

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Enes ŞAYAN^{1*}, Aytaç İNGEÇ

**ULTRASES YARDIMIYLA ALKALİ EMDİRİLEREK HAZIRLANMIŞ AKTİF
KARBONLARIN YÜZEY ALANLARININ MODELLENMESİ VE
OPTİMİZASYONU**

ÖZ

Ultrases, kavitasyon etkisiyle katı-sıvı sistemlerinde birçok yararlı etkiler göstermektedir. Bu çalışmada, ultrases yardımıyla KOH emdirilmiş fındikkabuğu ile hazırlanan aktif karbonların yüzey alanlarının modelleme ve optimizasyonu araştırılmıştır. Deneyler istatistiksel olarak tasarlanmış ve parametrelerin etkisi incelenmiştir. Hazırlanan aktif karbonların yüzey alanları ile ilgili parametreler arasında varyans analizi yardımıyla istatistiksel bir model elde edilmiştir. Bu model, matlab kısıtlanmalı optimizasyon programıyla optimum proses şartlarının elde edilmesi için kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: İstatistiksel tasarım, Ultrases, Aktif karbon, Yüzey alanı, Optimizasyon.

**MODELING AND OPTIMIZATION OF SURFACE AREAS OF ACTIVATED
CARBON PREPARED FROM BY ULTRASOUND-ASSISTED ALKALINE
IMPREGNATED HAZELNUT SHELL**

ABSTRACT

Ultrasound exhibits several beneficial effects in solid-liquid systems by means of the cavitations phenomenon. In this study, the modeling and optimization of the surface areas of the activated carbon prepared by ultrasound-assisted KOH-impregnated hazelnut shell has been investigated. The experiments were planned by statistical design methods and the effects of parameters have been investigated. A statistical model has been obtained by means of variance analysis among the prepared activated carbon surface areas and corresponding parameters. This model has been used to obtain the optimum process conditions by using Matlab with a constrained optimization program.

Keywords: Statistical design, Ultrasound, Activated carbon, Surface area, Optimization.

¹. Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 25240.

*E-posta: esayan@atauni.edu.tr

Geliş: 30 Eylül 2014 **Düzeltilme:** 23 Ocak 2015 **Düzeltilme:** 05 Şubat 2015 **Kabul:** 07 Şubat 2015

1. GİRİŞ

Ağır metal içeren endüstriyel atıksular, iyon degistirme, ters ozmoz, nötralizasyon ve kimyasal çöktürme, adsorpsiyon, sorpsiyon, buharlaştırma ve membran yöntemleriyle arıtılmaktadır (Marani et al. 1995; Papini et al. 1999; Smith et al. 1996). Özellikle aktif karbon kullanarak adsorpsiyon ile atıksulardan ağır metal iyonlarının giderimi iyi bir yöntemdir ve birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistemlerde tercih edilmektedir (Letterman 1999). Ağır metal içeren atıksuların arıtılması alanında yapılan araştırmalar, arıtma yöntemlerinde pahalı sistemler yerine alternatif, ucuz ama etkili yöntemleri de kapsamaktadır. Bu amaçla, atık sulardan kirleticileri gidermek için kullanılan yöntemlerden biri olan adsorpsiyon işleminde kullanılan ve maliyeti yüksek olan aktif karbona alternatif olarak da ucuz, bol bulunabilen bir materyal araştırılmaktadır. Adsorpsiyon işleminde en etkili adsorbent günümüzde de aktif karbon olarak bilinmektedir (Grusamy 2002). Genellikle karbon içeren ucuz ve bol bulunabilen zirai ve endüstriyel atıklardan aktif karbon üretimi birçok araştırmacının amacını oluşturmaktadır (Baştuğ 2008). Adsorpsiyonla atıksulardan ağır metal gideriminin ekonomisi, adsorbent olarak kullanılacak malzemeye bağlıdır (Hussein et al. 1996; Lua and Guo 1998; Guo 2002; Daud et al. 2002; Daud and Ali 2004). Literatürde atık sulardan ağır metali uzaklaştırmak için kullanılacak adsorbent türleri; doğal ya da sentetik zeolitler, metal oksitler, aktif karbonlar, iyon değitirici reçineler ve biosorbentler olarak tanımlanmış (Sublet et al. 2003) ve aktif karbonla çözüldüden ağır metal gideriminin diğerlerine kıyasla çok daha iyi olduğu belirtilmiştir (Zhang et al. 2005).

En etkili adsorbent günümüzde de aktif karbon olarak bilinmektedir (Gülensoy ve Şengil 1981). Aktif karbon kullanarak adsorpsiyon ile atıksulardan ağır metal giderimi iyi bir yöntem olup, ekonomik kullanılabilirliği adsorbentin maliyetinin ucuz oluşu ve bol bulunması ile ilgilidir. Bu sebeple yapısında karbon içeren ucuz ve bol bulunabilen tüm zirai ve endüstriyel atıklardan aktif karbon üretimi birçok araştırmacının amacını oluşturmaktadır (Baştuğ 2008). Aktif karbon üretiminde, kan, et, kemik gibi materyaller kullanılabilirdiği gibi odun, mısır koçanı, alg, kahve tanesi, meyve çekirdekleri, fındıkkaşuğu, ceviz kaşuğu, kayısı çekirdeği gibi birçok zirai materyaller de kullanılmaktadır. Bazen katran, zift, asfalt, linyit ve çeşitli kömürler gibi birçok maddeler de kullanılmaktadır. Ancak üretimde tercih edilen hammadde türü, üretildiği yerin hammadde kaynaklarına göre değışmekte olup, her şeyden önce üretime ekonomik açıdan bakıldığında, bazı aktif karbon cinslerini belirli maddelerden üretmek daha ekonomik olmaktadır (Grusamy 2002). Aktif karbon, büyük kristal formu ve geniş iç gözenek yapısı ile karbonlu adsorbanlar ailesini tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Aktif karbonlar, insan sağlığına zararlı, kullanışlı ürünler olup, oldukça yüksek bir gözenekliliğe ve iç yüzey alanına sahip bulunmakta, çözüldüdeki molekül ve iyonları gözenekleri vasıtasıyla iç yüzeylerine doğru çekebilmekte ve bu yüzden adsorban olarak adlandırılmaktadır. Aktif karbon fiziksel (kuru metod) veya kimyasal aktivasyonla (yaş metod) veya bu iki metodun birleşimi ile üretilebilir. Fiziksel aktivasyonda, aktif karbonlar, yapısında karbon bulunan birçok farklı materyalin (kömür, odun, linyit, Hindistan cevizi kaşuğu) oldukça yüksek sıcaklıklarda (315 -925°C) oksitleyici gazlarla karbona yüksek por yapısı kazandırılması ile elde edilir. Kimyasal aktivasyonda ise aktif karbonlar, karbonlu materyallere bazı kimyasal tuzlar ($ZnCl_2$, KOH , H_3PO_4 , $NaOH$ gibi) emdirilerek aktive edilmesiyle elde edilir (Vural 2007).

Bu çalışmada, ultrases yardımıyla fındıkkaşuğuna KOH emdirilerek, N_2 atmosferinde karbonlaştırma işlemiyle hazırlanmış aktif karbonların yüzey alanlarının optimizasyonunu çalışılmıştır. Emdirme işlemi literatürdeki çalışmalardan farklı olarak özellikle KOH 'ın porlara daha fazla difüzyonunu sağlamak için ultrasesle yapılmıştır. Deneyler istatistiksel olarak tasarlanmış ve parametrelerin etkisi incelenmiş, yüzey alanı ile parametreler arasında varyans analizi yardımıyla istatistiksel bir model kurulmuş ve bu model kullanılarak kısıtlamalı optimizasyon tekniğiyle optimum proses şartları bulunmaya çalışılmıştır. Elde edilen bu ampirik modeller ve optimum sonuçlar, daha büyük boyutlarda yapılacak çalışmalarda başlangıç noktası oluşturabilecek uygun proses şartlarının tespitinde kullanılabilir, ayrıca fizibilite çalışmaları için önemli bir bilgi kaynağı oluşturabilir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

İstatistiksel deney tasarımında 1. mertebe model (iç etkileşim terimleri ile birlikte) kurulmasında, en yaygın olarak kullanılan deney tasarımı “Ortogonal Deney Tasarımları” sınıfına giren 2ⁿ faktöriyel deney tasarımıdır. 2ⁿ deney tasarımında, her değişken 2 değerde (alt ve üst düzey) incelenir. Deney sonuçlarının analizinde değişkenlerin mutlak değerleri yerine “kodlanmış” değerleri kullanılır. Herhangi bir değişkenin mutlak değerleri z₁ (alt) ve z₂ (üst) düzey şeklinde ise;

$$\frac{z_1 + z_2}{2} = z_0 \quad (1)$$

değerine “orta nokta” ya da “merkez” denir. Orta nokta kodlanmış olarak, 0 değeri ile, alt düzey -1, üst düzey +1 değeri ile gösterilir. Kodlanmış (x) ve mutlak (z) değerler arasında şu şekilde bir bağlantı mevcuttur;

$$x = 2 \left(\frac{z - z_0}{z_2 - z_1} \right) \quad (2)$$

Deney tasarımı merkezinde (tüm değişkenlerin orta değer olduğu deney) deney m₀ defa tekrarlanır. Bu şekilde kuadratik (X_i²) terimlerinin etkisi (LOF_{egim}) görülebilir. Yapılan varyans analizinde LOF_{egim}'in etkin olduğu sonucu çıkarsa, kuadratik terimlerin modelde etkin olduğu sonucuna varılır. Bu durumda daha geçerli bir denklem elde etmek için 2. mertebe model seçilir. Daha sonraki aşamada 2. modelle ilgili deney tasarımları uygulanır. LOF_{egim} şu formülle hesaplanır;

$$LOF_{egim} = \frac{m_0 \cdot m_1 (\bar{y}_1 - \bar{y}_0)^2}{m_0 + m_1} \quad (3)$$

Bu formülde;

m₀ : Merkezdeki deney sayısı

m₁ : Faktöriyel deneylerin sayısı

\bar{y}_0 : Merkez deneylerinin ortalaması

\bar{y}_1 : Faktöriyel deneylerinin ortalaması

İkinci mertebe terimlerin tahmini için değişik tasarımlar düşünülebilir. Deney tasarımı ilk baştan 3ⁿ şeklinde düzenlenirse ikinci mertebe terimler ek denemelere gerek kalmadan bulunabilir. Bununla birlikte, bileşik tasarımlar:

- Modelin adım adım geliştirilmesi

- 3ⁿ tasarıma göre daha az deneme gerektirmesi açısından daha uygundur.

Birinci mertebe faktöriyel deney tasarımları ile ana etkiler ve iç etkileşimler tahmin edilir. Varyans analizi ikinci mertebe terimlerinde modele dahil edilmesi gerektiğini ortaya koyarsa, ilk denemelere ek olarak bazı denemeler yapılır. Bütün denemeler bileşik tasarım olarak adlandırılır. Bu maksatla en çok Merkezsel Bileşik (Central Composite) tasarımlar kullanılır. 2. mertebe modelin;

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} (x_i^2 - \bar{x}_i^2) + \sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n b_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

şeklinde tanımlanması hesapları kolaylaştırır. Böylece; n değişken sayısı olmak üzere 2n adet deney yapılır. Bu denemelere, gerekirse, merkezde yapılmış belirli m_0 sayıda denemeler de katılır. α değerinin seçimi araştırmacı tarafından yapılır. α değerinin tespiti için değişik kriterler vardır. α nın uygun seçimi ile tasarım ortogonal yapılabilir. Böylece parametreler kolay hesaplanır ve ilişkisiz olurlar. α değeri için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\alpha = (QF/4)^{1/4} \quad (5)$$

burada;

n : Değişken sayısı

F : Birinci mertebe faktöriyel deney sayısı

m_0 : Merkez deney sayısı

olmak üzere;

$$N = F + 2n + m_0 \text{ (toplam deney sayısı)} \quad (6)$$

$$Q = [N^{1/2} - F^{1/2}]^2 \quad (7)$$

eşitlikleri geçerlidir (Şayan 2002).

Bu çalışmada deneyler, 2^{6-2} fraksiyonel faktöriyel ve merkezi bileşkeli tasarımla planlanmıştır. Ultrases yardımıyla fındık kabuğuna KOH emdirilerek hazırlanmış aktif karbonların yüzey alanları üzerine, tane boyutu, ultrases gücü, emdirme oranı, emdirme süresi, aktivasyon sıcaklığı ve süresi parametrelerinin etkisi ve optimum şartlar araştırılmıştır. Her bir parametre için düşük ve yüksek seviye olmak üzere iki seviye seçilmiş, deneylerde oluşacak hatayı minimum düzeye indirebilmek için deney sıraları rastgele belirlenmiştir. Ayrıca hata varyansını tesbit etmek için deneylerin başında, ortasında ve sonunda orta düzey deneyleri yapılmıştır (Şayan 2006). Çizelge 1'de deneylerde kullanılan parametrelerin kodlanmış değerleri ve seviyeleri verilmiştir. Adsorpsiyon deneylerinde; Atatürk Üniversitesi BAP kapsamında (Atatürk Üniversitesi-BAP 2003/38) Karadeniz Bölgesi'ne ait uygun tane boyutuna getirilmiş fındık kabuklarına (0,78 mm-1,85 mm arasında) ultrases yardımıyla %10'luk KOH emdirilerek, N_2 atmosferinde (839-661°C) aktifleştirilmesiyle hazırlanmış aktif karbonlar (Şayan 2006), adsorban olarak ve adsorbat olarak da $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ tuzundan saf suyla sentetik olarak hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır.

Kullanılan cihazlar

Çalkalayıcı	: Edmund Bühler GmbH TH15
Elektronik terazi	: Denver Instrument APX-200
Taramalı elektron mikroskobu	: JEOL (JSM) 6400
Yüzey alanı tayin cihazı	: BET (Quantachrome QS-17)
Atomik absorpsiyon spektrofotometre	: Shimadzu (AA-670)

Çizelge1. Deneysel parametrelerin kodlanmış değerleri ve seviyeleri

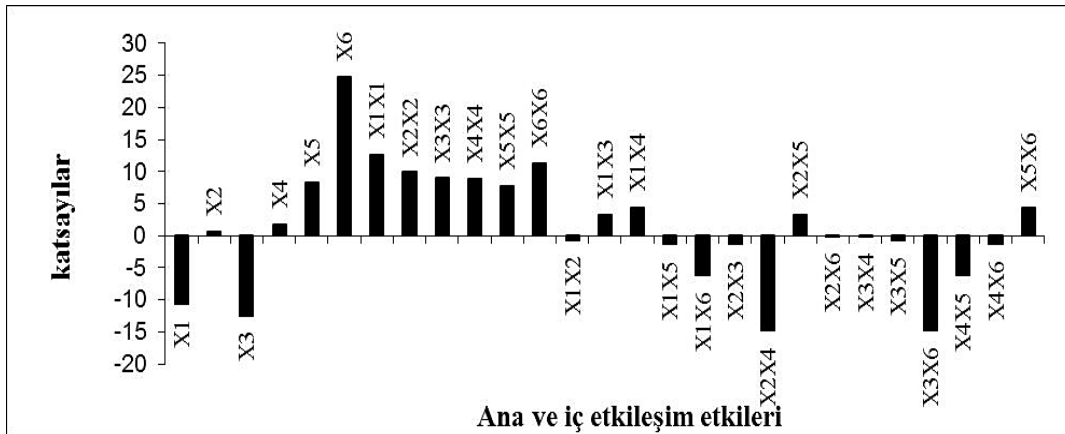
Parametreler		+α	+1	0	-1	-α
Tane boyutu (mm)	(X ₁)	1.85	1.55	1.29	0.93	0.78
Ultrases gücü (W/L)	(X ₂)	190	76	19	6	2
Emdirme oranı (g/mL)	(X ₃)	0.06	0.05	0.038	0.025	0.015
Emdirme süresi (dak)	(X ₄)	143	120	90	60	37
Aktivasyon sıcaklığı (°C)	(X ₅)	839	800	750	700	661
Aktivasyon süresi (dak)	(X ₆)	72	60	45	30	18

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

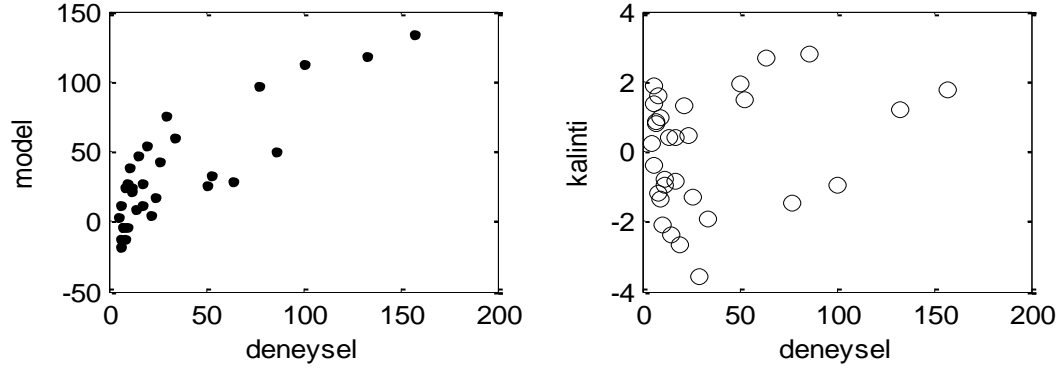
Bu çalışmada, ultrases yardımıyla fındikkabuğuna KOH emdirilerek hazırlanmış aktif karbonların yüzey alanlarının modellenmesi ve optimizasyonu için deneyler istatistiksel tasarım yöntemleri kullanılarak tasarlanmış, hazırlanan aktif karbonların yüzey alanları, BET (Quantachrome QS-17) marka yüzey alanı tayin cihazı ölçülmüştür. Deneysel tasarım matrisi ve sonuçlar Çizelge 2' de, parametrelerin etki boyutu Şekil 1'de verilmiştir. Verilerin analizi matlab programı kullanılarak yapılmış ve parametrelerin yüzey alanları üzerine, ana ve iç etkileşimlerini de içeren % 90 güven düzeyinde etkili parametrelerle kurulan aşağıdaki model geliştirilmiştir.

$$\begin{aligned}
 Y = & -9.1681 -10.5471 X_1 + 0.7000 X_2 -12.5003 X_3 + 1.7162 X_4 + 8.2995 X_5 \\
 & + 24.7996 X_6 +12.6799 X_1X_1 +9.9499 X_2X_2 +9.0234 X_3X_3 +8.9166 X_4X_4 \\
 & + 7.7605 X_5X_5 +11.3060 X_6X_6 -0.6400 X_1X_2 +3.2513 X_1X_3 +4.3713 X_1X_4 \\
 & - 1.2950 X_1X_5 -6.1550 X_1X_6 -1.2950 X_2X_3 -14.8250 X_2X_4 +3.2513 X_2X_5 \\
 & - 0.0837 X_2X_6 -0.0837 X_3X_4 -0.6400 X_3X_5 -14.8250 X_3X_6 -6.1550 X_4X_5 \\
 & - 1.2950 X_4X_6 +4.3713 X_5X_6
 \end{aligned} \tag{8}$$

Modele ait istatistiksel test grafikleri Şekil 2' de verilmiştir. Geliştirilen modelin deneysel sonuçları iyi tahmin etmesi durumunda, deneysel verilerle model tahminlerinin diyagonal üzerinde sıralanması beklenir. Normalize kalıntı ile deneysel veriler arasındaki grafikten ise kalıntıların tamamen raslantısal olup olmadığı gözlenir. Modelin istatistiksel analizi yapılmış ve deneysel verilerle modelin uyduğu, modelin deneysel verileri iyi tahmin ettiği, yeterli olduğunu ve sistematik hata içermediği görülmüş ve korelasyon katsayısı 0,9234 olarak bulunmuştur.



Şekil 1. Parametrelerin etki boyutu



Şekil 2. Model test grafikleri

Çizelge 2. Deneysel tasarım matrisi ve sonuçlar

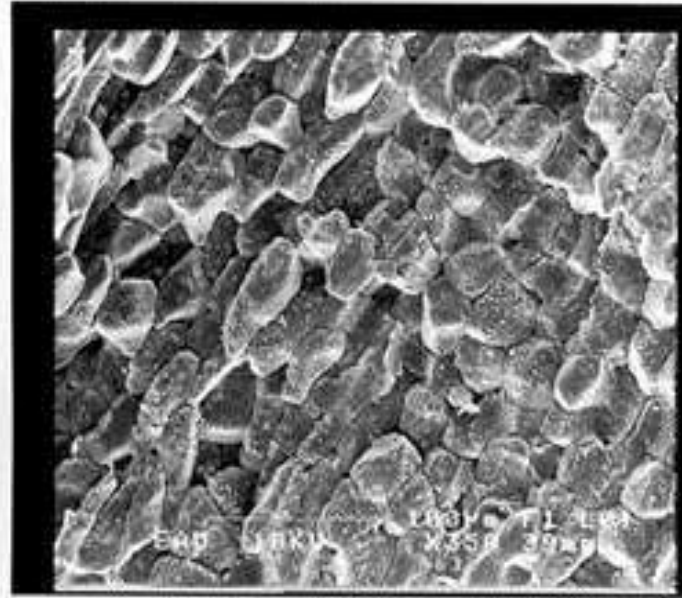
D. No	Tane boyutu (mm)	Ultrases gücü (W/L)	Emdirme oranı (g/mL)	Emdirme süresi (dak.)	Aktivasyon sıcaklığı (°C)	Aktivasyon süresi (dak.)	Yüzey alanı m ² /g Ac
3	-1	1	-1	-1	1	1	157,24
4	1	1	-1	-1	-1	1	77,2
15	-1	1	1	1	-1	1	52,3
10	1	-1	-1	1	1	1	100,5
8	1	1	1	-1	1	-1	10,88
6	1	-1	1	-1	-1	1	17,3
11	-1	1	-1	1	1	-1	50,4
5	-1	-1	1	-1	1	1	86,1
16	1	1	1	1	1	1	63,5
9	-1	-1	-1	1	-1	1	133
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	13,61
13	-1	-1	1	1	1	-1	33,9
14	1	-1	1	1	-1	-1	11,53
2	1	-1	-1	-1	1	-1	21,5
12	1	1	-1	1	-1	-1	8,14
7	-1	1	1	-1	-1	-1	25,8
31	-1.771	0	0	0	0	0	19,8
23	1.771	0	0	0	0	0	23,7
22	0	-1.771	0	0	0	0	16,7
21	0	1.771	0	0	0	0	9,68
28	0	0	-1.771	0	0	0	15,4
25	0	0	1.771	0	0	0	5,17
29	0	0	0	-1.771	0	0	11,48
27	0	0	0	1.771	0	0	8,42
24	0	0	0	0	-1.771	0	6,41
26	0	0	0	0	1.771	0	6,24
30	0	0	0	0	0	-1.771	5,884
20	0	0	0	0	0	1.771	29
1 ⁰	0	0	0	0	0	0	6,87
2 ⁰	0	0	0	0	0	0	8,98
3 ⁰	0	0	0	0	0	0	7,28
Ham	findık	kabuğu					0,188

Bu çalışmada hazırlanan aktif karbonların yüzey alanlarının literatürdeki diğer benzer adsorbentlere ait verilerle karşılaştırılması sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

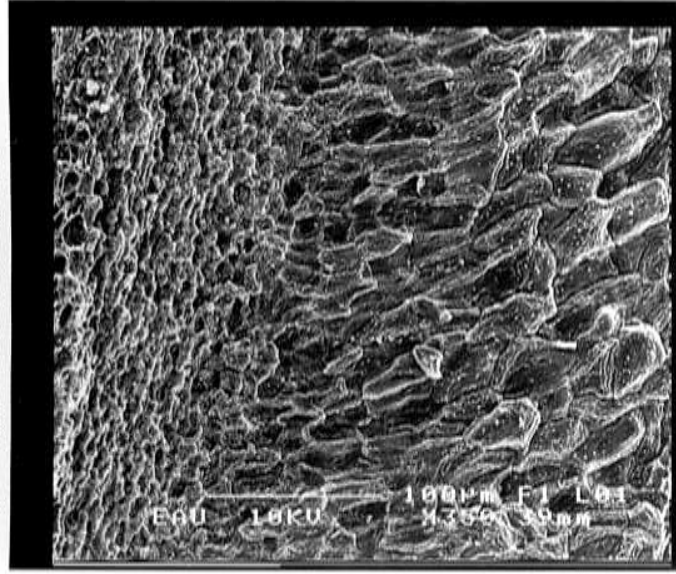
Çizelge 3. Çeşitli materyallerden üretilen aktif karbon adsorbentlere ait yüzey alanları

Adsorbent	Yüzey alanı m ² /g Ac	Kaynak
Fındık kabuğu	348.11	Özer 2011 ukmk
Fındık küspesi	347	Hakan demiral 2011 ukmk
Fındık kabuğu	786	Kazemipour et al. 2008
Char	115.54	Foo et al. 2011
PSAC	700.53	Foo et al. 2011
Fındık kabuğu	441	Demirbaş et al. 2002
Fındık kabuğu	368	Bu çalışma

Şekil 3 ve 4'de sırasıyla aktifleştirme işlemi uygulanmamış (ham) fındikkabuğu ile maksimum yüzey alanına sahip aktif karbona ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 3'de aktifleştirme işlemi uygulanmamış (ham) fındikkabuğunun SEM fotoğrafı incelendiğinde yüzeyin genel olarak gözenekli olmayan bir yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 4'de ise ultrases yardımıyla %10 luk KOH emdirilerek elde edilen ve adsorpsiyon deneylerinde maksimum yüzey alanına sahip aktif karbonların SEM fotoğrafları incelendiğinde ise yapıda oluşan farklılaşma görülmektedir. Aktifleştirilmiş karbonların dış yüzeylerinin girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu ve birçok oyukların oluştuğu görülmektedir. Ultrases kullanarak KOH emdirilmesi ile fındikkabuğunun yüzeyinin temizlenmesi ve porlara difüzyonu sağlanmakta ve karbonlaştırma esnasında porların kapanması ve tar oluşumu (katranlaşma) önlenmektedir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan karbonizasyon işlemi de hammaddenin yapısında SEM fotoğraflarında da görüldüğü gibi girintili çıkıntılı yüzeylerin oluşmasına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 3. Aktifleştirme işlemine tabi tutulmamış (ham) fındikkabuğuna ait SEM görüntüleri



Şekil 4. Maksimum yüzey alanına sahip aktif karbona ait SEM görüntüleri

Optimizasyon

Kapsamlı optimizasyon çalışmalarına girmeden önce, istatistiksel deney tasarımı ve sonuçların analizi neticesinde kurulan ampirik modellerden proses değişkenlerinin en uygun değer sınırlarının saptanması, endüstriyel deney tasarımlarının en önemli amaç ve adımlarından biridir. Öncelikle optimizasyon işleminin amacı belirlenir ve bu amaç, matematiksel olarak, bir “optimizasyon kriteri” vasıtasıyla tanımlanır. Optimizasyonun amacı; proses maliyetinin minimize edilmesi veya proses getirisinin maksimize edilmesi gibi ekonomik karakterde, veya, proses veriminin maksimize edilmesi gibi daha teknik bir karakterde olabilir. Optimum şartlar, herhangi bir kısıtlayıcı nedenler mevcut değilse, “kısıtlanmamış optimizasyon” teknikleri ile hesaplanır. Fakat, çoğunlukla, optimum şartlar, bazı kısıtlamalar varlığında, hesaplanmak zorundadır. Bu kısıtlamalar, göz ardı edilemeyen bazı teknik-ekonomik zorunluluklardan kaynaklanır ve daha gerçekçi optimum şartların elde edilmesini sağlarlar. Bu kısıtlamalar;

- Doğrudan, proses değişkenleri üzerine konan kısıtlamalar
- Bazı ikincil proses yanıtları üzerine konan kısıtlamalar

şeklinde sınıflandırılabilir. Optimizasyonda kullanılan model ampirik bir model ise, “ampirik modellerle ekstrapolasyon işlemi yapılmaz” prensibine uygun olarak, model elde edilirken kullanılan, proses değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri, doğal kısıtlamaları oluştururlar (Şayan 2002).

Bu çalışmada optimizasyon kriteri olarak, hazırlanan aktif karbonların yüzey alanları dikkate alınmış ve proses değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri de doğal kısıtlamalar düşünülmüştür. Optimizasyonda 8 nolu model denklemi kullanılmıştır. Böylece optimizasyon problemi;

$$\text{- Maximum } Y_y \quad (9)$$

$$\text{- Doğal kısıtlamalar (proses değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri)} \\ -\alpha_i < X_i < +\alpha_i \quad i = 1 \dots 6 \quad (10)$$

şeklinde tanımlanabilir. İstatistiksel olarak geliştirilen model denklemi, hazırlanmış aktif karbonların yüzey alanlarının optimizasyonu için Matlab optimizasyon toolbox'ında bulunan kısıtlanmış optimizasyon programı kullanılmış ve optimum sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Optimum şartlar

Tane boyutu (mm)	Ultras ses gücü (W/L)	Emdirme oranı (g/mL)	Emdirme süresi (dak)	Aktivasyon sıcaklığı (°C)	Aktivasyon süresi (dak)	Yüzey alanı m ² /g Ac
0.83	2	0.017	143	839	72	368

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ultras ses yardımıyla fındikkabuğuna KOH emdirilerek hazırlanmış aktif karbonların yüzey alanlarının modellenmesi ve optimizasyonu için deneyler istatistiksel tasarım yöntemleri kullanılarak tasarlanmış, verilerin analizi matlab programı kullanılarak yapılmış ve parametrelerin yüzey alanları üzerine, ana ve iç etkileşimlerini de içeren % 90 güven düzeyinde etkili parametrelerle kurulan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model, hazırlanmış aktif karbonların yüzey alanlarının optimizasyonu için kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, ultras ses yardımıyla fındikkabuğuna KOH emdirilerek, yüksek sıcaklıkta N₂ atmosferinde karbonlaştırma işlemiyle hazırlanan bu aktif karbonların adsorbent olarak etkin bir şekilde kullanılacağını göstermiştir. Kurulan model ve optimum şartlar endüstriyel çapta uygulamalar ve daha büyük boyutlarda yapılacak detaylı çalışmalarda başlangıç noktası oluşturabilecek uygun proses şartlarının tespitinde kullanılabilmesi, ayrıca fizibilite çalışmaları için önemli bir bilgi kaynağı oluşturması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Baştuğ, F., (2008). Palmiye Kabuğu Kökenli Aktif Karbon Adsorpsiyonu ile Ağır Metal Giderimi, Y. Lisans Tezi, SD , Isparta.
- Daud, W.M.A.W., Ali, W.S.W. and. Sulaiman, M.Z., (2002) Effect of Activation Temperature on Pore Development in Activated Carbon Produced from Palm Shell, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 78, 1-5.
- Daud, W.M.A.W. and Ali, W.S.W., (2004). Comparison on Pore Development of Activated Carbon Produced from Palm Shell and Coconut Shell, *Bioresource Technology* 93, 63– 69.
- Demiral, H., Demiral, İ., Karabacakoğlu, B. ve Tümsek, F., (2011). Fındık Küspesi Piroлиз Katı Ürününden Aktif Karbon Eldesi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Demirbas, E., Kobya, M., Öncel, S. and Şencan, S., (2002). Removal of Ni(II) from Aqueous Solution by Adsorption onto Hazelnut Shell Activated Carbon: Equilibrium Studies, *Bioresource Technology* 84, 291–293.
- Foo, K. Y. and Hameed, B.H., (2011). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Pistachio Nut Shells Via Microwave-Induced Chemical Activation, *Biomass and Bioenergy*, 35, 3257-3261.
- Grusamy A., (2002). Adsorption of Basic Dye on Strongly Chelating Polymer: Batch Kinetics Studies, *Iranian Polymer Journal*, 1, 237-244.
- Guo, G., (2002). The Effect of Local Hydrodynamics on Mass Transfer in Disordered Porous Media, Ph.D. Dissertation in Chem. Eng. Louisiana State University, USA.

- Gülensoy, H. ve Şengil, A., (1981). Aktif Karbon ve Üretimi, *Sakarya Devlet Mühendis ve Mimarlık Akademisi Dergisi*, Sayı:MMA-11, 77- 90, Sakarya.
- Hussein, M.Z., Tarmizi, R.S.H., Zainal, Z., Ibrahim, R. and Badri, (1996). M., Preparation and Characterization of Active Carbons from Oil Palm Shells, *Carbon*. 34 (11), 1447–1454.
- Kazemipour, M., Ansari, M., Tajrobehkar, S., Majdzadeh, M. and Kermani, H. R., (2008). Removal of Lead, Cadmium, Zinc, and Copper from Industrial Wastewater by Carbon Developed from Walnut, Hazelnut, Almond, Pistachio Shell, and Apricot Stone, *Journal of Hazardous Materials* 150, 322–327.
- Letterman, R.D., Water Quality and Treatment, (1999). *A Handbook Of Community Water Supplies*. Fifth Edition. McGraw-Hill. New York.
- Lua, A.C. and Guo, J., (1998). Preparation and Characterization of Chars from Oil Palm Waste, *Carbon*. 36 (11), 1663–1670.
- Marani, D. and Macci, G., Pagano, (1995). M., Lead Precipitation in The Presence of Sulphate and Carbonate. Testing of Thermodynamic Predictions, *Water Research*, 29, 1085-1092.
- Özer, A. and Şen, N., (2011). Fosforik Asitle Aktifleştirilen Fındık kabuklarından Elde Edilen Aktif Karbonun Bazı Yüzeysel Özelliklerinin Belirlenmesi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Papini, M.P., Kahie ,Y.D., Troia, B. and Majone, M., (1999). Adsorption of Lead at Variable pH Onto a Natural Porous Medium: Modeling of Batch and Column Experiments, *Environmental Science and Technology*, 33, 3357-4464.
- Smith, H.E., Lu, W., Vengris, T. and Binkiene, R., (1996). Sorption of Heavy Metals by Lithuanian Glauconite, *Water Research*, 30, 2883-2892.
- Sublet, R., Simonnot, M., Boireau, A. and Sardin, M., (2003). Selection of an Adsorbent for Lead Removal from Drinking Water by A Point-of-use Treatment Device, *Water Research*. 37, 4904–4912.
- Şayan, E., (2002). Kırmızı Çamurdan TiO₂'in Sülfürik Asit ile Liçingi Üzerine Ultrases Gücünün Etkisinin İncelenmesi, İstatistiksel Modellenmesi ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Şayan, E., (2006). Ultrasound-Assisted Preparation of Activated Carbon from Alkaline Impregnated Hazelnut Shell: An Optimization Study on Removal of Cu²⁺ from Aqueous Solution, *Chemical Engineering Journal*, 115, 213–218.
- Vural, N., (2007). Paulownia Ağacı Odunundan ZnCl₂ Aktivasyonu ile Aktifleştirilmiş Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Zhang, K., Cheung, W., Valix, M., (2005). Roles of Physical and Chemical Properties of Activated Carbon in The Adsorption of Lead Ions, *Chemosphere*. 60, 1129–1140.