

TUZ ÇÖZELTİSİ İLE KİRLETİLEN SIKIŞTIRILMIŞ KİL ŞİLTELERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

ENGINEERING PROPERTIES OF COMPACTED CLAY LINERS CONTAMINATED BY SALT SOLUTION

S. ARASAN⁹, G. YILMAZ¹⁰, R.K. AKBULUT¹¹, T.YETİMOĞLU¹²

ABSTRACT

Because of their low permeability, Geosynthetic Clay Liners (GCLs) and Compacted Clay Liners (CCLs) are the main materials used in waste disposal landfills. The engineering properties of GCLs and CCLs is closely related to the leachate. In this study, effect of salt solutions to hydraulic conductivity, electrical conductivity, swelling pressure and pH of clay liners were experimentally investigated. In the tests, two clays (CL and CH class) and FeCl₃ inorganic salt solution at concentrations of 0.01, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, and 1M were used. Experimental results indicated that FeCl₃ might significantly affect the engineering properties of clay liners depending on clay class and salt concentration.

Keywords: Clay liner, electrical conductivity, hydraulic conductivity, pH, salt solution, swelling pressure

⁹ Arş. Gör., Atatürk Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü 25240 Erzurum , arasan@atauni.edu.tr

¹⁰ Y.Lisans Öğrencisi, Atatürk Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü 25240 Erzurum , goncimik@hotmail.com

¹¹ Arş. Gör., Atatürk Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü 25240 Erzurum , rkakbulut@atauni.edu.tr

¹² Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü 25240 Erzurum , yetimt@atauni.edu.tr

ÖZET

Düşük geçirimsizlik özelliklerinden dolayı, katı atık depolama alanlarının kullanılan ana malzemeler geosentetik kil şilte (GCL) ve sıkıştırılmış kil şiltelerdir (CCL). GCL ve CCL'lerin mühendislik özellikleri katı atıklar içinde oluşan sızıntı suyundan etkilenirler. Bu çalışmada, tuz çözeltilerinin sıkıştırılmış kil şiltelerin hidrolik iletkenliği, şişme basıncı, elektrik iletkenliği ve pH değerlerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, CL ve CH sınıfı iki kil ve kirletici sıvı olarak da FeCl_3 inorganik tuz çözeltisi 0.01, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1M konsantrasyonlarda kullanılmıştır. Deney sonuçları, kil sınıfına ve tuz konsantrasyonuna bağlı olarak FeCl_3 kirleticisinin sıkıştırılmış kil şiltelerin mühendislik özelliklerini önemli derece etkileyebileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Tuz çözeltisi, kil şilte, hidrolik iletkenlik, elektriksel iletkenlik, şişme basıncı, pH

1. GİRİŞ

Geosentetik kil şilteler (GCL) ve sıkıştırılmış kil şilteler (CCL) düşük hidrolik iletkenliklerinden dolayı, katı atık depolama alanlarında kullanılan ana malzemelerdir. GCL ve CCL'lerin mühendislik özellikleri katı atıklar içinde oluşan sızıntı suyundan etkilenirler. Dolayısıyla, bu tür malzemelerin katı atık depolarında geçirimsizlik elemanı olarak uygun bir şekilde kullanılabilmesi için kimyasallar ile etkileşimi (kirlenmesi) sonucunda mühendislik özelliklerin nasıl değiştiğinin araştırılması gerekir.

Literatürdeki çalışmaların büyük bir çoğunluğu bentonit kili ve bentonit kilinden üretilen GCL'ler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda genellikle tuz çözeltilerinin hidrolik iletkenliğe etkisi (Petrov and Rowe, 1997; Shackelford et al., 2000; Jo et al., 2001; Jo et al., 2004; Kolstad et al., 2004; Lee et al., 2005; Lee and Shackelford, 2005; Jo et al., 2005; Mishra et al., 2005) ve şişme özelliklerine etkisi (Alawaji, 1999; Jo et al., 2001; Kolstad et al., 2004; Lee et al., 2005) araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, tuz çözeltilerinin bentonitin yapısını bozduğu, difüzyon çift tabaka (Diffusion Double Layer-DDL) kalınlığını azalttığı ve bunun neticesinde hidrolik iletkenliğin artış, şişme özelliklerinin ise azalış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

Sıkıştırılmış kil şiltelerde kullanılan yüksek plastisiteli killer ile düşük plastisiteli killerin mühendislik özelliklerinin, tuz çözeltilerinden nasıl etkileneceği konusunda ise literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Park et al., 2006; Sivapullaiah and Manju, 2005; Turer, 2007; Arasan ve Yetimoğlu, 2006; Yılmaz, 2007). Bu çalışmalarda, bentonit gibi yüksek plastisiteli killerin aksine düşük plastisiteli killerin kimyasallardan kısmen etkilendiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, sıkıştırılmış kil şiltelerin tuz çözeltileri ile mühendislik özelliklerinin değişimini incelemek amacıyla laboratuvarda CL ve CH sınıfı iki kil üzerinde bir seri hidrolik iletkenlik, şişme basıncı, elektrik iletkenlik ve pH deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kirletici sıvı olarak; FeCl_3 inorganik tuz çözeltisi değişik konsantrasyonlarda (0.01, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1M) kullanılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Kullanılan Malzemeler

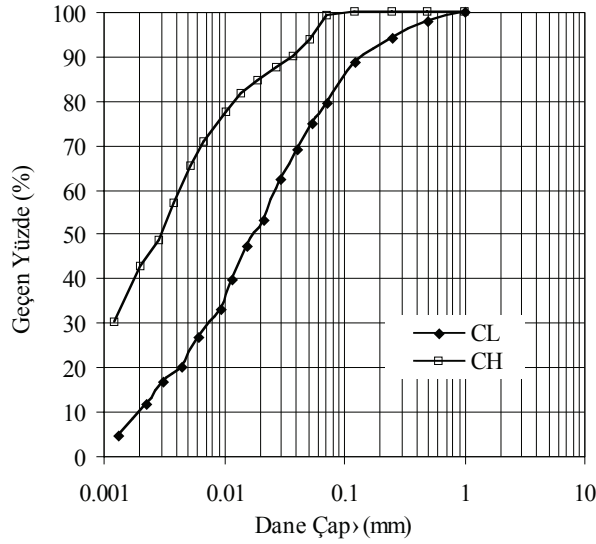
Deneylerde, düşük plastisiteli (CL sınıfı) ve yüksek plastisiteli (CH sınıfı) iki kil kullanılmıştır. Bu killere ait bazı mühendislik özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Killerin belirlenen mühendislik özellikleri Tablo 1’de, granülometri eğrileri ise Şekil 1’de verilmiştir. Deneylerde, kirletici olarak demir III klorür (FeCl_3) tuzu 0.01M, 0.10M, 0.25M, 0.50M, 0.75M ve 1M konsantrasyonlarında kullanılmıştır. Kullanılan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuzu 270.32 gr molekül ağırlığında ve 20°C ’de 91.90 g/100g H_2O (°C) çözünürlüğe sahiptir (Anonim, 2007).

Tablo 1. Deneylerde kullanılan killerin özellikleri

			CL Kili	CH Kili
Kil İçeriği,	< 0.002 mm	(%)	10	43
İnce Dane İçeriği,	<0,075 mm	(%)	80	99
Özgül Ağırlık,	G_s		2.77	2.79
Likit Limit,	w_L	(%)	40	113
Plastik Limit,	w_P	(%)	23	38
Plastisite İndisi,	I_P	(%)	17	75
Optimum Su Muhtevası,	w_{opt}	(%)	15	36
Mak. Kuru Birim Hacim Ağırlık,	γ_{kmax}	(gr/cm ³)	1.86	1.24
Hidrolik İletkenlik,	k	(cm/sn)	$6.97 \cdot 10^{-7}$	$7.69 \cdot 10^{-9}$
Şişme Basıncı,		(kPa)	71	281
Elektrik İletkenliği,	EC	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	49	203
pH			8.70	10.38

2.2. Hidrolik İletkenlik Deneyleri

Bu çalışmada, hidrolik iletkenlik deneyleri laboratuarda ASTM D 5856'ya uygun olarak kompaksiyon kalıplı düşen seviyeli hidrolik iletkenlik deney düzeneğinde yapılmıştır (Şekil 2). Numuneler kompaksiyon kalıbında saf su kullanılarak optimum su muhtevalarında ve Standart Proctor enerjisiinde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler deney düzeneğine yerleştirildikten sonra, geçirimsilik sıvısı (kirletici sıvı) olarak farklı konsantrasyonlardaki $FeCl_3$ tuzu kullanılmıştır. Kararlı akış sağlanması için birkaç gün beklenildikten sonra 2-3 hafta boyunca belirli zaman aralıklarında okumalar alınarak deney devam ettirilmiştir. Her bir deney, sonuçların güvenilirliği açısından en az iki kez tekrarlanmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan killerin granülometri eğrileri

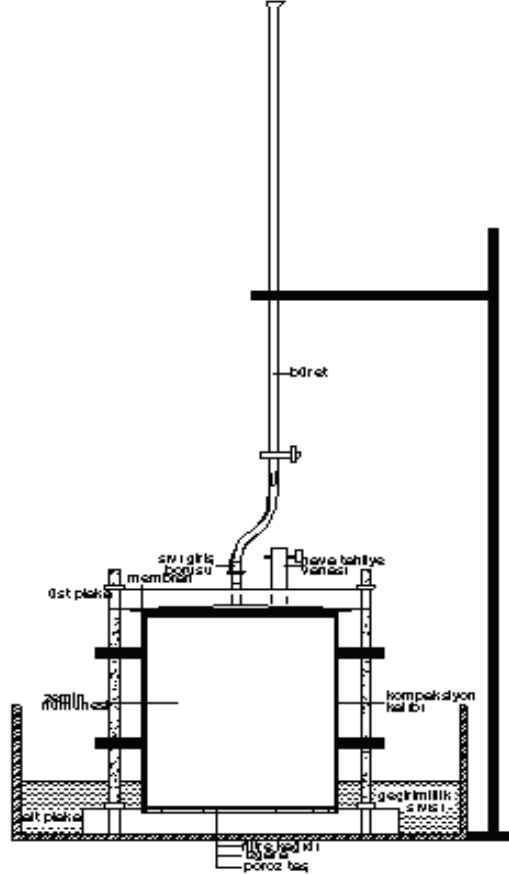
2.3. Şişme Basıncı Deneyleri

Hidrolik iletkenlik deneyleri sonunda, $FeCl_3$ çözeltisi ile kirlenen numunelerden şişme basıncı için örnekler alınmıştır. Bu örnekler üzerinde şişme basıncı deneyleri ASTM D4546 Metot C 'ye uygun olarak ödometre deney aletinde yapılmıştır.

2.4 Elektrik İletkenliği ve pH Deneyleri

Şişme basıncı deneylerinde olduğu gibi hidrolik iletkenlik deneyleri tamamlandıktan sonra $FeCl_3$ çözeltisi ile kirlenmiş numunelerden bir miktar örnek alınmış ve $105^{\circ}C$ 'de etüvde kurutulmuştur. Kuru numuneler 1/100 (katı/su) oranında saf su ile karıştırılmış ve karışım

bir saat boyunca mekanik bir alet kullanılarak çalkalanmıştır. Daha sonra bu karışımın elektrik iletkenlik değerleri dijital bir iletkenlik aleti ile ölçülmüştür. Benzer şekilde aynı karışımlar üzerinde numunelerin pH değerleri bir pH metre kullanılarak ölçülmüştür. Buna ek olarak, kirletici sıvı olarak kullanılan FeCl_3 çözeltisinin elektrik iletkenlik ve pH değerleri de aynı aletlerle belirlenmiştir.

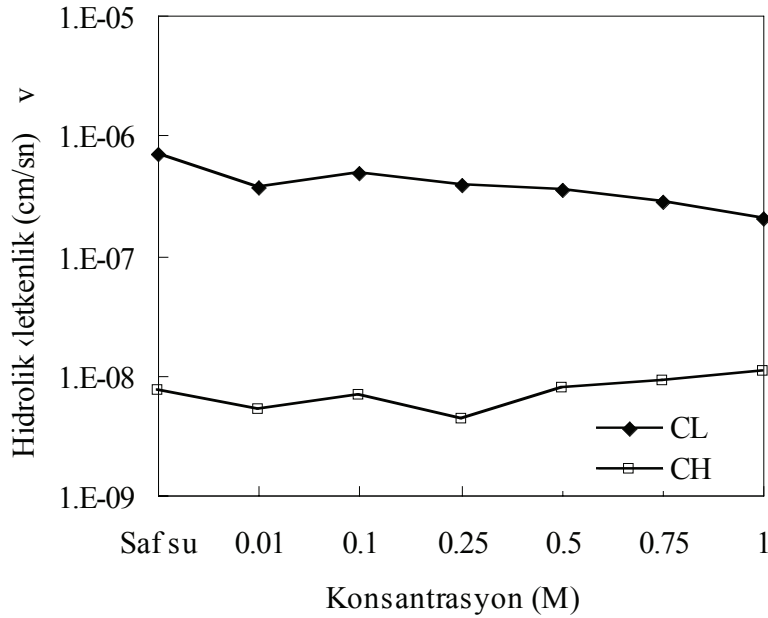


Şekil 2. Kompaksiyon kalıplı düşen seviyeli hidrolik iletkenlik deney düzeneği (Yılmaz, 2007).

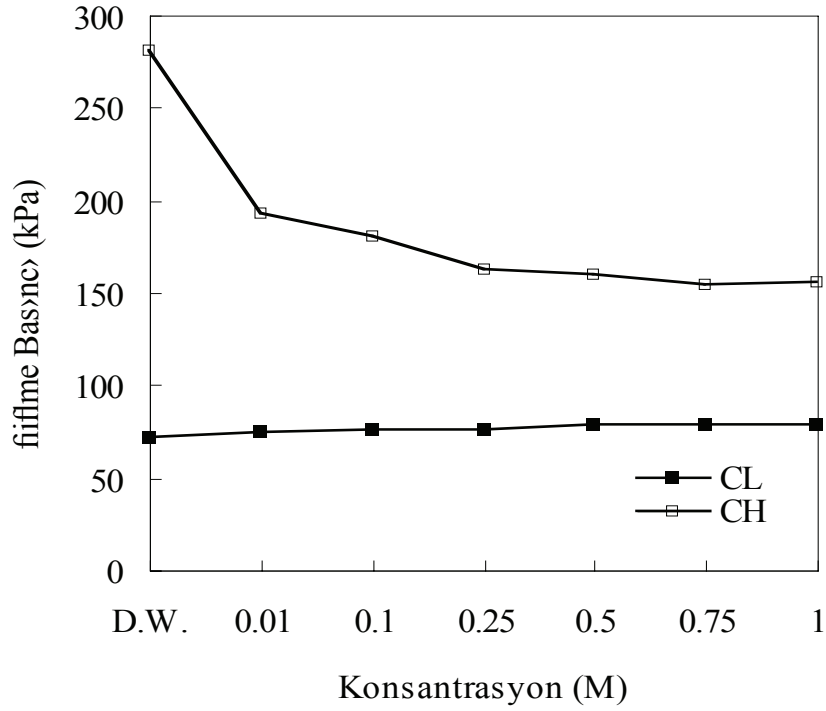
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Deneylerden elde olunan tuz konsantrasyonu-hidrolik iletkenlik, şişme basıncı, elektrik iletkenlik ve pH ilişkileri sırasıyla Şekil 3, 4, 5 ve 6’da verilmiştir. CL ve CH sınıfı killerin kirletici ile etkileşimini karşılaştırmalı olarak görebilmek için mühendislik özelliği-konsantrasyon ilişkisi aynı şekil üzerinde verilmiştir. Şekil 3’ten görüleceği gibi tuz konsantrasyonunun artmasıyla CL kilinin hidrolik iletkenlik değeri azalmış, buna karşın CH kilinin hidrolik iletkenlik değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Şekil 4, konsantrasyonun artmasıyla CH kilinin şişme basıncında azalış, CL kilinin şişme basıncında ise kısmi bir artış olduğunu göstermektedir.

CH kili üzerinde yapılan deney sonuçlarına benzer olarak literatürde bentonit kili üzerinde yapılan çalışmalarda hidrolik iletkenliğin artacağı, şişme miktarının ise azalacağı belirtilmiştir (Petrov and Rowe, 1997; Alawaji, 1999; Shackelford et al., 2000; Jo et al., 2001; Jo et al., 2004; Kolstad et al., 2004; Lee et al., 2005; Lee and Shackelford, 2005; Jo et al., 2005; Mishra et al., 2005). Buna karşın, literatürde kaolinit kili üzerinde yapılan bazı çalışmalarda kimyasallar etkisinde şişme basıncının (Turer, 2007) ve şişme indisinin (Sivapullaiah and Manju 2005) artacağı belirtilmiştir. Sivapullaiah and Manju (2005) bu artışın sebebi olarak yeni şişen minerallerin oluşmasını gösterilmişlerdir. Benzer olarak, bu çalışmada CL kili için elde olunan deney sonuçlarında gözlenen farklılığın nedeninin ise FeCl_3 etkisinde yeni şişme minerallerin oluşması olabileceği düşünülmektedir.

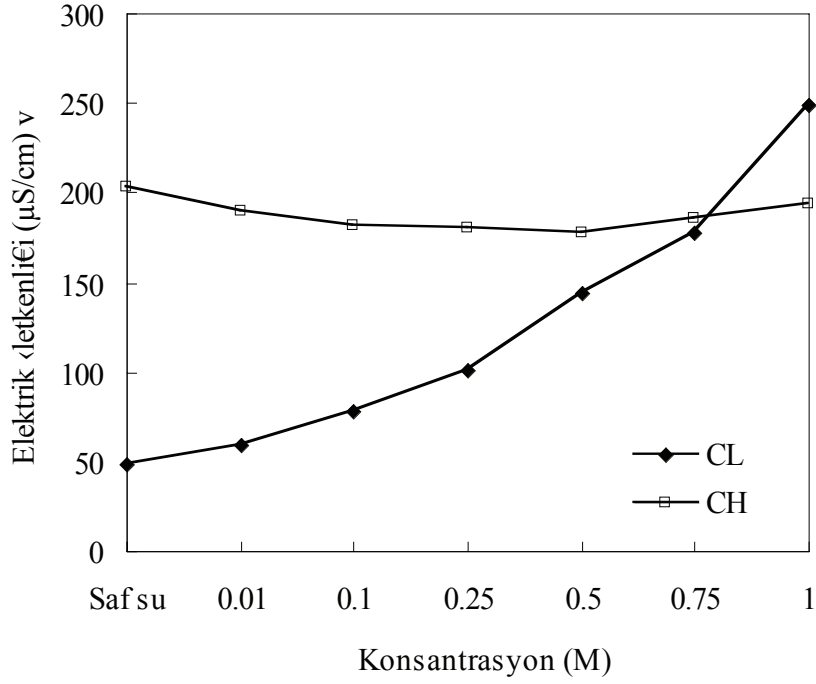


Şekil 3. Hidrolik iletkenliğin FeCl_3 tuz konsantrasyonları ile değişimi

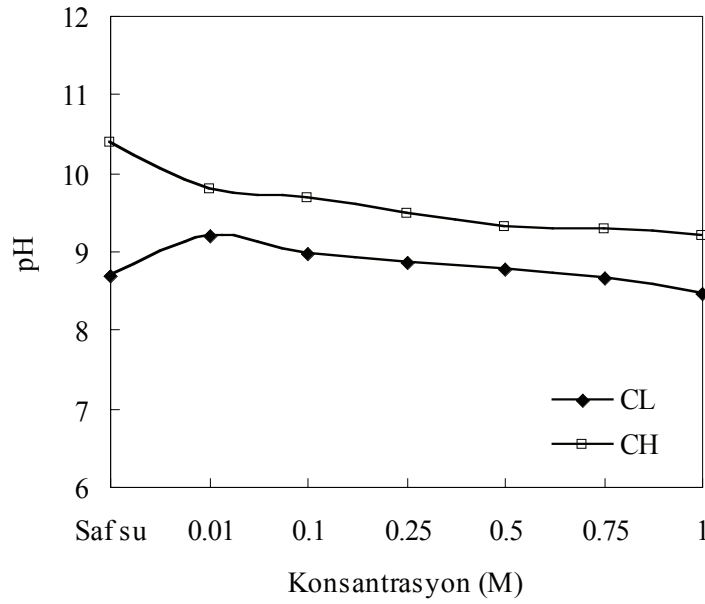


Şekil 4. Şişme basıncının FeCl_3 tuz konsantrasyonları ile değişimi

Şekil 5'ten görüleceği gibi CL kilinin elektrik iletkenlik değerleri FeCl_3 konsantrasyonunun artmasıyla artmıştır. Buna karşın, CH kilinin elektrik iletkenlik değerleri konsantrasyonun artışıyla azalmıştır. CL kili deney sonuçlarına benzer olarak Kaya (2001)'de yaptığı çalışmada bentonit ve kaolinit kilinin elektrik iletkenliğinin kil-su karışımındaki NaCl konsantrasyonunun artmasıyla artacağını ifade etmiştir. Buna karşın, kil-su karışımlarında elektrik iletkenliğin sadece kil ve sıvının bir fonksiyonu değil, kimyasal içerik, dane dağılımı ve danelerin şekline bağlıdır (Kaya and Fang 1997). Bu nedenle, CH kili üzerinde yapılan elektrik iletkenlik deneyleri sonucunda elde edilen azalışların sebebinin CH kilinin kimyasal ve mineralojik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5. Elektrik iletkenliğinin FeCl_3 tuz konsantrasyonları ile değişimi



Şekil 6. pH değerinin FeCl_3 tuz konsantrasyonları ile değişimi

pH deney sonuçları, FeCl_3 çözeltisinin killere üzerinde kısmen etkili olduğu ve pH değerlerini bir miktar azalttığını göstermektedir. Benzer şekilde, Ouahdi et al. (2006) bentonitin pH değerinin ağır metal konsantrasyonunun artmasıyla azalacağını ifade etmişlerdir.

Sıkıştırılmış kil şiltelerde düşük geçirimsilik özelliklerinden dolayı CH sınıfı killer yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında, yapılan bu çalışma sonuçları düşük plastisiteli killerin FeCl_3 çözeltisi etkisinde hidrolik iletkenlik açısından olumlu bir şekilde etkilendiğini göstermiştir. Bu nedenle, CH kili temininin zor ve/veya pahalı olacağı bazı özel koşullarda, katı atık depolarında CH sınıfı killer yerine CL sınıfı killerin de kullanılabileceği söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı iki kilin mühendislik özelliklerine FeCl_3 tuz çözeltisinin değişik konsantrasyonlarının etkisini araştırılmak amacıyla laboratuarda hidrolik iletkenlik, şişme basıncı, elektrik iletkenliği ve pH deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- FeCl_3 tuz çözeltisi, CL kilinin hidrolik iletkenliğini azaltmış, CH kilinin hidrolik iletkenliğini ise etkilememiştir.
- Konsantrasyonun artmasıyla CH kilinin şişme basıncında azalış, CL kilinin şişme basıncında ise kısmi bir artış tespit edilmiştir.
- CL kilinin elektrik iletkenliği FeCl_3 konsantrasyonunun artmasıyla artmıştır. Buna karşın, CH kilinin elektrik iletkenliği konsantrasyonun artışıyla azalmıştır.
- FeCl_3 çözeltisi her iki kilinde pH değerlerini bir miktar azaltmıştır.

Bu çalışma sonuçlarına dayanılarak, CH kili temininin zor ve/veya pahalı olacağı bazı özel koşullarda, katı atık depolarında CH sınıfı killer yerine CL sınıfı killerinde kullanılabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Alawaji, H.A., 1999. Swell and compressibility characteristics of sand-bentonite mixtures inundated with liquids. *Applied Clay Science*, 15: 411-430.
- Anonim, 2007. <http://www.kimyaevi.org/dokgoster.asp?dosya=903000005> (21.06.2007).
- Arasan, S., Yetimoğlu, T., 2006. Sızıntı suyu bileşenlerinin kil şiltelerin kıvam limitlerine etkisi. *Zem. Mek. ve Tem. Müh.* 11. Ulusla Kongresi, Trabzon, 439-445.
- Daniel, D. E., 1993. *Geotechnical Practice for Waste Disposal*. Chapman & Hall, London.

- Jo, H. Y., Katsumi, T., Benson, C. H., Edil, T. B., 2001. Hydraulic conductivity and swelling of nonprehydrated GCLs permeated with single-species salt solutions. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 127(7): 557-567.
- Jo, H.Y., Benson, C.H., Edil, T.B., 2004. Hydraulic conductivity and cation exchange in non-prehydrated and prehydrated bentonite permeated with weak inorganic salt solutions. *Clays and Clay Minerals*, 52(6): 661-679.
- Jo, H.Y., Benson, C.H., Shackelford, C.D., Lee, J.M., Edil, T.B., 2005. Long-term hydraulic conductivity of a geosynthetic clay liner permeated with inorganic salt solutions. *J. Geotech. Geoenv. Eng.* 131(4): 405-417.
- Kaya, A., 2001. Electrical spectroscopy of kaolinite and bentonite slurries. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 25, 345-354.
- Kaya, A., Fang, H.Y., 1997. Identification of contaminated soils by dielectric constant and electrical conductivity. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 123(2), 169-177.
- Kolstad, D. C., Benson, C. H., Edil, T. B., 2004. Hydraulic conductivity and swell of nonprehydrated geosentetic clay liners permeated with multispecies inorganic solutions. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 130(12): 1236-1249.
- Lee, J. M. and Shackelford, C. D., 2005. Impact of bentonite quality on hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 131(1): 64-77.
- Lee, J. M., Shackelford, C. D., Benson, C. H., Jo, H. Y., Edil, T. B., 2005. Correlating index properties and hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 131(11): 1319-1329.
- Mishra, A.K., Ohtsubo, M., Li, L., Higashi, T., 2005. Effect of salt concentrations on the permeability and compressibility of soil-bentonite mixtures. *J. Fac. Agr. Kyushu Uni.* 50(2): 837-849.
- Park, J., Vipulanandan, C., Kim, J.W., Oh, M.H., 2006. Effects of Surfactants and Electrolyte Solutions on the Properties of Soil. *Environmental Geology*, 49: 977-989.
- Petrov, R. J. and Rowe, R. K., 1997. Geosynthetic clay liner (GCL)-chemical compatibility by hydraulic conductivity testing and factors impacting its performance. *Can. Geotech. J.*, 34(6): 863-885.
- Ouhadi, V.R., Yong, R.N., Sedighi, M., 2006. Influence of heavy metal contaminants at variable pH regimes on rheological behaviour of bentonite. *Applied Clay Science*, 32, 217-231.

- Shackelford, C.D., Benson, C.H., Katsumi, T., Edil, T.B., Lin, L., 2000. Evaluating the hydraulic conductivity of GCLs permeated with non-standart liquids: Geotext. Geomem. 18: 133-161.
- Sivapullaiah, P.V., Manju, 2005. Kaolinite-alkali interaction and effects on basic properties. Geotechnical and Geological Engineering, 23: 601-214.
- Turer, D., 2007. Effect of heavy metal and alkali contamination on the swelling properties of kaolinite. Environmental Geology, 52: 421-425.
- Yılmaz, G., 2007. Katı atık depolarında oluşan çöp sızıntı sularının kil şiltelerin geçirirmliliğine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.