



## Makale

# ATIK MERMER TOZUNUN GEÇİRİMSİZ KİL TABAKALARDA DONMA - ÇÖZÜLMEME ETKİSİ

Lemi Tufan TAŞPOLAT<sup>a</sup>, İsmail ZORLUER<sup>b</sup>, Hakan KOYUNCU<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Anadolu Üniversitesi Bilecik Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknikerliği Bölümü, Bilecik

<sup>b</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

<sup>c</sup>Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

## ÖZET

Bu çalışmada Atık depolama tabakalarında kullanılan Afyon mermer tozlarının donma ve çözülme özelliğine etkisi araştırılmıştır. Kil tabakası olarak %10 bentonit +%90 Kaolin karışımı kullanılmıştır. Bu kil tabakası üzerine %5, %10, %15 oranında mermer tozu ilave edilmiştir. Elde edilen bu karışımlar üzerinde Donma-çözünme deneyi yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre %10 ve %15'lik mermer tozu ilave edilen karışımların kayıp miktarında sırasıyla %13,5 ve %12,5 azalma gözlenmiştir. Sonuç olarak; geçirimsiz kil tabakalarda çevresel şartlara karşı %10 ve %15 mermer tozu ilavesi mukavemeti artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Geçirimsiz tabaka, mermer tozu, donma-çözünme.

## 1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun son yıllarda şehirlerde yoğunlaşması ve tüketimin artması sonucunda, miktarı hızlı bir artış gösteren katı atıkların uzaklaştırılması ve çevreye zarar vermeden depolanması büyük bir problem oluşturmaya başlamıştır. Üretim ve dolayısıyla tüketimin artması sonucunda her geçen gün yeni ürünler keşfedilmekte ve bunlar atık miktarını daha da arttırmaktadır. Sanayileşmekte olan ülkelerde çevre bilincinin artmasıyla birlikte çöplerin depolanmasında daha sıkı standartlar uygulanmaya başlanmıştır. Çünkü günümüzde geliştirilen teknolojilere rağmen birçok atık türünün yeniden üretime kazandırılması, ekonomik ve kimyasal olarak mümkün olmamaktadır. Toplanan çöplere yakma, kompostlaştırma gibi yeni teknolojik işlemler uygulanmakta fakat sonuçta yine de bir miktar çöpün son uzaklaştırma işlemi için depolanması gerekmektedir.

Düzenli katı atık depolarından kaynaklanan sorunlardan biriside katı atıklardan sızan ve tabana ulaşan yüksek kirlilik derecesine sahip sızıntı sularıdır. Bu sızıntı suları yeraltı ve yüzey sularına karışabilir. Bunları önlemek için depolama tabanında kil tabakalar (clay liners) yapılması gereklidir. Depo alanında atık maddelerin insan ve canlılarla temasını kesmek ve yağmur suyunun atık kütleyle girmesini önlemek için üstlerinin örtülmesi gereklidir. Bu örtü tabakalarında kullanılan kil sızdırmazlık bariyerlerinde aranan bir takım özellikler vardır. Çevresel etkilere karşı mukavemet, düşük permeabilite, çatlak oluşmaması için yüksek duktilite, kimyasal stabilite, kirleticilerinin difüzyon veya diğer mekanizmalarla tutulması ve yavaş yayılımının sağlanması şeklinde sıralanabilir. Ayrıca; Depo tabanı, tabii yeraltı suyunun maksimum seviyesinden en az 1m yüksekte olmalıdır. Depo tabanına en az 60 cm kalınlığında kil serilmeli ve bu tabakanın permeabilitesi  $1 \times 10^{-8}$  m/sn' den büyük olmamalıdır. Kil malzemenin maksimum su muhtevası %20-40 arasında olmalıdır [1].

Bu çalışmada mermer tozlarının geçirimsiz tabakalarda, mevsimsel sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan donma-çözünme ile tabakalarda oluşan deformasyon miktarları araştırılmıştır. Bu amaçla zeminin kuru ağırlığına oranı %5, %10, %15 olarak atık mermer tozları ile karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlardan elde edilen numunelerde yapılan deney sonuçları literatür de belirtilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Literatöre baktığımızda; Hassini (1992)'de yapmış olduğu çalışmada derinliği fazla olmayan deponi alanlarında geçirimsiz tabakanın fazla çevrim yapacağını belirlemiş ve bu sebeple zemin mukavemetinin direncini ve dolayısıyla geçirimsizliğini tesbit etmek için zemin üzerinde donma-çözünme deneyi gerçekleştirmiştir. Bu deneyi farklı çevrimlerde uygulamış ve bu tür tabakalarda (yüzeeye yakın), 12 çevrim sonunda %10-15 arasında bir malzeme kaybının dayanımı fazla etkilemediğini tespit etmiştir. Benzer bir çalışmada Chamberlain (1981). Bir öp deponi alanı örtüsü gibi yüzeeye yakın yerleştirilmiş bariyerler için zemin sıcaklığının, hava sıcaklığındaki değişikliklere daha duyarlı olduğunu saptamış ve böylece daha çok sayıda donma-çözünme göröleceğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmada derindeki zeminler için 3-10 arasında ve yüzeeye yakın zeminlerde 12 çevrim uygulanması gerektiğini belirtmiştir.

## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1.Materyaller

#### 2.1.1. Na Bentonit Kili

Bentonit kili, volkanik killerin normal ortamlarda kalıp, kimyasal reaksiyonlara uğramasıyla veya kayaların suda ayrışmasıyla oluşmaktadır. Bentonit, çok ince yassı koloidal parçacıklardan oluşur. Tabii bentonit, kazıldığı zaman yüksek su muhtevasına sahip, kaygan dokulu, yumuşak bir kaya göröntüsüne sahiptir.

Bentonit koloidal alüminyum hidrosilikat'tır. Hacmi su ile 10 ile 30 kat arasında artış gösterir. Sıcaklığı 200°C'nin üstüne çıkıncaya kadar şişme özelliğini korur ve 600°C'nin üzerinde ise şişme özelliğini tamamen kaybeder. Düşey permeabilitesi,  $4,09 \times 10^{-10}$  cm/sn ve yanıl şişme basıncı, 4,48 kg/cm<sup>2</sup>'dir.

Bentonit; Sondajlarda (sondaj yan yüzeeylerine basınç yaparak göçmeyi önler). su kaçaklarını önlenmesinde, döküm kumu bağlayıcısı olarak kalıpların hazırlanmasında (1600 °C' ye kadar dayanmaktadır), demir tozlarının peletlenmesinde, inşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede, hayvan yemi yapımında, yemeklik sıvı yağların ağartılmasında, şarap ve meyve sularının berraklaştırılmasında, ilaç, kağıt, lastik sanayin de dolgu maddesi olarak, imento sanayin de, seramik sanayin de katkı maddesi olarak, evcil hayvanların altlarına yayılacak atıklarının kolay temizlenmesinde, petrol rafinasyonunda, atik suların temizlenmesinde, boya sanayin de ve yangın söndürücülerde, gübre yapımı ve toprak ıslahında kullanılmaktadır [2].

Bu çalışmada kullanılan bentonit kili, Na-bentonit'tir. Ankara Karakaya Bentonit Kil Fabrikasından sağlanmış olup torbalardan alınıp orijinal olarak kullanılmıştır. Bu kilin fiziko-kimyasal ve geoteknik parametrelerinden bazıları, izelge 2.1 de, toplam metal miktarları izelge 2.2.'de, X-Ray Flourans Elementel Analizi ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise izelge 2.3'de verilmiştir [3].

#### 2.1.2. Kaolinit Kili

Kaolinit kil minerali yüksek dereceli feldspatlı bir kayanın ürünüdür. Kaolinit; silis ve alüminyum tabakalarından oluşmaktadır. Tabaka kalınlığı, 7.2 A° tabaka uzunluğu, 1000 ile 20.000 A° ve spesifik yüzeeye alanı (SSA) 15m<sup>2</sup>/g 'dir.

Bu çalışmada kullanılan kil, Bilecik organize sanayi bölgesinde bulunan Matel A.ř. den temin edilmiştir. Bilecik yöresine ait kaolin yataklarından alınarak, yıkama yöntemi ile ince kumdan arındırılmakta ve yaklaşık 40 µm altında öğütölerek üretilmektedir. Yıkama su ile yapılmakta ve hiçbir kimyasal madde kullanılmamaktadır. Yıkama sonunda kil-şist grubu tamamen ayrıştırılmaktadır. Daha sonra Mask 1 (M1) ismi ile piyasaya sunulmuştur. Bu kilin % 80'i kaolin mineralinden oluşmaktadır.

M1 kili olarak bilinen bu kaolin kilinin, fiziko-kimyasal ve geoteknik parametrelerinden bazıları, izelge 2.1 de, toplam metal miktarları izelge 2.2.'de, X-Ray Flourans Elementel Analizi ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise izelge 2.3'de verilmiştir [4].

### 2.1.3. Atık Mermer Tozu

Mermer tozu en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve büyük çoğunluğu da 300 mikronun altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır. Bu miktarın çok büyük bir kısmı atık olarak kalmakta ve çevresel problemlere neden olmaktadır. Halbuki mermer tozu atıkları inşaat sektöründe mozaik, harç, sıva, karo vb. üretiminde, seramik sanayinde sır üretiminde, çimento sanayinde beyaz çimento üretiminde ve kağıt sanayi, tarım ve gübre sanayi, yem sanayi, diğer bazı sanayi sektörlerinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Buna rağmen katılan miktarın düşük oranlarda kalması atık sahalarında büyük yığımlar oluşmasını engelleyememektedir [5]. Kullanılan mermer tozu, Afyon, Reis Mermer İşleme Tesisinden elde edilmiş ve 40 nolu elekten elenerek kullanılmıştır. Bu mermer tozunun fiziko-kimyasal ve geoteknik parametrelerinden bazıları, Çizelge 2.1’de, toplam metal miktarları Çizelge 2.2’de, X-Ray flourans Elementel analizi ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 2.3’de verilmiştir [3].

Çizelge 2.1.Kullanılan ilave malzemelerin bazı fiziko-kimyasal özellikleri.

İlaveler	pH	KDK	Eİ	SM	OMM	DÖA	BHA	Dane Çapı Dağılımı (%)				
		(meq/100g)	(mS/cm)	(%)	(%)	(gr/l)	Kum	Silt	Kil	Cu	Cc	
Na-Bentonit	9.50	90.22	2.69	12.7	6.82	2.76	0.94	2	46	52	40	0.8
Kaolinit	4.86	25.93	0.15	0.1	7.36	2.64	0.59	11	26	63	170	1.7
Mermer	9.69	7.57	0.24	4.1	1.50	2.75	2.73	14	78	8	8.8	23.1

KDK:Katyon Değişim Kapasitesi, Eİ:Elektriksel İletkenlik, SM:Su Muhtevası,  
OMM:Organik Madde Miktarı, DÖA:Dane Özgül Ağırlığı, BHA:Birim Hacim Ağırlığı

Çizelge.2.2 Kullanılan ilave malzemelerin toplam metal miktarları (mg/kg).

İlaveler	Al	As	Cu	Zn	Fe	Cd	Ca	Co	Pb	Cr	Mg	Mn	Mo	Ni	Na	K
Na-Bentonit	90262	<5	81	71	10724	<0.5	12134	21	91	9	6815	2419	92	7	16920	2558
Kaolinit	123750	<5	280	52	7550	<0.5	770	22	136	405	1230	870	10	280	3000	6000
Mermer	422	<5	46	37	1288	<0.5	85820	30.9	78	45	2266	252	133	35	896	542

Çizelge 2.3. Kullanılan ilave malzemelerin X-Ray elemental analizi ile belirlenen kimyasal bileşimleri.

İlaveler	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KK	CO <sub>2</sub>	BS
Na-Bentonit Kili	59.49	18.06	4.14	3.72	2.42	0.11	0.91	2.50	0.10	0.003	----	8.02	1.31	----
Kaolinit Kili	51.52	32.00	1.75	0.20	0.20	-	0.50	0.09	-	0.004	0.04	9.60	1.03	----
Mermer	0,01	0.85	0.04	55.30	0.24	-	0.20	0.03	-	-	----	43.51	4.95	----

KK:Kızdırma Kaybı, BS:Bağlı Su.

## 2.2.Yöntem

Malzemenin mevsimsel etkilere karşı direncinin nasıl değişim gösterdiği donma/çözünme çevrimleri sonucu belirlenir. Donma/çözünme Deneyi sonunda meydana gelen hasar, içindeki mevcut su ile ilgilidir. Zemin suyunun doğası ve dağılımı donduğu zaman oldukça değişir. Islak zemindeki sıcaklık 0°C'nin altına düşer, su aşırı soğur ve buz kristalleri geniş boşluklarda oluşur. Su fazı, buza dönüştüğü zaman hegzagonal kristal yapısının gelişmesine bağlı olarak hacmi yaklaşık %9 oranında artar. Kristaller, su elverdiği ve sıcaklık çekildiği sürece buz mercikleri oluşturmak için büyürler. Buz merciklerinin kalınlığı ve boyutu, don oranı, sıcaklık gradyanı, basınç ve suyun mevcudiyeti gibi göreceli büyüklüklere bağlıdır[6].

Büyüyen buz kristalleri, etrafındaki zemin parçacıkları ve diğerleriyle etkileşim içerisine girerler. Büyüyen buz merciklerine bitişik bölgede, donmamış zeminden su, donma bölgesine çekilerek, büyük boşluk suyu emme kuvvetleri oluşur[7]. 500kPa büyüklüğünde, etkili boşluk suyu emme kuvvetleri gözlenmiştir[8]. Bu olay, büyüyen buz merciklerine bitişik alanda yüksek gerilimler oluşturur ve bu da kurumaya ve bölgedeki donmamış zeminin konsolidasyonuna sebep olur. Şekil 2.1’ de deney öncesi kalıptan alınan numune, şekil 2.2’de ise -20°C’ de donduktan sonra numune üzerindeki buz kristalleri görülmektedir.

Kuruma ve konsolidasyon, zemin yapısında değişiklikler yaratır. Bilhassa donma bölgesine dik büzülme çatlakları oluşur[5]. Don bölgesi, donmamış zemin kütlesine doğru ilerlediği zaman bu çatlaklar buzla dolar ve buz

mercekleri ile zemin kümelenmiş bir yapı geliştirir. Donmamış zeminden su akışı, öndeki buz tabakası tarafından kesildiği zaman bile buz, donmuş bölgede büyümeye devam eder. Çünkü; sıcaklık azaldığı zaman su ilerleyerek donar. Zemin parçacıklarına bitişik film tabakası kalınlığında sular çok düşük sıcaklıklarda bile donmamış olarak kalır. Donma bölgesinde bu donmamış haldeki suyun genişmesi, zeminin yapısını bozan bir baskı uygular. Sonuç olarak buz merceklerinin ve çatlaklarının kalınlığı artar[9]. Bu su miktarının artması demektir. Dolayısıyla ortaya çıkan fazla su malzemeyi çamurlaştırır. Böylece malzemenin mukavemeti kaybolur. Şekil.2.5’de çevirim sonrası malzemenin çamurlaşması görölmektedir.



Şekil 2.1 Deney öncesi kalıptan alınan numune Şekil 2.2 -20°C’ de donduktan sonraki görünüm.

Donma çözünme deneyine tabi tutulacak numuneler için, kaolinit kili ve bu kilin ağırlıkça % 10’u oranında bentonit kili karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımdan bir adet kontrol numunesi (90K10B) ve karışımın kuru ağırlığına oranı sırasıyla %5, %10 ve %15 olan atık mermer tozu ilavesiyle diğer numuneler elde edilmiştir. Laboratuvar da standart kompaksiyon deneyi ile numunelerin su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmektedir. Bu deneyde, deney kalıbı (mold) içerisine numune üç tabaka halinde serilerek 2,5kg ağırlığındaki tokmak ile 30,5cm yüksekliğinden her bir tabakaya 25 vuruş yapılmak suretiyle sıkıştırılmaktadır[10]. Şekil 2.3’de kompaksiyon aleti ve numunelerin sıkıştırılması görölmektedir.



Şekil 2.3. Kompaksiyon aleti ve numunelerin sıkıştırılması

Donma-çözünme mukavemetleri, ASTM D560-96 (1985) metodu [11] ile saptanmıştır. Bu deneye göre, numuneler (-20°C)’deki soğutucu içerisinde 24 saat bekletilmiş ve daha sonra soğutucudan çıkartılan numuneler bu kez 24 saat oda sıcaklığında (+18°C) bekletilmiştir. Bu bir çevrim olarak adlandırılır. Çevrim sayısı için farklı görüşler bulunmaktadır. Sıkıştırılmış bir kil tabakasında, donma-çözünme çevrim sayısı, yerel iklime bağlıdır. Sıcaklığın açıkça değiştiği bölgelerde, donma-çözünme çevrimi beklenebilir. Çevrim sayısı ayrıca bariyerin derinliğine de bağlıdır. Bir çöp deponi alanı örtüsü gibi yüzeye yakın yerleştirilmiş bariyerler için zemin sıcaklığı, hava sıcaklığındaki değişikliklere daha duyarlıdır ve böylece daha çok sayıda donma-çözünme görülür. Zeminde daha derine inildikçe yüzeyde var olan sıcaklıktaki değişiklikler azalır ve böylece daha az sayıda çevrim görülür. Derindeki zeminler için 3-10 ve yüzeye yakın zeminler için 12 çevrim uygulanmaktadır[12]. Çevrim sonunda numunelerin yüzeyleri fırça ile baskı uygulamadan fırçalanarak yüzeyden parçaların ayrılması sağlanır ve ağırlıkları tartılır. Daha sonra kompaksiyon moldunda sıkıştırılmış silindir numune ağırlığı ile oranlanarak kayıp miktarı yüzdesi tesbit edilir. (İzin verilen maksimum dane kaybı 15değerindedir.)[13]. Şekil.2.4’de yüzey kristalleşmeleri ve Şekil.2.5’de ise çevrim sonrası numunenin deformasyonu görölmektedir.



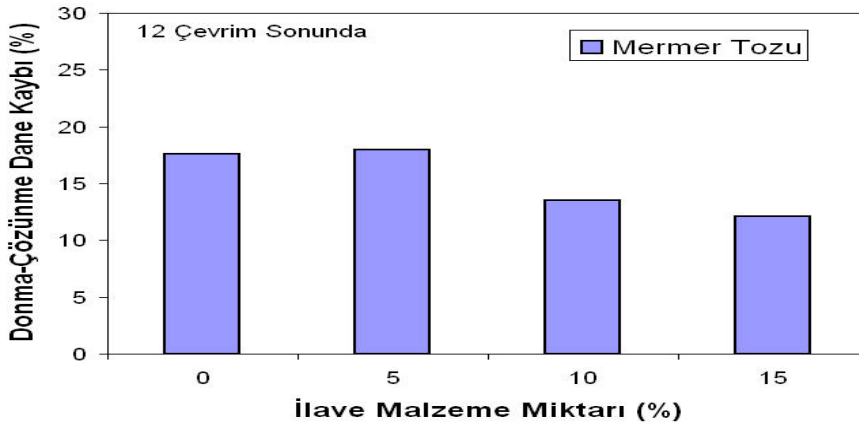
Şekil 2.4 Donma sonrası yüzeyde kristalleşmeler.



Şekil 2.5 Çevirim sonrası deformasyon

### 3 Deney Sonuçları

Her çevrim sonunda elde edilen dane kaybı miktarları toplanarak, numunenin deney başlangıcındaki ağırlığına oranı elde edilmiştir. Dane kaybı en az olan değerler en yüksek mukavemeti göstermektedir. Deney sonuçlarına göre, karışımlardaki atık mermer tozu miktarlarının artmasıyla numunelerin donma-çözünme mukavemetleri artmıştır. % 5 mermer tozu ilavesi donma-çözünme üzerinde etkisiz kalmaktadır. % 15 mermer tozu ilavesi ile donma çözünme deneyi sonunda %12,5 dane kaybı göstermiştir. %10 mermer tozu ilavesinde ise %13,5 dane kaybı göstermiştir. Şekil.2.6 da dayanımda oluşan değişimleri görülmektedir.



Şekil.2.6. Atık mermer tozlarının Donma-Çözümeye etkisi

### 4.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, geçirimsiz kil tabakası için Kaolinit+Bentonit (90K10B) karışımı belirlenmiştir. Bu numuneye %5, %10, %15 oranlarında atık mermer tozu ilave edilmiştir. Kullanılan karışımların mevsimsel sıcaklık farkları sonucu ortaya çıkan donma/çözünme etkilerine karşı dayanımı araştırılmıştır.

Böylece hem atık olarak çevreyi kirletecek mermer tozları bertaraf edilmiş ve hem de geçirimsiz tabakaların mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanmış olacaktır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Donma/çözünme deneyi ile oluşan deformasyonlar sonucunda %10 ve %15 mermer tozu katılan karışımlarda oluşan dane kaybı, literatürde belirtilen maksimum %15 dane kaybı miktarı ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.
2. %5 mermer tozu karışımı ile elde edilen numunenin, kontrol numunesine çok yakın sonuç verdiği gözlenmiş ve bu karışım oranının fazla etkili olmadığı gözlenmiştir.
3. En az deformasyonun %15'lik karışımda bulunmuştur. Dolayısıyla mermer tozunun artışıyla dayanım artışı arasında bir doğru orantı olduğu saptanmıştır.

## 5. ÖNERİLER

Geçirimsiz tabakalardaki dayanım artışının en ideal durumunun araştırılması ve atık mermer tozlarından böyle bir çalışmada daha fazla faydalanılması amacıyla aynı deneyin daha düşük çevrim sayılarında, daha yüksek karışım oranlarıyla ve farklı kil numunelerinde tekrar uygulanması, atık mermer tozlarının kullanılabilirliği açısından daha ekonomik bir çözüm olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Katı Atıkları Kontrol Y., 1991, RG, Sayı 2084
- [2] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri İv (Bentonit-Barit-Diatomit-Aşındırıcılar) alışma Grubu Raporu Ankara 2001
- [3] Koyuncu, H., Stabilizasyon/Solidifikasyon Yöntemiyle İyileştirilmiş Petrollü Sondaj Atıklarının Fiziko-Kimyasal Mikro-Yapısal ve Geoteknik Özellikleri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, 1998.
- [4] Cömert, A. T., Zemin stabilizasyonuna Uçucu küllerin Etkisi, Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2005.
- [5] ZORLUER İ. , USTA, M. ,2003, Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Afyon pp 305-312
- [6] PENNER, E. ve UEDA, T., Proceedings, symposium on Frost Action in Soils, Universty of Lulea, Lulea, Sweden, I, 91-100, (1977).
- [7] BENSON, C. H. ve OTHMAN, M. A., "Hydraulic Conductivity of Compacted and Thawed In Situ," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE,119, 2, 276-294, (1993)..
- [8] CHAMBERLAIN, E. J., "Overconsolidation Effects of Ground Freezing," Engineering Geology, 18, 97-110, (1981).
- [9] OTHMAN, M., A., BENSON, C. H., ve CHEMBARLAIN, E. J., "Laboratory Testing to Evaluate Changes in Hydraulic Conductivity of Clays Caused by Freze-Thaw: State-of-the-art," Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in soil, ASTM ATP 1142, David E. Daniel ve Stephen J. Trautwein, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 227-254, (1994).
- [10] ASTM D698-78 Fundamental Principles of Soil Compaction
- [11] ASTM D560-96 (1985) Methods for Freezing -and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures
- [12] CHAMBERLAIN, E. J., ISKVEER, I., ve HUNSIKER, S. E., "Effect of Freze-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).
- [13] HASSİNİ, S., Some aspects of landfill desing environmental science and engineering, environmental geotechnology, 137-143p.(1992).