



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Sulu çözeltilerden amoksisilin gideriminde ani (flaş) ısıtma yöntemiyle elde edilen aktif karbonların kullanımı

The use of activated carbons obtained by flash heating method for the removal of amoxicillin from aqueous solutions

Yazar(lar) (Author(s)): Aygül YURTAY¹, Murat KILIÇ²

ORCID¹: 0000-0001-6083-4515

ORCID²: 0000-0002-7141-2075

To cite to this article : Yurtay A., ve Kılıç M., “The use of activated carbons obtained by flash heating method for the removal of amoxicillin from aqueous solutions”, *Journal of Polytechnic*, 27(1): 387-396, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Yurtay A., ve Kılıç M., “Sulu çözeltilerden amoksisilin gideriminde ani (flaş) ısıtma yöntemiyle elde edilen aktif karbonların kullanımı”, *Politeknik Dergisi*, 27(1): 387-396, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1049425

Sulu Çözeltilerden Amoksisilin Gideriminde Ani (Flaş) Isıtma Yöntemiyle Elde Edilen Aktif Karbonların Kullanımı

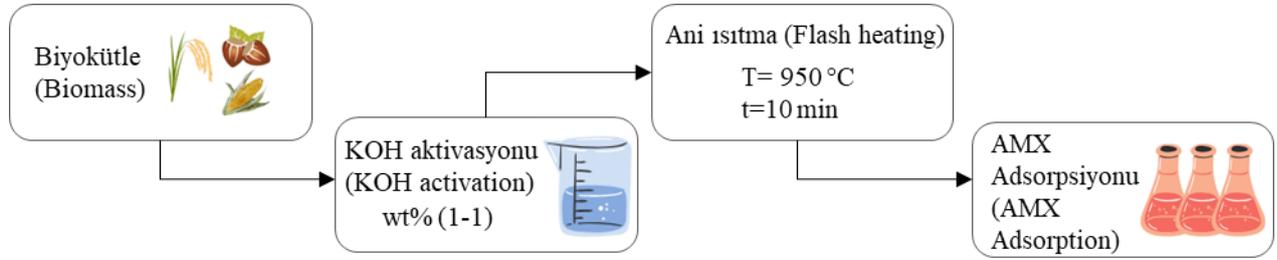
The Use of Activated Carbons Obtained by Flash Heating Method for the Removal of Amoxicillin From Aqueous Solutions

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Aktif karbon üretimi 10 dakikada gerçekleştirilmiştir (Activated carbon production were conducted 10 min).
- ❖ Ani ısıtma yöntemi ile 1650-2374 m²/g yüzey alanına sahip aktif karbon üretilmiştir (Activated carbon with a surface area of 1650-2374 m²/g was produced via flash heating method)
- ❖ Amoksisilin adsorpsiyonu yapılmıştır (Amoxicillin adsorption was carried out).
- ❖ En yüksek amoksisilin giderimi 300-500 mg/g arasında belirlenmiştir (The highest amoxicillin removal was determined between 300-500 mg/g.)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Ani ısıtma yöntemi ile biyokütleden üretilen aktif karbonlar Amoksisilin gideriminde kullanılmıştır. /Activated carbons produced from biomass by flash heating method were used in Amoxicillin removal.



Şekil. Deneysel yöntem /Figure. Experimental method

Amaç (Aim)

Adsorpsiyon kapasitesi yüksek aktif karbonların kısa sürede üretilmesi amaçlanmıştır. / It is aimed to produce activated carbon have high adsorption capacity.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Biyokütleden KOH aktivasyonu ile aktif karbon üretilmiş ve Amoksisilin gideriminde adsorbent olarak kullanılmıştır. / Activated carbon produced from biomass with KOH activation and used as an adsorbent for amoxicillin removal

Özgünlük (Originality)

Aktif karbon üretiminde ani (flaş) ısıtma yöntemi ilk defa kullanılmıştır. / Flash heating method was used for the first time in the activated carbon production.

Bulgular (Findings)

Selüloz oranı yüksek biyokütleden ni ısıtma yöntemiyle elde edilen aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesi daha yüksektir. / The adsorption capacity of the product obtained from biomass with high cellulose content via flash activation is higher.

Sonuç (Conclusion)

Aktif karbonların AMX adsorpsiyon kapasiteleri 303-500 mg/g aralığında bulunmuştur. / AMX adsorption capacities of activated carbons were determined in the range of 303-500 mg/g.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Sulu Çözeltilerden Amoksisilin Gideriminde Ani (Flaş) Isıtma Yöntemiyle Elde Edilen Aktif Karbonların Kullanımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Aygül YURTAY, Murat KILIÇ*

Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.12.2021 ; Kabul/Accepted : 05.05.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 24.10.2022)

ÖZ

Bu çalışmada, farklı biyokütle atıkları kullanılarak aktif karbon ilk defa ani (flaş) ısıtma yöntemi ile üretilmiştir. Ani ısıtma yöntemiyle üretilen aktif karbonlar, sulu çözeltiden amoksisilin gideriminde adsorbent olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri sonucunda elde edilen verilere farklı adsorpsiyon izoterm ve kinetik modelleri uygulanmış ve adsorpsiyon termodinamiği araştırılmıştır. Üretilen aktif karbonların amoksisilin (AMX) adsorpsiyon kapasitesi 300-500 mg/g arasında bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde, ani (flaş) ısıtma yöntemiyle yüzey alanı ve mikrogözenekliliği yüksek aktif karbonların amoksisilin gideriminde etkili bir adsorbent olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon, ani ısıtma, amoksisilin, adsorpsiyonu, biyokütle.

The Use of Activated Carbons Obtained by Flash Heating Method for the Removal of Amoxicillin from Aqueous Solutions

ABSTRACT

In this study, activated carbon was produced for the first time by flash heating method using different biomass wastes. Activated carbons produced by the flash heating method were used as adsorbent in the removal of amoxicillin from the aqueous solution. Different adsorption isotherm and kinetic models were applied to the data obtained from the adsorption experiments and adsorption thermodynamics were investigated. The amoxicillin (AMX) adsorption capacity of the produced activated carbons was found between 300-500 mg/g. When the results were evaluated, it was determined that activated carbons with high surface area and microporosity can be used as an effective adsorbent in the removal of amoxicillin by flash heating.

Keywords: Activated carbon, flash heating, amoxicillin, adsorption, biomass.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi devriminin başlaması ve modern toplumun gelişmesiyle birlikte hızla büyüyen üretimde aktif karbondan yararlanılması, çevresel düzenlemeler, temiz gaz uygulamaları, hava kalite kontrolü, su kirliliği ve enerji depolanmasına bağlı olarak artmıştır. Aktif karbonun birçok alanda kullanılmaya başlaması, büyük çapta üretimi için pratik, yenilikçi alternatif ısıtma yöntemlerine olan gereksinimi ortaya koymuştur. Literatürde genellikle kullanılan yöntem olan yavaş ısıtmada, ısı kaynağı iletim, taşınım ve radyasyon yoluyla karbon yatağını dış yüzeyden iç kısma doğru ısıtır ve böylece partiküller için farklı sıcaklık dağılımına neden olan termal (sıcaklık) gradyanı oluşur. Bu termal gradyanı önlemek için, genellikle daha yavaş bir ısıtma hızı kullanılır, bu da üretim süresini uzatır, böylece süreç daha fazla enerji tüketimi ve daha yüksek maliyetlerle sonuçlanır. Diğer bir sorun, termal gradyanın piroliz gazlarının çevreye salınmasını engellemesidir. Bu

nedenle bazı uçucu bileşenler parçacıkların içinde kalarak karbon birikimi sorunlarına yol açabilir. Biriken karbonun mikro gözenekli ağı engellemesi mümkündür, bu da bozulmaya ve homojen olmayan mikro yapıya, düşük toplam gözenek hacmi değerlerine ve yüzey alanına yol açar [1-3]. Mikrodalga ısıtma, ısının doğrudan ürüne elektromanyetik dalgalar yoluyla iletildiği ve büyük miktarlarda ısının malzemenin iç kısmına aktarılabilirdiği bir alternatif teknik olduğu için yavaş ısıtmadan doğan problemlerinin üstesinden gelir [4]. Mikrodalga enerjisinin dönüşümü geleneksel ısıtmada olduğu gibi iletim veya taşınım değil, dipol rotasyonu ve partiküllerin içindeki iyonik iletimle olur. Bu nedenle, işlem süresi mikrodalga ısıtma yoluyla önemli ölçüde azaltılabilir [5,6]. Ancak mikrodalga ısıtma yönteminin ekonomik olarak pahalı olması ve aktif karbonların üretimi için olgunlaşmamış proses ölçeğine sahip olması başlıca dezavantajlardır. Çünkü bu teknolojinin büyük çapta nasıl ölçekleneceği ve büyük ölçekli mikrodalga ısıtmanın nasıl bir performans göstereceği konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır [2,7]

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mkilic3@eskisehir.edu.tr

Bu çalışmada, ısıtma yöntemlerindeki bu eksikliklerin giderilmesi için yenilikçi, basit ve ekonomik olarak büyük ölçekte uygulanabilir bir yöntem olan ani (flaş) ısıtma yöntemi araştırılmış ve bu yöntemin gerçekleştirileceği reaktör tasarlanmıştır. Ani ısıtma yöntemi ile biyokütleden aktif karbon üretilmiş ve bu aktif karbonlar sulu çözeltiden Amoksisilin gideriminde kullanılmıştır. Amoksisilin bakterilere karşı yüksek direnç göstermesi sebebiyle yaygın olarak kullanılan bir antibiyotiktir. Ancak atık sularındaki amoksisilin, birçok organizma üzerinde toksik bir etkiye sahip olduğu için çeşitli yöntemlerle giderimi oldukça önemlidir. Yapılan adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerle, izoterm, kinetik çalışmaları yapılmış ve termodinamik parametreler hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Aktif karbonun ani (flaş) ısıtma yöntemi ile üretimi (Production of activated carbon by flash heating method)

Aktif karbon üretiminde hammadde olarak fındık kabuğu (FK), pirinç kabuğu (PK) ve mısır sapı (MS) kullanılmıştır. Hammaddelerin parçacık boyutunu küçültmek amacıyla Retsch-Vibra SK-1 tip değirmen kullanılarak öğütülmüş ve öğütülen hammaddeler Retsch-Vibra AS 200 basic ASTM elek setinde elenmiştir. Her üç hammadde için parçacık boyutu $1,25 > D_p > 0,85$ mm olarak seçilmiştir. Aktif karbon üretiminde aktivasyon yöntemi olarak kimyasal aktivasyon seçilmiş ve aktivasyon ajanı olarak KOH kullanılmıştır. Hammadde ve KOH ağırlıkça 1:1 oranında belirli bir miktar distile su ile karıştırılmış ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Ardından sıcaklığı 80°C ayarlanan etüvde belirli bir süre kurutulması sağlanarak karbonizasyon için hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmada ilk defa aktif karbon üretiminde ani (flaş) ısıtma yöntemi uygulanmıştır. Ani ısıtma yöntemini gerçekleştirmek üzere yeni bir reaktör tasarlanmış ve Şekil 1’de detayları gösterilmiştir [9]. Deneysel çalışmalarda 950°C sıcaklığında ısıtma işlemi uygulanmış ve aktivasyon süresince reaktöre 100 cm³/dk akış hızında azot gazı gönderilmiştir. KOH ile aktive edilmiş hammadde fırının diğer ucuna koyulmuştur. Fırın istenilen sıcaklığa

geldikten sonra alt kısmında yer alan kayar mekanizma ile örnek üzerine hareket ettirilmiş ve bu şekilde 10 dakika boyunca karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından fırın kayar mekanizma ile tekrar eski pozisyonuna getirilmiştir. Karbonizasyon sonrası elde edilen katı ürünün kimyasallardan arınmasını sağlayıp nötral hale getirmek için kaynamış saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra 105°C’ye ayarlanan etüvde kurutulmuş ve 112 mikronluk elekten geçirilmiştir.

2.2. Aktif karbon karakterizasyonu (Characterization of activated carbon)

Aktif karbonların içerdiği karbon miktarları ASTM D5373 standardına göre ölçüm yapabilen LECO CHN628 elementel analiz cihazı ile belirlenmiştir. Quantachrome marka Autosorb-1 cihazı kullanılarak BET yüzey alanı bulunmuştur. Ortalama gözenek boyutu ile toplam gözenek hacmi cihaz yazılımı ile belirlenmiş, mikrogözenek alanı, mikrogözenek hacmi ve dış yüzey alanı ise t-plot yöntemiyle belirlenmiştir. Verim Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Verim (\%)} = \left(\frac{W_{AC}}{W_i} \right) * 100 \quad (1)$$

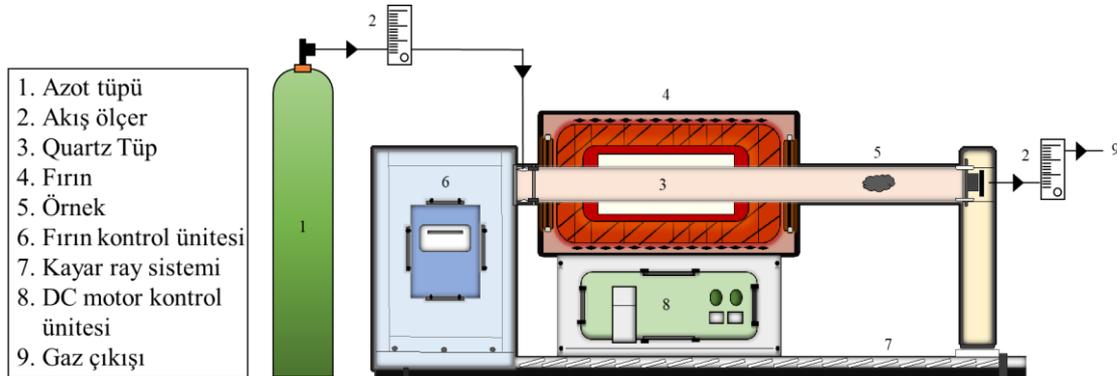
Eşitlikte;

W_{AC} = Yıkama sonrası elde edilen aktif karbon miktarı

W_i = Reaktöre beslenen hammadde miktarı

2.3. Amoksisilin adsorpsiyon çalışmaları (Studies of Amoxicillin adsorption)

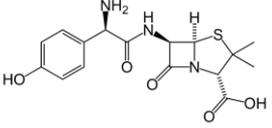
Kesikli adsorpsiyon çalışmalarında üretilen aktif karbonlar Amoksisilin (AMX) gideriminde kullanılmıştır ve amoksisilin özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Öncelikle 300-400-500-600-700 ppm derişime sahip AMX standart çözeltileri hazırlanmış ve 25-35-45°C sıcaklıklarında adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. 0.2 gram aktif karbon 250 ml hacminde erlene alınmış ve üzerine hazırlanan AMX çözeltilerinden 200 ml ilave edilmiştir. Oda sıcaklığında, 24 saat boyunca, 150 rpm karıştırma hızında çalkalamalı inkübatörde bekletilmiştir. Aktif karbon/AMX karışımı, ucuna filtre yerleştirilen şırınga yardımıyla süzölmüş ve süzöntüdeki AMX miktarını belirleyebilmek için 228 nm



Şekil 1. Ani (flaş) ısıtma reaktör sistemi (flash heating reactor system)

dalga boyunda UV analizleri (Varian Cary 100 Bio UV-Vis) yapılmıştır. Aktif karbon miktarı, karıştırma süresi, ortamın pH'ı parametreleri değiştirilmemiş, çözeltinin kendi pH'ında adsorpsiyonun gerçekleşmesi sağlanmıştır. Böylece gerçek durumda aktif karbonun ne kadar amoksisilin adsorplayacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 1. Amoksisilin antibiyotiklerinin özellikleri (Properties of Amoxicillin) [8]

Antibiyotik adı	Amoksisilin
Kimyasal yapısı	
IUPAC adı	α -amino-hidroksibenzilpenisilin
Molekül formülü	C ₁₆ H ₁₉ N ₃ O ₅ S
Molekül ağırlığı	365.40 g/mol
Sudaki çözünürlüğü	3430 mg/L

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

3.1. Aktif karbon karakterizasyon sonuçları (Results of activated carbon characterization)

Ani ısıtma yöntemiyle üretilen aktif karbonların özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Üç farklı biyokütle kullanılarak yapılan üretim sonucunda fındık kabuğu (FK-AC) en düşük mikrogözenek ve yüzey alanına sahipken, mısır sapı (MS-AC) ve pirinç kabuğu (PK-AC) için sonuçlar oldukça yüksektir. Hammaddeler arasındaki bu farklılık lignoselülozik yapılarındaki farklılıktan ileri gelmektedir. Fındık kabuğunda lignin oranı, mısır sapı ve pirinç kabuğunda ise selüloz ve hemiselüloz oranı yüksektir [9]. Termal bozunurma sırasında lignin sıcaklığa karşı dirençli bir yapı oluştururken selüloz ve hemiselüloz yapılarının tamamı bozunmaktadır. Bu sonuç ani ısıtma yönteminin özellikle selüloz yapısı bakımından zengin biyokütleler için oldukça kullanışlı olduğunu göstermektedir. Ancak uygulanan 10 dakikalık karbonizasyon süresi sonucunda üretilen ürünlerin yüzey alanları ortak olarak

incelendiğinde elde edilen değerlerin ticari aktif karbonlar ile kıyaslanabilecek kadar yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama gözenek boyutlarının 20°A'den küçük olması ise yapının mikrogözeneklere sahip kanallardan oluştuğunu belirtmektedir [9].

3.2. Adsorpsiyon izotermi (Adsorption isotherms)

Adsorpsiyon deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak farklı adsorpsiyon izoterm ve kinetik modelleri uygulanmış ve adsorpsiyon termodinamığı araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan modeller Çizelge 3'de özetlenmiştir. İzoterm modellerinin PK-AC aktif karbona uygulanmasıyla elde edilen eğriler örnek teşkil etmesi açısından Şekil 2'de verilmiştir.

İzoterm modelini belirleyebilmek amacıyla yapılan deneysel çalışmadan elde edilen veriler Langmuir, Freundlich ve Dubinin-Radushkevich ve Temkin izotermi kullanılarak modellenmiştir. Langmuir izoterm modeli, adsorpsiyonun gerçekleştiği tabakanın bir molekül boyutunda olduğunu yani tek tabakalı adsorpsiyonun gerçekleştiği temeline dayanır. Aynı zamanda homojen adsorpsiyon tanımı olan her bir molekülün sabit entalpi ile sabit sorpsiyon aktivasyon enerjisine sahip olduğu ve adsorbent yüzeyinde belirli sayıda aktif bölge olduğu varsayımlarında bulunur [10,11].

Webber and Chakravorti tarafından önerilen, boyutsuz bir sabit olarak tanımlanan ayırma faktörü (R_L), Langmuir adsorpsiyon izoterminin karakteristiğidir [12,13]. R_L değeri aşağıda verilen Eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L * C_o)} \quad (2)$$

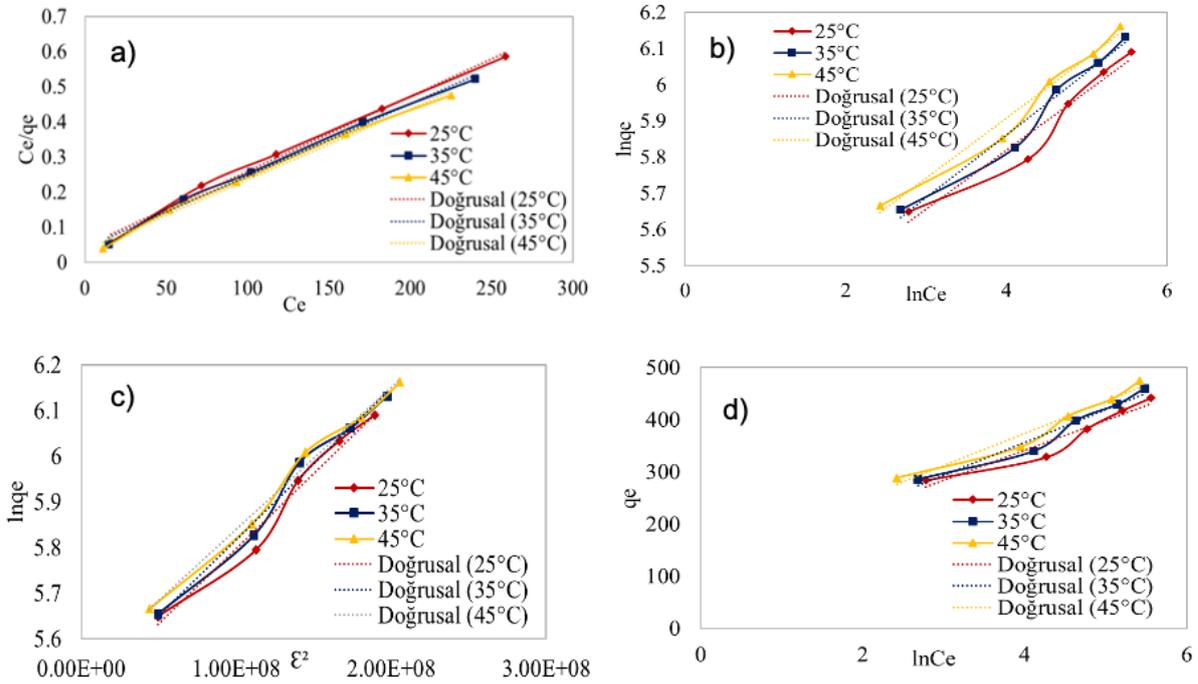
Bu denklemde C_o , adsorplanan maddenin başlangıç derişimi (mg L^{-1}) olarak tanımlanır. Ayırma faktörüne (R_L) bakılarak seçilen adsorbentin adsorpsiyona uygunluğu belirlenir. Düşük R_L değerleri (0-1 aralığı), adsorpsiyonun uygun olduğunu göstermektedir. Çizelge 4 incelendiğinde ayırma faktörü değerlerinin 0 ile 1 arasında hesaplanması, çalışılan koşullarda aktif karbon üzerine amoksisilin adsorpsiyonunun uygun olduğunu belirtmektedir [14].

Çizelge 2. Aktif karbon özellikleri (Properties of activated carbons)

	FK-AC	PK-AC	MS-AC
Nem (%)	10.30	8.96	12.15
Kül (%)	1.77	2.33	17.73
Verim (%)	22.26	14.99	13.33
C (%)	81.15	71.46	61.67
BET yüzey alanı (m^2/g)	1650	2573	2304
Ortalama gözenek boyutu (A°)	13.25	15.26	17.33
Toplam gözenek hacmi (cm^3/g)	1.093	1.964	1.997
Mikrogözenek hacmi (cm^3/g)	0.6277	0.9500	0.6670
Mikrogözenek yüzey alanı (m^2/g)	1218	1861	1321
Dış yüzey alanı (m^2/g)	432	712	983

Çizelge 3. İzoterm ve kinetik model eşitlikleri (Equation of isotherm and kinetic models)

Model	Lineerleştirilmiş Eşitlik	Parametreler
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m * K_L} + \frac{C_e}{q_m}$	<p>C_e = Dengedeki çözelti derişimi, (mg L⁻¹)</p> <p>q_e = Gram adsorbent başına adsorplanan madde miktarı, (mg g⁻¹)</p> <p>q_m = Yüzeyde monomoleküller tabaka oluşturabilmek için gerekli adsorbent miktarını gösteren sabit, (mg g⁻¹)</p> <p>K_L = Adsorpsiyon enerjisini belirten Langmuir sabiti, (L mg⁻¹) [16]</p>
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$	<p>K_F ve n = Freundlich adsorpsiyon izotermine ait sabit parametreler [10]</p>
Dubinin-Radushkevich	$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2$ $\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad E = \frac{1}{\sqrt{2\beta}}$	<p>β = Adsorpsiyon enerjisi ile ilgili sabit (mol²·kJ⁻²)</p> <p>ε = Polanyi potansiyeli, (j mol⁻¹)</p> <p>T = Adsorpsiyonun gerçekleştiği sıcaklık, (K)</p> <p>R = İdeal gaz sabiti, (kJ mol⁻¹ K⁻¹)</p> <p>E = Ortalama adsorbama enerjisi (bir mol iyonun çözeltiden katı yüzeye transferi için gerekli enerji değişimi), (kJ mol⁻¹) [17]</p>
Temkin	$q_e = B \ln K_T + B \ln C_e$ $B = \frac{RT}{b}$	<p>B = Adsorpsiyon ısısı ile ilgili Temkin sabiti, (j mol⁻¹)</p> <p>b = Temkin izoterm sabiti</p> <p>K_T = Temkin izoterm sabiti, (L g⁻¹) [10]</p>
Sözde 1. derece kinetik model	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2,303}$	<p>q_t = Herhangi bir t anında gram adsorbent başına adsorplanan madde miktarı (mg g⁻¹)</p> <p>k_1 = Sözde birinci derece kinetik modelin reaksiyon hız sabiti (dk⁻¹) [18]</p>
Sözde 2. derece kinetik model	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$	<p>k_2 = Sözde ikinci derece kinetik modelin reaksiyon hız sabiti (dk⁻¹) [19]</p>
Elovich	$q_t = \frac{\ln(\alpha\beta)}{\beta} + \frac{1}{\beta} \ln t$	<p>α = Adsorpsiyon hız sabiti, (mg g⁻¹ dk⁻¹)</p> <p>β = Adsorbant tarafından kaplanan yüzeye ve aktivasyon enerjisine bağlı parametre, (g mg⁻¹) [18,20]</p>
Partikül içi difüzyon	$q_t = k_p t^2 + C$	<p>q_t = Adsorpsiyonun t zamanındaki adsorpsiyon kapasitesi, (mg g⁻¹)</p> <p>k_p = Partikül içi difüzyon modeli hız sabiti, (mg g⁻¹ sa⁻¹)</p> <p>C = Sınır tabakası kalınlığı ile ilgili sabit (mg g⁻¹) [21]</p>



Şekil 2. PK-AC aktif karbonunun izoterm eğrileri a)Langmuir izoterm modeli b)Freundlich izoterm modeli c)Dubinin-Radushkevich izoterm modeli d)Temkin izoterm modeli

Çizelge 4. 35°C adsorpsiyon sıcaklığında ve farklı çözelti derişimlerinde Langmuir ayırma faktörü (Langmuir separation factor at 35°C adsorption temperature and different solution concentrations)

	FK-AC	PK-AC	MS-AC
Çözelti Derişimi (mg/L)	Ayırma Faktörü (R _L)	Ayırma Faktörü (R _L)	Ayırma Faktörü (R _L)
300	0.056	0.062	0.083
400	0.043	0.047	0.063
500	0.035	0.038	0.051
600	0.029	0.032	0.043
700	0.025	0.027	0.037

Üç farklı aktif karbon için hesaplanan izoterm parametreleri ve R² değerleri Çizelge 5-7'de gösterilmektedir. Çizelgeler ortak incelendiğinde adsorpsiyon işleminin yüksek R² değerine göre Langmuir izotermine uyduğu görülmektedir. Bu varsayımlar göz önüne alındığında, amoksisilin adsorpsiyonun tek tabakalı adsorpsiyon olduğu ve adsorpsiyonun gerçekleştiği yüzeyin homojen aktif bölgelere sahip olduğu söylenebilir. Denge anına kadar, yüzey homojen olarak AMX molekülleri ile dolar ve denge anında maksimum adsorplama kapasitesine ulaşmış olur. Freundlich izoterm modeline uygunluk gösteren adsorpsiyon sistemlerinde adsorbentın yüzey enerji dağılımı heterojen yapıdadır. Başka bir ifade ile adsorbent yüzeyinde adsorplama işlevini yerine getiren

bölgelerin her biri farklı adsorplama potansiyeline sahip olup, her bir alanın kendi içerisinde homojen yapıda olduğu kabul edilir. Çizelgedeki Freundlich izoterm modelinin R² değerlerine bakıldığında düşük olduğu görülür. Yani bu modele uymayarak yüzey enerji dağılımının heterojen bir yapıda değil homojen bir yapıda olduğu anlaşılır.

Yüzeyde tam bir monomoleküler tabaka oluşturabilmek için gerekli adsorbent miktarına gösteren q_m değerleri incelendiğinde FK-AC için 263-303 mg/g, PK-AC için 454-500 mg/g ve MS-AC için 384-400 mg/g olarak elde edilmiştir. Bu veriler aktif karbonların yüzey alanı arttıkça artmıştır. FK-AC, PK-AC ile MS-AC aktif karbonlarının yüzey alanları sırasıyla 1650,09 m²/g, 2573,45 m²/g, 2304,76 m²/g olarak belirlenmiş ve q_m değerleri yüzey alanıyla paralel şekilde artmıştır.

Dubinin-Radushkevich (DR) izoterm modelinin sabitlerinden biri olan E (kJ/mol) adsorpsiyon tipinin belirlenmesinde kullanılır. 1 mol iyonun çözülden adsorbent yüzeyine transferi için gerekli enerji değişimini ifade eder. Eğer E < 8 kJ/mol ise fiziksel adsorpsiyon; 8 < E < 16 kJ/mol aralığında ise iyon değişimi adsorpsiyonudur [15]. Her üç hammadde için hesaplanan E değerlerine bakıldığında 8-16 kJ/mol aralığında olduğu ve adsorpsiyon tipinin iyonik adsorpsiyon olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5. Fındık kabuğundan (FK-AC) elde edilen aktif karbonun AMX adsorpsiyon izoterm değerleri (AMX adsorption isotherm values of activated carbon obtained from hazelnut shell (FK-AC))

Langmuir Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	1/q _m	1/(q _m *K _L)	q _m (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²
25°C	0.0038	0.1566	263	0.022	0.9682
35°C	0.0035	0.0591	285	0.056	0.9827
45°C	0.0033	0.0453	303	0.072	0.9871
Freundlich Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	ln K _F	1/n	K _F	n	R ²
25°C	4.5138	0.1635	91.3	6.1	0.7003
35°C	5.1145	0.0859	166.4	11.6	0.5615
45°C	5.2144	0.0773	183.9	12.9	0.6041
Dubinin-Radushkevich Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	B	lnq _m	q _m	E (kJ/mol)	R ²
25°C	-6*10 ⁻⁹	4.92	136	12.9	0.7208
35°C	-3*10 ⁻⁹	5.31	201	12.4	0.5914
45°C	-2*10 ⁻⁹	5.38	217	12.4	0.6372
Temkin Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	B	B*lnK _T	K _T	b	R ²
25°C	35.3	30.69	2.4	70.2	0.6891
35°C	22.1	145.69	724.3	115.7	0.5573
45°C	20.8	167.15	3092.8	127.1	0.5970

Çizelge 6. Pirinç kabuğundan (PK-AC) elde edilen aktif karbonun AMX adsorpsiyon izoterm değerleri ((AMX adsorption isotherm values of activated carbon obtained from rice husk (PK-AC))

Langmuir Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	1/q _m	1/(q _m *K _L)	q _m (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²
25°C	0.0453	0.0453	454	0.04	0.9928
35°C	0.0395	0.0395	476	0.05	0.9942
45°C	0.0335	0.0335	500	0.06	0.9941
Freundlich Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	ln K _F	1/n	K _F	n	R ²
25°C	5.168	0.1628	175.51	6.14	0.9522
35°C	5.169	0.1731	175.74	5.78	0.9746
45°C	5.241	0.1667	188.86	5.99	0.9802
Dubinin-Radushkevich Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	β	lnq _m	q _m	E (kJ/mol)	R ²
25°C	-3*10 ⁻⁹	5.46	237	12.9	0.9776
35°C	-3*10 ⁻⁹	5.48	241	12.9	0.9861
45°C	-3*10 ⁻⁹	5.53	251	12.9	0.9914
Temkin Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	B	B*lnK _T	K _T	b	R ²
25°C	57.5	111.21	6.9	43.1	0.9311
35°C	62.7	106.17	5.4	40.9	0.9578
45°C	61.6	127.78	7.9	42.9	0.9616

Çizelge 7. Mısır sapından (MS-AC) elde edilen aktif karbonun AMX adsorpsiyon izoterm değerleri ((AMX adsorption isotherm values of activated carbon obtained from corn stalk (MS-AC))

Langmuir Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	1/q _m	1/(q _m *K _L)	q _m (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²
25°C	0.0025	0.0564	400	0.045	0.9896
35°C	0.0026	0.0705	392	0.038	0.9940
45°C	0.0026	0.0846	384	0.031	0.9938
Freundlich Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	ln K _F	1/n	K _F	n	R ²
25°C	5.173	0.129	176.46	7.76	0.9361
35°C	4.950	0.163	141.19	6.16	0.9562
45°C	4.844	0.175	126.93	5.71	0.9723
Dubinin-Radushkevich Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	β	lnq _m	q _m	E (kJ/mol)	R ²
25°C	-2*10 ⁻⁹	5.44	230	15.8	0.9573
35°C	-2.5*10 ⁻⁹	5.33	205	14.1	0.9476
45°C	-3*10 ⁻⁹	5.26	192	12.9	0.9665
Temkin Adsorpsiyon İzotermi					
T (°C)	B	B*lnK _T	K _T	b	R ²
25°C	41.46	130.7	3.15	59.8	0.9081
35°C	49.87	70.9	1.42	51.4	0.9534
45°C	52.27	45.5	2.39	50.9	0.9665

Adsorpsiyon kinetiği parametreleri, gerçekleşen adsorpsiyon mekanizmasını ve hız sınırlayıcı basamağı belirlemek adına önemlidir [22]. Adsorpsiyon kinetiğini araştırmak için, 25°C adsorpsiyon sıcaklığı seçilerek, sözde birinci dereceden kinetik model (Lagergren), sözde ikinci dereceden kinetik model (HO), Elovich kinetik modeli ve partikül içi difüzyon kinetik modeli kullanılmış ve elde edilen veriler ile model eğrileri oluşturulmuştur.

Birinci dereceden kinetik model, genellikle adsorpsiyon süresinin birinci basamağına uyarken tüm adsorpsiyon süresi boyunca geçerli değildir. İkinci dereceden kinetik

model ise, tüm adsorpsiyon süresi boyunca kinetik davranışı öngörür [13]. Çizelge 8-10 incelendiğinde regrasyon katsayısı (R^2) değeri en yüksek olan kinetik model, ikinci dereceden kinetik modeldir ve adsorpsiyon kinetiği bu modele uymaktadır. Sözde birinci ve ikinci dereceden kinetik model, adsorpsiyon difüzyon mekanizmasını açıklamazlar ve adsorpsiyon difüzyon mekanizması partikül içi difüzyon modeli ile incelenir. Model eğrisinin başlangıçtaki kavisli kısmı sınır tabakası etkisi ile açıklanırken, doğrusal (lineer) kısmı parçacık içi difüzyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Hız kontrol mekanizması ise adsorpsiyon işlemi sırasında değişebilmektedir.

Çizelge 8. FK-AC üzerine AMX adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik parametreleri, 25°C (Calculated kinetic parameters for AMX adsorption on FK-AC, 25°C)

Birinci dereceden kinetik model					İkinci dereceden kinetik model			
Derişim	$q_{deneyysel}$	k_1	$q_{hesaplanan}$	R^2	$q_{deneyysel}$	k_2	$q_{hesaplanan}$	R^2
300	198	0.020	120	0.924	198	0.00047	200	0.994
400	204	0.017	110	0.964	204	0.00047	204	0.994
500	236	0.015	111	0.987	236	0.00046	238	0.998
600	331	0.014	171	0.959	331	0.00028	333	0.998
700	337	0.015	164	0.971	337	0.00031	333	0.999
Elovich kinetik model					Partikül içi difüzyon modeli			
Derişim	$q_{deneyysel}$	β	α	R^2	$q_{deneyysel}$	K_p	C	R^2
300	198	0.022	123	0.980	198	8.76	84	0.925
400	204	0.019	136	0.986	204	8.73	89	0.939
500	236	0.015	175	0.988	236	9.87	108	0.942
600	331	0.021	127	0.971	331	16.16	124	0.871
700	337	0.015	178	0.976	337	15.48	139	0.882

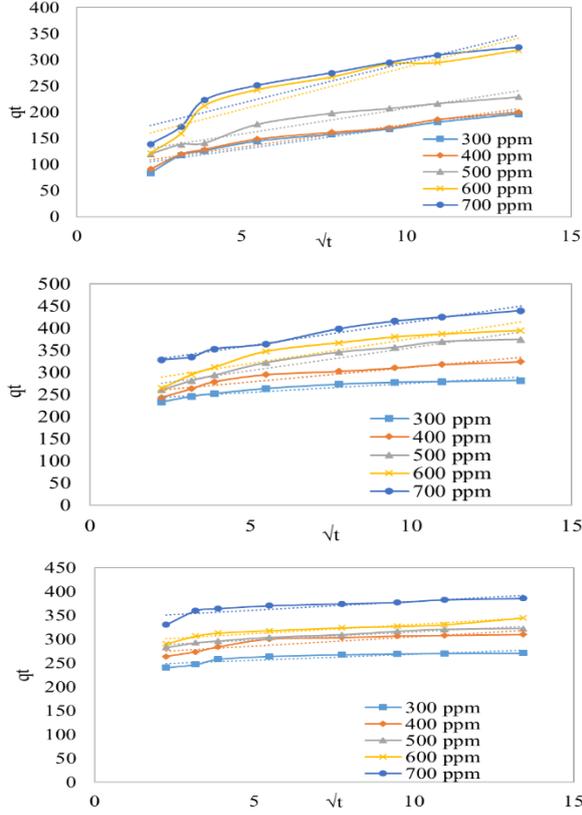
Çizelge 9. PK-AC üzerine AMX adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik parametreleri, 25°C (Calculated kinetic parameters for AMX adsorption on PK-AC, 25°C)

Birinci dereceden kinetik model					İkinci dereceden kinetik model			
Derişim	$q_{deneyysel}$	k_1	$q_{hesaplanan}$	R^2	$q_{deneyysel}$	k_2	$q_{hesaplanan}$	R^2
300	284	0.017	40	0.956	284	0.0019	285	0.999
400	328	0.016	71	0.976	328	0.0010	322	0.999
500	382	0.015	109	0.975	382	0.00058	384	0.999
600	418	0.011	119	0.908	418	0.0006	400	0.999
700	442	0.021	143	0.966	442	0.00047	454	0.999
Elovich kinetik model					Partikül içi difüzyon modeli			
Derişim	$q_{deneyysel}$	β	α	R^2	$q_{deneyysel}$	K_p	C	R^2
300	284	0.0047	581	0.982	284	4.13	234	0.874
400	328	0.0047	581	0.977	328	6.59	245	0.881
500	382	0.0049	560	0.995	382	10.28	252	0.929
600	418	0.0048	572	0.984	418	11.21	264	0.883
700	442	0.0038	718	0.973	442	10.52	308	0.976

Çizelge 10. MS-AC üzerine AMX adsorpsiyon için hesaplanan kinetik parametreleri, 25°C (Calculated kinetic parameters for AMX adsorption on MS-AC, 25°C)

Birinci dereceden kinetik model					İkinci dereceden kinetik model			
Derişim	$q_{deneyysel}$	k_1	$q_{hesaplanan}$	R^2	$q_{deneyysel}$	k_2	$q_{hesaplanan}$	R^2
300	271	0.028	23	0.974	271	0.0041	270	1.000
400	312	0.016	33	0.891	312	0.0024	322	1.000
500	327	0.012	38	0.961	327	0.0019	357	0.999
600	355	0.008	54	0.926	355	0.0013	357	0.999
700	387	0.002	39	0.951	387	0.0021	357	0.999
Elovich kinetik model					Partikül içi difüzyon modeli			
Derişim	$q_{deneyysel}$	β	α	R^2	$q_{deneyysel}$	K_p	C	R^2
300	271	0.0044	625	0.909	271	2.52	243	0.757
400	312	0.0041	669	0.932	312	3.89	266	0.791
500	327	0.0038	722	0.994	327	3.43	281	0.935
600	355	0.0036	747	0.943	355	3.86	292	0.899
700	387	0.0031	877	0.856	387	3.71	342	0.718

Şekil 3'deki eğriler incelendiğinde adsorpsiyon prosesini iki fazın takip etme eğiliminde olduğu görülmektedir. Partikül içi difüzyon grafiğindeki iki faz, adsorpsiyon işleminin yüzey adsorpsiyonu ve ardından gözenek içi difüzyonu ile ilerlediğini gösterir. İlk kavisli kısmı, sınır tabakası etkisini gösterirken; ikinci doğrusal kısım, partikül veya gözenek difüzyonu nedeniyle gerçekleşmiştir [15].



Şekil 3. Partikül içi difüzyon model eğrileri (Intraparticle diffusion model curves)

Ani (flas) ısıtma yöntemi ile üretilen aktif karbonların literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması Çizelge 11'de gösterilmiştir. Deneysel yöntemlerde uygulanan koşullar dikkate alındığında 2-4 saat aralığında üretilen aktif karbonlara kıyasla bu çalışmada ani ısıtma yöntemiyle 10 dakikalık aktivasyon süresi sonunda üretilen aktif karbonların giderim sonuçları literatürle karşılaştırıldığında çoğunlukla yüksek değerler elde edildiğini göstermektedir.

3.3. Adsorpsiyon termodinamiği (Adsorption thermodynamics)

Termodinamik sabitlerin belirlenmesi amacıyla aşağıda verilen Eşitlik 3-5 kullanılarak elde edilen değerler Çizelge 12'de gösterilmiştir.

$$K_L = \frac{q_e}{C_e} \quad (3)$$

$$\ln K_L = \frac{-\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (4)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_L \quad (5)$$

Bu denklemlerde, ΔG° standart adsorpsiyon serbest enerjisi, ΔH° standart adsorpsiyon entalpisi, ΔS° standart adsorpsiyon entropisi olarak tanımlanır [28]. Reaksiyonun endotermik ya da ekzotermik olduğu yine ΔH° değeri ile anlaşılabilir. ΔH° değerinin sıfırdan büyük olması, adsorpsiyonun endotermik olduğunu gösterir. Çizelgeye bakıldığında FK-AC ile PK-AC ile yapılan adsorpsiyonda gerçekleşen reaksiyonların endotermik olduğu görülürken, MS-AC ile yapılan adsorpsiyonun ekzotermik olduğu görülmektedir. Gibbs serbest enerjisinin (ΔG°) negatif değerlerde olması, adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Entropinin (ΔS°) pozitif olması ise düzensizliğin arttığını belirtmektedir. ΔS° değerinin pozitif olması, AMX moleküllerinin afinitesinin elde edilen aktif karbonların yüzeyine adsorplanması için

Çizelge 11. Üretilen aktif karbonların literatürdeki AMX adsorpsiyonu çalışmalarıyla karşılaştırılması (Comparison of the produced activated carbons with the AMX adsorption studies in the literature)

Hammadde	Aktivasyon Ajanı	Yüzey Alanı (m ² /g)	Adsorpsiyon Kapasitesi, q _e (mg/g)	Referans
Ticari aktif karbon	-	1092	186	[23]
Guava tohumu	NaOH	2573	570	[24]
Hurma çekirdeği	-	1325	424	[25]
Kargı bitkisi	KOH	1065	92	[26]
Nar kabukları	-	1029	438	[27]
Fındık kabuğu	KOH	1650	303	Bu çalışma
Pirinç kabuğu	KOH	2573	500	Bu çalışma
Mısır sapı	KOH	2304	400	Bu çalışma

Çizelge 12. Termodinamik parametreler (Thermodynamic parameters)

Sıcaklık (°C)	FK-AC			PK-AC			MS-AC		
	ΔG° (j/mol)	ΔH° (j/mol)	ΔS° (j/molK)	ΔG° (j/mol)	ΔH° (j/mol)	ΔS° (j/molK)	ΔG° (j/mol)	ΔH° (j/mol)	ΔS° (j/molK)
25°C	-16930			-18441			-17762		
35°C	-17674	+6963.6	+80.1	-19355	+8226.3	+89.5	-18219	-3941.3	+46.3
45°C	-18535			-20230			-18690		

yeterli olduğu ve AC üzerindeki aktif adsorpsiyon bölgeleriyle etkileşimi sırasında AC-AMX çözeltisinin arayüzünde artan rastgeleliği gösterir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada biyokütle esaslı aktif karbonun yeni bir ısıtma yöntemi ile üretilebilmesi araştırılmıştır. Ani (flaş) ısıtma yönteminde karbonizasyon süresi 10 dakika olarak gerçekleştirilmiş ve üretim sonunda 1650-2374 m²/g aralığında yüzey alanına sahip aktif karbonlar üretilmiştir. Üretilen aktif karbonlar sulu çözeltiden amoksisilin gideriminde kullanılmıştır. Adsorpsiyon işleminin Langmuir izotermine uyduğu, buna bağlı olarak amoksisilin adsorpsiyonunun tek tabakalı olduğu ve adsorpsiyonun gerçekleştiği yüzeyin homojen aktif bölgelere sahip olduğu belirlenmiştir. Adsorpsiyon kinetiğinin ise sözde-ikinci dereceden kinetik modele uygunluk sağladığı saptanmıştır. Termodinamik sabitler incelendiğinde Gibbs serbest enerjisinin negatif değerlerde olması, adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermiştir. Adsorpsiyon işlemi sonucunda aktif karbonların adsorpsiyon kapasiteleri 303-500 mg/g aralığında belirlenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi sonuçlarının literatürde yapılan diğer çalışmalarla benzer ve yüksek değerlerde olması, ani ısıtma yöntemiyle üretilen aktif karbonların suların arıtımında alternatif, etkin ve ekonomik bir adsorbent olarak kullanılabileceklerini göstermiştir. Genel olarak üretilen malzemelerin ekonomik, teknolojik ve ekolojik dengesi göz önüne alındığında ani (flaş) ısıtmanın hızlı, düşük maliyetli, daha kısa işlem süresi gerektirdiğinden enerji tasarrufu sağlayan ve büyük çapta üretiminin gerçekleştirilebileceği bir üretim yöntemi olacağı sonucuna varılmıştır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Aygül YURTAY: Deneyleri yaptı ve makaleyi yazdı.

Murat KILIÇ: Deneysel metodolojiyi tasarladı, sonuçları doğruladı ve makaleyi düzenledi.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Rashadi N.A. ve Yusup S., "A review on recent technological advancement in the activated carbon production from oil palm wastes", *Chemical Engineering Journal*, 314: 277-290, (2017).
- [2] Ao W., Fu J., Mao Q., Kang Q., Ran C., Liu Y., Zhang H., Gao Z., Li J., Liu G., Dai J., "Microwave assisted preparation of activated carbon from biomass: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92: 958-979, (2018).
- [3] Yuen F.K. and Hameed B.H., "Recent development in the preparation and regeneration of activated carbons by microwave", *Advances in Colloid and Interface Science*, 149: 19-27, (2009).
- [4] Hesas R.H., Daus W.M.A.W., Sahu J.N., Arami-Niya A., "The effect of a microwave heating method on the production of activated carbon from agricultural waste: A review", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 100: 1-11, (2013).
- [5] Deng H., Li G., Yang H., Tang J., Tang J., "Preparation of activated carbons from cotton stalk by microwave assisted KOH and K₂CO₃ activation", *Chemical Engineering Journal*, 163: 373-381, (2010).
- [6] Yang K., Peng J., Srinivasakannan C., Zhang L., Xia H., Duan X., "Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating", *Bioresource Technology*, 101: 6163-6169, (2010).
- [7] Li W., Peng J., Zhang L., Yang K., Xia H., Zhang S., Guo S., "Preparation of activated carbon from coconut shell chars in pilot-scale microwave heating equipment at 60 kW", *Waste Management*, 29: 756-760, (2009).
- [8] Baghapour M.A., Shirdarreh M.R., Faramarzian M., "Degradation of amoxicillin by bacterial consortium in a submerged biological aerated filter: volumetric removal modelling". *J Health Sci Surveillance Sys*, 2(1):15-25, (2013).
- [9] Yurtay, A., "Ani (flaş) ısıtma yöntemi ile aktif karbon üretimi, karakterizasyonu ve antibiyotik gideriminde kullanımı", (**Yüksek Lisans Tezi**), Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, (2020).
- [10] Foo K.Y., and Hameed B.H., "Insights into the modeling of adsorption isotherm systems", *Chemical Engineering Journal*, 156: 2-10, (2010).
- [11] Arslan, H. "Yerfıstığı kabuğunun linden ve metabolitlerinin sulu çözeltilerden giderilmesinde kullanımının araştırılması" (**Doktora Tezi**), Mersin: Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [12] Chegrouche S., Mellah A. and Barkat M., "Removal of strontium from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon: kinetic and thermodynamic studies", *Desalination*, 235: 306-318, (2019).
- [13] Weber T.W. and Chakravorti R.K., "Pore and Solid Diffusion Models for Fixed-Bed Adsorbers", *AIChE Journal*, 20(2): 228-238, (1974).
- [14] Hameed B.H. and Rahman A.A., "Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material", *Journal of Hazardous Materials*, 160, 576-581, (2008).
- [15] Çalışkan E. and Göktürk S., "Adsorption Characteristics of Sulfamethoxazole and Metronidazole on Activated Carbon", *Separation Science and Technology*, 45(2): 244-255, (2013).
- [16] Dabrowski, A., "Adsorption-from theory to practice", *Advances in Colloid and Interface Science*, 93:135-224, (2001).
- [17] Sarıkaya, Y., "Fizikokimya", Ankara: *Gazi Kitabevi*, (2011).

- [18] Zeytinci B., “Elektrospining tekniği ve UV ışımalarının eşzamanlı olarak uygulanması ile nanofiber membranların hazırlanması ve kıymetli metallerin adsorpsiyonunda uygulanması” (*Doktora Tezi*), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [19] Qiu H., Lv L., Pan B., Zhang Q.J., Zhang W.M. and Zhang Q.X., “Critical review in adsorption kinetic models”, *J. Zhejiang Univ Sci A*, 10(5): 716-724, (2009).
- [20] Mutlu S., “Fındık kabuğu ve üzüm çekirdeğinden üretilen aktif karbonlar ile kurşun iyonlarının adsorpsiyonu”, (*Yüksek Lisans Tezi*), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [21] Liu H., Xu G., Li G., “Preparation of porous biochar based on pharmaceutical sludge activated by NaOH and its application in the adsorption of tetracycline”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 587: 271-278, (2021).
- [22] Kariim I., Abdulkareem A.S. and Abubakre O.K. “Development and characterization of MWCNTs from activated carbon as adsorbent for metronidazole and levofloxacin sorption from pharmaceutical wastewater: Kinetics, isotherms and thermodynamic studies”, *Scientific African*, e00242, (2020).
- [23] Putra E.K., Pranowo R., Sunarso J., Indraswati N. and Ismadji S., “Performance of activated carbon and bentonite for adsorption of amoxicillin from wastewater: mechanisms, isotherms and kinetics”, *Water Research*, 43: 2419-243, (2009).
- [24] Pezoti O., Cazetta A.L., Bedin K.C., Souza L.S., Martins A.C., Silva T.L., Junior O.O.S., Visentainer J.V. and Almeida V.C., “NaOH activated carbon of high surface area produces from guava seeds as a high efficiency adsorbent for amoxicillin removal: kinetic, isotherm and thermodynamic studies”, *Chemical Engineering Journal*, 288:778-788, (2016).
- [25] Belhachemi M. and Djelaila S., “Removal of Amoxicillin Antibiotic from Aqueous Solutions by Date Pits Activated Carbons”, *Environmental Processes*, 4: 549–561, (2017).
- [26] Chayid M.A. and Ahmed M.J., “Amoxicillin adsorption on microwave prepared from activated carbon from arundo donax linn: isotherms, kinetics and thermodynamics studies”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3:1592-1601, (2015).
- [27] Moussavi G., Alahabadi A., Yaghmaeian K. and Eskandari M., “Preparation characterization and adsorption potential of the NH₄Cl induced activated carbon for the removal of amoxicillin antibiotic from water”, *Chemical Engineering Journal*, 217: 119-128, (2013).
- [28] Kılıç, M., “Euphorbia rigida’den elde edilen aktif karbonun sulu çözeltilerdeki adsorpsiyon özelliklerinin ve kinetiğinin incelenmesi”, (*Yüksek Lisans Tezi*), Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009)