

Ayva (*Cydonia oblonga*), Enginar (*Cynara scolymus*) ve Altın Çilek (*Physalis peruviana*) Kabukları Kullanılarak Metil Viyole 2B'nin Adsorpsiyonu

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 26.03.2026

Kabul/Accepted: 17.09.2026

Yaymlandı/Published: 06.10.2026

Adsorption of Methyl Violet 2B Using Quince (*Cydonia oblonga*), Artichoke (*Cynara scolymus*), and Goldenberry (*Physalis peruviana*) Peels

Hüseyin ECEVİT , Türkan ALTUN* , Gamze OK , Rabia Tuba GÜMÜŞ , Hanife EKİM ¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

© 2026 The Authors | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

Bu çalışmada, katyonik boyar madde olan Metil Viyole 2B'nin, doğal ve çevre dostu adsorbanlar olan ayva (*Cydonia oblonga*) kabuğu tozu, enginar (*Cynara scolymus*) kabuğu tozu ve altın çileği (*Physalis peruviana*) kabuğu tozu kullanılarak giderimi incelenmiştir. Adsorpsiyon verimliliğine temas süresi, pH, adsorban dozajı ve başlangıç Metil Viyole 2B derişimi parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Optimum koşullar 30 dakika temas süresi, 5,5 pH ve 1 mg/mL adsorban dozajı olarak belirlenmiştir. Giderim yüzdeleri ayva kabuğu tozu için %82,7, enginar kabuğu tozu için %88,2 ve altın çilek tozu için %86,7 olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon verileri, Langmuir izotermi ile daha uyumlu bulunmuştur. Langmuir izoterm modelinden hesaplanan maksimum tek tabaka adsorpsiyon kapasiteleri; ayva kabuğu tozu için 122,0 mg/g, enginar kabuğu tozu için 204,1 mg/g ve altın çileği kabuğu tozu için 153,9 mg/g olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon kinetiği incelendiğinde ise ikinci dereceden kinetik modelin daha uygun olduğu belirlenmiştir. İzoterm ve kinetik model hesaplamaları adsorpsiyon sürecinde kimyasal etkileşimlerin daha baskın olduğuna işaret etmiştir. Yeniden kullanılabilirlik denemeleri sonucunda geri kazanılmış adsorbanların %12,8-%14,8 arası verim kaybı ile en az dört döngü boyunca tekrar kullanılabileceği belirlenmiştir.

Abstract

In this study, the removal of the cationic dye Methyl Violet 2B using natural and eco-friendly adsorbents such as quince (*Cydonia oblonga*) peel powder, artichoke (*Cynara scolymus*) peel powder, and goldenberry (*Physalis peruviana*) peel powder was investigated. The effects of contact time, pH, adsorbent dosage, and initial Methyl Violet 2B concentration on adsorption efficiency were examined. The optimum conditions were determined as 30 minutes of contact time, pH 5.5, and an adsorbent dosage of 1 mg/mL. The removal efficiencies were calculated as 82.7% for quince peel powder, 88.2% for artichoke peel powder, and 86.7% for goldenberry peel powder. The adsorption data were found to be more consistent with the Langmuir isotherm. The maximum monolayer adsorption capacities calculated from the Langmuir isotherm model were determined as 122.0 mg/g for quince peel powder, 204.1 mg/g for artichoke peel powder, and 153.9 mg/g for goldenberry peel powder. The adsorption kinetics indicated that the pseudo-second-order kinetic model was more suitable. The isotherm and kinetic model calculations suggested that chemical interactions were more dominant in the adsorption process. Reusability tests revealed that the recovered adsorbents could be reused for at least four cycles with a yield loss ranging between 12.8% and 14.8%.

Anahtar Kelimeler: Boya; Atık su; Tarımsal atık; Biyosorbent; Biyosorpsiyon.

Keywords: Dye; Wastewater; Agricultural waste; Biosorbent; Biosorption.

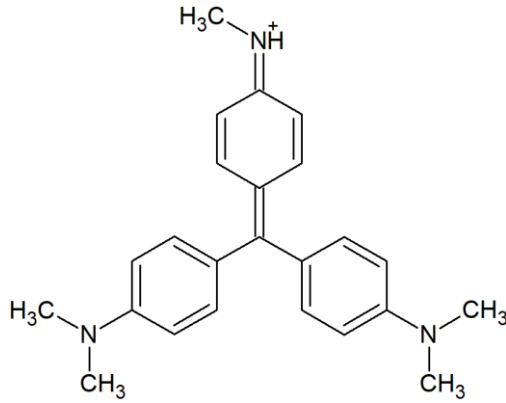
1. Giriş

Metil viyole tekstil, deri, kağıt gibi çeşitli endüstrilerde renklendirme amacıyla ve pH indikatörü olarak yaygın şekilde kullanılan bir katyonik triarilmetan boyadır (Agha vd. 2025, Eisa ve Almufti 2026). Metil viyole, saf formda kristalimsi bir yapı sergileyebilir; bazı formlarda mavi-yeşil, bazı çözeltiler veya uygulamalarda ise mor tonları gösterebilir (İnt. Kyn. 1). Bu renk değişimi, kullanılan formülasyona ve ortam koşullarına bağlı olarak değişir (İnt. Kyn. 1). Metil viyole; mutajenik, kanserojen ve sitotoksik etkileri sebebiyle insan sağlığını ve sucul ekosistemi tehdit etmektedir. Bu yüzden bu kirletici

boyanın deşarj edilmeden önce atıksu kaynağından giderilmesi büyük önem taşımaktadır (Eisa ve Almufti 2026).

Metil viyole 2B boyasının kimyasal yapısı Şekil 1'de sunulmuştur. Metil viyole 2B katyonik bir boyar madde olup tekstil, kâğıt, deri, ipek, bambu ve çeşitli endüstriyel ürünlerin renklendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca biyomedikal alanda Gram boyasında aktif bileşen olarak görev almakta ve zaman zaman dezenfektan olarak da kullanılabilir (Erduran vd. 2025). Bununla birlikte, metil viyolenin suda çözünürlüğü ve yüksek renklendirme kapasitesi çevresel

açından önemli riskler doğurmaktadır. Bu tür boyar maddelerin arıtılmadan alıcı ortamlara bırakılması, ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentetik aktiviteleri engellemekte ve sucul ekosistemlerde toksik etkilere yol açabilmektedir (Erduran vd. 2025). Trifenilmetan grup boya sınıfına dahil olan metil viyolenin toksik, mutajenik ve kanserojen özelliklere sahip olduğu, solunum ve sindirim sistemi üzerinde tahriş edici etkiler gösterebildiği bildirilmiştir (Al-Jubouri vd. 2023). Dolayısıyla, çevresel ortamlara salınımının önlenmesi, uygun arıtım yöntemleriyle giderilmesi ve kullanım sürecinde gerekli güvenlik önlemlerinin alınması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1. Metil viyole 2B boyasının kimyasal yapısı

Adsorpsiyon, bir gaz veya sıvıdaki moleküllerin katı veya sıvı bir yüzeyde tutunmasıdır. Fiziksel adsorpsiyon Van der Waals kuvvetleri ile, kimyasal adsorpsiyon ise daha güçlü kimyasal bağlarla gerçekleşir (Filiz 2007). Bu süreç; adsorban yüzey alanı, gözenek yapısı, sıcaklık, pH ve adsorplanan maddenin başlangıç derişimi gibi parametrelerden etkilenir (Wei vd. 2025).

Ayva (*cydonia oblonga*), enginar (*cynara scolymus*) ve altın çilek (*physalis peruviana*) kabukları gibi tarımsal atıklar sahip oldukları gevşek gözenekli yapıları; içerdikleri karboksil ve hidroksil gibi reaktif gruplar ve selüloz, hemiselüloz, lignin gibi yapılar sayesinde adsorban olarak yüksek potansiyele sahip malzemelerdir (Dai vd. 2018). Ayrıca bu malzemelerin tarımsal atık kökenli olması, hem düşük maliyetli hem de sürdürülebilir bir adsorban kaynağı olmalarını sağlamaktadır (Dai vd. 2018).

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, metil viyolenin (MV) enginar kabuğu (EK), ayva kabuğu (AK) ve altın çilek kabuğu (AÇK) yüzeylerine adsorpsiyonu için temas süresi, pH, adsorban dozajı ve başlangıç MV derişimi parametrelerinin etkisi incelendi (Agha vd. 2025).

Bu çalışmada adsorban olarak kullanılan EK, AK ve AÇK 65°C'lik etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminin tamamlanmasının ardından kabukların parçacık

boyutları mekanik öğütücü ve elek yardımıyla 120 µm'nin altına indirilmiştir.

EK, AK ve AÇK adsorbanlarının sıfır yük noktası (pH_{pzc}) değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla farklı başlangıç pH değerlerine ayarlanmış 50 mL'lik 0,1 M NaCl çözeltileri hazırlanmış ve her bir çözelti içerisine 25 mg adsorban eklenmiştir. Numuneler, 24 saat boyunca manyetik karıştırıcılar yardımıyla karıştırılarak dengeye ulaşmaları sağlanmıştır. Süre sonunda çözeltilerin nihai pH'ları (pH_s) ölçülmüştür. İlk pH değerlerine (pH_i) karşılık pH değişimi ($\Delta pH = pH_s - pH_i$) değerleri grafiğe geçirilmiştir. Bu grafikte ΔpH değerlerinin sıfıra eşit olduğu nokta pH_{pzc} 'yi göstermektedir. İlgili adsorbanların kimyasal özelliklerini belirleyebilmek amacıyla, adsorpsiyon işlemi öncesi ve sonrasında Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi gerçekleştirilmiş olup 4000-400 cm^{-1} dalga sayısı aralığında elde edilen spektrumlar doğrultusunda adsorbanların kimyasal yapılarındaki olası fonksiyonel grup değişimleri incelenerek mekanizmanın aydınlatılması hedeflenmiştir.

Adsorpsiyon, MV çözeltisi ve adsorbanın manyetik karıştırıcıda belirli süre karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu temas süresi sonunda adsorban ve çözelti santrifüj yoluyla ayrıldıktan sonra, çözeltideki MV derişimi UV-visible spektrofotometre ile 579 nm dalga boyunda analiz edilmiştir.

Bu şekilde pH, temas süresi, adsorban dozajı ve başlangıç MV derişimi parametreleri değiştirilerek yapılan denemeler yoluyla parametrelerin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Bir parametrenin belirlenen optimum seviyesi diğer parametrelerin etkilerinin incelendiği deneylerde sabit tutulmuştur.

Adsorpsiyon prosesinin mekanizmasını aydınlatmak amacıyla, adsorpsiyon verileri Langmuir ve Freundlich izotermeleri ile sözde birinci ve ikinci derece kinetik modellere uygulanmıştır (Çelik vd. 2023).

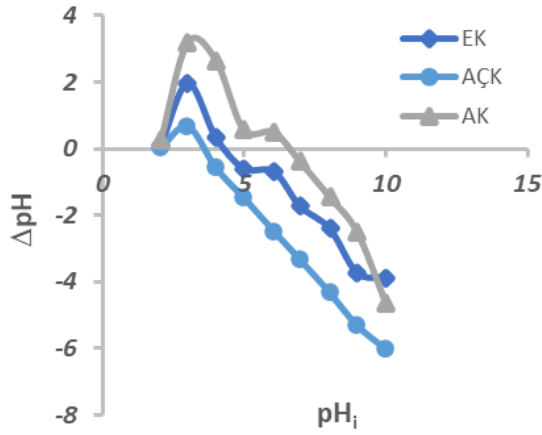
Adsorbanların geri dönüştürüldükten sonra yeniden kullanılabilirlikleri incelenmiştir. Bunun için optimum şartlarda gerçekleştirilen adsorpsiyon denemesinden sonra adsorbanlar santrifüj ile çözeltiden ayrılmıştır. Ardından %10'luk süspansiyon oluşturacak şekilde sırasıyla saf su, 0,3 M HNO_3 çözeltisi ve tekrar saf su ile yıkama işlemi uygulanmıştır. Her yıkama adımında süspansiyon yarım saat boyunca karıştırılmış ve ardından santrifüj ile adsorbanlar ayrılmıştır. Yıkama sonrası elde edilen adsorbanlar 65°C'de etüvde 24 saat boyunca kurutulmuş ve geri kazanılan adsorbanların bir sonraki döngüde optimum şartlarda MV adsorpsiyon verimlilikleri yeniden değerlendirilmiştir (Ali vd. 2022).

3. Bulgular

3.1. Karakterizasyon

3.1.1. pH_{pzc} analizleri

Şekil 2’de adsorbanların pH_{pzc} grafikleri sunulmuştur. Bu grafiklere göre AK, EK ve AÇK için pH_{pzc} değerlerinin 4,3; 6,6 ve 3,6 olduğu görülmektedir. Yani adsorban yüzeyleri bu pH değerlerinde nötr durumdadır. Ayrıca, adsorban yüzeyleri pH_{pzc} değerlerinin altındaki pH değerlerinde pozitif yüklü, üstündeki pH değerlerinde ise negatif yüklü durumdadır (Saha vd. 2020).

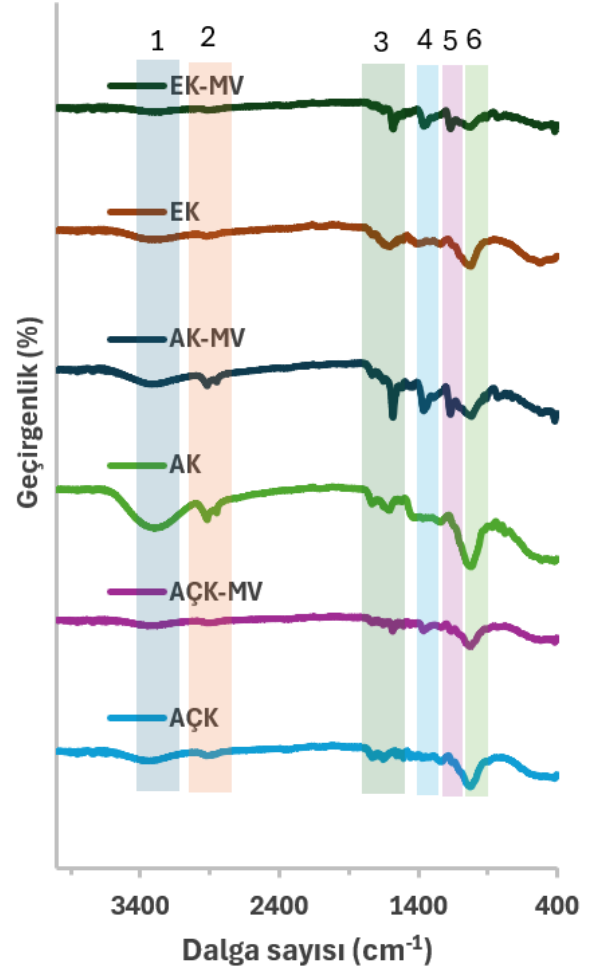


Şekil 2. pH_{pzc} grafiği

3.1.2. FTIR analizleri

Şekil 3’te tüm adsorbanların adsorpsiyon öncesi ve sonrasındaki FTIR spektrumları sunulmuştur. Spektrumlarda 3300 cm^{-1} civarında görülen bantlar (1) O-H ve N-H gerilmesinden, 2900 ve 2850 cm^{-1} civarında görülen bantlar (2) metil grubuna işaret eden C-H bağlarının asimetrik ve simetrik gerilmesinden kaynaklanmaktadır (Faizal vd. 2025, Pap vd. 2016, Vanamudan ve Pamidimukkala 2015). 1730 ve 1600 cm^{-1} civarındaki bantlar (3) C=O ve C=C gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır (Dahri vd. 2015, Faizal vd. 2025). Adsorpsiyon öncesi 1600 cm^{-1} ’de görülen bantlar adsorpsiyondan sonra 1580 cm^{-1} ’e kaymış ve yoğunluğu artmıştır. Bu kayma MV’nin yüzeydeki varlığına işaret eden literatürle uyumludur (Dahri vd. 2015). Ayrıca adsorpsiyondan sonraki spektrumlarda 1580 cm^{-1} ’deki yüksek yoğunluklu bandın yakınında 1520 cm^{-1} civarında düşük yoğunluklu bir bant oluşumu da gözlemlenmiştir. Bu bant N-H eğilme titreşiminden kaynaklanmakta olup MV moleküllerinin yüzeyde tutulduğunu desteklemektedir (Al-Zaban vd. 2022, Dahri vd. 2015, Faizal vd. 2025). MV adsorpsiyonundan sonra tüm adsorbanlarda görülen 1364 cm^{-1} ’deki bant (4) C-N gerilme titreşimine işaret etmektedir (Dahri vd. 2015, Faizal vd. 2025). Bu bant adsorpsiyon öncesinde bulunmayıp adsorpsiyon sonrasında oluşmuştur ve yüzeyde tutunan MV varlığını doğrulamaktadır. Yine

adsorpsiyon sonrası belirgin şekilde oluşmuş olan 1160 cm^{-1} ’deki bantlar (5) C-N gerilmesine işaret ederek MV varlığını desteklemektedir (Lim vd. 2016). Son olarak tüm adsorbanlarda görülen 1020 cm^{-1} ’deki bantlar (6) literatürde lignin yapısına atfedilen C-O-C gerilme titreşimleriyle ilişkilendirilmektedir. Bu bantların yoğunluğunun adsorpsiyon sonrasında azalması, söz konusu grupların MV ile etkileşime girmiş olabileceğini düşündürmektedir (Al-Zaban vd. 2022).



Şekil 3. Adsorbanların FTIR spektrumları

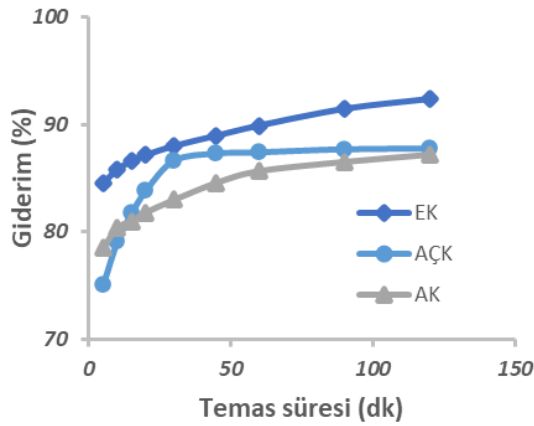
Adsorpsiyon işleminden sonraki spektrumlarda özellikle karbon-azot bağlarına işaret eden bant yoğunluklarının artmış olması yüzeyde MV’nin tutulduğuna işaret etmektedir (Öztürk vd. 2020). Bununla birlikte, adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumlarına göre, adsorbanların temel fonksiyonel gruplarının korunduğu görülmektedir. Bu bulgu, adsorbanların yeniden kullanılabilirliği açısından olumlu bir göstergedir.

3.2. Kesikli adsorpsiyon denemeleri

Bu bölümde adsorpsiyona etki eden bazı parametrelerin etkileri incelenmiştir. Yapılan denemelerde etkisi incelenen parametre dışındaki deney şartları şu şekilde ayarlanmıştır: temas süresi 30 dk, pH 5,5, başlangıç MV derişimi 50 mg/L , adsorban dozajı 1 mg/mL .

3.2.1. Temas süresinin adsorpsiyona etkisi

Şekil 4'te temas süresine karşılık giderim yüzdeleri verilmiştir. Temas süresinin artmasıyla birlikte tüm adsorbanlar için giderim verimlerinde artış gözlemlenmiş; bu artış özellikle ilk 30 dakikada belirgin olmuştur. Grafik verilerine göre optimum temas süresi tüm adsorbanlar için 30 dakika olarak belirlenmiştir. Üç adsorban arasından EK başlangıçtan itibaren en yüksek adsorpsiyon performansını göstermiştir.



Şekil 4. Temas süresinin adsorpsiyona etkisi

Çizelge 1. Kinetik model sabitleri

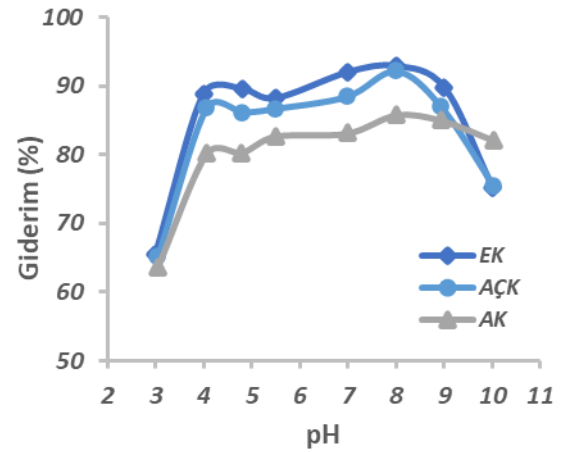
Kinetik model sabitleri		AK	EK	AÇK
Sözde-birinci mertebeden	R^2	0.9976	0.9811	0.9598
	q (mg/g)	5.54	4.91	6.99
	k	0.0299	0.0235	0.0617
Sözde-ikinci mertebeden	R^2	0.9999	0.9998	1.0000
	q (mg/g)	49.50	52.36	48.08
	k	0.0160	0.0158	0.0210

Çizelge 1'de görüldüğü gibi, sözde 2. mertebeden kinetik modelin, sözde 1. mertebeden kinetik modele kıyasla daha yüksek belirleme katsayısı (R^2) değerleri göstermesi, adsorpsiyon sürecinin kimyasal etkileşimlerle kontrol edildiğini düşündürmektedir (İşgören 2024). Bu durum, adsorban yüzeyi ile adsorbat molekülleri arasında güçlü bağların oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, AK için sözde-birinci mertebeden kinetik modelin R^2 değeri de oldukça yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla, bu model de AK ile MV adsorpsiyonunun kinetiğini yüksek doğrulukla açıklamaktadır. Bu bulgu, AK yüzeyinde MV adsorpsiyon mekanizmasının yalnızca kimyasal etkileşimlerle değil,

aynı zamanda difüzyon kontrollü fiziksel süreçlerle de desteklenebileceğini işaret etmektedir (Vareda 2023).

3.2.2. pH'nın adsorpsiyona etkisi

Şekil 5'te farklı pH değerlerinde yapılan adsorpsiyon denemelerinin giderim verimleri sunulmuştur. Bu sonuçlardan pH'nın, adsorpsiyon verimliliğini etkileyen önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Ancak pH değeri 4-9 aralığında her üç adsorban için de adsorpsiyon verimliliğinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Bu sebeple 50 mg/L MV çözeltisinin doğal pH değeri olan 5,5 optimum olarak belirlenmiştir.



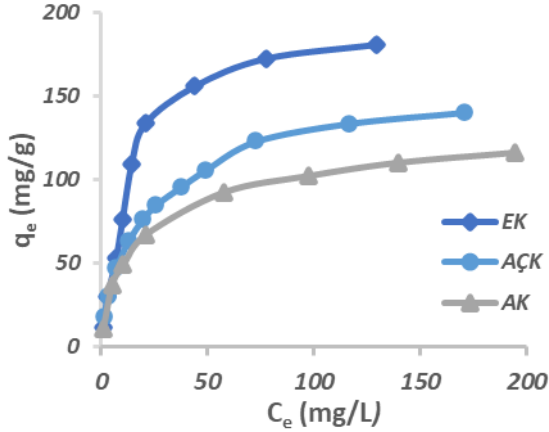
Şekil 5. pH'nın Adsorpsiyona etkisi

AK, EK ve AÇK adsorbanlarının pH_{pzc} değerleri sırasıyla 4,3; 6,6 ve 3,6 olarak belirlenmiştir. Yani optimum olarak belirlenen 5,5 pH değerinde AK ve AÇK yüzeyleri negatif yüklenmiş durumda iken EK yüzeyi ise pozitif yüklenmiş durumdadır. MV molekülünün ise katyonik yapıda olduğu bilinmektedir. 4 ile 9 pH aralığında adsorbanların yüzey yüklerinin değişmesine rağmen adsorpsiyon verimliliğinde çok büyük değişiklikler olmaması, adsorpsiyon prosesinde elektrostatik etkileşimler dışında hidrojen bağı oluşumu ve π - π gibi farklı etkileşimlerin de meydana geldiğine işaret edebilir (Agha vd. 2025). Ancak, pH 3'teki düşük adsorpsiyon veriminin, adsorbanların sahip oldukları yüksek pozitif yükten kaynaklandığı düşünülmektedir (Lim vd. 2016, Al-Zaban vd. 2022). Ayrıca pH 10'da elde edilen düşük adsorpsiyon veriminin ise bu pH'ta MV'nin OH^- iyonları ile etkileşerek karbinol formuna dönüşmeye başlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Bonetto vd. 2015). FTIR spektrumlarından da görüldüğü gibi AÇK'nin AK ve EK'ye kıyasla daha az fonksiyonel grup içerdiği anlaşılmıştır. Bu sebeple AÇK ile adsorpsiyonda fonksiyonel grupların katkısının daha düşük düzeyde olduğu düşünülmektedir (Agha vd. 2025, Faizal vd. 2025). Bu da EK'nin AÇK'den daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmasını açıklamaktadır. Bununla birlikte, AK'nin en düşük verimi

göstermesi muhtemelen AK'nin morfoloji ve fonksiyonel grupların erişilebilirliği farklarından kaynaklanmaktadır.

3.2.3. Adsorpsiyon izotermi

Farklı derişimlerde MV çözeltilerinin adsorpsiyonu sonucu elde edilen denge derişimi ve adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin bulunduğu adsorpsiyon izotermi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Adsorpsiyon izotermi

Çizelge 2. Langmuir ve Freundlich izoterm sabitleri

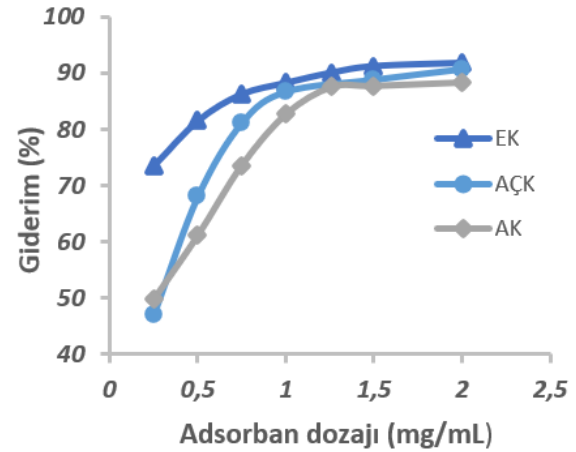
İzoterm parametreleri		AK	EK	AÇK
Langmuir	R ²	0.9969	0.9955	0.9964
	A _s (mg/g)	122.0	204.1	153.8
	K _b	0.0699	0.0631	0.0548
Freundlich	R ²	0.9467	0.91	0.9566
	k	15.83	16.57	17.76
	n	2.414	1.739	2.249

Çizelge 2'de sabitleri sunulan Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine göre adsorpsiyon verilerinin her iki izoterm ile de uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bununla beraber, R² değerleri daha yüksek bulunmuş olduğu için adsorpsiyonun Langmuir izotermi ile daha uyumlu olduğu söylenebilir. Bu durum adsorpsiyon mekanizmasının tek tabakalı olduğu ve adsorbat moleküllerinin adsorban yüzeyine homojen dağıldığına işaret etmektedir. Bu sonuçlara göre proseste kimyasal adsorpsiyonun daha baskın olduğu düşünülmektedir (Çelik vd. 2023).

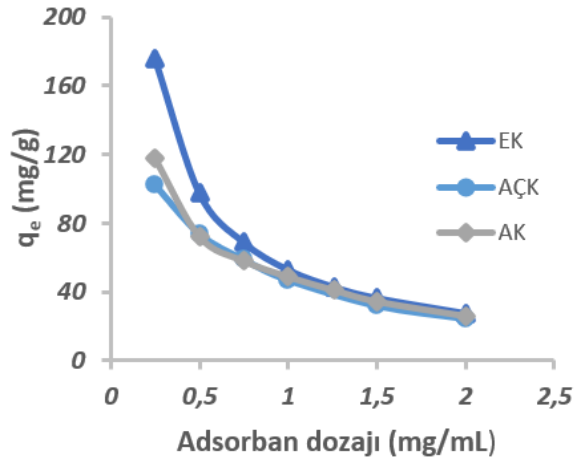
3.2.4. Adsorban dozajının etkisi

Şekil 7'de görüldüğü gibi, adsorban dozu artırıldıkça giderim yüzdesi tüm adsorbanlar için artış göstermektedir. Bu durum, yüzeydeki aktif bölge sayısının

artmasıyla açıklanabilir (Filiz 2007). AÇK, EK ve AK adsorbanları için giderim %82'nin üzerine ulaşmakta ve özellikle EK, düşük dozajlarda dahi yüksek giderim yüzdesi sunmaktadır. Ancak adsorban dozajının artmasıyla birlikte birim kütle başına adsorpsiyon kapasitesi olan q_e değerlerinde düşüş gözlenmiştir (Şekil 8). Bu düşüş, fazla miktarda adsorbanın çözeltideki adsorbat miktarına oranla fazla kalması ve aktif yüzeylerin tam olarak kullanılamamasından kaynaklanmaktadır (Filiz 2007).



Şekil 7. Adsorban dozajının giderim yüzdesine etkisi



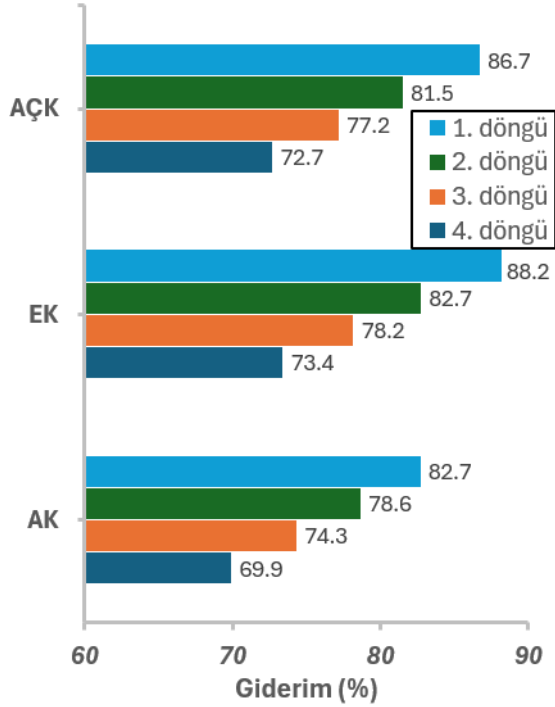
Şekil 8. Adsorban dozajının adsorpsiyon kapasitesine etkisi

Elde edilen bu sonuçlara göre, optimum adsorban dozajı olarak 1 mg/mL belirlenmiştir. Bu dozajda AK, EK ve AÇK için adsorpsiyon yüzdeleri sırasıyla, %82,7, %88,2 ve %86,7'dir. Adsorpsiyon kapasiteleri ise sırasıyla 49,0, 52,8 ve 46,9 mg/g'dır.

3.2.5. Adsorbanların yeniden kullanılabilirlikleri

Adsorbanların yeniden kullanılabilirlikleri, proses maliyetini doğrudan etkileyen kritik bir özelliktir. Adsorbanların en az verim kaybı ile tekrar kullanılabilmesi, pilot ve endüstriyel ölçekli uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır (Dahri vd. 2015, Jawad vd. 2025). Şekil 9'da adsorpsiyon işleminden sonra geri kazanılan AK, EK ve AÇK'nin tekrar kullanımda MV giderim verimleri gösterilmektedir. Adsorbanlar her döngüde bir önceki

döngüye kıyasla %4,1–%5,5 aralığında verim kaybı sergilemiştir. Bu bulgular genel olarak literatür ile uyumludur (Ali vd. 2022, Jawad vd. 2025). Ayrıca FTIR analizi sonuçları, adsorbanların MV adsorpsiyonundan sonra kimyasal yapılarında önemli değişiklikler olmadığını ortaya koymuştur. Yeniden kullanımda yüksek verim kaybı gözlenmemesi de FTIR analizinden elde edilen bulgular ile tutarlıdır.



Şekil 9. Geri dönüştürülen adsorbanların adsorpsiyon verimlilikleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada enginar kabuğu, ayva kabuğu ve altın çileği kabuğu tozları ile metil viyole 2B'nin adsorpsiyonu incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda optimum koşullar şu şekildedir: temas süresi 30 dakika, pH 5,5, adsorban dozajı 1 mg/mL ve metil viyole derişimi 50 mg/L. Bu koşullarda metil viyole 2B giderim yüzdeleri ayva kabuğu tozu ile %82,7, enginar kabuğu tozu ile %88,2 ve altın çilek tozu ile %86,7 olarak elde edilmiştir.

pH değişimine bağlı olarak yüzey yüklerinde değişiklikler gözlemlenmesine rağmen, adsorpsiyon veriminde büyük farklılıklar oluşmamıştır. Bu durum, elektrostatik etkileşimlerin yanı sıra başka etkileşim türlerinin de adsorpsiyon sürecinde etkili olduğunu göstermektedir.

Adsorpsiyon izoterm modelleri değerlendirildiğinde, Langmuir izoterm modelinin en uygun model olduğu belirlenmiştir ($R^2 > 0,99$). Bu modele göre maksimum adsorpsiyon kapasiteleri ayva kabuğu tozu için 122,0 mg/g, enginar kabuğu tozu için 204,1 mg/g ve altın çileği kabuğu tozu için 153,9 mg/g olarak belirlenmiştir.

Adsorpsiyon kinetiği, sözde birinci derece ve sözde ikinci derece kinetik modeller kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen R^2 değerlerine göre, adsorpsiyon sürecinin sözde ikinci derece kinetik modele daha iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir. Langmuir izoterm modeli ve sözde ikinci derece kinetik model ile elde edilen yüksek uyum, adsorpsiyon sürecinde kimyasal etkileşimlerin baskın olduğunu göstermektedir. Yeniden kullanılabilirlik denemeleri, geri kazanılmış adsorbanların en az dört döngü boyunca %12,8–%14,8 arası verim kaybı ile tekrar kullanılabilirliğini göstermiştir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Araştırma, Deney tasarımı, Görselleştirme, Yazma/inceleme ve düzenleme, Veri iyileştirme

Yazar 2: Finansman sağlama, Araştırma, Fikir Sahibi, Deney tasarımı, Proje Yönetimi, Yazma/inceleme ve düzenleme

Yazar 3: Araştırma, Deney, Görselleştirme, Yazma/orijinal taslak

Yazar 4: Araştırma, Deney, Görselleştirme, Yazma/orijinal taslak

Yazar 5: Araştırma, Deney, Görselleştirme, Yazma/orijinal taslak

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Veri kümeleri istek üzerine mevcuttur. Bu makalenin sonuçlarını destekleyen ham veriler, yazarlar tarafından herhangi bir çekince olmaksızın sunulacaktır.

5. Kaynaklar

- Agha, H. M., Jawad, A. H., ALOthman, Z. A. and Wilson, L. D., 2025. Loading walnut shell powder into polymeric matrix of chitosan for enhanced cationic methyl violet 2B dye removal: Process optimization and adsorption mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 319, 145208. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.145208>
- Al-Jubouri, S. M., Al-Jendeel, H. A., Rashid, S. A. and Al-Batty, S., 2023. Green synthesis of porous carbon cross-linked Y zeolite nanocrystals material and its performance for adsorptive removal of a methyl violet dye from water. *Microporous and Mesoporous Materials*, 356, 112587. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2023.112587>
- Al-Zaban, M. I., Alharbi, N. K., Albarakaty, F. M., Alharthi, S., Hassan, S. H. and Fawzy, M. A., 2022. Experimental modeling investigations on the biosorption of methyl violet 2B dye by the brown seaweed *Cystoseira tamariscifolia*. *Sustainability*, 14(9), 5285. <https://doi.org/10.3390/su14095285>

- Ali, N. S., Jabbar, N. M., Alardhi, S. M., Majdi, H. S. and Albayati, T. M., 2022. Adsorption of methyl violet dye onto a prepared bio-adsorbent from date seeds: isotherm, kinetics, and thermodynamic studies. *Heliyon*, 8(8), e10276. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10276>
- Bonetto, L. R., Ferrarini, F., De Marco, C., Crespo, J. S., Guégan, R. and Giovanela, M., 2015. Removal of methyl violet 2B dye from aqueous solution using a magnetic composite as an adsorbent. *Journal of water process Engineering*, 6, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.02.006>
- Çelik, S. Ö., Aydın, N. and Kaykioğlu, G., 2023. Demir Oksit ile Hümik Asit Adsorpsiyonu, International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, 1(1) 487-492. <https://doi.org/10.59287/icaens.1043>
- Dahri, M. K., Chieng, H. I., Lim, L. B., Priyantha, N. and Mei, C. C., 2015. Cempedak durian (*Artocarpus* sp.) peel as a biosorbent for the removal of toxic methyl violet 2B from aqueous solution. *Korean Chemical Engineering Research*, 53(5), 576-583. <http://dx.doi.org/10.9713/kcer.2015.53.5.576>
- Dai, Y., Sun, Q., Wang, W., Lu, L., Liu, M., Li, J., Yang, S., Sun, Y., Zhang, K., Xu, J., Zheng, W., Hu, Z., Yang, Y., Gao, Y., Chen, Y., Zhang, X., Gao, F. and Zhang, Y., 2018. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. *Chemosphere*, 211, 235-253. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.179>
- Eisa, M. Y. and Almufti, M. S., 2026. Adsorption of methyl violet dye using MgO nanoparticles: Synthesis and kinetics. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 27(1), 117-126. <https://doi.org/10.31699/IJCPE.2026.1.10>
- Erduran, N., Bıyıkoglu, M. and Özçam, M., 2025. NaOH ile Modifiye Edilmiş Poli (2, 5-dihidro-2, 5-dimetoksifuran)'ın Katyonik Boya Gideriminde Kullanımı. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 15(1), 122-133. <https://doi.org/10.21597/jist.1510493>
- Faizal, A. N. M., Wen, C. H., Putra, N. R., Zaini, A. S., Agi, A., Nordin, A. H. and Zaini, M. A. A., 2025. Crayfish shell biochar for methyl violet adsorption: Equilibrium and kinetic studies. *Next Sustainability*, 6, 100093. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100093>
- Filiz, E., 2007. Doğal kaynaklardan elde edilen adsorbanlarla sulardan ağır metal giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 139.
- İşgören, M., 2024. Kozalak Sapı tozu kullanarak sulu çözeltilerden Telon Blue Boyası adsorpsiyonu: İzoterm, Kinetik modelleri ve adsorpsiyon ısısı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(3), 417-427. <https://doi.org/10.5505/pajes.2024.17124>
- Jawad, A. H., Deris, R. R. R., Agha, H. M., Hapiz, A., Wu, R. and AlOthman, Z. A., 2025. Olive (*Olea europaea*) stone powder as a sustainable biosorbent for methyl violet 2B dye removal: multivariable optimization with desirability functions. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(13), 20233-20246. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06480-7>
- Lim, L. B., Priyantha, N., Chan, C. M., Matassan, D., Chieng, H. I. and Kooh, M. R. R., 2016. Investigation of the sorption characteristics of water lettuce (WL) as a potential low-cost biosorbent for the removal of methyl violet 2B. *Desalination and Water Treatment*, 57(18), 8319-8329. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1017740>
- Öztürk, N., Şentürk, H., Gündoğdu, A. and Duran, C., 2020. İçme Suyu Arıtma Tesisi Atık Çamuru Üzerine Metilen Mavisi Adsorpsiyonu ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(2), 1083-1104. <https://doi.org/10.17482/uumfd.674224>
- Pap, S., Radonić, J., Trifunović, S., Adamović, D., Mihajlović, I., Miloradov, M. V. and Sekulić, M. T., 2016. Evaluation of the adsorption potential of eco-friendly activated carbon prepared from cherry kernels for the removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺ from aqueous wastes. *Journal of Environmental Management*, 184, 297-306. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.089>
- Saha, N., Volpe, M., Fiori, L., Volpe, R., Messineo, A. and Reza, M. T., 2020. Cationic dye adsorption on hydrochars of winery and citrus juice industries residues: Performance, mechanism, and thermodynamics. *Energies*, 13(18), 4686. <https://doi.org/10.3390/en13184686>
- Vanamudan, A. and Pamidimukkala, P., 2015. Chitosan, nanoclay and chitosan-nanoclay composite as adsorbents for Rhodamine-6G and the resulting optical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 74, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.009>
- Vareda, J. P., 2023. On validity, physical meaning, mechanism insights and regression of adsorption kinetic models. *Journal of Molecular Liquids*, 376, 121416. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.121416>
- Wei, T., Zhu, Y., Duan, G., Han, J., Han, X., Zhang, C. and Jiang, S., 2025. Recent advances in nanocellulose-derived materials for dyes adsorption: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 306, 141770. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141770>

İnternet kaynakları

- 1- Methyl violet,
https://www.bionity.com/en/encyclopedia/Methyl_violet.html (11.03.2026)