

Bentonit-Zeolit Karışımlarının Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi

Abidin KAYA*
Seda DURUKAN**
A.Hakan ÖREN***
Yeliz Yükselen****

ÖZ

Bu çalışmada, farklı bentonit içeriklerine sahip bentonitle zenginleştirilmiş zeolit (BZ), bariyer malzemesi olarak bentonitle zenginleştirilmiş kuma (BK) alternatif malzeme olmak üzere geliştirilmiştir. Bu doğrultuda, Na-bentonit ve zeolitin katyon değiştirme kapasiteleri, karışımların birim hacimsel büzülme, kompaksiyon karakteristikleri ve hidrolik iletkenlik değerleri incelenmiştir. Kumun adsorpsiyon kapasitesinin sıfır olduğu düşünülürse, zeolitin yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olmasının uygulamadaki önemi açıktır. Hidrolik iletkenlik testlerinde ise BZ'nin %10 ve %20 bentonit içeren karışımlarında, bariyer malzemeleri için istenen $1 \cdot 10^{-9}$ m/s değerinden daha küçük değerlere ulaşılmıştır. Hatta, test sonuçları farklı gerilme değerleri altında hidrolik iletkenlik değerlerindeki değişimlerin uygulamada önemsiz derecede az olduğunu göstermiştir.

ABSTRACT

Determining the Engineering Properties of Bentonite – Zeolite Mixtures

In this study, bentonite-embedded zeolites with different bentonite content were developed for possible use as barrier material, as an alternative to bentonite-embedded sand. Cation exchange capacity (CEC) of Na-bentonite and zeolite; volumetric shrinkage, compaction characteristics; and hydraulic conductivity of the mixtures were investigated. Considering the zero adsorption capacity of sand, the practical implication of high CEC of zeolite is remarkable. Hydraulic conductivity tests on bentonite embedded zeolite with 10% and 20% bentonite content show that the hydraulic conductivity of both mixtures are less than $1 \cdot 10^{-9}$ m/s, which meets the common regulatory requirements. Moreover, the test results reveal that variations in hydraulic conductivity of the mixtures with different stress conditions are negligible for practical purposes.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.02.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2006 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir – kayaa2002@yahoo.com

** Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa – seda.durukan@bayar.edu.tr

*** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir – ali.oren@deu.edu.tr

**** Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir – yeyukselen@yahoo.com

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve endüstri beraberinde, kontrolsüz atıklara bağlı olarak artan çevre kirliliği, insan sağlığını oldukça olumsuz yönde etkilemektedir. Çevre kirliliğinin önlenmesi, sanayi ya da doğal atıkların kontrolünün sağlanması ve atıkların yeraltı suyuna karışmasının önlenmesi amacıyla çöp depolama alanlarında zeminde geçirimsiz tabakaların oluşturulması yönünde çalışmalar yapılmıştır. Bahsi geçen geçirimsiz tabakalar, zehirli atıkların, ağır metallerin ve hatta radyoaktif maddelerin ortama karışmasını engelleyecek ve bu maddeleri bünyesinde hapsedecek nitelikte olmalıdır.

Günümüze kadar yapılan çalışmaların ışığında, elde edilen verilere göre, geçirimsiz tabakalarda olması istenen özellikler; düşük hidrolik iletkenlik, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklılık, su içeriğindeki değişimlere karşı dayanıklılık, inşaat aşamasında ve sonrasında süreklilik sağlayacak uygun mekanik özellikler, ucuz maliyet, bol miktarlarda bulunabilirdir.

2. KONUYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Çöp depolama alanlarında geçirimsiz tabaka uygulamaları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Günümüzde, geçirimsiz tabaka olarak kullanılacak malzemenin, kabul edilebilir hidrolik iletkenlik değerinin, $1 \cdot 10^{-9}$ m/s değerinden büyük olmaması gerekmektedir. [1,2,3,4,5,6]

Killer, düşük hidrolik iletkenlikleri ve yüksek adsorpsiyon kapasiteleri ile akla ilk gelen geçirimsiz tabaka malzemesidir. Bununla beraber, yapılan araştırmalar göstermiştir ki; killer sıcaklık ve su içeriği değişimlerinden oldukça fazla etkilenmekte; geçirimsiz malzemede çatlaklar oluşmakta ve dolayısıyla mühendislik parametreleri de istenilen düzeyden uzaklaşmaktadır [7,8,9,10].

Şişme ve büzülme çatlakları killi zeminlerde en çok karşılaşılan sorunlardan birisi olup geçirimsiz tabakanın devamlılığını sağlayabilmek için minimum düzeye indirilmelidir. Kleppe ve Olson (1985), mineral bazlı geçirimsiz tabaka malzemelerinde ciddi ve malzemenin geçirimsizliğini etkileyecek büzülme kırıklarının %4-5 hacimsel büzülmeden sonra gerçekleştiğini belirlemişlerdir [11].

Killerin sıcaklık ve su içeriği değişimleri etkisinde arzu edilen sonucu vermemesi üzerine, kumlarla karıştırılması fikri öne sürülmüştür. Sonuç olarak kil çeşitlerinin arasından düşük hidrolik iletkenliğe sahip olan bentonit ile kum karıştırılarak kullanılmıştır. Bu karışım istenilen sonucu vermiş; ayrıca sıcaklık ve su içeriği etkisinde çatlaklar gözlenmemiştir. Bununla beraber, kumların adsorpsiyon kapasitelerinin olmamasından dolayı zararlı atık adsorpsiyonu hedeflenen miktarların oldukça altında kalmıştır [5,6,11,12,13,14,15].

Alternatif olarak kullanılan bir diğer malzeme ise geosentetik killerdir. Geosentetik killer, hem hidrolik iletkenlik hem de adsorpsiyon kapasitesi olarak beklenen düzeyde çalışmaktadırlar; fakat doğal bir malzeme olmadığından işleniş açısından pahalılık göstermekte ve bu yüzden tercih edilmemektedir. [4,12,16,17,18,19,20]

Malzemenin hidrolik iletkenliği maruz kalacağı kimyasal etkiler (düşük dielektrik sabiti, yüksek elektrolit konsantrasyonu vb.) karşısında değişebilir. Bu değişim istenmeyen sonuçlar doğurabilir [4,20,21,22,23].

Belirtilen çalışmalar göstermiştir ki kullanılan bazı kimyasal sıvıların bentonitle zenginleştirilmiş kum (BK) ve geosentetik killerin hidrolik iletkenlikleri üzerinde oldukça olumsuz etkileri olmuştur. Bununla beraber, bu malzemelere alternatif olarak bentonitle zenginleştirilmiş zeolit (BZ) karışımlarının kullanılması düşünülmüş ve bu konuda bazı çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak BZ'nin BK ve geosentetik killere göre daha olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Fakat bu çalışmaların oldukça az sayıda olması ve deney koşullarının gerçekçi olup olmaması gibi faktörler de söz konusudur [1,2,3,24].

Böylelikle geçirimsiz tabaka uygulamalarında kum yerine adsorpsiyon kapasitesi en az killerinki kadar yüksek olan zeolit kullanılması önerilmiş ve bu doğrultuda gerekli mühendislik parametreleri belirlenmek üzere testlere tabi tutulmuştur. Zeolit bir tekto-silikattır ve diğer tekto-silikatlardan (feldspat, kuvarz) farklı olarak zeolit iskeleti tamamen açıktır ve üç boyutlu sürekli bir tünel ve kafes sistemine sahiptir. Bu sistem, kendi açıklıklarından daha küçük olan moleküllerin geçişini sağlar ve bu yüzden, literatürde "moleküler elekler" adını almıştır. Ticari olarak kullanıldığı bilinen beş çeşit zeolit belirlenmiştir. Bunlar: Klinoptilolit, kabazit, mordenit, erionit ve filipsittir. Doğal zeolitler dünyanın birçok yerinde kaya formunda mineraller şeklinde bulunur ve Türkiye de oldukça geniş rezervlerle önemli bir konuma sahiptir. Bigadiç rezervleri buna en iyi örneklerden biridir; diğerleri de Ankara Polatlı Mülk Oğlakçı bölgesi, Şaphane, Gediz, Emet ve Gördes yöreleridir [25,26,27].

Türkiye'de kolay bulanabilen ve ucuz bir malzeme olan zeolit, bentonitle zenginleştirilmiş şekli ile yapılan deneyler ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

3. MALZEME VE METOD

Deneyler esnasında zeolit-bentonit (BZ) ve kum-bentonit (BK) karışımları kullanılmıştır. Zeolit-bentonit ve kum-bentonit karışımları, bentonit kuru ağırlığı toplam ağırlığın %3'ü, %5'i, %10'u ve %20'si olacak şekilde hazırlanmıştır. Zeolit, Bigadiç rezervlerinden, bentonit Balıkesir, Marmara Concord firmasından ve kum da Dokuz Eylül Üniversitesi zemin mekaniği laboratuvarından temin edilmiştir.

Her bir karışım için likit limit (BS'ye göre düşen koni penetrasyon yöntemi ile), plastik limit ve rötre limit, özgül ağırlık, standart kompaksiyon, birim hacimsel büzülme, konsolidasyon deneyleri ASTM standartlarına göre belirlenmiştir [28].

Konsolidasyon deneyleri, hidrolik iletkenliği bulabilmek amacı ile kompaksiyon deneylerinden elde edilen bilgiler ışığında her bir zemin örneği için belirlenen optimum su içeriğinde sıkıştırılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Birim hacimsel büzülme deneyleri, farklı su içeriklerine sahip örneklerin standart kompaksiyon tokmağı ile sıkıştırılıp, sıkışan numunenin fırında ve açık havada kurutulması ile gözlenen hacimsel şekil değişim miktarının belirlenmesinden ibarettir.

4. BULGULAR

Na-bentonit, zeolit ve Na-bentonit, kum ile yapılan deneyler sonucunda bütün karışımlar için kıvam limitleri, optimum sıkışma noktaları belirlenmiştir. Kum-bentonit karışımları için birim hacimsel büzülme değerlerini belirlemek, karışımın yapısal özelliklerinden dolayı mümkün olmamıştır. Ayrıca, %3 ve %5 zeolit-bentonit ve kum-bentonit karışımları ile %10 kum-bentonit karışımı için de konsolidasyon davranışı gözlenmemiştir. Bu

Bentonit – Zeolit Karışımların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi

nedenle, konsolidasyon deneyleri sonucunda elde edilen hidrolik iletkenlik katsayıları %10 ve %20 zeolit-bentonit ve %20 kum-bentonit karışımları için belirlenmiştir.

Kullanılan zeolit, bentonit ve kumun özgül ağırlık değerleri sırasıyla 2.39 t/m^3 , 2.71 t/m^3 ve 2.61 t/m^3 ; kation değişim kapasiteleri ise 40 meq/100gr, 104.4 meq/100gr ve 0 olarak belirlenmiştir.

4.1 Kıvam Limitleri

Tüm karışımlara uygulanan likit limit (LL), plastik limit (PL) ve rötre limiti (RL) deney sonuçları ve plastisite indeksi (PI) değerleri aşağıda Çizelge 1’te verilmiştir. Her iki karışımda da bentonit oranı arttıkça LL, PL ve RL’de artış görülmektedir. Bu artış Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3’te daha iyi görülmektedir. % 3, % 5 ve % 10 bentonit içeren kum-bentonit karışımları ile %3 bentonit içeren zeolit-bentonit karışımlarında plastik limit değerleri elde edilememiştir.

Çizelge 1. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

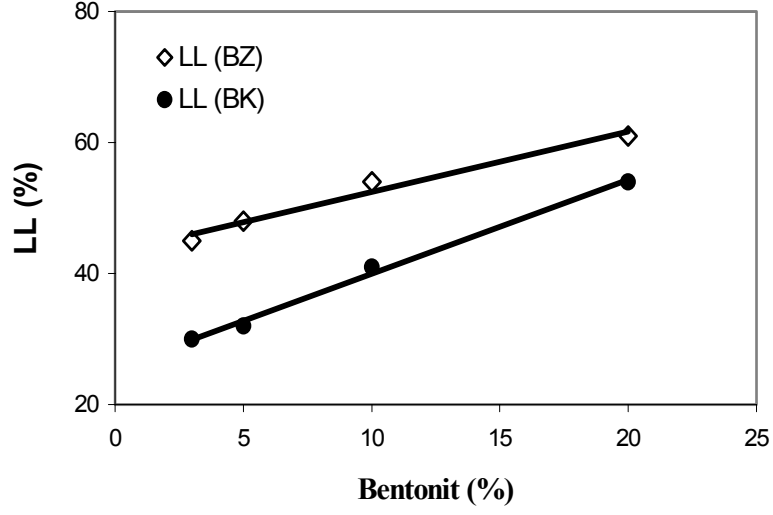
Zemin	LL (%)	PL (%)	RL (%)	PI (%)
Kum	*	NP	*	NP
Bentonit	210	52	*	118
Zeolit	42	NP	*	NP
%3 BZ	45	NP	*	NP
%5 BZ	48	32	36	16
%10 BZ	54	33	38	21
%20 BZ	61	35	40	26
%3 BK	30	NP	*	NP
%5 BK	32	NP	*	NP
%10 BK	41	NP	*	NP
%20 BK	54	27	25	27

* Belirlenememiştir.

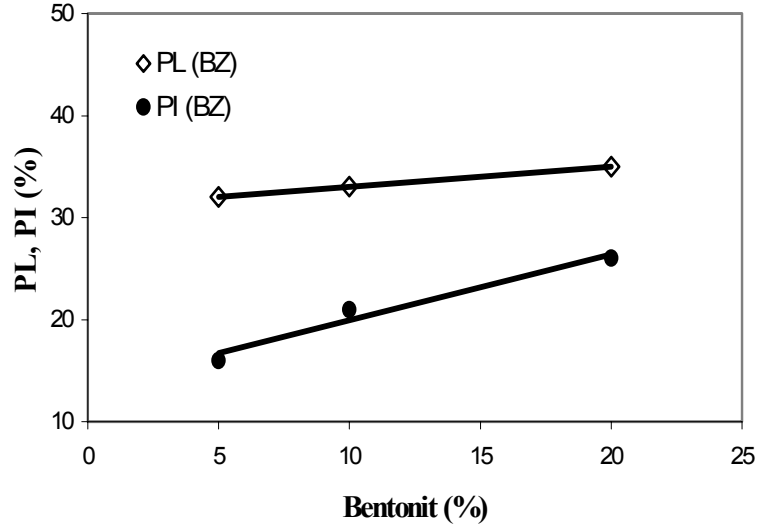
NP; Non-plastik, Plastik olmayan

4.2 Kompaksiyon Özellikleri

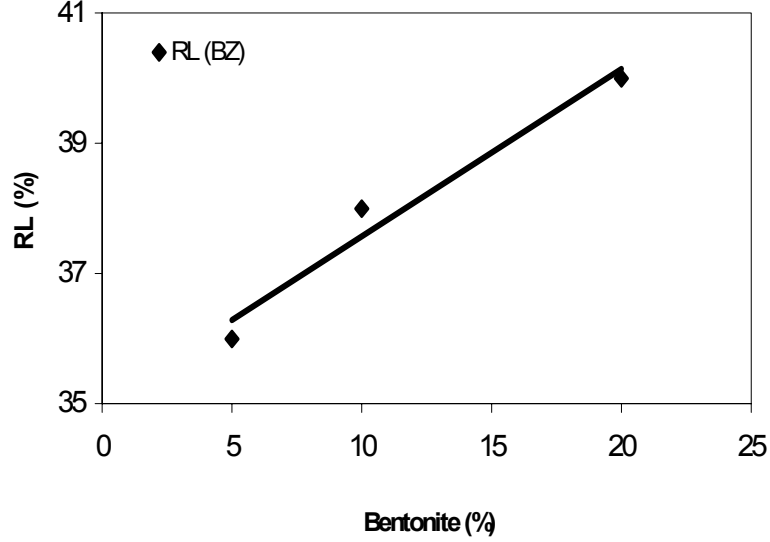
BZ ve BK örneklerinin hepsine kompaksiyon testleri uygulanmış ve %100 ve %85 doyunluk dereceleri için eğrilerin çiziminde de BZ için zeolitin, BK için kumun özgül ağırlıkları dikkate alınarak hesap yapılmıştır. Kompaksiyon eğrileri BZ için Şekil 4’te, BK için Şekil 5’de görülebilir. Şekillerden görüldüğü gibi, bentonit içeriği arttıkça optimum su içeriği artmakta ve kuru birim hacim ağırlık azalmaktadır. Bentonitin aktivitesi göz önünde bulundurulduğunda bu beklenen bir davranıştır. Kil danelerinin etrafında oluşan adsorbe su tabakası su içeriğini artırıcı ve kuru birim hacim ağırlığı azaltıcı yönde etki yapmaktadır. Bununla beraber, BZ ve BK sonuçlarındaki kil içeriği değişikçe gözlenen su içeriği ve kuru birim hacim ağırlık değerlerindeki değişimler pratik anlamda pek de önemli sayılmaz ve ihmal edilebilirler. BZ ve BK’ye ait kompaksiyon karakteristikleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Likit Limitin Bentonit Yüzdesine Göre Değişimi



Şekil 2. Plastik Limitin ve Plastisite İndeksinin Bentonit Yüzdesine Göre Değişimi



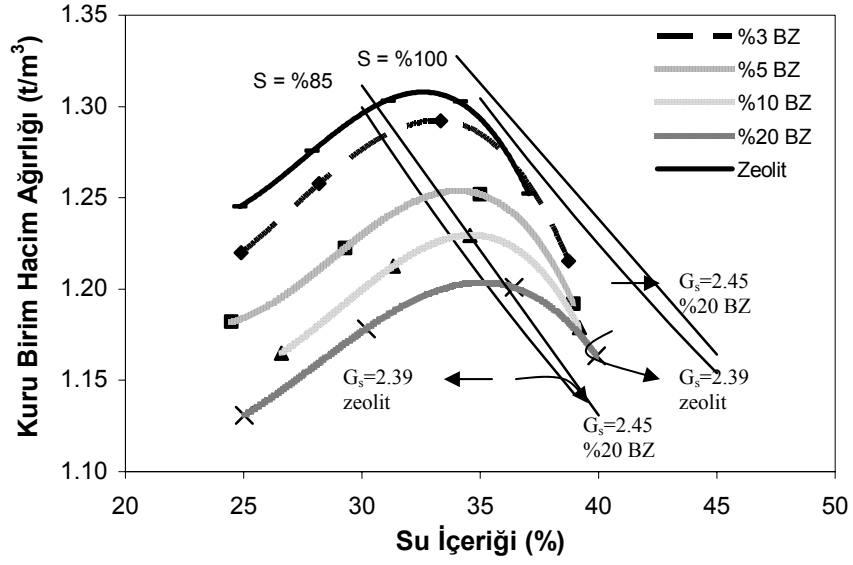
Şekil 3. Rötire Limitinin Bentonit Yüzdesine Göre Değişimi

4.3 Birim Hacimsel Büzülme

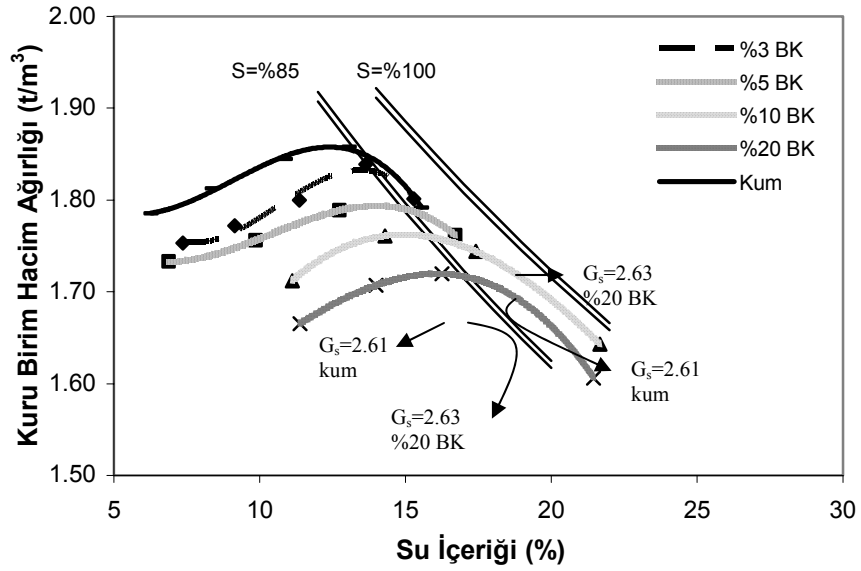
Bu çalışmada BK örneklerinde birim hacimsel büzülme (Eşitlik 1’de verilmiştir.) değerleri elde edilememiştir. BZ birim hacimsel büzülme değerleri Şekil 6’da verilmiştir. Bu çalışmada %10 ve %20 BZ için optimum su içerikleri sırasıyla %36 ve %37 olarak saptanmıştır. Optimum su içeriğinde kullanıldığında, Kleppe ve Olson (1985)’a göre %5 olan hacimsel büzülme limitinden oldukça uzak görünmektedirler. Başka bir deyişle, optimum su içeriğinde kullanılacak olan malzeme herhangi bir hacimsel büzülme riski taşımamaktadır. BZ ve BK’nın optimum su içeriklerinde hangi yüzdede birim hacimsel büzülme değerlerinde olacakları ve kritik %4 birim hacimsel büzülme değerine hangi su içeriklerinde ulaşacakları aşağıdaki Çizelge 3’de verilmiştir. [11]

$$\text{Birim hacimsel büzülme} = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1)$$

Burada, ΔV hacim değişimini; V_0 ise başlangıç hacmini belirtmektedir.



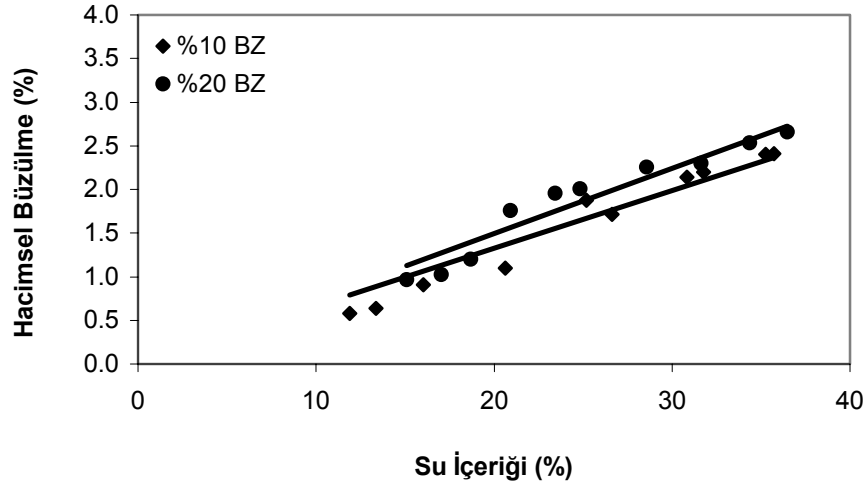
Şekil 4. BZ'ye ait kompaksiyon eğrileri



Şekil 5. BK'ye ait kompaksiyon eğrileri

Çizelge 2. BZ ve BK'ye ait Kompaksiyon Karakteristikleri

Bentonit	BZ			
	%3	%5	%10	%20
Optimum Su İçeriği (%)	33	34	36	37
Kuru Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	1.29	1.27	1.25	1.23
Bentonit	BK			
	%3	%5	%10	%20
Optimum Su İçeriği (%)	13	14	15	16
Kuru Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	1.85	1.79	1.76	1.72



Şekil 6. BZ için Birim Hacimsel Büzülme Değerleri

Çizelge 3. BZ'nin Birim Hacimsel Büzülme Değerleri

	DENEY ÖRNEKLERİ	
	%10 BZ	%20 BZ
%4 Hacimsel Büzülme Değerindeki Su İçeriği (%)	60	54
Optimum Su İçeriğindeki Hacimsel Büzülme Değeri (%)	2.4	2.75

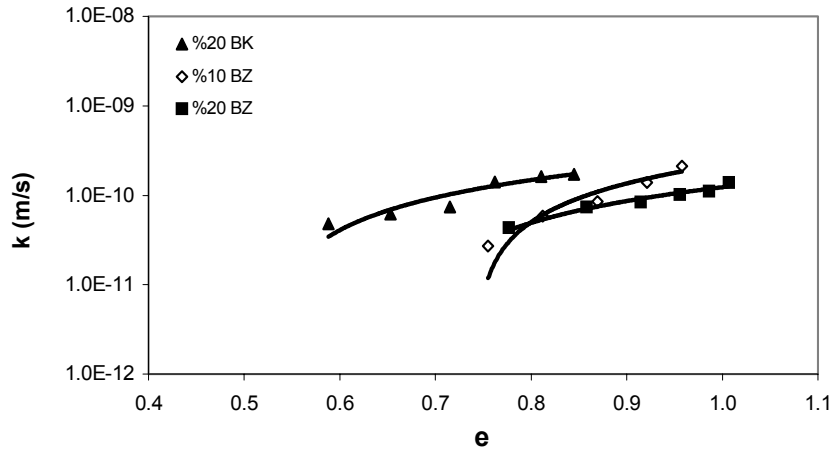
4.4 Konsolidasyon Parametreleri ve Hidrolik İletkenlik

Yapılan çalışma koşullarında hidrolik iletkenliğin belirlenmesi için en uygun olan test şekli üç eksenli permeabilite testidir. Fakat laboratuvar imkanları doğrultusunda, bu çalışmada, hidrolik iletkenlik, konsolidasyon bağıntılarından yararlanılarak tek eksenli konsolidasyon deney aleti ile elde edilmiştir. Konsolidasyon testleri hidrolik iletkenliklerinin belirlenmesi amacı ile sadece %10, %20 BZ ve %20 BK örnekleri üzerinde uygulanmıştır. Deney sonunda elde edilen hidrolik iletkenlik katsayıları Çizelge 4’de verilmiştir. Hidrolik iletkenliğin ($k - m/s$) her bir zemin örneği için boşluk oranı (e) ile değişimi Şekil 7’de görülebilir. [29,23]

Hidrolik iletkenliğin konsolidasyon deney aleti kullanılarak bulunması sırasında oluşabilecek en büyük hatalardan biri numune ile çember arasındaki sızmadır. Deney esnasında herhangi bir sızma olayının gerçekleşip gerçekleşmediğini görmek; BZ’nin hidrolik iletkenliğinin düşey gerilme ile nasıl değiştiğini saptamak amacı ile %20 BZ örneği üzerinde değişen düşey gerilmeler altında davranışı incelenmiş, sonuçları Çizelge 5’te gösterilmiştir. Testler sırasında şişme etkisinin gözlenmesi açısından da ilk oturma gerilmesi de uygulanmamıştır.

Çizelge 4. Zemin Örneklerinin Hidrolik İletkenlik Parametreleri

Zemin Örneği	%10 BZ	%20 BZ	%20 BK
k final (m/s)	$2.69 \cdot 10^{-11}$	$4.33 \cdot 10^{-11}$	$4.81 \cdot 10^{-11}$
Final boşluk oranı, e	0.7552	0.7769	0.5879
Başlangıç boşluk oranı, e	1.0125	1.0333	0.8662
Boşluk oranı farkı Δe	0.2573	0.2564	0.2783



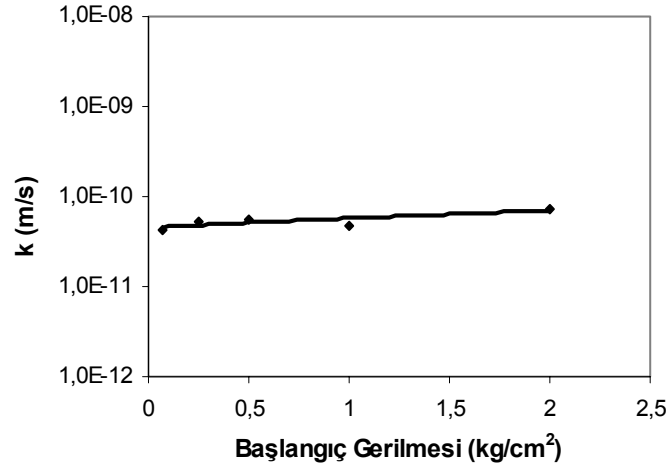
Şekil 7. Hidrolik İletkenliğin Boşluk Oranına Göre Değişimi

Çizelge 5. Değişen Düşey Başlangıç Gerilmeleri Altında %20 BZ'nin Hidrolik İletkenlik Davranışı

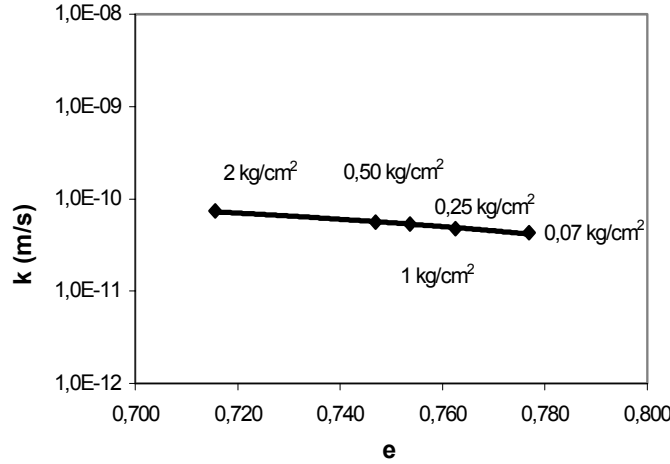
Gerilme (kg/cm ²)	0,25	0,50	1,00	2,00	Standart Test*
$k_{\text{başlangıç}}$ (m/s)	2,26E-10	2,88E-10	1,32E-10	1,08E-10	1,39E-10
k_{final} (m/s)	5,32E-11	5,57E-11	4,73E-09	7,34E-11	4,33E-11
$k_{\text{başl.}} / k_{\text{final}}$	4,2	5,2	2,8	1,5	3,2

*0,07 kg/cm² başlangıç oturma gerilmesi ile

Test sonuçları pratik anlamda birbirine oldukça yakın çıkmıştır ve bu da herhangi bir sızmanın olmadığını göstermektedir. Bununla beraber her bir numunenin başlangıç ve final hidrolik iletkenlik değerlerinde de pratik anlamda fark yoktur. Bu da oldukça küçük gerilmelerde bile şişme etkisinin gözlenmediğini ve sızma meydana gelmediğini göstermektedir. %20 BZ örneklerinin farklı başlangıç gerilmelerine göre değişen hidrolik iletkenlik değerleri Şekil 8'de, farklı başlangıç gerilmelerindeki hidrolik iletkenlik değerlerinin test örneklerinin boşluk oranlarına göre değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi başlangıç gerilmelerine göre değişen hidrolik iletkenlik değeri neredeyse hiç farklılaşma göstermemektedir. Aynı durum farklı başlangıç değerlerindeki boşluk oranları ve hidrolik iletkenlik değerleri arasındaki ilişki için de söylenebilir. Literatürde hidrolik iletkenliğin değişen düşey gerilmeler altında farklılık göstereceği ileri sürülmektedir. Fakat, bu çalışmada bahsi geçen şekilde bir değişiklik gözlenmemiştir. [29]



Şekil 8. %20 BZ için Değişen Başlangıç Gerilmeleri ile Değişen Hidrolik İletkenlik Değerleri



Şekil 9. %20 BZ için Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Boşluk Oranına Göre Değişimi

Yukarıda verilen sonuçlara göre her iki zemin örneği de geçirimsiz tabakalar için öngörülen hidrolik iletkenlik değerlerine sahiptir. Arada pratik açıdan pek de fark olmamasına rağmen BZ örnekleri daha düşük hidrolik iletkenliğe sahiptir ve sıkıştırılmış örneklerin değişen düşey gerilme koşullarından etkilenmediği ve aynı zamanda şişme etkisine karşı da dayanıklı olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her iki malzeme de geçirimsiz tabaka malzemesi olarak uygun olmakla beraber BZ'nin kation değişim kapasitesi açısından bir üstünlük sağladığı söylenebilir. Bununla beraber her iki malzemede de yeterli hidrolik iletkenlik değerlerine ulaşılmış ve herhangi bir büzülme çatlama da rastlanmamıştır.

Day ve Daniel (1985) arazide gerçekte karşılaşılan hidrolik iletkenlik değerlerinin genelde laboratuarda belirlenen değerlerden daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin arazi hidrolik iletkenlikleri laboratuvar sonuçlarından 10 kat daha fazla olacak olsa bile yine de geçirimsiz tabaka için istenilen hidrolik iletkenlik değerlerine göre geçerli sayılmaktadır. Hatta, King vd., (1993) çöp alanlarının altındaki geçirimsiz tabakaların zaman içinde hidrolik iletkenliklerinin azalacağını da göstermiştir. [30,31]

Hidrolik iletkenlik testi için üç eksenli permeabilite deney aletinin daha uygun olacağı vurgulanmıştır. Bununla beraber imkanlar doğrultusunda hidrolik iletkenlik, dolaylı bir yolla, konsolidasyon deneyi ile belirlenmiştir. Hava kabarcıklarının giderilmesini sağlayan geribasinç sisteminin olmaması doygunluk oranı ile ilgili sorun yaratır gibi görünse de; aslında havası tamamen alınmamış sıkıştırılmış killi tabakalar arazi koşullarını daha gerçekçi bir şekilde yansıtmaktadır.

Hidrolik iletkenliğin konsolidasyon ile tespitinde akla gelen diğer bir sorun da numune ve deney çemberi arasındaki sızma olasılığıdır. 1980'lerin başlarında sızma probleminin killi zeminlerin testleri üzerinde oldukça ciddi etkilerinin olduğu anlaşılmıştır. Bununla beraber, artan düşey gerilmeler yatay gerilmeyi de beraberinde arttıracak ve gerilme değeri arttıkça

Bentonit – Zeolit Karışımların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi

sızma problemi azalacaktır. Daniel (1994) 50 kPa'dan (0,5 kg/cm²) daha yüksek gerilmeler altında olan test numuneleri için sızma probleminin oldukça azaldığını göstermiştir. Ancak, çöp alanlarının altında bulunan bir geçirimsiz malzeme için bu gerilme değerlerine ulaşmak gerçekten uzaktır. Bu yüzden, çalışma esnasında düşük gerilme değerleri ile deneyleri gerçekleştirmek daha uygundur. [29]

BZ üzerinde yapılan hacimsel büzülme deneylerinde de oldukça tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Optimum su içeriğinde sıkıştırılan BZ örneklerinde herhangi bir büzülme çatlağı ile karşılaşılma ve olası çatlakların meydana gelmesi için de oldukça yüksek su içeriklerine sahip olması gerektiği tespit edilmiştir.

Her iki malzemenin de kompaksiyon davranışı benzerdir. Artan bentonit içeriği ile beraber kuru birim hacim ağırlık ve su içeriği değerlerinde ciddi farklılıklar görülmemektedir. Bu çalışmada Kayabalı (1997)'nin çalışmasından farklı olarak bentonit içeriği arttıkça optimum su içeriği artmakta ve kuru birim hacim ağırlık azalmaktadır. Oysa Kayabalı (1997) B/Z oranı arttıkça optimum su içeriğinin azaldığını ve kuru birim hacim ağırlığın arttığını gözlemiştir. Bu farklılık, kullanılan sıkıştırma metodundan kaynaklanacağı gibi malzemelerin dane dağılımından da kaynaklanabilir. Bununla beraber aradaki farklar oldukça küçük hatta pratik anlamda eşit sayılabileceği için uygulama sırasında pek de anlamlı değildir. [2]

Katyon değişim kapasitesi açısından zeolitin kuma göre üstünlüğü açıktır. Böylelikle BZ'nin adsorpsiyon kapasitesinin de BK'dan daha yüksek olacağı görülmektedir. Fiziksel özellikleri açısından her ikisi de yeterlilik gösteren ve daha önceki çalışmalarla da uyum gösteren BZ ve BK'nın karar noktası kimyasal özelliklerdedir. Böylece, sonuç olarak BZ'nin katyon değişim kapasitesi BK'dan daha yüksektir ve de tercih sebebidir. Bununla beraber arazi şartlarındaki performansı da ilerleyen çalışmalar esnasında incelenmelidir.

SEMBOLLER

BZ	Bentonitle Zenginleştirilmiş Zeolit
BK	Bentonitle Zenginleştirilmiş Kum
CEC	Cation Exchange Capacity (Katyon Değişim Kapasitesi)
LL	Likit Limit
PL	Plastik Limit
RL	Rötre Limiti
PI	Plastisite İndeksi
S	Doygunluk Oranı
G _s	Özgül Ağırlık
ΔV	Hacim Değişimi
V ₀	Başlangıç Hacmi
k	Hidrolik İletkenlik
e	Boşluk Oranı
Δe	Boşluk Oranı Farkı

Kaynaklar

- [1] Güney, Y. & Koyuncu, H., The behavior of bentonite-zeolite landfill versus salt and metal pollution. 6th International Symposium on Geoenvironmental Geotechnology and Global Sustainable Developments, Chung-Ang University, Seoul, Korea, 61-68, 2002.
- [2] Kayabalı, K., Engineering aspects of a novel landfill material: Bentonite amended natural zeolite. *Engineering Geology*, 46, 105-114, 1997.
- [3] Kayabalı, K. & Kezer, H., Testing the ability of bentonite amended zeolite (clinoptilolite) to remove heavy metals from liquids waste. *Environmental Geology*, 34, 95-102, 1998.
- [4] Ruhl, J. & Daniel, D.E., Geosynthetic clay liners permeated with chemical solutions and leachates. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123, 369-381, 1997.
- [5] Stewart, D.I., Cousens, T.W., Studds, P.G., & Tay, Y.Y., Design parameter for bentonite enhanced sand as a landfill liner. *Proc. Instn. Civil Engng.*, October, 137, 189-195, 1999.
- [6] Tay, Y.Y., Stewart, D.I. & Cousens, T.W., Shrinkage and desiccation cracking in bentonite-sand landfill liners. *Engineering Geology*, 20, 263-274, 2001.
- [7] Benson, C.H., & Othman, A.M., Hydraulic conductivity of compacted clay frozen in situ. *J. Geotech. Engng.*, ASCE, 119(2), 276-294, 1993.
- [8] Chamberlain, E.J., Erickson, A., & Benson, C., Effects of frost action on compacted clay barriers. *Geoenvironment 2000*, ASCE, New York, N.Y., 46, 702-717, 1995.
- [9] Chamberlain, E.J., Iskender, I., & Hunsiker, S.E., Effect of freeze thaw on the permeability and macrostructure of soils. *Proceedings, International Symposium on Frozen Soil Impacts on Agricultural, Range, and Forest Lands*, March 21-22, Spokane, WA, 145-155, 1990.
- [10] Othman, M., Benson, C., Chamberlain, E., & Zimmie, T., Laboratory testing to evaluate changes in hydraulic conductivity caused by freeze-thaw: state-of-the-art. *Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soils*, ASTM, STP, 1142, 227-254, 1994.
- [11] Kleppe, J. H. and Olson, R.E., Desiccation cracking of soil barriers. *ASTM, Special technical Publication*, 874, 263-275, 1985.
- [12] Kraus, J.F., Benson, C.F., Erickson, A.E., & Chamberlain, E.J., Freeze thaw cycling and hydraulic conductivity of bentonitic barriers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(3), 229-238, 1997.
- [13] Shan, H.-Y. & Daniel, D.E., Results of laboratory tests on a geotextile-bentonite liner material. *Proc., Geosynthetics '91 Industrial Fabrics Association International*, St. Paul, Minn., 517-535, 1991.
- [14] Sivapullaiah, P.V., Sridharan, A. & Stalin, V.K., Hydraulic conductivity of bentonite-sand mixtures. *Canadian Geotech. J.*, 37, 406-413, 2000.
- [15] Villar, M.V. & Rivas, P., Hydraulic properties of montmorillonite-quartz and saponite-quartz mixtures. *Applied Clay Science*, 9, 1-9, 1994.
- [16] Daniel, D.E., Geosynthetic clay liners. *Geotechnical News*, 9(4), 28-33, 1991.
- [17] James, A.N., Fullerton, D. & Drake, R., Field performance of GCL under ion exchange conditions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123, 897-901, 1997.

Bentonit – Zeolit Karışımların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi

- [18] Lin, L.-C. & Benson, C.H., Effect of wet-dry cycling on swelling and hydraulic conductivity of GCLs. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 126, 40-49, 2000.
- [19] Shackelford, C.D., Benson, C.H., Katsumi, T., Edil, T.B. & Lin, L., Evaluating the hydraulic conductivity of GCLs permeated with non-standard liquids. *Geotextiles and Geomembranes*, 18, 133-161, 2000.
- [20] Shan, H.-Y. & Lai, Y.-J., Effect of hydrating liquid on the hydraulic properties of geosynthetic clay liners. *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 19-38, 2002.
- [21] Alther, G.R., Evans, J.C., Fang, H.-Y. & Witmer, K., Influence of organic permeants upon permeability of bentonite. *Hydraulic Barriers in Soil and Rock*, ASTM, STP, 874, 64-73, 1985.
- [22] Kaya, A., & Fang, H.-Y., The effects of organic fluids on physicochemical parameters of fine grained soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 37, 943-950, 2000.
- [23] Olson, R.E., & Daniel, D.E., Measurement of the hydraulic conductivity of fine grained soils. *Permeability and Groundwater Contaminant Transport*, ASTM STP, 746, 18-64, 1981.
- [24] Durukan, S., A study on physicochemical properties of bentonite embedded zeolites, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Bitirme Projesi, 2002.
- [25] Ataman, G., Batı anadolu zeolitleri oluşumları. *Yerbilimleri*, 3, 85-94, 1997.
- [26] Baysal, O., Gündoğdu, N., Temel, A., & Öner, F., Bigadiç zeolit oluşumlarının ekonomik, jeolojik incelenmesi projesi. H.U. YUVAM, 85-2, Ankara, 1986.
- [27] Kaya, A. & Durukan, S., Utilization of Bentonite Embedded Zeolite as Clay Liner. *Applied Clay Science*, 25, 83-91, 2004.
- [28] ASTM, Annual Book of ASTM Standards; Sect. 4, Vol. 04.08. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 1999.
- [29] Daniel, D.E., State of the art: Laboratory hydraulic conductivity tests for saturated soils. *Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil*, ASTM, STP, 1142, 30-78, 1994.
- [30] Day, S.R. & Daniel, D.E., Hydraulic conductivity of two prototype clay liners. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111, 957-970, 1985.
- [31] King, K.S., Quigley, R.M., Fernandez, F., Reades, D.W. & Bacopoulos, A., Hydraulic conductivity and diffusion monitoring of the Keele Valley Landfill liner, Maple, Ontario. *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 124-134, 1993.