

Makalenin Geliş Tarihi : 03.07.2009
Makalenin Kabul Tarihi : 24.08.2009

DISPERSİF KILLERİN TANIMLANMASI İÇİN KULLANILAN İĞNE DELİĞİ DENEYİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Hasan SAVAŞ¹, Hasan TOSUN²

ÖZET: *Dispersif killerin toprak dolgu barajlarda kullanımı, eğer bu tip zeminler uygun tanımlanmamış ve önlemleri olarak kullanılmamışsa, sonradan çözümü zor ciddi sorunların oluşmasına neden olur. Bu çalışmada, dispersif killerin tanımlanmasında etkili olarak kullanılan iğne deliği deneyinin yeniden tasarımı gerçekleştirilmiş ve deney esnasında tüm değişkenler elektronik olarak kontrol edilerek olası hatalar en düşük seviyeye indirilmiştir. Deney sistemi, standart zemin örneklerinin iki, üç ve beş katı büyüklükte örneklerin kullanılabilmesi gibi geliştirilmiş ve her boyut için tasarım kartları oluşturulmuştur. Tanımlanmış örnekler üzerinde farklı boyutta deneyler yapılarak, geliştirilen sistemin hassasiyeti ölçülmüştür. Çalışma sonucunda büyük boyutlu örneklerin dispersif zeminlerin tanımlanmasında efektif olarak kullanılabilmesi görülmüştür.*

ANAHTAR KELİMELEER: *Dispersif kil, İğne deliği deneyi, Toprak dolgu baraj.*

DEVELOPMENT ON PINHOLE TEST USED TO IDENTIFY THE DISPERSIVE CLAYS AND A COMPARATIVE STUDY

ABSTRACT: *Use of dispersive clays in earthfill dams causes serious problems that may be difficult to solve later unless this type of soil is adequately defined and properly used. In this research, the pinhole test, which is effectively used for identifying dispersive clays, was redesigned and donated with electronic devices to obtain reliable results. The test system was developed including large size specimens and an evaluation chart was developed for each size specimen. Throughout the research, a detailed experimental study was performed to predict the sensitivity of new test system. The study indicates that the large specimens can effectively be used to obtain more realistic data for identification of dispersive soils.*

KEYWORDS: *Dispersive clay, Pinhole test, Earthfill embankment dam*

^{1,2} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

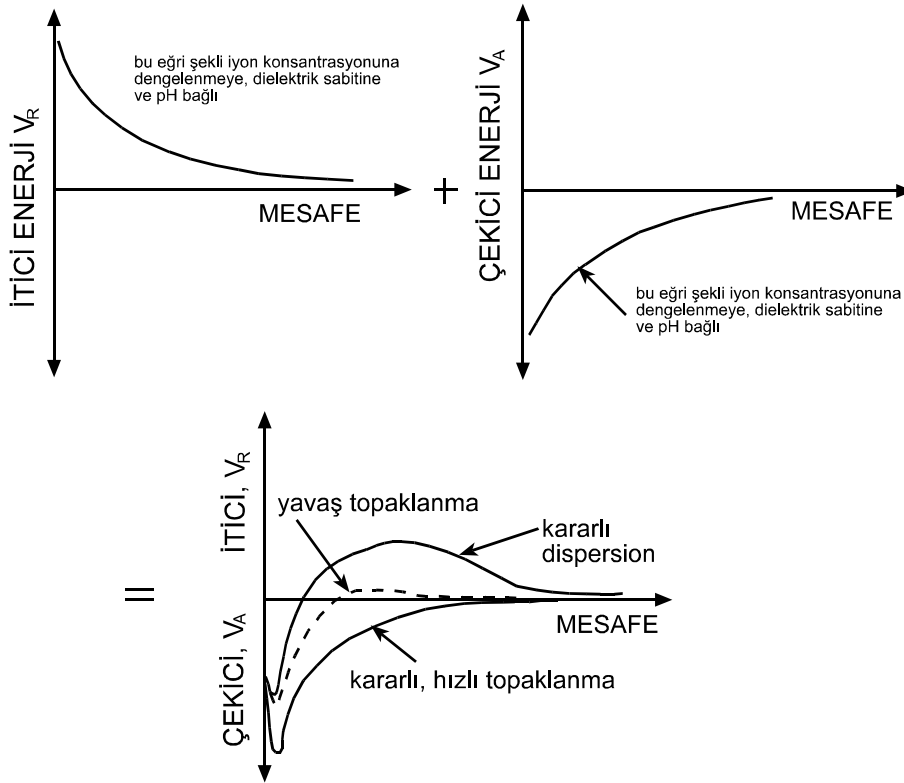
I. GİRİŞ

Baraj göçmesinde etkili olan değişik nedenler vardır. Bunlar arasında gövde üzerinden aşma, sızma erozyonu, şev koruma kusurları, baraj gövdesi ve temel zemin birimi içinden oluşan su kaçakları ve borulanma, kayma deformasyonu, zamanla oluşan bozulma, deprem, hatalı inşaat ve kapak göçmeleri önemli nedenler olarak belirtilmektedir [1]. Ancak bunlar arasında gövde üstünden aşma, borulanma ve sızma; en önemli göçme nedenlerini oluşturmaktadır [2]. Borulanmaya neden olan çok değişik faktörler vardır. Bunların içerisinde zeminlerin dispersif olması önemli bir nedeni oluşturmaktadır. Özellikle 1970’li yıllardan sonra bu nedenle göçen çok sayıda baraj bulunmaktadır. ABD ve Avustralya’da önemli örnekler mevcuttur. Bunların arasında Walter Bouldin ve Teton barajları, en önemlileri olarak değerlendirilmektedir [3,4]. Yapılan deneysel çalışmalarda görülmüştür ki; dispersif kil özelliklerinin ortaya konulmasında gözlemsel sınıflama ile tane dağılımı, özgül ağırlık ve kıvam limitleri gibi klasik laboratuvar deneyleri yeterli değildir. Dispersif killerin tanımlanmasında farklı deney yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan iğne deliği deneyi, en güvenilir deney olarak dikkate alınmaktadır. Ancak bu deneyde yüksek plastisiteli dispersif killerde tanımlama eksikliğinin görüldüğü önceki çalışmalarda belirtilmiştir [5]. Bu çalışmanın amacı, dispersif killerin tanımlanması amacıyla kullanılan iğne deliği deney ekipmanının yeniden tasarımının yapılması, farklı boyuttaki ekipmanlar için hidrolik kapasitelerinin belirlenmesi ve her ekipman için tasarım kartının geliştirilmesidir. Seçilmiş örnekler dikkate alınarak, ekipmanın hassasiyetinin incelenmesi amaçlanmıştır.

II. DİSPERSİF EROZYON MEKANİZMASI

Dispersif zeminlerin baraj yapımında inşaat malzemesi olarak kullanılması veya temel zemininde yer alması durumunda, barajın borulanma göçmesi yönünden riskinin arttığı ifade edilmektedir [6]. Dispersiyon göçmesi ile hasar görmüş barajlar üzerinde yapılan incelemelerde, zeminin genelde bol miktarda montmorillonit tipi kil ihtiva ettiği bulunmuştur. Kil minerolojisinin temel özelliklerinin bilinmesi, dispersif zeminlerin tanımlanmasında ve iyileştirilmesinde hayati öneme sahiptir.

Dispersiyon, zemin tanelerinin su içinde dağılma işlemidir. İki kil partikülü birbirine yaklaştığında potansiyel çekim alanlarının çatışması gerçekleşir. Eğer partiküller oldukça yakınsa, bu itici kuvvetlerin oluşmasına neden olacaktır. Bu itici kuvvetlere Vander Walls çekici kuvvetleri tarafından karşı konulacaktır. Eğer itici kuvvetler çekici kuvvetlerden büyükse zemin dispersif olacaktır (Şekil 1). Bu durumda bağımsız kil parçacıkları zemin yüzeyinden ayrılır ve su içinde süspansiyon haline geçer [7]. Eğer su akış halinde ise, kil parçacıkları uzaklara taşınarak kil kütlelerinin ayrışmasına ve dağılmasına neden olur. Dispersiyon, fiziko-kimyasal bir olaydır ve esas olarak kil mineralojisi ile boşluklardaki ve erozyona neden olan suyun kimyasından etkilenir [8-11].



Şekil 1. Kil-su sisteminde fiziko-kimyasal kuvvetler.

Dispersif killerden inşa edilen bir dolgu içinde kaçak su olduğu zaman, gelişecek mekanizma iki ayrı durum şeklinde özetlenmiştir: (1) Eğer sızıntı hızı düşük ise, akış kanalını çevreleyen kil şişebilir ve zamanla kaçak önlenir (2) Eğer suyun başlangıçtaki hızı yeterince yüksek ise, ayrılan kil parçacıkları uzaklara taşınır. Kilin şişme hızından daha yüksek bir hızdaki akım,

kanalı genişletir ve sonuç olarak borulanma göçmesine neden olur. Herhangi bir sismik aktiviteye maruz kalmış dolguda meydana gelen çatlakların davranışı için de bu iki durum geçerlidir[7].

III. İĞNE DELİĞİ DENEYİ

İğne deliği deneyi; kil zeminlerin dispersibilite özelliğinin değerlendirilmesi için önerilmiş direkt, fiziksel ve nicel sonuçlar sunan bir deney sistemidir. Deneyde numune içindeki delikten boşalan suyun bulanıklığı gözlenir ve farklı su yükleri altında delikten geçen suyun debisi ölçülür. Dispersif kil için ölçülen debi değeri, açılan delik çapının genişlemesine bağlı olarak artar ise, bu artış ekipmanın hidrolik kapasitesine ulaşmaya kadar devam eder. Dispersif olmayan zeminler için ölçülen akım oranı, her bir yük için sabit kalır. Çünkü deney boyunca iğne deliği çapı değişmeyecektir [12].

Bu deneyin uygulanacağı zemin tipi ile ilgili bazı sınırlamalar mevcuttur. Deney; 0,005 mm'den küçük tane miktarının % 12'den büyük ve plastisite indisinin 8 veya daha büyük olduğu zeminler için uygulanabilmektedir. Zeminin 0,005 mm'den geçen miktarı % 12'den daha az veya plastisite indisi 8'den daha küçük ise, bu tip zeminlerin kil koloidalleri dispersif olmasa bile, genellikle kolayca erozyona uğrayabilir. Bu kriterleri sağlamayan zeminler üzerinde yapılan iğne deliği deneylerinin çoğunda erozyon gözlenmiş ve deney deliğinde genişleme meydana gelmiştir. Ancak bu sonuç, genellikle kil koloidallerinin fiziko-kimyasal dispersiyonu yerine mekanik erozyonundandır.

Deneyde üç ayrı standart yük kademesi mevcuttur. Her bir yük kademesinde “su yükü” sabit tutulmalıdır. Deney sırasında bu işlem el kontrollü bir vana ile yapılmaktadır. Bu işlem el kontrolü olduğu için su seviyelerinde de oynamalar oluşmakta ve özellikle büyük yük kademelerinde delik içindeki gelişmeye bağlı olarak seviyelerde önemli değişimler meydana gelmekte ve akım koşullarında etkisi ortaya çıkmaktadır [13]. Standart deney yönteminde akım oranı ölçümlerinin bir mezür kullanılarak yapılması önerilmiştir. Uygulama esnasında bu işlemin büyük zorlukları vardır. Ölçümlerde kayıplar oluşmakta ve hassas değerler elde edilememektedir. Ayrıca deney örneği içinden erozyona uğrayan malzeme miktarının belirlenmesinde de büyük zorluklarla karşılaşmaktadır.

Standart deney yönteminde 25x33 mm boyutlarına sahip silindirik bir zemin örneğinin kullanılması önerilmektedir. Örneğin sıkıştırılması için özel bir teknik kullanılmaktadır ve deney 4 nolu elek altına geçen malzeme ile sınırlandırılmıştır. Bu hazırlanan örneğin dolgu baraj malzemesini ne kadar uygun temsil ettiği şüphe arz etmektedir. Deney sistemi yalnızca laboratuvarında sıkıştırılmış örnekler için geliştirilmiştir. Bir başka ifade ile, standart ekipman sıkıştırılmış dolgudan alınan örnekler için uygun değildir. Yukarıda tanımlanan tüm problemler dikkate alınarak standart iğne deliği deney ekipmanının yeniden tasarlanması ve değişik boyutta örselenmiş ve örselenmemiş örnekler kullanılarak deneyin yapılabileceği bir sistem elde edilmiştir [14]. Yeni ekipmanların tasarımında standart yöntemlerin hidrolik akım koşulları ile ilgili sınırlamalar aynen korunmuştur [15, 16].

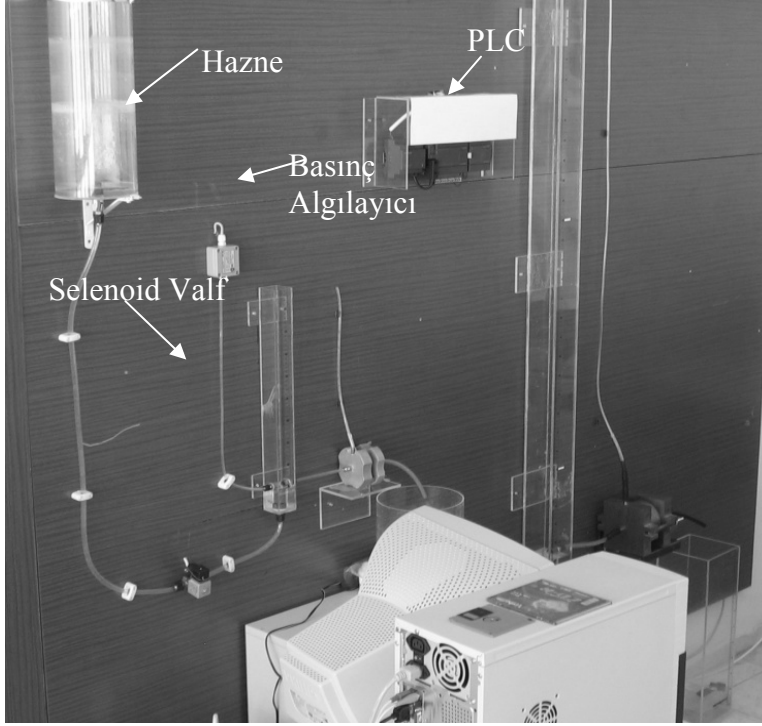
IV. GELİŞTİRİLEN EKİPMAN SİSTEMİ

Geliştirilen deney sisteminin şematik gösterimi, Şekil 2’de verilmektedir. Yeni tasarlanan deney seti iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda orijinal boyutlardaki iğne deliği deneyi (1D) ve ikinci kısımda ise bu ekipmanın 2, 3 ve 5 kat büyütülmüş boyutlarına sahip, yeni ekipmanın deneyleri gerçekleştirilmektedir. Orijinal boyutlardaki deney için “1D” ve iki katı boyutlarına sahip deney için “2D”, üç katı boyutlarına sahip deney için “3D” ve beş katı boyutlarına sahip deney için “5D” iğne deliği ekipmanı tanımları getirilmiştir.

Sistemdeki yük kaybı kontrolü, basınç algılayıcıları ve PLC ile sağlanmaktadır. PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör), endüstriyel otomasyon sistemlerinin önemli bir alanı olan kumanda ve geri beslemeli kontrol sistemleri için gerekli yazılım ve donanım özelliklerini taşıyan bir cihazdır. Yük kaybının kontrolünde büyük boyutlu (2D, 3D ve 5D) deneylerde 0-250 mbar ölçüm hassasiyetine sahip basınç algılayıcısı kullanılırken, 1D deney sistemi için 0-50 mbar hassasiyete sahip basınç algılayıcısı kullanılmıştır.

Deney esnasında zemin örneği içinde açılan iğne deliğinden oluşan akışa ait akım oranının ölçülmesi direkt veya direkt olmayan yöntemlerle yapılmıştır. Orijinal deney sisteminde (1D) akım oranının (boşalım debisi) ölçümü, hassas bir terazi ve bir çevirici yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde ardışık değerlendirme esnasında akım ölçümü yapılmaktadır. 2D, 3D ve 5D deney sistemlerinde akım oranı ölçümü, direkt olarak basınç algılayıcısı

kullanılarak yapılabilmektedir. Bu amaçla 0-100 mbar ölçüm aralığına sahip basınç algılayıcısı kullanılmıştır. Basınç algılayıcısı ile, su seviyesindeki farklılık dikkate alınarak akım ölçümü yapılmaktadır.



Şekil 2. Geliştirilen deney sistemi.

Sistemde basınç algılayıcılar ve dönüştürücüler vasıtasıyla üretilen verileri yönlendirmek, ilgili verileri değerlendirmek ve bir dosya ortamında depolanmasını sağlamak amacıyla MATLAB'da (Matris Laboratuvarı) yazılmış alt programlar kullanılmıştır. Bu projede yazılan MATLAB programlarının PLC ile iki yönlü haberleşme, verilerin depolanması ve çizdirilmesi gibi üç temel işlevi bulunmaktadır.

IV.1. Ekipmanın Hidrolik Analizi

Çalışma kapsamında, dört ayrı numune çapı (33, 66, 99 ve 165 mm) dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Standart deney sistemindeki (D=33 mm ve L=25 mm) hidrolik eğim koşulları aynen korunarak, iki, üç ve beş kat büyütülmüş deney sistemleri için gereken yük

kayıbı değerleri belirlenmiştir. Üç ayrı yükleme kademesi için standart, iki, üç ve beş kat büyütülmüş deney örnekleri için hesaplanan ve dikkate alınan değerler, Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. Ekipman boyutuna göre belirlenen yük kayıp değerleri

Ekipman *	Yük kademesi	Numune boyutu		Hidrolik eğim	Yük kaybı (mm)
		Çap (mm)	Uzunluk (mm)		
1D	I	33	25	2,0	50
	II			7,2	180
	III			15,2	380
2D	I	66	50	2,0	100
	II			7,2	360
	III			15,2	760
3D	I	99	75	2,0	150
	II			7,2	540
	III			15,2	1140
5D	I	165	125	2,0	250
	II			7,2	900
	III			15,2	1900

(*) 1D= orijinal boyuttaki ekipman

2D= orijinalin iki katı boyuttaki ekipman

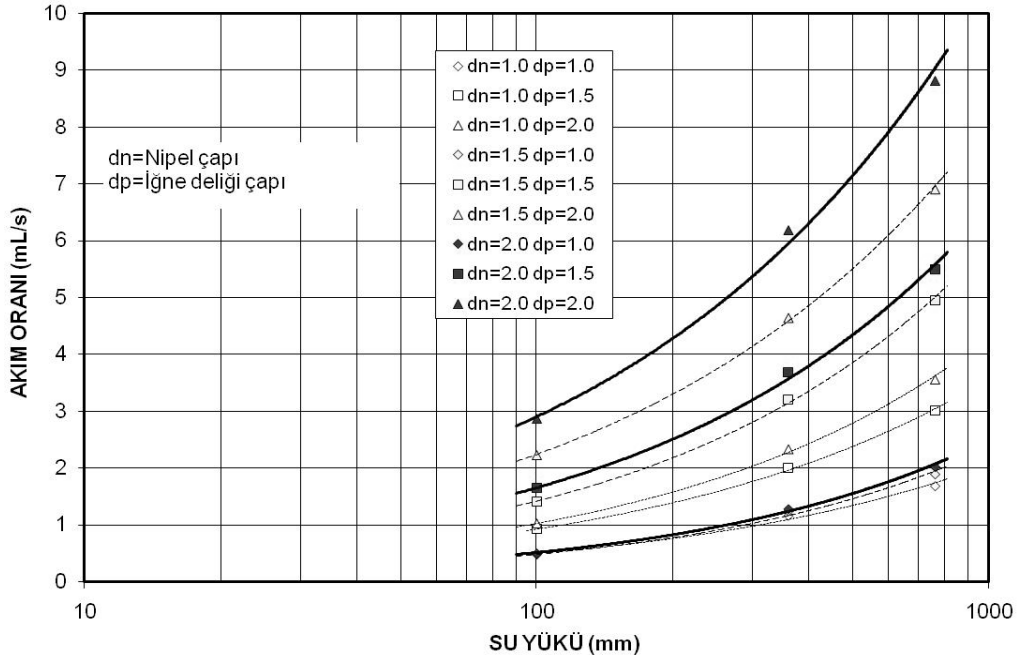
3D= orijinalin üç katı boyuttaki ekipman

5D= orijinalin beş katı boyuttaki ekipman

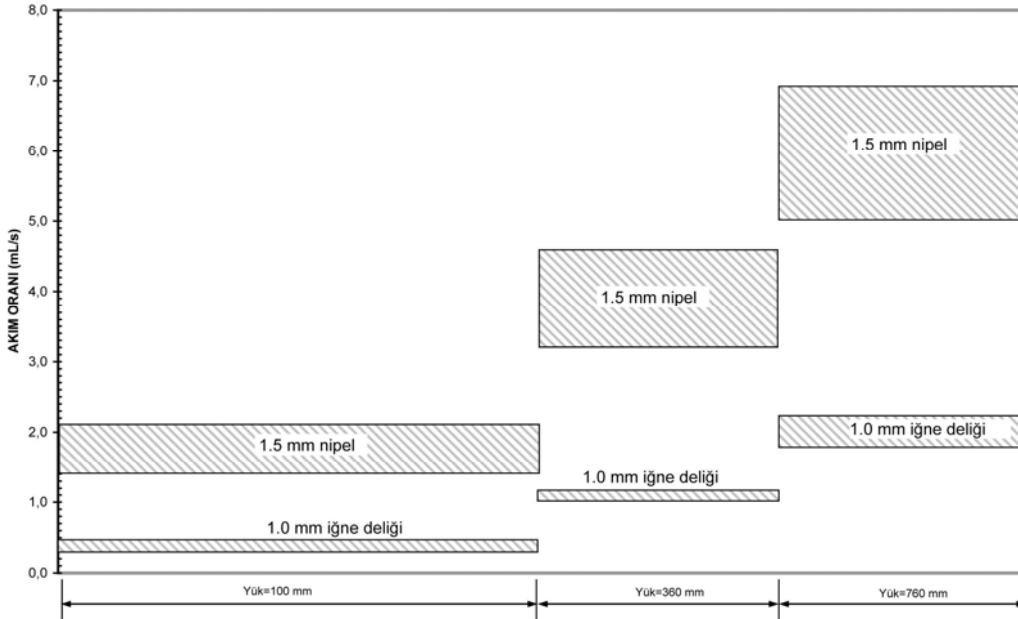
Orijinal iğne deliği (1D) ile yeni tasarlanan 2D, 3D ve 5D iğne deliği deney ekipmanları için akım oranları değerleri, hesaplanarak ve deneysel verilerden ölçülerek elde edilmiştir. Aşağıda sadece 2D ekipmanı için farklı nipel ve iğne deliği kombinasyonunda ölçülen akım oranları Şekil 3’de sunulmaktadır. Bu şekillerden elde edilen değerler, farklı yük kayıpları için ekipman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. 2D ekipmanı için nipel ve iğne deliği kısıtlamalarına göre hidrolik kapasitesi Şekil 4’de verilmiştir.

Standart boyutlardaki iğne deliği için tasarım kartı mevcuttur. 2D, 3D ve 5D örneklerin deneye tabi tutulduğu yeni geliştirilmiş ekipmanlar için de tasarım kartları geliştirilmiştir. Bu kartlar oluşturulurken, Acciardi (1982)[12] tarafından standart ekipman kartı için uygulanan yöntem takip edilmiştir. 2D ekipmanı için hidrolik kapasitesi dikkate alınarak geliştirilen bu tasarım kartı, Şekil 5’de sunulmaktadır. Standart ekipmanda dispersif zeminlerin (D1 ve D2) tanımı için ayrılan bölgedeki en büyük hidrolik kapasite 1.40 mL/s iken, 2D ekipmanında aynı değer 2.10 mL/s olarak alınmıştır. Ara zemin (ND3 ve ND4) tanımlanması için 360 mm’lik yük kayıp değerinde ilgili hidrolik kapasite değerleri 4.60 mL/s olarak belirlenmiştir. Dispersif olmayan

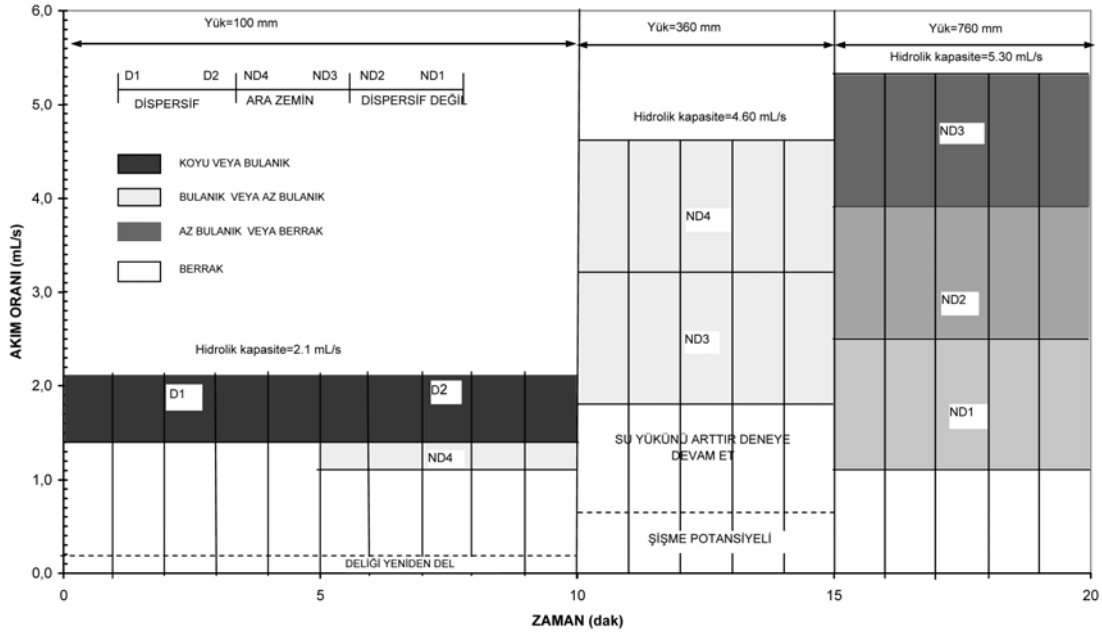
zeminlerin tanımlanmasında ise en büyük hidrolik kapasite değeri 6.9 mL/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 2D ekipmanında nipel ve iğne deliği kombinasyonlarında ölçülen akım oranları.



Şekil 4. 2D ekipmanı için iğne deliği ve nipel kısıtlamalarına göre hidrolik kapasitesi.



Şekil 5. 2D ekipmanı için geliştirilen tasarım kartı.

V. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Geliştirilen deney sisteminin hassasiyetlerini belirlemek amacıyla 9 ayrı projeye ait 22 ayrı örnek üzerinde deneysel çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Örnekler Eskişehir ve Afyon illerindeki bazı toprak dolgu barajların kil ocaklarından toplanmıştır. Örneklerin özellikle değişik dispersibilite sınıfında olmasına özen gösterilmiştir. Toplanan bu örnekler üzerinde önce tanımlama ve sınıflama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin alınması, deneye hazırlanması ve deneylerin yapılmasında ilgili standart yöntemlere uyulmuştur [17, 18]. Gerçekleştirilen deneylere ait özet bilgi, Çizelge 2’de sunulmaktadır.

Zemin örneklerinin sınıflandırılabilmesi için tane boyutu dağılımını ortaya koyan elek analizi deneyi ile hidrometre analizi gerçekleştirilmiştir. Bu verilere göre örneklerin içindeki ince ve iri tane aralığı sırasıyla %27-95 ve %5-73 aralığında değişmektedir. İri tanelerin büyük bir bölümü kum boyutundaki tanelerden oluşmaktadır. Zemin örneklerinin içindeki kil yüzdesi ise (<0.002mm) %4 ile %40 aralığında olup ortalama değeri %21,7’dir.

Çizelge 2. Örneklerin tanımlama özelliklerinin istatistiksel sonuçları

Zemin özellikleri	Numune Sayısı	En Düşük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma
Tane dağılımı					
- <0,002 mm	22	4	40	21,7	10,7
- <0,076 mm	22	27,0	94,5	67,9	16,6
- <4,76 mm	22	85,1	100,0	97,9	3,58
Kıvam Limitleri					
- Likit limit (%)	21	29	68	48,1	10,5
- Plastik limit (%)	21	19	34	28,1	4,4
- Plastisite indisi (%)	21	6	35	20,0	7,4
Özgül ağırlık, G_s	22	2,60	2,75	2,67	0,04
Kompaksiyon karakteristikleri					
- En büyük kuru yoğunluk(Mg/m^3)	22	1,44	1,825	1,54	0,098
- Optimum su muhtevası(%)	22	14	26,9	21,26	3,12
Aktivite Katsayısı	22	0	2,16	0,94	0,44

Çalışmada dikkate alınan örneklerin kıvam özelliğini belirlemek amacıyla Atterberg limitleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre örneklerin likit limit değerleri geniş bir aralıkta (%29-68) değişmektedir. Ortalama likit limit değeri ise %10,5 standart sapma ile %48,1 olarak bulunmuştur. Plastik limit değerleri içinde aynı değerlendirme yapılabilir. Zeminlerin hacim değişim potansiyeli üzerinde etkili bir kriter olan plastisite indisi değerleri de çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Ortalama değer %20,0 olarak bulunmuştur. Örneklerin kompaksiyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla standart enerji (600 kJ/m^3) uygulanarak Standart Proctor deneyleri yapılmıştır. Kuru yoğunluk değerleri $1,44-1,825 \text{ Mg/m}^3$ aralığında değişmektedir. Optimum su muhtevası değerleri geniş bir aralıkta değişmekte olup ortalama %21,26'dır.

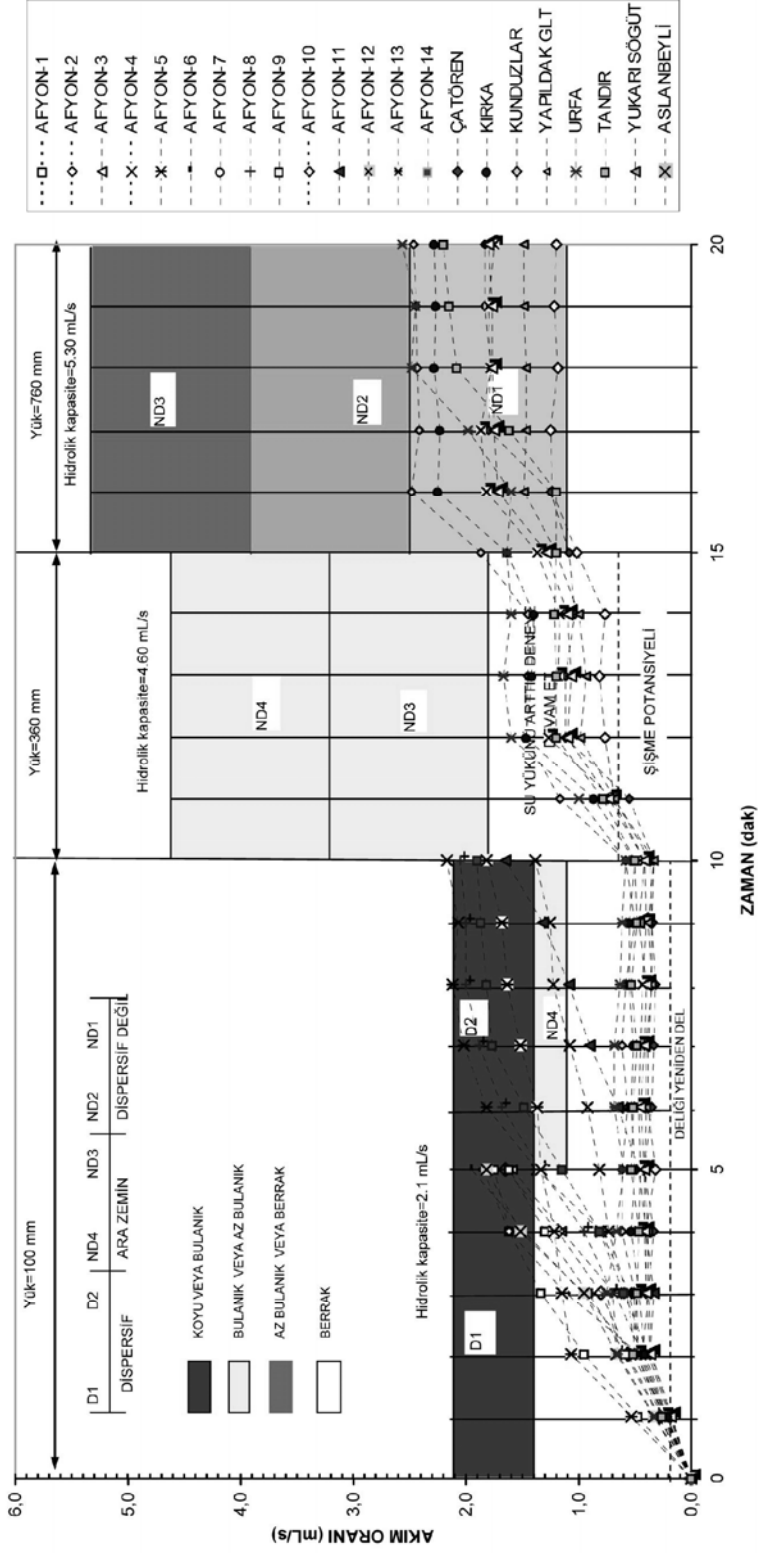
Zemin örneklerinin tanımlama deneylerinin ardından dispersibilite özelliğinin belirlenmesi amacıyla dağılma, çifte hidrometri, iğne deliği deneyi ve boşluksuyu analizlerinden elde edilen değerler kullanılarak her bir örnek için dispersibilite sınıfı belirlenmiştir. Çizelge 3'de örnekler üzerinde yapılan dispersibilite deney sonuçları toplu olarak sunulmaktadır.

Çizelge 3. Örnekler üzerinde yapılan tüm dispersibilite deney sonuçları

Numune Adı	Dağılım sınıfı	Dispersiyon Yüzdesi	İğne Deliği Sınıfı	Kimyasal Deney sınıfı (ESP-CEC)	Kimyasal Deney Sınıfı (TDS-Na%)
Afyon K. Atık Bjr-1	K4	77,5	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-2	K3	80,0	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-3	K3	75,7	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-4	K2	9,1	ND4	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-5	K3	70,4	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-6	K3	57,1	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-7	K3	69,0	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-8	K3	68,5	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-9	K4	81,5	D2	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-10	K1	47,4	ND1	ND	B
Afyon K. Atık Bjr-11	K3	67,7	D2	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-12	K3	64,5	D1	HD	A
Afyon K. Atık Bjr-13	K1	53,6	D1	D	C
Afyon K. Atık Bjr-14	K4	68,4	D1	HD	A
Çatören Brj.	K1	0	ND3	MD	C
Kunduzlar Brj	K1	0	ND1	ND	B
Kırka-Boraks Atık Brj	K1	0	ND1	ND	B
Yukarı Söğüt Glt.	K1	0	ND2	ND	B
Aslanbeyli Glt.	K1	0	ND2	ND	B
Yapıldak Glt.	K1	0	ND1	ND	B
Tandır Silti	K1	0	ND1	ND	B
Urfa Kili	K2	0	ND1	ND	B

Çalışma kapsamında standart boyuttaki ekipman ile, deney standardı esasına bağlı kalınarak iğne deliği deneyleri gerçekleştirilmiştir. 22 ayrı örnek için bu deney sonuçları, Şekil 6'da sunulmaktadır. Şekilden de görülebileceği gibi dispersif örnekler ilk yük kademesinde (50 mm) yüksek akım oranları vermektedir ve akım oranı ekipmanın hidrolik kapasitesine ulaşıncaya kadar artmaktadır.

2D ekipmanı ile yapılan 22 ayrı örnek üzerinde yapılan deneysel çalışma sonuçları, Şekil 7'de sunulmaktadır. Bu sonuçlar, standart 1D ekipman ile elde edilen değerlerle benzerlik göstermektedir. Dispersif örneklerde akım oranı değerleri, ilgili yük kademesinde ekipmanın hidrolik kapasitesine kadar artarak devam etmekte ve bu kapasite değerinde sabit olarak devam etmektedir. Hâlbuki dispersif olmayan örneklerde başlangıçta akım oranı küçük bir artıştan sonra belli bir değere ulaşmakta ve bu değerde sabit olarak devam etmektedir. Yeni yük kademesinde de sınırlı bir artıştan sonra akım oranı sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu ekipman



Şekil 7. Örneklerin 2D iğne deliği deney sonuçları bağlı nicel değerlendirme yöntemindeki yerleri.

Çalışma kapsamında dikkate alınan 22 örnek için dört ayrı boyutta örnekler hazırlanarak deneysel çalışmalar yapılmış ve geliştirilen kartlara göre dispersiyon sınıflamaları yapılmıştır. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmaların özeti Çizelge 4’de sunulmaktadır.

Çizelge 4. İğne deliği deney sonuçları

Numune Adı	İğne Deliği deneyi*			
	1D	2D	3D	5D
Afyon K. Atık Bjr-1	D1	D1	D1	D2
Afyon K. Atık Bjr-2	D1	D1	D1	D2
Afyon K. Atık Bjr-3	D1	D1	D2	D2
Afyon K. Atık Bjr-4	ND4	ND4	ND4	ND4
Afyon K. Atık Bjr-5	D1	D2	D2	D2
Afyon K. Atık Bjr-6	D1	D1	D1	D1
Afyon K. Atık Bjr-7	D1	D1	D2	D2
Afyon K. Atık Bjr-8	D1	D2	D1	D2
Afyon K. Atık Bjr-9	D2	D1	D2	D2
Afyon K. Atık Bjr-10	ND1	ND1	ND1	ND1
Afyon K. Atık Bjr-11	D2	D2	D2	D2
Afyon K. Atık Bjr-12	D1	D1	D2	D2
Afyon K. Atık Bjr-13	D1	D2	D2	D2
Afyon K. Atık Bjr-14	D1	D2	D2	D2
Çatören Brj.	ND3	ND1	ND1	ND1
Kunduzlar Brj	ND1	ND1	ND1	ND1
Kırka-Boraks Atık Brj	ND1	ND1	ND1	ND1
Yukarı Sögüt Glt.	ND2	ND1	ND1	ND1
Aslanbeyli Glt.	ND2	ND1	ND1	ND1
Yapıldak Glt.	ND1	ND1	ND1	ND1
Tandır Bölgesi	ND1	ND1	ND1	ND1
Urfa Bölgesi	ND1	ND1	ND2	ND1

(*) 1D= orijinal boyuttaki ekipman

2D= orijinalin iki katı boyuttaki ekipman

3D= orijinalin üç katı boyuttaki ekipman

5D= orijinalin beş katı boyuttaki ekipman

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dispersif killerin tanımlanmasında etkili olarak kullanılan iğne deliği deneyinin yeniden tasarımı gerçekleştirilmiş ve deney aşamasındaki tüm değişkenler elektronik olarak kontrol edilerek olası hatalar en düşük seviyeye indirilmiştir. İğne deliği deneyi değişik boyutta örnekler kullanılarak yeniden tasarlanmıştır. İğne deliği deneyinde değerlendirme, standart bir delikten geçen akımın büyüklüğüne ve akım oranının gelişim eğilimine bağlı olarak yapılmaktadır. Dispersif örneklerde akım oranı değeri, gelişen delik çapına bağlı olarak ilgili yük kademesinde ekipmanın hidrolik kapasitesine kadar artarak devam etmekte ve kapasite değerinde sabit kalmaktadır. Dispersif olmayan örneklerde de başlangıçta akım oranı küçük bir artıştan sonra belli bir değere ulaşmakta ve bu değerinde sabit olarak devam etmektedir. Benzer sonuçlar, bu çalışma kapsamında geliştirilen daha büyük örneklerin kullanıldığı ekipmanlar içinde geçerli olmuştur.

Standart boyuttaki ekipman ile dolgudan alınmış örnekler üzerinde deney yapılması zor bir işlemdir. Çalışma sonucunda iğne deliği deneyinin yalnızca sınırlı tane boyutunda sıkıştırılarak hazırlanmış örnekler üzerinde değil, dolgudan alınmış zemin örnekleri üzerinde de yapılabileceği görülmüştür. Yeni tasarlanmış ekipmanlar, özellikle 3D ve 5D ekipmanları dolgudan alınmış örselenmemiş örnekler için uygun sonuçlar verecektir.

VII. KATKI BELİRTME

Bu çalışma birinci yazarın Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamlamış olduğu doktora tez çalışmasının bir bölümünü kapsamaktadır. Çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen İÇTAG-İ732 No'lu (Toprak Dolgu Barajlarda Dispersif Killerin Kullanımı ve Tasarım ve Kontrol Kriterlerinin Araştırılması) proje kapsamında desteklenmiştir.

VIII. KAYNAKLAR

- [1] USBR, “*Design of small dams*”, U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation, Denver, CO., 1987.
- [2] ICOLD, “*Deterioration of Dams and Reservoirs, Examples and Their Analysis*”, International Commission on Large Dams, 1983.
- [3] 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, 1999.
- [4] USBR, “*Failure of Teton Dam*”, Final Report, U.S. Department of Interior, Teton Dam Failure Review Group, Denver, 1980.
- [5] Tosun H., Savaş H. ve Bitkova, N., “*Dispersif ve Ara Zemin Örneklerinde Sıkıştırma Enerjisinin Zeminin Borulanma Davranışı Üzerine Etkisi*”, *Zemin Mekaniği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim 2002, Eskişehir, s.34-44.*
- [6] Aitchison, G.D., Ingles, O.G. and Wood, C.C., “*Post-construction deflocculation as a contributory factor in the failure of earth-dams*”, Proceedings of the Forth ANZ Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Institution of Engineers Australia, 1963, ss.26-30.
- [7] H. Tosun, “*Dispersif Killer ve Toprak Dolgu Barajlar Açısından Önemi*”, DSİ Teknik Bülteni, 1994, sayı:80, ss.51-60.
- [8] Mitchell, J.K., “*Fundamentals of Soil Behavior*”, John Wiley and Sons, New York, USA, 1976.
- [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] Yong and Warkentin, B.P., “*Introduction to Soil Behavior*”, Chapter 7, Macmillan, New York, pp.151-175, 1996.
- [11] Penner, D. and Lagaly, G., “*Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions*”, *Applied Clay Science, V.19, pp.131-142, 2001.*

- [12] R.G. Acciardi, “*Quantification of Pinhole Test Equipment Hydraulic Characteristics*”, United States Department of The Interior Bureau of Reclamation, REC- ERC-82-5, 1982.
- [13] 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.
- [14] H. Tosun, H. Savaş ve A. Yazıcı, “*Dispersif Zeminlerin Tanımlanmasında Kullanılan İğne Deliği Deney Ekipmanının Yeniden Tasarımı*”, TÜBİTAK Proje no: İÇTAG-İ732, Ankara, 2007.
- [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, 1989.
- [16] ASTM D 4647, “*Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by The Pinhole Test*”, ASTM, V.04, pp.858-867, 1989.
- [17] TS 1900, “*İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri*”, TSE, Ankara, 1987.
- [18] TS 1500, “*İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması*”, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.*