

Katı Atık Depolama Alanlarındaki Taban Kil Şiltelerinin Geçirimsizliklerine NaCl Tuzunun Etkisi

Gonca YILMAZ*
Seracettin ARASAN**
Temel YETİMOĞLU***

ÖZ

Katı atık depolama alanlarının tasarımında ana malzeme düşük geçirimsizlik özelliğinden dolayı yüksek plastisiteli killerden oluşan şiltelerdir. Bu şilteler, katı atıkların içinden süzülen ve bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşan sızıntı suyundan etkilenir. Dolayısıyla, killerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde saf ya da şebeke suyu kullanılması arazi şartlarını temsilden uzaktır. Bu çalışmada, iki farklı adet CL ve bir adet CH sınıfı kil üzerinde sızıntı suyunu temsilen NaCl çözeltileri kullanılarak laboratuvar geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, NaCl konsantrasyonunun artmasıyla CH sınıfı kilin geçirimsizliğinin arttığını ve CL sınıfı killerde ise geçirimsizlikte belirgin bir değişimin olmadığını göstermiştir.

ABSTRACT

Effect of NaCl Salt on the Permeability of Base Clay Liners in Solid Waste Disposal Landfills

Because of its low permeability, liners constructed from high plasticity clays are the main material used in solid waste disposal landfills. It is exposed there to various chemical, biological and physical events, and these clay liners are affected by the resulting leachate. For this reason, when attempting to define the geotechnical characteristics of clays, the use of distilled water or tap water is far from being representative of the in-situ conditions. In this study, laboratory permeability tests were conducted on two different CL-classes and one CH-class clay using NaCl solutions representing leachate. Evaluation of the experimental results indicated that the permeability of CH-class clay increased with increasing NaCl concentrations; however, NaCl concentrations had no discernible effect on the permeability of CL-class clays.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 22.12.2006 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2008 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* M.S.B. İnşaat Emlak ve NATO Enfrastrüktür Bölge Başkanlığı, Erzurum
** Atatürk Üniversitesi, Erzurum - arasan@atauni.edu.tr
*** Atatürk Üniversitesi, Erzurum - yetimt@atauni.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ve tüketim sebebiyle atıkların bertarafı önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu tür bir çevre sorununun giderilmesi için tercih edilen yöntemlerden biri de atıkların depolama alanlarında toplanmasıdır. Katı atık depolama alanlarının tasarımında kullanılan ana malzeme, düşük geçirimsizlik özelliğinden dolayı kil şiltelerdir. Kil şilteler, katı atıkların içinden süzülen ve bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşan sızıntı suyundan etkilenir. Bu sebeple, killerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde saf ya da şebeke suyu kullanılması arazi şartlarını temsilden uzaktır.

Literatürde katı atık depolarındaki şilte sistemlerinde kullanılacak malzemelerin geçirimsizlik özelliklerine kimyasal çözeltilerin etkisi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar, geosentetik kil şiltelerde (Gesynthetic Clay Liner-GCL) kullanılan bentonit kili üzerinde yoğunlaşmıştır. Petrov ve Rowe[1], NaCl tuzunun 0.01, 0.1, 0.6 ve 2M konsantrasyonlarında; Shackelford vd. [2], NaCl tuzunun 0.6M konsantrasyonunda; Jo vd. [3], NaCl tuzunun 0.005, 0.01, 0.025, 0.1 ve 1M konsantrasyonlarında; Jo vd. [4] ise NaCl tuzunun 0.1M konsantrasyonunda laboratuvar geçirimsizlik deneyleri yapmışlardır. Bu çalışmalardan farklı olarak Rao ve Mathew [5], denizel killerin geçirimsizliğine Na⁺ iyonunun etkisini araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda NaCl çözeltisinin kilin yapısını bozduğu ve konsantrasyonun artmasıyla geçirimsizliğin de artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

Düşük plastisiteli killerin geoteknik özelliklerinin, kimyasal çözeltilerden nasıl etkileneceği konusunda literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Gleason vd. [6] yaptıkları çalışma ile Ca-Bentonitin, Na-Bentonite oranla kimyasallardan daha az etkilendiğini ifade etmişlerdir. Arasan ve Yetimoğlu [7] ise CL kiline ait kıvam limitlerinin tuz çözeltilerinden kısmen etkilendiğini, tuz konsantrasyonunun artmasıyla gerek likit limitin ve gerekse plastik limitin bir miktar arttığını ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, farklı plastisiteli killerin geçirimsizliğine sızıntı suyunun etkisini incelemek amacıyla laboratuvarda bir seri düşen seviyeli permeabilite deneyi yapılmıştır. Yapılan deneylerde literatürdeki sızıntı suyu bileşenleri dikkate alınarak, geçirimsizlik sıvısı olarak 0.01M, 0.1M, 0.25M, 0.5M, 0.75M ve 1M konsantrasyonlarında sodyum klorür (NaCl) tuzu kullanılmıştır. Deneyler, iki farklı adet CL sınıfı kil ile bir adet de CH sınıfı kil üzerinde tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. SIZINTI SUYU

Katı atıklar içinden süzülen suyun bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalması ile çöp sızıntı suyu oluşmaktadır. Sızıntı suyu oluşumunun iki önemli kaynağı vardır. Birincisi dışarıdan depoya giren su miktarı, diğeri de depolanan atıktaki su muhtevasıdır. Saha içerisinde organik maddelerin ayrışması sonucunda oluşan su miktarı, bu iki kaynağa göre daha önemsizdir. Bu doğrultuda düzenli depolama sahalarında çöp sızıntı suyu oluşumuna etki eden genel parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [8]:

- Yağış (Yağmur suyu ve kar yağışı)
- Yüzeysel akış

- Örtü tabakasının geçirimsizliği
- Evapotranspirasyon
- İnfiltrasyon
- Yeraltı suyu girdisi
- Sıvı halde atıklar/çamurlar
- Katı atığın su tutma kapasitesi
- Atığın bozulması

Sızıntı suyunun niteliği, çöpün miktarına, kompozisyonuna, yoğunluğuna, temas halinde bulunduğu su miktarına ve sıcaklığına bağlıdır. Sızıntı suyu niteliğini etkileyen en temel işlem, doğrudan suda çözünebilir bileşiklerin suya geçmesidir. Sızıntı suyu, katı atıkların muhtevassından kaynaklanan çok sayıdaki element ve bileşiği içermektedir. Tablo 1’de çeşitli çalışmalardan elde edilen sızıntı suyu bileşenleri verilmiştir. Bu bileşenler, organik karbon, azot bileşikleri ile anyon ve metal alt gruplarına ayrılabilir.

Tablo 1. Katı atıklarda oluşan sızıntı suyu bileşenleri

		Andreottola ve Cannas [9]	Tchobanoglous vd. [10]	Ehrig [11]
PH		5,3-8,5	6,2-7,6	4,5-9
BİLEŞENLER		Konsantrasyon (mg/lt)		
Org. Karbon Bileşikleri	COD	150-100000	100-200*; 3000-60000**	500-60000
	BOD	100-90000	100-200; 2000-30000	20-40000
	TOC	-	80-160; 1500-20000	-
Azot Bileşikleri	Org.N	1-2000	80-120; 10-800	10-4250
	NH ₄ -N	1-1500	20-40; 10-800	30-3000
Anyonlar	Cl ⁻	30-4000	100-400; 200-3000	100-5000
	PO ₄ ²⁻	0,3-25	5-10; 5-100	-
	SO ₄ ⁴⁻	10-1200	20-50; 50-1000	10-1750
Alkali ve Alkali Toprak Metal	Na	50-4000	100-200; 200-2500	50-4000
	Mg	50-1150	50-200; 50-1500	40-1150
	K	10-2500	100-200; 200-1000	10-2500
	Ca	10-2500	100-400; 200-3000	10-2500
Metal	Mn	0,4-50	-	0,03-60
	Fe	0,4-2200	20-2000; 50-1200	3-2100
Zehirli Ağır Metal	Cr	30-1600	-	0,03-1,6
	Ni	20-2050	-	0,02-2,05
	Cu	4-1400	-	0,04-1,4
	Zn	0,05-170	-	0,03-120
	Cd	0,5-140	-	0,0005-0,14
	Pb	8-1020	-	0,008-1,02

*Eski atık depolarında; **Yeni atık depolarında

Sızıntı sularında yüksek miktarda bulunan klorür, tüm doğal veya kullanılmış sularda çok yaygın bir şekilde bulunan iyon türüdür [12] ve doğada sodyum, potasyum ve kalsiyum tuzları (NaCl, KCl ve CaCl₂) olarak yaygın şekilde bulunur [13]. Klorürün normal

konsantrasyonlarında bir sağlık sakıncası yaratmadığı bilinmektedir. Ancak 250 mg/lt'den yüksek konsantrasyonlarda tuz tadı oluşmaktadır. Klorür suyun iletkenliğini artırdığı için korozyonu kolaylaştırır. Konsantrasyonların yüksek olduğu sularda klorür; tat, korozif eğilim ya da yumuşatma prosesine ters etki ile varlığını gösterir [12].

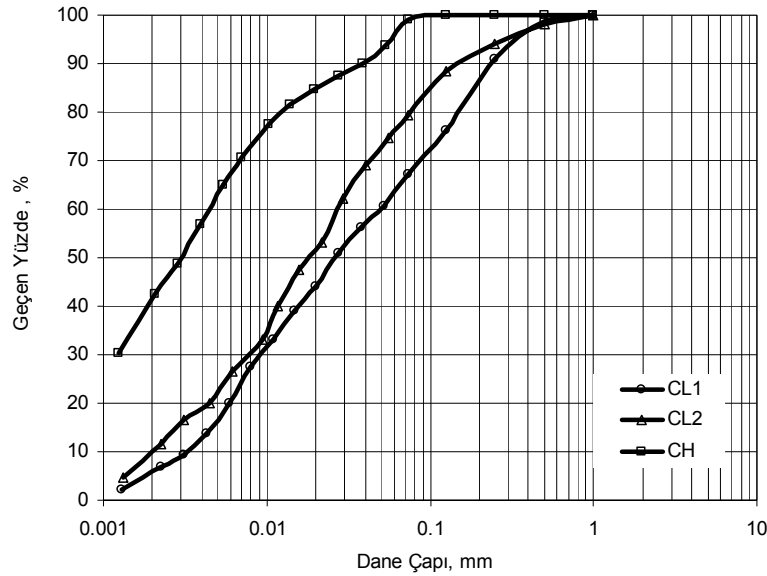
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Deneylerde, iki adet düşük plastisiteli (CL sınıfı) ve bir adet yüksek plastisiteli (CH sınıfı) kil kullanılmıştır. Bu killere ait bazı geoteknik özellikler laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Killerin belirlenen geoteknik özellikleri Tablo 2'de, granülometri eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan killerin geoteknik özellikleri

			CL1 Kili	CL2 Kili	CH Kili
Kil İçeriği	< 0,002 mm	(%)	7	10	43
İnce Dane İçeriği	<0,075 mm	(%)	62	80	99
Özgül Ağırlık	G_s		2,76	2,77	2,79
Likit Limit	w_L	(%)	26	40	113
Plastik Limit	w_P	(%)	19	23	38
Plastisite İndisi	I_P	(%)	7	17	75
Aktivite	A		1,00	1,70	1,74
Geçirimsizlik	k	(cm/sn)	$1,408 \cdot 10^{-7}$	$6,974 \cdot 10^{-7}$	$7,691 \cdot 10^{-9}$



Şekil 1. Deneylerde kullanılan killerin granülometri eğrileri

Deneylerde, geçirimsizlik sıvısı olarak 0.01M, 0.1M, 0.25M, 0.5M, 0.75M ve 1M konsantrasyonlarında sodyum klorür (NaCl) tuzu kullanılmıştır. Kullanılan NaCl tuzu 58,434 gr molekül ağırlığında ve 20 °C'de 35,85 g/100 g H₂O (°C) çözünürlüğe sahiptir.

3.2. Geçirimsizlik Deneyleri

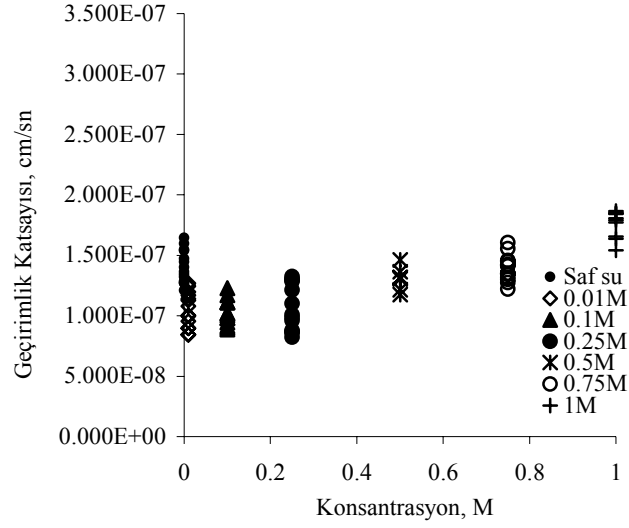
Laboratuarda yapılan geçirimsizlik deneyleri, zemin cinsine bağlı olarak sabit seviyeli ya da düşen seviyeli olarak iki şekilde yapılmaktadır. İnce daneli zeminler için uygun olan düşen seviyeli geçirimsizlik deneyleri ise; üç eksenli (flexible-wall) veya kompaksiyon kalıplı (rigid-wall) olarak yine iki şekilde yapılabilmektedir. Bu çalışmada, geçirimsizlik deneyleri laboratuarda ASTM D 5856'ya uygun şekilde kompaksiyon kalıplı düşen seviyeli geçirimsizlik düzeneğinde yapılmıştır.

Numuneler kompaksiyon kalıbında saf su kullanılarak optimum su muhtevalarında ve Standart Proctor enerjisinde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler permeametre düzeneğine yerleştirildikten sonra, geçirimsizlik sıvısı olarak farklı konsantrasyonlardaki NaCl tuzu kullanılmıştır. Kararlı akış sağlanana kadar beklendikten sonra belirli zaman aralıklarında okumalar yapılmıştır. Tüm deneyler, geçirimsizlik katsayısı (k) sabit oluncaya kadar sürdürülmüştür. Her bir deney, sonuçların güvenilirliği açısından en az iki kez tekrarlanmıştır.

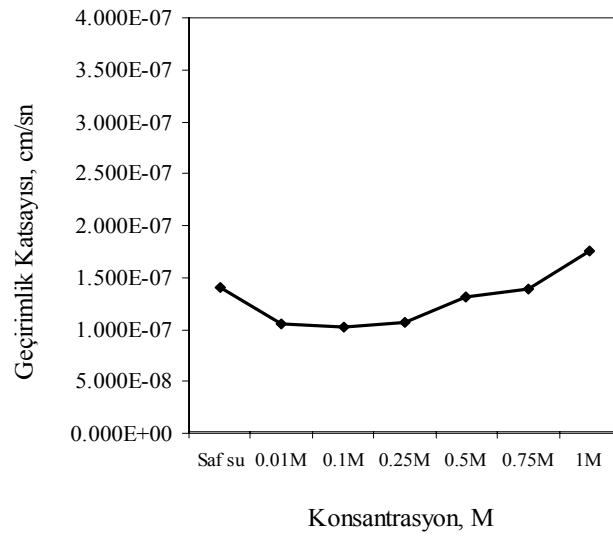
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneylerden elde edilen geçirimsizlik katsayısı-tuz konsantrasyonu ilişkileri CL1, CL2 ve CH killeri için sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te verilmiştir. Killerin davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için şekiller tüm deney okumaları ve ortalama değerler olarak farklı iki grafikte verilmiştir.

Şekil 2 ve 3'ten de görüleceği gibi NaCl konsantrasyonunun artmasıyla CL1 ve CL2 killерinin geçirimsizlik değerlerinde önce bir azalma daha sonra ise bir artış gözlenmiştir. Her iki şekil de NaCl tuz çözeltisinin CL sınıfı killерin geçirimsizliğini önemli derecede etkilemediğini göstermektedir. Bu çalışma sonuçlarına benzer şekilde Gleson vd. [6] da, Ca-bentonitin, Na-bentonite oranla kimyasallardan daha az etkilendiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, Arasan ve Yetimoğlu [7] yaptıkları deneysel çalışmada, CL1 sınıfı kilin kıvam limitlerinin bazı kimyasal çözeltilerden çok önemli derecede etkilenmediğini göstermişlerdir.

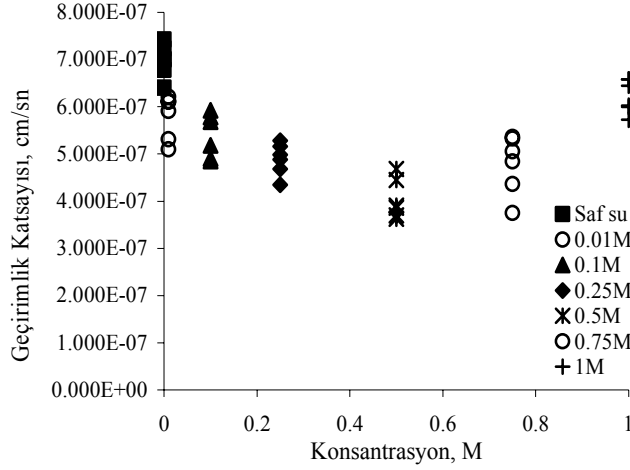


a) Geçirimsizlik deney sonuçları

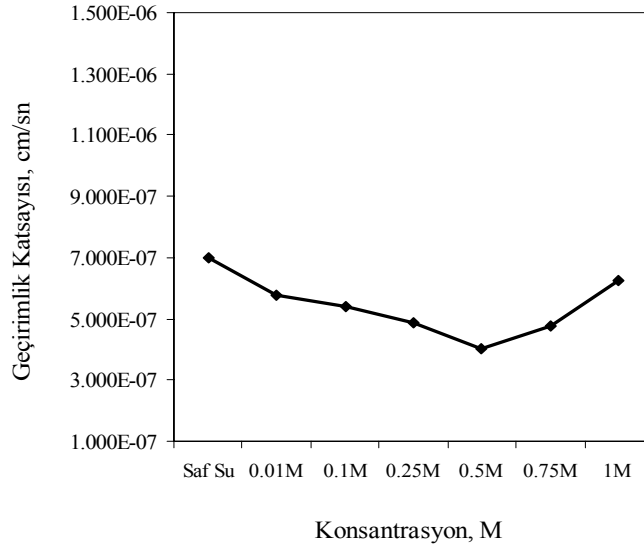


b) Geçirimsizlik deney sonuçlarının ortalama değerleri

Şekil 2. CL1 kilinde geçirimsizlik katsayısının tuz konsantrasyonu ile değişimi



a)Geçirimsizlik deney sonuçları



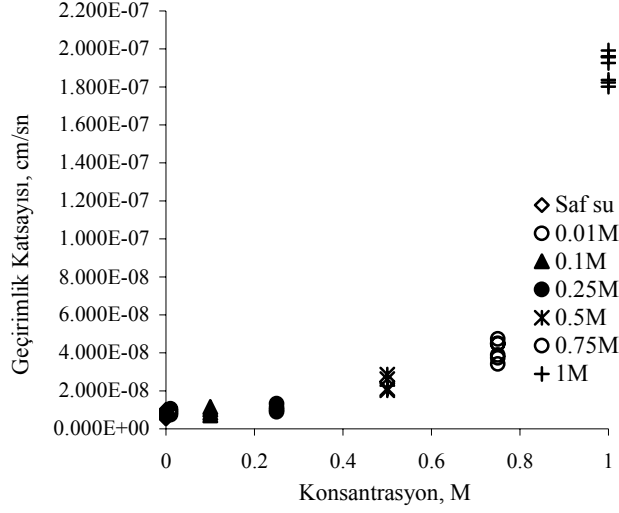
b)Geçirimsizlik deney sonuçlarının ortalama değerleri

Şekil 3. CL2 kilinde geçirimsizlik katsayısının tuz konsantrasyonu ile değişimi

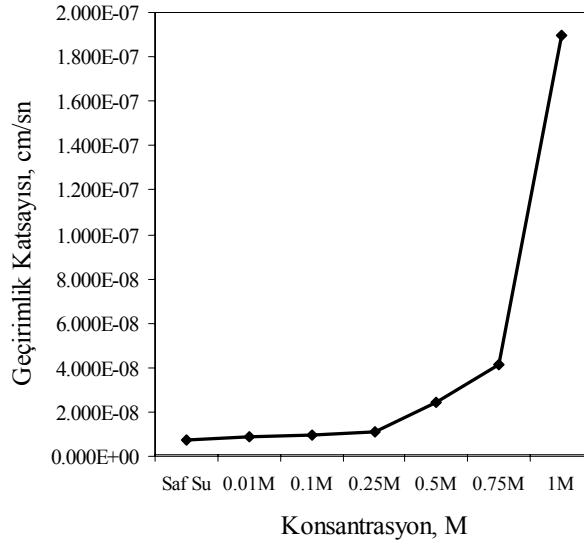
Şekil 4'ten de görüleceği üzere, CL sınıfı killerin aksine, CH sınıfı kilin geçirimsizliği, NaCl konsantrasyonunun artmasıyla önemli oranda artmıştır. NaCl tuzunun 0.01M, 0.1M ve 0.25M'lık konsantrasyonlarında geçirimsizlik katsayısı değerlerinde belirgin bir değişiklik

Katı Atık Depolama Alanlarındaki Taban Kil Şiltelerinin ...

gözlenmezken, 0.5M, 0.75M ve 1M'da sırasıyla yaklaşık 2 kat, 4 kat ve 24 kat artışlar tespit edilmiştir. Yüksek tuz konsantrasyonları kilin yapısını bozmakta ve geçirimsizlik katsayısının artmasına sebep olmaktadır. Benzer sonuçlar bentonit kili üzerinde yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir [1-5].



a) Geçirimsizlik deney sonuçları



b) Geçirimsizlik deney sonuçlarının ortalama değerleri

Şekil 4. CH kilinde geçirimsizlik katsayısının tuz konsantrasyonu ile değişimi

Kil partikülü etrafında su ve iyonlardan oluşan tabakaya difüzyon çift tabaka (diffuse double layer, DDL) denir ve killerin mühendislik özellikleri büyük oranda DDL'nin kalınlığından etkilenirler [14]. Tüm bunlar dikkate alındığında NaCl tuz çözeltilerinin CH sınıfı kilin DDL kalınlığını değiştirerek geçirimsizliğini artırdığı söylenebilir. Kimyasallar ile killer arasındaki ilişkiyi konu alan birçok çalışmada da DDL'ye dikkat çekilmiş ve DDL kalınlığının azalmasıyla (DDL'nin büzülmesiyle) geçirimsizliğin artacağı ifade edilmiştir [15]. Kimyasalların bentonit kili ve GCL'nin geçirimsizliğine etkisi üzerine daha detaylı bilgi Petrov ve Rowe[1], Shackelford vd. [2], Jo vd. [3] ve Ruhl ve Daniel [15] tarafından verilmektedir.

Katı atık depolarında kullanılan killer düşük geçirimsizlik özelliklerinden dolayı yüksek plastisiteli killerdir. Yapılan bu çalışma sonuçları ve literatürdeki çalışmalar [1-3, 15] incelendiğinde bu tür killerin (CH sınıfı) kimyasallardan büyük oranda etkilendiği ve bu etkilenme sonucunda geçirimsizlik katsayılarında büyük artışlar meydana geldiği görülmektedir. Diğer taraftan, düşük plastisiteli killer ise kimyasallardan kısmen etkilenmektedir. Hatta bu çalışmada kullanılan CL2 kilinin geçirimsizlik katsayısının bir miktar düştüğü tespit edilmiştir. 1M'lık NaCl tuz çözeltisiyle yapılan deneyler sonucunda CL1, CL2 ve CH killerin geçirimsizlik katsayıları sırasıyla $1,761 \cdot 10^{-7}$ cm/sn, $6,224 \cdot 10^{-7}$ cm/sn ve $1,900 \cdot 10^{-7}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan da görüleceği gibi yüksek konsantrasyonlardaki NaCl tuz çözeltilerinde CL ve CH sınıfı killer yaklaşık aynı geçirimsizlik katsayısı değerine sahiptirler. Bu nedenle, CH kili temininin zor veya pahalı olacağı bazı özel koşullarda, katı atık depolarında CH sınıfı killer yerine CL sınıfı killerin de kullanılabileceği söylenebilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda NaCl tuz çözeltilerinin üç farklı kilin geçirimsizlik özelliklerine etkisini araştırılmak amacıyla bir seri laboratuvar deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- NaCl tuz çözeltileri, düşük plastisiteli (CL) killerin geçirimsizlik özelliklerini kısmen, yüksek plastisiteli kilin (CH) kilin ise önemli ölçüde etkilemektedirler.
- CH sınıfı kilin yapısı, çözeltinin konsantrasyonunun artmasıyla bozulmakta ve geçirimsizlik katsayısı yaklaşık 24 kat artış gösterebilmektedir.
- 1M'lık NaCl tuz çözeltisinde, CL1, CL2 ve CH killerin geçirimsizlik katsayıları sırasıyla $1,761 \cdot 10^{-7}$ cm/sn, $6,224 \cdot 10^{-7}$ cm/sn ve $1,900 \cdot 10^{-7}$ cm/sn olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, yüksek konsantrasyonlardaki çözeltilerde CH sınıfı kilin geçirimsizliği CL sınıfı killer ile yaklaşık aynı olmaktadır. Bu nedenle, bazı özel koşullarda, katı atık depolama alanlarının tasarımında CH sınıfı kil yerine CL sınıfı killerin de kullanılabileceği söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] Petrov, R.J., Rowe, R.K., Geosynthetic clay liner (GCL)-chemical compatibility by hydraulic conductivity testing and factors impacting its performance. *Can. Geo.J.*, 34(6), 863-885,1997.
- [2] Shackelford, C. D., Benson, C. H., Katsumi, T., Edil, T. B., Lin, L., Evaluating the hydraulic conductivity of GCLs permeated with non-standart liquids. *Geotextiles and Geomembrances*, 18, 133-161, 2000.
- [3] Jo, H. Y., Katsumi, T., Benson, C. H., Edil, T. B., Hydraulic conductivity and swelling of nonprehydrated GCLs permeated with single-species salt solutions. *ASCE J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 127(7), 557-567, 2001.
- [4] Jo, H. Y., Benson, C. H., Shackelford, C. D., Lee, J. M., Edil, T. B., Long-term hydraulic conductivity of a geosynthetic clay liner permeated with inorganic salt solutions. *ASCE J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 131(4), 405-417, 2005.
- [5] Rao, S.N., Mathew, P.K., Effects of exchangeable cations on hydraulic conductivity of a marine clay. *Clays and Clays Min.*, 43(4), 433-437, 1995.
- [6] Gleason, M. H., Daniel, D. E., Eykholt, G. R., Calcium and sodium bentonite for hydraulic containment applications. *ASCE J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 123(5), 438-445, 1997.
- [7] Arasan, S., Yetimoğlu, T., Sızıntı suyu bileşenlerinin kil şiltelerin kıvam limitlerine etkisi. *Zem. Mek. ve Tem. Müh.* 11. Ulusla Kongresi, Trabzon, 2006.
- [8] Yıldız, Ş., Katı atık düzenli depolama sahalarında oluşan çöp sızıntı suları ve arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2000.
- [9] Andreottola, G., Cannas, P., Chemical and biological characteristic of landfill leachate. in Christensen, T.H., Cossu, R., Stegmann, R. (Eds.), *Landfilling of Waste: Leachate*, Elsevier Science Publishers, Belfast, 1992.'de kaynak gösterilmiştir.
- [10] Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S., *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill Inc., USA, 1993.
- [11] Ehrig, H. J., 1988. "Water and element balances of landfills, in *Lecture Notes in Earth Sciences*. (ad. P. Baccini) Springer-Verlag, Berlin. (Barlaz, M. A. and Ham, R. K. (1993). "Leachate and gas generation." *Geotechnical practice for waste disposal*, Edited by Daniel, D. E., Chapman & Hall, London, UK., pp.113-136.'de kaynak gösterilmiştir.
- [12] Samsunlu, A., Çevre mühendisliği kimyası. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [13] Weiner, E.R., *Applications of environmental chemistry: A practical guide for environmental professionals*. Lewis Publishers, CRC Press, LLC, 2000.
- [14] Mitchell, J. K., *Fundamentals of soil behavior*. John Wiley and Sons Inc., New York, 1993.
- [15] Ruhl, J. L., Daniel, D. E., Geosynthetic clay liners permeated with chemical solutions and leachates. *ASCE J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 123(4), 369-381, 1997.