

## **DÜŞÜK PLASTİSİTELİ ZEMİNLERDE DISPERSİBİLİTE ÖZELİĞİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hasan TOSUN<sup>1</sup>, Hasan SAVAŞ<sup>2</sup>

**ÖZET:** Dolgu barajlarda oluşan göçmenin önemli bir nedeni olarak içsel erozyon gösterilmektedir. İçsel erozyon, zemin cinsine göre farklı şekilde oluşmaktadır. Bu tip göçmenin oluşmasında da, zeminlerin dispersif özelliğinin önemli bir etkisi vardır. Bu killerin doğru tanımlanması, sonradan oluşacak problemlerin çözümündeki zorluk ve yüksek maliyetten dolayı önemli bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada Afyon, Eskişehir ve Bilecik illerinde inşa edilmekte olan veya işletme aşamasında bulunan on barajın kil ocağından alınmış düşük plastisiteli yirmi yedi adet zemin örneği üzerinde, önce tanımlama deneyleri yapılmış, daha sonra çifte hidrometri, dağılma ve iğne deliği gibi dispersibilite deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Çifte hidrometri deneyi, Dağılma deneyi, Dispersibilite, İğne deliği deneyi, Kimyasal deneyler

## **COMPARATIVE STUDY ON DISPERSIBILITY TESTS PERFORMED ON LOW PLASTICITY SOILS**

**ABSTRACT:** Internal erosion is considered as the most significant cause for the failure of earthfill dams. Different failure modes can develop depending on soil types. The dispersibility of soil is a dominant factor for internal erosion. If this type of soils is adequately defined and properly used, the serious problems which may be difficult to solve later and have high expenditures can be prevented. This paper includes the investigation performed on the determination of dispersibility properties of the low plasticity soils. It briefly presents the tests to describe the dispersibility properties of soils and discusses their limitations as depending on the comparative study on crumb test, double hydrometer and pinhole tests, based on the results of twenty-seven samples belonging to ten different projects which are under operation and construction stages in Afyon, Bilecik and Eskişehir provisions of Turkey.

**KEYWORDS:** Chemical tests, Crumb test, Dispersibility, Double hydrometer test, Pinhole Test

<sup>1, 2</sup>Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 Eskişehir

## ***I. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI***

Yavaş hareket eden su ile kolayca erozyona uğrayabilen killer, “dispersif kil” olarak tanımlanır. Bu tip killerde kolloidal kil mineralleri, diğer normal killerden farklı olarak su içinde solüsyona dönüşmektedir. Eğer su içinde bulunan kil parçacıkları arasındaki elektriksel yüzey kuvvetleri taneler arasındaki çekim kuvvetlerini aşıyorsa, bağımsız kil parçacıkları zemin yüzeyinden ayrılmakta, solüsyon haline dönüşmektedir. Eğer su akış halinde ise, kil parçacıkları uzaklara taşınarak kil kütlesinin ayrışmasına ve dağılmasına neden olmaktadır. Bu tip erozyon; özellikle dolgu barajlarda oluşan kuruma, oturma ve hidrolik çatlaklar ile dolgu kütlesi içinde nispi olarak yüksek permeabilitenin olduğu bölgelerde görülmektedir [1].

Kil partikülleri içindeki adsorplanan edilen sodyum katyonlarının, polivalant katyonlarına oranı; dispersiyon borulanmasına neden olan önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Sodyum, kil minerallerini sararak çift tabaka kalınlığını arttırmakta ve kil partikülleri arasındaki çekim kuvvetlerini azaltmaktadır [2][3]. Bu durumda, kil partikülleri su içinde daha kolay hareket edebilmekte ve içsel erozyona neden olacak şekilde taşınmaktadır. Dispersiyon borulanmasını kontrol eden ikinci önemli etken ise, rezervuar veya kanal suyundaki çözünmüş tuz içerikleridir. Avustralya’da tuzlu bir zemin üzerine inşa edilmiş bir baraj, temelinde sızma olmasına rağmen yüksek iyonik tuz konsantrasyonlu rezervuar suyu ile uzun yıllar hizmet vermiştir. Ancak baraj rezervuarına düşük iyonik tuz konsantrasyonuna sahip bir nehirden derivasyon yapılmasından üç gün sonra baraj göçmüştür [3].

Dispersif kilden inşa edilmiş her dolguda göçme oluşacağı konusunda kesin bir kural yoktur. Eğer dolgu içinden oluşan kaçak su hızı düşük ve akış kanallarını çevreleyen kil şişebilir özelliklere sahip ise, zamanla kaçak önlenir. Bu davranış, “killerin kendi kendini tamir etmesi” olarak tanımlanır. Kilin bu davranışı, özel tasarım önlemleri ile daha olumlu hale getirilebilir [1]. Eğer dolgu içinde oluşan suyun başlangıçtaki hızı yeterince yüksek ise, ayrılan kil parçacıkları uzaklara taşınır. Kanal içinde oluşan suyun hızı kilin şişme hızından daha yüksek ise, kanal genişler ve sonuç olarak borulanma oluşur. Bu tip killerle dolgunun inşa edileceği inşaat aşaması öncesi biliniyorsa, kilin bu

özelliğini geliştiren inşaat önlemleriyle problem çözülebilir. En yaygın ve pratik çözüm, dolgu içinde % 2-4 oranında sönmüş kireç katkısının kullanılmasıdır [2].

Dispersif killerin İnşaat Mühendisliği pratiğinde tanımlanması, 1960'lı yıllarda gerçekleşmiştir. Özellikle ABD ve Avustralya'daki göçen barajlarda yapılan araştırmalar sonucunda, konu açık olarak ortaya konulmuştur. Konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalar sonucunda, dispersif killerin yalnızca kuru veya yarı kuru iklimlerde oluşan zeminler ile alkali zeminlerde görüldüğü belirtilmiştir. Ancak sonradan bu zemin tipinin dünyada çok geniş bir coğrafyada görüldüğü rapor edilmiştir [3]. Ülkemizde de değişik bölgelerde bu killere rastlanmıştır [4-5]. Ülkemizde konu, ilk defa DSİ tarafından düzenlenen bir kongrede dile getirilmiştir [6]. Konu ile ilgili bir TÜBİTAK projesi, Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından yapılmış ve sonuçları rapor edilmiştir [7]. Bu çalışmada, 10 ayrı baraj projesinden alınmış 27 adet numunenin farklı yöntemler ile dispersif özelliği belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılarak ilgili deneysel yöntemlerin duyarlılığı araştırılmıştır.

## ***II. MATERYAL VE METOD***

Rapor edilen çoğu çalışmadan görülmüştür ki; dispersif kil zeminlerden inşa edilen toprak yapının göçmesi ilk ıslanma esnasında meydana gelmektedir [3-8-9]. Sonradan göçme nedeni olarak dispersif killerin varlığının gösterildiği barajlarda, göçmelerin rezervuarın ilk dolumu aşamasında gerçekleştiği rapor edilmiştir [10-11]. Ancak dispersif zeminlerde oluşan göçmenin kohezyonsuz zeminlerde oluşan borulanma göçmesinden farklı olduğu bilinmektedir. Kohezyonsuz veya çok az kohezyonlu zeminlerden inşa edilen dolgulara, zemin boşluklarından süzülen su mansap bölümünde önemli ölçüde kaçığa neden olduğu zaman, ani borulanma göçmesi oluşur. Bu tip göçmede erozyon; önce yüzey sızma ve erozyon kuvvetlerinin neden olduğu kaçık suyunun boşalımı esnasında başlamakta ve sonra su kaynağına ulaşıncaya kadar boru ve tünel şekilli pasajın oluşumu ile membaya kadar ulaşmaktadır [1].

Dispersif killerde oluşan erozyon, kohezyonsuz zeminlerde oluşan borulanma göçmesinden farklıdır. Bu tip erozyon, kil kütlesi boşluklarında oluşan çözülme sonucunda değil, çatlak gibi kanallardan geçen suyun aşındırma etkisinden kaynaklanmaktadır. Kaçık su kanalı duvarlarındaki erozyon, kanalın tam uzunluğu

boyunca oluşur. Dolgu içinde oluşan su kanalı çok küçük olmasına rağmen, erozyonun başlaması için yeterlidir. Dispersif killerle inşa edilen dolgudaki erozyon hasarı; genellikle menfez yapısı gibi yüksek çatlama potansiyelinin olduğu bölgelerde, temel malzemesinin kompresibilitesinde büyük farklılıkların bulunduğu alanlarda ve kuruma bölgelerinde görülmektedir [1].

Yapılan deneysel çalışmalarda görülmüştür ki; dispersif kil özelliklerinin ortaya çıkartılması için gözlemsel sınıflama ile dane dağılımı, özgül ağırlık ve kıvam limitleri gibi klasik laboratuvar deneyleri yeterli değildir. Aynı malzeme sahasında birkaç metre ara ile alınan örnekler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar; aynı gözlemsel yapı ve indeks özelliklerine sahip bu malzemelerin erozyona uğrayabilirlik yönünden büyük farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Dispersif killerin jeolojik oluşumları tam ve açık olarak bilinmemektedir. Ancak çoğu dispersif killer yamaç molozu, göl çökeli, lös ve plato depozitlerinde oluşan alüvyoner killer şeklinde görülmektedir. Bazı bölgelerde deniz çökelleri şeklinde oluşan kiltası ve şeyller, dispersif killer ile aynı boşluk suyu tuzlarına sahiptir ve bunların kalıntı zeminleri dispersif özellik taşımaktadır [3]. Dispersif killerin olduğu eğimli topografyaya sahip sahalarda, yağışla oluşan yüzey erozyonunun yırtık, dolambaçlı sırt ve derin kanal ile tünel gibi tipik karakteristikleri bulunmaktadır. Düşük eğime sahip bölümlerde, yüzey kanıtlarını aramak doğru değildir.

Dispersif killerin belirtilmesi için beş ayrı laboratuvar deneyi önerilmiştir. Bunlar; dağılma, çifte hidrometri, iğne deliği ve indeks özelliklerinin belirlenmesine yönelik fiziksel deneyler ile boşluk suyundaki çözünen tuz ve değişebilir sodyum yüzdesi kimyasal deneyleridir. İlk dört deney, ABD’de yaygın olarak benimsenmiştir. Son kimyasal deney ise Avustralya’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise, çoğunlukla fiziksel deney sonuçlarına itibar edilmektedir.

Dağılma deneyi, 15 mm kenar uzunluğuna sahip tabii su içeriğinde hazırlanmış örneklerin saf su içindeki reaksiyonu dikkate alınarak önerilmiştir. Bu deney sonucunda zemin ile saf su arasında oluşan reaksiyon, nitel olarak değerlendirilir ve zeminin dispersibilite sınıfı bulunur. Çifte hidrometri yönteminde ise, standart yöntem ile mekanik karıştırıcı olmaksızın ve kimyasal ayrıştırıcı kullanmaksızın yapılan deneyler

dikkate alınmaktadır. Elde edilen iki ayrı dane dağılım eğrisinden, 0.005 mm'ye karşılık gelen, geçen yüzde miktarlarının oranı “dispersiyon derecesi” olarak tanımlanmaktadır. Her iki deney için de standart yöntemler oluşturulmuştur [12-13-14].

Zeminlerin dispersibilite özelliğini belirlemek amacıyla kullanılan en hassas yöntem, iğne deliği deneyidir. Konu ile ilgili standart yöntemler geliştirilmiştir [15-16]. İlgili standart yöntemlere göre hazırlanan örnek içinde açılan 1 mm çaplı delikten farklı hidrolik yükler altında geçen suyun debisi ölçülmekte ve bulanıklığı nitel olarak değerlendirilmektedir. Bu verilere göre zeminler, dispersibilite yönünden üç ana ve altı alt gruba ayrılmıştır.

Doymun hale getirilen zemin numunelerinin boşluk suyu içerisindeki deneyler ile tuz miktarı belirlenir. Bu değerler kullanılarak, Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve Toplam Çözünen Tuz miktarı (TDS) bulunur. Bu verilere dayalı ampirik ilişkiler kullanılarak, zeminin dispersibilite sınıfı elde edilir. Ayrıca zemin içindeki sodyum miktarı ile katyon değişme kapasitesine bağlı olarak “Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP)” tanımlanmıştır. ABD’de ve ülkemizde, kimyasal deneylerle ilgili henüz standart yöntemler önerilmemiştir. Ancak Avustralya’da konuyla ilgili standart yöntemler vardır [17-18].

### ***III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA***

Bu çalışma kapsamında Afyon, Bilecik ve Eskişehir illeri içinde yer alan dokuz ayrı barajdan toplanmış 19 numune üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında kalacak numunelerin özellikle düşük plastisiteli olmasına özen gösterilmiştir. Deneysel çalışmaların birinci bölümünde zeminlerin dane dağılımı, kıvam limitleri ve özgül gravite değerlerini belirlemek amacıyla tanımlama ve sınıflama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler; TS 1900’e uygun yöntemler takip edilerek yapılmış ve numuneler “Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi” esasında sınıflandırılmıştır [19-20]. Tanımlama deney sonuçları, toplu olarak Çizelge 1’de sunulmaktadır. Bu verilere göre numunelerin 12 adedi ince taneli ve 7 adedi iri tanelidir. İnce taneli zeminler; genellikle düşük plastisiteli silt, kil ve silt-kil olarak sınıflandırılmıştır. İki ayrı numune ise “plastik olmayan zemin” olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Tanımlama Deneysel Sonuçları

Örnek No	Örnek Adı	Dane Dağılımı		Kıvam Limitleri (*)			Özgül gravite	Zemin Grup Sembolü
		<0.076 mm	<4.76 mm	LL %	PL %	PI %		
1	Serban Brj	67.6	98.9	30	-	-	2.55	NP
2	Akdeğirmen Brj	60.8	86.9	38	24	14	2.63	CL-ML
3	Akdeğirmen Brj	61.3	82.7	39	24	15	2.60	CL-ML
4	Karacaören Glt	23.0	74.3	26	-	-	2.49	SM
5	Karacaören Glt	40.0	87.1	42	28	14	2.49	SM
6	Tınaztepe Glt	62.3	99.0	24	-	-	2.60	NP
7	Taşoluk Glt	70.5	98.0	25	21	4	2.72	ML
9	A. Kuzfındık Brj	56.7	99.9	33	19	14	2.73	CL
10	A. Kuzfındık Brj	68.4	98.7	48	24	24	2.72	CL
15	Kızıldamlar Brj	42.9	89.1	43	32	11	2.73	ML
16	Kızıldamlar Brj	43.9	75.0	37	26	11	2.72	SM
18	Kızıldamlar Brj	27.8	76.0	24	19	5	2.82	SM
19	Kurtköy Brj	63.2	94.0	37	20	17	2.59	CL
22	Gürsögüt Brj	58.0	91.9	37	19	18	2.66	CL
23	Gürsögüt Brj	60.1	94.1	39	16	23	2.67	CL
24	Gürsögüt Brj	58.2	99.4	29	18	11	2.66	CL
25	Gürsögüt Brj	49.5	85.0	28	16	12	2.66	SC
26	Gürsögüt Brj	76.8	98.3	37	19	18	2.66	CL
27	Gürsögüt Brj	29.2	98.5	29	19	10	2.63	SC

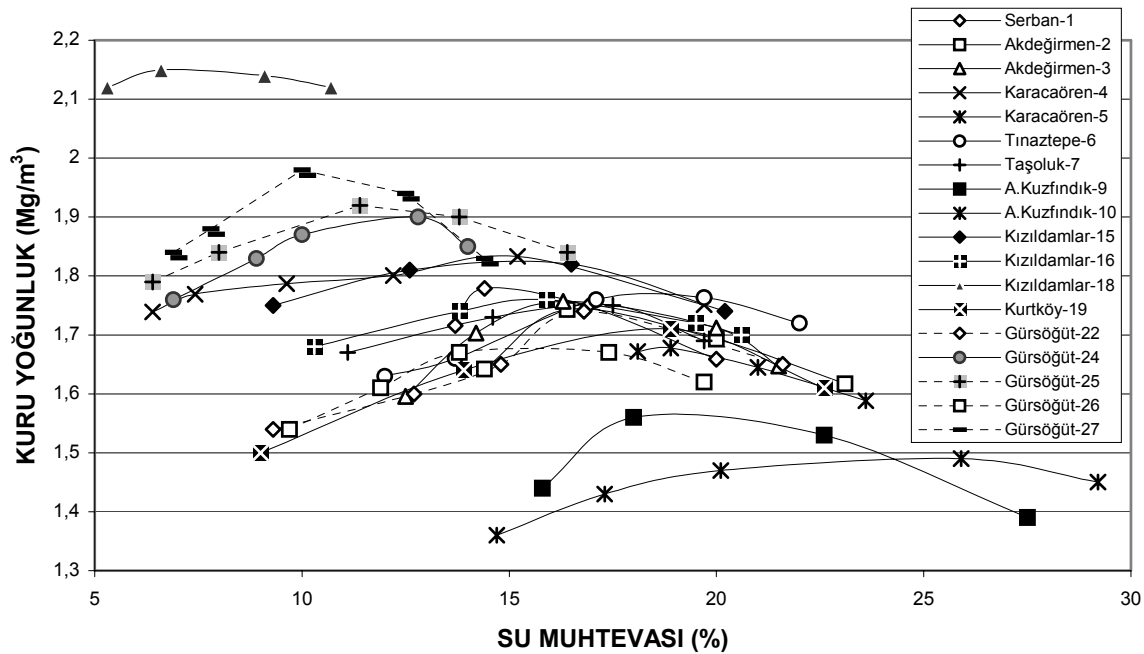
(\*) LL=likit limit PL=Plastik limit PI=Plastisite indisi

Numuneler içindeki ortalama çakıl ve kum miktarı, sırasıyla % 9.1 ve % 37.2 ve ince miktar ise % 53.7 olarak belirlenmiştir. Numuneler içindeki koloidal kil yüzdesi ise ortalama % 11.4 olarak bulunmuştur. Numunelerin likit limit ve plastisite indisi değerleri % 24-48 ile % 4-24 aralığında değişmektedir. Özgül gravite değerleri, dar bir aralıkta değişmektedir. Değerlendirmeye alınan örneklerin tanımlama deney sonuçları ile ilgili istatistiksel veriler, Çizelge 2’de toplu olarak sunulmaktadır. Örneklerin en büyük kuru yoğunluk ve optimum su içeriği değerleri ise, sırasıyla 1.26-2.15 Mg/m<sup>3</sup> ve % 7.6-36.0 aralıkları içinde kalmaktadır. Dispersibilite deneylerinin yapılması için

sıkıştırılarak hazırlanan örneklere ait kompaksiyon eğrileri, Şekil 1'de verilmektedir. Bu veriler kullanılarak % 100 sıklıkta iğne deliği örnekleri hazırlanmıştır.

Çizelge 2. örneklerin Tanımlama Özelliklerinin İstatiksel Yorumu

Zemin Özellikleri	Örnek Sayısı	En Düşük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma
Tane dağılımı					
- <0.002 mm	19	2	25	11.42	6.89
- <0.0076 mm	19	23	76.8	53.69	15.31
- <4.76 mm	19	21.5	69.3	37.2	11.72
Kıvam Limitleri					
- Likit limit	19	24	48	33.95	7.04
- Plastik limit	19	16	32	21.5	4.46
- Plastisite indisi	19	4	24	13.81	5.48
Özgül gravite	19	2.49	2.82	2.65	0.084



Şekil 1. Örneklerin Kompaksiyon Eğrileri

Deneysel çalışmanın ikinci bölümünde dispersibilite ile ilgili kimyasal ve fiziksel deneyler gerçekleştirilmiştir. Kimyasal deneyler sonucunda örneklerin elektriksel

iletkenliği, pH derecesi, toplam çözünen tuz miktarı, sodyum yüzdesi, sodyum adsorpsiyon oranı ve değişebilir sodyum yüzdesi değerleri belirlenmiştir. Bu değerler; Çizelge 3’de sunulmaktadır. Örneklerin dispersif özeliğini belirlemek için dağılma, çifte hidrometri ve iğne deliği deneyleri yapılmıştır. Her bir numune için öncelikle dağılma ve çifte hidrometri deneyleri yapılmış ve sonra dönüştürülmüş USBR cihazı ile, iğne deliği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Dispersif bulunan bir numunenin dağılma deney sonucu Şekil 2’de verilmektedir. Bu deney sonuçları toplu olarak Çizelge 4’de sunulmaktadır. USBR cihazı ile yapılmış iğne deliği deneylerinin sonuçları ve boşalım debilerindeki değişimi, sırasıyla Şekil 3 ve 4’de sunulmaktadır.

Çizelge 3. Kimyasal Deney Sonuçları

Örnek No	Numune Adı	İletkenlik (mmhos/cm)	Ekstrakt pH	TDS <sup>(*)</sup> (meg/L)	Na (%)	SAR	ESP (%)
1	Serban Brj	0.520	8.26	5.74	21.60	0.83	2.03
2	Akdeğirmen Brj	0.481	8.11	5.52	13.40	0.48	0.83
3	Akdeğirmen Brj	0.426	8.22	4.86	14.60	0.49	0.92
4	Karacaören Glt	0.5.72	8.35	6.05	33.22	1.48	0.38
5	Karacaören Glt	0.646	8.56	6.98	15.43	0.63	1.40
6	Tınaztepe Glt	0.783	8.40	7.87	12.70	0.54	0.41
7	Taşoluk Glt	0.787	8.59	8.45	19.52	0.90	0.04
9	A. Kuzfındık Brj	0.684	8.70	7.68	20.83	0.92	0.41
10	A. Kuzfındık Brj	0.752	8.74	8.58	11.19	0.49	0.35
15	Kızıldamlar Brj	1.013	8.38	10.10	32.97	1.32	1.57
16	Kızıldamlar Brj	0.851	8.38	8.92	21.63	1.04	0.75
18	Kızıldamlar Brj	0.586	8.46	6.39	15.96	0.63	0.56
19	Kurtköy Brj	0.394	8.29	4.30	22.56	0.76	0.68
22	Gürsöğüt Brj	0.370	8.37	4.05	9.63	0.29	0.45
23	Gürsöğüt Brj	0.400	8.36	4.47	9.62	0.30	0.62
24	Gürsöğüt Brj	0.379	8.40	3.96	12.63	0.38	0.21
25	Gürsöğüt Brj	0.346	8.40	3.88	11.08	0.33	0.62
26	Gürsöğüt Brj	0.370	8.44	4.26	13.15	0.42	0.17
27	Gürsöğüt Brj	0.491	8.69	5.95	13.45	0.51	0.33

<sup>(\*)</sup>TDS= Toplam sodyum yüzdesi

SAR= Sodyum Adsorpsiyon Oranı

Na= Sodyum yüzdesi

ESP= Değişebilir Sodyum Yüzdesi





Şekil 2. Tınaztepe Göletine Ait Örnekte Dağılma Deneyi

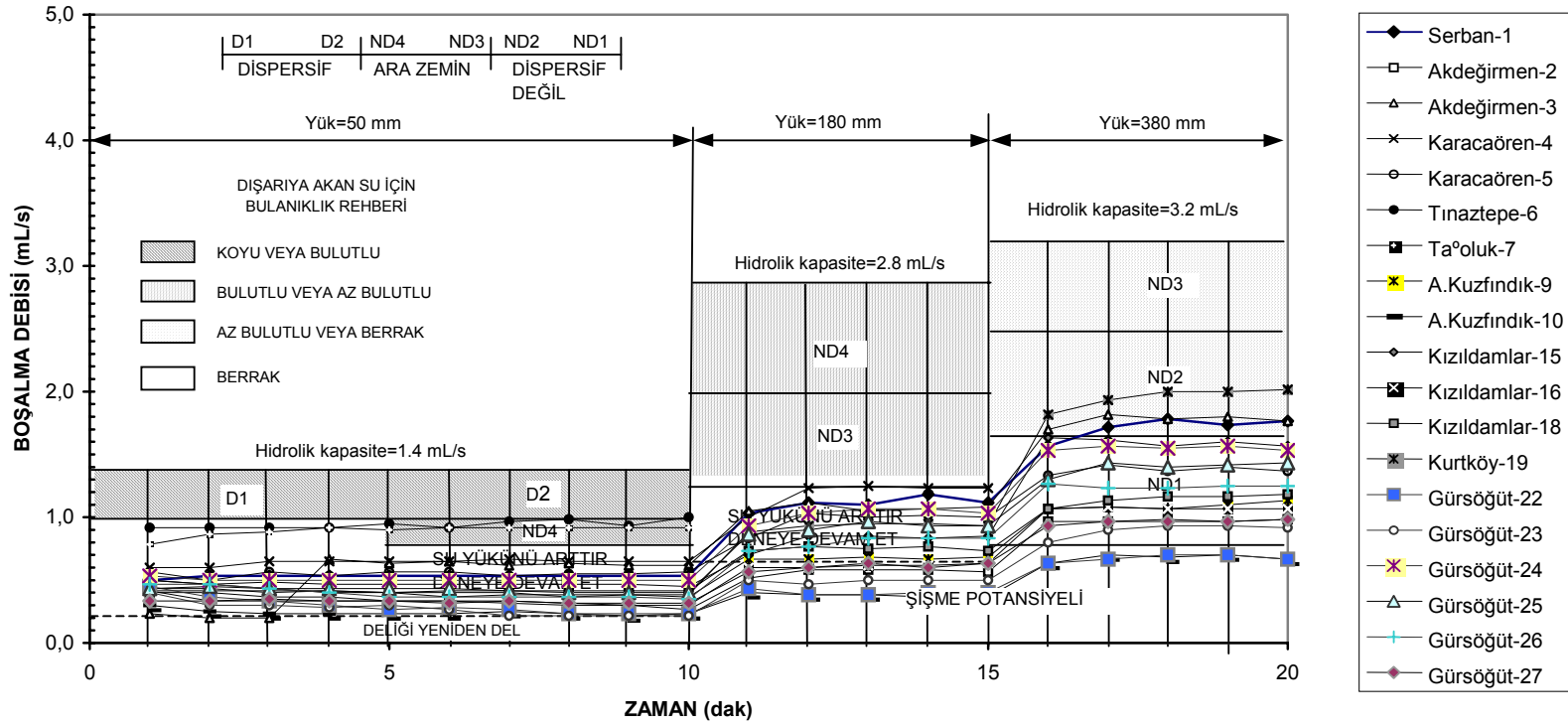
Çizelge 4. Dispersibilite Deney Sonuçları

Örnek No	Örnek Adı	Dağılma sınıfı	Dispersiyon Yüzdesi	İğne Deliği Sınıfı	Kimyasal Deney Sınıfı
1	Serban Brj	G1	0	ND2	B
2	Akdeğirmen Brj	G1	0	ND1	B
3	Akdeğirmen Brj	G1	0	ND2	B
4	Karacaören Glt	G2	5.5	ND3	B
5	Karacaören Glt	G1	0	ND1	B
6	Tınaztepe Glt	G3	34.7	D2	B
7	Taşoluk Glt	G3	51.9	ND4	B
9	A. Kuzfındık Brj	G1	0	ND1	B
10	A. Kuzfındık Brj	G1	3.2	SP	B
15	Kızıldamlar Brj	G2	3.6	ND1-SP	B
16	Kızıldamlar Brj	G2	30	ND1	B
18	Kızıldamlar Brj	G2	7.1	ND1	B
19	Kurtköy Brj	G1	1.4	ND2	B
22	Gürsöğüt Brj	G1	29.2	SP	B
23	Gürsöğüt Brj	G1	22.7	ND1	B
24	Gürsöğüt Brj	G1	42	ND1	B
25	Gürsöğüt Brj	G1	11.9	ND1	B
26	Gürsöğüt Brj	G1	33.5	ND1	B
27	Gürsöğüt Brj	G1	0	ND1	B

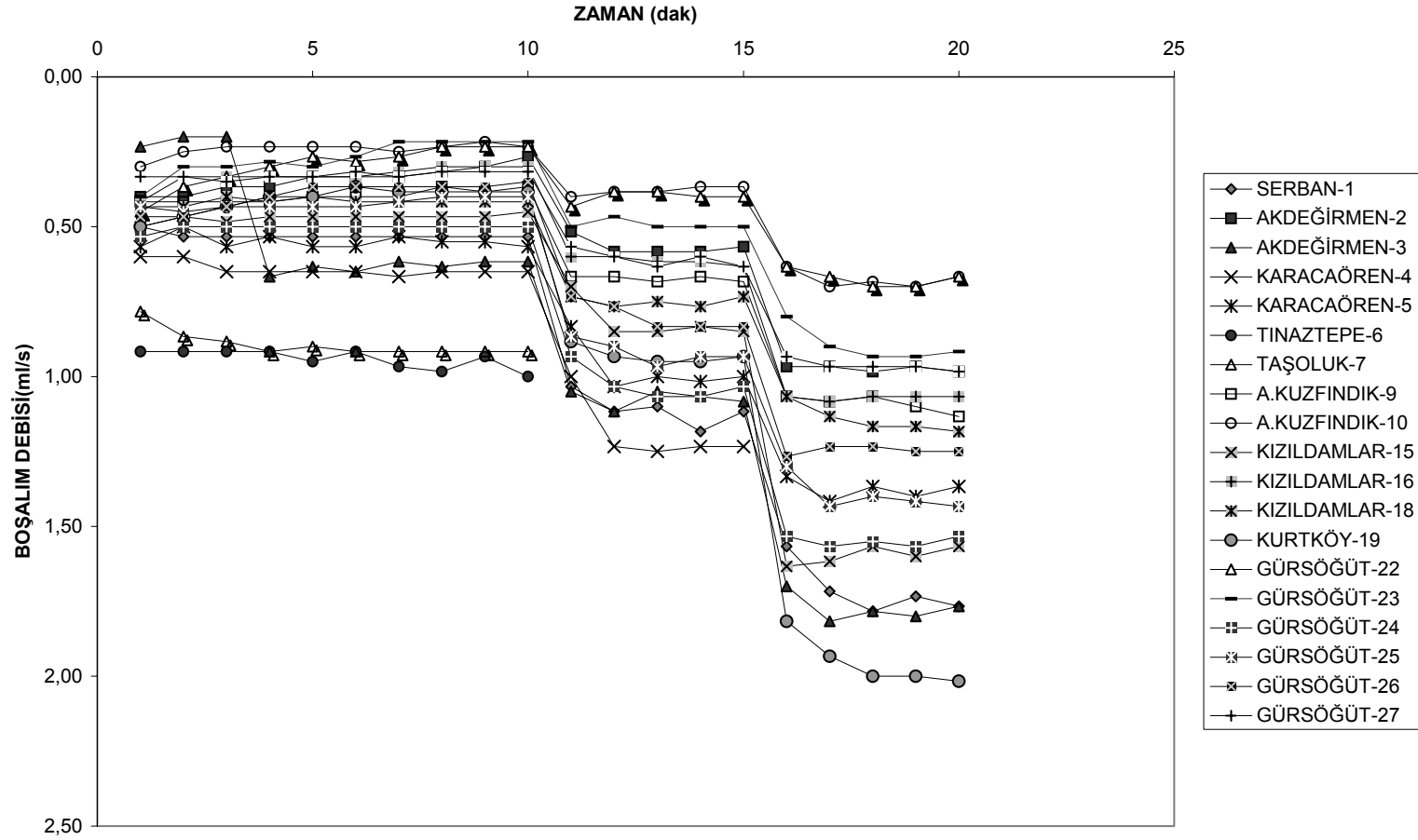
Bölüm II’de belirtildiği gibi, tanımlama deney sonuçları ile zeminlerin dispersif özeliğinin tanımlanması mümkün gözükmemektedir. Ancak ön değerlendirme amacıyla önerilmiş zeminin aktivite değerine bağlı değerlendirme yöntemine göre, numunelerin % 46’sı dispersibilite yönünden şüpheli killer sınıfı içinde kalmaktadır. İnşaat Mühendisliği uygulamalarında kullanılan killerin, genellikle bu aktivite aralığı içinde kaldığı dikkate alınır, bu değerlendirmenin dispersibilite yönünden ayırt edici bir özellik taşımadığı belirtilmelidir.

Kimyasal deney sonuçları, yalnızca bir örneğin ara zemin sınırında olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlara göre düşük plastisiteli zeminler için mevcut değerlendirmenin yetersiz olduğu söylenebilir. Ancak diğer yöntemlerle “dispersif” veya “ara zemin” olarak tanımlanan örneklerin sodyum yüzdesi ve sodyum adsorbsiyon oranı değerleri nispi olarak yüksek bulunmuştur.

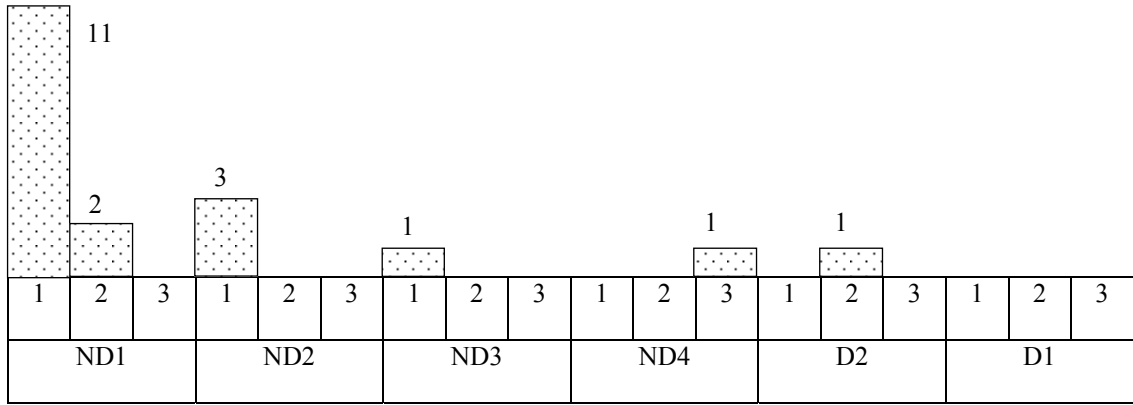
Numunelerin dispersif özeliğini tanımlamak amacıyla kullanılan dağılma ve hidrometri deney sonuçları, birbirini onaylamaktadır. Her iki deney sonucunda benzer dispersibilite sınıfları tanımlanmıştır. Çifte hidrometri deneyi tarafından, örneklerin 15 adedi “dispersif değil” ve 3 adedi “ara zemin” ve 1 adedi “dispersif” bulunmuştur. Dağılma deneyinde ise, 13 adet numune “dispersif değil”, 4 adet numune “ara zemin” ve 2 adet numune ise “dispersif zemin” olarak sınıflandırılmıştır. “Şişme potansiyeli olan zemin (SP)” olarak tanımlanan 3 adet numune “dispersif olmayan zemin (ND1)” olarak değerlendirilmiştir. İğne deliği deneyinde ise numunelerin 16 adedi “dispersif değil”, 2 adedi “ara zemin” ve 1 adedi “dispersif” bulunmuştur. Bu üç deney tipinin dispersibilite tanımları, Şekil 5’de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.



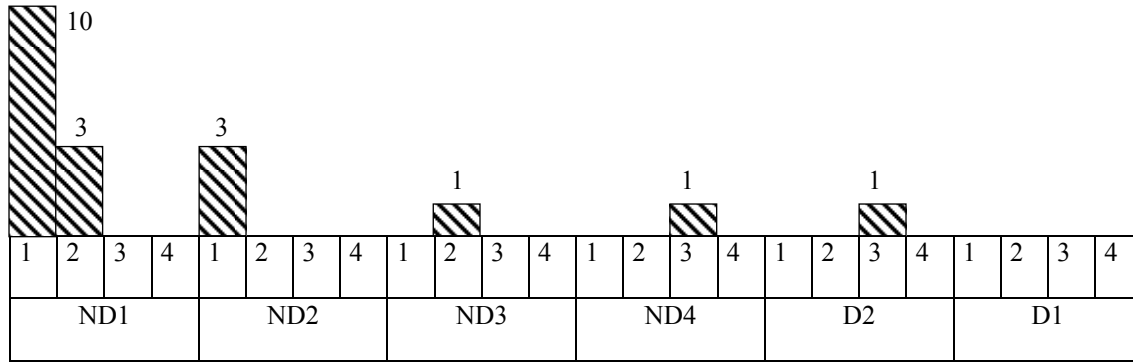
Şekil 3. Örneklerin İğne Deliği Deneyi Değerlendirme Kartındaki Yeri



Şekil 4. Örneklerin İğne Deliği Deneylerinde Boşalım Debilerindeki Değişim



(a)



(b)

Şekil 5. Dispersibilite Deneyleri İçin Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları  
a)İğne Deliği-Çifte Hidrometri b)İğne deliği-Dağılıma

#### IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dokuz ayrı barajın düşük plastisiteli çekirdek malzemesine ait on dokuz adet zemin örneği üzerinde yapılan dispersibilite deneyleri sonucunda, aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Aktivite değerine bağlı olarak önerilen dispersibilite sınıflaması, dispersif zeminlerin tanımlanmasında yeterli değildir.
- Kimyasal deney sonuçları, düşük plastisiteli zeminler için mevcut değerlendirme yöntemi ile yetersiz görülmektedir. Ancak fiziksel deneyler ile “dispersif” veya “ara zemin” olarak tanımlanan örneklerin, göreceli olarak yüksek sodyum yüzdesi ve sodyum adsorbsiyon oranı değerlerine sahip olduğu belirtilmelidir.
- Dispersif olmayan zeminlerin tanımlanmasında çifte hidrometri ve iğne deliği deneyi sonuçları karşılaştırıldığında, benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak ara zemin ve dispersif zeminlerin tanımlanmasında yetersiz kalmaktadır. Çünkü iğne deliği deneyi tarafından “ara zemin” olarak değerlendirilen iki örnekten biri

“dispersif değil” diğeri ise “dispersif” olarak tanımlanmıştır. Bir numune ise bir örnek ise “ara zemin” tanımlanmıştır (şekil 5a).

- iv. Dağılma deney sonuçları, iğne deliği deney sonuçları ile daha uyumludur. Dispersif olmayan zeminlerin tanımlanmasında benzer sonuçlar elde edilmiştir. İğne deliği deneyinde “ara zemin” olarak tanımlanan iki numune için, dağılma deneyinde de “ara zemin” ve “dispersif zemin” tanımlaması yapılmıştır. İğne deliği deneyinde “dispersif” tanımlanan bir numune ise “dispersif zemin” olarak tanımlanmıştır (Çizelge 4).
- v. Düşük plastisiteli zeminlerin dispersibilite karakteristiklerinin belirlenmesinde, iğne deliği deney sonuçları, en doğru tanımlamaları yapmaktadır.
- vi. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen ve önemli miktarda kum kapsayan örneklerin iğne deliği deneyi sonucundaki delik göçme biçimi, genelde kohezyonsuz veya az kohezyonlu zeminlerde görülen göçme biçimi ile benzerlik taşımaktadır.
- vii. Zeminlerin dispersiyonu; konsantrasyon değişimleri yönünden değerlendirildiğinde hız, Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametreler arasında matematiksel ilişkiler oluşturulabilir. Bol deneysel veri kullanılarak, koyuyla ilgili yeni çalışmalar yürütülebilir.

## **KAYNAKLAR**

- [1] H. Tosun, “Dispersif Killer ve Toprak Dolgu Barajlar Açısından Önemi” DSİ Teknik Bülteni, 1994, sayı:80, ss.51-60.
- [2] H. Tosun, “Dolgu Barajlar Yönünden Dispersif Killer ve DSİ Çalışmaları” 5. Ulusal Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Kongresi, 20-21 Ekim 1994, Ankara, ss. 98-110.
- [3] P.C. Knodel, “*Characteristics and Problems of Dispersive Clay Soils*”, Bureau of Reclamation, Materials Engineering Branch, R-91-09,17p. 1991.
- [4] H. Tosun, “Importance of Dispersive Soils for Earthfill Dams an a Research on Control Tests Adopted in Turkey” Symposium on Research and Development in the Field of Dams, 7-9 September 1995, Crass-Montana, Switzerland, ss. 133-144.

- [5] H. Tosun, 1997, "Comparative Study on Physical Tests of Dispersibility of Soils Used for Earthfill Dams in Turkey" *ASTM Geotechnical Testing Journal*, GTSODS, Vol.20, No.2, 242-251.
- [6] E.R. Tuncer, "Toprak Dolgu Barajlarda İçsel Erozyon" Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, DSİ Genel Müdürlüğü, 1995, Adana, ss.27-15.
- [7] H. Tosun, İ. Zorluer, H. Tozluk, H. Savaş, "Toprak Dolgu Barajlarda Dispersif Killerin Kullanımı ve Tasarım ve Kontrol Kriterlerinin Araştırılması" TÜBİTAK Projesi, P. No: İNTAG-719, 2001.
- [8] J.L. Sherard, R.S. Decker, N.L. Ryker, "Piping in earth dams of dispersive clay" *Proceeding Specialty Conference on performance of Earth and Earth Supported Structures*, ASCE, Vol.1, pp.589-626,1972.
- [9] J.L. Sherard, L.P. Dunnigan, R.S. Decker, "Identification and nature of dispersive soils" *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol.102, n.GT2, pp. 287-301, 1976
- [10] ICOLD, "*Deterioration of Dams and Reservoirs, Examples and Their Analysis*", International Commission on Large Dams, 1983.
- [11] H. Tosun, İ. Zorluer, H. Savaş, Ö. Taşkıran, H. Demirkol ve A. Kar, "*Temel Sorunlarından Oluşan Baraj Göçmeleri*" Osmangazi Üniversitesi, Geoteknik yayınları Serisi:99/1, Eskişehir, 95 s.1999.
- [12] USBR 5400-89, "*Determining Dispersibility of Clayey Soils by the Crumb Test Method*", Earth Manual II, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, pp. 414-418.
- [13] USBR 5405-89, "*Determining Dispersibility of Clayey Soils by the Double Hydrometer Test Method*", Earth Manual II, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 419-424.
- [14] ASTM D 4647-93, "Standard Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer" American Society for Testing and Materials, V.04.08.
- [15] USBR 5410-89, "*Determining Dispersibility of Clayey Soils by the Pinhole Test Method*", Earth Manual II, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, pp. 425-437.

- [16] ASTM D 4221-90, “Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test”, American Society for Testing and Materials, V.04.08.
- [17] B.M. Tucker, “Laboratory Procedures for cation exchange measurements on soils” CSIRO Aust. Div. Soils, Tech.pap. No.23.
- [18] G.H. Bolt and M.G.G. Bruggenwert, “Soil Chemistry-A Basic Element”, Elsevier Scintific Publ. Amsterdam, 1976.
- [19] TS 1900, “*İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri*”, TSE, Ankara, 1987.
- [20] TS 1500, “*İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması*”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.

### ***TEŞEKKÜR***

Bu makale, TÜBİTAK tarafından desteklenen İNTAG-719 Nolu (Toprak Dolgu Barajlarda Dispersif Killerin Kullanımı ve Tasarım ve Kontrol Kriterlerinin Araştırılması) proje verilerine bağlı olarak hazırlanmıştır. Destekleri için Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna teşekkür ederiz.