

ALUNIT-ZnO KARIŞIMLARI ÜZERİNE SULU ÇÖZELTİLERDEN ASİDİK BOYALARIN ADSORPSİYONU

Mahmut ÖZACAR, İ.Ayhan ŞENGİL ve Murat TEKER

Özet - Alunit-ZnO karışımı üzerine Asit Mavi 40 ve Asit Sarı 17 nin adsorpsiyonları araştırılmış ve Alunit-ZnO nun performansı granül aktif karbona karşı değerlendirilmiştir. Alunit-ZnO oranları, pH, temas süresi ve başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Maksimum boya giderme alunit-ZnO için pH 6 da ve aktif karbon için pH 1 de olmuştur. 45 dakikadan az bir sürede %95 lik denge değerine ulaşılmıştır. Asit Mavi 40 ve Asit Sarı 17 nin alunit-ZnO ile adsorpsiyonu için sırasıyla 99 ve 95.7 mg boya/g adsorban gibi oldukça yüksek adsorpsiyon kapasiteleri gözlenmiştir. Asit Mavi 40 ve Asit Sarı 17 nin aktif karbon ile adsorpsiyonu için adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 33 ve 95.5 mg boya/g adsorbandır. Adsorpsiyon kapasitesi temelinde karşılaştırıldığında alunit-ZnO nun daha etkili olduğu görülmüştür. Langmuir ve Freundlich izotermi için adsorpsiyon parametreleri belirlenmiş ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler - Alunit, adsorpsiyon, asit boya, tekstil atıksuyu, çinko oksit.

Abstract - The adsorption of Acid Blue 40 and Acid Yellow 17 on Alunite-ZnO mixture have been investigated and its performance was evaluated against that of granular activated carbon. The effects of contact time, alunite-ZnO mixture ratios, pH and initial dye concentration were studied. Maximum dye removal was noted at pH 6 for alunite-ZnO and at pH 1 for granular activated carbon. The time to reach 95% equilibrium value was achieved in less than 45 min. High adsorptive capacities were observed for the adsorption of acid dyes, 99 and 95.7 mg dye per g alunite-ZnO for Acid Blue 40 and Acid Yellow 17, respectively. The equilibrium saturation adsorption capacities were 33 and 95.5 mg dye per g granular activated carbon for Acid Blue 40 and Acid Yellow 17, respectively. Based on the adsorption capacity only, it was generally shown that alunite-ZnO more effective compared to granular activated carbon.

M. ÖZACAR Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü 54100 Sakarya – Türkiye. mozacar@hotmail.com

İ.Ayhan ŞENGİL Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü 54100 Sakarya – Türkiye. ayhansengil@hotmail.com

M. TEKER Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü 54100 Sakarya – Türkiye.

Adsorption parameters for Langmuir and Freundlich isotherms were determined and discussed.

Keywords: Alunite, adsorption, acid dye, textile wastewater, zinc oxide.

I. GİRİŞ

Tekstil, deri, plastik, kağıt, gıda ve kozmetik gibi bir çok endüstri ürünlerini renklendirmek için boyalar ve pigmentler kullanılmaktadır. Bu endüstrilerin renkli atıksuları, ışık geçişini azaltması ve oldukça toksik metal kompleks boyalar içermeleri nedeniyle nehirler ve göllerdeki su yaşamı için zararlıdır [1]. Kullanılan boyaların çoğu fotodegradasyon, biyodegradasyon ve oksitleyici amillere karşı kararlıdır. Bu nedenle alıcı su ortamlarına deşarj edilmeden önce böyle renkli atıksulardan kirleticilerin giderilmesi gerekir [2].

Tekstil atıksularından rengin giderilmesi için hem biyolojik hem de fizikokimyasal metodlar kullanılmıştır. Biyolojik metodlar, boyaların çoğunun biyodegrade olmayan yapılarından dolayı çok başarılı olamamıştır [1]. Adsorpsiyon, kimyasal oksidasyon, flotasyon, koagülasyon/flokülasyon, membran filtrasyonu ve elektrokimyasal arıtım başarıyla uygulanmış fizikokimyasal metodlardır. Bu metodlardan adsorpsiyon, değişik adsorbanlar kullanarak boyaların giderilmesi için etkili ve ekonomik açıdan ucuz bir proses olarak bulunmuştur [1-4].

Alunit yapısında Al_2O_3 , SiO_2 ve diğer metal oksitleri bulunduran bir mineraldir. Yapısında içerdiği oksit bileşiklerinin aktive edilmesiyle bir çok adsorban geliştirilmiştir [5-8]. Aktif Al_2O_3 -ZnO karışımından yapılmış adsorbanlar 14-32 m^2/g yüzey alanına sahip olup [9], Al_2O_3 -ZnO oranları değiştikçe yüzey alanları değişmektedir [7].

Bu çalışmada, tekstil atıksularından boyaların giderilmesi için Kütahya-Şaphane'den temin edilen alunitin adsorpsiyon kapasitesi incelenmiştir. Alunitin performansı granül aktif karbona karşı değerlendirilmiştir. Çalışmalar iki asidik boyadan hazırlanan sentetik boya

atıksularıyla laboratuvarında kesikli sistemle yapılmıştır. Boya-adsorban sistemlerinin hepsi için pH, temas süresi ve izoterm çalışmaları yapılmıştır. Langmuir ve Freundlich izotermelerinin uygulanabilirliği test edilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

II.1. Adsorbanların Hazırlanması

Çalışmalarda kullanılan alunit cevheri, Dostel Aluminyum Sülfat A.Ş. nin Şaphane'deki fabrikasının stoklarından temin edilmiştir. Kırılıp, öğütüldükten sonra, ASTM standart elekleri kullanılarak -90 µm tane boyutuna elenmiştir. Alunit cevherinin analizi kimyasal yöntemle yapılmış ve bileşimi Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Alunit cevherinin kimyasal bileşimi (%) [10]

Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO-MgO	H ₂ O
22.98	44.56	18.03	4.66	0.61	0.16	9.00

Alunitteki aluminyumun liç edilmesi için 1 L hacimli paslanmaz çelik reaktör kullanılmıştır. Reaktör, manyetik karıştırıcı bir ısıtıcı ile ısıtılırken sürekli olarak sabit hızda (900 rpm) karıştırılmıştır. Reaktördeki reaksiyon karışımının sıcaklığı çözünürleştirme süresince ± 5 K sapma ile sabit tutulmuştur. Liç işleminden sonra alınan örneklerde EDTA ile kompleksometrik titrasyonla Al₂O₃ tayinleri yapılmıştır [11]. Aluminyumun liçinden sonra karışım 3 L lik behere alınıp, hesaplanan ZnO miktarını içerecek şekilde hazırlanan ZnSO₄.7H₂O çözeltisi liç karışımına ilave edilmiştir. Oluşan yeni karışım, bir pH metre yardımıyla

HCl çözeltisi ile nötralleştirilerek pH 7.0 de çöktürülmüştür. Çöken karışım filtre edildikten sonra, SO₄²⁻ ve Cl⁻ iyonları tamamen gidinceye kadar destile su ile yıkanmıştır. Yıkanmış adsorban karışımlarının suları vakum altında tamamen uzaklaştırıldıktan sonra, 378 K

deki etüvde 24 saat kurutulmuştur. Kuruyan karışımlar 523 K de 3 saat kalsine edilmiştir. Ayrıca karşılaştırmak için deneylerde granül aktif karbon da kullanılmıştır.

II.2. Adsorpsiyon Deneylerinin Yapılışı

Çalışmada Asit Mavi 40, antrakinon boya, ve Asit Sarı 17, monoazo boya, kullanılmıştır. Boyalar ticari saflıkta olup, ayrıca bir saflaştırma yapılmadan kullanılmıştır. Sentetik boya atıksuları 75 mg/L konsantrasyonlarında bu iki boyanın destile suda çözülmesiyle hazırlanmıştır. Adsorpsiyon deneyleri, 100 mL boya çözeltisine 1 g adsorban ilavesi yapılarak, 250 mL lik kapaklı erlenlerde ve 200 rpm sabit hızla çalkalanan bir shaker ile yapılmıştır. Adsorpsiyon deneylerinin sonunda renk ölçümleri yapılmadan önce boya çözeltileri 1.25 µm cam fiber filtrelerden filtre edilerek adsorbanlardan ayrılmıştır. Bütün renk ölçümleri absorbands modunda ve görünür bölgede işletilen bir spektrofotometre ile yapılmıştır. Ölçümler, her boya için maksimum absorbandsın olduğu Asit Mavi 40 için 614 nm ve Asit Sarı 17 için 435 nm dalga boylarında yapılmıştır.

III. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

III.1. Adsorban Karışımlarının Hazırlanması

Alunitten, Al₂O₃ ün liç edilmesi için önceki çalışmalarda elde edilen optimum şartlar Tablo 2 de verilmiştir [10, 12, 13].

Liç edilen Al₂O₃ e liç işlemini müteakip ZnSO₄ ilave edilerek, alunit-ZnO karışımı adsorbanlar hazırlanmıştır. Hazırlanan farklı adsorbanlar ve bu adsorbanlardaki alunit, ZnSO₄ ve ZnO miktarı ve bunların yüzdeleri Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 2. Alunitten, Al₂O₃ ün liç edilmesi için optimum şartlar

K/S oranı (g/mL)	Tane boyutu (µm)	NaOH der. (M)	Kalsinas. sıcak. (K)	Kalsinas. sür. (Dak)	Reaks. sıcak. (K)	Reaks. sür. (Dak)	% Al ₂ O ₃ ağırlıkça
15/100	-90	9	973	120	383	60	76.77

Alunit Tablo 2 de verilen şartlarda liç edilerek, Tablo 3 de verilen karışım oranlarında adsorbanlar hazırlanmıştır.

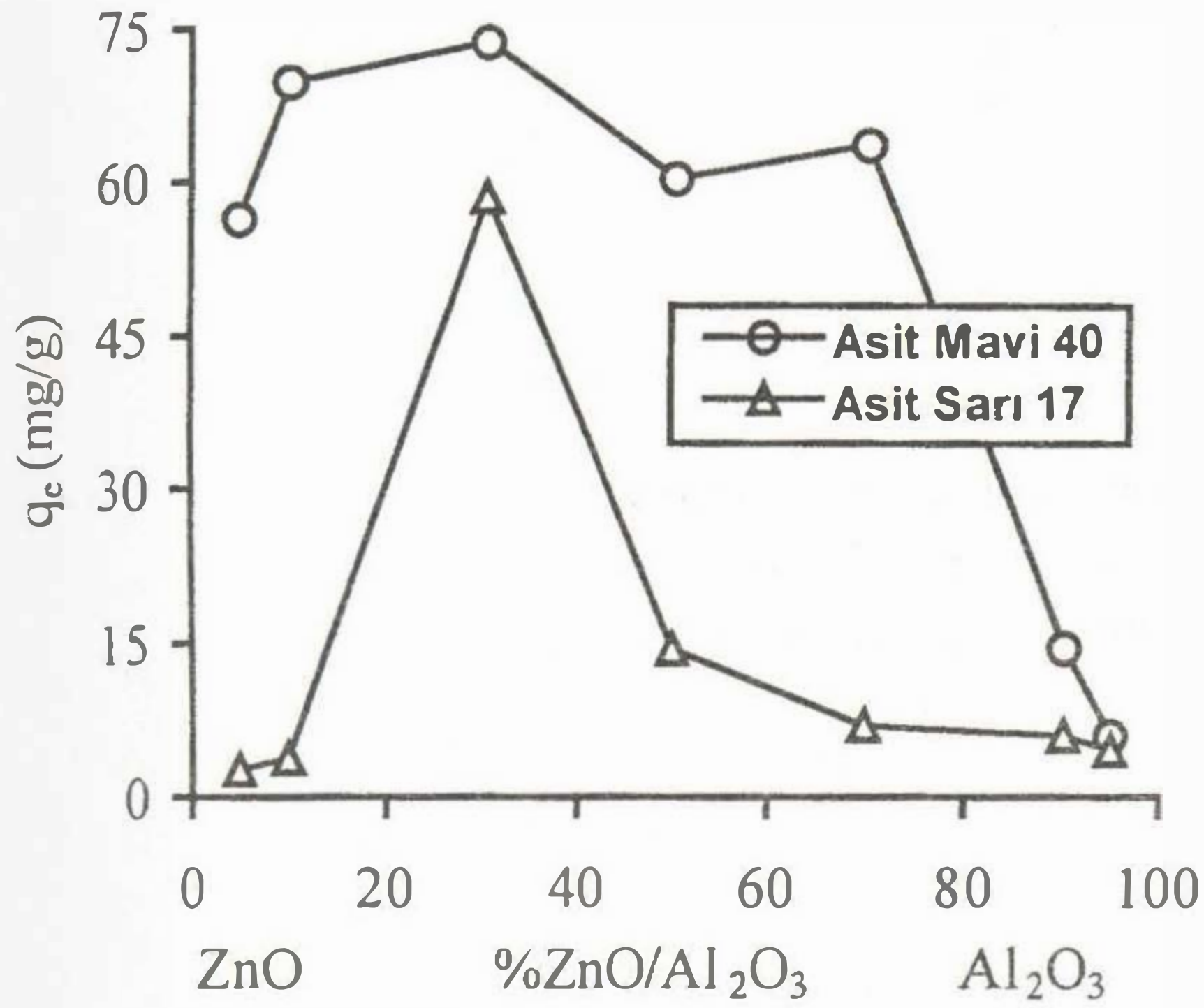
III.2. Adsorban Seçimi

75 mg/L boya konsantrasyonuna sahip sentetik tekstil atıksularına karışım oranları Tablo 3 de verilen farklı bileşimlerdeki adsorbanların 1 g ı ilave edilerek, adsorpsiyon çalışmaları yapılmış ve sonuçlar Şekil 1 de verilmiştir.

Şekil 1 den görülebileceği gibi %30 Al₂O₃ ve %70 ZnO içeren adsorban hem Asit Mavi 40 (AM 40) hem de Asit Sarı 17 (AS 17) için en yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir. Söz konusu karışım oranına sahip adsorbanın 1 gramı 73.90 mg AM 40 ve 58.73 mg AS 17 adsorplamıştır.

Tablo 3. Değişik adsorbanlardaki Alunit, ZnSO₄ miktarları ve bunların yüzdeleri [14]

Karışım miktarları (g)		Karışım oranları (%)	
Alunit miktarı	ZnSO ₄ .7H ₂ O miktarı	Alunit / ZnO	Al ₂ O ₃ / ZnO
25.5755	335.7048	21.21/78.79	5/95
51.1509	318.0361	36.24/63.76	10/90
153.4527	247.3614	68.67/31.33	30/70
157.8772	119.4314	75.95/24.05	50/50
150.0000	44.4115	83.33/16.67	70/30
150.0000	11.5141	93.75/6.25	90/10
150.0000	5.4540	96.75/3.23	95/05



Şekil 1. Farklı bileşimdeki adsorbanların adsorpsiyon kapasiteleri (doz: 1g/100 mL, Kar. süresi: 30 dak., pH: 6, Kons.: 75 mg/L)

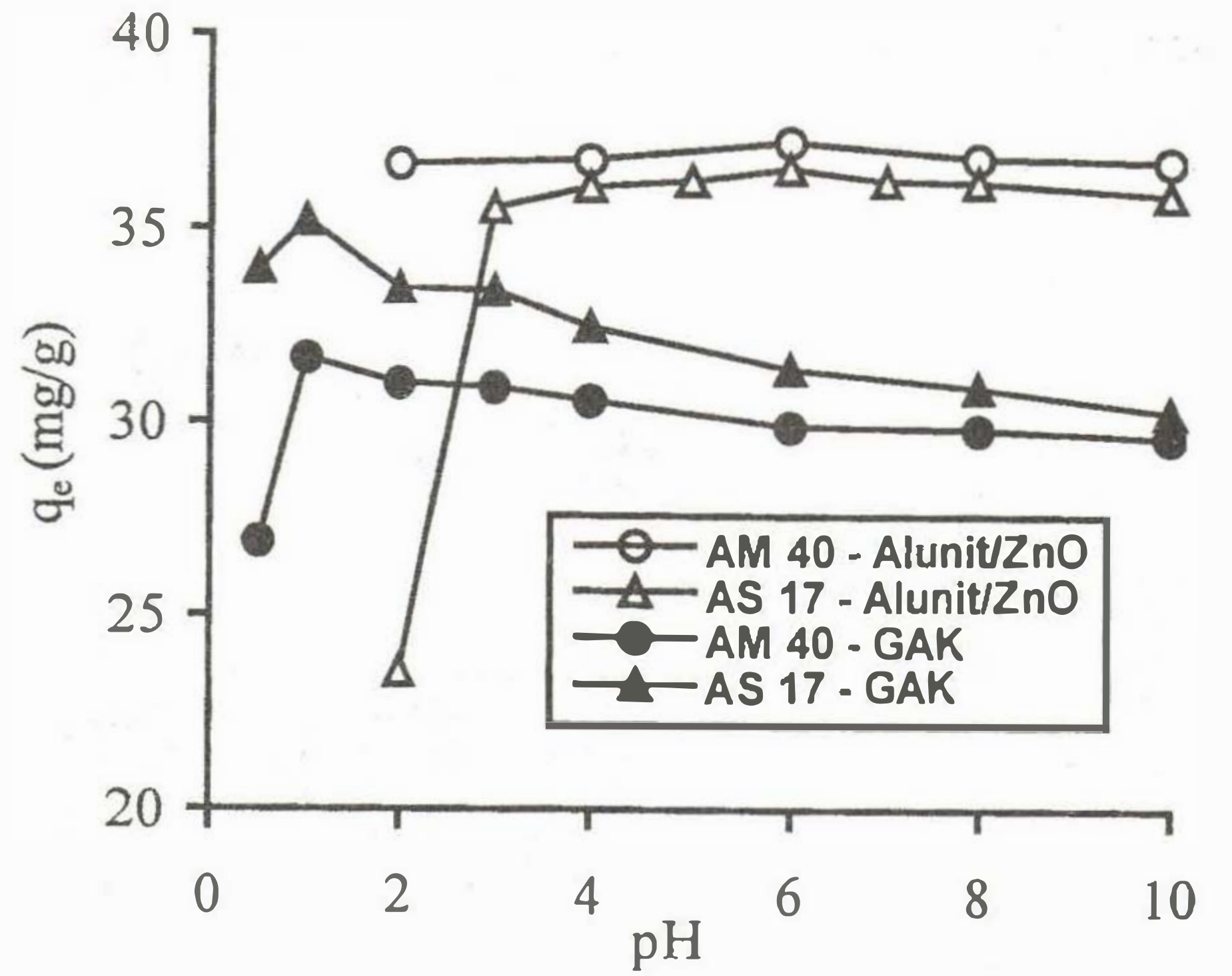
III.3. pH'nın Etkisi

75 mg/L konsantrasyonuna sahip AM 40 ve AS 17 çözeltilerinin hem alunit-ZnO hem de granül aktif karbon (GAK) ile adsorpsiyonuna pH'nın etkisini incelemek için, başlangıç pH sı 0.5 den 10 a kadar olan bir seri çalışma yapılmış ve sonuçları Şekil 2 de verilmiştir.

Şekil 2 den görülebileceği gibi her iki boyanın da en iyi adsorpsiyonu alunite-ZnO için pH 6 da ve GAK için pH 1 de olmuştur. Asidik boyaların adsorpsiyonlarının asidik pH larda daha iyi olması beklenen bir sonuç olup, literatürde daha önce yapılan çalışmalarda da bu durum belirtilmiştir [1, 3, 15, 16].

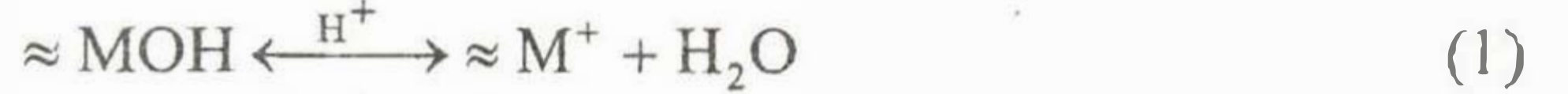
İyonik boyalar çözülmeye bağlı olarak çözeltilere renkli boya anyonları/kasyonları verirler. Bu yüklü boya gruplarının adsorban yüzeyi üzerine adsorpsiyonu, özellikle adsorbanın yüzey yüküyle etkilenmektedir. Adsorbanın yüzey yükü de çözeltiler pH sıyla etkilenmektedir [1]. Asidik boyalar anyonik fonksiyonel gruplar içermektedir.

Alunit-ZnO adsorbanının ana bileşenleri büyük ölçüde Si, Al ve Zn dan oluşan metal oksitlerdir. Bu metal oksitler, çözeltilerde metal hidroksit kompleksleri oluşturmaktadır ve



Şekil 2. Asidik boyaların adsorpsiyonla giderilmesine pH'nın etkisi (doz: 1g/100 mL, Kar. süresi: 30 dak., Kons.: 75 mg/L)

daha sonra çözelti katı yüzeyinde bu komplekslerin asidik veya bazik ayrışmasıyla yüzey üzerinde pozitif veya negatif yük gelişimine neden olmaktadır [3]. Metal oksit yüzeylerin, hidroksit kompleksleri düşük çözelti pH larında pozitif olarak yüklenmekte ve boya anyonlarının adsorpsiyonu için uygun olmaktadır [17]. Düşük pH larda, pozitif yüklü oksit yüzeylerinde boya anyonlarının adsorpsiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır:



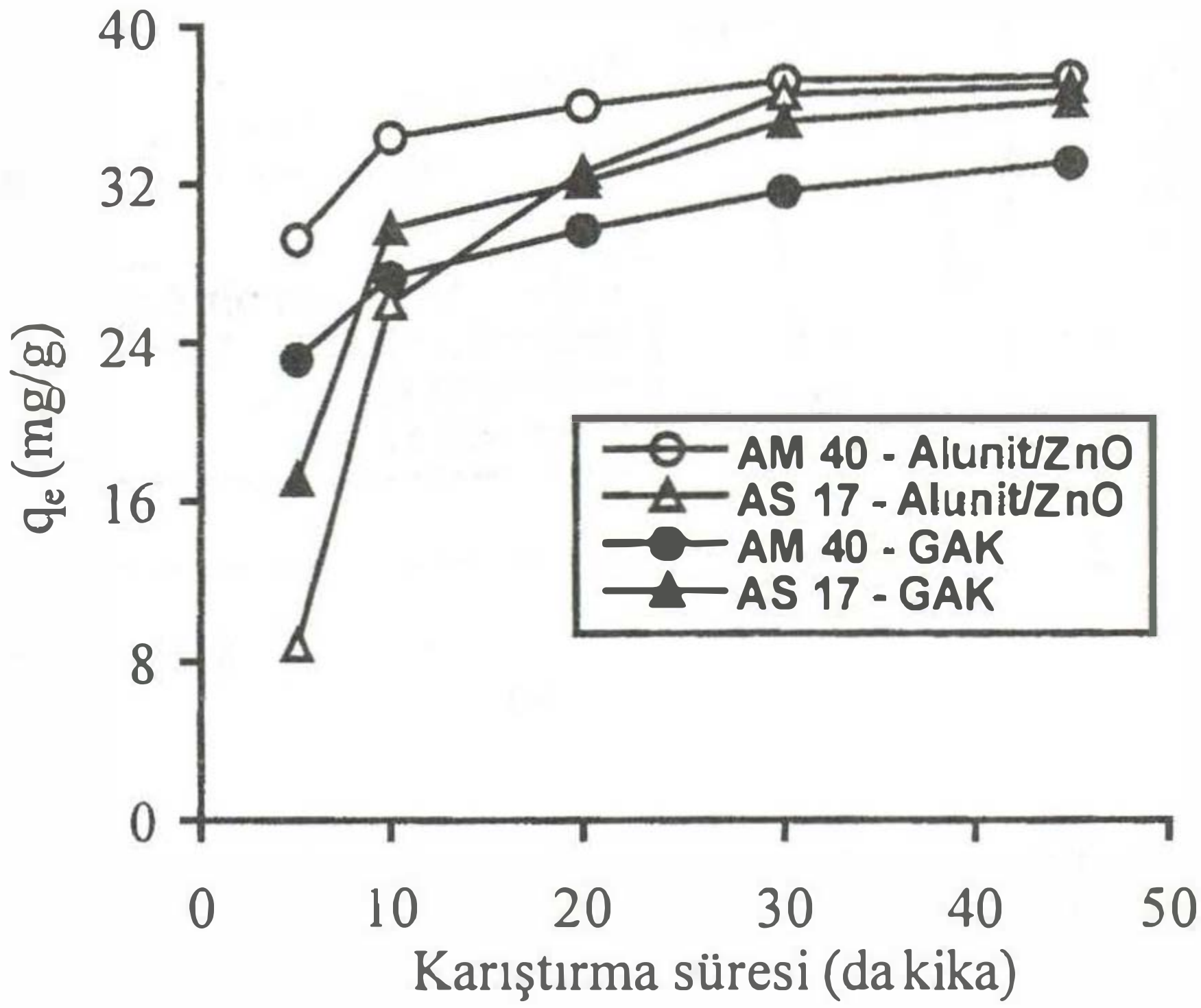
Diğer taraftan, yüksek pH larda adsorpsiyonun azalması, OH⁻ iyonlarının bol olması ve sonuç olarak negatif yüklü yüzey ve anyonik boya molekülleri arasındaki iyonik itmeden dolayı olabilir.

III.4. Karıştırma Süresinin Etkisi

Adsorpsiyon izotermeleri denge şartları altında belirlenmektedir. Bu nedenle adsorpsiyon çalışmalarında karıştırma süresi önemli bir parametredir. Bu durumu aydınlatmak için dengeye ulaşıncaya kadar farklı karıştırma sürelerinde adsorpsiyon çalışmaları yapılmış ve sonuçlar Şekil 3 te verilmiştir.

Şekil 3 den, boya-adsorban kombinasyonlarının herbirinin dengeye ulaşması için gerekli olan süreler görülmektedir. Çözeltide kalan boyanın konsantrasyonu süre ile azalmakta ve artık çözeltilerden daha fazla boyanın giderilmediği bir süreye ulaşılmaktadır. Bu noktada, adsorban üzerine adsorplanan boyanın miktarı ile adsorbandan desorplanan boyanın miktarı dinamik bir dengeye gelmektedir. Dengeye ulaşmak için gerekli olan süre denge süresi olarak adlandırılır ve denge süresinde

adsorplanan boyanın miktarı, belirli işletme şartları altında belirli bir adsorbanın maksimum boya adsorplama kapasitesini ifade eder [1].

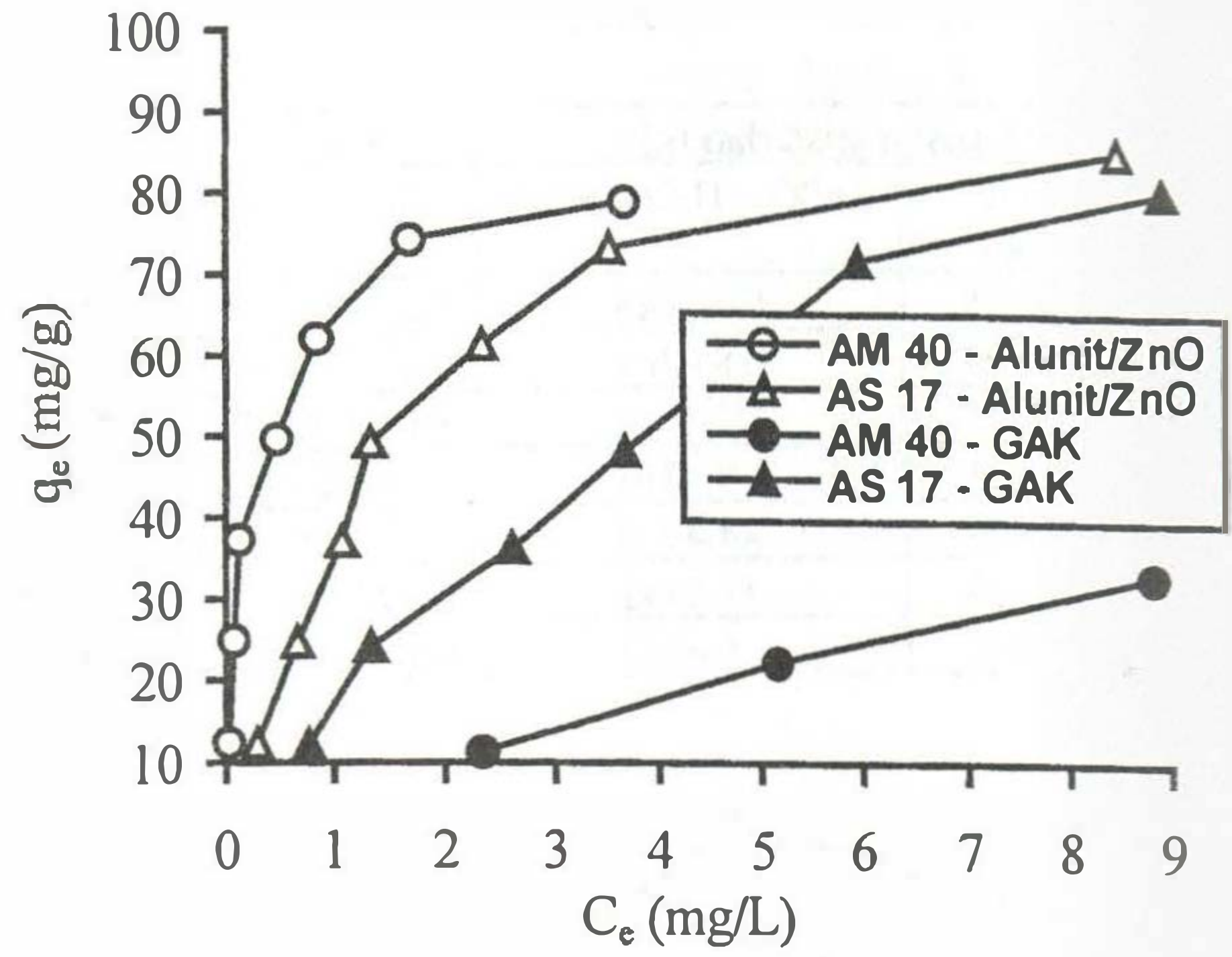


Şekil 3. Adsorpsiyonla asidik boyaların giderilmesine karıştırma süresinin etkisi (doz: 1g/100 mL, alunit-ZnO için pH 6 ve GAK için pH 1, Kons.: 75 mg/L)

Alunit-ZnO adsorbanı, %99 luk boya gidermeyle 45 dakikalık bir sürede dengeye gelmektedir. Benzer şekilde GAK da %97 boya gidererek 45 dakikada dengeye ulaşmıştır. Böyle kısa sürelerde yüksek oranda boya giderme sağlanması, boya gruplarının kemisorpsiyon yönünde yüksek affinitesine işaret etmektedir [18].

III.5. Adsorpsiyon İzotermeleri

Sistem dengede iken boyanın adsorban ve çözelti arasındaki dağılımı, boya için adsorbanın kapasitesini belirlemede önemlidir [19]. Bu nedenle adsorpsiyon izotermeleri değişik adsorban-boya sistemleri için belirlenmiş ve Şekil 4 de verilmiştir. Şekil 4 alunit-ZnO ve GAK üzerine adsorplanan iki boyanın doygunluk eğrilerini göstermektedir. AM 40 ın GAK üzerine adsorpsiyonunda çalışılan pH da (pH 1) 75 mg/L den daha fazla konsantrasyonlarda çökme meydana geldiğinden, daha yüksek konsantrasyonlarda çalışılmamıştır. İzotermeler düşük C_e ve q_e değerleri için başlangıçta keskin bir artış göstermektedir. Hemen hemen bütün eğrilerde sonunda bir düzleşme ulaşılmıştır ki, bu adsorbanın artık doyduğunu göstermektedir. İzotermelerin eğilmesindeki azalma, q_e deki küçük bir artış için C_e değerlerinin önemli ölçüde artmasından dolayı tek tabakalı olmaya yönelmiştir. Bu durum adsorpsiyon prosesinin sonunda elde edilebilir aktif bölgelerin azlığından ve/veya yüzey bölgelerinin boya molekülleriyle kısmen kaplanması nedeniyle artık adsorpsiyonun zorlaşmasından dolayıdır [20].



Şekil 4. Alunit-ZnO ve aktif kömür üzerine boyaların adsorpsiyon izotermeleri (doz: 1g/100 mL, Kar. süresi: 30 dak.,)

İzoterm verilerinin analizi, sonuçları doğru şekilde gösteren bir eşitlik geliştirmek için önemlidir [19]. Bir çok izoterm eşitliği mevcut olup, bu çalışmada sonuçların doğru ifade edilmesine en iyi uyan Langmuir ve Freundlich izotermeleri kullanılmıştır. Langmuir izotermi yüzey düzleminde göç etmeyen adsorbat ile adsorpsiyon enerjileri uniform olan sınırlı sayıda adsorpsiyon bölgesi içeren bir yüzey üzerine adsorpsiyonun tek tabakalı olduğunu varsayar [1]. Lineer Langmuir izotermi eşitlik (3) de gösterilmiştir.

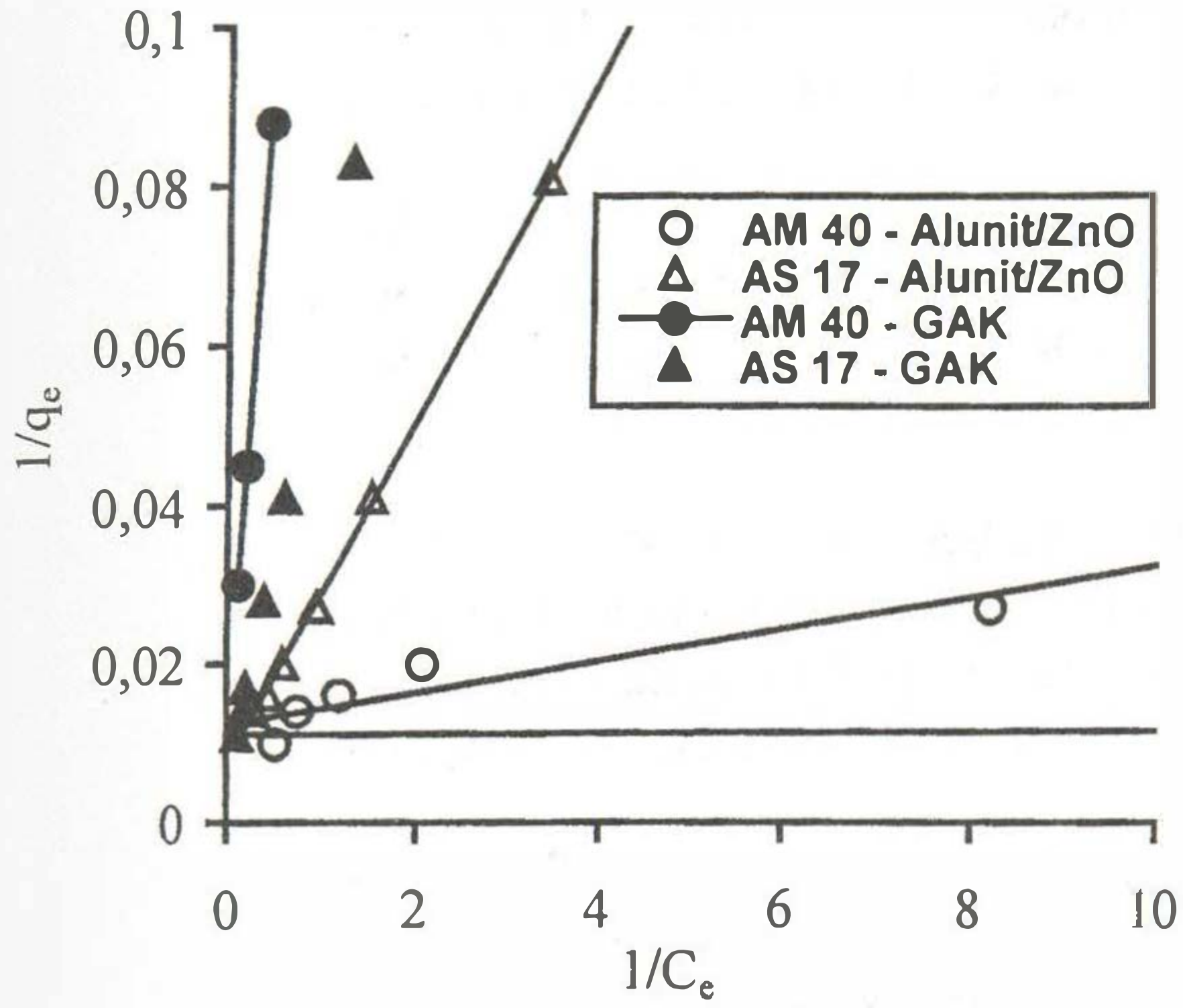
$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{bQ} \frac{1}{C_e} \quad (3)$$

Freundlich izotermi ise yüzeyin kaplanmasının bir fonksiyonu olarak Langmuir eşitliğindeki enerji teriminin değiştiğini ve böylece yüzey enerjisinin heterojen olduğunu varsayar [1]. Lineer Freundlich izotermi eşitlik (4) ile verilmiştir.

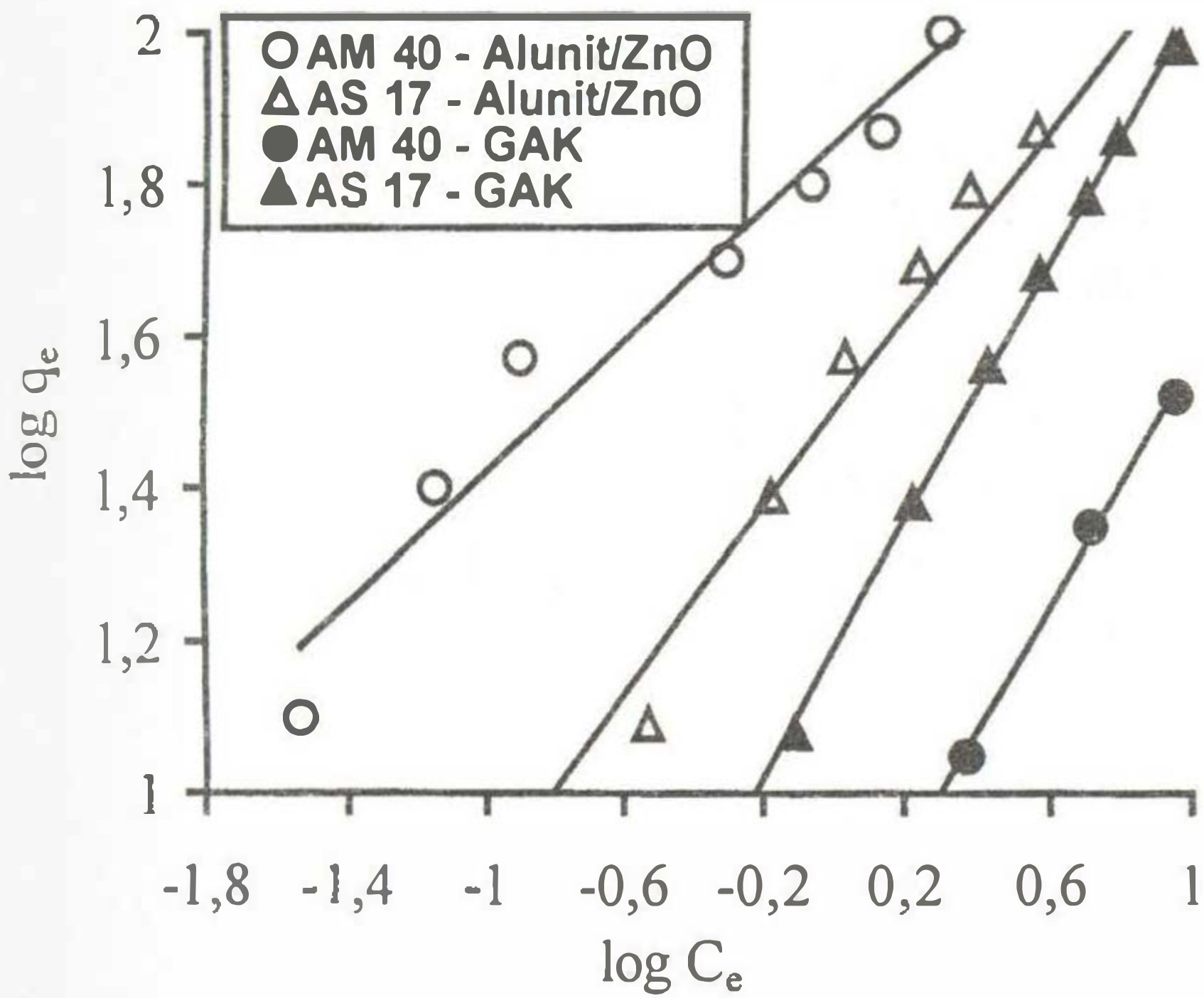
$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

Burada q_e: adsorbanın birim ağırlığı başına adsorplanan boyanın miktarı, mg/g; C_e: adsorpsiyonda dengeye ulaşıldığında çözeltide kalan boyanın konsantrasyonu, mg/L; Q: yüzeyde oluşan tek tabaka tamamlandığında adsorbanın birim ağırlığında adsorplanan boyanın miktarı, mg/g; b: enerjiyle ilişkili bir sabit veya net entalpi; K_F ve n Freundlich sabitleridir.

AM 40 ve AS 17 nin Alunit-ZnO ve aktif kömür üzerine adsorpsiyonuna ait verilerin lineer Langmuir izotermeleri Şekil 5 ve lineer Freundlich izotermeleri Şekil 6 da verilmiştir.



Şekil 5. Alunit-ZnO ve GAK üzerine boyaların adsorpsiyonu için lineer Langmuir izotermi



Şekil 6. Alunit-ZnO ve GAK üzerine boyaların adsorpsiyonu için lineer Freundlich izotermi

Adsorbanlar üzerine boyaların adsorpsiyonu için lineer izoterm modellerinin sabitleri Tablo 4 de verilmiştir.

Tablo 4 Langmuir ve Freundlich izoterm sabitleri

Boya	Adsorban	Langmuir sabitleri		Freundlich sabitleri	
		Q	b	K _F	n
AM 40	Alunit-ZnO	81.298	6.150	70.995	2.322
	Aktif kömür	81.890	0.067	5.690	1.227
AS 17	Alunit-ZnO	133.946	0.341	31.665	1.617
	Aktif kömür	245.254	0.066	15.435	1.170

Tablo 4 deki lineer izoterm sabitleri incelendiğinde; adsorpsiyon prosesinin, her iki boyanın iki adsorban içinde, hem Langmuir hem de Freundlich izotermine uyduğu görülmektedir.

IV. SONUÇ

Alunitin uygun işlemlerden sonra, ZnO ile birlikte, asidik boyaları etkili şekilde giderdiği görülmüştür. Hazırlanan adsorbanlar içinde %30 Al₂O₃ ve %70 ZnO (veya %68.67 Alunit ve %31.33 ZnO) bileşimli adsorbanın asidik boyalar için en iyisi olduğu bulunmuştur. Asidik boyaların alunit-ZnO ile pH 6 da ve GAK ile pH 1 de etkili şekilde giderilebildiği bulunmuştur. pH 6 nın nötral pH ya çok yakın olması alunit-ZnO ile boya gidermeyi daha ekonomik kılacaktır. Her iki adsorbanda 45 dakika gibi kısa bir sürede yeterli giderme sağlamıştır. Belirlenen optimum adsorpsiyon şartlarında alunit-ZnO ile %99 ve GAK ile %97 giderme verimi elde edilmiştir.

Sonuç olarak, asidik boyaların giderilmesi için alunit-ZnO karışımları adsorban olarak kullanılabilir. Bu adsorbanın üretilmesinde kullanılacak olan alunit cevheri Türkiye’de, yaklaşık 37 milyon ton gibi henüz atıl duran rezervlere sahiptir. Bu nedenle temin edilmesi oldukça ucuz bir cevherdir. Adsorbanın hazırlanmasında kullanılan diğer bileşen (ZnO) de, çinko atıklarından elde edilebilir. Böylece üretilen adsorban daha da ekonomik olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Ramakrishna, K.R. and Viraraghavan, T. "Dye Removal Using Low Cost Adsorbents", Wat. Sci. Tech., 36(2-3), 189-196, 1997.
- [2] Juang, R.S., Wu, F.C. and Tseng, R.L., "The Ability of Activated Clay for the Adsorption of Dyes from Aqueous Solutions", Environ. Tech., 18, 525-531, 1997.
- [3] Desai, M., Dogra, A., Vora, S., Bahadur, P. And Ram, R.N., "Adsorption of Some Acid Dyes from Aqueous Solutions onto Neutral Alumina", Indian J. Chem., 36A, 938-944, 1997.
- [4] El-Geundi, M.S., "Colour Removal from Textile Effluents by Adsorption Techniques", Wat. Res., 25(3) 271-273, 1991.
- [5] Inouye, K., Koyama, T., Kaneko, K. And Ozeki, S., "The High-Order Structure and Dye Adsorption of a Porous Alunite", Nippon Kagaku Kaishi, 2, 156-162, 1985.
- [6] Ozeki, S., Yuichi, M. and Hirotohi, S., "Nuclear Magnetic Resonance and Dielectric Relaxation Studies of Water Adsorbed on Synthetic Porous Alunite", J. Phys. Chem., 93(20), 7226-7232, 1989.
- [7] Şengil, İ.A., Teker M. and Özacar, M., "The Investigation of Adsorbent Specifications of Alunite-ZnO

Mixtures'', 35th IUPAC Congress, İstanbul-Türkiye, pp. 1387,14-19 August 1995.

[8] Şengil, İ.A., Teker M. ve Özacar, M., "Alunit-ZnO Sisteminin SO₂ Filtresi Olarak Kullanımı", Araştırma Projesi 005, Sakarya Üniversitesi, Sakarya 1996.

[9] Mikhaleva, E.F. and Bukarov, A.R., "Russian ZnO Adsorbents Used for Natural Gas Containing Sulfur Compounds with Increasing Concentrations", Zh. Khim. Prom-st (Moscow), 4, 227-229, 1986.

[10] Özacar, M. and Şengil, İ.A., "Optimum Conditions for Leaching Calcined Alunite Ore in Strong NaOH", Can. Metal. Quarterly, 38(4) 249-255, 1999.

[11] Gülensoy, H., "Kompleksometrinin Esasları ve Kompleksometrik Titrasyonlar", Fatih Yayınevi, İstanbul, 1984.

[12] Özacar, M., "Alunit Cevherinin Kalsinasyon ve Alkali Ortamda Liç Kinetiği", Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya 1995.

[13] Özacar, M., Şengil İ.A. ve Teker, M., "Alunit Cevherinin Alkali Ortamdaki Liç Reaksiyon Kinetiği", İkinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, İTÜ, İstanbul, s. 267-272, 9-13 Eylül 1996.

[14] Özacar, M., Teker, M. ve Şengil, İ.A., "Alunit-ZnO Karışımlarının Kükürt Dioksit Gazı için Adsorban Olarak Kullanılması", 10. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme

Kongresi Bildiriler Kitabı, Metalurji Mühendisleri Odası İstanbul, s. 439-446, 24-28 Mayıs 2000.

[15] Annadurai, G. And Krishnan, M.R.V., "Adsorption of Acid Dye from Aqueous Solution by Chitin Equilibrium Studies", Indian J. Chem. Tech., 4, 217-222 1997.

[16] Lambert, S.D., Graham, N.J.D., Sollars, C.J. and Fowler, G.D., "Evaluation of Inorganic Adsorbents for the Removal of Problematic Textile Dyes and Pesticides", Wat. Sci. Tech., 36(2-3), 173-180, 1997.

[17] Khare, S.K., Panday, K.K., Srivastava, R.M. and Singh, V.N., "Removal of Victoria Blue from Aqueous Solution by Fly Ash", J. Chem. Tech. Biotechnol., 38, 99-104, 1987.

[18] McKay, G. And Allen, S.J., "Pore Diffusion Model for Dye Adsorption onto Peat in Batch Adsorbers", Can. J. Chem. Eng., 62, 340-345, 1984.

[19] McKay, G., Otterburn, M.S. and Aga, J.A., "Fuller's Earth and Fired Clay as Adsorbents for Dyestuffs Equilibrium and Rate Studies", Water, Air and Soil Pollution, 24, 307-322, 1985.

[20] Nassar, M.M. and El-Geundi, M.S., "Comparative Cost of Colour Removal from Textile Effluents Using Natural Adsorbents", J. Chem. Tech. Biotechnol., 50, 257-264, 1991.