

# Atık Döküm Kumu İle Katyonik Boyarmaddelerin Adsorpsiyon Çalışmaları

Elif H. Gürkan<sup>1\*</sup>, Semra Çoruh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü  
Atakum, SAMSUN, +90 362 3121919

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü  
Atakum, SAMSUN, +90 362 3121919

elif.gurkan@omu.edu.tr

\*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş/Received: 1 Aralık (December) 2016

Kabul/ Accepted: 28 Nisan (April) 2017

DOI: 10.18466/cbayarfbe.319947

## Özet

Dökümhanelerden kaynaklanan ve döküm işlemi sırasında yüksek miktarlarda ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi yerine çevre dostu yöntemlerle geri kazanılması ve/veya tekrar kullanılarak döküm endüstrisi veya farklı bir endüstri için katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi ve bunun sanayide uygulamaya aktarılmasının; doğal kaynaklarımızın korunması, hammadde tasarrufunun sağlanması, ekonomiye katkı sağlanması, çevrenin korunması, atık miktarının azaltılması ve gelecek için yatırım olması beklenmektedir. Bu çalışmada, Samsun İli'nde faaliyet gösteren bir dökümhane tesisinde, pik döküm işlemi sırasında açığa çıkan ve düzenli depolama yoluyla bertaraf edilen atık döküm kumunun geri kazanımına yönelik olarak, sulu çözeltilerden metilen mavisi (MM), malahit yeşili (MY) ve kristal viole (KV) gibi katyonik boyar maddelerin adsorpsiyon yoluyla giderimi üzerine yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Adsorpsiyon, atık döküm kumu, kristal viole, malahit yeşili, metilen mavisi.

## Cationic Dyes Adsorption Onto Waste Foundry Sand : Equilibrium And Kinetics Studies

### Abstract

Conversion of waste foundry sand generated from foundries and arising in high amounts in casting process to the economically valuable beneficial products with environmentally friendly methods instead of disposal as waste is one of the hot topics of developed countries working on it. It industry to implement transposition; protection of our natural resources, raw materials, and to achieve savings, contribute to the economy, protection of the environment, decreasing the amount of waste and are expected to invest for the future. In this study, carried in Samsun, the released from a foundry in the field of waste foundry sand has been investigated in the framework of applicability, recovery and recycling with "university-industry cooperation". In this study, waste foundry sand has been used as adsorbent for the removal of methylene blue, malachite green, and crystal violet from aqueous solution by adsorption technique.

**Keywords** – Adsorption, waste foundry sand crystal violet, malachite green, methylene blue.

### 1 Giriş

Döküm sektörü, sağladığı yüksek nitelikli istihdam ve ülke sanayisine olan katkısı nedeni ile ülke eko-

nomisi ve sanayileşmede lokomotif sektör özelliğine sahiptir. Katma değeri yüksek bir üretim alanı olan döküm sanayinin önemi tüm endüstriyel dallara

girdi vermesinden kaynaklanmaktadır. Dünya genelinde sanayi devrimi ile birlikte gelişim gösteren sektör, dizayndan, prototipe, testlere ve nihai ürüne kadar geçen sürede teknik bilgi birikimi ve tesisleri ile başta makine, taşıt araçları ve savunma sanayi olmak üzere tüm üretim taleplerini karşılayabilecek yetenektedir.

Dökümhanelerden kaynaklanan ve döküm işlemi sırasında yüksek miktarlarda ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi yerine çevre dostu yöntemlerle geri kazanılması ve/veya tekrar kullanılarak döküm endüstrisi veya farklı bir endüstri için katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi ve bunun sanayide uygulamaya aktarılmasının; doğal kaynaklarımızın korunması, hammadde tasarrufunun sağlanması, ekonomiye katkı sağlanması, çevrenin korunması, atık miktarının azaltılması ve gelecek için yatırım olması beklenmektedir.

Ülkemizde 2014 yılı verilerine göre 33.000 kişinin istihdam ettiği %72 fabrika, %28 atölye düzeyindeki iş yerlerinde toplam 1.750.000 ton üretim yapılmıştır. Yapılan bu üretime karşılık, proseslerden yaklaşık 500.000 ton atık oluşmaktadır. Dökümhane atıklarının yaklaşık %65'i atık döküm kumu, %10'u cüruf, %15'i toz-çamur ve %10'u refrakter, yağ, taş, boya, varil gibi atıklar oluşturmaktadır [1].

Döküm sonrasında meydana gelen atık döküm kumlarının bir kısmı sistem kumu olarak kullanılırken diğer kısmı düzenli depolama sahalarında depolanmak suretiyle bertaraf edilmektedir. Atıkların bertarafı yerine geri kazanılması; hem üretim maliyetlerinde, hem de atık bertaraf maliyetlerinde önemli kazanımlar sağlayacaktır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği; sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde mevcut düzenlemelerde 2011 yılında revize edilmiştir. Bu revizyonda, atıksu deşarj parametrelerine renk parametresi de ilave edilmiştir. Yönetmelikte getirilen zorunluluk bu konu üzerine yapılacak çalışmalara daha da önem katmıştır.

Boyalı atıksular sucül yaşama toksik etkide bulunmaları ve ışık geçirgenliğini azaltarak sucül yaşamadaki fotosentetik aktiviteyi azaltmaları nedeniyle

önemli çevresel sorunlara yol açmaktadırlar [2-3]. Bu tür atıksuların arıtımında adsorpsiyon, biyosorpsiyon, iyon değişimi, kimyasal koagülasyon/flokülasyon, ozonlama, kimyasal ve foto-oksidasyon gibi ileri arıtma teknikleri kullanılmaktadır. Özellikle boyalı atıksuların arıtımında arıtma verimi yüksek olan yöntemlerden biri de adsorpsiyondur [4-5]. Atıksularda bulunan bu boyar maddelerin mikrobiyal hücreler üzerine biyosorpsiyonu da son yıllarda oldukça sık araştırılan konular arasındadır. Biyosorpsiyon olarak adlandırılan bu teknik, biyolojik olarak parçalanmadan farklı olarak hücre duvarında gerçekleşen bağımsız proseslerin sayısını göstermek için kullanılmaktadır [5]. Atık döküm kumunun, renk giderimi üzerine yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışma sonuçları, bu anlamda daha da önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Samsun İli'nde faaliyet gösteren bir dökümhane tesisinde, pik döküm işlemi sırasında açığa çıkan ve düzenli depolama yoluyla bertaraf edilen atık döküm kumunun, sulu çözümlerden metilen mavisi (MM), malahit yeşili (MY) ve kristal viole (KV) gibi katyonik boyar maddelerin adsorpsiyon yoluyla giderimi üzerine yapılmıştır.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

#### 2.1.1 Atık Döküm Kumu

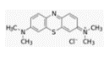


Bu çalışmada, Samsun İlinde pik, sfero döküm alanında faaliyet gösteren bir döküm tesisinde ortaya çıkan atık döküm kumu kullanılmıştır. Proseste açığa çıkan atık döküm kumu, kimyasal ve fiziksel özelliklerini kaybedene kadar kullanılan bentonit bağlayıcılı döküm kumudur.

Bentonitli atık döküm kumunun tehlikeli sınıfı belirlenmiştir. Tehlikesiz atık sınıfında yer alan bentonitli döküm kumuyla katyonik boyarmadde giderim çalışmaları yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda bentonitli döküm kumu ile katyonik boyarmadde giderim verimliliği yüksek bulunmuştur.

#### 2.1.2 Katyonik Boyalar

##### Çizelge 1. Boyarmaddelerin fizikokimyasal özellikleri

Boya Özellikleri	Metilen Mavisi	Malahit Yeşili	Kristal Viole
C.I. Adı	Katyonik Boya	Katyonik Boya	Katyonik Boya

Molekül Formülü	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> SCI	C <sub>23</sub> H <sub>26</sub> ClN <sub>2</sub>	C <sub>25</sub> H <sub>30</sub> ClN <sub>3</sub>
Molekül Ağırlığı	319.85 g mol <sup>-1</sup>	364.92g mol <sup>-1</sup>	407.98 g mol <sup>-1</sup>
λ <sub>max</sub>	665 nm	620 nm	590 nm
Moleküller Yapısı			

## 2.2 Metot

### 2.2.1 Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon sisteminin tasarımında önemli bir yere sahiptir [6-7]. Boya konsantrasyonu, ve temas süresi gibi prosesi etkileyen deneysel parametreler yanısıra prosesini etkileyen deneysel parametreler çalışılmış, Langmuir, Freundlich ve Dubinin-Radushkevich (D-R) adsorpsiyon izoterm modelleri uygulanmıştır. Langmuir izotermi ise tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılmaktadır [8]. Freundlich izotermi, tek tabaka oluşumuyla sınırlı olmayan, tersinir ve ideal olmayan adsorpsiyon için tanımlanmıştır. Freundlich'e göre bir adsorbentın yüzeyi üzerinde bulunan adsorblama alanları heterojendir yani farklı türdeki adsorblama alanlarından teşkil edilmiştir. Bu deneysel bağıntı, heterojen yüzey üzerinde adsorpsiyon ısısının ve ilgisinin eşit dağılmadığı, çok tabakalı adsorpsiyon için kullanılabilir [9]. Adsorpsiyon izoterm modellerine ait eşitlikler Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. İzoterm modellerine ait eşitlikler

İzoterm Modeller	Eşitlik	Doğrusal Eşitlik
Langmuir	$q_e = \frac{q_{max} K C_e}{1 + K C_e}$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}}$
Freundlich	$q_e = k_f C_e^{1/n}$	$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e$
Temkin	$q_e = \frac{RT}{b_r} \ln(a_r C_e)$	$q_e = \frac{RT}{b_r} \ln a_r + \frac{RT}{b_r} \ln C_e$
D-R		$\ln q_e = \ln q_m - k \varepsilon^2$

Temkin izotermi sorpsiyon sıcaklığındaki düşüşün Freundlich eşitliğinden farklı olarak logaritmik değil lineer olduğu varsayımına dayanır. Adsorbent yüzeyindeki tüm moleküllerin sıcaklığının, yüzeyin adsorbat/adsorbent etkileşimi sonucu dolmasına bağlı olarak lineer şekilde azaldığını kabul eder. Maksimum bağlanma enerjisine ulaşıncaya kadar, adsorpsiyon bağlanma enerjilerinin uniform dağılımı ile karakterize edilir [10].

D-R izotermi ile hesaplanan ortalama adsorblama enerjisi, adsorblamanın fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar [11]. D-R izotermi aynı tip gözenekli yapılarda gerçekleşen adsorblama işlemlerini açıklamada kullanılır [12].

0.50 g atık döküm kumu hassas terazide tartıldıktan sonra 250 mL'lik erlenlere konulmuş, daha sonra her birinin üzerine 50 mL 12.50, 25, 50, 100, 200, 400 mg/L boya çözeltisi ilave edilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler çalkalayıcıya yerleştirilerek 20°C, 150 rpm'de 60 dakikalık çalkalama süresi sonunda alınmak üzere çalıştırılmıştır.

### 2.2.2 Adsorpsiyon Kinetikleri

Adsorpsiyon prosesini karakterize eden yani, boyar maddenin adsorbent yüzeyine adsorpsiyonu esnasında ne tür bir mekanizmanın rol oynadığını belirlemek için ileri sürülen çeşitli kinetik modeller vardır. Bu modeller pseudo birinci derecen kinetik model (Pseudo-first order kinetik model), pseudo ikinci derecen kinetik model (pseudo second order kinetik model), partikül içi difüzyon modeli (Intraparticle diffusion model) ve Elovich olmak üzere dört sınıfta incelenmiştir. Adsorpsiyon kinetik modellerine ait eşitlikler Çizelge 3'de verilmektedir.

0.50 g atık döküm kumu hassas terazide tartıldıktan sonra 250 mL'lik erlenlere konulmuş, daha sonra her birinin üzerine 50 mL 50mg/L boya çözeltisi ilave edilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler çalkalayıcıya yerleştirilerek 20°C, 150 rpm'de 5, 15, 30, 60, 90, 120, 240 dakikalık çalkalama süreleri sonunda alınmak üzere çalkalayıcı çalıştırılmıştır. Çalkalama süresi biten numune çalkalayıcı kapatılıp alındıktan sonra tekrar çalkalayıcı çalıştırılmıştır.

Çizelge 3. Kinetik modellerine ait eşitlikler

Kinetik Modeller	Eşitlik	Doğrusal Eşitlik
Pseudo Birinci Derece	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t$
Pseudo İkinci	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e}\right) t$
Partikül içi difüzyon		$qt = kit^{1/2} + C$
Elovich	$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t)$	$qt = \beta \ln(\alpha\beta) + \beta \ln(t)$

### 3 Bulgular Ve Tartışma

#### 3.1 Atık Döküm Kumlarının Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Bentonitli atık döküm kumlarının fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4'te, kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

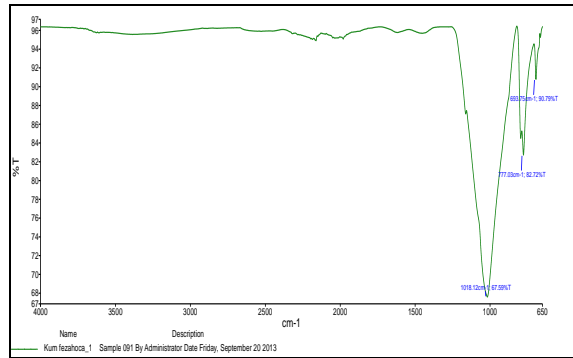
**Çizelge 4.** Atık döküm kumlarının fiziksel özellikleri

Analizler	Bentonitli Atık Döküm Kumu
pH (Sulu çözelti)	8.15
İletkenlik (20°C'de) (mS)	0.19
BET yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	7.22
Özgül ağırlık	2.34
Su emme oranı (%)	8.50

**Çizelge 5.** Atık döküm kumlarının kimyasal özellikleri

Bileşenler	Bentonitli Atık Döküm Kumu
SiO <sub>2</sub>	79.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.10
CaO	1.40
MgO	2.30
K <sub>2</sub> O	0.60
Na <sub>2</sub> O	0.60
TiO <sub>2</sub>	0.40
MnO	0.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10
Diğer	5.90

ADK bileşiminin %91,28 inorganik madde, %6,55 organik madde ve %2,17 nemden oluştuğu belirlenmiştir. Organik madde cinsi FTIR analizi sonucu alifatik hidrokarbon karışımı, inorganik madde cinsi ise XRD analizi sonucu kuvars (SiO<sub>2</sub>) olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Elektron mikroskobu ile yapılan çoklu nokta incelemesinde elde edilen ADK numunelerine ait SEM mikroskobu görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.



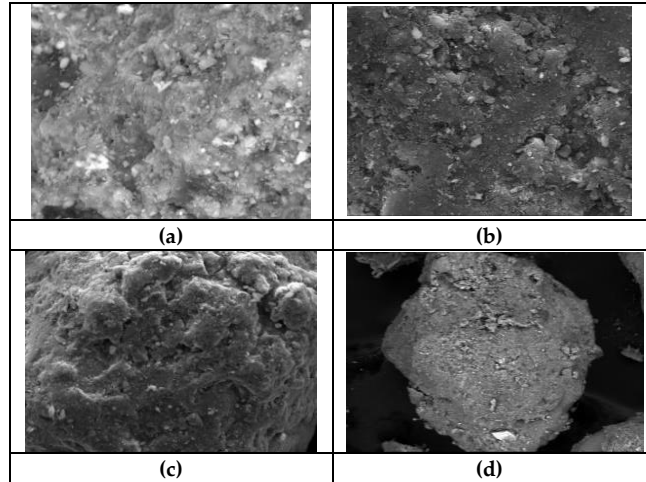
**Şekil 1.** Atık döküm kumunun FTIR spektroskopisi

Atık döküm kumu numunelerinin 20 µm, 40 µm, 100 µm ve 200 µm büyütme oranlarında çekilmiş SEM

görüntüleri incelendiğinde; kuvars taneciklerinin, aşınma ve ufalanma nedeniyle köşeli ve düzensiz yapılarında bozulmalar gözlenmiştir.

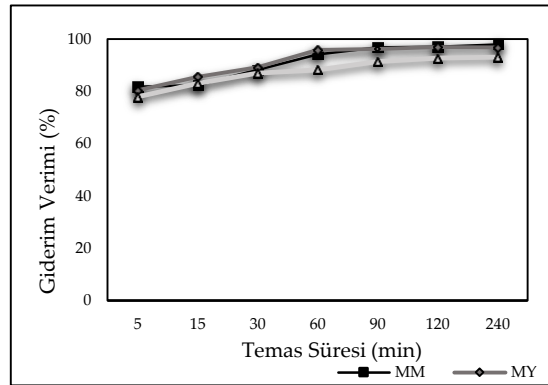
#### 3.2 Temas Süresi Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

MM, MY, ve KV'nin adsorpsiyonunun zamana bağlı davranışı, adsorbent ile adsorbat arasındaki temas süresi 5-240 dakika izlenerek belirlenmiştir. 20°C sıcaklıkta boyarmadde çözeltilerinin, atık döküm kumu ile adsorpsiyonunun zamana bağlı değişimi sırasıyla verilmiştir (Şekil 3 ve 4). 50 mg/L konsantrasyonda boyarmadde çözeltisi ve atık döküm kumu için 10g/L atık döküm kumu miktarında çalışılmıştır. Başlangıçta gözlemlenen hızlı faz adsorbent yüzeyindeki boş bölgelerin fazlalığı ve adsorbent yüzeyi ile çözelti arasındaki artan konsantrasyon gradyanı olarak açıklanabilir [13]. Adsorbent olarak atık döküm kumu kullanıldığında 60 dakika, temas süresinde dengeye ulaşmak için yeterlidir.



**Şekil 2.** Atık döküm kumunun SEM görüntüleri

(a) 20 µm. (b) 40 µm. (c) 100 µm. (d) 200 µm.



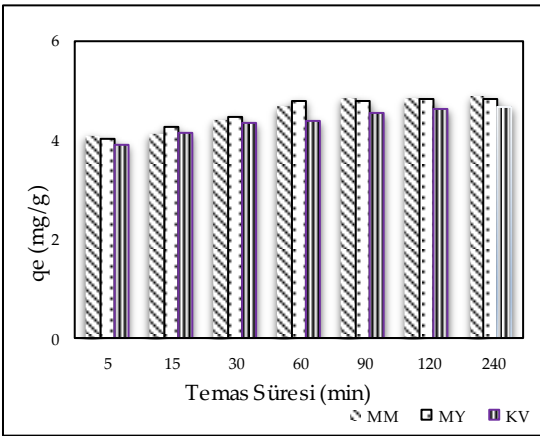
**Şekil 3.** Boyarmadde giderim verimlerine temas süresinin etkisi

### 3.3 Başlangıç Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

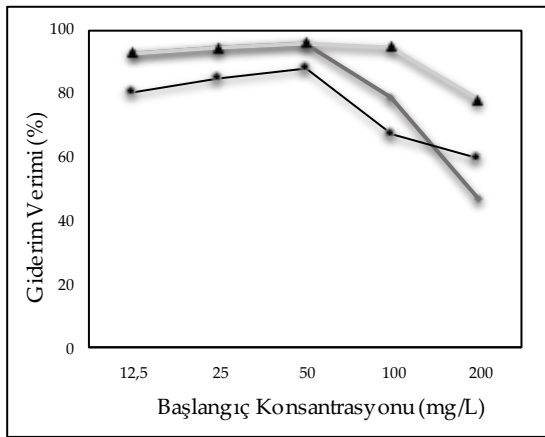
Atık döküm kumu miktarının, boyarmadde giderimi üzerine etkisini değerlendirmek için 20oC sıcaklıkta, 12,50, 25, 50, 100, 200 mg/L başlangıç konsantrasyonuna sahip boyarmadde çözeltileri ile çalışılmıştır. Atık döküm kumu tarafından MM, MY ve KV'nin adsorpsiyonu üzerine başlangıç konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak sırasıyla Şekil 5-6'da gösterilmiştir.

### 3.4 Adsorpsiyon İzotermeleri

Adsorpsiyon izotermeleri, adsorpsiyon sistemlerinin dizaynı ve analizi için kullanılan temel araçlardır. İzoterm, sabit sıcaklıktaki bir adsorpsiyon prosesinin dengeye ulaştığı anda adsorbentin birim kütle başına adsorplayabileceği madde miktarı ve akışkan fazdaki madde konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi verir.



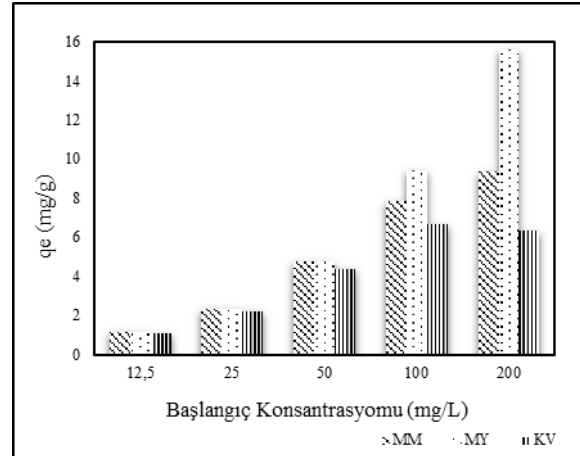
Şekil 4. Boyarmadde giderimine temas süresinin etkisi



Şekil 5. Boyarmadde giderim verimlerine başlangıç konsantrasyonunun etkisi

### Çizelge 6. Boyarmaddelerin adsorpsiyonu için izoterm parametreleri

İzoterm modelleri	Boyalar		
	Metilen Mavisi	Malahit Yeşili	Kristal Viole
Langmuir izotermi			
$Q_m$ (mg/g)	12.38	23.44	8.31
$k_L$ (L/mg)	0.06	0.09	0.06
$R^2$	0.97	0.99	0.99
Freundlich izotermi			
$n$	2.86	2.73	2.51
$K_f$ (L/mg)	1.89	2.13	1.05
$R^2$	0.79	0.74	0.69
Temkin izotermi			
$B_T$	1387.08	1201.01	1670.40
$A_T$ (L/mg)	2.51	2.81	1.09
$R^2$	0.93	0.92	0.84
D-R izotermi			
$q_m$ (mg/g)	9.17	10.71	6.98
$k$ (L/mg)	0.01	0.01	0.01
$E$ (kJ/mol)	0.70	0.70	0.29
$R^2$	0.96	0.97	0.94



Şekil 6. Boyarmadde giderimine başlangıç konsantrasyonunun etkisi

MM, MY ve KV 'nin atık döküm kumu tarafından adsorpsiyonunda herbir boyarmadde için farklı sıcaklıklarda 4 farklı izoterm çalışması yapılmıştır. Atık döküm kumuna ait Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izotermine ait veriler sırasıyla Çizelge 6'te verilmiştir. Korelasyon sabitlerinin ( $R^2$  değerleri) büyüklüklerine göre uygun olan izoterm seçilmiştir. Çizelge 6'te deneylerden elde edilen sonuçlara göre hesaplanan izoterm sabitleri verilmiştir. Çizelgedan görüldüğü üzere korelasyon sabitlerinin ( $R^2$  değerleri), büyüklüklerine göre ad-

sorpsiyon prosesinin Langmuir izoterm ile uyumlu olduğu söylenebilir.

### 3.5 Adsorpsiyon Kinetikleri

Adsorpsiyon proseslerinin değerlendirilmesinde, adsorpsiyonun dengeye ulaşması ve adsorpsiyon kinetikleri iki önemli fiziko-kimyasal kavramdır. Adsorpsiyon kinetiği ile, adsorpsiyon işleminin tamamlanması için gerekli temas süresini belirleyen adsorpsiyon hızı belirlenebilmektedir.

Atık döküm kumu üzerine MM, MY ve KV'nin adsorpsiyonunun kinetiği yalancı birinciden, yalancı ikinciden, partikül içi difüzyon ve Elovich modellerine göre incelenmiştir.

Çizelge 7'den atık döküm kumu ile MM, MY ve KV giderilmesi için belirlenen katı yüzeyindeki boyar madde konsantrasyon değişimini esas alan yalancı birinci merteye, yalancı ikinci merteye, por difüzyonu, Elovich, Mofidiye Freundlich, ve Bangham kinetik modellerine ait regresyon katsayıları incelendiğinde, en yüksek değerlerin yalancı ikinci merteye kinetik modelinden elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlara dayanılarak, MM, MY, KV ve NK boyar maddesinin atık döküm kumu ile adsorpsiyonu için en uygun kinetik modelin yalancı ikinci merteye kinetik model olduğu söylenebilir.

**Çizelge 7.** Boyarmaddelerin adsorpsiyonu için kinetik parametreleri

Kinetik Eşitlikleri	Boyalar		
	Metilen Mavisi	Malahit Yeşili	Kristal Viöle
Yalancı birinci merteye			
$q_e$ (mg/g)	15166	10345	0.92
$k_1$ (L/mg)	0.05	0.04	0.03
$R^2$	0.93	0.96	0.94
Yalancı ikinci merteye			
$q_e$ (mg/g)	49505	48828	46926
$k_2$ (g/mg.dk)	0.08	0.13	0.10
$R^2$	1.00	1.00	1.00
Partikül içi difüzyon			
C	40054	40805	39397
$K_T$ (mg/g.dk <sup>1/2</sup> )	0.07	0.06	0.06
$R^2$	0.83	0.75	0.83
Elovich			
$\beta$ (g/mg)	39463	41632	48263
$\alpha$ (mg/g.dk)	$3.70 \times 10^5$	$1.10 \times 10^6$	$7.10 \times 10^6$
$R^2$	0.92	0.93	0.97

### 4 Sonuç

MM, MY ve KV'nin adsorpsiyonunun zamana bağlı davranışı; atık döküm kumu ile boyarmadde çözeltileri arasındaki temas süresi 5-240 dakika izlenerek belirlenmiştir. Boyarmadde adsorpsiyonu başlangıçta hızlı bir şekilde gerçekleşmekte, denge durumuna yaklaşıldıkça adsorpsiyon hızı düşmektedir. Adsorbent olarak atık döküm kumu kullanıldığında 60 dakika, temas süresinde dengeye ulaşmak için yeterli görülmüştür.

MM, MY ve KV'nin giderim yüzdesi, başlangıç konsantrasyonun bir fonksiyonudur. Boyarmaddelerin gideriminde, 50 mg/L boyarmadde başlangıç konsantrasyonu için optimum atık döküm kumu miktarı, 10 g/L olarak belirlenmiştir.

MM, MY ve KV'nin atık döküm kumu ile adsorpsiyonu çalışmalarında adsorpsiyon dengesi, kinetiği ve termodinamiği incelenmiştir. Adsorpsiyon işleminin denge verileri, Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich, Temkin izotermine göre analiz edilmiştir. Veriler adsorpsiyon çalışmalarının Langmuir İzoterm modeline uyduğunu göstermektedir. Bu, atık döküm kumu ile katyonik boyarmadde adsorpsiyon prosesinin tek tabakalı olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Langmuir izotermi; adsorpsiyonda yüzeyin her tarafının örtülmediği yer yer örtülmelerin olduğu, yüzeyin her tarafında adsorpsiyon enerjisinin aynı olduğu ve yüzeyde tutunan moleküller arasında etkileşme olmadığını gösterir. 20°C'de MM, MY ve KV'i için  $Q_m$  değerleri; 12.38, 23.44, 8.31 mg/g olarak bulunmuştur.

MM, MY ve KV'nin atık döküm kumu ile adsorpsiyonu için gerekli temas süresini belirleyen adsorpsiyon hızının belirlenmesi için kinetik analizler yapılmıştır. Kinetik çalışmaları, yalancı birinciden, yalancı ikinciden, par-

tikül içi difüzyon, Elovich, modellerine göre incelenmiştir. Çalışmamızda kullanılan boyar maddeler için adsorpsiyon kinetiğinin yalnız ikinci derece kinetik modele uyduğu görülmektedir. Adsorpsiyon kinetiğini en iyi temsil eden model yalnız ikinci mertebeye kinetik model olduğu durumlarda, adsorpsiyon proses hızını kontrol eden basamağın adsorbent yüzeyine tutunma basamağı olduğu ifade edilir.

## 5 Referanslar

- [1] TÜDOKSAD. "Türkiye Döküm Sanayi Sektör Raporu", Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği, İstanbul, 2015.
- [2] Fu Y.; Viraraghavan T. Fungal Decolorization of Dye Wastewaters: A Review." *Bioresource Technology*. 2001; 79, 251-262.
- [3] Robinson T.; McMullan G.; Marchant R.; Nigam P. Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative, *Bioresour Technol.*, 2001; 79, 62-251.
- [4] Kannan N.; Sundaram M.M. Kinetics and Mechanism of Removal of Methylene Mavi by Adsorption on Various Carbons a Comparative Study, *Dyes and Pigments*, 2001; 51, 25-40.
- [5] Aksu Z. Biosorpsiyon of Reactive Dyes by Dried Activated Sludge: Equilibrium and Kinetic Modelling, *Biochem Eng Journal*, 2001; 7, 79-84.
- [6] Jain, S.; Jayaram, R.V. Removal of basic dyes from aqueous solution by low-cost adsorbent: Wood apple Shell, *Desalination*, 2010; 250, 921-927.
- [7] Arami, M.; Limaee, N. Y.; Mahmoodi, N. M.; Tabrizi, N. S. Equilibrium and kinetics studies for the adsorption of direct and acid dyes from aqueous solution by soy meal hull, *Journal of Hazardous Materials*, 2006; 135, 171-176.
- [8] Langmuir I. The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids. Part I. Solids, *Journal of the American Chemical Society*, 1916; 38 (11), 2221-2295.
- [9] Freundlich H. *Colloid and Capillary Chemistry*, Methuen, London. Langmuir, I., 1916. the constitution and fundamental properties of solids and liquids, *Journal of American Chemistry Society*, 1926; 38, 2221-2232.
- [10] Temkin M.L.; Pyzhev V. Kinetics of ammonia synthesis promoted iron catalysts, *Acta Physiochim.* 1940; 12, 327-356.
- [11] Dabrowski A. Adsorbition from theory to practice, *Advances in Colloid and Interface Science*. 2001; 93, 135-224.
- [12] Ho Y. S.; McKay G. Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochemical*, 1999; 34, 451-465.
- [13] Kannan N.; Sundaram M. M. Kinetics and Mechanism of Removal of Methylene Mavi by Adsorption on Various Carbons a Comparative Study, *Dyes and Pigments*, 2001; 51, 25-40.