

## BARAJ DOLGULARINDA KULLANILAN DOĞAL MALZEMENİN SEÇİM KRİTERLERİ VE LİMİT AŞIMININ DOĞURACAĞI TEHLİKELER

Emre AKÇALI<sup>1</sup>, Hasan ARMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Devlet Su İşleri 55. Şube Müdürlüğü, Düzce. Tel: 0 380 5141325 emreakcali@dsi.gov.tr

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

### ÖZET

Bu çalışmada barajlarda kullanılacak doğal malzemeler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen değerler için kullanılan ve tavsiye edilen limitler araştırılmıştır. Limit değerlerin aşılmasının baraj güvenliği açısından ne gibi sonuçlara neden olduğu açıklanmıştır. Malzemenin belirlenen bu özelliklerinin barajlarda nasıl bir rol oynadığı araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Baraj, Doğal Malzeme, Laboratuvar Deneyleri

## PREFERENCE CRITERIONS OF DAM FILL MATERIALS AND RISKS OF EXCEEDING LIMITS

### ABSTRACT

In this study, the limit values for the laboratory test results for construction materials to be used at dams have been researched. The consequences of exceeding certain limits have been explained in terms of dam safety. Effects of characteristics of materials at dams have been researched.

**Key words** – Dams, Construction Materials, Laboratory Test

### I. GİRİŞ

Tarihte yıkılan barajların yıkılma sebepleri incelendiğinde bunun yaklaşık olarak %50 civarında doğal malzemeye bağlı problemlerden (şev duraysızlığı, oturmalar, sızmalar vb.) kaynaklandığı saptanmıştır [1]. Bu da doğal malzemenin seçiminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Bu makale çalışması öncesinde ve sırasında yapılan araştırmalarda zemin sınıflarına bağlı olarak zeminlerin, barajın hangi zonunda kullanılacağını tavsiye eden bazı kaynaklar bulunmuştur. Ancak, barajlarda kullanılan "doğal malzemeler" üzerinde uygulanacak deneyler için önerilen limitler ve limit aşılmasının yaratacağı sakıncalar, "manual" (rehber) diye nitelendirilebilecek tek bir kaynakta bir araya getirilmemiştir. Bu çalışmanın ana hedefi de ulaşılabilen tüm kaynaklardan bu tarzda bir rehber hazırlamak olmuştur.

Bazı malzemelerin limit değerleri farklı araştırmacılar tarafından farklı olarak alınmıştır. Bunun bir nedeni de doğal malzemeler üzerinde mutlak bir değerlendirme yapılamamasından ve her barajın kendine özgü özelliklere (zemin, topografya, şekil vs.) sahip olmasındandır. Belirlenen değerler, yıllardır planlama,

proje ve inşaa çalışmaları sonucu tecrübe ve hesaplamalar sonucu elde edilmiş değerlerdir. Tavsiye ettikleri değerlerde mutlak şartlar değildir. Ancak ortalamalardan uzaklaştıkça ve limitleri aştıkça barajlarda problem oluşma, hatta göçme olasılıkları artabilmektedir.

Baraj dolgularında doğal malzemeye bağlı olarak gelişen başlıca problemler şu şekilde sıralanabilir;

1. Boşluk suyu basıncı
2. Sedde gövdesi içinde oluşan sızmalar
3. Borulanma (pınarlaşma)
4. İç Erozyon (dispersiyon)
5. Sıvılaşma
6. Oturma
7. Hidrolik Çatlama
8. Stabilitate
9. Beton barajlarda Mukavemet Kaybı

## II. LABORATUVAR DENEYLERİ

Barajlarda kullanılan doğal malzemeler üzerinde yapılan deneyler projenin planlama, projelendirme veya inşa aşamasında olmasına göre farklılık göstermekte olup bu aşamalarda yapılan tüm deneyler malzemenin kullanılacağı zona göre aşağıda verilmiştir.

### A- Geçirimsiz malzeme deneyleri

- 1-Özgül ağırlık
- 2-Doğal su içeriği
- 3-Standart proktor
- 4-Atterberg limitleri
- 5-Elek analizi
- 6-Arazi kesafet eğrisi
- 7-Konsolidasyon
- 8-Üç eksenli basınç deneyleri
- 9-Permeabilite
- 10-Dispersibilite
- 11-Organik madde

### B- Y.geçirimli ve geçirimsiz malzeme deneyleri

- 1-Özgül ağırlık
- 2-Tüvenan örneğin elek analizi
- 3-İzafi sıklık, birim ağırlık ve/veya modifiye proktor
- 4-İnce malzeme yeterli ise Atterberg limitleri
- 5-Geçirimsizlik

### C- Filtre ve geçirimli malzeme deneyleri

- 1-Özgül ağırlık
- 2-Tüvenan örneğin elek analizi
- 3-İzafi sıklık, birim ağırlık ve/veya modifiye proktor
- 4-Geçirimsizlik

### D- Kaya ve riprap malzemesi deneyleri

- 1- Birim ağırlık, su emme, görünür porozite
- 2- Özgül ağırlık :
- 3- Los Angeles aşınma kaybı :
- 4- Basınç dayanımı
- 5- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı
- 6- Don sonu basınç dayanımı
- 7- Petrografik analiz

### E- Agrega deneyleri

- 1-Birim ağırlık
- 2-Tüvenan örneğin elek analizi
- 3-İnce ve kaba agregada özgül ağırlık ve su emme
- 4-İnce ve kaba agregada kil toprakları
- 5-İnce ve kaba agreganın elek analizi
- 6-200 nolu elekten geçen ince malzeme miktarı tayini
- 7-Organik madde tayini
- 8-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı
- 9-Los Angeles aşınma kaybı deneyi
- 10-Alkali agrega reaktivitesi
- 11-Petrografik analiz

## III. LİMİT DEĞERLER

Bu deney sonuçlarından elde edilen değerler için farklı yazarların farklı tavsiyeleri bulunmaktadır. Tablo 1, 2, 3,

4 ve 5 de kullanılmış veya tavsiye edilen alt ve üst limit değerler ile optimum değerler verilmiştir.

## IV. LİMİT AŞIMININ SAKINCALARI

### IV.1- Geçirimsiz malzeme deneyleri

#### IV.1.1-Özgül ağırlık

Limitlerin altında kalmanın sakıncaları olarak yeterli geçirimsizliği sağlayamamak ve malzemenin organik madde içerme olasılığı sayılabilir [2].

#### IV.1.2-Doğal su içeriği

Belli bir standart yoktur ancak optimum su muhtevasına göre aşırı kuru veya doymuş zeminler belirtilmeli ve tedbirler önerilmelidir.

#### IV.1.3-Standart proktor

*Optimum Su Muhtevası:* Dolgu alanına getirilen malzemenin su içeriğinin laboratuvar şartlarında elde edilen optimum sıkıştırma için gerekli su içeriğe yakın olması istenir. Bu yakınlık "DSİ Barajlar Teknik Şartnamesi-Sıkıştırılmış baraj dolgularının kontrolü için kriter tablosu" ndaki şartlar dahilinde olması istenmektedir. Şartların altında kalırsa çatlama, üzerinde kalırsa oturma, yüksek boşluk suyu basıncı ve stabilite problemleri ile karşı karşıya kalınabilir.

*Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık:* Zeminlerin birim hacim ağırlığı arttıkça mukavemeti de artar. Yüksek birim hacim ağırlık, yüksek kayma mukavemeti ve geçirimsizlik sağlar. Bir zemin yeraltı su seviyesi altında olduğu zaman efektif yoğunluğu ve taşıma kapasitesi azalır.

#### IV.1.4-Atterberg limitleri

*Likit Limit:* Boşluk suyu basıncına neden oldukları, işlenmesi güç oldukları ve büyük hacim değişiklikleri gösterdikleri için LL<50 olarak tavsiye edilmektedir [3].

*Plastisite indisi:* Plastisite indisi 4-7 arası olan geçirimsiz malzeme çekirdek zonu için önerilmemelidir. Yalnız, ince boyutlu kum ve siltten oluşan SM simgeli malzeme sıvılaşılabilmek özelliğinde olduğundan kullanılması sakıncalıdır [4].

*Büzülme limiti:* Büzülme limiti, optimum su içeriğinden fazla olmalıdır. Aksi takdirde nem azalmasından (kuruma) dolayı barajda çatlaklar oluşur. Eğer büzülme limiti optimum su muhtevasından düşük ise, bu zemin yalnızca iç çekirdekte kullanılmalıdır. Dış kabuklarda kullanılmamalıdır [2].

*Şişme potansiyeli:* Şişen zeminler yarı kurak ve kurak iklimlerde oluşmuş, suyla karşılaştıklarında gösterdikleri hacim değişimi nedeni ile üstteki hafif yapılara ve kazı desteklerine hasar veren killerdir. Benzer şekilde baraj dolgusunda kullanılmak üzere plastisite indisi dolayında su muhtevalarında sıkıştırılan zeminler de ıslandıklarında hacim artışı gösterirler.

Şişme potansiyeli zeminin ihtiva ettiği kil minerali ve kil

Tablo 1 Geçirimsiz malzeme - limitler ve riskler [1-19]

Limitler Deney Türü	Kullanılmış veya tavsiye edilen Alt limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen Üst limit	Kullanılmış veya Tavsiye Edilen Değerler	Limit Aşımının Tehlikesi
Özgül ağırlık	2,5	2,8	>2,6	Organik Madde, Geçirimsizlik
Doğal su içeriği (w%)	İnşa aşamasında optimum -2	İnşa aşamasında optimum +2	İnşa aşamasında optimum	(-)çatlama (+)oturma, yüksek boşluk suyu bas, stabilite
Standart proktor (optimum su muhtevası) (w%)	15	25	20	(-)çatlama (+)oturma, yüksek boşluk suyu bas, stabilite
Standart proktor (maksimum kuru birim ağırlık) gr/cm <sup>3</sup>	1,43	1,87	> 1,65	Stabilite, geçirimsizlik
Plastisite İndisi (%)	14	20	14-20	(+) sıkışma ve şişme pot.artmakta, permeabilite azalmakta (kazi ve dolgu zorluğu)
Atterberg lim. (Likit Limit) (%)	40	50	45	Boşluk suyu bas.
Şişme potansiyeli (%)		20	<10	Şişme
Atterberg lim.(Büzülme Limiti) (%)	15	25	20	Çatlak oluşumu
Elek analizi	İçinde en az %12 kil özelliği gösteren plastik ince malzeme bulunur			Geçirimsizlik
Arazi Kesafet Eğrisi (%)	İnşaat aşamasında (içerdiği kum- çakıl a göre) 65-75	İnşaat aşamasında (içerdiği kum- çakıl a göre) 80-90	İnşaat aşamasında (içerdiği kum- çakıl a göre) 80-90	Geçirimsizlik
Konsolidasyon	Hacimsel sıkışma katsayısı ve konsolidasyon katsayısı için bir limit belirtilmemiştir. Proje ilk tasarım değeri olarak nispeten sıkışmaz temellere oturan dolgularda sedde yüksekliğinin (%1) i kadar , oturmaya daha elverişli kil ve siltli temellerde ise (%2-4) kadar oturma olacağı varsayılmalıdır. Küçük barajlarda oturma (%5-10) arasında olmalıdır.			Üstten su aşması, Stabilite Kaybı Çatlama
Üç eksenli basınç deneyleri (Kil) [ilk proje değeri]	$\Phi=15^\circ$ $c_0=40$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi=22^\circ$ $c_0=60$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_d=15$ (kN/m <sup>2</sup> )	Stabilite Kaybı
Üç eksenli basınç deneyleri (Kaya) [ilk proje değeri]	$\Phi=37^\circ$	$\Phi=45^\circ$		Stabilite Kaybı
Üç eksenli basınç deneyleri (Kum- çakıl) [ilk proje değeri]	$\Phi=30^\circ$	$\Phi=35^\circ$		Stabilite Kaybı
Permeabilite	10 <sup>-5</sup> (cm/sn)	10 <sup>-8</sup> (cm/sn) LL>50 ise	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-8</sup> (cm/sn)	Geçirimsizlik- Stabilite
Dispersibilite Deneyleri- Laboratuvar dağılma deneyi (çifte hidrometre deneyi)	% 40		% 30	İç Erozyon
Dispersibilite Deneyleri- Kimyasal deneyler (ESP)	7			İç Erozyon
Dispersibilite Deneyleri- Kimyasal deneyler (SAR)	1-2			İç Erozyon
Dispersibilite Deneyleri- iğne deliği	ND4 ve ND3			İç Erozyon
Organik Madde Tayini		5%	0	Geçirimsizlik, fiziksel bozulma

Tablo 2 Yarı geçirimli ve geçirimsiz kabuk dolgu malzeme – limitler ve riskler [1-19]

Deney Türü	Limitler	Kullanılmış veya tavsiye edilen Alt limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen Üst limit	Kullanılmış veya Tavsiye Edilen Değerler	Limit Aşımının Tehlikesi
Özgül ağırlık		-	-	-	Kayma Mukavemeti
Tuvenan örneğin elek analizi		İçinde kil cinsinden plastik ince dane (200 no lu elek altı) oranı %12 den az olan; ancak ince dane sadece silt ise, bu oranın %30 a kadar çıkabildiği, kil ve siltli kum, çakıl ve blokların değişik oranlardaki karışımından oluşan malzeme, yarı geçirimli malzeme olarak kullanılabilir.			Geçirimsizlik, Boşluk suyu basıncı
İzafi sıklık, birim ağırlık ve/veya modifiye proktor (%)		İnşaat aşamasında (içerdiği kum-çakıl a göre) 65-75	İnşaat aşamasında (içerdiği kum-çakıl a göre) 80-90	İnşaat aşamasında (içerdiği kum-çakıl a göre) 80-90	Stabilite, Geçirimsizlik
İnce malzeme yeterli ise Atterberg limitleri		-	-	-	Boşluk suyu basıncı,
Permeabilite		$10^{-4}$ (cm/sn)	$10^{-6}$ (cm/sn)	$10^{-5}$ (cm/sn)	Boşluk suyu basıncı, geçirimsizlik, stabilite

Tablo 3 Filtre ve geçirimli kabuk dolgu malzeme - limitler ve riskler [1-19]

Deney Türü	Limitler	Kullanılmış veya tavsiye edilen Alt limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen Üst limit	Kullanılmış veya Tavsiye Edilen Değerler	Limit Aşımının Tehlikesi
Özgül ağırlık		>2,60		>2,60	Kayma Mukavemeti
Tuvenan örneğin elek analizi		İçinde %5 ten az ince dane (kil ve silt) kapsayan kum, çakıl ve blokun değişik oranlardaki karışımlarından oluşan geçirimli malzeme.			Geçirimsizlik, Boşluk suyu basıncı
D15 Filtre/D15 Korunan		4	40	>5	Geçirimsizlik, Boşluk suyu basıncı, İç Erozyon, Stabilite
D15 Filtre/D85 Korunan		<5		<5	
D50 Filtre/D50 Korunan		5	58	<25	
D85 filtre/Max. dren aralığı		>2			
İzafi sıklık, birim ağırlık ve/veya modifiye proktor (%)		İnşaat aşamasında (içerdiği kum-çakıl a göre) 65-75	İnşaat aşamasında (içerdiği kum-çakıl a göre) 80-90	İnşaat aşamasında (içerdiği kum-çakıl a göre) 80-90	Stabilite, Geçirimsizlik, Sıvılaşma
Permeabilite		$10^{-4}$ (cm/sn)		$> 10^{-4}$ (cm/sn)	Boşluk suyu basıncı, geçirimsizlik,

Tablo 4 Kaya ve riprap malzeme - limitler ve riskler [1-19]

Limitler Deney Türü	Kullanılmış veya tavsiye edilen Alt limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen Üst limit	Kullanılmış veya Tavsiye Edilen Değerler	Limit Aşımının Tehlikesi
Su emme		% 1,8	< % 1,8	Mukavemet Kaybı
Özgül ağırlık	2,6		>2,65	Stabilite, taşıma gücü
Birim hacim ağırlığı	-	-	-	Stabilite, taşıma gücü
Basınç dayanımı	500 kgf/ cm <sup>2</sup>		> 500 kgf/ cm <sup>2</sup>	Stabilite, taşıma gücü
Los Angeles aşınma kaybı		100 devirde % 10 500 devirde % 40	100 devirde maks. % 10 500 devirde maks. % 40	Mukavemet Kaybı
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> don kaybı		10%	<10%	Mukavemet Kaybı
Don sonu basınç dayanımı		10%	<10%	Mukavemet Kaybı
Petrografik analizi	Kaçınılacak Kayalar: Çamurtaşı, şeyl, silttaşı, kiltası, tebeşir, topraklı kireçtaşı, diğer düşük çimentolu sediment kayalar	Dikkatle kullanılacak kayalar : Tabakalı kaya, killi mermer, tuf, senozoyik kumtaşı, gnays, şist (sıkı bağlı)	Uygun kayalar : Granit, bazalt, andezit, premosozoyik kumtaşı, kireçtaşı, kuvarsit	Oturma, Çatlama, Mukavemet Kaybı, Stabilite

Tablo 5 Beton agrega malzemesi - limitler ve riskler [1-19]

Limitler Deney Türü	Kullanılmış veya tavsiye edilen Alt limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen Üst limit	Kullanılmış veya Tavsiye Edilen Değerler	Limit Aşımının Tehlikesi
Birim ağırlık kN/m <sup>3</sup>	en az 16		en az 16	Mukavemet Kaybı
Tüvenan örneğin elek analizi				Mukavemet Kaybı
İnce ve kaba agregada özgül ağırlık	2,60		2,65	Mukavemet Kaybı
İnce ve kaba agregada su emme		1%	Maksimum 1%	Mukavemet Kaybı
İnce ve kaba agregada kil toprakları		Kum için % 1, Çakıl için %0,25	Kum için maksimum % 1, Çakıl için maksimum %0,25	Mukavemet Kaybı
İnce ve kaba agreganın elek analizi			Büyük incelik modülü	Mukavemet Kaybı
200 nolu elekten geçen ince malzeme miktarı tayini		Kumda % 5, çakıl % 1	En fazla %3-%5	Mukavemet Kaybı
Organik madde tayini		ağırlıkça % 0,5	En fazla ağırlıkça % 0,5	Mukavemet Kaybı
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> don kaybı		İnce agregada (kum) max % 15 İri agregada (çakıl) max % 18	İnce agregada (kum) maksimum % 15 İri agregada (çakıl) maksimum % 18	Mukavemet Kaybı
Los Angeles aşınma kaybı deneyi		100 devirde max. % 10, 500 devirde max % 50	100 devirde max. % 8, 500 devirde max % 40	Mukavemet Kaybı
Alkali agrega reaktivitesi	Opal ve opalli taşlar sakıncalı olup reaksiyona duyarlı kısımların sınır değerleri %0,5-4,0 dür.			Mukavemet Kaybı
Petrografik analiz	Daneler; sağlam, sert, yuvarlak biçimde ve yüzeyleri biraz pürüzlü olmalı, yayvan ve yassı olmamalı kırıklık ve çatlaklar birbirleriyle irtibatlı olmamalı, çentik çizgileri bulunmamalı, kapiler su emme çok az olmalıdır.			Mukavemet Kaybı

muhtevasına bağlıdır. Montmorillinit ve illit tipi killer mikroskobik yapıları itibarıyla en fazla şişme gösteren killerdir [2,5].

#### **IV.1.5-Elek analizi**

Yeterli ekonomik taşıma mesafesinde olan benzer geçirimsiz malzeme alanlarından kum-çakıl oranı fazla olan GC ve SC sınıfı malzeme en iyi sıkışmayı verdiği için, kil oranı fazla olan malzemeye öncelikle tercih edilmelidir [4].

Kil çekirdek içinde 12 cm den büyük taşlar bulunmamalıdır. 7-12 cm arasındaki daneler malzemenin %5 inden fazla olmayacaktır. Aksi takdirde istenilen sıkışma ve geçirimsizlik sağlanamayacaktır [6].

#### **IV.1.6-Arazi kesafet eğrisi**

Barajda sıkıştırma sonucu elde edilen değerle karşılaştırma yapılmaktadır. Tablo 1 deki değerlere uyulması dolgunun geçirimsizliği ve stabilitesinde rol oynamaktadır. Malzeme irileştikçe konsolidasyon miktarı azalır.

#### **IV.1.7-Konsolidasyon**

Oturmanın beklenenden fazla olması, üstten su aşması, stabilite kaybı ve çatlama gibi sorunlara yol açabilir. Ayrıca farklı oturmaların da baraj dolgusu için tehlikeli olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

#### **IV.1.8-Üç eksenli basınç deneyleri**

Bu deney için herhangi bir limit verilmemektedir. Elde edilen deney sonuçları stabilite analizinde kullanılır ve sonuçlara göre şev eğimi veya doğal malzeme değiştirilir.

Laboratuvar deney sonuçları elde edilmeden gövde stabilite hesabı yapılması durumunda kullanılacak tahmini değerler Tablo 1.1 de verilmiştir. Ancak kesin proje aşaması için bu değerlerin, laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlar ile kontrol edilmesi gerekir. Stabilitenin sağlanması için en önemli değerlerdir.

#### **IV.1.9-Permeabilite**

Geçirimsizlikleri düşük ve likit limitleri yüksek olan killi malzemeler gerek boşluk suyu basıncı doğurduklarından ve gerekse işlenmeleri güç olduğundan ve de büyük hacim değişiklikleri gösterdiklerinden kullanılmaları tavsiye edilmez. Bu yüzden  $k=10^{-8}$  cm/sn den düşük permeabiliteli zeminlerle LL i 50 nin üzerinde olan malzemeler genellikle toprak dolguların ana geçirimsiz çekirdeklerinde kullanılmamaktadır [3].

İstenilenden fazla geçirimli zeminler ise borulanma ve stabilite kaybına neden olabilmektedir.

#### **IV.1.10-Dispersibilite**

Belirtilen limitler dışındaki killer erozyona karşı hassas, dispersif karakterde kabul edilirler. Bunun sonucunda oluşan iç erozyon barajı yıkılmaya kadar götürebilir.

#### **IV.1.11-Organik madde**

Organik maddesi çok olan zemin malzemeleri, mühendislik yapılarında istenmezler. Çünkü içlerindeki organik madde çürüyerek ayrışır ve dolgu içerisinde boşluklar bırakır. Ayrıca kimyasal reaksiyonlarla malzemenin fiziksel özelliklerini değiştirirler. Orta derecede organik madde ihtiva eden zeminler, inorganik zeminlere kıyasla daha fazla sıkışma gösterirler ve dolayısıyla stabiliteleri daha düşük olur [3,8].

Bunun yanında bir kilde az miktarda organik madde bulunması, malzemenin plastisite indisini yükseltmeden likit limitini oldukça çoğaltabilir [9].

#### **IV.2- Yarı geçirimli ve geçirimsiz kabuk dolgu malzemesi deneyleri**

##### **IV.2.1-Özgül ağırlık**

Yüksek özgül ağırlık daha yüksek dayanım sağlamaktadır.

##### **IV.2.2-Tüvenan örneğin elek analizi**

Boşluksuyu basıncının sönümlenmesi ve geçirimsizlik için önemlidir.

##### **IV.2.3-İzafi sıklık, birim ağırlık ve/veya modifiye proktor**

Dolgunun geçirimsizliği ve stabilitesinde rol oynamaktadır.

##### **IV.2.4-İnce malzeme yeterli ise Atterberg limitleri**

##### **IV.2.5-Geçirimsizlik**

Sınırların dışında kalmak, geçirimsizlik, boşluk suyu basıncı ve stabilite açısından önemlidir.

#### **IV.3- Filtre ve geçirimli kabuk dolgu malzemesi deneyleri**

Çekirdekten sızıntı ile kil malzemelerinin sürüklenmemesi için mansap filtreleri koruyucu görev yaparlar. Memba filtresi ise rezervuarın boşalma durumu için gereklidir. Filtrede dane çaplarına göre tedrici bir geçiş sağlamak için ince filtre (kum) ve bunun mansabına kalın filtre (kum ve çakıl) kullanılır. [7]

Drenaj kapasitesi malzemenin gradasyonu ile değişmektedir; ince daneli malzeme miktarı arttıkça drenaj azalmaktadır. İçsel sürtünme açısı gradasyonla, yoğunlukla ve stres durumu ile değişmektedir. Örneğin köşeli, iyi gradasyonlu ve yüksek yoğunluktaki malzemelerin içsel sürtünme açıları daha yüksektir [8].

##### **IV.3.1-Özgül ağırlık**

Yüksek özgül ağırlık daha yüksek dayanım sağlamaktadır.

##### **IV.3.2-Tüvenan örneğin elek analizi**

Boşluk suyu nun sönümlenmesine izin verecek derecede geçirimli, borulanmaya sebep olmayacak derecede geçirimsiz olmalıdır.

#### **IV.3.3-İzafi sıklık, birim ağırlık ve/veya modifiye proktor**

Yeterli stabilitenin sağlanması açısından önemlidir.

#### **IV.3.4-Geçirimsizlik**

Boşluk suyu nun sönümlenmesine izin verecek derecede geçirimli, borulanmaya sebep olmayacak derecede geçirimsiz olmalıdır.

#### **IV.4- Kaya ve rırap malzemesi deneyleri**

Kayalar geçirimli veya yarı geçirimli malzeme olarak kullanılırlar. Büyük kayalar dıştaki zonlar için, küçük kayalar yarı-geçirimli zonlar için uygundur. Malzeme, dizayn koşullarında belirtilen kayma gerilmesine ve drenaj kapasitesine sahip olmalıdır. Genelde kayanın rahat drene edebilmesi, yüksek kayma gerilmesine sahip olması istenir. Zonlar belirlenirken ve dizayn değerleri seçilirken eğer malzeme karakteristikleri iyi belirlenirse, inşaat sırasında kırılabilen veya aşınan malzemeler de kullanılabilir [8].

Kaya malzemeler için en önemli özellikler hava ve suya karşı gösterdiği direnç ve iklime karşı gösterdiği tepkidir.

#### **IV.4.1- Su emme:**

Limitleri aşması mukavemet kaybına sebep olabilir.

#### **IV.4.2- Özgül ağırlık :**

Yüksek özgül ağırlık daha yüksek dayanım sağlamaktadır.

#### **IV.4.3- Los Angeles aşınma kaybı**

Mukavemet kaybına sebep olur.

#### **IV.4.4- Basınç dayanımı**

Taşıma gücü açısından önemlidir.

#### **IV.4.5- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı**

Mukavemet kaybına sebep olur.

#### **IV.4.6- Don sonu basınç dayanımı**

Mukavemet kaybına sebep olur.

Özellikle dona maruz kalan bölgeler için önemlidir. Taşın içerdiği boşluklara giren su donduğu zaman hacimde artma olur ve basınç meydana gelir [9].

#### **IV.4.7- Petrografik analiz**

İncelemeler neticesinde taşı teşkil eden minerallerin cinsi, birbirine göre durumları, kristal şekli, varsa hamur cinsi, dane yeknesaklığı, camsılığı, doku, gözeneklilik, boşluk, kılcal çatlak, damar, bozuşma vb. özellikleri tayin edilerek kullanılma uygunluğu incelenir [9].

#### **IV.5- Agregada deneyleri**

#### **IV.5.1-Birim ağırlık**

Betonun mukavemetine etki eder.

#### **IV.5.2-Tüvenan örneğin elek analizi**

Betonun mukavemetine etki eder.

#### **IV.5.3-İnce ve kaba agregada özgül ağırlık ve su emme**

Agregaların özgül ağırlığı, projede ve yapıda bir ünitenin minimum veya maksimum ağırlıkta olması düşünülen yerlerde önem kazanır. Hafiflik istendiği zaman genellikle tabii agregaya yerine, düşük birim ağırlıkta suni olarak hazırlanmış agregalar kullanılır. Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belli eden faydalı bir işarettir. Genel olarak düşük bir özgül ağırlık, boşluklu sağlam olmayan absortif bir yapıya, yüksek bir özgül ağırlık ise iyi kaliteye delalet eder [9].

#### **IV.5.4-İnce ve kaba agregada kil toprakları**

Mukavemete etki eden önemli bir faktördür.

#### **IV.5.5-İnce ve kaba agreganın elek analizi**

Elde edilen incelik modülü, dane dağılımını karakterize eden ve ayrıca beton imalinde karma suyu oranıyla ilgili karar vermeye yarayan bir değerdir. İncelik modülü ne kadar büyükse agregaya o oranda kabadır. Su ihtiyacı da o oranda azdır. Dolayısıyla betonun mukavemeti de o oranda yüksek olur [9].

#### **IV.5.6-200 nolu elekten geçen ince malzeme miktarı tayini**

Betonun mukavemetine etki eder.

#### **IV.5.7-Organik madde tayini**

Agregalar içlerinde bitki artıkları ve humus gibi diğer bazı organik maddeler içerebilirler. Bu maddeler ise çimentonun hidratasyonuna mani olan organik asitler kapsar. Sülfat, klorit, karbonat ve fosfat gibi kimyasal tuzlar çok çeşitli formda olmak üzere agregada bulunabilirler. Bu maddelerden bazıları doğrudan kimyasal reaksiyonlar ile çimentonun prizine mani olurlar veya reaksiyonu değiştirirler. Diğerleri ise düşük mukavemetleri veya parçalanmayı kolaylaştırmaları sebebiyle istenmezler. Agregada kömür ve benzeri maddelerin bulunması halinde de, betonun yüzeyinde şişerek patlamalara neden olabilirler [9].

#### **IV.5.8-Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı**

Bir agregaya yeterli sağlamlıkta ve bozulmaksızın hava tesirlerine karşı koyabilecek kadar mukavemetli ise, fiziki olarak dayanıklı telakki edilir. Fiziki olarak zayıf, absorpsiyonu çok fazla, kolaylıkla çatlayabilen ve doygun olduğu zaman, suyu yutan mineral ve taş parçaları, tabii hava şartları altında bozulmaya müsaittirler. Bunların betonda kullanılması mukavemeti azaltır. Agregaya ile çimento arasındaki bağları zayıflatır ve çatlamlara sebep olur. Şeyler, bazı cins kumtaşları, mikalı ve killi taşlar, bazı iri kristalli agregalar ve çörtler fiziki olarak dayanıksız malzemelerdir. Bunların zayıflıkları kendi bünyeleri itibariyle olduğu gibi, doygunluk, ıslanma, donma ve hacim değişiklikleri neticesinde de olabilir. Fiziki sağlamlığa tesir eden

agregadaki en önemli faktörler; dane boyutu, içlerindeki kılcal boşluklar ve boşlukların devamlılığıdır. Bu boşluk karakteristikleri donma-çözülme sağlamlığı, direnç, elastisite, aşınmaya dayanım, özgül ağırlık çimentoyla bağlanma özellikleri üzerine etkir. İçlerinde 0,004 mm'den daha küçük çaplı damar içeren agrega parçacıkları betonun donma-çözülme işlemine karşı direncini azaltırlar [9].

#### IV.5.9-Los Angeles aşınma kaybı deneyi

Agregaların betonda kullanılabilmeleri için mukavemetleri iyi olmalıdır. Aşınmanın önemli olduğu yerlerde, agrega parçacıkları da sert olmalıdır. Kuvars, kuvarsit ve özgül ağırlığı yüksek volkanik kaya ve silisli agregalar bu işe uygun niteliktedir [9].

#### IV.5.10-Alkali agrega reaktivitesi

Belirli kökenli agregalar, reaksiyon yapabilen silisten (SiO<sub>2</sub>) oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu cins bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile şiddetli reaksiyona girip yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli alkali silikat çözeltisini meydana getirirler. Agreganın alkaliye duyarlı bileşenleri bu sırada yumuşar ve çözünür. Reaksiyon süresi ve şiddeti; özellikle agrega miktarına, dane büyüklüğüne ve dağılışıma, betonun boşluğunda bulunan çözültideki alkali hidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır. Betonda, alkali reaksiyonu, önce normal koşullar altında sertleşmiş betonda, zamanla yüzeye yakın bulunan alkaliye duyarlı agrega danelerinin çiçeklenmesine, ayrışmasına, kabarmasına veya betondan parçaların kopmasına, ayrıca ince, çoğunlukla çok derine gitmeyen ağımsı veya ışınımsı yayılan çatlaklara, ve aşırı halde betonun parçalanmasına neden olabilir [9].

#### IV.5.11-Petrografik analiz

Daneler; sağlam, sert, yuvarlak biçimde ve yüzeyleri biraz pürüzlü olmalı, yayvan ve yassı olmamalı, kırıklık ve çatlaklar birbirleriyle irtibatlı olmamalı, çentik çizgileri bulunmamalı, kapiler su emme çok az olmalıdır [9].

### V. SONUÇ

Yapılan bu çalışma ile barajlarda kullanılacak doğal malzemelerin seçimi için laboratuvar deney sonuçlarına göre yol gösterici bir kılavuz tablo hazırlanmıştır. Ancak unutulmaması gereken en önemli husus her doğal malzemenin ve barajın kendine has özelliklerinin bulunduğu ve doğal malzemenin seçimini yapılırken bunun göz önünde bulundurulmasının gerekliliğidir.

### KAYNAKLAR

[1] BAYKAN, N.O., SAF, B., Barajların Yıpranma ve Elden Çıkma Nedenleri ile Güvenlik Sınamaları, 1. Ulusal Barajlar ve HES Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Sayfa 395-401, Ankara, 2004

[2] AGRAWAL, Y.C., Soil Properties and Their Influence on Design of Dams, Jaipur India [http://www.rajirrigation.gov.in/6guidelines\\_soil\\_pro\\_p.htm](http://www.rajirrigation.gov.in/6guidelines_soil_pro_p.htm)

[3] SUNGUR, T., Su Yapıları Cilt – I Baraj ve Göletler, DSİ Basımevi, Ankara, 1993

[4] DSİ, Jeoteknik Etüd Şartnamesi, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 1996

[5] WASTİ, Y., ERGUN, U., Zeminlerin Şişme Davranışı, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, DSİ Genel Müdürlüğü TAKK Dairesi Başkanlığı, Sayfa 11:1-17, Adana, 1985

[6] DSİ, Barajlara ait Teknik Şartname, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 1993

[7] EİE, Barajlar ve Hidroelektrik Santralların Dizaynı, <http://www.eie.gov.tr>

[8] BİLGİ, V., Toprak ve Kaya Dolgu Barajların Projelen. Kriterleri, DSİ Gen Müd, Ankara, 1990

[9] AÇIKGÖZ, İ., Doğal Yapı Malzemesi Çalışmalarında Laboratuvardan İstenecek Deneyler, Yerbilimcilerin Jeoteknik Semineri, Sayfa 135-158, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 2000

[10] ÖZGÜLER, E., Doğal Yapı Gereçleri Etütleri, DSİ Müh İlişkin Su İşleri Eğitim Semineri, Ankara, 2004

[11] USBR, Design of Small Dams, United States Department of Interior Bureau of Reclamation, Denver Colorado, 1987 <http://www.usbr.gov>

[12] USBR, Earth Manual, Part 1, United States Department of Interior Bureau of Reclamation, Denver Colorado, 1998 <http://www.usbr.gov>

[13] TOSUN, H., Baraj Mühendisliğinde Genel Tanımlamalar ve Tasarım Esasları, DSİ Müh. İlişkin Su İşleri Eğitim Semineri, Ankara, 2004

[14] TOSUN, H., Dolgu Barajlar İçin Filtre Kriterleri ve Yeni Bir Filtre Deneyi, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Prob Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Sayfa 521-535, İZMİR, 1993

[15] TURFAN, M., TOSUN, H., ARSLAN, A., Toprak Dolgu Barajlar Açısından Dispersif Kil Zeminlerin Yarattığı Prob ve Müh Çözümleri, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mek Prob Semp, DSİ Gen Müd TAKK Dairesi Başk, Sayfa 147-161, İZMİR, 1993

[16] ERGUN, U., Gövde Filtreleri Hakkında Bir Not, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, DSİ Genel Müdürlüğü TAKK Dairesi Başkanlığı, Sayfa 25:1-8, Adana, 1985

[17] GÜRBÜZ, A., Filtreler, Baraj ve Gölet Projelendirme Semineri, DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Bursa, 1995

[18] ODTÜ, Küçük Toprak Barajların Planlama, Projelendirme, İnşaat ve İşletme Esasları", Toprak Su Genel Müdürlüğü, ODTÜ, Ankara, 1967

[19] AKÇALI, E., Dolgu Barajlarda Kullanılan Doğal Malzemenin Seçim Kriterlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Sakarya, 2005