



Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Institute of Natural and Applied Science Journal

Dergi ana sayfası/ Journal home page: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kujs>



E-ISSN: 2587-2389

Van Pomzası Üzerine Malahit Yeşili Boyar Maddesinin Adsorpsiyonunun İzoterm Çalışması

Ali Rıza KUL ^{1*}, Veysel BENEK ², Hasan ERGE ¹, Sevilay DEMİRCİ ³, Vedat ADIGÜZEL ³

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Van, Türkiye

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Van, Türkiye

³ Kafkas Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kars, Türkiye

(İlk Gönderim / Received: 23. 07. 2022, Kabul / Accepted: 20. 11. 2022, Online Yayın / Published Online: 12. 12. 2022)

Anahtar Kelimeler:

Adsorpsiyon,
izoterm,
malahit yeşili,
pomza.

Özet: Bu çalışmada canlılar açısından zararlı bir etkiye sahip olduğu bilinen malahit yeşili boyar maddesinin atık suların uzaklaştırılması amacıyla Van Gölü kıyısından toplanan pomza taşları kullanılmıştır. Çalışma sırasında adsorbent miktarı, pH ve derişimin adsorpsiyon üzerindeki etkinliği araştırılmış ve 30 ppm derişimde, 318 K sıcaklıkta ve 2 g Van pomzası ile pH 5 ortamda malahit yeşili boyar maddesinden % 68.07 giderim elde edilmiştir. Sabit tutulan süre altında, konsantrasyon ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi belirleyen izoterm çalışmaları sonucunda adsorpsiyon işleminin Freundlich izoterm modeli ile iyi uyum sağladığı görülmüştür. Freundlich izoterm modeli için hesaplanan n değeri 1.3679 olarak bulundu. Bu değer 1-10 değerleri arasında olması adsorpsiyon işleminin Freundlich modeli yönünde istemli olduğunu göstermektedir. Böylece bizler tutunmanın, çok tabakalı bir şekilde ve heterojen bir yüzeyde meydana geldiğini ifade edebiliriz. Son olarak D-R izoterm modelindeki adsorpsiyon serbest enerjisinin (E) değeri 0.4283 kJ/mol olarak bulundu. Bu değer 8 kJ/mol'dan daha küçük olması adsorpsiyonun fiziksel bir proses olduğunu göstermiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen hesaplamalar literatür verilerine uygun bir seyir izlemiştir. Bundan dolayı sözü edilen boyar maddenin uzaklaştırılması amacıyla Van Gölü kıyısından toplanan pomza taşlarının kullanılabilirliği söylenebilir.

Isotherm Study of Adsorption of Malachite Green Dye on Van Pumice

Keywords:

Adsorption,
isotherm,
malachite green,
pumice.

Abstract: In this study, pumice stones collected from the shore of Lake Van were used in order to remove the malachite green dyestuff, which is known to have a harmful effect on living things. During the study, the effectiveness of adsorbent amount, pH and concentration on adsorption was investigated and 68.07% removal of malachite green dyestuff was obtained with 30 ppm concentration, 318 K temperature and 2 g Van pumice at pH 5 environment. As a result of the isotherm studies that determined the relationship between concentration and temperature under the fixed time, it was seen that the adsorption process was in good agreement with the Freundlich isotherm model. The n value calculated for the Freundlich isotherm model was found to be 1.3679. The fact that this value is between 1-10 shows that adsorption process is related to Freundlich model. Thus, we can state that adsorption occurs in a multi-layered manner and on a heterogeneous surface. Finally, the adsorption free energy (E) in the D-R isotherm model was found to be 0.4283 kJ/mol. The fact that this value was smaller than 8 kJ/mol showed that adsorption is a physical process. The calculations obtained as a result of the studies followed a course in accordance with the literature data. Therefore, it can be said that Van pumice can be used to remove the said dyestuff.

*İlgiliyazar: alirizakul@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Boyar maddeler katyonik ya da anyonik olabilen organik bileşiklerdir. Birçok kullanım alanlarına sahip olmaları ile beraber tekstil endüstrisinde de oldukça fazla kullanılmaktadır fakat bu durumun canlılar -özellikle sucul canlılar- üzerinde olumsuz etkiler bırakabileceği daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Çelebi ve ark., 2018; Ceylan ve ark., 2022; Kul ve ark., 2022). Örneğin çalışmamızda uzaklaştırılmasını istediğimiz malahit yeşili, balık üretiminde fungistik olarak kullanılmasına karşın balık açısından da toksik özelliklere de sahiptir (Atamanalp ve ark., 2003). Bu boya üzerinde yapılan bir çalışma ise malahit yeşiline maruz bırakılan balık larvalarında omurga, baş, yüzgeç ve kuyruk anormallikleri olduğunu ortaya koymuştur (Meyer ve Jorgensen, 1983). Bu nedenle boyar maddelerin atık suların arıtılması oldukça önemlidir. Arıtma işlemi, hem boyar maddenin atık sular ile çevreyi kirletmesini önlerken hem de tatlı su kaynaklarının azalmasını da önüne geçer. Ancak bu işlemin sürdürülebilirliği, uygulanan yöntemin etkili ve maliyet bakımından uygun olmasına bağlıdır. Arıtma işleminde halihazırda kullanılan birçok yöntem (Kocacık ve ark., 2002; Alacabey ve ark., 2020) mevcut olmasına rağmen adsorpsiyon, maliyet ve etkinlik yönünden diğer yöntemlerden ayrılmaktadır. Adsorpsiyon, kil (Kul ve ark., 2010), pomza (Kul ve ark., 2017), aktif karbon (Alacabey ve ark., 2022) veya bitki atığı (Kul ve ark., 2019a) gibi çeşitli gözenekli maddelerin (adsorbent) kullanılarak sulu ortamlardan kirleticilerin uzaklaştırılması işlemidir (Kul ve ark., 2019b). Adsorpsiyon işlemi sırasında kirleticiler, adsorbent yüzeyine tutunarak yüzeyde zayıf bir bağ (Alacabey ve ark., 2014) meydana getiriler bu nedenle adsorbentler işlem sonunda temizlenerek tekrar kullanılabilirlerdir.

Bu çalışmada Van'da genellikle inşaat alanında briket yapımında (Kul ve ark., 2017) ve dolgu malzemesi (Ercan ve ark., 2020) olarak kullanılan "Van Pomzası (VP)" kullanılarak Malahit yeşili (MY) boyar maddesinin atık suların adsorpsiyon yöntemi ile uzaklaştırılması araştırıldı. Ayrıca adsorpsiyonun süre, adsorbent miktarı, pH ve derişim etkinliği incelendi ve elde edilen sonuçlar grafik ve çizelgelerde sunuldu.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Deneysel çalışmaların yapılması aşamalarında Selecta, pH-2005 marka pH metre, Julabo, Model ED marka ısıtmalı su banyosu, Thermo Scientific, Telesystem 15.07 Telemodul 15 marka ve model manyetik karıştırıcı ve Nüve Nf 200 marka santrifüj cihazı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan malahit yeşili ($C_{52}H_{54}N_4O_{12}$) boyar maddesi, çözelti pH değerini ayarlamak için kullanılan HCl ve NaOH Sigma – Aldrich firmasından satın alındı. Bu boyar madde ve kimyasallar analitik saflıkta olduğundan işlemlerde herhangi bir saflaştırılmaya maruz bırakılmadan kullanılmıştır.

2.2. Adsorbent Hazırlanması ve Özellikleri

Adsorbent olarak kullanılan VP, Van Gölü kıyısından toplanmıştır. Toplanan pomza öncelikle oda sıcaklığında bir

hafta boyunca kurutmaya bırakılarak öğütmeye hazır hale getirildi. Öğütme işleminde pomza bir havan yardımı ile dövülerek tanecik boyutu küçültüldü ve toz halindeki pomza elekten geçirilerek çalışmalarda kullanılmak üzere uygun kaplarda saklandı.

2.3. Stok Çözeltini Hazırlanması

Öncelikle MY boyar maddesinden 1 g tartılarak 1 litre saf su içinde çözüldü. Çözünme işlemi 400 rpm karıştırma hızına ayarlı manyetik karıştırıcıda 24 saat boyunca oda sıcaklığında yapıldı böylece 1000 ppm derişime sahip stok çözelti hazırlandı. Deneylerde kullanılan tüm çözeltiler, stok çözeltilerinden gerekli seyretmeler yapılarak hazırlandı.

2.4 Deneylerin Yapılması

2.4.1. Temas Süresinin Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

Temas süresinin belirlenmesi amacıyla stok çözeltilerden uygun seyreltme ile 30 ppm derişim ve 1 L hacimde çözelti hazırlandı. Hazırlanan çözelti karıştırmalı su banyosuna bırakılarak 400 rpm devir karıştırma hızında sıcaklığın 318 K seviyesine ulaşması için bekletildi. Sıcaklık istenilen değere ulaştıktan sonra çözeltiye 1 g adsorbent eklenerek 1, 3, 5, 7, 9, 15, 25, 35, 45, 60, 75, 90, 120, 150 ve 210. dakikalarda ortamdaki 2 ml sıvı alındı. Alınan numuneler daha sonra santrifüj cihazında 3000 rpm devirde 3 dakika boyunca santrifüj edildi. Son olarak UV-Vis. spektrofotometre cihazında 617 nm dalga boyu değerinde okundu.

2.4.2. Adsorbent Dozunun Belirlenmesi

Öncelikle stok çözeltilerden uygun seyreltme yapılarak 30 ppm derişim ve 1 L hacimlerde yedi adet çözelti hazırlanarak 400 rpm karıştırma hızında sıcaklığın 318 K'e ulaşması için bekletildi. Sıcaklık dengesi sağlandıktan sonra boyar madde çözeltilerinden ilkinde 0.3 g, ikincisine 0.5 g ve sırasıyla diğer çözeltilere 0.7 g, 1 g, 1.5 g, 2 g ve 3 g adsorbent eklendi. 90 dakika sonunda çözeltilerin her birinden 2 ml sıvı alınarak 3000 rpm karıştırma hızında 3 dakika boyunca santrifüj edildi. İşlem sonunda numuneler UV-Vis. spektrofotometre cihazında 617 nm dalga boyu değerinde okundu.

2.4.3. Optimum Ph Değerinin Belirlenmesi

Boyar maddenin bulunduğu ortamın pH değerinin uzaklaştırma miktarını nasıl etkilediğini araştırmak amacıyla 30 ppm derişim ve 1 L hacimlerde başlangıç pH değerleri sırasıyla 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 olan yedi adet çözelti hazırlandı. Ardından 400 rpm karıştırma hızında sıcaklığın 318 K ulaşması için bekletildi. Sıcaklık 318 K değerine ulaştıktan sonra her bir çözeltiye 2 g adsorbent eklenerek denge süresine kadar bekletildi. Denge süresine ulaştıktan sonra ortamlardan 2 ml sıvı alınıp 3000 rpm devirde 3 dakika süre ile santrifüj edilerek UV-Vis. spektrofotometre cihazında 617 dalga boyunda okundu.

2.4.4. Çözelti Konsantrasyonunun Etkisinin Belirlenmesi

Derişimin adsorpsiyon işlemi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla başlangıç pH değerleri pH 5 olan, 1 L

hacim ve 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm derişimlerde 5 adet çözelti hazırlanarak 318 K sıcaklığa ayarlı karıştırıcı su banyosuna bırakıldı. 400 rpm karıştırma hızında sıcaklığın dengeye gelmesi beklendi. Sıcaklık 318 K seviyesine ulaştıktan sonra her bir çözeltiye 2 g adsorbent eklendi. Denge süresi sonunda ortamlardan 2 mL sıvı alındı ve 3000 rpm karıştırma hızında 3 dakika santrifüj edildi.

2.4.5. Giderim Hesaplama

Deneysel çalışma aşamalarında sulu ortamdan boyar madde gideriminin hesaplanması için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\% \text{ adsorpsiyon} = \frac{(C_i - C_e) \cdot 100}{C_i} \quad (1)$$

bağıntıda; C_i : sulu ortamdaki boyar maddenin başlangıç derişimini (ppm), C_e : tutunma sonunda çözeltide ortamında kalan boyar madde derişimini (ppm) göstermektedir.

2.4.6. Adsorpsiyon İzotermi

2.4.6.1. Langmuir izoterm modeli

Langmuir izotermi homojen yüzey üzerinde adsorpsiyona uygulanır ve şu varsayımlara dayanır. Adsorplayıcı yüzeyinde homojen enerjiye sahip sabit sayıda aktif bölge vardır ve adsorpsiyon enerjisi sabittir

2.4.6.2. Freundlich izoterm modeli

Freundlich modeli heterojen yüzeyler üzerinde adsorpsiyona uygulanmaktadır. Bu modele göre adsorbent yüzeyinde farklı tutunma enerjilerine sahip bölgeler yer

almaktadır. Maddenin yüzeye tutunması çok tabakalı ve heterojen bir şekilde meydana gelmektedir.

2.4.6.3. Temkin İzoterm Modeli

Adsorpsiyon ısısı ile adsorbent-adsorban ilişkisi, Temkin ve Pyzhev tarafından 1941 yılında incelenerek ve farklı bir izoterm modeli oluşturulmuştur. Temkin izoterm modelinde adsorplayıcı maddenin yüzeyindeki aktif merkezlere madde tutundukça, adsorpsiyon enerjisinin doğrusal olarak azaldığı kabul edilmektedir. Bu model, adsorbent yüzeyinin bir biri ile etkileşim içinde bulunan çok sayıda parçadan olduğunu ve bu parçaların ise kendi aralarında homojen bir yapıya sahip olduğunu belirtir. Langmuir izoterm modelinden farklı olarak her bir parçacığın farklı adsorpsiyon enerjisine sahip olduğu ileri sürülmektedir. Bu kabul, Temkin izoterm modelinin katı elektrolit yüzeylerde meydana gelen adsorpsiyon olayını daha iyi açıklamasına olanak sağlar (Alacabey, 2014).

2.4.6.4. Dubinin Radushkevich izoterm modeli

D-R adsorpsiyon izoterm modeli bize adsorpsiyonun fiziksel ya da kimyasal adsorpsiyon olup olmadığı hakkında fikir verir (Okumuş ve Doğan 2009).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Van Pomzasının X-Işını Fraksiyonu (XRF) Analizi

Van Pomzasının yapısının anlaşılması için X-Işını Fraksiyonu (XRF) analizi yapıldı. Bileşim yüzdesi tablo 1'de verilmiştir (Aksu ve ark., 2011).

Tablo 1. Van pomzasının XRF bileşimi

SiO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	CaO	SO ₃	Al ₂ O ₃	Yanma kaybı
69.00	2.48	2.51	0.55	3.52	1.11	0.40	14.65	4.76

Çalışmada kullanılan pomza, SiO₂ yönünden oldukça zengindir. Bu durum açık renkli olan asidik pomzaların karakteristik özelliğidir. Yoğunluğu 0.5 ile 1 arasında olması bu tür pomzaların suda yüzebilmelerine imkan tanır (Aksay ve ark., 2016).

3.2. Temas Süresinin Bulunması

Temas süresinin adsorpsiyona etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışma verilerinin grafiğe geçirilmesi ile elde edilen eğri, şekil 1'de verilmiştir.

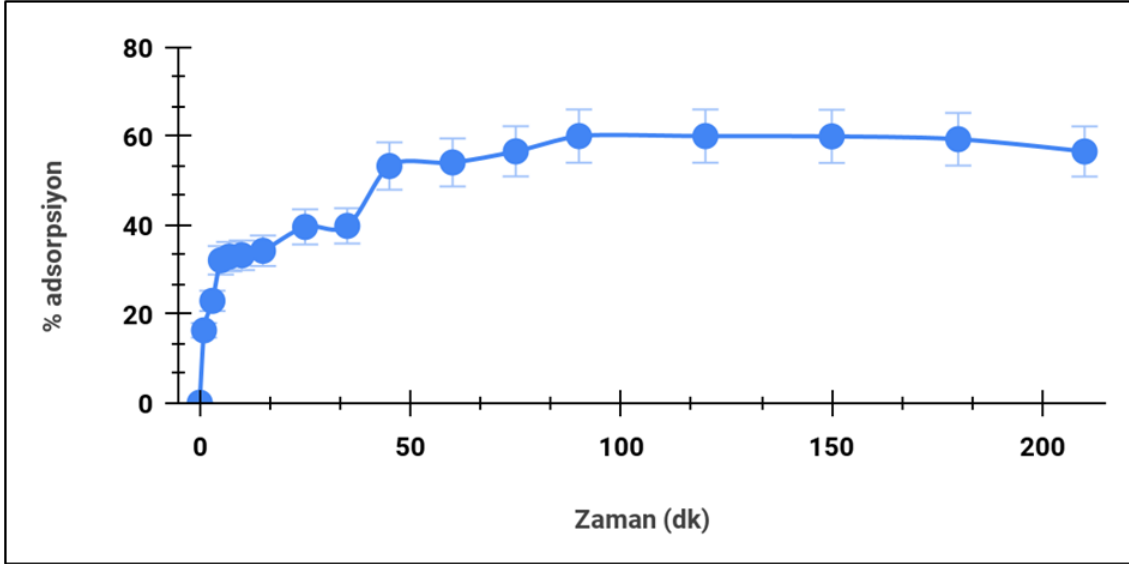
Şekil 1'e baktığımız zaman adsorbent yüzeyinde tutunmanın ilk dakikalarda hızlı bir şekilde meydana geldiğini fakat yaklaşık 90. dakikalarda yatay bir seyir izlediği ve bu dakikadan sonra kayda değer bir yükselişin meydana gelmediği görülmüştür bu nedenle bundan sonra yapılan çalışmalarda denge süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir. Kirleticiler sulu ortama konulan adsorbentin yüzeyine öncelikle hızlı bir şekilde tutunarak ortamdan

uzaklaşır fakat bu işlem sürekli aynı hızla devam etmez. Başlangıçta hızlı bir şekilde meydana gelen tutunma zamanla yavaşlayarak belirli bir zaman sonunda (denge noktası) sabit bir seyir izler. Bu noktada adsorbent doyuma ulaşır ve sonraki zamanlarda tutunmada kayda değer bir artış gözlemlenmez (Öden ve ark., 2017, Çelebi, 2020).

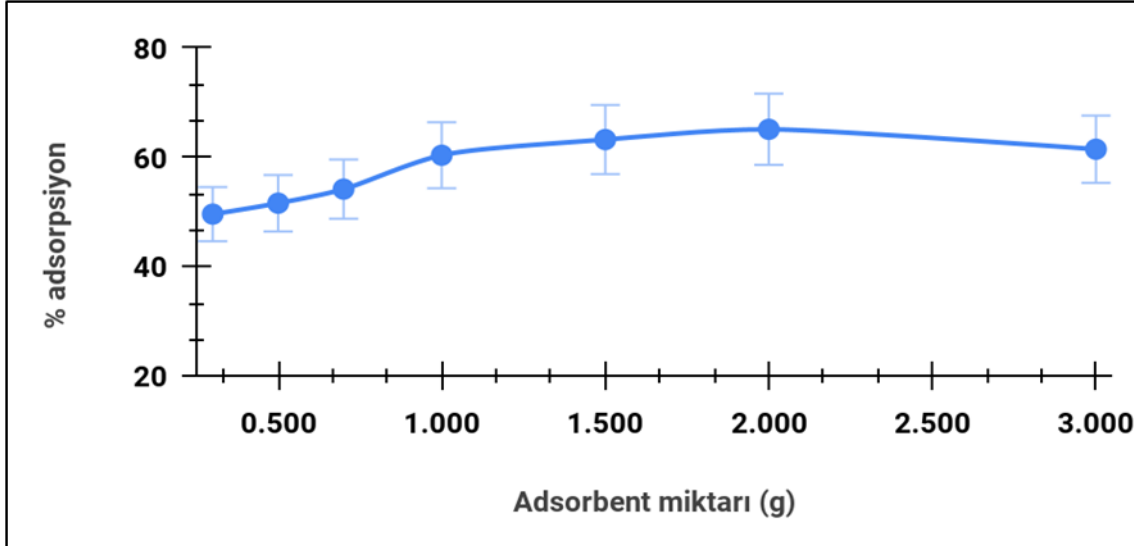
3.3. Optimum Adsorbent Miktarının Bulunması

Optimum adsorbent dozajının bulunması amacıyla yapılan çalışma verileri grafiğe geçirilerek Şekil 2 elde edilmiştir.

Şekil 2'ye bakıldığında boyar madde gideriminde 2 g adsorbent miktarına kadar artış kaydedildiği halde sonrasında yatay bir görünüm sergilediği görülmüştür. Daha fazla adsorbent miktarında tutunmanın daha fazla artmamasının nedeni; çözelti içindeki çok fazla pomza taneciklerinin üst üste binmesi sonucunda boyar maddenin yüzeye ulaşarak



Şekil 1. VP üzerine MY boyar maddesinin temas süresinin etkisi (m: 1 g, V: 1 L, C₀: 30 ppm, T: 318 K).



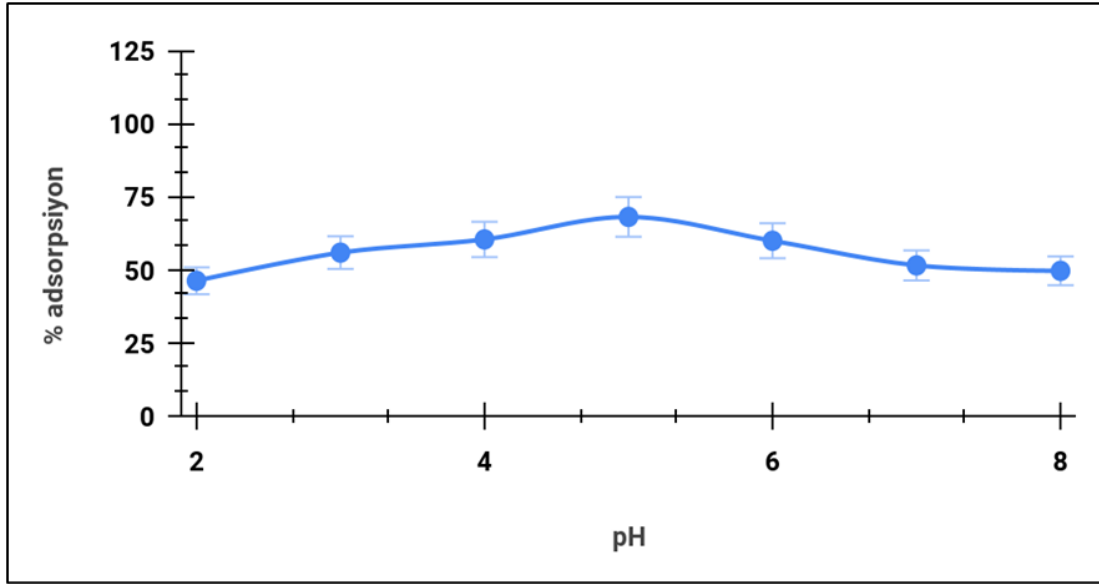
Şekil 2. VP üzerine MY boyar maddesinin adsorbent miktarının etkisi (V: 1 L, C₀: 30 ppm, T: 318 K).

tutunmasını engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuç literatürle (Padmavathy ve ark., 2016) uyumludur. Sonraki çalışmalarda optimum adsorbent miktarı olarak 2 g VP kullanılmıştır.

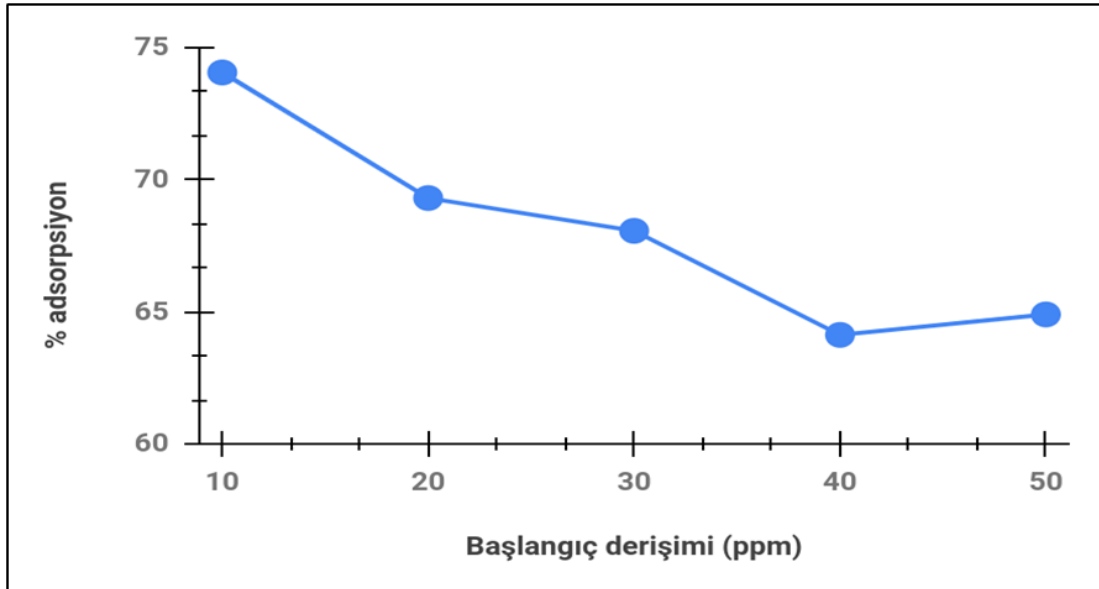
3.4. Optimum Ph Değerinin Bulunması

2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 pH değerlerinde yapılan çalışmada “başlangıç pH değerlerinin adsorpsiyon üzerindeki etkisini gösteren grafik” Şekil 3’te gösterilmiştir. pH 5’ten yüksek sıvı ortamlarında giderimin azalması, tahminen ortamda

bulunan OH⁻ iyonunun artmasından ve MY boyar maddenin katyonik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. pH 5 değerinden daha yüksek çözeltilerde OH⁻ iyonun artması, katyonik boyarmadde olan MY’nin adsorpsiyonu azaltmaktadır. Asidik pH ortamlarında ise adsorbent yüzeyindeki pozitif yük bölgelerinin artması sonucunda katyonik yapı MY’nin elektrostatik itme ile adsorpsiyonunda azalmaya neden olmuştur. Böylece pH 5 değerinden düşük veya yüksek çözelti ortamlarında adsorpsiyon azalmıştır. Elde edilen sonuç literatürle (Padmavathy ve ark., 2016) uyumludur.



Şekil 3. VP üzerine MY boyar maddesinin adsorpsiyonunda başlangıç pH değerinin etkisi (m: 2 g, V: 1 L, C_0 : 30 ppm, T: 318 K).



Şekil 4. VP üzerine MY boyar maddesinin adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin etkisi (m: 2 g, V: 1 L, pH: 5, T: 318 K).

3.5. Çözelti Derişiminin Adsorpsiyon Üzerindeki Etkisi

Derişimin adsorpsiyon üzerindeki etkisini araştırma amacıyla yapılan çalışmada elde edilen grafik, şekil 4'te gösterilmiştir. Boyar madde derişimi arttıkça VP adsorbentinin MY giderimi azalmaktadır. MY boyar madde giderimi 50 ppm derişimde % 64.9 iken bu oran 10 ppm derişimde % 74.066 olarak hesaplanmıştır. Derişim miktarının artması, VP yüzeyindeki tutunma kapasitesinin düşmesine böylece verimin azalmasına neden olmuştur. Benzer bir durum (Demir ve ark., 2020) çalışmasında da bildirilmiştir.

3.6. İzoterm Hesaplamaları

Denge sırasında çözelti ortamındaki VP yüzeyinde adsorplanan MY miktarı (C_{ads}) ile tutunmayan MY miktarı

(C_e) arasındaki ilişkiyi görmek için işlem verileri, Dubinin-Radushkevich (D-R), Freundlich ve Langmuir izotermine uygulandı. Bu hesaplamalar Tablo 2'de sunulan bağıntılar kullanılarak bulundu. Tabloda; R: İdeal gaz sabitini (8.314 j/mol.K), K_L : Langmuir izoterm sabitini (L/mg), C_e : Denge sırasında çözelti ortamında kalan maddenin derişimini (ppm), C_{ads} : Adsorbent yüzeyinde tutunan boyar madde derişimini (ppm), q_m : Langmuir izoterm sabitini (mg/g), E: D-R adsorpsiyon serbest enerjisini (kJ/mol), T: Kelvin cinsinden sıcaklığı (K), D: D-R sabitini (mol^2/kJ^2), ϵ : Polanyi potansiyelini, b : Adsorpsiyon ısısı hakkında bilgi veren Temkin sabitini (kJ/mol), K_T : Temkin izoterm sabitini (L/mg) ifade etmektedir. Tablo 2'de gösterilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan veriler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Hesaplamalarda kullanılan izoterm eşitlikleri.

İzoterm	Lineer bağıntı	Grafik	Eşitlik	Referans
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L q_m}\right) + \left(\frac{C_e}{q_m}\right)$	$\frac{C_e}{q_e}$ vs C_e	(2)	(Behnamfard ve ark., 2009)
Freundlich	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$	$\log q_e$ vs $\log C_e$	(3)	(Alacabey ve ark., 2014)
D-R	$\ln q_e = \ln q_m - D \varepsilon^2$ $\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$	$\ln q_e$ vs ε^2	(4)	(Alacabey ve ark., 2014)
Temkin	$q_e = B \ln KT + B \ln C_e$, $B = (RT)/b$	q_e vs $\ln C_e$	(5)	(Alacabey, 2014)

Tablo 3. VP üzerine MY boyar maddesinin adsorpsiyonu neticesinde bulunan izoterm verileri (m: 2 g, V: 1 L, pH: 5, T: 318 K).

Langmuir	K_L	0.0365
	Q_m	30.3739
	R²	0.8986
Freundlich	n	1.3679
	1/n	0.7310
	K_F	1.4489
	R²	0.9951
Temkin	B	5.3490
	K_t	0.5119
	b_t	0.4632
	R²	0.9420
D-R	q_m	11.0839
	E	0.4283
	D	2.7255
	R²	0.8432

VP adsorbenti üzerine MY boyar maddesinin adsorpsiyon izoterm çalışmalarında verilerin hangi modele uygunluğunu belirten korelasyon katsayısı (R^2), Freundlich izoterm modelinde 0.99'dan büyük hesaplanmıştır. Bunun için adsorpsiyon çalışmamızın Freundlich izoterm modeline daha iyi uyum sağladığı söylenebilir. Böylece bizler, adsorpsiyon sırasında uzaklaştırmanın çok tabakalı meydana geldiğini ve tutunmanın adsorbentin tüm yüzeyinde farklı olduğunu söyleyebiliriz. Freundlich sabitlerinden n ve 1/n değerlerinin sırasıyla 1 ile 10 ve 0 ile 1 aralıklarında olması adsorpsiyonun Freundlich izotermine uyduğunu ifade etmesi açısından da önemlidir (Okur ve ark., 2016). K_f değeri, biyosorpsiyon kapasitesini gösterir ve değeri ne kadar büyükse kapasite o kadar yüksektir (Özmal ve Duman, 2021). Freundlich izoterm hesaplamaları neticesinde adsorpsiyon kapasitesi (k_f), 1.4489

mg/g olarak hesaplandı. D-R izoterm modeli sırasında D-R adsorpsiyon serbest enerjisi 0.4283 kJ/mol olarak hesaplandı. Bulunan E değerinin 8 kJ/mol'dan daha az olması adsorpsiyon işleminin fiziksel olarak meydana geldiğini göstermiştir (Alacabey ve ark., 2020).

3.7. Literatürde Rapor Edilen Farklı Adsorbentlerle My Boyar Madde Gideriminin Karşılaştırılması

MY boyar maddesinin farklı adsorbentler kullanılarak atık sulardan uzaklaştırılması amacıyla önceden yapılan çalışma sonuçları Tablo 4'te karşılaştırılmıştır. Literatürde daha önce yapılan çalışmaların yer aldığı tablo 4'e bakıldığında bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçların önceki çalışmalar ile paralellik arz ettiği görülmüştür.

Tablo 4. MY boyar maddesinin farklı adsorbentler kullanılarak atık sulardan uzaklaştırılması amacıyla önceden yapılan çalışma sonuçları.

Çalışma	Denge, (dk.)	Dozaj, (g)	pH	İzoterm	Q _m , (mg/g)
Bu çalışma	90	2	5	Freundlich	1.4489
(Gürkan ve ark., 2017)	60	10	-	Langmuir	23.44
(Uysal ve Belibağlı, 2020)	120	15	6	Tempkin	0.43
(Abdullah Ceyhan ve ark., 2013)	60	0.3	4	Langmuir	28.32
(Çiçekçi ve ark., 2020)	120	1	5.2	Freundlich	8.19
(Özdemir ve ark., 2019)	60	0.1	6.7	Langmuir	41.49
(Kavcı ve ark., 2021)	240	0.5	5	-	9.72

4. SONUÇ

Pomza miktarının boyar madde adsorpsiyonu üzerindeki etkinliğinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda 2 g VP adsorbent miktarının optimum miktar olduğu ve bu miktardaki adsorbent ile 30 ppm derişimde % 65.11 oranında giderim sağlandığı tespit edilmiş ve bu oran pH çalışması sonucunda pH 5 ortamında % 68.07 olarak kaydedilmiştir. Denge sırasında, derişim ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi gösteren izoterm çalışmaları, adsorpsiyonun Freundlich izoterm modeline daha iyi uyum sağladığını göstermiştir. Freundlich hesaplamaları neticesinde n değeri 1.3679, K_f değeri ise 1.4489 mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon işlemlerinin Freundlich izoterm modeline uyum sağladığının gösterilmesi, tutunmanın çok tabakalı bir şekilde heterojen bir yüzey üzerinde oluştuğunu ifade etmektedir. Son olarak D-R izoterm modelindeki adsorpsiyon serbest enerjisinin (E) değeri 0.4283 kJ/mol olarak bulundu. Bu değer 8 kJ/mol'dan daha küçük olması adsorpsiyonun fiziksel bir proses olduğunu göstermiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen hesaplamalar literatür verilerine uygun bir seyir izlemiştir. Bundan dolayı sözü edilen boyar maddenin uzaklaştırılması amacıyla Van Gölü kıyısında toplanan pomzanın malahit yeşili boyar maddesinin uzaklaştırılmasında kullanılabileceği söylenebilir.

5. KAYNAKLAR

Abdullah Ceyhan A., BaytaR O., Güngör A., Saygılı E. and Söylemez C. (2013). Formaldehit İle Modifiye Edilmiş İğde Çekirdeği Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Malahit Yeşilinin Uzaklaştırılması. *Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 1 (2), 1-8.

Aksay, E., K., Akar, A., Cöcen, İ. (2016). Pomza Cevherinin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi. *AKÜ FEMÜBİD*, 16, 384-390.

Aksu, A., Murathan, A., Koçyiğit, H. (2011). REAKTİF MAVİ 221'İN POMZA İLE ADSORPSİYONU VE

KİNETİĞİ. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 26:(4), 807-812.

Alacabey İ., (2014). Doğal ve aktive edilmiş Van Gölü sediment (dip çamuru) örneklerinin bazı ağır metallerle adsorpsiyonunun izoterm ve termodinamik analizi. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.

Alacabey İ., Kul A.R., Şakir E., Alkan H. (2020). Van gölü doğal sediment ve modifiye sediment üzerine krom (III) adsorpsiyonu (izoterm ve termodinamik analiz çalışması). *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 1225-1232.

Alacabey İ. (2022). Antibiotic Removal from the Aquatic Environment with Activated Carbon Produced from Pumpkin Seeds. *Molecules*, 27 (4), 1380.

Atamanalp, M., Bayır, A., Sirkecioğlu, A. N., Cengiz, M. (2003). The Effects of Sublethal Doses a Disinfectant (Malachite Green) on Blood Parameters of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23 (3), 177-187.

Behnamfard A. and Salarirad M.M. (2009). Equilibrium and kinetic studies on free cyanide adsorption from aqueous solution by activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 170 (1), 127-133.

Ceylan E., Başaran G. Bektaş N. and Yatmaz C. (2022). Demir yüklenmiş kitosanın Reaktif Turuncu 16 boyar maddesinin giderimine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37 (3), 1427-1440.

Çelebi, H. (2020). Doğal Kabak Çekirdeği Kabuğunun Bor Adsorpsiyon Kapasitesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4) 1698-1710.

- Çelebi M., Özdoğan R. (2018). Basic Blue 41, Basic Red 46 ve Basic Yellow 28 Boyar Maddelerinin Çözeltilen Anyonik Polimer Membran ile Giderilmesi. *Academic Platform - Journal of Engineering and Science*, 6 (1), 17-24.
- Çiçekçi A., Dönmez B., Kavcı E. and Laçin Ö. (2020). Malahit Yeşilinin Şeftali Çekirdeği Kabuğu Üzerine Adsorpsiyon İzotermi ve Termodinamiği. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 103-111.
- Demir B., Kalpaklı Y. (2020). İşlem Görmemiş Kütahya Ca-Bentonitinin Bazik Mavi 41 (BB41) Adsorpsiyon Karakteristiğinin İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10 (1), 309-319.
- Ercan I., Karaşin A. and Kayan Y. (2020). Pomzadan imal edilmiş çelik lif katkılı bimsblokların mekanik özelliklerinin araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (2), 723-730.
- Gürkan E.H. and Çoruh S. (2017). Atık döküm kumu ile katyonik boyarmaddelerin adsorpsiyon çalışmaları. *Celal Bayar University Journal of Science*, 13 (2), 515-521.
- Kavcı E. (2021). Malahit yeşili boyar maddesinin çam kozalağı ile adsorpsiyonunun Taguchi metodu ile incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23 (67), 129-135.
- Kocaer F.O. and Alkan U. (2002). Boyarmadde içeren tekstil atıklarının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7 (1), 47-55.
- Kul A. and Benek V. (2022). Doğal ve Asitle Aktive Edilmiş Siirt/Koçpınar Kili Kullanılarak Atık Sulardan Malahit Yeşili Boyar Maddesinin Uzaklaştırılması. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 41-56.
- Kul A.R., Aldemir A., Alkan S., Elik H. and Caliskan M. (2019b). Adsorption of Basic Blue 41 using *Juniperus excelsa*: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Environmental Research & Technology*, 2 (3), 3.
- Kul A.R., Benek V., Kaptanoğlu S., Alkan S. and Vedat A. (2019a). *Pyrus Communis* Atığının Üzerine Sulu Çözeltilerdeki Metilen Mavisinin Adsorpsiyon İzoterm Ve Termodinamik Çalışmaları. *Van Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11 (1), 24-27.
- Kul A.R., Benek V., Selçuk A. and Onursal N. (2017). Using natural stone pumice in van region on adsorption of some textile dyes. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 4 (2), 525-536.
- Kul A.R. and Koyuncu H. (2010). Adsorption of Pb(II) ions from aqueous solution by native and activated bentonite: Kinetic, equilibrium and thermodynamic study. *Journal of Hazardous Materials*, 179 (1), 332-339.
- Meyer, F.P., and Jorgensen, T.A. (1983). Teratological and other effects of malachite green on development of rainbow trout and rabbit. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 112, 818-821.
- Okumuş, Z.Ç., Doğan, T.H., (2019). Biyodizeldeki Suyun Reçine ile Uzaklaştırılması: Adsorpsiyon İzotermi, Kinetiği ve Termodinamik İncelemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15: 561-570. <https://doi.org/10.31590/ejosat.535977>.
- Okur, M., Aktı, F., (2016). C.I. asit viyole 90 metal-kompleks boyar maddesinin sulu ortamlardan sentetik ve doğal zeolit kullanılarak uzaklaştırılması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 31:(3), 677-686.
- Öden, M. K. , Şahinkaya, S., Küçükçongar, S. (2017). Colour Removal with Adsorption Process Using Pomace . *Cumhuriyet Science Journal*, 38 (4): 215-219.
- Özdemir Ç.S. (2019). Tarımsal atık üzerine malahit yeşili adsorpsiyonunda denge ve kinetik verilerin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (7), 878-883.
- Özmal, F., Duman, G. (2021). Modifiye Juglans Regia L. Yaprığı Kullanarak Sulu Çözeltilerden Reaktif Red 120'nin Biyosorpsiyonu. *European Journal of Science and Technology* . 25, 256-266.
- Padmavathy K., Madhu G. and Haseena P. (2016). A study on effects of pH, adsorbent dosage, time, initial concentration and adsorption isotherm study for the removal of hexavalent chromium (Cr (VI)) from wastewater by magnetite nanoparticles. *Procedia Technology*, 24, 585-594.
- Uysal Y. ve Belibağlı P. (2020). Atık Yumurta Kabuklarından Sentezlenen Hidroksiapatitler ile Sulardan Malahit Yeşil Giderimi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (3), 3.