

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SODYUM DODESİL BENZEN SÜLFONAT'IN (SDBS)  
ADSORPSİYONUNDA KİNETİK VE TERMODİNAMİK  
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Çevre Müh. Utkan ÖZDEMİR**

**Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği**

**Danışman : Doç. Dr. Sevil VELİ**

**KOCAELİ, 2012**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SODYUM DODESİL BENZEN SÜLFONAT'IN (SDBS)  
ADSORPSİYONUNDA KİNETİK VE TERMODİNAMİK  
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Müh. Utkan ÖZDEMİR**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 ARALIK 2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 05 OCAK 2012**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Sevil VELİ**

(.....)

**Üye  
Yrd. Doç. Dr. Ayla ARSLAN**

(.....)

**Üye  
Yrd. Doç. Dr. Füsün BOYSAN**

(.....)

**KOCAELİ, 2012**

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İnsanlığın gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan en önemli problemlerden biri olarak gösteren su kirliliği, her geçen gün çevreyi tehdit etme boyutunu genişletmektedir. Yalnızca endüstriyel kaynaklardan değil, evsel kaynaklardan da alıcı ortamlara yüksek konsantrasyonlarda kirleticiler bırakılmaktadır. Ortaya çıkan bu vahim durum, iklimsel faktörlerin etkisiyle zaten tükenme aşamasına gelmiş su kaynaklarımızı, tamamen yok olma noktasına getirmektedir. Önce kirletmeyi, sonra ise temizlemeye çalışmayı kendine alışkanlık haline getirmiş insanlık, teknolojik gelişmeleri, bilim ve feni bu kez çevre kirliliğini azaltmak amacıyla kullanmaktadır. Sanayiden kaynaklanan başta ağır metal içeren atıksuların büyük bir çoğunluğu arıtma sistemlerinde arıtılmaya çalışılmaktadır.

Günümüzdeki atık karakterleri incelendiğinde hem evlerden, hem de endüstrinin çeşitli dallarından kaynaklama özelliği dolayısıyla organik atıksuların daha fazla kontaminant olduğu görülmektedir. Birçok organik kirleticinin arıtımında klasik sistemler kullanılarak verim alınmasına rağmen başta deterjan türü organik kirleticiler çevre için risk oluşturmaya devam etmektedirler. Yapılarındaki fosfatın ötrofikasyona yol açtığı ve yine üretimleri esnasında yapılarına verilen yardımcı maddelerin de ciddi köpük problemi oluşturduğu deterjanların arıtımında birçok yöntem denenmiştir. Adsorpsiyon yönteminin, deterjan atıksularının arıtılmasında diğer arıtım seçeneklerine göre daha verimli ve kolay uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, uygulanabilirliği kolay olan adsorpsiyon prosesinde yeni ve etkin bir adsorbent olan polianilin kullanılması hedeflenmiş, deneysel sonuçların ardından, deterjan adsorpsiyonu için maliyeti düşük ve giderim verimi yüksek bir proses belirlenmiştir. Çalışmaya çeşitli termodinamik ve kinetik parametreler uygulanarak, adsorpsiyonun mekanizmasının özellikleri araştırılmıştır.

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın ortaya çıkmasında, yakın ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, gecesini gündüzüne katıp benimle birlikte çalışan, çok değerli görüş, bilgi ve eleştirilerinden yararlandığım tez yöneticisi danışman hocam Sn. Doç. Dr. Sevil VELİ'ye sonsuz saygı ve şükranlarımı sunmayı borç bilirim.

Tez çalışması sırasında, bilgi, birikim ve tecrübelerinden faydalandığım; özellikle tezin kimyasal aşamalarında çok değerleri katkıları olan Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Sibel ZOR'a teşekkürlerimi iletirim.

Kocaeli Üniversitesi'ne geldiğim ilk günden bu yana her zaman yanımda olan, benimle yakından ilgilenen, bilgilerini ve sıcak arkadaşlıklarını hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli hocalarım ve mesai arkadaşlarım Sn. Arş. Gör. Dr. İsmail ÖZBAY'a ve Sn. Arş. Gör. Bilge ÖZBAY'a en derin ve içten teşekkürlerimi sunarım. Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği ABD'de yaptığım yüksek lisans eğitimi sırasında tanıştığım ve meslektaş olduğum değerli arkadaşım Sn. Arş. Gör. Simge TANER'e destekleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayata atılmamda çok önemli katkıları olan ve arkamı döndüğüm her zaman büyük desteklerini gördüğüm, beni hiç yalnız bırakmayan sevgili annem Fahiman ÖZDEMİR'e ve sevgili babam Fuat ÖZDEMİR'e candan teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ÖZET .....	viii
İNGİLİZCE ÖZET.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. YÜZEY AKTİF MADDELERİN ÖZELLİKLERİ VE ÇEVRESEL RİSKLER.....	3
2.1. İyonik Yüzey Aktif Maddeler .....	3
2.2. Noniyonik Yüzey Aktif Maddeler .....	4
2.3. İkiz İyon Yüzey Aktif Maddeler.....	4
2.4. Deterjanların Özellikleri .....	4
2.5. Adsorpsiyon Mekanizması.....	7
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	12
4. MALZEME ve YÖNTEM .....	15
4.1. Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat ( SDBS ) Hakkında Genel Bilgi .....	15
4.2. Numunelerin ve Çözeltilerin Hazırlanması.....	15
4.2.1. MBAS yöntemi için gerekli çözeltilerin hazırlanması.....	15
4.2.2. Fenolftalein indikatör çözeltisinin hazırlanması .....	16
4.2.3. Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması.....	16
4.2.4. Yıkama çözeltisinin hazırlanması .....	16
4.3. Kalibrasyon Eğrisi Çizilmesi .....	16
4.4. Polianilin Adsorbent Olarak Hazırlanması .....	17
4.5. Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi .....	18
4.6. Kullanılan Cihazlar .....	21
4.7. Deneysel Prosedür .....	22
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	24
5.1. Adsorbentlerin Belirlenmesi .....	24
5.2. pH'nin Etkisi .....	25
5.3. Adsorbent Miktarının Etkisi.....	26
5.4. Sıcaklığın Etkisi .....	27
5.5. Karıştırma Hızının Etkisi .....	27
5.6. Temas Süresinin Adsorpsiyona Etkisi .....	28
5.7. Adsorpsiyon İzotermi.....	29
5.7.1. Langmuir izotermi .....	29
5.7.2. Freundlich izotermi .....	32
5.8. Adsorpsiyon Termodinamiği .....	35
5.9. Kinetik Çalışmalar .....	37
5.10. Birinci Dereceden Reaksiyon Kinetiği .....	38

5.11. İkinci Dereceden Reaksiyon Kinetiği .....	40
SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	43
KAYNAKLAR .....	44
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	47
ÖZGEÇMİŞ .....	48

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1: SDBS'nin kimyasal yapısı ve formülü .....	15
Şekil 4.2: SDBS adsorpsiyonu için kalibrasyon eğrisi .....	17
Şekil 4.3: Elde edilen PANİ örnekleri .....	18
Şekil 4.4: Katı SDBS'nin SEM görüntüsü.....	18
Şekil 4.5:%10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ için deney öncesi ve deney sonrası SEM sonuçları.....	19
Şekil 4.6:%8 CuCl <sub>2</sub> PANİ için deney öncesi ve deney sonrası SEM sonuçları.....	20
Şekil 4.7: Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan su banyolu sallayıcı .....	21
Şekil 4.8: Çalışmada kullanılan spektrofotometre .....	21
Şekil 4.9: pH ayarlamalarında kullanılan pH metre.....	22
Şekil 4.10:Adsorbent sentezinde kullanılan etüv .....	22
Şekil 5.1: PANİ dopant yüzdesinin SDBS giderimi üzerindeki etkisi.....	24
Şekil 5.2:%10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda pH'in etkisi.....	25
Şekil 5.3: %10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda adsorbent miktarının etkisi.....	26
sıcaklığın etkisi .....	27
Şekil 5.5: %10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda karıştırma hızının etkisi.....	28
Şekil 5.6: 10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda temas süresinin etkisi. ....	29
Şekil 5.7: %10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Langmuir adsorpsiyon izotermi .....	30
Şekil 5.8: %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Langmuir adsorpsiyon izotermi .....	31
Şekil 5.9: %10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Freundlich adsorpsiyon izotermi .....	33
Şekil 5.10: %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Freundlich adsorpsiyon izotermi .....	34
Şekil 5.11: %10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS'nin adsorpsiyon kinetiği .....	38
Şekil 5.12: %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS'nin adsorpsiyon kinetiği.....	38
Şekil 5.13: %10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun birinci dereceden kinetiği .....	40
Şekil 5.14: %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun birinci dereceden kinetiği .....	40
Şekil 5.15: %10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun ikinci dereceden kinetiği .....	41
Şekil 5.16: %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun ikinci dereceden kinetiği .....	42

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1: %10 ZnCl <sub>2</sub> ve %8 CuCl <sub>2</sub> dopant katkılı PANİ için izoterm sonuçları .....	35
Tablo 5.2: SDBS'nin %10 ZnCl <sub>2</sub> ve %8 CuCl <sub>2</sub> PANİ ile adsorpsiyonunun termodinamik sonuçları .....	36
Tablo 5.3: Birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kinetik parametreleri .....	42



## SİMGELER ve KISALTMALAR

$C_0$	: Başlangıç Konsantrasyonu
$C_e$	: Denge Konsantrasyonu
$q_e$	: Birim Adsorbent Başına Adsorplanan Madde Miktarı
$q_t$	: Herhangi Bir Zamanda Birim Adsorbent Başına Adsorplanan Madde Miktarı
$R^2$	: Korelasyon Katsayısı
$V_m$	: Tek Tabaka Adsorpsiyon Kapasitesi
$a_L$	: Langmuir Enerji Sabiti
$R_L$	: Langmuir Ayırma Sabiti
$n$	: Freundlich Adsorpsiyon Duyarlılığı
$K_f$	: Freundlich Sabiti
$\Delta H$	: Entalpi Değişimi
$\Delta G$	: Serbest Enerji Değişimi
$\Delta S$	: Entropi Değişimi

### Simgeler

$CuCl_2$	: Bakır (II) Klorür
HCl	: Hidroklorik Asit
$H_2SO_4$	: Sülfirik Asit
$(NH_4)_2S_2O_8$	: Amonyum Peroksi disülfat
$ZnCl_2$	: Çinko Klorür

### Kısaltmalar

CTAB	: Setil Trimetil Amonyum Bromür
DTAB	: Dodesil Trimetil Amonyum Bromür
HAB	: Hegzametil Amonyum Bromür
LAS	: Lineer Alkil Sülfonat
MBAS	: Metilen Mavisi Yöntemi
PANI	: Polianilin
SDBS	: Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat
SDS	: Sodyum Dodesil Sülfat
SEM	: Elektron Mikroskopu
SOS	: Sodyum Oksil Sülfat

**SODYUM DODESİL BENZEN SÜLFONAT'IN (SDBS)  
ADSORPSİYONUNDA KİNETİK VE TERMODİNAMİK  
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

**Utkan ÖZDEMİR**

**Anahtar Kelimeler:** SDBS, PANİ, izoterm, termodinamik, kinetik.

**Özet:** Bu çalışmada sulu çözeltilerden anyonik sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS) 'ın adsorpsiyon yöntemiyle giderimi incelenmiştir. Adsorbent olarak ham PANİ ve dopant katkılı ZnCl<sub>2</sub> ve CuCl<sub>2</sub> denemeleri yapılmış ve en verimli olan %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile çalışmalara devam edilmiştir. Kesikli reaktörde yürütülen çalışmalarda pH, adsorbent miktarı, sıcaklık, karıştırma hızı ve temas süresi gibi parametrelerin adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. SDBS çözeltisinin %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ adsorbentleri ile adsorpsiyonunda optimum pH 3 ve 2, temas süresi ise 70 ve 40 dk. olarak bulunmuştur. Deneysel sonuçların adsorpsiyon izotermine uygunluğu incelenmiş, Langmuir izotermine %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ adsorbentlerinin  $R_L$  adsorpsiyon ayırma faktörü sırasıyla 0.075 ve 0.236; Freundlich izotermine ise n adsorpsiyon duyarlılığı 4.52 ve 2.01 olarak hesaplanmıştır. Entalpi değişimini gösteren  $\Delta H$  değerleri 293-313 K sıcaklıkları için -13.28 ile -12.43 kJ/mol arasında değişmekte olup, adsorpsiyonun ekzotermik ve fiziksel olduğunu göstermektedir. Deneysel sonuçların ikinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yarı iletken polimer olan çinko ve bakır katkılı PANİ'lerin maliyet açısından uygunluğu ve SDBS gideriminde etkin bir adsorbent olduğu gözlemlenmiştir.

## EXAMINATION OF KINETIC AND THERMODYNAMIC PARAMETERS IN THE ADSORPTION OF SODIUM DODECYL BENZENE SULPHONATE (SDBS)

Utkan ÖZDEMİR

**Keywords:** SDBS, PANI, isotherm, thermodynamic, kinetic.

**Abstract:** In this study, removal of sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) from aqueous solutions with adsorption process is investigated. Raw polyaniline (PANI), PANI doped with  $ZnCl_2$  and  $CuCl_2$  were tested for selection of adsorbents and continued to study with most efficient adsorbents which were 10 %  $ZnCl_2$  and 8 %  $CuCl_2$  PANI. During the removal process, batch technique is used, and effects of pH, adsorbents amount, temperature, agitation speed and agitation period on adsorption efficiency are studied. For the adsorption of SDBS onto 10 %  $ZnCl_2$  and 8 %  $CuCl_2$  PANI, optimum pH values were 3 and 2, furthermore optimum agitation speeds were 70 min. and 40 min. Adsorption isotherms are applied with the aim of determine the efficiency of 10 %  $ZnCl_2$  and 8 %  $CuCl_2$  PANI.  $R_L$  separation factor for Langmuir isotherm were calculated 0.075 and 0.236, at the same time, sensitivitiy of adsorption in Freundlich isotherm were calculated 4.52 and 2.01 for zinc and copper PANI species.  $\Delta H$  which shows entalphy changes of adsorption, were calculated between -13.28 and -12.43 kJ/mol on 293-313 K. This showed, adsorption is exothermic and physical process. It is determined that adsorption is well-fitted by second order reaction kinetic. Finally, removal of SDBS onto semi-conductive polymers is efficient and low cost process.

## 1. GİRİŞ

Evsel ve endüstriyel atıksuların çevresel riskleri her geçen gün daha fazla artmaktadır. Kontrolsüz biçimde doğaya bırakılan atıksular, hem ekolojik düzeni bozmakta, hem de insan sağlığını tehdit etmektedir (Sıdal ve diğ., 2000). Gerek organik, gerekse de inorganik kirleticiler, başta kimya ve metal endüstrileri olmak üzere endüstrinin çeşitli dallarından alıcı ortama verilmektedirler (Alyüz ve Veli, 2009).

Son yıllarda çevresel riskler ele alındığında, yüzey aktif madde içeren atıksuların arıtımının giderek önem kazandığı gözlemlenmiştir. Hem evsel hem de endüstriyel atıksu sınıfında olması bu durumun oluşmasında önemli bir paya sahiptir. Yüzey aktif maddeler, birçok endüstriyel proseslerde ve uygulamalarda kullanılmaktadırlar. En çok kullanıldıkları alanlar, petrol geri kazanımı, tekstil endüstrileri, metal teknoloji endüstrileridir. Ayrıca medikal ve biyoteknoloji alanlarında da yüzey aktif maddelerin önemli rol oynadığı söylenebilir (Aydoğan, 2006).

Yüzey aktif madde grubunda yer alan deterjanlar sert sularda bile kolayca köpürme özelliğine sahiptir. Atıksularda bulunan deterjan köpükleri, arıtma tesislerinde çeşitli problemlere yol açmaktadır. Ayrıca deşarj edildiği su ortamında ciddi kirlenmeye yol açabilirler (Toledo ve diğ., 2008).

Deterjan sınıfları arasında yer alan sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS), lineer alkil sülfonat (LAS) türü deterjanlara nazaran daha az köpürme ve kir sökme özelliğine sahiptir. Endüstrinin çeşitli dallarında kullanımı devam eden SDBS, sucul ekosistemlerde ciddi tahribatlara yol açabilir (Deterjan Önlem Raporu, 2007).

Deterjan kaynaklı atıksular, yapılarındaki fosfatlı bileşenlerden dolayı sularda ötrofikasyona yol açarlar (Yılmaz ve diğ., 2006). Deterjan kaynaklı atıksuların giderilmesi için klasik biyolojik arıtım, ıslak oksidasyon, adsorpsiyon gibi birçok değişik yöntem denenmekle birlikte, bunlar içerisinde endüstride uygulama kolaylığı ve maliyetinin az olması nedeniyle adsorpsiyon yöntemi en çok kullanılanlar arasında yer almaktadır (Mı-Na ve diğ., 2005).

Adsorpsiyon yönteminde kullanılan farklı adsorbentler mevcuttur. Kil (Veli ve Alyüz ,2007), aktif karbon (Veli ve Öztürk, 2005), pomza taşı (Veliev ve diğ., 2006), reçine (Alyüz ve Veli, 2009, Veli ve Pekey ,2004) ve iletken polimerler (Hu ve diğ., 2005) yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip adsorbentlerdir.

Bu çalışmada çevresel riski en fazla olan anyonik katkılı deterjan sınıfından SDBS'nin adsorpsiyonu incelenmiştir. Adsorbent olarak yeni ve yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip yarı iletken polimer sınıfından polianilin (PANİ) kullanılmıştır. Laboratuarda, çinko ve bakır dopant katkılı PANİ'ler sentezlenmiş ve optimum şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmaya farklı adsorpsiyon izotermi, termodinamik ve kinetik parametreler uygulanmıştır.

## **2. YÜZEY AKTİF MADDELERİN ÖZELLİKLERİ VE ÇEVRESEL RİSKLERİ**

Yüzey aktif maddeler günlük hayatta kullandığımız birçok ürünün önemli ham maddelerinden biridir. Yüzey aktif maddelerin karakteristik yapısında hidrofobik (su sevmeyen) ve hidrofilik (suyu seven) gruplar yer almaktadır. Sahip oldukları bu yapı sayesinde sıvı/hava ara yüzeyine adsorplanırlar ve yüzey gerilimini düşürerek çözelti içerisinde çeşitli türde kümeleşmelerin oluşmasını sağlarlar (Aydoğan, 2006). Bu özelliklerinden dolayı çok geniş bir uygulama alanına sahiptirler (Kye-Hong ve diğ., 2001).

Çevresel riskleri fazla olan yüzey aktif maddeler, iyonik, noniyonik ve ikiz iyonik olmak üzere üç grupta incelenirler.

### **2.1. İyonik Yüzey Aktif Maddeler**

Bu bileşenler baş gruplarında anyonik ve katyonik iyon bulunduran yüzey aktif maddelerdir. Doğal yüzeyler, negatif yükle yüklü olduğundan bu yüzeyler hidrofobik yapmak istenilirse katyonik yüzey aktif maddesi olarak, eğer yüzey pozitiflik gösterirse de anyonik yüzey aktif maddesi olarak gösterilir (Aydoğan, 2006). Anyonik yüzey aktif maddeler, ortamın tuz konsantrasyonundan, pH değişiminden ve su sertliğinden etkilenme özellikliğine sahiptirler (Ravey ve diğ., 1994). Anyonik yüzey aktif maddelere örnek olarak sodyum oksil sülfat (SOS), sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS) ve sodyum dodesil sülfat (SDS) gibi bileşenleri örnek verilebilir (Varga ve diğ., 2005).

Katyonik yüzey aktif maddeler, anyoniklere göre daha pahalıdırlar. Katyonik yüzey aktif maddelere, dodesil trimetil amonyum bromür (DTAB), heksametil amonyum bromür (HAB), setil trimetil amonyum bromür (CTAB) ve didodesil dimetil amonyum bromür (DDAB) örnek olarak verilebilir (Taffarel ve Rubio, 2010).

## **2.2. Noniyonik Yüzey Aktif Maddeler**

Baş gruplarında yükü olmayan yüzey aktif maddelerdir. Bütün yüzey aktif maddelerle bir arada bulunabilirler. Noniyonik yüzey aktif maddelerin ürünleri, sıvı macun veya az da olsa yapışkan olmayan katılar olabilir (Aydoğan, 2006). Elektriksel özellikleri zayıf olduğu için adsorbe olamayan türdedirler. Köpük oluşturma yetenekleri zayıftır (Rosen, 1989). Yüzey aktif malzemelerin temizlik özelliğini bu nedenle bünyelerinde bulunduramazlar. Polioksietilenli alkil fenoller, polioksietilenli düz zincirli alkoller, polioksietilenli polioksipropilen glikollar, polioksietilenli merkaptanlar, uzun zincirli karboksilik asit esterler, polioksietilenli silikonlar bu gruptadırlar.

## **2.3. İkiz İyon Yüzey Aktif Maddeler**

Baş gruplarında hem pozitif, hem de negatif yüklü iyon bulunduran yüzey aktif maddelere verilen addır. Sıfır yüke sahip olmaları nedeniyle noniyonik yüzey aktif maddeler ile benzerlikleri vardır (Aydoğan, 2006). Cillte tahriş etkileri daha azdır (Mı-Na ve diğ., 2005). Tuz konsantrasyonundan etkilenmezler fakat pH değişimlerinden etkilenmektedirler. N-alkil betainler, (3-N-alkilaminopropionik asitler, N-alkil-(3-iminodipropionik asitleri bu gruba örnek verilebilir (Aydoğan, 2006, Rosen, 1989).

## **2.4. Deterjanların Özellikleri**

Yüzey aktif maddelerden elde edilen en önemli ürün deterjanlarıdır. Özellikle çevresel açıdan riskleri ele alındığında, yüzey aktif madde kökenli atıkların alıcı ortamlara en çok deterjan formunda bırakıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca gerek evsel, gerekse endüstriyel bazlı atık karakteristiğine sahiptir. Evsel atık su arıtma tesislerinde kontrolü en zor alan atıklardan birisi olan deterjanların kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır (Deterjan Önlem Raporu, 2007).

Günlük yaşamda çok yaygın olarak kullanılan sıvı ya da toz deterjanların üretimi günümüzde endüstriyel açıdan en önemli dallardan birisidir. Diğer bir temizlik

maddesi olan sabunlarla deterjanlar arasındaki başlıca fark, sabunların hayvansal ve bitkisel yağlar içermesi, deterjanların ise yağ yerine petrokimya ürünlerinden yapılmasıdır. Deterjan üretimiyle ilgili ilk çalışmalar 20. yüzyılın başlarında gerçekleştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında hayvansal ve bitkisel yağların kıtlığı ve petrol türevleriyle ilgili yapılan çalışmalar deterjanların gelişimini hızlandırmıştır (Deterjan Önlem Raporu, 2007, Mı-Na ve diğ., 2005).

Deterjanın temizleyici etkisinin nedenlerinden birisi suyun yüzey gerilimini azaltarak temizlenecek bölgenin içine suyun iyice girmesini sağlamasıdır. Bununla birlikte, deterjan kir parçacıklarının ve yağların oldukları yerden çıkmasını kolaylaştırır ve yeniden çökmesini engeller. Suyu yumuşatmak için fosfatlar, toz deterjanın topak olmaması için sodyum sülfat ve sodyum silikat, kiri su içinde askı halinde tutmak için selüloz, köpüğü denetim altında tutacak maddeler ile renk vericilerin katıldığı karışım kurutma kulelerinde sıcak havayla kurutulur (Aydoğan, 2006).

Deterjan üretiminde uygulanan en yaygın yöntem, alkilbenzen ve sülfürik asit sülfolama soğutucusunda tepkimeye sokulan alkilbenzeni sülfolamaktır. Meydana gelmiş olan alkilbenzen sülfonat, sodyum hidroksit çözeltisiyle nötrleştirilerek karışım elde edilir. Deterjanların yapısına, deterjanlara temizlik özelliği katan ve işlevsellik kazandıran bir takım yardımcı maddeler ilave edilmektedir. Bu maddeler, deterjanların çevresel riskini ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini arttırmaktadır (Yılmaz, 2002).

Deterjan yapısına katılan maddelerden köpük düzenleyiciler hidrofobik maddelerdir. Örnek olarak uzun zincirli yağ asitleri, silikonlar ve hidrofobik noniyonik surfaktanlar verilebilir (Yılmaz, 2002, Deterjan Önlem Raporu, 2007).

Yardımcılar, olarak adlandırılan kimyasallar ise deterjanın gücünü kuvvetlendirir. Sodyum tripolifosfat gibi kompleks fosfatlar en çok bilinen örnekleri arasında yer almaktadır. Kirlerin kumaş yüzeyine çökmesini engelleyen yapıları olan yardımcıların, özellikle evlerde kullanılan deterjanların içersinde bulunduğu bilinmektedir. Parfüm benzeri özellikleri olmayan yardımcıları, sadece deterjanların



kir sökme kapasitesini arttırmaktadırlar. Sularda sertliğe yol açan kalsiyum ve magnezyum iyonlarını bağlayan yumuşatıcılardan farklıdırlar. Deterjan yapısını güçlendirmekle kalmayıp aynı zamanda düzenleme özellikleri sayesinde deterjanın nüfuz ettiği kirli bölge alanını arttırmaktadırlar. Deterjana koku ve renk özellikleri katan, maddeler de ilave maddeler olarak adlandırılabilir (Deterjan Önlem Raporu, 2007).

Deterjan üretimi esnasında elde edilen ürünlerden bir tanesi de sabundur. Sabunun yaygın olarak kullanılmaya başlanması ile birlikte deterjan sektörü çok daha hızlı ilerlemeye başlamıştır. Sabun paslanmaz çelik kazanlarında, çeşitli nötralleştiriciler altında üretilmektedir. Sabun yapımı için ortalama 70-80 saatlik bir zaman gereklidir. Sabun üretimi sırasında bir takım tehlikeli kimyasallar kullanılmakta iken, bu kimyasalların hem insan sağlığı hem de çevresel riskleri göz önüne alındığında son yıllarda daha doğal malzemeler ile sabun üretimine geçilmeye başlanmıştır (Paralı, 2001).

Bazı deterjanların çok kullanıldığı yerlerde, su ürünlerine gelebilecek zehirleyici etkiler erkenden saptanabilir. Deterjanların sularda yarattığı kirlenme, suların ekosistemindeki canlılar üzerinde ortaya çıkardığı olumsuz değişmelerle kendisini hissettirecek boyutlara ulaşmış bulunmaktadır. Ülkemiz de ciddi bir deterjan üreticisi ve aynı zamanda tüketicisi olan bir ülke olarak dikkat çekmektedir. Özellikle Marmara Denizi, deterjan kirliliği bakımından en zengin su ekosistemidir. Burada gözlenen kirlenme olaylarında ortaya çıkan aşırı plankton üremelerinde, Marmara Denizi'ne deşarj edilen sentetik deterjanlar da önemli rol oynamaktadır (Yılmaz ve diğ., 2006, Deterjan Önlem Raporu, 2007).

Deterjanların bu özelliği ötrofikasyon denilen alg patlamasına neden olmaktadır. 1980'li yılların başından bu yana ülkemiz su kaynakları özellikle de Marmara Denizi'nin birçok kirlenici tarafından yapısı bozulmaktadır. Şüphesiz bozulan bu yapıda deterjanların payı oldukça fazladır (Yılmaz ve diğ., 2006).

Deterjanların bilinçsiz ve kontrolsüz bir şekilde doğaya bırakılması sonucunda ortaya çıkan çevresel riskler, insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır. Özellikle su ekosistemine verilen deterjan atıkları besin zinciri yoluyla insanlara ulaşmakta ve çeşitli ciddi rahatsızlıklara neden olmaktadır. Ayrıca deterjanların kullanımı sırasında gerek cilt, gerekse de göz bölgelerinde tahriş ve iltihaplanmalar meydana gelebilmektedir. Deterjanların, içerdiği aktif maddeler, kullanım sırasında doğrudan doğruya deriye veya ter bezleri yolu ile cildin iç kısımlarına nüfuz ederler (Toledo ve diğ., 2008).

Deri veya ter bezleri yolu ile cildin iç kısımlarına etki eden deterjanlar, deride protein bozukluklarına yol açarlar. Deri proteinlerinde meydana gelen bozukluklar nekroz, eritem gibi bir takım cilt rahatsızlıklarının ortaya çıkmasına neden olurlar. Cilt kuruması, çatlama, deride kaşıntı gibi daha hafif etkileri de gözlemlenebilmektedir. Ayrıca saç ve tırnakta da birikme özelliğine neden olurlar. Bu durum deterjanla cildin maruz kaldığı süre ve maruz kalınan deterjan miktarına bağlıdır. (Toledo ve diğ., 2008).

Evlerde sürekli olarak kullanılan deterjan, sindirim sistemi rahatsızlıklarına da yol açmaktadır. Özellikle bulaşık yıkanması sonucu kaplarda kalan deterjan artıkları insan sağlığını tehdit edebilmektedir. Midede yanma, gastrit ve çeşitli mide enfeksiyonlarına yol açabilmektedir (Deterjan Önlem Raporu, 2007).

## **2.5. Adsorpsiyon Mekanizması**

Adsorpsiyon, çevre mühendisliğinde, arıtılması zor olan koku, renk ve zehirlilik yaratan kimyasal maddelerin, bu maddeleri tutabilecek yapıda olan katı maddelerin yüzeyinde kimyasal ve fiziksel bağlarla tutulma işlemine verilen addır (Veli ve Öztürk, 2005). Kimyasal ve fiziksel bağlarla tutma özelliği gösteren katı maddelere adsorbent adı verilir. Adsorbent tarafından tutulabilen maddeler ise adsorbat olarak adlandırılır. Adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir (Veli ve Alyüz, 2007).

Adsorpsiyon ısısı -20 kJ/mol civarında (genellikle -10 kJ/mol ile -30 kJ/mol arasında) olan etkileşimler sonucundaki tutunmalara fiziksel adsorpsiyon, -200 kJ/mol civarında etkileşimler sonucundaki tutunmalara ise kimyasal adsorpsiyon adı verilmektedir. Fiziksel adsorpsiyonda tanecikler ile yüzey arasında zayıf Van der Waals çekim kuvvetleri etkinken, kimyasal adsorpsiyonda ise tanecikler ile yüzey arasında kovalent bağ oluşmaktadır. Tüm fiziksel adsorpsiyonlar ve birçok kimyasal adsorpsiyon ekzotermiktir. Fakat, hidrojen gazının cam üzerinde tutunması gibi bir takım adsorpsiyonlar endotermik olabilmektedir. Bu tip durumlarda entropi işareti pozitif yüklü olup, adsorpsiyonun molekülleri arasındaki düzensizlik artmaktadır. Kimyasal adsorpsiyon tek tabakalı olurken, fiziksel adsorpsiyon olayları ise çok tabakalı olmaktadır. Öte yandan, fiziksel adsorpsiyonlar tersinir iken, kimyasal adsorpsiyonlar ise tersinmezdir (Sarıkaya, 2008).

Adsorpsiyon prosesinin karakteristik özelliği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla, kinetik çalışmalar yapılmaktadır Bu sayede adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyon mekanizması belirlenebilmektedir (Alyüz ve Veli, 2009).

Adsorbent ve adsorbat arasında moleküler çekime dayanan ilişkiden meydana gelen bir olay olan adsorpsiyon, adsorbentin ve adsorbatın moleküler yapıları ve özellikleri adsorpsiyon olayını etkileyen faktörler olarak dikkat çekmektedir (Veli ve Alyüz, 2007).

Adsorbentin yapısında, adsorbatları adsorplayabilme özelliğinin oluşması için pozitif ve negatif yüklü iyonlar yer almalıdır. Adsorbent bu iyonlar sayesinde adsorpsiyon mekanizmasını gerçekleştirerek adsorbatı tutabilir (Veliev ve diğ., 2006).

Adsorbentin partikül boyutu adsorpsiyonu etkileyen önemli etmenlerden olmakla birlikte partikül boyutu küçüldükçe adsorpsiyon kapasitesi genelde artar ve partikül boyutu büyüdükçe adsorpsiyon kapasitesi azalır. Partikül boyutunun küçülmesi temas yüzeyini arttırır ve bu durumda adsorpsiyon daha verimli olur (Veli ve Pekey, 2004).

Gözenek genişliği de adsorpsiyona etki eden önemli faktörlerdendir. Gözenek genişliği fazla olduğunda, adsorbat molekülleri gözeneklere kolayca etki etmektedir. Bu sayede adsorpsiyon prosesi kolaylıkla gerçekleşir. Sık gözenekli yüzeylerde ise adsorpsiyon daha az meydana gelir (Veli ve Alyüz, 2007).

Adsorpsiyon proseslerinde pH hem adsorbentin hem de adsorbatın kimyasını etkileyen önemli bir parametredir. Adsorbat moleküllerinin duyarlı olduğu çeşitli pH aralıkları vardır. Farklı pH'larda farklı iyonlaşmalar da oluşabilir. Bu nedenle maksimum adsorpsiyon veriminin elde edileceği pH'ın belirlenmesi uygun verimi elde etmek adına önemlidir (Alyüz ve Veli, 2009).

Sıcaklığın adsorpsiyon üzerindeki etkisinin araştırılmasıyla, adsorpsiyon prosesinin termodinamik parametrelerini (entalpi, entropi ve serbest enerji değişimlerini) hesaplamak mümkündür (Hai-ling ve diğ., 2007).

Sabit sıcaklık ve sabit basınçta adsorpsiyon kendiliğinden olduğundan adsorpsiyon sırasındaki serbest enerji değişimi  $\Delta G$  eksi işaretlidir. Gaz veya sıvı ortamda daha düzensiz halde bulunan tanecikler, katı yüzeyinde tutunarak daha düzenli bir hale geldiğinden dolayı adsorpsiyon entropisi olarak adlandırılan  $\Delta S$  eksi işaretli olmaktadır. Adsorpsiyon serbest enerji değişimi ve adsorpsiyon entropisinin eksi işaretli olduğu durumlarda, adsorpsiyon entalpisi olarak adlandırılan ve adsorpsiyon esnasındaki ısı değişimlerinden bahseden  $\Delta H$  değeri de eksi işaretli olacaktır. Bu durum adsorpsiyon prosesinin ısı salan yani ekzotermik olduğunu göstermektedir. Ekzotermik proseslerde adsorpsiyon verimi sıcaklık artmasıyla birlikte azalma göstermektedir. Ekzotermik adsorpsiyonlarda düşük sıcaklıklarda çalışmak, adsorbatın adsorbent yüzeyinde ısı kaybına paralel olarak daha iyi tutunmasını sağlayacaktır (Sarıkaya, 2008).

Karışıma hızına bağlı olarak por difüzyonu ya da film difüzyonu kontrol edilebilir. Düşük karıştırma hızında film difüzyonu, adsorpsiyon için sınırlayıcı etmen olabilirken, yüksek hızda yapılan karışımlarda por difüzyonu sınırlayıcı etmen olarak ifade edilebilir (Gupta ve diğ., 2003).

Çalışılan çözeltilerin konsantrasyonları adsorpsiyonu etkileyen parametrelerdendir. Düşük konsantrasyonlu çözeltilerde adsorpsiyonun dengeye ulaştığı süre, yüksek konsantrasyonlardaki adsorpsiyon proseslerine nazaran daha kısadır (Veli ve Alyüz, 2007).

Adsorbat molekülünün sulu ortamda rahat çözünebilir özellikte olması önemlidir. Adsorbatın çözünmesi iyonlaşma veya moleküler halde olmaktadır. Adsorbentle etkileşecek aktif yüzeyin üzerinde negatif veya pozitif iyonların bulunması önemlidir (Hai-ling ve diğ., 2007).

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan değişik izoterm uygulamaları vardır. Bu izoterm uygulamalarına örnek olarak, Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich adsorpsiyon izotermi verilebilir (Alyüz ve Veli, 2009). Adsorpsiyon izotermelerinden en yaygın kullanılan izotermeler Langmuir ve Freundlich izotermeleridir.

Yüzey kimyası alanındaki çalışmalarından dolayı 1932 yılı Nobel Kimya Ödülü sahibi Amerikalı bilim adamı Irving Langmuir tarafından 1916 yılında kimyasal adsorpsiyon için çok basit bir izoterm denklemi türetilmiştir. Tek tabakalı fiziksel adsorpsiyon ve çözeltilerden adsorpsiyon için de geçerli olan bu eşitliğe Langmuir denklemi denilmiştir (Sarıkaya, 2008).

Langmuir denkleminin türetilmesinde düşünülen, ideal olarak temiz ve homojen olmayan katı yüzeylerindeki adsorpsiyonlar için Alman fizikokimyacı Herbert Max Finlay Freundlich tarafından ise Freundlich denklemi türetilmiştir (Sarıkaya, 2008).

Adsorpsiyon prosesinde adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonun mekanizmasının karakteristiği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla kinetik çalışmalar yapılmaktadır. Adsorpsiyon kinetiğinin anlaşılması sayesinde etkin adsorbat-adsorbent temas süresi bulunur. Adsorpsiyon işleminin hızına etki eden adsorpsiyon basamaklarının anlaşılması için kinetik çalışmalar büyük önem taşımaktadır (Alyüz ve Veli, 2009).

Adsorpsiyon prosesinde birçok farklı adsorbent kullanılmaktadır. Özellikle aktif karbon, adsorpsiyonda en verimli adsorbent olarak dikkat çekmektedir (Gupta ve diğ., 2003). Bunun yanı sıra organik atıksuların arıtılması için pomza taşı (Veli ve Öztürk, 2005) ve zeolit (Arslan ve Veli, 2011) sıklıkla kullanılan adsorbentlere örnek olarak verilebilir.

Son yıllarda iletken polimerlerin kullanım alanları oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Elektromanyetik alanların yanı sıra, çevresel risklerin ortadan kaldırılması konusunda da iletken polimerlere başvurulmaya başlanmıştır (Özkazanç ve diğ., 2010). Böylelikle elde edilmesi reçine vb. malzemelere göre daha ucuz olan iletken polimerlerle, çevresel sorunların çözümünde yeni ve daha verimli arıtma metotları geliştirilmeye başlanmıştır. İletken polimerlerin tutucu özelliği, bu malzemelerin adsorbent olarak kullanılmasını sağlarken, adsorpsiyon prosesinin verimini arttırmıştır. Aynı zamanda yeni tip yapay adsorbentler elde edilmesine olanak tanımıştır (Özdemir ve diğ., 2011).

Polianilin (PANI), gerek ham olarak, gerekse de uygulanabilirliğini arttırmak amacıyla dopant olarak kullanılabilen yeni tip bir adsorbenttir. Yüksek tutma kapasitesiyle özellikle organik atıkların arıtımında kullanılabilirliği arttırabilir. Ayrıca elde edilme maliyeti göz önüne alındığında diğer yapay adsorbentlere göre oldukça ucuz ve elverişlidir (Özdemir ve diğ., 2011).

### 3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

SDBS'nin PANİ üzerindeki adsorpsiyon çalışmasına başlanmadan önce çeşitli literatür taramaları yapılmış, benzer çalışmalar ışığında verilerin yorumlanmasına çalışılmıştır.

Mı-Na ve diğ. 2005 yılında yapmış olduğu adsorpsiyon çalışmasında, yüzey aktif madde adsorpsiyonu için pH etkilerini ortaya koymuş, asidik ortamlarda daha yüksek verimlerle adsorpsiyon işleminin tamamlanabildiğini gözlemlemiştir.

Alyüz ve Veli ise 2009 yılındaki çalışmalarında, nikel ve çinkonun sulu çözeltilerden iyon değiştirici reçineler ile adsorpsiyonunda, değişik adsorpsiyon izotermleri ve kinetikleri uygulayarak hangi izotermin ve kinetiğin daha uygun olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmanın ikinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Vale ve Timothy 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada yüzey aktif madde adsorpsiyonunda sıcaklık parametresinin en önemli parametrelerden biri olduğunu vurgulayarak değişik sıcaklık aralıklarında adsorpsiyon çalışması yapmışlardır (20°C ile 50°C arasında).

Reis ve diğ. 2004 yılındaki çalışmalarında, SDBS adsorpsiyonu üzerinde pH, sıcaklık ve iyon kuvvetinin etkisini incelemişlerdir. Asidik ve nötrale yakın ortamlarda 298 K'de yürüttükleri çalışmalar neticesinde en iyi adsorpsiyon verimini bulmuşlar, aynı zamanda sıcaklığın ve pH değerinin çok fazla arttırılmasının adsorpsiyon verimine olumsuz etkileri olabileceğini ön görmüşlerdir.

Hai-ling ve diğ. 2007 yılındaki çalışmalarında, adsorpsiyonda enerji değişimlerinin önemini vurgulamışlar, özellikle de adsorpsiyonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin

ortaya konması ve spontanlık durumunun tespiti için termodinamik çalışmalara deneylerinde yer vermişlerdir.

Taffarel ve Rubio 2010 yılındaki çalışmalarında SBDS adsorpsiyonunda doğal malzemelerin kullanımının tek başına yeterli olmadığını öngörmüş ve adsorbent olarak seçtikleri doğal zeoliti CTAB ile aktifleştirerek adsorpsiyon işlemini tamamlamışlardır.

Özdemir ve diğ. 2007 yılındaki çalışmalarında, adsorpsiyonda anyonik yüzey aktif maddelerin çevresel risklerini ortaya koymuş ve sepiyolit malzemesi ile SDBS'nin de aralarında bulunduğu birçok anyonik yüzey aktif maddenin gideriminin gerçekleştirilebileceğini savunmuşlardır.

Peng ve diğ. 2003 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarında karbon tüplü adsorpsiyon yapmışlar ve termodinamik parametreler ışığında sonuçları yorumlamışlardır. Adsorpsiyon işlemlerinde yalnızca izoterm ve kinetik hesaplamaların değil, adsorpsiyonun entalpisi, entropisi ve serbest enerji değişimini ifade eden termodinamik hesaplamaların da önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Gupta ve diğ. 2003 yılında aktif karbonun anyonik deterjanların arıtılmasında adsorbent olarak kullanılmasını araştırmış ve adsorpsiyon işlemlerinde seçilen adsorbentlerin yalnızca giderim verimlerinin değil, maliyetinin de önemini vurgulamıştır.

Yang ve diğ. 2006 yılında gerçekleştirdikleri anyonik deterjan adsorpsiyonunda, akrilik ester reçineleri adsorbent olarak kullanmış ve yüksek giderim verimleri elde etmiştir. Reçinlerin yeniden kullanım özelliklerinin olması ve çevresel açıdan büyük riskleri olan deterjan gideriminde etkin olduğunun gözlenmesi nedeniyle bu yöntemin kullanılabilirliğinin olduğunu belirtmişlerdir.

Fu ve diğ. 1996 yılında yapmış oldukları sülfonat adsorpsiyonunda, sülfonat gruplarında alumun adsorbent olarak oldukça iyi tutma kapasitesinin olduğunu



belirlemişlerdir. Ayrıca sülfonat adsorpsiyonunda hidrokarbon ve alkol etkisinin olabileceğini ve bu durumun adsorpsiyonun tutma kapasitesine etkisi olabileceğini öngörmüşlerdir.

Adak ve diğ. 2005 yılındaki çalışmalarında anyonik yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonunda alumun kullanılabileceğini ve bu sayede istenilen arıtma veriminin elde edilebileceğini vurgulamış, alumu, aktif karbon ve reçine gibi adsorbentlere alternatif olarak göstermişlerdir.

Purakayastha ve diğ. 2005 yılında anyonik yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonunda silika jelin kullanımının yüksek giderimi verimi sağlayacağını öngörmüşler ve aktif karbon, reçine gibi adsorbentler arasında silika jelin de etkinliğinden bahsetmişlerdir.

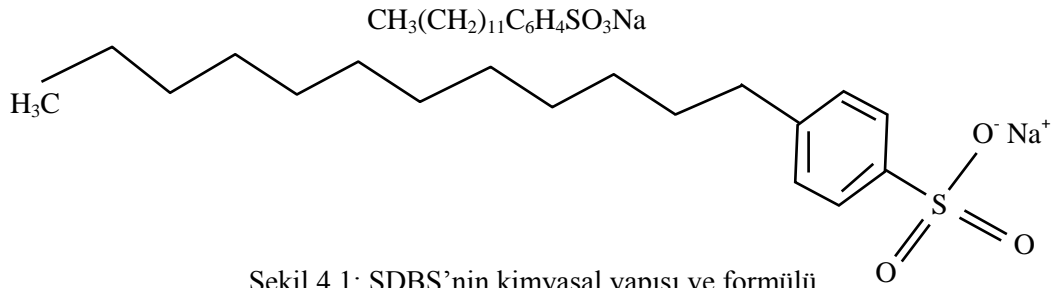
Kowalska ve diğ. 2004 yılındaki çalışmalarında anyonik yüzey aktif maddelerin gideriminde ileri arıtım yöntemlerinden ultrafiltrasyon prosesinin denemelerini yapmışlardır. Elde ettikleri verimin yüksek olmasıyla birlikte, tesislerde çıkabilecek olası uygulama güçlükleri nedeniyle bu prosesi adsorpsiyon benzeri bir arıtım sisteminden geçirdikten sonra kullanmanın etkin olabileceğini belirtmişlerdir.

Khan ve Zareen 2006 yılında anyonik kökenli yüzey aktif maddelerin sulardan gideriminde toprak sorpsiyonu adı verilen bir proses denemişler ve bu sayede topraktaki sorpsiyon olayına benzer bir sistemi su için de uygulayabileceklerini vurgulamışlardır. Bu yöntem için toprağın sorpsiyon kapasitesini arttırabilecek, yüzey alanı geniş nitelikte adsorbentlerin kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

## 4. MALZEME VE YÖNTEM

### 4.1. Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat ( SDBS ) Hakkında Genel Bilgi

Bu çalışmada adsorbat olarak sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS) kullanılmıştır. SDBS' nin kimyasal yapısı ve formülü Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



SDBS' nin molekül ağırlığı 348.48 g/mol dür.

### 4.2. Numunelerin ve Çözeltilerin Hazırlanması

SDBS adsorpsiyonu için kullanılan numuneler sentetik olarak hazırlanmıştır. SDBS anyonik kökenli yüzey aktif madde olduğundan dolayı, SDBS' nin adsorpsiyon analizlerinde kullanılan yöntem Metilen Mavisi Yöntemi (MBAS)'dir.

#### 4.2.1. MBAS yöntemi için gerekli çözeltilerin hazırlanması

MBAS yönteminin (Standart Methods, 5540C) uygulanabilmesi için hazırlanan çözeltiler aşağıda verilmiştir.

#### **4.2.2. Fenolftalein indikatör çözeltisinin hazırlanması**

0.5 gr fenolftalein 50 mL % 95' lik etil alkolde çözülür ve distile su ile 100 mL' ye tamamlanır.

#### **4.2.3. Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması**

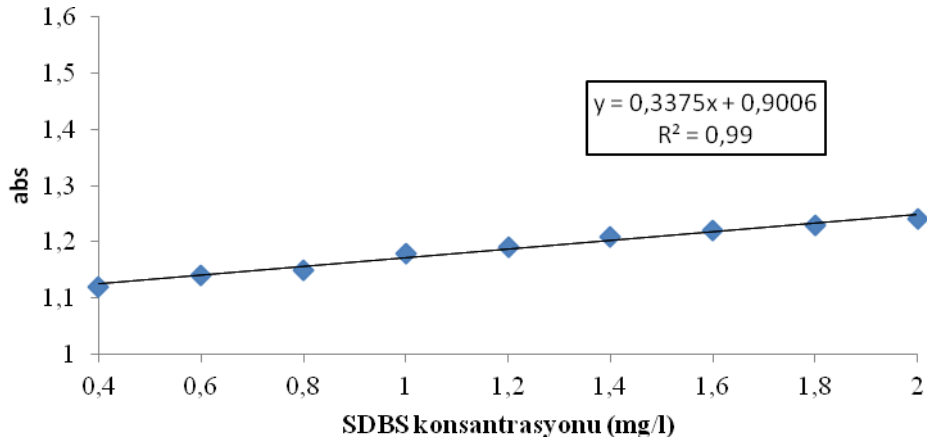
100 mg metilen mavisi 100 mL distile suda çözülür. Bunun 30 mL' si alınır ve 500 mL distile su, 6.8 mL derişik sülfirik asit ve 50 g sodyum dihidrojen fosfat ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ilave edilerek, distile suyla 1 L' ye tamamlanır.

#### **4.2.4. Yıkama çözeltisinin hazırlanması**

6.8 mL derişik sülfirik asit, 500 mL distile suya ilave edilir, 50 g sodyum dihidrojen fosfat ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ilave edilir ve distile suyla 1 L' ye tamamlanır.

#### **4.3. Kalibrasyon Eğrisi Çizilmesi**

1 g katı SDBS' den hassas terazide tartılarak distile suyla 1 L' ye tamamlanır ve 1000 mg/L'lik stok çözelti hazırlanır. Biyolojik ayrışmayı önlenmek amacıyla bu çözelti buzdolabında saklanır. Kalibrasyon eğrisi için stok deterjan çözeltisinden konsantrasyonları 0.4-2 mg/L arasında değişen standart çözeltiler hazırlanır. Daha sonra hazırlanan bu standart çözeltilerin her birinden 100'er mL alınarak MBAS yöntemi uygulanmıştır. Buna göre her bir 100 mL' lik numuneye birkaç damla fenolftalein çözeltisi ve 1 N NaOH ilave edilerek pembe renk kaybolana kadar 1N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile titre edilmiştir. Daha sonra numuneye 25 mL metilen mavisi reaktifi ilave edilmiş ve 10' ar mL kloroform ile üç kez ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Kloroform fazları ayrıldıktan sonra 50 mL yıkama çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir. Metoda göre 652 nm dalga boyunda kloroforma karşı absorbansı okunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre kalibrasyon eğrisi grafiği çizilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: SDBS adsorpsiyonu için kalibrasyon eğrisi

#### 4.4. Polianilin Adorbent Olarak Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan adsorbent laboratuarda sentezlenmiştir. Adsorbent olarak PANİ' nin sentezi için oksitleyici maddesi amonyum peroksi disülfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) kullanılmıştır. 5 mL anilin 1.5 M' lık 70 mL HCl ile karıştırıldıktan sonra, sabit hızda karışan çözelti içerisinde 20 mL deiyonize suda çözülmüş 10 g  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  damlatılmıştır. Polimerizasyon 25 °C' de 5 saat süre ile devam etmiştir. Aynı koşullarda süzme, yıkama ve kurutma işlemlerinden sonra koyu yeşil renkli bir toz olan ham PANİ' ler elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan adsorbentler, sadece ham değil dopantlanmış şekilde de oluşturulmuştur. Dopantlama işlemi yapıldığında, yukarıda bahsedilen işlem basamaklarında dopantlama yapılacak miktarı içeren 5 mL  $\text{ZnCl}_2$  veya 5 mL  $\text{CuCl}_2$  çözeltisi, anilinden sonra 1.5 M' lık 70 mL HCl' ye ilave edilmiş ve karıştırma işlemleri başlatılmıştır. Diğer basamaklar ham PANİ eldesindeki sırayı takip etmiştir. Bu şekilde 1 tanesi ham olmak üzere 11 farklı adsorbent üretilmiştir. Üretilen dopant yüzdeleri çinko ve bakırlı örnekler için %2, %4, %6, %8 ve %10' luk tur.

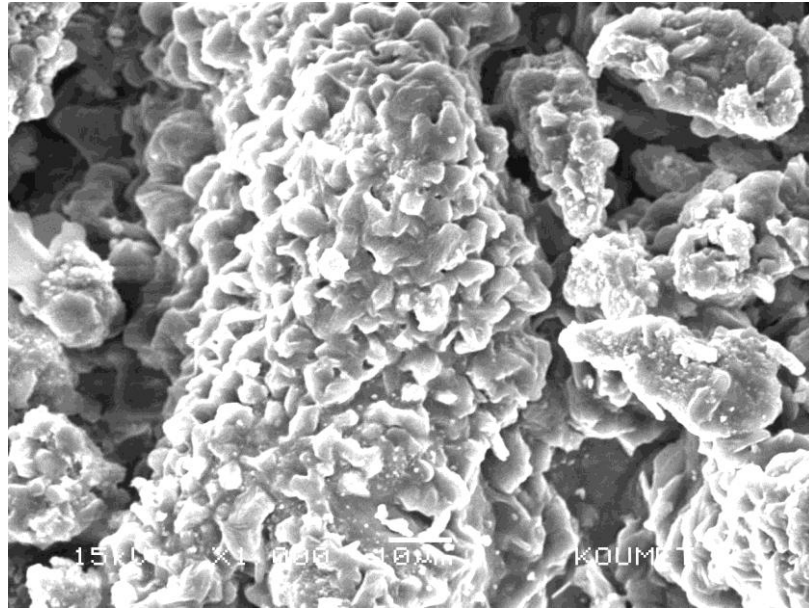


(a) (b) (c)

Şekil 4.3: Elde edilen PANİ örnekleri (a) %10 ZnCl<sub>2</sub> (b) %8 CuCl<sub>2</sub> (c) ham PANİ

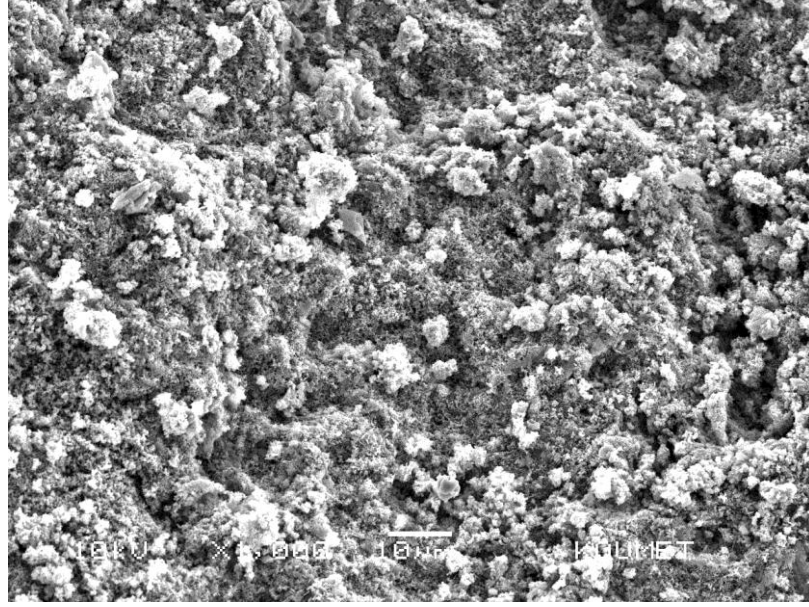
#### 4.5. Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan adsorbentlerin deneysel çalışmalardan önce ve sonra elektron mikroskopu (SEM) yardımıyla analizinin yapılması önem taşımaktadır. Böylelikle, adsorbentin tutma kapasitesi mikroskop altında da gözlemlenmiş olur. Bu çalışmada hem adsorbentlerin hem de katı SDBS'nin SEM analizi yapılmıştır (Şekil 4.4 - 4.6).

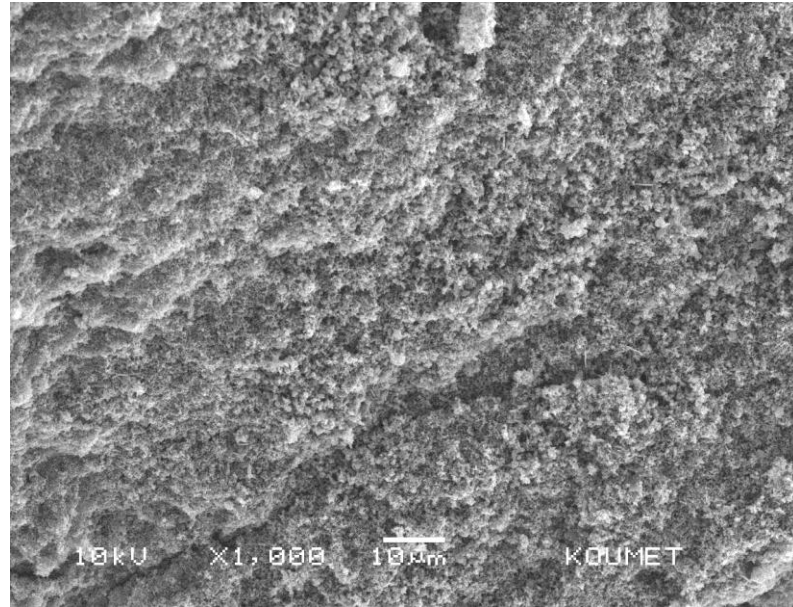


Şekil 4.4: Katı SDBS'nin SEM görüntüsü

Şekil 4.4'te katı haldeki SDBS'nin görüntüsü verilmiştir. SDBS'nin katı haldeki parçacıkları sulu ortamda oldukça hızlı çözünme ve iyonlaşma özelliğine sahiptir (Taffarel ve Rubio, 2010). Bu SDBS'nin SEM görüntüsünden de görülmektedir.

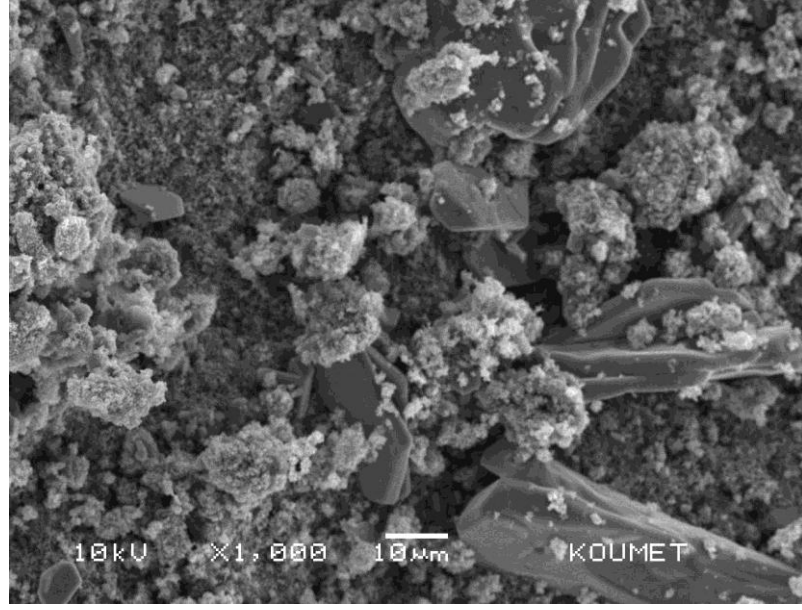


(a)

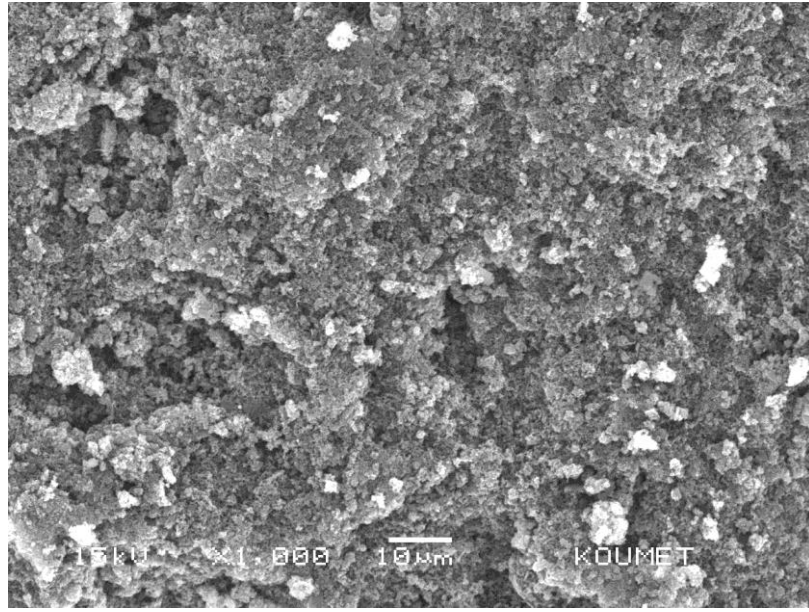


(b)

Şekil 4.5: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ için deney öncesi (a) ve deney sonrası (b) SEM sonuçları



(a)



(b)

Şekil 4.6: %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ için deney öncesi (a) ve deney sonrası (b) SEM sonuçları

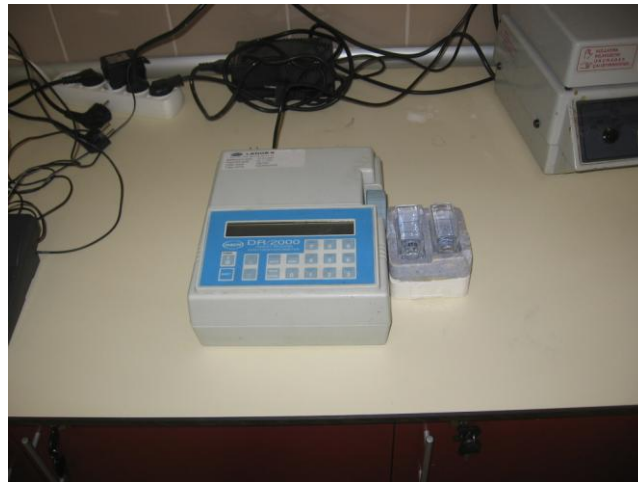
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi deneyden önceki (a) durumda, her iki adsorbent için gözenek boşlukları rahatlıkla gözlemlenmektedir. Bununla birlikte deneyden sonraki (b) SEM analizlerinde gözenek boşluklarının dolduğu ve adsorbentin tutma kapasitesinin oldukça verimli olduğu ifade edilmektedir (Özdemir ve diğ., 2011).

#### 4.6. Kullanılan Cihazlar

Adsorpsiyon deneyleri Nüve ST 402 model su banyolu sallayıcı, sentetik SDBS çözeltisinin MBAS analizi sonrası spektrofotometrik analizleri Hach Lange DR 2000 spektrofotometre cihazı ile yapılmıştır. pH ayarlamaları 0.1 N hidroklorik asit ve 0.1 N sodyum hidroksit kullanılarak, HANNA-211 model pH-metre ile yapılmıştır. Ayrıca polimer sentezi sırasında Nüve FN 500 marka ve 0-250 °C değerleri arasında sıcaklık ayarı, zaman ayar yapılabilen etüv kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan deney düzenekleri Şekil 4.7- 4.10' da gösterilmektedir.



Şekil 4.7: Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan su banyolu sallayıcı



Şekil 4.8: Çalışmada kullanılan spektrofotometre





Şekil 4.9: pH ayarlamalarında kullanılan pH metre



Şekil 4.10: Adsorbent sentezinde kullanılan etüv

#### 4.7. Deneysel Prosedür

SDBS'nin yarı iletken polimer olan PANİ ile adsorpsiyonu kesikli reaktörde çalışılmıştır. Hazırlanan 1000 mg/L'lik stok çözeltiden 100 mg/L'lik standart çözelti elde edilerek, deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Erlenlere, standart çözeltiden 100'er mL alınıp pH ayarlamaları yapıldıktan sonra farklı PANİ miktarları ilave edilerek su banyolu sallayıcıda belirli zaman aralıklarında farklı rpm hız ve sıcaklıklarda çalışılmıştır. Su banyolu sallayıcıdan alınan örnekler, filtre kağıdından geçirilerek her bir örneğe MBAS yöntemi uygulanmış ve spektrofotometrede

absorbans değerleri ölçölmüş ve kalibrasyon eğrisine göre çözeltilde kalan SDBS konsantrasyonları hesaplanmıştır. Birim adsorbent kütle başına adsorplanan SDBS miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} V \quad (4.1)$$

$q_e$ , adsorbent tarafından adsorplanan SDBS miktarını (mg/g),  $C_0$  ve  $C_e$ , sırasıyla çözeltildeki başlangıç ve denge durumunda çözeltildeki SDBS konsantrasyonu (mg/L),  $V$  çözeltil hacmi (mL),  $m$  (g) kullanılan adsorbentin kütle başına ifade eder.

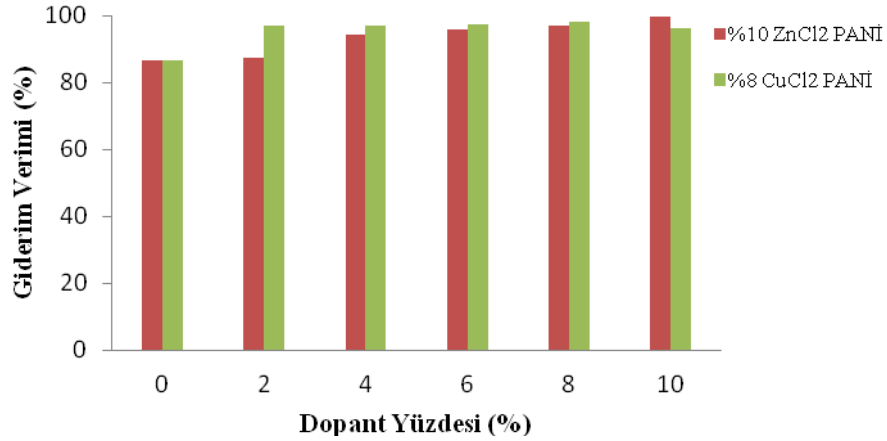
Çalışmada pH, adsorbent miktarı, sıcaklık, karıştırma hızı ve temas süresi gibi faktörlerin SDBS giderim verimine etkileri araştırılmıştır.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olan yarı iletken polimer PANİ, organik yükü çok fazla SDBS adsorpsiyonunda etkin bir şekilde kullanılmıştır.

### 5.1. Adsorbentlerin Belirlenmesi

Laboratuarda sentezlenen 11 farklı adsorbent (ham ve %2, %4, %6, %8 ve %10 ZnCl<sub>2</sub> ve CuCl<sub>2</sub> dopant katkılı PANİ) sentetik SDBS örneklerinde denenmiştir. 100 mL' lik numunelere her bir adsorbentten 0.5 g ilave edilmiştir. Çözeltinin kendi pH'ında, 23 °C sıcaklıkta, 200 rpm karıştırma hızında ve 120 dakikalık temas süresinde yapılan adsorpsiyon çalışmaları sonucunda SDBS giderimi üzerindeki en verimli adsorbentler belirlenmiştir (Şekil 5.1).

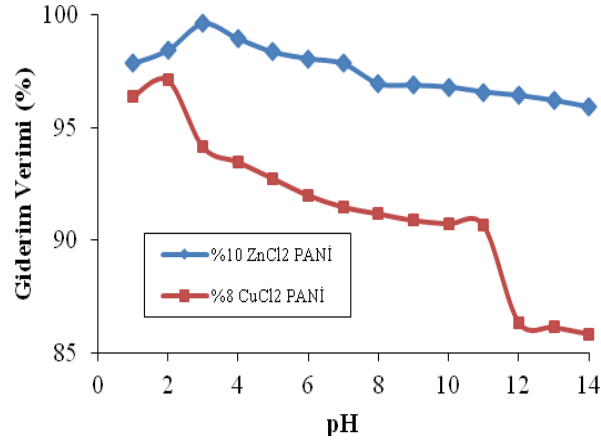


Şekil 5.1: PANİ dopant yüzdesinin SDBS giderimi üzerindeki etkisi

Şekil 5.1'den görüldüğü gibi çinko ve bakır katkılı adsorbentler arasında en verimli adsorbentler sırasıyla %10 dopant katkılı çinko ve %8 dopant katkılı bakır adsorbentleridir. Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında %10 dopant katkılı ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 dopant katkılı CuCl<sub>2</sub> PANİ adsorbentleri kullanılmıştır.

## 5.2. pH'ın Etkisi

SDBS'nin dopant katkılı PANİ ile adsorpsiyonunda pH'ın etkisi incelenmiştir. Belirlenen %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> katkılı PANİ adsorbentlerinin her birinden 0.5 g alınarak, 100 mg/L'lik numunelere ilave edilmiştir. pH 1-14 değerleri arasında ayarlanarak 23°C'de, 120 dk., 200 rpm hızda su banyolu sallayıcıda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Belirlenen temas süresi sonunda numuneler alınarak filtre kağıdından geçirilmiş ve her numuneye MBAS yöntemi uygulanmıştır. Spektrofotometrede 652 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerlerinden kalibrasyon eğrisi yardımıyla konsantrasyon değerleri belirlenerek, adsorpsiyon giderim verimleri hesaplanmıştır. Adsorpsiyon veriminin en yüksek olduğu pH değerleri optimum pH olarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçları Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



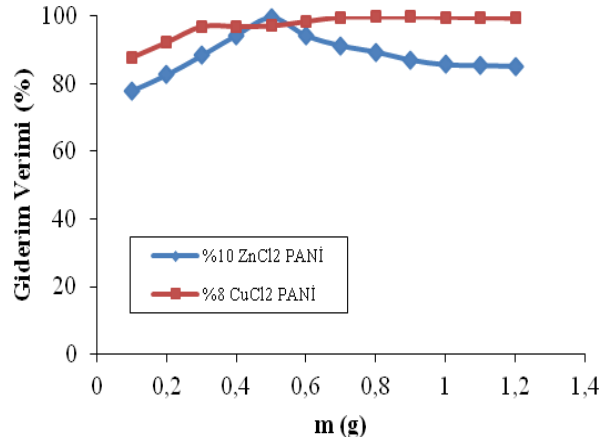
Şekil 5.2: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda pH'ın etkisi (Başlangıç SDBS konsantrasyonu 100 mg/L, adsorbent miktarı 0.5g/100 mL, karıştırma hızı 200 rpm, karıştırma süresi 2 saat, sıcaklık 23°C)

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ için en yüksek giderim verimi %99.64 olduğu için optimum pH değeri 3, %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ için ise en yüksek giderim verimi %97.11 olduğu için optimum pH değeri 2 olarak belirlenmiştir. SDBS'nin adsorpsiyonunda asidik ortamlarda giderim verimlerinin çok daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu duruma SDBS'nin sulu çözeltilerinin asidik ortama daha yakın olması ve bazik ortamda iyonik adsorbat özelliklerini kaybederek,

adsorbente tutunma kapasitesini azaltmaktadır(Mı-Na ve diğ., 2005). Çalışmanın bundan sonraki basamaklarında yukarıda belirtilen optimum pH değerleri kullanılmıştır.

### 5.3. Adsorbent Miktarının Etkisi

Adsorbent miktarını tayin etmek için yukarıda belirtilen optimum pH değerlerinde, konsantrasyonları 100 mg/L olan SDBS çözeltileri kullanılmıştır. Temas süresinin 120 dk., karıştırma hızının 200 rpm ve sıcaklığın 23°C olduğu deneylerde çözeltiliye eklenen %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ katkılı adsorbentlerin miktarı 0.1-1.2 g arasında değişmektedir. Deneysel prosedür yukarıda belirtildiği şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.3'te görülmektedir.



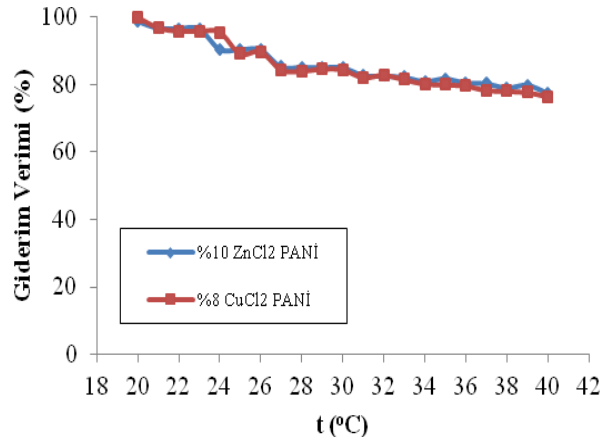
Şekil 5.3: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda adsorbent miktarının etkisi  
(Başlangıç SDBS konsantrasyonu 100 mg/L, pH 3 ve 2, karıştırma hızı 200 rpm, karıştırma süresi 2 saat, sıcaklık 23°C)

SDBS'nin PANİ ile gideriminde adsorpsiyon veriminde yükselme gözlenmiştir. Verimdeki bu artış, adsorbentlerin yüzey alanlarının fazla olmasıyla açıklanabilir. (Gupta ve diğ., 2003). SDBS'nin %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile

gideriminde en yüksek verimler %99.63 ve %99.85'dir. Bu giderim verimleri sırasıyla 0.5 ve 0.9 g/100 mL adsorbent ilavesiyle elde edilmiştir.

#### 5.4. Sıcaklığın Etkisi

SDBS'nin PANİ ile adsorpsiyonunda optimum sıcaklığı belirlemek için deneysel çalışmalar, 20°C-40°C aralığında gerçekleştirilmiştir. Yukarıda belirlenen optimum pH ve adsorbent miktarını kullanarak 120 dk. temas süresi ve 200 rpm karıştırma hızında çalışmalar yürütülmüştür. Çalışma sonuçları Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda sıcaklığın etkisi

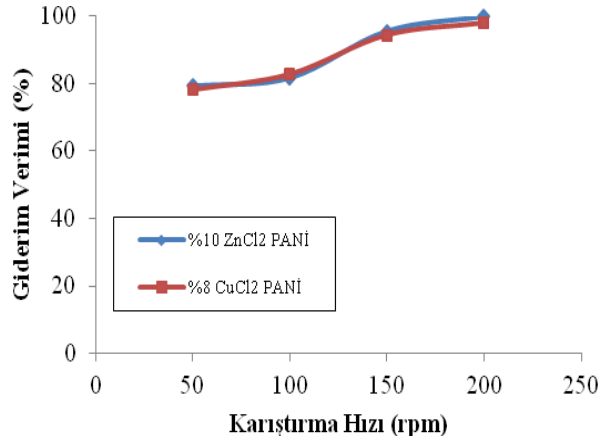
(Başlangıç SDBS konsantrasyonu 100 mg/L, pH 3 ve 2, adsorbent miktarları 0.5g/100mL ve 0.9 g/100mL, karıştırma hızı 200 rpm, karıştırma süresi 2 saat)

Optimum sıcaklık değeri her iki adsorbent için 20°C olarak belirlenmiştir. SDBS türü deterjanların karakteristikleri düşük sıcaklıklarda çalışmaya daha fazla uygunluk göstermektedir. Bu tip kirleticilerin adsorpsiyonları genellikle fiziksel adsorpsiyona örnektir ve ekzotermik olarak gerçekleşir (Hai-ling ve diğ., 2007).

#### 5.5. Karıştırma Hızının Etkisi

Karıştırma hızının adsorpsiyon verimine etkisini incelemek için optimum pH, adsorbent miktarı ve sıcaklık parametreleri kullanılarak çalışmaya devam

edilmiştir. Kesikli sistemde yürütülen çalışmada 50-200 rpm karıştırma hızında, 120 dk. temas süresinde deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçlar spektrofotometrik olarak analiz edilmiştir. SDBS gideriminin karıştırma hızına etkisi Şekil 5.5'te verilmiştir.



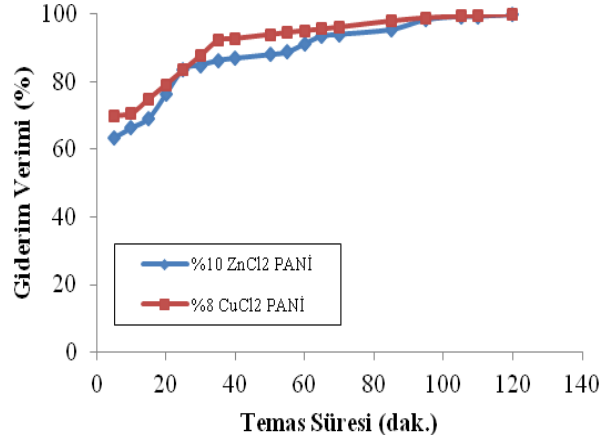
Şekil 5.5: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda karıştırma hızının etkisi.

(Başlangıç SDBS konsantrasyonu 100 mg/L, pH 3 ve 2, adsorbent miktarları 0.5 g/100mL ve 0.9 g/100mL, karıştırma süresi 2 saat, sıcaklık 20°C)

SDBS'nin gideriminde %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ için optimum karıştırma hızı 200 rpm olarak bulunmuştur. Yüksek karıştırma hızında por difüzyonunun sınırlayıcı etmen olmasıyla adsorpsiyon verimi artar (Gupta ve diğ., 2003).

## 5.6. Temas Süresinin Adsorpsiyona Etkisi

Daha önceden belirlenen optimum pH, adsorbent miktarı, sıcaklık ve karıştırma hızını kullanarak temas süresinin SDBS giderim verimine olan etkisi incelenmiştir. 5-120 dk zaman aralıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda temas süresinin etkisi.

(Başlangıç SDBS konsantrasyonu 100 mg/L, pH 3 ve 2, adsorbent miktarları 0.5g/100mL ve 0.9 g/100mL, karıştırma hızı 200 rpm, sıcaklık 20°C)

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ için optimum temas süresi 70 dk., %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ için ise 40 dk. olarak belirlenmiştir.

## 5.7. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorplanan madde miktarının derişimle değişimini veren çizgilere adsorpsiyon izotermi denir. Deneysel yoldan belirlenen adsorpsiyon izotermelerini ve diğer adsorpsiyon verilerini değerlendirebilmek için çok sayıda denklem türetilmiştir. Adsorplanan ve adsorplayıcı maddelerin özelliklerine göre adsorpsiyon denklemlerinden biri ya da birkaçı uygun olmaktadır. Adsorpsiyonda çok kullanılan Langmuir ve Freundlich denklemleridir.

### 5.7.1. Langmuir izotermi

Langmuir izotermi, adsorpsiyon yüzeyinin tek tabakalı kaplanmasını modelleyen izotermidir. Adsorpsiyon olayının, adsorbentin belirgin homojen alanlarında gerçekleştiğini kabul eden bu izotermde, moleküller arası kuvvetlerin adsorpsiyon



yüzeyinden uzaklaştıkça azaldığı gözlemlenir. Langmuir izotermi aşağıdaki denklemle ifade edilir.

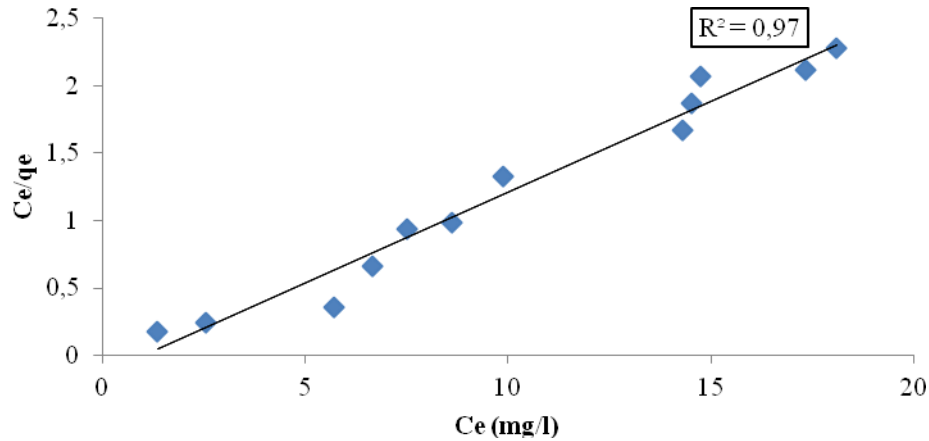
$$q_e = \frac{V_m k C_e}{1 + k C_e} \quad (5.1)$$

Denklem lineer hale getirilirse aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

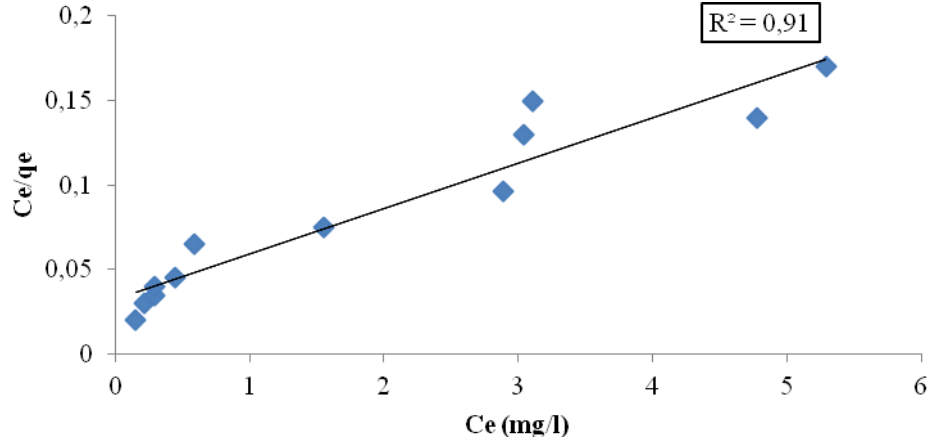
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k V_m} + \frac{C_e}{V_m} \quad (5.2)$$

Bu denklemde,  $q_e$  birim PANİ başına adsorplanan SDBS miktarını (mg/g),  $V_m$  tek tabaka kapasitesini,  $C_e$  SDBS çözeltisinin denge konsantrasyonunu (mg/L),  $k$  denge sabitini göstermektedir.

%10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS gideriminde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Langmuir izoterminde uygulanmıştır (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8). Deneysel veriler kullanarak  $\frac{C_e}{q_e}$ 'nin  $C_e$ 'ye bağlılık grafikleri elde edilmiştir ve grafiklerin lineer olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Langmuir adsorpsiyon izotermi



Şekil 5.8: %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Langmuir adsorpsiyon izotermi

SDBS'nin %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile adsorpsiyonunda, her bir adsorbent için Langmuir denkleminin lineer hali aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

%10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ için;

$$\frac{C_e}{q_e} = 0.1348 C_e - 0.13562 \quad R^2 = 0.97 \quad (5.3)$$

%8 CuCl<sub>2</sub> PANİ için;

$$\frac{C_e}{q_e} = 0.0324 + 0.0268 C_e \quad R^2 = 0.91 \quad (5.4)$$

Langmuir izoterminin uygunluklarının belirlenmesi için ayırma faktöründen yararlanılarak aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$Vm = \frac{k}{a_L} \quad (5.5)$$

Burada,  $V_m$  adsorpsiyonun tek tabaka kapasitesini (mg/g),  $k$  denge sabitini,  $a_L$  ise adsorpsiyon enerjisinin Langmuir sabitini göstermektedir. Denklem 5.5'ten yararlanılarak, birim PANİ başına adsorplanan SDBS miktarının Langmuir izotermi için adsorpsiyon enerji sabiti hesaplanmış ve aşağıdaki denklemden ayırma faktörü belirlenmiştir.

$$R_L = 1/(1 + a_L C_0) \quad (5.6)$$

Burada,  $C_0$  başlangıç SDBS konsantrasyonunu (mg/L),  $R_L$  değeri izotermin tipini belirleyen ayırma faktörüdür.

$R_L$  değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$R_L$ değeri	Adsorpsiyonun tipi
$R_L > 1.0$	Uygun olmayan
$R_L = 1.0$	Lineer
$0 < R_L < 1.0$	Uygun olan
$R_L = 0$	Tersinir

Yapılan hesaplamalar sonucunda  $R_L$  değeri %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ile yapılan analizler için 0.075 ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile yapılan analizlerde ise 0.236 olarak bulunmuştur. İki adsorbent türü için de  $R_L$  ayırma faktörü  $0 < R_L < 1$  aralığındadır ve bu durum Langmuir izoterminin her iki adsorbent türü için uygunluğunu göstermektedir (Alkan ve Doğan, 2001).

### 5.7.2. Freundlich izotermi

Freundlich izotermi çok tabakalı ve heterojen yüzeylerde gerçekleşen adsorpsiyon için geçerlidir. Freundlich izotermi aşağıdaki denklemlerle açıklanabilir.

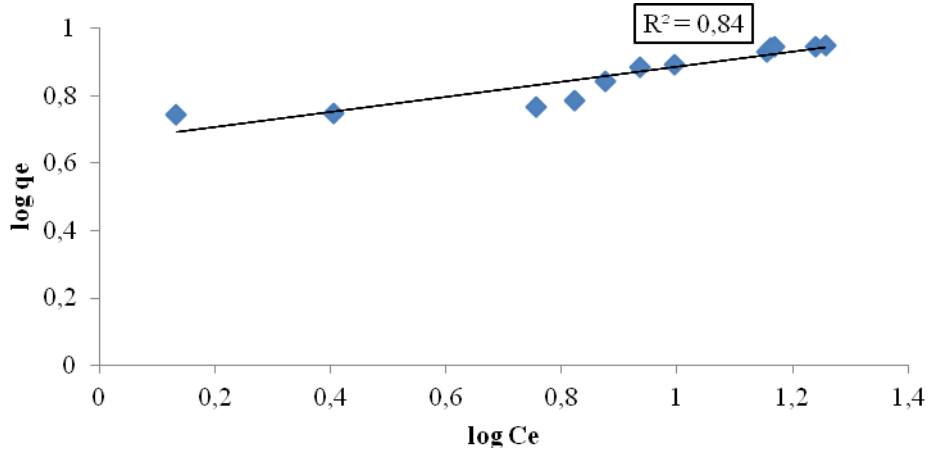
$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (5.7)$$

Denklem linear hale getirilirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

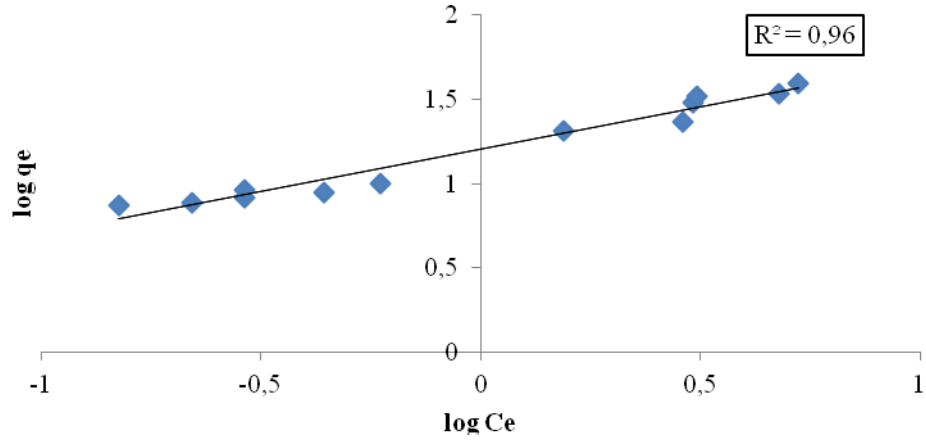
$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (5.8)$$

Burada  $K_f$  Freunlich sabiti (mg/g) ve  $\frac{1}{n}$  adsorpsiyon duyarlılığıdır.

SDBS'nin %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> dopant katkılı PANİ adsorbentleri ile gideriminden elde edilen deneysel sonuçlara Freundlich izotermi uygulanmış, her iki adsorbent için de  $\log q_e$ 'nin  $\log C_e$ 'ye bağlılık grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10).



Şekil 5.9 : %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Freundlich adsorpsiyon izotermi



Şekil 5.10 : % 8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonu için Freundlich adsorpsiyon izotermi

Freundlich izoterminin lineer hali her iki dopant katkılı adsorbent için aşağıdaki formüllerde verilmiştir.

% 10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ için;

$$q_e = 0.66C_e^{0.221} \quad R^2 = 0.84 \quad (5.9)$$

% 8 CuCl<sub>2</sub> PANİ için;

$$q_e = 1.20C_e^{0.500} \quad R^2 = 0.96 \quad (5.10)$$

Freundlich izoterminde adsorpsiyon duyarlılığı aşağıdaki gibi özetlenebilir (Doğan ve diğ., 1998).

1/n değeri	Adsorpsiyon tipi
1/n=1	Lineer
1/n<1	Uygun
1/n>>1	Uygun olmayan

%10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunda deneysel sonuçlar 1/n<1 durumu gözlemlendiğinden deneysel çalışmaların Freundlich izotermine uygunluğu belirlenmiştir.

Langmuir ve Freundlich izotermelerinde hesaplanan tüm izoterm sabitleri Tablo 5.1’de özetlenmektedir.

Tablo 5.1: %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> dopant katkılı PANİ için izoterm sonuçları

Adsorbentler	Langmuir izoterm sabitleri			Freundlich izoterm sabitleri		
	$V_m$ (mg/g)	$k$	$R^2$	$K_f$ (mg/g)	$n$	$R^2$
%10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ	7.42	0.92	0.97	0.66	4.52	0.84
%8 CuCl <sub>2</sub> PANİ	37.31	1.21	0.91	1.20	2.01	0.96

### 5.8. Adsorpsiyon Termodinamiği

SDBS’nin %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> dopant katkılı PANİ ile adsorpsiyon mekanizmasının daha iyi açıklanabilmesi için termodinamik parametreler hesaplanmıştır.

Adsorpsiyonun termodinamiğinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$K_c = \frac{C_{ads}}{C_e} \quad (5.11)$$

$$\log \left( \frac{1}{C_e} \right) = \log K_c + \left( \frac{-\Delta H}{2.303RT} \right) \quad (5.12)$$

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad (5.13)$$

$$\Delta S = \left( \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \right) \quad (5.14)$$

Burada,  $K_c$  denge sabitini,  $C_{ads}$  SDBS'nin gideriminde denge anında PANİ başına adsorplanan miktarını (mg/g),  $C_e$  denge anındaki SDBS konsantrasyonunu (mg/L), T mutlak sıcaklığı (K), R gaz sabitini (J/mol K),  $\Delta H$  adsorpsiyondaki entalpi değişimini (kJ/mol),  $\Delta S$  adsorpsiyon entropisini (J/mol K),  $\Delta G$  ise adsorpsiyondaki serbest enerji değişimini (kJ/mol) ifade eder (Özdemir ve diğ., 2011).

Termodinamik çalışmalar için SDBS çözeltisinin farklı sıcaklıklar altındaki durumu gözlemlenmiştir. Başlangıç konsantrasyonu 100 mg/L olan, 293-313 K sıcaklıklarda, optimum şartlarda (pH, adsorbent miktarı, karıştırma hızı ve temas süresi) çalışmalar sürdürülmüştür. Ölçüm sonuçları Gibbs serbest enerji değişimi prensibine dayanarak yapılmıştır.

Elde edilen deneysel veriler, yukarıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmış, SDBS'nin %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile adsorpsiyonunun termodinamik sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: SDBS'nin %10 ZnCl<sub>2</sub> ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile adsorpsiyonunun termodinamik sonuçları

T (K)	$K_c$		$\Delta G$ (kJ/mol)		$\Delta H$ (kJ/mol)		$\Delta S$ (J/mol K)	
	%10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ	%8 CuCl <sub>2</sub> PANİ	%10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ	%8 CuCl <sub>2</sub> PANİ	%10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ	%8 CuCl <sub>2</sub> PANİ	%10 ZnCl <sub>2</sub> PANİ	%8 CuCl <sub>2</sub> PANİ
293	18.00	1.31	-7.03	-0.65	-13.28	-21.66	-21.33	-71.71
298	27.94	1.79	-8.23	-1.44	-13.07	-19.72	-16.21	-61.34
303	67.61	2.85	-10.59	-2.63	-12.85	-17.02	-7.43	-47.49
308	106.00	8.83	-11.92	-5.56	-12.62	-12.21	-2.26	-21.59
313	107.79	9.36	-12.15	-5.81	-12.43	-12.04	-0.86	-19.90

Tablo 5.2'den görüldüğü gibi negatif  $\Delta H$  değerleri adsorpsiyonun ekzotermik karakteristikte olduğunu göstermektedir. Ayrıca mutlak  $\Delta H$  değerlerinin 10-30 kJ/mol arasında değişmesi adsorpsiyonu fiziksel adsorpsiyon olarak nitelemektedir (Hai-ling ve diğ., 2007). Negatif  $\Delta G$  değerleri SDBS'nin PANİ türleri ile adsorpsiyonun spontan (kendiliğinden gerçekleşen) bir adsorpsiyon türü olduğunu ifade etmektedir (Peng ve diğ., 2003). Negatif  $\Delta S$  değerleri adsorpsiyon proseslerinde, düzenlilik, yani entropinin meydana gelmemesini ifade etmektedir. Bu durum, SDBS'nin PANİ ile adsorpsiyonunda çözeltide bulunan moleküler yapının düzenliliğini belirtmektedir. Mutlak  $\Delta S$  değerlerinin her sıcaklık aralığında artması (0'a yaklaşması), bu düzenli yapının sıcaklık artışı ile bozulduğunu göstermektedir (Özdemir ve diğ., 2011).

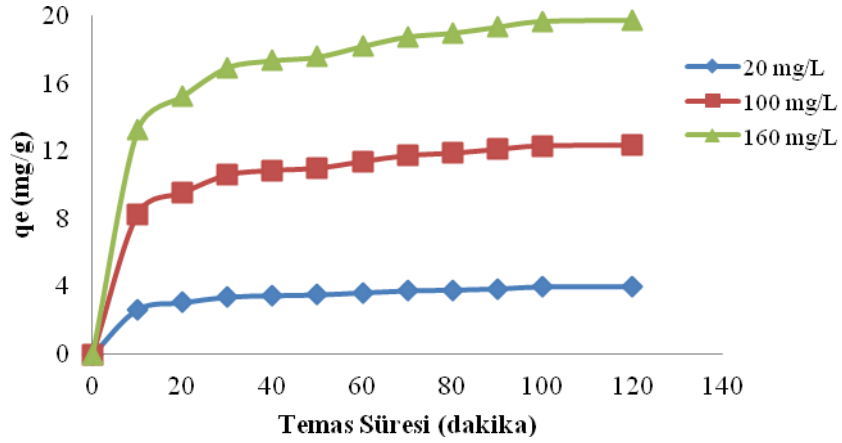
### **5.9. Kinetik Çalışmalar**

SDBS'nin yarı iletken polimerler olan %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile adsorpsiyonunda adsorpsiyon mekanizmasını açıklamak için kinetik çalışmalar yapılmıştır. Kinetik çalışmalar sayesinde, elde edilen verilerin zamana göre değişimleri incelenmekte ve bununla birlikte adsorpsiyonun reaksiyon dereceleri hakkında fikir sahibi olunabilmektedir.

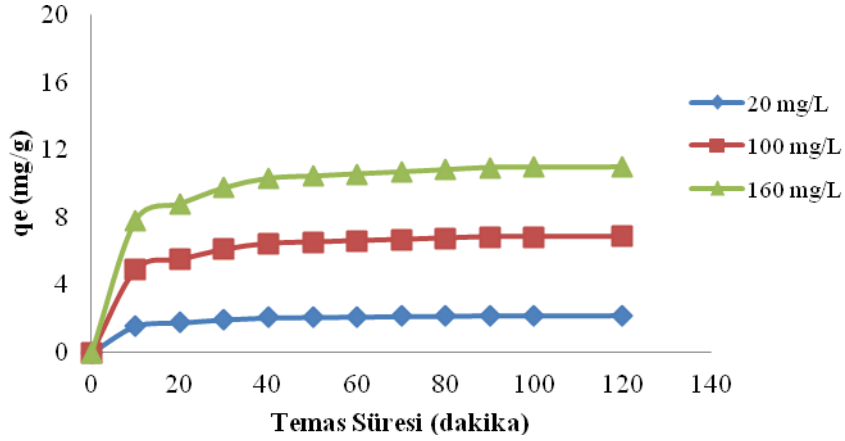
Birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kinetikleri için yapılan çalışmalar sayesinde, hız sabitleri belirlenebilmekte ve mekanizmanın yalnızca izotermeler ya da termodinamik açıdan değil, çok yönlü bir şekilde incelenmesi sağlanmaktadır. Bu sayede çevre mühendisliğinde yapılan adsorpsiyon çalışmaları uygulamaları çok daha kaliteli ve verimli olmaktadır.

Başlangıç konsantrasyonları 20, 100 ve 160 mg/L olan optimum koşullarda (pH, adsorbent miktarı, sıcaklık, karıştırma hızı, temas süresi) deneysel çalışmalar yürütülmüş ve spektrofotometrik olarak ölçülüp, konsantrasyonların zamanla değişimi Şekil 5.11 ve 5.12'de verilmiştir.





Şekil 5.11: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS'nin adsorpsiyon kinetiği (Başlangıç SDBS konsantrasyonu 100 mg/L, pH 3, adsorbent miktarları 0.5g/100mL, karıştırma hızı 200 rpm, sıcaklık 20°C, temas süresi 70dk)



Şekil 5.12: %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS'nin adsorpsiyon kinetiği (Başlangıç SDBS konsantrasyonu 100 mg/L, pH 2, adsorbent miktarları 0.9g/100mL, karıştırma hızı 200 rpm, sıcaklık 20°C, temas süresi 40dk)

Yapılan bu çalışmalara birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kinetiği uygulanmıştır.

### 5.10. Birinci Dereceden Reaksiyon Kinetiği

Adsorpsiyonun hız sabiti, birinci dereceden reaksiyon kinetiği ile tayin edilmiştir.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (5.15)$$

Burada  $k_1$  birinci dereceden adsorpsiyona ait hız sabitini,  $q_t$  t anında adsorplanan SDBS miktarını (mg/g),  $q_e$  denge anında adsorplanan SDBS miktarını (mg/g) göstermektedir.

Yukarıdaki denkleme integrasyon işlemi uygulanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilmiş olur.

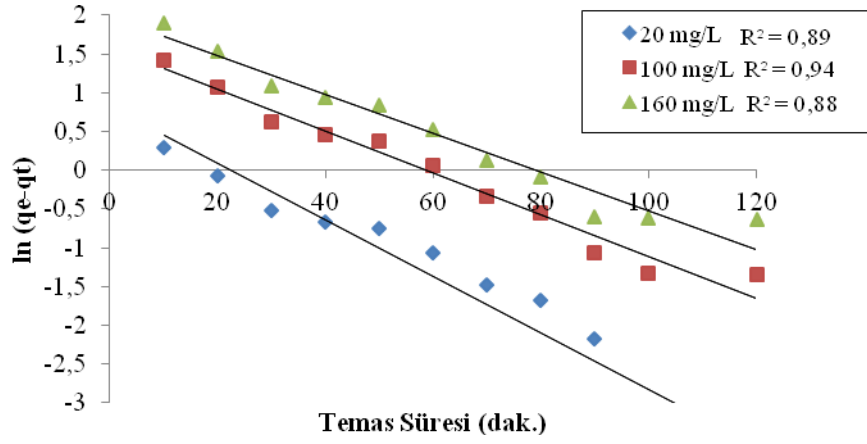
$$\ln(q_e - q_t) = -k_1 t + C_1 \quad (5.16)$$

Burada  $C_1$ , birinci dereceden reaksiyon kinetiğinin integrasyon sabitidir.

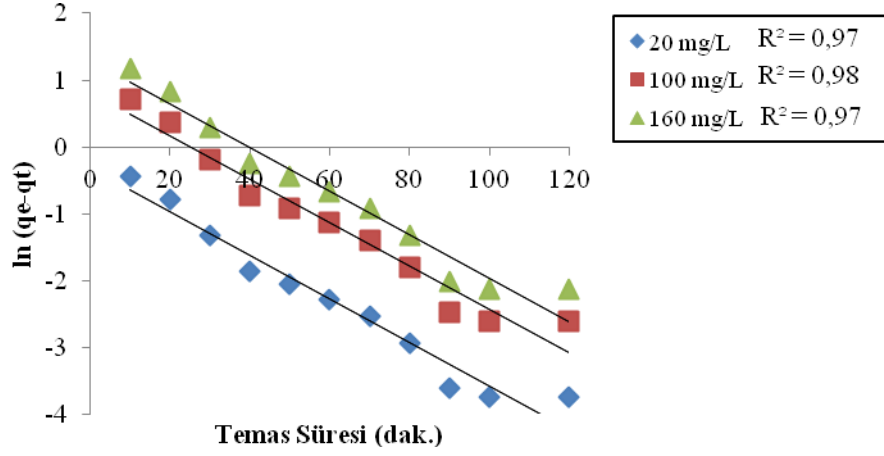
Başlangıç koşulu için  $t=0$  anında  $q=0$  kabul edilirse aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (5.17)$$

SDBS'nin adsorpsiyon hız sabitlerini belirlemek için birinci dereceden reaksiyon kinetiği uygulanmıştır. Her adsorbent türü için  $\ln(q_e - q_t)$ 'nin zamana bağlılık grafiği çizilmiş, eğrilerin lineer oldukları görülmüştür. SDBS'nin %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile adsorpsiyonunun birinci dereceden kinetiği Şekil 5.13 ve 5.14'te gösterilmektedir.



Şekil 5.13: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun birinci dereceden kinetiği



Şekil 5.14: %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun birinci dereceden kinetiği

Şekil 5.13 ve 5.14'teki eğrilerin eğimlerinden  $k_1$  hız sabitleri hesaplanmıştır.

### 5.11. İkinci Dereceden Reaksiyon Kinetiği

SDBS adsorpsiyonundan elde edilen veriler ikinci dereceden reaksiyon kinetiğine göre değerlendirilmiştir.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_s - q_t)^2 \quad (5.18)$$

Bu denklemde  $k_2$  ikinci dereceden reaksiyon kinetik sabitidir. Denklemle integrasyon uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

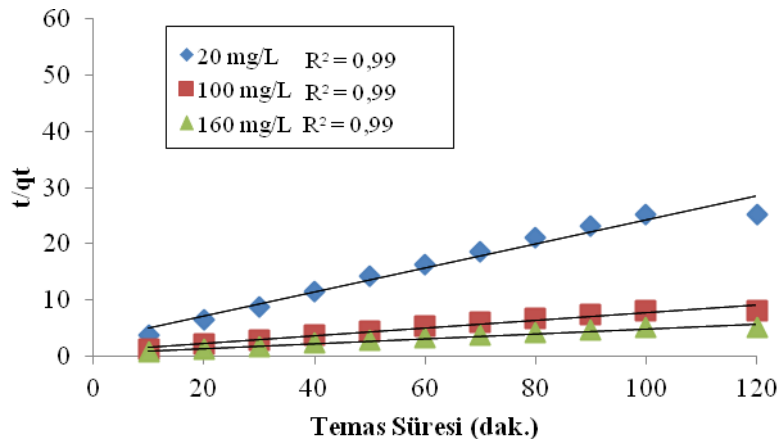
$$\frac{1}{q_e - q_t} = k_2 t + C_2 \quad (5.19)$$

Denklemdeki  $C_2$ , ikinci dereceden reaksiyon kinetiğinin integrasyon sabitidir.

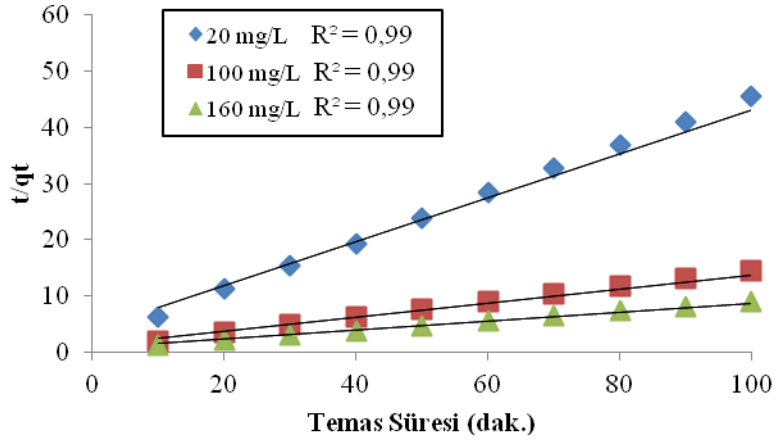
Yapılacak algoritmik bir düzenleme sonrası aşağıdaki gibi bir ifade elde edilir.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5.20)$$

SDBS adsorpsiyon verilerinin her iki adsorbent için  $t/q_t$ 'nin zamana bağlılık grafikleri çizilmiş ve Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.15: %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun ikinci dereceden kinetiği



Şekil 5.16: %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile SDBS adsorpsiyonunun ikinci dereceden kinetiği

Şekil 5.15 ve 5.16'daki eğrilerin eğimlerinden  $k_2$  hız sabitleri hesaplanmıştır.

Birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kinetiklerine ait.  $q_{e,hesaplanan}$  ve  $q_{e,deneysel}$  değerleri, adsorpsiyon hız sabitleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo5.3: Birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kinetik parametreleri

PANİ	Başlangıç SDBS kon. (mg/l)	$q_{e,deneysel}$ (mg/g)	Birinci Derece			İkinci Derece		
			$k_1$ (1/dak)	$q_{e,hesaplanan}$ (mg/g)	$R^2$	$k_2$ (g/mg dak)	$q_{e,hesaplanan}$ (mg/g)	$R^2$
%10 ZnCl <sub>2</sub>	20	8.25	$3.65 \times 10^{-2}$	2.36	0.89	$2.14 \times 10^{-1}$	8.26	0.99
	100	19.5	$2.69 \times 10^{-2}$	17.5	0.94	$6.87 \times 10^{-2}$	19.5	0.99
	160	120.5	$2.49 \times 10^{-2}$	8.5	0.88	$4.29 \times 10^{-2}$	120.49	0.99
%8 CuCl <sub>2</sub>	20	9.0	$3.25 \times 10^{-2}$	2.89	0.97	$3.90 \times 10^{-1}$	9.1	0.99
	100	20.5	$3.23 \times 10^{-2}$	15.25	0.98	$1.25 \times 10^{-1}$	20.35	0.99
	160	136	$3.21 \times 10^{-2}$	12.76	0.97	$7.8 \times 10^{-2}$	136.5	0.99

Tablo 5.3'ten görülmektedir ki, birinci dereceden reaksiyon kinetiğinde %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ adsorbentleri için  $q_{e,hesaplanan}$  ve  $q_{e,deneysel}$  değerleri arasındaki fark ikinci dereceden reaksiyon kinetiğiyle karşılaştırıldığında daha fazladır. Ayrıca iki adsorbent türü için de ikinci dereceden reaksiyon kinetiklerinin  $R^2$  değerleri 0.99 dur. Çalışmaların her iki adsorbent türü için ikinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğu görülmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SDBS'nin adsorpsiyonunda 11 adet adsorbent (ham PANİ,%2,%4,%6,%8,%10 ZnCl<sub>2</sub> dopant katkılı PANİ ve %2,%4,%6,%8,%10 CuCl<sub>2</sub> dopant katkılı PANİ) sentezlenmiş ve bunlardan en iyi giderim verimine sahip iki adsorbentle çalışmalar sürdürülmüştür. Giderimde en etkin verimi sağlayan 0.5 g %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve 0.9 g %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ ile gerçekleştirilen deney sonucunda optimum koşullar sağlanmıştır.

Adsorpsiyon proseslerinin açıklanmasında yaygın olarak kullanılan Langmuir ve Freundlich izotermine deneysel sonuçlar uygulanmıştır. Sonuçların her iki izoterme uyum sağladığı ortaya konmuştur. Langmuir izotermine %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ için  $V_m$  tek tabaka adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 7.42 mg/g ve 37.31 mg/g, Freundlich izotermine ise  $K_f$  adsorpsiyon kapasiteleri 0.66 mg/g ve 1.20 mg/g olarak bulunmuştur.

Deneysel çalışmalara termodinamik  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  ve  $\Delta G$  parametreleri uygulanmıştır.  $\Delta G$  ve  $\Delta S$ 'in negatif değerlerde olması, adsorpsiyonun spontan ve çözelti içerisindeki molekül yapısının düzenli olduğunu göstermektedir.

SDBS adsorpsiyonuna birinci ve ikinci dereceden reaksiyon kinetiği uygulanmıştır. %10 ZnCl<sub>2</sub> PANİ ve %8 CuCl<sub>2</sub> PANİ adsorbentleri için  $q_{e,hesaplanan}$  ve  $q_{e,deneysel}$  değerleri birbirine yakın olduğundan adsorpsiyonun ikinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğu görülmektedir.

Kullanılan adsorbentlerin yeni ve maliyetlerinin düşük, ayrıca organik kirleticilerin gideriminde etkili olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

Adak, A., Bandyopadhyay, M., Pal, A., “Removal of anionic surfactant from wastewater by alumina: a case study”, *Colloid. A*, 254, 165–171, (2005).

Alkan, M., Doğan, M., “Adsorption of copper(II) onto perlite”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 243, 280-291, (2001).

Alkan, M., Doğan, M., Onganer, Y., “Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto perlite”, *Water, Air & Soil Pollution*, 120, 229-248, (1998).

Alyüz, B., Veli, S., “Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by Ion Exchange Resins”, *Journal of Hazardous Materials*, 167, 482-488 (2009).

Arslan, A., Veli, S., “Zeolite 13X for adsorption of ammonium ions from aqueous solutions and hen slaughterhouse wastewaters”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, doi:10.1016/j.jtice.2011.11.00, (2011).

Aydoğan, N., “Yüzey Aktif Madde Karışımları: Sinerji Ve Kimyasal Proseslere Uygulamaları” *Tübitak Proje Raporu, MAG 265*, 7-15, (2006).

Deterjan Önlem Raporu, *Avrupa Çevre Ajansı Raporu*, 1-25, (2007).

Fu, E., Somasundaran, P., Maltesh, C., “Hydrocarbon and alcohol effects on sulfonate adsorption on alumina”, *Colloids Surf. A*, 112, 55–62, (1996).

Gupta, S., Pal, A., Ghosh, P.K., Bandyopadhyay, M., “Performance of waste activated carbon as a low-cost adsorbent for the removal of anionic surfactant from aquatic environment”, *J. Environ. Sci. Health A*, 38, 381–397,(2003).

Hai-ling, W., Zheng-hao, F., Jin-long, C., Quan-xing, Z., Yan-hua, X., “Adsorption thermodynamics and kinetic investigation of aromatic amphoteric compounds onto different polymeric adsorbents”, *J. Environ. Sci.*, 19, 1298–1304, (2007).

Hu, Z., Shang, X., Yang, Y., Kong, C., Wu, H., “The electrochemical synthesis of polyaniline/polysulfone composite films and electrocatalytic activity for ascorbic acid oxidation”, *Electrochimica Acta*, 20, 750-759, (2005).

Khan, M.N., Zareen,U., “Sand sorption process for the removal of sodium dodecyl sulfate (anionic surfactant) from water”, *J. Hazard. Mater.*, 133, 269–275,(2006).

- Kowalska, I., Kabsch-Korbutowicz, M., Majewska-Nowak, K., Winnicki, T., "Separation of anionic surfactants on ultrafiltration membranes", *Desalination*, 162, 33-40,(2004).
- Kye-Hong, K., Hong-Un, K., Kyung-Hee, L., Noh-Hee, J., "Mixed micellization of anionic dodecyl sulfate and cationic octadecyl trimethyl ammonium chloride", *Bull. Korean Chem. Soc.*, 22, 1009-1014, (2001).
- Mi-Na, Z., Xue-Pin, L., Bi, S., "Adsorption of surfactants on chromium leather waste", *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 90, 1-6, (2005).
- Özdemir, O., Çınar, M., Sabah,E., Arslan, F., Çelik, M.S., " Adsorption of anionic surfactants onto sepiolite", *J. Hazard. Mater.*, 147, 625-632, (2007).
- Özdemir, U., Özbay, B., Veli, S., Zor, S., "Modeling adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) onto polyaniline (PANI) by using multi linear regression and artificial neural networks", *Chemical Engineering Journal*, 178, 183-190, (2011).
- Özkazanç, E., Zor, S., Özkazanç, H., "Structural and dielectric properties of CuCl<sub>2</sub> and ZnCl<sub>2</sub> doped polyaniline", *Polym. Composit*, 31, 1862-1868, (2010).
- Paralı, H., "Sabun sanayiinde geleneksel metodların alternatif teknolojileri" *Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi*, 1-6, (2001).
- Peng, X., Li,Y., Luan, Z., Di, Z., Wang, H., Tian,B., Jia, Z., "Adsorption of 1,2-dichlorobenzene from water to carbon nanotubes", *Chem. Phys. Lett.*, 376, 154-158, (2003).
- Purakayastha, P.D., Pal, A., Bandyopadhyay, M., "Adsorbent selection for anionic surfactant removal from water", *Indian J. Chem. Technol.*, 12, 281-284, (2005).
- Ravey, J.C, Stebe, M.J., "Properties of fluorinated non-ionic surfactant-based systems and comparison with non-fluorinated systems", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 84, 11-31, (1994).
- Reis, M.J., Silve'rio, F.,, Tronto, J., Valim, J.B., "Effects of pH, temperature, and ionic strength on adsorption of sodium dodecylbenzenesulfonate into Mg-Al-CO<sub>3</sub> layered double hydroxides", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65, 487-492,(2004).
- Rosen, M.J., "Surfactants and Interfacial Phenomena", Second Edition, *John Walley and Sons, New York*, (1989).
- Sarikaya, Y., "Fizikokimya", 9.baskı, *Gazi Kitabevi*, 250-275, (2008).



Sıdal, U., Kolankaya, N., Kurtonur, C., “Pseudomonas sp. ile Zeytinyağı fabrikası atığından biyosümfektan eldesi”, *Turk J Biol*, 24, 611–625. (2000).

Toledo, M.I., Méndez-Díaz, J.D., Sánchez-Polo, M., Rivera-Utrilla, J., Ferro-García, M.A., “Adsorption of sodium dodecylbenzenesulfonate on activated carbons: Effects of solution chemistry and presence of bacteria”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 317, 11–17, (2008).

Taffarel, S.R., Rubio, J., “Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate from aqueous solution using a modified natural zeolite with CTAB”, *Mineral Engineering*, 23, 771–779, (2010).

Vale, H.M., Timothy, F.M., “Adsorption of sodium dodecyl sulfate and sodium dodecylbenzenesulfonate on poly(vinyl chloride) latexes”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 268, 68–72, (2005).

Varga, I., Keszthelyi, T., Meszaros, R., Orsolya, H., Tibor, G., “Observation of a liquid-gas phase transition in monolayers of alkyltrimethylammonium alkyl sulfates adsorbed at the air/water interface”, *J. Phys. Chem. B*, 109, 872-878, (2005).

Veli, S., Alyüz, B., “Adsorption of copper and zinc from aqueous solutions by using natural clay”, *Journal Hazardous of Materials*, 149, 226-233, (2007).

Veli, S., Öztürk, T., “Kinetic modeling of adsorption of reactive azo dye on powdered activated carbon and pumice”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 14, 212-218, (2005).

Veliev, E.V., Öztürk, T., Veli, S., Fatullayev, A.G., “Application of diffusion model for adsorption of azo reactive dye on pumice”, *Polish Journal of Environmental Studies*, 15, 347-353, (2006).

Veli, S., Pekey, B., “Removal of copper from aqueous solution by ion exchange resins”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 13, 244-250, (2004).

Yang, W.B., Li, A., Fan, J., Yang, L., Zhang, Q., “Adsorption of branched alkyl benzene sulfonate onto styrene and acrylic ester resins”, *Chemosphere*, 64, 984–990, (2006).

Yılmaz, M.A., “Deterjan teknolojileri”, *Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul*, 1-10, (2002).

Yılmaz, Ö., Sunlu, U., Sunlu, F.S., “İzmir Körfezi’nde Anyonik Deterjan Düzeylerinin Araştırılması”, *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 23, 107–111, (2006).

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Özdemir, U., Özbay, B., Veli, S., Zor, S., “Modeling adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) onto polyaniline (PANI) by using multi linear regression and artificial neural networks”, *Chemical Engineering Journal*, 178, 183-190, (2011).

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Safranbolu’da doğdu. İlköğretimi Yahya Kaptan İlköğretim Okulu’nda, orta öğretimi ise Kocaeli Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2005 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2009 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2009 yılından bu yana Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.