

# KÜÇÜK SU DEPOLAMA REZERVUARLARINDA TOPRAK-ÇİMENTO KARIŞIMLARININ SIZMA KAYIPLARINI ÖNLEMELERİ AMACIYLA KULLANILMASI

Feridun HAKGÖREN (1)

## ÖZET

*Geçirgen topraklar üzerinde inşa edilen su depolama yapıların temellerinden aşırı sızma kayıpları meydana gelmektedir. Özellikle suya şiddetli gereksinime duyulan kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde büyük öneme sahip olan bu kayıpların önüne geçmek için rezervuar tabanının geçirimsiz bir mazemeyle kaplanması gerekmektedir.*

*Toprak-çimento karışımlar düşük maliyetli kaplama malzemesi olarak 20 yıldan fazla bir zamandan beri su depolama yapılarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu çalışmada, sıkıştırılmış toprak-çimento karışımların bu tip yapılarda ekonomik kaplama malzemesi olarak sızma kayıplarını azaltmak için kullanılabilirliği saptanmaya çalışılmıştır.*

## I. GİRİŞ

Depolama rezervuarları uzun yıllardan beri gelişen bir teknikle inşa edilmektedir. Özellikle binlerce çiftlik ve köyde küçük su depolama yapıları önemli su temin kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu yapılar, hayvan içme-kullanma, sulama, yangın koruma, eğlence ve buna benzer işler için gerekli olan suyun önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar. Bazı bölgelerde ise bu yapılar içme-kullanma suyunun başheka kaynağını teşkil ederler.

Doğaldır ki çiftliklerde veya tarım arazilerinde inşa edilen bu tip yapılarda düşük sızma kaybı oluşturacak yerin temini kolay olmayacaktır. Bununla beraber A.B.D.'de Toprak Muhafaza Kuruluşu (SCS) tarafından 2,2 milyon civarında çiftlik göleti ve küçük su depolama rezervuarı oluşturulmuştur (SCS, 1971, s. 1). Bu yapıların çoğu oldukça geçirimsiz topraklar üzerinde inşa edilmiştir. Bununla beraber bu tip yapılar için en uygun yerin temini bazen mümkün olmamakta ve yapılanlar ise inşa amaçlarını tamamiyle yerine getirememektedir.

(1) Atatürk Üniversitesi Kültürteknik Bölümü Öğretim Üyesi.

Geçirgen topraklar üzerinde seçilen rezervuar alanlarında temel etütlerinin iyi yapılamaması nedeniyle aşırı sızma kayıpları oluşmaktadır. Özellikle suya şiddetle gereksinme duyulan kurak veya yarı kurak iklim bölgelerinde geçirimli zeminler üzerinde de rezervuarların inşası gerekmektedir. Bu tip alanlarda inşa edilmesi düşünülen rezervuarın mühendislik planlaması yapılırken sızma kayıplarının azaltılması için gerekli önlemlerin alınması da zorunlu olmaktadır. Aşırı sızma kayıplarını önlemek için zemin toprağının geçirgenliğinin düşürülmesi gerekir. Buda zemin malzemesinin içerdiği çakıl-kum kaba malzemeyle silt ve kil gibi ince malzemenin derecelenme durumuna bağlı olarak çeşitli yollarla sağlanabilir. Bunlar sıkıştırılmış toprak, kil, bentonit, plastik, kimyasal maddeler, toprak-çimento, asfalt ve betondur. Projenin yatırım sermayesi betonun ilk tesis masraflarını finanse etmek için yeterli olmadığı durumlarda beton kaplama gibi özellikler sağlayan ve ilk tesis masrafları düşük olan malzemelere gerek olabilir. Bu açığı kapatmak amacıyla 25 yıldan beri A.B.D.'de gerek Arazi Islahı bürosu (USSR) gerek Tarımsal Araştırma Servisi (UARS) tarafından birçok araştırma yapılmıştır (Rogers 1969, s. 94). Bu çalışmalar sonucunda toprak-çimento karışımların beton gibi dayanıklı, geçirimsiz ve erozyona karşı dayanıklı aynı zamanda düşük maliyetli kaplama materyallerinden biri olduğu saptanmıştır.

Toprak-çimento karışımlar sedde ve barajlarda şev korunması, toprak baraj gövdelerinde geçirimsiz çekirdeğin oluşturulması rezervuar kaplamaları ve sulama veya karayolları tahliye kanallarının kaplanmasında kullanılmaktadır. Yapım işlevinin koplike olmadığı bu tip karışımın oluşturulması için toprak, çimento ve su gibi üç temel materyale gereksinme vardır.

Su depolama yapıları için toprak-çimento karışımlarının düşük geçirgenlik ve sağlamlık gibi iki özelliği vardır. Bu iki özellik karışımın iyi planlanması ve inşasına bağlıdır. Mademki toprak-çimento karışımı bir mühendislik materyalidir, o halde beton yapımda olduğu gibi benzer mühendislik yeteneğine gerek vardır.

Rezervuarlardan ve çiftlik göletlerinden oluşan sızma kayıplarına ve bunların yarattığı sorunlara karşı en iyi çözüm şekli zeminlerin geçirimsiz bir maddeyle kaplanmasıdır. Bu amaçla USBR (1963, s. 1-3). Willson (1965, s. 85-93) ve Rogers (1969, s. 94-105) gibi birçok araştırmacı dayanıklı, geçirimsiz, pürüzsüz bir yüzeye sahip, erozyona karşı dayanıklı, yapıcı sağlam, yabancı ot köklerinin zararlı etkilerine dayanıklı ve ekonomik olan kaplama malzemesi üzerinde çeşitli araştırmalar yapmışlardır.

Sızma kayıplarını azaltmak amacıyla su ile temas eden zeminin sıkıştırılması en ucuz ve kolay yöntem olabilir. Bu seçenek zemin malzemesinin uygun granulometrede ve yeterli miktarda kil ve silt içerdiği durumlar için geçerlidir. Fakat donma-çözülme ve ıslatma-kurutma devrelerinin uzun zaman aralıkları içerisine düştüğü hallerde sıkıştırılmış zeminin geçirimsizliğe karşı etkisi azalmaktadır (Replage ve arkadaşları, 1980, s. 317-347).

Sert yüzeyli kaplama malzemesi arasında düşünülen toprak-çimento karışımları malzemenin işlenme ve zemine yerleştirilme şekline göre plastik toprak-çimento ve sıkıştırılmış toprak-çimento olmak üzere iki grup altında toplanmıştır (USBR, 1963, s. 70-71 ve PCA 1969, s. 2). Sıkıştırılmış toprak-çimento ile plastik toprak-çimento karışımlar arasındaki başlıca farklılık karışımların kıvamıdır. Sıkıştırılmış toprak-çimento karışımlar sadece karışımın vibratör veya keçi ayağı ile maksimum kesafette sıkıştırılabilmesi için gerekli neme, plastik toprak-çimento karışımlar ise karışımın sıva harcı kıvamında oluşması için gerekli neme gereksinime duyarlar. Bu nedenle de bu tip karışımlar sıkıştırılmış toprak-çimento karışımlarda daha yüksek oranlarda çimentoya gereksinime vardır. (Rogers, 1969, s. 94-105).

Gölet gövdelerinde veya taşkın seddelerinde şevlerin taş riprapla kaplanması yerine nisbeten kalın yatay tabakalar halindeki toprak-çimento kaplamalar geçen on üç yıl içinde A.B.D. ve Kanada'da 60 dan fazla toprak baraj dolu savak ve diğer seddelerde başarılı bir şekilde uygulanmıştır (PCA 1974).

Toprak-çimento karışımlar 1945 yılında ilk defa Texasta 45 bin m<sup>3</sup>'lük çukur tipi bir su depolama göletinde kullanılmıştır. Gölet tabanında 10 em kalınlığında oluşturulan sıkıştırılmış toprak-çimento kaplama 23 yıldan beri başarılı bir şekilde işlevlerini yapmaktadır (Rogers, 1969, s. 95).

Yine A.B.D.'de hava Kuvvetleri Akademisi tarafından 1957 yılında Kolorado Springs'de akademi yeşil alanlarının sulanması amacıyla yapılan 274 bin m<sup>3</sup> kapasiteli bir rezervuar 15 cm kalınlığındaki sıkıştırılmış toprak-çimento karışımından oluşan kaplama ile kaplanmış, sızma kayıpları önemli ölçüde azaltılmıştır (Rogers, 1969, s. 97).

PCA (1971, s. 12, 22-23) tarafından AASHO<sup>x</sup> toprak sınıflama sistemine göre A horizonu altındaki toprak için verilen yüzde çimento miktarları uygulamalı çalışmalar için geçerlidir. Karışım içindeki en ekonomik çimento yüzdesinin saptanması için laboratuvarda farklı toprak-çimento karışım örnekleriyle donma-çözülme, ıslatma-kurutma ve serbest basınç dayanımları gibi ayrıntılı denemeler yapmak gerekmektedir. A horizonu toprakları kullanıldığında bu değerler % 4 artırılır.

Toprak-çimento karışımların dayanıklı ve su geçirimsizliği kullanılan toprağın tipine bağlıdır (Kraatz, 1971, s. 88). Karışımdaki çimentoyla iyi bir stabilize sağlayabilmesi için toprağın % 100'ün 76 mm'lik elekten, % 55'inin veya daha fazlasının 4,76 mm'lik (4 nolu) elekten, % 3-55'inin 0,074 mm'lik (200 nolu) elekten geçmesi gerekir. Aynı şekilde likit limiti % 50'den ve plastik indeksi ise % 18'den büyük olmamalıdır. (Ilgnés, ve Metcalf, 1973, s. 105).

x. American Association of State Highway Officials Soil.

Bu konuda Johnson (1961, s. 5) yaptığı araştırmada % 10-20 kil içeren kumlu topraklara % 13 çimento katarak iyi özellikte bir kanal kaplama malzemesi elde etmiştir. Rogers (1969, s. 94-105) rezervuar kaplama malzemeleriyle ilgili yaptığı araştırmada siltli kumlu topraklara, taban kaplaması için % 7, şevlerde ise % 12 çimento kullanmış ve oldukça iyi sonuçlar almıştır.

Johnson (1961, s. 4) ise geniş ve düz alanlarda alet ve ekimanın hareketinin kolayca sağlanması nedeniyle sıkıştırılmış toprak-çimento yönteminin, diğer taraftan eğimli veya küçük sulama kanallarının kaplanmasında plastik toprak-çimento yönteminin daha elverişli olduğunu belirtmektedir.

Karışım içerisindeki tane büyüklüğünün ve üst sınırı (maksimum çapı) kaplama kalınlığının 1/3'ünden veya 8 cm'den daha büyük olmaması gerekmektedir. Alt sınırı ise % 50'sinin 200 nolu elekten geçtiği tane çapıdır (Johnson, 1961).

Toprak çimento karışımlar baraj, sedde şev korumalarında veya benzer yapılarda kullandıklarında kaldırım veya banketlerde kullanılanlara karşın daha büyük yıkıcı kuvvetlere maruz kalırlar. Bu tip yapılarda büyük dayanıklılık sağlamak için topraklar % 50'den daha az silt ve kil içeriyorlarsa PCA tarafından önerilen çimento miktarları % 2, topraklar % 50'den fazla kil ve silt içeriyorlarsa çimento miktarı % 4 artırılır (Rogers, 1949, s. 101).

USBR (1966) ise şev koruma yapıları için ıslatma-kurutma ve donma-çözülme deneyleri sonucunda müsaade edilebilir maksimum kayıpların % 6 olmasını önermektedir.

Toprak-çimento karışımlar rezervuarlarda genellikle tabanda 15 cm, şevlerde ise dalgaların hareketine karşı dayanımlı olması nedeniyle 60 cm kalınlıkta oluşturulur (Rogers, 1969 s. 59.)

### 3. MATERYAL VE UYGULANAN YÖNTEMLER

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1. Araştırmada Kullanılan Topraklar

Araştırmada fiziksel özellikleri ve Atterberg limitleri farklı on toprak örneği içerisinde seçilen üç toprak çeşidi kullanılmıştır. Ana materyali oluşturan toprakların saptanmasında PCA (1971, s. 88)'deki ölçütler gözönünde bulundurulmuştur.

Fiziksel kimyasal ve mekanik analizler için kullanılacak toprak örnekleri toprak yüzeyindeki bitki örtüsü ve organik maddece zengin kısım kaldırılarak deneylere yetecek miktarda (15 kg) alınarak laboratuvara getirilmiştir. Taş ve bitki artıkları ayıklanmış, büyük kesekler elle parçalanmış ve ince tabakalar halinde serilerek oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

### 3.1.2. Çimento ve Su

Toprak-çimento karışımlarının oluşturulmasında bağlayıcı madde olarak Aşkale Çimento Fabrikası imalatı portlant çimentosu, karışımların hazırlanmasında ise şehir içme suyu kullanılmıştır.

### 3.2 Uygulanan Yöntemler

#### 3.2.1. Elek Analizleri

Laboratuvara getirilen toprak örnekleri içerisinde farklı fiziksel bünyedeki toprak çeşitlerini seçmek ve toprakların tane büyüklüğüne göre dağılımını saptamak amacıyla yapılan elek analizlerinde "Kombine Mekanik Analiz Yöntemi" uygulanmıştır (Sprangler ve Handy 1973, s. 141-142).

Örneklerin Atterber limitlerinin saptanmasında "Atterberg Yöntemi" kullanılmıştır (ASTM 1964, s. 85-87).

#### 3.2. Yoğunluk Su İlişkileri ve Özgül Ağırlık

Sıkıştırılmış toprak-çimento karışımların hazırlanması için gerekli olan optimum nem ve maksimum yoğunluk PCA (1971, s. 22-25)'deki Proctor yöntemine göre saptanmıştır.

Denemede kullanılan toprakların özgül ağırlıkları Piknometre yöntemiyle yapılmıştır.

#### 3.2.3. Örneklerin Kimyasal Analizleri

Örneklerdeki serbest karbonat miktarı "Scheibler Kalsimetresi", Katyon değişim kapasitesi (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954, s. 101)'daki 19 nolu yöntemle göre, organik madde organik karbonun oksidasyonu esasına dayanan yöntemlerden "Smith Weldon" yöntemiyle Hocaoğlu 1966, s. 14-18, 39) ve sülfat miktarları ise (U.S. Salinity Lab. Staff, P, 54, s. 99)'daki 14 nolu yöntemle göre tayin edilmiştir.

#### 3.2.4. Karışımların Denemeye Hazırlanması

Örnekleri alınmış topraklardan denemede kullanılmak amacıyla yapılan seçimde toprakların özellikle Atterberg limitlerinin ve bünyelerindeki kum oranının farklı değerlere sahip olmasına dikkat edilmiş. Ingles ve Metcalf (1973, s. 105) gibi araştırmacıların önerdikleri esaslara uyularak 1, 2 ve 3 nolu toprakların ön denemelere alınması uygun bulunmuştur.

Deneyler için gerekli toprak 4 nolu eleğin (4,76 mm) altına geçen ve üstünde kalan (doğru kuru) oranlarda hazırlanmış, karışımlar için stabilizan madde olarak kullanılan çimento miktarı ise bir ön değer olarak PCA (1971, s. 12) tarafından toprakların mühendislik grublarına göre önerilen miktarlardan yararlanıla-

rak ağırlık esasına göre hesaplanmıştır. Gerekli su miktarı ise deneylere alınan toprakların Proctor testleri sonucunda elde edilen optimum nem miktarlarına göre saptanmıştır.

Örnekler hazırlanırken önce katkı maddesi olan çimento toprağa iyice karıştırılmış, sonra gerekli su yavaş yavaş katılarak karışım homojen bir şekil alınmaya kadar elle karıştırılmıştır (Hakgören, 1977, s. 35).

Donma-çözülme, ıslatma-kurutma ve serbest basınç dayanım deneylerinin yapılacağı örneklerin kalıplanmasında çapı 4 inc (102 mm) olan Proctor kalıplarından yararlanılmıştır. Kalıplama anında karışım üç tabaka halinde kalıplara doldurulmuş, her tabaka 30 cm yükseklikten düşürülen yaklaşık 2,5 kg ağırlığındaki tabakla 25 darbeye sıkıştırılarak örnekler krikolu bir düzenle kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıplama işlemi yapılırken ikinci tabakanın doldurulması anındaki nem miktarlarının saptanması için örnekler alınmıştır. Daha sonra her karışım için hazırlanan üçer örnek kurumaya bırakılmıştır (ASTM, 1963).

### 3.2.5. Donma-Çözülme ve Islatma-Kurutma Deneylerinin Yapılması

Örneklerin donma-çözülmeye karşı direnci bir haftalık kuruma devresi sonundaki örnekler üzerinde yapılmıştır. Satüre edilen örnekler 12 devre sırayla  $-21^{\circ}\text{C}$  deki soğutucuda ve  $+21^{\circ}\text{C}$  deki laboratuvarında ASTM (1957, s. 393-399) ve PCA (1971, s. 29-30) daki önerilere göre yapılmıştır.

Islatma-kurutma denemeleri için bir haftalık kuruma devresi sonunda örnekler 5 saat oda sıcaklığındaki su banyosunda tutulmuş, bu süre sonunda sudan çıkartılan örnekler 42 saat  $71^{\circ}\text{C}$  deki fırında bekletilmiştir. Bu işlem 12 devre yapılmıştır (ASTM, 1957, s. 387-292 ve Hakgören, 1977, s. 38-39).

Gerek donma-çözülme ve gerekse ıslatma-kurutma denemelerinde her devre sonunda örnekler soğutucuya ve etüve konmadan önce bütün yüzeyleri enine ve boyuna çelik tel fırça ile fırçalanmıştır.

### 3.2.6. Serbest Basınç Dayanımlarının Saptanması

Karışımların 2, 7 ve 28 günlük kurutma periyotlarında sonra basınç dayanımları ASTM (1963, s. 380-381) ve PCA (1971, s. 31-32)'de açıklandığı gibi hidrolik preste yapılmıştır. Örnekler denemeye alınmadan önce pürüzlü yüzeyleri alçı ile yapılan başlıklarla takviye edilmiştir.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1 Sonuçlar

#### 4.1. Araştırmada Kullanılan Topraklar

Ekonomik çimento miktarını saptayabilmek için kullanılacak toprakların mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini bilmek gerekmektedir. Çünkü karışımda

kullanılacak toprakların sınıflandırılabilmesi için elek analizleri sonuçlarına göre elde edilecek tane dağılımına göre yapılacaktır. Bu amaçla araştırmada kullanılan toprakların mekanik analizleri yapılmış sonuçları çizelge 2'de fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları ise çizelge 3'de gösterilmiştir. Mühendislik ve tekstürel yönden sınıflandırılmasında yine çizelge 2'de belirtilmiştir.

Toprakların tane dağılımını belirlemek için elek analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda her üç toprağında yaygın granülömetreli olduğu görülmüştür. Yine bu elek analizlerinden her toprağın 4 nolu elekte kalan ve 200 nolu elekten geçen miktarları saptanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2- Denemede Kullanılan Toprakların Mekanik Analiz Sonuçları

Toprak No:	4 nolu elekte kalan %	200 nolu elekten geçen %	Tekstür sınıfı	A.A.S.H.O. Müh.sınıfı*
1	35,4	21,4	kumlu-tınlı	A-2-4 (0).
2	10,1	62,6	siltli-tınlı	A-6 (6)
3	20,0	44,1	Tınlı	A-4 (1)

x. Parantez içindeki rakamlar toprakların grub indekslerini belirtmektedir.

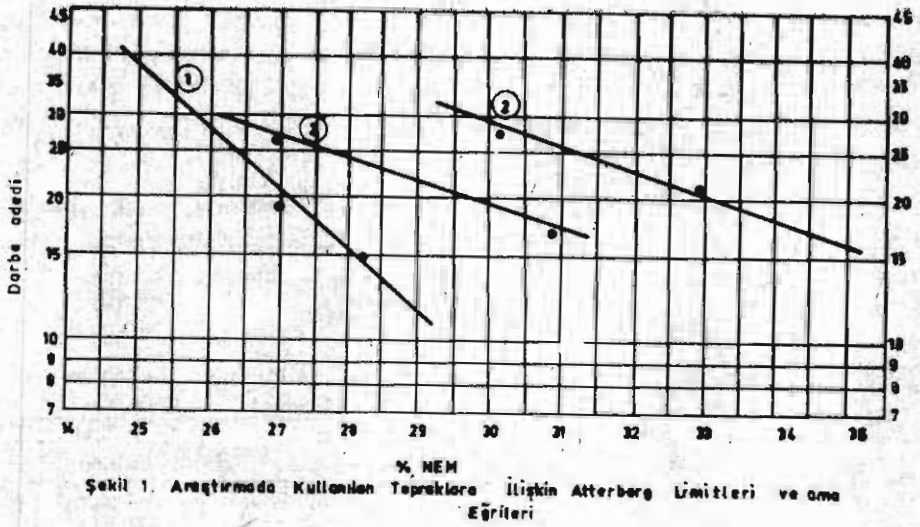
Çizelge 3- Denemede Kullanılan Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprak No:	Fiziksel özellikler				Kimyasal Özellikler			
	LL	PL	PI	Özgül ağırlık gr/cm <sup>3</sup>	O.M.* %	Karbon %	SO <sub>4</sub> %	Katyön D.Kap me/100 gr
1	26,4	20,0	6,4	2,67	0,67	0,30	0,01	14,0
2	31,3	16,7	14,6	2,52	0,21	1,90	0,07	17,9
3	27,5	18,3	9,2	2,45	1,01	1,30	0,06	17,2

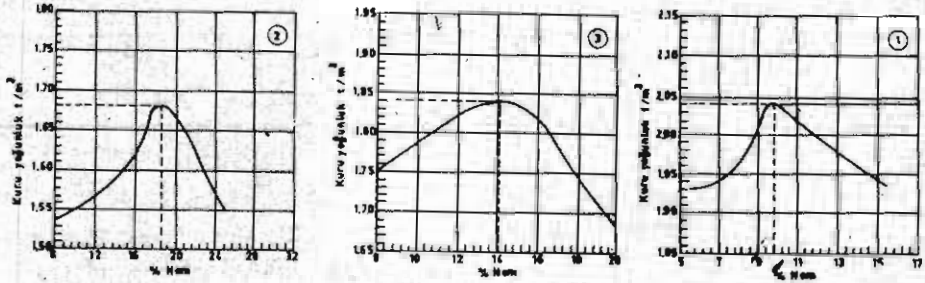
x. O.M. = Organik madde.

Gerek araştırmada kullanılan toprakların mühendislik yönünden sınıflandırılabilmesi gerek toprak-çimento karışımlar için gerekli su miktarının hesaplanabilmesi için toprakların Atterberg limitleri bulunmuş ve akma eğrileri çizilmiştir (Şekil. 1). Şekillerden de görüleceği gibi bünyelerindeki kil ve silt yüzdelere bağlı olarak toprakların plastik indeksleri % 6,4, % 9,2 ve % 14,6 olarak değişmektedir. Burmister (1949, s. 402-433)'in yaptığı sınıflamaya göre kullanılan toprağın ikisi az plastik biri ise orta plastik sınırlara yakın toprak çeşitleridir.

PCA (1971, s. 12) tarafından toprakların A.A.S.H.O. sınıflandırılmasına göre önerilen ölçütler ekonomik çimento miktarlarının saptanmasında bir ön değer olarak seçilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak topraklara ağırlık yüzdesi olarak üç farklı oranda çimento katılarak her birinden üç örnek oluşturulmuştur.



Toprak çimento stabilizasyonlarında karışımların basınç dayanımlarına etki eden faktörlerin başında karışımdaki su yüzdesi, çimento miktarı ve toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri gelmektedir (Krochin, 1960, s. 101-108). Karışım içindeki su hem sıkışma yönünden, hem de çimentonun hidrasyonu bakımından önemli olmaktadır. Bu nedenle karışımların maksimum kuru yoğunlukları ve optimum nem miktarları saptanmıştır (Çizelge 4 ve Şekil 2).



Çizelge 4. Denemede kullanılan toprakların maksimum yoğunluk ve optimum nem miktarları.

Toprak No:	Ağırlık olarak çimento %	Maksimum kuru yoğunluk t/m <sup>3</sup>	Optimum nem %
1	5	2,04	10,81
2	12	1,68	18,45
3	10	1,84	14,10



Toprakların standart proctor yöntemiyle elde edilen kuru yoğunluk-su yüzdesi ilişkilerini veren şekil 2'deki eğriler incelendiğinde kullanılan toprakların maksimum sıkışma bakımından suya karşı duyarlı oldukları görülür.

#### 4.1.2. Toprak-Çimento Karışımların Donma-Çözülme ve Islatma-Kurutma Denev Sonuçları

Genellikle bütün topraklar çimento katılmasıyla sertleşebilirler. Fakat toprak her ne kadar çimentoyla stabilize olursa da toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri karışımdaki çimento miktarına etki eden faktörler olduğundan bu durumun ekonomik olup olmayacağını araştırılması gerekir.

Toprak-çimento karışımlar için en ekonomik çimento miktarını saptayabilmek için örnekler donma-çözülme ve ıslatma-kurutma deneylerine alınmıştır (Çizelge 5). Çizelge incelendiğinde donma-çözülme deneyleri sonucunda en az kayıp 1 nolu toprakla oluşturulan 3 nolu örnekte (% 2), en fazla kayıp ise 2 nolu toprakla oluşturulan 1 nolu örnekte (% 16) meydana gelmiştir.

Toprak-çimento karışımları için 12 devrelik donma-çözülme ve ıslatma-kurutma denemeleri sonucundaki kayıpların aşağıda çizelge 6'da verilen değerleri aşmaması önerilmektedir (PCA, 1971, s. 32-33).

Çizelge 6. Farklı toprak grupları için müsaade edilebilen maksimum kayıplar

A.A.S.H.O. toprak grubu	Çimento-toprak kaybı %
A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4 ve A-2-5	14
A-2-6, A-2-7, A-4 ve A-5	10
A-6, A-7-5, A-7-6	7

Bu deneyler sonuçlarında 1 nolu toprakla hazırlanan her üç örnekle 3 nolu toprakla hazırlanan 3 nolu örneklerde ki çimento miktarı PCA (1971, s. 32-33)'deki ekonomik ölçütlere uygun düşmektedir. Bu örneklerden en az donma-çözülme kaybı olan örneklerle sızma kaybının azaltılması için gölet tabanlarında kaplama malzemesi olarak kullanılabilir.

Çizelge 5'de donma-çözülme denemeleri sonucunda örneklere ilişkin serbest basınç dayanımları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde basınç dayanımlarının da çimento miktarı, toprak tipi ve karışım şekliyle farklılık gösterdiği görülmektedir. Örneklerin serbest basınç dayanımları 62,5 kg/cm<sup>2</sup> ile 14,3 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmekte olduğu görülür.

Donma-çözülme deneyleri sonucunda örneklerin dona karşı dayanım yüzdesi de saptanmıştır. Buna göre dona karşı en büyük direnei 1 nolu toprakla oluşturulan 3 nolu örnek göstermiştir (% 100). Bu örneğin içindeki çimento miktarıyla oluşturulduğu toprakta kum yüzdesinin (% 69,9) yüksek olmasıyla açıklanabilir. Bu konuda George ve Davidson (1963, 77-96) toprak-çimento karışımları

Çizelge 5. Toprak-çimento Karışımlarının Islatma-Kurutma, Donma-Çözülme Kayıpları ve Bu Denemeler Sonundaki Serbest Basınç Dayanımları.

Toprak No:	Örnek No:	Çimento % x	Islatma-kurutma kaybı %	Islatma-kurutma sonunda basınç dayanımı kg/cm <sup>2</sup>	Donma-çözülme kaybı %	Donma-çözülme sonunda Basınç dayanımı kg/cm <sup>2</sup>
1	1	9	13	21.7	11	24.7
	2	11	8	48.2	3	48.6
	3	13	6	63.8	2	62.5
2	1	10	19	12.4	16	14.3
	2	12	15	19.4	11	19.8
	3	14	12	30.9	8	28.9
3	1	8	37	16.9	13	18.6
	2	10	14	21.0	11	22.6
	3	12	10	28.0	8	28.9

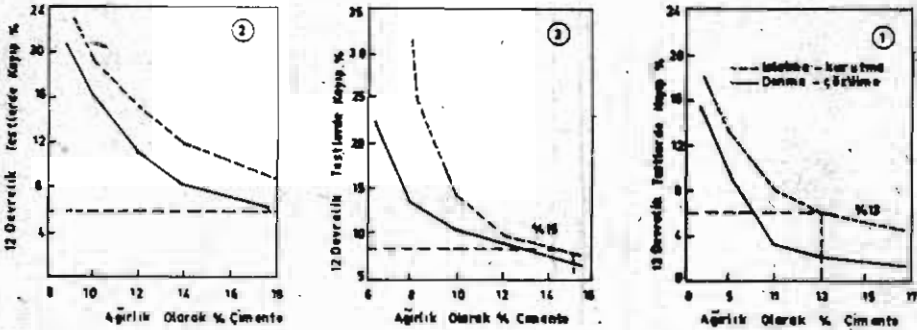
x Ağırlık olarak

rının dona karşı dayanımlarının % 80'den fazla ve bu deneyler sonucundaki serbest basınç dayanımlarının 28-35 kg/cm<sup>2</sup> olması halinde ekonomik çimento miktarının elde edilebileceğini belirtmektedirler.

Donma-çözülme deneyleriyle birlikte yürütülen yine 12 devrelik ıslatma-kurutma denemeleri sonucunda en az kayıp % 13 çimento katkılı 7 nolu toprakla oluşturulan 3 nolu örnekte % 6 olarak, en fazla kayıp ise % 8 çimento katkılı 3 nolu toprakla oluşturulan 1 nolu örnekte % 37 olarak bulunmuştur. Yine bu deneyler sonucunda örneklerin basınç dayanımları 63,8 kg/cm<sup>2</sup> ile 12,4 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Çizelge 5).

USBR (1966) sedde veya depolama yapılarında şev koruması için kullanılacak toprak-çimento karışımlarında donma-çözülme ve ıslatma-kurutma deneyleri sonucunda müsaade edilebilir maksimum kayıpların % 6 olmasını önermektedir. Bu kabülden hareketle % 6 kayıp veren çimento yüzdesini saptayabilmek için amacıyla bu iki deney sonucundaki kayıp miktarıyla örnekler içindeki çimento yüzdesinden yararlanılarak dayanıklılık eğrileri çizilmiştir (Şekil 5). Bu eğrilerin 1 nolu toprak için ekonomik çimento miktarının % 13 ve iki nolu toprak içinde % 15 olduğu saptanabilir. Gerek PCA (1971, s. 32)'nin (Çizelge 6) gerekse USBR (1966)'nın önerdiği ölçütler dikkate alındığında yalnız 1 nolu toprakla oluşturulan 3 nolu karışımdaki çimentonun ekonomik ölçütler içinde olduğu görülebilir.

Örneklerin donma sonucunda veya su ile temasta stabilitelerinin bozulup bozulmadığını saptamak amacıyla (Alkan, 1969, s. 22)'de önerildiği gibi örnekler 24 saat suda bekletildikten sonra çıkartılarak tartılmış, havada kuru durumlarıyla suya doymuş durumları arasındaki farka dayanan bir hesapla su emme kapasiteler saptanmıştır (Çizelge 7).



Şekil 3. Donma-Çözülme, ıslatma-kurutma deneyleri ile ilgili dayanıklılık eğrileri.

#### 4.1.3. Serbest Basınç Dayanımına Çimento Miktarının Etkisi

Toprağa çimento karıştırılmasının amaçlarından biri de yük taşıma kapasitesini artırmaktır. Örneklerin 2, 7 ve 28 günlük kurutma devreleri sonundaki

Çizelge 7. Toprak-Çimento Karışımlarının Su Emme Kapasiteleri, Basınç Dayanımı ve Basınç Dayanım Artış Oranları

Toprak No:	Örnek No:	Su Emme kapasitesi %	Serbest basınç dayanımı			Dayanıklılık artışı (7-28) kg/cm <sup>2</sup>	Dayanıklılık Artış Oranı %
			2x	7	28		
1	1	3.00	23.1	37.7	49.0	11.3	30.0
	2	5.11	12.0	18.7	26.7	8.0	42.8
	3	5.13	12.2	38.2	68.3	30.1	78.8
2	1	6.17	11.1	13.9	16.3	2.4	17.3
	2	6.84	13.1	19.3	20.2	0.9	4.7
	3	3.49	12.4	21.9	36.8	14.9	68.0
3	1	4.66	13.5	21.4	23.2	1.8	8.4
	2	4.62	14.1	22.2	24.3	2.1	9.5
	3	3.61	13.7	21.7	29.5	7.8	35.9

x Gün

dayanım durumlarını (7 ile 28 günlük devrelerde) saptamak için serbest basınç dayanımları ölçülmüş, çizelge 7'de dayanıklılık artış oranlarıyla birlikte verilmiştir. Çizelge incelendiğinde örneklerin 2 günlük serbest basınç dayanımları 11,1-23,1 kg/cm<sup>2</sup>, 7 günlük serbest basınç dayanımları 13,9-38,2 kg/cm<sup>2</sup> ve 28 günlük serbest basınç dayanımları ise 16,3-68,3 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir.

Toprağa katılan çimento ve su miktarı arttıkça serbest basınç dayanımlarının da arttığı görülmüştür. Bunda toprak içerisindeki fraksiyonların etkisi olmuştur. Toprak bünyesindeki kil ve silt miktarının basınç dayanımı üzerine etkisinin olumsuz olduğu saptanmıştır.

Örneklerin 7 ile 28 günlük basınç dayanımları arasındaki farktan hesaplanan dayanıklılık artış oranları 2 nolu toprakla yapılan 2 nolu örnekte en düşük (% 4,7), 1 nolu toprakla yapılan 3 nolu örnekte en yüksek (% 78,8) olarak bulunmuştur. Bu oranların artışı, denemeler sonunda 28 günlük kür devresinin beklenilmesinin gerektiğini göstermektedir.

#### 4.2 Öneriler

Sıkıştırılmış toprak-çimento karışımların rezervuar veya çiftlik göletlerinde sızma kayıplarını azaltmak amacıyla kullanılabilirliğini saptamak için yapılan bu araştırmada, elde edilen verilere göre önerilebilecek sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Bünyesinde % 18,9 silt ve % 11 kil bulunduran 1 nolu toprakla % 13 çimento ve optimum nemde su katılarak oluşturulan 3 nolu örnekte ıslatma-kurutma kaybı % 6, donma-çözülme kaybıda % 2 olarak saptanmıştır. Bu örnekler deneme sırasında su banyosundan çıkarıldıklarında sertliklerinin artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle bu tip toprak ve benzer oranlardaki çimentoyla oluşturulan karışımlar su altında kalarak stabiliteilerinin artması ve su içinde iken dış hava etkilerinden uzak olması nedeniyle uygun malzemenin kolayca sağlanabildiği hallerde başarılı bir şekilde rezervuar kaplama malzemesi olarak kullanılabilir.

- Karışım zemine yerleştirilirken laboratuvarında elde edilen maksimum yoğunluğun % 95'i olacak şekilde sıkıştırmanın yapılması gerekir. Sıkıştırma meydana gelecek azalma dayanıklılık ve geçirgenlikte kayıplara neden olur. Maksimum yoğunluktaki % 10 azalma ıslatma-kurutma ve donma-çözülme deneyleri sonucunda dayanıklılıkta 1/2 veya daha fazla azalmaya neden olur (Rogers, 1969).

- Çimentonun hidrasyonu nedeniyle karıştırma ve yerleştirme işlemleri bir birini takip etmeli ve hemen yerleştirilerek sıkıştırılmalıdır. Bünyesindeki nemin buharlaşmasına engel olmalı, hidrasyon periyodu (7 gün) içerisinde uygun bir örtü ile kaplanmalı, kaplama tamamlanır tamamlanmaz mümkün olduğu kadar çabuk yapı su ile doldurulmalıdır. Bu arada yeterli nemi sağlamak için sulanmalı üzeri bitüm veya benzer maddelerle kaplanmalıdır. Bu amaç için m<sup>2</sup>'ye 1,4 litre olacak şekilde asfalt emülsiyon püskürtülmelidir (PCA, 1968). Uygun olmayan

bakım aşırı büzülmelerin, çatlakların oluşmasına, dayanıklılığın düşmesine ve geçirgenliğin artmasına neden olur. Yapı mümkün olduğu kadar çabuk su ile doldurulduğu hallerde hacim değişimleri minimum olacak ve çatlaklar önemli derecede elemine edilecektir.

- Çeşitli topraklar için tahmini çimento miktarları literatürlerde belirlenmiştir (PCA, 1971, s. 12). Fakat ekonomik çimento miktarının elde edilebilmesi için çimento miktarının laboratuvar deneyleriyle saptanması gerekir. Düşük çimento miktarı özellikle karışımdaki toprağın proje alanının dışından taşınmasının zorunlu olduğu yerlerde proje maliyetinin düşük olmasını sağlayacaktır.

- Bu tip kaplamalar bugünkü tekniğin gerektirdiği alet ve ekipmanın kullanılmasıyla düz veya orta eğimli zeminlerde kolayca oluşturulabilir. Fakat eğimli arazilerde eğim arttıkça inşaa işlemide güçleşir. Bununla beraber su koruma yapılarında 1:5'den daha eğimli şevlerde başarılı şekilde uygulanabilir. Bundan daha dik şevlerin kaplanması gerekiyorsa bu halde plastik toprak-çimento karışımı uygulanabilir.

- İyi ekipman ve kalifiye işçi mevcut ise uygun çimento miktarı ve sıkıştırmanın sağlanması güç olmayacaktır. Burada en önemli konu toprağın dereçelenmesinin elek anaizleriyle kontrol edilmesidir. Özellikle 200 nolu elekten geçen malzeme miktarının artmasıyla toprak-çimento karışımının özelliği düşecek, çimento miktarı dolayısıyla da maliyet artacaktır. Karışımda kullanılacak toprakların 200 nolu elekten geçen kısımlarının % 30'dan, plastik indeksi % 18'den ve içerdikleri kil miktarı % 20'den az olmalıdır. Bu miktarları ise toprak tipine göre laboratuvar deneyleriyle saptanmalıdır.

- Kaplama kalınlığı rezervuar tabanında 15 cm, şevlerde 60 cm olacak şekilde inşaa edilmeli, kaplama işlemi bittikten sonra da açılacak örnek kuyularından alınan örneklerle çimento miktarı ve kalınlık kontrol edilmelidir.

## THE UTILIZATION OF SOIL-CEMENT MIXTURE FOR REDUCING SEEPAGE LOSSES IN THE SMALL WATER STORAGE RESERVOIRS

### SUMMARY

Small water containing structures are now an important source of irrigation water in the arid and semi arid climate condition. But excess seepage losses are very important this kind of structures.

Soil-cement has been used succesfully to reduce seepage losses and as a low cost lining material for both small and large water storage reservoirs.

This study is conducted to determine an economical lining material in order to prevent seepage losses in the small water reservoir and farm ponds. For this

purpose 3 soils were selected having different texture and Atterberg limits as a base material among the 10 soil samples. Portland cement is used as soil additives to stabilize the soil. Following conclusion is drawn by obtained from the test.

- The soils used in this study have common gradation according sieve analysis. Liquid limit values of the soils are between 26,4 % and 31,3 %, plastic index values are between 6,4 % and 14,6 %. According to A.A.S.H.O. classification system., soil number 1 is A-2-4 (0), number 2 is A-6 (6) and number 3 is A-4 (1).

- Standard Proctor method was employed to determine the required water and amount compaction for the mixtures. Compaction curves were drawn for each mixture (Figure 2).

- The number 3 mixture prepared with the soil number 1 (containing 18,9 % silt and 11 % clay) and 13 % cement displayed a good durability against freezing-thawing and wetting-drying in the laboratory.

- The minimum loss in freezing-thawing test were observed at number 3 soil cement mixture (2 %) which prepared soil number 1 and maximum loss at number 1 soil-cement mixture (16 %) which prepared soil number 2. The minimum loss in wetting-drying tests were observed at number 3 soil-cement mixture (6 %) and maximum loss as number 1 (37 %) which prepared soil number 3.

- Compressed soil-cement mixture could be prepared with easily breakable soils containing less than 30 % silt and Clay adding 13 % cement and water at the optimum moisture content will make an economical lining material for small water storage facilities.

- PCA (1971, s. 12) gives approximate cement for soils according to their A.A.S.H.O. classification system. But the laboratory tests should be undertaken in order to find out economical cement percent for mixture.

## KAYNAKLAR

Alkan, Z. 1964. Çimentolu Prese Kerpiç Üzerinde Bir Araştırma. İmar İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü Kerpiç Semineri Tebliği, Ankara.

American Society For Testing Material, 1957, Freezing and Thawing Tests of Compacted Soil Cement Mixtures, ASTM Designation: D 560-57.

American Society For Testing Material, 1963. Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders, ASTM Designation: D 1633-63.

American Society For Testing Material, 1964. Procedure for Testing Soils, Standard Method Test for Plastic Limit and Plasticity index of Soils, ASTM Designation: 424-59.

- Burmister, D. M., 1949. Principles and Techniques of soil identification, Annual Highway Research Board Meeting s. 402-433, Washington, DC.
- Hakgören, F. 1977. Tarla İçi Sulama Kanallarının Kaplanmasında Bazı Toprak Stabilizan Maddelerin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Kültürİteknik Bölümü (Doçentlik Tezi-Teksir), Erzurum.
- Hacaoğlu, Ö. L., 1966. Toprakta Organik Madde, Nitrojen ve Nitrat Tayini, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Enstitüsü Teknik Bülteni No: 6. Ankara Üniversitesi Basımevi.
- Holtz, W. Gand Walker, FC. 1962. Soil-Cement as Slope Protection for Earth Dams, J. Soil Mechanics and Found. Di. ASCE Vol 88 (SME) s. 107-134.
- İlğnes, O.G. and Metcalf, J. B. 1973. Soil Stabilization, Principle and Practice, John Wiley and Sons, New York.
- Johnson, J. E. 1961. An Evaluation of Soil-Cement For Channel Stabilization, 1961 Annual Meeting ASAE, ISU, Ames, Iowa.
- Kraatz, D. B. İrrigation Canal Lining, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Krochin, S. 1960. Soil Cement for Canal Linings, International Comission on Irrigation and Drainage (ICID) Anual Bulletin, s. 101-108.
- Replage, J. A. and et. al. 1980. Design and Operation of Farm İrrigation Systems, Edited by M. E. Jensen An ASAE Momograph Number 3 in a Sries Published by ASAE-Chapter, Farm Water Delivery Systems, s. 313-347.
- Portland Cement Association, 1969. Soil-Cement Construction Handbook, PCA Illinois.
- Portland Cement Association 1971. Sil-Cement Laboratory Handbook, PCA, Engineering Bulletin, Illonis.
- Portland Cement Association, 1974. Soil-Cement for Paving Slopes and Lining Ditches. Soil-Cement Information, Illinois.
- Regers, E.H. 1969. Soil Cement Linings for Water-Containing Structures, Seepage Symposium Phoenix, Arizona, 1968, ARS, USDA, 41-147.
- Skogerboe, G.V. and Walker, W.R. 1975. Lining Irrigation Channels for Salinity Control, Reprinted from the Pruceedings of the ASCE, İrrigation and Drainage Division Specialy. Conference Held at Logan, Utah.
- Spangler, W, C, and Handy, R.L. 1973. Soil Engineering, Third Edition Intext Educational Publishere, New York.
- Soil Conservation Service, 1973. Ponds for water Supply and Recreation, Agricultural Handbook, No: 387, SCS, USDA.



US Bureau of Reclamation, 1963. Lining for Irrigation Canals, USDA of the Interior. Including A Progress Report on the Lower Cost Canal Lining Program

US Bureau of Reclamation, 1966. Laboratory test on Proposed Borrow Materials for Soil-Cement Slope Protection and Bottom Protection. US. Bur. Reclam, Soil Engin. Br. Rpt. ES-729, Denver.

US Salinity Lab. Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Handbook, No: 60.

Willson, R. J. 1965. A Lower Cost Lining Program, Seepage Symposium, Phoenix, Arizona, 1963. Agricultural Research Service, USDA, ARS. 41-90.