

***ATATÜRK BARAJINDA KİL ÇEKİRDEK MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN
KİLİN DİSPERSİF(DAĞILGAN) ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

*Investigation of Dispersivity Properties of the Clay Core Material Used For the
Ataturk Dam*

Mustafa BELEN
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Hasan ÇETİN
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışma 2011-2012 öğretim yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada Atatürk Barajı'nın kil çekirdek inşasında kullanılan malzemesinin dispersif (dağılgan) özelliği belirlenmiş olup, bu özelliğin barajın uzun süre stabilite durumuna etkisi araştırılmıştır. Kullanılan killi zeminden alınan örselenmiş zemin numunelerine sınıflama deneyleri yapılmıştır. Zeminin üzerinde yapılan XRF, XRD ve SEM analizleri ile zeminin Vermikülit, Kaolinit ve Simektit türü kil minerallerince zengin olduğu belirlenmiştir. Mühendislik deneylerinden Standart Proctor Deneyi yapılarak zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su içeriği belirlenmiş olup bu değerler kullanılarak İğne deliği, çifte hidrometre ve dağılma deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, kil çekirdek malzemesinin dispersif (dağılgan) olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:Dağılganlık, Kil, Atatürk Barajı, Dolgu baraj

ABSTRACT

This study has been prepared as an MSc. Thesis at the Department of Geological Engineering in the Institute of Natural and Applied Sciences, University of Cukurova in the academic year of 2011-2012.

In this study, the dispersivity of the material used for the clay core of the Ataturk Dam and its effect on the long term stability of the dam have been investigated. Soil classification tests have been performed on disturbed samples of clay material used in the clay core. XRF, XRD and SEM analysis show that the clay material is rich in Vermiculite, Kaolinite and Simectite type clays. The pinhole and double hydrometer and break up tests have been performed according to maximum dry unit weight and optimum moisture content determined by the Standart Proctor Experiment, one of the engineering test in soil mechanics. In conclusion, it was determined that the clay core material is non-dispersive material.

KeyWords:Dispersivity, Clay, Ataturk Dam, Fill-dams

* Yüksek Lisans Tezi-MSc. Thesis

Giriş

Barajlar, bir akarsu vadisini kapatan ve arkasında su biriktiren; enerji üretimi, içme ve/veya sulama suyu temini ve akarsuların düzenlenmesi gibi pek çok gayeye hizmet eden ekonomik faydası büyük olan tesislerdir (Erguvanlı, 1982).

İnşa edilen barajın tipi ve boyutu ihtiyaca, mevcut olan suya, sahanın topografya ve jeolojisine ve kolaylıkla elde edilebilir inşaat malzemesine bağlıdır. Barajlar, yapıldıkları malzemeye göre beton ve dolgu barajlar olarak ikiye ayrılırlar (Bell, 2004).

Dolgu barajlar toprak dolgu, kaya dolgu ve/veya ikisinin bileşimi olmak üzere çeşitli şekillerde inşa edilebilirler. Atatürk Barajı'nda kil çekirdekli toprak dolgu baraj olarak inşa edilmiş olup Adıyaman ve Şanlıurfa illeri arasında, Fırat Nehri üzerinde kurulu, enerji ve sulama amaçlıdır. 1983 yılında inşaatı başlamış olan baraj 1992 yılında işletmeye açılmıştır. Atatürk Barajının genel özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Atatürk Barajının genel özellikleri (Çetin ve ark., 2000)

Tip	Kil çekirdekli kaya dolgu
Amaç	Sulama ve enerji
Hacim	$84.5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Kret yüksekliği	549 m
Kret uzunluğu (dolgu)	1664 m
Kret genişliği	15 m
Temel genişliği	184 m
Talvegten yükseklik	169 m
Maksimum su seviyesi	542 m
Minimum su seviyesi	526 m
Minimum kullanılabilir su seviyesi	513 m
Maksimum rezervuar hacmi	48.7 km^3
Minimum rezervuar hacmi	29.4 km^3
Rezervuar alanı	817 km^2
Drenaj alanı	92338 km^2
Türbin Sayısı	8
Kurulu kapasite	2400 MW
Yıllık enerji üretimi	8900 GWh

Dolgu barajlarda barajın en önemli yapısı kil çekirdek olarak adlandırılan kısımdır. Bu bölümün stabilitesini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar malzemenin sıkıştırılması, kullanılan kil zeminin cinsi, plastikiği ve dispersivitesi olarak söylenebilir.

Dispersif (dağılgan) killer, su ile temas ettiğinde ciddi şekilde erozyona uğrayan ve boşluk suyundaki çözülmüş sodyum iyonu yüzdesi yüksek olan zeminlerdir. Bu tür zeminlerde koloidal kil mineralleri, durgun su içinde dahi dağılma ve ayrışmaya uğrayarak süspansiyon oluşturur. Dispersif killerin sedde ve dolgu barajlar gibi yapılarda geçirimsiz malzeme olarak kullanımı, ciddi içsel erozyon (borulanma) problemlerine ve buna bağlı göçmelere neden olmaktadır (Şahin, 2004).

Dispersibiliteyi Etkileyen Faktörler

Killerin dispersibilite karakteristiklerini etkileyen değişik faktörler vardır. Bu faktörlerin etki derecesi değişik zamanlarda farklı şekilde değerlendirilmiştir.

- **Kıvam Karakteristikleri ve Kil Muhtevası**
Zeminin plastisite indisi 4'ten küçük ($PI < 4$) olması halinde zeminin dispersif olmayacağı ve dispersif olan numunelerin hiçbirinin "yüksek elastisitelisilt" olmadığı ve "% 10'dan daha az kil ihtiva eden zeminlerin dispersifborulanmanın oluşması için gerekli koloidal yapıya sahip olmadıkları" tespiti yapılmıştır (Sherard ve ark., 1972; Ryker, 1977).
- **Kilin Mineralojik Yapısı**
Dispersiyon göçmesine, montmorillonit tipi kilin varlığının önemli ölçüde etkili olduğunu" belirlenmiştir (Stapledon ve Casinader, 1972). Bazı illitler, yüksek dispersif kil özeliği taşımaktadır. Çok miktarda kaolinit içeren kil zeminlerde, dispersif davranış yaygın değildir. (Bell ve Walker, 2000).
- **Sıklık ve Su Muhtevası**
En düşük erozyonun optimum su muhtevasının % 2-3 ıslak yönünde olduğu görülmektedir. Kuru yoğunluğunun artmasıyla, erozyon oluşumunun azalma eğilimi gösterdiği ortaya konulmuştur (Lewis ve Schmit, 1977; Wan ve Fell, 2004).

Materyal ve Metot

Materyal

Bu çalışmada Şanlıurfa Bozova ilçesinde Sam-Tekin kil ocağından alınmış Atatürk Barajı kil çekirdek malzemesi olarak kullanılan kırmızı renkli kaliçilli killi zemin numuneleri ana materyal olarak kullanılmıştır. Ayrıca bu numunelerin indeks ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde elek ve hidrometre seti, Casagrandelikit limit cihazı kompaksiyon (Standart Proctor) deney aletleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), XRD, XRF cihazları ve rutin laboratuvar araç gereçleri kullanılmıştır.

Metot

Bu yüksek lisans çalışması; arazi öncesi çalışmalar, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları (zemin mekaniği, kimyasal analizler, SEM görüntüleri ve XRF, XRD analizleri) ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Sam-Tekin Kil Ocağından Alınan Malzemenin Dispersif Özelliklerinin Belirlenmesi

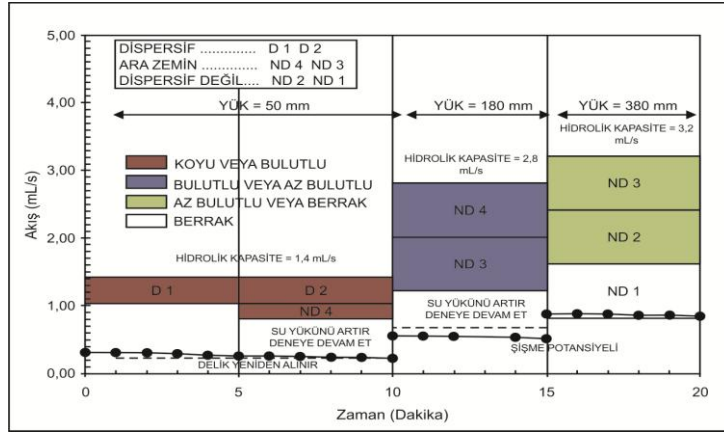
Zeminlerin dispersifözelliğini tek bir deneyle belirlemek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle numune üzerinde fiziksel ve kimyasal deneyler yapılmış olup elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek dispersivitesi belirlenmiştir.

Fiziksel Deneyler

Numunenindispersivitesinibelirmek için fiziksel deneylere(iğne deliği, çifte hidrometre ve dağılma deneyi)tabi tutulmuştur.

- İğne deliği deneyi

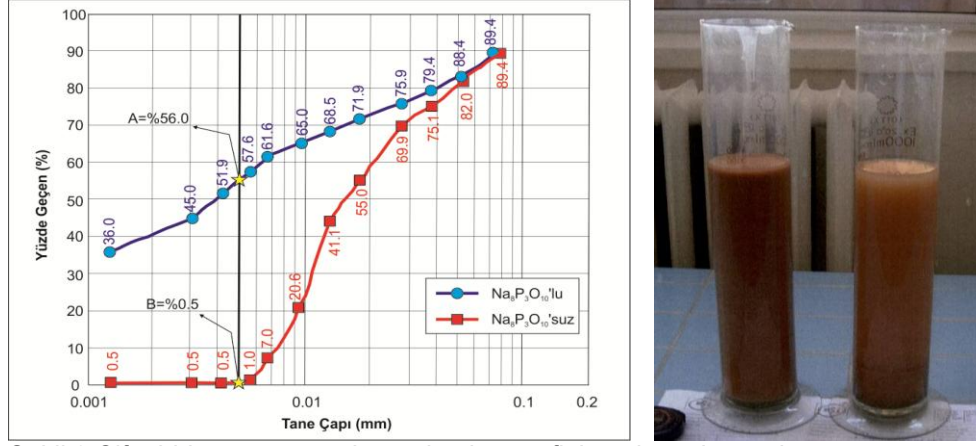
Sıkıştırılmış killi zeminlerindispersifliğini belirlemek amacıyla Sherard ve diğerleri tarafından (1976) geliştirilmiştir. ASTM D 4647-87 deneyde, 25 mm uzunluğunda ve 35 mm çapında sıkıştırılmış silindirik bir zemin numunesinin ortasından 1 mm çapında bir delik açılarak bu delikten 50, 180, 380 ve 1020 mm düşülerde saf su geçirilir ve deşarj olan suyun akış hızı, bulanıklılığı ile deliğin ne kadar genişlediği kaydedilir. Deney sonucunda malzeme 50 mm su yükü altında hızla dağılıyorsa “dispersif”, 50 veya 180 mm yük altında yavaşça erozyona uğruyorsa “ara zemin”, 380 veya 1020 mm yük altında erozyon gözlenmiyorsa “dispersif değil” olarak rapor edilir (Şahin, 2004).İğne deliği deneyi sonucunda ND1 (non-dispersif) çıkmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. İğne deliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi (Acciardi, 1985)

- Çifte hidrometre deneyi

ASTM D 4221-90 standardında anlatılmaktadır. Öncelikle mekanik karıştırıcı (mikser) ve kimyasal ayrıştırıcı kullanılarak yapılan standart hidrometre deneyi ile numunenin tane büyüklüğü dağılımı belirlenir. Aynı malzemeden hazırlanmış ikinci numune üzerinde ise mekanik mikser ve kimyasal ayrıştırıcı kullanılmadan hidrometre deneyi yapılır. Her iki numuneye ait tane dağılım eğrileri çizilerek 0.005 mm'den küçük tanelerin ikinci deneydeki yüzdesi, birinci deneydekine oranlanarak dispersiyon yüzdesi bulunur. Dispersiyon yüzdesi %30'dan az ise malzeme “dispersif değil”, %30-%50 arasında ise “ara zemin”, %50'den fazla ise “dispersif” olarak rapor edilir(Şahin, 2004).Çifte hidrometre deney sonucunda dispersiyon yüzdesi % 0.9 çıktığı için numune dispersif olmadığı belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2.Çifte hidrometre tane boyu dağılım grafiği ve deneyin yapılışı

- Dağılım deneyi

Bu deneyde ise her bir kenarı 15 mm ebadında kübik bir zemin numunesi veya hacmi buna eşit bir zemin parçası hazırlanarak 250 ml saf su dolu cam beher içerisine dikkatlice yerleş-tirilir. Malzemenin su ile nasıl bir reaksiyon yaptığı, kolloidal kil parçacıklarının suyun içinde ayrılarak süspansiyon yapıp yapmadığı 5-10 dakika süreyle gözlenir. Sudaki bulanıklık veya bulutluluk ve reaksiyonun derecesi yok denecek kadar zayıf ise “dispersif değil”, az ise “ara zemin”,orta derecede ise “dispersif” ve kuvvetli ise “aşırı dispersif” olarak tanımlanır(Şahin, 2004).Standartlara uygun olarak yapılan deneyde hiçbir bulanıklık ve süspansiyon gözlenmediği için dağılım deneyine göre dispersif olmadığı tespit edilmiştir(Şekil 3).



Şekil 3. Dağılım deneyi

Kimyasal Deneyler

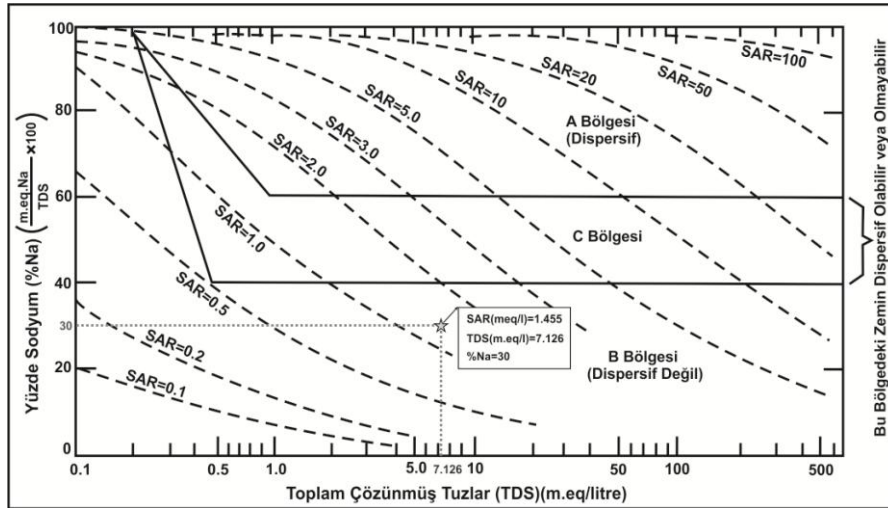
Kimyasal deneylerde zemin numunesi likit limit kıvamına gelinceye kadar saf su ile karıştırılır ve malzemeden vakum yardımıyla bir boşluk suyu örneği (saturation extract) filtre edilir. Bu boşluk suyundaki Ca, Mg, Na ve K gibi katyonların miktarı kimyasal yöntemlerle meq/l (milliequivalent/liter) cinsinden belirlenir.Zeminlerindispersiflik derecesini tayin edebilmek için ESP (değişebilir

sodyum yüzdesi), SAR (sodyum absorpsiyon oranı), %Na (sodyum yüzdesi), TDS (toplam çözünmüş tuzlar), CEC (katyon değişim kapasitesi) olmak üzere bazı parametreler geliştirilmiştir ve bu parametreler analizler sonucunda tespit edilmiştir (Çizelge 2). ESP değeri 7'den küçük ise malzeme "dispersifdeğil", 7-10 arasında ise "ara zemin" ve 10'dan büyük ise "dispersif" olarak tanımlanır. Deney sonucunda ESP değeri 5.627 meq/100g olarak bulunmuş olup dispersif olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 2. Kimyasal deney sonuçları

CEC (meq/100g)	ESP (meq/100g)	SAR (meq/l)	TDS (meq/l)	% Na
37.990	5.627	1.455	5.627	30

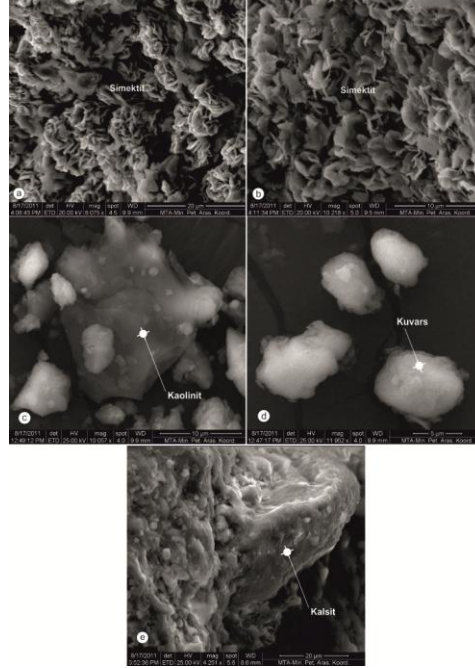
SAR, %Na ve TDS değerleri grafik Şekil 3'deki üzerine noktalanarak zeminin dispersiflik derecesi belirlenmiş olup B bölgesinde çıktığı için zeminin dispersif olmadığı belirlenmiştir



Şekil 4. TDS, % Na ve SAR parametrelerine göre dispersiflik derecesi grafiği (Sherard ve ark., 1976)

XRF, XRD Analizleri ve SEM Görüntüleri ile Sam-Tekin Kilinin Türü ve Kimyasal Bileşenlerinin Bulunması

XRD detay kil analiz sonucunda numune içerisinde kalsit, kuvars ve kil grubu mineralleri (simektit, kaolinit ve vermikülit) tespit edilmiştir. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile çekilen fotoğraflarda (Şekil 5) simektit çoğunlukta olup kaolinit türü kil mineralleri, kuvars ve kalsit tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. SEM görüntüleriyle a-b)simektit, c) kaolinit, d) kuvars, e) kalsit

Zeminin İndeks ve Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi

Kıvam limitlerinin belirlenebilmesi için American Society of Testing Materials ASTM D 4318-00 (2003) standardına göre Casagrandelikit limit cihazı kullanılmıştır.

Buna göre likit limit (LL), % 62.4 ve plastik limit (PL), % 28.5 bulunmuştur. Bu değerlerden de plastisite indisi (PI) değeri, % 33.9 bulunarak, zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Casagrandeplastisite diyagramı kullanılarak zeminin cinsi CH (yüksek plastisiteli inorganik kil)

Araziden numunelerin özgül ağırlık değeri (Gs) 2.65 olarak bulunmuştur.

Tane boyu analizi sonucunda; Kil; % 55, Silt; % 34.4, İnce Kum; % 7.28, Orta Kum; % 2.6 İri Kum; % 0.76 olarak bulunmuştur.

USCS zemin sınıflamasına göre tane boyu analizi, kıvam limitleri deney sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde zeminin CH (yüksek plastisiteli inorganik kil) tipi bir zemin olduğu görülmektedir.

Yapılan kompaksiyon deneyi ile % 26.5 optimum su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.487 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

Fiziksel ve kimyasal deneyler toplu olarak değerlendirildiğinde Sam-Tekin kilinin dispersif olmadığı belirlenmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada Şanlıurfa/Bozova'da bulunan Sam-Tekin kil ocağından alınmış ve aynı zamanda Atatürk Barajı kil çekirdek malzemesi olarak kullanılan kırmızı renkli kalıçili killi zemin numunesi kullanılmıştır.

Ocaktan alınan zemin Pliyosen yaşlı olup Keprice Formasyonu içerisinde

Killi zemin üzerinde yapılan sınıflama deneylerinde likit limiti (LL), % 62.40 ve plastik limiti (PL), % 28.50 bulunmuştur. Bu değerlerden de plastisite indisi (PI) değeri % 33.90 bulunarak, zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

Zemine ait doğal su içeriği (w_n), % 11.5 olarak bulunmuştur. Su içeriği ve kıvam limitleri kullanılarak zemine ait likitlik indisi (LI), -0.050 ve kıvam indisi (CI), 1.5 olarak hesaplanmış ve zeminin arazideki kıvamı belirlenmiştir. Zeminin arazideki kıvamı LI değerine göre kırılğan katı, CI değerine göre ise zemin yarı katı veya katı durumdadır.

Hidrometre deneyi sonucunda Kil, % 55.00, Silt, % 34.40, ıslak elek analizi aşaması sonucunda; İnce Kum, % 7.28, Orta Kum, % 2.56, İri Kum, % 0.76 olarak bulunmuştur.

Tane boyu analizi neticesinde elde edilen ağırlıkça kil yüzdesi değeri kullanılarak da zemine ait Aktivite (A_c), 0.807 olarak bulunmuş ve zeminin normal aktiviteli kil olduğu tespit edilmiştir

Yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda killi zeminin özgül ağırlık değeri 2.65 olarak bulunmuştur.

Casagrandeplastisite kartı zemin indirekt, USCS zemin sınıflamasına göre tane boyu analizi, kıvam limitleri deney sonuçları ile direkt olarak yapılan sınıflamalarda zeminin CH (yüksek plastisiteli inorganik kil) olduğu belirlenmiştir.

Killi zemin üzerine yapılan kompaksiyon deneyi sonucunda optimum su içeriği % 26.50, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.487 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

MTA Mineraloji Petrografi Araştırma Koordinatörlüğü İlaboratuarında yapılan XRD detay kil analiz sonucunda numune içerisinde kalsit, kuvars ve kil grubu mineralleri (simektit, kaolinit ve vermikülit) tespit edilmiştir. SEM görüntüleriyle de veriler desteklenmiştir.

XRF analizi neticesinde numunenin kimyasal bileşiminde % 41.45 SiO_2 , % 10.85 Al_2O_3 , % 6.5 Fe_2O_3 , % 16.55 CaO , % 3.55 MgO , %0.05 Na_2O , % 1.2 K_2O , % 0.8 TiO_2 , % 0.15 P_2O_5 , % 0.15 MnO tespit edilmiştir.

Dispersivite özellikleri belirlenirken tek bir daneye dayalı kesin bir sonuç mümkün olmadığından kimyasal ve fiziksel deneyler olmak üzere numunenin dispersivitesi araştırılmıştır. Buna göre:

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi kimya laboratuarında yapılan kimyasal deneyler sonucunda CEC 37.99 meq/100g, ESP 5.627 meq/100g, TDS 5.627 meq/l, SAR 1.455 meq/l, % Na 30 olarak bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak numunenin dispersif olmadığı tespit edilmiştir.

DSİ Ankara laboratuvarlarında yapılan iğne deliği deneyi sonucunda numune “ND1” bulunmuş olup dispersif değildir. Çifte hidrometre deneyinde bulunan sonuçta da numunenin dispersif olmadığı belirlenmiştir.

Gözleme dayalı dağılma deneyinde numune de dağılma derecesine bakılarak yine numunenin dispersif olmadığı sonucuna varılmıştır.

Fiziksel ve kimyasal deneyleri bir arada değerlendirip Sam-Tekin kilinin dispersif olmadığı belirlenmiştir.

Benzer çalışmalar katı atık deponi alanlarındaki, yeraltı suyuna sızmayı engellemek amacıyla kullanılan killerde yapılabilir.

Kaynaklar

- ACCIARDI, R.G., 1985, Pinhole test equipment design and test result evaluation, United States Department of The Interior Bureau of Reclamation, REC-ERC-85-3, p.76.
- BELL, F, G., 2004. Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat, Gazi Kitabevi, Ankara, 797 s. (Çeviri: KAYABALI, K., 2006).
- BELL, F. G. and WALKER, D.J., 2000. A further examination of the nature of dispersive soils in Natal, South Africa, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, V.33, pp. 187-1999.
- ÇETİN, H., LAMAN, M., ERTUNÇ, A., 2000. Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Atatürk Dam in Turkey. Engineering Geology 56: pp. 225-242.
- ERGUVANLI, K., 1982. Mühendislik Jeolojisi, Seç Kitabevi, İstanbul, 575s
- LEWIS, D. A. ve SCHMIT, N.O., 1977. Erosion of unsaturated clay in pinhole test, ASTM STP 623, pp. 260-273.
- SHERARD, J. L., DECKER, R.S. and RYKER, N.L. 1972. Piping in earth dams of dispersive clay, Proceedings, Speciality Conference on the Performance of Earth and Earth Supported Structures, ASCE, pp. 589-626.
- SHERARD, J. L., DUNNIGAN, L.P. and DECKER, R.S., 1976. Identification and nature of dispersive soils, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol:102, n.GT2, pp. 287-301.
- ŞAHİN, M., 2004. Dispersif killerle projelendirmeye bir örnek Koyunbaba Barajı, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 430 s. 48-54.