

T.C.

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYA DOLGU BARAJLAR VE KAYA
DOLGU İÇERİSİNDEKİ DAHA KÜÇÜK ÇAPLI
DANELERİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

Erhan YALÇIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez,Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

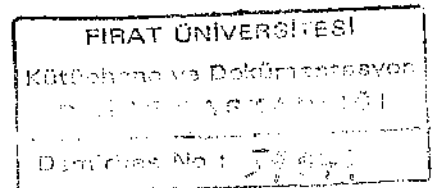
(İmza)

(İmza)

Deniřman

Firat Üniversitesi
Merkez Kütüphanesi
0069261
255.07.02.03.00.00/08/0069261

İM YL/3



6/1
7/1
8/1
9/1
10/1

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYA DOLGU BARAJLAR VE KAYA DOLGU İÇERİSİNDEKİ DAHA KÜÇÜK ÇAPLI DANELERİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

Erhan YALÇIN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1991, Sayfa : 58

Bu araştırmada kaya dolgu barajlar sistematik olarak incelenmiştir. Barajların gövdesindeki kaya dolgu zonlarının teşkil edilmesi ve kullanılan dolgu malzemesinin granülometrisi, incelenmiştir. Hali hazırda kaya dolgu malzemesi için standart bir granülometri yoktur. Genellikle kaya dolgunun teşkilinde barajın inşaa alanı yakınındaki ocaklardan elde edilen malzeme işlenmeksizin kullanılmaktadır. Maksimum dene büyüklüğü tabaka kalınlığı ile sınırlandırılmış olmakla birlikte ince malzeme çapı ve oranın sınırı kesin olarak belirlenmemiştir.

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı bu çalışmada kaya dolgunun teşkilinde kullanılan malzemenin en uygun gradasyonunun saptanmasına çalışılmıştır. Dolgu taşıma kapasitesine etki eden gerilimsiz ince malzemenin oranını tesbit etmek için model dolgular teşkil edilmiştir. Sabit şev eğimli test dolgulara pres altında yük uygulanarak dolguların düşey taşıma kapasiteleri bulunmuştur. Bu test dolgularını teşkil eden malzeme çapları sırasıyla 38.10, 50.80 ve 76.20 mm, ince malzeme çapları da 4.76, 9.52 ve 19.05 mm dir. Dolgudaki malzemelerin çap ve oranları değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, düşey taşıma gücü-dane çapı bağıntılarına göre ince malzeme oranı % 15'e kadar olan dolguların taşıma gücü doğrusunun eğimi lineer olarak azalmakta, ince malzeme oranının % 15 den daha fazla olması halinde taşıma gücündeki azalma çok daha fazla olmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışmada kaya dolgu malzemesi içinde bulunacak ince malzeme miktarının % 15'den fazla olmaması gerektiği tesbit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER :Kaya dolgu baraj, İnce malzeme, Taşıma-
kapasitesi, granülometri

SUMMARY

Masters Thesis

THE ROCKFILL DAMS AND THE EFFECT OF THE FINE MATERIAL IN THE ROCKFILL ON BEARING-CAPACITY

Erhan YALÇIN

Fırat University

Graduate School of Natural

and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

1991, Page : 58

In this study, the rockfill dams were studied systematically. The formation of rockfill zones in the body of dams, the granulometry of fill material used were examined evaluating some present dams and test fills. At present, there isn't a standart granulometry for rockfill meterial. In general, the material obtained from quarry mines near the building area of the dam is used dirtectly. Nevertheless, maximum grain size is limited by thickness of the Layer, the size and the range of the fine material grain can't determined precisely.

Owing to above mentioned reasons, in this study, It was tried to determine the most sufficent graduation of the materials used in formation of the rockfill. Model fills with a constant slope were created to determine the range of the fine material that affects endurance of the fill. Model fills were loaded by a press and it's vertical bearing-capacity was determined. The dimensions of the materials used in this test are 38.10 mm, 50.80 mm, 76.20 mm and the dimensions of the fine materials are 4.76 mm, 9.52 mm, 19.05 mm. By changing the dimensions and the range of materials in the fill, the tests were repeated on different materials

The bearing-capacity obtained from the tests carried on the materials which bear up to 15 % fine material drops Linearly and the drop takes a sharp bend on the materials with more than 15 % fine material.

Therefore, the range of the fine material in rockfill should be less than 15.0 % of the rockfill.

KEY WORDS : The rockfill dam, fine material, bearing-capacity, granulometry.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yapılmasında, yoğun çalışmalarına rağmen değerli yardımlarını ve yakın ilgisini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Prof.Ahmet TUNA'ya teşekkürü bir görev addediyorum.

Ayrıca D.S.İ. IX. Bölge Müdürlüğünde görevli Sayın İnş.Müh.Hulki HOŞAĞASIN'a ve Laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Sayın Teknisyen Seyfettin ÇİÇEK'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	II
SUMMARY	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
TABLolar	VII
ŞEKİLLER	VIII
SİMGELER	IX
1. GİRİŞ	1
2. BARAJ TİPİNİN TAYİNİ VE DOLGU BARAJLAR	2
2.1. Baraj Tipinin Seçimine Etki Eden Faktörler	2
2.1.1. Hidrolik ve hidrolojik şartlar ve hazne işletme durumu	2
2.1.2. Baraj yeri özelliklerinin incelenmesi	3
2.2. Dolgu Baraj Tipleri	5
2.2.1. Homojen dolgu barajlar	6
2.2.2. Zonlu barajlar	7
3. KAYA DOLGU BARAJLAR VE MALZEME ETÜDÜ	10
3.1. Malzeme Etüdləri	10
3.1.1. Dolgu malzemelerinin etüdü	10
3.1.1.1. Geçirimsiz malzemeler	10
3.1.1.2. Yarı geçirimli malzemeler	12
3.1.1.3. Geçirimli malzemeler	12
3.1.1.4. Kaya malzemesi	12
3.1.2. Agregalı malzemesi	14
3.1.3. Birleştirilmiş zemin sınıfları	15
3.2. Baraj Dolgularının İnşasına Başlamadan Önce Yapılacak Testler	15
3.2.1. Laboratuvar testleri	16
3.3. Test Dolguları	16
3.4. Kaya Dolgu Baraj Gövdesinin Teşkilı	18
3.4.1. Geçirimsiz dolgular	19
3.4.2. Yarı geçirimli dolgular (İnce filtreler)	20

3.4.3.	Geçirimli dolgular(Kaba filtreler)	21
3.4.3.1.	Terzaghi'nin filtre kuralı	22
3.4.3.2.	Sichard'a göre filtre kuralı	23
3.4.3.3.	Bertram'a göre filtre kuralı	23
3.4.4.	Kaya dolgular	24
3.4.5.	Rip-rap	25
3.5.	Beton Yüzlü Kaya Dolgu Baraj(CFRD)	26
3.5.1.	CFRD sisteminin önemli kısımları	26
3.5.1.1	Beton yüz plakası	26
3.5.1.2.	Topuk plakası	28
3.5.1.3.	Kaya dolgu barajın bölgeleri	28
3.5.2.	CFRD sisteminin dizayn ilkeleri	30
3.5.3.	CFRD ile ECRD'nin mukayesesi	31
3.5.4.	CFRD sisteminde meydana gelen sızıntılar	32
3.5.5.	Kaya dolgunun teşkili	33
3.5.6.	Su akışına karşı kompakt kaya dolguda stabilite	33
3.5.7.	CFRD sisteminde statik stabilite analizi	34
3.5.8.	Kaya dolgularda çökme	35
3.5.9.	Çok yüksek barajlarda CFRD kullanımı	36
3.5.10.	Depreme karşı davranışı	37
4.	KAYA DOLGUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE	
	İNCE MALZEMENİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ	39
4.1.	Dane Büyüklüğünün Tanımı	39
4.2.	Dane Konsantrasyonu	40
4.3.	Dane Temas Sayısı	42
4.4.	Yapısal Boşluk Oranı	43
4.5.	Kaya Dolgunun Gradasyonu ve İnce Malzeme Oranı	44
4.5.1.	Kaya dolgu zonlarının granülometrisi	46
4.6.	İnce Malzemenin Düşey Taşıma Gücüne Etkisi	48
4.6.1.	Deneylerin yapılması	49
4.6.1.1.	Deneyde kullanılan alternatifler	49
4.6.1.2.	Deney aletinin tanıtılması	50
4.6.1.3.	Dolguların hazırlanması	51
4.6.1.4.	Taşıma gücü değerleri	52
5.	SONUÇ	57
	KAYNAKLAR	58

TABLolar

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Vadinin şekline göre baraj tipleri	4
Tablo 3.1. Tabii geçirimsiz zemininin fiziksel özellikleri	11
Tablo 3.2. Rip-rap malzemesinin kalınlığına bağlı olarak granülometrisi	25
Tablo 3.3. CFRD sisteminde inşaa edilmiş barajlarda çökme miktarlarının zamana oranları	36
Tablo 4.1. Deneyde kullanılan değerler	50
Tablo 4.2. Dolguların taşıma güçleri	53

FOTOĞRAFLAR

Resim 4.1. Boş kalıbın pres altına yerleştirilmesi	51
Resim 4.2. Dolgu malzemesi karışımı	52
Resim 4.3. Hazırlanan dolgulara pres altında yük uygulanması ..	53

ŞEKİLLER

Sayfa No

Şekil 2.1.	Homojen dolgu baraj kesitleri	6
Şekil 2.2.	Geçirimsizlik tiplerine göre zonlu barajlar	8
Şekil 3.1	Tipik kaya dolgu en kesiti	18
Şekil 3.2.	Filtre kuralları	22
Şekil 3.3.	Tipik bir CFRD'nin kaplama kesiti ve menba dan genel görünüm	27
Şekil 3.4.	Topuk plakası	28
Şekil 3.5.	Beton yüzlü kaya dolgu barajın bölgeleri	29
Şekil 3.6.	Sıkıştırılmış ve boşaltılmış kaya dolgu barajların kret çökmeleri	35
Şekil 4.1.	Altınkaya barajı dolgu zonlarının granülometrisi	46
Şekil 4.2.	Amerikan Dolgu barajlarında kullanılan dolgu malzemesinin dane dağılımı	47
Şekil 4.3.	Colarado eyaletinde inşa edilen test dolğusunun granülometrisi	47
Şekil 4.4.	Cougar ve Carters barajlarına ait kaya dolgu derecelenmesi	48
Şekil 4.5.	Dolgu kalıbının boyutları	50
Şekil 4.6.	Taşıma gücü-ince malzeme oranı eğrileri	54
Şekil 4.7.a.	Taşıma gücü-dane çapı eğrileri (19.05 mm)	55
Şekil 4.7.b.	Taşıma gücü-dane çapı eğrileri (9.52 mm)	55
Şekil 4.7.c.	Taşıma gücü-dane çapı eğrileri (4.76 mm)	56

SİMGELER

A	: Korunan malzeme ile filtre malzemesi arasındaki oran	
B	: Vadinin taban genişliği	m
C_c	: Eğrilik Katsayısı	
C_u	: Üniformaluluk katsayısı	
D_{15}	: Filtre malzemesinin % 15'ine tekabül eden çap	cm
D_r	: Rölatif sıkılık	
d	: Dane çapı	
d_p	: Boşluk çapı	
d_n	: Nominal çap	cm
$\bar{d}$	: Ortalama dane çapı	cm
d_{85}	: Korunan malzemenin % 85'ine tekabül eden çap	cm
E	: Elastikiyet katsayısı	kg/cm ²
C_o	: Kopma mukavameti	kg/cm ²
e	: Boşluk oranı	
E_D	: En sıkı durumdaki boşluk oranı	
E_L	: En gevşek durumdaki boşluk oranı	
q	: Zemin konsantrasyonu	
H	: Vadinin yüksekliği	m
h	: Baraj yüksekliği	m
k	: Geçirgenlik	m/sn
J	: Hidrolik gradyen	
L.L	: Likit limit	
N_c	: Dane temas sayısı	
N_c	: Ortalama dane temas sayısı	
n_s	: Yüzeysel konsantrasyon	
n_1	: Şev eğimi	
n	: Porozite	
n_v	: Hacimsel konsantrasyon	
P.L	: Plastik limit	
R.L	: Rölatif limit	
r_v	: Biçim faktörü	
T	: Beton örtü kalınlığı	m

V_s	: Zemin hacmi	cm^3
V_t	: Toplam hacim	cm^3
V_v	: Boşluk hacmi	cm^3
W_{opt}	: Optimum su muhtevası	
W_e	: İnşaa su muhtevası	
η	: Emniyet katsayısı	
γ_{su}	: Suyun birim hacim ağırlığı	t/m^3
γ_1	: Zeminin su altındaki birim hacim ağırlığı	t/m^3
β	: Geçirimsizlik elemanın yatayla yaptığı açı	
σ_G	: Basınç gerilmesi	t/m^2

Kısaltmalar

CFRD	Concrete Face Rockfill Dam (Beton Yüzlü Kaya Dolgu Baraj)
ECRD	Earth Core Rockfill Dam (Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj)

1. GİRİŞ

Vadiyi kısmen, veya tamamen kapatarak biriktirme hacmi meydana getiren su yapılarına baraj adı verilir. En ekonomik ve güvenli elektrik enerjisi hidroelektrik santrallerinde elde edildiğinden son yıllarda baraj inşaatlarında önemli sayıda artışlar meydana gelmiştir.

Massif barajlar için uygun temellerin azalması ve barajların daha az uygun temellere inşaa edilmesi mecburiyeti, tabii dolgu malzemesinin elde edilmesi, taşınması, yerleştirilmesi, ve işlenmesinin günün teknolojisine uygun ve ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı kaya dolgu baraj tipleri tercih edilmektedir.

Dünyada halen en yüksek barajlar kaya dolgu tipinde inşaa edilmişlerdir. Türkiye'deki büyük barajların % 42'si dolgu, 1'i payandalı, 6'sı ağırlık, 2'si kemer 1 tanesi de kemer ağırlık tiptedir. Amerika Birleşik Devletlerinde 1963'den sonra inşaa edilen barajların % 9'u ağırlık, % 18'i karışık tip, % 73'ü de dolgu barajlarıdır.

Kaya dolgu barajın gövdesini teşkil eden dolgunun inşaa tekniğindeki gelişmeler ve tecrübeler sıkıştırılmış kaya dolguda kayma yüzeyinin oluşmadığını ve dolgunun stabilitesindeki ana problemin, düşey taşıma kapasitesi, çökme dane büyüklüğü ve ince malzeme miktarının tayini olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada dolguyu meydana getiren malzemenin granülometrisinin düşey taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

İkinci bölümde baraj tipinin seçimi ve baraj tipleri hakkında bilgi verilmiş olup uygun baraj tipinin seçiminde dikkate alınacak kriterlere değinilmiştir.

Üçüncü bölümde kaya dolgu barajları teşkil eden bölümler ve bunların inşaa malzemeleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca son yıllarda geliştirilen beton yüzlü kaya dolgu baraj tipi tanıtılmış ve dünyada bu tipte inşaa edilmiş bazı barajlar hakkında teknik bilgilere değinilmiştir.

Dördüncü bölümde ise kaya dolgunun mekanik özellikleri incelenmiş ve kaya dolgunun granülometrisinin düşey taşıma gücüne etkisinin araştırılması için bir deney modelinin geliştirilmesi ve test dolguları teşkil edilip düşey yükler altında düşey taşıma kapasitelerinin bulunması anlatılmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve bu çalışmadan elde edilen bulgular sonuç bölümünde sunulmuştur.

2. BARAJ TİPİNİN TAYİNİ VE DOLGU BARAJLAR

Barajlar yapılış amacına göre; Enerji, içme suyu, sulama suyu taşkından koruma, nehir ulaşımı gibi sınıflara ayrılabilir.

Barajı inşasında kullanılan malzemeye göre sınıflandırdığımızda; Esas sınıflar beton, kargır, toprak, barajlar şeklindedir. Bunlar da kendi aralarında kesit şekline ve inşaat metoduna göre alt sınıflara ayrılırlar. Beton barajlar, tali derecede beton ağırlık, kemer ve payandalı barajlar olarak sınıflandırılır. Toprak barajlar dolgu malzemesinin yerleştirilmesine göre, homojen, zonlu toprak ve kaya dolgu barajlar olarak sınıflandırılırlar.

Baraj tipinin tayininde, mahalli şartlar, bilhassa yapı temeli vadi şekli iklim, hidrolik faktörler, ulaşım, iş makineleri ve insan gücü yapı malzemesinin özellikleri, miktarı ve elde edilmesi baraj yapı tipine önemli miktarda etki eder.

2.1. Baraj Tipinin Seçimine Etki Eden Faktörler

Baraj yerinin özellikleri, maksat ve rezervuarın ekonomisi topografik ve jeolojik durum, emniyet ve geçirimsizlik sorunları, inşaa tarzı ve feyezan durumları, ekonomik hususlar ve bölgenin görünüşü baraj tipinin seçiminde dikkate alınır. Ayrıca ağırlık barajları, bütün tiplerden en az elastik olan baraj tipidir. Biriken su herbir baraj tipine değişik etki yapar. Suyun kemirici özelliği, buzlanma, yüzen maddelerin büyüklüğü, dolgu barajlarda dış geçirimsizlik halinde önemlidir. Betonu tahrip eden su ince beton barajların yapılmasını imkansız kılmakta diğer tiplerde ise özel koruyucu tedbirlere gidilmektedir. Keza ısı farkı ve ışık ince daneli beton ve betonarme yapılarda tesirli olmaktadır. Ayrıca kış ve çalışma şartları da baraj çeşidinin seçimine önemli etki yapar.

2.1.1. Hidrolik ve hidrolojik şartlar ve hazne işletme durumu

Hazne büyüklüğü barajın hizmet ettiği gayeye göre değişmektedir. Baraj inşaatında en önemli problemlerden birisi de arzu edilen suyun

haznede depolanması için baraj gövde büyüklüğünün seçimidir. Bu sebepten spesifik katsayı kullanılır. Spesifik katsayı, baraj işletme hacminin baraj gövde hacmine oranı olarak tarif edilir. 1 m^3 gövde hacmine karşılık olan hazne hacmi kemer barajlarda, dolgu barajlara göre 15-20 defa daha büyüktür. Buna karşı dolgu barajın 1 m^3 nün maliyeti 1 m^3 beton maliyetinin $1/3$ ile $1/6$ sı mertebesinde dir. (Tuna, 1985)

Hazne suyunun kemirici özelliği askı madde miktarı ve buz teşekkülü baraj tipinin seçiminde etkili olurlar. Haznenin işletilmesi durumunda su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu ise beton ağırlık baraj tipi tercih edilir. Dolgu barajlarda su alma ve tahliye tesisleri gövde dışında inşaa edilir.

İnşaa esnasında meydana gelen taşkın hallerinde en kritik barajlar dolgu barajlardır. Dolayısıyla bu tip barajların derivasyon çalışmaları oldukça pahalı olmaktadır. Ağırlık barajları, yüzey geçirimsiz ve eğik geçirimsiz dolgu barajlar sonradan yükseltilmeye uygundur. Merkezi kil ve beton çekirdekli dolgu barajlar, kemer barajlar ve payandalı barajlar sonradan yükseltilmeye müsait değildirler.

Su seviyesinin büyük değişimler göstermesi halinde beton barajlar tercih edilir. Ayrıca seviye değişim hızı $1,5 \text{ m/saat}$ veya daha hızlı ise dolgu baraj tipi seçilmemelidir. Akarsunun debisinin büyük olması halinde tahliye tesisleri çok büyük boyutlar kazanır. Dolgu barajlarda bu tesisler dolgu dışında yapılacağından masraf oldukça fazla olur. Dolayısıyla debi büyük ise beton baraj debi küçük ise dolgu baraj tercih edilir.

2.1.2. Baraj yeri özelliklerinin incelenmesi

İklim faktörleri; soğuk iklim bölgelerinde beton baraj yapılmak isteniyorsa barajın dış yüzeyleri yüksek dozaj beton veya kaplama ile korunmalıdır. Bu gibi hallerde ağırlık barajları kemer barajlarından daha az etkilenirler. Kaya dolgu barajlar uzun ve soğuk iklim bölgelerinde öncelikle uygulanır. Isı farkı yüksek olduğu yerlerde kemer barajlar daha narin yapıları olduklarından ağırlık barajlarına göre çok daha fazla etkilenirler. Bu yerlerde yüzeysel geçirimsiz dolgu barajlar kullanılmaz. Yağışların uzun süreli devam ettiği bölgelerde dolgu barajlar tercih edilmez. Bu gibi bölgelerde beton barajlar öngörülür.

Vadinin genişliği, yüksekliği plan ve enkesiti topografik faktörleri

ihitiya eder. Geniş vadilerde (300-400 m den fazla) dolgu barajlar dar vadilerde yamaçlar müsait ise kemer barajlar, değilse diğer beton barajlar ekonomiktir. Vadinin şekli B/H oranı ile ifade edilir.

Tablo 2.1 Vadinin şekline göre baraj tipleri

B/H	Baraj Tipi
2.5	Kemer Baraj
3	Kemer Ağırlık
> 6	Ağırlık Baraj
7	Boşluklu veya Payandalı Barajlar

B/H oranı 5 den küçük ise kemer baraj, diğerleri için öteki baraj tipleri tercih edilir.

Barajın oturtulacağı temelin durumu baraj tipinin seçiminde önemli bir faktördür. Kemer barajlarda temel zemini için aşağıdaki özellikler aranır. Temel ve yamaç zemini sağlam ve emniyet gerilmesi yüksek olmalı temel oturma ve deformasyonları minimum olmalıdır. Yamaçlarda mesnet kuvvetleri yönünde çatlak bulunmamalı, mesnet kuvvetlerine dik doğrultuda ise açık çatlak ve faylara sahip olmamalıdır. Yamaç ve temel suda eriyen bileşikleri ihtiva etmemelidir.

Payandalı barajlarda ise sadece ayakların oturduğu kısımların sağlam olması gerekir. Dolgu barajlar her cins temel üzerine inşaa edilebilir. Ancak dolu savak ve su alma tesislerinin sağlam zemine oturması gerekir. Kaya temelin sınıflandırılması, elastikiyet katsayısına göre yapılır. $E > 6 \times 10^5$ kg/cm² ise kaya temelin çok iyi kalitede olduğu kabul edilir ve bu durumda kemer baraj inşaa edilebilir. Orta dereceli kayada E değeri 4×10^5 ile 6×10^5 kg/cm² arasında değişir. Bu gibi yerlerde kemer baraj yapılamaz ancak ağırlık barajlar inşaa edilebilir. E değeri 4×10^5 den daha küçük ise temel zayıf temel grubuna girer ve beton barajlar için uygun değildir.

Bütün temellerde ayrışmış ve özellikleri değişmiş yüzeylerin temizlenmesi gerekir. Yapılan incelemelere göre bu kazı ve temizleme miktarı ağırlık barajlarında gövde betonun % 46'sı kemer barajlarda % 60, mertebesindedir. Dolgu barajlar için temellerde, yük altındaki oturmalar minimum olmalı, zeminin kayma mukavemeti dolgu baraj nedeniyle meydana getirilen kayma gerilmelerini aşmamalıdır. Ayrıca temelde ve dolguda suda eriyebilen bileşiklerin bulunmaması gerekir.

Dolgu malzemesinin ekonomik bir mesafeden temin edilmesi halinde

dolgu baraj tercih edilir. Beton barajlar için çimento ve agreganın, ekonomik bir mesafede temin edilmesi gerekir. Dolgu ve beton barajlar için ekonomik olarak malzeme temin edilemediği takdirde en az yapı malzemesine ihtiyaç duyulan payandalı barajların inşası daha uygundur.

Baraj tipinin seçiminde, ulaşım imkanları ve barajın çevreye uyumu da dikkate alınır. Ağırlık, kalın kemer ve dolgu baraj üzerinde yol geçebilir. İnce kemer barajlarda ulaşım yolunun geçirilmesi mümkün değildir. Payandalı barajlarda ise çok pahalıdır. Baraj bölge manzerasını bozmayacak şekilde tertip ve tanzim edilir.

Depreme karşı sırasıyla en çok ağırlık, kemer, dolgu ve payandalı barajlar mukavimdir. Depremden başka aşağıdaki nedenlerden dolayı barajlar yıkılmaktadır.(Tuna, 1985)

- Baraj gölü içerisine yamaç ve sevlerin kayması
- Baraj gövdesinin stabil olarak yapılmaması
- Baraj gövdesinden veya civarından sızmalar
- Yağışlar nedeniyle baraj gövdesinin tahrip olması
- Kil çekirdeği koruyan filtre malzemesinin uygun seçilmemesi ve yerleştirilmesi
- Dolu savak yetersizliği
- Harp tesirleri

2.2. Dolgu Baraj Tipleri

Barajlar, su basınç kuvvetlerini gövde ağırlığı ile temele aktarmaları yanında, istenmeyen sızmalara karşı da yeterli miktarda geçirimsiz yapılmalıdır.

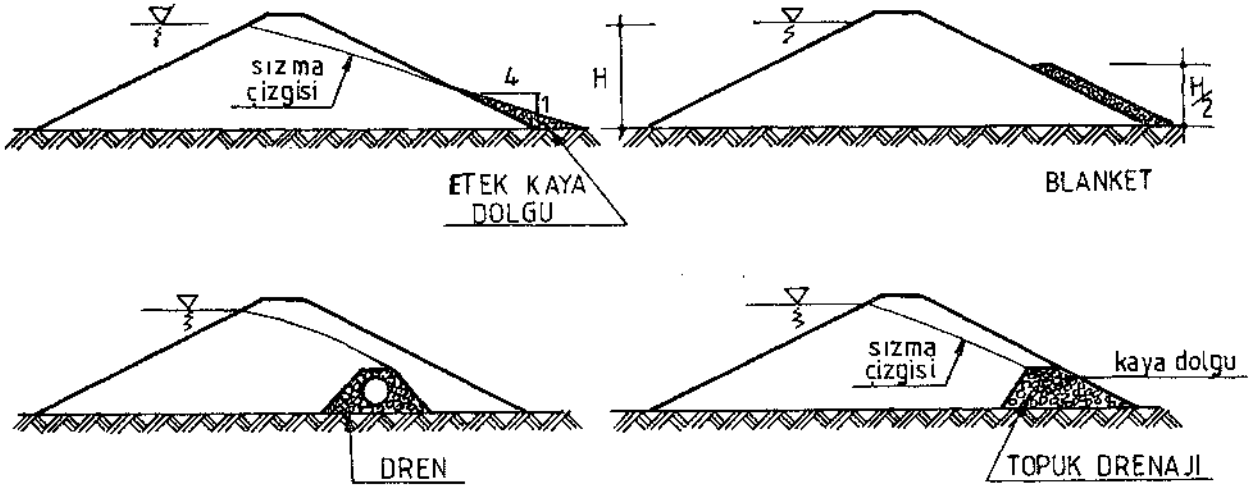
Baraj yüksekliğinin artması ile baraj yükleri büyür, projelendirme esnasında ve baraj zonlarının seçiminde gerekli emniyet faktörü ve yapı malzemesi dikkate alınmalıdır. Dolgu barajlar zemin mekaniği ve dolgu tekniğindeki gelişmeler neticesinde yaygınlaşmıştır. Bir baraj projelendirilmeden önce çok geniş arazi ve laboratuvar ön araştırması yapılır.(Ural- 1985)

Dolgu barajları standart çözüme kavuşturmak mümkün değildir. Uygun miktarda bulunan kaya ve gevşek zeminin baraj yüklerini alacak şekilde homojen veya zonlu olarak yerleştirmek gerekir. Yapı tarzına göre dolgu

barajları homojen ve zonlu barajlar olmak üzere iki kısma ayrılabilir.

2.2.1. Homojen dolgu barajlar

Homojen dolgu barajlar genelde düşük geçirgenliğe haiz ince daneli malzemelerden inşaa edilir. Kullanılan malzemenin geçirgenlik değerini $k < 10^{-6}$ m/s ayrıca yatay ve düşey yöndeki geçirgenliğin de aynı olması gerekir. Bu tip barajlarda kullanılan malzemenin kayma mukavemeti düşük olduğundan daha yatık şev seçme mecburiyeti vardır. Tüm gövde taşıyıcı kısım olarak çalışır. İnşaatının basit olması alçak barajlar için bir avantajdır.



Şekil 2.1 Homojen dolgu baraj kesitleri

Sızma çizgisinin mansap seviini topuğun üstünde bir yerde kesmesi, ince daneli malzemenin iklim tesirlerinin altında kalması ve şevlerin nispeten yatık olması nedeniyle daha fazla dolgu malzemesi gerektirmesi gibi dezavantajları da mevcuttur.

2.2.2. Zonlu barajlar

Geçirimsizliği temin etmek için baraj gövdesi içerisinde veyahut menba yüzeyinde geçirimsiz bir perde öngörülen dolgu barajlarıdır. Zonlu barajlar

çeşitli baraj yapı malzemesinden inşaa edilir. Zonlama, zonların geçirgenliğine bağlı olarak filtre inşaa tarzına uyacak şekilde yapılır. Böylece zonlu baraj, geçirimsiz ve iskelet kısımlarından oluşur. İri malzemenin mansap kısma yerleştirilmesi ile sızma çizgisi alçaltılır. Böylece barajın emniyeti yükselir ve baraj gövde hacminde bir azalma elde edilir. Buna karşı zonlardan dolayı inşaa zorluğu ve ayrıca gelişmiş bir teknolojiye duyulan ihtiyaç, zonlu barajların mahzurlarını meydana getirir. Barajın zonlara ayrılması aşağıdaki faktörlere bağlıdır. (Tuna, 1985)

- Yapının temel durumu
- Barajın Yüksekliği
- Baraj yapı malzemesinin, inşaa alanında ekonomik mesafeden temini
- Geçirimsizlik tipi
- Kazıma, taşıma ve sıkıştırma makinelerinin özellikleri
- Ekonomik yapı teşkili

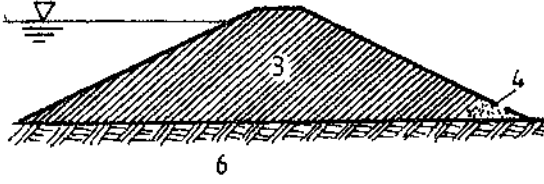
Geçirimsizlik teşkiline göre zonlu baraj dış ve iç geçirimsiz olmak üzere iki kısma ayrılır ve zonlardan diğer zonlara geçiş için, filtreler kullanılır.

Merkezi geçirimsiz dolgu barajlarda, geçirimsiz bölgenin teşkilinde malzeme olarak beton, asfalt, kil ve çelik kullanılabilir. Oturmalara karşı dolgu simetriktr. Her iki tarafta da kabartma yapılabilir. Geçirimsiz tabaka dış tesirlerden korunmuştur. Barajın sonradan yükseltilmesi mümkün değildir. Barajın sadece mansap kısmı taşıyıcıdır. Geçirimsiz tabaka ile dolgunun aynı zamanda inşaa edilmesi gerekir ve filtre tabakasının teşkili zorunludur. İnşaattan evvel temel geçirimsizliği temin edilir.

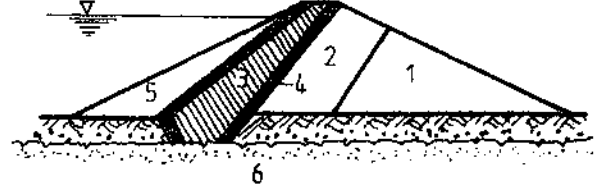
Yüzeyse geçirimsiz dolgu barajlarda, geçirimsiz malzeme olarak beton, çelik veya asfalt kullanılabilir. Özellikle kaya dolgu barajlarda, inşaa önemli miktarlarda ekonomi sağlar. Bütün kesit taşıyıcı kısım olarak dikkate alınır. Bu yüzeyde meydana gelecek arızalar kolayca giderilir. Barajın sonradan yükseltilmesi mümkündür. Temel ve gövde geçirimsizlikleri birbirinden ayrı düşünülür. Dış yüzey rijit olduğu için deformasyonlara karşı çok hassastır. Dış etkilere maruz kaldığından donma ve dalga tesirleri ile tahrip olma ihtimali yüksektir.

Dolgu barajlarda eğimli kil çekirdek, genelde tabii geçirimsiz malzemenin düşük kayma mukavemetine sahip olduğu ve daha yatık menba şev eğimi gerektiren yerlerde inşaa edilir. Eğimli ve merkezi çekirdeğin her iki yanında filtre tabakaları ve iri daneli kısımlar bulunur. Sadece mansap iskelet olarak etkilidir. Eğimli kil çekirdekli barajlarda sonradan yükseltilmeler mümkün olmaktadır. Eğimli çekirdeğin menba şevi üzerinde

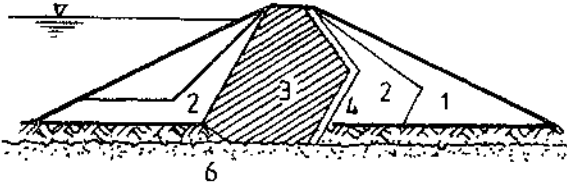
bulunması halinde bütün mansap kısmı dayanma gövdesi olmakla beraber baraj gövde hacmi önemli miktarda azalmaktadır.



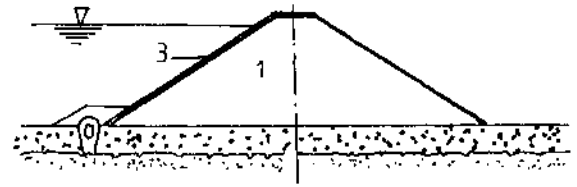
HOMOJEN BARAJ



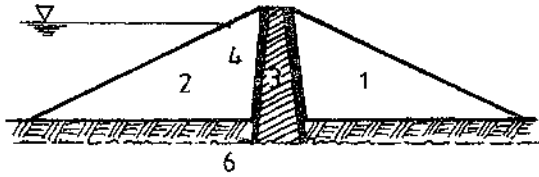
EĞİK ÇEKİRDEKLİ ZONLU BARAJ



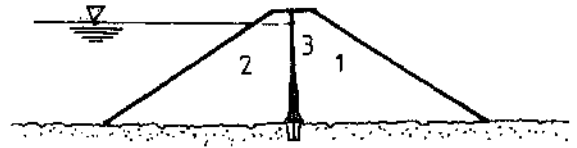
GENİŞ ÇEKİRDEKLİ ZONLU BARAJ



YÜZEYSEL GEÇİRİMSİZ BARAJ



DAR ÇEKİRDEKLİ ZONLU BARAJ



BİTÜMLÜ ÇEKİRDEKLİ BARAJ

1- Dayanma gövdesi 2- Dolgu gövdesi 3- Geçirimsiz eleman 4- Filtre tabakası 5- Kaplama tabakası 6- Yapı temeli

Şekil 2.2 Geçirimsizlik tiplerine göre dolgu barajlar (Tuna, 1985)

Kil çekirdek malzemesinin, kayma mukavemeti, normal olarak dolgu malzemesininkinden daha az olması nedeniyle stabilite bakımından daha ince kil çekirdek kullanılması daha avantajlıdır. Diğer taraftan farklı oturmalarından dolayı ortaya çıkan gerilme çatlaklarının meydana getirdiği borulanmaya karşı, kalın kil çekirdekler daha dayanıklıdır. Çünkü borulanma mukavemeti sıkıştırılmış dolgunun özelliğine bağlıdır. Minimum kabul edilebilir çekirdek kalınlığı malzemenin plastisitesine ve çekirdek malzemesinin uniformluğuna bağlıdır. Belirlenen kriterlere göre

emniyetli minumum kil kalınlığı seçilir. İnşaa edilen dolgu barajlarda göze çarpan hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Çekirdek kalınlığı su yüksekliğinin % 30 ile % 50 si mertebesinde olması halinde yeterli kalınlık temin edilmektedir. (Özal, 1967)

- Çekirdek kalınlığı su yüksekliğinin % 15 ile % 20 si olması halinde filtre kullanmak şartıyla uygun olmaktadır.

- Su yüksekliğinin % 10 u veya daha az olan kil çekirdek kalınlığı, muhtemelen fazla sızmanın baraj yıkılmasına sebep olmayacağı yerlerde kullanılmışlardır. (Striegler ve Werner, 1969)

Düşey çekirdeklerin dolgu barajlarda uygun olduğu hususlar mevcuttur. Düşey çekirdeğin en önemli avantajı temelde temas ettiği yüzeyde fazla basınç meydana getirdiğinden bu yüzeyde muhtemel sızmaya karşı daha fazla korunma temin edilir. Diğer avantajı ise aynı özellikteki düşey çekirdek eğimli çekirdekten biraz daha kalın inşaa edilir.

Eğik menba kil çekirdekli barajın en büyük avantajı önce tüm mansap kısmının inşaa edilip ve daha sonra çekirdek kısmının inşaa edilmesi imkanına sahip olmasıdır. Bu husus ise, kuru periyodu az olan yağışlı bölgelerde çekirdek inşaa süresi için çok önemli bir imkandır. Ayrıca eğik çekirdekli barajlarda dolgu inşaa edilirken temel ıslahını da yapmak imkanı mevcuttur.

Eğimli çekirdeğin diğer bir avantajı ise, düşey çekirdekli barajlarda inşaaı zor olan filtre tabakasının daha kolay ve kalınlığının daha az olmasıdır. Düşey çekirdekli barajlarda menba şevleri daha dik ve mansap şevleri daha yatık inşaa edilir. Bu nedenle dolgu hacminde bir miktar azalma olabilir. Teorik olarak minumum hacim, ince çekirdekli barajlar için çekirdek yerleştirildikten sonra menba ve mansap sevi aynı kayma emniyetini verdiği zaman elde edilir. Eğer çekirdek eğimli ise bu şart ortalama eğiminin $1/2$ olması halinde temin edilir. Oturma çatlaklarının, eğimli çekirdekte daha az olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca eğimli çekirdek çatlaklara daha mukavim ve depremlere karşı daha dayanıklıdır. (Tuna, 1985)

3. KAYA DOLGU BARAJLAR VE MALZEME ETÜDÜ

3.1. Malzeme Etüdləri

Bir dolgu baraj gövdesi çeşitli tip dolgulardan meydana geldiğinden bu dolgularda kullanılan malzemelerin de çeşitli özelliklere sahip olması gerekir. Malzeme etüdləri, barajın yapılacağı yerin, yakın çevresinde bulunan ve baraj dolgusunda kullanılabilecek malzemelerin miktarlarının tespiti, malzemelerin kalitelerinin ve özelliklerinin belirlenmesi gayesiyle yapılan çalışmalardır. İnşaat sahasında bulunan malzemelerin miktar ve özelliklerinin bilinmesi, yapılacak baraj tipini belirlenmesinde önemli bir faktördür. (Özenci, 1985)

3.1.1. Dolgu malzemelerinin etüdü

Barajların yapılacağı yerlerin civarında bulunan toprak ve kaya malzemeler yapıda önemli elemanlardır. Barajların projelendirilmeleri sırasında ekonomik nakliye mesafeleri içerisinde kalabilecek malzemelerin miktar ve özelliklerinin mutlaka bilinmesi gerekir. Şüphesiz ki gerekli malzemelerin tamamı, yeterli miktarda hemen yakın çevrede bulunmayabilir. Tatbikatta malzemelerden birini daha uzak mesafelerden nakletmek ve fakat diğerlerini yakın mahalden temin etmek suretiyle projelere ekonomik çözümler getirilebilir. Bazı hallerde de yakında bulunmayan bir malzeme yerine mevcut malzemelerin ıslah edilerek kullanılması veya projelerde yapılabilen değişiklikler barajın yapılabilmesine imkan verir. Ariyet malzemeleri, geçirimsizlik özelliklerine göre; Geçirimsiz malzemeler, yarı geçirimli malzemeler ve geçirimli malzemeler diye sınıflandırılabilirler.

3.1.1.1. Geçirimsiz malzemeler

Tabii bulunan geçirimsiz malzemelerin kullanılması su yapılarında eski bir metottur. Ekonomik bir mesafeden temin ediliyorsa yeterli miktarda ve istenilen kalitede ise tabii geçirimsizlik malzemeleri suni geçirimsizlik maddelerine tercih edilir. Son zamanlarda 80 m den daha yüksek dolgu

barajlarda tabii geçirimsiz zemin tipleri olan lem ve killer sıkıştırılarak başarı ile kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan kil ve lemin suda eriyen bileşikler ihtiva etmemesi ve belirli bir dane büyüklüğü dağılışı göstermesi gerekir.

Malzeme içerisinde ince partikül oranı, malzemenin özelliklerini etkilemektedir. Malzeme içerisindeki ince partikül miktarı (200 nolu elekten geçen miktar) % 10 kadar küçük bir oranda olsa dahi bazen bu tür kum ve çakıllı malzemeler dahi geçirimsiz olabilmektedir. (Özenci, 1985). Büyük oranda silt ve kil ihtiva eden malzemeler su muhtevalarında olacak değişiklikler dolayısıyla önemli mühendislik problemleri doğurmaktadırlar.

Tablo 3.1 Tabii Geçirimsiz Zeminin Fiziksel Özellikleri

Zemin Fizik Özelliği	Sınır Değerleri
Ater Berg'e göre kıvam limitleri	$W_{RL} > 0.15$ $W_{LL} > 0.25$ $W_{PL} > 0.10$
Ohd'e göre kıvam limitleri	$\frac{W_{LL}}{W_{PL}} \geq 1.70$
Dane dağılımı	Malzemenin %10 ~40 nın çapı < 0.002 mm Malzemenin % 50 sinin çapı < 0.06 mm Maksimum dane çapı $d_{max} = 6 \sim 120$ mm veya $d_{max} = 0.1 t$ t= Geçirimsiz tabaka kalınlığı
Kalker maddesi	Organik kısım % 3 Kalker ihtivası % 6
Kayma mukavemeti şekil değiştirmeye karşı direnci Geçirgenlik	Mümkün olduğu kadar büyük Mümkün olduğu kadar büyük $k < 10^{-9}$ m/sn

Geçirimlilikleri düşük ve likit limitleri büyük olan killi malzemeler boşluk suyu basıncı doğururlar. İşlenmeleri güçtür ve büyük hacim değişiklikleri gösterirler. Bu nedenle kullanılmaları tavsiye edilmemektedir. Birleştirilmiş toprak sınıflarına göre GM, GC, SM, SC, ML, CL ve MH malzemeleri geçirimsizlik derecelerine göre geçirimsiz malzeme olarak da kullanılırlar. Bu malzemelerin geçirimsizlikleri $k=10^{-6}$ cm/sn nin altındadır. Bazen de 10^{-9} cm/sn değerine kadar inerler.

3.1.1.2. Yarı geçirimli malzemeler

Yarı geçirimli malzemeler özellikleri itibariyle geçirimli malzemeler ile geçirimsiz malzemeler arasında bulunurlar. Birleştirilmiş toprak sınıflamasına göre GM-SM, GC, SC, CL, Ch, MH olarak tanımlanan bu malzemelerin geçirimsizlik katsayıları $k=10^{-4}$ cm/sn ile $k=10^{-6}$ cm/sn arasında olanları yarı geçirimli malzeme olarak tanımlanırlar. Bu malzemeler genellikle dolgu barajlarında homojen tip gövdelerde kullanılırlar. Ortasında geçirimsiz çekirdek bulunan dolgu barajlarda çekirdeğin menba ve mansabında kullanılabilir.

3.1.1.3. Geçirimli malzemeler

Bu malzemelerin yoğunlukları fazla olup kayma dirençleri de yüksektir. Büyük mertebede geçirgenliğe sahiptirler, bu özelliklerinden dolayı drenajları kolay olur ve dolgularda boşluk suyu basıncı oluşturmazlar. Genellikle dolgu barajlarda denge sağlamak amacıyla kullanılırlar ve bu tarz kullanımları projelerde ekonomik sonuçlar vermektedir. Dolguların dış yüzeylerinde kullanılan bu malzemelerin geçirimsizlikleri $k=10^{-4}$ cm/sn nin üzerindedir. Birleştirilmiş toprak sınıflamasına göre GW, GP, SW, SP sınıfları geçirimli malzeme olarak değerlendirilirler.

3.1.1.4. Kaya malzemesi

Barajlarda kaya malzemesi gövdenin menba yüzünün korunmasında kaya dolgu riprap olarak ve gövdenin kaya dolgu zonunda dolgu malzemesi

olarak kullanılır. Baraj dolgusunun dış zonlarında özellikle menba yüzünde kullanılacak olan kaya malzemesinin doğal tesirlere karşı dayanıklı olması hava ve su etkilerine, don ve dalga tesirlerine mukavemet edebilir olması gereklidir. Dolguda iç zonlarda kullanılan kaya malzemelerinin özellikleri kullanma yerine göre, menba veya mansapta olmaları halinde farklı olabilir. Su ile temas halinde, özelliklerini kısmen de olsa değiştiren, kaybeden kaya malzemeleri menba zonunda kullanılmayıp ancak mansap zonunda belirli bölgelerde kullanılabilir.

Kaya malzemesi ariyet malzemesine, toprağa göre daha az bulunan bir malzemedir. Bu nedenle etüdü ariyet malzemesi etüdünden farklıdır. Kaya malzemesi etüdünde sahanın sınırlandırılması mümkün değildir. Ekonomik olması halinde uzak mahallerden kaya temini yoluna gidilebilir. Etüdler, doğal olarak baraj dolgusunun inşaa edildiği yere en yakın kaya ocaklarının incelenmesiyle başlayıp uzaklara gidilmek suretiyle devam ettirilir. Malzemelerin miktarları ve kaliteleri tespit edilir. Malzeme etüdüne başlarken yöreye ait topografik haritaların, hava fotoğraflarının, jeolojik harita ve dökümanlarının incelenmesi, çalışmaların yönlendirilmesi açısından faydalıdır.

Kaya malzemede istenilen en önemli özellik, sağlam olması ve büyük parçalar halinde olmasıdır. Kaya malzeme etüdü, yüzeyde görülen kayalık bölgenin incelenmesiyle başlar, malzeme tecrübe çukurları açılarak, ocağın muhtelif yerlerinde karot alınarak incelenme yapılır. Bu incelemeler arasında malzemenin miktarı, üzerindeki bozuşmuş tabakanın kalınlığı, kaya tabakasının derinliği, eklem ve çatlak sisteminin ne tarzda olduğu saptanır. Alınan numuneler laboratuvar testlerine tabii tutulur. Mühendislik yönünden kayaların en önemli özellikleri; ağırlık, porozite, direnç ve sertlik ile su emme ve dona karşı dayanıklılık ve sağlamlıktır.

Kayalar oluşmaları yönünden volkanik, tortul ve metamorfik olmak üzere üçe ayrılır. Yoğunluklarına göre çok yoğun, yoğun ve hafif olmak üzere üç sınıfta toplanabilirler. En yoğun kayalar; bazalt ve gabro gibi koyu renkli volkanik kayalarla, metamorfik kayalar ve bazı şistlerdir. Özgül ağırlıkları 2.9 ile 3.2 t/m^3 arasındadır. Yoğun kayalar özgül ağırlıkları 2.5 ile 2.8 t/m^3 arasında değişen granit, arduvaz, mermer ve bazı kalkerlerdir. Hafif kayalar ise özgül ağırlıkları 2.5 t/m^3 ten daha az tebeşir, tuf ve sünger taşı gibi boşlukları fazla olan tortul ve volkanik tüflerdir. Sağlam kayalar genellikle yoğunlukları fazla olan kayalardır. Kuvarsit, granit, bazalt gibi

volkanik kayalar, sağlam gnays ve bazı şistler sağlam ve sert kayalara örnek olarak sayılabilirler.

Bu tür kayaların basınç mukavemetleri 1000-2000 kg/cm² ve hatta daha fazla olabilir. Bazı sert ve yoğun kumtaşları ile silistli kalkerlerin basınç mukavemetleri bu değerlere yaklaşır. Mukavemet ve sertlik bakımından orta derecede bulunan kayalara kalker, mermer, dolomit ve çeşitli kum taşları örnek olarak sayılabilirler. Basınç mukavemetleri 200-1000 kg/cm² arasındadır.(Özenci, 1985)

3.1.2. Agreg a malzemesi

Agreg a malzemesi olarak, beton yapımında ve dolgu barajlarında filtre tabakalarının teşkilinde kullanılan kum-çakıl malzemesi kastedilmektedir. Bu malzemelerin etüdü ile geçirimli malzemelerin etüdü arasında pek bir fark yoktur. Agreg a malzemesi genellikle nehir ve çay yataklarında bulunur. Öncelikle üzerine baraj inşa edilecek nehir yatağı incelenmelidir. Daha sonra nehirle birleşen ve barajın yapılacağı yan derelerin yatakları tetkike alınmalıdır. Agreg a etütleri, nehir yataklarından kuruda ve su içerisinde malzeme numuneleri alınarak yapılır. Etüdün yapılacağı mevsim nehrin minimum debiyi taşıdığı mevsim olmalıdır. Numuneler uygun aralıklarla ve yeterli sayıda açılacak çukurlardan alınır. Numune çukurlarının yerleri, derinlikleri, karşılaşılan malzemelerin cinsleri ve kalınlıkları, yeraltı su seviyeleri kaydedilir ve muhtelif derinliklerden alınan malzemeler incelenmek üzere laboratuvara alınır. Çukurlar genellikle kazma ve kürekle açılır, ancak nehir yataklarında yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın olması malzemenin kendini tutamayıp yıkılabilir olması nedeniyle bir iki metreden daha derinlere inilmez. Yüzeyden alınan numuneler yataktaki malzemeyi temsil edemezler. Bu nedenle özellikle geçirimli ve agreg a malzemenin etüdünde, yeraltı su seviyesinin en az 5 metre kadar altına inip numune alan backho tipi ekskavatörler kullanılır.

Nehir yatağında yapılan incelemeler ve çukurlardan alınan numunelerin laboratuvardaki test sonuçlarına dayanılarak bu bölgeden temin edilebilecek malzeme miktarı ve malzemenin fiziksel özellikleri tespit edilmiş olur. Geçirimli malzemelerle agreg a malzemeleri, kullanılma anında genellikle zayıfları fazla olan malzemelerdir. Uygun şartlarda ve uygun karışımlarda kullanıldıkları için ön prosese tabii tutulurlar, eleme ve yıkama

işlemlerinden geçirilirler bu işlemler sırasında yataktan alınan malzemelerin bir kısmı kullanılmaz malzeme olarak ayrılırlar.

Tabiatta doğal olarak en zor bulunan malzemeler agregalardır. Bu nedenle bu tür malzemelerin etüdlerinde detaylı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmalıdır.

3.1.3. Birleştirilmiş Zemin Sınıfları

- GW= Üniform çakıl, çakıl kum karışımı (ince kısım çok az veya hiç yok)
- GP= Üniformaluluğu az çakıl, çakıl kum karışımı
- GM= Siltli çakıl, üniformaluluğu az, çakıl-kum-silt karışımı
- GC= Killi çakıl, üniformaluluğu az, çakıl- silt karışımı
- SW= Üniform kum, çakıllı kum (ince kısmı az veya hiç yok)
- SP= Üniformaluluğu az kum, çakıllı kum (ince kısmı az veya hiç yok)
- SM= Siltli kum, üniformaluluğu az, kum-silt karışımı
- SC= Killi kum, Üniformaluluğu az, kum-kil karışımı
- ML= İnorganik silt ve çok ince kum, siltli ve killi plastikliği az olan killi ince kumlar
- CL= Ortalama plastisitesi küçük olan inorganik killer, çakıllı killer, kumlu killer, siltli killer
- OL= Plastisitesi az organik siltler ve organik silt-kil karışımı
- MH= İnorganik siltler, siltli zeminler, elastik siltler
- CH= Plastisitesi yüksek inorganik killer ve yağlı killer
- PT= Çok organik zeminler

3.2. Baraj Dolgularının İnşasına Başlamadan Önce Yapılacak testler

Baraj projelerinin yapılması sırasında yapıda kullanılacak malzemelerin miktar ve özellikleri incelenerek sonuçları projede gösterilmelidir. Bazen bu malzemelerle dolgu yapılabilme şartlarının önceden tespiti için deney dolgularında yapılır. Ancak baraj inşaatları çoğu kere önce bir planlama aşaması daha sonra katı proje yapımı ve nihayet inşaat başlama aşaması gibi üç safha geçirir, bazen bu safhalar arasında 5-6 yıl hatta bazı hallerde 10 yılı geçtiği olur. Günümüzde teknoloji günden güne değişmekte, inşaat metod ve araçları gelişim göstermektedir. Yüksek

kapasiteli inşaat makinelerinin tatbikat alanına girmesiyle, yapıda kullanılacak malzemelerin temini kolaylaşmakta ve yapım şartları değişmektedir. Hatta bazı hallerde varlığı önceden bilinip de temini mümkün olmayan veya temini ekonomik olmayan malzemelerin zaman içerisinde gelişen teknolojinin metot ve aletleri sayesinde teminleri mümkün ve ekonomik olmakta ve dolguda kullanılmaları yönüne gidilmektedir. Bazı hallerde gelişen teknoloji sayesinde projelendirme ile yapılara yeni ekonomik boyutlar getirilmektedir. Projelendirme sırasında herhangi bir nedenle malzeme etüdlerinin yeterli seviyede yapılmamış olması, hatalı teknik kararların alınmasına sebep olabilmektedir. Bu ve buna benzer nedenlerle özellikle dolgu barajların inşaatlarına başlama aşamasında yapının yapılacağı yerin yakınındaki malzemelerle, baraj kazılarında elde edilecek tüm malzemelerin yeniden etüd edilmelerinde ve laboratuvar testlerinin yapılmasında büyük faydalar vardır. (Özenci, 1985)

3.2.1. Laboratuvar testleri

Geçirimsiz malzemeler için; Elek analizi, Kıvam deneyleri (LL, PL, RL), su içeriği, yoğunluk, organik madde tayini, standart sıkıştırma (Proktor) deneyi, Konsolidasyon testleri, tek ve üç eksenli kesme deneyleri

Geçirimli ve yarı geçirimli malzemeler için; Elek analizi, kıvam deneyleri (İnce malzeme miktarı % 5 fazla ise) su içeriği, yoğunluk, standart sıkıştırma, Los Angeles aşındırma deneyi, Alkali reaktivite deneyi, sağlamlık testi (Sodyum sülfat-magnezyum sülfat çözeltileriyle), Geçirgenlik (Permeabilite) testleri.

Kaya malzeme için; Elek analizi, Los Angeles aşındırma deneyi, sağlamlık testi, mineralojik analiz, nokta yük mukavemet testi, değişik kür şartlarında bozuşma

3.3. Test Dolguları

Baraj dolgularında kullanılacak malzemeler ile, proje çalışmaları safhasında ve baraj inşaatının başlangıcında test dolguları yapılır. Her iki safhada yapılan testlerde, yerleştirme ve sıkıştırma için, en uygun şartların tespitine çalışıldığı gibi malzemeler ile yapılan dolgunun yapım şartlarına

göre sahip olacağı nihai karakteristiklerin tespiti mümkün olur.

Dolgular genellikle, vibrasyonlu veya vibrasyonsuz zati ağırlıkları 5 ile 15 ton arasında değişen muhtelif demir silindirlerle, ağırlığı 40 ile 50 tona ulaşan lastik tekerlekli silindirlerle ve keçi ayaklı silindirlerle yapılır. Ancak muhtelif ağırlıklardaki dozerlerin malzemeyi tabakalar halinde sermelerinden sonra dolgu tabakası üzerinde yapacakları geçiş sayısına bağlı olarak da test dolguları yapılabilir.

Yarı geçirimli malzeme için;

		Tabaka Sıkıştırılmadan önce		
<u>Test No</u>	<u>sayısı</u>	<u>tabaka kalınlığı</u>	<u>su içeriği</u>	<u>Geçiş sayısı</u>
1	3	40 cm	Tabii Su muh.	8
2	2	50 cm	Tabii su muh.	8
3	2	60 cm	Nemlendirilmiş	8
4	Seçilmiş muhtelif			
5	Tabaka ve kalınlıklarda		Nemlendirilmiş	

Her tabaka için sıkıştırmadan önce ve sonra tabaka kalınlığı ölçülür ve oturmalar tespit edilir. Her tabakadan numuneler alınır sıkılık kontrolü yapılır. Sıkıştırma ekipmanının ve test dolgusunun yapımında kullanılan diğer ekipmanının detaylı tarifleri dolgu raporunda belirtilir. Örneğin sıkıştırma ekipmanının hızı 1 m/sn yi geçmemeli ve silindirlermede bindirme 50 cm kadar olacaktır gibi ... (Özenci, 1985)

Sıkıştırmadan sonra yapılacak deneyleri bazıları şunlardır. Test dolgusunun değişik bölgelerinden alınmış numunelerin yoğunluk deneyi test dolgusu üzerinde permeabilite deneyi, laboratuvar deneyleri, elek analizi, sıkıştırma deneyleri, permabilite deneyleri ve Los Angeles aşındırma deneyi

Geçirimsiz malzemeler için

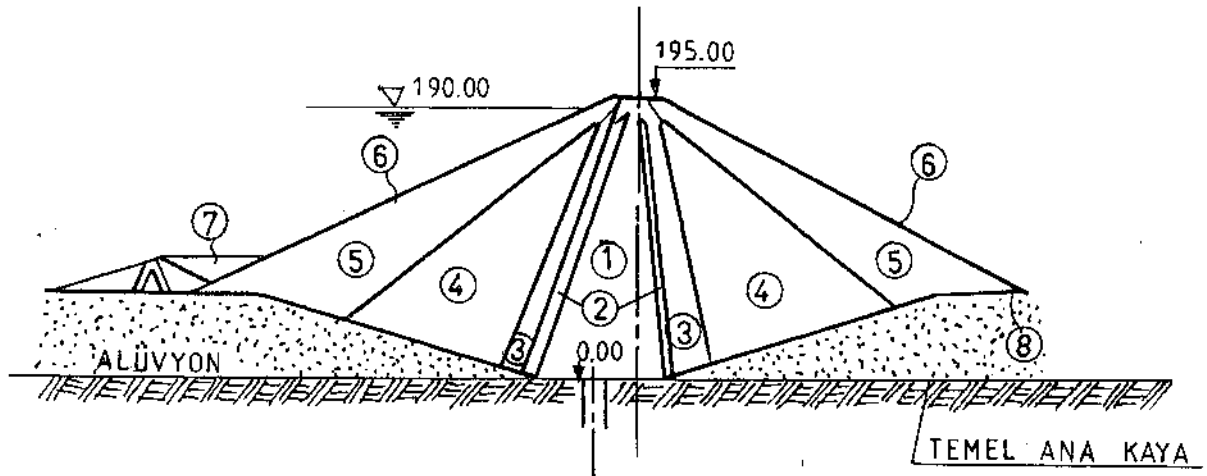
		Tabaka Sıkıştırılmadan önce		
<u>Test No</u>	<u>sayısı</u>	<u>tabaka kalınlığı</u>	<u>Su içeriği</u>	<u>Geçiş sayısı</u>
1	2	30 cm	+ Wopt	2-7
2	2	40 cm	+ Wopt	2-7
3	2	50 cm	+ Wopt	2-7
4	2	80 cm	+ Wopt + % 3	2-7
5	Muhtelif değerler seçilebilir			

Sıkıştırılmadan önce ve sonra tabaka kalınlıkları ölçülür ve oturmalar tespit edilir. Her tabakadan numuneler alınarak sıklık kontrolu yapılır. Sıkıştırma ekipmanının (silindir ve diğer iş makinelerinin) detaylı tarifleri test raporunda belirtilir.

Sıkıştırılmadan sonra yapılacak deneyleri ise şöyle sıralayabiliriz. Her tabaka için yoğunluk deneyi (yerinde), su muhtevası, Atterberg limitleri, Elek analizi (Hidrometrik analiz dahil), sıkıştırma deneyleri, permeabilite testleri (yerinde)

3.4. Kaya Dolgu Baraj Gövdesinin Teşkili

Bir baraj dolgusu çeşitli tiplerde dolgulardan meydana gelir. Bu dolgu tipleri ve projelerde belirtildikleri notasyonlarla şekil 3.1'de gösterilmiştir.



- | | |
|---|--------------|
| 1- Zonu geçirimsiz dolgular | 6- Riprap |
| 2- Zonu yarı geçirimli dolgular (ince filtre) | 7- Ara dolgu |
| 3- Zonu geçirimli dolgu (Kaba filtre) | 8- Alüvyon |
| 4- Zonu iç Kaya dolgu | |
| 5- Zonu dış kaya | |

3.1 Tipik kaya dolgu en kesiti

Bir barajda şekil 3.1 de gösterilen dolgu tiplerinin hepsi birden bulunabildiği gibi yalnız ikisi veya üçü de bulunabilir. Bu zonların teşkil edilmesinde dikkat edilecek hususlar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.4.1. Geçirimsiz dolgular

Bu dolgu isminden de anlaşılacağı gibi geçirimsiz malzemelerden (Permeabilite katsayısı 10^{-6} cm/sn veya daha düşük) meydana getirilen dolgulardır. Genellikle baraj en kesitinin orta kısmında yer alır.

Bu dolgunun teşkili için ariyetten veya kazı yerlerinden temin edilen malzeme dolgu sahasına tabakalar halinde serilir. İstenen rutubet derecesine kadar ıslatılır. Malzeme bazen de ariyetten istenenden daha rutubetli çıkar. Bu halde ya ariyet sahasında drenaj yapılır veya çıkan malzeme havalandırılır. Her ne şekilde olursa olsun serilmiş ve istenen rutubet derecesine kadar ıslatılmış olan malzeme, gerek malzeme bünyesi ve gerekse rutubet dağılışı bakımından üniform olmalıdır. Gerekli yerlerde bunu temin etmek için Harrow diski veya benzeri vasıtalarla karıştırılır.

Her bir tabaka şartnamelere uyan keçi ayağı veya vibrasyonlu silindirler ile sıkıştırılır. Ve bu sıkışma sonunda numune alınıp laboratuvar deneyleri ile su muhtevası ve kuru birim ağırlığı kontrol edilir. Sıkışma istenen özellikte değilse ilave geçiş yapılır.

İnşaa su muhtevasının (W_e), optimum su muhtevasından (W_{opt}), biraz daha fazla olması gerekir. Böylece boşluk suyu basıncının kayma mukavemetine etkisi daha az olur. (Tuna, 1985) İnşaat durumunda doygunluk derecesi takriben % 95 mertebesinde dir. Sıkıştırma basit proktor sıkıştırmasının % 95 ile % 100 ü kadar olmalıdır.

Tabakalar arasında iyi bir birleşim meydana getirmeli ve iyi bir karışım için maksimum dane çapı $d_{max}=80$ mm olması gerekir. İnce geçirimsiz çekirdeklerde, maksimum dane çapı geçirimsiz tabaka kalınlığının % 10 nunu geçmez.

Geçirimsizlik elemanının boyutlandırılmasında, zemin mekaniği, teknolojik şartlar, dane dağılımı ve boşluk büyüklüğünün yanında hidrolik eğim büyük önem taşır. Kohezyonlu zeminlerde meydana gelen akım her bir daneye kopma tesiri yapar. Bu nedenle zemin kopma mukavemeti önemli bir rol oynar ve dolayısıyla erozyon durumundaki kohezyonlu zeminin boyutlandırılması gerekmektedir.

Rehfeld (Tuna, 1985) çeşitli emniyet katsayılarının dikkate alınmasıyla aşağıdaki denklemi vermektedir. Buna göre kohezyonlu zeminlerin emniyet katsayıları; boşluk çapı d_p , kopma mukavemeti C_0 ve hidrolik gradyen i ile ilgili olarak aşağıdaki gibi tayin edilir.

$$n \geq 1$$

$$n = \frac{1}{4} \cdot \frac{C_0}{d_p \left(\gamma_1 \cdot \cos \beta + 1.1 \gamma_{su} \cdot J \right)} \quad 3.1$$

Böylece hidrolik eğim, geçirimsizlik elemanın geometrisi ve zeminin fiziki özellikleri arasındaki bağıntının tayin edilme imkanı doğmaktadır. Hidrolik eğim daha önceki tecrübelerden, kış tesirlerinden, barajın dahili konumu ve barajın önemi vasıtasıyla genel olarak $\bar{I}=1$ ile 5 arasında tayin edilmektedir.

Grischin (Tuna, 1985) b çekirdek elemanının genişliği h kabarma yüksekliğine bağlı olarak

$$b = (0.15 \sim 0.25) h \quad 3.2$$

filtre kullanmak şartıyla ince çekirdekler için

$$b = (0.30 \sim 0.33) h \quad 3.3$$

kalın çekirdekler için bağıntılarını vermektedir.

Bir çok durumlarda ince çekirdekli bir baraj ile iyi bir proje imkanı elde edilebilir. Yeterli miktarda geçirimli malzemenin mevcut olduğu fakat sınırlı miktarda geçirimsiz malzeme bulunduğu yerlerde projelerde ince çekirdekli tip baraj tercih edilir. Her iki meteryalin bol olduğu yerlerde ise ince çekirdekli baraj ile ekonomi veya yapı için daha basit bir sistem geliştirilebilir. Bunun için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

- Geçirimli malzemenin yerleştirilmesinin maliyeti, geçirimsiz malzemenin yerleştirilmesinden daha düşüktür.
- Dolgu hacmi ince çekirdekli barajda diğerlerinden daha küçük olabilir.
- İnşaa müddetinin uzun olması nedeniyle yağışlı bölgelerde kalın geçirimsiz zonlu barajların inşası mümkün olmadığı takdirde bu tür bir inşaat uygun olur.

3.4.2. Yarı geçirimli dolgular (ince filtreler)

Bu dolgu permeabilite katsayısı çekirdek malzemesininkinden büyük olan fakat geçirimli sayılmayan malzemelerden meydana gelir. Bu dolguların tabaka kalınlığı, yerleştirme rutubeti limitleri ve sıkıştırma vasıtası için kesin bir kural yoktur. Zira bu malzemelerin özellikleri bünyelerindeki ince

malzeme oranı ve karakteri ile geniş ölçüde değişir. Bu bakımdan dolgunun ilk günlerinde ve ariyet malzemesi karakterinde bariz değişiklikler vukuunda denemeler yapılır en uygun tabaka kalınlığı, su muhtevası ve sıkıştırma vasıtası tayin edilmelidir. Malzeme içerisinde tabaka kalınlığının $3/4$ ünden büyük çapta tane bulunmamalıdır.(Ural, 1985) Dolgu içerisinde daha büyük granülometreli kısımlar daha dışa gelecek şekilde derecelenme yapılmalıdır. Sıkıştırma işlemi tamamlanınca numune alınıp laboratuvar deneyleri ile kontrol edilir. Bu kontrollerde kullanılacak metodu sıkıştırmada kullanılan vasıta tayin eder. (Keçi ayağı ile sıkıştırılanlar proktor deneyi, pnömatik silindirlerle sıkıştırılanlar ise izafi kesafet deneyi ile kontrol edilir.)

3.4.3. Geçirimli dolgular (Kaba filtreler)

Bu dolgular serbest drenajlı, iri daneli malzemeden teşkil edilirler. Malzeme kalınlığı (projelerde aksi belirtilmediği takdirde) genellikle 30 cm olan tabakalar halinde serilip bol su ile sulanır ve paletli dozer veya şartnamelerdeki standartlara uyan lastik tekerlekli silindirlerle en az sekiz geçiş yapılmak suretiyle veya vibrasyonlu silindirlerle sıkıştırılır. Dikkat edilecek husus geçirimli dolguların sulanması sırasında komşu geçirimsiz zonun istenen rutubetin üstünde ıslanmamasıdır. Dolguda daha iri olan malzemeler daha dışa konarak bir derecelenme yapılması daha uygun bir çözümdür.(Ural, 1985)

Filtreler zonlu barajlarda geçirimli kısımlar ile geçirimsiz kısımlar arasında yerleştirilerek sızma sularını ve dahili erozyonu önler. Rezervuarda dolgunun boşluklarından sızan su zemin danelerine akım doğrultusunda bir sızma kuvveti tatbik eder. Tek tip dolguda sızma kuvveti ile danecikler hareket etmez. Çünkü, bitişik daneler diğer daneyi yerinde tutar. Zonlu barajlarda ise, su ince daneli materyalleri kaba daneli materyelin içine sürükler. Buna beraber teorik olarak kaba daneli zeminin içine doğru ince daneli zeminin yıkanma ihtimali vardır.

Filtrelerin boyutlandırılması için aşağıdaki kurallara riayet edilir.

3.4.3.1. Terzaghi'nin filtre kuralı

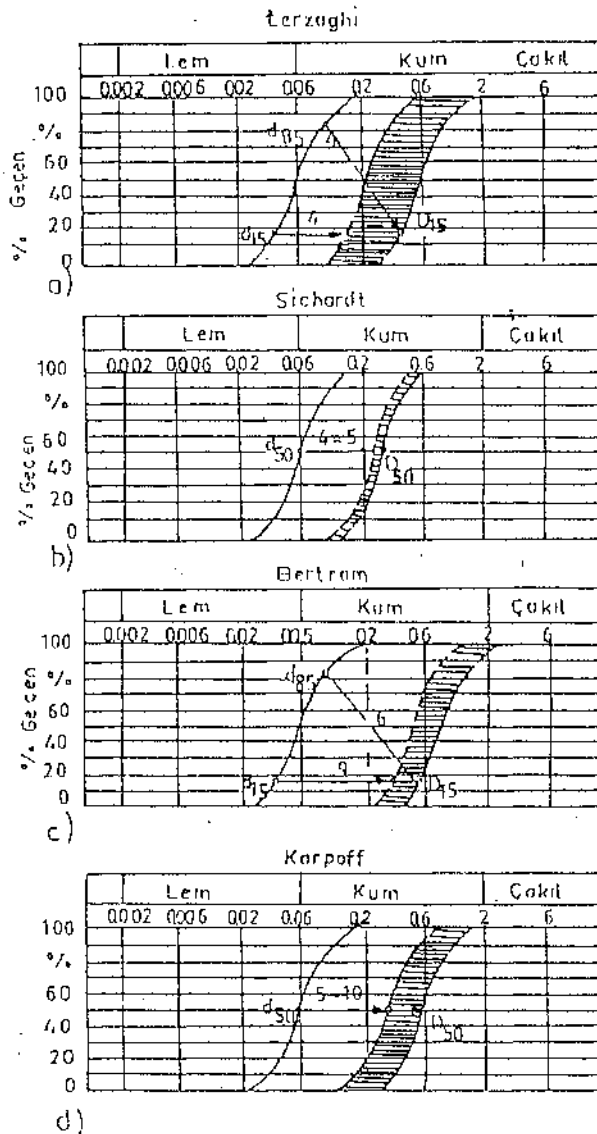
Pratikte sık sık kullanılan bu kural erozyon ve geçirgenlik dikkate alınarak elde edilmiştir. Bunun yanında koruyan ve korunan zeminin üniformalılığı $u > 2$ olmalı ve dane dağılım eğrileri mümkün olduğu kadar birbirine paralel olmalıdır. (Şekil 32.a)

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} \quad \frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 \quad \text{Geçirgenliği temin şartı} \quad \frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 \quad \text{Erozyon önleme şartı} \quad 3.4$$

D_{15} = Filtre malzemesinin % 15 ine tekabül eden çap (elek analizinden)

d_{85} = Korunan malzemenin % 85 ine tekabül eden çap

d_{15} = Korunan malzemenin % 15 ine tekabül eden çap



Şekil 3.2 Filtre Kuralları

3.4.3.2 Sichardt'a göre filtre kuralı

Tecrübelerle göre kuyularda teşkil edilen tabakalı filtrelerde ortalama zeminin dane çapı ile filtrenin ortalama çapı arasında 4 veya 5 misli oran vardır. Sichardt'ın yaptığı araştırmalara göre üniform d dane çaplı zemin ile D dane çaplı filtrelerde benzer kural mevcuttur. Filtre danelerinin konumuna göre ortalama dane çapları arasında 2.42 ile 6.46 gibi bir oran mevcuttur.

Gevşek konum için 2.42 ve sıkı konum için 6.46 kullanılmasını teklif etmiştir. Buradan ara değer olarak

$$A = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 4.5 \quad 3.5$$

alınabilir. Sichardt tabii zeminin şekli ve üniformsuzluk derecesini dikkate almamıştır.

3.4.3.3 Bertram'a göre filtre kuralı

Farklı dane şekillerindeki kum tabakalar üzerinde yaptığı deneyler ile aşağıdaki bağıntıları vermektedir.

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \leq 9 \quad \text{iki filtre tabakası arasındaki erozyonu önlemek için}$$

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 6 \quad 3.6$$

Tabakalı filtrelerde Karpoff eşit daneli zeminler için

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = 5 \sim 10 \quad 3.7$$

eşitliğini vermektedir. Karışık filtrelerde üniform olmayan zeminler için

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = 12 \sim 58 \quad \frac{D_{15}}{d_{15}} = 12 \sim 40 \quad 3.8$$

filtre malzemesinin % 5 inden fazlasının 0,07 mm den daha büyük olması gerekir.

Teorik olarak herbir filtre tabakasının kalınlığı çok ince olabilir. Bununla birlikte pratik hususlardan dolayı bu tabakaların birbirine karışmayacağı minimum bir kalınlıkta olması gerekir. Filtre tabakalarının kalınlığı kum için 15 cm, çakıl için 30 cm dir. Dren olarak kullanılan eğimli ve düşey filtrelerin kalınlığı homojen dolgular ve kaya dolgular için minimum 240 - 300 cm dir. Konstrüksiyon bakımından tercih edilen kalınlıklar ise 360 - 420 cm dir. Filtre malzemesinin az bulunduğu yerlerde düşey filtre kalınlığı 100 - 150 cm kalınlığında inşaa edilebilir.

3.4.4. Kaya dolgular

Kaya dolgu için kullanılacak malzeme bozulmamış ve sağlam bünyeli olmalı ve şistli bünyeye sahip olanlar kullanılmamalıdır. Dolgu kalınlığı 90 cm - 150 cm olan tabakalar halinde yayılmalı ve iri danelerin dışa gelmesine dikkat edilmelidir. Bazen yeni bir tabaka konmadan önce alttaki tabaka yüzünün basınçlı su ile yıkanması gerekebilir. (Ural, 1985)

Ocak ariyet ve kazılardan çıkan bozulmuş kayalarla, tane büyüklüğü ve evsafı bakımından kaya dolguya uymayan, malzemelerden bozulmuş kaya dolgular teşkil edilir. Bu malzemelerin içerisinde dolgunun bünyesine uymayan maddeler bulunmamalıdır. Malzemenin sıkışmış kalınlığı 30 ila 45 cm olan ve bünyesine göre sulanan tabakalar halinde serilip D8 paletli dozer veya lastik tekerlekli silindirlerle sıkıştırılmalıdır. Dolguda en büyük dane çapı tabaka kalınlığının 3/4 ünden fazla olmamalıdır. (Ural, 1985)

Kazılardan çıkan ve diğer zonlara uymayan fakat karakteristikleri pek düşük olmayan malzemelerin değerlendirilmesi için karışık malzeme dolgu zonları teşkil edilir. Bunların yerleştirilmesinde uyulması gereken tabaka kalınlığı, su muhtevası ve sıkıştırma aracı hakkında genel bir tarif yapılamaz. Bunlara yerinde yapılan incelemelerde karar verilir.

Kaya dolgu yatay tabakalar halinde konulacak ve tabakaların kalınlığı 90 cm yi geçmeyecektir. Kayaların el ile yerleştirilmesine gerek yoktur. Fakat dikkatli bir şekilde dökülecek ve üniform bir satıh elde edilecek şekilde tesviye edilecek ve bu suretle kaya dolgunun sağlam bir durumda olması ve kaya dolgu içerisinde hiçbir şekilde büyük boşluk olmaması temin edilecektir. Lüzum görüldüğü takdirde yeni tabaka konulmadan evvel mevcut kaya dolgu yüzeyi basınçlı su ile yıkanabilir.

3.4.5 Rip-rap

Menba şevini dalga tesirlerine karşı korumak üzere inşaa edilecek olan Rip-rapta kullanılacak kaya sert, kesif ve bozulmaya karşı mukavim olmalıdır. Kaya mükerrer olarak doygun hale gelme ve kuruma ve baraj bölgesinin maruz kaldığı ısı değişimi tesirleri karşısında parçalanmayan veya yumuşamayan özelliklerde olmalıdır. Kayanın kalitesi ve dayanıklılığı laboratuvar deneyleri ile tespit edilmelidir. İyi bir rip-rap aşağıdaki şartları yerine getirmelidir.

- Rip-rap'ı teşkil eden kaya parçaları dalga tesirleri ile yerlerinden oynatılmamalı

- Rip-rap'ın altındaki filtre malzemesi kayanın boşluklarından sürüklenip yıkanmamalıdır. Aynı zamanda filtre malzemesi de dolgu malzemesinin yıkanıp erozyona uğramasına mani olacak karakterde olmalıdır. (Ural, 1985)

Tablo 3.2 Rip-rap Malzemesinin kalınlığına bağlı olarak granülometrisi

Rip-rap tabakası kalınlığı (cm)	Çeşitli ağırlıktaki taşların dağılışı			
	Maksimum tane ağırlığı (kg)	En az % 25 nisbeti daha iri (kg)	% 45 - % 75 nispetinin intervali (kg)	En çok % 25'nin daha az olacağı tane ağırlığı ((kg)
60	680	275	13.5-275	13.5
70	1140	455	22.5-455	22.5
90	2270	910	45.5-910	45.5

Genellikle ortalama kaya boyutu(D50) şu değerler civarında olmalıdır.

Rip-rap tabakası kalınlığı (cm)	Ortalama tane boyutu (D50) cm
60	38
70	45
90	53

Rip-rap tabakasının inşası dolgu ile paralel yürütülür. Rip-rap tabakası dolgu tabakasından 1.00 m kadar alçak tutulmalı ve rip-rap

malzemesi doğrudan doğruya önceden hazırlanmış olan filtre tabakası üzerine yerleştirilmelidir. Rip-rap'ın şev üzerinde yukarıdan aşağıya doğru iteklenmesine asla izin verilmemelidir.

3.5. Beton Yüzlü Kaya Dolgu Baraj (CFRD)

Bu baraj tipi Türkiye'de pek az tanınmakta olup şimdiye kadar da uygulanmamıştır. Kaya dolgu barajın özel bir çeşidi olarak ele alınırsa en belirgin özelliği geçirimsiz kil çekirdekten arındırılmış buna karşılık menba yüzü betonarme kaplanmış olmasıdır. Bu baraj tipi kil çekirdekli kaya dolgu barajlara (ECD) nazaran önemli avantajlara sahiptir. CFRD sistemi çok yüksek barajlar için uygun olup, özellikle güçlü deprem sarsıntılarına karşı iyi bir temel emniyetine haizdir. Tabakalar halindeki kaya dolgunun inşasında her tabakanın tabanına daha büyük kayaların yerleştirilmesi daha uygundur. CFRD sisteminde kret oturmaları nispeten düşük olup ilk bir kaç yıldan sonra bu oturma miktarı hızlı bir şekilde azalmaktadır. CFRD dizaynlarında statik stabilite analizleri kullanılmaz. CFRD'nin üzerine dolu savakların inşası emniyetli bir şekilde uygulanabilir. (Sherard ve Cooke, 1987)

3.5.1. CFRD Sisteminin önemli kısımlar

3.5.1.1. Beton yüz plakası

CFRD sisteminin diğer barajlardan en önemli farklı kısmı menba yüzeydeki beton yüz plakasıdır. Bu plaka yardımıyla kaya dolguya su sızmaları engellenir ve sızmalardan meydana gelecek problemler nispeten önlenmiş olacaktır. Beton örtünün 28 günlük dizayn mukavemeti 210 kg/cm^2 den fazla olmalıdır. Beton örtünün teşkilinde özel beton ve agreg a malzeme kullanılmaktadır. Maksimum agreg a boyutu 38 mm dir.

Beton örtünün kalınlığı :

$$T(\text{metre}) = (h) (0.303) (60.96) + 0.305 \quad (3.9)$$

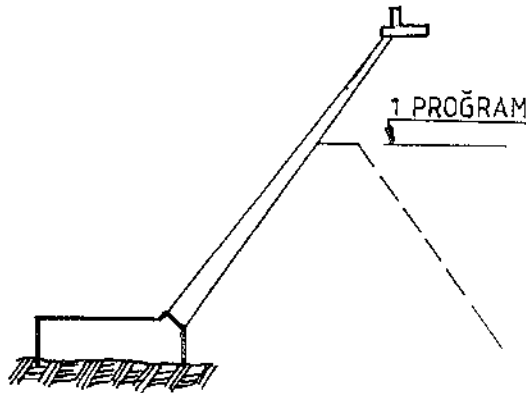
bağıntısından bulunur. Burada h(metre) kretten aşağıya olan düşey yüksekliktir. Fakat son zamanlarda formül revize edilerek daha az beton kalınlığı veren

$$t(\text{feet}) = 1 + (H) (M) \quad (3.10)$$

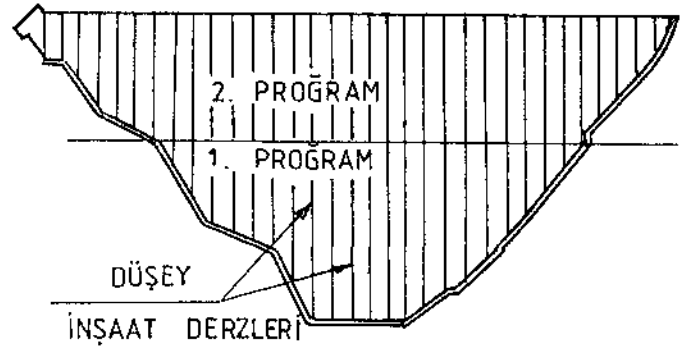
formülü kullanılmaktadır. Bu formülde $H(\text{feet})$ baraj yüksekliği, $M = 0.002$ ila 0.004 arasında değişen bir faktördür. (Karadayı, 1989)

1982 yılında tamamlanmış olan Murchinson barajı (94 m) beton yüz kalınlığı 0.30 m, 1986 yılında tamamlanan Piemon barajı (122 m) beton yüz plakası ise $0.30 \text{ m} + 0.001H$ kalınlığındadır. Günümüzde yüz plaka kalınlığının azaltılmasına doğru bir çalışma vardır. Modern beton teknolojisinin gelişmesi paralelinde kalınlık ta azalacaktır. Orta yükseklikteki (75-100 m) barajlarda bu değer 0.25 - 0.30 m arasındadır. (Sherard and Cooke, 1987)

Beton kaplamada kullanılan çelik donatının miktarı kaya dolgusunun çeşidine bağlı olarak her iki yönde de % 0.3 ila 0.5 arasında değişir. Beton dökümü düşey anolar halinde yapılır. Bu anoların genişliğine yöredeki ısı değişiklikleri göz önüne alınarak karar verilir. Yatay derzlerin yapılmasına izin verilmez.



KAPLAMA KESİTİ



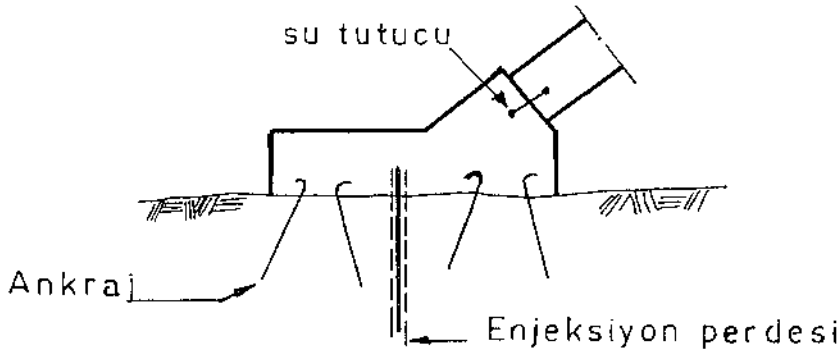
MENBADAN GENEL GÖRÜNÜM

Şekil 3.3 Tipik bir CFRD'nin kaplama kesiti ve menbadan genel görünüm

Düşey anoların arasına iki kat bakır veya plastik su tutucu konarak su kaçaklarına karşı emniyet faktörü artırılabilir. Beton yüz anoları kaya dolguya bulonlar (ancorlar) yardımıyla tesbit edilir. Çapları 20-35 mm arası olup aralıkları her bir yönde 1 ile 1.5 m arasında boyları ise 3 ila 5 metre arasındadır.

3.5.1.2 Topuk plakası

Genellikle sert aşınmayan enjeksiyona uygun kaya üzerine inşa edilir. Plaka beton yüzün hemen eteğine yapılır. Aynı zamanda cut-off görevini yapacak olan bu plakanın içerisine gerekirse bir galeri inşaa edilerek perde enjeksiyonu gerçekleştirilir. (Karadayı, 1989)



Şekil 3.4. Topuk Plakası

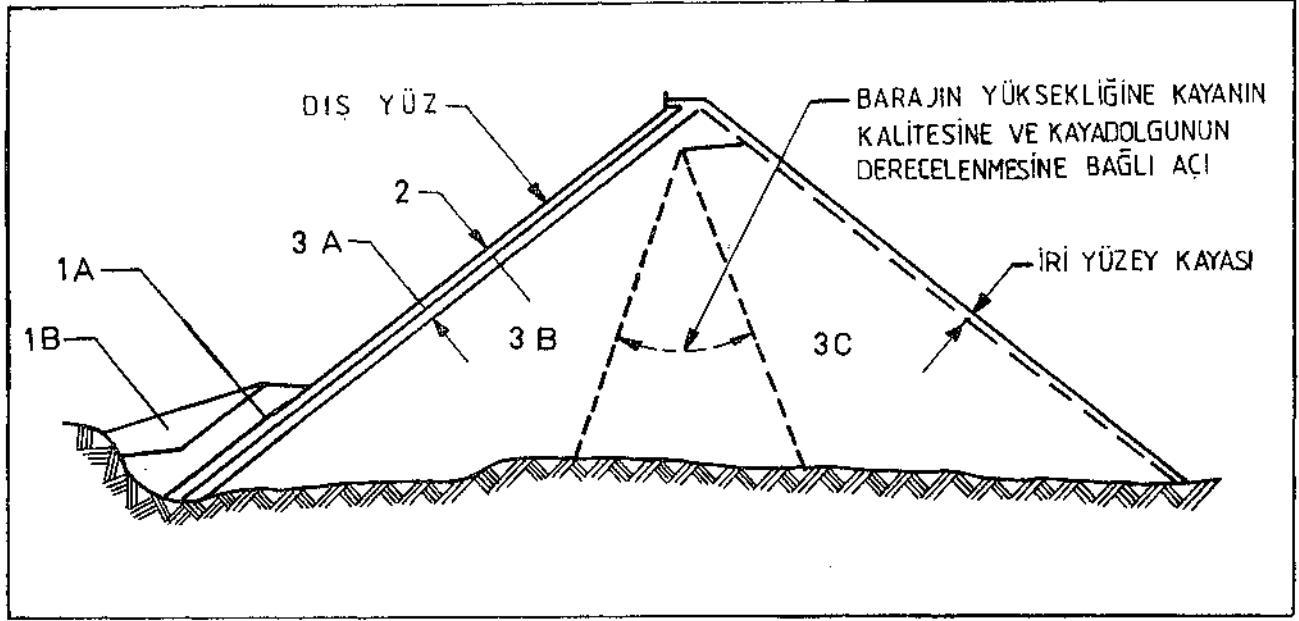
Topuk plakasının zayıf bölgelerinde gerekli kazı yapılarak, temel sağlamlaştırma işlemi yapılır. Buradaki amaç temeldeki burulanma veya erozyonun meydana gelme ihtimalini azaltmak veya ortadan kaldırmaktır.

Topuk plaka genişliği sert ve enjekte edilebilen kaya temel için su derinliğinin 1/20-1/25 i kadar yapılır. Minimum genişlik her ne kadar çok iyi kaya temel üzerine inşaa edilmiş 40 m den daha az yükseklikteki barajlar için iki metre alınabilirse de genelde 3 m dir. Zayıf kaya temeller için daha büyük genişlikler kullanılır. Orta yükseklikteki barajlarda uygun temellerde plaka kalınlığının 0.30-0.40 m olması yeterlidir. Topuk plakası kaya dolguda bir destek olmadan yüksek yatay su itmesine karşılık dirençli olmalıdır.

3.5.1.3. Kaya dolgu barajın bölgeleri

CFRD için etkin bir kesit beton yüzden mansaba kadar olan kısımdır. Temel genişliği yaklaşık olarak yüksekliğin 2.6 katından daha fazladır ve su yükünün tümü baraj ekseninden menbaya kadar kaya temel üzerinde oluşur. Bir çok barajlardaki ölçümler haznenin dolması ile mansap dış tabakasında çok küçük hareketlerin meydana geldiğini göstermektedir. Kayma faktörü

(Yatay hazne basıncına bölünmüş ağırlık) yaklaşık 7.5 tur. Barajın yarı mansabı altındaki temel hafriyatı aynı ölçüdeki ECRD (kil çekirdekli kaya dolgu baraj) oranla daha azdır. (Sherard and Cooke, 1987)



- | | |
|--|---------------------------------|
| 1- Geçirimsiz malzeme | 3 B Sıkışabilirliği düşük bölge |
| 2- İşlenmiş küçük boyutlu malzeme | 3 C Yüksek geçirimli bölge |
| 3A Ana kaya dolgu ile 2 bölge arasındaki Geçiş bölgesi | |

Şekil 3.5 Beton yüzü kaya dolgu barajın bölgeleri

Kaya dolgu baraj kesiti şekil 3.5 de görüldüğü gibi üç ana bölgeden ibarettir. 1. bölge geçirimsiz bölge, 2 bölge beton yüz altındaki geçiş bölgesi, 3 bölge ise ana kaya dolgu bölgesidir.

1. Bölge : Barajların beton yüzünün alt kısmına sıkıştırılmış geçirimsiz malzemenin bulunduğu bölgedir. Amaç su yükünün çok yüksek olduğu şev topuğunun üzerindeki beton yüzdeki derzlerde olacak sızmaları önlemektir. Pratik olarak bu geçirimsiz tabakanın kalınlığı şev topuğunu örtecek kalınlıktadır. Bu bölge 4 adet barajda uygulanmıştır. (Alto Anchicaya, Areia, Khaolem, Gaililas Dams) Bu bölgenin olmadığı barajlarda da fazla bir sorun çıkmamıştır. (Sherard and Cooke, 1987)

2. Bölge : İlk zamanlarda beton yüzün altındaki bu bölge beton yüzü desteklemek amacıyla kullanılmıştır. Bu bölge, filtre özelliğini kazanması ve beton yüzde kullanılan beton miktarını azaltmak için yaklaşık kum boyutlu danelerden oluşturulur. Bu yarı geçirimsiz tabakanın özelliği derzlerdeki su tutucuların özelliğine yakındır. Bu bölge 0.40 - 0.50 m kalınlığında olup % 40 kum taneli ince agregalı malzemenin vibratörlerle sıkıştırılmasıyla elde edilir. Fazla yağmurlu bölgelerde bölgenin eğik yüzeyi erozyondan korunmalıdır. Alta Anchicaya ve Salvagina barajlarında bir kaç saatlik şiddetli yağmur neticesinde ikinci bölgede 5-8 m derinliğe kadar yağmur olukları meydana gelmiştir. Kretteki oluşacak su birikintilerini 2. bölge üzerinden uzaklaştırmak veya bölgenin üzerini asfalt-kum karışımı bir geçirimsiz malzeme ile örtmek gerekir.

3. Bölge : İkinci bölgedeki geçirgenlik 3A, 3B, 3C bölgeleri boyunca devam eder. Bu olay özellikle beton yüz inşaa edilmeden önce dolgu inşası esnasında feyezan durumunda arzu edilir. Beton yüz inşasından sonraki su basmalarında dolgu etkilenmez. Ana kaya dolgu ve 2. bölge arasında bir geçiş bölgesi olan 3A bölgesi 2. bölge gibi aynı kalınlıkta (0.40-0.50 m) ve aynı zamanda sıkıştırılır ve yerleştirilir. Bölgenin amacı boşluk boyutlarını sınırlandırmak ve kaya dolgudaki büyük boşluklar içerisine 2. bölge malzemesinin sürüklenmesini engellemektir.

Su basıncının büyük kısmı menba bölgesinin dış tabakası boyunca temele aktarılması nedeniyle plaka çökmelerini azaltmak için 3B bölgesinin sıkıştırılabilirliğini düşük yapmak gerekir. 1 m kalınlığındaki yerleştirilmiş dolgunun 10 tonluk titreşimli silindirin 4 kez geçmesiyle iyi performans elde edilir. (Sherard and Cooke, 1987)

Mansaptaki 3 C bölgesi ihmal edilecek derecede su yüküne maruzdur. Onun sıkışabilirliğinin beton yüzün çökmesi üzerinde çok az bir etkisi vardır. 3C bölgesi genellikle 1.5-2 m gibi kalın tabakalar halinde yerleştirilir.

3.5.2. CFRD sisteminin dizayn ilkeleri

- İyi kalite kaya dolgu için gövde menba ve mansap şevleri olarak genellikle 1.3 / 1 ile 1.4 / 1 arasında bir değer kullanılır. Bu değerler zayıf kayalar için büyüyecektir. Ayrıca 110 metrenin üzerindeki baraj gövdelerinde şevler en az 1.4 / 1 yapılmalıdır. (Sherard and Cooke, 1987)

- İnşaa sürerken meydana gelecek bir taşkın beton kaplama olmaksızın tutulabilir. Bu sebeple, asgari bir risk sağlamak amacıyla barajın menba kısmı kurak mevsimde belirli bir yüksekliğe kadar inşaa edilir. Böylece dizaynda barajın iki programda yapılabileceği göz önüne alınmalıdır.

- Kaya dolgu gradasyonu iyi ayarlanmış şekilde zonlanmalı ve beton yüzden mansaba doğru kalınlığı artan rölatif olarak ince tabakalar halinde serilmelidir.

Projeci kaya dolgu kütesinin stabilitesinin normal işleme şartlarında problem olmadığını bilmelidir. Kaya dolgunun kütlesi su ile öyle ilişkidir ki kaymadan dolayı barajın tehlike göstermesi söz konusu değildir. Böylece ana ilke, beton yüzde çatlamların olmaması için kaya dolgunun oturmalarının ve akan suyun etkisiyle olabilecek çökmeleri engellemek amacıyla su kaçaklarının minimuma indirilmesi olmalıdır.

3.5.3 CFRD ile ECRD nin mukayesesi

CFRD ve ECRD için gerekli olan mahalli şartlarda önemli bir farklılık yoktur. Her iki baraj tipide iyi bir kaya temel gerektirir. Son yıllarda CFRD sisteminin seçildiği ve inşaa edildiği yerlerde dizayncılar ECRD alternatifi üzerinde de çalıştılar CFRD sistemi kil çekirdek malzemesinin elde edilemediği yerlerde doğal bir seçimdir. Buna rağmen ECRD için uygun bir malzeme temin edildiği durumda dahi CFRD sistemi ECRD sisteminden daha ekonomiktir. Kaya dolgu hacmi her iki tipte de yaklaşık olarak aynıdır. Kaya dolgu inşaatında değişik kısımların inşaaı bir birine bağımlı olmadığı ve iç taşıma yollarının daha kolay kullanımı CFRD sisteminin avantajıdır. ECRD sistemindeki filtre ve kil çekirdeğin toplam maliyeti CFRD sistemindeki beton yüzün maliyetinden devamlı daha büyüktür. CFRD sistemindeki başlıca çalışmalar (kaya yüzey işlemi, geçirimli tabaka ve beton perde) hem dolgudan bağımsız olması ve hemde işlenen kaya temel yüzeyi alanının daha az olması nedeniyle önemli miktarda ekonomik olur. Özellikle yağışlı bölgeler için CFRD sistemi daha ekonomik olur.

Barajın kendi maliyet avantajına ek olarak CFRD nin daha dik şev eğimi nedeniyle küçük taban genişliğine sahip olması; daha kısa tuneller, cebri borular ve daha küçük dolu savaklar gibi bir takım avantajlar sağlar.

Hem Khao Laem Dam ve Hem de Katmale Dam'da ECRD yerine CFRD nin uygulanmasıyla 1 yıl daha erken tamamlanabileceği yapılan hesaplamalar

sonucunda görülmüştür.(Sherard and Cooke, 1987) İnşaa gecikme riskleri CFRD içindaha azdır. Brezilya da CFRD nin hızla kabul edilmesi, ECRD den daha fazla olan bu avantajlarının tanıtılması sayesinde olmuştur. Brezilya'da 1980 yılında ilk modern CFRD sistemi uygulanarak yapılan foz Da Areia barajından önce hidroelektrik projeleri için ECRD ile inşaa edilmiş 10 dan fazla baraj vardı. 1980 yılından itibaren Brezilya'daki mühendisler ve elektrik şirketleri Areia barajının mali ve teknik avantajlarından etkilendiler. Hali hazırda Brezilya'da değişik inşaa safhalarında bir düzineden fazla CFRD sistemi ile inşaa edilen veya edilmiş baraj bulunmaktadır. Dünyada en çok sayıda baraja sahip olan Çin'de de CFRD sistemi yaygınlaşmaktadır.

3.5.4. CFRD sisteminde meydana gelen sızıntılar

CFRD sisteminde meydana gelen sızıntı, kil çekirdekli(ECRD) barajlarındaki sızıntılardan daha farklı bir anlama sahiptir. CFRD sisteminin mansap ayağında ortaya çıkan sızıntı; ya temel ve yamaçlarda oluşan çatlaklardan, ya da beton plakadaki çatlaklardan meydana gelir. Bunun için bir CFRD sisteminde ortaya çıkan sızıntı, diğer toprak dolgulu barajlarda ortaya çıkan sızıntılardan temel olarak farklı anlamdadır. ECRD veya bir toprak dolgulu barajda sızıntı ortaya çıktığı zaman, kil çekirdeğin erozyonu sebebiyle miktarının artması mümkündür. Meydana gelen sızıntıların barajın ömrüne etkisini önlemek için mutlaka sızıntıyı gidermek gerekir. Bu durumda ECRD ve toprak barajlar için sızıntı

- Barajın güvenliğine bir tehdit oluşturur
- Su için ekonomik bir kayıptır

CFRD için sızıntının anlamı tamamen farklıdır. Burada barajın güvenliği için bir tehdit konusu değildir. Sadece su kaybı ekonomik yönden bir problem oluşturur. Büyük nehirler üzerindeki rezervuarlarda saniyede bir kaç m³ suyun kaybolması pek önemli değildir. CFRD sistemindeki su kaybı belirli bir değere ulaştığı zaman sızıntıyı önlemek gerekir. Bu sonuç erozyonu mümkün olmayan kayalardan oluşan temel üzerine kurulmuş CFRD sistemleri için geçerlidir. Kötü temele haiz CFRD sisteminde oluşabilecek erozyon dikkate alınmalıdır.

3.5.5. Kaya dolgunun teşkili

1965- 1970 yılları arasında sıkıştırılmış kaya dolgular ilk kez barajlar için kullanılmaya başlanıldığı zaman kayayı boşaltıp ve yaymak için bir kaç değişik metod kullanılmıştı. Tabaka kalınlığına bağlı olarak maksimum kaya ebadı ile ilgili değişik fikirler o zaman ortaya çıktı. Son on yıldaki tecrübe bu noktalara yeni boyutlar kazandırdı. (Sherard and Cooke, 1987)

Hem CFRD hem de ECRD için kaya dolgunun yerleştirilmesinde tercih edilen metod, bulunan tabaka yüzeyine malzemenin kamyonlardan boşaltılması ve sonra ileriye doğru itilmesi şeklindedir. Bu metod tabakanın tabanından başlayarak yukarıya doğru büyük ebadlı kayalardan, daha küçük kayalara ve nihayet taş parçacıklarına kadar önemli bir segregasyonu meydana getirir. Burada esas avantaj boşaltılan kayaların itilmesi hareketi ile meydana getirilmiş olan üst yüzeyin nisbeten düzgün olmasıdır. Bu düzgünlük, yüzey hareketlerinden ve daha büyük kayaların arasında oluşan boşlukların, ocak taşlarıyla doldurulmasından meydana gelir. Tabakanın düzgün yüzeyi malzeme nakli ve sıkıştırma esnasında kullanılan araçların lastik aşınmalarını azaltır ve daha hızlı hareket etmelerini sağlar. Tabakalar halinde inşaa edilmiş kaya dolgunun permeabilitesi homojen halde inşaa edilen kaya dolgunun permeabilitesinden daha büyüktür. Tabakalaşma nedeniyle gövdedeki akışların yatay hareketleri dikey hareketlerinden daha kolay olacaktır. Düzgün tabaka yüzeyi elde edebilmek için maksimum kaya boyutu tabaka kalınlığı kadar olmalıdır. Bu maksimum kaya boyutunun dolgunun son sıkıştırılabilirliğine herhangi bir zararı yoktur.

3.5.6. Su akışına karşı kompakt kaya dolguda stabilite

Tercih edilen inşaa metodu kullanıldığında herbir tabakanın üst kısmı daha aşağı kısımlara nazaran daha küçük boyutlu kayalar ve daha fazla ocak taşları ihtiva eder. Bu metod ilk kez uygulandığı zaman bazı mühendisler büyük çökmeler ve kaya dolgunun iç yapısının kaybolması, büyük kayaların parçalanması ve küçük parçaların erozyona sebebiyet vermeleri, rezervuardaki seviye değişikliği esnasında beton yüzdeki bir sızıntıda veya inşaa esnasında taşmalardan ve kaya dolgu gözenekleri boyunca meydana gelebilecek su akışında endişe duydular. Günümüze kadar elde edilen bu tecrübeler bu metodlarla inşaa edilmiş barajlarda değişik nedenlerden dolayı

sızmalar olmakla birlikte bu sızmaların önemli bir çökmeye sebep olmadığını göstermektedir. Bu tecrübeler sıkıştırılmış kaya dolguda dolgu ağırlığını kayanın kaya ile temas sonucunda taşıyan bir yapı iskeletinin var olduğunu göstermektedir. İnşaa esnasında kayalar ağır titreşimli silindir ile sıkıştırılır. İskeleti oluşturan kayalar arasındaki temas bölgeleri küçüktür ve temas gerilmeleri kayanın sıkıştırma mukavemeti kadardır.(Sherard and Cooke, 1985)

Kayaların temas yüzeylerindeki bölgesinde yüksek sıkıştırma gerilmeleri, yüksek sürtünme direnci meydana getirerek iskelet içerisindeki bir parçanın komşuları ile hareket etme temayülü önlenir. Kayaları bir arada tutan bu sürtünme kuvveti boşluklardan akan suyun hidrolik sürüklenme kuvvetinden daha büyüktür. Ana yapı iskeletini oluşturan kayalara ek olarak kaya dolguda küçük boyutlu taşlar, boşluklar içerisinde bulunan toprak boyutlu parçacıklar gibi gerilimsiz malzemelerde vardır. Bu malzemeler, çökmeye sebebiyet vermeyen, gövdedeki sızan sular tarafından boşluklar içerisinde hareket ettirilebilir. Bu durum mansaptaki ortaya çıkan bulanık su tarafından ispatlanmış olur. Taşınan ince malzeme bittiğinde su berraklaşır.

3.5.7. CFRD sisteminde statik stabilite analizi

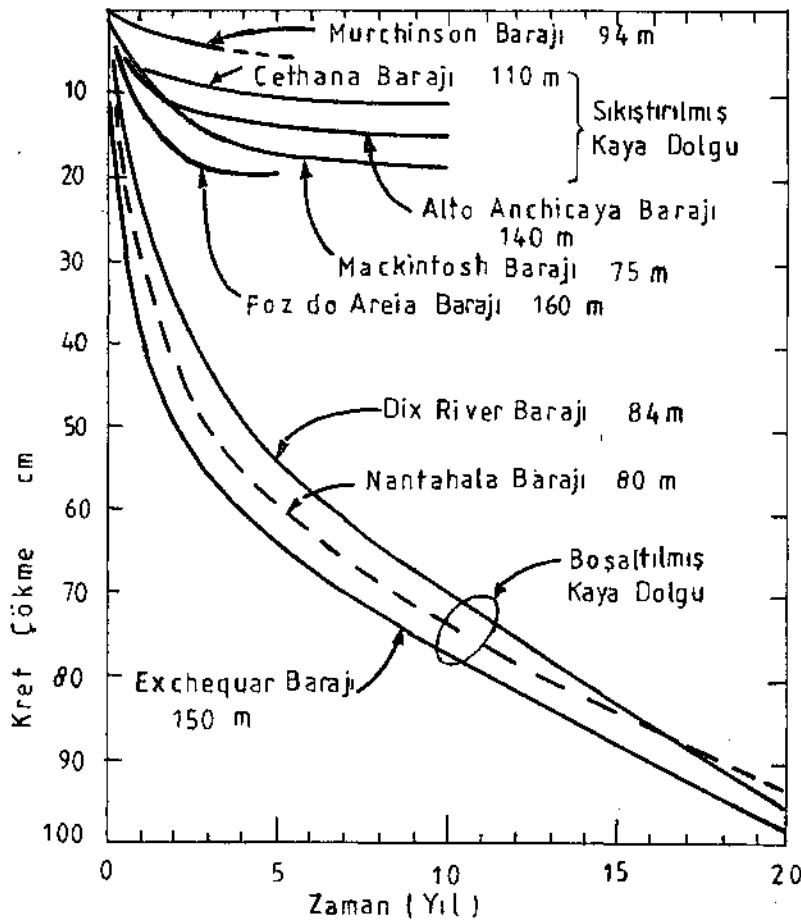
Son yıllarda inşaa edilen bir çok CFRD sistemi için dizayncılar statik stabilite analizi yapmadılar. Sıkıştırılmamış kayanın sevi hesaplanmadan kabaca 1.3 H(Yatay) :1 V(dikey) yaklaşık 37 ° olarak seçilmiştir. Bu 37° lik şev eğiminin mukavemeti sıkıştırılmış 45° veya daha fazla eğimdeki kaya dolgu mukavemeti ile eş değerdir. (Sherard and Cooke, 1985)

Stabilite analizleri genellikle toprak barajlar ve doğal eğimler için kullanılır. Stabilite analizi; kesme düzlemi üzerinde ele alınan deneysel bir kayma kütlesinin kayarak hareket edebileceğini gösterir. Bir emniyet faktörünü tanımlamak için kayma mukavemetinin kayma gerilmesine oranını belirlemek gerekir. Sağlam kaya temel üzerine kurulmuş ve gözeneklerinde su bulunmayan bir CFRD sisteminde, kaymanın meydana gelmediğini mevcut teoriler ve tecrübeler göstermektedir. Bunun için CFRD sistemlerine klasik stabilite analizi uygulanmaz. Buna örnek olarak 1966 yılından beri 9 adet CFRD sistemli inşaa etmiş ve halen 5 adet projelendirme safhasında bulunan Tasmina Hidroelektrik şirketi stabilite analizi yapmadı. (Sherard and Cooke, 1985)

Nadiren zayıf temeller üzerine inşa edilen CFRD sistemlerinde temel boyunca geçen bir kayma yüzeyinin olacağı dikkate alınmalıdır. Böyle durumlarda klasik stabilite analizi yapılmalıdır.

3.5.8. Kaya dolgularda çökme

Kaya dolguların sıkıştırılmasının çökmelerin azalmasına çok etkili olacağı bilinmektedir. Şekil 3.6'de sıkıştırılmış 5 CFRD ve sıkıştırılmamış kaya tipi 3 baraj için kret çökme ölçümleri gösterilmektedir. Kret çökmesinin oranı ve büyüklüğü hem vadinin şeklinden hemde kaya dolgunun özelliklerinden etkilenir. Dik ve dar vadilerde sıkıştırılmış kaya dolgu yamaçlar arasındaki oluşan kemerleşme ilk yıllardaki kret çökmesini azaltır. Malzemedeki sünmenin etkisiyle kemerlenmenin azalması nedeniyle kret çökmeleri azalan bir oranda devam eder. Bu olay dar vadilerde inşa edilen Bath Cethone ve Alto Anchicaya barajlarında gözlenmiştir. (Sherard and Cooke, 1985)



Şekil 3.6 Sıkıştırılmış ve boşaltılmış kaya dolgu barajların kret çökmeleri

Mesnetler arasında önemli bir kemerleşme hareketinin olmayacağı geniş bir vadi üzerinde inşaa edilen Areia barajında kret çökmeleri üç yıl sonra durmuştur. Şekil 3.6 da hem sıkıştırılmış hemde sıkıştırılmamış kaya dolgular için uzun süreli çökmelerdeki önemli farklılıkları göstermektedir.

Tablo 3.3 CFRD sisteminde inşaa edilmiş barajlarda ölçülen çökme miktarlarının zamana oranları

	Yüksek CFRD sistemleri için kret çökmesinin yaklaşık oranları (mm / yıl)		
	5 yıl sonra	10 yıl sonra	30 yıl sonra
Sıkıştırılmış kaya dolgu	3.5	1.5	0.6
Boşaltılmış kaya dolgu	4.5	3.0	1.0

3.5.9 Çok yüksek barajlarda CFRD kullanımı

CFRD sisteminde geçirgen olmayan kil çekirdek bulunmadığından borulanma oluşmayacağı için ECRD sisteminden daha avantajlıdır. Yüksek mukavemetli kaya temellere ihtiyaç duymadığından CFRD sistemi beton kemer barajlardan daha avantajlıdır. CFRD nin büyük kaya dolgu kütlesi stabil olmayan dik yamaçlara kuvvet ilemediği gibi olanları destekler.

Bütün bu faktörler ileride çok yüksek barajlar için CFRD sisteminin uygun bir proje olacağını gösterir. Hali hazırda dünyanın değişik bölgelerinde CFRD ile inşaa edilen 180-200 m yüksekliğinde 5 adet baraj mevcuttur. Genellikle mecbur olmadıkça baraj yüksekliğinin fazla olmamasına dikkat edilir. Son yıllarda CFRD sistemi ile inşaa edilen barajlara örnek olarak Cethana barajı (110 m), Alto Anhicaya (140 m), Foz do Areia Barajı (160 m) verilebilir. Son 15 yılda biriken tüm tecrübelerin sonucunda : Sıkıştırılmış CFRD nin tüm özelliklerinin çok iyi bilinmesi, çok daha yüksek barajların davranışlarının emniyetli bir şekilde bilinmesini sağlamıştır. Değişik vadi biçimlerinde çeşitli kaya tipleri üzerinde inşaa edilen bir çok barajlar için kret çökme oranı büyük olmamaktadır. 75-160 m yüksekliğindeki barajlar için 5 yıllık kret çökme miktarı (10-20 cm) dir

(Şekil 3.7) Aynı grup barajlar için 5 yıllık şev yüzeyinin deformasyonu yaklaşık 20-75 cm dir, veya kret çökmesinin 2 ila 4 katıdır. Gelecekte daha yüksek barajlar için çökmelerin önceden tahmin edilmesi, çökmenin baraj yüksekliğinin karesiyle orantılı olabileceği varsayımı üzerine yapılmaktadır. Bu varsayımdan gidilerek 160 m yüksekliğindeki Foz do Areia barajı aynı şekilde geniş vadide, aynı kaya dolgu inşaa metodu uygulanarak baraj yüksekliği 300 m olsaydı 300 m lik baraj için önceden tesbit edilen çökmek miktarı: $(300/160)^2 = 3.5$ misti $3.5 \times 20 = 70$ cm, yüzey defarmasyonu ise $3.5 \times 75 = 260$ cm olacaktı. (5 yıl sonunda.) (Sherard and Cooke) Bu varsayım sıkışabilirlik modülünün sabit olması kabul edilerek yapılır. Bu modül kaya dolgu üzerindeki silindir geçme sayısının çokluğu ile tabaka içerisindeki kayaların sıkıştırılması ve yerleştirilmesiyle artırılabilir. Mevcut baraj çökmeleri baz alınarak, 300 m yüksekliğinde CFRD sisteminde inşaa edilecek birbarajın 5 yıllık ölçülecek yüzey tabaka deformasyonu enterpolasyonla 1,3-3 m, kret çökmesi ise 0.5 ila 1 m arasında bulunabilir.

ECRD sistemi ile inşaa edilen barajların yüksekliklerindeki artışlar 1970 li yıllardan itibaren başladı. Bunlara örnek olarak 1975 yılında biten Meksikadaki Chioasen Barajı (260 m) ve Rusya'da yapılan Rogun Barajı (330 m) gösterilebilir.

3.5.10. Depreme karşı davranışı

CFRD Dolgusu nisbeten kuru olduğundan deprem sarsıntısı kaya dolgu içerisinde boşluk suyu basıncına sebebiyet vermez. CFRD temeli sert kayadan olduğundan dolayı depreme karşı mukavimdir. Dolgu, ince tabakalar halinde kesafetin artırılması için vibrasyonlu silindirlerle iyice sıkıştırılır. Depremler kısa ve güçlü peryotta olduğu zaman küçük deformasyonlara sebebiyet verebilir. CFRD sistemindeki baraj, deprem sonrasında da deprem öncesi kadar stabildir. Çok güçlü depremlerde beton yüz çatlayarak sızıntılar artar. Beton yüz altındaki küçük kaya bölgesi, çatlak boyunca olabilecek sızıntı miktarının, ana kaya dolguya kadar emniyetli bir şekilde kolayca geçirilmesi nedeniyle sızıntı ve çatlaklar baraj emniyetini tehdit etmez. Bu sebeplerden dolayı CFRD sistemi depreme karşı yüksek koruma özelliğine sahiptir. Depremlili veya depremsiz bölgelerde de aynı diyazn sistemi uygulanır. Son yıllarda CFRD sisteminin depreme karşı özelliği hakkında iki önemli çalışma olmuştur. Bu çalışmaların sonuçları arasında büyük bir fark

yoktur. Bu çalışmalarda sevi 1.3:1 olan bir modern CFRD nin çok güçlü deprem sarsıntılarında ciddi hasara uğramadan dayanabileceği sonucuna varılmaktadır. (Sherard and Cooke, 1985)

CFRD sisteminde inşaa edilen barajlarda depremin etkisi hususunda mevcut tecrübelerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yaklaşık 7.5 richter şiddetinde bir deprem merkezine yakın yerde inşaa edilen CFRD sistemli barajlarda kret çökmeleri 0.5-1 m gibi kabul edilebilen değerler arasındadır.

- Deformasyonların çoğunun barajın yüksekliğinin üst yarısında meydana geldiği bilinmektedir.

- Haznedeki suyun etkisi de dikkate alınarak yapılan hesaplama, rijit blok analizi ile hesaplanan deformasyon miktarından daha düşük deformasyon verir.

COGOTİ barajı günümüze kadar şiddetli yer sarsıntılarına maruz kalan barajlardan biridir. Sıkıştırılmamış CFRD ile inşaa edilmiş olan bu barajda 8.3 Richter şiddetinde meydana gelen depremde, deprem merkezine 89km uzakta olmasına rağmen ölçülen kret çökme miktarı yaklaşık 0.4 m dir. Baraj gövde yüksekliği 84 m olduğundan bu çökme miktarı yüksekliğin % 0.45 m tekabül etmektedir.

ECRD sistemi ile yapılan 5 adet baraj üzerinde deprem sonrası ölçülen kret çökmeleri baraj yüksekliğinin % 0.1 den daha az olduğunu göstermiştir.

Sıkıştırılmış CFRD sisteminin inşaattan sonraki kret çökmesi, benzer yükseklikteki ECRD ile inşaa edilen barajların kret çökmesiyle mukayese edildiğinde ECRD'nin dış tabakaları ile kil çekirdeği arasındaki yanıl basıncının konsolidasyon ile azalması nedeniyle ECRD nin kret çökmesi daha fazladır.

Yüksek ECRD nin gövde üst bölgesinin inşaat sonrasındaki çökmesi daha az sıkıştırılabilir menba ve mansap yüzdeki filtre tabakaları arasındaki geçirimsiz orta tabakanın yanıl deformasyonu nedeniyle CFRD sisteminin gövde üst çökmesinden daha büyüktür.

4- KAYA DOLGUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE İNCE MALZEMENİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

Kaya dolgular özellikle iki veya üç fazlı bir ortam olup, boşlukları dolduran kaya parçaları, hava ve suyun bir arada bulunmasından ibarettir. Yerçekimi etkileri ve su, diğer zeminlere nazaran dolgular üzerinde daha etkilidirler. 1960'dan sonra daneli malzemenin dokusu üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Özellikle bu malzemenin boyutları, dane yapısı, temas yüzeyleri sayısı ve diğer parametreler incelenmiştir (Hirschfeld ve Poulas, 1972). Ayrıca temas kuvvetlerinin dağılımı ve bunun daneler arasındaki oluşumu üzerine, ihtimaller hesabına dayanan bir tasarım modelinin geliştirilmesi için çalışmalarda bulunulmuştur. Teorik ve laboratuvar çalışmalarının tamamlanmamasına rağmen, dane kırılmasının anlaşılmasına bu çalışmalar yardımcı olmuş, zeminlerin diğer mekanik davranışlarının incelenmesinde farklı imkanların geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Üç eksenli basınç, üç eksenli deformasyon, düzlemsel şekil değiştirme ve bir boyutlu basınç deneyleri dolgu malzemeleri üzerinde yapılmış ve deneylerde elde edilmiş olan sonuçlar, uygulama esnasında mühendisler için faydalı olmuştur.

Günümüze kadar elde edilen tecrübeler tabakalar halinde sıkıştırılmış kaya dolgu barajlarda değişik nedenlerden dolayı sızmalar olmakla birlikte bu sızmaların önemli bir çökmeye sebep olmadığını göstermektedir. Bundan da anlaşılacağı üzere sıkıştırılmış kaya dolguda, dolgu ağırlığını kayanın kaya ile teması sonucunda taşıyan bir yapı iskeletinin var olduğunu göstermektedir. (Sherard and Cooke, 1967) Kaya parçaları arasındaki yüksek basınç gerilmeleri temas noktalarında yüksek sürtünme mukavemetleri meydana getirir. Böylece iskelet içindeki kaya parçası, kendisine komşu kayanın hareketine bağlı olarak hareket eder. Kaya dolgular yeterince sağlam olduklarında sıkışma gerilmeleri, mukavemet gerilmelerine ulaşmadan önce sürtünme mukavemetleri aşılarak danelerin hareketine sebep olmaktadır. Danelerin sürtünme mukavemetleri önemli ölçüde dane büyüklüğü, sağlamlığı ve dolgu içindeki yerine bağlıdır.

4.1. Dane Büyüklüğünün Tanımı

Kaya dolguda dane iriliği dane büyüklüğünün doğru olarak tarifini içermektedir. Elek analizinde, elekten geçen en büyük dantenin çapı, karesel

bir deliğin kenar boyutuna eşit olmaktadır. Bu büyüklük burada, elekten geçen yüzdeye ait nominal çap d_n olarak tariflenmiştir. Bunu takip eden diğer küçük delik büyüklüğünde elekte kalmaktadır. Eğer bir yüzdede bulunan bütün daneler küresel biçimde ve yaklaşık olarak aynı boyutta ise, bunlara ait nominal çap ortalama çaptan büyük olacaktır.

Elek analizine ait sonuçlar normal olarak her bir elekten geçen malzemenin ağırlık yüzdesine karşılık, elek açıklığının yan boyutunun logaritmesine göre bir eğri çizilmektedir. Buradan etkin dene çapı d^{10} uniformluk katsayısı C_u ve eğrilik katsayısı C_c nı hesaplamak mümkündür.

Çakıl ihtiva eden malzemelere yönelik direkt ölçümler, nominal çap d_n ile verilen bir yüzdeye ait ortalama dane büyüklüğü olan $\bar{d}$ arasında bazı farkların bulunduğunu göstermiştir. Bu farkların nedeni, danelerin küre olmasından ve bir yüzdede bulunan büyüklüklerinin sınırının, onu takip eden ikinci bir küçük eleğin büyüklüğüne bağımlı olmasından kaynaklanabilir. Her partiküle ait d çapı değerleri, yaklaşık olarak üç dik eksen doğrultusunda d_1 , d_2 , d_3 uzunluklarının aritmetik ortalaması olarak hesaplanmaktadır. $\bar{d}$ değeri d çaplarının ortalaması olup ölçülmüş olan d çaplarından bulunur. $\bar{d}$ nin geçerli olabilmesi için bir yüzdede yeterli sayıda danelerin alınması gerekmektedir. Bir daneyi saran ince bir mum tabakası yardımı ile danelerin dış yüzünün S alanı hesaplanabilmektedir. Tekil danelere ait V hacmi Arşimet dengesi ile ölçülebilmektedir.

$r_v = (6V/\bar{d}^3)$ danelere ait ortalama bir hacim değerini ihtiva etmekte olup, biçim faktörü olarak tanımlanmaktadır. Bu faktör verilen bir yüzde de bulunan danelerin ortalama hacminin çapı $\bar{d}$ olan bir küresel hacmine oranını göstermektedir.

4.2 Dane Konsantrasyonu

Dane konsantrasyonlarını belirlemek için aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır.

- Yüzeysel konsantrasyon n_s birim alanda bir düzlem içerisinde bulunan bu dane sayısının ortalama değerini göstermektedir.
- Hacimsel konsantrasyon n_v toplam hacmin birim değerlerinde bulunan ortalama dane sayısını göstermektedir.

Eğer zemin kütlesi homojen ise, n_s değeri bu kütleyi kesen her düzlem için aynı değeri almaktadır. Bu yüzey bir düzlem veya eğik bir yüzey olabilir. Ancak bu durum dane sayısının yeteri kadar büyük olması durumunda

gerçekçi bir kabuldur. n_s parametresi her dane için temas sayısını tahmin etmede kullanılmaktadır.

Eğer kütle kum veya iri malzemeden meydana geliyorsa, n_v ve n_s değerleri doğrudan ölçülebilir. Bu parametreler, (4.1) ve (4.2) denklemleri yardımıyla, ortalama dane büyüklüğünden ve r_v ile gösterilen biçim faktöründen de hesaplanabilir.

$$n_v = \frac{6V_s}{\pi r_v V_t} \cdot \frac{1}{d^3} \quad 4.1$$

$$n_s = n_v^{2/3} = \left(\frac{6V_s}{\pi r_v V_t} \right)^{2/3} \cdot \frac{1}{d^2} \quad 4.2$$

Bu bağıntılarda V_s/V_t değerleri birim hacimde bulunan katı maddelerin hacimini göstermektedir. Eğer zemin üniform olarak danelenmişse denklem (4.1) ve (4.2) n_v ve n_s değerlerinin doğrudan hesaplanmasında kullanılabilir. Diğer taraftan, geniş limitler arasında dağılmış dane büyüklüklerini içeren malzemeler için (4.1) ve (4.2) denklemleri uygulanmak istenirse, bu durumda numuneyi L yüzdelere bölmek gerekli olmaktadır. Bu takdirde her yüzdenin ortalama çapı $\bar{d}_k$ biçim faktörü r_{vk} ve katı maddelerin hacmi de V_{sk} ile gösterilebilir. Bu takdirde dane konsantrasyonları (4.3) ve (4.4) denklemleri ile bulunabilir.

$$n_v = \sum_{k=1}^L n_{vk} = \frac{6}{\pi} \sum_{k=1}^L \frac{V_{sk}}{r_{vk} V_t} \cdot \frac{1}{d^3} \quad 4.3$$

$$n_s = n_v^{2/3} \quad 4.4$$

Dane konsantrasyonu olan n_v ve n_s 'in hesabı için gerekli datanın elde edilmesi genellikle oldukça zaman alıcı ve ayrıca yorucu işlemleri içeren bir çalışmayı gerektirmektedir. Yukarıda verilmiş olan neticelere ait analizler, aşağıda verilmiş olan pratik işlemlerin uygulanması halinde oldukça hassas sonuçların alınabileceğini göstermiştir. (Hirschfeld ve Poulos, 1972)

1- Elde bulunan elek setleri ile zemine ait dane dağılımının tayini, birbirini takip eden elek büyüklükleri arasındaki farkı minimum duruma getirecek şekilde yapılmalıdır.

2- Ortalama çap $\bar{d}_k$ yerine her k yüzdesine ait d_{nk} nominal çapı

kullanılmalıdır.

3- Eğer gerekirse bir mercek yardımıyla yaklaşık $d3/\bar{d}$ oranını ve her yüzdeye ait dane biçimini araştırmalı ve rvk biçim faktörü saptanır

4- Her yüzdedeki danelere ait özgül ağırlıklar bulunmalı, buradan da Vsk hacmi saptanmalıdır.

5- Her yüzde için denklem (4.1) in uygulanması ile nvk değeri elde edilmelidir. Zemine ait hacimsel dane konsantrasyonu n_v 'nin elde edilmesi için her yüzdeye ait nvk değerlerinin toplanması ve buradan da denklem (4.4) kullanarak n_s değerinin hesaplanması gerekmektedir.

Bir numunenin içerisinde bulunan çeşitli dane yüzdeliklerinin sayısı genel olarak nominal çap d_{nk} ve bunun sonucu olarak da n_v ve n_s değerlerini etkilemektedir. 20 tane dane yüzdesinin kullanılması n_v ve n_s değerlerinin elde edilmesi için yeterlidir.

4.3 Dane Temas Sayısı

Bir zemindeki temas kuvvetlerini elde etmek için, her daneye ait temas sayısının yani N_c değerinin bilinmesi gerekmektedir. Üniformluluk, dane biçimi, boşluk oranı ve danelerin dağılım şekilleri göz önüne alınacak olursa, mevcut olan çok sayıdaki değişkenler ve parametreler nedeni ile N_c değerinin hesap yoluyla saptanması rasyonel bir işlem olmamaktadır. Ancak idealize edilmiş durumlarda mümkün olabilmektedir. Çakıl ihtiva eden malzemelerde N_c değerinin saptanması için aşağıda anlatılan yöntem uygulanmaktadır. Çakıl örnekler verilen bir boşluk oranında, silindirik bir kap içerisinde uygun boyutlarda yerleştirilerek danelerin sayısı 150-3500 arasında seçilmekte ve böylelikle yeterli sayıda ihtivasi sağlamaktadır. Daneler arasındaki temas yüzeylerini saptamak için numune tabandan yukarı doğru bir boyalı su ile yıkanmaktadır. Boyalar süzülüp akıtıldıktan sonra çakıl numuneleri 24 saat kurumaya bırakılarak örnek içindeki her temas yüzeyi, her dane için ayrı ayrı belirlenip kaydedilmektedir.

Üniform ve gevşek durumdaki bir numune üzerinde yapılan deneylerde $\bar{N}_c$ nin ortalama değeri 5.9 ve 6.4 arasında bulunmakta ve her bir dane için dane temas sayısı 4 ile 10 arasında değişmektedir. Sıkışık malzeme için ise $\bar{N}_c$ 'nin dağılımı birbirine benzer ve $\bar{N}_c$ 7.1 ile 8.3 arasında değişmektedir. Bunun yanında herbir dane için temas sayısı 4 ile 13 limitleri arasında bulunmaktadır.

Bu limitler özellikle, daneli malzemenin dağılımı ve davranışı hakkında mevcut olan problemlerin içeriğini istatistik olarak göstermede ilginç olmaktadır. Bunun yanında, eşit çaplı, küresel ve düzgün danelerden meydana gelen numunelerde, her bir danelenin temas sayısı aynı olmaktadır. Bunun sonucu olarak da temas yüzeylerindeki kuvvetlerin şiddeti de aynı değeri almakta ve sabit olmakta, bu kuvvetlerin yönü de malzemenin konum şekline göre elde edilebilmektedir. Gerçek zeminlerde, temas kuvvetleri sabit olmayıp, bunların yönleri de rastgele bir şekilde değişmektedir. Çünkü böyle bir durumda daneler küresel olmayıp, büyüklüklerinin dağılımı da nadiren uniform olmaktadır. $\bar{N}$ ortalama değerleri, karışımlar için, genellikle küçük danelere bağımlı olmaktadır. Çünkü küçük danelerin sayısı büyük olanlara nazaran daha fazla olmaktadır.

4.4. Yapısal Boşluk Oranı

Bir zeminde dane iskeletini kısmen belirleyen parametreler, zemin mekaniğinde kullanılan (e) boşluk oranı, (n) porozite ve (q) zemin konsantrasyonu gibi değerlerdir. Bunlar aşağıdaki bağıntılar ile tanımlanmaktadır.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad 4.5$$

$$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{e}{1+e} \quad 4.6$$

$$q = \frac{V_s}{V_t} = \frac{1}{1+e} = 1-n \quad 4.7$$

Burada V_v boşluk hacmi, V_s zemin hacmi ve V_t toplam hacimdir. Zemin konsantrasyonu olan q ile daha önce tanımlanmış olan n_s ve n_v dane konsantrasyonları arasında fark bulunmaktadır.

Uygulamalı mekanikte, boşluk oranları, yaklaşık olarak zeminin çökmesi ve mukavemet karakteristikleri ile bağıntılı bulunmaktadır. Fakat bu bağıntının kullanılmasında sınırlar getirilmiş olup, bu bağıntı dane dağılımını gerçekçi olarak yansıtmamaktadır.

D_r ile gösterilen, rölatif sıkılık katsayısı, ayrıca bir dane indeksi olup, kaya dolgunun bazı özellikleri ile bağıntılı olmaktadır. Bu değer boşluk oranı

olan e_L ve e_D 'ye bağı olarak (4.8) denklemiyle belirtilmektedir. e_L ve e_D değerleri, laboratuvarında elde edilebilen ve en gevşek ve sıkı durumdaki boşluk oranlarıdır.

$$D_r = \frac{e_L - e}{e_L - e_D} \quad 4.8$$

Burada e numunenin boşluk oranıdır.

(4.5), (4.6), (4.7) denklemlerinde, aktif olan ve olmayan daneler arasında bir ayırım yapılmamıştır. Aktif olmayan daneler, büyük daneler arasındaki boşlukları doldurmaktadır. Bunlar herhangi bir gerilmeye maruz değillerdir. Aktif olmayan danelerin yüzdesi derecelenmeye, istiflenmeye boşluk oranına ve gerilme düzeyine bağlıdır. (Sherard, J.L. ve Woodward R.J.1963)

Yapısal boşluk oranı önemli bir parametre olup, sadece aktif olan daneler gerilme deformasyonlarını ve mukavemet karakteristikliklerini etkilemektedir. Ayrıca aktif olmayan danelerin mevcudiyeti n_s , n_v ve N_{ck} gibi parametrelerin de etkinliğini azaltmaktadır.

4.5. Kaya Dolgunun Gradasyonu ve İnce Malzeme Oranı

İdeal kaya dolgu malzemesi, iyi derecelenmiş çakıl-kum karışımıdır. (Terzaghi, 1960). Bir kaya dolgu barajın sıkıştırılmış geçirimli bölgeleri için ideal malzeme 0.2 mm'den daha küçük danelerin % 10 dan daha az bulunduğu, max büyüklüğün 20 cm ile 30 cm arasında değiştiği ve 15 veya daha büyük bir üniformluluk katsayısına sahip malzemelerdir. İlave olarak, kaya daneleri oldukça yüksek temas kuvvetlerine karşı koyabilmelidirler. Bu şartlar, düşük gerilme düzeylerine maruz kalan kaya dolgular veya rip-raplar için zorunlu değildir. Bu sayılan özellikleri bir araya getiren bir kaya dolguyu ekonomik olarak elde etmek her zaman kolay bir iş değildir. Örneğin bir taş ocağında tavsiye edilenden daha büyük kaya parçalarını ihtiva eden malzemeler çıkabilir. Bir barajın oldukça yüksek gerilmeli bölgelerinde daha büyük danelerin gerekli olduğu sonucu, etkili çap değiştiği zaman, üniformluluk katsayısının sabit kaldığı üç eksenli deneylerin neticesine dayanarak tahmin edilmiştir. (Hirschfeld ve Poulos, 1972) Aynı değerdeki C_u için, dane büyüklüğü artarken, kayma mukavemeti azalmaktadır.

Çok sert kaya formasyonları için 2,5 cm'den küçük parçaların oranı %

30'dan az olmalıdır. Kullanılan kaya parçalarının büyüklüğü 10-15 cm olduğu takdirde, yüksek kayma mukavemetine sahip mükemmel sıkışmış dolgular teşkil edilmektedir. (Amaya ve Marulanda, 1985). Çakıl ve kaya dolgu malzemelerde, dane çapı büyüdükçe, yüksek normal gerilmeler danelerin kırılmalarına sebep olacak derecede artar. Bu durumda kayma direnci açısı, normal gerilmeler arttıkça düşmektedir. (Ural, 1985)

Genel bir kaidе olarak herhangi bir sert ocak malzemesinin % 20'si veya daha azını 4 nolu elekten geçen, 9.8 mm'den daha küçük çaplılar, % 10'unu da 200 nolu elekten geçen malzeme oluşturur.

Kaya parçaları üzerinde yapışık halde, ayrılmış veya ufalanmış kısımlara rastlanmaktadır. Yıkama yapılmadığı takdirde bunların hepsi kaya bloklarının birbiriyle direkt temaslarını önlemekte ve ileride bunlar sıkışarak veya su akımıyla yıkanarak dolgunun tasmanına sebep olmaktadır. Yıkama işlemini dolgunun teşkili sırasında yapmakla ilerideki tasman önlenmekte, başka bir deyişle kayanın sıkışmasını temin etmektir.

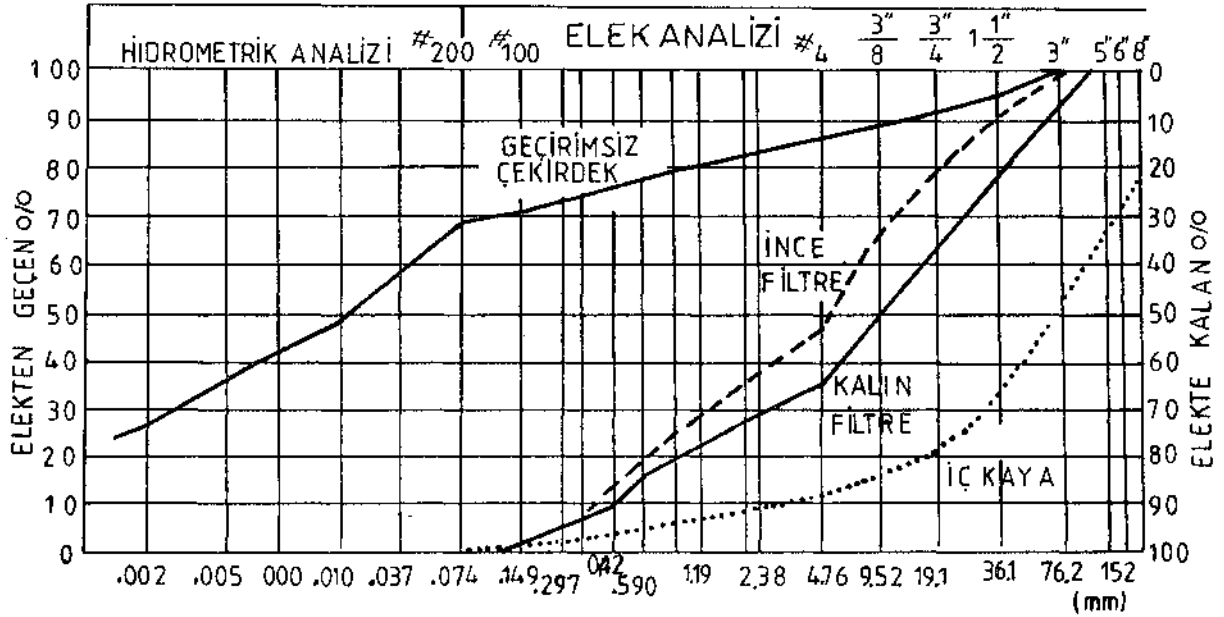
İnşaa esnasında, izgaralar vasıtasıyla kum büyüklüğündeki malzemelerin ve küçük taşların iri kayalardan ayrılmasının iki avantajı vardır. Birincisi, 0.60 cm'den küçük ince malzemeler giderilmezse bunlar sıkışmış olan tabakaların yüzeyinde kalmakta, böylece silindirme işleminin etkisini azaltmakta ve iki tabaka arasındaki bağlantıya engel olmaktadır. İkincisi izgaralama işlemine tabii tutulan malzeme, barajın kaya dolgu ve çekirdek kısmı arasındaki zonlarda geçiş malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Eski bir çalışmada Bertram(1963), verilen herhangi bir kalınlıktaki tabakaya yerleştirilebilecek maksimum kaya büyüklüğünün tayinine ait fikrini açıklamıştır. Test dolgusu yapılmasının amacı önceleri, maksimum kaya büyüklüğü ile tabaka kalınlığı arasında bir bağıntı kurmaktır. Şimdi ise yapılan deneylerin amacı, taş ocağından çıkarılan kayaların kabul edilebilir bir sınıflandırma içinde ve yeteri kadar sağlam olup olmadığının araştırılmasıdır. Test dolgularında kullanılacak kayalar, kaya dolgunun iç kısımlarında 43-60 cm kalınlığında, en dışta ise maksimum 90 cm kalınlığında uygulanmaktadır. (Öztürk, 1991)

Tabakalar halindeki kaya dolgunun inşasında her tabakanın tabanına daha büyük kayaların yerleştirilmesi daha uygundur. Böylece her tabakada alttan yukarıya doğru bir derecelenme oluşur, tabakada boşluk oranı azalır ve tabakanın yüzeyinde nispeten bir düzgün satıh elde edilir.

4.5.1. Kaya dolgu zonlarının granülometrisi

Malzemenin elek analizi, elekler yardımı ile tesbit edilmektedir. 20 cm'den daha büyük parçalar tek tek ölçülür. 2,5 cm'lik elekten geçen malzemenin derecelenmesini elde etmek için titreşimli elek kullanılmaktadır.

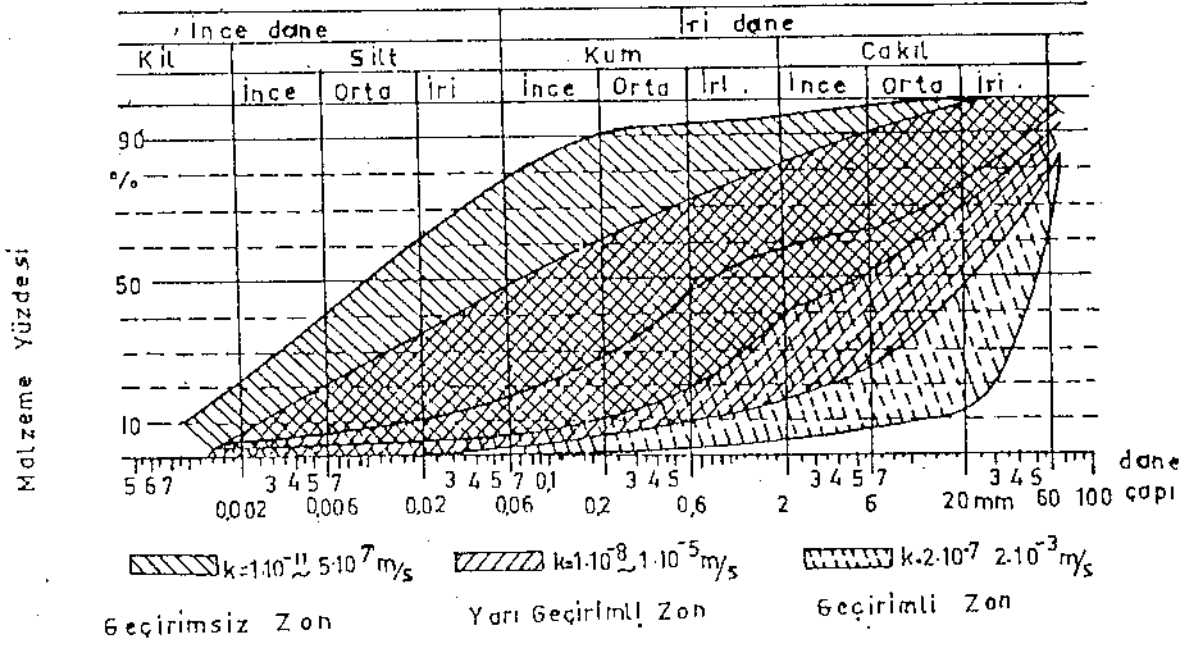


Şekil 4.1 Altinkaya Barajı Dolgu Zonlarının Granülometrisi

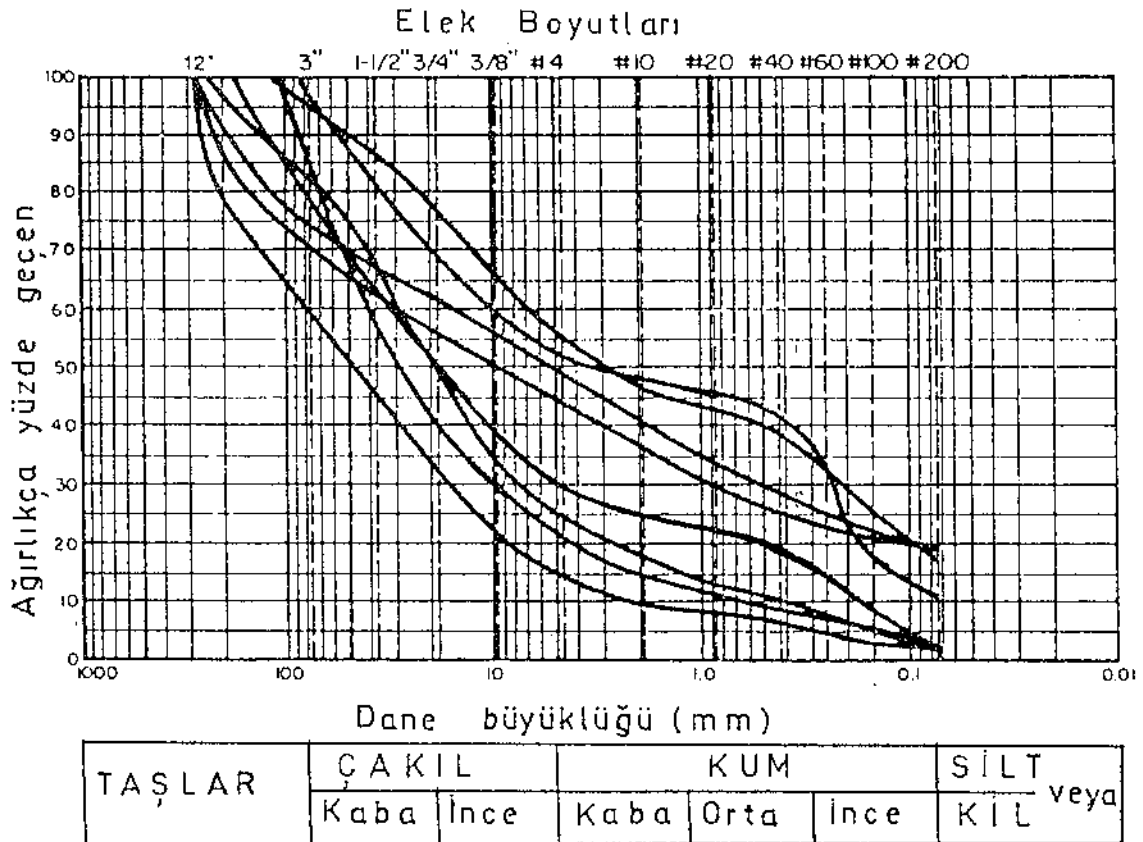
Dolguda kaba filtre, iç ve dış kaya zonlarının inşaatı sırasında Kaba filtrenin incesi, ince filtre tarafına kabası iç kaya tarafına, iç kayanın incesi kaba filtre tarafına, kabası dış kaya tarafına, gelecek şekilde yerleştirilmesine özen gösterilmekte bu surette zonlar arasındaki geçiş ve granülometrik uyum daha iyi sağlanmaktadır. (Basmacı, 1985)

Cougar Barajında ve Carter Barajı'nda test edilmiş kayalara ait tipik elek analizi eğrileri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Cougar barajındaki malzemeye ait elek analizi eğrileri 45 cm ve 60 cm'lik tabakalardan elde edilmiştir. Carters barajı içinse örnekler, 90 cm'lik tabakalardan elde edilmiştir. Her iki barajda da taş ocağından elde edilen kayalar direkt olarak, işlenmeksizin baraja yerleştirilmiştir. Cougar Barajındaki kayalar bazalt, Carters Barajındakiler ise kuartzdır.

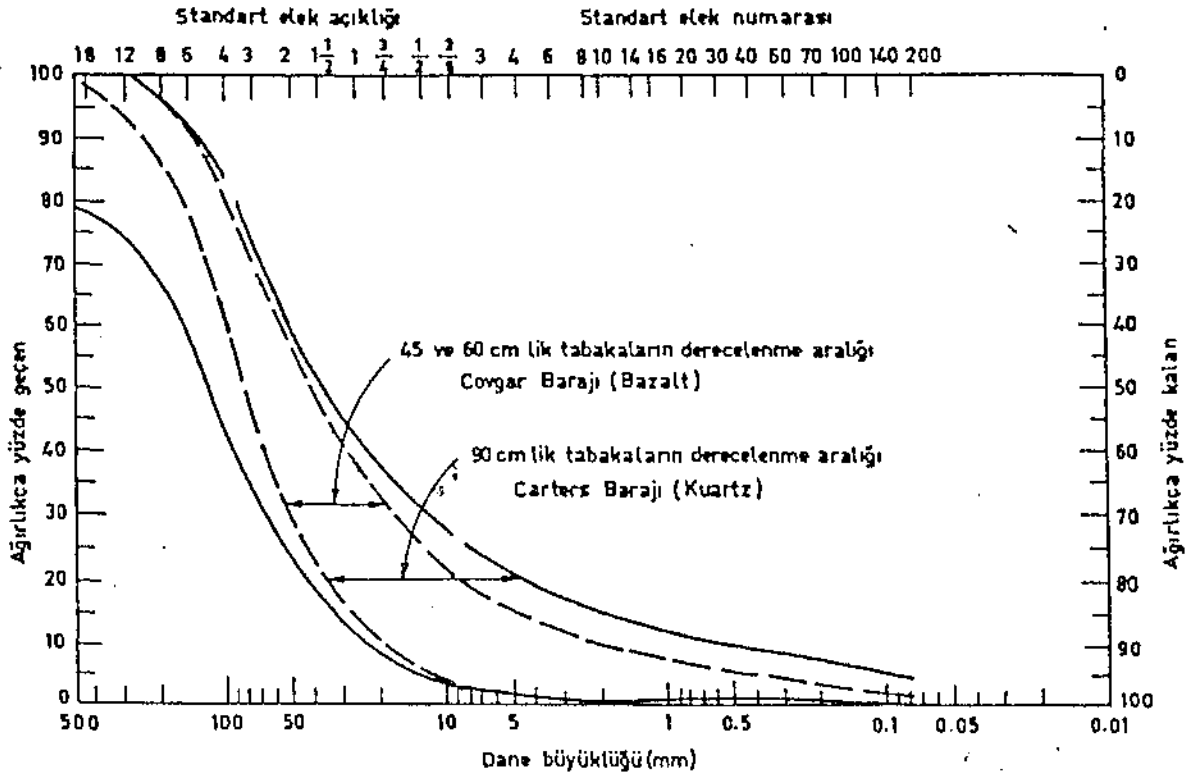
Kaya dolgu malzemelerde elek analizi ve arazi sıkılık testlerini gerçekleştirmek için gerekli zamanın uzun olması yüzünden bu testler, çekirdek malzemesinin sıkılık kontrolüne ait testler kadar sık yapılmamaktadır.



Şekil 4.2. Amerikan dolgu barajlarında kullanılan dolgu malzemesinin dane dağılımı



Şekil 4.3. Colorado eyaletinde inşa edilen test dolgusunun granülometrisi



Şekil 4.4. Cougar ve Carters barajlarına ait kaya dolgu derecelenmesi

4.6. İnce Malzemenin Düşey Taşıma Gücüne Etkisi

Kaya dolgunun serbest basınç testi ile elde edilen basınç mukavemet sınırları en az $100-200 \text{ kg/cm}^2$ ve en yüksek 2500 kg/cm^2 olmalıdır. Bu sınırlar genellikle $500-1500 \text{ kg/cm}^2$ arasında tutulmaktadır. Genel bir kaide olarak serbest basınç mukavemet değeri 300 veya daha fazla ise yeterli miktarda sert kayadır. Ayrıca kullanılabilir bir alt sınırdaki basınç mukavemetine haiz kayaların bir çok avantajları vardır. Bu avantajlar, taş ocaklarındaki delme ve patlatma maliyetlerinin daha az olması ve sıkıştırma ve taşımalarda lastik aşınmalarının azalmasıdır. (Üzençi, 1985)

Bu araştırmada kaya dolguların mekanik özellikleri üzerinde bilgi edinilmiş ve test dolgularında etkilenecek laboratuvarında model dolgular teşkil edilmiştir. Bu model dolgular üzerinde yüklemeler yapılarak ince malzemenin düşey taşıma gücüne etkisi incelenmiştir.

Kaya dolgudaki dane çapı ve düşey taşıma kapasitesi arasındaki ilişki ile ilgili bir çalışma yapılmış olup, basınç $\sigma_G(t/m^2)$, dane büyüklüğü $d(cm)$ ve şev eğimi n_1 ile ifade edildiğinden

$$\sigma_G = 1.75d + 33(n_1 - 1.5) \quad (4.9)$$

bağıntısının var olduğu görülmüştür. (Öztürk.1991)

Kaya dolguda büyük danelerin arasını dolduran aktif olmayan daneler mevcuttur. Bunlar herhangi bir gerilmeye maruz değildir. Aktif olmayan danelerin yüzdesi derecelenmeye, boşluk oranına ve gerilme düzeyine bağlıdır.

Kaya dolgu içerisinde ince malzemenin miktarını sınırlamak gerekir. Her ne kadar inşaa sırasında ızgaralardan geçirilen malzeme kullanılıyorsa da yükleme, boşaltma ve serme, sıkıştırma esnasında parçalanmalardan ince malzemeler oluşur. Bu oranı minimum tutmakta fayda vardır.

Genel bir kaidе olarak dolgu malzemesinin, % 20 si veya daha azını 4 nolu elekten geçen 4.76 mm'den daha küçük çaplılar, % 10'nun 200 nolu elekten geçen malzeme oluşturur.

Sabit bir şev eğiminde dolgu kalıbı içerisinde teşkil edilen model dolgulara dolgu sevi üst topuğunda yük uygulanarak dolguların düşey taşıma güçleri bulunmuştur. Dolgu malzemesindeki, ince malzemelerin oranları ve çapları değiştirilerek deneyler tekrarlanmış ve dolguyu meydana getiren malzemenin dane çapı ve içindeki ince malzeme çapı ve oranına göre taşıma kapasiteleri bulunmuştur.

Deneylere ince malzeme oranlarının artması ve malzeme çaplarının küçülmesi ile taşıma gücünün Lineer bir şekilde azalmasını gösterinceye kadar devam edilmiştir.

4.6.1. Deneylerin yapılması

4.6.1.1. Deneyde kullanılan alternatifler

Dolgu malzemesi olarak 38.10 mm, 50.80 mm ve 76.2 mm çaplarında konkasörde kırılmış taş ocağı malzemesi kullanılmıştır. Yine ince malzeme olarakta 4.76 mm, 9.52 mm ve 19.05 mm çaplarında konkasör de kırılmış malzeme alınmıştır. Malzemenin dane birim hacim ağırlığı 2.78 gr/cm^3 ve basınç mukavemetide 305 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Dolgu da kullanılan malzemenin dane çapları ve ince malzeme oranları tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneyde kullanılan değerler

Şev	1.5:1			
İnce Malzeme Oranı %	5	10	15	20
İnce Malzeme Çapları	4.76	9.52	19.05	
Dolgu Malzeme Çapları (mm)	38.10	50.80	76.20	

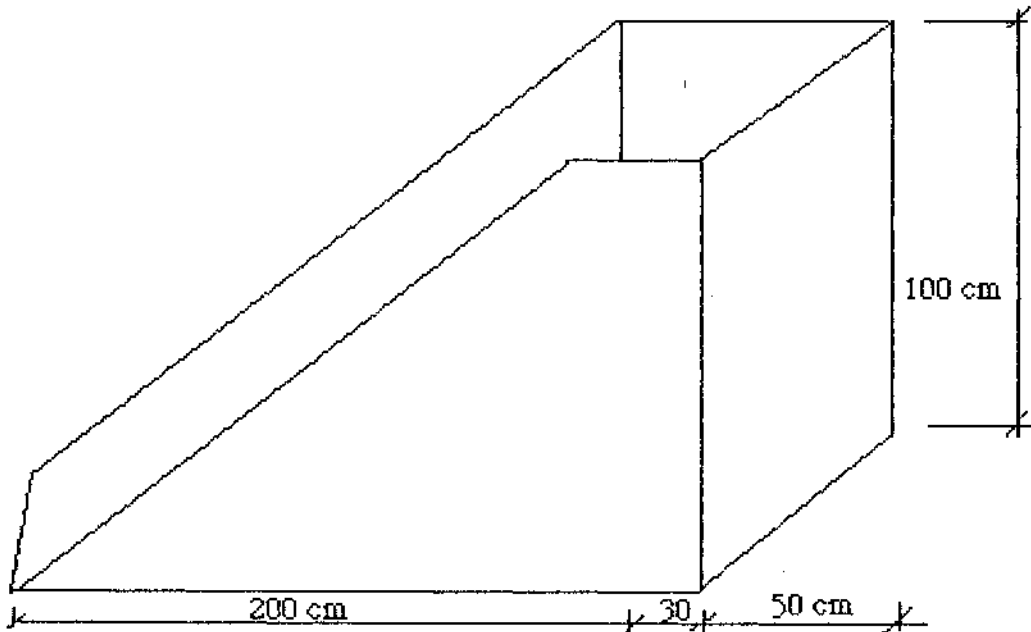
4.6.1.2. Deney aletinin tanıtılması

Boyutları şekil 4.5’de verilen dolgu kalıbı 3 mm kalınlığında sac levhalardan kaynaklı birleşimle yapılmış olup taban ve yan yüzeyleri kutu profil ve kösebent demirleri ile takviye edilmiştir.

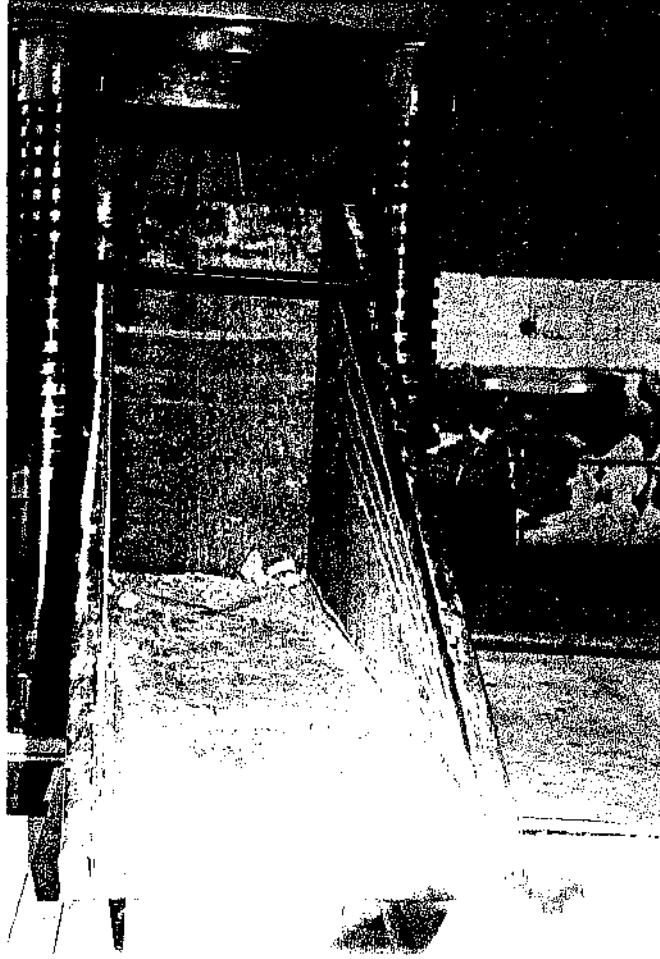
Yapılan deneylerde dolgulara yük uygulanmasında MFL Pruf Und Mess System marka 5000 kN kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Aletin yükleme kapasitesi 1000 kN ile 5000 KN arasında ayarlanabilmektedir.

Aletin hareketli olan üst kısmı yükleme esnasında sabitleştirilmekte ve kuvvet hareketli piston vasıtasıyla alttan sabit bir hızla uygulanmaktadır.

Boyutları şekil 4.5’de verilen dolgu kalıbı Resim 4.1’de görüldüğü gibi hidrolik pres altına yerleştirilmektedir.



Şekil 4.5. Dolgu kalıbının boyutları



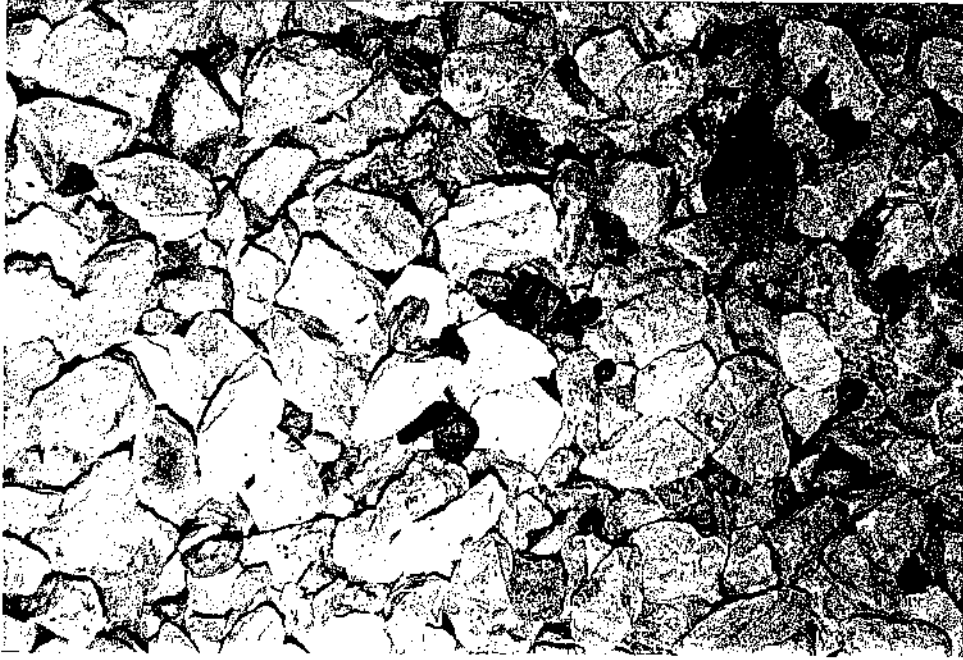
Resim 4.1. Boş kabın pres altına yerleştirilmesi

4.6.1.3. Dolguların hazırlanması

Kuru birim hacim ağırlığı ve basınç mukavemeti tespit edilen değişik çaplı malzemeler eleklerden geçirilerek deneyde kullanılan çaplara göre ayrılmıştır.

Pres altındaki raylı sistem üzerine yerleştirilen dolgu kalıbı ileriye doğru çekilerek kenarda istiflenmiş malzeme kalıp içerisine doldurulur. Dolgu kalıbının içerisine konan malzeme 15-20 cm kalınlığa ulaştığı zaman ahşap tokmakla sıkıştırılıp hesaplanan ince malzeme oranı kadarı kürekle tabaka üzerine serilip, tekrar bir tabaka teşkil edilerek ince malzeme yine üzerine serilir ve böylece dolgunun tabakalar halinde tokmakla sıkıştırılıp teşkil edilmesi sağlanır. Her tabakaya ince malzeme serilerek dolgunun içerisinde ince malzeme dağılımının homojen olmasına özen gösterilmiştir.

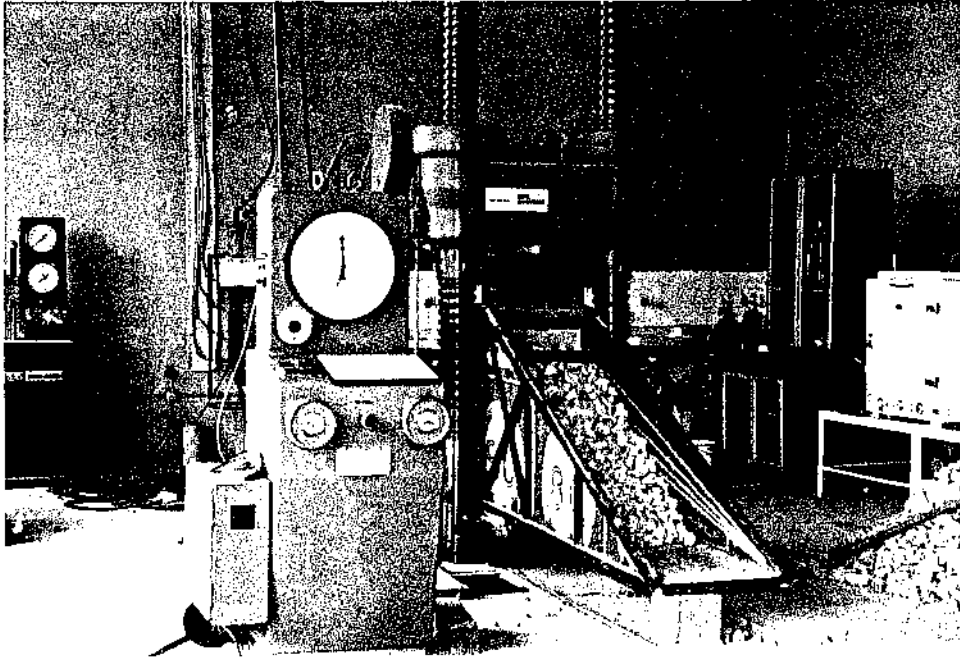
Dolgu sevi, kalıp içerisindeki çizilmiş şev çizgisine dikkat edilerek teşkil edilmiştir. Dolgu şev eğimi olarak 1/1,5 değerinin seçilmesinin sebebi, sıkıştırılmış dolguda ideal şev eğiminin 37° bu da takriben 1/1,3 gibi bir değere tekabül etmesindendir. Aletin yük tabakasının altına gelecek dolgu kretinin üzerine ince malzemeden bir yastık tabakası serilmek suretiyle yük dağılımının üniform olmasına dikkat edilmiştir.



Resim 4.2. Dolgu malzemesi karışımı

4.6.1.4. Taşıma gücü değerleri

Hazırlanan dolgulara hidrolik pres altında sabit yük kademesinde Resim 4.3'de görüldüğü gibi yük uygulanmıştır. Dolgu sevi bozulmaya başlayıncaya kadar (Şev yüzeyindeki malzemeler hareket etmeye) yük verilmeye devam edilmiştir. Şevin bozulmaya başladığı andaki yük düşey taşıma gücü olarak alınmıştır. Üç ayrı çaptaki dolgu malzemesi için ayrı ayrı teşkil edilen ve ince malzemelerin dane çapları ve yüzdeleri farklı olan dolgular için bulunan taşıma güçleri tablo 4.2'de verilmiştir.



Resim 4.3. Hazırlanan dolgulara pres altında yük uygulanması

Tablo 4.2. Dolguların taşıma güçleri

Ince Malzeme Oranı % Dane Çapı (mm)	0	5	10	15	20
4.76	4400	3800	3600	3400	3000
9.52	4400	4000	3800	3600	3200
19.05	4400	4200	4000	3800	3400

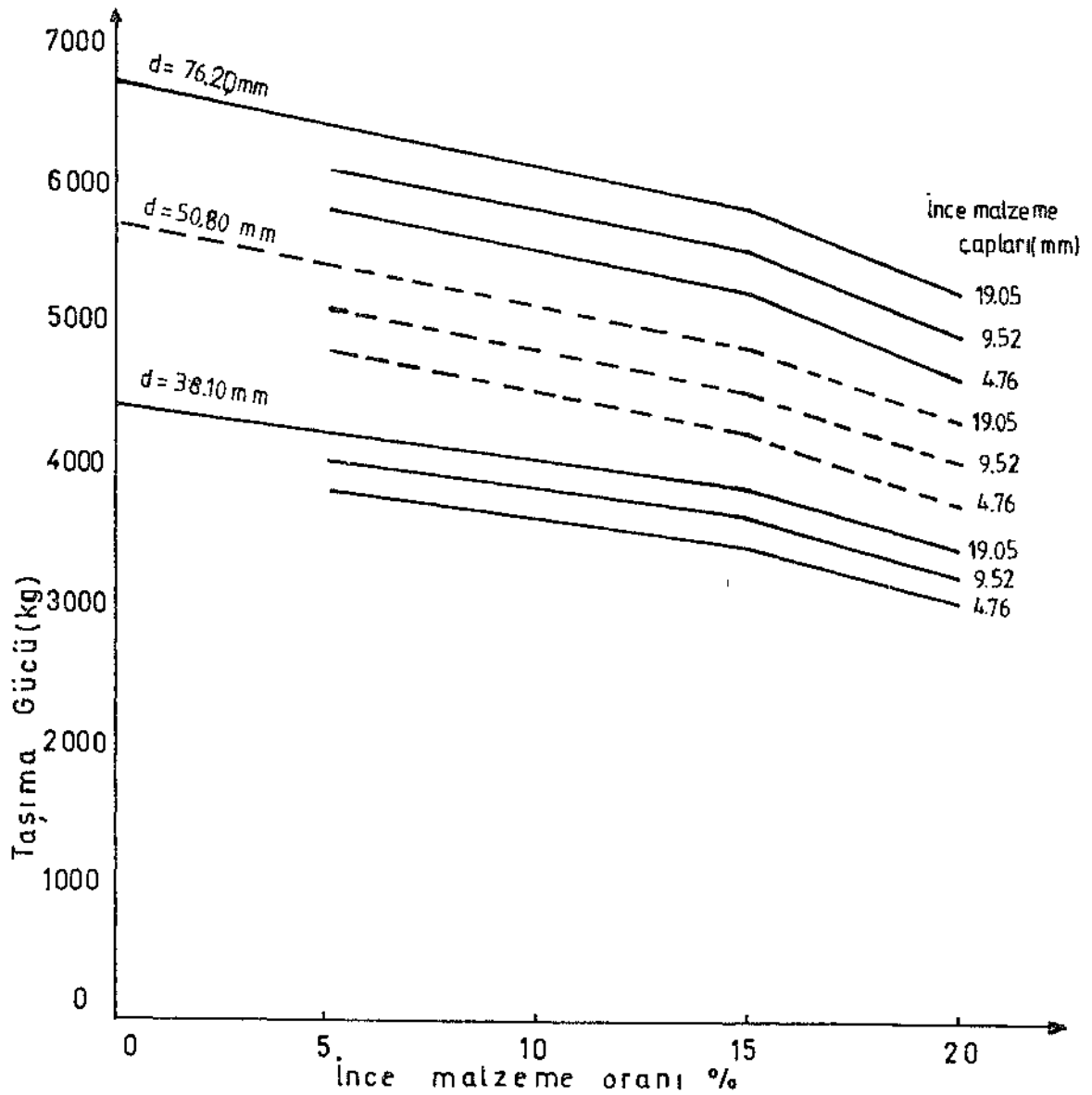
38.10 mm çapında malzemeden teşkil dolguların taşıma güçleri kg

Ince Malzeme Oranı % Dane çapı (mm)	0	5	10	15	20
4.76	5800	4800	4500	4200	3800
9.52	5800	5100	4800	4500	4100
19.05	5800	5500	5200	4900	4400

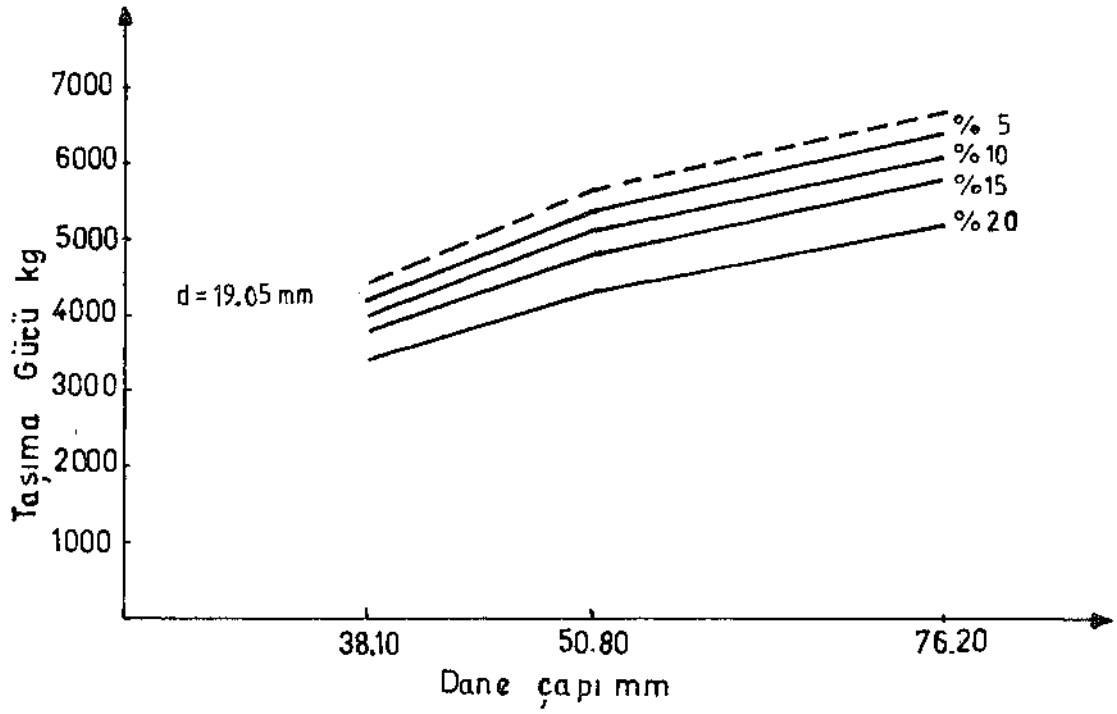
50.80 mm çapında malzemeden teşkil dolguların taşıma güçleri kg

İnce Malzeme oranı % Dane çapı (mm)	0	5	10	15	20
4.76	6800	5800	5500	5200	4600
9.52	6800	6100	5800	5500	4900
19.05	6800	6400	6100	5800	5200

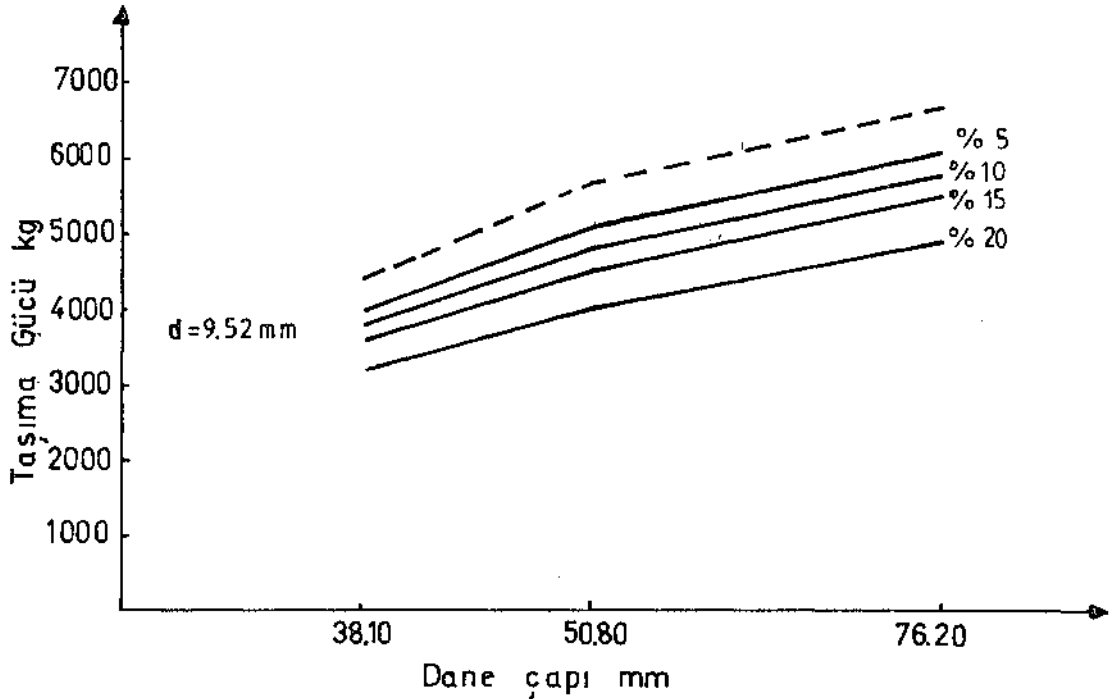
76.20 mm çapında malzemedan teşkil dolguların taşıma güçleri (kg)



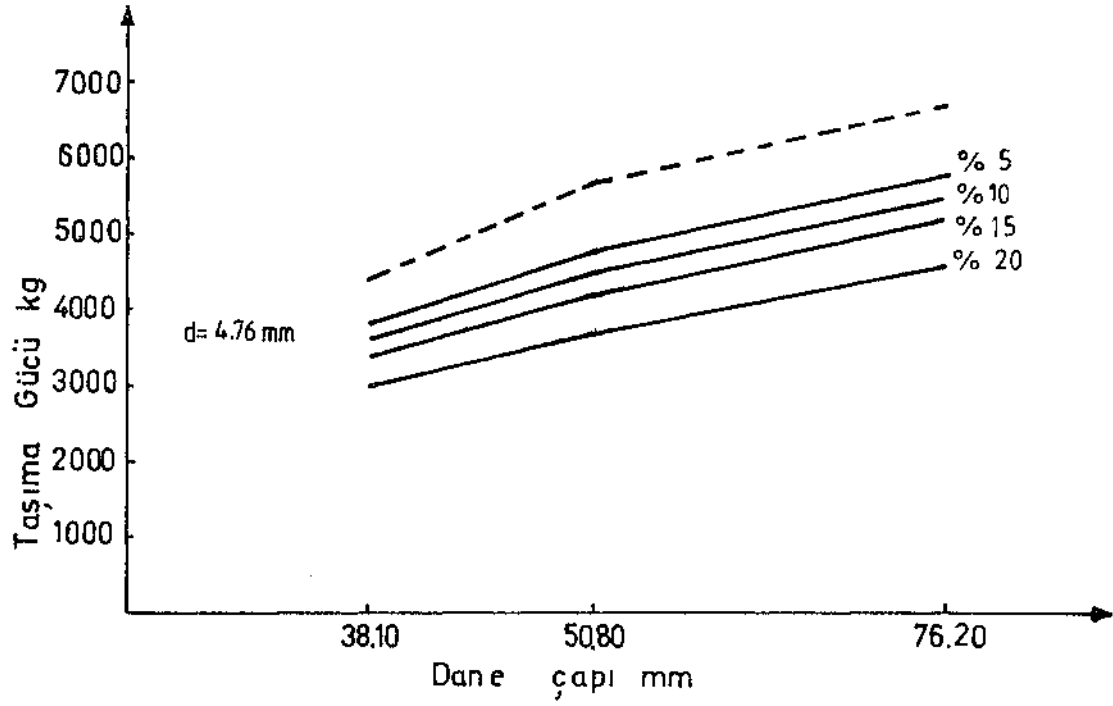
Şekil 4.6. Taşıma gücü-ince malzeme oranı eğrileri



Şekil 4.7.a. Taşıma gücü-dane çapı eğrileri (19.05 mm)



Şekil 4.7.b. Taşıma gücü-dane çapı eğrileri (9.52 mm)



Şekil 4.7.c. Taşıma gücü-dane çapı eğrileri (4.76 mm)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

1. Baraj tipinin seçimine etki eden faktörler incelenmiş olup diğer şartlar sağlandığında en ekonomik baraj tipinin kaya dolgu baraj tipi olduğu belirtilmiştir.

2. Kaya dolgu baraj tipinin özel bir çeşidi olan beton yüzlü kaya dolgu baraj (CFRD) ile kil çekirdekli barajın (ECD) yapım ve teknik özellikleri karşılaştırılmış ve Türkiye de henüz uygulanmamış olan CFRD'nin yüksek barajlar için daha uygun bir baraj tipi olduğu vurgulanmıştır.

3. Sıkıştırılmış kaya dolgu barajlarda kaya dolgu içerisinde kayma yüzeyinin oluşmadığı yapılan deneylerde tesbit edilmiştir. Kaya dolgunun stabilitesi için daneler arasındaki sürtünme kuvvetinin incelenmesi gerektiği tayin edilmiştir. Dolayısıyla danelerin sürtünme mukavemetleri dananın büyüklüğüne, sağlamlığına ve dolgudaki yerine ayrıca dolgunun boşluk oranı gibi mekanik özelliklerine bağlı olduğu söylenebilir.

Dolguların düşey taşıma kapasitesine dolgu malzemesinin granülometrisinin etkisini araştırmak için deneyler yapılmış ve ince malzemenin etkilerinin araştırılmasında taşıma gücü dane çapı ve taşıma gücü-ince malzeme oranı eğrileri incelendiğinde.

4- Dolgu teşkilinde kullanılan malzemenin dane çapları küçüldükçe dolgu taşıma kapasitesi azalmakta olduğu ve 50 mm nin altındaki çaplarda azalma oranı hızla artmaktadır. Bu nedenle min. çapın 50 mm den daha küçük olmaması gerekir.

5- Dolguda ince malzeme oranı arttıkça dolgunun taşıma gücünün azalmakta olduğu

6. Dolgudaki ince malzemenin dane çapı küçüldükçe dolgunun taşıma gücünün azaldığı.

7. İnce malzeme oranı, Taşıma gücü bağıntısı incelendiğinde % 15'lik orana kadar taşıma gücü doğrusunun eğimi lineer bir şekilde azalırken % 15 lik orandan sonra doğrunun eğimi değişmekte olup taşıma gücü daha da azalmaktadır. Bu nedenle ince malzeme oranında kritik değerin % 15 olduğu tesbit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- AMAYA, F. ve MARULANDA, A., (1985) **Gotillas Dam-Desing, Construction and Performace**
- BASMACI, E., (1985) Dolgu Zeminin Islahı, Dolgu Barajlar Yönünden **Zemin Mekaniği Semineri, D.S.İ., Adana**
- BERTRAM, G.E., (1967) **Compaction of Rockfills, Embankment Dam Engineering**, John Wiley and Sons, New York
- HIRSCHFELD, R.C. ve POULAS, S.J., (1972) **Embankment Dam Engineering**, John Wiley and Sons Inc, New York
- KARADAYI, N. ve KALYUNCU, S., (1989) Menba Yüzü Beton Kaplamalı Kaya Dolgu Barajlar, **D.S.İ. Barajlar ve HES Kati Projesi Semineri**, 4-15 Aralık Seyhan-Adana
- MATHESON, G.M ve PARENT, W.F., (1989) Construction and Performance of Two Large Rockfill Embankments, **Journal of Geotechnical Engineering**, Vol. 115 December
- ÖZAL, K., (1967) **Küçük Toprak Barajların Projelendirme Esasları**, O.D.T.Ü.Sulama ve Kurak Bölge Araştırma Laboratuvarı, Ankara
- ÖZENCİ, R., (1985) Dolgu Malzemesi Etüdü, Dolgu Barajlar Yönünden **Zemin Mekaniği Semineri D.S.İ., Adana**
- ÖZTÜRK, M., (1991) **Kayadolgu Barajlara Tesir Eden Düşey Yükler ile Dane Büyüklüğü Arasındaki Bağıntının Tayini**, Elazığ
- SHERARD, J.L ve COOKE, J.B., (1987) Concrete-face Rockfill Dam: I. Assesment, **Journal of Geotechnical Engineering**, October, 1987
- SHERARD, J.L ve COOKE, J.B., (1987) Concrete-Face Rockfill Dam: II. Desing, **Journal of Geotechnical Engineering**, October, 1987
- SHERARD, J.L ve WOODWARD R.J. (1963) **Earth and Earth-Rock Dams** John Wiley and Sons, Inc, New York
- STRİEGLER ve WERNER(1969) **Dambau in Teorie und Praxis**
- TUNA, A., (1985) **Toprak Dolgu Barajların Yapı Malzemesi, Dolgu Tipleri ve Stabilitate Analizleri** F.Ü.Yayınları
- URAL, Ö., (1985) Baraj Dolgu Yapım Tekniği, Dolgu Barajlar Yönünden **Zemin Mekaniği Semineri D.S.İ., Ankara**