.00180	0.001800		
Total	9	1.64305				

**Şekil 10:**  
Parametrelerin varyans analizi.

Ana etkiler ve kareselliği barındıran regresyon denklemi için belirlenen katsayılar Şekil 11’de verilmiştir. Tasarımın uygunluğu %98.93 olarak bulunmuştur. Bu değer etkin bir tasarımın yapıldığını göstermektedir.

**Factorial Fit: Cd versus Sıcaklık, Derişim, pH**

Estimated Effects and Coefficients for Cd (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.9563	0.01564	125.10	0.000
Sıcaklık	-0.2275	-0.1137	0.01564	-7.27	0.018
Derişim	0.6075	0.3037	0.01564	19.42	0.003
pH	-0.3925	-0.1963	0.01564	-12.55	0.006
Sıcaklık*Derişim	-0.0525	-0.0262	0.01564	-1.68	0.235
Sıcaklık*pH	-0.0125	-0.0063	0.01564	-0.40	0.728
Derişim*pH	0.0725	0.0363	0.01564	2.32	0.146
Ct Pt		0.5438	0.03497	15.55	0.004

S = 0.0442295    PRESS = 0.909898  
R-Sq = 99.76%    R-Sq(pred) = 44.62%    R-Sq(adj) = 98.93%

**Şekil 11:**  
Faktöriyel uygunluklar.

Yukarıda yapılan analizler sonrasında Minitab 16 yazılımı kullanılarak emilim miktarı, parametreler ve kareselliği temsil eden regresyon denklemi elde edilmiştir. Denklemin katsayıları Şekil 12’de gösterilmiştir.

$$q_e = 2.5 - 0.11 * A + 0.3 * B - 0.196 * C - 0.54 * B^2 \quad (2)$$



Regression Equation

$$Cd = 2.5 - 0.11375 \text{ Sıcaklık} + 0.30375 \text{ Derişim} - 0.19625 \text{ pH} - 0.54375 \text{ Derişim*Derişim}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2.50000	0.0450000	55.5556	0.000
Sıcaklık	-0.11375	0.0225000	-5.0556	0.004
Derişim	0.30375	0.0225000	13.5000	0.000
pH	-0.19625	0.0225000	-8.7222	0.000
Derişim*Derişim	-0.54375	0.0503115	-10.8077	0.000

Summary of Model

S = 0.0636396 R-Sq = 98.77% R-Sq(adj) = 97.78%  
PRESS = 0.081 R-Sq(pred) = 95.07%

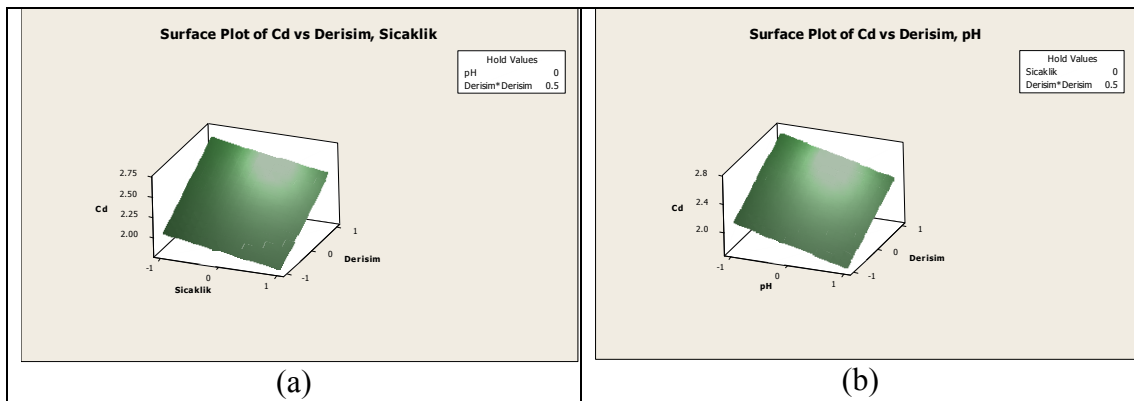
**Şekil 12:**  
*Kareselliği barındıran regresyon denklemi katsayıları*

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	1.62280	1.62280	0.405700	100.173	0.000059
Sıcaklık	1	0.10351	0.10351	0.103513	25.559	0.003915
Derişim	1	0.73811	0.73811	0.738112	182.250	0.000040
pH	1	0.30811	0.30811	0.308112	76.077	0.000328
Derişim*Derişim	1	0.47306	0.47306	0.473062	116.806	0.000118
Error	5	0.02025	0.02025	0.004050		
Lack-of-Fit	4	0.01845	0.01845	0.004612	2.563	0.433963
Pure Error	1	0.00180	0.00180	0.001800		
Total	9	1.64305				

**Şekil 13:**  
*Yeni tasarımın varyans analizi*

Kadmium ayrışımında optimum parametre değerlerinin belirlenmesi için cevap yüzeyi metodu kullanılmıştır. Tasarımın yüzey grafikleri Şekil 14'deki gibidir.



**Şekil 14:**  
*Yüzey Grafikleri(a) pH tutulan değer, (b) sıcaklık tutulan değer.*

Şekil 14(a)'da derişim ve sıcaklık, Şekil 14(b)'de derişim ve pH etkileşim yüzey grafikleri verilmiştir. Minitab 16 yazılımı kullanılarak kontrol edilebilir faktörlerin optimal değerleri bulunmuş ve Tablo 5'de kodları ve interpolasyon sonucunda elde edilen optimal değerler özetlenmiştir. Bu parametrelerle maksimum kadmiyum emilim oranı  $q_e = 2.68$  olarak bulunmuştur.

**Tablo 5. Cevap yüzeyi metodu sonuçları.**

Faktör	Optimum Değerler	
	Kod	İnterpolasyon
A = Sıcaklık (K)	-1	298
B = Derişim	1	1000
C = pH	-1	2

### 3. SONUÇ

Bu çalışmada sulu çözeltilerden aktif karbon kullanımıyla kadmiyum eliminasyonu süreci incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel analizler sonucunda sistemdeki değişkenliğin karesellik barındırdığı gözlenmiştir. Derişim parametresinin kadmiyum emiliminde en etkin faktör olduğu tespit edilmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 298 K sıcaklıkta elde edilmiştir. Bu çalışma ile başlangıçta tüm parametrelerin etkilerinin tahmin edildiği bir sistemde kareselliğin var olabileceği ve bunun tespit edilmesi gerektiği ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte deneylerin uzun, zahmetli ve maliyetli olduğu ortamlarda deneysel tasarım ile optimum sayıda deney ile sistem analizi gerçekleştirilebilmiş ve minimum maliyet ile gereksiz deneylerden sistem arındırılarak analizler tamamlanmıştır.

### KAYNAKLAR

1. Allen, S. J., Murray, M., Brown, P., Flynn, O. (1994). Peat as an adsorbent for dyestuffs and metals in wastewater, *Resources, Conservation and Recycling*, 11, 25–39.
2. Can, B., Heavey, C. (2011). Comparison of experimental designs for simulation-based symbolic regression of manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering*, Vol.61(3), 447–462, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2011.03.01>.
3. Gherbi, N., Meniai, A.-H., Bencheikh-Lehocine, M., Mansri, A., Morcellet, M., Bellir, K., Bacquet, M., Martel, M. (2004). Study of The Retention Phenomena of Copper II by Calcinated Wheat Byproducts, *Desalination*, 166, 363–369.
4. Karatepe, N, Orbak, I, Yavuz, R, Özyuğuran, A. (2008). Sulfur dioxide adsorption by activated carbons having different textural and chemical properties, *Fuel*, 87, 3207–3215.
5. Monser, L., Adhoum, N. (2002). Modified activated carbon for the removal of copper, zinc, chromium and cyanide from wastewater, *Separation and Purification Technology*, 26, 137–146.
6. Montgomery, D.C. (2008). Design and Analysis of Experiments, *Wiley 7<sup>th</sup> edition*, New York.
7. Netzer, A., Hughs, D.E. (1984). Adsorption of Cr, Pb and Co by activated carbon, *Water Res.*, 18, 927–933.
8. Ornek, M. A., Ekren, B. Y. (2008). A simulation based experimental design to analyze factors affecting production flow time, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 16(3), 278–29, <http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2007.11.016>.

9. Pattanayak, J., Mondal, K., Mathew, S., Lalvani, S.B. (2000). A parametric evaluation of the removal of As(V) and As(III) by carbon-based adsorbents, *Carbon*, 38, 589–596.
10. Rios, J.V., Bess-Oberto, L., Tiemann, K.J., Gardea-Torresdey, J.L. (1999). Investigation of Metal ion Binding by Agricultural By-Products, *Proceedings of the International Conference on Hazardous Waste Research*, 125.
11. Zang, H.M., Fu, R.W. (1989). Removal of metal ions by activated carbon, *Technology Water Treatment*, 15, 132–136.

Alınma Tarihi (Received) : 26.07.2012  
Düzeltilme Tarihi (Revised) : 12.12.2014  
Kabul Tarihi (Accepted) : 15.12.2014