



Akrilamid Esaslı Jel ve Kompozit Polimerik Jel Sentezi, Şişme-Büzülme Karakterizasyonunun incelenmesi ve Atık Sulardan Boyar Maddelerin Giderimi Üzerine Bir Çalışma

Şeyda TAŞAR¹, Şeyma YÜKSEL¹, Nebihe TUNÇEL¹, Ramazan ORHAN^{1*}

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 23279, Elazığ/Türkiye

(Alınış Tarihi:22 Ocak 2015 Düzeltme Tarihi:23 Şubat 2015 Kabul Tarihi:26 Şubat 2015)

ÖZET

Bu Bu çalışmada; Akrilamid monomeri ve kil ile çapraz bağlayıcı (EGDM), başlatıcı-hızlandırıcı sistemi (APS-TEMED) kullanılarak hidrojel ve kompozit polimerik jeller sentezlenmiştir. Hidrojellerin su absorpsiyon (şişme)- desopsiyon (büzülme) kinetikleri, sudaki denge şişme değerleri ve sıcaklıkla denge şişme oranındaki değişim incelenmiştir. Sentezlenen jellerin destile su içinde 25 °C’de şişme kinetikleri, 80 °C’de büzülme kinetikleri gravimetrik metodla belirlenmiştir. Sentezlenen hidrojel ve kil polimer kompozit jelin 25 °C’de Astrazon Yellow (AY), Astrazon Golden Yellow (AGY) ve Bazik Blue 3 (BB3) boyar maddelerini içeren sulu çözeltiler kullanılarak, adsorpsiyon verimleri ve adsorpsiyon kapasiteleri gibi boyar madde giderim verimleri belirlenmiştir. AAm esaslı kil polimer kompozit jelin dengedeki şişme değerleri ve difüzyon katsayısında AAm esaslı hidrojele oranla belirgin bir azalma olduğu belirlenmiştir. Kil polimer kompozit jelin üç boyar madde için adsorpsiyon kapasitesinin ve giderim yüzdesinin daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akrilamid; boyar madde; adsorpsiyon, hidrojel

A study on Acrylamide Based Gel and Polymer Composite Gel Synthesis, Investigation of Characterization of Swelling-Shrinkage and Removal of Dye Materials from Aqueous Solutions

ABSTRACT

In this study, hydrogels and clay composite polymeric gel were synthesized by using AAm monomer and clay, EGDM as a crosslinker and APS-TEMED as initiator-activator system. The swelling properties of the hydrogels, water absorption (swelling) and shrinking (deswelling) kinetics, the equilibrium swelling ratios in water were investigated. In distilled water, swelling kinetics at 25 °C, deswelling kinetics at 80 °C and swelling behaviour at different temperatures of synthesized hydrogels were determined by gravimetric methods. Then, their adsorption properties such as adsorption capacities and adsorption efficiency of synthesized hydrogel and clay composite polymeric gel were investigated in case of their usage in removal of Astrazon Yellow (AY), Astrazon Golden Yellow (AGY), basic Blue 3 (BB3) aqueous solutions at 25 °C.

At equilibrium the swelling values and the diffusion coefficient of AAM based clay composite polymeric gel was determined to be significantly decreased compared to AAm based hydrogel. It was determined that adsorption capacity and removal percentage for three dyes of clay composite polymeric gel was higher.

Keywords: Acrylamide, dye material, adsorption, hydrogel

* Sorumlu yazar : Tel: +90 424 237 00 00/5507 (R Orhan)

e-posta : rorhan@firat.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde endüstrileşmenin artışı çevresel olarak bir takım problemleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle sulardaki kirlilik insanoğlu için tehdit edici boyutlara ulaşmaktadır. Boyarmaddeler genellikle sentetik kökenlidirler ve karmaşık aromatik yapıya sahiptirler. Birden fazla çift bağ ve değişik fonksiyonel gruplar içerdiklerinden dolayı kararlı yapıya sahiptirler. Buda boyar maddelerin doğada biyolojik olarak kolay bozunabilir olmamalarına yol açmaktadır [1]. Günümüzde dünya genelinde yaklaşık 700.000 ton/yıllık bir boyar madde ve pigment üretiminin gerçekleştirildiği ifade edilmektedir [2]. Üretimi yapılan 10.000 farklı ticari boyarmadde ve pigmentin kullanım esnasındaki kayıplar sonucunda yaklaşık %10-15'inin alıcı ortama verildiği tahmin edilmektedir [3]. Doğal su kaynaklarına verilen bu kirleticinin, alıcı ortamlarda estetik görüntüyü bozduğu, ışık geçirgenliğini ve gazların çözünürlüğünü azalttığı ve sonuç olarak su ekosisteminin fotosentetik aktivitesini etkilediği bilinmektedir. Ayrıca canlılar üzerinde toksik etkileri olduğu ifade edilmektedir [4]. Bu sebeple boyar madde içeren atık sularının çevreye verilmeden önce insan ve canlı sağlığına olumsuz etkilerini minimuma indirmek için artırılması önem arz etmektedir [5].

Atık sulardan boyarmaddelerin gideriminde; kimyasal oksidasyon [6], membran filtrasyonu [7], koagülasyon ve flokülasyon [8], ters ozmos [9] ve adsorpsiyon [4, 10] gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin içerisinde adsorpsiyon, sahip olduğu yüksek boyarmadde giderim potansiyelinden dolayı öne çıkmaktadır [11]. Boyarmadde adsorpsiyonu, boyarmadde moleküllerinin yığın çözelti fazından yüzey/ara yüzeye transfer oldukları bir prosestir. Dolayısı ile teknolojik ve endüstriyel uygulamalar göz önüne alındığında katı-sıvı ara yüzeyindeki boyarmadde adsorpsiyonu önemli bir rol oynamaktadır.

Hidrojel, suda çözünmeyip su ortamında bir denge hacmine kadar şişebilen yani suyun büyük kısmını absorbe ederek yapıları içerisine alabilen, fakat mevcut şekillerini muhafazada edebilen üç boyutlu polimerik şebekelerdir [12,13]. Hidrojellerde adsorpsiyon genellikle hidrojel oluşturulan monomerlerin iyonlaşabilen fonksiyonel gruplarının varlığından kaynaklanmaktadır. Hidrojellerin bu fonksiyonel grupları vasıtası ile çözeltilerden ağır metal iyonlarını ve boyar madde gibi organik bileşikler adsorplayabildikleri bilinmektedir. Çeşitli tipte fonksiyonel grup içeren hidrojel adsorpsiyon sürecinde sorban olarak kullanımı konusundaki çalışmalar ise son yıllarda ivme kazanmıştır. Yapılan çalışmalar asidik hidrojel kullanılarak atık kurşun, bakır, kadmiyum ve nikel gibi ağır metallerin ve safranin-t gibi bazik boyar maddelerin; bazik hidrojel ile indigo carmine gibi asidik boyar madde giderilebildiğini göstermiştir [14-21].

Sunulan çalışma üç adımda yürütülmüştür; öncelikle Akrilamid (AAM) esaslı hidrojel ve kil katkılı kompozit polimerik jel sentezi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada sentezlenen jellerin kinetik şişme deneyleri sonucu elde edilen verilerden yararlanılarak, AAM esaslı jel ve kompozit polimerik jellerin denge şişme oranı, şişme hızı, difüzyon katsayısı ve türü saptanmıştır. Çalışmanın son aşamasında akrilamid esaslı jelin ve kompozit polimerik jelin boyarmaddeleri adsorplama etkinliği araştırılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinde üç farklı tür tekstil boyasından hazırlanan sentetik atık sular kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Hidrojel Sentezi:

Bu çalışmada, akrilamid (AAM) esaslı hidrojel ve kompozit polimerik jel sentezi ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Hidrojel üretiminde kullanılan kimyasalların formülleri ve kısa isimlendirilmeleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmada amonyum persülfat (APS); başlatıcı, tetrametilendiamin (TEMED); hızlandırıcı ve Etilenglikol dimetakrilat (EGDMA); çapraz bağlayıcı olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1. Hidrojel üretiminde kullanılan maddeler

Madde	Formül	Kısa Gösterim
Akrilamid	$H_2C=CHCONH_2$	AAM
Amonyum persülfat	$(NH_4)_2S_2O_8$	APS
Etilenglukol dimetakrilat	$C_{10}H_{14}O_4$	EGDMA
<i>N,N,N',N'</i> -Tetrametiletilendiamin	$(CH_3)_2NCH_2CH_2N(CH_3)_2$	TEMED

AAM esaslı hidrojel 25°C’de serbest radikal katılma polimerizasyonu mekanizmasına göre çözelti ortamında sentezlenmiştir. Polimerlerin hazırlanmasında çok fonksiyonlu çapraz bağlayıcı olan EGDMA kullanılmıştır. AAM polimerlerini hazırlamak için, 1,0 g / 14,07 mmol AAM monomeri, 1ml distile suda çözüldükten sonra, 0,25 mL / 0,013 mmol EGDMA eklenmiştir. Daha sonra başlatıcı olarak 0,2 mL / 0,044 mmol APS ve hızlandırıcı olarak 0,25 mL / 0,017 mmol TEMED ilave edilmiştir. AAM/kil kompozit polimerlerini hazırlamak üzere 1,0 g / 14,07 mmol AAM monomerine, su yerine %1’lik kil/su karışımından 1,0 mL eklenerek aynı karışım oranları korunarak kompozit jel hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 2 mL’lik pipetlere alınarak 60 °C’deki etüvde 30 dakika süre ile bekletilerek çapraz bağlanmaları sağlanmıştır. Çapraz bağlanmaları tamamlanan polimerik jeller pipetler kırılmak sureti ile pipetten çıkarılıp, saf su ile reaksiyona girmemiş monomerlerden ve kimyasallardan arındırılmıştır. Yıkama işlemi sonrası yaklaşık 0,5 cm kalınlığında dilimlenen polimerik jel örnekleri öncelikle atmosferik şartlarda, sonra 60°C’deki etüvde kurutulmuştur.

2.2. Hidrojellerin şişme-büzülme karakterizasyonu:

Sentezlenen polimerik jellerin şişme karakterizasyonu, çapraz bağlı polimerik örneklere 25°C’da suda dinamik şişme testleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Kuru halde bulunan AAM polimeri 0,0001 g duyarlılıkla tartılmış 25 ± 0,1 °C sabit sıcaklıkta, içerisinde damıtık su bulunan behere konularak şişmeye bırakılmıştır. Polimerik örneğin suya bırakıldığı an t=0 olarak alınmış ve belirli zaman aralıklarında sudan çıkarılan polimerik jeller dış yüzeyindeki fazla su kurularak aynı duyarlılıkla tartılmıştır. Zamanla değişmeyen kütle değerleri elde edilene dek düzenli olarak tartıma devam edilmiştir. Dinamik şişme testleri sonunda elde edilen veriler yardımıyla % S – t grafikleri çizilerek şişme izotermeleri oluşturulmuştur. Polimerik örneklerin eşitlik 1 yardımı ile hesaplanan yüzde şişme değerlerinin bir süre sonra dengeye gelerek sabit bir denge değerine ulaştığı gözlenmiştir. Bu sabit değer, denge yüzde şişme değeri, % $S_{deneyisel}$ olarak adlandırılmıştır [22].

$$S = \frac{W_t - W_0}{W_0} \quad (1)$$

Bu eşitlikte W_0 ; başlangıçtaki kuru polimer kütlesi, W_t ; t süre sonraki şişmiş polimerin kütlesidir.

Dinamik şişme testleri sonucu oluşturulan şişme kinetiği eğrileri ikinci dereceden varsayılmıştır ve

$$\frac{dS}{dt} = k_s(S_{max} - S)^2 \quad (2)$$

eşitliği uygulanmıştır. Eşitlikte dS/dt ; şişme hızını, S_d ; jelin denge anındaki şişme değerini, S ; t anındaki şişme değerini ve k_s ; şişme hız sabitini göstermektedir. Eşitliğin t=0 için S=0 ve t=t’den için S=S_d sınır koşullarında matematiksel düzenlenmesi sonucu;

$$\frac{t}{S} = A + Bt \quad (3)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikte $A(=1/S_{mak}^2 k_s)$; başlangıç şişme hızının (1/r) tersi, $B(=1/S_{mak})$ ise en büyük şişme değerinin tersidir [23-25].

Polimerik yapıların şişme kinetiği ve difüzyon türünün açıklanmasında kullanılan en temel yasalar *Fick* yasalarıdır. Şişme özelliği gösteren polimerlerin şişme kinetiği; aşağıdaki eşitlik yardımı ile incelenmiştir [26-28].

$$F = \frac{W_t}{W_d} = kt^n \quad (4)$$

Bu eşitlikte W_t ; t anında jelin içerdiği çözücü kütlesi, W_d ; dengedeki jelin içerdiği çözücü kütlesi, n ; çözücünün difüzyon türünü gösteren difüzyon üsteli, k ; jelin ağ yapısına bağlı olarak değişen bir sabiti göstermektedir. F ; jelin t anında aldığı çözücü miktarının dengede alınan çözücü miktarına oranıdır ve şişme kesri olarak tanımlanır.

Difüzyon türünün belirlenebilmesi için n parametresinin bilinmesi gerekir. Difüzyon üsteli n , şişmenin henüz dengeye ulaşmadığı bölgede ve çözücü kütlelerinin % 60'lık kesiminin ($F < 0,60$) jele girmesi için geçen zaman aralığında $\ln F - \ln t$ grafiğinden elde edilecek doğrunun eğiminden bulunabilmektedir. Bulunan bu değerler aynı zamanda difüzyon katsayısının hesaplanmasında da kullanılır.

i. *Fick tipi difüzyon (Durum I)*: Durulma hızının difüzyon hızından daha büyük olduğu ve denge şişme değerine kısa sürede ulaşıldığı difüzyon türüdür. Bu durumdaki şişme, difüzyon olayı ile denetlenir ve polimerik yapıya giren ya da yapıdan çıkan türün miktarı zamanın karekökü ile orantılı olarak artar ($n=0,5$).

ii. *Süper durum II (Durum II)*: Difüzyon hızının durulma hızından daha büyük olduğu difüzyon türüdür ($n=1$).

iii. *Fick tipi olmayan yada anormal tip difüzyon (Durum III)*: Şişme üzerinde difüzyon ve durulmanın aynı anda etkin olduğu difüzyon türüdür ($0,5 < n < 1$).

II. *Fick* yasasının düzenlenmesi ve kısa zaman aralığında çözülmesi ile elde edilen aşağıdaki eşitlik yardımıyla Difüzyon katsayısı hesaplanmıştır [29].

$$D = (\pi r^2) \left(\frac{k}{4} \right)^{1/n} \quad (5)$$

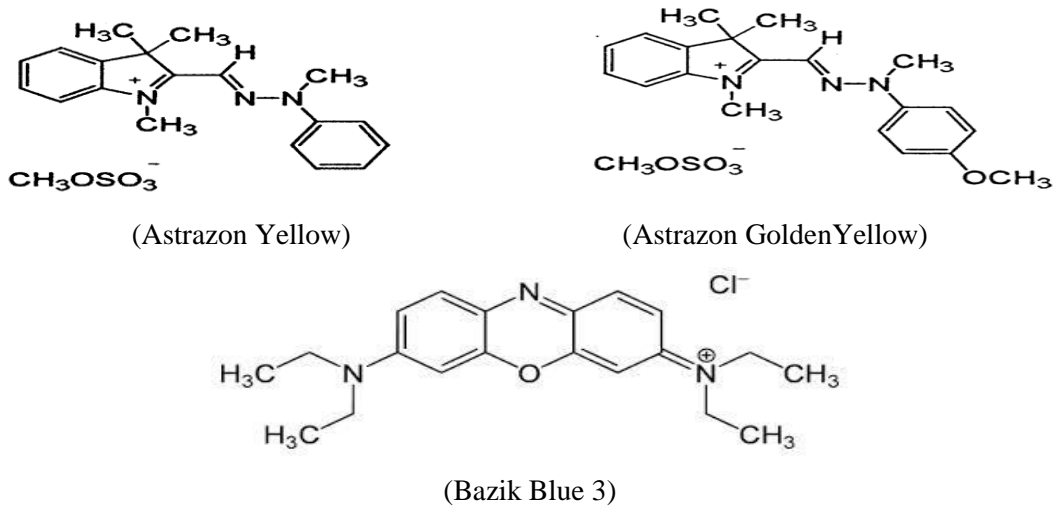
Burada r ; şişmiş durumdaki jelin yarıçapıdır, n ; şişme üsteli ve D ; difüzyon sabitidir.

2.3. Boyarmadde Adsorpsiyon çalışmaları:

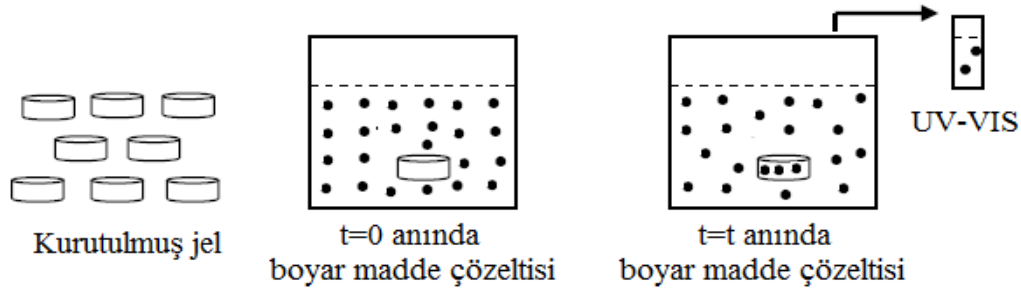
Boyarmadde adsorpsiyonunu nicel olarak açıklayabilmek için 50 ppm konsantrasyonunda üç farklı boyarmadde çözeltisi hazırlanmış ve adsorpsiyon çalışmalarında kullanılmak üzere muhafaza edilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan boyarmaddeler ve özellikleri Çizelge 2'de boyar maddelerin kimyasal yapıları Şekil 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan boyar maddeler ve özellikleri

Boyarmadde	Kimyasal Formülü	λ_{\max} (nm)	Molekül Ağırlığı (g/mol)
Astrazon Yellow	$C_{20}H_{25}N_3O_4S$	425	403
Astrazon GoldenYellow	$C_{21}H_{27}N_3O_5S$	440	433
Bazik Blue 3	$C_{20}H_{26}ClN_3O$	655	329



Şekil 1. Boyar maddelerin kimyasal yapıları



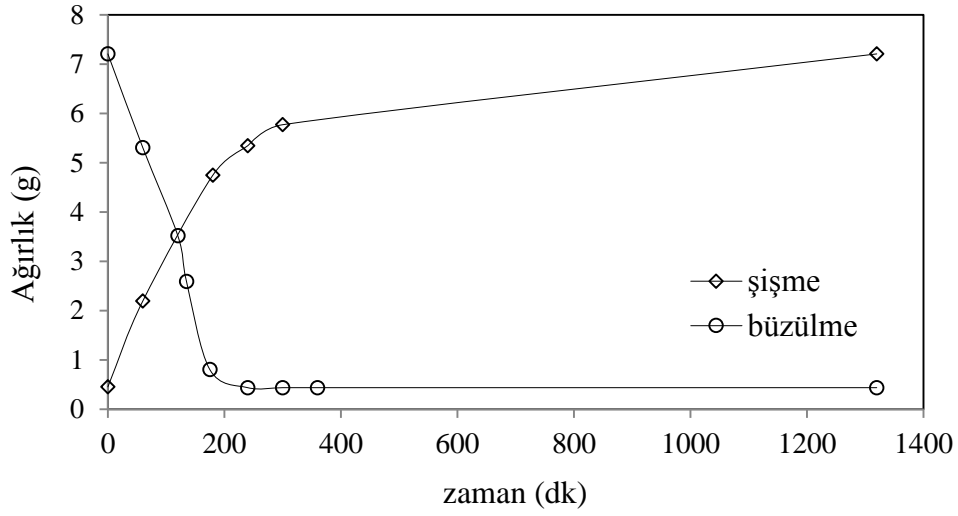
Şekil 2. Şematize edilmiş adsorpsiyon süreci

Hazırlanan çapraz bağlı AAm polimerik örnekler dengeye gelene kadar bir beher içerisinde 75 mL'lik boyar madde çözeltileri ile 25°C'da etkileştirilmişlerdir. Bu karışımdan belirli zaman aralıklarında alınan çözeltilerin absorbans değerleri Bousch & Lomb Spectronic 20 marka spektrofotometre kullanılarak uygun dalga boyunda ölçülmüş ve zamana bağlı olarak boyar madde adsorpsiyon kapasiteleri ve giderim verimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla hazırlanan çalışma eğrileri kullanılarak ölçülen absorbans değerlerinin derişim karşılıkları hesaplanmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarının şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.

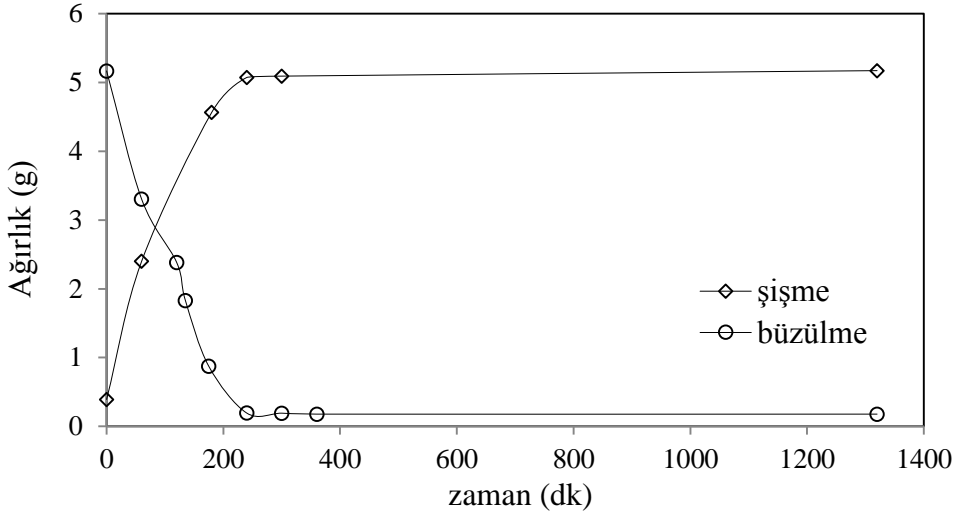
3. Sonuçlar ve Tartışma

Çapraz bağlı polimerik yapıların temel şişme davranışlarının ve difüzyon türünün açıklanmasında kullanılan en temel yasalar Fick yasalarıdır. Difüzyonun temelleri 1855 yılında Fick tarafından ortaya atılmıştır [26-28]. Fick yasası ışığında geliştirilen eşitlik 1-5 dikkate alınarak deneysel veriler yorumlanmaya çalışılmıştır.

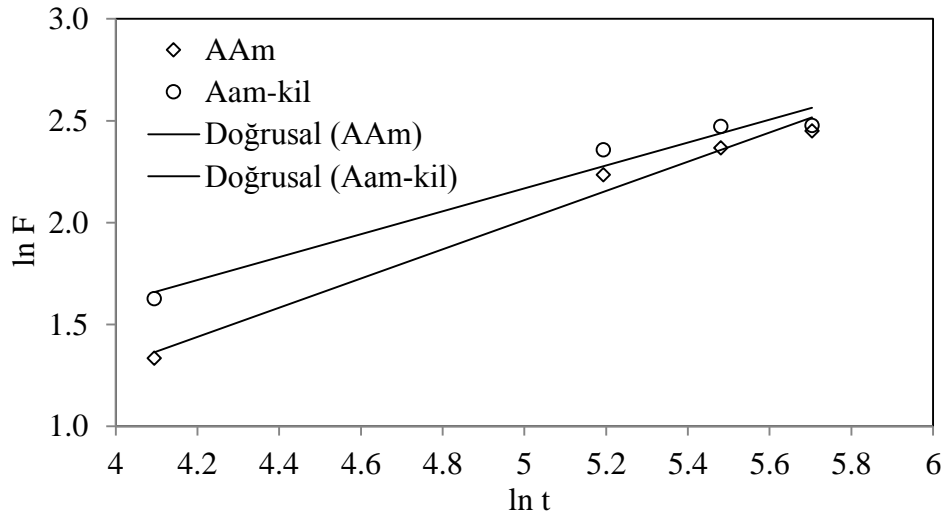
Dinamik şişme ve büzülme deneyleri sonucu elde edilen zamanla ağırlık değişimini ifade eden eğriler Şekil 3 ve Şekil 4'de özetlenmiştir. Difüzyon katsayısının, üstelinin ve sabitinin hesaplanması amacı ile değerlendirilen $\ln F-t$ grafiği Şekil 5'de, teorik şişme yüzdesi, şişme hızı ve hız sabitinin hesaplanmasında kullanılan $t/S-t$ eğrisi Şekil 6'da verilmiştir. Bu eğriler ışığında hesaplanan sabitler Çizelge 3'de özetlenmiştir.



Şekil 3. AAm esaslı polimerik jelin şişme ve büzülme eğrileri

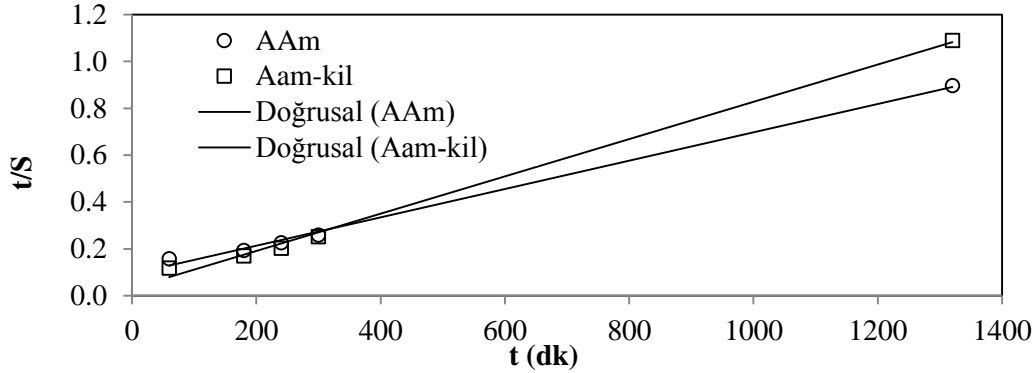


Şekil 4. AAm-kil kompozit polimerik jelin şişme ve büzülme eğrileri



Şekil 5. AAm esaslı jellerin $\ln F - \ln t$ eğrileri

Çizelge 3 incelendiğinde AAm esaslı kil polimer kompozitin dengedeki yüzde şişme değerlerinde ve difüzyon katsayısında AA esaslı hidrojele oranla belirgin bir azalış olduğu saptanmıştır. Hidrojellerin sisme karakterizasyonları yapılırken hesaplanması gereken önemli parametrelerden birisi difüzyon katsayısı D'dir. Polimerik jele kil



Şekil 6. AAm esaslı jellerin t/S – t eğrileri

Çizelge 3. AAm esaslı hidrojellerin difüzyon üstelleri, sabitleri, yüzde şişme değerleri

AAm polimerik jeli			
Difüzyon üsteli "n"	Difüzyon sabiti "k"	R	Difüzyon katsayısı "D"x10 ⁵ (cm ² /s)
0,72	0,21	0,98	1,77
r (g _{su} /g _{jel} .dak)	k _s (g _{jel} /g _{su} .dak)	Teorik yüzde şişme S _{max} (g _{su} /g _{jel})	Deneysel yüzde şişme S _{deneysel} (g _{su} /g _{jel})
10,89	3,92	1667	1472
AAm-kil kompozit polimerik jeli			
Difüzyon üsteli "n"	Difüzyon sabiti "k"	R	Difüzyon katsayısı "D"x10 ⁵ (cm ² /s)
0,56	0,52	0,96	1,06
r (g _{su} /g _{jel} .dak)	k _s (g _{jel} /g _{su} .dak)	Teorik yüzde şişme S _{max} (g _{su} /g _{jel})	Deneysel yüzde şişme S _{deneysel} (g _{su} /g _{jel})
31,05	19,9	1250	1211

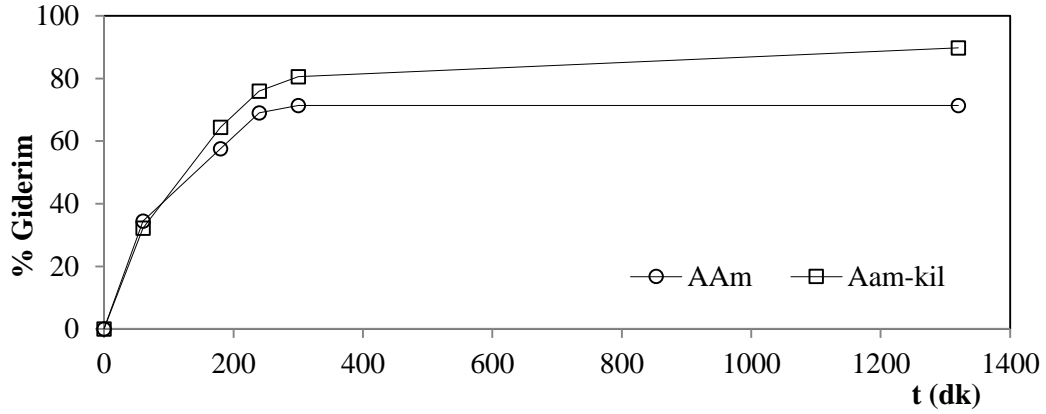
eklenmesi ile difüzyon katsayılarında azalış gözlemlenmiştir. Bu sonuç, kilin kendisinde suyu soğurma özelliğine sahip olmasına karşın, çapraz bağ yapısını güçlendirdiği ve suyun yapıya girişini güçleştirdiği şeklinde yorumlanmıştır. Bu sonuç kilin AAm jelinin yapısına eklenmesi ile gözlemlenen denge şişme değerlerindeki azalış ile de uyum içerisinde dir.

Difüzyon üsteli "n", difüzyon türünün belirlenmesi için kullanılan önemli bir parametre olduğu bilinmektedir. Hazırlanan AA esaslı hidrojel ve AAm-kil polimer kompozit jeli için sırası ile n değerleri 0,56 ve 0,72 olarak bulunmuştur. Bu değerler 0,5<n<1 aralığında yer almaktadır. Bu durumda AAm esaslı hidrojel ve polimer kil kompozit jelin difüzyon türünün *non-Fickian* (anormal) difüzyon sınıfına girdiği şeklinde yorumlanmıştır. Bu durumda suyun gözeneklere girme hızı ile geri salınım hızlarının eşit olduğu şeklinde düşünülebilir.

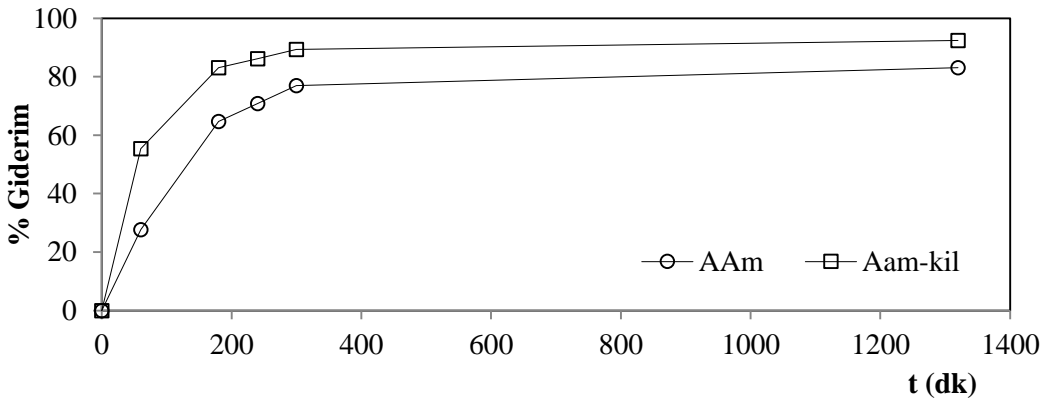
Ayrıca, S_{max} değerleri ile deneysel denge yüzde şişme değerlerinin uyumudur. Örneğin; akrilamid hidrojelinde şişme deneyleri sonunda % 1472 şişme gösterirken, şişme kinetiği analizleri sonucu bu

değerler, % 1667 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardaki bu uyum, şişme kinetiği analizinin doğru temeller üzerine oturtulduğunun bir göstergesidir.

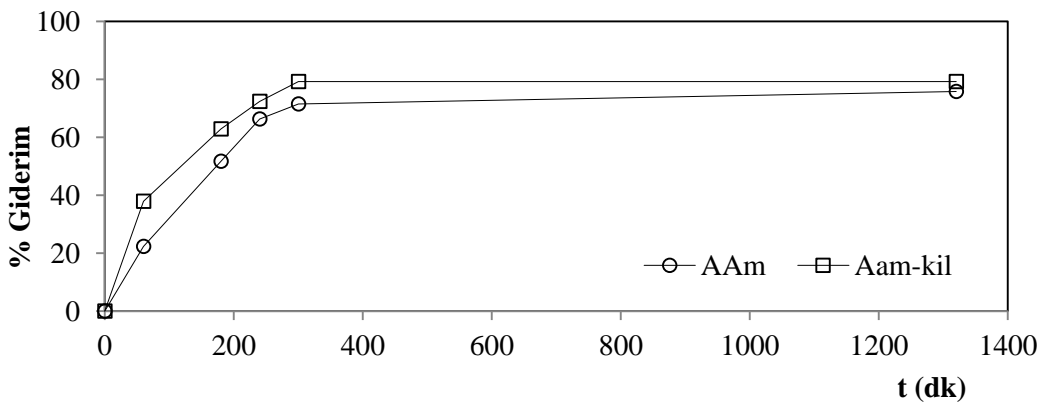
Sentezlenen polimerik jellerin, boyarmadde giderim yüzdelerini gösteren grafikler Şekil 7(a), 7(b) ve 7(c)'de verilmiş ve adsorbentlerin üç farklı boyar madde için adsorpsiyon kapasiteleri Çizelge 4'de özetlenmiştir. Kil polimer kompozitin (AAM-kil polimerik jelinin) üç boyar madde içinde adsorpsiyon kapasitesinin ve giderim yüzdesinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7. AAm jeli ve AA-kil polimerik kompozit jelinin Boyar madde giderimi yüzdeleri (a)Astrazon Yellow (b)Astrazon GoldenYellow (c)Bazik Blue 3

Çizelge 4. AAm esalı jellerin boyar madde adsorpsiyon kapasiteleri

	Astrazon Yellow	Astrazon GoldenYellow	Bazik Blue 3
	q (mg/g)		
AAm polimerik jeli	7,37	9,39	9,66
AAm-kil polimerik kompozit jeli	9,48	9,62	10,7

Çizelge 4 incelendiğinde, şişme değerlerinde gözlenen karakteristik davranışın tersi bir durumun adsorpsiyon çalışmalarında gözlemlendiği yani, kil içeriğindeki artış ile boyarmaddelerin giderim yüzdeleri ve adsorpsiyon kapasitelerinde belirgin bir artış olduğu saptanmıştır. Bu durumun, kilin doğal adsorban nitelikte olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Akrilamid monomeri (AAm) ile birlikte kompozit bir yapı oluşturmak amacı ile sisteme eklenen kilin oluşturduğu kimyasal çapraz bağlı polimerik jellerin sentezi, sentezlenen polimerlerik jellerin yüzeye soğurum özelliklerinin ve boyar madde giderim etkinliğinin araştırılması sonucunda, serbest radikalik polimerizasyon tekniği ile sentezlenen çapraz bağlı AAm esaslı polimerik jel ve polimer kompozit jellerin;

- Dinamik şişme ve büzülme deneyleri sonucunda suyun çapraz bağlı polimerik sisteme *non-Fickian* tipte bir difüzyon ile difüzlendiği belirlenmiştir.
- AAm esaslı polimerik jelle ilave edilen kilin denge yüzde şişme değerlerinde belirgin bir azalışa sebep olduğu saptanmıştır.
- Boyar madde adsorpsiyon deneyleri sonucunda, AAm/kil kompozit polimerik jelin boyar madde giderim yüzdesi ve adsorpsiyon kapasitesinin AAm polimerik jeline oranla daha yüksek olduğu, kilin adsorpsiyon verimini her üç boya türü içinde yaklaşık % 10 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Bu artışın ise kilin doğal bir adsorban olma özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Gong RM, Li M, Yang C, Sun YZ, Chen J. Removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption on peanut hull. *J Hazard Mater* 2005; 121: 247-250.
- [2] Aksakal O, Uçun H. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of textile dye (Reactive Red 195) onto *Pinus sylvestris* L. *J Hazard Mater* 2010; 181: 666-672.
- [3] Dizge N, Aydinler C, Demirbas E, Kobya M, Kara S. Adsorption of reactive dyes from aqueous solutions by fly ash: Kinetic and equilibrium studies. *J Hazard Mater* 2008; 150:737-746.
- [4] Dulman V, Cucu-Man SM. Sorption of some textile dyes by beech wood sawdust. *J Hazard Mater* 2009; 162: 1457-1464.
- [5] Annadurai G, Ling, LY, Lee J.F. Adsorption of reactive dye from an aqueous solution by chitosan: isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. *Journal of Hazardous Materials* 2008; 152: 337-346.
- [6] Turgay O, Ersoz G, Atalay S, Forss J, Welander U. The treatment of azo dyes found in textile industry wastewater by anaerobic biological method and chemical oxidation. *Sep Purif Technol* 2011; 79: 26-33.
- [7] Kim TH, Park C, Kim S. Water recycling from desalination and purification process of reactive dye manufacturing industry by combined membrane filtration. *J Clean Prod* 2005; 13: 779-786.
- [8] Moghaddam SS, Moghaddam MRA, Arami M. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: Optimization through response surface methodology. *J Hazard Mater* 2010; 175: 651-657.
- [9] Nataraj SK, Hosamani KM, Aminabhavi TM. Nanofiltration and reverse osmosis thin film composite membrane module for the removal of dye and salts from the simulated mixtures. *Desalination* 2009; 249: 12-17.

- [10] Selen V, Özer D. Reactive Blue 19 Boyarmaddesinin Sulu Çözeltilerden Uzaklaştırılması, Fırat Univ. Journal of Science 2012; 24(2): 63-75.
- [11] Amin NK. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. Desalination 2008; 223: 152-161.
- [12] Öz M. Sıcaklığa duyarlı poli(N-izopropil akrilamid) kopolimerinin sentezi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi; 2005.
- [13] Üzüm BÖ. Yeni Akrilamid esaslı anyonik IPN'lerin sentezi, karakterizasyonu ve şişme/soğurum/denetimli salınım potansiyellerinin araştırılması. Doktora Tezi. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi; 2008.
- [14] Şenkal F, Gürsel Y, Saraç A, Kandaz MEY. Tekstil boyalarının giderilmesi için yeni polimer ve reaktiflerin geliştirilmesi, Tübitak Projesi, Proje No: 106T406, 2009.
- [15] Saraydın D, Karadağ E, Güven O. Adsorption of some heavy metal ions in aqueous solutions by acrylamide/maleic acid hydrogels. Sep.Sci. Tech. 1995; 30 (17): 3291-3302.
- [16] Pan G, Kurumada KI, Yamada Y, Application of hydrogel for the removal of pollutant phenol in water. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers 2008; 39: 361-366.
- [17] Karadağ E, Saraydın D, Güven O. Behaviors of acrylamide itaconic acid hydrogels in uptake of uranyl ions from aqueous solutions. Sep. Sci. Tech. 1995; 30 (20): 3747-3760.
- [18] Duran S, Şolpan D, Güven O. Synthesis and characterization of acrylamide-acrylic acid hydrogels and adsorption of some textile dyes. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 1999; 151(1-4): 196-199.
- [19] Can HK, Kirci B, Kavlak S, Guner A. Removal of some textile dyes from aqueous solutions by poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) and poly(N-vinyl-2-pyrrolidone)/K₂S₂O₈ hydrogels. Radiation Physics and Chemistry 2003; 68: 811.
- [20] Dadhaniya PV, Patel MP, Patel RG. Removal of anionic dyes from aqueous solution using poly [N-vinyl pyrrolidone/2-(methacryloyloxyethyl) trimethyl ammonium chloride] superswelling hydrogels. Polym. Bull. 2007; 58: 359-369.
- [21] Kaşgöz H. New sorbent hydrogels for removal of acidic dyes and metal ions from aqueous solutions. Polym. Bull 2006; 56: 517-528.
- [22] Sezgin O. Metakrilamid Tabanlı Hidrojel Matrislerin Sentez ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi; 2007.
- [23] Peniche C, Cohen ME, Vázquez B, Román JS. Water Sorption of Flexible Networks Based on 2-Hydroxyethyl Methacrylate-Triethylenglycol Dimethacrylate Copolymers. Polymer 1996; 38(24): 5977-5982.
- [24] Vallés E, Durando D, Katime I, Mendizábal E, Puig JE. Equilibrium Swelling And Mechanical Properties of Hydrogels of Acrylamide And Itaconic Acid or its Esters, Polymer Bulletin 2000; 44:109-114.
- [25] Saraydın D, Karadağ E, Isıkver Y, Sah N, Güven O. The Influence of Preparation Methods on The Swelling and Network Properties of Acrylamide Hydrogels With Crosslinkers. Pure and Applied Chemistry 2004; A41(4): 421-433.
- [26] Ende MT, Peppas NA, Transport of Ionizable Drugs And Proteins In Crosslinked Poly(Acrylic Acid) And Poly(Acrylic Acid-Co-2-Hydroxyethyl Methacrylate) Hydrogels, I. Polymer Characterization. Journal of Applied Polymer Science 1996; 59: 673-685.
- [27] Ende MT, Peppas NA. Transport of Ionizable Drugs and Proteins in Crosslinked Poly(Acrylic Acid) And Poly(Acrylic Acid-Co-2-Hydroxyethyl Methacrylate) Hydrogels. II. Diffusion and Release Studies. Journal of Controlled Release 1997; 48: 47-56.
- [28] Peppas NA, Franson NM. The Swelling Interface Number as a Criterion For Prediction of Diffusional Solute Release Mechanisms in Swellable Polymers. Polymer Physics Edition 1983; 21: 983-997.
- [29] Dengre V, Bajpai M, Bajpai SK. Release of Vitamin B12 From Poly(N-Vinyl-2-Pyrrolidone)-Crosslinked Polyacrylamide Hydrogels: A Kinetic Study. Journal of Applied Polymer Science 2000; 76: 1706-1714.