



Removal of Crude Oil Pollution in Water Using Expanded Perlite, Corncob and Fiber

Özkan AÇIŞLI^{1,2a*}, Eylül Miray CEYLAN^{2b}, Rüstem BİLMEZ^{2c}

¹ Atatürk Üniversitesi, Kimya Bölümü, Erzurum, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

(ORCID: ^a 0000-0002-4465-0916, ^b 0009-0001-7438-3230, ^c 0009-0007-6987-6747)

Geliş Tarihi/Received 27.04.2023	Kabul Tarihi/Accepted 05.06.2023	Yayın Tarihi/Published 15.06.2023
-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------

Abstract: It is aimed to remove crude oil in water by adsorption process by using expanded perlite, corncob and fiber as adsorbent materials in this study. The BET method was used to determine the specific surface areas of the adsorbent materials. According to ASTM F726-06 standard, the capacities of adsorbent materials on adsorption of Batman-Garzan oil in water and in salty water were assessed for short-term tests of 30 minutes and long-term testing of 180 minutes. As a result of the test revealed that each adsorbent's highest specific adsorption capacity was found to be 5.0 g/L adsorbent amount. The short-term test revealed that expanded perlite, corncob, and fiber each had an adsorbing capacity of 45.78, 51.95, and 82.52 mg of adsorbed oil/g adsorbent, respectively. In the long-term test results, the adsorption capacities of the adsorbents for expanded perlite, corncob and fiber were found to be 130.63, 173.01 and 134.16 mg of adsorbed oil/g adsorbent, respectively. Crude oil removal percentages of the short-term test were determined as 21.16 for expanded perlite, 21.79 for corncob and 24.18 for fiber. It was found that the crude oil removal percentage was 63.06 for expanded perlite, 38.22 for corncob and 43.71 for fiber the long-term test results. Crude oil removal percentages of long-term tests in salty water were calculated at 30.28 for expanded perlite, 34.78 for corncob and 17.42 oil for fiber. In short and long-term test studies investigating the specific crude oil adsorption capacity; the highest adsorption capacity was observed in fiber with 18 mg/g adsorbent in the short-term test, while it was observed in expanded perlite with 2588 mg/g adsorbent in the long-term test.

Keywords: Oil pollution, adsorption, expanded perlite, corncob, fiber

Genleşmiş Perlit, Mısır Koçanı ve Elyaf Kullanılarak Sudaki Ham Petrol Kirliliğinin Giderilmesi

Özet: Bu çalışmada adsorpsiyon prosesi ile sudaki ham petrolün temizlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla adsorban malzeme olarak genleşmiş perlit, mısır koçanı ve elyaf kullanılmıştır. Kullanılan adsorbanların özgül yüzey alanları BET metodu ile belirlenmiştir. Kullanılan adsorbanların, Batman-Garzan sahası ham petrolünü, su ve tuzlu su ortamından adsorplama kapasiteleri ASTM F726-06 standartlarına göre 30 dakikalık kısa süreli ve 180 dakikalık uzun süreli testler ile belirlenmiştir. Test sonuçlarında, her bir adsorbanın en yüksek adsorpsiyon kapasitesine 5.0 g/L'lik adsorban miktarında sağlandığı görülmüştür. Adsorbanların kısa süreli test sonucunda adsorplama kapasiteleri sırasıyla, genleşmiş perlitin 45.78 mısır koçanının 51.95 ve elyafın 82.52 mg/g olarak bulunmuştur. Uzun süreli test sonuçlarında ise sırasıyla, genleşmiş perlitin 130.63; mısır koçanının 173.01 ve elyafın 134.16 mg/g olarak bulunmuştur. Kısa süreli testin (%) ham petrol giderim miktarları; genleşmiş perlit için 21.16, mısır koçanı için % 21.79 ve elyaf için 24.18 olarak bulunmuştur. Uzun süreli test sonuçlarında ham petrolün % gideriminde genleşmiş perlitin % 63.06, mısır koçanının % 38.22 ve elyafın ise % 43.71 olarak bulunmuştur. Tuzlu su kullanılarak yapılan uzun süreli test çalışmalarında (%) ham petrol gideriminin; genleşmiş perlitin 30.28; mısır koçanının 34.78 ve elyafın 17.42 olarak bulunmuştur. Özgül ham petrol adsorpsiyon kapasitesinin araştırıldığı kısa ve uzun süreli test çalışmasında, kısa süreli test için 918 mg/g ile elyafın, uzun süreli test için ise 2588 mg/g ile genleşmiş perlitin en yüksek adsorpsiyon potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Petrol kirliliği, adsorpsiyon, genleşmiş perlit, mısır koçanı, elyaf

1. GİRİŞ

Dünya’da artan endüstrileşmeden dolayı enerjiye duyulan ihtiyacı karşılanmasında, ham petrol ve türevlerinin kullanımında büyük artış olmuştur [1]. Ham petrol üretiminin yapıldığı alanlardan diğer alanlara taşınması çok büyük oranda deniz ulaşımı ile yapılmaktadır [2]. Ham petrolün taşınması sırasında, başta insan hatasından kaynaklı birçok deniz kazası ve buna bağlı olarak petrol kirliliği meydana gelmektedir [1-3]. Ayrıca petrolün üretimi, depolanması, rafinerisi, taşınması ve ulaştırılması alanlarında yönetimsel ve bazı teknik konulardan kaynaklanan eksiklikler nedeni ile bu türden kazaların oluşturdukları atıklar, su kaynaklarına karışarak kirliliğe yol açmaktadır [1-3]. Ancak bu olumsuz etki petrolün miktarına, dağılım oranına, dağılan alanın yapısına bağlı olarak değişiklik gösterir. Büyük petrol kirliliklerine neden olan kazalar nispeten az olmasına karşın, sonuçları olumsuz çevresel etkiden dolayı oldukça büyük olabilmektedir. Devletler bu kazaların önlenmesi için etkin çözümler üretmeye ihtiyaç duymaktadırlar. Dökülen petrol miktarını minimum düzeye indirecek çözümlerin bulunması ile çevrenin korunması sağlanmış olacaktır [4]. Yüksek hidrokarbonlu yapıya sahip olan bu organik kirliliği önlemek ve olumsuz etkilerini minimize etmek için küresel çapta ciddi çalışmalar ve yatırımlar yapılmakta ve çeşitli arıtım metotları geliştirilmektedir [1]. Arıtım için uygulanan kimyasal ve fiziksel yöntemler arasında elektrokimyasal arıtım, kimyasal koagülasyon/flokülasyon, biyolojik oksidasyon, ozonlama, adsorpsiyon, membran filtreleme ve biyolojik arıtım gibi geleneksel metotlar yer almaktadır [5-7]. Atık petrol giderimi için uygulanan geleneksel metotlardan ikisi flotasyon ve koagülasyondur. Flotasyon prosesi, sudan daha az yoğunluğa sahip olan petrolün suyun yüzeyinde yüzdürülmesi işlemine dayanır. Koagülasyon prosesinde ise, stabilize edilen askıdaki partiküller, kolloidler ve petrol atıkları bir araya gelerek daha büyük floklar oluşturularak sudan daha yoğun ve ağır hale getirilip çöktürülerek bertaraf edilir [1]. Atık petrolün sulu ortamdan arıtılması geleneksel yöntemler ile giderilemeyecek kadar zor ve karmaşık olduğu bilinmektedir. Geri kazanım için kullanılan geleneksel yöntemler zaman alıcı ve pahalıdır [8]. Dökülen petrolün tümünü uzaklaştırma işlemi sadece zaman alıcı olmakla kalmaz, aynı zamanda geri kazanılan petrolün çoğu büyük bir enerji kaybı olan adsorbanla birlikte atılır [9]. Bu nedenle işlenmesi kolay, petrolü hızlı bir şekilde adsorbe edebilen ve büyük bir adsorpsiyon kapasitesine sahip adsorbanlara olan ihtiyaç son yıllarda artmıştır [8-10]. Çalışmamızda Batman Garzan Petrol Sahasından alınan ham petrol atığı adsorpsiyon yöntemiyle giderilmeye çalışılmıştır. Adsorban madde olarak mısır koçanı, elyaf ve genişmiş perlit kullanılmıştır. Sodyum klorür tuzu kullanılarak deniz suyuna benzer koşullar elde edilmeye çalışılarak; tuz etkisi, adsorban madde

miktarı, kısa ve uzun süreli testler ile incelemeler yapılmıştır.

2. Materyal ve metod

Bu çalışmada; adsorban malzeme olarak genişmiş perlit, mısır koçanı ve elyaf kullanılarak petrolü adsorplama kapasiteleri araştırılmıştır. Kullanılan Adsorban malzemelerin bir takım fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Kullanılan perlit Taşper Perlit San. Ve Tic. Ltd. Şti firmasından, mısır koçanı ve elyaf ise yerel marketlerden temin edilmiştir. Ham petrol örnekleri ise Batman Garzan Sahası bölgesinden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan mısır koçanı laboratuvar ortamında el ile öğütülerek ince taneli boyutlara getirilmiştir. Genleşmiş perlit ve elyaf ise herhangi bir işleme tabii tutulmadan doğrudan kullanılmıştır. Tablo 2’de deneysel çalışmada kullanılan ham petrolün özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Adsorban malzemelerin fiziksel özellikleri

Adsorban	Yoğunluk (kg/m ³)	Boyut (cm)	Spesifik yüzey alanı (m ² /g)
Genleşmiş Perlit	70–130	0.07 (75%) 0.43 (25%)	1.88
Mısır Koçanı	721	0.5-1.0	0.51
Elyaf	1.31	4-5	0.17 ± 0,06

Tablo 2. Batman-Garzan Sahası ham petrolünün özellikleri

Özellik	Batman-Garzan Sahası
API gravite	19
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	0.894
Viskozite (20 °C, cSt)	9.676

Yüzey alanı ölçümleri ZEISS SİGMA 300 model cihazı kullanılarak adsorban malzemelerin yüzey alanları BET yöntemi ile hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada, farklı relatif basınçlarda azot gazı gönderilerek adsorpsiyon ve desorpsiyon ölçümleri yapılmış ve BET izotermine göre yüzey alan değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra adsorban numuneler içerisindeki gözeneklerdeki oluşmuş olabilecek tıkanmaların temizlenmesi için vakum altında 50 °C’da 1 saat süreyle gaz giderme işlemi uygulanmıştır.

Adsorbanların petrolü adsorplama kapasitelerinin belirlenmesi için yapılan deneyler ASTM F726-06 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir [11]. Deneyler

20 °C’de termostatik çalkalayıcıda 120 devir /dakika karıştırma hızında 100 mL çalışma numuneleri ile 30 dakika kısa süreli ve 180 dakika uzun süreli testlere tabii tutularak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan ham petrolden 1 mL alınıp (0.894 g) 100 ml suya konularak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada belirlenen optimal miktar (5.0 g/L) kullanılarak deneysel işlemler yapılmıştır. Ayrıca adsorbanlardan çöken miktarlar kurutulup tartılarak hesaplama dışı bırakılmıştır. Adsorplama işleminden sonra numuneler örgü sepette 30 saat süzölmüş ve tartımları hassa terazi ile yapılarak hesaplamalara geçilmiştir. Deneyler her bir test üç kez tekrarlanmış ve bu testlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Ölçüm hesaplamalarında kullanılan denge adsorpsiyon miktarı (q_e), ve % giderim bağıntıları madde miktarları esas alınarak aşağıdaki denklemlere göre hesaplandı [12]:

$$q_e = \frac{(m_0 - m_t)V}{W} \dots \dots \dots 1$$

$$\text{Tutulan petrol (\%)} = \frac{(m_0 - m_t)}{m_0} \times 100 \dots \dots \dots 2$$

Burada, q_e bir gram adsorban başına adsorbe edilen ham petrol miktarıdır (mg/g), m_0 : Başlangıç petrol miktarını m_t : Herhangi bir t anında ortamda kalan petrol miktarını, V: çözeltinin hacmini (L) ve W: eklenen adsorbanın (g) kuru ağırlığını vermektedir.

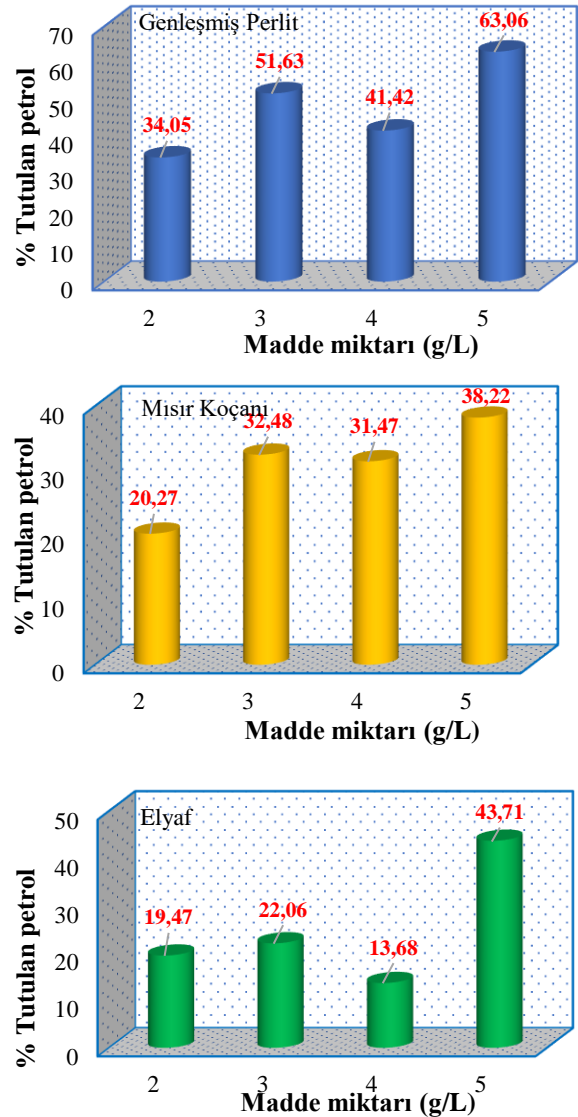
3.BULGULAR

3.1. Optimal adsorbent miktarının belirlenmesi

Şekil 1’de görüldüğü üzere, optimal adsorban miktarlarını belirlemek için, 30 dakikalık kısa süreli deney sürecinde, adsorban dozajı 2.0, 3.0, 4.0 ve 5.0 g/L gibi farklı miktarlardaki adsorban miktarları ile bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirildi.

Grafik incelendiğinde optimal adsorban dozajının belirlenen süre için, 5.0 g/L ile en yüksek adsorplanma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Adsorban miktarının dozajı 2.0 g/L’den 5.0 g/L’ye artırıldığında, adsorpsiyon verimliliğinde her üç numune içinde yaklaşık olarak %50’ye yakın oranda bir artış gözlemlendi. Bunun nedeni, adsorban malzemenin miktarı arttıkça, katı/sıvı oranındaki değişime bağlı olarak adsorbent-adsorbat etkileşimlerin daha fazla olabileceği ve buna bağlı olarak adsorplanan madde miktarında artışa bağlanabilir [13,14]. Bu nedenle optimal adsorban miktarı 5.0 g/L olarak belirlendi ve

bundan sonra gerçekleştirilen deneylerde bu miktar baz alındı.

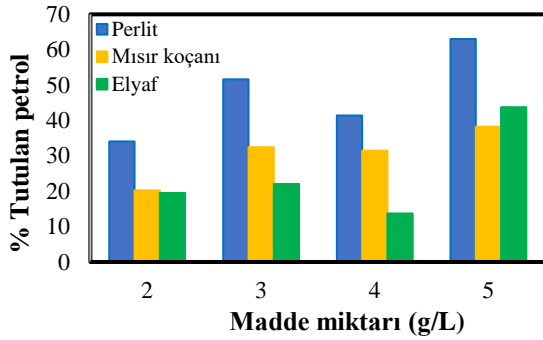


Şekil 1. Kısa süreli testte farklı adsorban miktarlarının Batman-Garzan petrolünün % adsorplanma verimi (Deneysel Koşullar: T:293 K, pH: Doğal pH)

3.2. Adsorpsiyon prosesi üzerine farklı adsorbanların etkisi

Adsorpsiyon prosesinde olay adsorbanın yüzeyinde gerçekleştiği için adsorpsiyon kapasitesi yüzey alanı ile doğrudan orantılıdır. Gözenekli yapıların yüzey alanları büyüktür. Küçük gözenek çapına sahip olan katıların yüzey alanı büyük, yoğunlukları ise düşüktür buna karşın büyük gözenek çapına sahip olan katıların, yüzey alanı daha düşük ve yoğunlukları ise daha yüksektir. Bunun sonucunda adsorbanın partikül boyutunun küçük, yüzey alanının geniş ve gözenekli

yapıda olması adsorpsiyonu artıracaktır [2,15,16]. Şekil 2'deki grafikte farklı adsorbanların, petrolü adsorplama kapasitelerinin yüzdesi verilmiştir.



Şekil 2. Uzun süreli teste farklı adsorban miktarlarının Batman-Garzan petrolünü % adsorplanma verimi (Deneysel Koşullar: T:293 K, pH: Doğal pH)

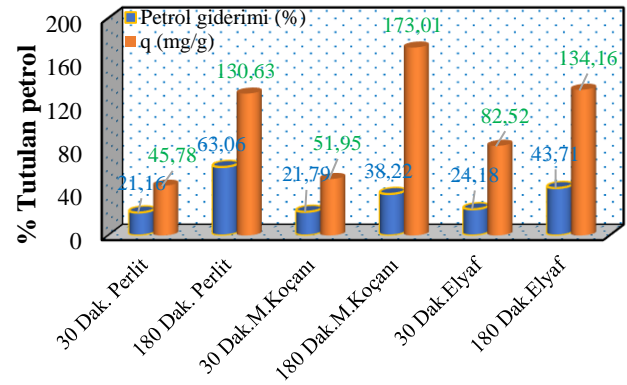
Şekil 2'den görüldüğü üzere, perlit ile yapılan testlerin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni genişmiş perlitin yüksek oranda mezo (orta) ve mikro (küçük) gözeneklere sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca mezo gözenek yapısına sahip adsorbanların organik kökenli bileşiklerin adsorpsiyonunda daha etkin olduğu bilinmektedir [17]. Dolayısıyla daha büyük bir yüzey alanına sahip olan genişmiş perlit bu çalışmada daha etkin bir adsorpsiyon verimine sahip olmuştur. Yapılan çalışmada mısır koçanı elyafa göre daha aktif bir adsorpsiyon sergilediği gözlemlenmiştir. Fakat adsorban miktarı arttığında elyafın daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak yapılan çalışmalarda; organik atık gideriminde hidrofobik özelliğe sahip olan adsorbanlar tercih edilmiş, bunun yanında hidrofilik karakterli adsorbanlara ise hidrofobik karakter kazandırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca nisbi hidrofillik özelliğe sahip selülozik elyaf ve organokil gibi adsorbanlarında kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur [18,19]. Farklı adsorbanların petrol tutma kapasiteleri şekil 4'te verilmiştir.

3.3. Sürenin adsorpsiyon prosesi üzerine etkisi

Adsorpsiyon prosesinde süre önemli parametrelerden biridir. Sürenin proses üzerine olan etkisi Şekil 4'de verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, artan süre ile adsorpsiyon kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Artan süre, genişmiş perlitin Batman-Garzan petrolünün adsorpsiyonunda en iyi sonucu vermiştir. Kısa süreli test neticesinde elde edilen sonuçta ise elyafın en yüksek verimi sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Farklı adsorbanların petrol tutma kapasiteleri



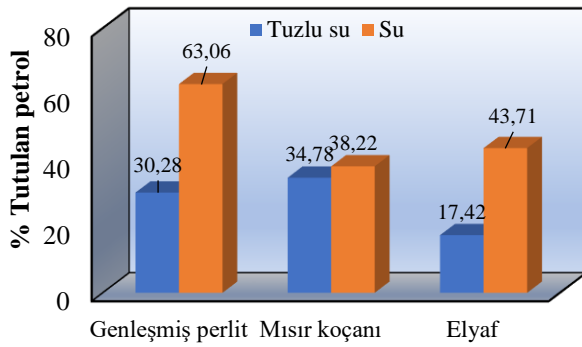
Şekil 4. Farklı adsorbanlar üzerine Batman-Garzan petrolünün adsorpsiyon prosesinde sürenin etkisi (Deneysel Koşullar: T:293 K, pH: Doğal pH, Adsorbent miktarı: 5 g/L)

3.4. Petrol Adsorpsiyonunda Tuzlu Suyun Etkisi

Tuz adsorpsiyon prosesini olumsuz etkileyen bir etken olduğu bilinmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda üç tür adsorban malzemenin de tuzlu suyu adsorplama kapasitelerinin, tatlı suya göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu çalışmada bulunan sonuç Çubuk ve arkadaşları tarafından farklı adsorbanlar kullanılarak yapılan çalışma ile benzer bir sonucu vermiştir [2]. Tuzlu suda adsorpsiyonun düşük olmasının nedeni, tuz ilavesinin su yoğunluğunu ve iyon yükünü artırdığı bunun sonucunda prosesteki adsorpsiyon prosesinde difizyonu azalttığı düşünülmektedir. Literatürde çözüldüğü iyon yükünün artmasının adsorpsiyon hızını düşürdüğü bildirilmektedir [20]. Benzer çalışmalarda olduğu gibi, bu çalışmada da deniz suyunu simüle edebilmek için NaCl içeren su kullanılmıştır [21,22].

Kütlece %2.5'lük NaCl içeren su numunesi ve uzun süreli teste göre petrolün adsorbentler tarafından % tutulma kapasiteleri Şekil 5'de verilmiştir.

Grafikten görüldüğü üzere, adsorbantların tuzlu suyu adsorplama kabiliyetlerinin tatlı suya göre daha düşük olduğu literatür ile uyumludur. Bu duruma sudaki iyon yükünün artışından kaynaklı olarak, prosesin difüzyona olan olumsuz etkisinden dolayı, adsorplanma hızının düşmesinden kaynaklanmaktadır [20]. Ayrıca tuzun adsorbentlerin aktif bölgelerine adsorplanması ve buna bağlı olarak zeta potansiyelinin değişmesi sonucunda adsorbent performansında bir azalmanın olabileceği düşünülmektedir. Bu durumda kullanılan adsorban malzemelerin denizde petrol kaynaklı kirliliklerin uzaklaştırılmasında tatlı suya göre daha az etkin olduğu görülmektedir. Petrol gideriminin amaçlandığı benzer bir çalışmada, organokil gibi tam hidrofobik olmayan malzemeler ile yapılan giderimde, ham pamuk elyafına yakın sonuçlar elde edilmiştir [18].



Şekil 5. Uzun süreli test sonucunda adsorbantların tuzlu suda ve suda ham petrolü (%) adsorplama kapasitesi (Deneysel Koşullar: T:293 K, pH: Doğal pH, Adsorbent miktarı: 5 g/L)

3.5. Adsorban malzemelerin özgül petrol adsorplama kapasiteleri

ASTM F726-06 test standardına göre yapılan petrol adsorplama test sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Özgül petrol adsorplama kapasiteleri aşağıdaki bağıntıya göre belirlenmiştir [8].

$$OSC = \frac{(m_1 - m_0)}{m_0} \dots \dots \dots 3$$

Burada;

OSC: Özgül petrol adsorplama kapasitesi

m₀: Test öncesi adsorban ağırlığı

m₁: Test sonrası adsorban ağırlığı

Tablo 3'de kısa ve uzun süreli test verilerine göre, farklı adsorbantların, kısa süreli teste göre özgül petrol adsorplama kapasitesinde en düşük verimin genleşmiş perlitte en yüksek verimin ise elyaf da olduğu görülmüştür. Aynı şekilde uzun süreli test verileri göz önüne alındığında en yüksek verimin genleşmiş perlitte ve en az verimin ise mısır koçanında olduğu belirlenmiştir. Adsorbantların petrol ile birlikte suyu da adsorplaması, adsorbantların hidrofilik yapıda olduklarını göstermektedir.

Tablo 3. Adsorban malzemelerin özgül petrol adsorplama kapasiteleri

Ads. Malzeme	Kısa süreli test			Uzun süreli test		
	m ₀ (g)	m ₁ (g)	OSC	m ₀ (g)	m ₁ (g)	OSC
Genleşmiş Perlit	0.432	0.762	0.764	0.262	0.940	2.588
Mısır Koçanı	0.412	0.750	0.820	0.413	1.118	1.707
Elyaf	0.414	0.794	0.918	0.375	1.074	1.864

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneyler neticesinde, optimal adsorban miktarının her bir malzeme için için 5.0 g/L olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, Adsorban olarak kullanılan perlit, mısır koçanı ve elyaf malzemelerinin petrol giderimi etkinliğinin değerlendirilmesinde, uzun süreli test için genleştirilmiş perlitin en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılan her üç adsorbantın da petrol kirliliklerinin giderilmesinde temizleme sorbentleri olarak kullanılabilmelerine imkan sağlanacağı düşünülmektedir. Ayrıca malzemelerin modifikasyon ile hidrofobitesi artırılarak daha etkin oranlarda ham petrol adsorplanma veriminin artırılacağı düşünülmektedir.

Çıkar çatışmaları

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Onay: Bu çalışma için Etik Onayı gerekmemektedir.

Kaynakça

- [1] Erol Nalbur, B., Karaelli, E., "Petrol İçeren Atık Suların Arıtılabilirliği Ve Arıtım Sisteminin Tasarlanması", Uludağ Univ. J. Fac. Eng., (2019), 24, 231-242.
- [2] Çubuk, M., Metin, G., Uğurlu, E.L., "Atık Strafor, Çay Lifi Ve Polistiren Köpük Kullanılarak Sudaki Petrol Kirliliğinin Giderilmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg., (2014), 29, 281-287.
- [3] Xu, X., Liu, W., Tian, S., Wang, W., Qi, Q., Jiang,

- P., Gao, X., Li, F., Li, H., "Petroleum Hydrocarbon-Degrading Bacteria for the Remediation of Oil Pollution Under Aerobic Conditions: A Perspective Analysis", *J F. in microbiology*, (2018), 1-11.
- [4] Baylan, Ü., "Deniz Ulaşımında Petrol Kirliliğine Müdahale Sistemi: Türkiye Ve Avrupa Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2011).
- [5] Chen, G., He, G., "Separation of water and oil from water-in-oil emulsion by freeze/thaw method", *Sep. Purif. Technol.*, (2003), 31, 83-89.
- [6] Açışlı, Ö., "Asit mavisi 185 boyar maddesinin bozunma veriminin; farklı miktarlarda demir içeren doğal hematit, siderit ve manyetit minerallerinin adsorpsiyon, Fenton ve Foto-Fenton benzeri proseslerdeki verimliliklerinin karşılaştırılması", *Eur. J. Sci. Technol.*, (2019) 199-209.
- [7] Ikhtlaq, A., Brown, D.R., Kasprzyk-Hordern, B., "Catalytic ozonation for the removal of organic contaminants in water on alumina", *Appl. Catal. B Environ.*, (2015), 165, 408-418.
- [8] Choi, H.J., "Agricultural bio-waste for adsorptive removal of crude oil in aqueous solution", *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, (2019), 21, 356-364.
- [9] Suni, S., Kosunen, A.L., Hautala, M., Pasila, A., Romantschuk, M., "Use of a by-product of peat excavation, cotton grass fibre, as a sorbent for oil-spills", *Mar. Pollut. Bull.*, (2004), 49, 916-921.
- [10] Afenyo, M., Khan, F., Veitch, B., Yang, M., "A probabilistic ecological risk model for Arctic marine oil spills", *J. Environ. Chem. Eng.*, (2017), 5, 1494-1503.
- [11] ASTM Standard F726-06. "Standard Test Method for sorbent Performance of Adsorbent" In 2006 Annual Book of ASTM Standards; American Society for Testing and Materials (ASTM): West Conshohocken, PA., (2006).
- [12] Açışlı, Ö., Karaca, S., Gürses, A., "Investigation of the alkyl chain lengths of surfactants on their adsorption by montmorillonite (Mt) from aqueous solutions", *Appl. Clay Sci.*, (2017), 142, 90-99.
- [13] Açışlı, Ö., "Preparation of Fe₃O₄/organo-montmorillonite nanocomposite and its use as an adsorbent for removal of an anionic dye", (2019), 139, 369-378.
- [14] Kiransan, M., Soltani, R.D.C., Hassani, A., Karaca, S., Khataee, A., "Preparation of cetyltrimethylammonium bromide modified montmorillonite nanomaterial for adsorption of a textile dye", *J. TAIWAN Inst. Chem. Eng.*, (2014), 45, 2565-2577.
- [15] Karaboyacı M., "Modifiye edilmiş lignoselülozikler ile ağır metal adsorpsiyonu" Doktora Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2010).
- [16] Kayacan, S., "Kömür ve koklarla sulu çözeltilerden boyar maddelerin uzaklaştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [17] Türkoğlu, S., "Sudaki Fenolik Kirleticilerin Farklı Adsorplayıcılara Adsorpsiyonu ve Katının Mikrodalga Rejenerasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2010).
- [18] Carmody, O., Frost, R., Xi, Y.F., Kokot, S., "Surface characterisation of selected sorbent materials for common hydrocarbon fuels", *Surface Science*, (2007), 601, 2066-2076.
- [19] Teas, C., Kalligeros, S., Zankos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., "Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spills clean up", *Desalination*, (2001), 140, 259-264.
- [20] Duran, C., Şentürk, H.B., Bulut, V.N., Gündoğdu, A., Özdeş D., "Rodamin 6g Boyarmaddesinin Pirinç Kabukları Üzerine Adsorpsiyonu", *D.Ü.F.B.E. Dergisi*, (2009), 19-30.
- [21] Karakasi, O.K., Moutsatsou, A., "Surface modification of high calcium fly ash for its application in oil spill clean up", *Fuel*, (2010), 89, 3966-3970.
- [22] Zhang, H., Khatibi, M., Zheng, Y., Lee, K., Li, Z., V Mullin, J., "Investigation of OMA formation and the effect of minerals", *Mar. Pollut. Bull.*, (2010), 60, 1433-1441.