

## **Kozmetik Sektöründe Kullanılan Biyolojik Yüzey Aktif Madde ile Organik Kirleticilerin İslah Performansının Değerlendirilmesi**

Gökçe AKYOL<sup>1</sup>, Seda KARAYÜNLÜ BOZBAŞ<sup>2</sup>,  
Cafer ÖZKUL<sup>1</sup>, Nihat Hakan AKYOL<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

\*Correspondance Author: [nakyol81@yahoo.com](mailto:nakyol81@yahoo.com)

Received : 28.07.2021

Accepted: 10.08.2021

### **ÖZET**

Trikloroetilen (TCE) yeraltı suyu akifer sistemlerinde en çok gözlenen klorlu organik bileşiklerden biri olup kanserojen etkisinden ötürü insan sağlığı için ciddi tehlike oluşturmaktadır. Bu bileşikler yeraltına genellikle DNAPL olarak girerek genel olarak matriks ve akiferlerin tabanını oluşturan kil ya da ana kaya içerisinde (çanak) yüksek doygunlukta depolanarak uzun süreli çözünmüş faz kirletici kaynağı üretmektedir. Yerinde kimyasal yıkama teknolojisi organik kirleticilerin yeraltından uzaklaştırılması için kullanılan önemli ıslah tekniklerindedir. Çalışmanın amacı; akifer sistemlerin tabanında depolanmış yüksek doygunluktaki DNAPL kütlelerinin kozmetik sektöründe kullanılan biyolojik yüzey aktif madde olan rhamnolipid ile ıslah performansının değerlendirilmesidir. Kimyasal yıkama ile heterojen sistemlerde depolanan TCE kaynak zonları büyük oranda ıslah edilmesine rağmen, fiziksel ortam heterojenliği geniş ölçekte aşamalı konsantrasyon davranışı sergilemiştir. Sonuçlara göre, yıkamanın ilk anlarında organik kirletici hidrolik olarak elverişli zonlardan (matriks) gelirken, geç zamanlarda yüksek doygunluktaki hidrolik olarak elverişli olmayan zonlardan (çanak) gelmektedir. Ayrıca, DNAPL kaynak zonlarının dağılımı, doygunluğu ve yüzey aktif madde konsantrasyonu belirgin bir şekilde ıslah performansına etki etmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar, ulusal ve uluslararası alandaki önemli bilgi eksikliğine katkıda bulunacak ve arazi uygulamalarının geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** DNAPL, Kozmetik, Rhamnolipid, Trikloroetilen, Yüzey aktif madde

## **Assessment for Remediation of Organic Contaminants Using Cosmetic Biological Surfactant**

### **ABSTRACT**

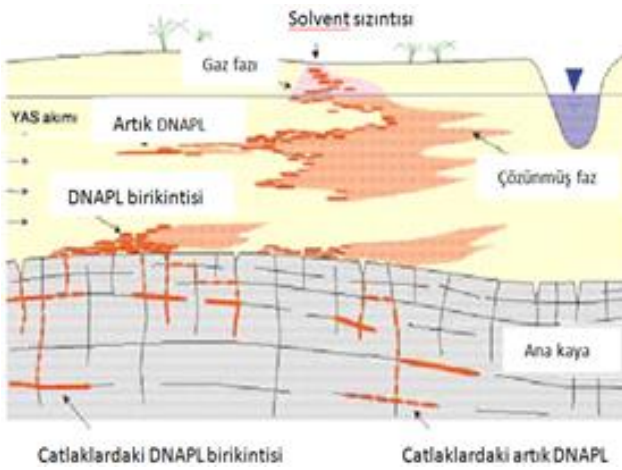
Contamination of groundwaters by chlorinated solvents such as trichloroethylene (TCE) is a widespread problem around the world and causes serious threat for human health due to being human carcinogen. Chlorinated solvents generally enter the subsurface as dense non aqueous phase liquids (DNAPL) and accumulation generally occurs in aquifers where the DNAPL mass is most likely pooled at the bottom of aquifers and become a long-term aqueous phase source zone for groundwater contamination. In situ immobilization or remediation of DNAPL source zones in such systems is crucial for protecting aquifer systems having significant groundwater potential. In situ chemical flushing (ISCF) is groundwater remediation techniques used to remove organic pollutants from the subsurface environment. The objective of the project is to test the enhanced-solubilization potential of cosmetic rhamnolipid surfactant flushing performances for the specific scenario of DNAPL sources trapped in heterogeneous aquifer media. The results emphasized that in the early stage, some portion of organic liquid is hydraulically accessible (matrix) whereas the later stage of mass removal was controlled by the more poorly-accessible mass (pool) associated with higher-saturation zones. Our results also showed that the distribution and the emplacement of organic liquid, flow-field heterogeneity, flushing solution and its concentration significantly influence on remediation effort. As a result, the performance of technology depends on the site characteristics which are critical to characterize effective DNAPL remediation strategies for contaminated sites.

**Keywords:** DNAPL, Cosmetic, Rhamnolipid, Trichloroethene, Surfactant

### **1. GİRİŞ**

Klorlu çözücüler önemli DNAPL kirletici gruplarından olup metal sanayinde ve havacılıkta yağ çözücü, kuru temizlemede ve elektronik sanayi gibi birçok alanda kimyasal çözücü olarak kullanılmaktadır. Trikloroetilen (TCE) yeraltı suyu akifer sistemlerinde en çok gözlenen klorlu organik bileşiklerden biridir. TCE'nin sudaki çözünürlüğü çok düşük olmasına rağmen (~1300 mg/L), içme

suyundaki müsaade edilen sınır değeri (5 µg/L) ile karşılaştırıldığında göreceli çözünürlüğü oldukça yüksektir. Klorlu solventler yeraltına çoğunlukla DNAPL (Dense nonaqueous phase liquids) olarak girerler. Dolayısıyla, yeraltında çok az miktarlarda bulunsalar dahi, çözülmüş faz TCE üretme potansiyeline sahip olup, büyük hacimlerde yeraltı su kütlelerini kirlenme riski oldukça yüksektir. DNAPL'ların yeraltındaki hareketi DNAPL miktarına, özelliğine, fiziksel ortam özelliklerine ve akım koşullarına bağlıdır [7]. Yeterli miktarda DNAPL mevcudiyetinde, su tablasından aşağıya doğru hareketine geçirgenliği düşük bir katmanla karşılaşıncaya kadar devam eder [9]. Doygun zonda DNAPL kütlelerinin bir kısmı suda çözülmeye başlarken bir kısmı ise matris içerisinde (küçük gözeneklerde) hapsolarak hareketsiz kalabilir. Diğer kısmı ise akifer sisteminin tabanını oluşturan geçirimsiz kil ya da ana kaya içerisinde veya üzerinde depolanmaktadır. Bu kütleler özellikle bu noktalarda DNAPL gölcükleri oluşturmakta olup, uzun vadede yer altı su kaynakları için potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Yeraltında DNAPL taşınımı ve dağılımı [12].

Özellikle bu noktalarda depolanan DNAPL kütlelerinin yayılımını engelleyerek kontrol altına alacak ya da temizleyecek teknolojilerin uygulanması oldukça önemlidir. DNAPL'lar ile kirlenmiş akiferlerin temizlenmesinde yıllarca geleneksel pompala ve arıt (pump and treat) teknolojisi uygulanmıştır. Organik kirlenme kütlelerinin saf fazdan çözülmüş faza geçiş kinetiğinin çok yavaş olması, kirliliğin pompala ve arıt gibi yöntemlerle temizleme

süresini uzatmakta ve DNAPL kütlelerini ortamdaki tamamen uzaklaştırmak için oldukça yüksek hacimlerde su ile yıkama gerektirmektedir [1]. Bazı sahalarda, pompala ve arıt teknolojisi ile kirlenme kütlelerinin konsantrasyonu hızlı bir şekilde azalmasına karşın, arıtma işlemi sonlandırıldıktan belirli zaman sonra DNAPL çözünmesinden ötürü yer altı suyu konsantrasyonunda tekrardan bir artış görülebilmektedir [4]. Bu durum 'pompala ve arıt teknolojisinin' yer altı sularında DNAPL kirliliğinin temizlenmesindeki performansının zayıf olduğunu işaret etmiş ve alternatif arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi gerekliliğini doğurmuştur [11].

Yüzeysel aktif madde ile yerinde kimyasal yıkama teknolojisi (ISCF), akiferlerin kaynak zonlarındaki DNAPL kütlelerini uzaklaştırmada kullanılan önemli ıslah teknolojilerinden biridir. Bu teknolojiye yüzeysel aktif madde ilavesi ile DNAPL'ların çözünürlüğü artırılarak ve yüzeysel gerilimi azaltılarak su ile yıkamaya oldukça daha etkin bir uzaklaştırma sağlanmaktadır [6, 2, 1, 8]. DNAPL dissolüsyonu ve DNAPL kütlelerinin depolandığı fiziksel ortamın durumu yüzeysel aktif maddeli "Yerinde kimyasal yıkama teknolojisi (ISCF)" ve "Pump and Treat" metodunu yansıtan laboratuvar ve arazi uygulamalarında da belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Diflippo ve diğ. (2010) tasarladığı farklı boydaki kuvars kumlarından oluşturulan heterojen jeolojik sistemlerde, geçirimsiz birim üzerinde yer alan DNAPL fazındaki TCE gölcüğün, Tween 80 yüzeysel aktif maddesi ile ıslahı test edildiğinde; fiziksel ortam özelliğinden ve çözünmenin kinetikle sınırlı olmasından dolayı ıslah performansı etkilenmektedir. Akyol ve diğ. (2013); yansıttığı 2 farklı heterojenlikte SDS yüzeysel aktif maddesinin, DNAPL fazındaki TCE'nin dağılımının ve yıkama hızının etkisinin ıslah performansına olan etkisini incelediğinde; özellikle fiziksel ortamın tabanını oluşturan geçirimsiz birim içerisinde gölcük şeklinde depolanan TCE kütlelerinin ıslahı matris oranla daha yavaş ve uzun sürmekte olduğu belirlenmiştir.

Akyol (2018) SDS yüzeysel aktif madde ile DNAPL TCE kaynak zonların silis kumlu ve karbonatlı doğal toprak içerisindeki ıslahına yönelik

yaptığı çalışmasında, diğer çalışmalarda gözlemlendiği gibi özellikle geçirimsiz çanak içerisinde depolanan kütlelerin ıslahının nispeten zor ve uzun süreli olduğunu tespit etmiştir. Bu durum özellikle fiziksel ortam heterojenliği daha ileri derecede olan doğal topraklar için daha da zordur. Bu gibi hidrolik olarak elverişli olmayan zonların mevcudiyetinden kaynaklanan ideal olmayan davranış ortamda yıkama ajanlarının olmadığı, doğal fiziksel ortam malzemelerinde de gözlenmiştir [1, 2].

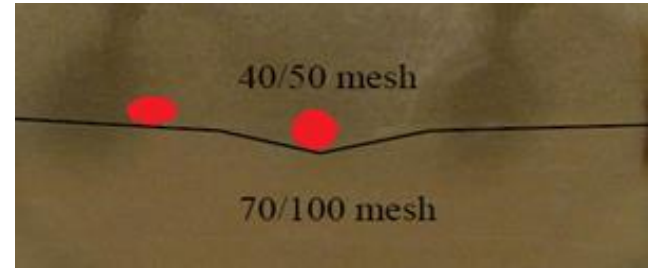
Tween 80 iyonik olmayan yüzeysel aktif madde olup, özellikle kozmetik ve gıda sektöründe özellikle su ve yağ gibi birbiri ile karışmayan sıvıların emülsifiye edilmesinde ve çözünmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Sodyum dodesil sülfat ise anyonik yüzeysel aktif madde olup, kozmetik ve temizlik sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden ötürü özellikle suyla karışmayan sıvılar (NAPL) ile kirlenmiş gözenekli ortamların ıslahında laboratuvar ve saha ölçekli ıslah çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır [1, 8, 10]. SDS ve Tween 80 yüzeysel aktif maddelerin özellikle yüksek doygunluktaki DNAPL kaynakların ıslahı genel olarak oldukça başarılı olmasına rağmen, teknolojinin başarısı jeolojik ortam heterojenliğinden, DNAPL kaynak zonların dağılımından ve yıkama kimyasalından büyük oranda etkilenmektedir [1, 8, 10].

Yukarıda da bahsedildiği gibi bu çalışmalar çoğunlukla sentetik yüzeysel aktif maddeler ile yapılmaktadır. Özellikle, kimya ve kozmetik sektöründe yoğun olarak kullanılan biyolojik kökenli yüzeysel aktif maddeler çevreye uyumlu olması ve düşük toksisitelerinden ötürü son dönemde çevresel çalışmalarda da kullanılmaya başlanmıştır [5]. Clifford ve diğ., (2007) araştırmalarında biyolojik kökenli ramnolipid yüzeysel aktif maddesi ile tetrakloroetilen çözündürme çalışmalarında iyimser sonuçlar elde etmiştir. Dolayısıyla, önerilen çalışmanın amacı; yer altı suyu akifer sisteminin yansıtıldığı 2 boyutlu tank deneyleri ile özellikle geçirimsiz tabanın üzerinde depolanmış olan DNAPL TCE kaynak zonların biyoloji kökenli ramnolipid yüzeysel aktif maddesi ile ıslah performansının potansiyelini değerlendirmektir. Çalışma kapsamında

silis kumlar yardımıyla fiziksel ortam heterojenliği yansıtılmış olup, iki farklı TCE kütlelerinde, dağılımında ve yüzeysel aktif madde konsantrasyonlarında ıslah performansı değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Tank deneyleri kapsamında farklı boyuttaki silis kumları kullanılmıştır. Silis kumları Kocaeli Gebze'de faaliyet gösteren Santoz Sanayi Tozları San. Tic. Lim. Şti'den temin edilmiştir. Elde edilen kuvars kumları oluşturulmak istenen farklı fiziksel ortam heterojenliği oluşturması amacıyla elekten geçirilerek arzu edilen boyutlara getirilmiştir. Tank deneyleri kapsamında 2 farklı boyutta (359 µm (40/50 mesh) ve 172µm (70/100 mesh)) silis kumları kullanılmıştır. Bunlar içerisinde, 70/100 mesh geçirimsiz tabandan oluşan çanağı temsil ederken, 40/50 mesh silis kum ise geçirimsiz ortamı (matriks) temsil etmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Yaratılan Fiziksel Heterojenlik

TCE, model kirlenici olarak kullanılırken biyolojik yüzeysel aktif madde olan Rhamnolipid yıkama ajanı olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda deneylerde kullanılması planlanan 2-D tank paslanmaz çelikten, ön yüzü ise DNAPL dağılımının gözlemlenebilmesi için cam malzemesinden yapılmıştır. Tankın üst kısmında sol, sağ ve orta noktasına DNAPL enjeksiyonuna olanak sağlayacak girişler yapılmıştır. Tankın sol ve sağ yanına solüsyon giriş ve çıkışı sağlayacak enjeksiyon delikleri açılmıştır. Tankın iç kısmına enjekte edilen çözeltinin daha iyi yayılmasını sağlayacak paslanmaz çelik bir filtre (12 µm) yerleştirilmiştir. Tankın girişi paslanmaz çelik boruyla HPLC pompasına bağlanırken çıkışında ise bir örnek alma yapısı oluşturulmuştur. Deneyler iki farklı TCE kütlelerinde, dağılımında ve ramnolipid konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Tank Deney Koşulları

2-D Tank deneyleri	Gerçek hız	Ajan türü	DNAPL doyumluğu	TCE ekleme noktası	TCE giderimi
	cm/saat	%	%	-	%
Deney 1	6.5	% 5 Ramnolipid	0.002	Tek nokta çanak	99.3
Deney 2	6.5	% 5 Ramnolipid	0.001+0.001	Tek nokta sol çanak+Tek nokta orta çanak	98.4
Deney 3	6.5	% 5 Ramnolipid	0.001	Tek nokta çanak	99.6
Deney 4	6.5	% 2.5 Ramnolipid	0.001	Tek nokta çanak	98.7

Yapılan ilk deneyde, 0.5 mL DNAPL TCE tankın orta noktasından (70/100 mesh) çanağın üzerine enjekte edilip %5 ramnolipid ile yıkanarak ıslah performansı incelenmiştir. İkinci deneyde ise, 0.5 mL DNAPL TCE tankın orta ve sol enjeksiyon deliklerinden yarı yarıya (70/100 mesh) çanağın üzerine enjekte edilip %5 ramnolipid ile yıkanmıştır. İlk iki deneyin amacı, DNAPL TCE kaynak zonların jeolojik sistemin farklı noktalarındaki dağılımını incelemektir. Üçüncü deneyde ise ilk iki deneyin aksine, 0.25 mL DNAPL TCE tankın sol enjeksiyon deliklerinden (70/100 mesh) çanağın üzerine enjekte edilip % 5 ramnolipid, dördüncü deneyde ise %2.5 ramnolipid ile yıkanmıştır. Yıkama hızı gerçek yeraltı suyu akış hızını temsil etmesi amacıyla 6.5 cm/saat olarak seçilmiştir (Akyol ve diğ., 2013; Akyol, 2018). Yapılan 4 adet deney setinde, ramnolipid yüzeyle aktif madde konsantrasyonunun, DNAPL TCE kütle miktarının ve dağılımının ıslah performansına olan etkisi değerlendirilmiştir.

DNAPL TCE kütlesinin silis kum içerisindeki yüksek doyumluktaki dağılımı Şekil 1'de görülmektedir. Tank deneyleri ile; TCE enjeksiyonunu takiben, tank yüzeyle aktif madde ile yıkama işlemine tabi tutulup kolon çıkışındaki TCE konsantrasyonu 0.3 mg/L'nin altına düşüncüye kadar yıkama işlemine devam edilmiştir. TCE analizleri 200 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometre ile en düşük 300 µg/L ölçülmüştür. TCE çıkış konsantrasyonları 0.3 mg/L'nin altına inince deney süresi hesaplanmıştır. Her bir TCE kütlesi ve ramnolipid biyolojik yüzeyle aktif madde konsantrasyonlarında deneyler tekrar edilip, farklı koşullardaki kütle geri kazanımı ve ıslah süreleri ortaya konulmuştur. Elde edilen TCE konsantrasyonları (mg/L) boyutsuz zamana (PV) karşı grafiklenmiştir. 1 PV belirli boşluk hacme sahip sistemin kendini yenilemesi için geçen süredir.

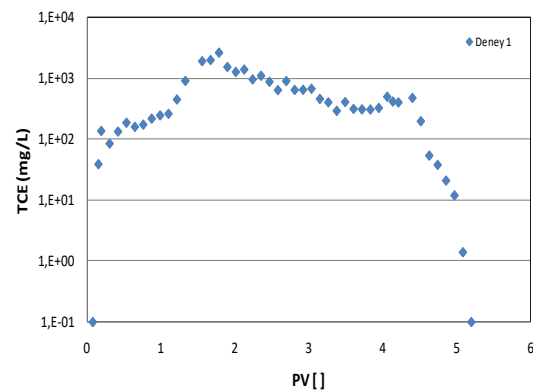
Tank deneylerinden elde edilen TCE konsantrasyon değişim grafikleri (breakthrough grafikleri) standart zamansal moment analizi yardımıyla incelenerek deneylerde izlenen bileşiklerin kütle dengeleri çıkartılmıştır. Moment analizlerinde 0. moment ( $M_0$ ) kolonu terk eden kütle miktarını vermektedir (Denklem 1). Deneylerin kütle dengesi enjekte edilen kütleden kolonu terk eden kütle miktarını çıkartılmasıyla elde edilmiştir.

$$M_0 = \int_0^t c dt \quad (1)$$

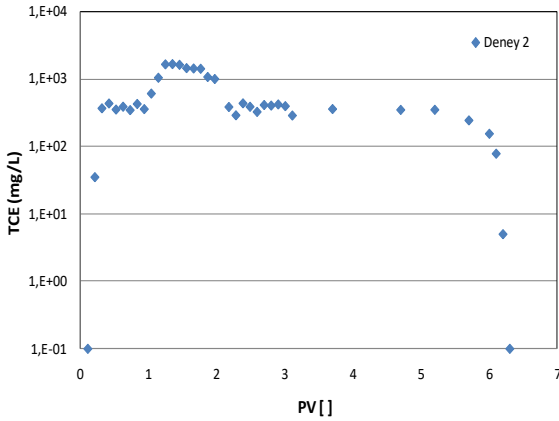
### 3. SONUÇLAR

DNAPL TCE kaynak zonların kozmetik sektöründe yoğun olarak kullanılan ramnolipid yüzeyle aktif maddesinin ıslah edilmesine yönelik toplam 4 adet deney yürütülmüştür. Deneyler sırasında TCE'nin zamana bağlı değişimi Şekil 3, 4, 5, 6'da görülmektedir.

Birinci deneyde 0.5 mL DNAPL TCE enjeksiyonunu takiben, %5 ramnolipid enjeksiyonunun başlaması ile TCE konsantrasyonu hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 4 saat sonunda en yüksek değer olarak TCE'nin çözünürlük değerinin yaklaşık 2 katı olan 2600 mg/L'ye ulaşmıştır. Bu değer daha sonra azalmaya başlamıştır. 6 saat sonunda TCE konsantrasyonu 500 mg/L civarında duraylılığa ulaştıktan sonra yaklaşık 4 saat bu değerlerde gözlenmeye devam etmiştir. Bu süre sonunda TCE konsantrasyonu dramatik bir şekilde azalmakta olup 12 saat sonunda TCE konsantrasyonu 0.3 mg/L'nin altına düşmüştür.

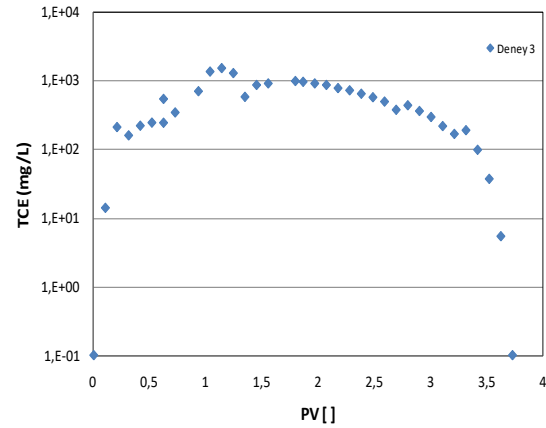

**Şekil 3.** TCE'nin zamana bağlı değişimi (1 PV: 2.47 saat; Deney 1)

İkinci deneyde ise, 0.5 mL DNAPL TCE tankın orta ve sol enjeksiyon deliklerinden yarı yarıya (70/100 mesh) çanağın üzerine enjekte edilip %5 ramnolipid ile yıkanmıştır. Bu deney setlerinin amacı, DNAPL TCE'nin farklı noktadaki dağılımının ıslah performansına olan etkisini incelemektir. Bu deneyde, TCE konsantrasyonu hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 3 saat sonunda en yüksek değer olan 1906 mg/L'ye ulaşmıştır (Sekil 4). Bu değer daha sonra azalmaya başlamıştır. 6. ve 12. saatleri arasında daha ince taneli 70/100 mesh çanak içerisindeki DNAPL TCE'nin daha yavaş hızda çözünmesi sonucu duraylı TCE konsantrasyonu (350 mg/L) gözlenmiştir. Yaklaşık 16 saat sonunda TCE konsantrasyonu 0.3 mg/L'nin altına düşmüştür.



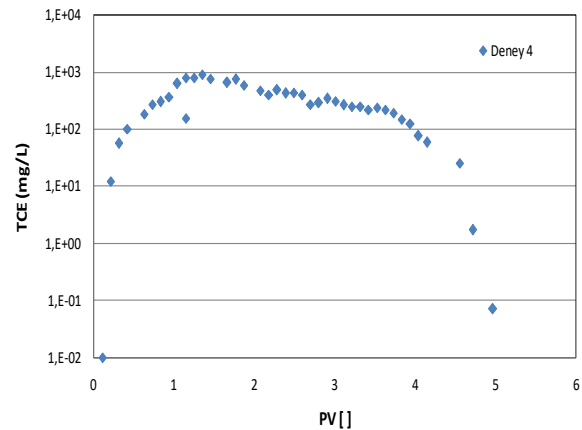
**Şekil 4.** TCE'nin zamana bağlı değişimi (1 PV: 2.47 saat; Deney 2)

Üçüncü deneyde ise ilk iki deneyin aksine, 0.25 mL DNAPL TCE tankın sol enjeksiyon deliklerinden çanağın (70/100 mesh) üzerine enjekte edilip % 5 ramnolipid ile yıkanarak DNAPL TCE kütlesinin ve depolandığı noktanın ıslah performansına olan etkisi araştırılmıştır. Bu deneyde, yaklaşık 3 saatte TCE konsantrasyonu en yüksek değer olan 1517 mg/L'ye ulaşmıştır (Sekil 5). 5 ve 8. saatleri arasında 70/100 mesh çanak içerisindeki DNAPL TCE'nin daha yavaş hızda çözünmesi sonucu TCE konsantrasyonu yavaş bir azalım sergilemiştir. Yaklaşık 9.3 saat sonunda TCE konsantrasyonu 0.3 mg/L'nin altına düşmüştür. Dolayısıyla, DNAPL TCE kütlesi daha az depolandığında ve enjeksiyon kuyusunun yeri doğru planlandığında; TCE kütlesinin tamamıyla tank içerisinde uzaklaştırılması daha kısa sürmektedir.



**Şekil 5.** TCE'nin zamana bağlı değişimi (1 PV: 2.47 saat; Deney 3)

Dördüncü deneyde ise üçüncü deneydeki koşullar sabit tutularak % 5 yerine % 2.5 ramnolipid kullanılarak yüzeysel aktif madde konsantrasyonunun ıslah performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu deneyde yaklaşık 3 saatte TCE konsantrasyonu en yüksek değer olan 893 mg/L'ye ulaşmıştır (Sekil 6). 5 ve 9. saatleri arasında (70/100 mesh) çanağın içerisindeki DNAPL TCE'nin daha yavaş hızda çözünmesi sonucu TCE konsantrasyonu çok yavaş bir azalım sergilemiştir. Yaklaşık 12 saat sonunda tüm TCE konsantrasyonu 0.3 mg/L'nin altına düşmüştür. Bu sonuçla, ramnolipid çözeltisi % 2.5 olarak seçilmesine rağmen TCE'nin sistemden uzaklaştırılması 2 kat sürmemiştir. Bu durum, yıkama solüsyonlarının doğru konsantrasyon seçiminin önemine işaret etmektedir. Bu durum hem yıkama solüsyonlarının çevreye verebileceği muhtemel zararların hem de ıslah maliyetlerinin minimize edilmesine olanak sağlayacaktır.



**Şekil 6.** TCE'nin zamana bağlı değişimi (1 PV: 2.47 saat; Deney 4)

Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre, heterojen jeolojik sistemlerde depolanan DNAPL TCE kaynak zonlarının tamamına yakını kozmetik sektöründe kullanılan ramnolipid yüzey aktif madde ile başarılı bir şekilde uzaklaştırılmasına rağmen, ıslah performansı kirleticii kütle sine, yüzey aktif madde konsantrasyonuna ve kaynak bölgelerinin yerlerinin iyi tespit edilmesine bağlıdır. Sonuç olarak, ramnolipid yüzey aktif maddeli yerinde kimyasal yıkama teknolojisi ile heterojen jeolojik sistemlerdeki DNAPL kaynak zonları başarılı bir şekilde ıslah edilmesine rağmen, teknolojinin başarısı sahaya özgü olup saha karakterizasyonu ve çözünme (dissolüsyon) davranışına etki eden tüm faktörler detaylı bir şekilde laboratuvar ölçeğinde araştırılmalıdır. Karakterize edilen tüm unsurların arazi ölçeğinde uygulamaya geçmeden önce belirlenmesi saha çalışmalarının planlanmasında kullanılması teknolojinin başarısını, süresini ve maliyetini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

## **Teşekkür**

Yapılan çalışma Kocaeli Üniversitesi FHD-2020-2294 Kodlu BAP Projesi tarafından desteklenmiştir.

## **KAYNAKLAR**

- [1] Akyol N.H. Surfactant-enhanced permanganate oxidation on mass-flux reduction and mass removal relationship for pool-dominated TCE source zones in heterogeneous porous media. *Water, Air and Soil Pollution*, 2018, 229(285).
- [2] Akyol N.H, Russo Lee A. and Brusseau M.L. Impact of enhanced-flushing reagents and organic liquid distribution on mass removal and mass discharge reduction. *Water, Air and Soil Pollution*, 2013, 224:1731.
- [3] Clifford, J.S., Ionnidis, M.A. ve Legge, R.L., Enhanced aqueous solubilization of tetrachloroethylene by a rhamnolipid biosurfactant. *J. Colloid. Interfac. Sci.* 2007, 305:361–4.
- [4] Dickson J. R., Stenson R. Insufficient source area remediation results in the rebound of TCE breakdown products in groundwater, *Remediation*, 2011, 87-103.
- [5] Dudu-Gül, Ülküye. Mikrobiyel Yüzey Aktif Maddeler ve Çevresel Uygulamalarda Kullanımı. *Mikrobiyoloji Dergisi*, 10 (2), 2012, 45-55.

[6] Difilippo E.L., Carroll K.C. ve Brusseau M.L. Impact of organic-liquid distribution and flow-field heterogeneity on reductions in mass flux. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2010,115:14-25.

[7] Feenstra S., Cherry J. A. Subsurface contamination by dense non-aqueous phase liquid (DNAPL) chemicals, *The International Association of Hydrogeologists*, Halifax, Nova Scotia, 1988.

[8] Karaoglu Aybike Gul, Coptu Nadim K., Akyol Nihat Hakan, Aslan Kılavuz Seda, Babaei Masoud. Experiments and sensitivity coefficients analysis for multiphase flow model calibration of enhanced DNAPL dissolution. *Journal Of Contaminant Hydrology*,2019, 225(null).

[9] Mercer J. W., Cohen R. M. A review of immiscible fluids in the subsurface: Properties, models, characterization and remediation, *Journal of Contaminant Hydrology*, 6, 1990, 107-163.

[10] Mohammed M., Özbay I., Akyol G., Akyol N.H., Şahin Y., Özbay B., Türkkan S., Karataş, T. Optimizing process parameters on the remediation efforts for the mass removal of DNAPL entrapped in a porous media. *Water, Air, Soil Pollution*, 2019, 230 (7).

[11] National Research Council (NRC). Alternatives for groundwater cleanup, National Academy of Sciences, 1994, Washington D.C.

[12] Pankow, J. F., Cherry, J. A. 1996. “Dense chlorinated solvents and other DNAPLS in groundwater”, *History, Behavior, and Remediation*, Waterloo Press, Portland, Orego

