

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

77565

DOLGU BARAJLAR YÖNÜNDEN KRALKIZI BARAJINDAKİ UYGULAMALAR

Mehmet AFŞİN

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ- 1998

II

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOLGU BARAJLAR YÖNÜNDEN
KRALKIZI BARAJINDAKİ UYGULAMALAR

Mehmet AFŞİN

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından
oybirliği/oy çokluğu ile Başarılı/Başarısız olarak değerlendirilmiştir.

(İMZA)

.....

(İMZA)

.....

(İMZA)

.....

Danışman

Prof. Dr. Ahmet TUNA

ÖZET

DOKTORA TEZİ DOLGU BARAJLARI YÖNÜNDEN KRALKIZI BARAJINDAKİ UYGULAMALAR

Mehmet AFŞİN
Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
1998, Sayfa (122)

Kralkızı Dicle I. Merhale projesi bünyesinde yapımı tamamlanan “Kralkızı Barajı ve HES Tesisleri” inşaatı Dicle Nehri üzerinde 125 m yüksekliğinde enerji, taşkın, sulama amaçlı, kil çekirdekli kaya dolgu bir barajdır.

Gövde dolgusu geçirimsiz zon için CH kil, filtre zonları, için alüvyon, kabuk zonları için kireç taşı ihtiva etmektedir. Bütün dolgu malzemeleri, Kralkızı Barajı ve H.E.S. inşaatı, inşaat işleri teknik şartnamesine uygun olarak temin edilmiş ve yerleştirilmiştir. Baraj 23.03.1985 yılında ihale edilmiş ve aynı yıl inşaatına başlanılmıştır. 25.10.1997’de su tutulmaya başlanılmıştır.

Bu çalışmada, Kralkızı Barajı’nın projelendirilmesinde aranılan malzeme ve zemin özellikleri ve inşaat sırasında karşılaşılan problemler uygulamalardan alınan örneklerle anlatılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Baraj dizaynı, zemin, malzeme, Baraj dolgusu.

SUMMARY
DOCTORATE THESIS

THE APPLICATION OF KRALKIZI DAM
FOR EMBANKMENT DAMS

Mehmet AFŞİN

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

1998 , Page (122)

“Kralkızı Dam and HEPP Facilities” constructions within Kralkızı-Dicle 1st Stage Project were built on the Dicle River for energy, flood control, and irrigation purposes. The height of the dam is 125 m and embankment type is clay-cored rock fill.

The dam fill contains CH clay for impervious zone, natural alluvium for filter zones, limestone for shell zones. All the fill materials were supplied and placed according to technical specification prepared for Kralkızı Dam and HEPP construction. The dam was contracted on 23.03.1985 and the construction was started in the same year. The dam started to retrain the waters on 25.10.1997.

In this study, required geo technical and material characteristics for Kralkızı Dam Design and the encountered problems during construction are emphasized and some case studies are given.

KEY WORDS: Dam Design, geo technical, materials, Dam fill.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bana yardım ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet TUNA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmam süresince bana manevi destek veren eşim Sayın Meral AFŞİN'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	III
SUMMARY	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİL LİSTESİ	XII
TABLO LİSTESİ	XIV
NOTASYONLAR	XVI

BÖLÜM 1– GİRİŞ..... 1

BÖLÜM 2– BARAJLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ..... 4

2.1. Barajlar.....	4
2.2. Baraj ve Baraj Mühendisliği	11
2.3. Baraj Tesislerinin Yerleştirilmesi.....	13
2.3.1. Baraj Gövdesi	13
2.3.2. Çevirme (Derivasyon) Tüneli.....	14
2.3.3. Dolusavak	14
2.3.4. Hidroelektrik Santral.....	14
2.3.5. Sulama Ana Kanalı	14
2.4. Barajların Sınıflandırılması.....	15
2.4.1. Büyüklüklerine Göre Sınıflandırma	15
2.4.2. Yapım Amaçlarına Göre Sınıflandırma.....	16
2.4.3. Gövde Yapısında Kullanılan Malzemeye Göre Sınıflandırma	16
2.4.4. Düzenleme Devresine Göre Sınıflandırma	17
2.4.5. Hidrolojik Projeye Göre Sınıflandırma.....	17
2.4.6. Gövdenin Statik Projelendirilmesine Göre Sınıflandırma	17
2.5. Baraj Tipinin Seçimi ve Tip Seçimine Etki Eden Fiziksel Faktörler	18

2.5.1. Topoğrafya	18
2.5.2. Jeoloji ve Temel Şartları	19
2.5.2.1. Kaya Temeller	19
2.5.2.2. Çakıl Temeller	19
2.5.2.3. Silt ya da İnce Kum Temeller	19
2.5.2.4. Kil Temeller.....	20
2.5.2.5. Üniform Olmayan (Düzensiz) Temeller	20
2.5.3. Baraj Yüksekliği	24
2.5.4. Kullanılacak Malzemenin Kalite ve Miktarı.....	24
2.5.5. Dolusavak.....	24
2.5.6. İklim	25
2.5.7. Vadinin Şekli ve Genişliği	26
2.5.8. Nehrin Çevrilmesi.....	26
2.5.9. İnşaat Süresi.....	26
2.5.10. Baraj Gölünde Dalga Etkisi.....	27
2.5.11. Zelzele Etkisi	27
2.5.12. Amaç ve Rantabilite (Kâr–Maliyet) İlişkisi	28
2.6. Baraj Tipleri ve Genel Özellikleri	28
2.6.1. Beton Ağırlık Baraj.....	28
2.6.1.1 Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri	28
2.6.2. Payandalı Beton Barajlar	30
2.6.2.1. Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri	32
2.6.2.2. Tipleri.....	33
2.6.3. (Beton) Kemer Ağırlık Barajlar.....	34
2.6.4. Beton (İnce) Kemer Barajlar	34
2.6.4.1. Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri	35
2.6.4.2. Tipleri.....	36
2.6.5. Dolgu Barajlar	38
2.6.5.1. Uygulandığı Yerler ve Tercih Sebepleri	48
2.7. Ön Yüzü Geçirimsiz Membranla Kaplı Barajlar.....	42

BÖLÜM 3. DOLGU BARAJLARDA DOLGUNUN TEŞKİLİ	44
3.1. Geçirimsiz Dolgular.....	44
3.2. Yan Geçirimli Dolgular	45
3.3. Geçirimli Dolgular.....	46
3.4. Kaya Dolgular	47
3.5. Tahallüllü Kaya Dolgular	48
3.6. Karışık Malzeme Dolguları	48
3.7. Filtreler	49
3.8. Rip–Rap	49
3.8.1. Rip–Rap’ta Kullanılacak Kayanın Kalitesi	49
3.8.2. İyi Bir Rip–Rap’ın Şartları.....	49
3.8.3. Rip–Rap’ın Granülometrisi	50
3.8.4. Rip–Rap Yerleştirilmesi	50
3.8.5. Rip–Rap’ın Altındaki Filtrenin Sağlaması Gereken Şartlar	51
3.9. Dolgu Sıkıştırma Makinaları	51
3.9.1. Keçi Ayağı Silindirleri.....	51
3.9.2. Lastik Tekerlekli Silindirler	52
3.9.3. Vibrasyonlu Silindirler.....	52
3.10. Geçirimli Kum ve Çakılların Sıkıştırılması	54
3.11. Zemin Deneyleri.....	54
3.11.1. Arazi Deneyleri	55
3.11.1.1. Kohezyonlu Zeminlerin (Kil, Silt gibi) Kıvam Deneyleri	55
3.11.1.2. Zeminin Yerleşim Sıklığı Hakkında Bilgi Veren Penetrasyon Testleri–SPT	56
3.11.1.3. Kohezyonlu Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemetinin (Su_0) Yerinde Elde Edilmesini Sağlayan Arazi Vane Testleri.....	56
3.11.1.4. Zeminin Permeabilite Katsayısını ‘K’ Sağlayacak Deneyler.....	56
3.11.1.5. Zeminin Taşıma Gücü ve Deformasyon Modülü Hakkında Bilgi Veren Plaka Yükleme Deneyleri	57
3.11.2. Laboratuvar Deneyleri	57

3.11.2.1. Tabii Su Muhtevası Deneyi (W_n)	57
3.11.2.2. Attenberg (Kıvam) Limitleri Deneyi	57
3.11.2.3. Zemin Deneyleri Granülometrisi Tayini Deneyleri.....	57
3.11.2.4. Zemin Birim Hacim Ağırlığını Bulma Deneyleri.....	57
3.11.2.5. Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU).....	58
3.11.2.6. Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi (CU)	59
3.11.2.7. Konsolidasyonlu Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi (CD)	60
3.11.2.8. Kesme Kutusu Deneyi.....	62
3.11.2.9. Zemin Oturma Hesapları Deneyleri.....	63
3.11.2.10. Relatif Sıklık (D_r) Deneyi.....	63
3.11.2.11. Laboratuar Permeabilite Deneyleri.....	64

BÖLÜM 4. KRALKIZI BARAJININ İNŞAAT BAŞLANGICINDAN BİTİRİLİŞİNE KADAR Kİ SAFHALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.

4.1. Dicle-Kralkızı Projesi	66
4.1.1. Projenin Maksadı	66
4.1.2. Projenin Yeri	66
4.2. Projenin Özellikleri.....	66
4.2.1. Ziraat Sahaları.....	66
4.2.2. Depolama Tesisleri	67
4.2.2.1. Kralkızı Projesi	67
4.2.2.1.1. Projenin Tarifi.....	67
4.2.2.1.2. İklim	68
4.2.2.1.3. Kralkızı Barajı Karakteristikleri	69
4.2.3. Enerji Tesisleri.....	70
4.2.3.1. Kralkızı Hidroelektrik Santrali	70
4.2.4. Sulama Tesisleri	70
4.2.4.1. Sulama Sahası	70
4.2.4.2. Yıllık Ortalama Sulama Suyu İhtiyaçları.....	70
4.2.4.3. Maksimum Sulama Suyu Modülleri	70

4.2.4.4. Ana Kanallar.....	71
4.2.5. Pompaj Tesisleri	71
4.2.5.1. 1 No’lu Pompaj Tesisleri	71
4.2.5.2. 2 No’lu Pompaj Tesisleri	71
4.2.5.3. 3 No’lu Pompaj Tesisleri	72
4.2.5.4. 4 No’lu Pompaj Tesisleri	72
4.2.5.5. 5 No’lu Pompaj Tesisleri	72
4.2.5.6. 6 No’lu Pompaj Tesisleri	72
4.3. Proje Ekonomisi	73
4.3.1. Maliyetler	73
4.3.2. Yıllık Giderler.....	73
4.3.3. Yıllık Faydalar Rantabiliteler ve Teorik Verimlilikler.....	74
4.3.4. Dicle Kralkızı Projesi Nihai Rantabilite Verimliliği.....	75
4.4. Sıyırma Kazısı ve Baraj Temeli İle İlgili Çalışmalar	79
4.5. Dolgu İşleri.....	80
4.5.1. Genel	80
4.5.2. Malzeme Temini.....	81
4.5.3. Fizibilite Etüdü Sırasında Temel ve Dolgu Malzemeleri	81
4.5.4. Geçirimsiz Kil Çekirdek Dolgu Çalışmaları	82
4.5.4.1. İnşaat Öncesi 1989’daki Araştırma Çalışmaları.....	82
4.5.4.2. Şartname Kayıtları	83
4.5.4.3. Arazi Sıkıştırma Deneyleri ve Sonuçları	84
4.5.5. Dolgu Zonlarının Granülometrisi	85
4.5.6. Filtre Zonları.....	86
4.5.6.1. Malzeme Karakteri ve Şartname Kayıtları.....	86
4.5.6.2. Arazi Deney Dolgusu.....	86
4.5.7. Kaya Dolgu.....	87
4.5.7.1. Şartname Kayıtları	87
4.5.7.2. Dolgu Sırasında Elde Olunan Sonuçlar	88
4.6. Perde ve Konsolidasyon Enjeksiyonu	88

4.6.1. Genel	88
4.6.2. Proje	88
4.6.3. İş Miktarı	89
4.6.4. Enjeksiyon Delik Paterni.....	89
4.6.5. Uygulama	89
4.6.6. Enjeksiyon Sonuçları	90
4.7. Dolgu Zonlarının Maliyet Analizleri.....	92
4.8. Kralkızı Barajında Uygulamada Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri .	93
4.8.1. Kaya Malzemesi Temininde Karşılaşılan Güçlükler ve Uygulanan Çözümler	93
4.8.1.1. Kaya Ocağında Üretimin Arttırılması ve Maliyetin Düşürülmesi İçin Yapılan Çalışmalar.....	94
4.8.1.2. Delme İçin Dikkat Edilen Hususlar	94
4.8.1.3. Patlatma Paterni	95
4.8.1.4. Kralkızı Barajı Kaya Ocağında Yapılan Çalışmaların Sonuçları.....	97
4.8.2. Kralkızı Barajı Derivasyon Tünellerinde Kazı Çalışmalarında Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri.....	97
4.8.2.1. Tünellerde Geçilen Jeolojik Birimler	97
4.8.2.2. Yer altı Kazıları ve Desteklemeler	98
4.8.2.3. Derivasyon Tünellerindeki Sorunlar ve Çözüm Yolları	98
4.9. Dolgu Şevlerinde Kayma Düzlemlerinin Analitik Tayini ve Kralkızı Barajına Uygulanması.....	98
5. SONUÇ.....	116
6. KAYNAKLAR.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	121

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	Temeldeki Heterojen Oturmaların Ağırlık Yapılarında Neden Olduğu Kesme ve Çekme Gerilmeleri	21
Şekil 2.2.	Post-Failure Davranışına Bağlı Olarak Kayaçların Taşıma Direncindeki Azalım İle Baraj Tipleri Arasındaki İlişki ve Bunların Anizotropiden Etkilenme Oranları	22
Şekil 2.3.	Aynı Yükseklikteki Değişik Barajların Oturduğu Oransal Alanlar ve Bağlı Yüklenmeler	23
Şekil 2.4.1.	Mutlak Değerler Açısından Temel Kayaçların Taşıma Kapasiteleri	23
Şekil 2.4.2.	Vadi Şekil Faktörü ve Vadi Açıları İle Baraj Tipleri Arasındaki İlişki	23
Şekil 2.5.	Beton Ağırlık Baraj İçin Kesit Alternatifleri	29
Şekil 2.6.	Payandalı Beton Bir Baraja Ait Plan, Kesit ve Görünümü	30
Şekil 2.7.	Payandalı Baraj Tipleri	31
Şekil 2.8.	Hungry Horse Kemer Ağırlık Barajı	34
Şekil 2.9.	Kemer Baraj Tipleri	37
Şekil 2.10.	Dolgu Barajlarda Kullanılan Kesit Tipleri	39
Şekil 2.11.	Eğimli Çekirdekli Baraj Tiplerine Örnekler	42
Şekil 2.12.	Eğimli Çekirdekli Baraj Tiplerine Örnekler	42
Şekil 2.13.	Asfalt Betonla Kaplı Geçirimsiz Yüzey (Otsumata Barajı)	43
Şekil 3.1.	Drenajsız Kayma Mukavemeti	58
Şekil 3.2.	Kohezyonlu Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemetleri	59
Şekil 3.3.	Konsolide Olmuş Killerin Kesme Mukavemeti İle Efektif Gerilme Arasındaki İlişki	61
Şekil 3.4.	Kohezyonsuz Zeminlerin Drenajlı Kesme Mukavemeti	62
Şekil 3.5.	Sabit Seviyeli Permeabilite Testi	64
Şekil 3.6.	Değişen Seviyeli Permeabilite Testi	65

Şekil	4.1.	Kralkızı Barajı Genel Vaziyet Planı.....	76
Şekil	4.2.	Kralkızı-Dicle Sulaması Gelişme Planı.....	77
Şekil	4.3.	Kralkızı Barajı Tip En Kesiti.....	78
Şekil	4.4.	Kralkızı Barajı Granülometri Eğrileri	85
Şekil	4.5.	Kralkızı Barajı Enjeksiyon Perdesi Plan ve Kesitleri	91
Şekil	4.6.	Kralkızı Barajı Kaya Ocağındaki Basamaklar ve Genel Şev Eğimi	95
Şekil	4.7.	Kralkızı Barajı Kaya Ocağı Patlatma Paterni	96
Şekil	4.8.	Zeminlerin Kırılması	100
Şekil	4.9.	Şev Bölgeleri.....	100
Şekil	4.10.	Kayma Düzlemlerinin Tayini	102
Şekil	4.11.	δ 'nın θ 'ya Bağlı Olarak Değişimi.....	104
Şekil	4.12.	L Uzunluğunun Tayini	105
Şekil	4.13.	Kralkızı Barajı'na Ait Kritik Kayma Eğrisi (MEMBA)	108
Şekil	4.14.	Kralkızı Barajı Ait Kritik Kayma Eğrisi (MANSAP).....	109

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Elektrik Enerjisinin Yıllara Göre Değişimi	8
Tablo 2.2.	Drenaj Sahaları Bakımından Yıllık Ortalama Su Potansiyeli ve Hidroelektrik Üretim Potansiyeli	9
Tablo 2.3.	1998 Yılı Başı İtibariyle Hidroelektrik Santrallerin Durumu (Kurulu Gücü 250 MW'tan Büyük).....	10
Tablo 3.1.	Rip-Rap Kalınlığına Bağlı Olarak Granülometri.....	50
Tablo 3.2.	Rip-Rap Kalınlığına Bağlı Olarak Ortalama Tane Boyutu	50
Tablo 3.3.	Zeminlerin Sınıflandırılması.....	55
Tablo 3.4.	Kohezyonlu Zeminlerin Kıvam Durumları	55
Tablo 3.5.	Darbe Sayısı ve Serbest Basınç Arasındaki İlişki.....	56
Tablo 3.6.	Standart Penetrasyon İle Relatif Sıklık Arasındaki İlişki.....	64
Tablo 4.1.	Dicle-Kralkızı Projesine Ait Rantabilite ve Verimlilikler.....	74
Tablo 4.2.	Kralkızı Barajı Gövde Dolgu Cins-Miktar ve Şevleri.....	80
Tablo 4.3.	Kralkızı Barajı Malzeme Temin Tablosu	81
Tablo 4.4.	Kralkızı Barajı Kil Ocağı Deneyleri.....	83
Tablo 4.5.	Kralkızı Barajı Arazi Sıkıştırma Deney Sonuçları.....	94
Tablo 4.6.	Kralkızı Barajı Filtrelerine Ait Malzeme Karakterleri.....	86
Tablo 4.7.	Kralkızı Barajı'nda Filtre Zonuna Ait Uygulamada Elde Edilen Sonuçlar	87
Tablo 4.8.	Kralkızı Barajı Kaya Dolgu Zonuna Ait Şartname Kayıtları ..	87
Tablo 4.9.	Kralkızı Barajı Kaya Dolgusuna Ait Uygulamada Elde Edilen Sonuçlar	88
Tablo 4.10.	Kralkızı Barajı Enjeksiyonları Genel Değerlendirme Sonuçları	90
Tablo 4.11.	Kralkızı Barajı Maliyet Hesaplarına Ait Değerler	92
Tablo 4.12.	Kralkızı Barajı Dolgu Zonlarının Stabilite Hesap Değerleri...	106
Tablo 4.13.	Kralkızı Barajı 'MEMBA' Kritik Kayma Eğrisi (x, y) Değerleri	110

Tablo 4.14. Kralkızı Barajı ‘MANSAP’ Kritik Kayma Eğrisi (x, y) Değerleri	111
Tablo 4.15. Kralkızı Barajı İnşa Hali ‘MEMBA’ Güvenlik Katsayısı Hesap Değerleri.....	111
Tablo 4.16. Kralkızı Barajı İnşa Hali ‘MANSAP’ Güvenlik Katsayısı Hesap Değerleri.....	113
Tablo 4.17. Kralkızı Barajı Hazne Dolu ‘MANSAP’ Güvenlik Katsayısı Hesap Değerleri	114
Tablo 4.18. Kralkızı Barajı Ani Boşalma ‘MEMBA’ Güvenlik Katsayısı Hesap Değerleri	115



NOTASYONLAR

a_v	:	Sıkışma katsayısı
b	:	Dilim genişliği
C_c	:	Sıkışma indeksi
C_u	:	Drenajsız kayma kohezyonu
C	:	Kohezyon
d	:	Yer altı su seviyesine olan uzaklık
D_r	:	Relatif sıklık
e_o	:	Başlangıçtaki boşluk oranı
e_{max}	:	Zeminin gevşek durumundaki boşluk oranı
e_{min}	:	Zeminin sıkı durumundaki boşluk oranı
e_n	:	Zeminin tabi durumundaki boşluk oranı
σ'_p	:	Ön konsolidasyon basıncı
$S_u (UC)$	:	Drenajsız-konsolidasyonlu kayma mukavemeti
$S_u (mob)$	:	Mobilize olmuş drenajsız kayma mukavemeti
$Su_o (FV)$	:	Arazi vane testinden elde edilen kayma mukavemeti
S_{uo}	:	Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti
F_c	:	Güvenlik katsayısı
h_o	:	İlk yükseklik
h_1	:	Son yükseklik
W	:	Toplam ağırlık
V	:	Toplam hacim
V_s	:	Dane hacmi
W_s	:	Dane ağırlığı
W_w	:	Su ağırlığı
γ	:	Birim hacim ağırlığı
γ_A	:	Su altında birim hacim ağırlığı
γ_b	:	Suya doymun birim hacim ağırlığı

γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
γ_n	: Tabi birim hacim ağırlığı
γ_s	: Dane birim hacim ağırlığı
L	: Mesafe
U	: Toplam su basıncı
U_b	: Boşluk suyu basıncı
σ^l	: Efektif gerilme
σ	: Toplam gerilme
S	: Kesme kuvveti
θ	: Şev düzleminin düşeyle yaptığı açı
α	: Şev açısı
δ	: Büyük asal gerilmelerin yön değiştirmeleri ile ilgili katsayı
$\emptyset$	: Sürtünme açısı
$\emptyset_c$	: Efektif içsel sürtünme açısı
$\emptyset_r^l$	: Residual sürtünme açısı
τ	: Kayma gerilmesi
W_n	: Tabi su muhtevası
W_r	: Rötire limitteki su muhtevası
W_L	: Likit limitteki su muhtevası
W_p	: Plastik limitteki su muhtevası
k	: Zeminin permeabilite katsayısı
i	: Hidrolik eğim
Δ_h	: Hidrolik yük seviyeleri farkı
M_c	: Sıkışma modülü
T_v	: Zaman faktörü
q_u	: Serbest basınç
N	: Darbe sayısı
Q	: Geçen su miktarı

1. GİRİŞ

Ülkemizin en önemli yatırım projeleri arasında yer alan Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) tarihin ilk uygarlıklarından birine tanık olan bir bölgenin topyekün kalkınmasını amaçlayan ve çağdaş bir yaklaşımla yürütülen bir bölgesel kalkınma projesidir. GAP, sadece Güneydoğu Anadolu Bölgemizi değil, bütün ülkemizi olumlu biçimde etkileyecek olması itibarıyla, bütün unsurlarıyla ülkemiz insanının maddi ve manevi katkısının meydana çıkardığı bir mega projedir. GAP, kapsamlı bir alt yapı değiştirme projesinin çok ötesindedir. GAP alanı Türkiye'nin hem toplam nüfusunun hem de coğrafi alanın %10'unu oluşturmaktadır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi eski Mezopotamya uygarlığının beşiği olan Yukarı Mezopotamya'nın bir bölümüdür. Su ve toprak kaynaklarınca zengin olan GAP bölgesinde yer alan Fırat ve Dicle Nehirleri, Türkiye'deki toplam yüzey sularının %28'ini, bölgedeki ekonomik olarak sulanabilir toplam alanda ülkenin ekonomik olarak sulanabilir toplam alanın %20'sini oluşturmaktadır. Fırat ve Dicle nehirlerinin büyük su potansiyelinin belirlenmesi, bu kaynağın sulama, elektrik enerjisi üretimi, sel ve kuraklıkların kontrolü gibi amaçlar için sürdürülebilir bir tarzda geliştirilmesine yönelik planlara zemin oluşturmuştur. Önceleri büyük ağırlıkla bir su kaynakları geliştirme projesi biçiminde planlanan çalışma, daha sonra çok sektörlü, entegre bir bölgesel kalkınma programına dönüştürülmüştür.

GAP, su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesini kapsayan, tarım, enerji, hizmetler ve çevre sektörüne yönelik 13 büyük proje biriminden oluşmaktadır. Dicle ve Fırat Nehirleri ve kolları üzerinde 22 baraj ve 19 hidroelektrik santral yapılarak, 7500 MW kurulu güç ile yılda 27 TWh enerji üretimi ve yaklaşık 1,7 milyon hektarlık brüt alanda sulama yapılması amaçlanmaktadır. Bu 13 büyük projenin 7'si Fırat Havzasında, 6'sı ise Dicle Havzasında yer almaktadır [2]. Bu projeler ;

FIRAT HAVZASINDA

- 1- Karakaya Projesi
 - 2- Aşağı Fırat Projesi
 - 3- Sınır Fırat Projesi
 - 4- Suruç Yaylak Projesi
 - 5- Adıyaman-Kahta Projesi
 - 6- Adıyaman-Göksu-Araban Projesi
 - 7- Gaziantep Projesi
- Münferit Projeler

DİCLE HAVZASINDA

- 1- Dicle-Kralkızı Projesi
 - 2- Batman Projesi
 - 3- Batman-Silvan Projesi
 - 4- Garzan Projesi
 - 5- Ilısu Projesi
 - 6- Cizre Projesi
- Münferit Projeler

Bu tezdeki çalışma, Dicle Havzası projelerinden Kralkızı-Dicle Projesi ile ilgilidir. Projenin, bölgesel ve milli ekonomiye azami derecede faydalı olmak üzere, proje sahasındaki ana su kaynaklarının sulama, drenaj ve ıslahı, feyezan kontrolü, enerji, mesire yeri ihdası, içme ve kullanma suyu maksatlarına hizmet etmesi amaçlanmıştır.

Bu proje ile Dicle Barajı ve HES, Kralkızı ve HES inşaa edilmesi ve 126.000 ha alanın sulanması öngörülmektedir. Ayrıca Kralkızı Barajı ve HES ile yılda 146 GWh, Dicle Barajı ile de 298 GWh olmak üzere toplam 444 GWh enerji üretilenektir. Santrallerin kurulu gücü sırası ile, 94 ve 110 olmak üzere toplam 204 MW'dır. Kralkızı HES ve Dicle HES'in gerçekteşmesi halinde (1998 yılı değeri ile) yılda 25 trilyon fayda sağlayacaktır.

Ayrıca, projenin faydaları arasında mesire yeri teşkili, balıkçılık, avcılık, gelir dağılımının düzeltilmesi, istihdam ve ekonominin dengeli hale getirilmesi hususları sayılabilir. Baraj ve göl, civar sakinler için fevkalade cazip mesire yeri imkanları yaratacak ve baraj gölünde suni tohumlama yoluyla, ya da mevcut türleri ıslah yoluyla yalnız sportif değil, fakat ekonomik değeri olan bir balıkçılık da yer alabilecektir.

Bu proje ile 126.000 ha brüt sahada sulama yapılması ön gör÷lmektedir. Bu büyüklükte bir sulama projesi, zirai üretimi iklim tesirlerinden kurtaracağı cihetle yalnız çevrenin ekonomik yapısında değil, fakat memleket yapısında, ekonominin dengeli hale gelmesinde çok önemli katkısı olacaktır. Diğer taraftan çiftçinin net gelirindeki artışı, gelir dağılımının daha adil hale gelmesini sağlayacaktır.

Projenin yatırım paketi içinde istimlak ve işçilik gibi unsurlar. doğrudan doğruya çevrede yaşayanların cebine girecektir. Gerek inşaat sırasında ve gerekse işletme sırasında büyük bir istihdam imkanı yaratılmış olacaktır [8].

Bu araştırmanın konusu, genel fizibilite çalışmalarında hedeflenen konulara ve yapım esnasındaki çalışmalara yönelmiş bulunmaktadır.



2. BARAJLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Barajlar

Sulama, elektrik enerjisi üretimi, su baskınlarını önleme ve günlük kullanım suyunun sağlanması gibi amaçlarla bir vadi içinde akan nehrin sularını düzenlemek, biriktirmek yükseltmek ve diğer vadiye veya kanala çevirmek maksatlarından biri veya bir kaçına hizmet etmek üzere tesis edilmiş yapılardır.

Yüzyıllar boyunca baraj tasarımları daha önceki deneyimlerden yararlanarak yapılmıştır. Bu gün Hindistan ve Sri Lanka'da (Seylan) çok eski çağlarda yapılmış toprak dolgu tipi baraj kalıntıları bulunmaktadır. Bilinen en eski baraj İ.Ö. 2900'de Mısır'da Nil Irmağı üzerinde yapılan 15 mt. yüksekliğindeki taş örme yapıdır. Bugün hala kullanılmakta olan en eski baraj ise İ.Ö. 1300'de Suriye'de yapılmış olan Kaya dolgu tipi barajdır. Avrupa'da yüzyıllar boyunca birkaç örnekten öteye geçemeyen baraj yapımı, ancak sanayi devriminden sonra su gücüne duyulan gereksinimin artmasıyla birlikte 18. ve 19. yüzyıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır [10].

İnşaat Mühendisliği, 1850'lerde, özellikle İskoçya'lı Mühendis William J. M. Rankine'nin etkisiyle bir meslek olarak önem kazanmaya başlamıştır. Bunu izleyen 100 yıl boyunca Newton, Leibniz, Hook ve öteki bilim adamlarının buluşlarıyla zenginleşen kuramsal bilgi baraj tasarımlarına uygulanmıştır.

Çevirme maksadıyla, inşaa edilen barajlara "Bağlama" veya "Regülatör" ismi verilmektedir. Bu tip yapılar nehir sularını biriktirme gayesi gütmaz. Ancak başka bir vadiye veya kanala çevrilmesini temin etmek üzere suyu kabartırlar.

Biriktirme maksadıyla inşaa edilenlere ise baraj denir. Genellikle bir vadinin ortasında belirli hacimde su biriktirmek için kurulan bu barajlar,

sulama, feyezan kontrolü, enerji üretilmesi, nehir nakliyatı, içme suyu temini, nehir ıslahı, silt ve rusubat kontrolü, balıkçılık, avcılık ve mesire maksatlarından birine veya bir kaçına birden hizmet etmek üzere inşa edilirler.

Modern barajlar, genel olarak dolgu ve beton olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Dolgu barajlar daha çok geniş ırmakların üstüne kurulur. Bu seçimin nedenleri, bir yandan baraj yapımında çok fazla malzeme kullanılmasını gerektiren geniş vadilerden toprak ve kayanın daha ucuz ve daha kolay sağlanabilmesi öte yandan baraj tabanındaki hareketlerden doğabilecek çatlama ya da yıkılma tehlikesine karşı toprak ve kaya dolgunun daha dayanıklı olmasıdır. Dolgu barajlarda kullanılan yapı malzemesinin büyük bölümü, olanca kütlesi ve ağırlığıyla tabana oturduğu için yerinden kolay kolay oynamayan sıkıştırılmış topraktır. Böyle bir yapıda söz konusu olan en büyük tehlike, suyun zamanla dolguya işlemesi ve mansab yüzeyin de dolguyu aşındırarak sürüklemesidir.

Türkiye, jeolojik ve topoğrafik durumu itibariyle zengin su kuvveti kaynaklarına sahiptir. Türkiye'nin enerji potansiyeli Avrupa ülkelerinininki ile kıyaslanacak kadar geniştir. Devlet Su İşleri ile diğer ilgili kurumların son çalışmalarına göre Türkiye'nin teorik enerji potansiyeli 50 000 MW kapasite de ve enerji istihsalı 433 TWh'tir. Pratik olarak işletilebilecek enerjinin miktarı toplam 35 309 MW kurulu gücündeki santrallerle yılda 125 TWh elektrik enerjisinin üretilmesi imkan dahiline girecektir. Ayrıca, sulama, taşkın kontrolü, içme, kullanma ve sanayi suyu faydaları da artacaktır [2].

Ulusların uygarlık ve gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi de kişi başına düşen elektrik tüketim miktarıdır. Ülkemizde kişi başın yaklaşık 1 600 kWh olan tüketim, dünya ortalamalarının sadece yarısı dolayındadır. Enerji sektöründeki dışa bağımlılığı azaltmak ve artan enerji ihtiyacını karşılamak için ülke öz kaynaklarımızın öncelikli olarak kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Ülkemizdeki enerji üretim kaynaklarının başında, diğer doğal

kaynaklar gibi tükenir olmayan, tam tersine hep yenilenen özelliğiyle üstünlük gösteren su kaynakları vardır.

Dünyadaki brüt hidrolik enerji potansiyelinin %1'ine sahip olan Türkiye'nin ekonomik olarak kullanılabileceği hidrolik enerji potansiyeli 125.000 GWh/yıl olarak belirlenmiştir.

Türkiye yenilenebilir kaynaklar grubunda yer alan hidroelektrik, jeotermal ve güneş enerjisi potansiyeli açısından zengin ülkeler sınıfına girmekte ve yıllık hidroelektrik üretim potansiyeli ile dünya hidroelektrik potansiyelinin yaklaşık %1'ine ve Avrupa potansiyelinin ise yaklaşık %16'sına sahip bulunmaktadır.

Yenilenebilir kaynak olması, çevreye çok az zarar vermesi, işletme ve bakım masraflarının çok düşük olması itibarıyla hidroelektrik enerjinin önemi 1950'lerden bugüne ülkemizde de daha büyük kabul görmüştür. Özellikle 1973/1974 yıllarında dünya petrol fiyatlarında gözlenen ani ve önemli artışa kadar bütün dünyada enerji kaynağının ülke kalkınması içerisindeki kritik önemi gözardı edilmiştir.

Birinci petrol şoku ile dünya, enerji kaynaklarının tükenebilir niteliği yanında ucuz olmadığının da bilincine varmıştır. Bunun yanı sıra kişi başına –enerji tüketimi ile kişi başına– gelir arasında oldukça yakın bir ilişki olduğu da bugün herkes tarafından kabul edilmektedir. Ülkemizde bugün enerjinin elektriğe çevrilerek kullanılan bölümü % 24 dolayındadır. Bu oranın zaman içerisinde sürekli artması beklenilmektedir. Halen ülkemizin yıllık ortalama hidroelektrik enerji üretim potansiyeli olarak tespit edilen 125 TWh'ın ancak %29.9'undan enerji üretiminde faydalanılmaktadır. DSİ tarafından yapılan etütlere göre işletme, inşaa, proje ve planlama halinde olanlar dahil takriben 702 baraj ve 493 hidroelektrik santral vasıtasıyla akarsularımız düzenlenebilecek ve azami fayda sağlanacaktır.

1998 yılı sonuna kadar hizmete sokulan toplam kurulu gücü 10215 MW olan 104 adet hidroelektrik santralde yıllık yağış durumlarına bağlı olarak 28 595 – 44 000 GWh (ort: 37079) arasında fiili üretim gerçekleştirilmektedir. Bu durum toplam potansiyelin %30'una tekabül etmektedir.

Fırat havzasında yer alan Atatürk, Karakaya ve Keban hidroelektrik santralleri fiili üretimin yaklaşık %65'ini sağlamaktadır.

İnşaatı sürdürülmekte olan toplam kurulu gücü 4190 MW olan 37 adet hidroelektrik santralin tamamı %11'lik bir potansiyele tekabül eden 13578 GWh'lık yıllık enerji üretim kapasitesine haiz bulunmaktadır.

Ayrıca 1999 yılı içerisinde yapımına başlanılanmış olan 5 adet hidroelektrik santral ile diğer inşaa halindeki 37 adet hidroelektrik santralin tamamlanmasıyla ülkemizdeki toplam hidroelektrik kurulu güç 16 522 MW'a, yıllık ortalama hidroelektrik üretim ise 57 556 GWh'a yükselecektir. Bu durumda ülkemizin toplam hidroelektrik potansiyelinin %46.5'i işletmeye alınmış olacaktır.

İnşaatına 1999 yılından sonra geçilmesi düşünülen 24 adet hidroelektrik santral ile toplam hidroelektrik kurucu güç 19 327 MW'a yıllık ortalama üretim ise 66 441 GWh'a yükselecektir.

Dünyada hidroelektrik üretimde geçen elli yıl zarfında önemli bir aşama gözlenmiştir. Hidroelektrik enerjisinin toplam elektrik enerjisi üretimindeki oranı Norveç'te %99'a, Avusturya'da %70'e, Kanada'da %63'e, İsveç'te ise %52'ye yükselmiştir.

Ülkemizde hidroelektrik santrallerde dünyadaki gelişime paralel olarak son 50 yılda önemli bir aşama kaydetmiştir. 1940'da hidroelektrik katkı % 3 mertebesinde iken; 1950'de %3.8, 1960'da %35, 1970'de %35, 1980'de %48, 1990'da %40, 1995'de %41, 1996'da %43, 1997'de %38 mertebesinde olmuştur [2].

Hidroelektrik potansiyelin gelecek yıllardaki hızlı gelişimi halen 10 000 MW mertebesinde olan hidroelektrik kurulu gücün 2005 yılında 21 000 MW, 2010 yılında 25 000 MW, 2015 yılında 28 000 MW ve 2020 yılında ise 30 000 MW mertebesinde yükseltilmesi için çalışmalara devam edilmektedir. Enerji üretiminde dışa bağımlılığın kaçınılmaz olduğu gerçeği gözönüne alınarak önümüzdeki 20-25 yıllık dönemde en ekonomik çözüm olarak tespit edilen hidroelektrik santral yatırımlarına ağırlık verilmesinin ve mevcut yatırımların süratle gerçekleştirilmesinin ülke kalkınmasındaki önemi ve motive edici konumu artarak ülke gündeminin ön sıralarını işgal edecektir.

Termik ve Hidroelektrikten elde edilen elektrik ürününün değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Elektrik Enerjisinin Yıllara Göre Değişimi

TÜRKİYE ÜRETİMİ				Enerji (GWh)	Türkiye Nüfusu x 1000	Birim Net Tüketim (kWh/Kişi)
KURULU GÜÇ MW						
	Termik	Hidrolik	Toplam			
1950	390	18	408	679	20947	32
1960	861	412	1272	2396	27755	86
1970	1 510	725	2235	7308	35605	205
1980	2 988	2131	5119	20398	44737	456
1990	9 551	6764	16315	46820	56473	829
1995	11 089	9933	21022	67394	62526	1078
1996	11 312	9935	21247	74157	63898	1161
1997	11 869	10108	21977	105600	65300	1617
1998	11 869	10215	20084	112200	65300	1718

Aşağıda Türkiye Drenaj Sahaları bakımından havzalara göre yıllık ortalama su potansiyeli ile hidroelektrik üretim potansiyelinin nehir havzalarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 2.2. Drenaj Sahaları Bakımından Yıllık Ortalama Su Potansiyeli ve Hidroelektrik Üretim Potansiyeli.

Havza Adı	Ortalama Yıllık Akış (km ³)	H.E.S. Proje Adedi	Ortalama Yıllık Verim (l/s/km ²)	Ortalama Üretim (GWh)
Fırat Havzası	31.61	89	8.3	38419
Dicle Havzası	21.33	47	13.1	16868
Doğu Karadeniz Havzası	14.90	57	19.5	10927
Doğu Akdeniz Havzası	11.07	30	15.6	5202
Antalya Havzası	11.06	18	24.2	5217
Batı Karadeniz Havzası	9.93	23	10.6	2111
Batı Akdeniz Havzası	8.93	20	12.4	2496
Marmara Havzası	8.33	1	11.0	–
Seyhan Havzası	8.01	27	12.3	7117
Ceyhan Havzası	7.18	12	10.7	4834
Kızılırmak Havzası	6.48	32	2.6	7000
Sakarya Havzası	6.40	23	3.6	2382
Çoruh Havzası	6.30	34	10.1	10614
Yeşilirmak Havzası	5.80	27	5.1	5124
Susurluk Havzası	5.43	11	7.2	1696
Aras Havzası	4.63	13	5.3	2486
Konya Kapalı Havzası	4.52	5	2.5	104
Büyük Menderes Havzası	3.03	15	3.9	863
Van gölü Havzası	2.39	8	5.0	257
Kuzey Ege Havzası	2.09	2	7.4	42
Gediz Havzası	1.95	4	3.6	425
Meriç Ergene Havzası	1.35	–	2.9	–
Küçük Menderes Havzası	1.19	1	5.3	143
Asi Havzası	1.17	4	3.4	120
Burdur Göller Havzası	0.50	–	1.8	–
Akarçay Havzası	0.49	1	1.9	–
	186 05		504	123 385

Tablo 2.3. 1998 Yılı Başı İtibariyle Hidroelektrik Santrallerinin Durumu (Kurulu Gücü 250 MW'tan Büyük).

		Akarsu	Gövde Dolgu Tipi	Gövde Hacmi (10 ³ m ³)	(m) (Talvegten) Yüksekliği	(MW) Kurulu Güç	(GWh) Yıllık Üretim
İnşaatı Tamamlanan	1. Altınkaya	Kızılırmak	Kaya	16 000	140	700 (4x175)	1632
	2. Atatürk	Fırat	Kaya	84 500	166	2400 (8x300)	8900
	3. Gökçekaya	Sakarya	Beton Kemer	650	115	278 (3x28)	562
	4. Hasan Uğurlu	Yeşilirmak	Kaya	9 223	135	500 (4x125)	1217
	5. Karakaya	Fırat	Beton Kemer	2 000	158	1800 (6x300)	7354
	6. Keban	Fırat	Bet. Ağ. + Kaya	15 585	163	1330 $\left\{ \begin{array}{l} 4x157,5 \\ 4x175 \end{array} \right\}$	6000
İnşaa Halinde	7. Oyma Pınar	Manavgat	Beton Kemer	676	157	540 (4x135)	1620
	8. Sır	Ceyhan	Beton Kemer	494	106	284 (3x94,5)	725
	9. Berke	Ceyhan	İnce Kemer	735	186	510 (3x170)	1668
	10. Birecik	Fırat	Beton + Kaya	9 209	53,5	672 (6x112)	2516
Programda	11. Deriner	Çoruh	Beton Kemer	3 500	205	670 (4x167,5)	2118
	12. Artvin	Çoruh				332 (2x166)	1026
	13. Borçka	Çoruh				300 (2x150)	1039
	14. Boyabat	Kızılırmak	Beton Ağırılık	2 300	193	513 (3x171)	1468
	15. Ilisu	Dicle	Toprak	33 500	130	1200 (6x200)	3833
	16. Kayraktepe	Göksu	Kaya	17 000	135	290 (2x145)	768
	17. Yedigöze	Seyhan	Kaya	8 070	105	300 (2x150)	969
	18. Yusufeli	Çoruh				540 (3x180)	1705

Türkiye’de Cumhuriyet devrindeki ilk baraj Ankara şehrinin içme suyu için yapılmış olan Çubuk 1 barajıdır. İkinci Dünya Savaşı sonuna kadar, bu baraj ve sulama maksatlı birkaç küçük barajın dışında bir faaliyet görülmez. Bu tarihten sonra baraj ve hidroelektrik santral inşaatında hızlanma görülür.

Ülkemizde yıllık yağışlar 220~2500 mm arasında değişmekte olup, ortalama 642.6 mm’dir. Bu yıllık ortalama 501 milyar m³ yağış miktarına tekabül eder. Yılda ülkemiz yüzeyine düşen bu miktar suyun takriben 186 milyar m³’lük kısmı akış haline geçer. DSİ tarafından yapılan etüdlere göre işletme, inşaa, proje ve planlama halinde olanlar dahil takriben 702 baraj ve 493 adet hidroelektrik santral vasıtasıyla akarsularımız düzenlenebilecek ve azami fayda sağlanacaktır [38].

Suyun potansiyel enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için yapılan bir dizi inşaat ve mekanik sistemler düzeni enerji yapıları olarak tanımlanır. Enerji yapıları tanımı, genel olarak biriktirme yapıları, su alma yapıları, denge bacaları, yükleme odaları, vana odaları, cebri borular, santral binaları, kuyruk suyu yapıları, şalt sahası ve enerji iletim hatları gibi yapıları kapsamaktadır.

Bir baraj arızasının ciddi sonuçları gözönüne alınarak bu yapılar geniş güvenlik paylarıyla hesaplanmalı, ilk kez su doldurulurken dikkatli olunmalı ve barajlar hizmet verdikleri sürece düzenli bir biçimde denetlenmelidir. Bir barajın gözetimi inşasından hemen sonra, hatta bazen inşaat sırasında başlar (yapılara ölçü aleti yerleştirilmesi).

2.2. Baraj ve Baraj Mühendisliği

Barajlar, çeşitli özel amaçların yanısıra genel olarak suların faydasını arttırmak için yapılan ve vadi önlerinin kapatılmasıyla oluşturulan, 15 m.den yüksek, su depolayan mühendislik yapılarıdır. İlk barajlar genellikle içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmışlardır. Barajların yapımı oldukça uzun sürmekte (3-10 yıl) ve yıkılmaları halinde de çok ciddi can ve mal kayıplarına

neden olmaktadır. Diğer mühendislik yapılarının hiçbirinde suyun yapıya etkittiği statik ve dinamik etkiler barajlarda olduğu gibi yüksek değildir. Su mühendisliğinin ana kurallarından birini oluşturan “Bir yapıdaki veya tabiattaki herhangi bir zayıflığı ya da kaçak olabilecek bir yeri su mutlaka bulacaktır” prensibi her mühendisin bilmesi ve dikkate alması gereken hayati bir gerçektir. Bu bakımdan gerek projede ve gerekse işin yapım ve kontrolünde şartnamelerin dikkatle bilinçli olarak uygulanması gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi için tecrübeli elemanlara ihtiyaç duyulacağı açıktır.

Baraj mühendisliğinin diğer bir özelliği de ilmi olmasının yanısıra tecrübeye dayanan yanının ağır basmasıdır. Bu sebeple baraj yapıcılığında öğrenilmesi gereken daha bir çok önemli detay bulunmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere baraj yapımıyla ilgilenen mühendislerin uzmanlaşması için uzun yıllara ihtiyaç vardır. En önemli bölümünü barajların oluşturduğu büyük su yapıları, yapan usta ve yardımcılarının edindikleri tecrübe ve bilgi birikimlerin kendilerinden sonra gelen nesillere öğretmemeleri veya unutmaları neticesinde kullanılmaz hale gelmişler ve neticede ekonomileri su kullanımına dayanan medeniyetler yok olup gitmişlerdir. Ekonomisinin önemli bir kısmı tarıma dayanan ülkemiz açısından bu hususun dikkatle ele alınmasında sayısız faydalar bulunmaktadır. Ayrıca ülkemiz sanayisinde alt yapı, tarım girdilerine bağlıdır.

Ülkemizin gerek topoğrafik gerekse hidrolojik yapısının elverişli olması nedeniyle ağırlıklı olarak sulama ve enerji üretimi amaçlı çok sayıda toprak ve kaya dolgu inşaa edilmektedir. Bu barajlar pahalı yatırımlar olmakla birlikte yatırımın tamamlanması sonucu getirileri ile ülke ekonomisine büyük katkıları da bulunmaktadır.

Ülkemizin içinde bulunduğu ekonomik koşullar dikkate alındığında büyük yatırımlara finans kaynağı temin etmekte önemli güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Bu durumda mevcut finans kaynaklarının en iyi bir biçimde optimize edilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Mühendislik uygulaması yönünden bu optimizasyon,

inşaat maliyetlerinin yapı güvenliğini etkileyemeyecek şekilde en aza indirilmesi ve inşaat sürecinin mümkün olduğunca kısaltılarak yatırımın biran önce servise alınması ile gerçekleştirilebilir.

Baraj planlamasında dikkate alınması gereken güvenlik inşaat maliyeti ve inşaat süresi kavramları yer seçimi, projelendirme ve imalat aşamalarında yapılacak zemin etüdüleri ile çok yakından ilişkilidir. Yeterli düzey ve kapsamda yapılmayan jeolojik, hidrolojik, jeofizik çalışmalar ve zemin etüdüleri sonucu bir çok projede plan ve proje aşamasında öngörülmeven problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin çözümü ek finansman gerektirmektedir. Ülkemizdeki yasalar proje keşif bedelinin % 30'unu aşan maliyet artışlarını genelde zemin temel problemleri koşullarına bağlamıştır. Bu durum, zemin etüdülerinin önemini bir kere daha vurgulamaktadır.

Diğer taraftan bahsolunan etüdülerin yetersizliğinden kaynaklanan öngörülmeven bazı problemler inşaatın tamamlanmasından sonra ortaya çıkmaktadır ve sonuçta yatırım beklenen verimliliğe ulaşamamakta, bazı hallerde ise fonksiyonunu görememektedir.

2.3. Baraj Tesislerinin Yerleştirilmesi

Baraj gövdesi, çevirme tüneli, dolusavak, santral, sulama kanalları vb. tesisler harita üzerine yerleştirilirken nelere dikkat edilmesi gerekir. Bu konu üzerinde biraz durulacaktır. Şu durumun öncelikle belirtilmesi uygun olacaktır. Önce teknik yönden uygun yerler seçilecektir, sonra ekonomisi düşünülecektir. Teknik yönden daha az uygun tesis yerinin seçilmesi, doğal olarak ekonomiyi olumsuz olarak etkiler. Aşağıda belirteceğimiz ilkeler, gerek ön inceleme aşamasında, gerekse planlama aşamasında gözönüne alınması gerekli ilkelerdir [32].

2.3.1. Baraj Gövdesi

- a- Akarsuyun dar bir yerinde olmalıdır.
- b- Arkasında yeteri kadar su toplanabilecek hacim olmalıdır.

- c- İstenilen yükseklikte yapılabilecek bir yerde olmalıdır.
- d- Zemin, taşıyıcılık ve geçirimsizlik yönünden iyi durumda olmalıdır.

2.3.2. Çevirme (Derivasyon) Tüneli

- a- Mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır.
- b- Sağlam yamaçlardan geçirilmelidir.
- c- Giriş ve çıkışlarda mümkün olduğu kadar eş yükselti eğrilerine (Münhani) dik olacak güzergah izlenmelidir.
- d- Yatay ve düşey kurplardan elden geldiğince kaçınılmalıdır.
- e- Kurplar, elden geldiğince yaklaşım kanalında yapılmalıdır.

2.3.3. Dolusavak

- a- Sağlam zemin üzerine oturtulmalıdır.
- b- Kanal boyu kısa olmalıdır.
- c- Kanalın doğrultusu, akarsuyun enerji kırıcı tesisten sonraki doğrultusuna elden geldiğince paralel olmalıdır.

2.3.4. Hidroelektrik Santral

- a- Sağlam zemin üzerinde olmalıdır.
- b- Bir yandere çıkış ağzında olmamalıdır.
- c- Dolusavak boşaltımından zarar görmeyecek bir yerde olmalıdır.
- d- En fazla enerji üretimini sağlayacak bir yerde ve kotta olmalıdır.

2.3.5. Sulama Ana Kanalı

- a- Bütün sulama alanını sulayacak kottan geçirilmelidir.
- b- Elden geldiğince az yarma ve dolgudan geçirilmelidir.
- c- Akedük ve sifon yapımını gerektirmemelidir.
- d- Ekonomik eğimde ve kesitte olmalıdır.

Yukarıda belirtilen kurallara elden geldiğince uyularak tesisler harita üzerine yerleştirilmelidir. Bu yerleştirme sırasında ileride jeolojik, ekonomik gibi

nedenlerden olabilecek değişiklikler düşünülerek, seçenek tesis yerleri belirlenmelidir. Tesisler yerleştirilip proje formülasyonu belirlendikten sonra mutlaka deneyimli bir jeoloji mühendisi ile birlikte proje yerine gidilmeli, tesis yerleri, yerinde ve harita üzerinde jeolojik yönden incelenmelidir. Zeminin topoğrafik yapısının haritadakine benzeyip benzemediğı kontrol edilmelidir. Arazideki incelemeler sırasında alınacak notlara göre, tesis yerleri tekrar gözden geçirilmeli ve gerekirse yerleri değiştirilmelidir.

2.4. Barajların Sınıflandırılması

Her biri ayrı bir uzmanlık alanını oluşturan hidrolik, jeolojik ve topoğrafik çalışmalar ile ekonomik analizler sonucu bir barajın yapılıp yapılamayacağına karar verilir. Bu durumda sözkonusu barajın hacmi, yüksekliği, dolusavak kapasitesi, tünel ve su alma yapılarına ait kapasitelerin yanı sıra barajın tipine de karar verilir. Barajlar taşıdıkları özelliklere göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler;

2.4.1. Büyüklüklerine Göre Sınıflandırma

Barajlar büyüklüklerine göre büyük baraj veya küçük baraj (gölet) olarak sınıflandırılır. Bununla beraber bu sınıflandırmayı kesin tanımlar ile vermek mümkün değildir. Uluslararası Büyük barajlar Komisyonu (ICOLD) büyük baraj tanımı için aşağıdaki şartları vermektedir [4].

Kreti ile temeli arasındaki yükseklik 15 m.den fazla olan barajlar.

Yüksekliği 10 ile 15 m. arasında olan fakat buna ek olarak;

- Kret uzunluğu 500 m
- Hazne Hacmi 1.000.000 m³
- En Büyük Taşkın Debisi 2000 m³/sec

gibi hususlardan en az birisinin mevcut olduğu barajlar büyük baraj olarak isimlendirilir. Küçük barajlar ya da göletler, bu tanımın dışında kalan etüd, proje

ve inşaat esasları daha basit ve çabuk sonuç alıcı kriterlere göre yapılan barajlardır.

2.4.2. Yapım Amaçlarına Göre Sınıflandırma

a- Tek Amaçlı Barajlar

- İçme, kullanma ve endüstri suyu sağlayan barajlar
- Tarım yapmak için gerekli suyu sağlayan barajlar
- Hidroelektrik enerji üretmek için yapılan enerji barajları
- Taşkın koruma barajları
- Başka bir barajın mansap şartlarının düzenlenmesi, yer altı suyunun beslenmesi, su kirliliğinin önlenmesi, fabrika atıklarının depolanması, su ürünlerinin yetiştirilmesi ve benzeri amaçlı barajlar

b- Birden Fazla Fonksiyonu Yerine Getiren Çok Amaçlı Barajlar

Barajlar çoğunlukla birden fazla amaca hizmet etmek üzere inşa edilirler. Birden fazla amacın hedeflendiği barajlarda ayrı ayrı her amaca hizmet verebilecek bir rezervuar tahsisine gidilir. Çok amaçlı genel bir projede depolama, taşkın kontrolü ve rekreasyona yönelik fonksiyonlar birarada bulundurulmalıdır.

2.4.3. Gövde Yapısında Kullanılan Malzemeye Göre Sınıflandırma

Projelendirme yöntemlerinin değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın sınıflandırma, baraj ve gövde inşaatında kullanılan malzemeye göre yapılar sınıflandırmadır.

a- Dolgu Barajlar

- Toprak dolgu barajlar (Homojen, Zonlu, Diyaframlı)
- Kaya dolgu barajlar

h- Beton Barajlar

- Beton ağırlık barajlar
- Payandalı beton barajlar
- Beton kemer barajlar
- Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (RCC)

c- Kargir Barajlar

d- Ahşap Barajlar

2.4.4. Düzenleme Devresine Göre Sınıflandırma

a- Düzenleme Yapmayan Çevirme Barajlar

Suyu istenilen yöne, örneğin bir kanala veya bir tünele çevirmeye yarayan baraj tipidir.

b- Mevsimlik Düzenleme Yapan Barajlar

c- Uzun Vadeli Düzenleme Yapan Barajlar

1 yıldan daha fazla su ihtiyacını depolama özelliği olan baraj tipidir.

2.4.5. Hidrolojik Projeye Göre Sınıflandırma

a- Üzerinden suyun aşmasına müsaade edilen barajlar

b- Üzerinden suyun aşmasına müsaade edilmeyen barajlar

2.4.6. Gövdenin Statik Projelendirilmesine Göre Sınıflandırma

a- Ağırlık Barajı

b- Kemer Ağırlık Barajı

c- Kemer Baraj

d- Payandalı Baraj

e- Toprak Dolgu Baraj

f- Kaya Dolgu Baraj

Baraj tiplerinden bahsedildiğinde genellikle bu son sınıflandırma şekli anlaşılmaktadır.

2.5. Baraj Tipinin Seçimi ve Tip Seçimine Etki Eden Fiziksel Faktörler

Bir baraj yerinde genellikle birden fazla baraj tipinin yapımı gündeme gelmektedir. Genel olarak herhangi bir tipin en uygun ve ekonomik çözüm olduğuna karar vermeden önce birden fazla alternatif incelenmeli ve ön proje çalışmaları yapılmalıdır. Bu nedenle baraj yerine ve yapılış amacına en uygun ve en ekonomik baraj tipinin belirlenmesi için birden fazla faktörün birlikte incelenmesi gerekmektedir. Öncelikle amaç ve düzenleme devresi ele alınmakla beraber, gövde yapısında kullanılan malzemeye göre tip seçimini etkileyen fiziksel faktörler aşağıda açıklanmıştır [1].

2.5.1. Topoğrafya

Topoğrafik değerlendirmeler bir baraj tipi seçiminin kararlaştırılmasında başvuru alan ilk bilgileri içermektedir. Baraj ve rezervuar alanının yüzey oluşumu ile baraj yerine ve malzeme alanlarına ulaşım gibi konuların ele alındığı topoğrafik çalışmalar sonucunda yapılacak barajın tipi hakkında ilk düşünceler oluşmaktadır. Mesela, sağlam ve yüksek kayalıkların bulunduğu bir vadiye inşaa edilecek baraj tipinin beton bir baraj olacağı açıktır. Yeterli ve kaliteli malzeme olması halinde bu gibi yerlerde Kaya dolgu bir baraj yapımı da düşünülebilmektedir. Ancak oldukça dik ve derin bir vadide kaya dolgu bir baraj inşaa edilip ayrıca bir dolusavak yapmaktansa; dolusavağı üzerine oturtma imkanı bulunan beton bir baraj inşaatı daha uygun daha ekonomik olabilir. Diğer yandan geniş vadiler üzerine genellikle dolgu barajların inşaatı daha uygun olmakta; bu iki durum arasında kalan yerlerde ise karma bir baraj yapımı düşünülerek de çözüm yoluna gidilebilmektedir.

2.5.2. Jeoloji ve Temel Şartları

Baraj alanı jeolojisi, o alan üzerine inşa edilebilecek en uygun baraj tipinin seçiminde büyük rol oynamaktadır. Baraj tipi seçiminde temel tabakalarının kalınlığı, mukavemeti ve eğimi ile geçirgenliği, kırıklar ve fay zonları da etkili olmaktadır. Aşağıda çoğunlukla karşılaşılan temel türlerinin bir değerlendirilmesi yapılmaktadır.

2.5.2.1. Kaya Temeller

Önemli derecede jeolojik kusurları bulunmayan, yüksek kayma mukavemetine sahip, erozyona ve sızmalara karşı yeterli dayanımı olan kaya temeller üzerine baraj yapımında; temel şartları baraj tipini belirlemede çok etkili olmaz. Ancak, kullanılacak malzemenin ekonomik olup olmayışı ya da toplam maliyet baraj tipini belirlemede rol oynayan etkin faktörlerdir. Bu arada parçalanmış kayaların ve tabakalar arasındaki kırık ve çatlakların tecrit edilmesi dikkat edilmesi gereken diğer bir hususu oluşturmaktadır. Killi şist, bazı kum taşları ve hava etkisiyle bozuşuma uğramış bazalt gibi zayıf kayalar baraj dizaynı ve inşaatı açısından önemli problemler çıkarabilmekte ve baraj tipi seçimini önemli derecede etkileyebilmektedir.

2.5.2.2. Çakıl Temeller

Bu tip temeller iyi bir şekilde sıkıştırıldıkları takdirde, üzerlerine toprak dolgu barajların yapımı için uygun hale gelirler. Çakıl temeller, çoğunlukla büyük oranlara varan su sızmalarına maruz kaldığından; yeterli sızma kontrolünü sağlayacak etkili tedbirlerin alınması yoluna gidilmelidir.

2.5.2.3. Silt ya da İnce Kum Temeller

Genellikle kaya dolgu baraj yapımının uygun olmadığı silt ve ince kum temeller üzerine, uygun şekilde dizayn edilmeleri halinde toprak dolgu barajlar ve yüksekliği fazla olmayan beton ağırlık barajlar oturtulabilirler. Silt veya ince kum temeller üzerine inşaa edilecek barajların projelendirilmesinde dikkat

edilecek dizayn kriterleri arasında farklı oturma, doygunluğa bağlı potansiyel zemin göçmeleri, yeraltısuyunun temele etkittiği kaldırma kuvvetleri, borulanmanın önlenmesi, aşırı sızma kayıpları ve mansap topuğunun erezyondan korunması bulunmaktadır.

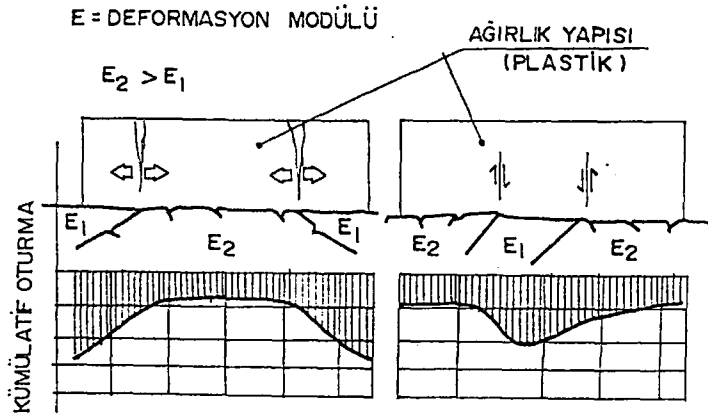
2.5.2.4. Kil Temeller

Toprak dolgu barajlara temel teşkil edebilen kil temeller, sahip oldukları düşük kayma mukavemetleri nedeniyle nisbeten daha yatık dolgu şevlerini ön görürler. Kil temeller üzerine barajların yapılması halinde; baraj ağırlığına maruz kalan kil tabakalarında önemli boyutlara varan oturmalar (konsolidasyona) rastlanmaktadır. Kil temellerin oturmaya karşı aşırı eğilimi ve baraj dolgu şevlerinin yatık yapılması mecburiyeti nedeniyle genellikle kil temeller üzerine kaya dolgu baraj inşaatı ekonomiden uzak olmaktadır. Kil temeller üzerine beton baraj yapımı, takdir edilebileceği gibi, uygun olmamaktadır.

2.5.2.5. Üniform Olmayan (Düzensiz) Temeller

Çok sık olmasa da bazı hallerde yukarıda belirtilen üniform temel tipleri üzerine baraj yapımı mümkün olmayabilir. Bu gibi hallerde, kaya ve toprak zeminden oluşan ve üniform olmayan bir temel üzerine baraj inşaatı yoluna gitmek zorunda kalınabilir. Yinede bu gibi olumsuz şartlar özel dizayn şekilleri kullanılarak dengelenebilir.

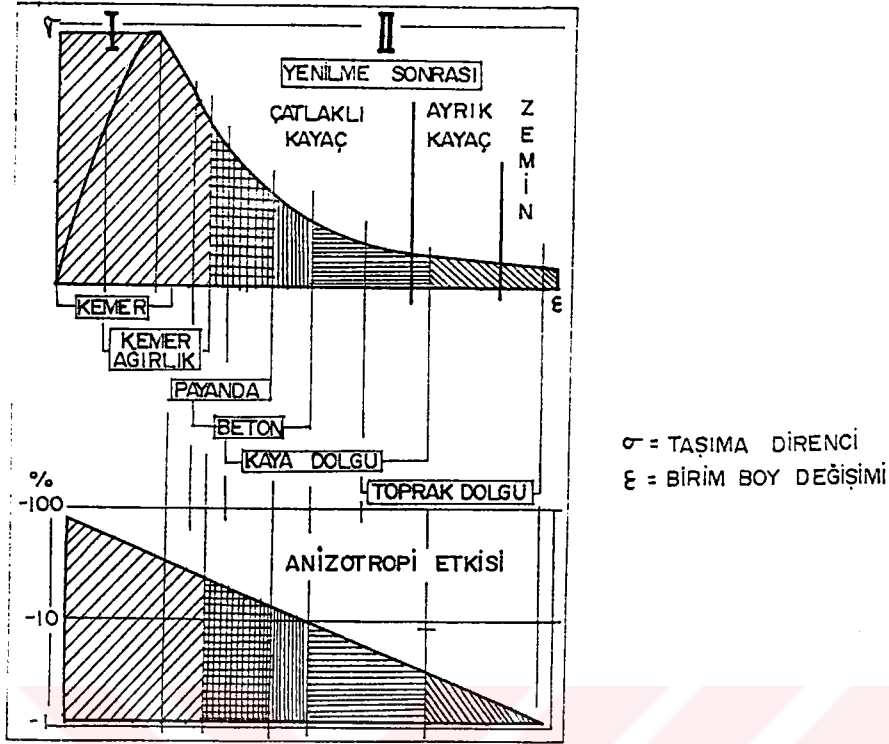
Görüldüğü gibi, baraj tipi ve temelin jeolojik-jeoteknik özellikleri arasında belirleyici bir ilişki bulunmaktadır. Temel kayacının temel altındaki farklı deformasyon modüllerinden kaynaklanan heterojen oturmalar, toprak dolgu barajlarda yapının oturmalarla uyumlu davranması nedeniyle çok önemli değildir. Ancak beton barajlarda temeldeki farklı oturmalar baraj gövdesinde büyük sorunlara neden olabilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Temeldeki Heterojen Oturmaların Ağırlık Yapılarına Neden Olduğu Kesme ve Çekme Gerilmeleri.

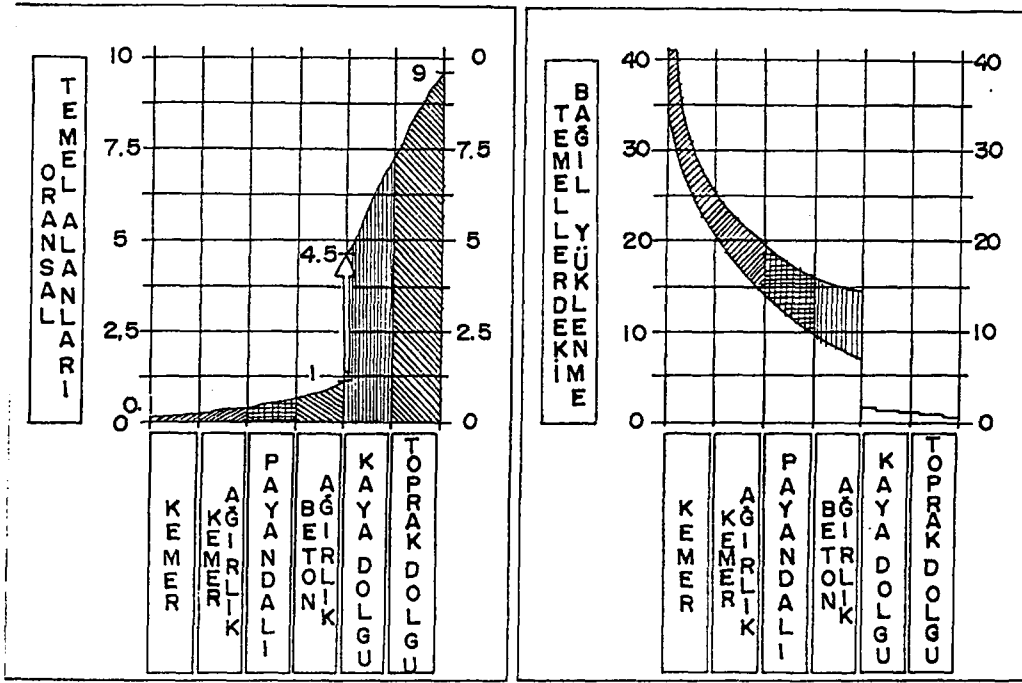
Bir baraj inşaatına temel teşkil edecek kayanın, monolitik ortamdaki çatlaklı, kırıklı, ufalanmış ve ezilerek zemin özelliği kazanmış durumuna kadar geçen süreci; “pre-failure” (yenilme öncesi) ve “post-failure” (yenileme sonrası) davranışları ($\sigma - \epsilon$) grafikleri ile gösterilmektedir. Şekil 2.2.’de örnek olmak üzere kayanın tipik bir davranış eğrisi üzerinde, taşıma direncindeki azalma bunların farklı baraj tipleri ile olan, zorlayıcı ilişkileri gösterilmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç, ortamın süreksizliklerle parçalanması oranında dayanımını kaybettiği ve dolayısıyla temele daha az yük aktaran baraj türlerinin seçilmesini zorunlu kıldığıdır. Şeklin altında yer alan grafik ise, bu baraj türlerinin hangi oranda kayaç anizotropisinden etkilendiğini göstermektedir.

Şekil 2.3.’te ise aynı yükseklikte değişik baraj tiplerinin oluşturduğu temel alanları ve bunların temellerindeki bağıl yüklenmeler gösterilmektedir. Şekilde dolgu barajların diğer baraj tiplerine göre 4.5 ila 9 kat daha fazla bir alana yayıldıkları ve 16 ila 40 kez daha az taşıma direnci olan kayaçlar üzerine inşa edildikleri vurgulanmaya çalışılmaktadır.

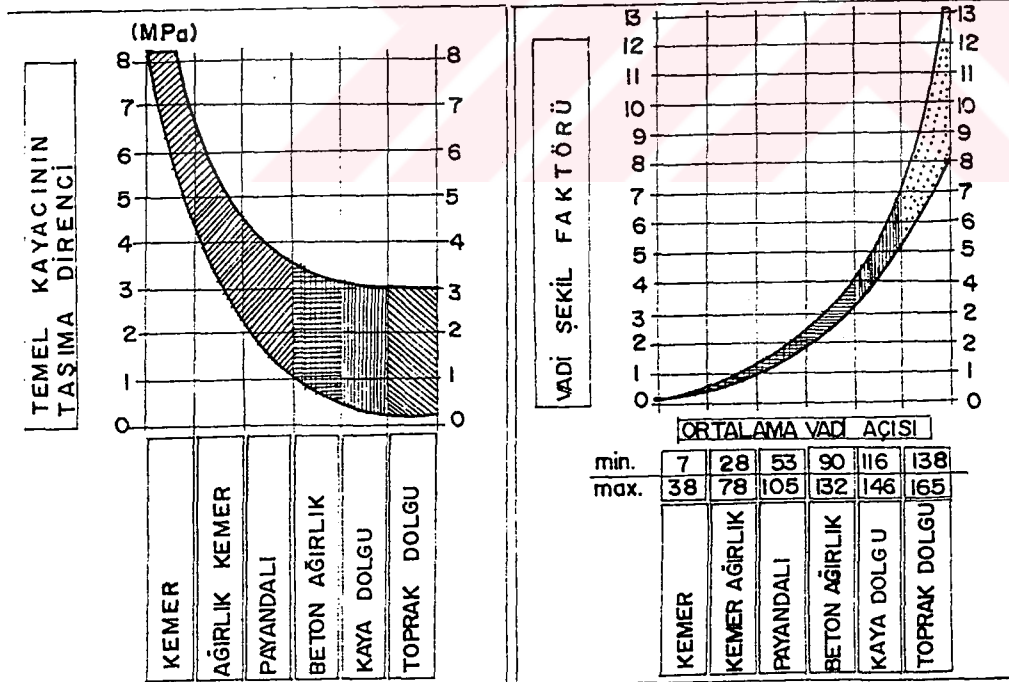


Şekil 2.2. Post-failure Davranışına Bağlı Olarak Kayaçların Taşıma Direncindeki Azalım ile Baraj Tipleri Arasındaki İlişki ve Bunların Anizotropiden Etkilenme Oranları.

Şekil 2.4.1'de temel kayaçlarının taşıma dirençlerini mutlak değerler açısından verilmiştir. Görüldüğü gibi, toprak ve/veya kaya dolgu barajların temellendirildikleri kayaçların taşıma dirençleri, birkaç kg/cm^2 'den 30 kg/cm^2 'ye kadar çok geniş bir bant içinde bulunabilmektedir. Böylece dolgu barajlara çok geniş bir taşıma bandı içinde inşaa edilebileceği ve bunun da tercih nedenlerinden biri olduğu gösterilmektedir. Taşıma dirençlerinin üstten sınırlanması pratik bir sonuç olup, kuramsal olarak, dolgu barajların yüksek dirençli kayaçlar üzerinde temellendirilmesini engelleyen bir neden bulunmamaktadır. Ancak, yüksek dirençli kayaçlar genelde vadi şekil faktörü açısından daha elverişli, diğer baraj türlerine imkan veren daha dik yamaçlı vadiler oluşturmaktadır. Bu durum Şekil 2.4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Aynı Yükseklikteki Değişik Barajların Oturduğu Oransal Alanlar ve Bağıl Yüklenmeler.



Şekil 2.4.1. Mutlak Değerler Açısından Temel Kayaçların Taşıma Kapasiteleri

2. Vadi Şekil Faktörü ve Vadi Açıları ile Baraj Tipleri Arasındaki İlişki

2.5.3. Baraj Yüksekliği

Baraj tipi seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer faktör de inşaa edilecek barajın yüksekliğidir. Yüksekliği fazla olmayan barajlarda tip seçilirken kısıtlayıcı faktörler daha azdır. Bu nedenle inşaat kolaylığı sebebiyle homojen barajlar seçilmektedir. Bu tipteki barajların maksimum yüksekliği yaklaşık olarak 40 m.dir.

Yüksek barajlar genelde zonlu tipte yapılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan birisi de baraj stabilitesi açısından çok yüksek barajların zonlu tipte yapılmaları gerekliliğidir. Ayrıca baraj yüksekliğinin çok artması halinde ön yüzü geçirimsiz membranla kaplı barajların oturmalarından fazlasıyla etkilendiği de unutulmamalıdır.

2.5.4. Kullanılacak Malzemenin Kalite ve Miktarı

Baraj tipi seçiminde baraj yerindeki veya yakınlarındaki malzemenin kalitesi ve miktarı ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Hem geçirimli hem geçirimsiz malzemenin bulunduğu yerlerde en uygun tipin seçimi için malzemenin kalitesi ve kullanılacak miktar incelenmelidir. Toprak malzemenin çok fazla olduğu fakat geçirimli malzemenin az olduğu yerlerde homojen tipli barajlar seçilmelidir. Geçirimsiz çekirdek için yeterli malzemenin bulunduğu yerlerde önyüzü geçirimsiz membranla kaplı barajların yapımı yoluna gidilmelidir. İnce taneli veya nem oranı yüksek toprak malzemeler, dolgu hızının kontrol edilmesi ve drenlerin yerleştirilmesi halinde kalın geçirimsiz zonlu veya homojen tipteki barajlarda da kullanılabilir.

2.5.5. Dolusavak

Dolusavaklar, baraj bünyesindeki hayati yapılardan birini oluşturmaktadırlar. Bir dolusavağın boyutları, tipi ve konumunun getirdiği sınırlamalar baraj tipi seçimini kontrol eden faktörler arasında yer almaktadır. Dolusavak koşulları, baraj tipi ve boyutu ile baraj yeri koşullarından bağımsız

olarak öncelikle yüzeysel akım ve akarsu yatağı toplam akımına ait karakteristiklerinden etkilenmektedir. Özel tipte dolusavak seçimi yapılırken, geçirilmesi olası taşkınların büyüklüğüne bakılması gerekmektedir. Böylece, büyük taşkın potansiyeline sahip akarsular üzerine kurulacak barajlarda etkin faktörün dolusavak olduğu ve baraj tipi seçiminin değerlendirmede ikincil bir faktör olarak karşımıza çıktığı görülmektedir. Büyük bir dolusavak inşaatının maliyeti, toplam baraj proje maliyetin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu gibi durumlarda dolusavağın kret üzerine oturtulduğu beton barajlarda olduğu gibi baraj gövdesini ve dolusavağı tek bir yapı halinde düşünmekte fayda vardır. Bazı örneklerde, dolusavak harfiyatından çıkarılan malzemenin gövde dolgusunda kullanılması gündeme gelmektedir. Bu açıdan toprak dolgu baraj yapımı avantajlı olabilmektedir.

Toprak ya da kaya dolguların üzerine beton dolusavak inşaatı uygulamalarına klasik (tutucu) dizayn kabulleri ve yıkılmalara karşı kesin emniyet gerektirmeleri sebebiyle cesaret edilememiştir. Bu gibi dizaynlarda rezervuarın uyguladığı yük sonucu temelde ve dolguda farklı oturmalar meydana gelmekte ve bu oturmaları aynı oranda takip edemeyen dolusavak betonunda çatlaklara rastlanmaktadır. Bu çatlaklardan sızan suların neden olduğu borulanma sonucunda ise muhtemel bir baraj göçmesiyle karşı karşıya gelinebilmektedir.

2.5.6. İklim

İnşaat süresinde çalışılan günler bakımından iklimin önemi büyüktür. Yağışlı ve soğuk havalarda kil dolgu önemli ölçüde yapılamaz. Bu ise inşaatın geç bitmesine neden olmaktadır. Yağışlı yerlerde kil çekirdek zonu büyüklüğünün azaltılması, kil çekirdek zonunun baraj memba yüzünde yapılması, kil çekirdek dolgusunun bir miktar düşük kotta kalmasına razı olunması gibi çözümler ön görülmektedir. Yağışlı havalarda geçirimli ve kaya dolgular yağışsız mevsimlerdeki gibi yapılabilir. Çok kurak yerlerde baraj mansap şevinin çimlendirilmesi mümkün olmamaktadır. Yağışlı mevsimlerde

baraj mansap şevinin yağışlardan zarar görmemesi için baraj mansap şevinde çakıl veya kaya blanket yapılır. Çok yağışlı yerlerde pere kaplama yapılır. Soğuk havalarda (-5°C) bazı şartlara riayet edilerek kil dolgu yapmak mümkündür.

2.5.7. Vadinin Şekli ve Genişliği

Vadi dar ve yamaçlar çok dik ise böyle yerlerde stabilitenin özel bir şekilde incelenmesi gerekir. Dar ve dik vadilerde yolların yapımı büyük harcamaları gerektirir. Taşıma yollarının dolgu üzerinde yapılması imkanlarının araştırılması, kaya dolguların dökme suretiyle kalın tabakalar şeklinde yapılması ve yaklaşım yollarının azaltılması vadi çok dik ise kil çekirdek ve ince filtreye isabet eden kısımlarda dik yamacın mümkünse 1:1'e yatırılması, farklı oturma nedenlerinden mümkün mertebe kaçınılması, filtre zonunun ve bilhassa mansap filtre zonunun öneminin bilinmesi gibi özel projelendirmeler ve çözümler gerektirmektedir.

2.5.8. Nehrin Çevrilmesi

Vadinin genişliği ve nehrin akışındaki değişiklikler büyük önem taşır. Dar ve dik yamaçlı vadilerde nehrin derivasyonu tünel yapılarak temin edilir. Geniş vadilerde suyun tünele çevrilmesi için gerekli dolguların bir kısmı önceden yapılır. Nehrin aktığı kısmın kapatılması sırasında önceden yapılan dolgu ile sonradan yapılan kısım arasında oturma çatlaklarının meydana gelmesi en önemli sorundur. Çatlakların zararından kurtulmak için ekstra filtre düşünülmelidir ve son kapatma kısmında sıkıştırılan dolgu rutubeti normalden yüksek tutulmalıdır.

2.5.9. İnşaat Süresi

İnşaat süresine göre baraj tipinde değişiklikler söz konusu olabilir. Çok yavaş yapıldığı takdirde bir sorun doğmayan bir baraj inşaatının hızlı yapılması istenirse bazı sorunlar doğabilir. Buna örnek olarak inşaatın yavaşça göre hızlı yapılması sırasında önemli yüksek boşluk suyu basınçları doğuyorsa bu inşaatта şevlerin yatırılması ve ilave muhtelif tipte dahili drenaj sistemlerinin yapılması

gibi tedbirler gerekebilir. Bir diğerk husus zorunlu kazılarda çıkan malzemenin büyük ölçüde dolguda kullanılmasını temin için de inşaat zamanının uzun tutulması söz konusu olabilir. Baraj sızma kayıplarının tolerans durumu da inşaat zamanını etkiler. Bir miktar fazla su kaybına razı olunursa bazı tedbirlerden kaçınmak mümkün olabilir.

2.5.10. Baraj Gölünde Dalga Etkisi

Baraj gölünde doğacak dalgalardan baraj menba şevinin zarar görmesi muhakkak önlenmelidir. Dalga yüksekliği rüzgarın hızına, yöredeki hakim rüzgarın yönündeki gölün uzunluğuna bağlıdır. En çok toprak barajlarda olmak üzere baraj menba şevinin korumasında aşağıdaki malzemeler kullanılırlar.

- a- Dökme kaya riprap
- b- Elle konan kaya riprap
- c- Beton bloklar
- d- Sürekli betonarme kaplama

2.5.11. Zelzele Etkisi

Türkiye’de bugüne kadar inşaa edilmiş ve yakın bir gelecekte yapımı planlanan barajların büyük bir çoğunluğu aktif deprem bölgelerinde yer almaktadır. Bu yüzden barajların depreme dayanıklı olarak projelendirilmesinde olası bir deprem sırasında baraj gövdesine etkiyecek yatay kuvvetler, dinamik analiz yöntemleri kullanılarak ya da statik eşdeğer yatay yükler şeklinde alınabilmekte, ancak temel zeminini oluşturan tabakaların, dolguya etkiyen yatay kuvvetler üzerindeki etkisinin gözönünde tutulması gerekmektedir. Baraj yerinin deprem bölgeleri yönünden durumu düşünülerek stabilite hesapları yapılır. Ancak bunun dışında iyi bir filtre kullanımı, mansap filtresinin kapasitesinin artırılması, borulanmaya dayanıklı malzemedan kalınlığı fazla bir kil çekirdek ekstra hava payı, mansap zonlarının çok geçirimli olması, daha sağlam temel gibi tedbirler söz konusudur. Deprem dalga şoku kayada

yapılıyorsa hızı yüksek ve fakat amplitüdü küçüktür. Eğer şok kayadan üstündeki toprak temele geçiyorsa şokun hızı azalır ve amplitüdü artar. Amplitüdün büyük olması yapılara daha büyük hasar meydana getirir.

2.5.12. Amaç ve Rantabilite (Kâr–Maliyet) İlişkisi

Bir barajın inşaa edilme amacı çoğu kez en uygun baraj tipinin belirlenmesinde yönlendirici faktör olmaktadır. Güvenli ve verimli bir baraj inşaa etmeye uygun olmayan az sayıda yer bulunmakla beraber; harcamaların rantabl olmadığı birçok örnekte baraj alanının olumsuz şartları proje maliyetini artırmaktadır. Uygun baraj tipi seçimine yönelik araştırmalar; o projeden elde edilecek kârlar da gözönüne alınarak tutarlı bir maliyet ile inşaa edilip edilemeyeceğinin ortaya çıkarılmasında yardımcı olmaktadır. Bu nedenle baraj tipi seçiminde rantabilitenin oldukça önemli bir yeri bulunmaktadır.

2.6. Baraj Tipleri ve Genel Özellikleri

2.6.1. Beton Ağırlık Baraj

(U) ve (UV) şeklindeki vadilerde beton ağırlık tipi barajların inşaaı uygun olmakta ve inşaa edilebilmeleri için sağlam ya da orta sağlamlıkta kaya temeller tercih edilmektedir. Dolusavak harfiyatının zor olduğu vadilerde, beton gövde üzerine dolusavak oturtmanın mümkün olması nedeniyle bu tip barajlar avantaj sağlarlar. Ancak baraj yüksekliği arttıkça diğer baraj tiplerine oranla daha pahalı olurlar [4].

2.6.1.1. Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri

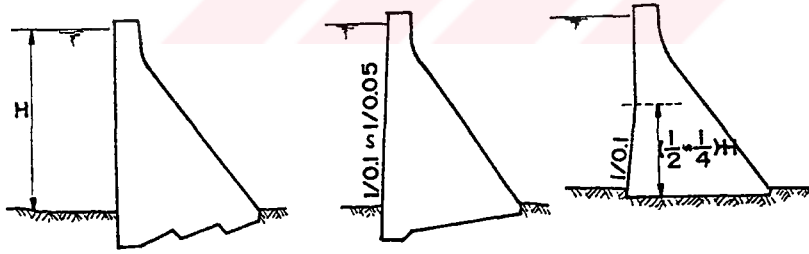
a- Sağlam ve geçirimsizliği sağlayabilecek yeterli kalınlıkta kaya temellerin uygun bir derinlikte bulunduğu orta genişlikteki vadilerde,

b- Yeterli miktar ve istenen özellikte agrega malzemenin bulunduğu ve çimento naklinin ekonomik olduğu yerlerde,

c- Büyük taşkın debilerinin baraj gövdesi üzerinden mansaba aktarılması gereken durumlarda,

d- Diğer beton baraj tiplerine oranla don etkilerine karşı daha az hassas olmaları nedeniyle, beton ağırlık barajlar tercih edilmektedirler.

Uygun temel şartlarında, projesi yerel temel şartlarına uygun ve inşaatı iyi bir şekilde gerçekleştirilmiş beton ağırlık bir baraj, bakım ve işletme masrafları az olan kararlı bir yapıdır. Beton ağırlık barajlarda en uygun kesit olarak, gövde üzerine etki eden en önemli dış kuvvet olan ve haznedeki hidrostatik su basıncı dağılımına uyum sağlayan, tabana doğru genişleyen üçgen kesit seçilmektedir. Üçgenin üst kısmı genellikle max. su seviyesi ile aynı seviyededir. Memba yüzeyi düşey ya da %10'u geçmemek şartıyla eğimli olarak yapılabilir. Baraj boş haldeyken çekme gerilmelerini önlemek ve dolu haldeyken de kayma ve devrilme emniyetini artırmak için yüksek barajlarda memba yüzeyi genellikle eğimli olarak planlanmaktadır. Yüksek beton barajlarda memba yüzeyinin yalnız alt kısmı tabandan $(1/2-1/4)$ h yüksekliğe kadar eğik yapılabilmektedir (Şekil 2.5).



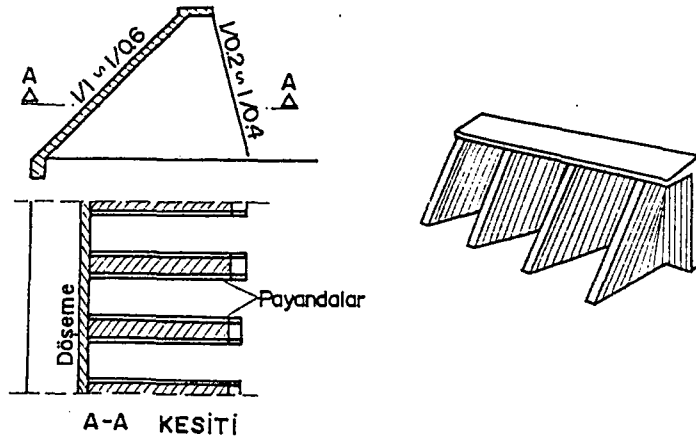
Şekil 2.5. Beton Ağırlık Baraj İçin Kesit Alternatifleri.

Ayrıca beton ağırlık barajlarda memba yüzeyine yakın bir yerde ve değişik yüksekliklerde öngörülen kontrol galerileri ile çatlaklar ve sızıntılar kontrol edilmekte, ölçüm aletleri gözlenmekte ve gerekli olması halinde enjeksiyon perdesinin takviyesi sağlanmaktadır.

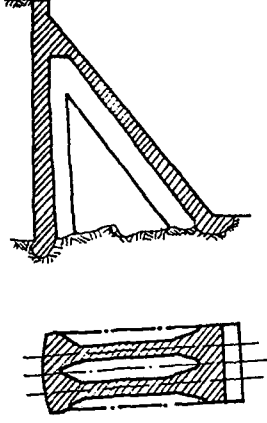
Beton ağırlık barajlarda, temele çok büyük yükler aktarıldığından oldukça büyük gerilmeler oluşmaktadır. Bu nedenle monolitik, geçirimsiz ve dona karşı emniyetli kayalar en uygun temel zemini oluşturmaktadır. Beton ağırlık barajlarda kayma emniyetinin fazla büyük olmaması nedeniyle; baraj ile kaya arazsındaki temas yüzeyi mümkün olduğunca düzensiz daha da iyisi dişli olarak açılmalı ve pürüzlendirilmelidir. Taban suyu basıncı, beton ağırlık baraja etki eden en önemli faktörlerden birisini oluşturmaktadır. Suyun baraj temelin girmesini güçleştirerek taban suyu barajını azaltmak için genellikle memba tarafında bir saplama duvar yapımı öngörülmektedir. Beton ağırlık barajlarda gövdenin içerdiği büyük miktardaki beton hacmi nedeniyle, inşaat esnasında karşılaşılan en önemli sorun beton priz ıssısı ve şişmedir. Beton dökümüne başlamadan önce temel yüzeyi iyice temizlenmeli ve ancak bu işlem tamamlandıktan sonra beton dökümüne geçilmelidir. Beton dökümü boyu 12-15 m, yüksekliği de 1-1.5 m. olan anolar halinde yapılması ve priz ıssısını düşürmeye yönelik tedbirler alınmalıdır. Bloklar arasındaki geçirimsizliği sağlamak için derzler değişik tipte tıkaçlarla kapatılmakta ve arka taraflarında bir de dren öngörülmektedir.

2.6.2. Payandalı Beton Barajlar

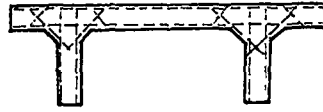
Gövdesi memba yüzünü kapatan beton perde veya kemerlere mesnet görevi yapan payandalardan meydana gelen barajlardır.



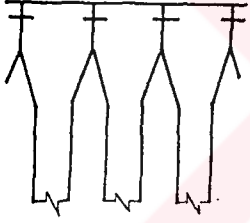
Şekil 2.6. Payandalı Beton Bir Baraja Ait Plan, Kesit ve Görünümü.



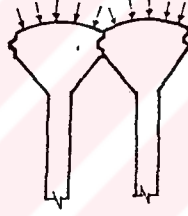
a) BOŞLUKLU PAYANDALI BARAJ



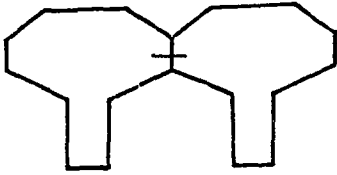
b) DÜZ DÖŞEMELİ
PAYANDALI BARAJ



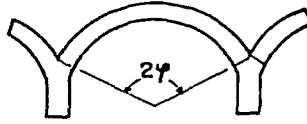
c) DOLU BAŞLIKLİ PAYANDALI BARAJ



d) YUVARLAK BAŞLIKLİ
PAYANDALI BARAJ



e) SEKİZGEN BAŞLIKLİ P. B.



f) ÇOK KEMERLİ PAYANDALI
BARAJ

Şekil 2.7. Payandalı Baraj Tipleri.

2.6.2.1. Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri

- Baraj yeri olarak geniş ve yamaçları yatık vadilerde, orta yükseklikte (H=50~60 m.) bir baraj planlanması halinde,
- Baraj yerinde yer yer taşıma gücü yetersiz zeminlerin bulunması halinde; (sadece payandaların sağlam zemine oturması yeterlidir)
- Mevcut baraj yeri şartlarında derivasyonun inşaat sahasından geçirilmesinin en uygun çözümü oluşturması halinde,
- Büyük taşkın debilerinin baraj üzerinden mansaba aktarılmasının uygun ve ekonomik olması halinde,
- Beton ağırlık barajlara göre sağladığı avantajların önem kazanması halinde, payandalı beton barajlar tercih edilirler.

Bu avantajların başlıcaları şunlardır;

- Malzemeden %30–%70 oranında tasarruf sağlanır; (Ancak bu tip barajlarda kullanılacak inşaat demiri ve kalıp miktarı doğal olarak artacağından işçiliğin ucuz olduğu ülkelerde uygulanması daha ekonomik olmaktadır)
- Beton priz ısını daha iyi ve ekonomik olarak dışarı verir,
- Beton emniyet gerilmeleri daha iyi kullanılır,
- Taban suyu basıncının büyük bir alana etki etmesi önlenir,
- Statik sistem daha açıktır,
- Barajın her yerinin gözetilmesi mümkün olduğundan kontrol edilmesi daha kolaydır,
- Çok büyük genişliklerde boyuna çatlak oluşma tehlikesi azaltılır.

Bu tip barajların yapım prensibi; gövde yapılacak eksende kemer baraj prensiplerini kullanmak amacı ile eksenin parçalanması ve bu parçaların küçük eksenlerde birer küçük beton kemer baraj yapabilme olanağının elde edilmesidir. Beton barajlarda sızdırmazlık işlevleri doğrudan beton üzerinde olduğundan ve genellikle dolusavak ve varsa santral yapıları da gövde içinde bulunduğundan; gerek projeleri ve gerekse inşaat sırasında özel itina ve teknoloji gerektirmektedirler.

2.6.2.2.Tipleri

Payandalı barajlar planda genellikle düz kretli olarak planlanır. Suyun kabarmasını sağlayan memba yüzeyi düşey veya eğik olarak yapılabilir. Barajın kayma emniyetini artırmak için memba yüzeyi genellikle yaklaşık olarak 1/1 eğimli olarak yapılır.

Payandalı barajlar, suyu tutan memba yüzeyinin ve payandaların özelliklerine göre de sınıflandırılabilir (Şekil 2.7).

Bunlar;

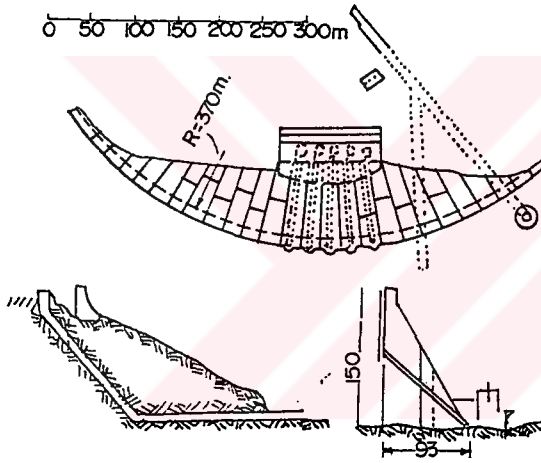
- a- Boşluklu payandalı baraj
- b- Düz döşemeli payandalı baraj
- c- Geniş başlıklı payandalı baraj
 - Düz ve dolu başlıklı payandalı baraj
 - Yuvarlak başlıklı payandalı baraj
 - Sekizgen başlıklı payandalı baraj
- d- Çok kemerli payandalı baraj

Baraja etki eden kuvvetler payandalar vasıtasıyla belirli noktalarda temele aktarılmaktadır. Bu nedenle; sadece payandaların sağlam ve taşıma gücü yüksek kaya temeller üzerine oturtulması yeterli olmaktadır. Temel yüzeyleri beton ağırlık barajlarda olduğu gibi itina ile hazırlanmalıdır. Taban basıncının birçok durumda ihmal edilmesi uygundur. Payandalı barajlarda, atmosfer ile temas

yüzeyi büyük olduğundan priz ısısı fazla sorun yaratmamakta ancak işçilik önem kazanmaktadır.

2.6.3. (Beton) Kemer Ağırlık Barajlar

Kemer ağırlık barajları, bütün kret boyunca membaya doğru kavisli yapılarak etki eden kuvvetlerin bir kısmını yamaçlara aktarırlar. Böylece düz beton ağırlık barajlara oranla taban genişliği önemli ölçüde küçültülerek daha az beton hacmi kullanılmakta; temelde daha iyi bir basınç dağılımı elde edilerek boyuna çatlak tehlikesi azaltılmakta ve böylece de baraj emniyeti artırılmaktadır (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Hungry Horse Kemer Ağırlık Barajı.

2.6.4. Beton (İnce) Kemer Barajlar

Yük taşımasının birinci derecede kemer tesiri ile karşılandığı; bir ya da iki yönde eğrilik gösteren beton barajlardır. Kemer barajlarda esas prensip, kaliteli beton kullanımıyla elde edilen ince kemer halkalarının basınç mukavemetlerinden yararlanarak; etki eden kuvvetlerin önemli bir kısmını vadi yamaçlarına aktarmaktır.

Bu tip barajlar (U) ve (UV) şeklindeki vadilerde öncelikli olarak tercih edilmektedirler. Baraj gövdesine etkiyen yüklerin tabana ve yamaçlara aktarılmasını temin etmek için hem yatayda ve hem de düşeyde eğrisel olarak dizayn edilirler. Beton kemer barajlar, sağlam kaya temel ve yamaçlı vadilerde yaygın olarak uygulanmaktadırlar.

İnce kemerler üzerine dolusavağın oturtulmasının mümkün oluşu, dipsavak ve enerji su alma yapılarının gövde üzerine yapılabilmesi ve bu sayede de cebri boru boylarının kısalması önemli ölçüde ekonomi sağlamaktadır. Beton kemer barajda kullanılan beton kalitesinin yüksek olması, derz teşkili, derz enjeksiyonları ve su tutucu uygulamasının dikkatli bir şekilde yapılması üzerinde hassasiyetle durulması gereken konular arasındadır.

2.6.4.1. Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri

a- Baraj tipleri içinde kemer barajlar kadar vadi şekline bu derece bağlı başka bir tip mevcut değildir. Vadi genişliğinin vadi yüksekliğine oranı $L/H < 6$ olan baraj yerlerinde seçimi uygun bir baraj tipidir. Bugüne kadar yapılan kemer barajların %80'inde bu oran 4'ten daha düşüktür.

b- Kemer barajların tip olarak seçilebilmesi için, vadi tabanının ve yamaçlardaki kayanın sağlam ve taşıma gücünün de yüksek olması gereklidir. Aynı zamanda temel kayada, kemer yüklerinin akış yönünde dik yönde büyük çatlaklar, faylar, tabakalaşma ve yapraklaşmanın bulunmaması gereklidir.

c- Diğer beton baraj tiplerine göre beton hacminde büyük tasarruf sağlanır.

d- Baraj kesiti ince olduğu için baraj duvarları daha esnektir; bu nedenle aşırı yüklenmelere karşı hassasiyet azalarak daha büyük emniyet gerilmelerine müsaade edilir.

e- Beton emniyet gerilmeleri sonuna kadar kullanılır.

Beton kemer barajlarda, duvar ince seçildiği oranda esneklik artmakta ve böylece de kemer tesiri ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle yüklerin kemer tesiri

ile en iyi şekilde taşınabilmesi için, mümkün olduğunca küçük eğrilik yarı çapı ve büyük açıklık açısı ile planlanmaları gerekmektedir. Vadi yamaçlarına bağlantı en az 45° altında yapılmalıdır.

2.6.4.2. Tipleri

Kemer barajların sınıflandırılmalarında en önemli kriter olarak dönel cismin şekline bakılmaktadır (Şekil 2.9.). Buna göre kemer barajları 3 ana tip altında toplamak mümkündür.

a- Sabit Yarıçaplı Kemer Barajlar

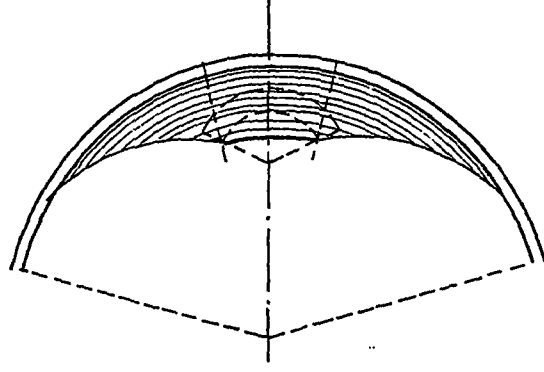
Bütün yatay kesitlerde yarıçap sabittir. Bu tipteki barajların V-şekilli vadilere inşaaı uygun değildir. Zira, tabana doğru vadi daralmakta ve açıklık açısı da küçülmektedir. Bu durumda barajın alt kısmının eğriliği azaldığından bu bölümde kemer tesiri etkili olmamaktadır. Bu tip kemer barajlar dik yamaçlı U ve tekne şekilli vadilerde ve geniş tabanlı vadilerde; orta yükseklikteki barajlar için seçilebilir.

b- Sabit Merkez Açılı Kemer Barajlar

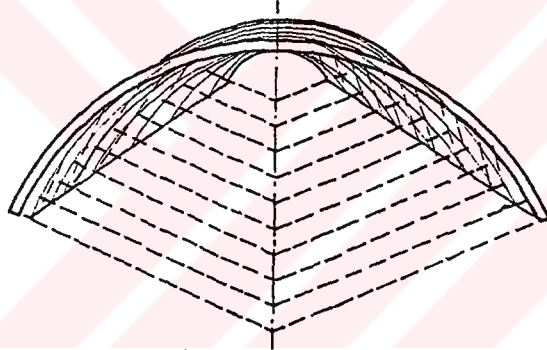
Bütün kemer yaylarında merkez açısı sabit olan bu tip kemer barajlarda tabana doğru yarıçap küçüldüğünden, alt kısımda daha iyi kemer tesiri elde edilmektedir. Sabit yarıçaplı barajlara göre bir tip barajlar daha ince yapılabildiğinden, daha elastik ve daha emniyetlidir. Sabit merkez açılı kemer barajlar V-şekilli üçgen tipli veya parabol şekilli yüksek vadiler için uygun bir baraj tipidir. Vadi genişliğinin (açıklığının) baraj yüksekliğine oranı $L/H \sim 5$ ile sınırlıdır.

c- Değişken Yarıçaplı ve Merkez Açılı Kemer Baraj

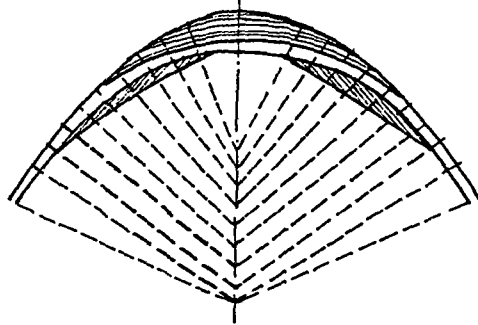
Hem yarıçapı hem de merkez açısı değişen kemer barajlardır. Uygun vadi şekli ve temel şartlarının bulunduğu yerlerde değişken yarıçaplı ve değişken merkez açılı (çift eğrilikli) kabuk ve kubbelerin değişik tip ve şekilleri kemer



a) SABİT YARIÇAPLI KEMER BARAJ



b) SABİT MERKEZ AÇILI KEMER BARAJ



c) DEĞİŞKEN YARIÇAPLI VE MERKEZAÇILI KEMER BARAJ

Şekil 2.9. Kemer Baraj Tipleri.

baraj olarak düşünülebilir. En çok silindirik kabuklara yaklaşan dönel kabuklar, düşey veya eğik hiperbol paraboloidler kullanılmaktadır. Hesaplar kabuk teorisinin kemer barajlara uygulanması şeklinde yapılmaktadır.

Kemer barajlarda vadi tabanı ve yamaçlarda temel, özel bir itina ile hazırlanmalı, temizlenmeli ve yüzeyleri kuvvet akış yönüne dik olacak şekilde açılmalıdır. Ayrıca, kemer barajlarda kullanılan beton çok yüksek kaliteli olduğundan betonun hazırlanması, taşınması ve yerine yerleştirilmesi bu konuda ihtisas ve deneyim sahibi firma ve kişilerce yapılmalıdır.

2.6.5. Dolgu Barajlar

Dolgu barajlar, su basıncını dolgu gövdesinin ağırlığı ile temele aktaran barajlardır. Dolgu barajlar, sızma suyu kayıpları belirli sınırlar içinde kalacak şekilde sıkıştırılmalı ve mümkün olan bütün yükleme durumlarında yeterli emniyet sağlanmalıdır [4].

2.6.5.1. Uygulandığı Yerler ve Tercih Sebepleri

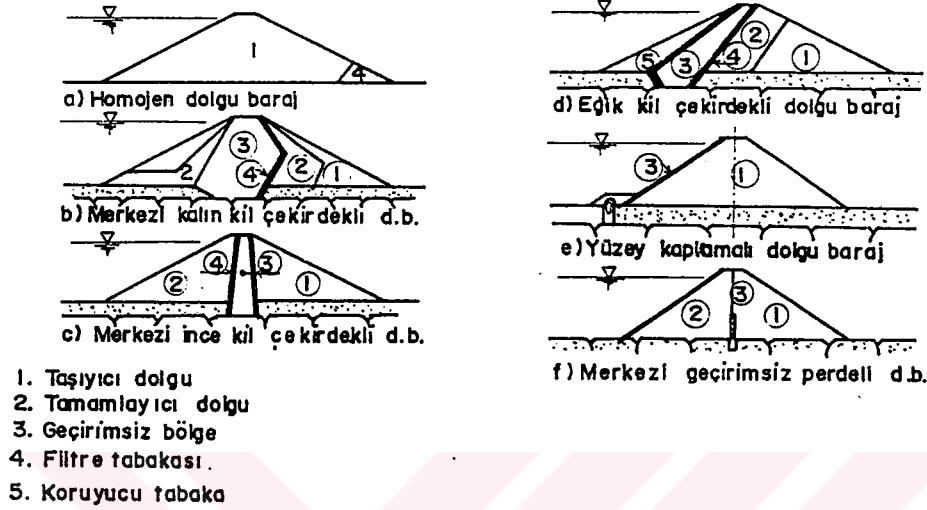
a- Baraj yerlerinde sağlam ve taşıma gücü yüksek temellerin giderek azalması ve daha zayıf temeller üzerinde de baraj inşasının zorunlu hale gelmesi halinde,

b- Dolgu malzemesinin her yerde temin edilebilmesi, geçirimsizliği sağlayan, çekirdek malzemesinin bulunamaması nedeniyle değişik çözümlerin söz konusu olması durumunda,

c- Büyük ve güçlü iş makineleri ile dolgu malzemesinin çıkarılması, taşınması, serilmesi ve sıkıştırılmasının daha kolay ve ekonomik yapılabilmesi nedeniyle,

d- Toprak ve kaya dolgu malzemesinin kolay işlenebilmesi ve ucuza temin edilebilmesi nedeniyle,

Deformasyon, sarsıntı ve düzensiz oturmalarından daha az etkilendiğinden aşırı yüklenmelere karşı daha az hassas ve daha emniyetli olması nedeniyle, günümüzde yaygın olarak dolgu barajlar inşa edilmektedir. Dolgu baraj tipleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Dolgu Barajlarda Kullanılan Kesit Tipleri.

– Gövde inşaatında kullanılan malzemeye göre;

- a- Toprak dolgu
- b- Kaya dolgu

– Gövdenin Yapısına Göre;

- a- Homojen dolgu
- b- Diyaframlı dolgu
- c- Zonlu dolgu

– Geçirimsiz perdenin yerine göre;

- a- Ön yüzü geçirimsiz membranla kaplı dolgu
- b- Eğik çekirdekli dolgu
- c- Merkezi çekirdekli dolgu

– İnşaat yönetimine göre;

- a- İstifli kuru taş duvar
- b- İstifli kaya dolgu
- c- Dökme kaya dolgu
- d- Sıkıştırılmış dolgu

Dolgu barajların, her türlü şartlarda üzerinden su aşması önlenecek şekilde boyutlanması gerekmektedir. Bu tip barajların inşasına karar verilirken ağırlık, permeabilite, konsolidasyon ve kesme mukavemeti sonuçları dikkatle incelenmelidir. Dolgu barajların projelendirilmesinde standart çözümlerin önerilmesi mümkün değildir. Zira mevcut temel şartlarına dolgu barajın en gayrimüsaait yükleme durumuna bağlı olarak uygun bir dolgu gövdesinin teşkili yoluna gidilir. Yapılan tahkikler ile seçilen gövde kesitinin uygunluğu gösterilir. Bir dolgu barajının hesabında ;

- a- Baraj gövdesinde sızma,
- b- Şev stabilitesi,
- c- Gövde ve temel oturmalar, araştırılmalıdır.

Bütün baraj tiplerinde olduğu gibi dolgu barajlarda da emniyetli bir temel teşkil edebilmek için alttan sızmalar önlenmelidir. Bu husus dolgu barajlarda çekirdek bölgesini geçirimsiz tabakaya kadar devam ettirmek suretiyle sağlanabilir. Geçirimsiz tabakanın çok derinde olduğu yerlerde ise plaplaş, beton perde, enjeksiyon ve çekirdek bölgesinin membaya doğru uzatılması gibi çözümler aranır. Ayrıca baraj gövdesindeki sızma hattını düşürmek ve stabiliteyi artırmak için topuk drenajı ve boşaltım kuyuları gibi önlemler alınır.

Yıkılan toprak barajların önemli bir bölümünde, yıkılma sebebinin baraj gövdesinin temel ve yamaçlara iyi bağlanmaması olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle baraj gövdesinin temel ve yamaçlara bağlanmasına özel bir önem verilmelidir.

Gövde inşaatında kullanılan malzemenin % 50'si çakıl, kum, silt ve kaya parçaları gibi daneli veya kohezyonlu malzemeden oluşan dolgu barajlara "Toprak Dolgu Baraj" denir. Taş dolgu genellikle sadece su tarafındaki şev yüzeyini dalga etkisinden korumak ve mansap topuğunun emniyetini sağlamak için kullanılır. Bu tip barajlar işçiliğin ucuz, demir ve çimentonun az olduğu ülkelerde yaygın olarak uygulanmaktadırlar. Toprak dolgu barajlar homojen, diyaframlı veya zonlu olarak düzenlenebilirler. Homojen dolgu barajlarda bütün gövde aynı malzemeden oluşur. Baraj inşaatı teknolojik yönden büyük kolaylıklar sağladığından ince daneli malzemenin bol olduğu yerlerde tercih edilmektedirler.

Kaya dolgu barajlar, en büyük baraj dolgu kesitinin en az yarı malzemesi dökülmüş veya sıkıştırılmış kaya parçalarından oluşan dolgu barajlardır. Temel zemini kaya, kompakt kum ve çakıl olabilir. Temel zemin kalitesi beton barajlara oranla daha zayıf seçilebilir. Fakat toprak dolgu barajlara oranla seçilen temel daha iyi koşullara sahip olmalıdır.

Ülkemizdeki yaygın kullanımları göz önüne alınarak kaya ve toprak dolgu barajlar Bölüm 3'te ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Geçirimsiz çekirdeğin konumuna göre dolgu baraj tipleri:

a- Eğimli Çekirdekli Barajlar

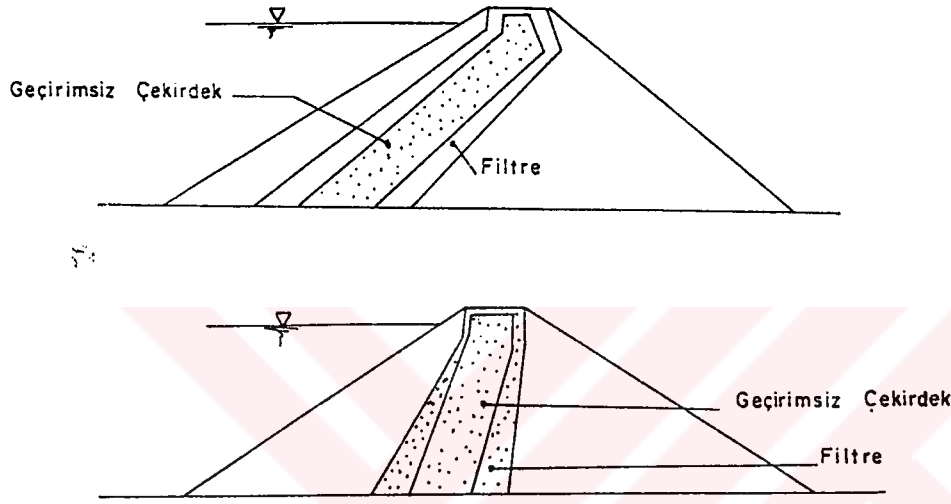
Bu yapının merkez çekirdekliye göre avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Mansaptaki geçirimli zonların yapımı daha ekonomik olmaktadır.
- Temelin geçirimli olması ve geçirimsiz bir blankete gerek duyulması halinde, blanketin geçirimsiz zonla birleştirilmesi daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

h- Merkez Çekirdekli Barajlar

– Tahmin edilen kayma dairesinin geçirimsiz zondan geçen kısmı daha azdır. Memba kısmı kaymaya karşı daha emniyetli olduğundan, memba şevinin daha dik yapılabilmesi mümkün olmaktadır.

– Şevler dik ise çekirdek–Kaya kontakt kısmının inşaatı daha kolay yapılabilmektedir.



Şekil 2.11–2.12. Eğimli Çekirdekli Baraj Tiplerine Örnekler.

Şekil 2.11'deki eğimli çekirdekli barajda ince bir geçirimsiz tabaka ve mansaptaki sıkıştırılmış kaya zonunun membana ince bir filtre yerleştirilmiştir.

Son yıllarda şekil 2.12 tipinde daha az oturmalara neden olan geçirimsiz zonun tabakalar halinde sıkıştırıldığı tipte barajlar inşaa edilmektedir.

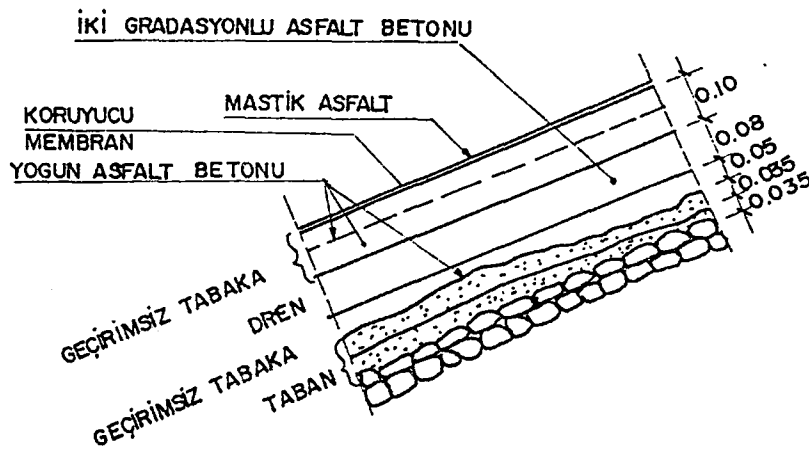
2.7. Ön Yüzü Geçirimsiz Membranla Kaplı Barajlar

Ön yüzü geçirimsiz membranla kaplı barajlar, genellikle geçirimli malzemenin çok olduğu ve geçirimsiz malzemenin de çok kısıtlı olduğu yerlerde uygulanmaktadır. Bu tip barajlar dizayn edilirken geçirimsiz membranda su sızıntılarına neden olabilecek çatlakların oluşmamasına dikkat edilmelidir. Geçirimsiz membran, betonarme, asfalt ve/veya geomembran ile teşkil edilebilir.

Yaklaşık tüm baraj gövdesi kayma gerilmesi yüksek malzemeden yapılabildiğinden diğer dolgu barajlara oranla daha dik şevler uygulanabilmektedir. Fakat, farklı oturmalarından dolayı geçirimsiz zonda çatlaklar oluşabildiğinden, baraj minimum oturma yapacak şekilde dikkatle dizayn edilmelidir. Geçirimsiz membran da çatlakların oluşması halinde vakit kaybetmeden gerekli tedbirlerin alınması hayati önem taşımaktadır.

Baraj dizayn edilirken, gövdedeki oturmaları mümkün olduğunca önlemek için ince kaya ve çakıl tabakalar yayılıp sıkıştırılır. Geçirimsiz membranın arkasına geçirimsiz yüzeyin ve rezervuardaki su yükünün üniform olarak baraj gövdesine dağıtılması ve farklı oturmaların geçirimsiz yüzdeki etkilerini azaltmak için bir geçiş zonu yapılır. Bu zon iyi gradasyonlu kırılmış kaya ve doğal çakıldan teşkil edilmeli ve malzeme iyice sıkıştırılmalıdır.

Şekil 2.13'deki geçirimsiz asfalt beton yüzey genelde bir temel, dren ve geçirimsiz tabakalardan oluşur. Ve yüzeyi korumak için kaplama yapılır. Bazı durumlarda dren tabakası konulmayabilir. Fakat bu tabaka baraj hareketlerini gözlemlemek için gereklidir. Asfalt beton yüz için yapılan karışım gerilmelere karşı yeterli dayanım ve geçirimsizlikte olmalı, malzemenin ağırlığı ile kaymamalı ve su basıncı ile aşınmamalıdır [20].



Şekil 2.13. Asfalt Betonla Kaplı Geçirimsiz Yüzey (Otsumata Barajı)

3. DOLGU BARAJLARDA DOLGUNUN TEŞKİLİ

Bir toprak baraj dolgusu çeşitli tiplerde dolgulardan meydana gelebilir. Bu dolgu tipleri ve projelerde belirtildikleri notasyonlar aşağıda sıralanmıştır.

- a- (1) zonlu : Geçirimsiz dolgular
- b- (2) zonlu : Yarı geçirimli dolgular
- c- (3) zonlu : Geçirimli dolgular
- d- (4) zonlu : Kaya dolgular
- e- (4') zonlu : Tahallüllü kaya dolgular
- f- Ku : Karışık malzeme dolguları
- g- (F) : Filtreler
- h- (R) : Ripraplar

Bir toprak barajda bunların hepsi birden bulunabildiği gibi yalnız ikisi veya üçü de bulunabilir.

3.1. Geçirimsiz Dolgular

Bu dolgu isminden de anlaşıldığı gibi geçirimsiz malzemelerden (permeabilite katsayısı 10^{-6} cm/sn veya daha düşük mertebede olan malzemelerden) meydana getirilen dolgudur. Genellikle baraj en kesitinin ortaca kısmında yer alır (Homojen barajlarda en kesitin hemen hemen tamamını teşkil eder).

Bu dolgunun teşkili için ariyetten veya kazı yerlerinden temin edilen malzeme dolgu sahasına sıkışmamış kalınlığı 20 ~ 30 cm olacak kalınlıkta serilir. İstenen rutubet derecesine kadar ıslatılır. Bu ilâve su iki şekilde ilave edilebilir. Ariyet sahaslarının sulanması ile malzemenin rutubeti istenen değere yaklaştırılır

dolgu üstünde rötuş sulaması yapılarak veya malzeme ariyetten tabii rutubetinde alınıp bütün sulama dolguda yapılarak, bunlardan birincisi şayanı tercihtir. Zira bu metodla daha üniform bir rutubet oranı temin edilebilir. Malzeme bazen de ariyetten istenenden daha rutubetli çıkar. Bu halde ya ariyet sahasında drenaj yapılmalı veya çıkan malzeme havalandırılmalıdır.

Her ne şekilde olursa olsun, serilmiş ve istenen rutubet derecesine kadar ıslatılmış olan malzeme, gerek malzeme bünyesi ve gerekse rutubet dağılışı bakımından üniform olmalıdır. Lazım gelen yerlerde bunu temin için Harrow diski veya benzeri vasıtalarla karıştırılmalıdır.

Malzeme içerisinde 12 cm'den iri taneler bulunmamalı ve çapları 3"~5" arasında olan taneler dolgunun hacmen % 5'inden fazla olmamalıdır. İri taneler tırnaklı traktör veya elle ayıklanmalıdır.

Her bir tabaka şartnamelere uygun keçi ayağı veya vibrasyonlu silindir ile sıkıştırılır ve bu sıkışma sonunda numune alınıp laboratuvar deneyleri ile su muhtevası ve kuru birim ağırlığı nisbeti kontrol edilir. Sıkışma, istenen halde değilse ilave geçiş yapılır.

Su muhtevası istenen sınırlar dahilinde değilse bu tashih edilecek şekilde sulama veya havalandırma yapıp yeniden sıkıştırılır.

Sıkıştırılmış bir tabakanın sathı üzerine konacak malzemenin kaynamasına izin vermeyecek kadar kuru veya düz ise, bu satıh yeni tabaka konmadan önce pürüzlendirilmeli ve sulanmalıdır [9].

3.2. Yarı Geçirimli Dolgular

Bu dolgu permeabilite katsayısı çekirdek malzemesininkinden büyük olan fakat geçirimli sayılamayan malzemelerden meydana gelir. Bu dolguların tabaka kalınlığı, yerleştirme rutubeti limitleri ve sıkıştırma vasıtası için kesin bir şey söylenemez. Zira bu malzemelerin özellikleri bünyelerindeki ince malzemenin nisbeti ve karakteri ile geniş ölçüde değişir. Bu bakımdan dolgunun ilk

günlerinde ve ariyet malzemesi karakterinde bariz değişiklikler vukuunda denemeler yapıp, en uygun tabaka kalınlığı, su muhtevası ve sıkıştırma vasıtası tayin edilmelidir. Malzeme içerisinde tabaka kalınlığının $\frac{3}{4}$ 'ünden büyük çapta tane bulunmamalıdır. Dolgu içerisinde daha iri granülometrilik kısımlar daha dışa gelecek şekilde bir derecelendirme yapılmalıdır. Sıkıştırma işlemi tamamlanınca numune alınıp laboratuvar denemeleri ile kontrol yapılır. Bu kontrollerde kullanılacak metodu sıkıştırmada kullanılan vasıta tayin eder (Keçi ayağı ile sıkıştırılanlar proktor deneyi, pnömatik silindir ile sıkıştırılanlar ise izafi kesafet deneyi ile kontrol edilir).

3.3. Geçirimli Dolgular

Bu dolgular serbest drenajlı, iri taneli malzemeden teşkil edilirler. Malzeme sıkışmış kalınlığı (Projelerde aksi tashih edilmediği taktirde) 30 cm olan tabakalar halinde serilip, bol su ile sulanır ve D8 paletli dozer veya şartnamelerdeki standartlara uyan lastik tekerlekli silindirlerle en az '8' geçiş yapmak suretiyle veya vibrasyonlu silindirler ile sıkıştırılır. Numune alınarak laboratuvar da izafi kesafeti kontrol edilir. Dikkat edilecek husus, geçirimli dolguların sulanması sırasında komşu geçirimsiz zonun istenen rutubetin üstünde ıslanmamasıdır. Dolguda granülometrisi daha iri olan malzemeler daha dışa konarak bir derece yapılması tercih edilmelidir.

Filtre, sızıntı sularını taşımak, zeminin erozyonunun önlemek veya yapının basınçtan zarar görmesini önlemek amacıyla yapılırlar. Filtre tarafından korunan taban zemini çoğunlukla temel veya temel malzemesi diye bilinir. Bir temel malzemenin bir filtre malzemesi ile korunabilmesi için, bu iki malzemenin granülometrik derecelenmeleri arasında gerekli bağlantı sağlanmış olmalıdır. Filtreler bir veya derecelenmeleri farklı birkaç tabakadan oluşabilirler.

Filtre malzemesi üniform bir gradasyon, yeterli permeabilite ve taşıma yerleştirme işlemi esnasında segragasyonunu önleyebilecek bir yapıya sahip olmalıdır.

Yeterli permeabilite elde etmek için filtre içindeki No: 200 eleği geçen malzeme miktarı sıkıştırmadan sonra % 5'i geçmemelidir. Yeterli kapasiteye sahip olabilmesi için filtre kalınlığı en az 90 cm olmalıdır.

Genel ve geçerli olan filtre kriterleri Terzaghi tarafından geliştirilmiştir. Geniş çaplı filtre testleri Corps of Engineers ve Bureau of Reclamation tarafından yapılmıştır. Bir çok filtre kriterleri de mevcut olmasına rağmen, aşağıdaki filtre kriterleri, filtre stabilizesi ve yeterli permeabilite limitleri açısından en geçerli olanlardır.

Filtre Kriterleri

$$1- (D_{15} \text{ filtre} / D_{15} \text{ korunan}) > 5$$

Filtre malzemesi No:200 elekten (0.074) geçen malzeme miktarı % 5'den fazla olmamalıdır.

$$2- (D_{15} \text{ filtre} / D_{85} \text{ korunan}) < 5$$

$$3- (D_{85} \text{ filtre} / \text{Max. dren aralığı}) > 2$$

4- Filtre malzemesi yeterli permeabilite kapasitesini sağlaması için üniform bir yapıya ve segrege olmayacak bir gradasyona sahip olmalıdır. Segregasyonu min. tutmak için max. filtre dane çapı 7.6 cm olmalıdır. Eğer birden fazla filtre tabakası kullanılacak ise aynı kriterler geçerlidir [32].

3.4. Kaya Dolgular

Kaya dolgu için kullanılacak malzeme tahallül etmemiş ve sağlam bünyeli olmalı ve şistli bünyeye sahip olanlar kullanılmamalıdır. Zeminin granülometrisi oldukça düzgün olmalıdır. Dolgu kalınlığı 90 cm ~ 150 cm olan tabakalar halinde yayılmalı ve iri tanelerin dışa gelmesine dikkat edilmelidir. Bazen yeni bir tabaka konmadan önce alttaki tabakanın yüzünün tazyikli su ile yıkanması icap edebilir.

3.5. Tahallüllü Kaya Dolgular

Ocak, ariyet ve kazılardan çıkan tahallül etmiş kayalarla, tane büyüklüğü ve evsafı bakımından kaya dolguya uymayan malzemelerden teşekkül eder. Bu malzemelerin içerisinde dolgunun bünyesine uymayan maddeler bulunmamalıdır.

Malzeme sıkışmış kalınlığı 30 ila 45 cm olan ve bünyesine göre sulanan tabakalar halinde serilip, D8 paletli dozer veya lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırılmalıdır. Dolguda en büyük tane çapı tabaka kalınlığının $\frac{3}{4}$ 'ünden fazla olmamalıdır.

3.6. Karışık Malzeme Dolguları

Bu dolgular kazılardan çıkan ve diğer zonlara uymayan fakat karakteristikleri pek düşük olmayan malzemelerin değerlendirilmesi için yapılırlar. Bunların yerleştirilmesinde uyulması gereken tabaka kalınlığı, su muhtevası veya sıkıştırma aracı hakkında genel bir tarif yapılamaz. Bunlar denemelerle tespit edilir. Bu zonlarda kullanılacak malzemelerin arazi karakteristikleri projeci tarafından tespit edilir. Kaya dolgu, yatay tabakalar halinde konulacak ve tabakanın kalınlığı 90 cm'yi geçmeyecektir. Kayaların el ile yerleştirilmesine lüzum 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 tazyikli su ile yıkanmalıdır.

3.7. Filtreler

Filtreler bir veya birden fazla tabakalı olarak serilen serbest drenajlı kum ve çakıldan ibaret olup, bunlar daha az geçirgen bir kısmın sınırına konarak sızıntı suyunun taşınmasına yardım ederler ve sızıntı kuvvetlerinin sürüklenme tesirlerinin yapacağı zararlara mani olurlar.

Filtre vasıtasıyla korunmuş alt tabakaya genellikle taban veya taban malzemesi denilir. Bu taban malzemesi ile konulan filtre malzemesi arasında granülometri bakımından bazı münasebetlerin bulunması lazımdır.

Filtreler tek veya müteaddit tabakalardan ibaret olabilirler. Her bir tabaka farklı bir granülometriye sahiptir. Bu şekildeki filtrelere zonlu filtreler denilir.

3.8. Rip – Rap

3.8.1. Rip – Rap'ta Kullanılacak Kayanın Kalitesi

Memba şevini dalga tesirlerine karşı korumak üzere inşa edilecek olan Rip – rap'ta kullanılacak kaya sert, kesif ve tahallüle karşı mukavim olmalıdır. Kaya mükerrer olarak doygun hale gelme, kuruma ve baraj bölgesinin maruz kaldığı ısı değişimi tesirleri karşısında parçalanmayan veya yumuşamayan karakterlerde olmalıdır. Kaya kalitesinin iyiliği gözle yapılan incelemelerde dayanıklılığı ise laboratuvar tecrübeleri ile tespit edilmelidir.

3.8.2. İyi Bir Rip – Rap'ın Şartları

İyi bir Rip – rap aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

a- Rip – rap'ı teşkil eden kaya parçaları dalga tesisleri ile yerlerinden oynatılmamalı.

b- Rip – rap'ın altındaki filtre malzemesi kayanın boşluklarından sürüklenip yıkanmamalıdır.

Aynı zamanda filtre malzemesinin de dolgu malzemesinin yıkanıp erozyona uğramasına mani olacak karakterde olmalıdır.

3.8.3. Rip – Rap’ın Granülometrisi

Şevler üzerindeki Rip – rap malzemesinin Rip – rap kalınlığına bağlı olarak haiz olacağı granülometri tablosu aşağıda verilmiştir [13].

Tablo 3.1. Rip-Rap Kalınlığına Bağlı Olarak Granülometri

Rip – Rap tabakası kalınlığı (cm)	Çeşitli Ağırlıktaki Taşların Dağılımı			
	Max. tane ağırlığı (kg)	En az % 25 nispeten daha iri (kg)	% 45 - %75 nispetinin intervali (kg)	En çok % 25’in daha az olacağı tane ağırlığı (kg)
60	680	275	13.5 ~ 275	13.5
75	1140	455	22.5 ~ 455	22.5
90	2270	910	45.5 ~ 910	45.5

Genel olarak, ortalama kaya boyutu (D_{50}) şu değerler arasında olmalıdır.

Tablo 3.2. Rip-Rap Kalınlığına Bağlı Olarak Ortalama Tane Boyutu.

Rip - Rap tabakası kalınlığı (cm)	Ortalama tane boyutu (D_{50}) cm
60	38
75	45
90	53

3.8.4. Rip–Rap Yerleştirilmesi

Rip–Rap tabakasının inşası dolguyla paralel yürütülecektir. Rip–Rap tabakası dolgu tabakasından 1.00 m kadar alçak tutulmalı ve Rip–Rap malzemesi doğrudan doğruya önceden hazırlanmış olan filtre tabakası üzerine dökülmelidir. Rip–Rap’ın şev üzerinde yukarıdan aşağıya doğru iteklenmesine asla izin verilmemelidir.

3.8.5. Rip – Rapın Altındaki Filtrenin Sağlaması Gereken Şartları

Dalga tesirlerinin Rip – Rap'ın altındaki dolgu malzemesini sürüklememesi için araya bir filtre tabakası konacak ve bu filtrenin tane boyutları dolgu malzemesi granülometrisi muvacehesinde normal filtre kriterlerini gerçekleştirecektir. Bir oyulmanın olmaması için Rip – Rap ile filtre granülometrisi arasında aşağıdaki bağıntı bulunmalıdır.

$$(D_{15} \text{ rip-rap} / D_{85} \text{ filtre}) \leq 10$$

$$D_{85} \text{ filtre} \geq 5 \text{ cm.}$$

3.9. Dolgu Sıkıştırma Makinaları

3.9.1. Keçi Ayağı Silindirleri

Keçi ayağı silindirlerin boyutları ve ağırlıkları 1940'a kadar artırıldı. Gelişmeler neticesinde USBR tarafından bir standart keçi ayağı tipi geliştirildi. Bu tip USBR tarafından bütün barajlarda kullanıldı. Diğer mühendisler tarafından da geniş miktarda kabul edildi. Her ne kadar küçük barajlarda daha hafif tipler kullanılırsa da ağır, standart keçi ayakları daha çok kullanılır. USBR'nin hali hazırdaki keçi ayağı kriterleri şunlardır;

a- Tamburun çapı 152.3 cm'den daha az olmayacak, boyu 121.8 ila 182.8 cm. arasında olacaktır. Tamburlar arasındaki mesafe 30.5~38.1 arasında bulunacaktır.

b- Her bir tambur hareket istikametine paralel bir eksen tarafından serbestçe dönebilecektir.

c- Her 645 cm² tambur sathına 1 ayak isabet edecektir.

d- Ayaklar arasındaki mesafe 22.8 cm'ye eşit veya daha fazla olmalıdır.

e- Ayak boyu minimum 22.8 cm. olacaktır.

f- Tambur sathından 15.25 cm mesafedeki ayak kesiti alanı en fazla 64.5 cm^2 olacaktır. Tambur sathından 20.3 cm. mesafedeki kesit alanı ise 45.2 cm^2 'den küçük ve 64.5 cm^2 'den büyük olmayacaktır.

g- Silindirin kum ve su ile tamamen doldurulmuş haldeki ağırlığı tamburun beher metre boyu için 5950 kg'dan az olmayacaktır.

h- Sıkıştırıcı ayaklar arasında kalan sıkıştırmaya mani olan malzemenin temizlenmesi için temizleyiciler bulunacaktır [9].

3.9.2. Lastik Tekerlekli Silindirler

II. Dünya harbinin sonundan bu yana Amerika'da ve diğer yerlerde bir çok büyük toprak baraj lastik tekerlekli silindirle sıkıştırılarak inşa edilmiştir. Bunlar USA'nın batı kısmında daha çok kullanılıyordu. Fakat, şimdi dünyanın her tarafından kullanılmaya başlandı. Her ne kadar değişik türleri tecrübe edildiyse de, toprak barajlarının ekserisi kriterleri aşağı yukarı aşağıdaki gibi olan 45.4 tonluk standart silindirle sıkıştırılarak inşaa edilmiştir [9].

a- En az 4 pnömatik teker yan yana yerleştirilmelidir.

b- Tekerler tam yüklü halde 5.64 ila 7.05 kg/cm^2 basınçlı hava ile şişirilerek kullanılacak mukavemette olmalıdır.

c- Silindir sandığı her bir tekere 11.4 ton yük yüklenebilecek şekilde bölmelere ayrılmış olmalıdır. Böylece engebeli yolda giderken dahi, teker yüklerinin eşit olması temin edilebilir.

d- Tekerler, tam yüklü halde tekerler arasında kalan boşluk, teker genişliğinin yarısından az olacak şekilde yerleştirilmiş olmalıdır.

3.9.3. Vibrasyonlu Silindirler

Dolgularda vibrasyonlu yüklemeye kompaksiyonun uygulanması üzerinde kohezyonsuz zeminler için 1930'lu yıllardan beri çalışılmakta ve

değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu yüklemeler genellikle yüzeyde uygulanabilen tekrarlı vuruşlar şeklindedir. Yüzeysel kompaksiyonun etkisi aşağı doğru birkaç desimetreye yayılabileceğinden bu yöntem nispeten ince tabakalar halinde serilen granüler dolguların kompaksiyonunda en etkili yöntemdir.

Yüzeyde uygulanan vibrasyonla kohezyonsuz malzemelerin kompaksiyon yöntemi otoyol ve hava limanlarının pistleri için temel altı imalatının hazırlanmasında toprak ve kaya dolgu barajların yapımı için standart bir işlem olarak uzun zamandan beri kullanılmaktadır.

Yüzeyde uygulanan yüklerle kompaksiyon bir kişinin kullanabildiği zemin sıkıştırıcılarından 10 ton veya daha fazla dinamik yük uygulayabilen ve traktörle çekilebilen zemin sıkıştırıcılarına kadar değişik boyutlarda araçlar kullanılarak yapılır.

Vibratörlü araçlar, düşey ivmelerle aracı zeminden yukarıya doğru serbestçe yükseltip sürekli olarak zemini dövdüren tekrarlı yükleme araçlarıdır. Bu araçlarla zemin üzerinde her noktaya uygulanan gerilme tekrarı sayısı vibratörün bu nokta üzerinden geçiş sayısına, vibrasyonun frekansına ve aracın veya çekicinin hızına bağlıdır. Zeminin herhangi bir birim hacminde meydana gelen gerilmenin genliği uygulanan yükün şiddetine ve bu birim hacmin yükleme noktasından olan uzaklığına bağlıdır. Böylece kohezyonsuz zeminin özelliğine göre uygun kompaksiyon yöntemi uygulamak amacıyla ilerleme hızı, vibrasyon frekansı, kaldırma yüksekliği, yüzey kuvveti ve geçiş sayısının bir çok kombinasyonu özel zemin şartları için tasarımcı tarafından teşkil edilmelidir.

Granüler zeminler arazide vibrasyonlu silindirlerle uygun şekilde kompaksiyona tabi tutulabilirler. Bu silindirler kil ihtiva eden ince daneli zeminlerde dahil dolgu imalinde kullanılan zeminlerin kompaksiyonunda gittikçe artan bir tercihle kullanılmaktadır [9].

3.10. Geçirimli Kum ve Çakılların Sıkıştırılması

Çoğunlukla dolgunun geçirimli kum-çakıl zonunun sıkıştırılması geçirimsiz çekirdeğin sıkıştırılmasından çok daha kolaydır. Ekseriyetle temiz, iri taneli malzeme, tabaka halinde gerilip iyice ıslatılıp, taşın vasıtalarının trafiğine tabi tutularak tatminkar bir birim ağırlığa kadar sıkıştırılabilir. Alışılmış ve hemen hemen bütün geçirimli malzemelerde tatminkar netice veren bir metod, malzemenin takriben 30 cm. kalınlığında tabakalar halinde serilip, hortum veya arazözle sulanmış ve ağır paletli traktörün (18.200 kg) iki ila dört pas geçişi ile sıkıştırılmasıdır.

Traktör yüksek süratle gider, böylece dolguya intikal eden tazyik ve vibrasyon tesiri onu tatminkar bir birim ağırlığa kadar sıkıştırmaya kafi gelir.

45.4 tonluk bir lastik tekerlekli silindirde, malzeme ağır teker yükünü taşıyamayacak kadar temiz olmadıkça, ıslak kohezyonsuz zeminlerin sıkıştırılmasında tesirlidir.

Vibrasyonlu sıkıştırıcıların, kum ve çakıl, lastik tekerli silindirden daha yüksek ve daha üniform birim ağırlığı temin edecek şekilde sıkıştırabildikleri bilinmektedir. Her ne kadar bu sıkıştırıcılar USA'da henüz geniş miktarda kullanılmıyorsa da Avrupa'da çok kullanılmaktadır [9].

3.11. Zemin Deneyleri

Zemin deneyleri barajların inşası sırasında doğru kararlar verebilmek için önemli bir rol oynarlar.

Zemin deneylerine başlangıç yapmadan kısaca zemin sınıflandırmasına bakalım.

Tablo 3.3 Zeminlerin Sınıflandırılması.

	Çakıl	Kum	Silt	Kil
MIT	60 mm	2 mm	0,06 mm	0,002 mm
ASTM	—	2 mm	0,074 mm	0,006 mm
AASHTO	76,2 mm	2 mm	0,074 mm	0,005 mm
UCS	76,2 mm	4.75 mm	0,074 mm	—
CAA	—	2 mm	0,053 mm	0,005 mm
Alman Normu	63 mm	2 mm	0,06 mm	0,002 mm

Zemin deneylerini iki gruba ayırabiliriz.

- a. Arazi deneyleri
- b. Laboratuvar deneyleri

3.11.1. Arazi Deneyleri

3.11.1.1. Kohezyonlu Zeminlerin (Kil, Silt gibi) Kıvam Deneyleri

Tablo 3.4. Kohezyonlu Zeminlerin Kıvam Durumları.

Durum	Katı	Yarı katı	Plastik	Likit
Su miktarı (%)		w_r	w_p	w_L
Kıvam Durumu		Rötre Limiti	Plastik Limit	Likit Limiti

Likit Limit : Zeminin kendi ağırlığı altında aktığı minimum su muhtevasıdır.

Plastik Limit : Zeminin kırılmadan 3 mm çapında 8~10 mm uzunluğunda bir silindir haline gelebildiği minimum su muhtevasıdır.

Rötre Limit : Daha fazla su kaybının zeminin hacminde bir azalmaya neden olmadığı andaki su muhtevasıdır.

Plastisite İndisi : $W_L - W_p$ (Likit Limit – Plastik Limit)

3.11.1.2. Zeminin Yerleşim Sıklığı Hakkında Bilgi Veren Standart Penetrasyon Testleri –SPT

$$Su (UC) = 4\sim 6 \text{ N (kpa)}$$

Burada;

$$Su (UC) = \text{Drenajsız – konsolidasyonlu mukavemet (killer için)}$$

$$N = \text{Darbe sayısı}$$

Killi zeminlerde N darbe sayısı ve kilin 'qu' serbest basınç arasındaki yaklaşık ilişki aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.5. Darbe Sayısı ve Serbest Basınç Arasındaki İlişki.

Kıvam	Çok Yumuşak	Yumuşak	Orta	Katı	Çok Katı	Sert
N Darbe Sayısı		2	4	8	15	30
qu (kg/cm ²)		0,25	0,5	1	2	4

2.11.1.3. Kohezyonlu Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemetinin (Su_n) Yerinde Elde Edilmesini Sağlayan Arazi Vane Testleri

Vane testleri yumuşak killerin drenajsız kayma mukavemetini bulmakta en çok kullanılan metotlardan biridir. Bu testler her yarım metrede bir yapılmaktadır. Mesri (1975) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda drenajsız kesme kuvveti aşağıdaki formül yardımıyla elde edilebilir.

$$Su (mob) = 0,22 \cdot \sigma^l p \quad (3.1)$$

$$\sigma^l p = \text{Ön konsolidasyon basıncı}$$

$$Su (mob) = \text{Mobilize olmuş drenajsız kayma mukavemeti.}$$

3.11.1.4. Zeminin Permeabilite Katsayısını 'K' Sağlayacak Deneyler

- Su seviyesinin yükselmesi (tüp metod)
- Arazi (kuyu) pompa deneyi

3.11.1.5. Zeminin Taşıma Gücü ve Deformasyon Modülü Hakkında Bilgi Veren Plaka Yükleme Deneyleri

3.11.2. Laboratuvar Deneyleri

3.11.2.1. Tabii Su Muhtevası Deneyi (W_n)

Tabii su muhtevasının tespitinde kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$W_n = \frac{W_w}{W_s} \quad \begin{array}{l} = \text{Su ağırlığı} \\ = \text{Dane ağırlığı} \end{array} \quad (3.2)$$

3.11.2.2. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deneyi

- a. Likit Limit
- b. Plastik Limit
- c. Rötire Limit
- d. Plastisite İndisi

3.11.2.3. Zemin Deneyleri Granülometrisi Tayini Deneyleri

Kohezyonsuz zeminlerde elek analizi, kohezyonlu zeminlerde elek + hidrometre deneyleri yapılır.

3.11.2.4. Zemin Birim Hacim Ağırlığını Bulma Deneyleri

Zemin birim hacim ağırlıklarının bulunmasında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir [14].

$$\gamma_n = \frac{W}{V'} \quad (3.3)$$

$$\gamma_k = \frac{W_s}{V'} \quad (3.4)$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V'_s} \quad (3.5)$$

$$\gamma_d = \frac{W_s + V_h \cdot \gamma_w}{V'} \quad (3.6)$$

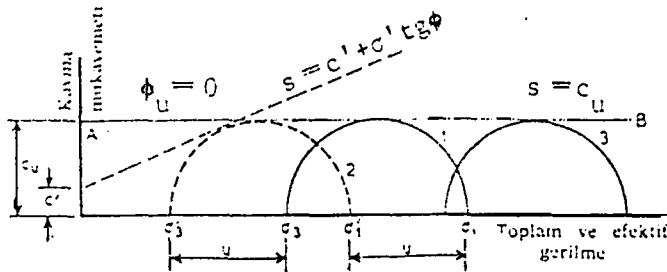
$$\gamma_A = \frac{W_s + V_h \cdot \gamma_w}{V'} - \frac{V \cdot \gamma_w}{V'} \quad (3.7)$$

Burada;

- γ_n = Tabii birim hacim ağırlığı
- γ_k = Kuru birim hacim ağırlığı
- γ_s = Dane birim hacim ağırlığı
- γ_d = Suyu doymuş hacim ağırlığı
- γ_A = Su altında hacim ağırlığı
- W = Toplam ağırlık
- V = Toplam hacim
- W_s = Dane ağırlığı
- V_s = Dane hacmi

3.11.2.5. Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)

Drenajsız kayma mukavemeti çevre basıncından bağımsız olup, değişik çevre basıncında aynı mohr daireleri elde edilmektedir.

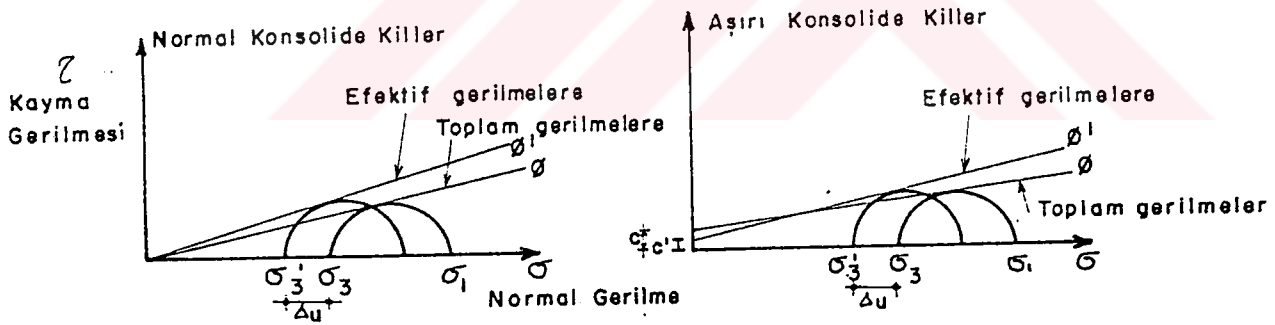


Şekil 3.1. Drenajsız Kayma Mukavemeti.

Temel altı zeminde bir ani yükleme halini doğuracak gövde inşaat hızı kontrol edilmelidir. Bu süre içinde, barajın inşa döneminde gövde elemanlarının bilhassa kil çekirdeğinin dolgusu yükseltilirken alt kısımlarda boşluk suyu basıncı oluşturabilecek dolgu malzemeli kısımlarda, muhtelif seviyelerde arazi boşluk suyu basıncının yükselmesi halinde ya beklenerek sönümlenmesi sağlanmalı veya drenajsız kayma kohezyonu (C_u) kullanılarak stabilite analizi yapılmalıdır. Gövdenin çok hızlı inşası durumunda, drenajsız kayma mukavemeti şev stabilitesi analizinde kullanılabilir [14, 17].

3.11.2.6. Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi (CU)

Bu deneyde zemin numunesi laboratuarda önce arazideki şartlara uygun değerler altında konsolide edilir. Sonra drenajsız veya boşluk suyu basıncı ölçülerek deney sonuçlandırılır. Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma mukavemetini bulmak için yapılan deneylerde zemin numunesinin hacminde ve su muhtevasında bir değişiklik söz konusu değildir. Bu deney sonunda aşağıdaki veriler elde edilir.



Şekil 3.2 Kohezyonlu Zeminlerin Drenajsız Kayma Mukavemetleri.

Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma mukavemetleri efektif gerilmeler cinsinden aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$S_{uo} = c'_m + (\sigma - u) \cdot \tan \phi' \quad (3.8)$$

$$\sigma = \text{Toplam gerilme}$$

u = Toplam su basıncı

c'_m = Kohezyon

ϕ'_m = İçsel sürtünme açısı

c'_m — ϕ'_m , C' — ϕ' den farklı değerlere sahiptirler. C' ve ϕ' değerleri zeminin kırılma anında elde edilirler.

Eğer u hassas bir şekilde ölçülemiyorsa yukarıdaki formül kullanılmadadır.

Barajın inşasından sonra, genel bir kural olarak drenajsız kayma mukavemeti kullanılabilir. Baraj temeli zeminin uzun süre sonunda göçmeye karşı güvenliği ise konsolidasyonlu drenajsız veya drenajlı kayma mukavemeti parametrelerine göre yapılır [14, 17].

3.11.2.7. Konsolidasyonlu Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi (CD)

Zemin genel olarak uzun bir zamanda kesilerek boşluk suyu basıncının doğması önlenerek yapılan bir deneydir.

Normal konsolide olmuş kohezyonlu zeminlerin kesme kuvveti aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$S = \sigma^l \cdot \tan \phi^l \quad (3.9)$$

S = Kayma mukavemeti

σ^l = Efektif Gerilme

ϕ^l = Sürtünme açısı

ϕ^l açısı genellikle o zemin içerisinde bulunan kil oranına ve kilin mineralojik yapısına bağlıdır.

ϕ açısının tipik değerleri :

Eğer aşırı derecede konsolide olmuş kohezyonlu zeminler süreklilikler ve deformasyonlar içeriyorsa bu zeminlerin mukavemeti aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

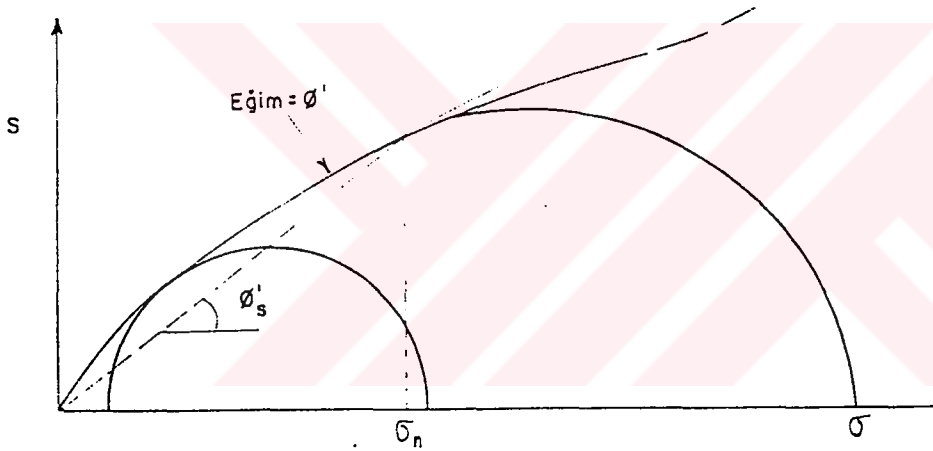
$$S = \sigma^1 \cdot \tan \phi_r^1 \quad (3.11)$$

ϕ_r^1 = Residual sürtünme açısı

$\phi^1 - \phi_r^1$ farkı 10 ~ 20 derece olabilir.

Kohezyonsuz zeminler drenajlı kesme mukavemeti aşağıdaki formül ile hesaplanabilir [14, 17].

$$S = \sigma^1 \cdot \tan \phi_s^1 \quad (3.12)$$



Şekil 3.4. Kohezyonsuz Zeminlerin Drenajlı Kesme Mukavemeti.

3.11.2.8. Kesme Kutusu Deneyi

Bu deney aleti hareketli bir üst kısım ve sabit bir alt kısımdan meydana gelmektedir.

Bu deneyde zemini kesme hızı boşluk suyu basınçları meydana getirmeyecek derecede ayarlanmalıdır. Bu deneyle zeminlerin kesme mukavemeti değerleri ve ϕ açıları bulunur.

3.11.2.9. Zemin Oturma Hesapları Deneyleri

Zeminlerin oturma hesapları için yapılan deneyler örselenmemiş numuneler üzerinde yapılmalıdır. Zeminlerin oturma hesapları üç eksenli basınç deneyli ve odometre deneyleri sonuçlarına göre yapılırlar [33, 35]. Bu deneyler sonucunda;

- a_v = Sıkışma katsayısı
- M_v = Hacimsel sıkışma katsayısı
- C_c = Sıkışma indisi
- M_c = Sıkışma modülü
- T_v = Zaman faktörü bulunur.
- L = Tabaka kalınlığı
- e_o = Başlangıçtaki boşluk oranı
- C_r ve C_c = Eğim
- σ_p^1 = Ön konsolidasyon basıncı
- σ_{vo}^1 = Mevcut efektif basınç
- σ_f^1 = Yapıdan gelen yük + σ_{vo}^1

$$S = \frac{C_c}{1 + e_o} \cdot L \left(\frac{C_r}{C_c} \cdot \log \frac{\sigma_p^1}{\sigma_{vo}^1} + \log \frac{\sigma_f^1}{\sigma_p^1} \right) \quad (3.13)$$

Not : Normal konsolide olmuş killer de ikinci kısım sıfırdır.

3.11.2.10. Relatif Sıklık (D_r) Deneyi

Bu deney kaba daneli (kum, çakıl) zeminler hakkında bilgi verir.

$$D_r = (e_{\max} - e_n) / (e_{\max} - e_{\min}) \text{ formülü ile hesaplanır.} \quad (3.14)$$

D_r : Relatif sıklık

$e_{\max}$: Zeminin gevşedeki durumdaki boşluk oranı

$e_{\min}$: Zeminin sıkı durumdaki boşluk oranı

e_n : Zeminin tabii durumdaki boşluk oranı

Standart Penetrasyon N sayıları ile D_r relatif sıklığı arasındaki ilişki yaklaşık aşağıdaki gibidir [33, 35].

Tablo 3.6. Standart Penetrasyon İle Relatif Sıklık Arasındaki İlişki.

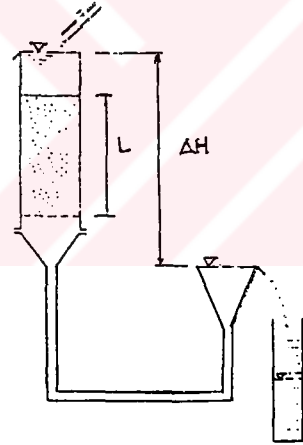
Sıklık	Çok gevşek	Gevşek	Orta	Sıkı	Çok sıkı
D_r	0	0,15	0,35	0,65	0,85
N	0	4	10	30	50

Temiz kırınlar için relatif sıklık 0,80'den küçük ise bu tür zeminlerde sıvılaşma potansiyeli vardır.

3.11.2.11. Laboratuvar Permeabilite Deneyleri

a. Sabit Seviyeli Permeabilite Testi

Bu deneyde su seviyesi sabit tutularak permeabilite hesapları yapılmaktadır [14, 21].



Şekil 3.5. Sabit Seviyeli Permeabilite Testi.

$$K = Q \cdot L / A \cdot \Delta h \quad (3.15)$$

L = Hidrolik yük kaybının olduğu mesafe

Δh = Hidrolik yük seviyeleri farkı

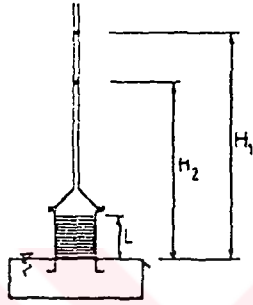
$i = \Delta h/L = \text{Hidrolik eğim}$

$Q = \text{Geçen su miktarı}$

$A = \text{Numunenin alanı}$

b. Değişen Seviyeli Permeabilite Testi

Birim zamandaki su seviyelerindeki fark ölçülerek zeminin permeabiliteleri hesaplanır [14, 21].



Şekil 3.6. Değişen Seviyeli Permeabilite Testi.

$$k = \frac{2.3 \cdot a \cdot L}{A \cdot t} \cdot \log (H_1 / H_2) \quad (3.16)$$

4. KRALKIZI BARAJININ İNŞAAT BAŞLANGICINDAN BİTİRİLİŞİNE KADAR SAFHALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. DİCLE KRALKIZI PROJESİ

4.1.1. Projenin Maksadı

Dicle Kralkızı projesi, proje sahasındaki ana su kaynağı olan Dicle Nehri ve kollarının su imkanları ile ve kademeli pompajlar marifeti ile Diyarbakır çevresi ovaları, Çınar–Göksu ovası, Şeyhhan ovası ve Savur ovalarında yeniden şebeke inşa edilmek suretiyle 126080 ha. brüt sahanın sulanmasının eksik suyunun temini, Kralkızı ve Dicle H.E.S.’de enerji üretilmesini kapsar.

Bu amaçla, ele alınan tesisler. Kralkızı ve Dicle Barajları ve Hidroelektrik Santralleri, Pompaj tesisleri, 126080 ha. brüt sahanın sulanmasını temin eden ana kanal, yedek, tersiyer ve tahliye sisteminden oluşan sulama şebekesi olmaktadır.

4.1.2. Projenin Yeri

Proje sahası: Güneydoğu Anadolu’da Dicle havzası içinde yer alan Proje sahası, Dicle Nehrinin Maden ve Amini kolları ile Devegeçidi, Göksu, Şeyhhan ve Savur Çaylarının drenaj alanlarından oluşmaktadır. Yine projenin toprak kaynakları Diyarbakır civarındaki Dicle Sağ sahil ovaları olmaktadır.

4.2. PROJENİN ÖZELLİKLERİ

4.2.1. Ziraat Sahaları

Proje sahası toplam drenaj alanı	5554 Km ²
Proje sulama sahaları drenaj alanı	2338 Km ²
Planlama kademesinde arazi tasnifi yapılan saha	204420 Ha
İstikşafı kademe arazi tasnifi yapılan saha	34340 Ha

Sulanabilir araziler toplamı	218920 Ha
Proje sahasında yıllık ortalama sıcaklık (Diyarbakır)	16.0 °C
Proje sahasında yıllık ortalama yağış (Diyarbakır)	481.1 mm
Proje sahasında yıllık ortalama buharlaşma (Diyarbakır)	2009 mm

4.2.2. Depolama Tesisleri

4.2.2.1. Kralkızı Projesi

4.2.2.1.1. Projenin Tarifi

Kralkızı Barajı, iki depolama yapısı ve bir hidroelektrik santral ile muhtelif pompa istasyonlarından oluşan bir bütünün bir parçasıdır.

Şu bölümlerden oluşur.

- a) Kaya dolgu tipinde zonlu bir baraj
- b) Kapaklı bir dolusavak
- c) Beton kaplamalı bir dolusavak mansap kanalı ve bir sıçratma ucu,
- d) Derivasyon yapısı (Batardolar, T1 ve T2 tünelleri)
- e) Enerji yapısı.

T1 tüneli inşaat bittikten sonra dipsavak olarak kullanılacaktır. Bu nedenle bir su alma yapısı ve bir dipsavak vanası ile donatılmıştır.

Barajın başlık uzunluğu 1030 m olarak hesaplanmıştır.

Baraj zonlu kaya dolgu tipindedir. Geçirimsizlik, simetrik bir merkezi kil çekirdek ile sağlanmıştır. Bölge episantralara oldukça yakın olduğundan eğik perdeden kaçınılmıştır. Baraj tabanında perde enjeksiyonu bulunmaktadır. Enjeksiyon perdesi dolusavak altından geçerek üçlü bir şemsiye şeklinde kademeli olarak sağ sahilde geçirimsizliği sağlamaktadır. Tünellerin her ikisi de konsolidasyon enjeksiyonları ile sağlamlaştırılmıştır.

Taşkın sağ sahildeki bir dolusavaktan mansaba geçirilmektedir. Bu tesis kapaklıdır ve 265 metre uzunluğunda bir mansap kanalı ile donatılmıştır. Dolusavağa bir yaklaşım kanalı ile ulaşılmaktadır. Bu kanal suyun rahat akmasını temin etmek için özel olarak şekillendirilmiştir.

Baraj sahası jeoloji bakımından oldukça karışıktır. Sağ sahilde geçirimsiz Gercüş formasyonu yer yer faylar ile kesilmiş bulunmaktadır. Yüksek kotlarda kalker onun altında ofiolitler en altta molaslar vardır. Gercüş bunların arasına enjekte edilmiştir.

Sol sahilde en altta Gercüş formasyonu konglomeralar onların üzerinde kılıcına yatmış ofiolit ve onları örten molas görülür.

Jeoloji, gerek stabilite gerekse geçirimsizlik yönünden problemler göstermektedir. Fayların bir bölümü tretmen isteyen bir bünyeye sahiptir.

4.2.2.1.2. İklim

Kralkızı Barajı yeri 700 kotundadır. Baraj başlığı ise 820 kotuna kadardır. Vadide yazları çok sıcak (45°C), kışları ise çok soğuk geçer (-25°).

Baraj yerine yaklaşım yaz ve kış mümkündür. Soğuk period iki buçuk ayı geçmez. İlkbahar yağmurları genellikle taşkınlara neden olmaktadır. inşaat mevsiminin başı olarak Mart ayının ikinci yarısı alınmaktadır.

Malzeme ocakları genellikle her mevsimde yaklaşabilecek durumdadır. Bununla beraber malzeme alınmasına ancak Nisan ortalarında başlanabilmektedir. Bunun nedeni yer altı suyunun oldukça yüksek olmasıdır. Soğuk periodta tünellerde çalışılabilmektedir. Dolayısıyla iş programı bu esasa göre hazırlanmıştır [8].

4.2.2.1.3. Kralkızı Barajı Karakteristikleri

Rezervuarın drenaj alanı	1300 Km ²
Rezervuarın maksadı	Sulama, Enerji
Rezervuarın ölü hacmi	208.00 x 10 ⁶
Rezervuarın aktif hacmi	1711 x 10 ⁶
Rezervuarın toplam hacmi	1919 x 10 ⁶
Rezervuarda minimum su kotu (Santral İşletme)	762.00 m
Rezervuarda maksimum su kotu	815.75 m
Maksimum rezervuar alanı	57.70 x 10 ⁶ m ²
Rezervuarda regüle edilen yıllık ortalama su	633.00 x 10 ⁶ m ³
Kadatrofal feyezan piki (giriş ve çıkış)	5400.00 m ³ /sn
Dolusavak tipi kret ve genişliği	4 Kapaklı, 64 m
Baraj kret kotu	820.00 m
Derivasyon kapasitesi	1300.00 m ³ /sn
Derivasyon tünelleri ve çapları	T1.-688.00 m Ø:6.00 m T2-712.00 m Ø:6.00 m
Dipsavak kapasitesi ve çapı	150.00 m ³ /sn Ø:2.40 m
Kralkızı baraj yerinde talveg kotu	707.00 m
Kralkızı barajı yüksekliği	113.00 m
Kralkızı barajı kret tulü ve genişliği	1030.00 m 12.00 m
Kralkızı barajı tipi ve dolgu hacmi	Kaya dolgu 15.00 x 10 ⁶ m ³

4.2.3. Enerji Tesisleri

4.2.3.1. Kralkızı Hidroelektrik Santrali

Kralkızı H.E.S. Kurulu gücü	90 MW
Kralkızı H.E.S. Ünite adedi	2 ünite
Kralkızı H.E.S.'ndan brüt maksimum düşü	108.65 m
Kralkızı H.E.S.'ndan brüt minimum düşü	52.00 m
Üretilen yıllık ortalama enerji (başlangıçta)	111.31 x 10 ⁶ kWh (firm) 34.50 x 10 ⁶ kWh (sekonder)
Üretilen yıllık ortalama enerji (nihai developman halinde)	141.59 x 10 ⁶ kWh (sekonder)

4.2.4. Sulama Tesisleri

4.2.4.1. Sulama Sahası

1. Pompaj sulaması (brüt)	52 033 ha
2. Pompaj sulaması (brüt)	5 031 ha
3. Pompaj sulaması (brüt)	31379 ha
4. Pompaj sulaması (brüt)	12248 ha
5. Pompaj sulaması (brüt)	15 782 ha
6. Pompaj sulaması (brüt)	9672 ha

4.2.4.2. Yıllık Ortalama Sulama Suyu İhtiyaçları

Proje sulama sahaları suyu ihtiyacı	10859.00 m ³ /ha
-------------------------------------	-----------------------------

4.2.4.3. Maksimum Sulama Suyu Modülleri

Proje sahasında sulama suyu modülü	1.11 Lt/sn/ha
------------------------------------	---------------

4.2.4.4. Ana Kanallar

I. Pompaj ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	111.00 m ³ /sn 260 km
II. Pompaj ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	29.00 m ³ /sn 45 km
III. Pompaj sağ ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	4.75 m ³ /sn 44,5 km
IV. Pompaj sağ ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	9.00 m ³ /sn 47 km
IV. Pompaj sol ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	2.50 m ³ /sn 35 km
V. Pompaj sağ ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	1.50 m ³ /sn 7,35 km
V. Pompaj sol ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	23.00 m ³ /sn 62,5 km
VI. Pompaj sağ ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	5 m ³ /sn 23,5 km
VI. Pompaj sol ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	4.50 m ³ /sn 42,5 km
III. Pompaj sol ana kanalı başlangıç kapasitesi ve tulü	25.00 m ³ /sn 1115 km

4.2.5. Pompaj Tesisleri

4.2.5.1. 1 No'lu Pompaj Tesisleri

Kurulu Güç	9000 kW
Ünite Adedi	9
Maksimum terfi yüksekliği	12.50 m
Terfi kapasitesi	106.00 m ³ /sn
Yıllık ortalama terfi edilen su	447.63 x 10 ⁶ m ³

4.2.5.2. 2 No'lu Pompaj Tesisleri

Kurulu Güç	30000 kW
Ünite Adedi	3
Cebri boru boyu, çapı ve adedi	280 m, 3.25 m
Terfi yüksekliği	60.00 m
Terfi kapasitesi	29.17 m ³ /sn
Yıllık ortalama terfi edilen su	343.30 x 10 ⁶ m ³
Yıllık toplam pompaj enerjisi	80.30 x 10 ⁶ kWh

4.2.5.3. 3 No'lu Pompaj Tesisleri

Kurulu Güç	30 000 kW
Ünite Adedi	3
Cebri boru boyu, çapı ve adedi	280.00, 3.25 m, 1
Terfi yüksekliği	60.00 m
Terfi kapasitesi	30.00 m ³ /sn
Yıllık ortalama terfi edilen su	294.41 x 10 ⁶ m ³
Yıllık toplam pompaj enerjisi	70.73 x 10 ⁶ kWh

4.2.5.4. 4 No'lu Pompaj Tesisleri

Kurulu Güç	15 000 kW
Ünite Adedi	3
Cebri boru boyu, çapı ve adedi	665.00 m, 2.00 m, 1
Terfi yüksekliği	80 m
Terfi kapasitesi	11.75 m ³ /sn
Yıllık ortalama terfi edilen su	114.92 x 10 ⁶ m ³
Yıllık toplam pompaj enerjisi	36.81 x 10 ⁶ kWh

4.2.5.5. 5 No'lu Pompaj Tesisleri

Kurulu Güç	8 000 kW
Ünite Adedi	1
Cebri boru boyu, çapı ve adedi	2000 m, 3.00 m, 1
Terfi yüksekliği	20.00 m
Terfi kapasitesi	24.35 m ³ /sn
Yıllık ortalama terfi edilen su	238.21 x 10 ⁶ m ³
Yıllık toplam pompaj enerjisi	19.08 x 10 ⁶ kWh

4.2.5.5. 6 No'lu Pompaj Tesisleri

Kurulu Güç	3000 kW
Ünite Adedi	1

Cebri boru boyu, çapı ve adedi	600.00m, 1.80 m l
Terfi yüksekliği	20 00 m
Terfi kapasitesi	9.20 m ³ /sn
Yıllık ortalama terfi edilen su	90.13 x 10 ⁶ m ³
Yıllık toplam pompaj enerjisi	7.22 x 10 ⁶ kWh

4.3. Proje Ekonomisi

4.3.1. Maliyetler

Dicle barajı maliyeti	17.13 x 10 ¹² TL
Dicle H.E. Santrali maliyeti	13.08 x 10 ¹² TL
Kralkızı barajı maliyeti	35.24 x 10 ¹² TL
Kralkızı H.E. Santrali	16.60 x 10 ¹² TL
1 No'lu pompaj sulama maliyeti	57.50 x 10 ¹² TL
2 No'lu pompaj sulama maliyeti	6.64 x 10 ¹² TL
3 No'lu pompaj sulama maliyeti	34.72 x 10 ¹² TL
Devegeçidi derivasyon maliyeti	1,00 x 10 ¹² TL
4 No'lu pompaj sulama maliyeti	13,56 x 10 ¹² TL
5 No'lu pompaj sulama maliyeti	15,45 x 10 ¹² TL
Dicle Kralkızı Projesi teklif edilen tesisler maliyeti	216,73 x 10 ¹² TL

4.3.2. Yıllık Giderler

Sosyal iskonto nispeti i:%5 olduğuna göre yıllık giderler aşağıda verilmiştir.

Dicle barajı yıllık giderleri	1,000 x 10 ¹² TL
Dicle H.E. Santrali yıllık giderleri	0,980 x 10 ¹² TL
Kralkızı barajı yıllık giderleri	2,020 x 10 ¹² TL
Kralkızı H.E. Santrali yıllık giderleri	0,934 x 10 ¹² TL
1 No'lu pompaj sulaması yıllık giderleri	3,670 x 10 ¹² TL

2 No'lu pompaj sulaması yıllık giderleri	0,504 x 10 ¹² TL
Devegeçidi derivasyon yıllık giderleri	0,237 x 10 ¹² TL
3 No'lu pompaj sulaması yıllık giderleri	3,378 x 10 ¹² TL
4 No'lu pompaj sulaması yıllık giderleri	1,472 x 10 ¹² TL
5 No'lu pompaj sulaması yıllık giderleri	1,768 x 10 ¹² TL
6 No'lu pompaj sulaması yıllık giderleri	1,318 x 10 ¹² TL
Dicle Kralkızı Projesi teklif edilen tesisler	17,284 x 10 ¹² TL
toplam gideri	

4.3.3. Yıllık Faydalar Rantabiliteler ve Teorik Verimlilikler

Yıllık giderlerin hesabında İ:%5 alınmıştır. Sulama faydaları sekizinci senenin sonundaki nihai değerler esas alınarak yapılmıştır. İnşaat süresindeki faizler nazarı dikkate alınmamıştır. Bu koşullar altında hesaplanan fayda, masraf, rantabilite ve teorik verimliliklerin her ünitenin ilavesi ile ne şekilde değiştiği aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1: Dicle-Kralkızı Projesine Ait Rantabilite ve Verimlilikler.

ÜNİTE	Kümülatif Yıllık Gider 10 ¹² TL	Kümülatif Yıllık Enerji ve Sulama Fatdaları 10 ¹² TL	Rantabilite B/Ç	Verimlilik I.R.R %
Dicle Barajı	1,000	—	—	—
Dicle H.E.Santrali	1,980	3,950	2.00	12.2
Kralkızı Barajı	4,000	—	—	—
Kralkızı H.E.Santrali	4,934	7,914	1.60	9.5
1 No'lu Pompaj Sulaması	8,604	14,581	1.69	9.9
2 No'lu Pompaj Sulaması	9,108	15,165	1.66	9.8
Devegeçidi derivasyonu	9,345	15,165	1.62	9.6
5 No'lu Pompaj Sulaması	12,723	17,377	1.56	9.5
3 No'lu Pompaj Sulaması	14,195	21,761	1.50	9.2
6 No'lu Pompaj Sulaması	15,963	23,292	1.47	9.1
4 No'lu Pompaj Sulaması	17,284	24,993	1.45	
	17,284	24,993	1.45	9.00

4.3.4. Dicle Kralkızı Projesi Nihai Rantabilite Verimliliği

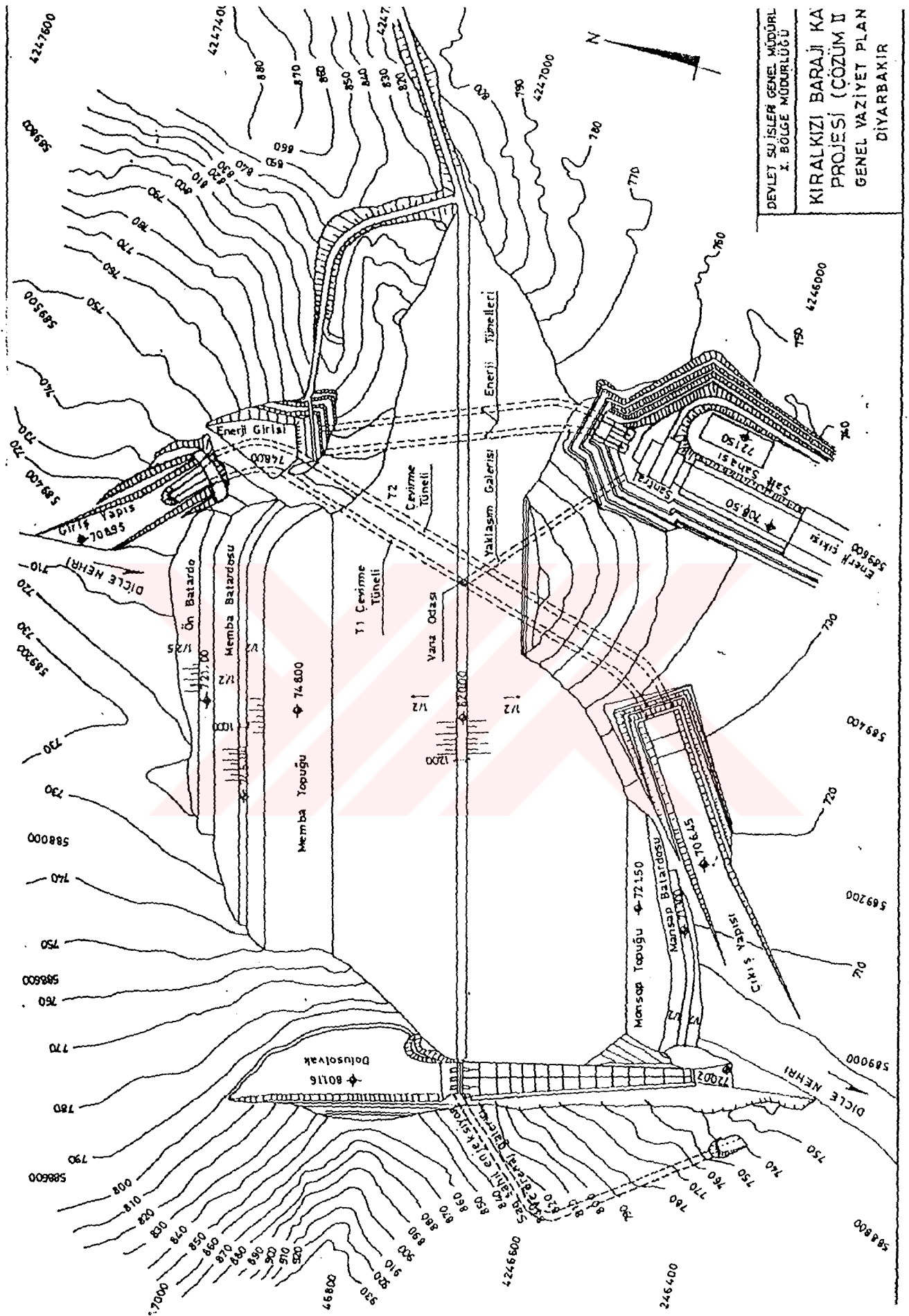
Projenin developmanı ve inşaat sırasındaki faizleri naz arı dikkate alınmasıyla bulunan rantabilite verimlilik değeri aşağıda verilmiştir.

Dicle Kralkızı Projesi Rantabilitesi : (İ:%5) R: (24.993/17.284)

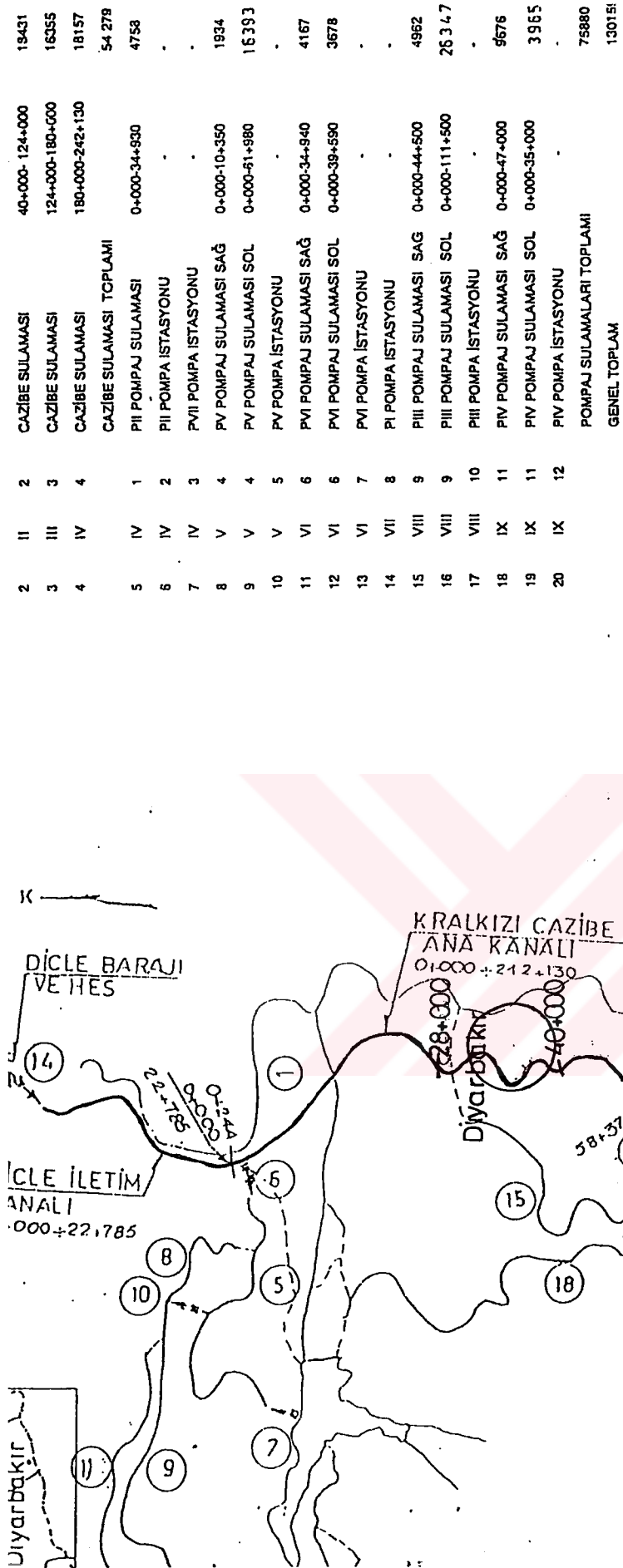
R: 1.45

Dicle Kralkızı Projesi Verimliliği: I.R.R: 9.0 (%)





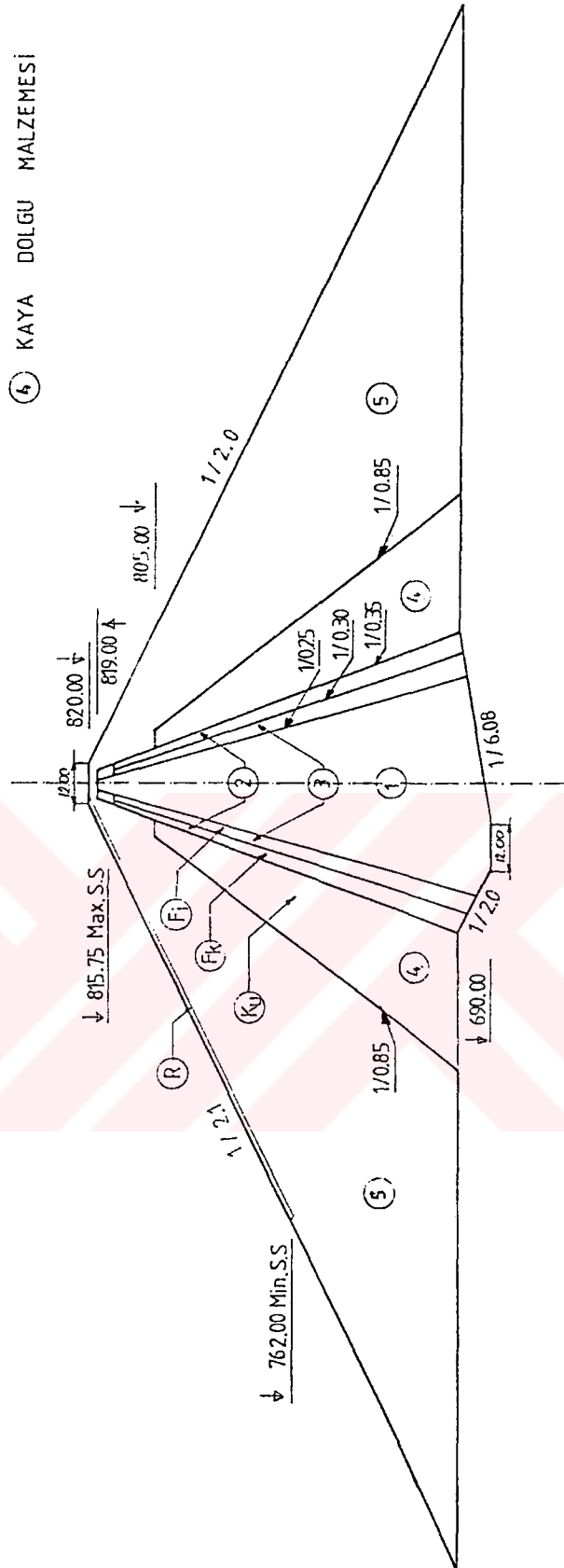
Şekil 4.1. Kıralkızı Barajı Genel Vaziyet Planı.



Şekil 4.2. Kralıkızı-Dicle Sulaması Gelişme Planı.

SİMGELER

- ⑤ KAYA DOLGU
- ② KALIN FİLTRE (F_k)
- ③ İNCE FİLTRE (F_i)
- ① KİL ÇEKİRDEK
- (K_u) KAYA UFAĞI
- (R) RİPRAP
- ④ KAYA DOLGU MALZEMESİ



Şekil 4.3. Kralkızı Barajı En Kesiti.

4.4. Sıyırma Kazısı ve Baraj Temeli İle İlgili Çalışmalar

Sıyırma kazısı, baraj dolgusunun oturtulacağı temel sathının meydana çıkarılması için yapılan kazının tümüne verilen isimdir.

Baraj temel kazısının belirlenmesinde baraj eksenini altında karşılaşılan kayaç türleri, bunların tabakalanma, çatlaklık ve faylanma gibi özellikleri ile yüzeyde yer yer rastlanılan yamaç molozu ve alüvyonların kalınlıkları ve diğer jeoteknik özellikler gözönüne alınmıştır. Eksen üzerinde veya yakınında açılan sondajların verilerinden yararlanılarak temeldeki kayaçların ayrışma derinlikleri saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca baraj kazılarında uygulanacak genel şev açıları yine kayaçların türlerine ve karakteristiklerine göre belirlenmiştir. Sağ sahilde baraj temelinin büyük bir kısmı pek az ayrışmış (0.5~1.5 m) (Mardin Kireçtaşı Formasyonu) üzerinde bulunmaktadır. Mardin Kireçtaşı üzerinde bulunan büyük boyutlu kaya bloklarının traşlanmasından sonra kazılan 2~3 m.lik derinlik temel için yeterli bulunmuştur.

Mardin kireçtaşları üzerindeki kazılarda genel şev açısı 50° ~ 55° verilmiş ve 15 metrede bir palye bırakılmıştır. Sağ sahilde üstten 5~8 m.si ayrışmış durumda bulunan Gercüş Formasyonu faylanmalardan dolayı oldukça çatlaklı ve kırıklıdır. Kazı derinliği 7~8 m. yapılmış ve genel kazı şevi 35° civarında tutulmuştur.

Nehir yatağının altındaki ana kayayı ofiolitler ve Gercüş konglomerası oluşturmaktadır. Bunların üzerinde 5~8 m.ye ulaşan alüvyonlar kaldırıldıktan sonra yapılan kazıda zamanla ıslanan ve kuruyan ana kayanın 6~8 m.lik ayrışmış ve bozulmuş üst kısımları kazılmıştır.

Sol sahilde kalınlıkları 11~14 m.ye ulaşan yamaç molozları kaldırılmış ve konglomeralar içinde kazı derinliği 6~8 m. civarında alınmıştır. Genel kazı şev açısı 40° civarında tutulmuştur.

Tilbağdat tepesindeki Silvan ve Midyat kireçtaşları 790 00 m. kotuna kadar kaldırılmıştır. Bu durum hem temelin sağlamlığı ve hem de geçirimsizlik yönünden gerekli görülmüştür. Bu kayalarda (Midyat ve Silvan Kireçtaşları) genel kazı şev açısı $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ dolayındadır.

Sol sahilde baraj temelinin geriye kalan büyük bir kısmı molozlar üzerindedir. Molozların üst kısımlarındaki 3~5 m.lik ayrışma zonu kaldırıldıktan sonra baraj temeli olarak sağlam kabul edilmiştir. Molozlarda genel kazı şev açısı 40° alınmıştır.

4.5. Dolgu İşleri

4.5.1. Genel

Toplam dolgu hacmi $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ olup, eksenel kil çekirdekli kaya dolgu tipindeki baraja ait tipik kesit ve zonlara ait cins ve miktar gösteren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.2. Kralkızı Barajı Gövde Dolgusu Cins-Miktar ve Şevleri.

Cinsi	Zon No	Dolgu Miktarı	Şevler	
			Memba	Mansap
Geçirimsiz kil çekirdek	1	1.800.000 m ³	1/0.25	1/0.25
İnce filtre	2	400.000 m ³	1/0.35	1/0.35
Kalın filtre	3	400.000 m ³	1/0.30	1/0.30
Kaya ufağı	4	4.000.000 m ³	1/0.50	1/0.50
Kaya	5	8.800.000 m ³	1/2.1	1/2
Rip rap	6	100.000 m ³	1/2.1	1/2

4.5.2. Malzeme Temini

Baraj dolgusuna gerekli malzemenin nereden ve nasıl temin edildiği Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kralkızı Barajı Malzeme Temini.

Dolgu Cinsi	Zon No	Temin Edildiği Yer, Uzaklığı, Genel Özellikleri
Geçirimsiz kil çekirdek	1	Mansap sağ ve sol sahilde. 500 mt ~ 4 km uzaklıktaki ocaklardan temin olunmaktadır.
İnce filtre	2	Mansap sağ ve sol sahilde 2 km. ve baraj yerinin 22 km güneyindeki ocaklardan temin edilmektedir.
Kalın filtre	3	“ “
Kaya ufağı	4	Genelde kazıdan çıkan kaya doğrudan dolguya veya depo edilerek depodan dolguya konulmaktadır.
Kaya ve Rip-Rap	5 ve 6	Sağ ve sol sahilde 2~5 km. iki kaya malzeme ocağından temin edilmektedir.

4.5.3. Fizibilite Etüdü Sırasında Temel ve Dolgu Malzemeleri İçin 1977 Yılında Yapılan Araştırmalar

a- Temelde: Bugünkü baraj ekseninde genel jeoloji çalışmaları yanında toplam 5713 m. uzunluğunda 42 adet temel sondaj ve toplam 706 m. uzunluğunda 8 adet araştırma galerisi açılmıştır. Sondaj deliklerinden karot alınarak kaya birimlerinin, kontaklarının, faylarının, tabaka ve eklemlerinin belirlenmesi ile basınçlı su tecrübesi geçirimsizlik, sızma, standart ve koni penetrasyon ve diğer laboratuvar deneyleri ile elastikiyet modülü tayini, kaya cinsi, tabaka, eklem ve fayların tesbiti yapılmıştır.

b- Geçirimsiz Malzeme: 4 adet geçirimsiz malzeme ocağında araştırma çalışmaları yapılmış olup, bunlardan baraj dolgusunda kullanılan 'A' ve 'C' malzeme ocağında 128 adet 5 m. derinliğinde tecrübe kuyusu, alınan 5 adet numune üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve sonuçları Tablo 4.4'de verilmiştir.

c- Geçirimli Malzeme: Baraj ekseninin mansabındaki ‘B’ malzeme sahasında ve 22 km. güneyde kalan ‘G’ malzeme sahasında araştırma yapılmıştır. ‘B’ ve ‘G’ malzeme sahalarında yapılan araştırma aşağıda verilmiştir. 25 adet araştırma kuyusu açılmış ve alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler ve ortalama sonuçlar şöyledir.

Malzeme grup sembolü; GP-SP iyi derecelenmiş kum, çakıl, birim ağırlık; 1,8 t/m³, özgül ağırlık; 2,68 gr/cm³, 200 nolu elekten geçen malzeme yüzdesi 5, su emme % 2, sodyum sülfat don kaybı; % 16, Los Angeles deneyi 100 devir için; % 5, 500 devir için % 25.

d- Kaya Ocakları: Kaya ocağı olarak düşünülen 2 adet saha üzerinde araştırma çalışmaları yapılmıştır. Bunlardan sağ sahilde 2 km. uzaklıkta bulunan ‘T₁’ ocağında yapılan araştırma çalışmaları aşağıda verilmiştir. ‘T₁’ ocağı Kriptokristalli yapıda jura krieçtaşlarından oluşan bu malzemenin kullanılma yerine göre fiziksel ve mekanik özellikler açısından istenilen nitelikte olduğu laboratuvar deneyleri ile saptanmıştır. Toplam 630 m. uzunluğunda 4 adet sondaj deliği açılmıştır. Patlatma deneyi sonucu elde olunan granülometri 0~2 cm arası % 3, 2~15 cm arası % 24, 15~30 arası % 30, 30 cm’den büyük %42’dir.

Diğer deney sonuçları şöyledir: Özgül ağırlık 2.72 gr/cm³, su emme %0.1, Los Angeles deneyi 100 devirde % 5.9, 500 devirde % 21.1, don kaybı %3.9, görünen porozite, %0.3, basınç deneyi sonucu mukavemet: 1350 kg/cm²

4.5.4. Geçirimsiz Kil Çekirdek Dolgu Çalışmaları

4.5.4.1. İnşaat Öncesi 1989’daki Araştırma Çalışmaları

Fizibilite etüdüleri sırasında yapılan ve bölüm 4.2.3.-b’de anlatılan çalışmalara ilave olarak, ocak ve malzemeyi daha iyi tanımak, malzeme çıkarılması ve dolgu işlerinin daha iyi ve süratli bir şekilde yapılabilmesi için

ilave etüd yapılmıştır. Toplam 35 adet araştırma hendeği açılmış numune alınarak gerekli inceleme ve deneyler yapılmıştır.

Deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi malzememiz “CL-CH” sınıfında olduğu, doygun halde iken “orta” kayma direnci olan bu geçirimsiz malzemenin oturma niteliğinin “orta”, homojen dolgudan kullanılma derecesinin 5, çekirdek malzemesi olarak kullanma derecesinin “4” olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.4: Kralkızı Barajı Kil Ocağı Deneyleri.

Malzeme	1989 Deney Sonuçlar	Proje Dizaynı ve Şartname	1977 Deney Sonuçları
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.75	2.75	2.75
Plastikte indisi % (PI)	23.1	15	24.2
Tabii su içeriği %	19.2	–	19.1
Optimum su içeriği %	18.0	–	18.3
Max. kuru birim ağırlığı t/m ³	1.73	1.70	1.75
Geçirimlilik katsayısı cm/sn	6.0x10 ⁻⁸	10 ⁻⁵ ~ 10 ⁻⁶	5.6x10 ⁻⁸
İçsel sürtünme açısı ϕ	14 ⁰	–	15 ⁰
Kohezyon t/m ²	5.8	–	6.0
Kuru ağırlıkça	96	50-100	68
elekten geçen %	62	20-70	61
Doygunluk derecesi %	80	–	–

4.5.4.2. Şartname Kayıtları

Granülometri	Elek No	Çapı	Elekten geçen kuru ağırlık	
			$h < 90$ mt.	$h > 90$ mt.
$D_{max} = 7.5$ cm	4	4.76	50~100	50~100
olmak üzere	200	0.074	20~70	20~80

Su içeriği: Optimum civarında olacağı ve “Arazi sıkışma deneyi” sonucu optimumdan sapma miktarı tespit olunacağı teknik şartnamede

alınmıştır. Ocak karakteri ve iklim koşulları ve dolgunun süratle bitirilmesi gerektiğinden limitler $W_{opt} - W_d = -\%1$ ve $+\%2$ olarak saptanmıştır.

Sıkışma: Sıkışma kontrolü çabuk proktor deneyi ile yapılmaktadır. İstenilen sıkışma oranı minimum % 95 olmak üzere her 10 deneyin 7 adedi %98 veya üstünde olacaktır. Şartnameye göre her 750 m³ dolgu için sıkışma kontrolü yapılacaktır.

4.5.4.3. Arazi Sıkıştırma Deneyleri ve Sonuçları

1989 yılında dolgu işleri başlamadan önce 20.00 x 60.00 x 2,50 m ebadında bir deney dolgu yapılarak;

- En uygun serim kalınlığı ve silindir geçiş sayısı
- En uygun su içeriği ve sapma limitleri

belirlenmiştir. Deney dolgu sırasında 20~30 ve 40 cm tabaka kalınlığı, Bomag BW 217D (160,5 HD) düz silindir, İngersoll-Rand SD150F, İngersoll-Rand SPF-60 keçi ayağı silindir, CAT 769C kamyon, CAT 988B lastik tekerlekli yükleyici makinaları ve 2-4-6-8-10 geçiş sayısı gibi çeşitli alternatif çözümler ayrı ayrı uygulanmış ve sıkışma-oturma-kuru birim ağırlık-rutubet ilişkileri ölçümler ve laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Bulunan ve uygulanan sonuçlar aşağıdadır.

Tablo 4.5. Kralkızı Barajı Arazi Sıkıştırma Deney Sonuçları.

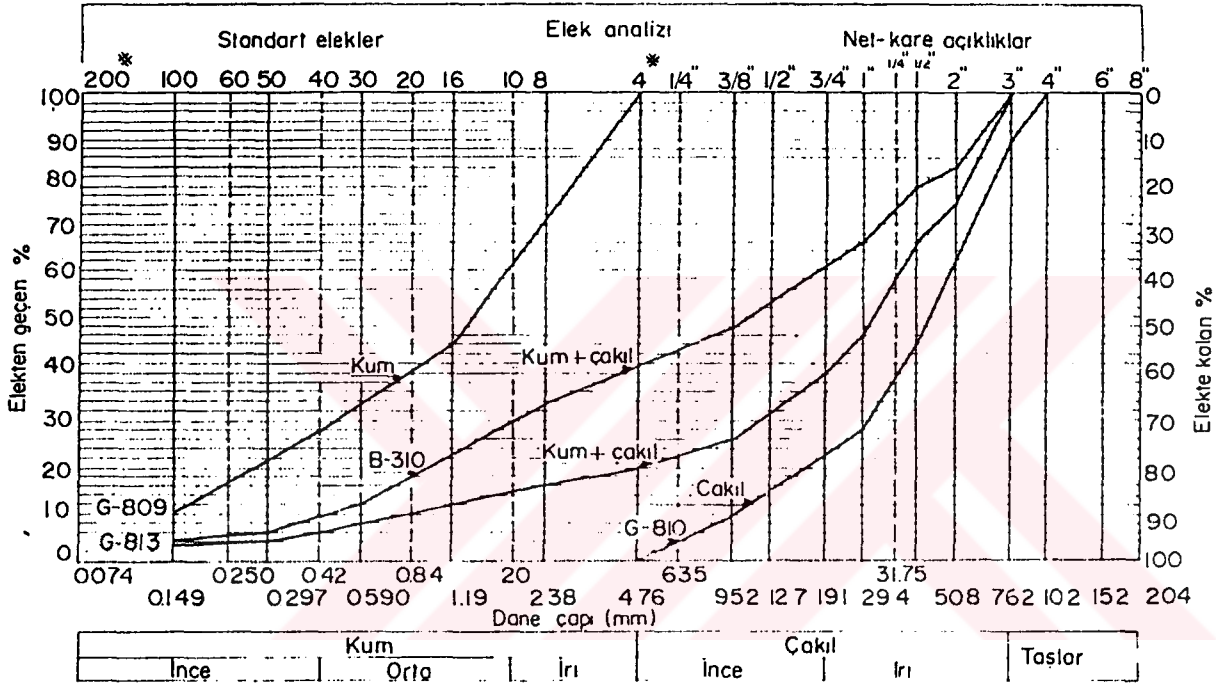
Dolgu Yeri	Tabaka Kalınlığı	Silindir Geçiş Sayısı	Sıkıştırma Tip ve Hızı	Dolgu Su İçeriğinin Optimumdan Sapması
Kil Dolgu	30	6	Vibrasyonlu 3~4 km/saat	%1 ıslak %1 kuru

Dolgu sırasında yapılan laboratuvar deneyleri, dolgu su içeriği kuru birim ağırlık-sıkıştırma arasında; şartnamelere, daha evvel elde olunan bilgi ve

deneylere ve zemin mekaniği kaidelerine tamamen uyan ilişkilerin olduğu sonucunu vermiştir.

4.5.5. Dolgu Zonlarının Granülometrisi

İnce filtre ve kalın filtre-iç kaya zonlarına ait granülometri eğrileri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.4. Kralkızı Barajı Granülometri Eğrileri.

Dolguda kaba filtre, iç ve dış kaya zonlarında uygulama sırasında;

- Kaba filtrenin incesi , ince filtre tarafına kalını, iç kaya tarafına;
- İç 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.

4.5.6. Filtre Zonları

4.5.6.1. Malzeme Karakteri ve Şartname Kayıtları

Tablo 4.6. Kralkızı Barajına Filtrelerine Ait Malzeme Karakterleri.

Karakterler		İnce Filtre	Kalın Filtre
Özgöl ağırlık (gr/cm ³)		2.70	2.75
Dolgu kuru birim ağırlığı (t/m ³)		1.85	1.90
Dolgu su içeriği %		2.5	20
Bağıl yoğunluk % Dr.		80	80
Kuru ağırlıkça geçen %	200	0-5	0-5
	40	5-35	0-25
	4	35-85	20-55
	1"	70-100	50-75
	1 1/2"	–	70-100
Max. boyut (D max.) (cm.)		7.5	20
Tabaka kalınlığı (cm)		30	70
Pas sayısı (vibrasyonlu silindir)		3	5

4.5.6.2. Arazi Deney Dolgusu

İnce ve kalın filtreler için Bomag BW 217 (160.5 HP) vibrasyonlu silindirin etki derecesi çeşitli tabaka kalınlıkları, su içerikleri 2,4,6 geçişleri için sıkıştırılarak oturma ilişkisi değerlendirilmiştir. Deney dolgu 15.00x25.00x2.00 mt. Ebadındadır. Filtre her 4.000 m³ dolgu için denetlenmiştir.

Tablo 4.7. Kralkızı Barajı'nda Uygulamada Elde Edilen Sonuçlar Filtre Zonuna Ait.

Karakterler		İnce Filtre	Kalın Filtre
Dolgu kuru birim ağırlığı (t/m ³)		1.85	1.82
Dolgu su içeriği %		2.8	1.5
Bağıl yoğunluk % Dr		85	86
Özgül Ağırlık gr/cm ³		2.70	2.75
Kuru ağırlıkça geçen %	200 (0,074 mm)	1.5	1.4
	40 (0,42 mm)	9	7
	4 (4.76 mm)	38	24
	1 (25.4 mm)	72	59

4.5.7. Kaya Dolgu

4.5.7.1. Şartname Kayıtları

Tablo 4.8. Kralkızı Barajı Kaya Dolgu Zonuna Ait Şartname Kayıtları.

Zon	Tabaka Kalınlığı	Pas Sayısı	Max. Boyutu	Sıkıştırıcının Cinsi	Kontrol Metodu
Kaya ufağı	1.50 m	6	1.0 mt.	Bomag BW 217D (160,5 HP)	Arazi Kesafet
Kaya	2.00 m	8	1.5 mt.	" "	Özgül Ağırlık
Rip-Rap	1.00 m	–	Ort. Boyut D ₅₀ = 0.53	Buldozer ile 2 mt. Yük serim.	Elek analizi ve kirlilik deneyleri

İş ve dış kaya dolgu sıkıştırıldıktan sonra malzeme içinde fazla miktarda silt, kil, çamur, kök ve diğer uygun olmayan organik maddeler içermeyecektir. Tabaka yüzeyi üzerinde çok miktarda kaya tozu varsa bunlar tabakaların içine karışmasını temin etmek için su jeti ile çekirdeğe doğru yıkanarak temizlenecektir. Suyun miktar her m³'ü için 2m³ olacaktır.

4.5.7.2. Dolgu Sırasında Elde Olunan Sonuçlar

Tablo 4.9. Kralkızı Barajı Kaya Dolgusuna Ait Uygulamada Elde Edilen Sonuçlar.

Karakterler \ Zon	İç Kaya	Dış Kaya
Özgül Ağırlık	2.14	2.10
Arazi Kesafeti t/m ³	1.75	1.70
Boşluk Oranı (e)	0.28	0.26
200 # Elekten Geçen %	4	2

4.6. Perde ve Konsolidasyon Enjeksiyonu

4.6.1. Genel

Kralkızı Barajında kil çekirdek altındaki temel kayasını ıslâh etmek ve muhtemel su sızmalarına karşı bir yer altı engeli oluşturmak amacıyla konsolidasyon ve perde enjeksiyonunun yapılması planlanmıştır. Ayrıca baraj eksenini kesen önemli fay sonlarının iyileştirilmesi gayesiyle fay ıslâh enjeksiyonları yapılmıştır.

4.6.2. Proje

Kralkızı Barajı kat'i proje albümünde temel ıslahı olarak 1 sıra perde 2 sıra konsolidasyon enjeksiyonunun yapılması öngörülmüştür. Çekirdek hendeği ve alüvyon kazısının tamamlanmasından sonra ortaya çıkan temel

kayasının jeolojik durumu dikkate alınarak sağ sahilde ilave 2 sıra daha konsolidasyon enjeksiyon yapılması öngörölmüştür. Şekil 4.5.

4.6.3. İş Miktarı

Barajın çeşitli ünitelerinde yapılması planlanan toplam enjeksiyon iş miktardı 97.000 m. olup, bunun 67.000 m.si temel enjeksiyonlarında 30.000 m.si enerji tüneli, drenaj galerisinde ve dip savakta yapılmış oylan kontakt, konsolidasyon ve perde enjeksiyonlarına aittir.

4.6.4. Enjeksiyon Delik Paterni

Bütün perde ve konsolidasyon delikleri 3 m. ara ile ve düşey olarak açılmıştır. Perde sırasında maximum derinlik 60 m.dir. Perdenin iki yanındaki konsolidasyon deliklerini derinliği 5'er metredir. Sıra araları 3 m.dir.

4.6.5. Uygulama

Enjeksiyonlarda 1/5 ile 1/1 arasında değişen oranlarda çimento-su karışımları kullanılmış, perde enjeksiyonun da karışıma çimento ağırlığının % 3'ü kadar bentonit katılmıştır. Enjeksiyon basıncı derinliğe bağılı olarak 1~20 kg/cm² arasında değişmiştir. Delgi sırasında, kuyularda enjeksiyon öncesi rutin su tecrübesi yapılmıştır. Enjeksiyonu tamamlanmış olan bölümlerde enjeksiyonun başarı derecesini almak için karotlu kuyular açılmış ve dönüşümlü su tecrübeleri yapılmıştır.

Perde enjeksiyonlarında aşağıdan yukarı çıkan kademeler metodu kullanılmıştır. Buna göre deliğin ilk 5 m.si önceden delinip enjekte edilmekte. sonra delik tam derinliğe kadar açılarak aşağıdan yukarıya doğru 5'er m.lik kademeler halinde enjeksiyonu yapılmaktadır.

Enjeksiyon uygulamasında "araya girme" usulüne göre önce 24 m. aralıklı ano başı (birinci) delikler delinip enjekte edilmiş, sonra ano ortası (ikinci) delikler, daha sonra 6 m. aralıklı (üçüncü) delikler enjekte edilmiştir.

Üçüncü deliklerden elde edilen sonuçlara göre gereğinde 3 m. aralıklı (dördüncü) delikler edilerek enjekte edilmiştir.

4.6.6. Enjeksiyon Sonuçları

Perde enjeksiyonuna ait ikinci deliklerden itibaren ortalama akışın azaldığı, kontrol deliklerinde ise en aza düştüğü görülmüştür. Enjeksiyondan önce yapılan su tecrübelerinde “su kaybı” değerleri enjeksiyonu tamamlanmış bölümlerde en aza düşmüştür.

Fazla karışım akışının olduğu kademeleri kesecek şekilde açılan karotlu kontrol kuyularından alınan karot numuneleri incelenmiş, fayla alışı yol azan kırık zonlarının çimento karışımı ile sıkı bir şekilde doldurulmuş olduğu görülmüştür.

Tablo 4.10. Kralkızı Barajı Enjeksiyonları Genel Değerlendirme Sonuçları.

İç	Beton Delgisi m.	Kayada delgi m.	Basılan Çimento kg.	Ortalama dış kg/m
Konsolidasyon	2.531	17.053	446.292	23 kg/m
Perde	540	77.056	931.152	13
Toplam	2891	94.109	1.377.444	14.2

4.7. Dolgu Zonlarının Maliyet Analizleri

İnşaat esnasında dolgu çalışmalarıyla ilgili olarak maliyetler hesaplanarak izlenmiştir. Maliyet hesaplarına ait analizler ve değerler Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Kralkızı Barajı Maliyet Hesaplarına Ait Değerler.

Maliyet Esas Puantajları	Aylar					
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
A. Harcanan Delme, Patlatma Sarf Malzemeleri						
Jelatinit (kg/m ³)	0.080	0.080	0.068	0.066	0.068	0.069
Amonyum Nitrat (kg/m ³)	0.926	0.880	0.742	0.778	0.756	0.0767
Kapsül (Ad/m ³)	0.088	0.076	0.076	0.076	0.070	0.064
Fital (mt/m ³)	0.068	0.066	0.070	0.064	0.068	0.065
Tel (mt/m ³)	0.0.90	0.080	0.066	0.068	0.078	0.070
Manşon (Ad/m ³)	3	4	3	4	4	3
Shank (Ad/m ³)	2	1	0	0	1	1
Tij (Ad/m ³)	2	1	0	0	0	1
B. Makine Çalışma Saatleri						
Delici (sa/m ³)	0.054	0.043	0.033	0.034	0.036	0.039
Yükleyici (sa/m ³)	0.021	0.018	0.016	0.016	0.014	0.019
Serme-toplama (sa/m ³)	0.048	0.051	0.054	0.054	0.051	0.050
Sıkıştırma (sa/m ³)	0.0041	0.0039	0.0035	0.0035	0.0034	0.0038

4.8. Kralkızı Barajı'nda Uygulamada Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri

4.8.1. Kaya Malzemesi Temininde Karşılaşılan Güçlükler ve Uygulanan Çözümler

Kaya ocakları sağ sahilde bulunup, Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşmuştur. Bu birim bölgedeki etkin tektonik hareketler ters faylar boyunca ilerlemiş ve genç birimler üzerine oturmuştur. Mardin formasyonu olarak isimlendirilen bu birim, dolomitik kireçtaşı ve marnlı kireçtaşından oluşmuştur. Birimin bölgedeki kalınlığı yaklaşık 200 m. olup, marnlı kireçtaşlarının kalınlığı 10 ile 30 m. arasında değişmektedir. Dolomitik kireçtaşları masif, yer yer kristalize, ufak erime boşumlu olup, çatlaklar kalsit ve kil doludur. Marnlı kireçtaşları ise bordo renkli plaketli özellikleri ile karakteristiktir.

Ocaklarda şariyaj hattı yakınındaki bölgede muhtelif istikametlerde 10 cm ile 5 m. kalınlığa kadar değişen kil bantları mevcuttur. Sondaj karotları incelendiğinden şariyaj hattından uzak kısımlarında böyle bir yapının olmadığı, masif yer yer kristalize kireçtaşlarının bulunduğu görülmüştür. Kayalar içinde kireçtaşlarının su ile etkilenmesi sonucu kastik boşluklar oluşmuştur. Ocak içinde çok miktarda faylar ve bu faylara bağlı olarak çatlaklar gelişmiştir.

Kaya ocaklarında bu kadar gayri müsait yapılaşma neticesinde aşağıdaki jeolojik özellikler belirlenmiştir.

- a. Kaya ocağında değişik tipte kireçtaşları mevcuttur.
- b. Kaya ocaklarının niteliği ve nicelikleri çok kısa mesafeler içerisinde değişimlere uğramaktadır.
- c. Ocak içinde çok miktarda faylar ve çatlaklar yer almış ve kayaların içerisinde karstik boşluklar mevcuttur.

d. Ocaktaki kil bantları, karstik boşlukla, fay ve muhtelif çatlaklar patlayıcı maddenin etki gücünü azaltmıştır. Bu nedenle tekrar delik delmek ve tekrar patlayıcı madde kullanmak gerekmiştir. Ayrıca patlatma neticesinde iri bloklar oluşmuş ve bu bloklara ikinci kez patar delikleri delinip patlatılması gerekmiştir.

e. Ocakta yaşlı ve genç kaya oluşumları bir birinin içerisine girmiş vaziyette yer almış ve karmaşık bir yapı oluşturmuştur. Yaşlı kayaların önemli bir bölümünün gövde inşaatında kullanılma şansı yoktur. Zira zayıf kayalardır. Ayrıca farklı yapıdan ötürü patlatmada farklı netice vermekte ve ocağın verimini düşürmektedir.

4.8.1.1. Kıralkızı Barajı Kaya Ocağında Üretimin Arttırılması ve Maliyeti Düşürülmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Makinalar için güç bir sistem olan aynı zamanda kontrolü zor ve pahalı olan galeri patlatmaları terk edilmiştir. İlk etapta 970 kotunun üzerindeki hazırlık çalışmaları tamamlanmıştır. Ocak şevi sistematik bir şekilde geliştirilmiştir. Şekil 4.6'da belirtildiği gibi planlanmış basamakların teşkili sıkı kontrol altına alınmıştır. Delme ve patlatma paternlerinin detayları geliştirilmiş doldurma sistemleri, patlatma sıralarının düzenlenmesi yapılmıştır. Çatlak ve kaya düşmelerinin önlenmesi için basamak şevlerine düzgün şev kesme metodu uygulanmıştır.

4.8.1.2. Delme İçin Dikkat Edilen Hususlar

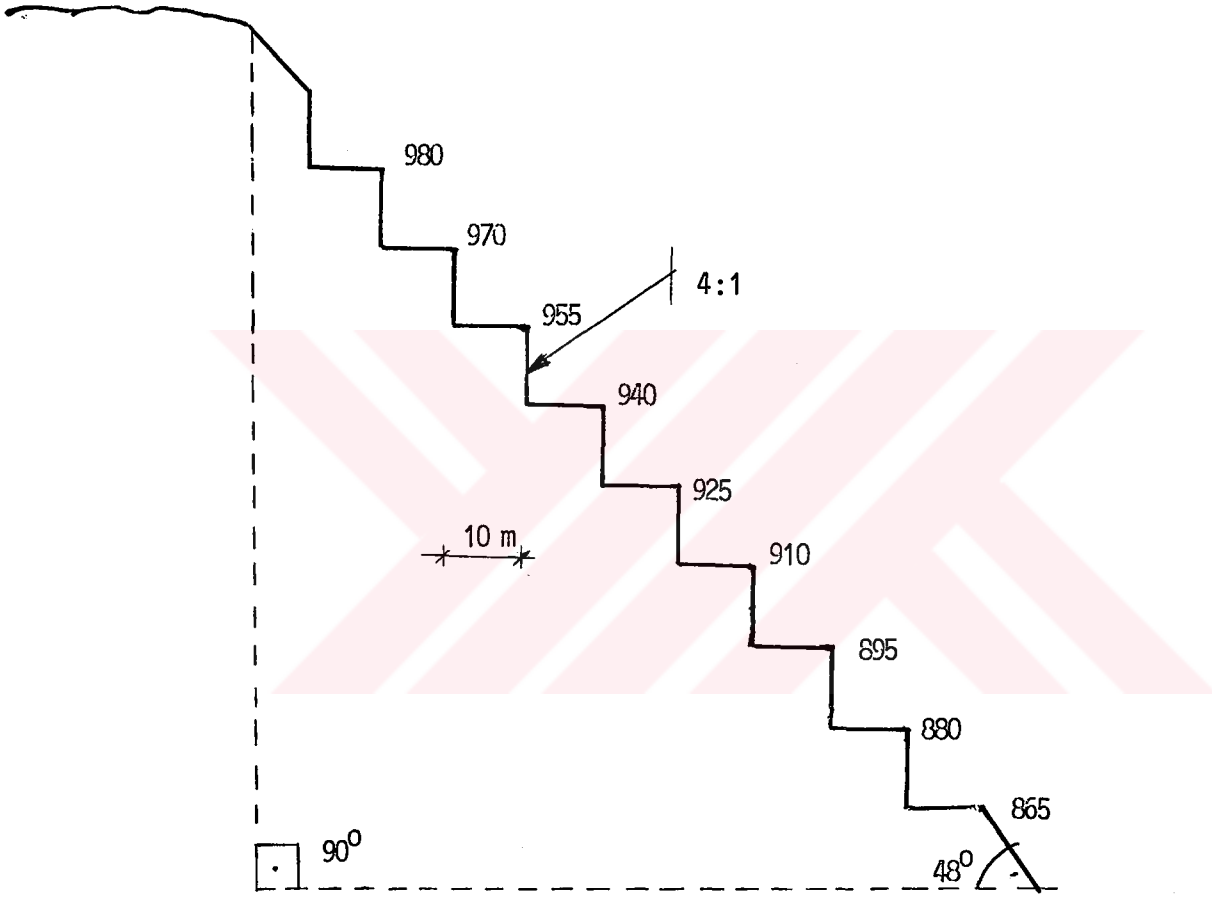
a. Basamakta delme işlemine başlamadan önce zeminde gevşek malzemeler iyice temizlenmiştir.

b. Deliklerinin istikametinin aynı olmasına dikkat edilmiştir.

c. Delik eğimi, 4:1 veya 5:1 olarak uygulanmıştır.

d. Delikler delindikten sonra içine kaya vs. düşmesini önlemek amacıyla plastik ve tahta tapalar kullanılmıştır.

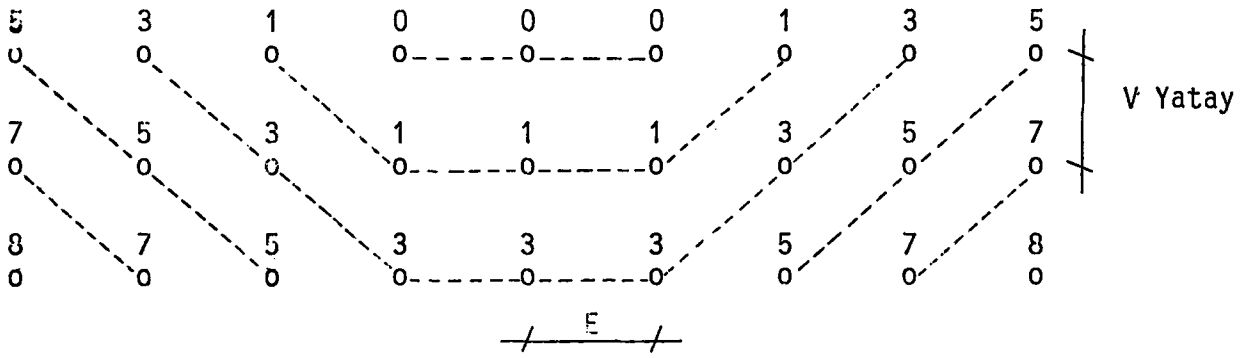
e. Delicilerin eğim ve istikamet aparatlarının devamlı çalışır durumda olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 4.6. Kralkızı Barajı Kaya Ocağındaki Basamaklar ve Genel Şev Eğimi

4.8.1.3. Patlatma Paterni

Aşağıda belirtildiği şekilde Kralkızı Barajı kaya ocaklarında patlatma paterni uygulanmıştır.



Şekil 4.7. Kralkızı Barajı Kaya Ocağı Patlatma Paterni

Basamak yüksekliği: 4.5 İnç'lik makine için 10 m., 6.5 İnç'lik makine için 15 m. uygun görülmüştür.

AÇILAN DELİK ÇAPI	4.5 İNÇ (11.43 cm)	6.5 İNÇ (16.51 cm)
V Yatay (Delik Yüğü)	3.15 m	5.0 m
E (Delikler Arası Mesafe)	3.75 m	5.5 m
H (Delik Boyu)	11.70 m	17.2 m
Dipşarj	4.2 m	5.5 m
Sıkılama	1.5 m	3.5 m

Delik Boyu $H = \text{Basamak Yüksekliği} + 0.3 \times \text{Delik Yüğü}$, olarak tespit edilmiştir.

Delik mesafesi ve yüğü, basamak yüksekliğine ve kayanın tipine bağlı olarak delik yüğü ve mesafesi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde öngörülmüştür.

Yük Mesafesi : 0.80 ~ 0.85 Delik Mesafesi

Delik Mesafesi : 1.20 ~ 1.25 Delik Yüğü

4.8.1.4. Kralkızı Barajı aya Ocağında Yapılan Çalışmaların Sonuçları

Kralkızı Barajı Kaya Ocağında yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki hususlar uygulamada esas alınmıştır.

a. Kaya dolguda kullanılacak malzemenin içinde 200 no'lu elekten geçen malzeme miktarı % 15 ile sınırlandırılmıştır.

b. Kaya dolgunun şantiyede yüksek kapasiteli serme ve sıkıştırma makinalarının olması nedeni ile 1.00 m. tabaka kalınlığı 1.5 m.'ye çıkarılmıştır.

c. Kabuk dolgunun kaya dolgu olması ve yakın çevreden iyi evsafa malzeme bulunmaması nedeni ile aynı evsftaki kaya dolgu malzemesinin kil çekirdekten dış şevlere doğru ince, orta ve iri olarak serilmesi ile dış şevlerde istenen iri malzemelerin teşkili sağlanmıştır.

4.8.2. Kralkızı Barajı Derivasyon Tünellerinde Kazı Çalışmalarında Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri

4.8.2.1. Tünellerde Geçilen Jeolojik Birimler

Derivasyon tünellerinin giriş ağzı ofiolitten çıkış ağzı is molas içinde yer almaktadır. Tünellerin girişinden itibaren ilk 60 m.'lik kısımda yer alan ofiolitten sonra 60 ~ 90m arasında geçirimsiz Gercüş kongremerası yer almaktadır. Tünellerin 90 ~ 210 m.'leri arasında Midyat kalkerleri geçilmiştir. Bu kısımda yer yer etkin olmak üzere bindirme zonunun molaz kireçtaşı ardalanması kırıklı-faylı sürtünme yüzeyli yapısı görülmüştür. Kaya kalitesi birden bire düşmüş kavlaklanma ve aşırı sökümler artmıştır. Bu bölgede

atım derinlikleri kısa tutulmuş ve 3 lt/sn'den fazla su gelişi görülmüştür. Tünellerin 210m'sinden sonra molasa girilmiştir.

4.8.2.2. Yer altı Kazıları ve Desteklemeler

Tünel kazıları üst ve alt yarı olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Tünel girişinde yer alan faylı ve ezik zonlu ofiolitte iksalı ön kaplama yapılmıştır. Gercüş kongremerası sağlam olduğundan desteklemeye ihtiyaç görülmemiştir. Kireç taşlarının kemerlenme özelliği zayıf olduğu için genellikle 1 m. aralıklı iksalar yerleştirilmiştir. Molas bölgesi ise iksalı ve ön kaplamalı olarak geçilmiştir.

4.8.2.3. Derivasyon Tünellerindeki Sorunla ve Çözüm Yolları

a. Tünellerin ilk 60 m.'sinde yer alan faylı ofiolit bölgeni ıslahı:

Birer metre aralıklarla iksa ve ön kaplamalı olarak güçlkle geçilen tünelin bu kesimi daha sonra üzerine gelen yüklerden dolayı iksalar eğilmiş, ön kaplama yer yer kırılıp dökülmüştür. Hareket devam edince ön kaplama betonu ikinci kez yapılmıştır. Ayrıca tabana da birer metre aralıklarla iksa döşenmiştir ve böylece hareket durdurulmuştur. Buradaki hareket faylı ofiolitin bünyesine su alarak harekete geçmesinden kaynaklanmaktadır.

b. Tünellerin 90 ~ 210 m.'eri arasında Midyat kalkerlerinde geçilen faylı bölgelerin ıslahı:

Faylı bölgeler, su problemi fazla olmadığından birer metre aralıklarla iksa ve ön kaplamalı beton yapılarak ıslan edilmiştir.

4.9. Dolgu Şevlerinde Kayma Düzlemlerinin Analitik Tayini ve Kralkızı Barajına Uygulanması

Dolgu şevlerinde kayma yüzeylerinin takriben bir daire yayı olduğu bir çok müellif tarafından ileri sürülmektedir. Bu münasebetle dolgu ve temelden geçen birkaç daire yayının seçilmesi ve seçilen kayma dairelerinden deneme-

sınama yapmak suretiyle kaymaya karşı minimum emniyet faktörü tayin edilmektedir [33, 36, 37].

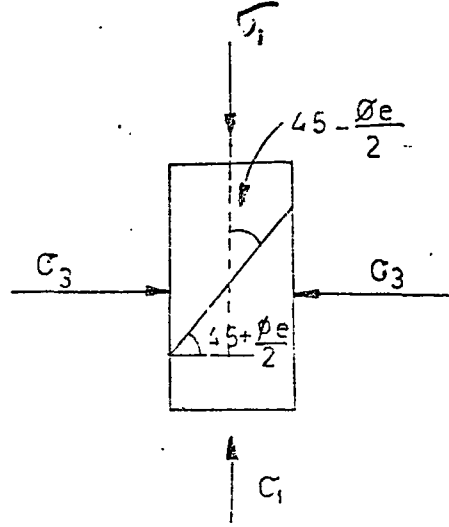
Kaymaya karşı en küçük emniyet faktörüne haiz daire, kritik kayma yüzeyi olarak düşünülmektedir. Her bir kayma dairesinin analizi, daire sürtünme metodu veya dilim çözüm metodu olmaktadır [36, 37]. Dilim metodunda ilk adım olarak kayma dairesi seçilmektedir. Kritik daire genel olarak baraj kretine yakın kısımlardan geçecek şekilde analiz edilmektedir. Kritik dairenin baraj ve temel kesimindeki en zayıf materyalden geçmesi düşünülmektedir. İkinci adım daire parçasını keyfi sayıda dilimlere bölmek ve her bir dilime tesir eden kuvvetleri tayin etmekten ibaret olmaktadır. Genel olarak 6 ila 10 dilim yeterli olmaktadır.

Kayma yüzeyinin biçim ve şekli muhtemel kayma durumuna göre keyfi olarak seçilmektedir. Bu eğrinin bir daire yayı, birkaç lineer doğru veya keyfi bir eğri olduğu kabul edilmektedir [31]. Aşırı boşluk suyu basıncının tesiri bertaraf edilir veya dikkate alınmaz ise kayma yüzeyinin belirli bir eğri olması gerekmektedir. Bu nedenle şev topuğundan geçen kayma yüzeyinin denklemini ifade etmek, yukarıda bahsedilen kayma yüzeyinin keyfi seçimine önemli miktarda yardımcı olacağı görülmektedir.

Kırılma düzlemi ile büyük asal gerilme düzlemi arasında $45 + \phi/2$ açısı mevcuttur [34]. Dolayısıyla kırılma halinde büyük asal gerilme doğrultusuyla kırılma düzlemleri arasında $45 - \phi/2$ meydana gelmektedir [36, 37]. Şekil 4.8.

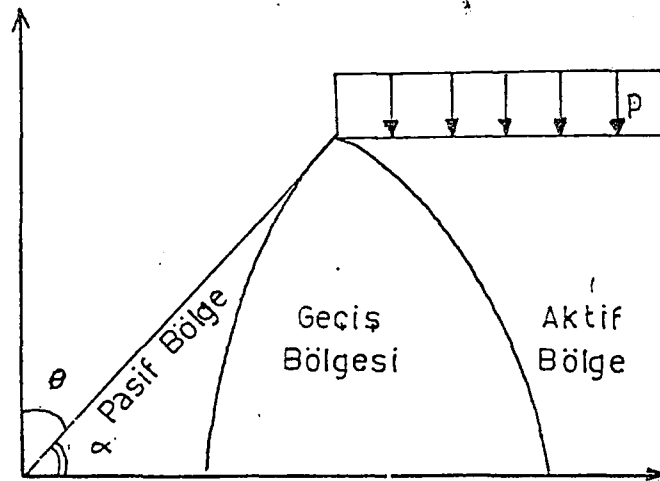
Sınırlı bir şev dikkate alındığında bu şevdeki her noktada büyük asal gerilmelerin yönü değişmiyorsa yukarıdaki ifadelere göre kırılma düzlemlerinin yönü de değişmemektedir. Çünkü $45 - \phi/2$ açısı sabit bir değer olarak kırılma düzlemi ile, büyük asal gerilme arasında kalmaktadır. Bu durum takriben dik şevlerde görülmektedir. O halde kayma düzleminin şekli, tamamen büyük asal gerilmelerin yönüne bağlı olması gerekmektedir. Şevlerde kırılma düzleminin oluşmasında başlıca rolü oynayan büyük asal

gerilmenin yön değişimi, ϕ efektif içsel sürtünme açısı, H şev yüksekliği, θ şev düzleminin d düşeyle yaptığı açı ile ilgili olmaktadır.



Şekil 4.8. Zeminlerin Kırılması.

Yani, şevin göçmesi çevre şartlarına bağlı olmaktadır. Bu münasebetle çevre şartlarını içeren bir kabuğun yapılması kayma düzlemlerinin tayininde daha yaklaşık bir çözümün elde edilmesini sağlamaktadır. Kayma düzleminin tayini için; $c_e \neq 0$ ve $\phi_e \neq 0$ ve α şev açısına haiz olan kaya temel üzerinde sınırlı bir şev dikkate alınır, zaten diğer durumlar belirsiz değil, çözümler aşikar olmaktadır [34, 36, 37]. Şev açısı $\alpha > \phi_e$ için (Şekil 4.8.'de) görüldüğü gibi sınırlı bir şev de aktif, pasif ve geçiş bölgeleri meydana gelmektedir [36, 37].



Şekil 4.9. Şev Bölgeleri

Aşıkarak şev ne kadar dik olursa pasif bölgenin büyüklüğü o denli artar ve $\alpha = \varnothing_e$ halinde pasif bölge sadece şev yüzeyidir. Keza $\alpha < \varnothing_e$ halinde pasif bölge mevcuttur.

Pasif bölgede büyük asal gerilme tam şev düzleminin üzerinde şev eğimindedir. Kayma düzlemini ifade eden denklemi verebilmek için büyük asal gerilmelerin yönlerinin şev dahilindeki her nokta da bilinmesi gerekmektedir.

Buna karşı, sadece şev yüzeyi ve aktif bölgede büyük asal gerilmelerin doğrultusu bilinmektedir. Bunun için aşağıdaki kabul yapılmaktadır.

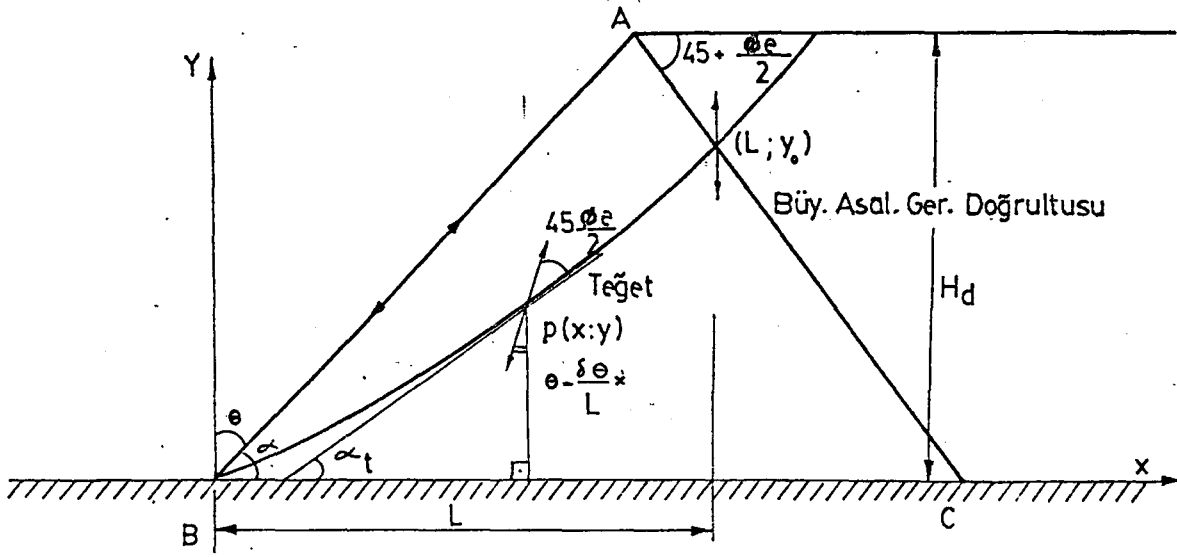
Kabul: Büyük asal gerilmelinin doğrultusu şev düzleminden aktif bölge sınırına kadar lineer olarak değişmekte ve düşey olmaktadır (Şekil 4.10).

Bu durumda seçilen koordinat sistemine göre kayma düzleminin herhangi bir P (x,y) noktasındaki teğetin yatayla yaptığı açı:

$$\alpha_t = 45 + (\varnothing_e/2) - \theta + (\delta \theta/L) \cdot x$$

α_t açısının tayini: Şev topuğundan geçen kırılma düzleminin aktif bölge sınırına (L,y₀) noktasında kestiği dikkate alınırsa bu düzlem üzerinde büyük asal gerilmenin birim mesafedeki dönme miktarı, şevin düşeyle yaptığı açı θ olması halinde θ / L olmaktadır (Şekil 4.10.). Fakat, kabullerdeki hatayı dikkate alarak birim mesafedeki dönme miktarı $\delta \cdot \theta/L$ ile ifade edilmektedir. Burada δ büyük asal gerilmelerin yön değiştirmeleri ile ilgili bir katsayı olarak alınmaktadır.

Aynı kayma düzlemi üzerinde herhangi bir P (x,y) noktasındaki büyük asal gerilmenin dönme miktarı, $(\delta \cdot \theta/L) \cdot x$ olmaktadır. Bu halde asal gerilmenin düşeyle $(\delta \cdot \theta/L) \cdot x$ kadar ve kırılma düzlemi ile P (x,y) noktasına çizilen teğet arasında $45 - \varnothing_e/2$ açısı sabit kalacağından P (x,y) noktasında düşeyle teğet arasındaki açının miktarı;



Şekil 4.10. Kayma Düzlemlerinin Tayini

$\theta - (\delta \theta / L) x + 45 - \phi_c / 2$ olur.

Bu nedenle P (x,y) noktasındaki teğetin yatayla yaptığı açı;

$\alpha_t = 90 - \theta + (\delta \theta / L) x - 45 + \phi_c / 2$ olur.

$\alpha_t = 45 - \theta + \phi_c / 2 + (\delta \theta / L) x$ olarak elde edilir. Teğetin eğimi;

$\tan \alpha_t = \tan (45 + \phi_c / 2 + (\delta \theta / L) x - \theta)$ eşitliği ile belirlenebildiğinden;

$$dy/dx = \tan (45 + \phi_c / 2 + (\delta \theta / L) x - \theta) \quad (4.1)$$

türev eşitliği yazılır. Denklem '4.1'in integrali alınırsa;

$$\int dy = \int \tan(45 + \phi_c / 2 + (\delta \theta / L)x - \theta) dx$$

$$y = \int \frac{\sin (45 + \phi_c / 2 + (\delta \theta / L) x - \theta)}{\cos (45 + \phi_c / 2 + (\delta \theta / L) x - \theta)} \cdot dx$$

$$y = -\frac{L}{\delta\theta} \int \frac{-\frac{\delta\theta}{L} \sin(45 + \phi_e/2 + \frac{\delta\theta}{L} x - \theta)}{\cos(45 + \phi_e/2 + \frac{\delta\theta}{L} x - \theta)} . dx$$

$$y = -\frac{L}{\delta\theta} \ln \cos(45 + \phi_e/2 - \theta + \frac{\delta\theta}{L} . x + c) \quad (4.2)$$

denklemleri elde edilmektedir. C sabitinin değeri $x = 0$ ve $y = 0$ için;

$$C = \frac{L}{\delta\theta} \ln \cos(45 + \phi_e/2 - \theta) \quad (4.3)$$

olur. Bu değer 4.2'de yerine bırakılırsa şev alt köşesinden geçen kırılma düzleminin denklemi;

$$y = \frac{L}{\delta\theta} \ln \frac{\cos(45 + \frac{\phi_e}{2} - \theta)}{\cos(45 + \frac{\phi_e}{2} + \frac{\delta\theta}{L} x - \theta)} \quad (4.4)$$

formunda verilmektedir [36]. Burada;

L = Logaritmik kayma düzleminin yatay uzunluğu (m)

θ = Radyan olarak şevin düşeyle yaptığı açı.

ϕ_e = Efektif içsel sürtünme açısıdır.

δ = θ 'ya bağlı bir katsayı (Şekil 4.11.).

$\theta = 0$ için $y = -\infty$ 0 elde edilir ki bu durum belirsizliği ifade eder.

Bunun için limit alınırsa;

$$y = \lim_{\delta\theta} \frac{L}{\delta\theta} \ln \frac{\cos(45 + \frac{\phi_e}{2} - \theta)}{\cos(45 + \frac{\phi_e}{2} + \frac{\delta\theta}{L} x - \theta)}$$

$$y = x \operatorname{tg}(45 + \frac{\phi_c}{2}) \quad (4.5)$$

denklemleri elde edilmektedir.

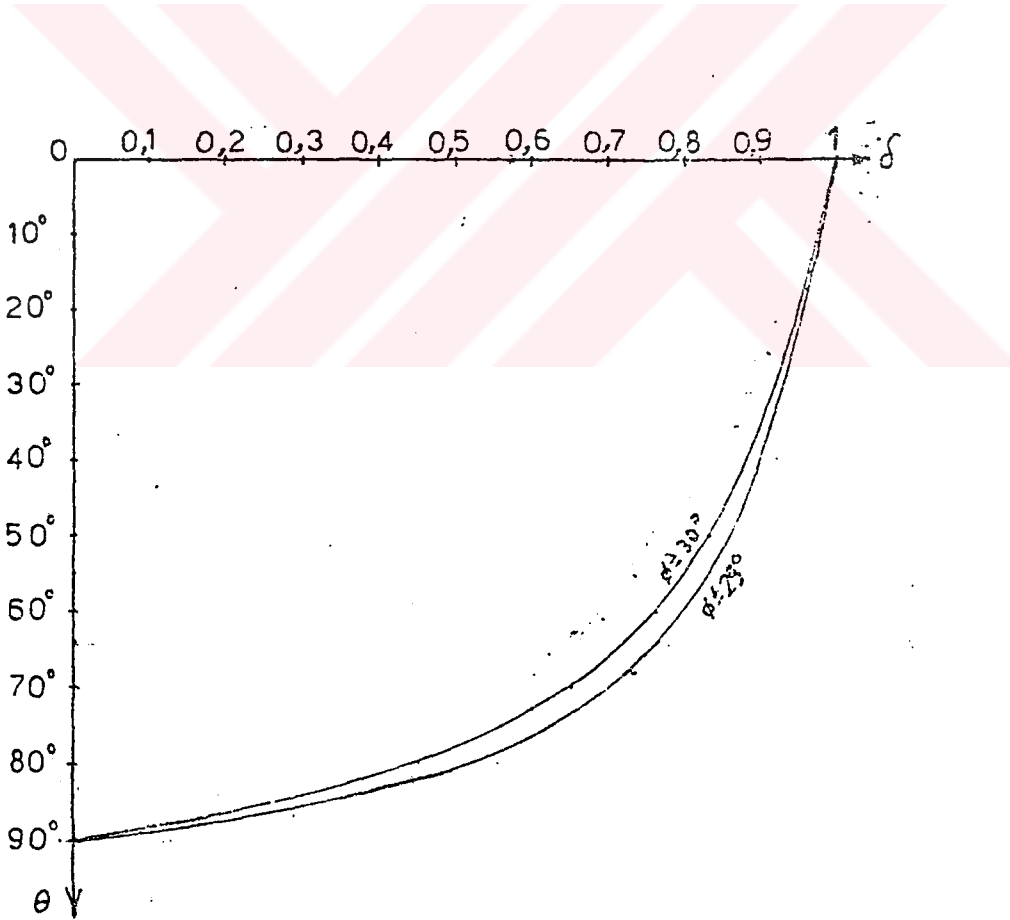
L uzunluğu aşağıda verildiği gibi tayin edilmektedir.

$$L_1 = H_d \operatorname{tg} \theta \quad (4.6)$$

$$\theta = 0 \text{ için } L_2 \max = \frac{H_d}{2} \operatorname{tg} (45 - \frac{\phi_c}{2})$$

$\theta = 90^\circ$ için $L_2 \min = 0$ olabileceğinden

$$0 < L_2 < \frac{H_d}{2} \operatorname{tg} (45 - \frac{\phi_c}{2}) \text{ yazılabilmektedir.}$$



Şekil 4.11. δ 'nin θ 'ya Bağlı Olarak Değişimi

Stalibite hesapları “Dilimler yöntemi” ile ve kompüter kullanılarak yapılmıştır. Baraj dolgusunu teşkil eden zonların; stabilite hesaplarında kabul edilen karakteristik değerler tablo 4.12.’de gösterilmiştir. Kralkızı Barajına ait kesit daha önce verilmiştir.

Tablo 4.12. Kralkızı Barajı Dolgu Zonlarının Stabilite Hesap Değerleri.

Dolgu Cinsi	Kaya	Filtre	Kil	Temel
Kuru özgül ağırlık (t/m ³)	1.80	1.90	1.64	1.69
Doygun özgül ağırlık (t/m ³)	2.14	2.20	2.04	2.06
Optimum rutubette özgül ağırlık (t/m ³)	1.80	1.90	1.98	2.02
Kohezyon (c) (t/m ²)	0.00	0.00	6.00	0.00
İçsel Sürtünme Açısı	45 ⁰	35 ⁰	14 ⁰	35 ⁰

Stabilite hesaplarının belirtildiği Tablo 4.14, 4.15, 4.16, 4.17’de kullanılan denklemler aşağıda belirtilmiştir.

$$\tan \alpha_t = \tan \left(45 + \frac{\phi_c}{2} \cdot \frac{\delta \cdot \theta}{L} \cdot x - \theta \right) \quad (4.7)$$

$$n\alpha = \frac{1 + \frac{1}{Fe} \cdot \tan \phi \cdot \tan \alpha_t}{1 + \tan^2 \alpha_t} \quad (4.8)$$

$$A^1 = [C + (\gamma \cdot z - U_b) \tan \phi] \cdot b \quad (4.9)$$

$$A = \frac{A^1}{n_\alpha} \quad (4.10)$$

$$B = \gamma \cdot b \cdot h \cdot \tan \alpha_t \quad F_e = \frac{A}{B} \quad (4.11)$$

Burada;

b = Dilim genişliği

h = Dilim yüksekliği

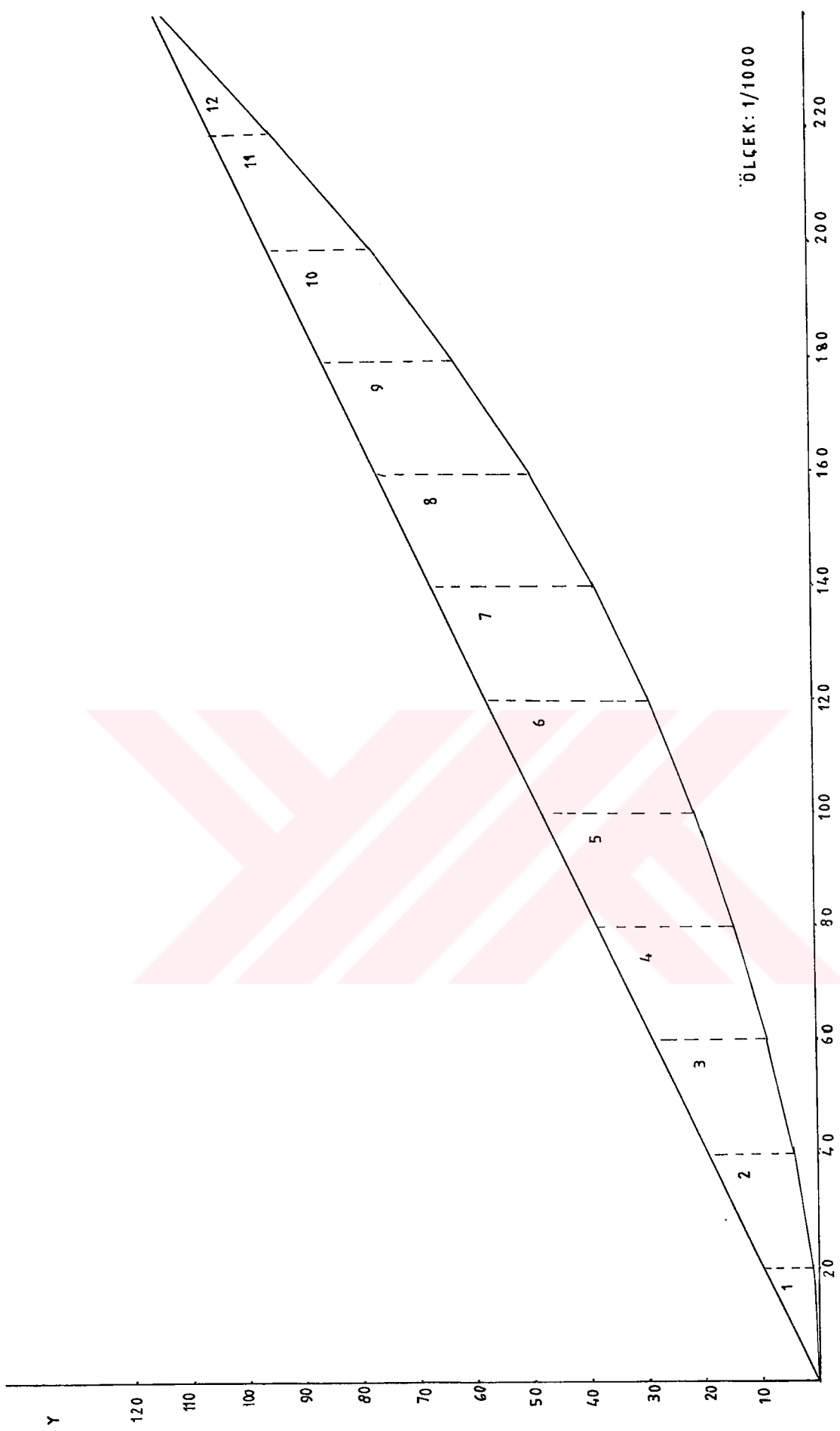
γ = Birim hacim ağırlığı

U_b = Boşluk suyu basınç kuvveti

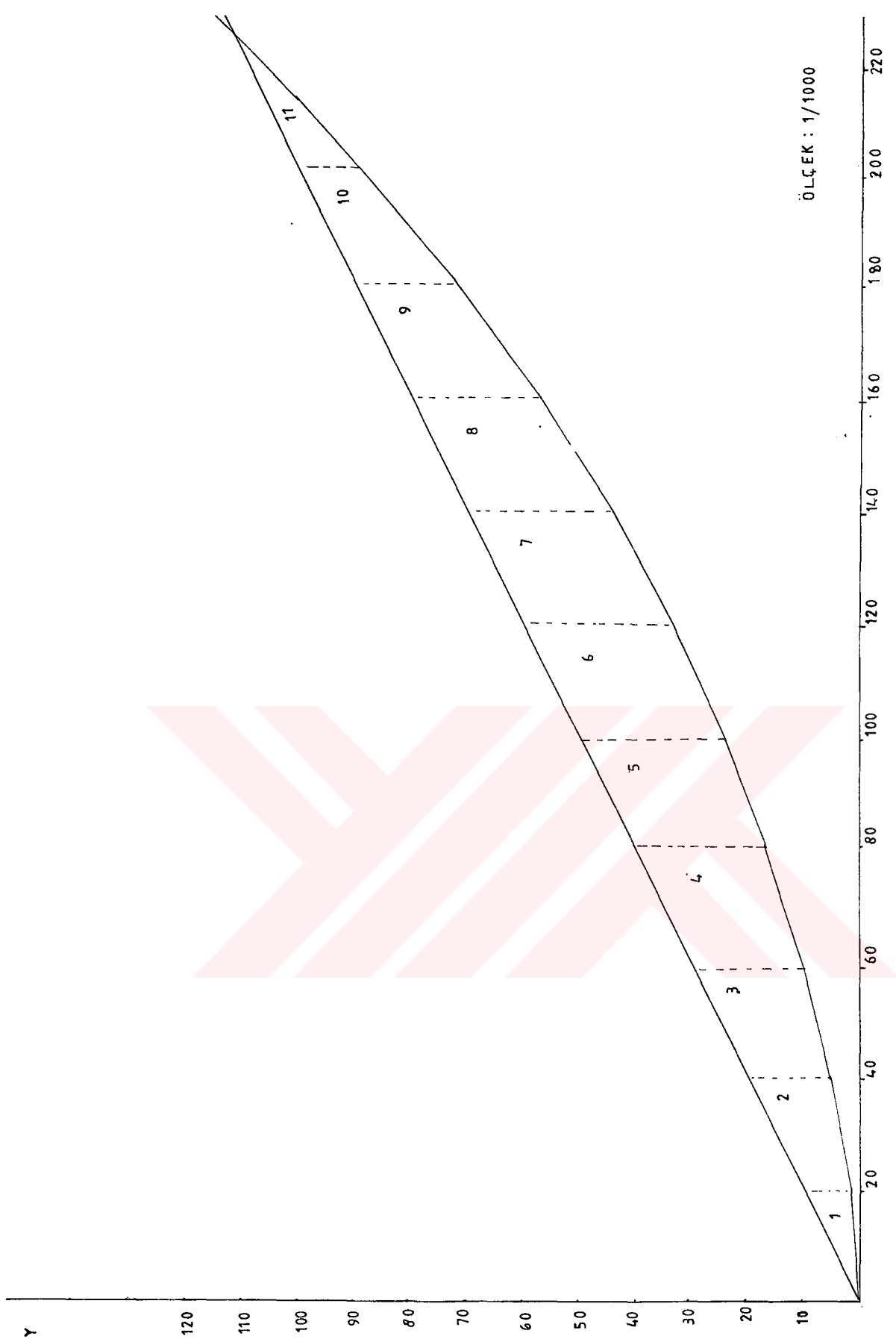
F_c = Güvenlik katsayısı

α_t = P (x, y) noktasındaki teğetin yatayla yaptığı açı





Şekil 4.13. Kralkızı Barajına Ait Kritik Kayma Eğrisi “MEMBA”



Şekil 4.14. Kralkızı Barajına Ait Kritik Kayma Eğrisi “MANSAP”

Tablo 4.13. Kralkızı Barajı (MEMBA) Kritik Kayma Eğrisi (X, Y) Değerleri.

X	H	EGİM	L1	TETA	Fİ	TFİ	L2	DF	Y
20	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	1,66056
40	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	4,58189
60	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	8,78714
80	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	14,3104
100	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	21,1978
120	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	29,5093
140	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	39,3204
160	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	50,7258
180	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	63,8429
200	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	78,8177
220	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	95,832
240	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	115,114
250	120	2,1	252	64,5367	45	0,41421	259,032	0,715	125,693

Tablo 4.14. Kralkızı Barajı (MANSAP) Kritik Kayma Eğrisi (X, Y) Değerleri.

X	H	EGİM	L1	TETA	Fİ	TFİ	L2	DF	Y
20	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	2,076
40	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	5,476
60	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	10,228
80	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	16,376
100	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	23,976
120	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	33,103
140	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	43,848
160	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	56,331
180	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	70,697
200	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	87,131
220	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	105,868
240	120	0.5.	240	63,435	45	0,41421	247,336	0,725	127,205

Tablo 4.15. Kralkızı Barajı İnşaa Hali (MEMBA)

Dilim no	fe	x	alfa	T(alfa)	b	gama	h	gh	ub	c	T(fi)	n(alfa)	A(üs)	A	B	A/B
1	2,15	15	5,633	0,099	10	2,14	6	12,840	0		1	1,036	128,400	123,951	12,712	9,751
2	2,15	30	8,306	0,146	20	2,14	12	25,680	0		1	1,046	513,600	491,192	74,986	6,550
3	2,15	50	11,87	0,210	20	2,14	18	38,520	0		1	1,051	770,400	732,799	161,784	4,529
4	2,15	70	15,434	0,276	20	2,14	23	49,220	0		1	1,049	984,400	938,864	271,694	3,456
5	2,15	90	18,998	0,344	20	2,14	26	55,640	0		1	1,037	1112,800	1072,831	382,803	2,803
6	2,15	110	22,562	0,416	20	2,14	28	59,920	0		1	1,017	1198,400	1177,884	498,534	2,363
7	2,15	130	26,126	0,490	20	2,14	30	64,200	0		1	0,990	1284,000	1296,750	629,160	2,061
8	2,15	150	29,69	0,570	20	2,14	28	59,920	0		1	0,955	1198,400	1255,031	683,088	1,837
9	2,15	170	33,254	0,656	20	2,14	26	55,640	0		1	0,912	1112,800	1219,568	729,997	1,671
10	2,15	190	36,818	0,749	20	2,14	21	44,940	0		1	0,864	898,800	1040,535	673,201	1,546
11	2,15	210	40,382	0,850	20	2,14	14	29,960	0		1	0,810	599,200	739,687	509,320	1,452
12	2,15	215	41,273	0,934	10	2,14	7	14,980	0		1	0,766	149,800	195,535	139,913	1,398
Toplam													10284,63		4767,19	2,157

Tablo 4.16. Kralkızı Barajı İnşaa Hali (MANSAP)

Dilim no	fe	x	alfa	T(alfa)	b	gama	h	gh	ub	c	T(ff)	n(alfa)	A(üs)	A	B	A/B
1	2	15	6,8485	0,120	10	2,14	6	12,840	0		1	1,045	128,400	122,873	15,421	7,968
2	2	30	9,637	0,170	20	2,14	12	25,680	0		1	1,054	513,600	487,057	87,210	5,585
3	2	50	13,355	0,237	20	2,14	18	38,520	0		1	1,059	770,400	727,468	182,896	3,977
4	2	70	17,073	0,307	20	2,14	22	47,080	0		1	1,054	941,600	893,248	289,188	3,089
5	2	90	20,791	0,380	20	2,14	24	51,360	0		1	1,040	1027,200	987,762	390,012	2,533
6	2	110	24,509	0,456	20	2,14	26	55,640	0		1	1,017	1112,800	1094,586	507,343	2,157
7	2	130	28,227	0,537	20	2,14	27	57,780	0		1	0,985	1155,600	1173,599	620,329	1,892
8	2	150	31,945	0,624	20	2,14	26	55,640	0		1	0,945	1112,800	1178,145	693,870	1,698
9	2	170	35,663	0,718	20	2,14	22	47,080	0		1	0,897	941,600	1049,803	675,687	1,554
10	2	190	39,381	0,821	20	2,14	16	34,240	0		1	0,843	684,800	812,675	562,121	1,446
11	2	209	42,9131	0,930	10	2,14	9	19,260	0		1	0,786	192,600	245,123	179,057	1,369
Toplam													8772,34	4203,13	2,087	

Tablo 4.17. Kralıkızı Barajı Hazne Dolu Hali (MANSAP)

dilim no	fe	x	alfa	T(alfa)	b	gama	h	gh	ub	c	T(fi)	N(alfa)	A(üs)	A	B	A/B
1	1,1	15	6,8485	0,120	10	2,14	6	12,840	5,136		1	1,093	77,040	70,458	15,421	4,569
2	1,1	30	9,637	0,170	20	2,14	12	25,680	10,272		1	1,122	308,160	274,649	87,210	3,149
3	1,1	50	13,355	0,237	20	2,14	18	38,520	15,408		1	1,151	462,240	401,615	182,896	2,196
4	1,1	70	17,073	0,307	20	2,14	22	47,080	18,832		1	1,169	564,960	483,308	289,188	1,671
5	1,1	90	20,791	0,380	20	2,14	24	51,360	20,544		1	1,176	616,320	524,224	390,012	1,344
6	1,1	110	24,509	0,456	20	2,14	26	55,640	22,256		1	1,171	667,680	570,153	507,343	1,124
7	1,1	130	28,227	0,537	20	2,14	27	57,780	23,112		1	1,155	693,360	600,239	620,329	0,968
8	1,1	150	31,945	0,624	20	2,14	26	55,640	22,256		1	1,128	667,680	591,806	693,870	0,853
9	1,1	170	35,663	0,718	20	2,14	22	47,080	18,832		1	1,091	564,960	517,976	675,687	0,767
10	1,1	190	39,381	0,821	20	2,14	16	34,240	13,696		1	1,043	410,880	393,838	562,121	0,701
11	1,1	209	42,9131	0,930	10	2,14	9	19,260	7,704		1	0,990	115,560	116,759	179,057	0,652
Toplam													4545,024		4203,13	1,081

Tablo 4.18. Kralkızı Barajı Ani Boşalma Hali (MEMBA).

dilim no	fc	x	alfa	T(alfa)	b	gama	h	gh	ub	c	T(ft)	n(alfa)	A(iis)	A	B	A/B
1	1	15	5,633	0,099	10	2,14	6	12,840	6		1	1,088	68,400	62,848	12,712	4,944
2	1	30	8,306	0,146	20	2,14	12	25,680	12		1	1,122	273,600	243,833	74,986	3,252
3	1	50	11,87	0,210	20	2,14	18	38,520	18		1	1,159	410,400	354,131	161,784	2,189
4	1	70	15,434	0,276	20	2,14	23	49,220	23		1	1,186	524,400	442,278	271,694	1,628
5	1	90	18,998	0,344	20	2,14	26	55,640	26		1	1,202	592,800	493,266	382,803	1,289
6	1	110	22,562	0,416	20	2,14	28	59,920	28		1	1,207	638,400	528,869	498,534	1,061
7	1	130	26,126	0,490	20	2,14	30	64,200	30		1	1,202	684,000	569,281	629,160	0,905
8	1	150	29,69	0,570	20	2,14	28	59,920	28		1	1,185	638,400	538,736	683,088	0,789
9	1	170	33,254	0,656	20	2,14	26	55,640	26		1	1,158	592,800	512,019	729,997	0,701
10	1	190	36,818	0,749	20	2,14	21	44,940	21		1	1,120	478,800	427,334	673,201	0,635
11	1	210	40,382	0,850	20	2,14	14	29,960	14		1	1,074	319,200	297,201	509,320	0,584
12	1	215	41,273	0,934	10	2,14	7	14,980	7		1	1,033	79,800	77,256	139,913	0,552
Toplam													4547,053		4767,19	0,954

5. SONUÇLAR

Kralkızı Barajında 1998 yılı içinde enterkonekte sisteme yılda 146 milyon kWh enerji verilmesine ve yılda 750 milyon m³ suyun regülasyonuna başlanılmıştır.

Bu tezdeki çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

a. Fizibilite çalışmalarında ön görülen hesapların yapım neticesinde gerçeğe yakın olduğu görülmüştür. Projelendirilme esnasında baraj temel kayaçlarının yalnız mühendislik parametrelerine ve yapısal özelliklerine bağlı kalınmayarak mutlaka deneme enjeksiyonlarının yapılması ve kazılarda, kazı derinlikleri ve kazılan malzemenin yapıda kullanılabilirliğinin araştırılması yapım esnasındaki problemlerinin çözümünde büyük ölçüde katkısının olduğu görülmüştür.

b. Yapılacak zemin ve temel etüdleri maliyet olarak toplam proje bedelinin sadece küçük bir yüzdesini teşkil etmektedir. Buna mukabil, eksik ve standardı düşük etüdler nedeniyle ortaya çıkan sorunlar telafisi mümkün olmayan hatalara, yüksek maliyetli operasyonlara ve gecikmelere neden olabilmektedir.

c. Baraj sahasında yapılacak genel klasik etüdlere ilaveten potansiyel özel problemlerin özel arazi ve laboratuvar deney yöntemleri ile araştırılması gerekmektedir.

d. Doğal durumdaki malzemenin su içeriğinin tespiti, kurutma sahasındaki malzemenin sergiye getirilmeden önce optimum su içeriğine yakın olup olmadığının belirlenmesi, sıklık kontrolünün birkaç noktada en kısa zamanda yapılabilmesi için elektronik cihazların kullanımına, sınırlı da olma izin verilmesi gerekmektedir. Yağışlı bölgelerde yapılacak barajların şartnamesinde gerekirse bu husus gerekirse belirtilmelidir. Bu tür elektronik

cihazlarla yapılan sıklık kontrolü, birkaç defa standart proktor deneyi ile birlikte yapılarak yanılma yapının tespit edilmesi gerekmektedir.

e. Doğal durumdaki malzeme çalışmaları olabildiği kadar en kurak aylarda gerçekleştirilmesidir. Optimum su içerikleri ile doğal durumdaki su içerikleri arasındaki farkların iyi etüt edilmesi gerekmektedir. Eğer kurak dönemde dahi geçirimsiz malzeme sahalarındaki doğal su içerikleri, optimum su içeriklerine göre çok fazla ise bu alanların dikkate alınması gerekmektedir.

f. Fiyat analizleri ve teknik şartnameler eskimektedir. Bunun için yurtiçinde ve yurt dışındaki gelişmeleri izleyip, gerekli değişiklik ve ilaveleri yapmak üzere zaman zaman teknik komisyonların kurulması gerekmektedir.

g. Memleketimizde çeşitli kuruluşlar yaptıkları işlere özgü kendi birim fiyatlarını geliştirdikleri bilinmektedir. Bu birim fiyatlar bütün bölgelerde aynı şartlarda ve aynı şartnamelerle kullanılmaktadır. Ancak, bu birim fiyatlarda yöresel değişikliklerin yapılmasının faydalı olacağı mülahaza edilmektedir. Çünkü extra masraflar için birim fiyatlarda iyileştirme yapılması, bu bölgedeki kalkınmaya katkıda bulunabilir. Doğuda yatırım yapan özel sektör kuruluşlarına teşvik verilmesi, bu bölgedeki inşaatlarda kullanılan birim fiyat iyileştirmesi gereğini kanıtlamaktadır. Bu arada insan faktörünü de gözardı etmemek ve kalkınma için gerekli olan kalifiye elemanların da bölgeye gelmesini teşvik etmek gerekmektedir.

KAYNAKLAR

AĞIRALIOĞLU, N. ve ERKEK, C. “Su Kaynakları Mühendisliği”; İSTANBUL-1986.

AKARUN, R. “Baraj Yapımcılığında Türkiye Pratiğinin Değerlendirilmesi”; ANKARA-1983.

ATTFWELL P.B., FARMER I.W., “Principles Of Engineering Geology”; NEW YORK-1975.

BİLGİ, V. “Toprak ve Kaya Dolgu Barajların Projelendirme Kriterleri”; ANKARA-1980.

BİLGİ, V. “Dolgu Barajların Değiştirilmiş İsveç Metodu ile Stabilité Analizi”; ANKARA-1975.

BOWLES, J.E.; “Engineering Properties Of Soils And Their Measurement”; TOKYO-1978.

DSİ GN. MÜD. BARAJLAR ve HES DAİRE BŞK.; “Gövde Max. Tip En Kesitleri”; ANKARA-1987.

DSİ GN. MÜD.; “Dicle-Kralkızı Projesi Teknik ve Ekonomik Yapılabilirlik”; Cilt 1, ANKARA-1980.

DSİ GN. MÜD. BARAJLAR ve HES DAİRE BŞK.; “Dolgu Barajlar Yönünden Zengin Mekaniği Semineri”; ADANA-1985.

DSİ GN. MÜD. BARAJLAR ve HES DAİRE BŞK.; “Su Mühendisliği Tarihi Açısından Türkiye’deki Eski Su Yapıları”; ANKARA-1994.

DAVID, C; “Haurdbook Of Applied Hydranlics”; Secont Edition-1952.

DAVIS, E.H. AND BOOKER J.R.; “The Effect Of Increasing Strength With Depth On The Bearing Capacity Of Clays”; NEW YORK-1973.

DOMINY, F.; “Design Of Small Dams”; First Edition-1960.

ERTAN, Y. ÜLKÜ, S. 1978; “Zemin Özellikleri ve Deneyleri (I)”; DSI Yayınları, ANKARA-1978.

FOSTER, C. R.; “Field Problems; Compaction”; NEW YORK-1962.

GRİM, R. E.; “Clay Mineralogy”; NEW YORK-1953.

GÜLTEKİN, A.; “Temel Zemin Etüdünün Önemi”; ANKARA-1980.

GÜNER, R.; “Dolguların Stabilite Analizi”; Çeviri, ANKARA-1979.

HIRSCHFELD-POULOS; “Dam Engineering”, Casagramde Volume, 1972.

KALYONCU, S. K. ve KARADAYI, N.; “Memba Yüzü Beton Kaybı Barajlar”; ADANA-1989.

KUMBASAR, V. Ve KİP, F.; “Zemin Mekanığı Problemleri”; İSTANBUL-1985.

LAMBE, T. W.; “The Engineering Behavior Of Compacted Clay”; NEW YORK-1958.

LAMBE, T. W. And WHITMAN, R. V.; “Soil Mechanics”; NEW YORK-1969.

LEE, I. K., WHITE, W. And INGLES, O. G.; “Geotechnical Engineering”; BOSTON-1983.

MARSAL, R. J.; “Mechanical Properties Of Rockfill”; NEW YORK-1973.

MITCHELL, J. K.; “Fundamentals Of Soil Behavior”; NEW YORK-1976.

NOBALİ, E.S. ve DUNCAN, J.M.; “Effect of Reservoir Filling on Stresses and Movements in Earthen and Rock fill Dams”; BERKELEY-1972.

PECK, R.B., HANSON, W.E, ve THORSURB, T.H.; “Foundation Engineering ”; NEW YORK–1974.

ÖNALP, A.; “İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi”; Cilt: 2 TRABZON-1983.

SINGH, B. Ve SHARMA, H.D.; “Earth and Rockfill Dams”; İNDİA–1976.

SHERARD, WOODWARD, GIZIENSKI, CLEVINGER; Earth and Earth Rock Dam 5, 1963.

SUNGUR, T.; “Su Yapıları” Cilt: 1, DSİ Yayınları–1989.

TERZAGHİ–PECHİ; “Soil Mechanics in Enginerering Prattice”; Second Edition, 1967.

TAYLOR, D; Fundamentals of Soil Mechanics, 1948.

TOSUN, H.; “Temel Zemini Taşıma Gücü”, ANKARA-1989.

TUNA, A.; “Toprak Dolgu Barajların Projelendirilmesi”, 1979.

TUNA, A.; “Dolgu Barajlarda Şev Profillerinin Tayini”, 1980.

TURFAN, M.; “Özetle Baraj Nedir?”; ANKARA-1988.

THOMAS, H.H.; “The Engineering of Large Dams”; LONDON-1976.

VARDAR, M. ve MAHMUTOĞLU, Y.; “Temel Kayaçlarının Davranış Türlerinin Baraj of Reclamation, Selection of Type of Dams”, Design of Small Dams-1987.

U.S. Bureau of Reclamation, “Selection of Type of Dams”, Design of Small Dams-1987.

YILDIZ, K.; “Hidroelektrik Santral Hesap Esasları ve Projelendirilmesi”; ADANA-1992.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AFŞİN, 1959 Bingöl’de doğdu. İlk ve orta tahsilini Diyarbakır’da tamamladı.

1976 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girerek 1980’de mezun oldu. 1981-1983 yılları arasında F.Ü. Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptığı sırada Master çalışmamı tamamladı. 1983 yılında Doktora yeterliliği tamamlayarak Doktora tez çalışmalarına başladı. 1984 yılında DSİ X Bölge Müdürlüğüne İnşaat Yüksek Mühendisi olarak naklen atandı. 1985 yılında Kralkızı Proje Müdürlüğünde arazi Mühendisi olarak, 1987 yılında Adıgeçen Proje Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak, 1989 yılında Proje Müdürü olarak ataması yapıldı. Halen Proje Müdürü olarak görevini sürdürmektedir.