T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

83916

BARAJLARIN TİP SEÇİMİNİN BELİRLENMESİNDE UZMAN SİSTEM KULLANIMI

M. Emin EMİROĞLU

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Danışman: Prof. Ahmet TUNA

ELAZIĞ - Şubat 1999

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BARAJLARIN TİP SEÇİMİNİN BELİRLENMESİNDE UZMAN SİSTEM KULLANIMI

M. Emin EMİROĞLU

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 26-02-1999 tarihinde, aşağıda belirtilen jüri üyeleri tarafından Oybirliği ile Başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Ahmet TUNA

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Cevat ERKEK

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Sabahattin ÜÇ

ÖZET

Doktora Tezi

BARAJLARIN TIP SEÇİMİNİN BELİRLENMESİNDE UZMAN SISTEM KULLANIMI

M. Emin EMİROĞLU

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
1999, sayfa:193

Bu çalışmada, barajların tip seçimi, yapay zekanın bir alt birimi olan uzman sistemler kullanılarak yapılmıştır. Barajlarda tip seçimine karar vermek ve bir uzman sistem oluşturmak için uzman bilgilerine gereksinim vardır. Bu çalışmada uzman sistem için bilgi tabanı oluşturulurken; tecrübeli mühendislerin görüşlerinden, ASCE'nin düzenlediği sempozyum kitaplarındaki tecrübeli mühendislerin makalelerinden, tecrübeli mühendislerin barajlar üzerine yazdığı pratiğe yönelik baraj kitaplardan, baraj planlama raporlarından, konuyla ilgili üniversite öğretim üyelerinin görüşlerinden ve makalelerden yararlanılmıştır. Baraj tip seçici uzman sistem oluşturulurken ESTA shell programı kullanılmıştır.

Birinci bölümde çalışmanın amacı, kapsamı açıklanmış ve çalışmayla ilgili araştırmalar verilmiştir.

İkinci bölümde, baraj tiplerinin planlama özellikleri son gelişmeler ve uzman bilgilerine göre verilmiştir. Son yıllarda geliştirilen baraj tipleri daha detaylı olarak incelenmiştir.

Üçüncü bölümde baraj tip seçimine tesir eden faktörler, her baraj tipi için ayrı ayrı ele alınmıştır. Barajın tip seçimine ait bu bölümde verilen bilgiler, hazırlanan uzman sisteme bir veri tabanı oluşturmaktadır.

Dördüncü bölümde mühendislikte uygulanan yapay zeka sistemleri sunulmuştur. Yapay zekanın bir alt birimi olan uzman sistemler daha geniş olarak ele alınmış ve çalışmada kullanılan ESTA shell programı tanıtılmıştır.

Beşinci bölümde baraj tip seçimi uzman sistemler kullanılarak yapılmıştır. Uzman sistem için gerekli olan kurallar maddeler halinde sunulmuştur. Burada verilen kurallar kullanılan shell ortamında programa öğretilmiştir. Hazırlanan program ülkemizde inşa edilen birçok baraj planlama raporlarına göre test edilmiş ve yapılan uygulamalardan dört tanesi sunulmuş ve yorumlanmıştır.

Altıncı bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Barajlar, baraj tip seçimi, yapay zeka, uzman sistemler

SUMMARY

PhD Thesis

AN EXPERT SYSTEM FOR DETERMINATION OF TYPE SELECTION OF DAMS

M. Emin EMİROĞLU

Fırat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
1999, Page:193

In this study, Expert Systems which is a sub branch of Artificial Intelligence (AI) was used in type selection of dams. There is necessity expert knowledge to estimate type selection of dams and to develop an expert system. Creating knowledge base for expert system, it was used knowledge of experienced engineering, symposiums books sponsored by ASCE, books related to dam published by experienced engineering, dam planning reports, knowledge of different faculty members and papers. It is used ESTA Shell program to make dam type selection expert system.

In Chapter I, the aim and the content of study is described and literature about this study is presented.

In Chapter II, characteristics of planning dam type are given according to recent developments and knowledge of experts. The development of dam types in recent years is studied in detail.

In Chapter III, the factors influencing dam type selection were studied for each dam type separately. The knowledge given in this chapter about dam type selection creates knowledge base to developed expert system.

In Chapter IV, AI systems used in engineering are presented. Expert systems which is a sub branch of AI is studied in detail and ESTA shell program used in this study was introduced.

In Chapter V, dam type selection is made using expert systems. Necessary rules for expert system was created and tabulated. Rules given here was made the program teach used in shell domain. The created program was tested in many dams built in Turkey according to dam planning reports and four of the applied selected problems were presented and interpreted.

In Chapter VI, the results obtained from this study are given and summarized.

KEY WORDS: Dams, Dam Type Selection, Artificial Intelligence, Expert Systems

ÖNSÖZ

Tez ve bilimsel çalışmalarım sırasında çok büyük teşvik ve yardımlarını gördüğüm hocam Prof. Ahmet TUNA'ya şükran ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmam süresince, ilgi ve desteklerini gördüğüm Gazi Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Abdussamet ARSLAN'a, Osmangazi Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Hasan TOSUN'a, DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar Dairesi Başkanı Dr. Nihat KARADAYI'ya, DSİ Genel Müdürlüğü ve DSİ IX Bölge Müdürlüğü teknik personeline teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmalarım sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü öğretim elamanları ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
SUMMARY	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
1. GİRİŞ	1
2. BARAJLAR	5
2.1. Tarihçe	5
2.2. Barajların Planlanması	7
2.3. Barajların Yapım Amaçları	8
2.4. Barajların Sınıflandırılması	8
2.4.1. Büyüklüklerine göre sınıflandırma	8
2.4.2. Yapım amaçlarına göre sınıflandırma	9
2.4.3. Hidrolik projeye göre sınıflandırma	9
2.4.4. Gövdenin statik projelendirilmesine göre sınıflandırma	9
2.4.5. Gövde yapısında kullanılan malzemeye göre sınıflandırma	9
2.4.6. Düzenleme devresine göre sınıflandırma	10
2.4.7. Barajlarda yükseklik sınırlamaları	11
2.5. Baraj Tipleri	11
2.5.1. Beton barajlar ve tecrübeler	12
2.5.1.1.Klasik beton ağırlık barajlar ve tecrübeler	12
2.5.1.1.1. Klasik beton ağırlık barajların uygulama yerleri ve tercih sebepleri	13
2.5.1.1.2. Klasik beton ağırlık barajların tasarımı	14
2.5.1.1.3. Klasik beton ağırlık barajlarda kullanılan inşa malzemeleri	15
2.5.1.1.4. Klasik beton ağırlık barajlarda statik stabilite analizi	16
2.5.1.2. RCC barajlar ve tecrübeler	16
2.5.1.2.1. RCC barajların tercih sebepleri ve avantajları	19
2.5.1.2.2. RCC barajların sınıflandırılması	20
2.5.1.2.3. RCC barajların inşa hızı	21
2.5.1.2.4. RCC baraj maliyet durumu	21
2.5.1.2.5. RCC barajların yüksek inşa edilebilirliliği ve temel kalitesi	22

2.5.1.2.6. RCC baraj üzerinden su aşması durumu 23
2.5.1.2.7. Dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiş RCC uygulamaları 23
2.5.1.2.8. RCC barajlarda kullanılan malzemeler 25
2.5.1.2.9. RCC barajlarda ilk tasarımda kullanılacak maliyet tahmini 25
2.5.1.2.10. RCC barajların tasarımı ve inşası 30
2.5.1.2.11. RCC baraj tipleri 31
2.5.1.3. Kemer barajlar ve tecrübeler 37
2.5.1.3.1. Uygulama yerleri tercih sebepleri ve üstünlükleri 38
2.5.1.3.2. Kemer barajların tipleri ve tasarımı 39
2.5.1.4. Kemer ağırlık barajlar ve tecrübeler 41
2.5.1.5. Payandalı barajlar ve tecrübeler 41
2.5.1.5.1. Uygulama yerleri ve tercih sebepleri 42
2.5.1.5.2. Payandalı barajların avantajları ve mahsurları 43
2.5.1.5.3. Payandalı baraj tipleri 43
2.5.1.5.4. Payandalı baraj tasarımı 46
2.5.1.6. Ön gerilmeli barajlar ve tecrübeler 46
2.5.2. Dolgu barajlar ve tecrübeler 47
2.5.2.1. Toprak dolgu barajlar ve tecrübeler 47
2.5.2.1.1. Uygulama yerleri ve tercih sebepleri 49
2.5.2.1.2. Homojen toprak dolgu barajlar 50
2.5.2.1.3. Topuk drenli toprak dolgu barajlar 50
2.5.2.1.4. Zonlu toprak dolgu barajlar 51
2.5.2.1.5. Yatay drenli toprak dolgu barajlar 52
2.5.2.1.6. Yatay ve düşey derenli toprak dolgu barajlar 52
2.5.2.1.7. Toprak dolgu barajlarda kullanılan malzemeler 53
2.5.2.2. Kaya dolgu barajlar ve tecrübeler 53
2.5.2.2.1. Uygulandığı yerler ve tercih sebepleri 55
2.5.2.2.2. Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlar 55
2.5.2.2.3. Eğik kil çekirdekli kaya dolgu barajlar 56
2.5.2.2.4. Merkezi beton veya asfalt kaplı kaya dolgu barajlar 57
2.5.2.2.5. Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlar 58

2.5.2.2.6. Ön yüzü çelik kaplı kaya dolgu barajlar 68
2.5.2.2.7. Ön yüzü asfalt betonla kaplı kaya dolgu barajlar 69
2.5.2.2.8. Bitümlü beton yüzlü toprak kaya dolgu barajlar 70
2.5.2.2.9. İnce membran yüzlü toprak kaya dolgu barajlar 70
2.5.2.2.10. Dolgu barajlarda statik stabilite analizi 71
2.5.2.2.11. Dolgu barajlarda ilk tasarım için maliyet tahmini 71
3. BARAJ TİP SEÇİMİNDE TECRÜBELER VE UZMAN BİLGİLERİ 73
3.1. Baraj Tip Seçimine Etki Eden Faktörler 73
3.1.1. Topoğrafyanın tip seçimine etkisi 74
3.1.2. Baraj yerinin jeolojik ve litolojik yapısının etkisi 78
3.1.2.1. Kaya temeller 78
3.1.2.2. Çakıl temeller 80
3.1.2.3. Silt ve ince kum karışımı temeller 81
3.1.2.4. Kil temeller 81
3.1.2.5. Siltli ve killi temeller 81
3.1.2.6. Üniform olmayan temeller 82
3.1.3. Malzemenin temin edilebilirliliği 82
3.1.4. Dolusavak boyutu ve yeri 84
3.1.5. Çevresel etkiler 85
3.1.6. Barajın inşa esnasında taşkın durumu 85
3.1.7. Ülkenin ekonomik durumu ve işçilik 86
3.1.8. İklim ve inşaat mevsimi süresi 87
3.1.9. Bölgenin depremselliği 87
3.1.10. Barajın yüksekliği 88
3.1.11. Rezervuar işletimi 88
3.1.12. İnşaat süresi 88
3.1.13. Amaç ve rantabilite 89
3.1.14. Barajın sonradan yükseltilmesi 89
3.1.15. Proje mühendislerinin yetişme tarzı, bilgi ve cesareti 89
3.1.16. Baraj inşa edilecek ülkenin hazırladığı şartnameler, standartlar, tutucu kararlar 89
3.1.17. Nehir derivasyonu 89

3.1.18. Emniyet 90
3.1.19. Ekonomik analizler 90
3.2. Baraj Tip Seçiminde Alternatiflerin Dikkate Alınması 91
3.2.1. Dolgu barajlar 91
3.2.1.1. Toprak dolgu barajlarda tip seçimi 91
3.2.1.2. Kaya dolgu barajlarda tip seçimi 96
3.2.2. Beton barajlar 100
3.2.2.1. Kemer barajlarda tip seçimi 100
3.2.2.2. Klasik beton ağırlık barajlarda tip seçimi 103
3.2.2.3. RCC barajlarda tip seçimi 105
3.2.2.4. Beton payandalı barajlarda tip seçimi 107
3.2.3. Kompozit barajlarda tip seçimi 108
4. MÜHENDİSLİKTE YAPAY ZEKA SİSTEMLERİ 110
4.1. Doğal Dil İşleme 110
4.2. Çözüm Arama 111
4.3. Robot Kontrolü 111
4.4. Kalıp Tanıma 111
4.5. Öğrenme 111
4.6. Bulanık Mantık Kümeleri 112
4.7. Yapay Sinir Ağları 112
4.8. Genetik Algoritma 113
4.9. Uzman Sistemler 114
4.9.1 Uzman sistemin tanımı ve genel özellikleri 116
4.9.2. İlk uzman sistem örnekleri ve uygulanan bilim dalları 117
4.9.3. Uzman sistemlerde roller 118
4.9.4. Uzman sistemlerin uygulama alanları 119
4.9.5. Uzman sistemlerin yapabildikleri 120
4.9.6. Uzman sistemlerin dezavantajları ve yapamadıkları 120
4.9.7. Uzman sistemlere yatırım yapmanın nedenleri 120
4.9.8. Uzman sistemlerin genel yapısı 121
4.9.8.1. Bilgi tabanı 121

4.9.8.2.Konteks 122
4.9.8.3. Sonuç çıkartım mekanizması 123
4.9.9. Uzman sistemler için programlama dilleri ve kabuklar 124
4.9.10. ESTA yazılımı 125
4.9.10.1. File Sütunu 125
4.9.10.2. Edit Sütunu 126
4.9.10.3. Consult Sütunu 126
4.9.10.4. Parameter Sütunu 126
4.9.10.5. Windows Sütunu 128
4.9.10.6. Title Sütunu 128
4.9.10.7. Section Sütunu 128
4.9.10.8. Pictures Sütunu 129
5. BARAJLARIN TİP SEÇİMİNİN UZMAN SİSTEMLERLE BELİRLENMESİ 130
5.1. Kurallar ve tecrübeler 132
5.2. Uygulamalar 163
5.2.1. Karakaya barajı 163
5.2.2. Keban barajı 168
5.2.3. Gözeler barajı 171
5.2.4. Fırat üniversitesi göleti 175
6. SONUÇLAR 178
KAYNAKLAR 181

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Klasik beton ağırlık baraj fotoğrafı 13
Şekil 2.2. Beton ağırlık baraj için kesit alternatifleri 14
Şekil 2.3. Klasik beton ağırlık barajlarda statik stabilite analizi 16
Şekil 2.4. Her yıl tamamlanmış RCC barajların çeşitlerine göre toplam sayısı 20
Şekil 2.5. RCC barajların inşa hızı 21
Şekil 2.6. Klasik beton ağırlık baraj ile RCC betonunun maliyet karşılaştırması 22
Şekil 2.7. Tipik bir RCC ağırlık baraj enkesiti 26
Şekil 2.8. Değişik mansap şevleri için kayma sürtünme faktörleri 26
Şekil 2.9. Basınç mukavemeti ve mansap şevi arasındaki ilişki 27
Şekil 2.10. Mansap şevi, kohezyon ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki 27
Şekil 2.11. Vadi şekilleri 28
Şekil 2.12. Santa Eugenia barajının enkesiti 29
Şekil 2.13. FSHD baraj enkesiti 36
Şekil 2.14. İnce kemer baraj fotoğrafı 38
Şekil 2.15. Sabit yarıçaplı kemer baraj 39
Şekil 2.16. Sabit merkez açılı kemer baraj 40
Şekil 2.17. Değişken yarıçaplı ve merkez açılı kemer baraj 40
Şekil 2.18. Kemer ağırlık baraj fotoğrafı 41
Şekil 2.19. Payandalı bir baraj fotoğrafı 42
Şekil 2.20. Boşluklu payandalı baraj enkesiti 44
Şekil 2.21. Düş döşemeli payandalı baraj enkesiti 44
Şekil 2.22. Yuvarlak ve sekizgen başlıklı payandalı baraj 44
Şekil 2.23. Çok kemerli bir payandalı baraj fotoğrafı 45
Şekil 2.24. Çok kemerli bir payandalı baraj enkesiti 46
Şekil 2.25. Kullanılan malzemeler göre dolgu barajlar 47
Şekil 2.26. Bir toprak dolgu baraj fotoğrafı 48
Şekil 2.27. Homojen toprak dolgu baraj 50
Şekil 2.28. Toprak drenli toprak dolgu baraj enkesiti 51
Şekil 2.29. Zonlu toprak dolgu baraj enkesiti 51
Şekil 2.30. Yatay drenli toprak dolgu baraj enkesiti 52
Şekil 2.31. Yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj 52

Şekil 2.32. Merkezi kalın kil çekirdekli kaya dolgu baraj enkesiti 55
Şekil 2.33. Kil çekirdekli kaya dolgu baraj fotoğrafi 56
Şekil 2.34. Merkezi ince kil çekirdekli kaya dolgu baraj enkesiti 56
Şekil 2.35. Eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj enkesiti 57
Şekil 2.36. Merkezi asfalt çekirdekli kaya dolgu baraj 58
Şekil 2.37. Bir ÖYBK kaya dolgu baraj fotoğrafi 65
Şekil 2.38. ÖYBK kaya dolgu baraj enkesiti ve zonları 68
Şekil 2.39. Memba yüzü çelik kaplı Riyo Lagartijo dolgu barajı 69
Şekil 2.40. Ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj 69
Şekil 2.41. Dolgu baraj maliyet hesaplanmasında L_e mesafesinin belirlenmesi 71
Şekil 2.42. Vadi enkesiti üzerinde farklı malzemelerin alanlarının bulunması 72
Şekil 3.1. Dar vadi fotoğrafi 74
Şekil 3.2. Geniş vadi fotoğrafi 75
Şekil 3.3. Walter'a göre vadi şekilleri ve kısımları 75
Şekil 3.4. Thomas'a göre vadi şekilleri 76
Şekil 3.5. Farklı baraj tipleri için vadi şekilleri 77
Şekil 3.6. Maroon barajı 97
Şekil 4. 1. Uzman sistemlerin genel özellikleri 117
Şekil 4. 2. Bilgi mühendisinin bilgileri uzmandan bilgisayar programına aktarımı 119
Şekil 4. 3. Uzman sistemde roller 119
Şekil 4. 4. Bir uzman sistemin yapısı 121
Şekil 4. 5. Bilgi tabanını oluşturma adımları 122
Şekil 4. 6. İleri ve geriye doğru zincirleme arasındaki farkın gösterilişi 123
Şekil 4. 7. ESTA programı menüsü 125
Şekil 4. 8. Yeni ESTA dosyası açılması 126
Şekil 4. 9. Boolean tipi parametre 127
Şekil 4. 10. Kategori tipi parametre 127
Şekil 4. 11. Number tipi parametre 127
Şekil 4. 12. ESTA programında hazırlanan bir başlık örneği 128
Şekil 5.1. DTS ES programının bilgi tabanının oluşturulması 132

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. Büyük barajlar 6
Çizelge 2.2. En yüksek barajlar 6
Çizelge 2.3. En büyük hacimli barajlar 7
Çizelge 2.4. En büyük rezervuar kapasiteli barajlar 7
Çizelge 2.5. Bazı büyük beton ağırlık barajlar 15
Çizelge 2.6. Temel malzemesi için müsaade edilir basınç gerilmeleri 16
Çizelge 2.7. RCC ve RCD tipte bazı barajların özellikleri 18
Çizelge 2.8. Baraj tipi ve maliyet tahmini 22
Çizelge 2.9. Japonya'da inşa edilen RCD barajların bazı özellikleri 34
Çizelge 2.10. Bazı büyük kemer barajlar 37
Çizelge 2.11. Bazı toprak dolgu barajlar 48
Çizelge 2.12. Toprak dolgu barajlarda kullanılan malzemeler ve özellikleri 53
Çizelge 2.13. Alüvyon temel üzerinde farklı toprak dolgu baraj alternatifleri 54
Çizelge 2.14. Kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda zon tanımları ve fonksiyonları 57
Çizelge 2.15. İnşa edilmiş ÖYBK kaya dolgu barajlar ve özellikleri 60
Çizelge 2.16. ÖYBK kaya dolgu barajlarda zonlar 67
Çizelge 2.17. Su basıncı uygulandığında oluşan düşey ve yatay deformasyonlar 71
Çizelge 2.18. Su basıncı uygulandığında oluşan düşey gerilmeler 71
Çizelge 3.1. Malzeme cinsi miktarları ve maliyeti 83
Çizelge 3.2. Malzeme alanı özellikleri 83
Çizelge 3.3. Fikir edinmek açısından 100 m yüksekliğindeki farklı baraj tipleri 102
Çizelge 4.1. Uzman sistemlerin yaygın uygulama alanları 117
Çizelge 4.2. Uzman sistemlerin klasik bilgisayar programlarından farklılıkları 118
Çizelge 4.3. Bazı uzman sistem shell isimleri 125
Çizelge 5.1. Tecrübeli mühendisler ve DTS ES programı ile önerilen baraj tiplerinin karşılaştırılması 177

1. GİRİŞ

Baraj tipinin belirlenmesi için baraj yerinin seçilmesi, malzeme ocaklarının tayini, taşıma yollarının tespiti, topoğrafik, hidrolojik ve jeolojik araştırmaların tamamlanması gerekmektedir. Belirli bir baraj yeri için tip seçimi yapılırken birçok parametre dikkate alınmalıdır. Baraj mühendisinin görevi, bu parametreleri göz önüne almak ve en uygun tasarımı gerçekleştirmektir. Birçok mühendislik yapısında olduğu gibi baraj planlamasında da tecrübenin rolü çok büyüktür.

Baraj tip seçimi oldukça karmaşık bir konudur. Bu karmaşıklık çok sayıda parametrenin bir arada dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır. Bu konuda bir formül vermek veya belirli kalıp belirlemek mümkün değildir. Doğru karar verebilmek için iyi bir mühendislik tecrübesi gerekmektedir.

Baraj mühendisi, karşılaştığı çeşitli problemleri farklı alanlarda uzmanlaşmış tecrübeli elemanlarla birlikte çözmesi gerekmektedir. Çünkü bazı durumlarda kendi uzmanlık alanı ile ilgili olmayan ve baraj tip seçiminde dikkate alınmayan bir parametre barajın maliyet ve emniyetini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Baraj tip seçimi ile ilgili kesin ve yeterli bilgileri bir arada bulmak güçtür. Birçok ülkede her baraj tipi konusunda yeterli eleman bulunmamaktadır. Baraj tip seçiminde sadece belirli bir ülkenin baraj mühendislerinin görüşleri doğrultusunda hareket etmek her zaman doğru değildir. Farklı ülkelerdeki herhangi bir baraj tipi konusunda uzmanlaşmış elemanlar ile görüşmek tecrübelerinden yararlanmak, kitap, makale ve yaptıkları baraj planlama raporlarını incelemek gerekmektedir. Bu ise oldukça güç ve pahalı bir iştir.

Yapılan çalışmada baraj tip seçimi için gerekli bilgi tabanı oluşturulurken birçok ülkelerdeki uzmanların tecrübelerinden, ASCE (American Society Civil Engineering) ve diğer bilim kuruluşları tarafından düzenlenen barajlar ile ilgili sempozyumlardaki makalelerden, ilgili tüm literatürden, DSİ ve EİEİ'de 15- 20 yıldan fazla çalışmış tecrübeli mühendisler ve teknik elemanlarından, üniversitelerdeki ilgili öğretim elemanlarının bilgilerinden yararlanılmıştır. Elde edilen veri tabanı kullanılarak baraj tip seçimine karar veren bir uzman sistem oluşturulmuştur.

Baraj tip seçiminde yazılan makale ve kitaplarda çoğunlukla "eğer - o zaman" (If - Then) şeklindeki cümlelere sıkça rastlanmaktadır. Bu tarzdaki anlatım, barajlarda tip seçiminin Yapay Zeka'nın bir alt birimi olan Uzman Sistemlere uygulanmasının yapılabileceğini göstermektedir.

Uzman sistem teknolojisi "yapay zeka" sistemlerinin bir koludur. Yapay zeka sistemleri ise problemlerin, insan zekasının bilgisayarda simülasyonu yapılarak çözümlenmesi çalışmasından ibarettir. Bir uzman sistemin temel yapısı bölgesel bilginin, kontrol bilgisinin ve halihazırda çözülen özel bir problem hakkındaki bilgilerin ayrı ayrı ele alınması şeklinde kendini

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON

gösterir. Bu durum bir uzman sistemin üç temel elemanın bir araya gelmesiyle oluştuğu sonucunu doğurmaktadır. Bunlar, Bilgi Tabanı, Kurallar ve Parametreler ve Sonuç Çıkartma Mekanizmasıdır.

Uzman sistemler klasik programlama tekniklerine göre bazı avantajlara sahiptir. Bunlar, çözümünde deneyim ve irdelemenin önemli rol oynadığı problemlerde, tamamlanmış teorisi olmayan problemlerde ve mevcut teorik çözümlerin birden fazla olduğu problemlerde etkin bir şekilde kullanılabilmesi, rutin problemleri çok yüksek bir güvenirlilik ve tutarlılıkla çözebilmesi, bilgilerin ortak kullanımı ve işlenmesi için ortak bir bilgi bankası oluşturabilmesi, genel anlamda tekniklerin, metotların ve ihtiyaçların daha geniş bir alanda kullanımına bir iletişim ağı ile olanak sağlayabilmesi, eğitimde daha bilgili eleman yetiştirilmesine olanak sağlayabilmesi, heuristik bilgiler içeren problemlerin çözümünü yapabilmesi ve planlama amaçlı projelerde kullanılma imkanı sağlayabilmesi olarak sayılabilir.

US'lerde bilgi heuristik bilgidir. Heuristik kelimesi Yunanca'dan gelmekte ve keşfetmek manasındadır. Heuristikler, algoritması olan problemlerdeki gibi aynı şekilde çözüm yapma kabiliyetine sahip değildirler. Heuristikler meslek kuralları içermektedir. Veya çözümlerde yararlı olan, fakat iş için kesin kabul edilmiş olmayan uzmanlıklardan kazanılan amprik bilgilerdir, şekline açıklanabilir. Tıp ve mühendislik gibi alanlarda heuristikler bazı problemlerin çözümünde önemli rol oynamaktadır. $E=m\ c^2$ formülü ispatlanmış kesin bir bilgidir (Giarratano ve Riley, 1989). Fakat baraj planlamacılığında tecrübelerden elde edinilen amprik bağıntılar ve bilgiler heuristiktir. Heuristikler problem çözümünde zaman, emniyet ve maliyet açısından yarar sağlamaktadır.

Su kaynakları mühendisliğinde uzman sistemlerin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Engel, (1991), "DSS" baraj yer seçici US'i, bir alanın baraj yeri ve rezervuar olarak kullanımının tespiti için hazırlanmış uzman sistem programıdır. Bu program baraj yüksekliği 15.2 m'den daha küçük, su dolma hacmi 3.075.000 m^3'ten daha az olan veya baraj ve rezervuar bir " C "risk sınıflandırmasına sahip olması durumları için amaçlanmıştır. Bu program, Purdue Üniversitesinde eğitim ve değişik baraj planlama şirketleri tarafından kullanılmaktadır. Bu US oluşturulurken CLISP programlama dili kullanılmıştır.

Baralts (1993), mikro sulama sistemlerinin değerlendirilmesi ve hidrolik dizaynı için bir kural tabanlı US geliştirmişlerdir. Kural tabanlı sistem oluşturulurken, hidrolik tasarım kriteri dikkate alınmıştır. Ayrıca oluşturulan sistemin, üniformluk ve maliyet bakımından da uygunluğu sağlanmıştır. Hidrolik dizayn ve mikro sulama sisteminin analizinde akım denklemlerinin sonlu eleman formülasyonu kullanılmıştır. Bu konuda oluşturulmuş US, sonlu elemanlar metodu ile geliştirilmiş mikro sulama

sistemlerinin analizini yapan ve DESIGNER diye isimlendirilen bilgisayar programıyla desteklenerek hazırlanmıştır.

Chang and Moore, (1994), 'DDMES' kuraklığı tanımlamak için akarsu akımı, yağış, sıcaklık, yeraltı suyu ve göl seviyelerini dikkate alarak bu beş parametreyi kullanmışlardır. Kuraklık yönetimini tespit etmek ve taşkın kontrollü rezervuarlarda su tahliyesinin tetkiki için bir US geliştirilmiştir. Böylece günlük optimum su tahliyesi kuraklık şiddetine göre belirlenmiştir.

Chang, Zheng, Kleopa and Teok (1996), günlük kuraklığı izlemek için CLISP US yazılım paketi kullanılarak bir US oluşturmuşlardır. Bu sistem oluşturulurken dört bileşen kullanılmıştır. Birincisi bilgi tabanı, bu günlük kuraklık şiddetinin tayini için IF-THEN tipindeki kuralları içermektedir. İkincisi işletme (çalışma) hafızası, bu önceki yıllara ait kuraklık karakteristiklerini içermektedir. Üçüncüsü sonuç çıkarma mekanizması. Dördüncüsü ise kullanıcı arayüzü, bu kullanıcı ve sistem arasında kominikasyon mekanizmasını sağlar. Bu program Ohio Üniversitesinde geliştirilmiştir.

Banwell ve diğerleri, (1986), 'QUAL2E' nehir suyu kalite kontrolü için, modelin birçok girdi parametrelerinin ilk tahmininde kullanılması amacı ile geliştirilmiş bir US programıdır.

Delleur and Baffaut (1991), fırtına su yönetimi modelinin (SWMM) kalibrasyonu için geliştirilmiş bir US programıdır. Bu US oluşturulurken KES (Knowledge Engineering Sistem) Shell'ini kullanmışlardır. KES mimarlık ve mühendislik yazılımı tarafından (Software A & E, Inc. 1987) "C"programlama dilinde yazılmış bir US shell'idir. KES, üç sonuç çıkarma mekanizmasına sahiptir: Üretim Kuralları (PS), hipotez ve testler (HT) ve istatistik sebep sonuç ilişkisi (BAYES)'dir. Bu çalışmada PS sonuç çıkarma mekanizmasını kullanmışlardır.

Yukarıdaki çalışmalardan görüldüğü gibi barajlarda tip seçiminin uzman sistemlerle yapılabileceği söylenilebilir. Aşağıdaki araştırmalardan da anlaşılacağı gibi, önümüzdeki yıllarda ülkemizde birçok baraj yapımına gereksinim duyulacağından, hazırlanacak olan bir baraj tip seçici uzman sistem programı oldukça önemli olacaktır.

Çakmak, (1997), Türkiye'deki nüfus artışına paralel olarak çeşitli sektörlerde su teminine yönelik talepler giderek yoğunlaşmaktadır. Türkiye'de enerji açığı gün geçtikçe daha da artmaktadır. Halen su kaynakları potansiyelimizin yaklaşık üçte biri, toprak kaynaklarımızın yarısı geliştirilmiş bulunmaktadır. Bu durumda ülkemizde su ve toprak kaynaklarımızın geliştirilerek sosyo-ekonomik kalkınmanın sağlanması ve enerji açığının kapatılması bakımından barajların en erken sürede en ekonomik şekilde planlanıp yapılması gerekmektedir.

Çakmak, (1997), su kaynaklarının sulama, içme kullanma ve endüstri suyu temini, hidroelektrik enerji üretilmesi ve taşkın koruma amacıyla DSİ tarafından 704 adet baraj ve çok sayıda gölet yapılması planlanmıştır.

Turfan, (1997), tarafından yapılan çalışmada işletmede 175, inşa halinde 101, programda 70, planlama 93, ön inceleme 265 ve toplam 704 adet barajın yapılabileceğini belirtmiştir.

Bu çalışmada baraj tip seçimine karar veren bir DTS ES uzman sistem programı geliştirilmiştir. Bu uzman sistem programı ülkemizde ve diğer ülkelerde inşa edilecek barajların tip seçiminde kullanılabilecek niteliktedir. Birçok ülkede yeni geliştirilen baraj tipleri iyi tanınmamakta ve kullanılmamaktadır. Oluşturulan uzman sistem yeni geliştirilen ve oldukça ekonomik olan baraj tiplerini de içermektedir. Ülkemizde birçok barajın en kısa sürede inşa edilmesi gerektiği göz önüne alınırsa, geliştirilen programın ülkemizde inşa edilecek barajların tip seçiminde daha gerçekçi olarak kullanılabilecek olması da ayrı bir önem taşımaktadır.

2. BARAJLAR

2.1. Tarihçe

Ortadoğu ve uzak doğu toplumları tarafından ilk olarak sulama amaçlı baraj denemeleri yapıldığı bilinmektedir. Bu ülkeleri; Çin, Japonya, Sri Lanka, Mısır ve Türkiye olarak saymak mümkündür. Mısır'da MÖ 2600 yılında inşa edilen Sadd-El-Katara barajı gerçek anlamda bilinen en eski barajdır (Singh vd., 1995). Toprak merkezi çekirdekli ve kaya dolgu tipte inşa edilmiştir. 14 m yüksekliğinde olan bu baraj kısa bir periyot hizmet ettikten sonra yıkılmıştır. Irak, İran ve Suudi Arabistan'da da önemli barajlar inşa edilmiştir. MÖ 750'de Yemen'de Marib dolgu barajı 20 m yüksekliğinde inşa edilmiştir. İlk inşa edilenler arasında önemli taş işçiliğine örnek bir baraj olan Kesis Gölü Barajı ise Türkiye'de 10 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Novak vd, 1990). Romalılar da, birçok baraj inşa etmişlerdir. İlk olarak kemer baraj prensibini Romalılar uygulamışlardır. Bauma kemer barajı 12 m yüksekliğinde 18 m uzunluğunda inşa edilmiştir. MS ikinci yüzyılda inşası tamamlanmıştır. Uzak doğuda MÖ 380'de önemli barajlar yapılmıştır. Sri Lanka'da, 10 m yüksekliğinde Bassawak dolgu barajı ve Giritale ve Kantalai dolgu barajları (sırasıyla 23 m ve 20 m yüksekliğinde) MS 610'da inşa edilmişlerdir. Japonya ve Hindistan'da da MS 750'de büyük dolgu barajlar inşa edilmiştir. MS 1000'de baraj inşasında geniş bir yaygınlaşma görülmüştür. Baraj kavramı daha hızlı gelişmiş ve İran'da taş örme ağırlık barajların inşası fevkalade bir başlangıç olmuştur. Bu tip barajlardan en önemlilerinden biri, 31 m yüksekliğinde Sultan Mahmut Barajı Afganistan'da aynı tarihlerde inşa edilmiştir. Daha sonra Avrupa, bu yapılardan esinlenerek ve cesaretlenerek 6 m yüksekliğinde Alresford (İngiltere'de) Barajı'nı inşa etmişlerdir. 16. yüzyılda İspanya'da taş örme baraj inşasında büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Tibi ağırlık barajı 42 m yüksekliğinde 1594'te tamamlanmıştır. Elche taş örme kemer barajı 23 m yüksekliğinde ve 120 m uzunluğunda olan bu baraj, 1640 yılında tamamlanmıştır (Novak, 1990). 1700 ile 1800 periyotları arasında baraj inşa biliminde ilerlemeler sağlanmıştır. M.S. 1400 yılına kadar Japonya'da 12 baraj yapılmış olup 1400-1700 yılları arasında yapılan baraj sayısı 92'dir. Yine aynı zamanlarda Emevilerin etkisi ile Avrupa'da bazı barajların yapıldığı bilinmektedir. Örneğin, 1838 yılında İngiltere'de 30 m yüksekliğindeki Entwistle dolgu barajı yapılmıştır. 19. yüzyılda İngiliz mühendisler, dolgu tasarımı ve inşası konusunda önemli fikirler ileri sürmüşlerdir. 1854 ve 1877 yılları arasında dikkate değer 7 adet baraj inşa edilmiştir (Smith, 1971). 1930'dan sonra zemin mekaniği teorisi gelişmeye başlamıştır. Daha sonraları kaya mekaniği, jeoloji mühendisliği ve baraj mühendisliği dallarında meslek kuralları teoriler şeklinde yerleşmeye başlamıştır. Özellikle analitik metotlarda büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Sonlu elemanlar

yöntemi bunun bir örneğidir. Bu metot sayesinde daha ekonomik ve daha emin yapılar yapılabilmektedir.

Dünya çapında barajların toplam sayısı hakkında iyi bir istatistik mevcut değildir. ICOLD (Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu) tarafından yapılan bir araştırmada dünyadaki barajlar belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 2.1). Bu kayıtlar 1982 yılına aittir. Pircher, (1993) mayıs ayı itibarı ile dünyada 36 000 barajın olduğunu belirtmiştir. Aslında 1993'ten sonra dünyada inşa edilen baraj sayısında çok büyük artış olduğu bilinmektedir.

Çizelge 2.1. Büyük Barajlar : (ICOLD, 1984)

Grup	Tipi	Kodu	Sayısı	%
Dolgu Barajlar	Toprak Dolgu	E	28 845	82.9
	Kaya Dolgu	R		
Beton Barajlar	Ağırlık	G	3 953	11.3
	Kemer	A	1 527	4.4
	Payandalı	B	337	1.0
	Çok Kemerli	M	136	0.4
Toplam Büyük Barajlar	(1982 sonu)		34 798	

Çizelge 2.2. En Yüksek Barajlar (Mermel, 1988 and Mermel, 1990, Singh and Varshney, 1995)

Baraj	Ülke	Tipi	Tamamlanma Yılı	Yüksekliği (m)
Rogun	Rusya	E/R	1989	335
Nurek	Rusya	E	1980	300
Grand Dixence	İsviçre	G	1962	285
Inguri	Rusya	A	1980	272
Vaiont	İtalya	A	1961	262
Chicoasen	Meksika	E/R	1980	261
Tehri	Hindistan	E/R	1995	261
Kishau	Hindistan	E/R	1995	253
Guavino	Kolombiya	E/R	1989	246
Ertan	Çin	A	i/a	245
Sayano Shushensk	Rusya	A/G	i/a	245
Mica	Kanada	E/R	1973	242
Mauvoisin	İsviçre	A	1957	237
Chivor	Kolombiya	E/R	1975	237
El Cajon	Honduras	A	1985	234
Chirkey	Rusya	A	1978	233
Oroville	ABD	E	1978	230
Bhakra	Hindistan	G	1963	226
Hoover	ABD	A/G	1936	221
Mrantinje	Yugoslavya	A	1976	220
Contra	İsviçre	A	1965	220
Dworshak	ABD	G	1973	219
Glen Canyon	ABD	A	1966	216
Toktogul	Rusya	G	1978	215
Daniel Jhonson	Kanada	M	1968	214
Dez	İran	A	1962	213
Upper Mill Branch	ABD	E	1963	213
Luzzone	İsviçre	A	1963	208
Keban	Türkiye	E/G	1974	207
Kayraktepe	Türkiye	E/R	i/a	199
Itaipu	Brezilya	E/G/R	1982	196
Altınkaya	Türkiye	E/R	1988	195
Atatürk	Türkiye	E/R	1995	184
Hasan Uğurlu	Türkiye	E/R	1981	175

A: Kemer Baraj	M: Çok Kemerli Baraj
B: Payanda Baraj	R: Kaya Dolgu Baraj
E: Toprak Dolgu Baraj	i/a: İnşa altında
G: Ağırlık Baraj	

Çizelge 2.2'de en yüksek barajlara ait bilgiler, Çizelge 2.3'te dünyadaki en büyük hacimli barajlar, Çizelge 2.4'te ise dünyadaki en büyük rezervuar kapasitesine sahip barajlar verilmiştir. Dünya çapında baraj sayısı 250 000'i aşacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 2.3. En Büyük Hacimli Barajlar (Mermel, 1988, Mermel, 1990, DSİ, 1996,)

Baraj	Ülke	Tipi	Tamamlanma Yılı	Dolgu Hacmi ($x 10^6 m^3$)	Yüksekliği (m)
Syncrude Tailings	Kanada	E	1995	540.0	-
Chapeton	Arjantin	E/G	1996	296.2	35
Pati	Arjantin	E/G	1990	238.2	36
New Cornelia	ABD	E	1973	209.5	30
Tarbela	Pakistan	E/R	1976	148.5	143
Fort Peck	ABD	E	1937	96.1	76
Lower Usuma	Nijerya	E	1990	93.0	49
Atatürk	Türkiye	E/R	1995	84.5	184
$50x10^6 m^3$' den daha büyük 23 baraj					

Çizelge 2.4. En Büyük Rezervuar Kapasiteli Barajlar (Mermel, 1988 and Mermel, 1990, DSİ, 1996)

Baraj	Ülke	Tipi	Tamamlanma Yılı	Rezervuar Kapasitesi (m^3x10^5)	Yüksekliği (m)
Owen Falls	Uganda	G	1954	2 700 000	31
Kakhovskaya	Rusya	E/G	1955	182 000	37
Kariba	Zambia	A	1959	180 000	128
Bratsk	Rusya	E/G	1964	169 270	125
Aswan (High)	Mısır	E/R	1970	168 900	111
Akosombo	Ghana	E/R	1965	148 000	134
Daniel Johnson	Kanada	M	1968	141 852	214
Atatürk	Türkiye	E/R	1995	48 700	184
$50x10^9 m^3$ ten daha büyük rezervuar kapasitesine sahip 20 Rezervuar, 1990 yılı itibari ile					

2.2. Barajların Planlanması

Baraj, düşünceden yapım haline gelinceye kadar bir çok araştırma, emek ve para gerektirir. Araştırmalar, proje oluşturulmasının hem pahalı hem de zaman alıcı kısmıdır. Ayrıca yapılması düşünülen projeler ekonomik veya teknik bakımdan mümkün olmayabilir. Bu bakımdan en kısa zamanda, fazla para harcamadan projelerin güvenilirliğinin ortaya konması gerekir. İstikşaf ve fizibilite çalışmaları bu güvenilirliğin ve projenin ortaya çıkması için en önemli iki aşamadır. İstikşaf çalışmaları bir ön etüt niteliğindedir. Su ihtiyacının, kaynaklarının, temin planının belirlenmesi ve topografya ile ilgili jeoloji başta olmak üzere diğer faktörlerde göz önünde bulundurularak baraj aksının, tipinin ve kabaca boyutlarının belirlenerek ekonomik karşılaştırmalar yapılması istikşaf çalışmaları kapsamındadır. Sonuç olarak, baraj yapılması kanısına varılırsa planlama çalışmalarına geçilir. Planlama aşamasında söz konusu projeye ait aşağıda belirtilen konulara ait detaylı bilgiler hassas bir şekilde araştırılır (Turfan, 1988).

- Hidrolojik çalışmalar
- Jeolojik çalışmalar
- Topoğrafik çalışmalar
- Ekonomik çalışmalar

Bu her biri ayrı bir uzmanlık alanı olan çalışmaların sonunda baraj yapılmasına karar verilir. Bu durumda söz konusu barajın rezervuar hacmi; yüksekliği; tipi; dolusavak tipi; kotu; yeri ve kapasitesi; tünel ve su alma yapılarının kapasiteleri tecrübeli elemanlar tarafından belirlenir. Bu özellikleri belirlenen barajın projelerinin yapılmasına başlanır. Baraj tipi seçimi ekonomiklik, güvenirlilik ve estetik açıdan tecrübe gerektiren en önemli planlama konusudur. Ancak bu konuda yeterli bilgiyi bir arada bulmak güçtür. Bilgi oldukça dağınıktır.

2.3. Barajların Yapım Amaçları

Barajların yapım amaçları, içme suyu temini, sanayi suyu temini, sulama suyu temini, hidroelektrik enerji üretimi, taşkın kontrolü, akışın düzenlenmesi, iç su taşımacılığının geliştirilmesi, mesire yeri temini, sediment kontrolü, canlı hayatın korunması ve sanayi atıkların korunması olarak sayılabilir.

2.4. Barajların Sınıflandırılması

Barajlar taşıdıkları özelliklere göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Aşağıda bu sınıflandırmalar verilmiştir.

2.4.1. Büyüklüklerine göre sınıflandırma

Barajlar büyüklüklerine göre büyük baraj veya küçük baraj olarak sınıflandırılır. Bununla beraber bu sınıflandırmaya ait farklı yaklaşımlar söz konusudur. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) büyük baraj tanımı için aşağıdaki şartları vermektedir.

- Kreti ile temeli arasındaki yükseklik 15 m'den fazla olan barajlar, büyük baraj olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca,

- kret uzunluğu > 500 m,
- hazne hacmi > 1 000 000 m^3,
- en büyük taşkın debisi > 2000 m^3/s

gibi hususlardan en az birisinin mevcut olduğu barajlar büyük baraj olarak isimlendirilir. Küçük barajlar bu tanımın dışında kalan etüt, proje ve inşaat esasları daha basit ve erken sonuç alıcı kriterlere göre yapılan barajlardır. Baraj mühendisi Hansen (1991) tarafından verilen sınıflandırma ise aşağıdaki gibidir.

- H<30 m ise Düşük Yükseklikli Bara
- 30 m - 90 m ise Orta Yükseklikli Baraj
- 90 m - 150 m ise Yüksek Baraj
- 150>H ise Çok Yüksek Baraj

2.4.2. Yapım amaçlarına göre sınıflandırma

Tek Amaçlı Barajlar

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

Birden fazla fonksiyonu yerine getiren çok amaçlı barajlar

Barajlar çoğunlukla birden fazla amaca hizmet etmek üzere inşa edilebilir. Bu tip barajlara çok amaçlı barajlar denir.

2.4.3. Hidrolik projeye göre sınıflandırma

- Üzerinden suyun aşmasına izin verilen barajlar
- Üzerinden suyun aşmasına izin verilmeyen barajlar

2.4.4. Gövdenin statik projelendirilmesine göre sınıflandırma

- Ağırlık Barajı
- Kemer Ağırlık Barajı
- İnce Kemer Baraj
- Payandalı Baraj
- Toprak Dolgu Baraj
- Kaya Dolgu Baraj

2.4.5. Gövde yapısında kullanılan malzemeye göre sınıflandırma

Projelendirmede kullanılan en yaygın sınıflandırma, baraj gövde inşasında kullanılan malzemeye göre yapılan sınıflandırmadır. Aşağıdaki baraj tipleri tecrübelere ve günümüz teknolojisine göre belirlenmiştir. Uzman Sistemde bu baraj tipleri dikkate alınmıştır. (Singh and Varshney, 1995, Novak, 1990; Fell 1992; Dunstan, 1994; Hansen, 1991; Londe, 1992; Linsley, 1992; USBR, 1987; Erkek ve Ağıralioğlu, 1993; Bilgi, 1990; Canik, 1997; Hanna, 1938; Karadayı, 1990; Walter, 1962; Orhon, 1997; Müftüoğlu, 1982; Armstrong, 1977, Francis and Slichter, 1967).

- Dolgu Barajlar

-Toprak Dolgu Barajlar

Homojen Dolgu Barajlar
Topuk Drenli Toprak Dolgu Barajlar
Zonlu Toprak Dolgu Barajlar
Yatay Drenli Toprak Dolgu Barajlar
Yatay ve Düşey Drenli Toprak Dolgu Barajlar

-Kaya Dolgu Barajlar

Merkezi Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar
Eğik Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar
Merkezi Kil Çekirdekli Kum-Çakıl Dolgu Barajlar
Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar
Ön Yüzü Asfalt Kaplı Kaya Dolgu Barajlar
Çelik Yüzlü Kaya Dolgu Barajlar
İnce Membran Yüzlü toprak-kaya dolgu barajlar
Merkezi beton olan kaya dolgu barajlar
Merkezi asfalt beton olan kaya dolgu barajlar

- Beton Barajlar

-Klasik Beton Ağırlık Barajlar
-Payandalı Barajlar

Düz döşemeli payandalı baraj
Boşluklu payandalı baraj
Geniş başlıklı payandalı baraj
Çok kemerli payandalı baraj
Çok kubbeli payandalı baraj

-Beton Kemer Barajlar

Sabit yarıçaplı kemer baraj
Sabit merkez açılı kemer baraj
Değişken yarıçaplı ve merkez açılı kemer baraj

-Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj (RCC)

Zayıf RCC barajlar
Normal dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar
Yüksek dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar
RCD
FSHD (Simetrik Yüzlü Sıkı Dolgu Baraj- Hardfill -)

- *Kârgir Barajlar*
- *Ahşap Barajlar*

2.4.6. Düzenleme devresine göre sınıflandırma

- Düzenleme yapmayan çevirme barajlar. (suyu istenilen yöne, örneğin bir kanala veya bir tünele çevirmeye yarayan baraj tipidir).
- Mevsimlik düzenleme yapan barajlar.
- Uzun vadeli düzenleme yapan barajlar (bir yıldan daha fazla su ihtiyacını depolama özelliği olan baraj tipidir).

2.4.7 Barajlarda yükseklik sınırlamaları

Aşağıdaki yükseklik sınırlamaları uzun zaman baraj proje ve inşaatlarında çalışmış tecrübeli mühendislerin tespitlerine göre verilmiştir (R. Fell vd., B. Cooke, T. Hansen, N. Karadayı, H. Tosun, H. Usul, E. Çekmecigil, V. Bilgi tecrübeli mühendislere örnek verilebilir). Aşağıdaki değerleri bir formüle uydurmak veya kesin değerler olarak algılamak yanlıştır. Teknoloji ilerledikçe bu değerler değişebilmektedir.

- Homojen Dolgu Barajlar, 5 m ve daha az.
- Topuk Drenli Toprak Dolgular, 10 m ve daha az.
- Zonlu Toprak Dolgu Baraj, 20 m ve daha az.
- Yatay Drenli Toprak Dolgu Baraj, 10 m ve daha az.
- Yatay ve Düşey Drenli Toprak Dolgu Baraj, 50 m ve daha az.
- Merkezi Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj, 325 m'ye kadar olabilir, 15 - 20 m'den düşük olmamalı.
- Merkezi Kil Çekirdekli Kum-Çakıl Dolgu Baraj, 140 m
- Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj, 300 m'ye kadar olabilir, 20 m'den az olmamalı.
- Bitümlü Kaya - Toprak Dolgu baraj, 50 m ve daha az.
- Çelik Yüzlü Kaya Dolgu Baraj, 40 m ve daha az.
- İnce Membran Yüzlü Toprak - Kaya Dolgu Baraj, 30 m ve daha az.
- RCC Baraj, günümüzde en yüksek , 220 m
- Klasik beton ağırlık baraj, 285 m ve düşük yükseklikler
- Çok Kemerli Payandalı Baraj, 286 m yüksekliğinde Barlett Barajı ABD'nde inşa edilmiştir.
- Düz Döşemeli Payandalı Baraj, 240 m yüksekliğinde Rodriguez Barajı Meksika'da inşa edilmiştir.
- Kemer Baraj, 300 m

2.5. Baraj Tipleri

Barajlar temel olarak; ağırlık, kemer, payandalı ve dolgu gibi baraj tiplerine ayrılırlar. İlk üç tip genellikle klasik betondan inşa edilmektedir. Ağılık barajlar stabiliteyi kendi ağırlıkları ile dengelerler ve genellikle hafif eğri yapılabilmeleri yanında genellikle planda düzdürler. Kemer barajlar; ağırlık barajlara göre enkesitleri daha ince olan ve kemer tesiri ile yükü yamaçlara ve temele aktaran, planda dış bükey olarak inşa edilen ve belirli eğrilik yarıçapına sahip barajlardır. Kemer barajlar genellikle dar vadilerde, kemer tesiri ile itkinin sağlam yamaçlar tarafından karşılanması durumlarında inşa edilirler. Payandalı barajların birçok tipi içerisinde en basiti düz dilimli olanıdır. Bu tip payandalar aracılığı ile belirli aralıklarla mesnetlenmiş ve eğik düz dilimli yapı elemanlarından ibarettirler. Dolgu barajlar, toprak ve/veya kaya malzemeleri kullanılarak ve aynı zamanda memba blanketi ve geçirimsiz bir çekirdek yardımı ile sızma kontrolü sağlanarak inşa edilen baraj tipidir. Bir dolgu barajın inşasında tek bir malzeme kullanımı da mümkündür. Örneğin homojen barajlar gibi. Uzun krete sahip barajlar çoğunlukla dolusavak ve arkasında su tutan kapaklar için nehir kesitinde betona ihtiyaç duyulur. Geri kalan kısım toprak veya kaya dolgu ile inşa edilebilmektedir. Bu tip barajlar da birleşik barajlar diye isimlendirilmektedir.

2.5.1. Beton barajlar ve tecrübeler

İlk baraj uygulamasında yığma kârgir ve rasgele kârgir barajlar ağırlık barajların ilk örneklerini teşkil etmiştir. 19. yüzyılın yarısından sonra, ilk rasyonel tasarım kriterine göre yüksek ağırlık barajlar inşa edilmeye başlanmıştır. Neticede kütle betonu kârgir barajların yerini almıştır. Hemen hemen 1900'lerde daha karmaşık baraj profilleri (örneğin kemer) inşası yapılmıştır (Novak, 1990). Beton barajların bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Beton barajlar üzerine dolusavak yerleştirilebilmektedir.
- Çıkış boruları, vanalar ve diğer yapılar baraj içerisine yerleştirilebilir.
- Deprem etkilerine karşı kendi yapılarından dolayı dayanımlıdırlar.
- Beton barajlar, temel şartları açısından nispeten sağlam kayaya gereksinimleri vardır.
- Beton barajlar, agrega için uygun miktar ve kalitede işlenmiş doğal veya kırmataş malzemeye gereksinimleri vardır.
- Çimentonun depolanması ve baraj yerine taşınması gereksinimleri vardır.
- Geleneksel kütle beton inşaatı için yoğun el işçisi gerekmektedir. Bu işçilerin genellikle kalifiyeli (kalıp ustası vb.) eleman olması istenmektedir.
- Klasik kütle beton için birim fiyat (m^3'nün maliyeti) toprak dolgunun birim fiyatından daha yüksek olmaktadır. Fakat RCC metodu kullanılarak son yıllarda bu açık kapatılabilmektedir.
- Beton barajlar dolgu barajlara göre tabana daha fazla yük aktarırlar.
- Beton barajların temel oransal alanları dolgu barajlara göre küçüktür.
- Beton barajlar taşkınlardan, dolgu barajlara göre daha az zarar görürler.

2.5.1.1. Klasik beton ağırlık barajlar ve tecrübeler

Bir beton ağırlık barajın stabilitesi tamamen gövdesine bağlıdır. Baraj gövdesinden veya temelinde aşırı gerilmelerden sakınmak için geometrisi uyarlanmaktadır. Ağırlık barajların memba yüzü genellikle düz olarak planlanmaktadır (Novak, 1990).

(U) ve (UV) şekilli vadilerde ve orta genişlikteki vadilerde beton ağırlık tipi barajların inşası uygun olmakta ve inşa edilebilmeleri için sağlam ya da orta sağlamlıkta kaya temeller tercih edilmektedir. Dolusavak hafriyatının zor olduğu vadilerde, beton gövde üzerine dolusavak oturtmanın mümkün olması nedeniyle, bu tip barajlar avantaj sağlarlar. Ancak baraj yüksekliği arttıkça diğer baraj tiplerine oranla pahalı olmaktadırlar (Karadayı, 1992).

Ağırlık barajlar, ilk önceleri masif taş örme olarak ve daha sonraları beton kullanılarak inşa edilmişlerdir. Beton kullanımına başlandıktan sonra taş örme tipi kullanılmamıştır. İlk taş örme baraj 1861'de Fransa'da yapılan Furens kârgir barajıdır. Günümüzde ise ağırlık barajlar, RCC tipinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tip barajlar suyun itme ve döndürme kuvvetine ağırlıkları ile karşı koyarlar. Düz bir hat veya membaya doğru hafif kavisli veya topoğrafik koşullara bağlı olarak ikisinin birleşik şekli

olabilmektedir. Enine kesitleri genellikle üçgene yakın trapez şeklindedir. Ağırlık barajların inşa edileceği temel kayasının sağlam olması istenir, fakat bununla birlikte çok çatlaklı, değişik litolojideki ve alüvyonlar üzerine de inşa edilmektedirler. Vadi yamaçları hafif eğimli, vadi şekli geniş bir kanyon ya da V şeklinde ise bu tip barajın uygun olacağı uzmanlar tarafından belirtilmektedir (Linsley vd., 1992). Şekil 2.1'de bir klasik beton ağırlık baraj fotoğrafı verilmiştir.

Vadide temel kayası 6-9 m derinlikte ve taşıma gücü 3.2-4 MPa arasında K faktörü 6 veya daha az olan vadiler için uygundur. Taban genişliği yaklaşık olarak yüksekliğin 2/3'ü kadar olmaktadır. Temelde etkili olan boşluk suyu basıncını ve suyun kaldırma kuvvetini azaltmak veya yok etmek için drenaj galerileri inşa edilmektedir.



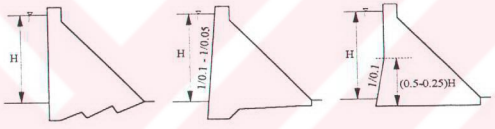
Şekil 2.1. Klasik Beton Ağırlık Baraj Fotoğrafı

2.5.1.1.1. Klasik beton ağırlık barajların uygulama yerleri ve tercih sebepleri

- Sağlam ve geçirimsizliği sağlayabilecek yeterli kalınlıkta kaya temellerin uygun bir derinlikte bulunduğu orta genişlikteki vadilerde,
- Yeterli miktarda ve istenen özellikte agrega malzemesinin bulunduğu ve çimento naklinin ekonomik olduğu yerlerde,
- Büyük taşkın debilerinin baraj gövdesi üzerinden mansaba aktarılması gerektiği durumlarda,
- Beton baraj üzerinden bir ulaşım yolu geçirilmesi söz konusu olduğunda,
- Diğer baraj tiplerine göre savaş ve sabotaja karşı daha güvenli olduğu kabul edilmesi durumunda,
- Diğer beton baraj tiplerine oranla don etkilerine karşı daha az hassas olmaları nedeniyle,
- Baraj inşa halinde iken baraj üzerinden su aşması olasılığının olduğu yerlerde,
- Dolgu malzemesinin temin edilemediği yerlerde,
- Dolgu malzemesinin temininde çevrecilerin tepki ve yetkilerinin olduğu yerlerde,
- Ağırlık baraj yapımı gereken fakat puzolanik malzeme olmayan yerlerde,
- Geniş vadilerde dolusavağı gövde üzerine yerleştirilmesi gereken yerlerde,
- Sağ ve sol yamaçta dolusavak için yer yoksa ve debi fazla ise,
- Rezervuarda heyalan dolgu barajlarda sorun olduğu yerlerde,
- Vadinin sarp olduğu yerlerde dolgu malzemesinin taşınmasının güç olduğu yerlerde,
- Dolgu malzeme istimlakının pahalı olduğu yerlerde tercih edilebilir.

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 maksimum 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 yüksekliğine kadar eğik yapılabilmektedir (Erkek ve Ağıralioğlu, 1993).

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.



Şekil 2.2. Beton ağırlık baraj için kesit alternatifleri

2.5.1.1.2. Klasik beton ağılık barajların tasarımı

19. yüzyıl ortalarından önce, barajlar (malzemelerin mekaniksel özellikleri hakkında sahip olunan bilgi ve tecrübeler ile alakalı olarak), küçük çaptaki meslek kuralları ile dizayn edilmekte idiler. Yani gerektiğinden daha fazla masif, inşa ediliyorlardı. Fransız mühendis Desazilly, İngiliz bilimcisi Rankine ve ABD'de Wegmann gibi öncüler ağırlık barajların tasarımında yardımcı olan bilim adamlarının başında gelmektedirler. Bu ve sonraki gelişmelerden dolayı dünyanın bir çok yerinde yüksek ağırlık barajlar inşa edilmiştir. İnşa edilmiş bazı büyük ağırlık barajlar Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Ağırlık ve kalın kemer ve dolgu baraj üzerinden yol geçebilir. İnce kemer barajlarda krette ulaşım yolunun geçirilmesi genellikle mümkün değildir. Payandalı barajlarda ise çok pahalıdır. Bu durumun planlama aşamasında belirlenmesi gerekir (Linsley vd., 1992).

Bir ağırlık baraj statik ve dinamik olarak dengede olmalıdır ve betonda izin verilen limit gerilmeler de aşılmamalıdır. Ağırlık baraj kendisine etkiyen ağırlık kuvvetleri, silt kuvvetleri, buz etkisi, deprem etkisi gibi kuvvetlere dayanma yeteneğine sahip olmalıdır. İlk olarak baraj yerinde dikkatli ve geniş bir jeolojik etüt yapılmalıdır. Jeolojik araştırma test kuyuları, karot, sondaj

işlemleri, jeofiziksel metotlar yardımı ile yeraltı araştırması ve ayrıca yüzlek kayaçların teftişini içermektedir (Linsley, 1992).

Çizelge 2.5. Bazı büyük beton ağırlık barajlar (Mikhailov, 1986, Mermel, 1990; Linsley, 1992)

Baraj Adı	İnşa edildiği ülke	Hacm 10^3 (m^3)	Yükseklik (m)	Uzunluk (m)	Taban Kalınlığı (m)	Planda görünüş	Rezervuar kapasitesi 10^6 (m^3)	Tamamlanma yılı
Grand Coulo	Washinton	7450	168	1270	122	Düz	11700	1942
Grande Diexence	**İsviçre**	**6000**	**285**	**695**	-	**Eğri**	**401**	**1962**
Toktogul	**Rusya**	**3971**	**215**		-	-	-	-
Kurpsai	Rusya	1142	113	-	-	-	-	-
Krasnoyarsk	**Rusya**	**5500**	**124**	-	-	-	-	-
Ust-Ilim	Rusya	4850	105	-	-	-	-	-
Bratsk	Rusya	4800	125	1500	-	-	169000	1964
Shasta	**Kaliforniya**	**4765**	**184**	**1055**	**173**	**Eğri**	**5400**	**1945**
Fontana	Kaliforniya	2060	143	535	114	Düz	1970	1945
Friant	Kaliforniya	1550	97	1060	82	Düz	640	1942
Guri	**Venezuella**	**1470**	**106**	**695**	-	-	**17600**	**1968**
Marshall Ford	Texas	1360	85	740	66	Düz	2410	1942
Tygart	**B. Virginia**	**920**	**71**	**575**	**60**	**Düz**	**403**	**1937**
Norris	Tennessee	916	81	480	62	Düz	34	1935
New Croton	**New York**	**654**	**73**	**217**	**57**	**Düz**	**105**	**1907**
Elaphant Butte	Y. Meksika	462	92	512	65	Düz	2740	1916
Warsak	**Pakistan**	**369**	**72**	**198**	-	-	**25**	**1960**
Morris	Kaliforniya	344	100	230	86	Eğri	46	1934
Beaumont	**Kanada**	**242**	**72**	**405**	-	-	**424**	**1958**
Parambikulum	Hindistan	230	73	320	-	-	503	1967
Somerset	**Avusturalya**	**205**	**50**	**282**	-	-	**892**	**1959**
San Mateo	Kalifonniya	120	47	208	54	Eğri	66	1889

-: Eksik bilgi

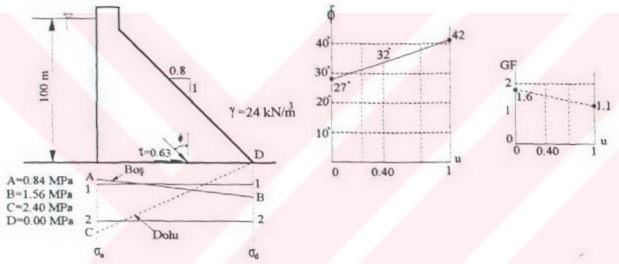
2.5.1.1.3. Klasik beton ağırlık barajlarda kullanılan inşa malzemeleri

Agrega malzemesi olarak, beton yapımında ve dolgu barajlarında kum çakıl malzemesi kastedilmektedir. Agrega malzemesi genellikle nehir ve çay yataklarında bulunmaktadır. Nehir yatağında yapılan incelemeler ve alınan numunelerin test sonuçlarına dayanılarak bu bölgeden alınacak malzeme miktarı ve özellikleri tespit edilir. Baraj gövdesinde kullanılacak malzemenin yeterli olup olmadığına bakılır. Eğer yeterli değilse başka malzeme alanları araştırılır. Bazı baraj yerlerinde kum çakıl malzeme bol olarak bulunmamaktadır. Bu bölgelerde genellikle yüksek dağlık alanlarda uygun kaya malzemeden kırılarak elde edilmektedir. Bu malzeme baraj aksına çok yakın olduğundan ekonomik olabilmektedir. Toprak malzemelere göre, tabiatta bulunmaları sınırlıdır. Bu malzeme çoğu kez eleme, yıkama gibi ek işlemler gerektirdiğinden maliyet artar. Çimento malzemesinin uygun kalitede olması gerir. Çimento fabrikasının baraj yerine yakın olması maliyeti düşürür. Eğer çimento fabrikası baraj yerine çok uzak ise ve barajda kullanılacak beton hacmi fazla ise ve baraj yerine yakın yerde çimento hammaddesi varsa buraya çimento fabrikası kurmak bazen daha ekonomik olmaktadır.

2.5.1.1.4. Klasik beton ağırlık barajlarda statik stabilite analizi

Klasik beton ağırlık barajlarda statik stabilite analizi SAP 90, ANSYS gibi sonlu elemanlar metoduna dayalı programlar kullanılarak lineer ve non lineer analiz yapmak oldukça basittir. Şekil 2.3'te 100 m yüksekliğindeki bir klasik beton ağırlık baraja ait statik analiz sonuçları verilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak beton barajlarda statik ve dinamik analiz için başarılı ve gerçekçi sonuç almak mümkündür. Rezervuarın boş ve dolu olduğu durumlar için ayrı ayrı analiz yapılmalıdır. Barajın tabanında betonda direkt normal gerilmelerin temele aktarıldığı kabul edilmektedir. Tipik olarak değişik malzemelerden ibaret temellerin emniyet gerilmeleri Çizelge 2.6.'da verilmiştir. 1MPa ≈ 10 kgf/cm^2 dir.



Şekil 2.3. Klasik Beton Ağırlık Barajlarda Statik Stabilite Analizi (GF: Güvenlik Faktörü, u: Boşluk Suyu Basıncı, γ: Betonun Birim Hacim Ağırlığı, ϕ: Betonun İçsel Sürtünme Açısı, σ_u: Membadaki Asal Gerilme, σ_d: Mansaptaki Asal Gerilme)

Çizelge 2.6. Temel malzemeleri için müsaade edilebilir basınç gerilmeleri (Linsley vd., 1992)

	İzin verilen gerilme
Malzeme	**kN/m^2**
Granit	4000 - 6000
Kireçtaşı	2500 - 5000
Kumtaşı	2500 - 4000
Çakıl	250 - 500
Kum	150 - 400
Sağlam kil	250 - 300
Yumuşak kil	50 - 100

2.5.1.2. RCC barajlar ve tecrübeler

Son yıllarda gelişmiş ülkelerde, beton baraj inşatlarında, hava limanlarında ve klasik yol yapımında iş makinelerinin yeni bir teknolojide kullanılması denenmiştir. Bu yeni beton teknolojisi, RCC (roller compacted concrete -silindirle sıkıştırılmış beton-) veya rolkrit olarak isimlendirilmektedir. 1981'den itibaren

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ABD, Japonya, İspanya, Güney Afrika, Çin, Avustralya, Fransa, Brezilya ve dünyanın bir çok yerinde bu tip baraj, başarı ile inşa edilmiştir. Kısa denilebilecek bir süre içerisinde benimsenip uygulanan bu yöntemle, artık yükseklikleri 200 m.'yi aşan RCC barajlar inşa edilmektedir.

RCC teknolojisi kullanılarak birçok mühendislik yapısı klasik metotlara göre daha erken ve daha az maliyete yapılabilmektedir. RCC'nin gelişmesi şüphesiz klasik beton teknolojisi evrimini takip etmiştir. Bununla birlikte, araştırmacılar bu tip beton barajı daha erken inşa edebilme, sürekli bir yerleştirme işlemini temin etme ve ısısal büzülmeyi azaltmak için ana prensip olarak puzolanik malzeme kullanımı üzerinde durmuşlardır.

RCC barajlar ile ilgili birçok tanım yapılmıştır, fakat en genel tanım şöyledir; "yol, baraj, liman mühendisliğinde kullanılan; damperli kamyonlarla taşınıp, buldozer veya greyder ile yayılabilen ve vibrasyonlu silindirlerle sıkıştırılabilen, çökmesi olmayan, konsistensi katı, çimento dozu düşük, karışımda kum, çakıl, puzolan ve gerekirse katkı maddeleri kullanılan, yüksek dayanım, dökme verimliliği ve kısa yapım süresi gibi birçok ekonomik avantajlar sağlayan bir beton türüdür". Bir başka değişle, bileşimi ile normal bir görüntüye sahip olup, fiziksel özellikleri ile gerçek bir beton gibi sertleşen, çimento ile harmanlanıp ıslak çakıl içeren bir karışımdır.

ABD'de 1972'de ASCE tarafından yapılan bir sempozyumda *Prof. J. Raphael* tarafından sunulan "Toprak kompaksiyonları kullanılarak beton baraj inşaatı" adlı makalesiyle bu düşünce yaygınlaşmaya başlamıştır. Böylece, 1994'ün başında 18 ülkede 112 adet büyük RCC baraj inşa edilmiş ve 27 adet barajın da projesi hazırlanmıştır (Dunstan, 1994).

Geliştirilen metodun, büyük bir projenin beton inşaatında bu denli etkin ve ekonomik olarak uygulanabilmesi, mühendislerin bu konuya olan ilgileriyle birlikte heyecanlarını da artıran bir sebep olmuştur. Japonya'daki Shimajigawa Barajı ile birlikte ABD'de seçimi çoğalmış ve Kentuckye'de Winchester, Kolorado'da Middle Fork RCC barajları 1984 yılında tamamlanmıştır. Japonya'daki 115 m yüksekliğindeki Sakaigawa Barajı, ABD'nde 209 m yüksekliğinde inşa edilen Auburn RCC Barajı ve Çin'de inşa edilen 216.5 m yüksekliğindeki Longtan Barajları'yla RCC seçimi daha da yaygınlaşmıştır. RCC barajlar günümüzde, dünyanın farklı yerlerinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde inşa edilmektedir. Bu barajların günümüze kadar yaklaşık olarak 1/4'ü Kuzey Amerika'da, 1/4'ü Asya'da, 1/4'ü Avrupa'da ve 1/4'ü de dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiştir.

Çizelge 2.7. RCC ve RCD tipte inşa edilen bazı barajların özellikleri (Franco, 1995, Dunstan, 1994; Hansen, 1991 ve Hansen, 1994)

İnşa edildiği ülke	Barajın Adı	Rezervuar kapasitesi (m^3x10^6)	Beton Hacmi (10^3 m^3)		Barajın Boyutları (m)		Bağlayıcı İçeriği (kg/m^3)	
			RCC	Toplam	Yükseklik	Uzunluk	Çimento	Puzolan
ABD	Monksville	27	219	232	48	671	63	0 (-)
ABD	Stagecoach	42	34	39	46	116	77	0 (-)
ABD	Willow Creek	17	331	331	52	543	47	19 (F)
ABD	Middle Fork	1	42	43	38	125	66	0 (-)
ABD	Galesville	52	161	171	50	290	53	51 (F)
ABD	Upper Stillwater	37	1125	1281	90	815	79	173 (F)
ABD	Victoria	37	33	-	37	92	67	67 (C)
Angola	Capanda	4795	757	1154	110	1200	70	90 (M)
Arjantin	Urugua-i	1175	590	626	77	687	60	0 (-)
Avusturalya	Copperfield	20	140	156	40	340	80	30 (F)
Avusturalya	Craigbourne	13	22	22	25	247	70	60 (F)
Avusturalya	New Victoria	10	121	135	52	285	79	160 (F)
Avusturalya	Burton Gorge	20	70	78	26	300	90	0 (-)
Brezilya	Caraibas	9	18	22	26	160	74	0 (-)
Brezilya	Gameleira	-	27	-	29	150	-	0 (-)
Brezilya	S. de N. Olinda	95	132	143	56	230	55	15 (N)
Çin	Kengkou	27	43	62	57	123	60	120 (F)
Çin	Tongjiezi	200	422	853	88	284	79	79 (F)
Çin	Shuikou	2970	380	1710	100	786	60	110 (F)
Çin	Guanyinge	17	43	74	43	150	62	108 (F)
Çin	Yantan	3350	330	1685	110	525	55	104 (F)
Çin	Puding	421	103	137	75	196	85	103 (F)
Fransa	Riou	-	-	45	26	308	0	120 (R)
Fas	Aoulouz	11	608	830	75	480	120	0 (-)
G. Afrika	Taung	66	130	151	64	248	44	66 (F)
G. Afrika	Santa Eugenia	17	225	254	84	290	88	142 (F)
G. Afrika	Wolwedans	24	180	210	70	268	58	136 (F)
Honduras	Concepcion	35	270	290	68	694	95	0 (-)
İspanya	Santa Eugina	16.6	225	254	83	280	88	152
İspanya	Marono	2.23	80	91	53	182	80	160
İspanya	Los Morales	2.34	22	25.5	28	200	81	140
İspanya	Hervas	0.22	24	43	33	210	80	155
İspanya	Canchales	15	25	54	32	240	84	156
İspanya	Guadalemar	4	50	55	13	400	60	125
İspanya	Cenza	43	204	225	49	640	70	130
İspanya	Amatisteros I	0.03	3	3.5	11	91	73	109
İspanya	Urdalur	5.4	160	208	58	396	72	108
İspanya	Arriaran	3.2	110	123	58	206	85	135
İtalya	T. Laurenzana	350	91	107	34	294	76	114 (F)
Japonya	Miyagase	19	1537	2001	155	400	91	39 (F)
Japonya	Urayama	58	40	1860	155	372	91	39 (F)
Japonya	Shimajigawa	21	165	317	89	240	84	36 (F)
Japonya	Tamagawa	254	772	1150	100	441	88	42 (F)
Japonya	Sabigawa	11	-	590	104	273	-	-
Kolombiya	Porce II	211	1300	1450	118	455	44	176 (S)
Meksika	La Manzanilla	1	38	50	36	150	130	0 (-)
Meksika	Trigomil	324	362	400	100	250	-	-
Şili	Pangue	175	640	680	113	410	-	-
Tayland	Pak Mun	-	48	250	26	323	58	124 (F)
Rusya	Tashkumyr	-	85	1200	75	320	90	30 (N)
Romanya	Vadeni	5	14	17	25	55	125	0 (-)
Yunanistan	Platanovryssi	84	420	440	95	305	35	250 (C)
Yunanistan	Marathia	4	33	33	26	265	55	15 (N)
Yunanistan	Ano Mera	1	45	45	32	150	55	15 (N)

Tabloda kullanılan harfler ve işaretler:			
C:	Yüksek dozlu uçucu kül (ASTM Sınıf C)	R:	C + S + kireçtaşı tozu
F:	Düşük dozlu uçucu kül (ASTM Sınıf F)	S:	Yüksek fırın cürufu
M:	Öğütülmüş bağlayıcı	N:	Doğal puzolan
		-:	Eksik bilgi

2.5.1.2.1. RCC barajların tercih sebepleri ve avantajları

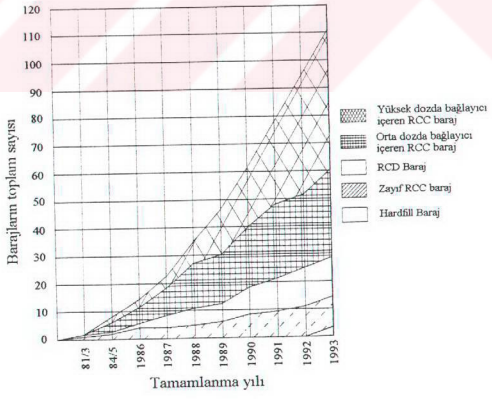
- RCC'de klasik betona nispeten daha az çimento kullanılmaktadır. Böylece beton maliyeti düşürülmektedir.
- RCC karışımında klasik betona göre, daha büyük dane çapı içeren agrega kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, RCC karışımında kullanılan agreganın daha az işlem görüp, daha az titiz bir gradasyon işlemi gerektirmesi ekonomik avantajları olarak sayılmaktadır.
- Karışımdaki çimento oranı azaltılarak yerine %50 veya daha fazla oranlarda puzolanlar (çoğunlukla uçucu kül) kullanılarak ekonomiklik sağlanmaktadır. Günümüzde RCC barajlarda genellikle, az miktarda çimento ve büyük oranda uçucu kül kullanmaya doğru bir eğilim vardır.
- Klasik beton barajlardaki kalıp işlemleri RCC'de olmadığından, bu açıdan da bu tip barajlara göre avantaja sahiptir.
- Klasik beton genelde %3 ile %6 oranlarında hava içermesine karşın, RCC %1 ile %3 oranında hava içermektedir. Bu açıdan klasik betona göre avantaja sahiptir.
- RCC barajlar, klasik beton ağırlık barajlara göre aynı emniyette olmasına rağmen, çok büyük maliyet ve zaman avantajına sahiptir.
- RCC barajlar, kemer ağırlık ve bazı durumlarda toprak dolgu ve kaya dolgu barajlara göre, maliyet açısından, daha avantajlı olmaktadır.
- RCC barajların inşa süresi oldukça kısadır. Süresi kısıtlı olan bölgelerde hızlı yapım ve kısa sürede bitirebilme imkanı sağlanması açısından avantaja sahiptir.
- Değişik dane dağılımına sahip, doğal ya da kırma agrega ile yapılabilme ve dolayısıyla kum, çakıl gibi malzemeyi ekonomik bir biçimde değerlendirebilme imkanı oluşturması bakımından avantajlıdır.
- RCC barajlar ideal olarak kaya temeller üzerine inşa edilmektedirler. Şevler, memba yüzü dik ve mansap yüzü eğimi 1 düşey ve 0.70-0.80 yatay olduğundan, özellikle dolgu barajlara göre daha küçük taban genişliğine sahiptir. Çoğunlukla daha kısa tüneller ve dolu savaklar temin edilmektedir. Bu yapımlar ekonomiklik sağlamaktadır.
- Klasik toprak dolgu ekipmanı ile yapabilme olanağı ve kalifiye eleman gereksiniminin en az olması dolayısıyla uygulama kolaylığı sağlaması bakımından avantaja sahiptir.
- Toprak dolgu yapılarda, kil malzemede en büyük sıkışmayı sağlayacak optimum su içeriğine kadar ıslatılma ya da özellikle kurutma işlemindeki zaman kaybına benzer bir durumun olmaması ve dolayısıyla zamandan tasarruf sağlanması avantajına sahiptir.
- Barajların rehabilitasyonunda diğer tiplere nazaran işçilik, inşa kolaylılığı ve maliyet açısından RCC barajlar avantaja sahiptir. Günümüze kadar birçok barajın rehabilitasyonunda (özellikle ABD'nde) RCC yaygın olarak kullanılmıştır. Son zamanlarda rehebilitasyon değince akla RCC gelmektedir.
- İş makinelerinin kullanımı RCC barajların inşasında oldukça yaygındır. Taşıma, yayma ve sıkıştırma işlemlerinde, RCC barajlar klasik beton ağırlık barajlara göre avantajlara sahiptir.
- RCC barajların kısa sürede inşa edilmesi, inşaat süresi içerisinde faizi azaltmakta ve anaparanın kısa zamanda geriye dönmesini sağlaması açısından avantaja sahiptir.
- Gövdesinde ve diğer elemanlarında kullanılan malzemelerden ve baraj elemanlarının boyutlarından dolayı çoğunlukla düşük maliyette inşa edilebilme bakımından avantaja sahiptir.
- RCC barajın memba yüzü, ÖYBK kaya dolgu barajlardaki gibi, beton ile kaplanabilme imkanına sahiptir.
- RCC barajlar yüksek inşa edilebilme imkanına sahiptir. Yüksek inşa edilmesi halinde iyi performans gösterdiği yapılan statik ve dinamik analizler, ve tecrübelerle ispatlanmıştır.

- RCC ve RCD barajlar kemer ağırlık tipte, ekonomik olarak inşa edilebilme avantajına sahiptir.
- RCC ve RCD barajların inşası esnasında meydana gelen taşkınlardan diğer birçok baraj tiplerine göre çok daha az zarar görürler.
- FSHD barajlar yükü daha geniş bir alana yaydıkları için zayıf kaya temeller üzerine inşa edilebilme imkanına sahiptirler.

2.5.1.2.2. RCC barajların sınıflandırılması

RCC Barajların sınıflandırılmasında değişik yaklaşımlar mevcuttur. Fakat sınıflandırmanın en genel şekli şöyledir (Dunstan, 1994, Hansen, 1991 ve Londe, 1992). Japonya'da inşa edilen tüm silindirle sıkıştırılmış beton barajlar, RCD tiptedir.

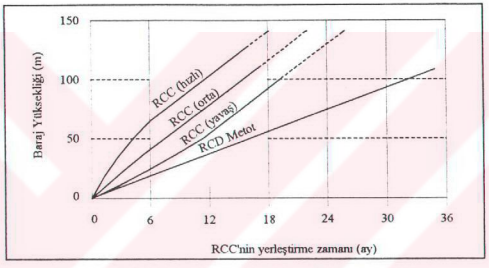
- **Zayıf RCC barajlar** (Lean RCC dams): Bağlayıcı içeriği 99 kg/m^3'ten daha azdır.
- **Normal dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar** (Medium paste RCC dams): Bağlayıcı içeriği (yani çimento ve puzolan) 100-149 kg/m^3 arasındadır.
- **Yüksek dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar** (High paste RCC dams): Bağlayıcı içeriği 150 kg/m^3 veya daha fazladır.
- **RCD baraj** (Roller Compacted Dam - Silindirle Sıkıştırılmış Baraj, Japon Tekniği)
- **FSHD (Hardfill** baraj), RCC barajların en yeni tipidir.



Şekil 2.4. Her yıl tamamlanmış RCC barajların çeşitlerine göre toplam sayısı

2.5.1.2.3. RCC barajların inşa hızı

RCC barajların inşaat süresi diğer tiplerle karşılaştırıldığında bu tip barajların en önemli avantajlarından biri olduğu anlaşılmaktadır. Silindirle sıkıştırılmış beton, çok kısa bir sürede yerleştirilmektedir. Örneğin; 46 m yüksekliğinde 34 000 m^3 hacmindeki Stagecoach Barajı 37 günde tamamlanmıştır, 51 m yüksekliğindeki 161 000 m^3 hacimli Galesville Barajı ise 10 haftada inşa edilmiştir. 100 m yüksekliğindeki bir RCC baraj yaklaşık olarak 16 ayda inşa edilebilmektedir. Çok hızlı inşa edilirse 11 ay ve yavaş inşa edilirse bu süre 20 ay olmaktadır. RCD barajların yapım süresi, RCC barajların yapım süresinin hemen hemen iki katı olmaktadır (Şekil 2.5). Bu sonuç, daha kompleks inşa metotlarından kaynaklanmaktadır.



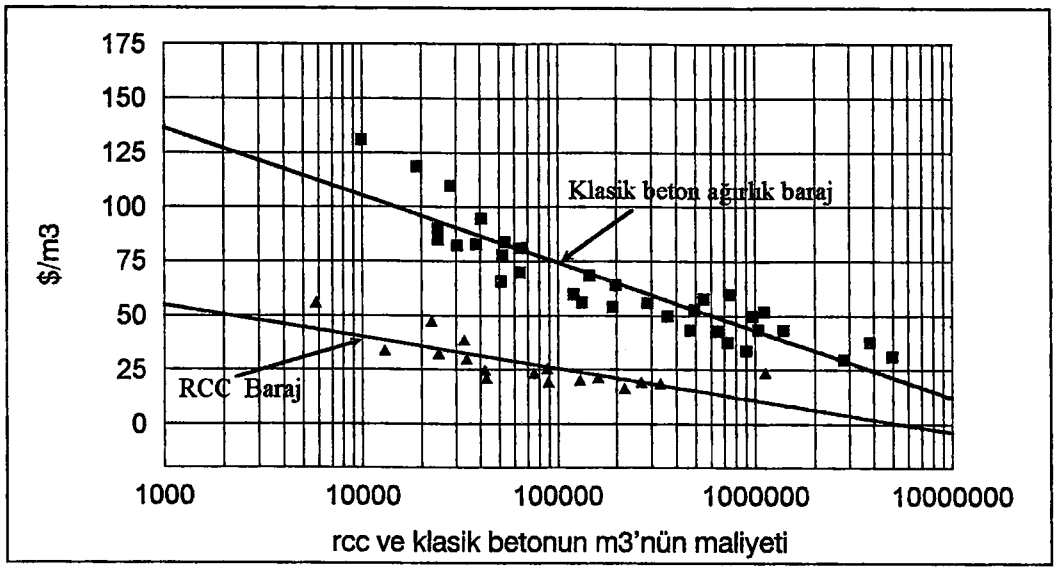
Şekil 2.5. RCC barajların inşa hızı (Dunstan, 1994)

2.5.1.2.4. RCC baraj maliyet durumu

RCC barajların kısa sürede inşa edilmesi, inşaat süresi içerisinde faizi azaltmakta ve anaparanın kısa zamanda geriye dönmesini sağlamaktadır. Gövdesinde ve diğer elemanlarında kullanılan malzemelerden ve baraj elemanlarının boyutlarından dolayı çoğunlukla düşük maliyette inşa edilebilmektedir.

Dunstan'a (1993) göre, bir RCC baraj, klasik beton ağırlık baraja göre %25-40 daha ucuzdur. Linsley'e (1992) göre %60 daha ucuzdur. Kaya dolgu baraja göre %0-25 daha ucuz olmaktadır. Klasik beton kemer ağırlık baraja göre ise %5-15 daha düşük maliyette inşa edilebilmektedir. Böylece, kaya temele haiz bir baraj yeri için bir RCC, pratik olarak çoğunlukla en düşük maliyette inşa edilebilmektedir.

Klasik kütle betonu ile RCC maliyetinin karşılaştırılması Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Klasik beton ağırlık baraj ile RCC betonunun maliyet karşılaştırması (Hansen, 1986, Hansen, 1994)

ABD olan 46 m yüksekliğinde 221 000 m^3 hacmindeki Monksville Barajı için tasarım mühendislerinin yaptığı maliyet tahmini aşağıdaki gibidir (Hansen, 1986).

Çizelge 2.8. Baraj tipi ve maliyet tahmini

Baraj Tipi	Maliyet Tahmini (10^6 $)
• RCC Baraj	18.1
• Toprak Dolgu Baraj	20.3
• Beton Yüzlü Kaya Dolgu	25.6
• Beton Ağırlık	33.6

2.5.1.2.5. RCC barajların yüksek inşa edilebilirliği ve temel kalitesi

RCC barajların boyut ve yüksekliği konusunda henüz kesin bir açıklama yoktur. RCC barajlar günümüzde 220 metreye kadar inşa edilmiştir. RCC barajların daha yüksek inşa edilebileceği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Bu konudaki çalışmalar hızla sürdürüldüğünden, gelecekte çok daha yüksek inşa edilebilecekleri söylenebilir.

Tamamlanmış bir RCC ağırlık baraj, yekpare elastik bir yapı olarak görev yapmakta ve bütünüyle kaya temele bağlantılı olmaktadır. Yani RCC barajların yapı performansı klasik beton ağırlık barajlarınkiyle aynı olmaktadır. Yüksek beton ağırlık barajlar ya RCC veya klasik beton ağırlık baraj tipte inşa edilmekte ve kaya temele gereksinim göstermektedirler. Temel ya tabii durumu ile veya belirli işlemler neticesinde beton baraj tarafından ve rezervuar tarafından etkiyen yükleri alarak uygun gerilmelerle aşırı deformasyon ve stabilitesizlik göstermemelidir.

RCC barajların silindirler ile sıkıştırılması, bu tip barajların stabilitesini toprak ve kaya dolgu barajlardaki gibi düşünmeyi gerektirmez. Bir RCC barajın temel davranışı klasik beton barajlardaki ile aynı olmaktadır. Yüksek ağırlık barajlar için daha zayıf temel özellikleri, kayma zonları, faylar, killi malzemelerle dolu birleşimler veya zararlı bir şekilde kazıma derzleri yaygın, pahalı ve zaman alıcı işlemler gerektirmektedir. Bu tip baraj yerlerinde temele daha az yük iletecek tipler seçilmelidir.

Yüksek klasik beton ağırlık barajlara iki örnek verilirse, birincisi 226 m yüksekliğinde ve 1963'te Hindistan'da tamamlanan Bhakra Barajı'dır. Bu baraj temeli kısmen zayıf özelliklere sahip olduğundan ilave işlemlere gerek duyulmuştur. İkincisi ise 1982'de Brezilya'da tamamlanan 196 m yüksekliğindeki Itaipu Barajı'dır. Bhakra ve Itaipu barajlarında uygulanan özel temel işlemleri gösterdi ki eğer bu baraj yerlerinde RCC tipteki baraj inşa edilse idi, temel işlemlerinin aynı şekli emniyet ve kalite açısından temin edilmesi gerekecekti. Buradan da anlaşılacağı gibi özellikle yüksek RCC barajlarda temel tasarımı oldukça önemli olmaktadır (Sarkaria and Andriolo, 1995).

2.5.1.2.6. RCC baraj üzerinden su aşması durumu

Bu tip barajların üstünlüklerini sadece inşa hızı ile sınırlamak doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Fakat bir çok araştırmacı bu özellik üzerinde daha çok durmuşlardır. RCC barajlar üzerinden su aşması durumunda da önemli avantaja sahip olduğu anımsanmalıdır. Bu baraj tipinin en önemli davranış özelliklerinden biri, baraj üzerinden su aşması durumunda gösterdiği performanstır. Santa Eugenia Barajı (İspanya) inşa esnasında, nehir derivasyon kapasitesini aşan iki taşkın meydana gelmiştir. İnşa esnasında barajın üzerinden 250 ve 350 m^3/s'lik önemli büyüklükteki debiler geçmiştir. İlk su aşması, baraj 21 m yüksekliğinde ve 91 m uzunluğunda iken oluşmuş, ikinci taşkın olayı ise, baraj 43 m yüksekliğinde 140 m uzunluğunda iken meydana gelmiştir. Bu taşkınlarda baraj herhangi bir hasar görmemiştir. Fakat kenardaki iş makineleri su ile birlikte sürüklenmiştir.

2.5.1.2.7. Dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiş RCC uygulamaları

İlk RCC tipteki baraj 1982'de ABD'nin Oregan eyaletinde inşa edilen Willow Creek Barajı'dır. Bu barajı 15 ülkeden katılan binden fazla mühendis incelemiştir. İlk RCD tipteki baraj Japonya'da 1981'de inşa edilen Shimajigawa Barajıdır. Sonradan dünyanın birçok yerinde RCC ve RCD tipte çok sayıda baraj başarı ile inşa edilmiştir. Bunlardan bir kaçının bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

- **Willow Creek Barajı**

İlkönce kaya dolgu tipte yapılması planlanmış, daha sonra dolusavağı gövde üzerinde olan beton ağırlık baraj yapımı düşünülmüştür. Fakat bu tasarımın da aşırı maliyet fazlalığından dolayı RCC yapılmasına karar verilmiştir. Bu barajın projesinde RCC kullanımı ile zaman ve maliyet açısından fevkalade avantaj sağlanmıştır. Bu sonuç iki önemli nedenden kaynaklanmıştır. Bunlar, daha az çimento kullanımı ve betonun yerleştirilmesinde işçilik ve inşa tekniklerindeki ekonomikliklerdir. Bu yöntemle inşa edilen dünyadaki ilk RCC barajlardan olmuştur, 1982 yılında yapımı tamamlanmıştır (Schrader, 1982). Bu baraj, 52 m yüksekliğinde, 518 m kret uzunluğundadır. Taşkın kontrolü amacıyla inşa edilmiştir. 313 485 m^3 beton içermektedir. 47 kg/m^3 oranında çimento kullanılmıştır. 30 cm tabakalar halinde serilerek titreşimli silindirler ile sıkıştırılmış ve 2400 kg/m^3'lük bir yoğunluk elde edilmiştir. Bu baraj kaya dolgu tipinde inşa edilse idi 25.6 milyon dolara mal olacaktı. Fakat RCC olarak inşa edilerek $14.2x10^6$ dolara inşa edilmiştir. İnşa süresi ise bir yıl kısalmıştır. RCC'nin birim maliyeti 24.85 $\$/m^3$ olmuştur.

- **Puding RCC Kemer Barajı**

Dünyada ilk olarak inşa edilen RCC kemer ağırlık tipli barajdır. 75 m yüksekliğinde ve 195.6 m kret uzunluğundadır. İnşa edilmesinin ana amacı enerji üretmektir. Bu baraj tek merkezli değişik yarıçaplı olup, simetrik olmayan bir plana sahiptir. Krette kalınlığı 6.30 m ve tabanda 28.30 m'dir. Baraj gövdesinin toplam hacmi $137x10^3$ m^3'tür, bunun $103x10^3$ m^3'ü RCC'dir. Vadi "V" şekillidir ve nehir yatağı dardır. Barajı, Haziran 1993'te tamamlanmış ve 1994 yılında işletmeğe açılmıştır. Puding Barajının başarısı ile 100 m'nin üzerinde kemer RCC baraj inşa etme cesareti doğmuştur.

- **Batoka Barajı**

Batoka Barajı Zambezi Nehri üzerinde planlanmıştır. 180 m yüksekliğinde, RCC kemer ağırlık tipindedir. Gövde hacmi yaklaşık olarak $4.3x10^6$ m^3'tür. Bağlayıcı oranı 220 kg/m^3'tür ve bunun %80-90'nı yüksek fırın cürufu içermektedir. Bu tip ve metotla inşa edilerek önemli oranda zamandan maliyetten ekonomiklik sağlanmıştır. Bu baraj ilk önce çift eğrilikli kemer baraj tipte planlanmıştır. Zaman ve maliyet korumaları açısından rcc kemer ağırlık tipte inşa edilmiştir (Dunstan, 1994).

- **Longtan Barajı**

Bu ilk etapta 192 m yükseklikte inşa edilmek (Çin'de) için planlanmış ve daha sonra bu yükseklik 216.5 m'ye çıkarılmıştır. Gövde hacmi yaklaşık olarak $7.5x10^6$ m^3'tür. Bağlayıcı oranı

220 kg/m^3'tür ve bunun %70'i düşük kireçli uçucu kül içermektedir. Memba yüzeyi bir betonarme betonu ile kaplanmıştır (Dunstan, 1994).

2.5.1.2.8. RCC barajlarda kullanılan malzemeler

RCC betonu klasik betondan esas olarak, çok kuru kıvamı ile fark edilmektedir. Görünüş olarak az rutubetli bir kum-çakıl malzemeyi andırmaktadır. RCC barajların büyük bir çoğunluğunda çeşitli cinslerdeki puzolanlar kullanılmaktadır. Bu puzolanlardan F sınıfı uçucu kül (low lime-class F flyash) inşa edilen barajların % 84'ünde kullanılırken granüle haldeki yüksek fırın cürufu (blast-furnace slag) birkaç RCC baraj karışımında kullanılmıştır. C sınıfı uçucu kül (high lime-class C flyash) ise ABD'inde ilk olarak Stacy Barajı'nda kullanılmıştır. Bazı barajlarda tabii puzolan, E sınıfı uçucu kül ve kireçtaşı tozu karışımından oluşan bir puzolan çeşidi kullanılmıştır. Boyutları gün geçtikçe büyüyen RCC barajlarda değişik puzolan cinsleri de denenmeye başlanmıştır. Öğütülmüş kum (milled sand) kullanılmış ve iyi sonuç alınmıştır.

1990'nın sonuna kadar inşa edilen tüm RCC barajların %64'ünde portland çimentosu, bağlayıcı içerikli puzolandan daha fazla olmuştur. Fakat 1990'dan 1994'e kadar olan dört yıllık süreçte bu oran % 36'ya düşmüştür. Günümüzde puzolanın daha çok kullanımına doğru bir eğilim vardır.

Yeterli ölçüde öğütülmeyen ve bu nedenle puzolanik aktivitesi düşük, kaba partiküllü uçucu küller genellikle çok zayıf bağlayıcı içerikli rcc baraj yapımında kullanılabilmektedir. Uzun bir mesafeden nakledilecek iyi kalite bir puzolan yerine yöreden temin edilecek düşük kaliteli bir puzolan daha ekonomik olabilmektedir. Yüksek dozda bağlayıcı içeren RCC, geçirimsiz olacak ve tabakalar arasında iyi bir bağa sahip olacak şekilde tasarlanır. Yüksek dozda bağlayıcı içeren barajlarda geçirgenlik $5x10^{-9}$ ile $1x10^{-10}$ m/s olmuştur. 0.063 mm'den daha küçük boyutlu ince malzemenin veya çimentonun artması ile "k" değeri küçülmektedir.

Karma suyu miktarını tespit etmek amacı ile maksimum tane çapı 38 mm olan kırmataş agrega ve 152 kg/m^3 bağlayıcı kullanılarak yapılan bir araştırmada optimum su miktarı 77 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir (Hansen, 1991).

2.5.1.2.9. RCC barajlarda ilk tasarımda kullanılacak maliyet tahmini

Tahmin işlemine ilkönce, kazı derinliğine karar verme ile başlanılmaktadır. Bunu, sızmayı azaltma metotları ve gövde kesitinin tasarımı takip etmektedir. Yapının hacminin belirlenmesi için

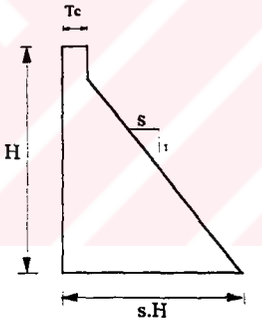
vadinin şeklinin bilinmesi gerekmektedir. Maliyet tahmini için önceden inşa edilmiş RCC barajların birim fiyatlarından yararlanılabilir.

Her baraj yeri için kaya kazım derinliği değişmektedir. Bu tahminde, her yamaç için 4.50 m ve temel için ise 1.50 m olarak alınmaktadır. Bu yapılan kabuller, bir RCC baraj için gerekli malzemelerin hacim hesabında kullanılmaktadır. Sonuçta, ilk tasarım amacı için yeterli tahmin sağlanmış olmaktadır. Amaç baraj hacmine karar vermektir. Eğer vadide gerekli araştırmalar yapılmış ise, bu durumda vadinin baraj inşa edilecek gerçek enkesiti de bellidir. Böylece, dolgu barajlarda gösterilen şekilde baraj hacmine karar vermek mümkündür.

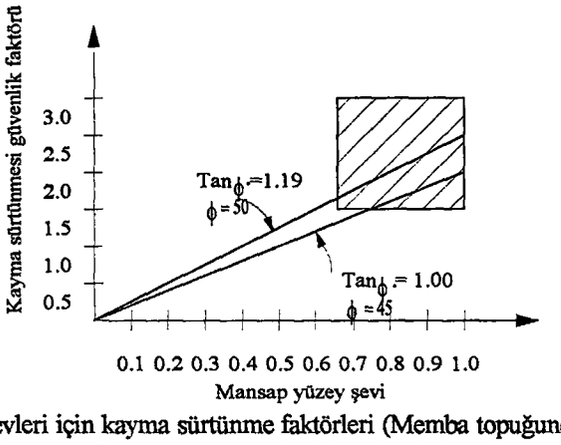
İlk planlarda, barajın enkesiti genellikle vadiyi karşıdan karşıya düz olarak bölmektedir. Barajın tipik enkesiti, basit olarak Şekil 2.7'de gösterildiği gibi, memba yüzü dik mansap yüzü eğimli olarak alınıp gerekli hesaplamalar yapılmaktadır.

Şekil 2.8'de %100 yeterli drenler ile bir baraj için, mansap şevine karar vermede kullanılacak bir grafik verilmiştir (Tarbox, 1988).

Barajın enkesitinin belirlenmesinde kesit, üçgen olarak kabul edilmektedir. Barajın kretinin köşesinden mansap eğimine bir dik inilir. Kesiştiği nokta belirlenerek enkesitin yeni şekli elde edilir (Şekil 2.7).



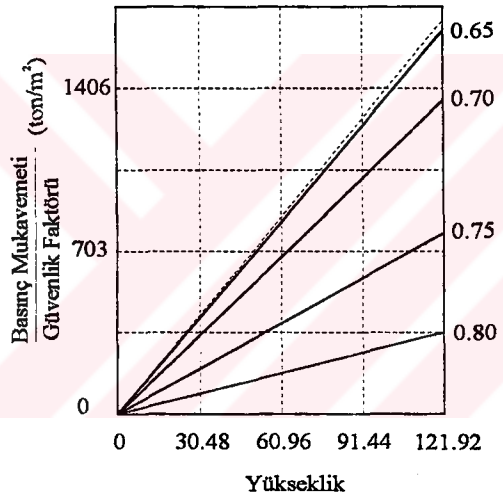
Şekil 2.7. Tipik bir RCC ağırlık baraj enkesiti



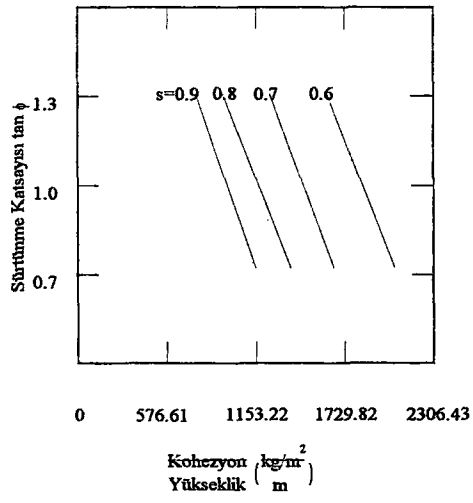
Şekil 2.8. Değişik mansap şevleri için kayma sürtünme faktörleri (Memba topuğunda U kaldırma basıncı için rezervuar tam dolu düşünülmüştür. Basınç dağılımı değişimi drenlerle 2/3 oranında azaltılmış olduğu ve mansap topuğunda da U kaldırma basıncının sıfır olduğu dikkate alınmıştır.)

Çoğunlukla, mansap yüzeyi şevi 0.7 yatay ve 1.0 düşey olacak şekilde alınmasına karşın, ilk tasarım için genellikle 0.8 yatay ve 1 düşey olacak şekilde kabul edilmesi önerilmektedir. Bununla birlikte, özellikle yüksek barajlar için mansap şevinin belirlenmesinde (Boggs ve Richardson,1985) tarafından verilen grafiklerden yararlanılmaktadır (Şekil 2.9 ve 2.10). Baraj üzerinde bir yol planlanması durumunda, kret genişliği (Tc) yol için uygun olmalıdır. Eğer yol yapılmayacaksa, 15 m'den daha az yükseklikli barajlar için 3 m, 15-30 m yüksekliğindeki barajlar için ise minimum kret genişliği 3.6 m alınması önerilmektedir (Hansen,1991).

Günümüzde değişik sızma kontrolü ve memba yüzey metotları mevcuttur. Kullanılacak en doğru metoda ilk aşamada karar vermek oldukça güçtür. Membran yüzlü beton paneller hariç, şekillendirmenin diğer metotları (memba yüzünde sızma kontrolünü temin etmede) yaklaşık olarak aynı maliyette elde edilmektedir. Membran yüzlü beton panel sistemi ile birlikte, klasik beton ücreti de diğer metotlardan daha yüksek olmaktadır.



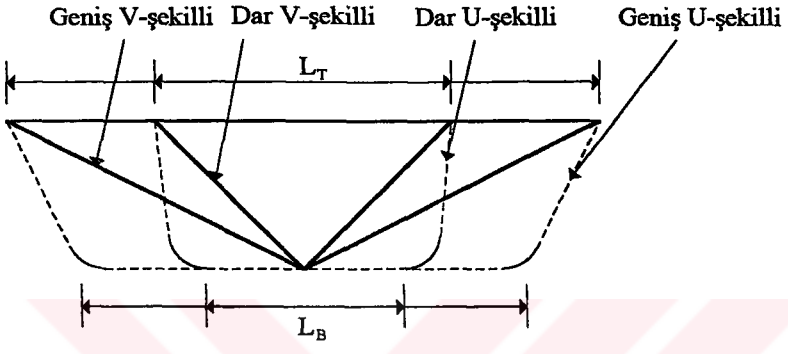
Şekil 2.9. Basınç mukavemeti ve mansap şevi arasında ilişki (Boggs ve Richardson, 1985)



Şekil 2.10. Mansap şevi, kohezyon ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki (Boggs ve Richardson,1985)

Barajın enkesitinin ve kaya kazım derinliğinin belli olması halinde barajdaki beton hacmi hesaplanabilmektedir. Barajın toplam hacmini, elle veya bilgisayar destekli bir program yardımı ile bulmak mümkündür. Vadi şekilleri, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi "V" veya "U" şeklinde alınabilmektedir. Vadi tüm enkesitini dikkate almadan RCC hacmine karar vermek için, Tarbox ve Hansen (1989) tarafından bir formül verilmiştir.

$$V = \frac{(sH)^2(L_t + 2L_b) + 3T_c^2.L_t}{6 \cdot s} \qquad [m^3] \qquad (1)$$



Şekil 2.11. Vadi Şekilleri

Maliyet, uygun agreganın baraj yerine yakın olması durumuna göre hesaplanmıştır. Eğer agregaların başka bir yerden (uzak mesafeden) getirilmesi gerekiyorsa veya daha yüksek bağlayıcı içerikli bir RCC arzu ediliyorsa (yüksek dozda bağlayıcı içeren RCC baraj gibi) (2) formülü ile bulunan maliyet, bu ilavelerden dolayı artacaktır. Benzer olarak, eğer RCC karışımında daha az çimento veya uçucu kül kullanılacaksa, maliyet belirli oranda azalacaktır. Tasarımcı, formülden bulduğu sonuca gerekli ilave veya çıkarma işlemini, tasarım durumuna göre yapması gerekmektedir.

$$M = -49.91 + 0.00143 \cdot V - 0.000000007638 \cdot V^2 + 1.2055 \cdot 10^{-14} \cdot V^3 \qquad (2)$$

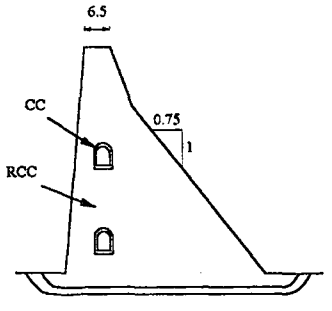
(2) formülünde "M" birim maliyeti, "V" ise RCC hacmini ifade etmektedir. Bu formül; Willow Creek (Oregon), Austin Detention (Texas), Upper Stillwater (Utah), Winchester (Kentucky), Dolet Hills Plant (Louisiana), Galasville (Oregon), Monksville (New Jersey), Middle Fork (Colorado), Grindstona Canyon (New Mexico), elk Creek (Oregon), Lower Chase Creek (Arizona), Stacy (Texas), Stagecoach (Colorado) ve Cuchillo Negro (New Mexico) Barajları birim fiyatlarından yararlanarak (Hansen, 1994), en küçük kareler yöntemi ile ilgili qbasic programlama dilinde bir bilgisayar programı hazırlanarak elde edilmiştir.

Maliyetler, RCC'nin birim m^3'nün ilaveli maliyeti ya da yüzeyin m^2'sinin ilaveli maliyeti olarak hesaplanmaktadır. Çimento bağlayıcı malzemeleri hesaba katan klasik beton yüzey betonun maliyeti, çoğu durumlarda memba tarafındaki düşey yüzeyin kalıbının yapılmasının maliyetini de içerir. Tarbox ve Hansen (1988) yaptıkları çalışmada memba yüzeyinin maliyetinin RCC'nin 0.7646 m^3'ne \$4 ile \$6 oranında ilave olacağını belirtmişlerdir. İlk tasarımda, memba yüzeyinin tasarımı spesifik olarak seçilmemektedir. Bu nedenle, önceki projelere dayanarak RCC'nin 0.7646 m^3'nün maliyetine \$6 oranında bir ekleme yapılması önerilmektedir.

Taşıma maliyetleri belirlenirken, ABD'ndeki 10 adet barajı rehber olarak alınmıştır. Bu maliyet, toplam maliyetlerin %10.43 ile yüksek ve % 0.03 ile düşük yüzdeler arasında olduğu tespit edilmiştir. Ekstrem değerlerin ihmali ile, taşıma maliyetleri %4.70 ile %7.97 arasında gerçekleşmektedir. Ortalama olarak bu değer %5.83 olmaktadır. Yukarıda verilen formül, grafik ve ifadeler yardımı ile, bir RCC baraj için maliyet tahmini yapmak mümkün olmaktadır.

Bir baraj proje maliyetini, değişik gereksinimler ve çoğu baraj bölümlerinden dolayı doğru bir tahmin yapmak oldukça zordur. Hatta bu maliyet tahmininde birkaç kalem dikkate hiç alınmayabilmektedir. Örneğin; rezervuar temizleme, derivasyon ve su kontrolü, temel kazısı, enjeksiyon, drenler, galeriler, mansap yüzeyi, dolusavak, su alma yapıları, çıkış yapıları, enerji dağıtımı ve ölçüm aletleri kullanımı gibi. Bu kalemlerin maliyetlerinin ayrı ayrı ele alınması daha doğru sonuçlar elde etmeği sağlayacaktır. Bu kalemler ayrı ayrı hesaplanmadığı için, RCC hacminin maliyetine bu ilavenin eklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle toplam maliyet bulunurken bu kalemlerin etkisinden dolayı, bulunan maliyetin 0.51'e bölünmesi gerekmektedir. ABD'deki altı projeye ait, RCC barajın maliyeti toplam proje maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Ortalama değer %51 olduğu görülmüştür. Önemle belirtmek gerekir ki barajın toplam maliyeti, barajın kompleksliğinden büyük oranda etkilenmektedir. Barajın inşa edilen diğer bölümlerinin maliyeti kabul edilen %51'i etkileyeceğinden bu oran da artacak veya azalacaktır.

Şekil 2.12'de üzerinden iki kez taşkın debisi geçen Santa Barajı'nın enkesiti verilmiştir.



Şekil 2.12. Santa Eugenia Barajının Enkesiti (CC: Klasik Beton)

2.5.1.2.10. RCC barajların tasarımı ve inşası

Bu tip barajların inşa süresinin kısa olması ve maliyetinin çoğunlukla düşük olması nedeniyle seçimi gittikçe artmaktadır. Örneğin, Copperfield Barajı (ABD), madenciliğe su temini amacıyla inşa edilmiştir. Madenciliğin çalışması için, suyun en kısa sürede temin edilmesi gerektiğinden rcc baraj yapımına karar verilmiştir. Yine, New Victoria Barajı (ABD), en kısa sürede inşa edilmesi gerektiğinden, temel ve diğer koşullarda da sorun olmadığından RCC tipte en düşük maliyete yapılmıştır.

1990'nın sonuna kadar dünyada sadece bir adet RCC baraj 100 metrenin üzerinde inşa edilmiştir.1991-1993 arasında bu değer sekiz olmuştur. Özellikle, yüksek dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar ve RCC kemer ağırlık barajlar daha yüksek olarak inşa edilebilmektedir.

Silindirle sıkıştırılmış beton, kavram olarak kabul görmesine karşın, karışımın elde edilmesinde kullanılan teknikler, karışım oranları, serilen tabaka kalınlığı ve sıkıştırma kalınlığı, memba ve mansap yüzeyleri formu ve kaplamaları konularında değişik görüşler ve uygulamalar bulunmaktadır. Konuyla ilgili olarak yapılan araştırma ve uygulama sonuçlarına göre memba yüzünün dik yapılması kabul edilmiştir. Bununla birlikte, farklı koşullarda uygulanan RCC karışımının içerisindeki optimum çimento ve puzolan oranlarının tespiti ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. Araştırmacılar RCC tasarımıyla yüksek dayanımlar elde edilebileceğini savunmaktadırlar. Kullanılan tabaka kalınlıkları, 20-80 cm arasında değişmektedir. Dolusavak kısmında değişik RCC karışımları kullanılmaktadır.

Önce RCC karışım hesabı yapılır. Hazırlanan karışım kamyonlar veya herhangi bir teknik ile baraj inşa alanına getirilir ve dökülür. Bu malzeme dozerler ile kabaca tesviye edilir. Sonra titreşimli silindirlerle belirli kalınlıkta serilen malzeme belirlenen bir pas'ta (örneğin 4 tampas -4 gidiş, 4 geliş-) sıkıştırılır. RCC barajlarda tabakalar arasında gövde içine su sızıntısının önlenmesi amacıyla değişik tedbirler alınmaktadır. Geçirimsizliği temin için memba yüzü klasik beton ile kaplanarak, PVC malzemesi kullanılarak veya başka geomembran kullanımı ile geçirimsizliğin temin edilmesi sağlanmaktadır.

Optimum tabaka kalınlığı çoğu rcc barajlarda (hemen hemen %70'inde) 300 mm olarak alınmıştır. Geri kalanların çoğu Güney Afrika'da inşa edilen barajların tabaka yükseklikleri 250-400 mm arasında alınmıştır. 1993'te tamamlanmış bütün rcc barajlar (rcd hariç) için yükselti kalınlığı 300 mm olarak alınmıştır. RCD yapılarda, yükselti kalınlığı 500-1000 mm olarak alınmaktadır.

2.5.1.2.11. RCC baraj tipleri

■ Düşük dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar

ABD'de geliştirilen bu RCC karışımında (the lean roller compacted concrete) katkılı çimento ile uçucu kül miktarı 100 kg/m^3'ten daha azdır. Bununla birlikte içerisindeki uçucu kül oranı %40'a kadar çıkabilmektedir. Winchester Barajı (ABD'de) bu metodun ilk örneğini oluşturmaktadır. Bu barajda memba yüzünün geçirimsizliği ilave bir beton tabaka ile sağlanmıştır. Genellikle, 30 cm tabakalar arasındaki segregasyonu önlemek amacıyla kısmi olarak yatak harcı ilave edilmiştir.

Dünyada tamamlanmış RCC barajların çoğunda düşük bağlayıcı içerikli karışımlar kullanılmıştır. Çimento ve/veya puzolan içeriklerinin minimizasyonu ile önemli malzeme korumaları sağlanmaktadır. Puzolan veya ilaveler kullanılmadığı zaman da, depolama, oranlama, karıştırma, malzeme dağıtımı ve taşıma gibi işlemlerde ekonomiklik sağlanmaktadır.

Az dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar ekonomik, hızlı inşa edilebilir ve kısmen kuru kullanım avantajlarına sahiptir. Uygun plastik olmayan ince malzemelerle tasarlanmış zayıf RCC karışımlar, sıkıştırılmış kütle içerisinde düşük permeabilite meydana getirirler. Sızmayı azaltmak veya elimine etmenin değişik metotları vardır. Bunlar nispeten baraj maliyetini artırıcı yönde olmaktadır. Su geçirimsizliği sağlamanın genel bir metodu, RCC tabakaları arasında klasik beton raspaslaması ve yüksek slamp uygulamaktır.

Zayıf RCC karışım tasarımları; bağlayıcı, agrega ve su içermektedir. Tipik çimento içeriği 47 ile 74 kg/m^3 olarak kullanılmıştır. Fakat bazı az oranda bağlayıcı içeren yapılarda daha fazla çimento kullanılmıştır. Genellikle zayıf kalitede agrega mevcut olduğu zaman bu durum söz konusu olmuştur. Bu tip barajlar diğer tip RCC barajlara göre daha fazla ekipman, zaman veya personel gerektirmez. Zayıf RCC barajlar kuru olduğundan dolayı daha erken dağıtılabilmektedir.

■ Normal dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar

Bağlayıcı içeriği (yani çimento ve puzolan) 100-149 kg/m^3 arasındadır. İnşa tarzı düşük dozda bağlayıcı içeren RCC barajlar ile aynıdır. Tip seçimi baraj temeli, vadi şekli ve özellikle mevcut puzolanik malzemenin bulunabilirliliği ile alakalıdır.

■ Yüksek oranda bağlayıcı içeren RCC barajlar

İngiltere'de geliştirilen bu yöntem (high paste content rcc dam) ABD'inde ilk olarak Upper Stillwater Barajı'nda uygulanmıştır. Bu karışımdaki çimento ve uçucu kül miktarı, uçucu kül oranı fazla olmak üzere 150 kg/m^3'ten daha fazladır. Barajın memba ve mansap yüzeylerinin inşasında lazer kontrollü yatay kalıplar kullanılmaktadır. Bu yöntemde tüm RCC kütlesi su geçirimsiz bir eleman olarak ele alınmakta ve 30 cm'lik tabakalar arasında yatak harcı kullanılmaktadır. Bu betonun yüksek dayanım ve kohezyon özellikleri, baraj mansap yüzünün daha dik inşa edilmesine ve baraj gövdesi hacminin azaltılmasına imkan tanımaktadır.

Tasarımın temel ilkesi, yüksek dozda bağlayıcı içeren RCC baraj felsefesidir. Böylece tamamlanmış barajın performansı klasik beton barajdan oldukça daha iyi olmaktadır. Bu performansı göstermesi bu tip barajın ilk tasarım ilkesidir. Bütün yapı geçirimsiz olarak düşünülerek tasarlanmaktadır. Yüksek dozda bağlayıcı içeren RCC barajların ikinci tasarım ilkesi, inşa metodunun mümkün olduğu kadar basit ve hızlı olmasıdır. Bu iki kriterin başarılması için yapının bir bütün olarak (yapının enkesiti, dolusavağı, galerileri, karışım oranları gibi) ele alınması gerekmektedir.

Her baraj tasarımı, o baraj yerine ait özel durumlara bağlı olacağından her baraj için farklı faktörler ile karşılaşmak mümkün olmaktadır. Enkesit tasarımı için belirli bir tanımlama yapmak bu nedenle doğru olmamaktadır. Genellikle Boggs ve Richardson, (1985) tarafından verilen grafiklerden yararlanarak mansap şevine karar verilmektedir. Bağlayıcı malzemenin maliyeti, arzu edilen kayma gerilmesi özellikleri (böylece daha dik mansap şevi), daha küçük hacim ve düşürülmüş taban genişliği arasında optimum dengenin kurulması ile en iyi çözüm aranmaktadır. Bu tip barajların enkesiti diğer RCC barajlar ile aynıdır.

Bağlayıcı içeriği genellikle 150 kg/m^3 olarak alınmaktadır (Dunstan, 1994). Eğer uçucu kül kullanılacaksa 50 kg/m^3 portland çimentosu ve 100 kg/m^3 uçucu kullanılması araştırmalar sonucu önerilmiştir. Eğer yüksek fırın cürufu veya tabii puzulan kullanılacaksa oranlar değişecektir. Bu karışım oranlarıyla mansap şevi 0.70 yatay: 1 düşey olacak şekilde projelendirilmektedir. Permeabilite değeri 5x10^{-9} ile 1x10^{-10} m/s arasında olmaktadır. Bunu başarmak için 190 kg/m^3'lük bağlayıcı içeriği gerekmektedir. Portland çimentosu 50 kg/m^3 ve 140 kg/m^3 uçucu kül ihtiva etmelidir. Bu özellikteki bir RCC baraj için mansap şevi 0.77 yatay: 1 düşey olacak şekilde projelendirilmesi uygun olmaktadır. Bununla birlikte bağlayıcı içeriğini 230 kg/m^3' e çıkararak (70 kg/m^3 portland çimentosu ve 160 kg/m^3 uçucu kül) mansap şevi oranında azalma sağlamak mümkün olmaktadır. Böylece, 0.725 yatay: 1 düşey olabilmektedir. Gerekli maliyet analizi yapılarak optimum sonuç temin edilmeğe çalışılmalıdır.

■ RCD barajlar

Japon mühendisler, RCC baraj yaklaşımını topoğrafik, hidrolojik ve jeolojik problemlere karşı daha itinalı bir çözüm olarak ele alıp, üzerinde gerekli çalışmaları başlatmışlardır. Tokyo Üniversitesinde Prof. Emeritus ve Masatane Kakubu, RCD araştırma komüsyonuna başkanlık etmişlerdir. Komitenin yirmi üyesi bu metodun daha hızlı inşası, optimum malzeme kullanımı ve özellikleri konularında bir dizi çalışmalar sürdürmüşlerdir. Araştırmacıların ilk hedefleri inşa maliyetini düşürmek olmuştur. İkinci hedef, Japonya'da inşa edilen beton barajların yerine, bu rcd metodunun uyarlanması olmuştur. Bu tasarım, depreme karşı dayanıklı olarak düşünülmüştür. Temelde bunun gibi özel nedenlerden dolayı, radye temel yapımına gidilmiştir. RCD'lerin tasarım kriteri, klasik beton barajlarla aynı mantıkla ele alınmaktadır. Tasarımda, geçirimsizlik, dayanım ve durabilite problemleri ön planda ele alınan parametrelerdendir. Bu metot, ABD'lerinde geliştirilen rcc yönteminden daha pahalı ve zaman açısından daha uzun sürede inşa edilmektedir.

1981 yılında tamamlanan, 320 000 m^3'lük hacme ve 89 m'lik yüksekliğe sahip olan Shimajigawa Barajı, dünyanın RCD inşat yöntemiyle yapılan ilk barajıdır. Bugün 1.50'den 2.0 milyon m^3'lük hacme ve 150 metreden fazla yüksekliğe sahip olan Miyagase ve Uruyama Barajları inşa edilmiştir. 1995'in sonunda 20 baraj RCD tekniği ile inşa edilmiş ve 20 RCD tipteki baraj projesi de hazırlanmıştır (Nakagawa, 1996). Japonya'nın nüfusu gittikçe arttığından yeni enerji üretimlerine gereksinim olmuştur. Japon tasarımcılar geliştirdikleri bu baraj tipinden azami oranda yararlanma yoluna gitmişlerdir. 1985-1995 yılları arasında 300 yeni baraj inşa etmişlerdir. Bunların büyük bir çoğunluğu 30 m'nin üzerindedir ve bu barajların çoğu beton ağırlık tiptedir. Çizelge 2.9'da bazı inşa edilmiş rcd barajlar ve özellikleri verilmiştir.

Yüksek nüfus yoğunluğu, kısa süreli yüksek hacimli taşkınlar, dik nehir eğimleri tasarımcıları daha ekonomik davranmak zorunda bırakmıştır. Çünkü, derivasyonlar çoğunlukla güç şartlarda ve oldukça pahalı yapılabilmektedir. Dolusavaklar tüm baraj tipleri için büyük boyutlara sahip olmaktadır. İnşa esnasında baraj üzerinden su aşması ve dolusavak boyutları çok büyük olduğundan maliyet oldukça artmaktadır. Bu zorunlu şartlar tasarımcıları baraj gövde inşasında daha ekonomik davranmaya itmiştir. Özellikle dolgu barajlarda dolusavak ayrı bir yerde inşa edildiğinden, maliyet daha da artmaktadır. 1982'den itibaren inşa halindeki ve tasarlanan 291 barajın %70'i beton baraj olarak planlanmıştır. Bu nedenle, Japonlar için RCD teknolojisi oldukça önem taşımaktadır.

Japonya'da bir barajın kaymasının acı neticeleri özellikle hem tasarımcılar ve hem de mansap tarafındaki halk üzerinde büyük etki bırakmıştır. Bu hadise, Japon tasarımcıları, klasik beton baraj tasarımında ihtiyatlı davranmaya itmiştir. Tasarımda, inşa hızı ve ekonomiklik önemli ilkelerdendir. Fakat, Japon baraj tasarımcıları deprem vb. etkilere karşı daha iyi performans gösterecek bir tasarımı

daha öncelikli olarak ele almaktadırlar. RCD barajların enkesiti, memba ve mansap yüzeylerinin özellikleri ve su geçirimsizlik gibi kriterler dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Geliştirilen rcd için kullanılan beton karışımı plastik olacak ve optimum sıkışabilirlilik için işlenebilir olacak tarzda tasarlanmaktadır. Zemin yaklaşım karışımları ile karşılaştırıldığında rcd nispeten ıslak, yüksek ince taneler içererek teşkil edilen bir malzeme şeklinde olduğundan, beton yaklaşımına daha uymaktadır.

Çizelge 2.9. Japonya'da İnşa Edilen RCD Barajların Bazı Özellikleri

Barajın Adı	Yüksekliği (m)	Barajın Top. Hacmi (m^3)	C+FA (kg/m^3)
Shimajigawa (1980)	89	317 000	91+39=130
Shin-Nakona (1982)	75	11 300	84+36=120
Ohkawa (1984)	78	265 000	96+24=120
Tamagawa (1986)	100	1 154 000	91+39=130
Mano (1987)	69	219 000	96+24=120
Pirika (1988)	40	360 000	84+36=120
Shiromizugawa (1988)	55	315 000	96+24=120
Asahiogawa (1988)	84	361 000	96+24=120
Nunome (1988)	72	370 000	78+42=120
Dodairagawa 1990)	70	346 000	96+24=120
Kamuro (1991)	61	298 000	96+24=120
Sakaigawa (1991)	115	712 000	91+39=130
Asari (1992)	74	484 000	96+24=120
Ryumon (1991)	99.50	844 000	91+39=130
Gassan (1991)	125	1 450	91+39=130
Hattabara (1991)	85	500 000	84+36=120
Miyagasa (1994)	155	1 914 000	91+39=130

Bütün RCD projelerinde tüm yüzeyler kalıplara karşı kütle betonu kullanılarak şekillendirilmiş ve korunmuştur. Memba yüzeyleri daha kalın olarak teşkil edilmektedir, tipik olarak 3 m kalınlık kullanılmaktadır. Mansap yüzeyi 2 ile 3 m kalınlıklar arasında değişmektedir. Klasik beton temel radyesi yaklaşık olarak 1,5 ile 3 m kalınlıklarda olmaktadır. Enine inşa derzleri ve su tutucular memba ve mansap yüzeyleri için kullanılmaktadır.

RCD metodunun klasik beton barajlara olan potansiyel faydaları; daha düşük maliyet, daha büyük emniyet ve inşa hızı olarak sayılabilir. Aralarında bir karşılaştırma yapıldığında normal şartlarda rcd, klasik beton ağırlık baraja göre %40 daha ucuza mal edilmektedir. Bu maliyet koruması; daha az işçilik, taşıma maliyetinin daha az olması, betonu sıkıştırma maliyeti daha az, çimento miktarı daha az, daha fleksibil yayma işlemi, serinletme borularının kullanılmaması ve kalıp kullanmadaki azalma gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Japonya'da geliştirilmiş olan RCD teknolojisi karışımda, 120 ile 140 kg/m^3 arasında bağlayıcı ve bunun %30'u puzolandır. RCD karışımı üç ve dört katman halinde serilmekte ve tabaka kalınlığı 60 ile 70 cm'ye ulaştığında sıkıştırılmaktadır. Bu uygulamada derzler sıkıştırma sonrasında memba yüzünden mansaba kadar kesilmekte ve serilen tabakaların tüm yüzeylerine yatak harcı uygulandıktan sonra diğer katmanlara geçilmektedir. Bununla birlikte, barajın memba ve mansap yüzeylerine 2.50 ile 3.00 m'lik klasik beton tabakaları inşa edilmektedir. Bu tip barajların enkesitleri klasik beton ağırlık baraj enkesitlerine benzerdir.

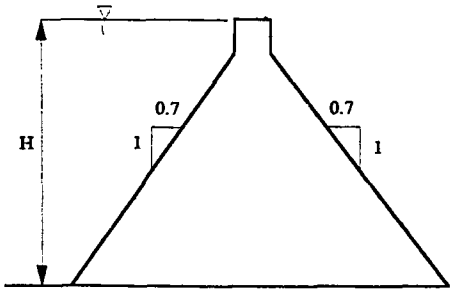
■ Simetrik yüzlü sıkı dolgu baraj (FSHD)

FSHD barajlarda esas amaç, RCC baraj malzemelerinden optimum oranda yararlanmak istenmektedir. Bu yeni tasarımın temel ilkeleri; simetrik bir enkesit, su geçirmez bir memba yüzeyi, baraj gövdesinde iç drenajın olmaması ve RCC'nin zayıf kullanımıdır. İşte bu zayıf bağlayıcı içeren tasarım "hardfill" diye isimlendirilmektedir. Bu tasarımın ana avantajları; baraj gövdesinde ve temelde düşük gerilmeler; hardfill'in düşük maliyeti ve klasik beton ağırlık barajlardan özellikle deprem durumunda daha emniyetli olması, olarak sayılabilir.

RCC baraj teknolojisinde, zaman ilerledikçe yeni malzeme oranları ve yeni yapı yöntemleriyle en iyi çözüm arama gereği duyulmuştur. RCC barajlara alternatif bir kullanım olan, düşük mukavemetli ve geçirimli sıkı dolgu kavramı bu yeniliklerdendir. Bu baraj tipi "simetrik yüzlü sıkı dolgu baraj" olarak isimlendirilmektedir. Bu tip baraj yüksek derecede maliyet ve emniyet avantajına sahip olmaktadır.

100 m yüksekliğinde memba ve mansapta 0.7 yatay/1 düşey şevlere haiz bir FSHD barajın temelindeki gerilmeler bir KBA (Klasik Beton Ağırlık) baraj için verilen değerlerle karşılaştırıldığında fark açıkça görülmektedir. Baraj tabanındaki basınç mukavemeti değeri, KBA barajlara göre daha az olmaktadır. 100 m yüksekliğindeki bir FSHD barajda maksimum basınç mukavemeti 1.50 MPa'dan daha düşüktür. Çekme gerilmesine gerek olmamaktadır, çünkü simetrik profilde çekme gerilmeleri olmamaktadır. Kayma gerilmesi çok düşüktür, kesinlikle kritik değerde olmamaktadır. Memba topuğunda 2.4 MPa yerine 1.4 MPa olmaktadır. Farklı kaldırma basınçları için değişen ϕ açısı klasik beton ağırlık barajlarda 28° ile 43° iken FSHD barajda bu değer 14° ile 22° olmaktadır. Hardfill barajın birim ağırlığı RCC'nin birim ağırlığından daha az olmaktadır. 0.4 MPa'lık önemsiz çekme gerilmeleri olabilmektedir. 0.2g ivmelik bir depremde hiç çekme gerilmeleri oluşmamaktadır. Bu kriter KBA barajlar için önemlidir (Londe and Lino, 1992).

KBA baraj ile FSHD arasında diğer önemli fark kayma gerilmeleridir. Ortalama kayma gerilmesi 0.63 MPa yerine 0.36 MPa olmaktadır. Bu nedenle düşük mukavemetli kaya temeller kabul edilebilir. Hatta temeller tektonik kayma düzlemleri içermesi durumunda gerekli temel işlemleri yapılarak FSHD baraj bu temeller üzerine inşa edilebilir. Bir kural olarak, FSHD 0.7 şevler ile bir klasik ağırlık barajdan emniyet bakımından daha iyi olmaktadır. Burada temel zayıf kaya olabilir. Bu baraj tipi bir KBA baraj inşası temel şartlarından dolayı uygun olmadığı zaman inşa edilebilir.



Şekil 2.13. FSHD Baraj Enkesiti

FSHD barajlarda yük temele üniform olarak yayılmaktadır. Bu klasik ağırlık barajdan temel bir farkı oluşturmaktadır. Bu durum özellikle düşük modüllü kaya temellerde önemli olmaktadır.

Bu baraj tipinin şevlerinin alternatif olarak parabolik yapılması yine araştırmacılar tarafından önerilmektedir. Bu önerilerdeki esas amaç gövde hacmini küçültmektir. Yapılan çalışmalarda her iki yüzeyin parabolik olarak yapılabileceğini, barajın performansını etkilemediği ifade edilmiştir.

Agrega rasgele alüvyon veya minimum işlemle elde edilen zayıf taşocağı kayası olabilmektedir. Dereceleme düzeltmeleri elimine olmaktadır. Dolgudaki yerel segregasyonlar, düşük mukavemet gereksinimleri için zararlı olmamaktadır. Yüksek ince malzeme oranı %30'a kadar alınabilmektedir.

Memba yüzeyi, FSHD'nin önemli bir bileşenidir. Bu kavram ÖYBK kaya dolgu barajlardaki uygulama ile aynıdır. Geçirimli bir dolgu yüzeyi, geçirimsiz bir yüzey kaplama ile örtülmektedir. Memba yüzeyi, dolgu yerleştirilmesinden sonra yapılmaktadır. Yüzeyin şekillendirilmesinde kayar kalıplar kullanılmaktadır. Donatı daha azdır, deformasyonlar daha az olmaktadır. Temel tabanında memba yüzeyinin arkasına yerleştirilmiş drenlerin bakım ve kontrolü için uygun boyutta yapılmalıdır. Mansap yüzeyi kalıp kullanılmadan şekillendirilir. Parabolik kesit benimsenmişse o zaman yüzeyler hazır kalıp kullanılarak şekillendirilebilir.

Dolusavak baraj gövdesi üzerine yerleştirilmektedir. Kret düzenlemesi, ÖYBK kaya dolgu barajlardaki en son tasarım şekli ile benzerdir. Bir FSHD'nin hacmi bir klasik beton ağırlık baraj hacminden daha fazladır. İlk akla gelen, RCC barajlara göre maliyet durumunun nasıl olduğudur. FSHD barajlarda zayıf temeller kabul edildiğinden ve ucuz agregalar ve ödünç malzeme ocağının yakın olması gibi nedenlerden ötürü ekonomik olmaktadır.

BaCaRa (Fransa'da devlete bağlı bir araştırma kurulu) tarafından RCC barajlara göre maliyet karşılaştırılması yapılmış, maliyet oranı 1.7 olarak bulunmuştur. Tipik bir RCC baraj üçüncü sınıf agrega, 100 kg/m^3 çimento, 50 kg/m^3 uçucu kül, inşa derzleri ve yükselti işlemlerine göre dikkate alınmıştır. Hacim karşılaştırması FSHD barajın her iki yüzey şevi 0.7 alınarak yapılmıştır. Memba yüzeyi maliyeti toplam maliyetin yaklaşık %10 olmaktadır. Yükseklik ne olursa olsun yüzey maliyeti 5

m kalınlıklı bir ilave hardfilin maliyetine denk olmaktadır. Dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiş RCC barajlar ile karşılaştırmalar yapılmış ve bu baraj tipinin daha ekonomik olduğu savunulmuştur (Londe and Lino, 1992).

FSHD baraj tip seçiminde ekonomik olması sadece tercih nedeni değildir. Aynı zamanda temel gereksinimleri ve daha emniyetli olması da etkendir. Geoteknik açıdan kaya dolgu baraj inşa edilecek bir yerde, FSHD baraj da inşa edilebilir. 20'den fazla FSHD baraj inşa edilmiştir. Bunların yükseklikleri 20 ile 180 m arasında değişmektedir.

2.5.1.3. Kemer barajlar ve tecrübeler

Kemer barajlar, planda eğri olan ve su yükünün büyük bir kısmını kemer tesiri ile yatay olarak yamaçlara aktaran beton bir baraj tipidir. Böylece vadide yamaçların, barajın kemer gibi çalışmasından doğan normal gerilmelere dayanabilecek sağlamlıkta olması gerekmektedir. ABD'de ilk kemer baraj Bear Valley Barajıdır. Bear Valley gibi ilk inşa edilen barajlar kârgir olarak inşa edilmiştir. Fakat kemer baraj teorisi geliştirildiğinden beri bütün kemer barajlar betondan yapılmışlardır. Diğer baraj tipleri ile karşılaştırıldığında dünyada sadece birkaç kemer baraj yıkılmıştır. Çizelge 2.10'da yüksek kemer barajlara örnekler verilmiştir.

Türkiye'de ilk kemer barajı Sakarya Nehri üzerinde inşa edilen ve 1972 yılında işletmeye açılan 145 m yüksekliğindeki Gökçekaya Barajıdır. Bu baraj elektrik enerjisi üretmek amacıyla inşa edilmiştir (Ertaş, 1987).

Çizelge 2.10. Bazı büyük kemer barajlar (Linsley, 1992; Novak, 1990)

Baraj Adı	Ülke	Yükseklik (m)	Uzunluk (m)	Tepe genişliği (m)	Taban kalınlığı (m)	Hacim 1000 m^3	Çap	Rezervuar kapasitesi 10^6 m^3
Vaiont	İtalya	262	190	-	-	351	Değişken	169
Contra	İsviçre	230	380	-	-	660	-	86
Hoover	Arizona	222	380	13.7	202	2 485	Sabit	34 800
Glen Canyon	Arizona	214	473	7.6	104	3 700	Sabit	33 300
Kurobegawa	Japonya	186	490	-	-	1 365	-	200
Tignes	Fransa	181	376	-	-	635	Sabit	230
Hungry Horse	Montana	159	645	11.9	101	2 220	Değişken	4 320
Bhumiphol	Tayland	154	486	-	-	1 000	-	1 220
Morrow Point	Colorado	143	230	3.7	16	275	Değişken	144
Owyhee	Oregon	127	254	9.2	81	373	Sabit	1 380
Pacoima	Kaliforniya	114	195	3.1	30	172	Değişken	7
Shannon	ABD	80	151	6.1	41	101	Sabit	163
Cheeseman	Colorado	72	217	5.5	54	79	Sabit	99
Calderwood	Tennessee	70	248	7.6	15	305	Değişken	42

-: Eksik bilgi

Ağırlık barajlarının kesit taban genişliklerinin yüksekliklerine oranı (rölatif genişlikleri) çoğunlukla 0.75 - 0.85 arasında olduğu halde kemer barajların rölatif genişlikleri 0.20 ile 0.60 arasında

değişmektedir. Bir kemer baraj, alternatif bir ağırlık barajı için gerekli olanın yaklaşık %30'u kadar betonla yapılabilmektedir. Kemer barajlar ağırlık barajlarına nazaran sadece daha ekonomik olmayıp aynı zamanda daha da emniyetlidirler. Temel mukavemetinin yeterli olması durumunda yükün artması baraj emniyetini azaltmamaktadır (Linsley vd., 1992). Şekil 2.14'te bir kemer baraj fotoğrafi görülmektedir.



Şekil 2.14. İnce Kemer Baraj Fotoğrafı

Baraj gölünde toplanan suyun basıncının eşit dağılması, temel koşulları göz önüne alınarak ince kemer baraj ya da kemer ağırlık baraj tipte inşa edilmektedir. Kemer barajlar, emniyet bakımından iyi bir baraj tipidir. Yapılan deneyler (Fransa'da Gage Barajı'nda, 1954) kemer barajların normal basıncın 3-4 katı daha fazla su basıncına dayanabildiğini göstermiştir. Bununla beraber yamaç kayaçlarının çok sağlam ve inşaat esnasında baraj gövdesiyle çok iyi kenetlenmesi gerekmektedir. Yamaçta kayaya seri merdivenimsi şekil verilerek gerilmelerin uygun yerlerde toplanmasına, betonda çatlakların oluşmamasına çalışılır. Ayrıca kemere mümkün mertebe büyük açı (>133°) verilir.

Kalın tipte yamaçların (abatmanların) sağlam ve basınç dirençlerinin en az 7.5 MPa ince ve kupola tipte 10 MPa olması gerekmektedir. Kemer barajlar diğer tiplere nazaran daha az malzeme, buna karşılık özel kalıp işçiliği ve kaliteli beton dökme tekniği gerektirmektedir.

2.5.1.3.1. Uygulama yerleri, tercih sebepleri ve üstünlükleri

- 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'ninde bu oran 4'ten düşüktür.
- U Şekilli dar vadiler
- Kemer barajların tip olarak seçilebilmesi için, vadi tabanının ve yamaçlarındaki kayanın sağlam ve taşıma gücünün de yüksek olması gereklidir. Aynı zamanda temel kayada, kemer yüklerinin akış yönüne dik yönde büyük çatlaklar, faylar, tabakalaşma ve yapraklaşmanın bulunmaması gereklidir.
- Diğer beton baraj tiplerine göre beton hacminde büyük ekonomiklik sağlanmaktadır.
- Baraj kesiti ince olduğu için baraj duvarları daha esnektir; bu nedenle aşırı yüklenmelere karşı hassasiyet azalarak daha büyük emniyet gerilmelerine müsaade edilir.

- Beton emniyet gerilmeleri sonuna kadar kullanılır.
- Kaya ve toprak dolgu baraj malzemesinin teminin zor olduğu veya çevresel şartların (çevrecilerin etkisi gibi) dolgu baraj yapımına izin vermediği durumlarda gerekli topoğrafya ve jeolojik koşullar sağlandığında kemer baraj seçilebilmektedir.
- Vadi oldukça sarp olduğu vadinin dar olduğu dolgu malzeme taşınmasının zor olduğu yerlerde seçimi uygundur.

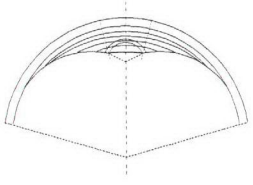
2.5.1.3.2. Kemer barajların tipleri ve tasarımı

Genellikle K değeri küçük ve eşit 6 olan dar vadilere uygulanabilen kemer barajlar üzerlerine gelen yükleri yapısal davranışlarına uygun olarak yamaçlara ve temellere aktarırlar. Kemer barajların eğrilikleri ve kalınlıkları yapı üzerinde değişiklik göstermekte, topoğrafik koşullara bağlı olarak her zaman simetrik bir yapı oluşturmak mümkün olmamaktadır. Su alma yapıları, dip savak yapıları kontrol elemanları bu tür yapılarda süreksizlik oluşturduğundan analizler dikkatlice yapılmalıdır.

Düzensiz geometriye ve süreksizliklere sahip olan bu tür yapıların çözümünde bilgisayar kullanılması, bu barajların güvenilirliliğini daha da artırmaktadır. Kemer barajlar su basıncını kemer etkisi ile yamaçlara aktararak ağırlık barajlara oranla çok narin bir kesit ve önemli beton tasarrufu sağlamaktadır. Baraj tipinin belirlenmesi aşamasında kalınlığın artması halinde baraj tipi kemer ağırlık veya RCC kemer ağırlık tipte yapılması düşünülebilir.

- **Sabit yarıçaplı kemer barajlar**

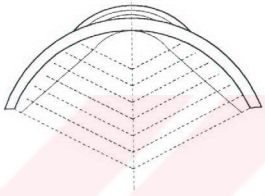
Bütün yatay kesitlerde yarıçap sabittir. Bu tipteki barajların V-şekilli vadilere inşası uygun değildir. Çünkü, tabana doğru vadi daralmakta ve açıklık açısı da küçülmektedir. Bu durumda barajın alt kısmının eğriliği azaldığından bu bölümde kemer tesiri etkili olmamaktadır. Bu tip kemer barajlar dik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



Şekil 2.15. Sabit Yarıçaplı Kemer Baraj (Erkek ve Ağıralioğlu, 1993)

- **Sabit merkez açılı kemer barajlar**

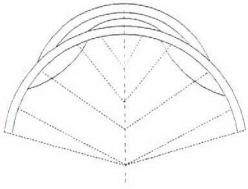
Bütün kemer yaylarında merkez açısı sabit olan bu tip kemer barajlarda tabana doğru yarıçap küçüldüğünden, alt kısımda daha iyi kemer tesiri elde edilmektedir. Sabit yarıçaplı barajlara göre bu tip barajlar daha ince yapılabildiğinden, daha elastik ve daha emniyetlidir. Sabit merkez açılı kemer barajlar V-şekilli üçgen tipli veya parabol şekilli yüksek vadiler için uygun bir baraj tipidir. Vadi genişliğinin baraj yüksekliğine oranı L/H=6 olması uzmanlar tarafından tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.16. Sabit Merkez Açılı Kemer Baraj

- **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 açılı (çift eğrilikli) kabuk ve kubbelerin değişik tip ve şekilleri kemer baraj olarak düşünülebilir. En çok silindirik kabuklara yaklaşan dönel kabuklar, düşey veya eğik hiperbol paraboloidler kullanılmaktadır. Hesaplar kabuk teorisinin kemer barajlara uygulanması şeklinde yapılmaktadır.

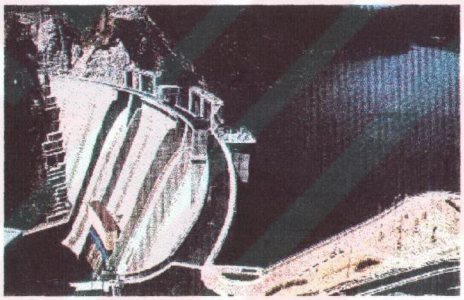


Şekil 2.17. Değişken Yarıçaplı Ve Merkez Açılı Kemer Baraj

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

2.5.1.4. Kemer ağırlık barajlar ve tecrübeler

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. Kemer ağırlık barajlar temel ve yamaç kayaçlarının litolojik yapılarına, baraj yüksekliğine göre boyut almaktadır. Bir vadide vadinin kayaçlarının yapısına göre ince kemer veya kemer ağırlık tipte yapılmasına karar verilir. Örneğin Karakaya Barajı (Türkiye) kemer ağırlık tipte inşa edilmiş ve üzerine on adet kapaklı dolusavak yerleştirilmiştir. Bu baraj ince kemer tipte olsaydı üzerine on adet kapaklı dolusavak yerleştirmek kesinlikle mümkün olmayacaktı. Kemer ağırlık tipi hem litolojik ve hem de dolusavak kapasitesi, yeri konumu ve vadi şekli tarafından etkilenmektedir.



Şekil 2.18. Kemer Ağırlık Baraj Fotoğrafı

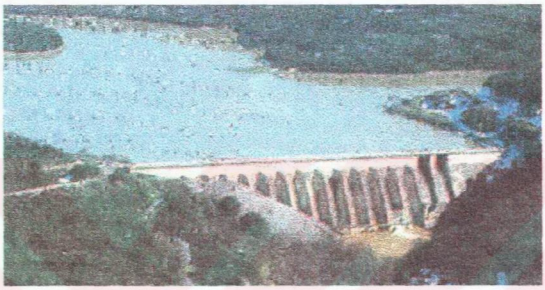
Kemer barajlarda statik stabilite analizi SAP 90, ANSYS vb. sonlu elemanlar paket programları kullanılarak yapılması günümüzde oldukça basittir.

2.5.1.5. Payandalı barajlar ve tecrübeler

Ağırlık barajlarda malzemenin, emniyet gerilmesine bağlı olarak, 2/3'ü - 3/4'ü devrilme ve kaymaya karşı emniyet sağlayan bir ağırlık olarak iş görür. Yüklerin, emniyet gerilmesine yakın gerilmelerle temele aktarılması ise hacim olarak 1/3 - 1/4'ü tarafından sağlanır. Ağırlığın 1/3 -1/4'ü taban su basıncını yenmek için kullanılır. Başka bir ifade ile, ağırlık barajlarında malzeme, yüksekliğin fazla olması durumunda gövdenin belli kısımlarında emniyet gerilmesine yakın gerilmelerle çalışır.

Kemer barajlarda ise beton her yerde yüksek gerilmelere çalıştırılarak önemli malzeme tasarrufu sağlanır. Bununla birlikte kemer baraj yapımına elverişli olmayan mevkilerde malzemeyi dayanabileceği kadar yükleyerek malzeme tasarrufu sağlamak için payandalı barajlar elverişli olmaktadırlar.

Bu tip barajlar, su basıncına (itme ve döndürme) karşı koymada düz ya da hafif eğimli bir plak ve plağı takviye eden payandalardan ibarettirler. Su basıncı payandalar tarafından temele aktarılır.



Şekil 2.19. Payandalı bir baraj fotoğrafı

Bu tip barajlarda daha az malzeme ve beton kullanılmakta ve daha az kazı yapılmaktadır. Ayrıca baraj ile ilgili diğer yapılar (boşaltma kanalı, santrallar gibi) payandalar arasına yerleştirilerek ekonomiklik sağlanmaktadır. Bu tip baraj yapımında kaliteli beton dökme ve kalıp işçiliği önemlidir ve bu nedenle maliyet artabilmektedir.

2.5.1.5.1. Uygulama yerleri ve tercih sebepleri

- Baraj yeri olarak geniş ve yamaçları tatlı bir eğime sahip vadilerde, orta yükseklikte (H=50-80 m) bir baraj planlanması durumunda,
- Baraj temel kayacında yer yer taşıma gücü yetersiz kısımların (sadece payandaların sağlam zemine oturması yeterli) bulunması halinde,
- Geniş vadiler,
- 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,
- Ağırlık barajlarına göre sağladığı avantajların önem kazandığı durumlarda,
- Vadi görünümüne canlılık getirilmek istenmesi, gibi durumlarda,
- Eğer temel kayacında kısmen zayıf bölümler varsa bu yerlerde,
- Yörede bol miktarda tabii malzemenin olmadığı yerlerde,
- İşçilik ücretlerinin oldukça düşük olduğu yerlerde,

- Taban su basıncının beton ağırlık barajlara büyük boyutlar kazandıracağı yerlerde,
- Tabii malzeme kullanımına çevrecilerin tepki ve yetkilerinin olduğu yerlerde,
- Turizm bölgesi olan toprak malzeme taşınmasının kısıtlı olduğu yerlerde,
- İnşaatta kullanılacak su eksikliği olan yerlerde,
- Birleşik baraj inşası gerektiren yerlerde payandalı barajlar tercih edilebilir.

2.5.1.5.2. Payandalı barajların avantajları ve mahsurları

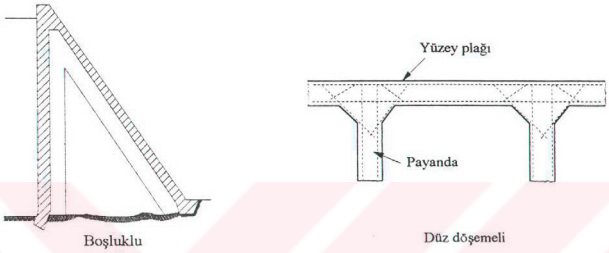
- Malzemeden klasik beton ağırlık barajlara göre %30-70 oranında tasarruf sağlanır; (Ancak bu tip barajlarda kullanılacak inşaat demiri ve kalıp miktarı doğal olarak artacağından işçiliğin ucuz olduğu ülkelerde uygulanması daha ekonomik olmaktadır).
- Beton priz ısısını daha iyi ve ekonomik olarak dışarı verir.
- Taban su basıncının büyük alana etki etmesi önlenir.
- Statik sistem daha açıktır.
- Barajın her yeri gözetlenerek kontrolü daha kolaydır.
- Çok büyük genişliklerde boyuna çatlakların oluşması tehlikesi azalır.
- Eğik memba yüzü üzerindeki suyun ağırlığı stabiliteye önemli katkıda bulunur.
- Ayaklar arasındaki tabii zeminden taban suyu kolayca sızabildiği için payandaların maruz kaldığı taban su basıncı ağırlık barajlarınkine nazaran çok az olur.
- Baraj yükseklik ve tipine bağlı olarak, alternatif bir ağırlık barajı için gerekli malzemenin %30-70'i yeterlidir.
- Nispeten esnektirler ve temelde meydana gelecek farklı oturmalara uyabilir. Fakat farklı kısımlarda büyük oturma farkları olduğu takdirde yıkılma tehlikesi vardır.
- Malzeme tasarrufu her zaman payandalı barajların daha ekonomik olacağı anlamını taşımamaktadır. Çünkü yüksek dozlu beton, çok fazla kalıp, kalifiye kalıp ve beton işçiliği gerektirirler. Ayrıca payandalı barajların bütün elemanları betonarme olarak yapılmaktadır. Sağlam kayanın çok derinde bulunması halinde sadece payandaları sağlam zemine oturtmak gerektiğinden temel için gerekli malzeme miktarı da az olacaktır. Böyle durumlarda işçiliğin ucuz, malzeme ve nakliye ücretlerinin pahalı olduğu yerlerde uygun biçim ve boyutlu bir payandalı baraj daha ekonomik olabilmektedir.
- Beton gözeneklerine nüfuz eden suyun donup çözülmesi betonun dağılmasına sebep olur. Bu yüzden sık bakım gerektiren pek çok baraj vardır. Memba yüzünde tam bir sızdırmazlık sağlanarak bu mahsuru ortadan kaldırmak mümkündür. Fakat yine de don bölgelerinde kullanılması tercih edilmemektedir (Bu sakınca, tabliyeli ve çok kemerli tipler için söz konusudur).
- Elemanları narin olan payandalı barajlarda üstten su aşması halinde meydana gelecek titreşimler tehlikeli olabilir. Projelendirmede bu tür dinamik etkilerin dikkate alınması gerekmektedir.

2.5.1.5.3. Payandalı baraj tipleri

Payandalı barajlar planda genellikle düz kretli olarak planlanır. Suyun kabarmasını sağlayan memba yüzeyi düşey veya eğik olabilir. Barajın kayma emniyetini arttırmak için memba yüzeyi genellikle (1/1) olarak planlanmaktadır. Payandalı barajlar, suyu tutan memba yüzeyinin ve payandaların özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Payandalar dolu gövdeli veya ince beton perdelerle çevrilmiş olması durumuna göre dolu gövdeli ve boşluklu (çift duvarlı) payanda olarak isimlendirilir.

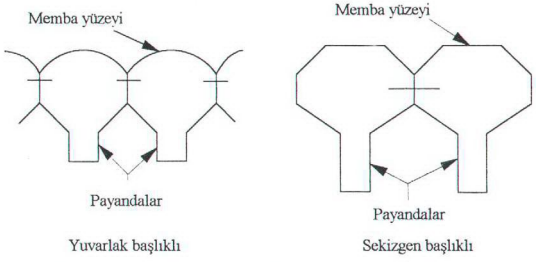
Memba yüzeyi payanda ile yekpare olan barajlar boşluklu ve geniş başlıklı payandalı barajlar, memba yüzeyinin şekline göre de düz döşemeli, çok kemerli ve kubbeli payandalı barajlar olarak sınıflandırılırlar (Creager vd., 1957).

Boşluklu payandalı barajlarda, payandalar aralarında boşluk kalacak şekilde birleştirilmiş olan kesitler kullanılmaktadır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20-21. Boşluklu ve düz döşemeli payandalı baraj enkesiti (Creager vd, 1957)

Düz döşemeli payandalı barajlarda, payandalar arasındaki beton perdeler aldıkları yükleri payandalara, onlar da zemine aktarır. Payanda aralıkları 5 ile 8 m arasında değişmektedir. Su yükünü taşıyan döşeme aşağıya doğru kalınlaşmaktadır. Tabliyenin payandalar arasında münferit veya birkaç payandaya dayanan mütemadi kısımlar halinde yapılabilir. Döşemenin payandalarla birlikte dökülüp dökülmemesine göre ankastre perdeli, serbest perdeli, konsollu payandalı baraj olarak isimlendirilir (Şekil 2.21).

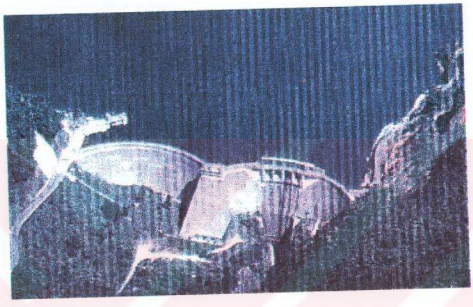


Şekil 2.22. Yuvarlak ve sekizgen başlıklı payandalı baraj (Creager vd., 1957)

Geniş Başlıklı Payandalı Barajlarda, memba yüzeyinde perde yerine payandaların uçları genişletilerek payanda araları doldurulur. Genişletilen payanda başının şekline göre; düz ve dolu

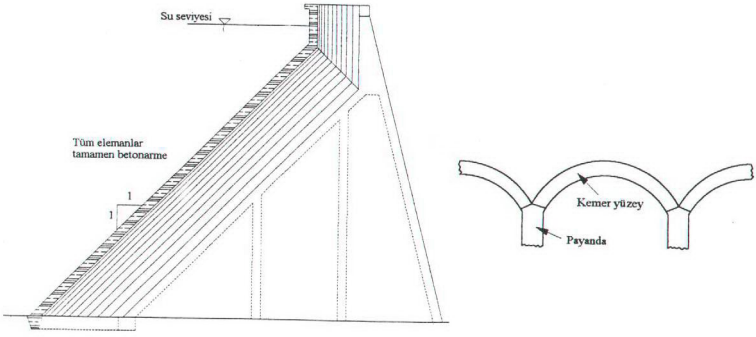
başlıklı payandalı baraj, yuvarlak başlıklı payandalı baraj, sekizgen (elmas) başlıklı payandalı baraj şeklinde isimlendirilmektedir (Şekil 2.23).

Tabliyeli tipte çekme gerilmelerinin meydana gelişi ve bol teçhizat kullanılmasını gerektirdiğinden, bu durum önemli bir eksikliktir. Bu nedenle başlıklı payandaların uygun olduğu uzmanlarca belirtilmektedir. Payanda başlıklarında donatı gerekmemektedir.



Şekil 2.23. Çok Kemerli Bir Payandalı Baraj Fotoğrafı

Çok kemerli payandalı barajlar, bir çok tonoz ile bunların dayandığı payandalardan ibarettirler. Tonoz kesiti daire, bileşik eğri, parabol veya elips yayları olabilmektedir. Mevcut çok kemerli barajlarda tonozların yatayla yaptığı açı 45-60° arasında değişmektedir. En çok kullanılan kesit şekli dairesel sabit kalınlıklı halkadır. Kalınlık tabana doğru artırılır. Kemerlerin de üzengilere doğru kalınlaştırılması emniyeti sağlamaktadır. Merkez açısı değeri 120-180 derece arasında değişmektedir. Çoğunlukla payandalar arası açıklık bütün baraj boyunca aynı tutulmakla birlikte gerektiği takdirde açıklıklar ortaya doğru artırılabilir. Yük önce kemerlere sonra payanda aracılığı ile temele aktarılmaktadır. Payanda aralıkları genellikle 8-25 m arasında seçilmektedir.



Şekil 2.24. Çok kemerli bir payandalı baraj kesiti (Creager vd., 1957)

2.5.1.5.4. Payandalı baraj tasarımı

Baraja etki eden kuvvetler payandalar ile belirli noktalarda temele aktarılır. Bu sebepten yalnız payandaların sağlam ve taşıma gücü yüksek kaya temeller üzerine oturması yeterli görülmektedir. Temel yüzeyleri ağırlık barajlarında olduğu gibi itina ile hazırlanmalıdır. Taban su basıncı ihmal edilmektedir.

Payandalı barajlarda temel kayaçlarının, özellikle payandaların oturacağı kısımlarda, sağlam olması gerekmektedir. Payandalar altındaki temel kayası mukavemeti 22-33 kg/cm^2 arasında olması uzmanlarca yeterli görülmektedir. Çünkü yükler payandalar yardımıyla temele aktarılır. Payandalar dışındaki temel kayaçlarına fazla yük binmez. Bu nedenle barajın bu kısımları zayıf temel kayaçlarına (çatlaklı, faylı gibi zayıf kısımlar) rastlanması mümkün olabilir. Dolusavak payandalı barajlarda da gövde üstünde yapılarak, diğer baraj tiplerine göre daha ekonomik çözüm olabilmektedir.

2.5.1.6. Ön gerilmeli barajlar ve tecrübeler

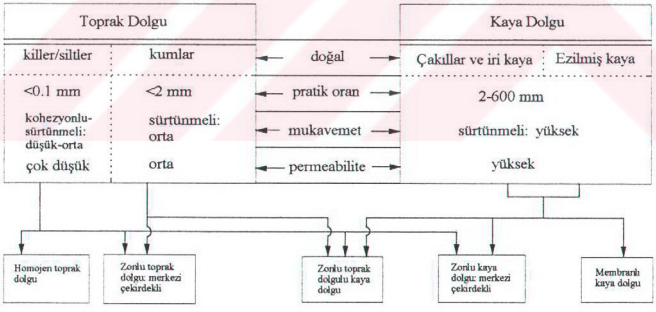
Herhangi bir yapıda veya yapı elemanlarında istenmeyen gerilmelerin doğmasını önlemek için önceden yapılan yapay yükleme ile meydana getirilen gerilmelere ön gerilmeli denmektedir. İlk defa 1935 yılında Cezayir'de bir barajın yükseltilmesinde kullanılan ön-gerilme yöntemi bina, köprü ve istinat duvarı gibi çeşitli yapılarda yaygın olarak uygulanmaktadır. Ön-gerilme teknikleri nispeten çok sayıda mevcut barajın yükseltilmesi veya rehabilitasyonu için kullanılmış olmakla birlikte yeni baraj

inşasında kullanımı pek yaygınlaşmamıştır. (Müftüoğlu, 1982). Ön gerilmeli olarak projelendirilen ağırlık barajlarına örnek olmak üzere İskoçya'da Allt-na-Lairige Barajı gösterilebilir. Baraj enkesiti beton ağırlık baraj kesitine benzemektedir. Bu tip barajların günümüzde kullanımı hiç yok denecek kadar azdır. Barajların rehabilitasyonunda günümüzde RCC barajların kullanımı ekonomik ve pratik olarak tercih edilmektedir.

2.5.2. Dolgu barajlar ve tecrübeler

Dolgu barajlar genel olarak toprak ve kaya dolgu olarak sınıflandırılmaktadır. Toprak dolgu barajlar kullanılan malzemeye göre birçok farklı tipte inşa edilebilmektedir. Toprak dolgu ve kaya dolgu barajlar arasındaki ilişki Şekil 2.25'te verilmiştir.

Eğer dolgu yerleştirilen toprak malzeme hacmi %50'den daha fazla ise toprak dolgu olarak kategorize edilmektedir. Kaya dolgu barajlarda geçirimsizliği temin etmek için gövde içerisinde eğik veya merkezi kil çekirdek kullanılmaktadır. Geçirimsizlik baraj yüzeyi veya merkezi beton ile veya asfalt ile kaplanarak da sağlanabilmektedir. Eğer gövdede kullanılan malzemelerin %50'sinden fazlası kaya dolgu ise (yani iri taneli sürtünmeli malzeme) kaya dolgu baraj olarak tanımlanmaktadır. İnşa metotları bazı noktalarda çatışmaktadır (Novak, 1990).

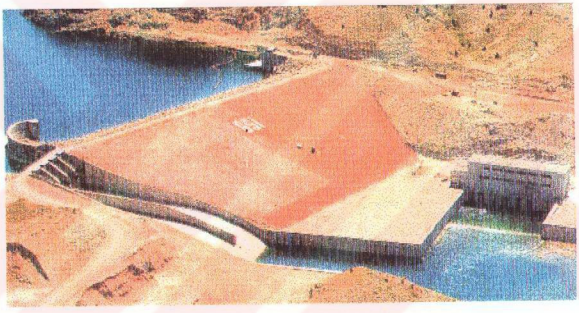


Şekil 2.25. Kullanılan malzemelere göre dolgu barajlar (Novak, 1990)

2.5.2.1. Toprak dolgu barajlar ve tecrübeler

Doğal halde bulunan çakıl, kum, silt, kil gibi doğal malzemelerden yararlanılarak yapılan su biriktirme yapılarına toprak dolgu barajlar denmektedir. Kullanılan malzeme türüne göre de isim

verilmektedir (Singh and Varshney, 1995). Dolgu barajlar daha çok geçirimsiz; sağlam olarak kabul edilmeyen, heterojen ortamlarda, geniş ve yayvan akarsu vadilerinde başarıyla inşa edilmektedir. Baraj maliyeti gövde yapımında kullanılacak malzemenin baraj yerine uzaklığı, miktarı ve özellikleriyle yakından ilgilidir (Novak, 1990). Değişik özellikte (geçirimli, yarı geçirimli, geçirimsiz) ve yeterli miktarda malzeme olması halinde zonlu, tek tip malzeme olması halinde ise homojen gövdeli barajlar yapılır. Toprak barajların başlıca ekonomik avantajlarından biri, inşa malzemesinin tabiatta direkt olarak temin edilmesidir. Bazı durumlarda malzemenin sadece bir tipi temin edilebilmektedir. Bu durumda ana tasarım ilkesi, bu tek malzeme ile barajı inşa etmek olmaktadır (Sherard, 1963). Tabii dolgu malzemeler herhangi bir bağlayıcı kullanılmaksızın serilir ve sıkıştırılır. Dolgu barajlarda el işçisi gereksiniminden çok makine kullanımı gerektirmektedir. Killi, siltli kum gibi ince taneli malzemenin bol olması, iri malzemenin kıt bulunması halinde, dolgunun tamamını ince taneli malzemeden teşkil etmek gerekebilir (Öziş, 1983).



Şekil 2. 26. Bir Toprak Dolgu Baraj Fotoğrafı

Çizelge 2.11. Bazı Toprak Dolgu Barajlar (DSİ, 1996)

Baraj Adı	Ülke	Akarsu	Yükseklik m	Amacı	Hacim 1000 m^3	Sulama Alanı ha	İnşa edildiği tarih	Rezervuar kapasitesi hm^3
İnecik	Türkiye	İnecik	26.50	S	364	1050	p/a	9.40
Maksutlu	**Türkiye**	**Maksutlu**	**27.50**	**S**	**225**	**637**	**1977**	**2.95**
Kaymaz	Türkiye	Çayırlık	28.50	S	216	420	1977	1.43
Altınhisar	**Türkiye**	**Karaman**	**31**	**S**	**404**	**274**	**1988**	**1.68**
Altınyazı	Türkiye	Basamaklar	23.50	S+T	725	7730	1967	30.80
Mumcular	**Türkiye**	**Kocadere**	**34**	**S+İ**	**1141**	**1365**	**1989**	**18.07**
Dumluca	Türkiye	Buğur	32.50	S	930	2400	1991	22.06
Eşmekaya	**Türkiye**	**Eşmekaya**	**17.50**	**S**	**500**	**6700**	**1995**	**47.20**

S: Sulama, T: Taşkın, İ: İçme, p/a: Planlama Aşamasında

Malzeme miktarına göre geçirimsiz malzeme değişik şekillerde baraj gövdesine yerleştirilir. Dolgu barajlarda geçirimsiz kısımlarında bazı özellikler aranır. Bunlar; gövdeden, kenar ve temelden sızma olmamalı, geçirimsiz bölge suyla doygun hale geldiğinde yumuşamamalı, gövde malzemesinin

kesme direnci mümkün olduğunca yüksek, oturmalar en az oranda olmalıdır. Bu özellikler ise baraj gövdesinde kullanılacak malzemenin iyi seçilmesi, iyi sıkıştırılması ve nem oranının iyi kontrol edilmesiyle mümkün olabilmektedir.

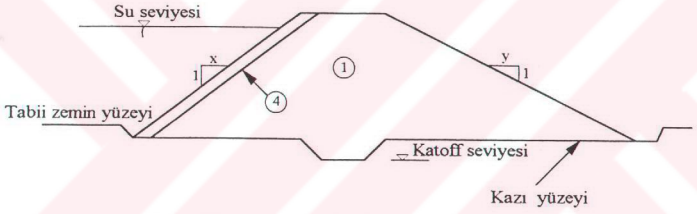
2.5.2.1.1. Uygulandığı yerleri ve tercih sebepleri

- Baraj yerinde sağlam ve taşıma gücü yüksek temellerin giderek azalması ve daha zayıf temeller üzerinde de baraj inşasının zorunlu hale gelmesi durumunda,
- Dolgu malzemesinin her yerde temin edilebilmesi, geçirimsizliği sağlayan, çekirdek malzemesinin baraj aksına yakın olarak bulunması durumunda,
- Büyük ve güçlü iş makineleri ile dolgu malzemesinin çıkarılması, taşınması, serilmesi ve sıkıştırılmasının daha kolay ve ekonomik olarak yapılabilmesi nedeniyle,
- Toprak ve kaya dolgu malzemesinin kolay işlenebilmesi ve ucuza temin edilebilmesi nedeniyle,
- Deformasyon, sarsıntı ve düzensiz oturmalardan daha az etkilendiğinden aşırı yüklemelere karşı daha az hassas ve daha emniyetli olması nedeniyle; günümüzde yaygın olarak dolgu barajlar inşa edilmektedir.
- Baraj temelinin silt, kil, tüf olduğu yerlerde,
- Kazılardan çıkarılacak malzemenin kullanılacağı yerlerde,
- Yamaçlarda dolusavak için yer olması durumunda,
- Heterojen temellerin olduğu yerlerde,
- Faylı, çatlaklı, kırıklı temellerin olduğu yerlerde,
- Baraj yüksekliğinin az olduğu yerlerde,
- Su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesinin zorunlu olmadığı yerlerde,
- Temel kayasını kaplayan zemin tortusunun önemli kalınlığa sahip olması,
- Beton barajlardaki yüksek gerilmelere güç direnç gösterecek olan zayıf veya yumuşak temel kayanın mevcut olması durumunda,
- Yamaçlar aşırı derecede çatlaklı ve zayıf kayaçlardan ibaret ve zemin tortularına haiz ise,
- Dolusavak için yamaçlarda veya vadide uygun bir yerin olması,
- Gerekli kazı işlemlerinden veya baraj yerine yakın ödünç malzeme alanlarından yeterli ve kaliteli malzeme temin edilebilmesi durumunda,
- Geçirimsiz malzemenin baraj yerinde bol miktarda bulunması durumunda,
- Kaya malzemenin veya beton malzemesinin kıt olduğu yerlerde,
- Malzeme istimlakının ucuz olduğu yerlerde,
- Ariyet sahasının yüzlek olmadığı derin olduğu yerlerde,
- Vadinin dolgu malzeme taşınmasına uygun olduğu yerlerde,
- Baraj inşa alanında inşada kullanılacak su eksikliğinin olmadığı yerlerde,
- Baraj inşa halinde iken ve bitiminde üzerinden su aşmama durumu olan yerlerde,
- Rezervuarda önemli heyelan tehlikesi olmayan yerlerde,
- Temelin kum-çakıl, üniform olmayan temeller ve sorunlu temeller gibi taşıma gücü zayıf olan baraj yerlerinde tercih edilebilir.

2.5.2.1.2. Homojen toprak dolgu barajlar

Homojen toprak dolgu barajlar genellikle kil, kumlu kil, killi kum ve çakıl - kum - kil zeminlerden inşa edilmektedir. Fakat daha geçirgen olan siltli kum, kum ve kumlu çakıl ile geçirgenlik kabul edilebilir olmadığında bu malzemeler ile inşa edilememektedir. İç sızma ve erozyon kontrolü olmadığından, mansap yüzeyinde sızma tehlikesi ve borulanma tehlikesine karşı hassastır. Homojen toprak dolgu barajlar geçmişte daha büyük yüksekliklerde kullanılmış, fakat uygun olanı 5 m. ve daha az olarak inşa edilmeleridir (Fell vd., 1992). Homojen bir dolgu enkesiti Şekil 2.27'de verilmiştir.

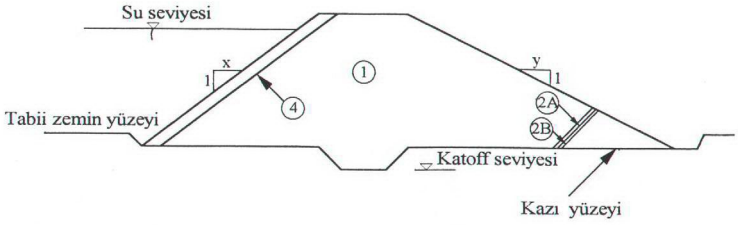
Geçirgenliği $k<10^{-6}$ m/s olan ince taneli gevşek zemin kullanılır. Geçirgenlik düşey ve yatay doğrultuda aynıdır. Düşük kayma mukavemetine haiz zeminlerde şev daha yatık inşa edilir. Baraj inşaatı için basit teknoloji ve bilhassa yüksekliği az olan barajlar için uygun yapı tarzı olmaktadır. Sonradan yükseltmek için büyük zorluklar arz etmemektedir.



Şekil 2.27. Homojen toprak dolgu baraj (Fell vd., 1992)

2.5.2.1.3. Topuk drenli toprak dolgu barajlar

Topuk drenli toprak dolgu barajlar, homojen barajlar ile benzer malzemeler, geçirimli bir kaya veya çakıl topuk dren kullanılarak inşa edilmektedir. Yatay ile düşey permeabilite oranı (kH/kV) hemen hemen aynıdır. Topuk sızmayı toplamakta ve güvenle uzaklaştırmaktadır. Topuk drenli toprak dolgu barajlar geçmişte daha büyük yüksekliklerde kullanılmalarına rağmen bunların 10 m ve daha az yükseklikler için kullanılmaları daha uygundur (Fell vd., 1992). Şekil 2.28'de bir topuk drenli toprak dolgu baraj enkesiti verilmiştir.



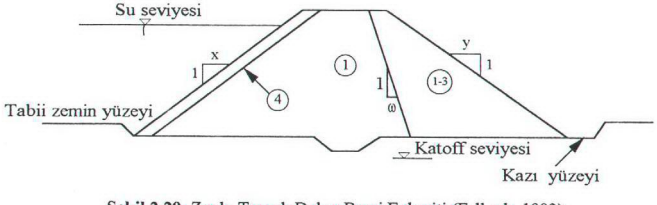
Şekil 2.28. Topuk Drenli Toprak Dolgu Baraj Enkesiti (Fell vd., 1992)

2.5.2.1.4. Zonlu toprak dolgu barajlar

Zonlu toprak dolgu barajlar memba tarafi veya merkezi kil, kumlu kil, killi kum, ve çakıl-kum-kil ile inşa edilmektedir. Toprak dolgunun diğer zonları benzer malzemeler ile inşa edilir. (Sherard, 1963) tarafından bu tip barajların genellikle 30 metreye kadar ve birkaç tanesininde daha yüksek olarak inşa edilmiş olduğu belirtilmiştir. Fakat bu tip barajların 20 m ve daha düşük yükseklikler için kullanılmasının daha uygun olacağı (Fell vd., 1992) tarafından ifade edilmiştir.

Çeşitli büyüklükte malzeme olması halinde, bunları değerlendirecek şekilde kesitte çeşitli zonların tertiplendiği barajlara gidilmektedir. En iri malzeme dışta kalacak şekilde ve filtre kurallarına uygun olarak eldeki malzemelerin kesitin tertibinde zonlara dağıtılması gereklidir. Zonlu barajların iç kısmında geçirimsiz bir kil çekirdek inşa edilir. Memba ve mansap şevlerine çekirdekten sonra geçirimli malzeme yerleştirilir. Gövdeyi dalgaların etkisinden korumak için memba tarafında gövde yüzeyi riprap'la kaplanır. Sızmadan dolayı oluşacak borulanmayı önlemek için mansap tarafını da topuk dreni yerleştirilir.

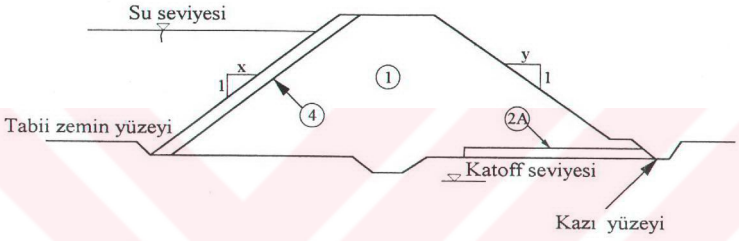
Özellikle dolu savak, tünel ve temel kazısından çıkacak malzemenin kullanılmasının düşünüldüğü durumlarda bu tür uygulamalar elverişli olmaktadır. İnşa sırasında ocaklardaki malzemenin göstereceği nitelik farklılıkları da başlangıçta öngörülen kesitte değişiklik yapılmasını gerektirebilen önemli bir unsurdur (Nihat Karadayı, 1996, -görüşme-).



Şekil 2.29. Zonlu Toprak Dolgu Baraj Enkesiti (Fell vd., 1992)

2.5.2.1.5. Yatay drenli toprak dolgu barajlar

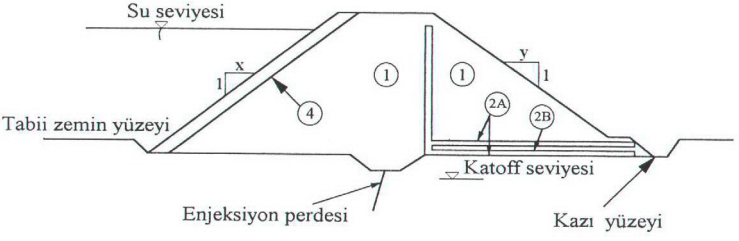
Yatay drenli toprak dolgu barajlar, homojen barajlarda olduğu gibi aynı malzemeler ile inşa edilmektedir (Şekil, 2.30). Fakat barajın mansap kısmında kum çakıldan ibaret yüksek permeabiliteye haiz yatay drenlerin teşkili gerekmektedir. Sadece yatay drene haiz homojen tipli barajlar 10 m. ve daha düşük yükseklikler için kullanılmaları uygundur (Fell vd., 1992).



Şekil 2.30. Yatay Drenli Toprak Dolgu Baraj Enkesiti (Fell vd., 1992)

2.5.2.1.6. Yatay ve düşey drenli toprak dolgu barajlar

Yatay ve düşey drenli toprak dolgu barajlar , homojen barajlar ile aynı malzemelerden inşa edilmektedir. Yatay ve düşey drenler yüksek permeabiliteli kum, veya kum ve çakıl kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu tip barajlar 30 ile 50 m. yükseklikler için kullanılabilmektedir (Fell vd., 1992).



Şekil 2.31. Yatay ve Düşey Drenli Toprak Dolgu Baraj (Fell vd., 1992)

2.5.2.1.7. Toprak dolgu barajlarda kullanılan malzemeler

Toprak dolgu barajların inşaatlarında hemen hemen her cins toprak, dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Bir toprak barajın projelendirilmesi ve maliyeti geniş ölçüde baraj yeri yakınında bulunan malzeme miktarı ve özelliğine bağlıdır. İnşaatı düşünülen bir toprak dolgu barajın, dolgu malzemesi etüdü, baraj temel etüdüyle birlikte başlatılır.

Çizelge 2.12. Toprak Dolgu Barajlarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

- **Geçirimli malzemeler**

Zeminlerin dane büyüklüklerine göre geçirimsizliklerinin de değiştiği bilinmektedir. Birleştirilmiş zemin sınıflama metoduna göre 4 nolu kare delikli elek üstünde kalan ve altına geçen, ancak 200 nolu kare delikli elekten %5'ten fazlası geçmeyen malzemeler bu sınıfa girer. Bu tip malzemeler iyi derecelenmiş çakıl (GW), kötü derecelenmiş çakıl (GP), iyi derecelenmiş kum (SW) ve kötü derecelenmiş kum (SP) olarak tanımlanır. Geçirimlilik katsayıları $k=10^{-4}$ cm/s civarındadır.

- **Yarı geçirimli malzemeler,**

Özellikleri itibariyle geçirimli malzemeler ile geçirimsiz malzemeler arasında bulunurlar. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Metodu'na göre 200 nolu elek altına geçen kısım %5-12 değerleri arasında ise, bu durumda 40 nolu elekten geçen kısım üzerinde yapılan kıvam limitlerine göre (likit limit, plastik limit) plastisite kartı yardımıyla yapılan belirleme neticesinde; Siltli çakıl (GM), Siltli kum (SM), Killi Çakıl (GC), Killi kum (SC) olarak tanımlanır. Geçirimlilik katsayıları $k=10^{-4}$ cm/s ile $k=10^{-6}$ cm/s arasında değişir.

- **Geçirimsiz malzemeler**

Genellikle 200 nolu elek altına geçen malzemeler bu sınıfa girerler. Çok büyük geçirimsizliğe sahiptirler. Dane birim hacim ağırlıkları ve kayma dirençleri, geçirimli ve yarı geçirimli malzemelerden daha düşüktür. Ayrıca geçirimlilik katsayıları da küçük olup $k=10^{-6}$ cm/s ile $k=10^{-9}$ cm/s arasında değişmektedir.

Birleştirilmiş Toprak Sınıflandırma Metodu'na göre bu gruba aşağıda tanımlanan zeminler girerler; a) İnorganik silt ve killi ince kumlar (ML)b) İnorganik kil ve siltli killer (CL) c) İnorganik yüksek plastisiteli siltler (MH) d) İnorganik yüksek plastisiteli killer (CH).

Siltler killerden birçok önemli yönleriyle farklılıklar gösterir, fakat çıplak gözle bakıldığında aynı görünüşte olduklarından çok defa karıştırılırlar. Siltler plastik olmayan ince danelerdir. Killer plastik ince danelerdir. Yaş oldukları zaman deformasyona karşı dirençleri küçük, kuru oldukları zaman serttirler. Killer geçirimsizdirler, yaş olduklarında güç sıkışırlar, drene olmaları zordur.

2.5.2.2. Kaya dolgu barajlar ve tecrübeler

Kaya dolgu barajın evrimi beton yüzlü kaya dolgu baraj ile başlamış, daha sonra ana tipleri geliştirilmiştir. Bunlar, ÖYBK veya ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj, ve toprak çekirdekli kaya dolgu barajdır.

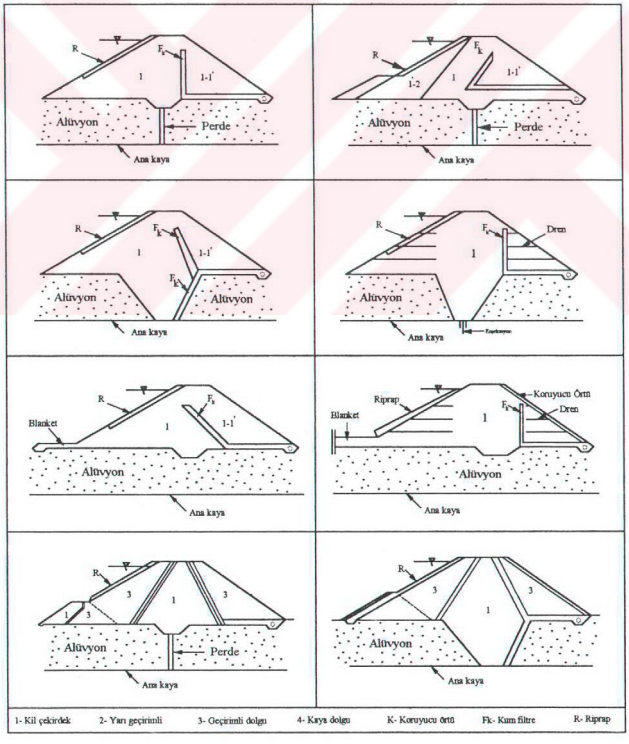
Barajlarda kaya malzemesi gövdenin memba yüzünün korunmasında kaya dolgu riprap olarak ve gövdenin dolgu zonunda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Baraj dolgusunun dış zonlarında özellikle memba yüzünde kullanılacak olan kaya malzemesinin

doğal tesirlere karşı dayanıklı olması hava ve su etkilerine, don ve dalga tesirlerine mukavemet edebilir olması gerekmektedir. Dolguda iç zonlarda kullanılan kaya malzemelerin özellikleri kullanma yerine göre, memba veya mansapta olmaları halinde farklı olabilirler. Su ile temas halinde, özelliklerini kısmen de olsa değiştiren, kaybeden kaya malzemeleri memba zonunda kullanılmayıp, mansap zonunda belirli bölgelerde kullanılabilmektedir.

Kaya malzemede istenen en önemli özellik, sağlam ve büyük parçalar halinde olmasıdır. Kaya malzeme etüdü, yüzeyde görülen kayalık bölgenin incelenmesiyle başlar, karotlar alınarak kayacın tüm özellikleri belirlenerek dolguda kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir.

Alüvyon temel üzerinde farklı toprak dolgu baraj alternatifleri incelenerek tecrübelere göre hazırlanmış ve aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 2.13. Alüvyon temel üzerine farklı toprak dolgu baraj alternatifleri

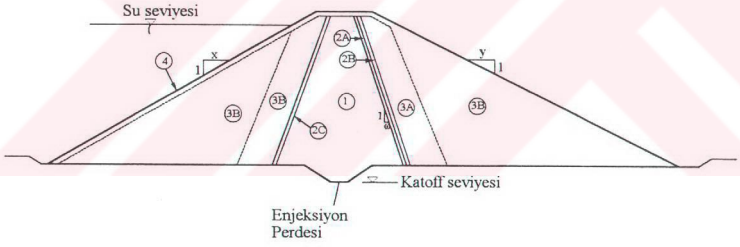


2.5.2.2.1. Uygulandığı yerler ve tercih sebepleri

- Her türlü vadi şekillerinde uygulanabilir. Bazı dar vadilerde kil çekirdekli baraj uygulanması sınırlanabilir, bu durumda diyaframlı kaya dolgu baraj seçilebilir
- Baraj temelinin sağlam kaya olduğu yerlerde
- Baraj yüksekliğinin 20 metreden fazla olduğu yerlerde
- Kaya malzeme baraj aksına yakın yeterli miktar ve kalitede olduğu yerlerde
- Barajın yüksek inşa edilmesi geren yerlerde
- Bölgenin kurak, yarı kurak veya yağışlı olması durumlarında
- Bölgenin tüm depremsellik durumlarında

2.5.2.2.2. Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlar

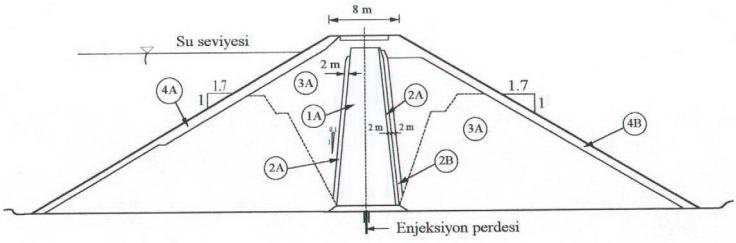
Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlar, geçirimsizliği temin edecek toprak malzeme, filtre için kum-çakıl ve kaya malzeme kullanılarak inşa edilmektedir. 15 m ile 20 m'den daha düşük yüksekliklerde baraj inşa komplike bir hal aldığından genellikle diğer tip barajlar daha ekonomik olmaktadır. Bu tip barajlar 335 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell vd., 1992 and Singh, 1995). Kil çekirdekle kaya dolgu arasında gerek memba, gerekse mansap tarafta biri çakıllı, diğeri kumlu malzemeden ikişer filtre tabakasının teşkili zorunlu olmaktadır.



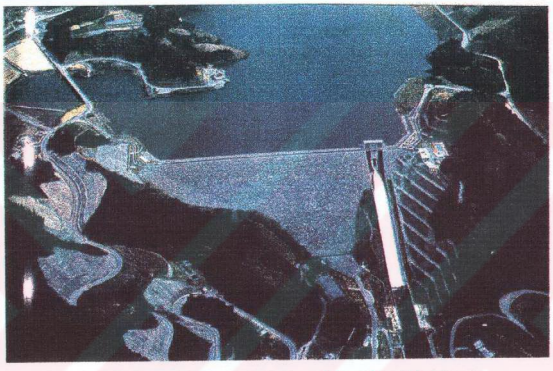
Şekil 2.32 Merkezi Kalın Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Enkesiti (Fell vd., 1992)

Bu yapının eğik kil çekirdekliğe göre avantajları aşağıdaki gibidir:

- 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.
- Toprak malzemenin baraj aksına yakın olduğu kaya malzemenin bol olmadığı durumlarda avantaja sahiptir.



Şekil 2.34 Merkezi İnce Kil Çekirdekli Kaya Dolgu B. Enkesiti -Bjelke Petersen Barajı- (Fell vd., 1992)

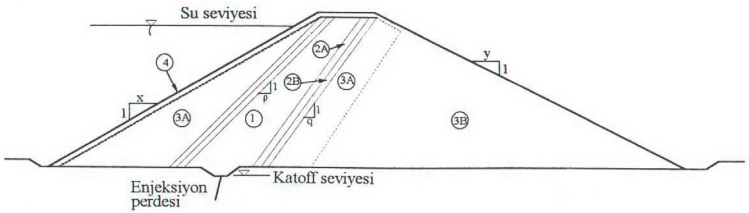


Şekil 2.33. Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Fotoğrafı

2.5.2.2.3. Eğik kil çekirdekli kaya dolgu barajlar

Membaya doğru eğik kil çekirdekli kaya dolgu barajlar, merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda kullanılan inşa malzemeleri ile yapılmaktadır. 15 m ile 20 m'den daha düşük yüksekliklerde baraj inşası komplike bir hal aldığından genellikle diğer tip barajlar daha ekonomik olmaktadır. Bu tip barajlar 300 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell vd., 1992).

Killi çekirdeğin inşasının ancak kuru mevsimde yapılabileceği dikkate alınırsa, yağışsız sürenin kısa olduğu bölgelerde kil çekirdeğin eğik yapılarak kaya dolgunun süratle ilerlemesinin sağlanması mümkün olmaktadır.



Şekil 2.35. Eğik Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Enkesiti (Fell vd., 1992)

Ayrıca, topoğrafya ve temel şartları da çekirdek hendeğinin membaya kaydırılmasını bazı durumlarda tutarlı kıldığı gibi; çekirdek malzemesinin kıt olduğu durumlarda da malzeme tasarrufu amacıyla ince bir çekirdeğe gidilmektedir (Öziş, 1983).

Bu yapının merkezi çekirdekliğe göre avantajları aşağıdaki gibidir;

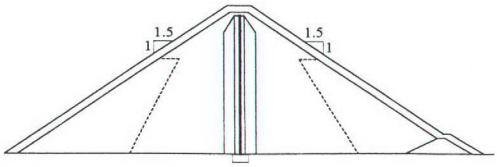
- Mansaptaki geçirimli zonların yapımı daha ekonomik olması,
- Temelin geçirimli olması ve geçirimsiz bir blankete gerek duyulması halinde, blanketin geçirimsiz zonla birleştirilmesi daha kolay bir şekilde yapılabilmesi,
- Bölgenin yağışlı olması durumunda inşa süresi ve kolaylığı,
- Baraj sonradan yükseltilmesi,
- Çekirdeği daha sağlam bir temele yerleştirmek gerekmesi,
- Kil malzemenin merkezi çekirdeğe yetecek kadar olmaması,
- Temelin aşırı enjeksiyon gerektirmesi gibi durumunda avantajlıdır.

Çizelge 2.14 Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlarda Zon Tanımları ve Fonksiyonları (Fell vd., 1992)

(1) Toprak Dolgu: Baraj içerisindeki sızmayı kontrol eder.
(2A) İnce filtre: (a) Sızan su tarafından 1 zonunun erozyonunu engeller, (b) Barajın temelinin (burada yatay drenler kullanılır) erozyonunu engeller, (c) Düşey dren kullanıldığı zaman mansap yüzeyindeki boşluk suyu basıncının gelişmesini engeller.
(2B) Kaba filtre: (a) Kaya dolgu içerisindeki 2A zonunun erozyonunu engeller, (b) Yatay ve düşey drenlerde kontrol edilmiş sızma suyunu boşaltır.
(2C) (i) Memba filtresi: Baraj çekirdeğinin memba kaya dolgusundaki Zon1'in erozyonunu engeller. (ii) Riprap altındaki filtre: Riprap içerisinden kaynaklanan Zon 1'in erozyonunu engeller.
(2D) İnce yastık tabaka: Beton plak için üniform destek sağlar; çatlak ve derz açıklarından sızan suların miktarını sınırlar.
(2E) Kaba yastık tabaka: Beton plak için üniform destek sağlar. Kaçak olayında kaya dolgudaki 2D Zonu'nun erozyonunu engeller.
(3A) Kaya dolgu: Stabiliteyi sağlar, baraj altında ve içerisindeki sızmayı oluşturmak için (sızmaya izin vermek için) çoğunlukla serbest drenajlıdır. Kaba kaya içerisindeki Zon 2B'nin erozyonunu engeller.
(3B) Kaba kaya dolgu: Stabiliteyi sağlar, çoğunlukla baraj altında ve içerisinden sızan suların geçmesine izin verir.
(4) Riprap: Dalga etkisinden kaynaklanan memba yüzünün erozyonunu engeller.

2.5.2.2.4. Merkezi beton veya asfalt kaplı kaya dolgu barajlar

Bu tip barajlarda merkezde geçirimsizliği temin etmek için beton veya asfalt kullanılmaktadır. Bu çekirdek oldukça narin olduğundan kırılma ihtimali söz konusudur. Yağışlı bölgelerde, uygun kaya temele haiz yerlerde, kaya malzemenin mevcut olduğu yerlerde, kil malzemenin olmadığı ve ya kullanımının bazı nedenlerden dolayı kısıtlandığı yerlerde tercih edilebilir.



Şekil 2. 36. Merkezi Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu baraj -Stygevatn barajı-, (Fell vd., 1992)

2.5.2.2.5. Ön yüzü beton kaplı (ÖYBK) kaya dolgu barajlar ve tecrübeler

Beton yüzlü kaya dolgu barajların kullanımı günümüzde oldukça yaygındır. ÖYBK kaya dolgu barajlar özellikle güvenli olmaları, büyük farklılıklar gösteren arazi koşullarına uyabilmeleri, yapımlarının pratik ve ekonomik olması gibi üstünlüklerinden dolayı çoğunlukla tercih edilmektedir. Bu tip, daha yüksek barajlarda güvenle kullanılabilmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde, bu tip barajların çok yüksek inşa edilmeleri halinde performanslarının sınır değerler içerisinde kaldığı, depreme karşı çok dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

ÖYBK kaya dolgu barajlar ideal olarak serbest drenajlı olarak inşa edilmektedir. Yüzey plağının kaya dolguya sabit ve üniform olarak oturtulması için, kaya dolgu ile yüzey plağı arasına bir geçiş kaya dolgu zonu yerleştirilmektedir. Bu tip barajlar genellikle yüksek yağış bölgelerinde, toprak dolgunun yerleştirilmesinin ekonomik ve pratik olmadığı yerlerde, ve iyi kaya temele haiz baraj yerlerinde uygulanmaktadır. Bu tip barajların 300 m'ye kadar inşa edilebilecekleri (Cooke, 1989) tarafından belirtilmiştir. 20 m'den daha düşük yükseklikte plinth ve yüzey plağının inşası oldukça fazla maliyete yapılabilmektedir. Bu durumda bu tip barajlar ekonomik olmamaktadır (Fell vd., 1992).

Beton yüzlü kaya dolgu barajlar, toprak çekirdekli kaya dolgu barajlara göre önemli avantajlara sahiptir. ÖYBK kaya dolgu barajlar bu güne kadar çok büyük yüksekliklerde başarı ile inşa edilmiştir. 300 m. yüksekliğinde inşa edildiğinde performansının, sınır değerler içerisinde kalacağı belirtilmektedir (Cooke, 1987). ÖYBK kaya dolgu barajların tamamı kuru olduğundan deprem sallamaları kaya dolgu boşluklarında boşluk suyu basıncı oluşturmaz (Çavuş, 1993). Bu özelliğinden dolayı da ÖYBK kaya dolgu baraj depreme karşı dayanıklıdır. Kret oturmaları ise nispeten düşüktür, ilk bir kaç yıldan sonra bu oranda çok büyük düşme gözlenmektedir. Bu barajlar her boyutta ve her amaç için kullanılabilme imkanına sahiptirler.

ÖYBK kaya dolgu barajlar 1970'ten beri popüler bir tip olarak dünyanın her yerinde inşa edilmekte ve mühendislerin tercih sebebi olmaktadır. Özellikle, 1985 ve 1995'te ASCE'nin düzenlediği

ÖYBK kaya dolgu barajlarla ilgili iki sempozyum, bu tip barajların önemini ortaya koymuştur. ÖYBK kaya dolgu barajların günümüzde yaygın olarak kullanılmasının temel nedenleri şöyle sıralanabilir;

- Modern ÖYBK kaya dolgu barajların tüm teknik açıdan iyi bir tip olması,
- ÖYBK kaya dolgu barajların düşük maliyette inşa edilebilmesi,
- Sıkıştırılmış kaya dolgu inşası ve geliştirilmiş derz detayları ile yığma kaya dolgu barajlarda gözlenen aşırı oturmaların ve su kaçağı problemlerinin ortadan kaldırılmış olmasıdır.

Günümüzde, özellikle Avustralya'da, Amerika'da, Brezilya'da ve dünyanın bir çok yerinde ÖYBK kaya dolgu barajların kullanımında çok büyük artışlar gözlenmektedir. Bununla birlikte, bu tip barajın daha ekonomik ve daha yüksek inşa edilmesi için bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Çalışmaların çoğunluğu, beton plağın oturtulduğu zon ile ilgilidir.

• ÖYBK Kaya Dolgu Barajların Evrimi

İlk kaya dolgu barajlar yığılmış kayalı ÖYBK kaya dolgu baraj olarak inşa edilmiştir. Bunların yapımı, 75 m yüksekliğine kadar elverişli olmuştur. Fakat, daha yüksek barajlarda, yığılmış kaya dolgunun yüksek derecede sıkışabile özelliğinden dolayı, yüzey çatlakları ve aşırı sızmalar oluşmuştur. Yığılmış kaya dolgulu ÖYBK kaya dolgu barajların daha düşük olarak inşa edilebilme imkanı, kaçak sorunları ve yüzey için gereken onarım ihtiyacı gibi nedenlerden ötürü bu tip inşa metodunun yüksek barajlarda kullanımından vazgeçilmiştir. Bu tür barajların geçmişi uzun ve çapraşık bir süreç izlemiştir. 1920-1940 yılları arasında maksimum 100 m yüksekliğinde kaya dolgusu ve kenarlarında su tutucular bulunan kare şeklindeki paneller halinde beton plak içeren barajlar inşa edilmiştir (Cooke, 1991). Bu barajlarda genellikle uzun süreli oturma, su tutuculardaki açıklık ve büyük oranda sızmalar gözlenmiştir. 1940-1965 az çok aynı uygulama devam etmiştir. 50-100 m yüksekliğinde bir dizi baraj ile 150 m yüksekliğinde 1 adet baraj inşa edilmiştir. Oturma, su tutucuların kırılması ve yüksek sızma ile ilgili kötü deneyimler devam etmiştir. Birçok mühendis bu tip barajları gözden çıkarmışlardır. Fakat, bu sıralarda ince tabakalar halinde kaya dolguyu yerleştirme uygulaması başlamıştır. 1965-1980 hemen hemen bütün barajlar, ince tabakalar halinde yerleşmiş ve vibrasyonla çelik silindirlerle sıkıştırılmış kaya dolgusu kullanılarak inşa edilmiş ve inşaat sonrası oturmalar eskiye oranla daha az meydana gelmiştir. Memba beton plağının detayları değiştirilmiş, yatay derzler kaldırılmış, tabandan zirveye kadar çelik teçhizat konmuş ve beton plak kalınlığı tedricen azaltılmıştır. Sonuçta sızma ve oturma problemleri oldukça azaltılmıştır. Zamanla birçok mühendis bunun iyi bir baraj tipi olduğuna ikna olmuştur.

Çizelge 2.15 İnşa edilmiş bazı ÖYBK kaya dolgu barajlar ve özellikleri

Barajın Adı	İnşa edildiği yer	Baraj yüksekliği (m)	Kret Uzunluğu (m)	Kaya Dolgu Hacmi (m^3)	Şev Eğimleri	
					Memba	Mansap
Miel I	Kolombiya	185	360	$7x10^6$	1/1.3	1/1.3
Foz do Areia	Brezilya	160	828	$14x10^6$	1/1.4	1/1.4
Cirata	Batı Java	140	520	3 600 000	1/1.3	1/1.3
Alto Anchicaya	Kolombiya	140	260	2 400 000	1/1.4	1/1.4
Khao Laem	Tayland	130	1000	8 000 000	1/1.4	1/1.4
Machadinho	Brezilya	127	935	10 400 000	1/1.3	1/1.3
Lower Pieman	Avustralya	122	360	2 720 000	1/1.3	1/1.3
Cethana	Avustralya	110	215	1 610 000	1/1.3	1/1.3
Murchison	Avustralya	94	200	906 000	1/1.3	1/1.3
Cogoti	Şili	85	160	730 000	1/1.4	1/1.5
Mackintosh	Avustralya	75	465	980 000	1/1.3	1/1.3
Bastyan	Avustralya	75	430	580 000	1/1.3	1/1.3
Fades	Fransa	68	235	730 000	1/1.3	1/1.3
Serpentine	Avustralya	39	127	132 000	1/1.5	1/1.5
Paloona	Avustralya	38	159	184 000	1/1.33	1/1.33

Dünyanın birçok yerinde bu tipte yüksek barajlar inşa edilmiştir. Özellikle, Avustralya'da Cethana (100 m.), Kolombiya'da Anchicaya (140 m.) ve Brezilya'da Foz do Areia (160 m.) barajlarının 1970-80 yılları arasında inşa edilmelerinden sonra çok hızlı bir artış gözlenmiştir. 1980-Günümüz, bu tip kaya temelli yerlerde ciddi bir alternatif olarak gözönünde bulundurulmaktadır. Bu tip baraj genellikle hem kil çekirdekli kaya dolgu barajlarla hem de beton kemer barajlarla çekişir durumdadır. Günümüzde eskiye göre daha fazla sayıda bu tip baraj inşa ve proje halindedir. Sıkıştırılmış ÖYBK kaya dolgu barajlardaki artış 1997'dan sonra daha da belirginleşmiştir. Çizelge 2.15'te inşa edilmiş bazı bu tip barajlara ait karakteristik özellikleri verilmiştir.

- **ÖYBK kaya dolgu barajlar ile toprak çekirdekli kaya dolgu barajların karşılaştırılması**

ÖYBK kaya dolgu baraj ve toprak çekirdekli kaya dolgu baraj için ihtiyaç duyulan yer şartlarında önemli farklılıklar yoktur. Her iki tipte de oldukça iyi kaya temele gereksinim vardır. Son yıllarda ÖYBK kaya dolgu baraj tipinin seçildiği baraj yerleri için aynı zamanda projeciler tarafından, toprak çekirdekli kaya dolgu baraj alternatifi de incelenmiştir. Toprak çekirdek malzemesinin olmadığı yerlerde ÖYBK kaya dolgu barajların seçimi doğaldır. Bununla birlikte, çoğu durumlarda ÖYBK kaya dolgu tipte seçilen ve proje çalışmaları neticesinde bu tipin daha düşük maliyette yapılabileceği anlaşılmış, hatta toprak çekirdekli kaya dolgu için uygun malzemenin mevcut olması halinde bile bu durumun değişmediği sonucuna varılmıştır.

ÖYBK kaya dolgu barajların birim maliyeti kil çekirdekli kaya dolgu barajlara nispeten daha azdır. Avantajları, farklı durumlara göre aşağıda açıklanmıştır.

a) Maliyet Açısından

ÖYBK kaya dolgu barajların maliyet açısından zonlu dolgu barajlara nispeten aşağıdaki faktörlerden dolayı daha avantajlıdır.

- İç servis (ulaşım) yollarının daha kolay kullanımı ile kaya dolgunun değişik bölümlerinin yapımında izin verilen kolaylık ve büyük serbestlik nedeniyle.
- ÖYBK kaya dolgu barajlarda filtre inşasına ihtiyaç olmaması nedeniyle (Çünkü kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda inşa edilen kil çekirdek ile filtrelerin toplam maliyeti, daima ÖYBK kaya dolgu barajların geçirimsizliğinin sağlandığı beton kaplama maliyetinden fazla olmaktadır).
- Temelin ve ana kayanın üzerinde yapılması gerekli olan temizlik ve hazırlama işlemlerine ait maliyet ile blanket ve perde enjeksiyonlarının maliyeti her zaman ÖYBK kaya dolgu barajlarda, zonlu dolgulara nispeten daha düşük olması sebebiyle.
- ÖYBK kaya dolgu barajlar ideal olarak kaya temeller ve yamaçlar üzerine inşa edilmektedirler. Şevler, diğer tip barajlara nispeten daha dik (yatay: 1.3, düşey: 1) inşa edildiklerinden, daha küçük taban genişliği, çoğunlukla daha kısa tüneller ve dolu savaklar temin edilebilmektedir. Bu yapımlar maliyete ekonomiklik sağladığından dolayı.
- Küçük fakat uzun ÖYBK kaya dolgu barajlar, kil çekirdekli barajlara nispeten daha ekonomik olduğundan.
- ÖYBK kaya dolgu barajlarda beton kaplama, barajı dalgalara karşı koruduğu için genelde daha pahalı olan riprap veya farklı şev koruma yöntemlerine gerek olmamasından dolayı.
- İnşaatın beklenmeyen gecikme ve ertelemesinden ötürü oluşacak maliyet artış riski diğer tip barajlara nispeten ÖYBK kaya dolgu barajlarda daha az olması nedeni ile, avantaja sahiptir.

b) Planlama ve Aplikasyon Açısından

ÖYBK kaya dolgu barajların planlama ve aplikasyonu zonlu dolgu barajlara nispeten aşağıdaki faktörlerden dolayı daha avantajlıdır.

- ÖYBK kaya dolgu barajlarda memba topuğu boyunca yapılacak katoff enjeksiyon perdesi gibi, enjeksiyon işlemleri barajın diğer kesimlerinden bağımsız olarak gerçekleştirilebilir.
- Dolgunun inşası ıslak hava koşullarında kesintisiz devam edebilir.
- Dolgu hacmi küçüktür.
- Nehrin derivasyonundan evvel kaya dolgu bölümlerinin yerleştirilmesi mümkündür.
- Memba ve mansap şevlerinin dikliği eteklerin toplanmasını ve dolayısıyla derivasyon ve güç tünelleri ile dolusavak şutunun kısalmasını sağlamaktadır.

c) Stabilite ve Güvenlik Açısından

- Dolgu zeminin erozyonu tehlikesi söz konusu değildir.
- Kil çekirdek olmadığından gerilme aktarımı ve borulanma da söz konusu değildir.
- Topuk plağı altında yapılması gereken temel hazırlanması için çalışma alanı küçük olup kaya dolgu ve onun temelinden ayrı olarak inşa edilebilme imkanına sahip olması olarak ifade edilebilir.
- Son 20 yıllık ICOLD raporlarında "baraj yıkılması veya tahribatı" başlığı altında yayınlanmış bu tip baraja rastlanmamaktadır.

Hem Khao Laem Barajı hem de Kotmale Barajının erken bitirilmesi amacıyla toprak çekirdekli kaya dolgu baraj yerine, ÖYBK kaya dolgu baraj seçilmiştir. Brezilya'da ÖYBK kaya dolgu barajların hızlı inşa edilebilirliliği ve toprak çekirdekli kaya dolgu barajlar üzerindeki diğer avantajlarından ötürü, son zamanlarda bu baraj tipi seçiminde büyük artış gözlenmiştir. Brezilya'da ilk modern ÖYBK kaya dolgu baraj olan Foz do Areia Barajı 1980'de tamamlanmıştır. Brezilyalı mühendisler toprak çekirdekli kaya dolgu baraj inşasında oldukça uzmanlaşmışlardır. Ancak 1980'den sonra çoğu Brezilyalı mühendis üzerinde, Areia Barajının maliyet ve teknolojik açıdan avantajları büyük bir intiba bırakmıştır.

- **ÖYBK kaya dolgu barajların düşük ve yüksek inşaları halinde avantaj durumları**

ÖYBK kaya dolgu barajlar çoğunlukla orta yükseklik olan 40 metre ve daha yüksek barajlar için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, iki ana sebepten dolayı ÖYBK kaya dolgu baraj tipi, uzun düşük yükseklikli barajların inşası için, toprak çekirdekli kaya dolgu barajlara göre maliyet ve uygunluk açısından daha avantajlı olmaktadır.

- Çok uzun bir vadide, düşük yükseklikli bir kaya dolgu baraj inşa edilmesi durumunda, ÖYBK kaya dolgu barajlarda memba topuk radyesi için gerekli olan temel işlemlerinin, toprak çekirdekli kaya dolgu barajlardaki toprak çekirdek için gerekli olan temel işlemlerinden daha küçük olduğundan dolayı, ÖYBK kaya dolgu barajlar daha avantajlı olmaktadır.
- Belirli bir uzunlukta düşük yükseklikli toprak çekirdekli kaya dolgu barajlarda malzemelerin birim maliyeti, yüksek barajlara göre daha fazla olmaktadır. Bu durum, filtrelerin baraj hacmine göre daha büyük yüzdelerde teşkil edilmesi, zonların daha küçük olması ve bunların inşasının daha sınırlı olması gibi nedenlerden dolayı oluşmaktadır.

2800 m. uzunluğunda, 20 m. yüksekliğindeki Macagua barajının ÖYBK kaya dolgu baraj seçilmesi yukarıdaki ifadelere örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca, ÖYBK kaya dolgu barajların çok yüksek inşa edilmelerinin diğer tiplere olan üstünlükleri şöyle açıklanabilir;

- Stabilite için yüksek mukavemetli kaya yamaçlara, beton kemer barajlarda istenildiği gibi bir gereksinim yoktur.
- ÖYBK kaya dolgu baraj, potansiyel olarak stabil olmayan dik yamaçları destekler ve beton kemer barajlardaki gibi yüksek gerilmeler uygulamaz.
- Sıkıştırılmış ÖYBK kaya dolgu barajlarda inşaat sonu kret oturmaları, aynı yükseklikteki diğer tip dolgu barajlara nispeten çok daha azdır.
- Beton ağırlık barajlar gibi, temele yüksek gerilmeler uygulamaz. Çünkü ağırlık etkisi daha geniş taban alanına yayılmaktadır.
- Dik şevli dar vadilerde, yüksek toprak çekirdekli kaya dolgu barajlar inşa edildiği zaman hidrolik kırılma veya farklı oturma nedeniyle toprak çekirdekte oluşan su kaçakları neticesinde toprak çekirdekte gerilme taşınımı ile kemerleşme tesiri oluşmaktadır. Bu açıdan, ÖYBK kaya dolgu için toprak çekirdek aşınması söz konusu olmamasından dolayı, böyle bir yerde başarı ile inşa edilmesi mümkündür.

- Toprak çekirdekli kaya dolgu barajlar; dar dik yamaçlı vadilerde, yamaçlarda çekirdek altındaki temel işlemleri, enjeksiyon işlemleri ve blanket yapımı çoğunlukla inşaat yükseltilerine paralel olarak yapılmaktadır. Bu işlemler inşaat projesine ilave yıllar getirmektedir. ÖYBK kaya dolgu barajlarda ise bu işlemler dolgu inşaatından bağımsız olarak gerçekleştirilebildiğinden, daha avantajlıdır.

- **ÖYBK kaya dolgu barajların diğer tercih sebepleri**

- Günümüzde ÖYBK kaya dolgu baraj, dünyanın birçok yerinde her amaç ve boyutlarda, seçimi sıklıkla tercih edilen ve artan bir baraj tipi olması sebebiyle.
- ÖYBK kaya dolgu baraj, maliyet ve iş programı açısından toprak çekirdekli kaya dolgu barajlar üzerinde avantajlara sahiptir. Hatta geçirimsizlik için toprak malzemesinin varlığına rağmen yine ÖYBK kaya dolgu barajlar daha ekonomik olmaktadır. Bu avantajlar bütün yükseklikler, uzunluklar için geçerlidir.
- ÖYBK kaya dolgu barajlar, toprak çekirdekli kaya dolgu barajlara nispeten, yardımcı yapılardaki maliyet korumaları için daha küçük temel genişliğine sahiptir.
- Nehirlerdeki çalışmalar ve risk olayları, çoğu yerde ÖYBK kaya dolgu barajlarda toprak çekirdekli barajlara göre daha az olmaktadır.
- ÖYBK kaya dolgu barajlardaki sızma olayı, toprak çekirdekli barajlardaki sızmalara göre önemli farklılıklara sahiptir. Çünkü, toprak çekirdek erozyonu ve baraj güvenliği için bir problem söz konusu değildir.
- Kaya dolgunun tercih edilen yerleştirme metodu, yerleştirilecek tabakada kaya malzeme dökülüp, ve ileri yüzey üzerine doğru itilmesi şeklindedir. Tabakalanmış kaya dolgu oluşturulmalı, her tabakanın alt kısmında daha büyük kayalar ve her tabakanın yukarı bölümünde daha küçük kayaların yerleştirilmesi sağlanmalıdır. Maksimum. izin verilebilir kaya boyutu tabaka kalınlığına eşit olmalıdır.
- Sıkıştırılmış kaya dolgu yüksek gerilmeli bir iskelete sahiptir. Kaya dolgu stabil olsun diye yerleştirmede iskeleti içeren kayalar birbirleriyle granülometrik olarak tutturulurlar ve içlerinden su akmasıyla önemli oranda oturmaya neden olmazlar.
- Klasik şev stabilite analizi, ÖYBK kaya dolgu barajlar için kullanılmamaktadır. Yani, şev stabilite analizi yapılmamaktadır.
- Sıkıştırılmış ÖYBK kaya dolgu baraj için kret oturması, daha eski bir yöntem olan yığılmış (sıkıştırılmamış) kayalı olarak yapılan barajlara nisbeten daha azdır. 100 m yüksekliğindeki sıkıştırılmış modern bir ÖYBK kaya dolgu baraj için umulan 5 yıllık kret oturması hemen hemen 10-15 cm olmakta, ve 10 yılda 15-25 cm olmaktadır.
- ÖYBK kaya dolgu barajlar gelecekteki çok yüksek barajlar için uygun bir tiptir. 300 m yüksekliğinde bir ÖYBK kaya dolgu barajın, mevcut barajlar üzerindeki ölçümlere ve deneyimlere dayanarak inşa edilebileceği ve yeterli düzeyde performans gösterebileceği günümüz tekniğine göre mümkündür.
- ÖYBK kaya dolgu barajlar üzerine modern boyutlu dolusavak inşa etmek uygundur.
- ÖYBK kaya dolgu barajların depreme karşı dayanıklı olması kendi bünyesinden ötürüdür. Çok güçlü sismik olan bölgelerde ve sismik olmayan bölgelerde aynı tasarım ilkeleri kullanılmaktadır. Ancak, 8 ve daha yukarı şiddete haiz bölgelerde dinamik analiz programları yardımı ile analizler yaparak ek tetbirler alınmalıdır.
- Bütün kaya dolgu kuru olduğundan, deprem sarsıntıları boşluk suyu basıncı oluşturmamaktadır.
- ÖYBK kaya dolgu barajlarda alet kullanımı, gelecekte inşa edilecek barajlar için bir veri bankası oluşturması açısından önemlidir, güvenliği izlemek için gerekli değildir.
- Memba topuğu (plinth) ve onun enjeksiyonu barajın dışındadır, iş programını kolaylaştırıcı yöndedir.
- Barajın kısa taban genişliği, yardımcı yapıların ekonomik olarak yapılmalarını sağlamaktadır.

- **ÖYBK kaya dolgu barajların çok yüksek inşa edilebilme durumu**

ÖYBK kaya dolgu barajın geçirimsiz toprak çekirdeği olmadığından erozyon, borulanma problemleri de söz konusu olmamaktadır. Bu açıdan toprak çekirdekli barajlara göre avantaja sahiptir.

ÖYBK kaya dolgu baraj, beton kemer baraj üzerine de bazı avantajlara sahiptir. Çünkü stabilite açısından bu tip barajlar, yüksek mukavemetli kaya yamaçlara gereksinimleri yoktur. ÖYBK kaya dolgu barajlar, beton ağırlık barajlar gibi temele yüksek gerilmeler uygulamaz. Çünkü, ağırlık etkisi daha geniş bir taban alanına yayılmaktadır. Sıkıştırılmış ÖYBK kaya dolgu barajlarda inşaat sonu kret oturmaları, aynı yükseklikteki diğer tip dolgu barajlara nispeten çok daha az olmaktadır. Bütün bu ifadelerden esinlenerek gelecekte, daha yüksek ÖYBK kaya dolgu barajlar inşa etmenin mümkün olacağını kesindir. Bu sonuç çabuk kabul edilebilen bir neticedir. Son zamanlarda bu tip baraj 180-220 m. yüksekliklerde dünyanın değişik yerlerinde inşa edilmiştir. Araştırmacılar tarafından bu trendin gelecekte daha da artacağı savunulmaktadır.

Geçen yıllarda kazanılan bütün tecrübelerin neticesi olarak, günümüzde sıkıştırılmış ÖYBK kaya dolgu barajların davranışı oldukça iyi bilinmektedir. Böylece, daha yüksek barajların nasıl davranacağını kestirmek mümkün olmaktadır. Vadi şekilleri büyük olmayan ve farklı kaya tipleri kullanılan çoğu baraj için, kret oturmaları, detaylı olarak araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. 75-160 m. yüksekliğindeki barajlar için kret oturmalarının çoğu 5 yıllık değeri, yaklaşık olarak 10-20 cm. olmaktadır. Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu olarak inşa edilen Atatürk Barajı (Türkiye) kret oturmaları 700 cm olmuştur. Bu sonucu bu tip barajlara yüklemek yanlış olur. Fakat bu baraj ÖYBK kaya dolgu tipte inşa edilse idi hem kret oturmaları az olacaktı ve hem de maliyet düşürülmüş olacaktı. Aynı grup barajlar için, 5 yıl sonraki yüzey kaplamasındaki maksimum sehim, yaklaşık olarak 20-75 cm., veya kabaca kret oturmasından 2-4 kez daha fazla olmaktadır.

Gelecekte daha yüksek yapılmaları planlanan barajların oturmalarının kabaca tahmini yapılırken, oturmalar yükseklik oranının karesi ile orantılı olduğu kabul edilmiştir. Bu kabule göre, eğer 160 m. yüksekliğindeki Foz do Areia barajı (Brezilya) benzer vadi genişliğinde, 300 m. olarak inşa edilmesi halinde (kaya dolgu ve inşa metotları aynı olarak kullanılmak sureti ile) bu yükseklikteki baraj için tahmin edilen oturma $(300/160)^2$ =3.5, yani gerçek olarak ölçülen değerden 3.5 kez daha büyük, burada 5 yıllık oturma= (3.5) x (20)=70 cm.; ve 5 yıllık yüzey radyesindeki sehim ise (3.5)x(75)=260 cm. olmaktadır.

Mevcut barajlardaki oturmalara ait bu açıklamalara dayanarak; kaya dolgu tipteki ve 300 m. yüksekliğindeki bir ÖYBK kaya dolgu barajın günümüzdeki genel pratiğe göre, 5 yıla ait kret oturmasının 0.5-1.0 m. ve yüzey kaplaması maksimum sehimi 1.3-3.0 m. olması beklenmektedir. Bu kriterlere göre, emniyetli olarak inşa edilebilmeleri mümkündür.

İlk olarak 1970'lerde başlayan toprak çekirdekli kaya dolgu barajlar belirli yüksekliklerde inşa edilmişlerdir. 235 m. yüksekliğinde Colombiya'da 1975'te tamamlanan Esmeralda Barajı buna örnektir. 1980'de Meksika'da 260 m. yüksekliğindeki Chicoasen Barajı ve 1989'da Rusya'da

tamamlanan 335 m. yüksekliğinde Rogun Barajı takip etmiştir. Toprak çekirdekli kaya dolgu barajlardaki bu devir, 1970'lerde başlayıp ve dünyanın bir çok yerinde çok yüksek olarak inşa edilmişlerdir. ÖYBK kaya dolgu barajların günümüzde mevcut olanlardan daha büyük yüksekliklerde inşa edilebileceğini söylemek mümkündür.

- **ÖYBK kaya dolgu barajlar üzerinde dolusavaklar**

1970'lerden beri proje mühendisleri özellikle B. J. Cooke, (1991), ÖYBK kaya dolgu baraj üzerine dolusavak yapmayı araştırmışlardır. 1996'da Avustralya'da "Tasmanya Hidroelektrik Kurumu" tarafından Crotty Barajı ÖYBK kaya dolgu baraj tipte inşa edilmiştir. Günümüze kadar ilk kez bu tip barajlarda (Crotty Barajında) dolusavak gövde üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.37. Bir ÖYBK Kaya Dolgu Baraj Fotoğrafı (Crotty Barajı-Avustralya)

- **ÖYBK kaya dolgu barajların depreme karşı davranışı**

ÖYBK kaya dolgu tam kuru olduğundan dolayı, deprem sarsıntıları kaya dolgu boşluklarında boşluk suyu basıncına sebep olmamaktadır. ÖYBK kaya dolgu barajların temeli kayadır, ve aldığı ivmeleri büyütmemektedir. Dolgu, titreşimli silindirlerle yoğun olarak ince tabakalar halinde sıkıştırılmış ağır bir yapı özelliğindedir. Depremler, güçlü sarsıntının kısa periyodu esnasında ÖYBK kaya dolgu barajlarda sadece küçük deformasyonlara neden olmaktadır. Depremden sonra ÖYBK kaya dolgu baraj önceki gibi yine stabil olmaktadır (Bureau,1985).

- **ÖYBK kaya dolgu baraj enkesiti üzerindeki elemanlar**

- **Topuk Plağı**

Topuk plağının ana amacı, beton yüzeyle baraj temeli arasında geçirimsiz bir bağlantı sağlayarak, beton kaplamasını enjeksiyon yapılmış temel kayasına bağlamaktır. Bu kaplama temel enjeksiyon çalışmaları için bir radye veya başlık şeklini almakta, kaplama betonu ve kayar kalıp çalışmaları içinde başlama noktası olmaktadır. Radyenin mansap tarafında, kaya temel ve döşemenin alt yüzü arasında minimum bir dolgu derinliği veya yastık muhafaza edilmektedir. Kaya dolgunun su yükü altındaki basınç deformasyonu, kaplamanın radyeye bitişik olan yüzeyinde büyük eğilme momentlerinin meydana gelmesini önlemektedir.

- **Beton Kaplama Plağı**

Beton yüzey, yüksek eğimler altında durabiliteye ve aşırı hava şartlarına maruzdur. 1930'larda yığılmış kayalı ÖYBK kaya dolgu barajlardaki betonda puzolan ve hava kullanılmamıştır. Günümüzde inşa edilen sıkıştırılmış modern ÖYBK kaya dolgu barajlar ile süreklilik ve su geçirmezlik temin edilmektedir. ÖYBK yığılmış kaya dolgu barajlarda ilk önceleri "t=0.30(m)+0.0067.H" eşitliği kullanılmıştır. Yüzey, iyi sıkıştırılmış bir tabaka tarafından desteklenmektedir. Son zamanlarda sıkıştırılmış memba yüzeyinde kalınlık artımı 0.003.H ve hatta 0.002.H ve daha az kalınlıklarda kullanılmıştır. 122 m yüksekliğinde yapımı 1986'da tamamlanan Lower Pieman Barajı proje kalınlığı "t=0.30(m)+0.001.H" olarak alınmıştır. Türkiye'de inşa edilecek olan Dim Barajı için kullanılan yüzey kaplama kalınlığı projesinde, "t=0.30(m)+0.0035.H" olarak alınmıştır. Burada "H" su yükünü göstermektedir.

- **Parapet Duvarı**

Tüm barajlarda kaya dolgu hacmini azaltmak için kretin memba boyunca L şeklinde bir istinad duvarı yapılmaktadır. İlk barajlarda parapet yüksekliği çoğunlukla 1.20 m alınmıştır. Son zamanlardaki barajlarda bu yükseklik 3.0-5.0 m olarak alınmıştır. Fakat günümüzdeki ÖYBK kaya dolgu barajlarda bu yükseklik genellikle 4.50 m olarak alınmaktadır.

- **Baraj gövde dolgusu ve enkesiti**

ÖYBK kaya dolgu barajların gövdesi genelde kaya malzemesinden teşkil edilmektedir. Gövde dolgu inşaatı kil çekirdekli kaya dolgu kabuk malzemesi inşaatındakine benzer olarak yapılmaktadır.

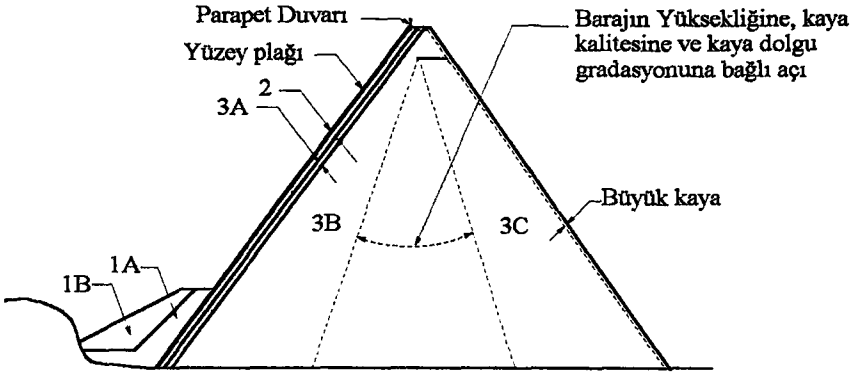
Gövde dolgusu zonlaması membadan mansaba doğru ince ve ufak malzemelerden kalın ve iri malzeme kullanımı şeklinde değişim göstermektedir. Taban genişliği, yüksekliğe kıyasla 2.60 kez veya daha fazla büyüklüktedir. Temel işlemleri toprak çekirdekli kaya dolgu barajlara nazaran daha azdır. Radyenin mansap yamaçları ana kaya yüzeyini veya bozulmamış kil kalıntılarını açığa çıkarmak amacıyla tüm birikinti malzemelerden temizlenmelidir. Dere yatağındaki alüvyon birikintinin, radyeden 0.50 x H kadar bir uzaklıkta olması kaydıyla izin verilebilir. Lower Pieman barajında dolgu yükü altında bulunan çakıl malzemenin, pek çok sıkışmış kaya dolgudan daha yüksek bir modüle yaklaşık 200 MPa'a sahip olduğu görülmüştür. Radye ve baraj ekseni arasında bulunan çıkıntılar alınarak yamaç ve kaya dolgu arasında iyi bir sıkışma sağlanmalıdır.

Çizelge 2.16 ÖYBK Kaya Dolgu Barajlarda Zonlar

Standart zonlama seçimi çoğunlukla daha kullanışlı olmuştur. Fakat farklı zonlama tipleri de mevcuttur. *Zon 1:* geçirimsizlik zonu'nu, *Zon 2:* filtre veya beton yüzey altında direkt olarak geçiş zonu'nu, ve *Zon 3:* ana kaya dolguyu ifade etmektedir. Bu zonlama yapılırken, zayıf kaya kullanımı ve geçirgenlik durumları dikkate alınmamıştır.
Zon 1: Geçirimsiz sıkıştırılmış toprak blanket, beton yüzeyin eteğinde bu zon kullanılmaktadır. Barajın bu kısmında kırılma örnekleri mevcut olduğundan dolayı gereksinim duyulmaktadır. Bu detay Alto Anchicaya, Areia, Khao Laem ve Golillas barajlarında ve diğer birkaç yüksek barajda da kullanılmıştır. Amaç, barajın daha düşük yüksekliklerinde derz açıklıklarını veya inşa edildiği kısımdaki çatlakları kapatarak geçirimsizlik temin etmektir. *Zon 1B*'nin kullanımındaki amaç ise, maliyet açısından yayar sağlamak suretiyle atık malzemelerin kullanımına imkan sağlamaktır.
Zon 2: Plağın hemen altında direkt olarak (ince ve daha ufak kayaların kullanımıyla) teşkil edilen bu zonun amacı, beton plak için üniform ve sıkı bir destek teşkil etmektir. Bu zonda 7.50-15.0 cm çaplı kaya ufakları kullanılmaktadır. Son zamanlarda bu zon üzerine bir çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Amaç, kum boyutundaki malzemeleri de kullanarak dereceli bir zon elde ederek beton plağı daha emniyetli kılmak suretiyle beton plak kalınlığını düşürebilmektir.
Zon 2'nin dereceli seçilmesiyle, beton plaktaki çatlaklardan kaçan sızıntıyı ve su tutucunun zayıflığından ileri gelen kaçakları azaltarak yarı geçirimli bir bariyer oluşturmak mümkün olmaktadır. Bu zonda malzeme 0.40-0.50 m kalınlıklı tabakalar halinde serilip, titreşimli silindirlerle sıkıştırılarak yerleştirilmektedir. Bu zon min. 4.0 m genişlikte çoğunlukla memba şevine paralel inşa edilmektedir.
Zon 3: Bu zon üç kısımdan ibarettir; bunlar, zon 3A, zon 3B ve zon 3C'dir. Kaya dolgu gövdesinin bu zonu, membadan mansaba doğru permeabilite ve sıkışabilirliliğe istenilen geçişi artan tabaka kalınlıklarıyla sağlayan bölgedir.
Zon 3A: Zon 2 ve ana kaya arasında bir geçiş sağlar. 0.40-0.50 m tabaka kalınlıklarında yerleştirilip, sıkıştırılmaktadır. Amaç, boşlukların boyutunu sınırlamak ve Zon 2 malzemesinin ana kayadaki büyük boşlukların etkisiyle yıkanmamasını temin etmektir. Bu zon hemen hemen 5.0 m genişlikte max.. 25 cm'lik kaya ufaklarından teşkil edilen bir geçiş zonudur.
Zon 3B: Bu dolgu zonunun max. 1.0 m'lik tabakalar halinde iri kayalardan oluşan ve max. dane çapı 1.0 m olan kaya malzemelerin yerleştirilip, 4 pas titreşimli silindir ile sıkıştırılması şeklinde oluşturulmaktadır. Bu zon ile yüzey plağı oturması minimuma indirilmektedir.
Zon 3C: Mansap zonu 3C önemsenmez derecede su yükü almaktadır. Bu zonun sıkışabilirliliği yüzey plağının oturmasında çok az etkiye sahiptir. Sonuçta, zon 3C genellikle daha kalın tabakalar halinde (hemen hemen 1.50-2.0 m) serilerek ve 4 pas titreşimli silindirler ile sıkıştırılmaktadır . Daha az ekipman kullanımı ile önemli oranda maliyet faydaları sağladığından zon 3C için daha kalın tabakaların kullanımı oldukça arzu edilen bir durumdur. Zon 3C'de eğer gerekirse maksimum kaya boyutu tabaka kalınlığında kullanmak mümkündür. Bu zonda, zon 3B'ye nispetle daha büyük kaya boyutu kullanılmaktadır.

Çoğu ÖYBK kaya dolgu barajların şev eğimleri 1 düşey ve 1.30 yatay olacak şekilde alınmaktadır. Bununla birlikte kretin 10-15 m yakınında bulunan memba ve mansap yüzeyleri, su yükü

oturmalarını karşılayacak olan kret bombeliğini sağlamak amacıyla 1.0 düşey 1.25 yatay alınarak daha da dikleştirilmektedir. Kaya dolgu malzemesi, ocaktan çıkarılıp küçük bir kayıpla gövdeye yerleştirilmelidir. Kaya dolgunun serbest drenli olması tercih edilmektedir.



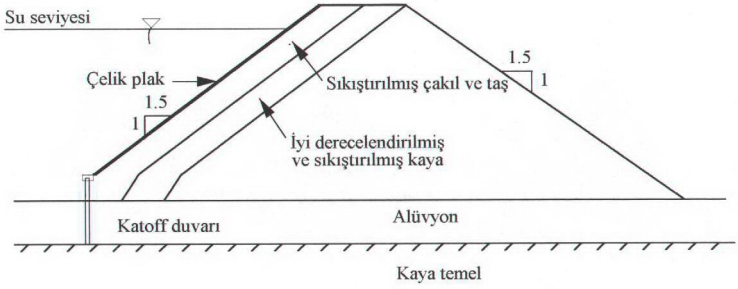
IA	Geçirimsiz toprak	3B	Hemen hemen 1 m tabaka kalınlıklı taşocağından taşınmış kayadolgu
IB	Rasgele malzeme	3C	Hemen hemen 1.5 ile 2.0 m tabaka kalınlıklı taşocağından taşınmış kayadolgu
2	İşlenmiş küçük kaya geçiş zonu		
3A	Zon 2 gibi aynı tabaka kalınlığında yerleştirilen seçilmiş küçük kaya		

Şekil 2.38. ÖYBK kaya dolgu baraj enkesiti ve zonları (Cooke, 1991)

2.5.2.2.6. Ön yüzü çelik kaplı kaya dolgu barajlar ve tecrübeler

Çelik yüzlü kaya dolgu barajlar; ÖYBK kaya dolgu barajlar gibi inşa edilmektedir. Plakta genişleme derzleri ile ve erozyon kontrolü için katodik koruma sağlanmaktadır. Baraj inşasında bu tipin kullanımı sınırlıdır. Bu durum korozyon ve ekonomik nedenlerden kaynaklanmaktadır. 40 m.'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell vd., 1992).

Venezüella'da ön yüzü çelik kaplı kaya dolgu barajlar tipte Rio Lagartijo barajı 1958'de inşa edilmiştir. O günün şartlarında membran yüzlü bir baraj olması açısından çok avantajlı olduğu düşünülmüştür. Bu tip barajların yapımı günümüzde ekonomik değildir (Sherard, 1992). Bu tipe ait bir baraj kesiti Şekil 2. 39'da verilmiştir

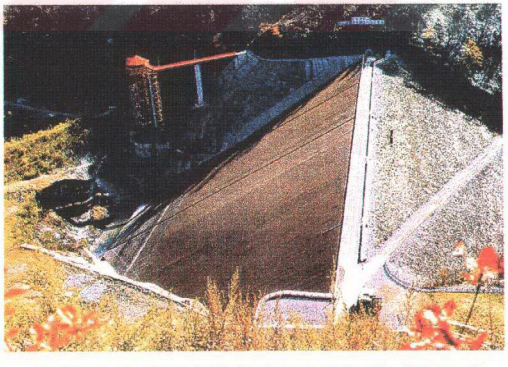


Şekil 2.39. Memba Yüzü Çelik Kaplı Rio Lagartijo Dolgu Barajı (Sherard, 1992)

2.5.2.2.7. Ön yüzü asfalt betonla kaplı kaya dolgu barajlar ve tecrübeler

Üretilmiş malzemelerle membran kaplı kaya dolgu barajlar ekonomik olarak günümüzde kullanılmaktadır. Bu tip barajlar içerisinde en çok öybk kaya dolgu baraj tercih edilmektedir. Ön yüzü asfalt (ÖYAK) ve çelik kaplı kaya dolgu barajlar daha az tercih edilmektedir.

Bu tip barajların en kesit tasarımı öybk kaya dolgu barajlar ile benzerdir. Sadece betonarme betonu yerine asfalt betonu kullanılmaktadır. Bu tip barajların tip seçimi yapılırken topoğrafik, jeolojik gibi faktörlerin yanında iklim de oldukça önemlidir. Eğer bölge çok sıcak ise o zaman bu tip barajın seçimi kısıtlanabilmektedir.



Şekil 2.40 Ön Yüzü Asfalt Kaplı Kaya Dolgu Baraj Fotoğrafı

Cezayir' de 1952-4 yılları arasında dört adet baraj öyak kaya dolgu tipte inşa edilmiştir. Birincisi, Ghrib Barajıdır. 72 m yüksekliğinde olan bu baraj membranın dış yüzeyinin 70 °C ısıya mukavemet gösterecek şekilde tasarlanmıştır. İkincisi, Bou-Hanifia Barajıdır. Üçüncüsü Iril-Emda Barajıdır. Bu baraj 75 m yüksekliğinde ve memba ve mansap şevleri 1.6/1 olarak alınmıştır. Dördüncüsü, Sarno barajı'dır. Almanya'da bu tipte birçok baraj inşa edilmiştir. Almanya'nın iklimi bu tip barajlarda ilave yapımlar gerektirmemektedir. Fazla tercih edilmesi bu nedenle olabilir. Genkel barajı,Wahnbach Barajı, Henne barajı bu ülkedeki barajlardandır. 1957'de Kolorado'da (ABD) Montgometry Barajı bu tipte inşa edilmiştir. 46 m yüksekliğindedir. Asfaltın kalınlığına ve malzeme içeriğine karar vermek için USBR tarafından bir çok test yapılmıştır. Bu testlerin çoğu sıcaklıkla ilgili olmuştur. ABD'nde bu tip barajların seçimi pek yaygın değildir. Ülkemizde bu tip bir baraj yoktur.

Bu tip barajlar yüksek inşa edilebilirler. 1950'li yıllarda kaya dolgu barajlar yığılmış kaya dolgu olarak inşa edildiklerinden yüksek inşa etmek riskli olduğundan yüksek barajların seçiminde elimine olmuşlardır. Günümüz pratiğine göre 300 metreye kadar inşa edilebilirler.

2.5.2.2.8. Bitümlü beton yüzlü toprak-kaya dolgu barajlar

Bitümlü beton yüzlü toprak-kaya dolgu barajlar; ideal olarak serbest drenajlı olarak kaya veya kum çakıl dolgu ile inşa edilmektedir. Fakat toprak ve dolgunun geniş bir oranda kullanımı vardır. Bu tip barajlar 50 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell vd., 1992).

2.5.2.2.9. İnce membran yüzlü toprak-kaya dolgu barajlar

İnce membran yüzlü toprak-kaya dolgu barajlar; ideal olarak kum-çakıl veya kaya dolgu, memba yüzeyi elastomerler, plastomerler, düşük yoğunluklu polietilin, polivinil membranlarıyla 0.2 mm-2 m. kalınlıklarda ve bitumious 3-8 mm olacak şekilde kullanılmaktadır (ICOLD, 1981). İnce membran yüzlü toprak kaya dolgu barajlar; membran bir kum veya kum-çakıl yastık ile ve bu membranı güneş ışığı, dalga tesirleri, yüzen cisimlerin etkisinden korumak için önlemler alınmalıdır. 30 m. yüksekliğindeki barajlarda kullanılmıştır. Gerekli tecrübe kazanımı ile daha yüksek, inşa edilmeleri mümkündür (Fell vd., 1992).

2.5.2.2.10. Dolgu barajlarda statik stabilite analizi

Dolgu barajlarda statik stabilite analizi için FEADAM, CRISP ANSYS gibi birçok mevcut sonlu elemanlar programları kullanılmaktadır. Bu programlar arasında dolgu barajların statik analizine yönelik ABD'de ve diğer ülkelerde yaygın olarak kullanılan program FEADAM'dır. Örnek olarak Gülbahar Barajı alınmış ve FEADAM programı kullanılarak statik gerilme analizi yapılmıştır. Sonuçlar Çizeilge 2.17 ve Çizelge 2.18'de verilmiştir. Baraj temeli sağlam kaya olarak alınmıştır. Zemin özellikleri DSİ Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

Çizelge 2.17 Su Basıncı Uygulandığında Oluşan Düşey ve Yatay Deformasyonlar

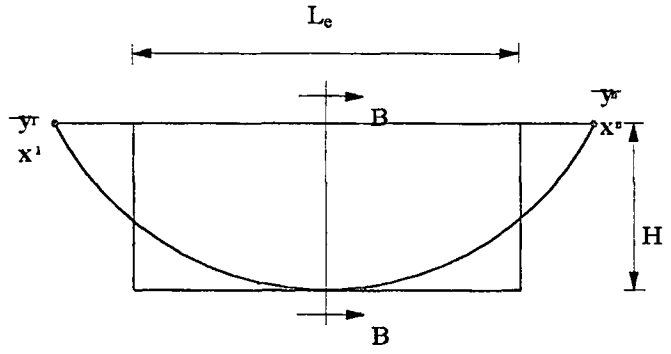
	Su Basıncı Yüklemesi	
Deformasyon (cm)	x	y
Düğüm Noktası 25	0.721	2.920
Düğüm Noktası 40	0.278	0.125
Düğüm Noktası 85	0.490	-2.013
Düğüm Noktası 95	0.365	1.172

Çizelge 2.18 Su Basıncı Uygulandığında Oluşan Düşey Gerilmeler

Gerilme/ (t/m^2)	Su Basıncı Yüklemesi	
Eleman No	σ_x	σ_y
7	64.257	87.701
13	59.456	103.988
84	15.416	34.145
98	1.127	2.255

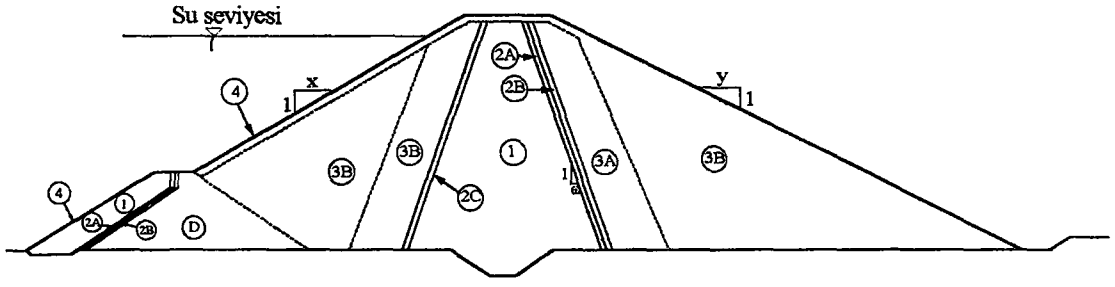
2.5.2.2.11. Dolgu barajlarda ilk tasarım için maliyet tahmini

Dolgu barajlarda maliyet tahmini yapmak için ilkönce vadinin enkesiti çizilir. Vadi enkesiti üzerinde kırık noktalara koordinatlar yerleştirilir. Barajın kret kotu ve enkesiti belirlenir. Enkesit üzerinde kret boyu çizilir. Herhangi bir şekilde (örneğin kross çevrilerek) enkesit üzerinde alan bulunur ve "A" olarak belirlenir. Barajın maksimum enkesiti çizilir ve barajın maksimum baraj yüksekliği temelden itibaren belirlenir ve "H" olarak isimlendirilir. A/H değeri bulunur ve L_e olarak isimlendirilir.



Şekil 2.41. Dolgu baraj maliyet hesaplanmasında L_e mesafesinin belirlenmesi

Baraj enkesiti üzerinde tüm kırık noktalarda koordinatlar belirlenir. Yine herhangi bir şekilde (örneğin planimetre ile) 1, 3B, 2A, 2B, 2C, 4, D,.. hangi malzemeler varsa bunların hacimleri belirlenir. Malzeme hacimlerini bulmak için enkesit üzerindeki alanları bulunan L_e mesafesi ile çarpılarak bulunur. Bulunan tüm hacimler taoplanarak, toplam gövde hacmi bulunabilir.



Şekil 2.42. Vadi enkesiti üzerinde farklı malzemelerin alanlarının bulunması

Daha önceden yapılmış barajlara ait Hacim-Maliyet arasında çizilen grafiklerden veya uyarlanan eğrilerden yararlanılarak barajın birim maliyeti bulunabilir. Baraj hacmi ile çarpılarak ve %20 civarında (bu değer tasarımcının belirleyeceği bir değerdir) artırılarak dolgunun maliyeti bulunabilir. Diğer masraflar için de bu maliyet 0.51 oranlarında bir değere (bu değer diğer baraj maliyetlerinden esinlenerek elde edilmiş bir değerdir) bölünür ve barajın maliyeti bulunabilir. Eğer daha önceden inşa edilen barajlara ait yeterli maliyet verileri yoksa o zaman barajın tüm kalemleri dikkate alınarak keşif çıkartılıp, barajın yaklaşık maliyeti belirlenmelidir. Ayrıca, özel hazırlanmış programlardan yararlanarak baraj maliyetini bulmak mümkündür.

3. BARAJ TİP SEÇİMİNDE TECRÜBELER VE UZMAN BİLGİLERİ

Belirli bir baraj yeri için tip seçimi yapılırken birçok parametrenin bir arada düşünülmesi gerekmektedir. Baraj yerinin seçilmesi, malzeme ocaklarının tayini, taşıma yollarının tespiti, topoğrafik, hidrolojik ve jeolojik araştırmaların tamamlanmasından sonra baraj tipinin belirlenmesine geçilir. Baraj mühendisinin görevi, bu faktörleri dikkate almak ve en uygun tasarımı gerçekleştirmektir. Birçok mühendislik yapısında olduğu gibi baraj planlamasında da tecrübenin rolü çok büyüktür. Mühendisliğin temel bilimleri geliştirilmeden önce mühendislik yapıları meslek kuralları ile yapılmaktaydı. Bilim geliştikten sonra da meslek kuralları önemini korumuştur.

Baraj tip seçimi oldukça kompleks bir konudur. Bu komplekslik çok sayıda parametrenin olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, baraj temeli parametresi ele alınırsa, temelin cinsi (kaya, alüvyon, silt ve ince kum, çakıl, heterojen temel), temelin taşıma gücü, elastisite modülü, çatlak, fay, fissür olması, geçirimliliği gibi hususların tek tek dikkate alınması gerekmektedir. Bu konuda bir formül vermek veya belirli kalıplara oturtmak mümkün olmamaktadır. Doğru karar için kesinlikle tecrübe gerekmektedir.

Baraj mühendisinin her zaman karşılaştığı problemlere tek başına karar vermesi mümkün olmamaktadır. Bazı durumlarda önemsenmeyen parametreler barajın maliyet ve emniyetini etkilemektedir. Çoğu kez baraj tip seçiminde birden fazla tecrübeli elemana gereksinim olmaktadır. Bazı ülkelerde her baraj tipi hakkında yeterli tecrübeli eleman bulmak güçtür. Bir başka değişle, baraj tip seçimini sadece bir ülkenin pratiğine göre değerlendirmek doğru olmamaktadır. Her ülkedeki tecrübeli baraj mühendislerini bulmak onlardan bilgiler almak güç ve pahalı bir iştir. Bu nedenle tecrübeli mühendisler ile görüşmenin yanında yazdıkları kitap, makale ve baraj planlama raporlarından da yararlanmak mümkündür.

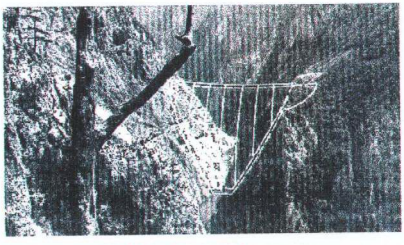
3.1. Baraj Tip Seçimine Etki Eden Faktörler

Baraj tip seçimi ile ilgili kesin bilgiler bulmak güçtür. Bilgilerin çoğu heuristiktir ve bilgiler çok dağınıktır. Bu durumda baraj tip seçimi konusunda oluşturulacak bir veri tabanın, bu konuda çok kısıtlı çalışmaların olduğu ve yanlış bir kara neticesinde ekonomik ve emniyet açısından meydana gelecek olumsuzlukları da düşünerek, sayısal çalışmalardan daha önemli olacağını söylemek mümkündür.

3.1.1. Topoğrafyanın tip seçimine etkisi

Topoğrafik durum baraj tip seçiminde başvurulan ilk parametredir. 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. Örneğin, sağlam ve yüksek kayalıkların bulunduğu bir vadiye inşa edilecek baraj tipinin beton bir baraj olacağı düşünülebilir. 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 inşa edip ayrıca bir dolusavak yapmaktansa; dolusavağı üzerine oturtma imkanı bulunan beton bir baraj inşaatı daha ekonomik olabilmektedir. Yani, yamaç ve temelde kayaya sahip, dar ve yüksek bir vadide tabiatıyla üzerinden aşmalı (dolusavağı üzerinde olan) beton baraj inşası daha uygun olmaktadır. Bu baraj yerleri için, kemer baraj inşası oldukça büyük beton tasarrufu sağlamaktadır. Alçak yükseklikli ve yuvarlanmış kesite sahip yerler için, dolusavağı ayrı olan bir toprak dolgu baraj çoğunlukla önerilen bir tip olmaktadır. Geniş vadiler üzerine genellikle dolgu barajların inşası daha uygun olmaktadır. Genellikle baraj yerinin topoğrafik yapısı baraj tipinin seçiminde ve yapının ekonomik olarak inşa edilebilirliliği üzerinde etkili olmaktadır. Dolusavağın yeri tip seçiminde genellikle yerel topoğrafya ile yönetilen önemli bir faktördür. Son karar aşamasında, dolusavak yerinden çıkarılacak malzeme kalitesi ve miktarı da önemli olmaktadır (Nihat Karadayı, Hasan Usul, Erdoğan Çekmecigil, Hasan Tosun, 1996, -görüşme-).

Thomas'a (1976) göre; vadiler eğer B/H<3 ise kanyon (gorges), bu değer 3 ile 6 arasında ise dar vadi, eğer bu oran 6'dan büyük ise geniş vadi olarak adlandırılmaktadır. Franklin, (1992) ve Thomas (1976) tarafından, tipik olarak ince kemer barajlar için bu değer 3 ve 3'ten daha küçük olması halinde daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. 3 ile 5 arasında kalın kemer barajlar, 5'ten daha büyük yerler için beton barajlar veya diğer baraj tipleri yapılabileceği belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Dar Vadi Fotoğrafı

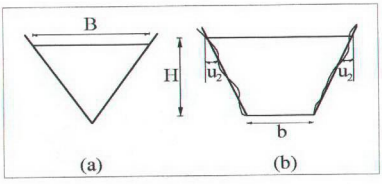
Baraj inşa edilecek aks için vadi en kesitleri çıkarılır; vadi şekilleri ve vadi tipleri bulunur. Vadi şekilleri literatürde belirli şekillerle ifade edilmektedir. Vadi şekilleri araştırmacılar tarafından farklı şekillerde ifade edilmiştir. Walter, (1962) ve Erguvanlı (1995) vadi şekillerini beş ana gruba ayırmıştır. Bunlar;

- Boğaz ya da kanyonlar,
- Dar (V) şekilli vadiler,
- Geniş (V) şekilli vadiler,
- Geniş ve düz (∪) vadiler,
- Bir kısmı alçak ve geniş ,diğer kısmı derin vadiler.



Şekil 3.2. Geniş Vadi Fotoğrafı

Ayrıca bu vadilerin birleşik şekilleri, örneğin U ve V karışığı, V ile V karışığı gibi vadiler de olabilir. (U) şekilli, dar (V) ile geniş (V) şekilli vadiler çoğu akarsuların memba tarafında görülür. Akarsuların gençlik çağlarını tanımlar. Bu tip vadilerde baraj yapılması ilk bakışta kolay, emniyetli ve çabuk olacağı düşünülerek ideal bir baraj yeri olarak tasarlanır. Eğer vadi bir boğaz ya da kanyon gibi buzul ya da akarsu aşındırması ya da tektonik olaylarla oluşmuş (U) tipi bir vadi ise, o zaman tepe uzunluğu , maksimum. su yüksekliği oranı aynı kalmakta ve vadi şeklini karakterize etmektedir. Vadi şekil faktörünü bulmak için pek ilave işlem gerekmemektedir. Baraj tipi seçiminde ABD'de USBR (1986) tarafından "vadi şekli faktörü" (K) için aşağıdaki formülün kullanılması önerilmiştir. Şekil 3.3 a için (3.1) bağıntısı, Şekil 3.3. b için ise (3.2) bağıntısı verilmiştir.



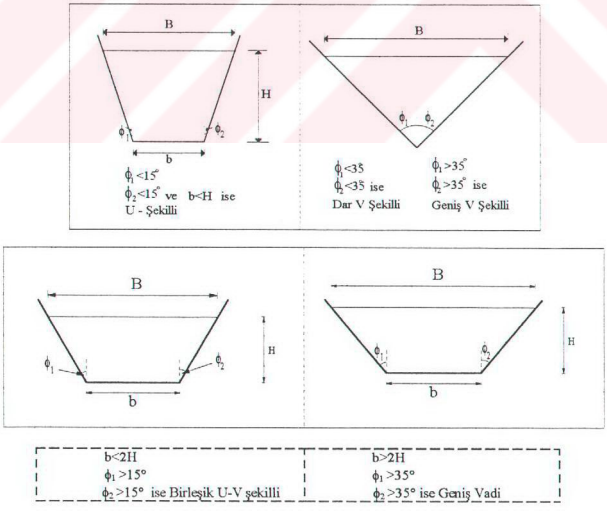
Şekil 3.3. Walter'a (1962) göre vadi şekli ve kısımları. B: Barajın kret uzunluğu, b: Vadinin taban genişliği, H: Baraj yüksekliği, u_1 ve u_2: Yamaç ortalamalarının düşeyle yaptığı açılar.

$$K = \frac{\text{Tepe uzunluğu}}{\text{Baraj yüksekliği}} = \frac{B}{H} \tag{3.1}$$

$$K = \frac{b + H(\text{tg}\,u_1 + \text{tg}\,u_2)}{H}$$
$$K = \frac{b}{H} + (\text{tg}\,u_1 + \text{tg}\,u_2) \tag{3.2}$$

(V) şekilli vadilerde: $b = 0$ olduğundan $K = (\text{tg}\,u_1 + \text{tg}\,u_2)$ olmaktadır.

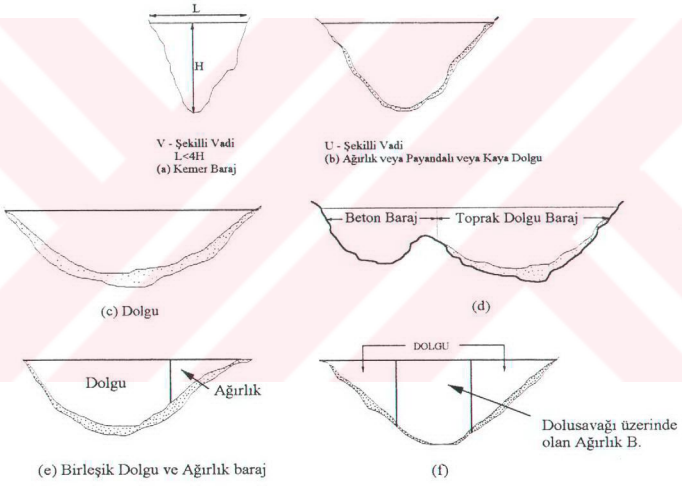
K vadi şekil faktörü formülü ile bulunmaktadır. Thomas'ın verdiği formül, $K = (b + H(\sec\phi_1 + \sec\phi_2))/H$ dir. ABD'de USBR tarafından kemer baraj için ekonomik limit K=4.5 olarak verilmektedir. 5 olursa o yer için ağırlık ya da payandalı tipler elverişli olabileceği belirtilmektedir. Eğer K, 4.5 ile 5 arasında ise karşılaştırma yapmak, diğer faktörleri de göz önünde tutmak ve öyle karar vermek gerektiği ifade edilmektedir. ABD'de yapılmış kemer tipi barajlarda bu oran 5.30'un altında kalmaktadır. Düz ağırlık barajlarında ise bu oran 5.20'nin üzerinde olmaktadır. Kemer baraj için K üst sınırı, İtalya'da bu oran "7" ve Fransa'da "11" olarak verilmektedir. Thomas'a (1976) göre; K'nın 3.5 veya 4 olması "gorge" bir vadiyi tanımlar ve kemer baraj yapımı için idealdır. Rhodesia'da Kariba Barajı, K=6 olan bir vadide inşa edilmiştir. Görüldüğü gibi bu oran ülkeden ülkeye değişmektedir. Bu kriterler sadece bir fikir vermektedir.



Şekil 3.4. Thomas'a göre vadi şekilleri

Dar ve dik vadilerde sağlam, ayrışmamış oldukça az çatlaklı, kırıksız, boşluksuz kayaçlar varsa ve yapısal özellikleri uygunsa bu yer için akla önce kemer baraj tipi gelmektedir. Ya da ikinci alternatif olarak ağırlık baraj (klasik veya RCC) düşünülebilmektedir. Bunlar ilk yaklaşım düşünceleridir. Bütün faktörler ayrı ayrı ve ayrıntılı olarak ele alınıp seçim yapılmaktadır.

U tipi vadilerde kemer barajlar çoğu zaman başarılı olarak yapılmıştır. Eğer vadi geniş ve temel kayaçları kemer baraj yeterliliğine göre zayıfsa, ağırlık tipi baraj öngörülür. İsviçre'de 284 m yüksekliğindeki Grande Dixence Barajı (U) şeklindeki vadiye yapılmış oldukça yüksek bir ağırlık barajdır. Geniş yay şekilli ve düzce olan vadilerde ise, daha çok toprak ve kaya dolgu tipinde barajlar inşa edilmektedir. Anderson Ranch (130 m) bu tipte yapılmış yüksek barajlardan biridir. Bu tipin seçimine, temelin litolojisi, yakınındaki malzeme ve yol durumu ve vadi şekli direkt olarak etki etmiştir.



Şekil 3.5. Farklı baraj tipleri için vadi şekilleri (Novak, 1990 ve Singh, 1995)

Şekil 3.5'te Novak (1990) ve Singh (1995) tarafından verilen vadi şekilleri ve depozit durumları ve tip seçimleri verilmiştir. Sağlam kayalı dik ve derin kenarlı vadilerde, Şekil 3.5a, bir kemer baraj veya kupola baraj uygun olmaktadır. Ekonomik gözlemler dikkate alınarak kaya dolgu baraj alternatif olarak düşünülebilir. Şekil 3.5b sığ derinlikte kaya bileşenli bir vadinin mevcut olması halinde kaya dolgu baraj uygun olmaktadır. Veya ikinci alternatif olarak RCC veya payandalı baraj uygun olmaktadır. Bu durumda kaya dolgu malzemesinin kolay temini söz konusu olduğunda maliyet açısından en iyi alternatif olmaktadır. Şekil 3.5c'de derin alüvyonlu geniş bir vadi verilmiştir. Burada

temel şekil yer değiştirmesi söz konusu ve derin kazı işlemleri gerektirmektedir. Bu nedenle bu yer için toprak dolgu baraj daha uygundur.. Şekil 3.5d de verilen vadinin bir kısmında derin alüvyon vb. depozit mevcut ve diğer kısmı için beton baraj için yeterli temel şartlarını sağlaması durumunda bir kısmı RCC veya payandalı ve diğer kısmı ise toprak dolgu yapılması uygun olmaktadır. Şekil 3.5 e ve 3.5 f de ise yine bir birleşik baraj (beton + toprak) yapmak uygun olmaktadır. Dolusavak beton baraj bölümüne yapılacağından yamaçta yapılması gerekli dolusavak masraflarından kaçınılmış olunmaktadır. Bu verilenler baraj tip seçiminde ilk yaklaşımlardır. Tecrübelere dayanılarak verilmiş bilgileri içermektedir (Novak, 1990 ve Sing, 1995).

Vadi şekli ile ilgili Şekil 3.5.'te ve farklı araştırmacılar tarafından verilenler heuristik bilgilerdir. Bu bilgiler değerlendirilerek tip seçimine ait kurallar oluşturulabilir. Bir başka değişle bu bilgiler kesin olarak ispatlanmış ve kesin olarak kabul edilmiş somut bilgiler değildirler.

3.1.2. Baraj yerinin jeolojik ve litolojik yapısının etkisi

Baraj alanı jeolojisi, o alan üzerine inşa edilebilecek en uygun baraj tipinin seçiminde büyük bir rol oynamaktadır. Baraj tipi seçiminde temel tabakalarının kalınlığı, mukavemeti ve eğimi ile geçirgenliği, elastisite modülü, kırıklar ve fay zonları etkili olmaktadır. Baraj yeri ve tipi seçiminde, topoğrafyadan sonra dikkate alınan ikinci faktördür. Baraj yapılacak yerdeki kayaçların litolojik ve yapısal özellikleri tip seçiminden önce belirlenmektedir. Kayaçların taşıma güçleri, su tutma özellikleri ve suya karşı hassasiyet dereceleri de incelenmektedir. Bu sonuçlar baraj tip seçiminde hassasiyetle değerlendirilmektedir. Barajlarda tip seçiminde dikkate alınan temel tipleri aşağıda verilmiştir.

3.1.2.1. Kaya temeller

Baraj yerindeki kayaçların litolojik özellikleri baraj tipi ve yeri seçiminde rol oynayan önemli faktörlerden biridir. Baraj yeri, kayaçlarında su etkisi ile şişme, kabarma ve erimelerin meydana gelmesi, baraj gövdesini olumsuz yönde etkiler ve baraj gölünden suların kaçmasına neden olur. Kayaçların boşluklu olması boşluk suyu basınçlarının ve kaldırma kuvvetinin oluşmasına, dolayısıyla baraj yapımında maliyeti arttıran iyileştirme işlemlerinin yapılmasını gerektirir. Maliyetin çok yükselmesi ise baraj yerinin veya tipinin değiştirilmesine neden olmaktadır. Ayrıca farklı litolojideki kayaçlar farklı fiziksel ve mekanik özellik gösterir. Bu ise baraj tipinin değiştirilmesine neden olabilir. Örneğin vadi şekli faktörü 4'ten küçük olan bir vadide kemer baraj yapılması uygun iken yamaçlardaki kayaçların farklı litolojide olması, farklı deformasyonlara neden olacağından, kemer baraj yapımına engel teşkil eder.

Barajlar gibi büyük mühendislik yapılarının projelendirilmelerinde ve stabilite hesaplarının yapılmasında temelin ve kullanılacak malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin saptanması, çeşitli kuvvetler altında doğacak deformasyonların bilinmesi zorunludur. Kayaçlar dışında, beton ve çeşitli metallerin özellikleri az çok üniformdur ve deneylerle elde edilen değerler, hesaplarda büyük bir güvenle kullanılabilir. Fakat kayaçlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen değerler her durum için güvenle kullanılabilir nitelikte olmamaktadır. Örneğin, petroğrafik açıdan kumtaşı olarak adlandırılan bir kayacın özellikleri, bunun içindeki tanelerin büyüklüğüne, dizilişine, bunları bağlayan çimentonun türüne çimentolanma ve doygunluk derecesine bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı kayaçların isminden çok, bunların fiziksel ve litolojik özellikleri daha önemlidir (Bell, 1993).

Önemli derecede jeolojik kusurları bulunmayan, yüksek kayma mukavemetine sahip ve erozyona ve sızmalara karşı yeterli dayanımı olan kaya temeller üzerine baraj yapımında; temel şartları baraj tipi belirlemede çok etkili olmamaktadır. Bu durumda diğer parametreler baraj tipi belirlemede rol oynayan etkin faktörlerdendir.

Baraj yerini oluşturan kayaçların yapısal özelliklerin (tabaka, çatlak, fay, fissür, kıvrım vb.) bilinmesi, baraj tipi ve yeri için son derece önemlidir. Baraj ekseni ile tabaka ve çatlakların doğrultu-eğimleri arasındaki ilişki, baraj yerinde kayaçların kıvrımlı olması ve kıvrım durumuna göre baraj yeri seçimi, suyun kaçması, barajın ve yamaçların duraylılığı açısından son derece önemlidir. Bu özellikler baraj yeri ve tipinin değiştirilmesine neden olabilmektedir (Franklin, 1991).

Bir yamaçta aşırı çatlak patterninin varlığı (onların doğrultusu, eğimi ve içi toprak malzeme ile dolu olması), rezervuar suyu ve kemer baraj yükleri altında stabilitesizlik göstereceğinden kemer baraj inşa edilmemelidir. Bu gibi yerlerde bir dolgu baraj ve hatta bir uygun boyutlu ağırlık baraj inşasına gidilmelidir. Temelde belirli bölgelerde farklı deformasyon özelliği gösterebilmesi beton ağırlık veya kemer barajda oldukça büyük problemler doğurmaktadır. Payandalı barajlarda ve dolgu barajlarda uygun tasarım ile daha az problem olmaktadır (Thomas, 1976).

Kaya temelin yüzeyden önemli derinlikte aşağıda olması halinde bu baraj yerlerinde genellikle toprak dolgu baraj yapılması daha uygun ve ekonomik olmaktadır. Çünkü toprak dolgu barajlar için bir kaya temel gereksinimi yoktur (Creager vd, 1957).

Kaya kalitesi iyice incelenmelidir. Açıklıkların bulunması beton ağırlık barajlarda fazla önem taşımamaktadır. Fakat kemer barajlarda hayati önem taşımaktadır. Sadece basınç mukavemeti açısından değil aynı zamanda kayma mukavemeti ve elastisite modülü açısından da dikkate alınmalıdır. Avustralya'da Cethana Barajı 106 m yüksekliğinde ve kemer baraj tipinde ilkönce planlanmıştır. Topoğrafya ve genel kaya yüzey incelemelerinde bu yerin kemer baraj için uygun olduğuna karar verilmiştir. Fakat daha detaylı araştırmalar yapıldığında temel kayada çatlak ve kesme düzlemleri,

T.C. YÜKSEK ... KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

tabakalanma ve zayıf kısımların olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle burada ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj yapımına karar verilmiştir. Değişik litolojideki kayaçların deformasyon özellikleri, taşıma güçleri göz önüne alınarak ilk önce düşünülen baraj tipi değiştirilebilmektedir.

Baraj tip seçiminde kaya temelleri yumuşak kaya, sert kaya ve çok sert kaya şeklinde sınıflandırmak pratikte yararlı olmaktadır. Yumuşak kaya; küskü, kırıcı tabanca veya patlayıcı madde kullanılarak kazılan killi kireçtaşı, marn, katmanlı kireçtaşı, kumtaşı, gevşek konglomera, jips, volkanik tüfler, şist vb. zeminler örnek olarak verilebilir. Sert kaya, patlayıcı madde kullanılarak atılan, kırıcı tabanca ile parçalanıp sökülen kalın katmanlı veya som kumtaşı, kireçtaşı, sıkı çimentolu konglomera, volkanik kayaçlar (trakit, andezit) ayrışmamış serpantin, sıkı tüfler, mermer vb. metamorfik kayaçlar örnek olarak verilebilir. Çok sert kaya, patlayıcı madde kullanılarak atılan kırıcı tabanca ile parçalanıp sökülen, ayrışmamış mağmatik ve metamorfik kayaçlar (granit, diyorit, siyenit, andezit, bazalt, gnays, kuvarsit, kuvars porfir vb. kayaçlar) örnek olarak verilebilir.

Yeryüzünde bulunan kayaçların baraj yeri olma yönünden özelliklerini belirten matematik formüller vermek ve tanımlar yapmak mümkün değildir. Hiçbir kayaç bileşimleri, isimleri, oluşları aynı anda da olsa diğerine tamtamına benzemez. Mühendislik özellikleri farklı farklı olmaktadır. Bu nedenle baraj tip seçimini US'lerle yaparken, kayaçların isimlerinden çok onların fiziksel ve litolojik özellikleri dikkate alınmıştır. Eğer baraj temeli kaya ise o zaman alternatif baraj tipleri sayısı daha fazla olmaktadır. Baraj tip seçiminde heuristik kuralların en çok olduğu temel kaya temel olmaktadır.

3.1.2.2. Çakıl temeller

Bu tip temeller iyi sıkışmış ise toprak dolgu, merkezi çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj, kaya dolgu ve düşük yükseklikli beton ağırlık barajların inşası için uygun olmaktadır. Beton baraj yüksekliği temelin taşıma gücüne bağlı olmaktadır. Beton barajlarda taban genişliği artırılarak temelin kaymaya karşı mukavemeti artırılır. Japonya'da Okawa Barajı'nda bu tür bir uygulama mevcuttur (Makoto Abe, 1996 -görüşme-). Çakıl temeller sık sık su kaçmasına neden olduklarından, bu su kaçağını engellemek için özel tedbirlerin yanında katoff'lar veya su geçirimsizliği sağlayacak kaplamalar gibi ilave işlemler gereklidir (USBR, 1986).Geçirgen temelin açıkta sığ derinliğe sahip olması durumunda, ana kayaya (geçirimsiz tabakaya) kadar çekirdek hendeği teşkil edilir. Böylece aşırı sızma kayıpları ve borulanma ihtimali en etkin biçimde önlenmektedir. Bütün geçirgen temellerde topuk dreninin düzenlenmesi gereklidir. Geçirgen temelin açıkta ve çok derin olması, özellikle palplanş veya çimento perdesi yapılamayacak kadar derin olması durumunda, kil blanket yapılır

ve çekirdek tabanı büyütülür. Gerekli ekonomik analizler yapılarak pozitif katoff veya yüzen katoff'un hangisinin uygun olduğuna karar verilir.

3.1.2.3. Silt ve ince kum karışımı temeller

Taşıma güçleri az, oturma miktarları yüksek, geçirimlilikleri fazla ve erozyona uygundurlar. Çok zorunlu kalmadıkça bu temeller üzerine herhangi bir tipteki baraj inşa edilmemelidir. Fakat zorunlu durumlarda uygun planlama ile toprak dolgu barajların inşası mümkün olmaktadır. Bu tip temeller kaya dolgu barajlar için kesinlikle uygun değildir (USBR, 1986). Bu temellerde; oturma, borulanma, aşırı sızma ve mansap topuğunda temelin korunması durumları gibi ana problemleri saymak mümkündür. Bunlara karşı gerekli tedbirlerin alınması kesinlikle gereklidir. Temeller içerisinde en tehlikeli olan temeldir. Bu temeller üzerine beton ağırlık, RCC, ÖYBK kaya dolgu baraj, ÖYAK (ön yüzü asfalt kaplı) kaya dolgu baraj, kil çekirdekli kaya dolgu baraj, kemer baraj, kemer ağırlık baraj ve payandalı baraj inşa etmek mümkün değildir (Hasan Tosun, Nihat Karadayı, 1996, -görüşme-).

3.1.2.4. Kil temeller

Toprak dolgu barajlar için uygun bir temeldir. Temel kayma mukavemetleri daha düşük olduğundan daha yatık şevler gerektirmektedir. Bu temellerde konsolidasyon önemlidir. Oturma fazla olmaktadır. Eğer, kil konsolide olmamış ise ve nem içeriği yüksek ise barajın oturması durumu daha önemli olmaktadır. Kil temeller beton ağırlık barajlar için uygun değildir. Kaya dolgu barajlar için de kullanılmamalıdır.

Tabii durumdaki temel malzemesine ait testler genellikle malzemenin konsolidasyon karakteristiklerine ve temelin ilave edilmiş yüklere dayanma yeteneğine karar vermek için gereklidir. Sert kil temel taşıma gücü yaklaşık olarak 2 kg/cm^2 değerindedir. Yumuşak kil taşıma gücü yaklaşık olarak 1 kg/cm^2 değerindedir. Buna göre yüklenmelidir(USBR, 1986).

3.1.2.5. Siltli ve killi temeller

Siltli ve killi temeller, alttan sızma ve borulanmaya karşı önlem almaya gerek göstermeyecek kadar geçirimsizdirler. Bu temellerde esas sorun temelin stabilitesi, yani yükleme durumundaki kararlılığıdır. Doygun silt ve killi temellerin görünen zayıf taşıma güçlerine ek olarak haznenin dolması sonunda oluşan doygunluğun da göz önünde tutulması gereklidir. Bu

temellerde alınacak önlemler; toprak özelliklerine, yeraltı su seviyesine ve toprağın kompaksiyon durumuna bağlıdır. Siltli ve killi temeller üzerine kaya dolgu gövde yapılmasından kaçınılmalıdır (USBR, 1986). Bu tip temeller üzerine homojen toprak dolgu baraj inşa etmek mümkündür.

3.1.2.6. Üniform olmayan temeller

Her zaman üniform bir temel ile karşılaşmak mümkün olmayabilmektedir. Uygulamada ünüform olmayan temellere daha çok rastlanmaktadır. Yine, üniform olmayan bir kaya temel ile de karşılaşmak mümkündür. Eğer bu tip bir temel üzerine bir baraj inşa edilecekse yumuşak malzeme kullanılmalıdır. Yetersiz şartlar genellikle ilave işlemler gerektirmektedir. Her baraj yeri için en uygun ilave işlemler tecrübeli mühendisler tarafından belirlenmelidir.

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 oturmalara uyumlu davranması nedeniyle çok önemli değildir. Ancak beton barajlarda temeldeki farklı oturmalar baraj gövdesinde büyük sorunlara neden olabilmektedir.

Dolgu barajların; diğer baraj tiplerine göre 4.5 ile 9 kat daha fazla bir alana yayıldıkları ve 16 ile 40 kez daha az taşıma direnci olan kayaçlar üzerine inşa edilebildikleri Vardar ve Mahmutoğlu, (1993) tarafından belirtilmiştir.

3.1.3. Malzemenin temin edilebilirliliği

Değişik tipteki barajlar için gerekli malzemeler bazen baraj yerinde veya yakınında kolayca temin edilebilmektedir. Baraj tipi ve yeri seçiminde, baraj yapımında kullanılacak malzemenin uygun nitelikte, yeter miktarda ve baraj yerine yakın olması gerekir (Franklin, 1991). Malzemenin yeter miktarda olmaması halinde baraj yerinde yapılan çevirme tüneli ve dolusavak kazılarından çıkan malzemenin de uygun nitelikte olması gerekmektedir. Bu malzemenin uygun nitelikte olması halinde baraj tipi, kazı malzemesinin nitelik ve miktarının yetersiz olması halinde ise baraj yeri değiştirilir ve akarsu planlamasına uygun yeni proje hazırlanır. Örneğin, Almus Barajı'nda dolusavak kazısından çıkan malzeme gövde ve filtre yapımında kullanılmıştır. Hirfanlı Barajı'nın yapımında kazılardan çıkacak malzeme göz önüne alınarak kaya dolgu tipte planlanan baraj, kazı malzemesinin uygun olmaması sonucu kaya-toprak tipe dönüştürülmüştür.

Barajlar için gerekli malzemeler; dolgular için toprak malzemeler, dolgular ve riprap için kaya malzeme, beton için agrega (kum, çakıl, kırılmış taş), dolgu barajlarda filtre için kum-çakıl ve RCC baraj için kum çakıl ve puzolandır.

İnşaat malzemesinin, özellikle büyük miktarda kullanılması durumunda, taşıma maliyetinin düşürülmesi, projenin toplam maliyetine oldukça büyük oranda azalma sağlamaktadır. Çoğunlukla en ekonomik baraj tipi baraj yerine en yakın malzeme ile inşa edilmesidir (USBR, 1986). Baraj planlamasında aşağıda verilen iki Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2. hazırlanması yararlı olmaktadır.

Çizelge 3.1. Malzeme Cinsi miktarları ve maliyetleri

No	Malzeme Cinsi	Miktarı m^3	Malzemenin yerinden alınması taşınması ve yerleştirilmesinin maliyeti ($)
1 Nolu	Geçirimsiz kil	-	-
3..Nolu	Geçirimli kum çakıl	-	-
4..Nolu	Geçirimli kaya	-	-
F_k	Filtre kum	-	-
F_t	Filtre tuvenan	-	-
$F_ç$	Filtre çakıl	-	-
R	Riprap	-	-
K	Koruyucu	-	-
-	-	-	-

Çizelge 3.2. Malzeme Alanı Özellikleri

Alanın adı	Yapıya Uzaklığı (m)	Yol Durumu	Geçirimsiz mlz. hm^3	Filtre ve geçirimli hm^3	Kaya hm^3	
Geçirimsiz mlz. (1-A)	-	-	-	-		-
Geçirimli (3-A) (F-A)	-	-	-	-		-
(K_A) (R_A)	-	-	-	-		-
-	-	-	-	-		-

Yukarıda verilen iki çizelge baraj tip seçiminde oldukça yararlı olmaktadır. Eğer malzeme yeterli ise bunun taşıma mesafesinin ve maliyetinin uygunluğu araştırılır. Farklı malzemelerin maliyetleri incelenerek baraj tip seçiminde bu parametre incelenir. Baraj tipi ve yeri seçiminde, kullanılacak malzemenin baraj yerine yakınlık ve uzaklığı da etkili olmaktadır. Projenin ekonomik olabilmesi için malzeme ocaklarının baraj yerine yakın olması gerekir. Örneğin, malzeme taşıma mesafesinin 20 km den fazla olmasının ekonomik olmadığı uzmanlarca belirtilmektedir.

Uygun ve yeterli miktarda kum çakıl malzemenin baraj yerinde veya baraj yerine yakın yerde bulunması bir beton baraj yapımını cazip kılabilir. Eğer uçucu kül kolay temin edilebiliyorsa ve yeterli miktarda ise bir RCC baraj inşasını ekonomik kılabilmektedir. Diğer bir değişle, bir baraj için ödünç malzeme ocağı, baraj yerine ne kadar yakın ise maliyet de o kadar düşmektedir. Böylece, yapının kalite ve yeterliliğinden ödün vermeksizin yerel kaynaklardan büyük oranda faydalanmak bir avantaj sağlamaktadır.

3.1.4. Dolusavak boyutu ve yeri

Dolusavaklar, baraj bünyesindeki hayati yapılardan birini oluşturmaktadır. Bir dolusavağın boyutları, tipi ve konumunun getirdiği sınırlamalar baraj tipi seçimine tesir 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. Belirli tipte dolusavak seçimi yapılırken, geçirilmesi olası taşkınların büyüklüğüne bakılması gerekmektedir. Böylece, büyük taşkın potansiyeline sahip akarsular üzerinde kurulacak barajlarda etkin faktörün dolusavak olduğu ve baraj tipi seçiminin değerlendirilmesinde ikincil bir faktör olarak da karşımıza çıktığı görülmektedir. Büyük bir dolusavak inşaatının maliyeti, toplam baraj proje maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu gibi durumlarda, dolusavağın kret üzerine oturtulduğu beton barajlarda olduğu gibi, baraj gövdesini ve dolusavağı tek bir yapı halinde düşünmekte yarar olmaktadır.

Bu gibi durumlarda bir yapıda dolusavak ve baraj kombinasyonu birlikte inşa edilmesi arzu edilir. Yine bu durumda üzerinde dolusavağı mevcut beton barajın benimsenmesi yoluna gidilmelidir. Dolusavağı ayrı olarak inşa edilmesi durumunda dolusavak kanallarından kazılarak çıkarılan malzemeler dolgu barajlar için büyük önem taşımaktadır. Bir toprak dolgu baraj için bu durum oldukça avantajlıdır.

Toprak ve kaya dolguların üzerinde dolusavak inşa etmenin uygunluğu düşünülürken barajda oluşacak kayma ve aşırı oturmalar dikkate alınmaktadır. Günümüzde bir ÖYBK kaya dolgu baraj üzerine dolusavak inşa edilmiştir. Ancak bu durum dolgu barajlar üzerine dolusavak yapılabileceğini göstermez. Çünkü bu yöntemin teorisi henüz oturtulmamıştır.

Genel dolusavak düzenlemelerinden biri, herhangi bir yamaçta kanal kazımı yapılarak kullanılabilmektedir. Bu yapı barajın sınırları dışında gerçekleştirilmektedir. Toprak dolgu ve kaya dolgu barajlar üzerinde dolu savak inşa etmek günümüz pratiğine göre uygun olmamaktadır. Bu nedenle yamaçlarda dolu savak için uygun yer yoksa o zaman dolusavağın gövde üzerine oturtulabileceği baraj tiplerinin seçilmesi gerekmektedir.

Baraj drenaj alanına düşen yağmur miktarı ve yağış süresi, akarsuların taşkın debileri, ve dalga etkileri baraj yapılmadan çok önce, başlayan ölçülerle belirlenir. Uzun yıllar boyunca yapılan bu ölçülerden çıkarılan sonuçlara göre de baraj tipi seçiminde yararlanılır. Akarsuyun maksimum taşkın suyunu boşaltacak bir savak yapmak ve bunu barajın en uygun yerine yerleştirmek baraj projelerinde ve baraj tipi seçiminde düşünülen problemlerin en önemlilerinden ve en başta gelenlerinden biridir.

Örneğin dolgu tipinde planlanan bir barajda, dolu savağın yerleştirileceği yamaçların kazı için uygun olmaması (kitle hareketi, kazı miktarı vb.), ya da uygun topoğrafik koşulların bulunmaması, dolusavağın üstten yapıldığı beton baraj tipine çevrilir. Bazen de barajın bir kısmı dolgu, bir kısmı beton olarak yapılır (Keban Barajı'nda olduğu gibi). Savak yerinin, şeklinin ve büyüklüğünün iyi seçilmemiş olması, birçok barajların yıkılmasına neden olduğu günümüzde daha iyi bilinmektedir.

Baraj tipinin seçilmesinde taşkın debisinin rolünü ülkemizden bir örnek ile açıklamak gerekirse, Sakarya Nehri üzerinde yapılan Sarıyer Barajı'nı örnek olarak verebiliriz. Bu baraj önce kaya dolgu baraj, sonra da ağırlık veya kemer baraj tiplerinde yapılması düşünülmüştür. Fakat Sakarya Nehri'nin getirdiği 9000 m^3/s'lik taşkın debisini boşaltacak dolu savağın vadiye yerleştirilmesi, baraj emniyeti bakımından tehlikeli görülmüş ve bunun üzerine ağırlık barajı yapılması kararlaştırılmıştır.

3.1.5. Çevresel etkiler

Son zamanlarda çevresel etkiler baraj tasarımında büyük önem kazanmıştır. Çevre kanunları ile çevrenin korunması, baraj tipi üzerinde etkili olmaktadır. Bu etkileri, barajın tipi, boyutları, dolusavağın yeri ve barajın ilave bölümleri olarak saymak mümkündür. Çevresel etkiler, barajın toplam maliyetini etkilemektedir. Çevreyi korumak amacıyla özel ve devlet bazında bir dizi kanunlar ve yönetmelikler hazırlanmıştır. Bu kanunlar; tasarımı, inşayı ve işletimi etkilemektedir. Ödünç alanlarındaki erozyon, inşa yolları, taş ocakları ve rezervuar işletimi konularında uyulması gereken bazı kurallar vardır. Verimli tarım alanlarının su altında kalması ve tarım arazilerinden malzeme alınması çevrecilerin en büyük kozlarını oluşturmaktadır.

ABD'de büyük hacimli bir baraj ilkönce merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj olarak planlanmış, fakat malzeme araştırmalarında kil malzemenin ince tabakalar halinde bulunduğu anlaşılmıştır. Yeterince geçirimsiz materyal temin etmek için verimli arazilerden çok büyük alanlarda sıyırma yapmak gerekmiştir. Bu durumda çiftçilerin ve çevrecilerin büyük tepkileri olmuştur. Temel şartları zor olmasına rağmen ince kemer baraj seçmek zorunda kalınmıştır. Kemer baraj için oldukça pahalı temel iyileştirmesi gerekmiştir (Thomas, 1976).

3.1.6. Barajın inşa esnasında taşkın durumu

Baraj yağış alanına ait yeteri kadar hidrolojik veri yoksa, baraj tipini ve yüksekliğini saptamak pek kolay olmamaktadır. Örneğin; baraj yapılır, rezervuarda yeterli miktarda su toplanmayabilir veya baraj inşa

halinde iken baraj üzerinden su aşabilir. Bu nedenle baraj yapılacak yere ait hiç olmazsa 10 yıllık hidrolojik (yağış, akış, taşkın, buharlaşma vb.) değerlerin var olması gerekmektedir. Eğer taşkın riski varsa baraj tipini ona göre seçmek gerekir.

İnşa esnasında taşkınlar tarafından sel basması ihtimali olduğunda beton barajlar veya ön yüzü beton veya asfalt kaplı kaya dolgu barajlar daha uygun olmaktadır. Eğer ileri teknikler kullanılarak ve derivasyon tünelleri yeterli boyutlarda olması halinde diğer tipler seçilebilmektedir. Özel ayrıntılı tedbirlerin alınması toprak dolgu barajlarda ve kil çekirdekli barajlarda şarttır. Bu tedbirler ilave maliyet getirmektedir. Avustralya'da bu faktör nedeniyle ilkönce kil çekirdekli olarak planlanan Julius Barajı, bu tipin yerine oldukça fazla maliyete çok kemerli payandalı baraj seçilmiştir (Thomas, 1976).

3.1.7. Ülkenin ekonomik durumu ve işçilik

Baraj yapılacak ülkenin ve bölgenin ekonomik durumu, endüstriyel gelişmesi, çimento, demir vb. gibi yapı malzemesinin bol ya da az bulunması baraj tipi seçiminde etkilidir. 1954 yılında Hirfanlı Barajı'nın yapımı sırasında, Türkiye'de çimento üretiminin yeterli olmaması bu barajın beton ağırlık yerine Kaya-Toprak dolgu tipinde yapılmasına neden olmuştur.

Diğer taraftan ülkede kalifiyeli işçinin, kalıp ve beton ustalarının varlığı ya da azlığı, özellikle kemer ve payandalı baraj tip seçiminde etkili olmaktadır.

Ülkeler arasındaki iktisadi şartlar ve işçilerin sosyal durumları arasında önemli değişiklikler vardır. Örneğin, ABD'nde işçilik pahalıdır. Bu ülkede işçilikten kazanmak için değişik yollar aranmaktadır. RCC barajların gelişimini örnek olarak vermek mümkündür. Hindistan'da geniş işçi kitleleri var ve işçilik ucuzdur. Bazı ülkelerde kalifiyeli işçi veya müteahhit firma bulunmayabilmektedir. Bu durumda kalıp gereksinimi ve yüksek dayanımlı beton dökülmesini gerektiren tipler seçilmemelidir. Bu baraj yerlerinde dolgu baraj tipi veya beton ağırlık baraj tipleri seçilmelidir. Fakat buna karşılık makine temini güç ve pahalı olmaktadır. Ülkemizde işçiklik fazla yüksek değildir.

Çimento, demir gibi malzeme fiyatlarında gelişmiş ülkelere göre fazlalıklar vardır. Yine fabrikaların uzak olması durumunda taşıma maliyetleri de artmaktadır. Ülkemizde yapılan barajların büyük bir çoğunluğunu dolgu barajlar oluşturmaktadır. Bunun en büyük nedenlerini, malzeme temini ve vadi şekilleri ve vadilerin temelleri, diğer baraj tiplerinde tecrübeli eleman olmaması ve müteahhitlerin makine parklarının dolgu baraj için uygun olması olarak saymak mümkündür.

3.1.8. İklim ve inşaat mevsimi süresi

Baraj yapılması düşünülen bölgenin iklim koşulları,barajın inşaat süresini dolayısıyla da baraj tipini etkilemektedir. Yağışı fazla olan veya don yapan bölgelerde, toprak baraj gövdesinde geçirimsiz ve yarı geçirimli malzemesinin yerleştirilmesi çok zor olmaktadır. Bu nedenle, yağışlı bölgelerde çekirdek kısmı çok ince olan baraj tipleri seçilmektedir. Don yapan bölgelerde ise beton dökülmesi zorlaşacağından ince çekirdekli dolgu barajları tercih edilmelidir. Gerçi günümüz koşullarında bu tür zorluklar yenilebilmektedir. Fakat ek işlemler gerektiğinden proje ekonomik olmamaktadır.

Diğer taraftan kurak bölgelerde, gövdenin kompaksiyonu, klasik beton ağırlık barajlarda betonun prizi esnasında soğutulması için gerekli suyun sağlanması önemli problemler oluşturur. Yine inşa esnasında su eksikliği kil çekirdekli barajlarda sorun olmaktadır.

3.1.9. Bölgenin depremselliği

Bir vadide baraj yapılması planlandığında üzerinde önemle durulması gereken konulardan biri de baraj yeri ve çevresinin depremselliğidir. Deprem sırasında meydana gelen titreşimler gerek baraj gövdesini gerekse baraj arkasında toplanan suyu etkiler. Bu nedenle deprem bölgelerinde yapılacak barajlarda genellikle vadi şekli faktörü dikkate alınmaksızın depreme dayanıklı baraj tipi dinamik analiz yapılarak belirlenir.

Dinamik yükler altında barajın davranışı sonlu elemanlar yöntemi gibi herhangi bir metotla incelenmelidir. Filtrelerle teşkil edilmiş kil çekirdekli kaya dolgu barajların yüksek dereceli deprem bölgeleri için emin bir tip olduğu Thomas, (1976) tarafından belirtilmiştir. Yine ÖYBK kaya dolgu barajlar 8.5 gibi yüksek ölçekli depremlerde güvenli olduğu Hacelas vd, (1985) tarafından belirtilmektedir. Deprem etkileri nedeniyle barajın elemanlarında daha tutucu davranılmaktadır. Tasarımcı deprem etkisinden dolayı; daha iyi filtreler, daha büyük kapasiteli mansap drenleri, borulanmayı önlemek için daha kalın çekirdekler, daha yatık şevler yapmak zorunda kalmaktadır. Bazı durumlarda bu tutucu tasarım oldukça büyük maliyet getirmektedir. Bu nedenle daha ekonomik baraj tipi araştırılmalıdır. Sismik nedenlerden dolayı ilave temel işlemleri ve gövdede yapılan özel işlemler ilave süre ve maliyete neden olmaktadır. Bu nedenle baraj tip seçimini en iyi şekilde değerlendirmek gerekmektedir (Sherard, 1963). RCD barajların inşa süresinin ve maliyetinin RCC barajlara göre fazla olmasını deprem korumalarından kaynaklandığını örnek olarak vermek mümkündür.

3.1.10. Baraj yüksekliği

Baraj tipi seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer faktör de inşa edilecek barajın yüksekliğidir. Yüksekliği fazla olmayan barajlarda tip seçilirken kısıtlayıcı faktörler daha azdır, bu nedenle inşaat kolaylığı sebebiyle homojen barajlar seçilmektedir.

3.1.11. Rezervuar işletimi

Rezervuarın işletimine göre planlamada dikkate alınması gereken bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Rezervuarda su kaybının önemi barajın hangi amaçla inşa edildiğine büyük ölçüde bağlıdır. Bir içme suyu temini için oluşturulan bir rezervuarda su kaybı oldukça önemlidir. Fakat taşkın kontrollü bir baraj için, önemli değildir. Bu durumda barajın çekirdeğinin oldukça geçirimsiz olması ve temelinin katoff gibi işlemler ile geçirimsizliğinin temini sağlanmalıdır. Eğer baraj sadece taşkın kontrolü için yapılacaksa oldukça geçirimsiz bir yapı yapma zorunluluğu yoktur. Bu durumlara göre baraj tipi seçimi değişebilmektedir.

Bazı rezervuarlarda su seviyesi kesinlikle hızlı alçalma ve yükselme ile karşı karşıya olmaz. Fakat bazı rezervuarlarda bu hızlı, su alçalması ve yükselmesi gerçekleşmektedir. Bu durumda memba zonları özel olarak tasarlanmalı ve memba şevi korunmalıdır (Sherard, 1963). Su yüzeyinin bir günde çok sık ve farklı oranlarda değiştiği santrallı rezervuarlarda, memba yüzünde olabilecek kayma tehlikesi de göz önünde tutularak (eğer baraj dolgu ise) merkezi kil çekirdekli veya ÖYBK kaya dolgu baraj seçilmesi önerilmektedir.

3.1.12. İnşaat süresi

İnşaat esnasında oluşan yüksek boşluk suyu basınçlarının azalması için belirli bir sürenin geçmesi gerektiğinden; homojen tipli barajların inşası hızlı bir şekilde gerçekleştirilemez. Eğimli çekirdeği olan barajlarda, soğuk ve yağışlı hava koşullarında bile inşaat süresini kısaltmak mümkün olmaktadır. Çünkü, mansaptaki geçirimli kısım geçirimsiz kısımdan bağımsızdır. ÖYBK kaya dolgu barajlar kısa sürede inşa edilebilmektedir. Yine RCC barajlar da çok kısa sürede inşa edilebilmektedir. Taşkın önleme, su temini gibi bazı durumlarda barajın erken bitirilmesi gerekmektedir. Bu da baraj tipinin seçimini etkilemektedir.

3.1.13. Amaç ve rantabilite (kâr-maliyet) etkisi

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

3.1.14. Barajın sonradan yükseltilmesi

Her baraj tipinin sonradan yükseltilmesi mümkün değildir. Bu durum baraj tip seçimini etkilemektedir. Çeşitli amaçlar için inşa edilmiş barajların zamanla yükseltilmesi gerekebilmektedir.

3.1.15. Proje mühendislerinin yetişme tarzı, bilgi ve cesareti

Proje mühendisinin belirli baraj tipleri üzerinde daha iyi yetişmiş olması baraj tip seçiminde etkili olmaktadır. Proje mühendisinin bilgisi tip seçinde etkilidir. Çünkü proje mühendisi bazı baraj tiplerinde oldukça iyi deneyimli olabilir fakat bazı baraj tipleri hakkında tecrübe ve bilgiye sahip olmayabilir. Örneğin, Türkiye'deki proje mühendisleri ÖYBK kaya dolgu, RCC baraj ve payandalı baraj hakkında yeterli tecrübeye sahip değillerdir.

3.1.16. Baraj inşa edilecek ülkenin hazırladığı şartnameler, standartlar, tutucu kararlar

Hemen hemen her ülkenin kendine ait şartnameleri, standartları ve aldığı kararları veya kendisine uyarladığı kararları vardır. Bazı ülkelerde bu sayılanlar daha tutucu bir şekilde hazırlanmıştır. Bunlar, tip seçiminde etkili olmaktadır.

3.1.17. Nehir derivasyonu

Nehir derivasyonunun maliyeti, bir projenin toplam maliyetinde çok önemli bir kısımdır. Bu nedenle araştırma safhasında uygun bir tasarım şekli dikkate alınmalıdır. Bir toprak dolgu

barajı taşkınlardan korumak için yapılan derivasyon işlemleri, bir beton baraj için gerekli olan derivasyon işlemlerinden çok daha pahalı işlemler gerektirir.

Tünel uzunluğu barajın tipine ve vadideki kayacın doğal durumuna bağlıdır. Membranlı bir kaya dolgu baraj derivasyon tünel uzunluğu, baraj yüksekliğinin yaklaşık olarak dört katıdır. Bir homojen dolgu baraj (düz yatık şevlere sahip) derivasyon tünel uzunluğu yaklaşık olarak baraj yüksekliğinin sekiz katıdır. Bir başka değişle bir kemer baraj daha kısa derivasyon tüneli ile inşa edilebilir. Bir baraj yerinde derivasyon tünelinin maliyeti baraj tipi seçiminde etkili olduğu açıktır. Bu nedenle tip seçiminden önce derivasyon tünelinin boyutu ve maliyeti de baraj tiplerine göre araştırılmalıdır (Thomas, 1976).

3.1.18. Emniyet

Barajlarda emniyetin tip seçimine etkisini bir örnek ile açıklamak mümkündür. Avustralya'da bir baraj yeri topoğrafik ve diğer parametrelere göre kemer baraj için uygun olduğundan bu tipte planlanmıştır. Nehir temeli kazıldığında ve yeterli sondaj çalışmaları neticesinde, üzerinden aşmalı dolusavaklı kemer baraj için emniyetli olmayacağına karar verilmiştir. Bu emniyet faktöründen dolayı bu baraj yeri için bir kaya dolgu baraj yapılmasına karar verilmiştir (Thomas, 1976).

3.1.19. Ekonomik analizler

Ekonomik analizlerin gayesi ulaşılması arzulanan hedeflerin gerçekleştirilmesinde daha ekonomik baraj tipinin belirlenmesidir. Barajlarda tip seçimini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler çoğu kez birçok baraj tipini elemektedir. Örneğin baraj temeli silt ve ince kum ise veya kil ise o zaman buraya ince kemer, kemer ağırlık, 20 metreden yüksek RCC veya klasik beton ağırlık baraj, payandalı baraj tipleri ilk başta elenecektir. Bazı tiplerde malzeme, dolusavak durumu gibi parametrelere göre elenmektedir. Geri kalan tipler veya iki tip arasında maliyet karşılaştırması yapmak gerekmektedir. Barajların gövde hacimlerinin belirlenmesinden sonra, önceden yapılmış barajların maliyetlerinden yararlanarak ilk tasarım maliyeti belirlenebilir. Böylece belirlenen maliyetler karşılaştırılarak baraj tipine karar verilebilir. Bazı durumlarda bazı kısıtlamalar barajda ekonomik analiz sonucunu elimine etmektedir. Çevrecilerin etkilerinden dolayı uygun malzeme teminin elde edilememesini örnek olarak vermek mümkündür. Doğal yer şartları değişik baraj tip maliyetlerine etki eder. ABD'de 106 m yüksekliğinde Crystal Barajı ilkönce kaya dolgu baraj olarak düşünülmüş ve daha sonra yüksek maliyet dolayısıyla çift eğrilikli kemer baraj seçilmiştir. Ita Barajı (Brezilya) 125 m yüksekliğinde 880 m kret uzunluğundadır. Bu baraj için, merkezi kil çekirdekli kaya dolgu, eğik kil

çekirdekli kaya dolgu ve ÖYBK kaya dolgu baraj tipleri düşünülmüştür. Merkezi kil çekirdekli baraj süreyi %50 artırdığından ve bölgenin yağışlı olması nedeniyle bu seçenek elenmiştir. Maliyet karşılaştırmasında ÖYBK'nın $43 416 000'a, eğik kil çekirdekli barajın ise $49 383 000'a mal olacağı tespit edilmiş ve neticede ÖYBK kaya dolgu baraj seçilmiştir (Antunes vd., 1985).

3.2 Baraj Tip Seçiminde Alternatiflerin Dikkate Alınması

Alternatifler üzerinde gerekli incelemeleri yapmak için yeterli zamana ve tecrübeli elemanlara sahip olmak gerekir. Belirli bir aks yeri için baraj tip seçimini etkileyen tüm parametrelere göre (hesap ve inşa kolaylılığı da dahil olmak üzere) en uygun tipin seçilmesi gerekmektedir. Her zaman uzman kişiler bulmak ve yetiştirmek kolay olmamaktadır. Bu nedenle uygun baraj tipi seçecek bir uzman sistemi oluşturmak önemli olmaktadır. Bu kısımda verilecek uzman bilgileri US için bir veri tabanını oluşturmaktadır.

Baraj tip seçiminde alternatiflere örnek olarak, bir baraj yeri için hem kemer baraj ve hem de dolgu barajın uygun olması durumunda temel işlemlerinin durumunun iyi incelenmesi önem taşımaktadır (Franklin, 1991). Kemer barajda daha az malzeme kullanılmasına karşın beklenmedik temel işlemleriyle ek maliyetler ortaya çıkabilmektedir. Bunun aksine dolgu barajlar çok az temel iyileştirme gereksinimleri vardır. Temel sağlam kaya olması durumunda sadece sıyırma kazısı yeterli olmaktadır. Fakat oldukça fazla malzeme taşınımı ve ekipman gereksinimi gibi kalemlerde, maliyet artmaktadır. Bir baraj yeri için ağırlık baraj ile kaya dolgu baraj arasında seçim yapılacağı zaman dolusavak durumu ön planda düşünülmelidir. Kaya dolguda dolusavak ayrı olduğu için maliyet artışına neden olmaktadır. Eğer topoğrafya uygun olursa kaya dolgu baraj seçimi daha avantajlı olabilmektedir. Aşağıda farklı baraj tipleri uzman bilgilerine göre ayrı ayrı incelenmiştir.

3.2.1. Dolgu barajlar

Toprak dolgu barajlarda seçim genellikle ödünç alanından ve gerekli kazılardan temin edilen malzemelerin kullanılabilirliliğine bağlıdır. Toprak dolguların seçim ve tasarımı, tasarımcının tecrübe ve bilgisine büyük ölçüde bağlıdır.

3.2.1.1. Toprak dolgu barajlarda tip seçimi

- **Baraj yeri topoğrafyası**

Toprak dolgu barajlar her türlü topoğrafyada inşa edilebilmektedir. Fakat aşırı dik yamaçlara sahip dar ve derin vadilerde genellikle toprak dolgu baraj tipi kullanılmamakta veya çok güç ve pahalı

tasarım ve inşa gerektirmektedir. Taşkın kontrolü için nehir derivasyon gereksinimleri, uygun malzeme eksikliği gibi nedenlerden dolayı toprak dolgu baraj seçilememektedir. Geniş vadilerde genellikle merkezi kil çekirdekli dolgu barajlar daha uygun olmaktadır. Bu iki topoğrafya arasında toprak dolgu barajların birçok tipi uygulanmaktadır. Toprak dolgu barajlarda en önemli faktör genellikle malzeme temini olmaktadır.

Hafif eğime haiz yamaçlı geniş vadiler, genellikle dolgu baraj tasarımında problem doğurmamaktadır. Dar vadiler inşaat çalışma sahasının etkisi dolayısıyla tip seçimini etkilemektedir. Çok dar vadilerde inşa alanı küçüktür. Ekipman kullanımı sınırlanmaktadır. Ayrıca, baraj yerine ekonomik olarak çekilecek olan malzemenin sınırlanması ile sarp dağlık olan bir topoğrafya dolgu baraj tip seçimi üzerinde etkili olmaktadır.

Malzemeler inşaat alanına servis yolları kullanılarak iletilmektedir. Dik yamaçlı dar bir vadide yüksek bir baraj için her seviyede yamaçlarda servis yolları sağlamak güç ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle bu gibi durumlarda çoğu kez toprak dolgu baraj yapımından vazgeçilmektedir. Ayrıca, dik yamaçlı çok dar vadilerde toprak dolgu barajda, borulanma farklı oturmadan dolayı dolgunun çatlaması gibi tehlikeler oluşmaktadır. Bu tehlikeleri ortadan kaldırmak için de ilave maliyetler gerekmektedir. Örneğin, özel filtrelerin gerekmesi gibi.

Derivasyon tüneli bir toprak dolgu barajda, kaya dolgu baraja göre daha uzun olmaktadır. Bu durum, nispeten daha yatık şevlerden kaynaklanmaktadır.

- **Jeoloji ve temel şartları**

Baraj yeri jeolojisi, rezervuar jeolojisi ve baraj yeri temel şartları toprak dolgu baraj tip seçiminde etkili olmaktadır. Deneyimli jeoloji mühendisleri tarafından, baraj yeri jeolojisi dikkatlice tetkik edilmektedir. Büyük kesme zonları çekirdeğin yer değiştirmesine neden olmakta ve böylece baraj tipi değişebilmektedir. Eğer rezervuar şevleri stabil değilse bu durum da baraj tip seçimine etki etmektedir.

Bir toprak dolgu baraj herhangi bir temel üzerine inşa edilebilir. Temel karakteristikleri dolgu tasarımı üzerinde etki edebilmekte veya etmemektedir. Bazı durumlarda temel iyileştirmeleri çok güç olmakta ve tasarım işinin önemli bir unsurunu teşkil etmektedir. Bazı durumlarda temelin sağlamlaştırılması gerekmektedir. Düşük kayma mukavemetli yumuşak bir temel üzerinde inşa edilen dolgu genellikle daha geniş ve şevleri daha yatık olarak inşa edilmektedir. Bu durumda barajın maliyeti artmaktadır. Yumuşak temeller dolgu barajlarda oturmalara neden olmaktadır. Geçirimli toprak temeller için, ya bir katoff veya alt kısımda sızmayı engelleyecek olan yapılar inşa edilerek borulanma ve sızma kaybı önlenmelidir. Temel katoff'unun tipi baraj tasarımı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Yine, temelde gevşek kısmın varlığı, bir sıvılaşma olayının olmasına neden olacağından tasarımda özellikle dikkate alınmalıdır (Sherard vd, 1963).

Bir toprak temel nispeten düşük mukavemetlidir, dolgunun stabilitesi üzerinde etkilidir. Dolguda daha yatık şevler gerektirir. Bu gibi temeller toprak dolgu baraj inşasını üstün kılmaktadır. Bu durumda toprak dolgu yatay ve düşey drenlerle inşa edilmektedir.

Bazı bölgelerde kaya derin bir şekilde bozulabilmektedir. Ve yüksek permeabiliteye yol açan laterit profil olması durumunda iyi alt drenaja sahip oldukça yatık şevli dolgular, uygun olmaktadır. Örneğin, yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj uygun olmaktadır.

Derin toprak temeller üzerine inşa edilen dolgular; örneğin nehir yatağı içerisinde veya bitişiğinde derin alüvyon olması, büyük oturmaya neden olmaktadır. Farklı hareket ve çatlaklara neden olmaktadır. Bu durumlarda özellikle sızmanın kontrolü için iyi filtre sağlanması ve iç erozyonun önlenmesi gerekmektedir. Bu temeller üzerine toprak dolgu baraj sızma önlenerek inşa edilmesi mümkündür.

- **Malzemenin temin edilebilirliliği**

Dolgu baraj tip seçiminde özellikle toprak dolgu inşa edilecekse, malzemenin baraj yerinde veya baraj yerine yakın mesafede yeterli miktarda ve kalitede bulunması oldukça önemlidir. Bir başka değişle, ekonomik taşıma mesafesi içerisinde toprak dolgu malzemesinin temin edilebilmesi, toprak dolgu baraj tip seçiminde en önemli kriterdir (Sherard, 1963 ve Fell, 1992). Eğer toprak malzeme temin edilemiyorsa, bu durumda geçirimsizlik bir membran ile sağlanarak kaya dolgu baraj yapımı düşünülmektedir (Fell vd, 1992).

Baraj yerinde uygun malzemenin bol olarak bulunması halinde dolgu barajlar herhangi bir beton baraja göre daha düşük maliyette inşa edilebilmektedir (Creager, 1957).

Kazılardan çıkarılacak malzeme miktarı ve kalitesi de tip seçiminde etkili olmaktadır. Tek tip malzemenin ekonomik olarak temini, ilk bakışta bir homojen barajın yapımını hatırlatmaktadır. Geçirimli ve geçirimsiz malzemenin yeterli miktar ve kalitede var olması ise zonlu bir toprak dolgu baraj yapımını düşündürmektedir. Bir başka değişle, değişik inşa malzemelerinin mevcut olduğu yerlerde baraj zonlu olarak inşa edilmektedir. Bu durumlarda iç kısma daha ince ve geçirimsiz malzeme; memba ve mansap zonlarında drenaj ve mukavemet açısından daha iri malzeme kullanılmaktadır. Zonlu dolguda rasgele malzeme de kullanılabilmektedir (Sherard, 1963). Her iki tip için de ödünçten alınan malzemenin tipi ve kalitesi kullanılacak olan toprak dolgu baraj seçiminde rol oynamaktadır. Eğer malzemeler stoklanmış şekilde kullanılıyorsa, inşa süresince kesintisiz olarak kullanmak mümkün olmaktadır. Malzemeler bir ödünçten temin ediliyorsa, yörenin iklim şartlarına ve yeraltı su seviyesi belirli bir derinlikteki malzemenin kullanımına imkan sağlayacağından sürekli malzeme kullanımı mümkün olmayabilmektedir.

Mevcut kazı makineleri baraj tip seçimi üzerinde etkili olmaktadır. Ödünçten çekilen malzemenin mesafesi maliyeti artırmaktadır, bu durum da baraj tipini değiştirilebilmektedir. Farklı ödünçlerden alınan malzemelerin karıştırılarak kullanılması mümkün olmaktadır. Toprak dolgu barajlarda bu işlemin uygulanması ek bir maliyet doğurduğundan kullanılmamaktadır (Thomas, 1972).

Eğer killi toprak yığınlarında iri çakıl ve sürüntü malzemeleri varsa, bunlar kompaksiyondan önce ya bir ızgaradan geçirilerek veya mümkünse işçiler tarafından elle veya greyder kullanımıyla, bu malzemeler kaldırılmalıdır. Kompaksiyona etki eden normalden büyük tanelerin engellenmesi için bu işlemin yapılması zorunlu olmaktadır (Fell, 1992). Aşınmış veya aşınmamış kumtaşları ve silttaşları killi dizilerle kullanılabilmektedir. Bu malzemelerin zemin özelliklerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Dolusavak, temel katoff hendeği, çıkış işleri ve diğer ilave yapılardan elde edilen kazı malzemesinin miktar ve özellikleri dolgu tasarımında önemli bir etkiye sahiptir. Bu malzemeler genellikle düzensiz (granülometre açısından) ve beklenen özelliklerden daha azına sahip olmaktadır. Ödünç alanından temin edilen malzeme özelliklerinden hiçbir zaman daha iyi şartlarda değildir. Bu kazı malzemelerinin inşaat programı dolayısıyla stok yapılmadan kullanımı da mümkün olmayabilmektedir. Buna rağmen birkaç büyük rezervuar için bazen, gerekli kazının hacmi barajın hacmini aşabilmektedir. Bu malzeme kazılmak ve kazıldığı yerden çekilmesi gerektiğinden, bu ve ekonomik nedenden dolayı kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Dolusavak çoğunlukla büyük kazılar gerektirdiğinden, bazı barajlar bu malzemeyle, ilave gerekmeden inşa edilebilmektedir (Sherard vd, 1963).

- **Çıkış yapıları ve dolusavak seçiminin etkisi**

Bazı durumlarda dolusavak ve çıkış yapılarının tipi, toprak dolgu baraj tipine etki etmektedir. Dolgular için iki dolusavak tipi kullanılmaktadır: (1) tünel tipi ve (2) şut tipi. Şut tipi dolusavaklar yamaçların birinde inşa edilen en genel ve en çok kullanılan tiptir. Kenar kanal girişleri, yaklaşım kanalı için büyük kazılar gerektiren dar vadilerde tünel tipi dolusavak kullanılmaktadır. Genellikle dipsavak tipi, dolgu baraj tip seçiminde az etkiye sahiptir.

- **İklim şartları**

Silindirle sıkıştırılan dolgu barajlarda işi bırakmaya veya yavaşlatmaya neden olan yağmurlu hava şartları toprak malzemesinin yerleştirilmesini güçleştirmekte veya imkânsız kılmaktadır (Fell, 1992). Bu durum özellikle yağmurun sürekli olması, buharlaşma olmaması durumunda daha da güç şartlar oluşturur. Eğer bu baraj yeri için bir merkezi kil çekirdekli baraj yapımı düşünülmüşse, bunun yerine daha ince çekirdekli dolgu baraj inşa etmek daha uygun olmaktadır. İspanya ve İsviçre'de yağmurlu hava şartlarından toprak dolgunun daha az etkilenmesi amacıyla ıslak kompaksiyonlar denenmişse de pek tutmamıştır. Eğer

yağmur kısa fırtınalar halinde ise ve ardından güneş ısısı tesirli oluyorsa, bu durumda kritik bir durum oluşmamaktadır.

İklim şartları çoğunlukla, ödünçten alınan kazı malzemesinin derinliği, baraj yerinde beklenen taşkınların süresi ve şiddeti gibi konularda da tip seçimi üzerinde etkili olmaktadır. Bu durumlarda çoğunlukla öybk kaya dolgu baraj gibi ön yüzü kaplı olan barajların veya eğik çekirdekli kaya dolgu barajların benimsenmesi avantajlı olmaktadır (Fell, 1992).

- **Rezervuar işletimi**

Rezervuar işletimi diğer faktörler gibi sıkça baraj tipini etkilememektedir. Eğer rezervuar taşkın kontrollü ise bu parametre baraj tip seçimi üzerinde etkili olmaktadır. Fakat daha çok tasarım kriterleri üzerinde etkili olmaktadır. Eğer rezervuar su seviyesi değişimleri hızlı olarak değişiyorsa, memba şevinin stabilitesini korumak için (toprak dolgu baraj yapımı planlanmışsa) zonlu baraj inşa etmek uygun olmaktadır. Toprak malzeme kullanılarak inşa edilen dolgu barajlarda seviye değişiminin 30 cm/gün den fazla olmaması uzmanlarca önerilmektedir.

- **İnşa süresi**

Baraj tasarımında projenin ekonomik olarak erken sürede işletime girmesi için uygun bir zaman dilimine gerek vardır. Diğer bir değişle, planlama tasarım ve inşa esnasında rezervuar gelir getirmemektedir. Rezervuarın yıllık geliri nedeniyle inşa süresinin kısa olması ekonomik bir gereksinimdir. Bu nedenle barajın mümkün olduğu kadar kısa sürede inşa edilmesi yolları araştırılmaktadır. İnşa süresi sınırlandığında veya süre kısa olduğunda tip seçiminde değişiklik yapılmaktadır (Sherard, 1963).

Temel işlemleri, zon detayları ve kil çekirdeğin yerleştirilmesi inşa süresini artırmaktadır. Özellikle geçirimsizlik için yapılan çalışmalar oldukça fazla zaman almaktadır. Eğer bir baraj inşası geçirimli bir temel üzerinde ise, katoff merkezi çekirdek altında silindirlendirilmiş bir katoff yapmak yerine dolguyla aynı anda yapılabilsin diye memba topuğunda bir katoff duvarı ile yapılması daha kısa sürede yapılmasını sağlamaktadır.

En ekonomik toprak dolgu baraj, dolusavak ve diğer ilave yapılardan elde edilen kazı malzemelerinin yeterince kullanılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Eğer inşa süresi kısıtlı ise, bu kazı malzemeleri dolguda koordineli olarak kullanılmalıdır. Tasarım mühendisi bu durumda ya kazı malzemelerini kullanamayacak veya sadece onun bir kısmını kullanabilecektir. Bu nedenle yine seçilen baraj tipi tasarım aşamasında değiştirilebilmektedir.

3.2.1.2. Kaya dolgu barajlarda tip seçimi

Kaya dolgu barajlar çoğunlukla, beton bir baraj için çimento maliyetinin yüksek olduğu; toprak bir baraj için uygun malzemenin temin edilmediği ve kaya malzemenin baraj yerine yakın olduğu durumlarda tercih edilmektedir.

Diyaframlı kaya dolgu barajlar çeşitli avantajlara sahiptirler. Mansap kaymasına karşı daha büyük güvenliğe sahiptir. Kaya yerleştirilmesi esnasında enjeksiyon işlemlerinin yürütülmesi mümkündür. İstendiği takdirde geçirimsiz yüzey kontrol edilebilmektedir. U kaldırma basınçları temelde problem doğurmamaktadır. Dolgu yerleştirildikten sonra diyaframın yerleştirilmesi mümkündür. Ani su alçalmasından zarar görmemektedir.

Eğer barajın yamaçları aşırı yüklenmiş tortular içeriyorsa, kazı gereksinimleri de aşırı olmaktadır. Bu durumda diyaframlı baraj daha avantajlı olmaktadır. Merkezi ve eğik çekirdekli kaya dolgu barajlar tabii malzeme kaynağından ekonomik olarak kullanmaya izin vermektedir. Eğik çekirdekli kaya dolgu barajlar deprem esnasındaki kuvvetlere daha iyi dayanma özelliğine sahip oldukları Finn, (1967) tarafından belirtilmektedir. Yine aynı araştırmacı merkezi çekirdekli barajların deprem bölgelerinde daha az uygun olduğunu savunmuştur.

- **Baraj yeri topoğrafyası**

Kaya dolgu barajlar için yer topoğrafyası, geçirimsiz toprak malzeme eksikliği olan dik vadi bölgeleri ve dağlık kesimlerdir. Yüzeyi kaya ile kaplı olan bir topoğrafya, kaya dolgu kullanımını ekonomik kılmaktadır. Mevcut malzemeye karar vermek için gerekli çalışma önceden yapılmalıdır (Singh, 1995).

Baraj yerinde dik vadi duvarları çekirdek tipli barajlarda oturma problemleri doğurmaktadır. Bu gibi durumlarda herhangi bir beton baraj inşa etmek daha uygun olmaktadır. Dar ve dik vadilerde malzeme taşıyan ve diğer işlemlerde kullanılan araçlar için gerekli bölmeler yoksa ve taşıma yolları uygun değilse, ÖYBK kaya dolgu baraj veya asfalt kaplı kaya dolgu baraj inşa etmek uygun olmaktadır. Yamacın şevlerindeki yerel değişmeler farklı oturmalara ve çatlaklara yol açmaktadır. Bu durumda oldukça yoğun filtrelerin teşkil edilmesi gerekmektedir. Veya alternatif olarak ÖYBK kaya dolgu baraj yapımı (gerekli statik ve dinamik analizlerle) araştırılmalıdır.

Planda nehrin eğriliği ve vadi enkesitindeki değişmeler olduğunda toprak dolgu malzeme miktarını azaltmak için merkezi çekirdek yerine membaya doğru eğik çekirdekli kaya dolgunun seçilmesi daha avantajlıdır.

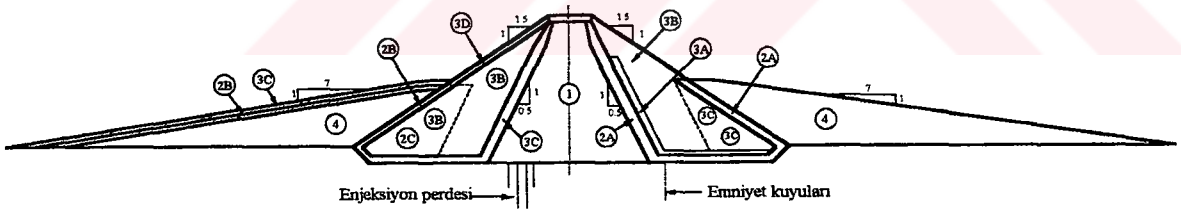
- **Jeoloji ve temel şartları**

Kaya dolgu barajlar için, baraj yerinin jeolojik durumu ve temeli, tip seçiminde önemli bir faktördür. Baraj yerindeki jeolojik şartlar çekirdeğin yerleştirilmesine etki etmektedir. Böylece, kaya dolgu tipi değiştirilmektedir.

Çoğu mağmatik ve metamorfik kayaçlar; örneğin granodiyorit, diyorit, bazalt, riyolit, andezit, mermer, şistli gres (grovak), kuvars taze olduklarında dolgu yapımına uygun olmaktadır (Fell, 1992).

Erimeli kireçtaşlı temeller üzerindeki barajlar özel tasarım gerektirmektedir. Burada aşırı enjeksiyon ve diğer işlemler ile sızmayı kabul edilebilir düzeyde tutmaya çalışılmaktadır. Bu durumda öyle bir tip seçilmesi gerekir ki enjeksiyonun; inşa süresince veya inşa tamamlandıktan sonra yapılabilsin. Bu durumda öncelikle ÖYBK kaya dolgu baraj veya ikinci alternatif olarak, eğik çekirdekli kaya dolgu baraj yapımı düşünülebilir.

Bazı sedimenter kayaçlı temeller özellikle aratabakalı kiltaşı ve çamurtaşından ibaret ve sağlam kumtaşlı bir temel faylanmaya veya kıvrımlanmaya maruz kalmaktadır. Ve ayrıca tabakalanma düzlem kesmeleri oluşmakta ve düşük içsel sürtünme açısı meydana getirmektedir (Hutchinson, 1988). Bu durumlarda dolgu için daha yatık şevler gerekmektedir. Kaya dolgu zonları rasgele zonlar olarak teşkil edilip, kil çekirdekli kaya dolgu baraj oldukça yatık şevler kullanılarak inşa edilmelidir (Şekil 3.6). Veya toprak dolguda yatay ve düşey drenlerin kullanımı avantajlı olmaktadır.



1	Çekirdek malzemesi	3A	Kaya dolgu - taşocağı ufakları
2A	Yıkanmış çakıllı kum	3B	Kaya dolgu
2B	Ödünç alanından alınan çakıllı kum	3C	Riprap kaya malzemesi
2C	Serbest drenajlı çakıllı kum	3D	Riprap kaya malzemesi
		4	Çeşitli dolgu

Şekil 3.6. Maroon Barajı (Fell, 1992)

Bazı metamorfik kayaçlar; örneğin fillit, şist, gnays, ve sleyt yüksek modüllü yoğunluğa sahip olmasına rağmen zayıf serbest drenajlı kaya dolguda yük altında deforme olabilir (Fell, 1992). Çoğu çok bozulmuş ve bir kısmı orta derecede bozulmuş mağmatik ve metemorfik kayaçlar tamamen serbest drenajlı kaya dolgu özelliği göstermemektedir.

Kaya dolgu barajlar için temeller, oturma ve deformasyon etkilerine karşı dayanacak formasyonda olması gerekmektedir. Düşük yükseklikli kaya dolgu barajların, kum ve çakıl temeller üzerine, temel kayanın katoff ile kaplanması halinde inşa edilebilmeleri gerekli performansı göstereceği incelenerek belirlenmesine rağmen uygulaması çok nadirdir. Kil temeller kaya dolgu barajlar için uygun değildir.

Derin ve geçirimli olan temeller bazen oldukça fazla enjeksiyon işlemleri neticesinde kaya dolgu barajlar için uygun olabilmektedir. Genellikle başka bir tip önerilmektedir.

- **Malzemenin temin edilebilirliliği**

Kaya dolgu barajlarda kullanılan malzemeler dikkatli incelenmelidir. Çoğu durumlarda dolusavak, çıkış yapıları, baraj temeli ve ilave işlemlere ait kazılardan kaya dolgu malzemesinin belirli bir kısmı temin edilebilmektedir. Bu işlem ile ek taşıma maliyetleri ortadan kalkmaktadır. Bununla birlikte, kazılardan elde edilen kaya malzeme ideal olmayabilir. Bu uygunsuzluk kayanın tipinden veya kazı metodundan kaynaklanmaktadır. Bu durumda zonlu dolgu baraj düşünülür. Zonlu dolgu baraj tipi bu malzemelere göre tasarlanır. Yüzeyin hemen altındaki kaya aşırı ufak daneler içerebildiğinden, tip seçimine karar vermeden önce taş ocağının detaylı incelenmesi gerekmektedir. Eğer geçirimsizliği temin edecek malzeme yoksa, o zaman diyaframlı kaya dolgu baraj planlanması düşünülmektedir. Dolgularda kullanılan kaya dolgu malzemenin kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek için, kaya üzerinde gerekli fiziksel deneylerin yapılması yanında gerektiğinde test dolguları hazırlanarak gerekli incelemeler yapılmalıdır. Kayma mukavemeti testi, malzemenin kullanımında önemli bir faktördür. Mackenzie & McDonald, (1985) ve ANCOLD, (1985) tarafından Manrove Creek ÖYBK kaya dolgu barajında kullanılan sıkıştırılmış silttaşı ve kumtaşları kayaçları incelenmiş kullanımına öyle izin verilmiştir.

Çoğu sedimanter kayaçlar; örneğin kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı taze olmaları durumunda bile kompaksiyon altında kısımlara ayrılır ve zayıf drenajlı kaya dolgu özelliği oluştururlar. Bu durumlarda serbest drenajı temin edecek bir yeterliliğe sahip bir drenajın kaya dolgu içerisinde serbest drenajlı bir zon ile sağlanması gerekmektedir. Rasgele kaya dolgunun kullanımı da serbest drenaj sağlamamaktadır (Fell, 1992).

Yüksek kalitede kum ve çakıl kaynağı filtrenin inşası için gereklidir. Bu malzeme birkaç kilometre mesafede bulunabilir. Fakat bu mesafenin 50 km'den fazla olması uygun değildir. Aksi halde taşıma ücreti artmaktadır (Nihat Karadayı, 1996 -görüşme-).

Filtre agregaları kum ve çakıl depozitlerinden veya taş ocaklarından temin edilmektedir. Genellikle uygun agregalar mağmatiktir. Sedimanter kayaçlardan filtre malzemesi üretimi çok nadirdir. Bu kayaçlar genellikle yeterli durabilitede değillerdir ve şekilleri de uygun değildir. Filtre agregalarının kaynağı, baraj

yerinden uzak olduğu yerlerde veya diğer nedenlerden ötürü filtre teşkili pahalı olursa, filtre zonlarının genişliği yayıcı kutular kullanılarak düşürülmeli veya bu durumlarda ÖYBK kaya dolgu baraj, toprak çekirdekli kaya dolgu baraja nazaran kullanımı daha üstün olmaktadır.

- **Dolusavak ve çıkış yapıları**

Dolusavak ve çıkış yapılarının tiplerinin seçimi, diğer tiplerde olduğu gibi kaya dolgu barajlarda da tip seçiminde önemli bir faktördür. Genelde, şut tipi beton dolusavak kullanılmaktadır. Hem toprak dolgu barajlar ve hem de kaya dolgu barajlarda dolusavak baraj gövde yapısına ilave büyük bir maliyet artışı sağlamaktadır. Kaya dolgu barajlarda dolusavak ayrı inşa edildiğinden yamaçlarda yer almaktadır.

- **İklim şartları**

Kaya dolgu barajlar inşa esnasında, soğuk ve ıslak hava şartlarından çok az etkilenmektedir. Soğuk, yağışlı hava şartlarında toprak dolgu inşasının durdurulması gereken hava şartlarında kaya dolgu barajların yerleştirilmesi sürekli olabilmektedir. Islak hava koşullarına maruz bölgelerde çoğunlukla ÖYBK kaya dolgu barajlar veya eğik çekirdekli kaya dolgu barajların benimsenmesi avantajlı olmaktadır. Islak havalarda kaya dolgunun sürekli yerleştirilmesi için havanın uygun olduğu zamanlarda çekirdek inşası yapılmaktadır.

Diyaframlı kaya dolgu barajlar, inşa esnasında iken üzerinden su aşması halinde zarar görmemektedir. Kuru iklimlerde, su eksikliği olan baraj yerinde toprak çekirdek malzemesinin kullanımı engellenebilir. Bu nedenle, bu baraj yerinde diyaframlı bir kaya dolgu baraj seçimi uygun olmaktadır.

- **Rezervuar işletimi**

İnşa edilecek barajda ani olarak değişen rezervuar işletimi söz konusu olduğunda, eğer baraj tipi kaya dolgu ise bazı özel tedbirlerin alınması gerekmektedir. Çekirdekli kaya dolgu baraj tipleri boşluk suyu basıncından etkilenmektedir. Bu durumda, eğik çekirdekli kaya dolgu barajlar kullanılmamaktadır. Eğer rezervuar, yapı inşa halinde iken kullanılacaksa diyaframlı baraj seçimi daha uygun olmaktadır.

- **Aşamalı inşa durumu**

Bir barajın iki veya daha çok aşamalarda yapılması bazı durumlarda gerekli olmaktadır. Eğer inşa edilecek dolgu aşamalı olarak planlanırsa, bu ÖYBK kaya dolgu baraj, eğik çekirdekli kaya dolgu baraj veya ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj yapılması mümkün olmaktadır.

- **İnşa süresi**

Eğer iklim ve diğer kısıtlamalar (turistik bölge olması- iş makinelerinin çalışması açısından) ile beraber düşünüldüğünde ıslak ve kuru sezonların iyi belirlenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. ÖYBK kaya dolgu barajlar oldukça kısa sürede tamamlanmaktadır. Temel işlemleri ve zon detayları inşa için gerekli süreyi artırırlar.

3.2.2. Beton Barajlar

3.2.2.1. Kemer barajlarda tip seçimi

- **Yer topoğrafyası**

Yükseklik ile genişlik oranı: Bir kemer baraj için bir yerin uygunluğuna karar vermede ilk faktör çoğunlukla genişlik ile yükseklik arasındaki oran olmaktadır. İdeal olarak, ince kemer barajların kullanımı için bu oran nispeten küçük (4 ve daha az) olmalıdır. Bununla birlikte kemer barajlar daha geniş vadilerde ekonomik olarak inşa edilebilmiştir. Örneğin, Montano'daki Gibson Barajı geniş bir vadide inşa edilmiştir. Bazı tasarımcılar genişlik (kret tepe uzunluğu -B) ile yükseklik (H) arasındaki oranın 10:1 olması durumunda bile bir kemer baraj inşa edilebileceğini savunmuşlardır. Baraj yerinin B/H oranı kemer kalınlığı üzerinde etkili olmaktadır. Bazı durumlarda ağırlık baraj dikkate alınması gerekebilmektedir. B/H oranındaki azalma kemer baraj seçimini üstün kılmaktadır.

Vadi Şekli: Vadi şekli, et kalınlık gereksinimlerine etki eden ve kemer baraj tasarımında ve seçiminde dikkate alınan önemli bir faktördür. Bunun neticesi olarak da bu yapının ekonomikliği üzerinde etkili olmaktadır. V şekilli baraj yerleri, genellikle U şekilli baraj yerlerine göre kemer baraj tasarımı için daha avantajlı olmaktadır. Diğer dikkate alınan parametreler eşit olduğunda V şekilli bir baraj yeri için kullanılan beton hacmi bir U şekilli baraj yeri için kullanılandan daha az olmaktadır. Barajdaki gerilme dağılımları V şekilli bir baraj yeri için genellikle barajın daha düşük bölümlerinde yükün büyük bir yüzdesi kemer etkisiyle karşılandığından daha avantajlı olmaktadır (Fell vd, 1992).

Yeter derecede dar olan V şekilli bir vadide diğer şartlar uygun olduğu takdirde en ekonomik baraj tipi kemer barajdır. Bu tipin diğer baraj tiplerine birçok üstünlüğü vardır. Hızlı inşa edilebilir, emniyetlidir, estetiktir ve ekonomiktir.

Sabit yarıçaplı kemer barajlar dik yamaçlı U ve tekne şekilli vadilerde ve geniş tabanlı B/H oranı küçük olan; orta yükseklikteki barajlar için uygun olmaktadır. Sabit merkez açılı kemer barajlar V şekilli

üçgen tipli veya parabol şekilli yüksek vadiler için uygun olmaktadır. Fakat daha büyük yüksekliklerde de kullanılmıştır. Değişken yarıçaplı ve merkez açılı kemer barajlar V, U, ⇓ şekilli vadiler için uygun olmaktadır. Baraj tip seçiminde sık sık kontrol edilen bir faktör olmamasına rağmen simetrik veya simetriğe yakın baraj yeri kemer baraj yeri için arzu edilen bir durumdur. Eğer baraj yeri aşırı derecede bir simetrisizliğe sahip ise diğer uygun olan baraj tipleri, bu yer için çok daha uygun olmaktadır.

- **Temel şartları**

Temel Kayacı: Temel malzemesi verilen bir baraj yeri için tip seçiminde kontrol edilen önemli bir faktördür. Herhangi bir kemer baraj için yeterli bir kaya temele gereksinim şart olmaktadır. Kaya üzerine inşa edilecek barajın emniyeti için, sağlam ve dayanıklı olmalıdır. Kayalar hava veya suyun tesiriyle bozulabilmekte veya ayrışabilmektedir. Bu kemer barajlar için arzu edilmeyen temelde bulunan noksanlıklar, eğer ek işlemler ile giderilebiliyorsa o zaman bu temel üzerinde kemer baraj inşa etmek mümkün olmakta, aksi halde buraya kemer baraj inşasından vazgeçilmektedir. Bu çatlaklar veya diğer noksanlıklar büyük ve sürekli değilse ve iyileştirilebiliyorsa bu temeller üzerine kemer baraj inşa etmek uygun olmaktadır. Temeldeki zayıf tabakanın mevcut olması halinde bu yüzey kaldırılır ve üzerine beton dökümüne başlanılır.
Temelin Mukavemeti: Eğer yüksek bir baraj inşası dikkate alınıyorsa, temelin basınç mukavemeti tip seçiminde önemli bir faktör olmaktadır. Nispeten düşük mukavemetli bir temel, yapıdan ileri gelen yükleri dağıtmak için daha büyük bir taban alanına ihtiyaç göstermektedir, bir başka değişle daha kalın kemerlere ihtiyaç olmaktadır. Kemer baraj tabanı ile temas eden yüzeyde daha kalın kemer kullanılacağından beton hacmi de artmaktadır. Bu durumda diğer tiplerle kıyaslama yapılarak en uygun baraj tipi seçilir.

Kemer barajlar farklı oturmalara karşı çok hassastır. Bu nedenle temel ve yamaçların rijit olması gerekmektedir. Kaya kütle modülü en az 3.50 GPa olmalıdır. Temel taşıma kapasiteleri toprak dolgu barajlarda kritik değildir. Franklin ve Dusseault, (1991) tarafından, beton ağırlık barajlarda 1 MPa, payandalı barajlarda 2 MPa, kalın kemer barajlarda 3 MPa ve ince kemer barajlarda 5 MPa temel taşıma kapasitesi gereksinimleri olduğunu belirtmişlerdir. Tecrübeli baraj mühendisleri Thomas, (1976) ve Novak'a (1990) göre farklı baraj tipleri için temel Çizelge 3.4'te verilen gerilmelere dayanacak nitelikte olması gerektiği belirtilmiştir. Buradan kemer barajların inşa edileceği temellerin 7 ile 10 MPa'lık gerilmelere dayanacak nitelikte olması gerektiği anlaşılmaktadır.
Temel Süreksizlikleri: Faylar, kesmeler, derzler, folyasyonlar (yaprak gibi ince tabakalı teşekküller, yani yapraklaşmalar), homojen olmayan kısımlar; çoğu kaya temel formasyonunda mevcuttur.

Bunların sıklığı, boyutu, sürekliliği ve doğrultuları herhangi bir baraj tipi için uygun temele karar vermede önemli etkenlerdir. Bir baraj yerinde büyük veya aktif bir fay zonunun varlığı kemer baraj tip seçimini olanaksız kılmaktadır. Bununla birlikte, atıl durumdaki bir fay bazen ekonomik olarak kazılabilmekte ve bu yer beton veya uygun bir malzeme ile doldurularak iyileştirilebilmektedir. Gerekli iyileştirme neticesinde temel kemer baraj için uygun olmaktadır. Bir temelde, kesmeler ve açıklıklar eğer kaymaya karşı güvenliği yeterli düzeyde sağlayabiliyorsa bir kemer baraj bu yer için uygun olabilmektedir. Baraj temeli sınırlı bir deforme olmaya hazır bölge veya yine sınırlı daha zayıf bölgeler mevcut ise bunlar iyileştirilebiliyorsa, çoğunlukla kemer barajların tip seçimine çok az etki etmektedir.

Çizelge 3.4 Fikir edinmek açısından 100 m yüksekliğindeki farklı baraj tipleri için temel gerilmeleri

Baraj Tipi	Maksimum Gerilmeler (MNm^{-2})
Dolgu	1.8-2.1
Ağırlık	3.2-4.0
Payandalı	5.5-7.5
Kemer	7.5-10.0

- **Dolusavak tipinin etkisi**

Dolusavak yerinin uygunluğu ilk araştırılan konulardandır. Bazı durumlarda dolusavak için yamaçlarda uygun bir yer bulunmayabilmektedir. Bu nedenle dolusavağın gövde üzerinde veya içerisinde yerleştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda diğer parametreler uygun olması halinde bir kemer baraj seçmek mümkün olmaktadır. Hem üzerinden aşmalı krette bir dolusavak ve hem de barajın yukarı bölümlerinde iç kısımda bir orifis, kemer barajlar için uygulanabilmektedir. İnce kemer barajlarda alttan suyun iletilmesi nispeten kısa bir tünel uzunluğu gerektirmektedir. Diğer tipler için daha uzun dolusavak tüneli uzunluğuna ihtiyaç olmaktadır. Tünelli dolusavak inşa edilmesi gereken yerlerde ince kemer baraj daha ekonomik olmaktadır.

- **İklim şartları**

Isının düzensiz değişimleri kemer baraj tasarımında önemli bir parametredir. Eğer baraj yerinde büyük mevsimlik ısı değişimleri varsa, ince kemer baraj zarar göreceğinden burada ince kemer baraj seçilmemektedir. Büyük ısı değişimleri gerilme değişimlerine neden olmaktadır. Baraj yüzeyinin özel yalıtım gereksinimlerinin ilaveli maliyeti, özel enjeksiyon işlemleri, daha büyük beton kalınlığı bu şartlar altında bir kemer baraj yapımını engelleyebilmektedir.

- **Rezervuar işletimi**

Rezervuar işletim kontrol programlarına göre yük bileşenleri bir dereceye kadar tasarımda kullanılmaktadır. Eğer rezervuar işletim programı sezonsal ısı değişimleri ile birlikte olursa o zaman kritik yük bileşenlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu durumda kemer

barajda istenmeyen gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeleri önlemek için kemer baraj et kalınlığını artırmak gerekebilir, böylece baraj hacmi ve maliyet artar. Bu durumda belki bir başka tip daha ekonomik olabilir.

- **İnşa malzemesinin bulunabilirliliği**

Bir beton barajın kullanımının üstün olması, baraj yerine yakın beton malzemesinin varlığı ile mümkün olmaktadır. Agreganın veya kırmataş malzemesinin sınırlı miktarda var olması bir kemer barajın inşası için yeterli olmaktadır.

3.2.2.2. Klasik beton ağırlık barajlarda tip seçimi

- **Yer topoğrafyası**

Ağırlık barajlar çoğu vadi genişlikleri ve şekilleri için kullanımı uygun olmasına rağmen, bazı topoğrafik özellikler bu tip barajların kullanımını üstün kılmaktadır. Bunlardan biri nispeten düz vadi (vadi kesiti çok girintili çıkıntılı olmayan) tabanına sahip orta genişlikteki baraj yerleridir. Hemen hemen blokların üniform yüksekliği, bitişik bloklar arasında derzler tarafından iletilen burkulmayı azaltmaya eğilimlidir. Bu burkulma farklı yüksekliklerden dolayı bitişik blokların sehim yapmasına neden olmaktadır.

- **Temel şartları**

15 m'nin altındaki ağırlık barajlar ve memba ve mansap su seviyeleri arasındaki kot farkı 6 m'den daha az olması halinde gerekli incelemeler neticesinde birçok temel bu tip için uygun olmaktadır. Hatta silt, kil, ince kum veya çakıl temeller gerekli tüm temel işlemleri yapılarak kullanılmıştır (Armstrong, 1977). Bunların uygunluğu için gerekli tüm testler yapıldıktan ve yeterli performansın elde edilebileceği anlaşıldıktan sonra karar verilmelidir.

Genellikle ağırlık baraj yüksekliği 15 m'den daha fazla ve memba ile mansap arasındaki kot farkı 6 m'den fazla olduğunda bu tip barajlar için sağlam kaya temele gereksinim vardır. Yüksek ağırlık baraj yapılmadan önce temel iyice değerlendirilmelidir. Temelde aşınmış veya farklı sorunlar varsa bu durumda gerekli tüm tedbirler ve işlemler yapılmalıdır.

Temel Deformasyonu: Düşük temel deformasyonu kaya temellerde ağırlık baraj tasarımında çok büyük öneme sahip olmamakla birlikte, yüksek deformasyonlu temel ve yamaç malzemesi kesinlikle arzu edilmeyen gerilmeler oluşturmaktadır. Temel kaya değilse, oturma ve deformasyon, düşük yükseklikli beton ağırlık baraj inşa edilmeden önce iyice araştırılmalıdır.

Temel Mukavemeti:

Temel malzemesinin mukavemeti veya taşıma kapasitesi ve kayma direnci bir ağırlık baraj için bir baraj yerinin uygunluğuna karar vermede oldukça önemli faktörlerdir. Daha yüksek ağırlık barajlar için sağlam kaya temeller gereklidir. Kayma direnci daha kritik bir faktör olmaktadır. Eğer temel malzemesinin kayma direnci düşük ise betonun hacmindeki artış daha fazla olmaktadır. Daha büyük beton hacminin kullanımını zorunlu kılan bu durum daha fazla maliyete neden olacaktır. Veya daha fazla temel işlemlerinin yapılmasını gerektirecektir. Düşük yükseklikli beton ağırlık barajlarda temel; kil, silt, veya çakıldan ibaret olduğunda taşıma kapasitesi çok daha önemli olmaktadır.

Taşıma kapasitesinin kabul edilebilirliliğine ve malzemenin kesme direncine karar vermek için, gerekli testler yapılması zorunludur. Novak vd., (1990) tarafından baraj tip seçiminde dikkate alınmak üzere Çizelge 3.4'teki tecrübeye dayanan değerler verilmiştir. Çizelge 3.4'ten bir klasik beton ağırlık baraj inşa etmek için baraj temel kayacının 3.2-4.0 MPa'lık gerilmelere mukavemet gösterecek nitelikte olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Temel Süreksizlikleri:

Baraj yerinde üniform olmayan bir temel mevcut olduğunda çoğunlukla bu süreksizlikler durumu oluşabilmektedir. Bu ya temel malzemelerindeki değişiklikler veya fayların, kesmelerin veya açıklıkların varlığı ile oluşmaktadır. Bu gibi durumlar iyileştirilebilecekse baraj tip seçiminde önemli olmamaktadır. Eğer farklı oturmalar meydana gelme olasılığı varsa, ağırlık baraja etkisi geniş incelemeler yapılarak karar verilmelidir.

Permeabilite:

Enjeksiyon perdeleri ve drenaj sistemleri genellikle, kaya temel üzerinde sızmayı azaltmak ve temel içerisindeki hidrostatik basıncı düşürmek amacıyla yapılmaktadır. Bu gibi basınçlar ağırlık barajların stabilitesinde önemli etkiye sahiptir. Bu basınç etkisi, beton hacminin ve taban kalınlığının artmasına neden olmaktadır. Silt, kum, kil veya çakıl gibi temel malzemelerinin permeabilitesi malzemenin tipine, tabakalaşmasına ve homojenliğine bağlıdır. Bu gibi malzemeler üzerine inşa edilen beton ağırlık baraj altında erozyon, sızma ve hidrostatik basınç kontrolü, çoğunlukla memba apronları, mansap apronları, drenler ve katoff'ların kullanımını gerektirmektedir. Bu özel işlemler maliyeti büyük oranda artırmaktadır. Bu durumda bu baraj yeri için daha uygun tip araştırılmalıdır.

Temel Mukavemeti:

Temel malzemesinin mukavemeti veya taşıma kapasitesi ve kayma direnci bir ağırlık baraj için bir baraj yerinin uygunluğuna karar vermede oldukça önemli faktörlerdir. Daha yüksek ağırlık barajlar için sağlam kaya temeller gereklidir. Kayma direnci daha kritik bir faktör olmaktadır. Eğer temel malzemesinin kayma direnci düşük ise betonun hacmindeki artış daha fazla olmaktadır. Daha büyük beton hacminin kullanımını zorunlu kılan bu durum daha fazla maliyete neden olacaktır. Veya daha fazla temel işlemlerinin yapılmasını gerektirecektir. Düşük yükseklikli beton ağırlık barajlarda temel; kil, silt, veya çakıldan ibaret olduğunda taşıma kapasitesi çok daha önemli olmaktadır.

Taşıma kapasitesinin kabul edilebilirliliğine ve malzemenin kesme direncine karar vermek için, gerekli testler yapılması zorunludur. Novak vd., (1990) tarafından baraj tip seçiminde dikkate alınmak üzere Çizelge 3.4'teki tecrübeye dayanan değerler verilmiştir. Çizelge 3.4'ten bir klasik beton ağırlık baraj inşa etmek için baraj temel kayacının 3.2-4.0 MPa'lık gerilmelere mukavemet gösterecek nitelikte olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Temel Süreksizlikleri:

Baraj yerinde üniform olmayan bir temel mevcut olduğunda çoğunlukla bu süreksizlikler durumu oluşabilmektedir. Bu ya temel malzemelerindeki değişiklikler veya fayların, kesmelerin veya açıklıkların varlığı ile oluşmaktadır. Bu gibi durumlar iyileştirilebilecekse baraj tip seçiminde önemli olmamaktadır. Eğer farklı oturmalar meydana gelme olasılığı varsa, ağırlık baraja etkisi geniş incelemeler yapılarak karar verilmelidir.

Permeabilite:

Enjeksiyon perdeleri ve drenaj sistemleri genellikle, kaya temel üzerinde sızmayı azaltmak ve temel içerisindeki hidrostatik basıncı düşürmek amacıyla yapılmaktadır. Bu gibi basınçlar ağırlık barajların stabilitesinde önemli etkiye sahiptir. Bu basınç etkisi, beton hacminin ve taban kalınlığının artmasına neden olmaktadır. Silt, kum, kil veya çakıl gibi temel malzemelerinin permeabilitesi malzemenin tipine, tabakalaşmasına ve homojenliğine bağlıdır. Bu gibi malzemeler üzerine inşa edilen beton ağırlık baraj altında erozyon, sızma ve hidrostatik basınç kontrolü, çoğunlukla memba apronları, mansap apronları, drenler ve katoff'ların kullanımını gerektirmektedir. Bu özel işlemler maliyeti büyük oranda artırmaktadır. Bu durumda bu baraj yeri için daha uygun tip araştırılmalıdır.

- **Dolusavağın etkisi**

Bazı yerlerdeki topoğrafya, dolusavağın baraj içerisine yerleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Dolusavak kapasitesinin küçük veya büyük olması durumu tip seçiminde önemlidir. Eğer gerekli dolusavak kapasitesi büyük ise ve barajın büyük bir bölümü dolusavak ile kapatılıyorsa bir beton ağırlık barajın kullanımını gerektirmektedir. Derin dik yamaçlı kanyon bir vadide dolusavağı ayrı olan bir kaya dolgu baraj inşa etmektense, bir beton baraj inşa etmek çoğu kez daha ekonomik ve uygun olmaktadır (USBR, 1986).

- **İklim şartları**

İklim şartları önceki bölümde kemer barajlar için ifade edildiği gibi, büyük mevsimsel ısı değişimlerinin var olduğu yerlerde bir kemer baraj, ısıdan ve diğer nedenlerden dolayı yüksek gerilmeler sebebiyle çoğunlukla kabul edilmemektedir. Ağırlık barajların ısı değişimlerinden kaynaklanan gerilmelerden etkilenmesi kemer barajlara göre oldukça azdır. Fakat, ısı değişimlerinden ileri gelen gerilmeler tasarımda dikkate alınmalıdır.

- **Rezervuar işletimi**

Rezervuar işletimi genellikle beton ağırlık barajlar üzerinde oldukça az etkiye sahiptir. Kemer barajlarda sıcaklık tesiri ve rezervuardan ani su düşüşlerinden kaynaklanan yük durumları, ağırlık barajlarda etkili olmamaktadır. Yine,toprak dolgu barajlarda ani su seviye değişimleri kesinlikle istenmemektedir. Üzerinden aşmalı dolusavağa sahip olan beton ağırlık barajlarda pek sorun olmamaktadır.

- **İnşa malzemelerinin bulunabilirliliği**

Bir beton baraj inşaatı için, baraj yerine yakın uygun agrega yığınları bu tip baraj seçiminde etkili olmaktadır. Bir ağırlık baraj inşaatı için nispeten büyük miktarda agrega ve portland çimentosuna ihtiyaç duyulur. Eğer agreganın yerel olarak temini mümkün değilse veya çimento taşınma mesafesi oldukça uzak ise bu durumda diğer uygun bir tip seçilir.

3.2.2.3. RCC barajlarda tip seçimi

İlk inşa edilen RCC barajlar, çoğunlukla klasik beton ağırlık barajlar için uygun olan baraj yerleri için tercih edilmiştir. Birkaç ÖYBK kaya dolgu baraj tipte planlanan baraj yerlerinde de RCC baraj inşa edilmiştir. Bu tip barajların inşa süresinin kısa olması ve maliyetinin çoğunlukla düşük olması nedeniyle seçimi gittikçe artmaktadır. Copperfield Barajı madenciliğe su temini amacı ile

inşa edilmiştir (Hansen, 1991). Madenciliğin çalışması için, suyun en kısa sürede temin edilmesi gerektiğinden RCC baraj yapımına karar verilmiştir. Yine, New Victoria Barajı, en kısa sürede inşa edilmesi gerektiğinden, temel ve diğer koşullarda da sorun olmadığından RCC tipte en düşük maliyete yapımı gerçekleştirilmiştir. RCC barajların tasarımında gerekli temel şartları olarak, klasik beton ağırlık barajlardan pek farklılık göstermemektedir. Bu nedenle ağırlık barajlar için birçok formül ve prensip, bu tipler için de geçerli olmaktadır. Bu tip barajlarda da diğer tiplerdeki gibi aynı yükseklik sınırlaması geçerli olmaktadır. Temelin sızma direncine karşı koyabilmesi, aşınmaması ve yüksek taşıma kapasitesine sahip olması gerektiğinden dolayı beton barajlar için en uygun temel, sağlam kaya temeldir. RCC barajlar şimdiye kadar birçok farklı kaya temel üzerine inşa edilmiştir. Willow Creek Barajı bazalt, Winchester Barajı kireçtaşı, Copperfield Barajı granit, Galesville Barajı meta-andezit, Bucca Weir Barajı silttaşı, Upper Stillwater Barajı quartz kumtaşı ve Saco Barajı kuvarzit kaya temeller üzerine inşa edilmişlerdir.

Yükseklik konusunda, temel sağlam kaya ise, bir sınırlama söz konusu değildir. RCC baraj çok uzun ve çok yüksek inşa edilebilmektedir. Mevcut faylar ve kırıklıklara haiz kaya temeller oldukça uzun ve pahalı işlemler gerektirdiğinden bu tip temellerden kaçınılmaktadır. Fakat bu tip temellere yüksek olmayan RCC barajlar inşa edilemez demek doğru değildir.

Eğer baraj yüksekliği düşük ise; silt, kum, çakıl, kil gibi kaya olmayan temeller üzerine RCC baraj inşa edilebilmektedir. Tüm gereksinimler önceden hesaplanarak kontrol edilmektedir. Sızma, farklı oturma, borulanma, mansap topuğunda erozyon, sıvılaşma gibi parametreler dikkatlice incelenmelidir. Eğer bu kriterler uygun değerlerde temin edilemiyorsa bu tip baraj yapımından vazgeçilmelidir. Lower Chase Creek Barajı çok düşük modüllü bir temelde inşa edilmiştir. Bu baraj temeli alüvyon tarafından kaplanmış bir konglomera içermektedir. Bu baraj 20 m yüksekliğindedir. Bu barajda radye temel ve katoff duvarları tedbir olarak alınmış ve inşa edilmiştir. Yine düşük yükseklikli The Cedar ve Dryden Barajları kaya olmayan temellerde inşa edilmiştir.

Düşük yükseklikli klasik beton ağırlık barajlar başarılı bir şekilde düşük modüllü malzemeler üzerine inşa edilebilmiştir. Bu malzemeler; silttaşı, kiltaşı, çakıl ve kumtaşı'dır. Middle Fork Barajı mamtaşı üzerine inşa edilmiştir. Bucca Weir Barajı silttaşı üzerine inşa edilmiştir. Nispeten düşük deformasyonlu kayalar üzerine de RCC tipteki barajlar inşa edilmiştir.

Farklı oturmalara sebebiyet vermemek için RCC baraj temelindeki zayıf kısımlar kaldırılır ve gerekli enjeksiyon işlemleri yapılır. Kaya temeli örten alüvyon, toprak ve biriken kaya parçaları baraj gövdesi oturacak alandan uzaklaştırılır ve yüzey iyice temizlenir. Oldukça aşınmış kaya temelde mevcut ise bu durumda baraj yüksekliğinin düşük olması durumunda bile bu kayaların temizlenmesi gerekmektedir.

3.2.2.4. Beton payandalı barajlarda tip seçimi

Payandalı barajlar 1920'li yıllarda oldukça popüler bir tip olarak inşa edilmiştir. Özellikle vadi geniş ve kaya temele haiz olduğu kaya ve toprak malzemenin temin edilemediği, işçiliğin ucuz olduğu durumlarda tercih edilmiştir. Oldukça geniş vadilerde çok kemerli payandalı barajlar emniyetli ve estetik olarak icra edilmiştir. Günümüzde seçimleri çok nadirdir.

- **Yer topoğrafyası**

Payandalı barajlar değişik vadi şekilleri ve genişliklerinde yapımı genellikle uygundur. Tatlı bir eğime sahip olan baraj yerleri en uygun vadi olarak bilinmektedir. Bu baraj yerlerinde vadi yamaçları ve baraj arasında daha iyi bir birleşim temin edilmektedir. Daha stabil payandalar vadi yamaçları yakınında dik yamaçlar ile karşılaşıldığı zaman daha az güçlükle inşa edilebilmektedir.

ABD'de inşa edilen Hamilton Barajı çok kemerli payandalı tipte yapılmıştır. Baraj yüksekliği 47 m keret uzunluğu 2554 m'dir. Memba şev açısı 48° payanda aralıkları 10.67 m dir. Görüldüğü gibi vadi oldukça geniştir ve baraj temeli kayadır bu nedenle bu tip benimsenmiştir. Yine ABD'de Pavana barajı çok kemerli tipte olup 54 m yüksekliğinde olup 1306 m kret uzunluğundadır. Vadi temeli sağlam kireçtaşıdır ve vadi geniştir, bu nedenle çok kemerli tipte inşa edilmiştir.

46 m yüksekliğinde 964 m kret uzunluğunda olan Florence Lake B. (ABD) ve 69 m yüksekliğinde 528 m kret uzunluğunda olan Castrola B. (İtalya) yine 38 m yüksekliğinde 602 m kret uzunluğundaki Lake Lura (ABD) Barajları da çok kemerli tipte inşa edilmişlerdir. Beni Bahdel Barajı vadi taban genişliği 40 m başlık genişliği 250 m ve temel marn, gre, dolusavak kapasitesi 1200 m^3/s ve baraj 57 m yüksekliğindedir. Bu baraj da payandalı tipte seçilmiştir.

- **Temel şartları**

Payandalı barajlar çoğunlukla kaya temeller mevcut olduğunda inşası düşünülmektedir. Bununla beraber, düşük yüksekliğe sahip payandalı barajlar zayıf kaya veya diğer temeller üzerine eğer ayakların taşıma yükleri izin verilebilir sınırlar içerisinde ise nadiren kullanılmaktadır. Çok kemerli barajlar, beton ağırlık barajlar veya masif başlıklı payandalı barajlar ile karşılaştırıldığında daha az beton hacmi gerektirmektedir. Bununla beraber, ince kemer betonarmeli olmaktadır. Kalıp maliyeti yüksektir. Bitişik payandaların muhtemel farklı hareketleri araştırılmalıdır.

Düz dilimli payandalı barajlar ve masif başlıklı payandalı barajlar, bitişik payandalar arasında farklı hareketlerden ötürü zararlı etkilerden daha az etkilenirler. Eğer gelecekte baraj yerinin bir bölümünde muhtemel farklı oturmaların gözleneceği temel araştırmaları esnasında fark edilirse payandalı barajların bu tipleri düşünülebilir.

Payandalı barajlar, temelde kaldırma basınçlarının var olduğu yerlerde beton ağırlık barajlara göre oldukça avantajlıdır. Hidrostatik basınç veya barajın tabanında yukarı doğru kaldırma basıncı payandalar arasında karşılanarak azaltılmakta ve payandalar üzerinde kalan küçük yukarı doğru kaldırma basıncı yapının stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamaktadır. Bununla birlikte, nispeten geçirimsiz temeller arzu edilmektedir. Çünkü aşırı sızma kayıpları kısa mesafeli olan baraj altından geçebilmektedir.

- **Dolusavak tipinin etkisi**

Eğer yerel şartlar dolusavağı baraj dışında yapmaya uygun değilse dolusavak payandalı baraj gövde üzerine (dolusavağın yerleştirildiği kısım bir çeşit ağırlık tipte olmaktadır) yerleştirilmektedir.

- **İnşa malzemesinin etkisi**

Çoğu baraj tipleri için gerekli inşa malzemesi yeterli miktarlarda baraj yerinde veya baraj yerine yakın mesafede mevcut olmayabilir. Eğer baraj yerine malzemenin taşınma mesafesi uzak ise ekipman gereksinimleri de pahalı olmaktadır. Payandalı barajlar için gerekli inşa malzemeleri, ağırlık barajlara göre oldukça azdır. Beton için gerekli malzemenin az olması durumunda payandalı baraj düşünülebilmektedir.

3.2.3. Kompozit (Birleşik) barajlarda tip seçimi

Birleşik barajlar, hem dolgu barajlar ve hem de beton barajların avantajlarının ön plana çıkması durumunda söz konusu olmaktadır (Thomas, 1972). Birleşik barajlar baraj yerinin jeolojik ve topoğrafik özelliklerinin birlikte dikkate alınmasıyla tasarlanmaktadır. Örneğin, bir payandalı baraj vadinin merkezi kısmında, yan taraflarda ağırlık baraj veya toprak dolgu kesitleriyle uygun topoğrafyaya sahip bir baraj yerinin değerlendirilmesi ekonomik olmaktadır (Franklin, 1991). Birleşik barajlar genellikle, beton ağırlık veya payanda kesitleri ile toprak dolgu ve kaya dolgu kesitlerinden ibaret olmaktadır. Beton baraj kısmı üzerinden akım geçmesi yeteneğine sahip ve inşa esnasında baraj kesiti içerisinde akımın geçirilmesi ve inşadan sonra

beton kesit üzerinde dolusavağın yerleştirilmesi mümkündür. Toprak veya kaya dolgu kesitler, düşük maliyetli inşa tarzı ve yerel malzeme kullanma avantajı sağlamaktadır (Armstrong, 1977).

- **Yer topoğrafyası ve dolusavak durumu**

Yukarıda bahsedilen hidrolik düşüncüler hariç, topoğrafya kompozit bir barajın seçiminin ana sebebidir. Kompozit barajlar için yerler genellikle düze yakın vadilerde veya bölgeli (bir kısmı alçak, bir kısmı derin) vadilerde kullanışlı olmaktadır. Bölgeli yerler düze yakın yerler ve dağların birleştiği kısımlarda oluşmaktadır (Armstrong, 1977).

Geniş vadiler, birleşik barajların kullanımını çoğunlukla üstün kılmaktadır. Geniş vadiler ve dağlık bir araziye bitişik bir yer çoğunlukla büyük taşkın akımı sağlamaktadır. Eğer sadece bir dolgu baraj düşünülürse bu akımlar nehir derivasyon problemleri doğurmaktadır. İnşa esnasında taşkınların geçmesi için gerekli tünel kapasitesi ve gerekli büyük dolusavaklar çoğunlukla sadece dolgu baraj projeyi ekonomik kılmamaktadır. Eğer bununla birlikte, bir beton ağırlık veya payandalı barajın dolusavak kısmında kullanılırsa proje ekonomik olabilmektedir. Pueblo Barajı bir birleşik barajdır. Bu baraj Pueblo'da Arkansas Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Bir birleşik baraj olan Colorado Barajı'nın dolusavak kesiti payandalı baraj ve dolgu kesiti ise bir toprak dolgudan ibarettir. Yine bir birleşik baraj olan Keban Barajı ise beton ağırlık baraj+kaya dolgu barajdan ibarettir. Beton baraj yüksekliği 87 m kaya dolgu baraj yüksekliği ise 207 m'dir. Yani bir kısmı alçak bir kısmı ise derindir. Dolusavak beton gövde üzerine yerleştirilmiştir. Colorado'da Big Thompson Nehri üzerinde inşa edilen Olympus Barajı; toprak dolgu+beton ağırlık baraj şeklinde inşa edilmiştir. Bu barajda dolusavak ve çıkış yapıları beton baraj bölümüne yerleştirilmiştir.

- **Temel Şartları**

Temel şartları birleşik baraj tip seçiminde en önemli olan ikinci faktördür. Bazı durumlarda vadi çok geniş olduğunda baraj temel kayası vadinin bir kısmında derin alüvyon bir kısmında ise kaldırılabilecek düzeyde depozit malzeme ile kaplıdır. Bu durumlarda da kompozit barajlar ekonomik olmaktadır. Eğer bir birleşik beton+dolgu yapı düşünülüyorsa beton kısım kabul edilebilir bir kalitede bir temele sahip olmalıdır. Eğer barajın beton kısmı maksimum. bir net yüksekliğe (memba ile mansap su kotu farkı) 6 metreden daha fazla ise bir kaya temele kesinlikle gereksinim vardır. Eğer bu su kotu 6 metreyi aşmıyorsa, o zaman bu beton baraj sıkı kum, sıkı çakıl gibi malzemeler (yüklere dayanacak yeterliğe sahip olmaları durumunda) kullanılabilmektedir. Belirtildiği gibi taşıma kapasiteleri yeterli düzeyde olması ve gerekli tedbirlerin alınması durumunda bu temeller kullanılabilmektedir.

4. MÜHENDİSLİKTE YAPAY ZEKA SİSTEMLERİ

Geçen bir kaç yıl içerisinde, inşaat mühendisliğindeki bilgisayarlı hesaplamalarda Yapay Zeka (YZ) uygulamaları ilk sırayı almıştır. Bu uygulamalar genellikle Uzman Sistemleri (US'leri) içermektedir. İnsanlar var oluşundan beri hep doğayı taklit etme gereksinimi duymuştur ve hâlâ duymaktadır. Bu gereksinim insanın yaratılışında varolan öğrenme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Taklit etme olayının en yeni ürünlerinden biri olan yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma prensibini kendine model edinmiş, yapay sistemlerdir.

Von Neuman mimarisi kullanan klasik anlamdaki bilgisayarlar tecrübeye ve gözleme dayalı problemleri çözmekte yetersiz kalmaktadır. Bu tür bilgisayarların verileri seri olarak işleyip sonuca ulaştırmaları bu yetersizlikteki en büyük etkendir. Bu durum bilim adamlarını insan gibi tecrübeye dayanarak, problem çözme yeteneğine sahip bilgisayarlar yapmaya veya programlama teknikleri geliştirmeye zorlamıştır.

Diğer mühendislik dallarında olduğu gibi inşaat mühendisliğinde de tasarım aşamasında tecrübenin önemli derecede etken olduğu türden problemlerle sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu nedenle uzman sistemlerin inşaat mühendisliği problemleri için oldukça uygun ve yararlı olduğunu söylemek mümkündür. İnşaat mühendisliği problemlerinin bir diğer özelliği çok gerçekli karar verme durumudur. Yani problemin çözümü için birden çok kabul edilebilir metodun bulunmasıdır. Bu tür durumlarda kesin veri isteyip ona göre kesin sonuç isteyen problemlerin çözümü zorlaşmaktadır. Ancak US'leri kullanarak bu tür problemlere daha gerçekçi bir şekilde yaklaşmak mümkündür.

4. 1. Doğal Dil İşleme

YZ araştırmacılarının, son zamanlarda üzerine eğildikleri bir alandır. Fakat bu konu özellikleri ve sonuçları açısından oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, konu ile ilgili yoğun çalışmalar sürmektedir ve bir takım sonuçlar alınmaya başlanmıştır. Bu dalın amacı, kullanıcı ile bilgisayar arasında doğal dil kullanarak iletişim sağlayabilmektir. Bu gerçekleştirildiği zaman, bir takım özel bilgi ve emek harcanması gerekmeden bilgisayara istenilen işlemlerin yaptırılabilmesi mümkün olacaktır. Örneğin yazılım mühendisleri, uğraştırıcı ve zaman alıcı programlama dilleri ile boğuşmak zorunda kalmayacak, direkt yazı yazılarak programlama yapılabilecektir. Tabii bilgisayarların konuşma özelliği ile sonuçları bildirmesi de yine bu işlemlerle olacaktır. Ayrıca pattern

(tanı) algılama programlarıyla yapılacak işbirliği sonucunda yazmaya gerek dahi kalmadan konuşma yolu ile bilgisayarları komuta etmek ve programlamak mümkün olacaktır.

Doğal dil işleme konusu ile ilgili çalışmalarda istenilen başarı henüz elde edilememiştir. Çünkü, insan dili çok kompleks ve hacimlidir. Bu sebepten dolayıdır ki amaç, tüm dili anlayan programlar yerine belli formasyonda ve kısmen anlayan programların yazılması olmalıdır.

4.2. Çözüm Arama

Bu dal, yapay zekanın son yıllarda üzerinde durmaya başladığı ama kısa zamanda önemli ilerlemeler kaydettiği bir bölümdür. Bunun asıl işlevi, bir probleme çözüm aramaktır. Örneğin, matematiksel bir teoremin ispatında kullanılmak üzere bu teknikten yararlanma gibi. Bir başka değişle, teoremleri ispat etmek için direkt olarak bir matematikçi hünerinde formülizasyon yapma.

4.3. Robot Kontrolü

Robot teknolojisi 1980'lerden sonra büyük aşama kaydetmiş ve çok önemli bir otomasyon alanı olmuştur. Robotlar, üretimin her aşamasında emek gerektiren aktiviteleri yerine getirerek, otomasyon alanında çok önemli bir yer tutmaktadır. İki tip robot vardır. Endüstriyel montaj robotları ve self denetim robotlarıdır. Yapay zeka araştırmacıları, daha çok self denetim robotları ile ilgilenmektedir.

4.4. Kalıp Tanıma - Örnek Algılama ve Tanıma

Yapay zekanın daha çok tanımlayıcı nitelikteki tekniklerinden bir tanesidir. Bu konuda yapılan çalışmalar genellikle görüntü ve ses algılama üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmalar sonunda şu an kullanılmakta olan yazı, imza, parmak izi teşhisi ve ses sentezleme programları üretilmiştir. Bu konu, uygulama açısından önemlidir.

4.5. Öğrenme

Burada, tam olarak aynı olmasa da insanın öğrenme mekanizmasına yakın bir mantık kastedilmektedir. Bunu deneyimlerden ders alma ismiyle de ifade etmek pek yanlış olmaz. Alan programları, daha önce aynı konu ile ilgili verdiği kararı veri bankasına kaydetmesi ve bunu deneyimi

olarak saklaması esası ile çalışmaktadır. Daha benzer bir durumla karşılaştığı zaman ise, aynı hatayı tekrar yapmaması sağlanmakta ve makineye öğrenmesi öğretilmektedir. Pek tabi bu işlem daha etkin ve güvenilir bir program yapılabilmesi demektir. Fakat henüz bu ders almanın yöntemleri, hangi durumlarda ne şekilde ders almanın gerekeceği ve belirsizlik halleri ile ilgili tam başarı sağlanamamıştır.

4.6. Bulanık Mantık Kümeleri

Klasik olasılık teorisine göre bir eylemin gerçekleşme ihtimali, bu eylemle doğrudan veya dolaylı yoldan etkileşimlere bağlı olarak "1" ile "0" arasında değişir. Daha önceleri bilgisayarda kullanılan mantık işlemlerinde bir eylemin ya da bir ihtimalin ya olacağı ya da olmayacağı , yani "1" ya da "0" değerlerini alabileceği üzerine kurulu idi. Fakat gerçek hayatta kaotik kurallar geçerlidir ve birçok durumda belirsizlik söz konusudur. Yani bir aktivite bazı durumlarda ve bir takım hesap edilemeyen değişkenlere bağlı olarak gerçekleşir. Beyaz ya da siyah renk yoktur, grinin tonları vardır ve ihtimalleri "1" ile "0" arasında ve bir belirsizliği de içerecek şekilde hesaplanmalıdır. Bu konu ile ilgilenen yeni bir mantık teorisi, Lofti A. Zadeh (Kaliforniya Üni. Azerbeycanlı bir profesör) adlı bir bilim adamı tarafından 1960'ların ortasında ortaya atılmış ve Bulanık Mantık ismini almıştır. Sonraki yıllarda çok kabul görmüş ve özellikle YZ tekniklerinin çıkarım mekanizmalarında yaygın bir biçimde kullanılmıştır. Özellikle bilgisayar destekli tasarımlarda pahalı ve çok zaman alan projeler, bulanık mantığın uygulanmasıyla ucuza mal olmakta ve yapılan işler de basitleşmektedir. Bulanık mantık için, matematiğin gerçek dünyaya uyarlanması denilebilir. Çünkü gerçek dünyada her an değişen durumlardan değişik sonuçlar çıkabilir ve deneyimlerden yararlanılabilir.

- Bulanık küme dilsel değişkenleri göstermek için kullanılır.
- Üyelik fonksiyonları bir bulanık kümede (sıcak, yüksek, hızlı) bir fiziksel değişkenin (ısı derecesi, basınç, hız gibi) üyelik derecesini tanımlamak için kullanılır.
- Bulanık operatörler bulanık ifadeler arasında mantıksal ilişkilere hız verir. Bunlarla EĞER - O HALDE (IF - THEN) türünden üretim kuralları, US'lerde kullanılan metoda benzer olarak, sembolik yoldan (yani dilsel olarak) formüle edilebilir.
- Bulanık çıkartım, mevcut olan bilgiden, kurallara dayanarak yeni bilgiler elde etme yoludur.

4.7. Yapay Sinir Ağları

En genel anlamda sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan kompleks sistemlerdir.

Yapay sinir ağı teknolojisi hesaplamalarda tamamen farklı bir yaklaşım getirmektedir. Yapay sinir ağları, paralel hesaplama tekniğinin bütün avantajlarını kullanabilen ve algoritmik olmayan bir metottur. Belirli bir problemi, programlama yerine direkt olarak mevcut örnekler üzerinden eğitilerek öğrenirler. Ayrıca yapay sinir ağları, klasik bilgisayar belleği gibi belirli bilgileri belirli yerlerde saklama yerine, öz şeklindeki bilgileri nöronlar arasındaki bağlantılar üzerindeki ağırlık değerleri ile ağ üzerine dağıtarak saklarlar.

4.8. Genetik Algoritma

Genetik Algoritmalar, insan ve ekosistemlerdeki doğal gelişme, sosyal sistemlerdeki taklit etme ve psikolojideki sonuçları değerlendirmeyi içine alan dinamik metotların geniş bir şekilde modellenmesinden oluşmaktadır. Evrim sistemlerinin bilgisayarda modellenmesini yapmak, çoğu konvensiyonel modellemelere göre biraz daha zor olmaktadır.

Genetik Algoritma ilk ismini biyoloji, ikinci ismini ise bilgisayar biliminden almaktadır. Tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğinin geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan oluşan bir topluluğun çoğalma, çiftleşme, değişim vb. genetik süreçlerden geçerek, başarılı (öğrenebilen) yeni bireylerin oluştuğu görülmüştür. Holland'ın çalışmalarının sonuçlarını açıkladığı kitabının 1975'de yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritmalar yada kısaca G.A. olarak yerleşmiştir. Ancak inşaat mühendisi olan David E.Goldberg, 1989'da konusunda klasik sayılabilecek kitabını yayınlayıncaya kadar, Genetik Algoritmalar'ın pek de pratik bir yararı olmayan araştırma konusu olduğu düşünülmekteydi. Bununla birlikte Goldberg'in, gaz borusu hatlarının denetimi üzerine yaptığı çalışma ona sadece "1985 National Science Fundation Genç Araştırmacı" ödülünü kazandırmakla kalmayıp, Genetik Algoritmalar'ın pratik kullanımının da olabilirliğini kanıtlamıştır.

GA, bilgisayar üzerinde oluşan bir evrim şeklidir. GA'nın amacı hem problemleri çözmek hem de evrimsel sistemleri modellemektir. Değişik planlama teknikleri, bir fonksiyonun optimizasyonu veya ardışık değerlerin tespitini içine alan bir çok problem tipleri için çözüm geliştirmektedir. GA ile oluşturulan seleksiyon, doğal topluluklara benzer bir şekilde bilgisayar hafızasına depo edilmiş kromozomlar üzerinde icra edilmektedir. Bilgisayara uyarlama doğayla karşılaştırılamayacak kadar basitleştirilmesine rağmen, Genetik Algoritmalar karışık olmasının yanında hayret uyandıracak kadar da ilginç bir yapıya sahiptirler.

4.9. Uzman Sistemler

Uzman sistem teknolojisi 'Yapay Zeka (Artificial Intelligence, AI) sistemlerinin bir koludur. Yapay Zeka sistemleri ise problemlerin, insan zekasının bilgisayarda simülasyonu yapılarak çözümlenmesi çalışmasından ibarettir.

İnsan beyninin mükemmel çalışma şekli bilgisayarlara uyarlanabilirse, insanoğlunun yapacağı işler daha da kolaylaşacaktır. Günümüzde pek çok bilim adamı bilgisayar destekli tasarımlarına, insan beyni gibi çalışma özelliği kazandırmağa uğraşmaktadırlar. Bu sayede uzman kadroların yaptığı işlemler bilgisayar tarafından gerçekleştirilebilecektir.

İnsan beyni sayısal bir işlemi birkaç dakikada yapmasına rağmen, idrak etmeye ait olayları birkaç saniyede çözebilecek kadar hızlıdır. Örneğin yolda giden şoför bir tehlike karşısında aniden fren yapmaktadır. Şoför o an hızının, yolun kayganlık derecesinin, önündeki tehlikeden uzaklaştığının vb. durumları sayısal olarak kesin değerlerini bilmediği halde, geçmişte kazandığı deneyimlerden ve tehlikeyi idrak ettiğinden dolayı anında tehlikeye karşı koymaktadır. Bilgisayarlar ise çok karmaşık sayısal işlemleri birkaç saniyede yapabilmelerine rağmen, idrak etmeye ve deneyimlerle kazanılmış bilmeye ait konularda yetersiz ve yavaştırlar. İnsan beyni, düşünsel ve hesaplamalar yapan bilgisayarlardan farklı olarak, sinirsel algılayıcılar vasıtasıyla kazanılmış göreli olarak sınıflandırılmış bilgileri kullanma temeline dayanır.

Uzman Sistemler; uzmanların düşünce biçimini simüle ederek, özelleşmiş bir alanda önemli problemleri çözmeye yönelik yazılımlardır. Bu yazılımlar genellikle arayüz, veri tabanı vb. birden fazla programdan oluştuklarından, program değil "sistem" adını almaktadır. Ve ilk US olan DENDRAL, bilinmeyen bir maddenin spektroskopik sonuçlarını analiz için 1965'te Stanford Üniversitesinde geliştirilmiştir (Lindsay vd., 1980).

YZ terimi iki farklı araştırma konularının sonucu olarak başlamıştır. Birincisi, bilgisayar bilimcileri nümerik olmayan bilgilerin işlenmesinin ihtimallerini keşfetmeğe çalışmaları ve ikincisi, insanın zihinsel davranışına benzer davranan bilgisayar programlarının yazılma ihtimalleri üzerine araştırma yapan psikologların çalışmalarıdır. Bu düşüncelerin neticesi olarak LISP (LISt Processor) bilgisayar dili bilimciler tarafından oluşturulmuştur. Stanford Üniversitesinde geliştirilen DENDRAL adlı bir program araştırmacıların yönünü bu teknolojiye çevirerek yeni bir çığır açmıştır. DENDRAL, genel bir program olmak yerine tek bir konuya yönelmiştir. Analitik verilerden kimyasal bileşikleri tanıyan bu programın başarısı düşünebilen makinelerin genel yöntemleri programlayarak değil, bilgisayara dar bir konuda geniş bilgi vererek, yani bilgisayara uzmanlık kazandırarak gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Böylece US kavramı doğmuştur. Bu sistem spektroskopik

analizde uzman bir kişinin performansına benzer bir yeterlik göstermesi US'lerin popüler olmasına yaygınlaşmasına neden olmuştur. 1970'lerin ortasında birkaç önemli US geliştirilmiştir. MYCIN (Buchanan ve Shortliffe, 1984) kandaki bakteriyel enfeksiyonları ve menenjiti tanımaya yardım etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu çalışma hâlâ günümüz US araştırmalarına ışık tutmaktadır (Harman ve King, 1985). Aynı peryotta Aix Üniversitesinde (Marsilya) ve Edinburg Üniversitesinde, günümüzde hâlâ popüler olan nümerik olmayan nesnel, mantıksal bir programlama dili olan PROLOG (PROgramming in LOGic) geliştirmişlerdir. Bu programlama dili US'lerin oluşturulmasında büyük kolaylık sağlamıştır (Kowalski, 1988).

US'ler, algoritma kaynaklı sistemlerden ziyade bilgi sistemlerinden türetilmektedirler. Bir US açık bir algoritmaya sahip olmayan problemlerin çözümleriyle ilgilenirler.

İlginç pek çok problemin algoritmik çözümü yoktur. Örneğin, Elazığ'dan Edirne'ye hangi yoldan gidileceğinin saptanması, bir alışveriş kararı, hangi lokantada yemek yeneceğinin kararı, bir otomobilin arızasının bulunması, tıbbi teşhis gibi benzer problemler algoritmik çözüme elvermezler. Bu tip problemlerin çözümünde esas, muhtemel çözümler üretmek ve bunları denemektir. Uzmanların konularında başarılı kararlar verebilmelerinin, doğru öneriler getirebilmelerinin nedeni, bilgi ve deneyimlerine dayanarak, umut veren çözümleri çabuk saptayabilmeleridir. Uzmanın bilgisi deneyim ile oluşan bir takım kurallar şeklinde düzenlenmiştir. Hangi koşullarda hangi eylemin genellikle iyi sonuç verdiğini belirten bu kurallara "heuristik" adı verilir. İşte , US'ler de bunu başarı ile yapmaktadır.

US'ler bilgi ve gerçeklerin mantıksal analizi için en uygun bilgisayar programlarıdır. Özellikle denklemlerle gösterimi ve nicelik olarak ifadesi zor olan problemlerin analizinde oldukça kullanışlı olmaktadır. US'ler ile klasik programlama teknikleri arasında ana fark US'lerin bilgileri kullanarak sonuç çıkarma mekanizmasına sahip olmalarıdır.

US'ler ve yapay zeka ile ilgili yayınlar, konferanslar ve değişik dallardaki çalışmalar tüm bilim elemanlarının ilgisini çekmiştir. Özellikle son on yıldır, ilgili insanların çoğu US ve yapay zekanın teorik bilgilerinden çok uygulaması ile ilgilenmişlerdir.

1980'lerin başlangıcı oluncaya kadar, yapay zeka ve US'ler, üniversitelerde ve araştırma laboratuarlarında ve pazarlamada yaygınlaşması yaygın olarak kullanılmamıştır. Bu birkaç nedenden dolayıdır. Daha ucuz bilgisayar gücünün mevcut olması ve daha kullanışlı yazılıma yönelik programların gelişmesinde geçen yirmi yılda tecrübe kazanılmasının büyük rolü olmuştur.

Günümüzde (YZ), bilgisayar mühendisliğinin kurulu en iyi dallarından biridir. Bu tür programların satışı oldukça fazla olmaktadır. Bir başka değişle yapay zeka paket programları birçok ilgili araştırmacı tarafından bu programlara büyük ilgi ve talep olmaktadır.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

4.9.1. Uzman sistemin tanımı ve genel özellikleri

US'ler hakkında çok tanım yapılmıştır. Yapılan tanımların tamamında, bu sistemlerin direkt sonuca ulaştırıcı olduğu diğer programlama teknikleri gibi problemin çözümü için sadece yol gösterme amaçlı olmadığı belirtilmektedir.

Michaelson (1985), Uzman Sistemleri (US);

- Öneride bulunabilen,
- Problemi analiz edebilen,
- Sınıflandırabilen,
- İletişim kurabilen,
- Dizayn yapabilen,
- Tanımlayabilen,
- İnceleyebilen,
- Tahmin yürütebilen,
- Belirleyen,
- Yargılayabilen,
- Öğrenebilen,
- Kontrol edebilen,
- Programlayabilen ve
- Öğreten, bir çeşit bilgisayar programlarıdır." şeklinde tarif etmiştir.

Huggins (1986), "mantık ve sonuç çıkarma işlemlerini kullanarak insanların uzmanlık alanlarındaki problemlerinin çözümünü dizayn yapabilen bilgisayar programlarıdır". şeklinde tanımlamışlardır.

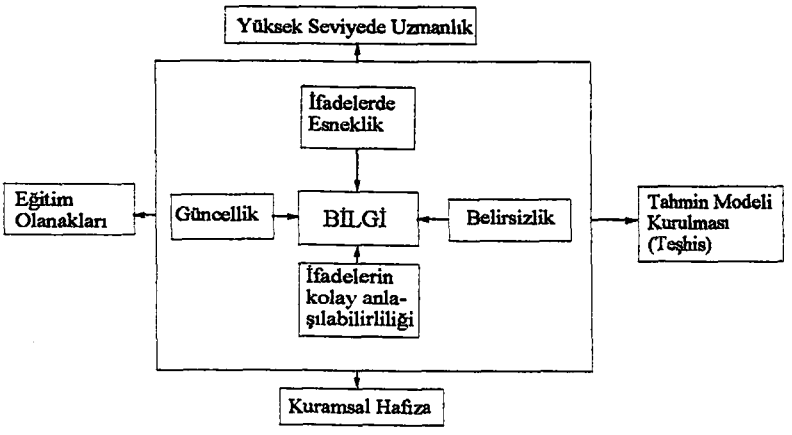
Literatürde US'ler hakkında en popüler tanımı Gasching (1991) yapmıştır. "US'ler; yargı, tecrübe, ana kurallar, sezgi ve birçok problem için mantıklı öneriler getirebilen bir mekanizmanın bulunduğu iteraktif bilgisayar programlarıdır ".

Boose (1986), "US, uzman kişilerin problem çözme yeteneğinde davranabilen ve yakalayabilen sonuç çıkarma mekanizmasına sahip, bilgi tabanlı bir sistemdir".

Feigenbaum ve McCorduck (1984), US'ler hakkında, "uzman kişiler için entellektüel dayanaklar" şeklinde bir ifade kullanmışlardır.

Bir US'in tanımı Feigenbaum (1982) tarafından şöyle yapılmıştır;
Problemlerin çözümü için uzman eleman gerektiren yeteri kadar zor olan problemlerin çözümünde bilgi ve sonuç çıkartım işlevlerini kullanan, zeki bir bilgisayar programıdır.

Oluşturulmuş bir US, problemin çözüm aşamalarında kullanıcıya gerekli bilgi ve açıklamaları adım adım sunabilir. Böylece mühendisler için uzman bilgi gerektiren problemlerde US'lerden konvensiyonel programlardan daha çok yararlanmak mümkündür. Yine US'ler hatalı veya belirsiz bilgileri de kullanabilme yeteneğine sahiptir (Baffaut, 1990). US'lerin genel özellikleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Uzman Sistemlerin Genel Özellikleri

4.9.2. İlk uzman sistem örnekleri ve uygulanan bilim alanları

US araştırmaları uzun bir bilimsel araştırmaya sahip olmamasına rağmen otomatik programlama, eğitim, tıp ve diğer bilim alanlarında geliştirilmiş birçok US mevcuttur.

MYCIN (Buchanan vd., 1985), bulaşıcı hastalıkların teşhisinde kullanılmaktadır. Tıp alanında, Stanford Üniversitesinde geliştirilmiştir. Lisp programlama dili kullanılmıştır. PROSPECTOR (Hart and Duda, 1984), jeolojik bilgilerin yorumunu yapmak için geliştirilmiştir. Bu US hemen hemen 1600 kural ihtiva etmektedir. Jeoloji alanında, uluslararası SRI tarafından geliştirilmiştir. INTERLISP programlama dili kullanılmıştır. MOLGEN (Stefik, 1981), moleküler genetik deneylerinin yapılması için yazılmış bir US programıdır. LISP programlama dili kullanılmıştır. Stanford Üniversitesinde geliştirilmiştir.

Yapılan bu ilk uygulamalar çok başarılı görülmüş ve araştırma için dikkatleri bu yöne çekmiştir. Bunlar daha önceki otomatik akıllı problem çözücülerden daha farklı olarak, çok daha özel ve hayli karmaşık, aynı zamanda uzmanlık isteyen alanlarda uygulaması ile kendini göstermiştir.

Çizelge 4.1. Uzman Sistemlerin Yaygın Uygulama Alanları

• Askeri Bilimler	• Fizik	• Kimya	• Proses Kontrolü
• Bilgi Yönetimi	• Hukuk	• Matematik	• Tarım
• Bilgisayar Sistemleri	• İmalat	• Meteoroloji	• Tıp
• Elektronik	• Jeoloji	• Mühendislik	• Uzay Teknolojisi

Ayrıca mühendislik alanında, CONPHYDE (Kimya Müh.), NPPC (Nükleer Güç Santralleri), REACTOR (Okuyucu aletlerin izlenmesi ile nükleer reaktör kazalarının teşhisinde kullanılmaktadır.), SACON (köprü, roket motoru, uçak mühendislik yapılarının yapısal

analizinde), SPERILL-I (inşaat müh.), SPERILL-II (İnşaat müh.) ve STEAMER (Navy propulsion eng.) geliştirilmiş US'leri de mevcuttur.

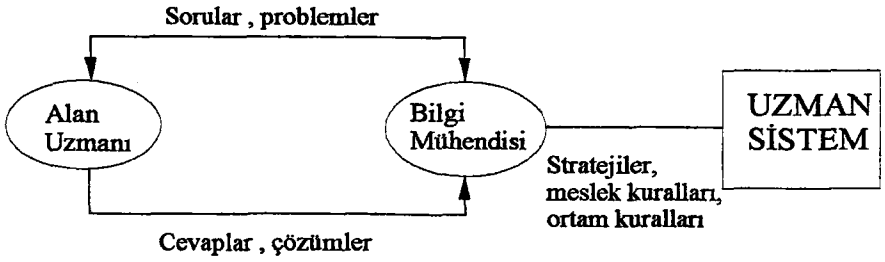
US'ler, su yapılarının planlanmasındaki kullanımından başka su kaynakları mühendisliği eğitimi konusunda da çok büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Su mühendisliği eğitimi genellikle su yapıları planlanması, hidrolojik etütler, sulama drenaj, su kalite kontrolü ve hidrolik problemleri konularından oluşmaktadır. Su kaynakları konusunda, US uygulamaları diğer inşaat mühendisliği konularına göre oldukça azdır. US'lerin su kaynakları mühendisliğinde kullanımı 90'lı yıllardan sonra başlamıştır.

Çizelge 4.2. Uzman Sistemlerin Klasik Bilgisayar Programlarından Farklılıkları

Klasik Anlamdaki Programlar	Uzman sistemler
• Veri gösterimi ve kullanımı	• Bilgi gösterimi ve kullanımı
• Program tam olarak tamamlanmadan çalışmaz.	• Özellikle programı geliştirme safhasında programı iyileştirmek için program henüz tamamlanmadan da kullanılabilir.
• Ara işlemler verilmeden direkt olarak netice verilir.	• Netice ile beraber ara işlemler adım adım izlenebilir.
• Program yazılımının bir sıraya göre yazıl-ması gerekmektedir.	• Program yazılırken bilgilerin ve yazılımın sıralı olması gerekmez.
• Sayısal işlem doğrultusunda işlenir.	• Sembolik işlem doğrultusunda işlenir.
• Algoritmik (tekrarlamalı) işlem	• Algoritmik olmayan, Heuristik (sonuç çıkarmaya yönelik) işlem
• Büyük veri tabanında etkin işlem	• Büyük bilgi tabanında etkin işlem
• Bilgi ve kontrol bir arada	• Bilgi ve kontrol ayrılmış

4.9.3. Uzman sistemlerde roller

- **Uzman kişi ve kişiler:** Geliştirilecek olan US'e bilgi aktaran veya geliştirilmiş sistemi test ederek sistemin doğruluğunu belirleyenler, ilgili konuda engin deneyim ve bilgi sahibi olan kişilerdir.
- **Bilgi Mühendisi:** Gerek kişisel deneyimden ve gerekse uzman kişilerle yaptığı görüşmeler neticesinde elde edilen bilgileri kullanarak ve bilgileri bir formatla kodlayarak programı geliştiren kişi.
- **US Lisanı Geliştirenler:** Bir US oluşturmak için, bir bilgisayar diline ihtiyaç vardır. Bu diller genellikle bilgi mühendisi tarafından değilde bilgisayar dili geliştirme konusunda uzman kişiler tarafından geliştirirler.
- **Kullanıcı:** Geliştirilen US programını kullanan kişi.
- **Destek Çevre:** Uzman sistem hazırlama aracıyla ilişkili olan ve kullanıcıların US'le ilişkilerini sağlayan "destek çevredir". Bunun içinde çok gelişmiş, hata giderici olanaklar, kolay çalışma (editing) programları, ve ileri grafik araçlar bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Bilgi mühendisinin bilgileri uzmandan bilgisayar programına aktarımı

Bir US'de roller yalnızca bilgi mühendisi ve uzman olarak sınırlanamaz. Bir US'in oluşturulmasında daha başka roller de vardır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Uzman Sistemde Roller

4.9.4. Uzman sistemlerin uygulama alanları

Günümüze kadar yapılan ve yapılmakta olan US'lerin odaklandığı uygulama alanları aşağıda belirtilmiştir.

- Tasarım Sistemleri: Uygulamaya yönelik alanlarda amaç fonksiyonunu sağlayacak tasarımları gerçeklemede görevlendirilebilirler. İnşaat, bütçe, gibi alanlarda kullanılırlar. Genel amaçları istenmeyen özellikleri tecrübelerden yararlanarak minimuma indirmektir.
- Planlama Sistemleri: Uygulama alanındaki amaçlara ulaşmak için gerekli planlamayı yaparlar. Otomatik programlama, robotik, proje, haberleşme ve özellikle askeri planlama problemlerinde kullanılırlar.
- İzleme Sistemleri: Sistem davranışlarını gözler ve bu davranışları, plandaki aksaklıkları belirlemek veya sistemin mevcut hatalarını saptamak için planlanan davranışlarla karşılaştırırlar. Hava trafiği kontrolünde, hastanelerde ve finans alanlarında kullanılırlar.
- Hata Takibi Sistemleri: Söz dizimi hatalarını saptamak için kaynak programı inceler ve tanımlanan amaçlar doğrultusunda program mantığındaki hataları tahmin ederler. Planlama, tasarım ve tahmin sistemlerinin özelliklerini de içerirler.
- Onarım Sistemleri: Teşhis konulan bir hata ile ilgili reçetenin uygulanması için planlar geliştirir ve yürütür. Bu sistemler otomobil ve bilgisayar bakımı alanlarında kullanılabilirler.

- Yorumlama Sistemleri: Verilerin anlamlarını belirlemek için analiz yaparlar. Konuşmayı anlamada, görüntü analizi, kimyasal yapı analizi ve işaret yorumlamada kullanılmaktadır.
- Tahmin Sistemleri: Modelleme yaparak ilerisi ile ilgili mevcut verilerin ışığında tahminde bulunurlar. Hava tahmini, nüfus tahmini, ürün tahmini, ekonimik ve askeri simulasyon tahminleri yapılabilir.
- Teşhis Sistemleri: Yapılan gözlemlere dayanarak sistem hatalarını bulurlar. Tıp, elektronik, mekanik ve yazılım hatalarını teşhis etmede kullanılabilirler.
- Eğitim Sistemleri: Kullanıcıya değişik problemler sunar., kararları konrol eder ve kullanıcıya bir konunun öğrenmesinde yardımcı olur. Bazı programlarda fotoğraf ve şekiller de göstererek konuyu açıklamalarla kullanıcıya öğretir. Eğitim amaçlı olarak kullanımı oldukça yaygındır.

4.9.5. Uzman sistemlerin yapabildikleri

- Açıklama ve yorum: Aldığı bilgiye göre durum hakkında yorum yapabilir ve bu durumu olması gereken ile kıyaslayarak bir neticeye varabilir.
- Tanı: Alınan bilgiler ışığında olası sonucu tespit edip, sistemde görevini yapamayan noktaları tanımlayarak teşhis edebilir ve bu konuda çözüm önerebilir.
- Tasarım: Uzman sistemler herhangi bir konuda tasarım yapıp, bu tasarımın temel planlamasını yapabilir.
- Öneri: Uzman sistemlerle yapılan diyalog neticesinde sistem, problemi tanımlayıp ilgili konuda tavsiyelerde bulunabilir.

4.9.6. Uzman sistemlerin dezavantajları ve yapamadıkları

- Mümkün olmayanı yapamaz
- Bilgi pahalıdır
- Güçlü bir US oluşturmak oldukça uzun bir zaman alabilir.
- Diyagnostik US'ler hakkında bildiklerimiz planlama ve dizayndaki uygulamalarından çok daha fazladır.

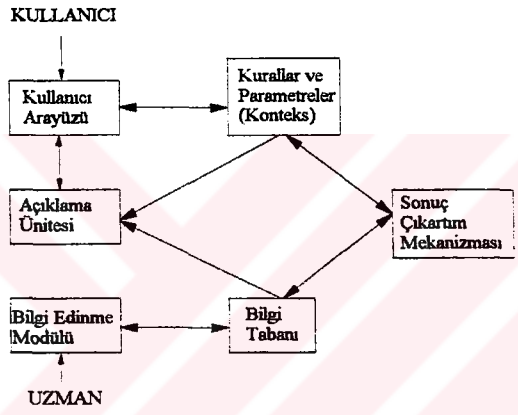
4.9.7. Uzman sistemlere yatırım yapmanın nedenleri

- US'ler yorulmaz. Bu sistemler rutin problemleri çok yüksek bir güvenirlik ve tutarlıkla çözebilirler.
- Bilgi birikimi, uzmanın kendi anlayışına göre derinleşmekte ve netleşmektedir.
- Uzman sistemler, uzmanların daha seyrek şekilde oluşan, daha ilginç konularda çalışmasını teşvik etmekte ve buna olanak sağlamaktadır.
- Uzman sistemler, deneyimsiz elemanları yetiştirmekte kullanılabilir.
- Uzman sistemler bilgilerin ortak kullanımı ve işlenmesi için ortak bilgi bankası sağlar.
- Uzman sistemler, genel anlamda tekniklerin, metotların ve ihtiyaçların daha geniş bir anlamda kullanımına bir iletişim ağı ile olanak sağlar.

4.9.8. Uzman sistemlerin genel yapısı

US'in temel yapısı bölgesel bilginin, kontrol bilgisinin ve halihazırda çözülen özel bir problem hakkındaki bilgilerin ayrı ayrı ele alınması şeklinde kendini göstermektedir. Bu durum bir US'in üç temel elemanının bir araya gelmesi ile oluştuğu sonucunu doğurmaktadır. Bunlar, Bilgi Tabanı, Kurallar ve Parametreler ve Sonuç Çıkarma Mekanizmasıdır (Şekil 4.4).

Graham ve Jones (1988) her US'in bilgi tabanı ve sonuç çıkarma mekanizması şeklinde iki ana bölümünü tanımlamışlardır. Graham ve Jones'e göre (1988) bilgi tabanı, bir US'nin uzman ve genel bilgilerin tümünün olduğu bir bölümdür. Sonuç çıkarma mekanizması ise bir algoritma veya bir karar vermek için US'i oluşturan pattern matching'tir.



Şekil 4.4. Bir Uzman Sistemin Yapısı

4.9.8.1. Bilgi tabanı

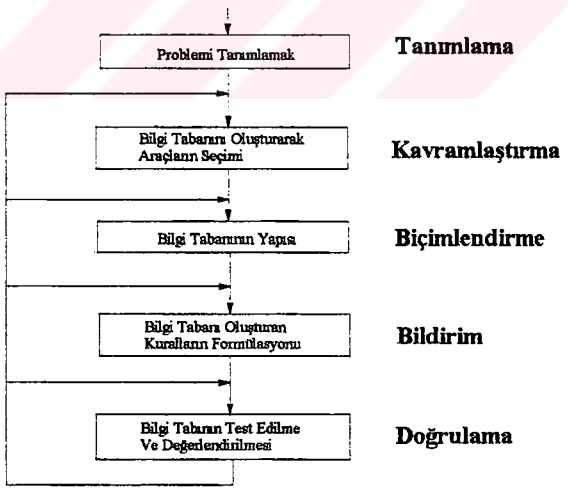
Uzman sistemde belirtilen gerçekler ve sonuç çıkarmaya yönelik bilgiler ve yargılar ile ilgili bilgileri içeren kısımdır. Bir başka değişle uzmanlık alanına giren tüm bilgilerin biriktirildiği yerdir. "Gerçekler" olarak tanımlanan kısım tipik olarak problem hakkında belirtilen bilgileri içerir. "Heuristik" olarak anılan ikinci kısım ise basitçe kurallar şeklindedir.

Bilgi Tabanının yapısı bir örnek üzerinden açıklanacak olursa; Bir yapının tasarımını yapmak üzere hazırlanan Uzman Sistemde Bilgi Tabanında dizayn için gerekli fiziksel nesnelerin tanımları ve bunlar ile ilgili "Gerçeklerin" belirtilmesi gerekir. Bir kiriş elemanı, bu problem için bir fiziksel nesnedir. Bu kiriş Bilgi Tabanında bir yapı elamanı olarak tarif edilebilir. Bu kirişe ait bilgilerinde (genişliği, açıklığı, kesit alanı, yapı içerisinde bulunduğu yer ve taşıdığı yük gibi) Bilgi Tabanında girilmesi gerekir. Ayrıca yapının dizaynı ile ilgili tüm kurallar mantıksal

yaklaşım içerisinde tecrübe veya fonksiyonel bir ilişki şeklinde verilmelidir. Mantıksal yaklaşıma örnek verilirse;

- EĞER kiriş uzunluğu -BÜYÜK- 12.0 metre VE kullanmak istenen malzeme Çelik İSE, O HALDE Geniş başlıklı kesit kullan.
- EĞER eleman (y)=x VE eleman (z)=y İSE, O ZAMAN eleman (z)=x'tir.
- EĞER K=4 VE temel basınç mukavemeti 6 MPa VE temel elastisite modülü 3.6 GPa VE yamaçlar sağlam ise O ZAMAN kupola kemer baraj seçilebilir.
- EĞER rüzgar aniden meltemden esmeğe başlarsa VE hava bulutlu İSE, O ZAMAN yarım saat içerisinde sağanak yağmurlar başlar.

Çoğu bilgi tabanları if-then tipli kurallar ile oluşturulurlar. Kullanıcı arayüzü, bir insan ile sistemin iletişimi olan bir mekanizmadır. Bu çoğu kez işleyen bir shell'dir. Shell ya ticari olarak üretilir veya bir programcı tarafından geliştirilir. Çoğu durumlarda ticari bir shell problemi icra edebilir, fakat daha çok karışık çok özel durumlar gerektiren karışık problemlerde programcı yapımlı işleyen bir shell gerekli olmaktadır (Chang, 1996). Şekil 5.10'da bir bilgi tabanının oluşturulmasında ilgili aşamalar gösterilmiştir. Bir bilgi tabanı, bilinen gerçeklerden, kurallardan ve sezgisel bilgilerden oluşur. Bilgiyi, bilgi tabanında temsil etmek için bazı gösterim teknikleri vardır. Bunların en önemlileri, kurallar, çerçeve yada nesneler ve anlam ilişkisi ağlarıdır. Kurallar en popüler ve en çok kullanılan bilgi gösterim metodudur. Çerçeveler ya da nesneler, bir konu hakkında ve birbiriyle ilişkili olan bilgiyi (gerçekler, kurallar, varsayımlar, vb.) biriktiren bilgilerdir.



Şekil 4.5. Bilgi Tabanını Oluşturma Adımları

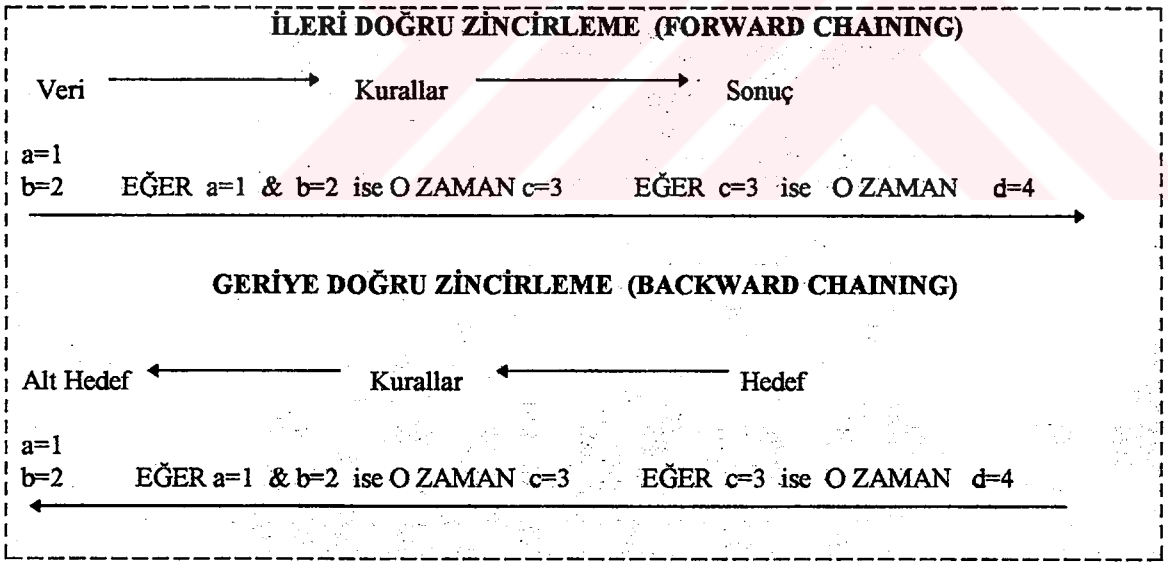
4.9.8.2. Konteks (Kurallar ve Parametreler)

Konteks, US'in halihazırda çözülen problemle ilgili bilgileri içeren kısmıdır. Bu modül, öncelikle çözülen probleme ait bilgileri ve parametreleri içerir ve çözüm sırasında bu bilgiler genişler ve

saklanır. Örneğin bir yapıdaki olası deprem hasarını öngörebilen bir US'de Konteks, öncelikle yapıya ve yöreye ait bilgileri içerir, çözüm sırasında da ortaya çıkan potansiyel hasar bilgileri ve bunların "Belirsizlik Faktörleri" gibi bilgileri de alarak genişler.

4.9.8.3. Sonuç çıkartım mekanizması

Bu modül US'in kontrol bilgilerini içeren kısmıdır. Bir başka değişle, bu birim bilgi tabanını eldeki durumlara uygulamak için gerekli mekanizmaları içermektedir. Sonuca ulaşmak için eldeki bilgilerin bir fonksiyonu olarak, bilgi tabanındaki en uygun kuralları seçer. Çıkartım Mekanizması, Bilgi Tabanındaki bilgileri kullanarak Konteks'i genişletir. Örneğin bir yapıda kullanılacak malzeme seçimi için yazılmış bir US'de, bu mekanizma verilen malzeme çeşitlerini teker teker deneyerek yapı için teknolojik açıdan en uygununu seçme işlemini yapar. Bu tür işleme "Geriye doğru zincirleme" (Backward Chaining) denir. Bu işlemin tam tersi de yani dikkate alınan yapı için gerekli malzemenin teknolojik özellikleri verilerek buradan uygun malzemenin seçimi işlemi de "İleriye Doğru Zincirleme" (Forward Chaining) olarak adlandırılır. İleri ve geriye doğru zincirleme arasındaki fark Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. İleri ve Geriye doğru zincirleme arasındaki farkın gösterilişi

İleriye doğru zincirleme yönteminde, sistem bilinen gerçeklerin bir başlangıç durumundan bir amaç durumuna doğru arama yapar. Bu metotta, gerçeklerin hepsi girdidir ve sistem gerçeklere uyan amaç durumunu bulmaya çalışır. Bu yöntemde kurallar, sonuca ulaşılması için bir yolu ifade eder. Böylece bir sonuca ulaşmak için bütün kuralların sağlanması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı, "veri - yönlendirmeli" bir metottur. Geriye doğru zincirleme yönteminde, başlangıçta bir varsayım seçilir ve

sonuca ulaşmak için bu varsayıma göre bilgiler sorgular. Buradaki varsayım, ulaşılmak istenen sonuçtur, doğrulandığında problem çözülmüş demektir. Bu "amaç-yönlendirmeli" bir metottur.

4.9.9. Uzman sistemler için programlama dilleri ve kabuklar

Bir US geliştirmek, uzun zaman alan ve titizlik gerektiren bir iştir. Bilgisayar programlarını geliştirmek için özel yazılım dillerine ihtiyaç vardır. US geliştirmede iki ana dil vardır, bunlar LISP ve PROLOG'tur. LISP, 1950'lerde ABD'inde MIT'de geliştirilmiş bir bilgisayar programlama dilidir. LISP' in birçok değişik sürümü mevcuttur. En yaygınları Interlisp ve Maclisp'tir. PROLOG, Marseille'de 1972'de tasarlanmıştır. Birkaç uyumlu olmayan sürümü mevcuttur. LISP ve PROLOG sembolik işlem adaptasyonu iyi olan dillerdir. LISP ve PROLOG gibi programlama dilleri, US geliştirilmesinde en yaygın kullanılan programlama dilleridir. Son yıllarda C dili de kullanılmaktadır.

1975'lerden sonra bilim adamları tarafından US Shell'i geliştirme fikri amaçlanmıştır. Bir Shell boş bir sistemdir. Bir paket programıdır, özel bir amaç için genel amaçlıdır. Bir Shell depolanmış verisiz (bilgisiz) bir sistem olup sonuç çıkartım mekanizmasına sahiptir. Bir Shell farklı alanlardaki problemlere uygulanabilme imkanı vardır. İlk Shell MYCIN'den türetilmiş ve böylece ismi EMYCIN (Empty MYCIN) olarak nitelendirilmiştir.

Herhangi bir bilgisayar dilinde US programı yazmak mümkündür. En yaygın US dili LISP ve PROLOG'tur. Fakat Fortran, Qbasic, Pascal ve C++ gibi klasik programlama dilleriyle US programları yazmak mümkündür. Harmon ve King (1985), 17 adet Shell adı vermiştir. Watermann (1986), jeoloji, kimya, tıp gibi bilim dallarına ait değişik uygulamalara sahip 161 ticari uygulama US programları adı vermiştir. Huston (1987), çevre mühendisliği ile ilgili 21 ticari US programı ismi vermiştir. Huston (1987)'nun verdiği programların çoğu su kaynakları yönetimi, su kalite problemleriyle alakalıdır.

Pascal, Fortran, Basic, vs. gibi klasik bilgisayar dilleriyle US programları yazmak mümkündür. Fakat bu tür programlama dilleri nümerik işlemlerde daha başarılı olduklarından, bu dillerle US programı yazmak oldukça zordur. Sembol - işlem dili, yapay zeka uygulamalarında karmaşık kavramları simgelemek ve işlemek için tasarlanmış bir bilgisayar dilidir. Örneğin, LISP sembolleri liste yapıları şeklinde işleyecek mekanizmalara sahiptir.

Mühendislik pratiğinde Uzman Sistemlerin uygulanması, güçlü bilgisayarların gelişmesi ve maliyet faktörünün de buna bağlı olarak düşmesi ile hız kazanmıştır. Yapay Zeka Sistemlerinin tasarlanmasında pratik olarak uygulanabilirliğinin artması da önemli bir gelişme faktörüdür. İnşaat mühendisliği problemleri genellikle oldukça geniş bir alana yayılmış büyük problemlerdir.

Problemlerde bulunan çeşitlilik ve rasgele dağılmış olan karmaşıklık bu tür problemlerin açık özelliğidir. Bu nedenle inşaat mühendisliği US'leri oldukça esnek olmalıdır. İdeal bir inşaat mühendisliği US'i aşağıdaki özellikleri taşımalıdır.

- Karmaşık matematiksel için hazır fonksiyonlar,
(İntegrasyon işlemleri, istatistiksel işlemler gibi),
- Daha çok çeşitli şekillerde bilgi gösterimi (Sadece "if-then" şeklindeki kurallar değil).
- Herhangi bir dilde yazılmış programlarla ve diğer önemli US'lerle beraber çalışabilme özelliği.

Çizelge 4.3. Bazı Uzman Sistem Shell İsimleri

Shell İsmi	Geliştiren şirket, Üni. veya kişi	Shell İsmi	Geliştiren şirket, Üni. veya kişi
AL/X	Intelligent Terminals, Ltd.	KES	Yazılım Mimarlık ve Müh. Inc.
AMORD	MIT	LES	Lockheed Palo Alto Araştırma Lab.
ARBY	Yale Üniversitesi	MARS	Stanford Üniversitesi
ARS	MIT	MELD	Westinghouse Arş. ve Geliş. Mer.
ART	Inference Ortaklığı	MRS	Stanford Üniversitesi
EMYCIN	Stanford Üniversitesi	M.1	Teknowledge Şirketi
ERS	PAR Teknoloji Ortaklığı	OPS5	CarnegieMellon Üniversitesi
ESTA	Prolog Geliştirme Merkezi	OPS83	CarnegieMellon Üniversitesi
EXPERT	Rutgers Üniversitesi	PRISM	IBM Palo Alto Bilim Mer.
EXPERT-2	Helion Inc.	PSYCO	Kanser Araştırma Mer.
EXPRS	Lockheed Palo Alto Araştırma Lab.	RADIAL	Radian Şirketi
GEN-X	Genel Elektrik ve Arş. ve Geliş.Mer.	RITA	The Rand Şirketi
GLIP	Tektronix Inc.	ROSIA	The Rand Şirketi
GUESS	Virginia Polytechnic Ins. ve State U.	SAVOIR	ISI İngiltere Şirketi
HEARSAY	Bilgi Servis Enstitüsü	SOAR	CarnegieMellon Üniversitesi
KAS	SRI Uluslararası Arş. Merkezi	S.1	Teknowledge Şirketi
		VP-EXPERT	

4.9.10. ESTA (Expert Systems Shell For Text Animation) yazılımı

ESTA'yı kullanarak bir konuda program yazacak kişinin o konu üzerinde uzman kişi olması gerekir.

Esta for Windows dosyası Windows dosyası altında çalışan bir paket programdır. Bu program bir US shell'idir. Kullanıcıya seçenekler sunularak soru cevap, açıklama olarak konular işlenmektedir. Kullanıcının daha önceden hiçbir bilgisi olmayan bir konuda program yardımıyla detaylı olarak bilgi edinmesi sağlanmaktadır. Esta yüklendiğinde aşağıdaki menü gözükmektedir.

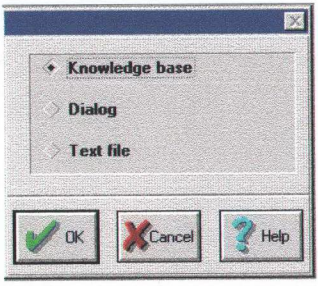


Şekil 4.7. Esta programı menüsü

4.9.10.1. File sütunu

Esta dosyalarının oluşmasını, mevcut olan bir dosyanın açılmasını, oluşturulan bir dosyanın kaydedilmesini, istenilen bir dosyanın yazıcıdan çıkartılmasını ve Esta programından çıkışları sağlar.

Yeni bir Esta dosyası açılacaksa *New* üzerine gelinerek mouse tıklanır. Ekranda aşağıdaki kutu gözükür. Kutu içerisinde Knowledge base (bilgi tabanı), Dialog (Diyalog) ve Text file (metin dosyası) ifadeleri gözükür.



Şekil 4.8. Yeni Esta dosyası açılması

4.9.10.2. Edit sutunu

Edit (Düzen) sütununda yapılabilecek işler şöyle sıralanabilir. Gerçekleştirilen bir işlemin geri alınması, bir metin parçasının kesilmesi, kopyalanması, yapıştırılması, silinmesi, istenen bir metin parçasının veya kelimenin yerinin bulunması veya yerine yeni bir kelimenin yerleştirilmesi veya tüm metnin bir defada seçilmesini sağlar. Diğer taraftan parametre, bölüm, hareket, fonksiyon veya dosya isimlerinin eklenmesi işlemlerinin kullanıldığı sütundur.

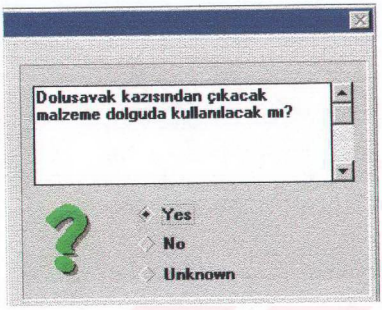
4.9.10.3. Consult (Çalıştır) sütunu

Esta ile hazırlanmış bir dosyayı çalıştırmak için Consult sütunu seçilmelidir. Bu sütun içinde bulunan ifadeler şunlardır. Hazırlanmış bir dosyayı çalıştırmak için Begin Consultation (Çalıştırmaya başla) seçilir. Eğer bir noktada çalıştırma durdurulursa ve sonra tekrar bırakıldığı noktadan çalıştırmaya devam edilecekse Continue Consultation (Çalıştırmaya devam et) seçilmelidir.

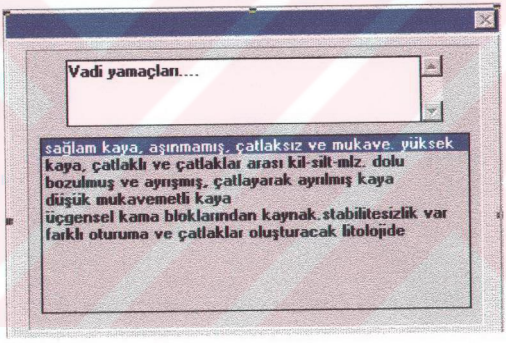
4.9.10.4. Parameter (Parametre) sütunu

Parametreler, bölümler arasında kontrol akışını sağlayan değişkenlere benzerler. Parametreler, açıklama alanları ve tip alanları içerir. İlave olarak parametre tipine bağlı olarak parametreyi tanımlamak için belli bir sayıda seçime bağlı alanlar kullanılabilir. Parametre sütununda yapılabilecek işlemler dört ana gruba ayrılmıştır. Bunlar yeni veya mevcut bir parametrenin düzenlenmesi, mevcut parametrenin özelliklerinin

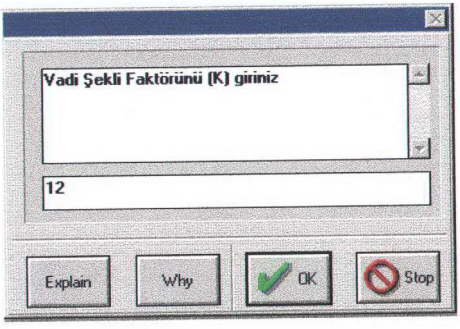
görülmesi, parametre dallanmasının çizilmesi ve parametrelerin listelenmesidir. Parametre sütununda New Parameter ifadesi seçildiğinde; Boolean (evet-hayır-bilmiyorum), Category (Kategori) Number (Sayı) ifadeleri gözükür. Hazırlanacak parametre için hangisi uygunsa o seçilir.



Şekil 4.9. Boolean tipi parametre



Şekil 4.10. Category tipi parametre

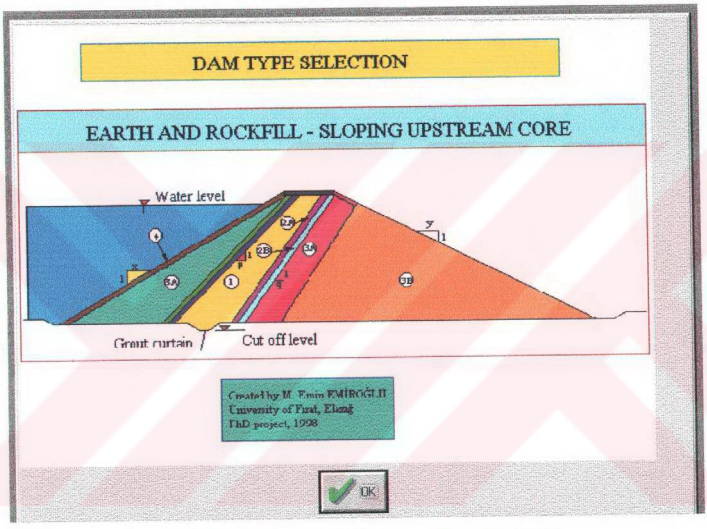


Şekil 4.11. Number tipi parametre

4.9.10.5. Windows (Pencere) sütunu

Bu sütun Esta ile dosya oluşturulduğunda hangi pencerelerin açık olduğunu ve pencerelerle ilgili görüntüleme işlemlerinin değişik şekillerde yapılmasını sağlar. Bu sütunda şu ifadeler yer alır; Tile (Yeni pencere), Cascade (Tümünü düzenle) ve Icons(Nesneler)'dir.

4.9.10.6. Title (Başlık) sütunu



Şekil 4.12. Esta ortamında hazırlanan bir başlık örneği

Hazırlanan bir program çalıştırıldığında eğer programın bir başlıkla çalışmaya başlaması isteniyorsa program için bir başlık hazırlanabilir ve bu Title sütunu ile gerçekleştirilir. Başlık resim ya da metin kısmından oluşabilir.

4.9.10.7. Section (Bölüm) sütunu

En üst bilgi seviyesinin yer aldığı sütun *Section*'dur. Bir konu ile ilgili ilk bölüm yazıldığında, bölüme verilecek ilk ismin mutlaka *start* (başla) olması gerekir. Bölümler isim, metin ve paragraflardan oluşur. Arka arkaya bölümler yapılırken, bölüm içerisinde paragraflarla işlemler yürütülür. Yeni bir

bölüm oluşturulmak isteniyorsa Section sütununda New section, mevcut bir bölüm açılmak isteniyorsa Edit section seçilmelidir. Var olan bir bölüm silinmek isteniyorsa Delete section seçilerek silinecek bölümün ismi girilmelidir. Oluşturulmuş bir bölüm güncelleştirilerek çalıştırılmak isteniyorsa Update section seçilmelidir.

4.9.10.8. Pictures (Resimler) sütunu

Esta dosyaları içerisinde resimler yer alabilir. Bir konunun daha iyi anlaşılması için dosya içerisine resim yerleştirmek büyük fayda sağlar. Örneğin baraj tip seçimi için vadi şekilleri resim olarak verildiğinde daha iyi anlaşılacaktır. Yine, baraj tipine karar verildikten sonra, seçilen baraj tipinin foroğrafının ekranda gözükmesi daha yararlı olacaktır. Esta'nın desteklediği resim tipleri; Windows Meta dosyaları, DDB (Device Dependent Bitmaps) ve DIB (Device Independent Bitmaps) olabilir. Bu resimler Pictures.DBA denilen bir resim veri tabanında saklanır. Eğer resim bitmap (DDB'ler DIB'e çevrilirse) ise .BMP (BitMaP) uzantısı veya resim bir meta dosyası ise EMF(Esta MetaFile) uzantısı alacaktır.

5. BARAJLARIN TİP SEÇİMİNİN UZMAN SİSTEMLERLE BELİRLENMESİ

Baraj tip seçimi oldukça karmaşık bir konudur. Bu karmaşıklık çok sayıda parametrenin bir arada dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır. Bu konuda bir formül vermek veya belirli kalıp belirlemek mümkün değildir. Doğru karar verebilmek için iyi bir mühendislik tecrübesi gerekmektedir.

Baraj mühendisi, karşılaştığı çeşitli problemleri farklı alanlarda uzmanlaşmış tecrübeli elemanlarla birlikte çözmesi gerekmektedir. Çünkü bazı durumlarda kendi uzmanlık alanı ile ilgili olamayan ve baraj tip seçiminde dikkate alınmayan bir parametre barajın maliyet ve emniyetini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Baraj tip seçiminde yazılan makale ve kitaplarda çoğunlukla "eğer - o zaman" (If - Then) şeklindeki cümlelere sıkça rastlanmaktadır. Bu tarzdaki anlatım, barajlarda tip seçiminin Yapay Zeka'nın bir alt birimi olan Uzman Sistemlere uygulanmasının yapılabileceğini göstermektedir.

Barajlarda tip seçimi tamamen deneyime dayanmaktadır. Bu konuda uzmanlaşmış mühendis ve öğretim elemanları ile söyleşi yaparak veya bunların yazdığı makale ve kitaplardan yararlanarak tip seçimi hakkındaki bilgilerin özümlenerek sunulması büyük bir fayda sağlayacağı açıktır. Böylece hazırlanacak olan US birden çok kişinin tecrübesini içerecek, geniş bir veri tabanına sahip olup baraj tip seçiminde eğitim amaçlı kullanılacak bir paket programın hazırlanmasını sağlamış olacaktır.

Bir US geliştirmede kuralları elde etmek problemin en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Barajlarda tip seçimine karar vermek tamamen tecrübe gerektiren bir iştir. Tecrübeye ait bilgiler literatürde oldukça kısıtlı ve dağınık veya birçok bilgi tecrübeli mühendislerin bilgi hazinelerinde gizli kalmaktadır. Bu nedenle US'lerde bilgiye ulaşmak pahalı ve çok güçtür. Böylece, bir US oluştururken en önemli aşama bilgiye ulaşmaktır. Problem ne kadar karışık ise oluşturulan US de o derece kompleks olmaktadır. Ülkemizde farklı kamu kuruluşlarında çalışan yirmi yıldan fazladır sadece baraj planlamacılığı yapan 15 kişi ile belirli periyotlarda görüşülerek tecrübelerinden yararlanılmıştır. 50'den fazla İnş. Müh., Hidrolog ve Jeolog ile görüşülmüştür. Bu elemanlar baraj planlamacılığında 10 yıldan fazla çalışmış tecrübeli mühendislerdir. DSİ Genel Müdürlüğünde geçici olarak görev yapan Japon uyruklu Makoto Abe ile de belirli periyotlarda görüşülmüştür. Makoto Abe bir çok ülkede uygulamacı olarak görev yapmış tecrübeli bir jeoloji mühendisidir.

Bu çalışmada bilgi tabanın oluşturulmasında, baraj planlama raporları titizlikle incelenmiştir. Özellikle DSİ IX Bölge'ye ait planlama raporlarından 25 tanesi tüm içerikleri ile incelenmiş ve tecrübeye yönelik bilgiler bu çalışmaya dahil edilmiştir. DSİ Genel Müdürlüğünde birkaç adet önemli büyük baraj planlama raporları da incelenmiş ve tecrübeye ait bilgilerden yararlanılmıştır. DSİ Genel Müdürlüğünde barajların keşif özetleriyle ilgili olarak ülkemizde inşa edinilen her baraj tipi ile ilgili

olarak hazırlananlardan iki adet alınarak incelenmiş ve barajların maliyeti hakkında edinilen bilgilerden yararlanılmıştır.

Özellikle ASCE ve diğer kuruluşlar tarafından barajlarla ilgili düzenlenen sempozyum kitapları temin edilerek her makale ayrı ayrı incelenmiştir. Bu tür sempozyumlardaki makalelerin çoğunlukla %95'i tecrübeli baraj mühendisleri tarafından yazılır ve bunlar tecrübeye yönelik bilgiler içerirler.

Ülkemizde farklı üniversitelerde barajlarla ilgili başta danışman hocam olmak üzere birçok öğretim üyeleriyle de görüşülmüş, bilgilerinden istifade edilmiştir ve tavsiyeleri doğrultusunda çalışma şekillendirilmiştir.

Özellikle yabancı uyruklu mühendisler yıllarca edindikleri bilgileri bir araya getirerek çok yararlı orijinal eserler yazmışlardır. Bu kitaplarda yer alan baraj tip seçimi konusunda azami oranda yararlanılmıştır. Yine çok az sayıda olan baraj tip seçimi ile ilgili makalelerden de yaralanılmıştır.

Bu çalışma, baraj tip seçimi ile ilgili literatürde geniş ve derli bir çalışmanın eksikliği giderecektir. Bu çalışmanın ilk açıklama bölümlerindeki konularla dağınık olan ve literatürde olmayan bilgiler bir araya getirilerek bunların etkin bir şekilde kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Yapay zeka uygulamaları henüz çok yeni bir konudur. Özellikle uzman sistemler ile ilgili ülkemizde yapılan doktora çalışmaları bir iki taneyi geçmemiştir. Son zamanlarda oldukça popüler olan ve gelecekte daha yaygın olarak kullanılacak olan uzman sistemler bu tezde metot olarak kullanılmıştır.

Günümüzde birçok US ticari amaçlı shell'i mevcuttur. Bu çalışma için on adet shell temin edilmiş ve bu konuda uzman araştırmacılarla tartışarak ESTA US shell'i kullanılmasına karar verilmiştir.

ESTA US shell'i kullanılarak hazırlanan bu programın hem eğitim amaçlı ve hem de baraj tip seçiminde kullanılabilecek nitelikte olması açısından önem taşımaktadır. Bu program baraj planlamacılığında yeni işe başlamış mühendislerin öğretiminde de yaygın olarak kullanılabilir. Hazırlanan bu program ileride geliştirilebilecek niteliktedir. Teknolojik ilerlemelere göre kazanılan tecrübeye ait kurallar programa dahil edilerek programın geliştirilmesi mümkündür. Yani program geliştirilmeye açıktır. Bu açıdan da klasik programlara göre bir avantaja sahiptir.

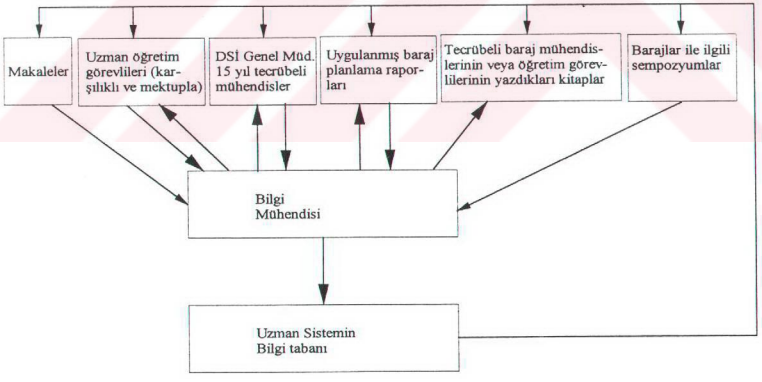
Bu çalışmada hazırlanan uzman sistem programı kullanıcıya sorular sormaktadır. Program tarafından sorulan sorulara kullanıcı verilen seçenekleri işaretleyerek cevap verir. Sorulan sorular kullanıcının işaretlediği seçeneklere göre yönlenmekte ve soru sayısı ve şekli her problem için farklı olmaktadır. Neticede program tıpkı bir tecrübeli mühendis gibi bir karara varır ve karar ekrana yazılır. Kullanıcı, böyle bir karara nasıl varıldığını programdan öğrenmek

isterse, gerekli tuşu işaretleyerek cevabını ekranda görebilir. Buna ilaveten, kullanıcıya seçilen baraj tipinin fotoğrafı, kesiti ve detaylı açıklayıcı bilgi de, istenmesi halinde verilir.

Program tarafından bazı problem çözümlerinde barajların maliyetleri istenmektedir. Barajlarda maliyet tahmini yapmak iki şekilde olabilir. Birincisi, daha önceden yapılmış olan barajların birim fiyatlarından yararlanılabilir. Maliyetleri belli olan inşa edilmiş barajların hacimleri yatay eksende maliyetler ise düşey eksende gösterilir ve bu noktalara bir eğri uydurularak eğrinin denklemi bulunur. Bu denklem kullanılarak tahmini bir maliyet elde edilmiş olur. Bunu yapabilmek için o ülkede ekonomik istikrarın olması gerekir. Ülkemiz için böyle bir çözüm mümkün değildir. İkincisi ise, karşılaştırma yapılacak her baraj için bir keşif çıkararak maliyet tahmini yapmaktır.

5.1. Kurallar ve Tecrübeler

Bir uzman sistemi oluşturmak için en önemli işlerden biri bilgi tabanını oluşturmaktır. Bilgiye ulaşmak ve programa doğru olarak aktarmak gerekmektedir. Bu programda kullanılan kuralların büyük bir çoğunluğu aşağıda belirli bir formatta sıralanmıştır. Şekil 5.1'de bilgi tabanın oluşturulmasında izlenilen yol belirtilmiştir.



Şekil 5.1. DTS ES Programının Bilgi Tabanının Oluşturulması

1. Geniş vadiler, birleşik barajların kullanımını çoğunlukla üstün kılmaktadır. Geniş vadili dağlık bölgeler genellikle büyük taşkın akımı sağlamaktadır. Eğer bu baraj yerlerine sadece bir dolgu baraj inşa etmek düşünülürse, bu akımlar nehir derivasyonları ve yamaçta büyük dolusavaklar gerektirmektedir. Bu nedenle bu tip yerlerde beton+dolgu baraj şeklinde birleşik barajlar seçmek daha ekonomik olmaktadır (Armstrong, 1977 ve Singh, 1995).

If vadi çok geniş ise **or** nehir kesiti büyük ise **and** baraj temeli kaya ise **or** baraj temeli bir kısmı kaya ise
and dolusavak kapasitesi büyük ise **or** büyük taşkın akımı söz konusu ise
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa
and uçucu kül temini güç ise **or** uçucu kül yoksa **and** kum çakıl malzeme temin edilebiliyorsa
and kaya malzeme temin edilebiliyorsa **and** kil malzeme kolay ve ucuz olarak temin edilebiliyorsa
and baraj düşük **or** orta **or** yüksek ise **and** bölge çok yağışlı değilse
Then Klasik beton ağırlık baraj + Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

2. Birleşik barajlar, özellikle baraj yerinin jeolojik, topoğrafik özelliklerinin birlikte dikkate alınmasıyla tasarlanmaktadır. Örneğin bir payandalı baraj vadinin merkezi kısmında, yan taraflarda ağırlık baraj veya toprak dolgu kesitleriyle bir baraj yerinin birleşik baraj olarak değerlendirilmesi uygun olmaktadır (Franklin and Dusseault, 1991).

If baraj temeli sol sahil, talveg ve sağ sahil kaya ise **and** kaya temelin taşıma gücü orta **or** yüksek ise
and sol sahilde vadi derinliği alçak ve oldukça geniş ise **and** sağ sahilde vadi derin ve orta genişlikte ise
and kum çakıl malzeme baraj yerine yakın ve bol ise **and** işçilik pahalı değilse
and puzolanik malzeme varsa **and** vadi oldukça geniş ise **and** yamaçlarda dolusavak için yer yoksa
Then düz dilimli payandalı baraj (sol sahil)+ RCC (sağ sahil) seçilebilir.

3. Baraj gövdesi üzerinde dolusavağın yerleştirilmesi gerekiyorsa ve vadi çok geniş ise ve gerekli malzemeler temin edilebiliyorsa birleşik baraj yapmak uygun olmaktadır (Erdoğan Demircigil, 1996 - görüşme-).

If baraj temeli sol sahil kil, silt ve tüf vb mukavemette zemin ise **and** sağ sahil vadi yüksekliği alçak ise
and sol sahil tarafta vadi derin ve geniş ise **and** sağ sahil sağlam kaya ise **and** vadi geniş or oldukça geniş ise
and baraj max. yüksekliği <=140 m ise **and** baraj yerine yakın kum çakıl malzeme bol ise
and baraj yerine yakın yeterli miktar ve kalitede kaya malzeme var ise **and** baraj yerine yakın kil malzeme kısıtlı
and yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** işçilik çok pahalı değilse
Then sağ sahil kısmı düz dilimli payandalı baraj + sol sahil kısmı kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

4. Alçak dalgalı ve geniş vadiler, çoğu zaman toprak dolgu barajlar için uygun olmaktadır (Novak vd, 1990). Alparslan Barajında olduğu gibi vadinin bir kısmı alçak ve kısmı derin ise ve alçak kısım konsolide olmamış kil silt ise (veya silt, tüf ise) derin kısım sağlam kaya ise yakında kum çakıl ve kaya malzeme varsa o zaman kum çakıl+kaya dolgu baraj inşa edilebilir (Nihat Karadayı, 1996 - görüşme-).
If baraj temeli sol sahil kil, silt ve tüf v.b mukavemette zemin ise **and** sol sahil vadi yüksekliği alçak ise
and sol yamaç dalgalı ise **and** sağ sahil tarafta vadi derin ve geniş ise **and** sağ sahil sağlam kaya ise
and vadi geniş or oldukça geniş ise **and** baraj yüksekliği <=140 m ise **and** baraj yerine yakın kum çakıl malzeme bol ise
and baraj yerine yakın yeterli miktar ve kalitede kaya malzeme var ise **and** baraj yerine yakın yeterli kil malzeme varsa
and yamaçlardan biri **or** ikisi dolusavak için uygun ise
Then sol sahil kısmı kil çekirdekli kum çakıl + sağ sahil kısmı kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

5. Dolgu barajlar yükü daha geniş bir alana yaymaktadır. Bu nedenle zayıf temeller üzerine fazla yük aktaracak barajlar inşa etmek doğru olmaz. Eğer baraj yüksekliği düşük ise ve kil malzeme bol olarak varsa o zaman homojen barajlar ekonomik olmaktadır. Kum çakıl dolgu barajlar kaya dolgu barajlara göre inşa kolaylığı ve malzeme temini açısından ekonomik olmaktadır (Nihat Karadayı, 1997 -görüşme-)

If baraj yüksekliği bir kısmı 20 m'den az diğer kısmı max. yüksekliği 120 m ise **and** bölge çok yağışlı değilse
and yamaçlar dolusavak için uygun ise **and** sol sahil kil, silt, tüf veya benzeri mukavemetli zemin ise
and sol sahil alçak ise **and** sağ sahil tarafında vadi derin ve geniş ise **and** sağ sahil sağlam kaya ise
and vadi geniş veya oldukça geniş ise **and** vadi bir kısmı alçak bir kısmı derin ise **and** temel üniform olmayan temel ise
and kil malzeme mevcut ve bol ise **and** kum çakıl malzeme bol miktarda temin edilebiliyorsa
and bölge çok yağışlı değilse **and** rezervuarda büyük bir heyelan tehlikesi yoksa
Then yatay düşey drenli toprak dolgu + kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

6 Uzun krete sahip barajlar çoğunlukla dolusavak ve arkasında su tutan kapaklar için nehir kesitinde betona ihtiyaç duyulur. Geri kalan kısım toprak veya kaya dolgu ile inşa edilebilmektedir. Bu tip barajlar da birleşik barajlar diye isimlendirilmektedir (Linsley vd, 1992).

If baraj yüksekliği 20 m'den az ise **and** bölge çok yağışlı ise **and** yamaçta dolusavak için yer yok ise
and sol sahil kil silt veya tüf vb. mukavemette bir zemin ise **and** sağ sahil sağlam kaya ise
and işçilik ucuz ise **and** ülkenin demir donatı temini sıkıntısı yok ise **and** uçucu kül (puzolanik malzeme) yok ise
and kil malzeme mevcut ve bol ise **and** kum çakıl malzeme var ve bol ise **and** vadinin bir kısmı derin diğer kısmı alçak ise
and vadi geniş veya oldukça geniş ise
Then payandalı baraj + kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

7. Eğer baraj inşa edilecek yerlerde yamaçta dolusavak için bazı stabilite problemlerinden dolayı yer bulunamıyorsa, o zaman dolusavak gövde üzerine oturtulmalıdır (Vehbi Bilgi, 1996 -görüşme-).

If baraj yüksekliği 20 m'den az ise **and** bölge çok yağışlı ise **and** yamaçta dolusavak için yer yok ise
and sol sahil kil silt veya tüf v.b. veya eşdeğer mukavemette bir zemin ise **and** sağ sahil sağlam kaya ise
and işçilik pahalı ise **and** ülkenin demir donatı sıkıntısı temini var ise **and** uçucu kül (puzolanik malzeme) yeterli miktarda var ise
and kil malzeme mevcut ve bol ise **and** kum çakıl malzeme var ve bol ise **and** vadinin bir kısmı derin diğer kısmı alçak ise
and vadi geniş veya oldukça geniş ise
Then RCC + eğik kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

8. Olympus Barajı, birleşik bir barajdır. Toprak dolgu+beton ağırlık tiptedir. Bu baraj Colorado'da Big Thompson Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Amaç dolusavağı baraj gövdesi üzerine oturtmak olmuştur (U)ve (UV) şeklindeki vadilerde ve orta genişlikteki vadilerde beton ağırlık tipi barajların inşası uygun olmakta ve inşa edilebilmeleri için sağlam ya da orta sağlamlıkta kaya temeller tercih edilmektedir (Karadayı, 1992).

If baraj yüksekliği 20 m'den az ise **and** bölge çok yağışlı ise **and** yamaçta dolusavak için yer yok ise
and sol sahil kil silt veya tüf v.b. mukavemette bir zemin ise **and** sağ sahil sağlam kaya ise **and** işçilik pahalı ise
and ülkenin demir donatı sıkıntısı temini var ise **and** uçucu kül (puzolanik malzeme) yeterli miktarda yoksa
and kil malzeme mevcut ve bol ise **and** kum çakıl malzeme var ve bol ise
and vadinin bir kısmı derin diğer kısmı alçak ise **and** vadi geniş veya oldukça geniş ise
Then Klasik beton ağırlık + kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

9. Kil çekirdekli kaya dolgu barajlar üzerine dolusavak yerleştirmek günümüz teknolojisine göre güçtür. Eğer vadi çok geniş ise ve bir kısmı derin diğer kısmı alçak ise o zaman birleşik baraj seçmek ekonomik olabilmektedir. Çünkü yamaçta ayrı bir dolusavak yapmak pahalı olmaktadır. RCC gibi ucuz bir baraj tipi varken dolusavağı ayrı yapmak uygun olmaz (Hasan Tosun, Nihat Karadayı, Uğur Çavuş, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli sol sahil, talveg ve sağ sahil kaya ise **and** kaya temel taşıma gücü orta veya yüksek ise
and sol sahilde vadi derinliği alçak ve oldukça geniş ise **and** sağ sahilde vadi derin ve orta genişlikte ise
and vadi bir kısmı derin bir kısmı alçak ise **and** kum çakıl malzeme temin edilebiliyorsa **and** puzolanik malzeme temini mümkünse
and kaya malzeme temini mümkünse **and** kil malzeme temin edilebiliyorsa **and** baraj yüksek inşa edilecekse (250 m gibi)
and bölge yağışlı değilse **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** filtre için yeterli miktar ve kalitede kum çakıl malzeme varsa
Then RCC (sol sahil) + merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

10. Vadide temel kayası 6-9 m derinlikte ve taşıma gücü 3.2-4 MPa arasında (Novak vd, 1990), tepe uzunluğu-yüksekliği oranı (K faktörü) 6 veya daha az olmalıdır (Walter, 1971). Taban genişliği yaklaşık olarak yüksekliğin 2/3'ü kadar olmaktadır. Temelde etkili olan boşluk suyu basıncını ve suyun kaldırma kuvvetini azaltmak veya yok etmek için drenaj galerileri inşa edilmektedir. Eğer bölge çok yağışlı ise o zaman kil çekirdek eğik yapılmalıdır (Sherard vd., 1963).

If baraj temeli sol sahil, talveg ve sağ sahil kaya ve kaya üzerinde depozit malzeme varsa **and** kaya temel taşıma gücü orta veya yüksekse
and sol sahilde vadi derinliği alçak ve oldukça geniş ise **and** sağ sahilde vadi derin ve orta genişlikte ise **and** vadi bir kısmı derin bir kısmı alçak ise **and** kum çakıl malzeme temin edilebiliyorsa **and** puzolanik malzeme temini mümkünse
and kaya malzeme temini mümkünse **and** kil malzeme temin edilebiliyorsa **and** filtre için yeterli miktar ve kalitede kum çakıl malzeme varsa **and** baraj yüksek inşa edilecekse (250 m gibi) **and** bölge çok yağışlı ise **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
Then RCC (sol sahil) + eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

11. Hem RCC ve hem de ÖYBK kaya dolgu baraj günümüzde en popüler baraj tipleridir. Uygun bir temel ve malzeme olması durumunda bu iki tipin bir arada kullanılması ekonomik olmaktadır (Ömer Kayaalp, 1997 - görüşme-).

If baraj temeli sol sahil, talveg ve sağ sahil kaya ise **and** kaya temel taşıma gücü orta veya yüksek ise
and sol sahilde vadi derinliği alçak ve oldukça geniş ise **and** sağ sahilde vadi derin ve orta genişlikte ise
and vadi bir kısmı derin bir kısmı alçak ise **and** kum çakıl malzeme temin edilebiliyorsa
and puzolanik malzeme temini mümkünse **and** kaya malzeme temini mümkünse
and kil malzeme sıkıntısı varsa **and** baraj yüksek inşa edilecekse (250 m gibi) **and** bölge çok yağışlı ise
and yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** filtre için yeterli miktar ve kalitede kum çakıl malzeme varsa
Then RCC (sol sahil) + ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

12. İnşa malzemesinin taşıma ücretlerinin azaltılması baraj toplam maliyeti üzerinde oldukça önemlidir. Çoğunlukla en ekonomik baraj tipi baraj yerine en yakın malzeme ile inşa edilen baraj tipidir (USBR, 1987).

If baraj temeli sol sahil kil, silt ve tüf vb. mukavemette zemin ise **and** sol sahil yüksekliği alçak ise
and sağ sahil tarafında vadi derin ve geniş ise **and** baraj yüksekliği <=140 m ise **and** yamaçta dolusavak için yer yok ise

and vadi geniş veya oldukça geniş ise **and** baraj yerine yakın kum çakıl malzeme var ise
and baraj yerine yakın çimento-uçucu kül var ise **and** baraj yerine yakın kil malzeme var ise
and vadi geniş ve bir kısmı alçak bir kısmı derin ise **and** sağ sahil vadi sağlam kaya
Then RCC + kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

13. Çok geniş vadilerde birleşik baraj tipi seçmek uygundur (Singh vd, 1995). Kil çekirdekli barajların 20 m'den daha düşük inşa edilmeleri güçtür (Fell vd, 1992).

If vadi oldukça geniş ise **or** vadi geniş ise **and** vadi yamaçları düzensiz ise **or** vadi yamaçları düzenli ise
and baraj yapılacak bölge I, II, III veya IV dereceden deprem bölgesinde ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and baraj yüksekliği H>20 ve H<=250 m ise **and** dolusavak için yamaçlarda yer yok ise
or dolusavak için yamaçlar uygun (stabilite açısından)değilse **and** kil malzeme, kum çakıl malzeme ve uçucu kül varsa
and büyük taşkın debisi varsa **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** bölge yağışlı değilse **and** kil sıkıntısı yoksa
Then RCC + merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

14. Eğik kil çekirdekli kaya dolgu barajlar depreme karşı oldukça dayanıklıdırlar (Hasan Tosun, 1996 -görüşme-).

If vadi oldukça geniş ise **or** vadi geniş ise **and** vadi yamaçları düzensiz ise **or** vadi yamaçları düzenli ise
and baraj yapılacak bölge I, II, III veya IV dereceden deprem bölgesinde ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and baraj yüksekliği H>20 ve H<=250 m ise **and** dolusavak için yamaçlarda yer yok ise
or dolusavak için yamaçlar uygun (stabilite açısından)değilse **and** kil malzeme, kum çakıl malzeme ve uçucu kül varsa
and büyük taşkın debisi varsa **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** bölge çok yağışlı ise **and** kil sıkıntısı yoksa
Then RCC + eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

15. **If** vadi oldukça geniş ise **or** vadi geniş ise **and** vadi yamaçları düzensiz ise **or** vadi yamaçları düzenli ise
and baraj yapılacak bölge I, II, III veya IV dereceden deprem bölgesinde ise **and** bölge yağışlı ise **and** kil sıkıntısı varsa
and baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj yüksekliği H>20 ve H<=250 m ise
and dolusavak için yamaçlarda yer yok ise **or** dolusavak için yamaçlar uygun (stabilite açısından)değilse
and kil malzeme, kum çakıl malzeme ve uçucu kül varsa **and** büyük taşkın debisi varsa **and** yeterli kaya malzeme varsa
Then RCC + ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

16. **If** vadi oldukça geniş ise **or** vadi geniş ise **and** vadi yamaçları düzensiz ise **or** vadi yamaçları düzenli ise
and baraj yapılacak bölge I, II, III veya IV dereceden deprem bölgesinde ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and baraj yüksekliği H>20 ve H<=250 m ise **and** dolusavak için yamaçlarda yer yok ise
or dolusavak için yamaçlar uygun (stabilite açısından)değilse **and** kil malzeme, kum çakıl malzeme var
and uçucu kül or başka puzolanik malzeme yoksa **and** büyük taşkın debisi varsa **and** yeterli kaya malzeme varsa
and bölge yağışlı ise **and** kil sıkıntısı yoksa
Then Klasik beton ağırlık baraj + eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.
17. **If** vadi oldukça geniş ise **or** vadi geniş ise **and** vadi yamaçları düzensiz ise **or** vadi yamaçları düzenli ise
and baraj yapılacak bölge I, II, III veya IV dereceden deprem bölgesinde ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and baraj yüksekliği H>20 ve H<=250 m ise **and** dolusavak için yamaçlarda yer yok ise **and** bölge yağışlı ise
or dolusavak için yamaçlar uygun (stabilite açısından)değilse **and** kil malzeme, kum çakıl malzeme varsa
and uçucu kül yoksa **and** büyük taşkın debisi varsa **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** kil sıkıntısı varsa
Then Klasik beton ağırlık baraj + ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

18. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** vadi yamaçları düzenli ise **or** vadi yamaçları düzensiz ise **and** baraj temeli kaya ise
and baraj temeli kayası yumuşak, sert veya çok sert kaya ise **and** yumuşak kaya mukavemeti orta veya yüksek ise
and temel kayada çatlak, fissür var ve enjeksiyon ile iyileştirilebilir ise **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and dolusavak için vadide uygun yer yoksa **and** akarsu büyük taşkın debisine haiz ise
and baraj gövdesinde büyük bir dolusavağa gereksinim var
and kum-çakıl malzeme, uçucu kül, kil ve kaya malzeme yeterli miktarda varsa **and** bölge çok yağışlı değil
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekli ise **or** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekli değilse
and bölge I, II, III veya IV. dereceden deprem bölgesi ise **and** akarsu debisi fazla ise
Then RCC + merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

19. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** vadi yamaçları düzenli ise **or** vadi yamaçları düzensiz ise **and** baraj temeli kaya ise
and baraj temeli kayası yumuşak, sert veya çok sert kaya ise **and** yumuşak kaya mukavemeti orta veya yüksek ise
and temel kayada çatlak, fissür var ve enjeksiyon ile iyileştirilebilir ise **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and dolusavak için vadide uygun yer yoksa **and** akarsu büyük taşkın debisine haiz ise
and baraj gövdesinde büyük bir dolusavağa gereksinim var **and** akarsu debisi fazla ise
and kum-çakıl malzeme, uçucu kül, kil ve kaya malzeme yeterli miktarda ve ekonomik olarak varsa
and bölge çok yağışlı ise **or** bölge yağışlı **and** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekli ise
or su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekli değilse **and** bölge I, II, III veya IV. dereceden deprem bölgesi ise
Then RCC + eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

20. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** vadi yamaçları düzenli ise **or** vadi yamaçları düzensiz ise **and** baraj temeli kaya ise
and baraj temeli kayası yumuşak, sert veya çok sert kaya ise **and** yumuşak kaya mukavemeti orta veya yüksek ise
and temel kayada çatlak, fissür var ve enjeksiyon ile iyileştirilebilir ise **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and dolusavak için vadide uygun yer yoksa **and** akarsu büyük taşkın debisine haiz ise
and baraj gövdesinde büyük bir dolusavağa gereksinim var **and** kum-çakıl malzeme sıkıntısı var ve bu malzeme kısıtlı miktarda mevcutsa
and uçucu kül yok ise **and** kil taşınımı ekonomik değilse **and** kaya malzeme yeterli miktarda ve ekonomik olarak varsa
and bölge çok yağışlı ise **or** bölge yağışlı **and** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekli ise

or su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekli değilse **and** bölge I, II, III veya IV. dereceden deprem bölgesi ise
and akarsu debisi fazla ise **and** baraj yüksekliği >20 m ise
Then Payandalı baraj + ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

21. RCC barajlar üzerine tıpkı klasik beton ağırlık barajlarda olduğu gibi dolusavak yerleştirilebilir. Eğer yamaçlarda dolusavak için yer yoksa ve puzolanik malzeme bol iseRCC düşünülebilir (Hansen, 1991).

If vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli yumuşak kaya ise **or** baraj temeli sert kaya ise
or baraj temeli çok sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa
and dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa **and** büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa
and uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme temin edilecekse **and** baraj yüksekliği<20 m ise **and** yeterli kil malzeme varsa
Then RCC baraj seçilebilir.

22. Payandalı barajlar deplasmana karşı oldukça hassastır. Bunlar üzerine dolusavak yerleştirirken genellikle orta kısımlarına dolusavak için sanki de bir ağırlık baraj inşa edilmektedir. Eğer malzeme işçilik açısından ekonomik olacaksa bir payandalı baraj daha estetik ve santral yeri için daha kullanışlı olmaktadır (Nihat Karadayı, 1996 -görüşme-).

If vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli yumuşak kaya ise **or** baraj temeli sert kaya ise
or baraj temeli çok sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa
and dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa **and** büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa
and uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme yoksa **and** baraj yüksekliği<20 m ise
and kil malzeme tüm gövde için yeterli değilse **and** işçilik pahalı değil veya ucuz ise
Then Payandalı baraj + kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

23. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli yumuşak kaya ise **or** baraj temeli sert kaya ise
or baraj temeli çok sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa
and dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa **and** büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa
and uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme varsa **and** baraj yüksekliği <20 m ise
and kil malzeme tüm gövde için yeterli değilse **and** işçilik pahalı değil veya ucuz ise
Then RCC + kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

24. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli yumuşak kaya ise **or** baraj temeli sert kaya ise **or** baraj temeli çok sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa **and** büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme yoksa **and** baraj yüksekliği <20 m ise **and** kil malzeme tüm gövde için yeterli değilse **and** işçilik pahalı ise
Then Klasik beton ağırlık baraj + kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

25. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli ünüform olmayan temel ise **and** baraj temeli sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme varsa
and baraj yüksekliği <20 m ise **and** kil malzeme tüm gövde için yeterli değilse **and** işçilik pahalı değil **or** ucuz ise
Then RCC - kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

26. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli ünüform olmayan temel ise **and** baraj temeli sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme varsa
and baraj yüksekiliği <20 m ise **and** kil malzeme tüm gövde için yeterli ise **and** işçilik pahalı değil **or** ucuz ise
Then RCC + yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

27. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli ünüform olmayan temel ise **and** baraj temeli sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme varsa
and baraj yüksekliği <20 m ise **and** kil malzeme tüm gövde için yeterli ise **and** işçilik pahalı değil **or** ucuz ise
Then Payandalı baraj + yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

28. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli ünüform olmayan temel ise **and** baraj temeli sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme yoksa
and baraj yüksekliği <20 m ise **and** kil malzeme tüm gövde için yeterli değilse **and** işçilik pahalı ise
Then Klasik beton ağırlık baraj + kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

29. **If** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** baraj temeli ünüform olmayan temel ise **and** baraj temeli sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+yumuşak kaya ise **and** baraj temeli çok sert kaya+sert kaya ise **and** baraj temeli çatlaklı ve fissürlü ise **and** baraj temeli iyileştirme çalışmaları gerektiriyorsa **and** dolusavak için yamaçlarda uygun yer yoksa
and büyük taşkın debileri söz konusu ise **and** kum-çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme yoksa
and baraj yüksekliği <20 m ise **and** kil malzeme tüm gövde için yeterli ise **and** işçilik pahalı ise
Then Klasik beton ağırlık baraj + yatay düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

30. Kil gibi tehlikeli bir zemin de marndır. Bilindiği gibi marnlar su ile temasta süratle çözülerek killeşmektedirler. Bu durumu dikkate almak zorunludur. Bazı marnlar kalkere benzerler. Bunlar deneyler ile ayırt edilirler. Kalkere çok benzeyen ve dikkat edilmesi gereken bir başka kayaç cinsi de dolomittir. Bünyesinin su tutması çok zordur, ve enjeksiyon da zor olmaktadır (Şentürk, 1955).

If baraj temeli sağ sahil kil,silt, tüf, marn v.b. mukavemette zemin ise **and** sağ sahil kısmı vadi yüksekliği alçak ise
and sol sahil tarafında vadi derin ve geniş ise **and** sol sahil sağlam kaya ise **and** vadi çok geniş ise
or vadi oldukça geniş ise **and** baraj yüksekliği <=150 m ise
and baraj yerine yakın kum çakıl malzeme varsa **and** baraj yerine yakın yeterli kaya malzeme varsa
and baraj yerine yakın yeterli kil malzeme varsa **and** yamaçlar dolusavak için uygun ise
Then sol sahil kısmı kil çekirdekli kaya + sağ sahil kısmı kum-çakıl dolgu seçilebilir.

31. **If** baraj temeli sağ sahil kil,silt, tüf, marn v.b. mukavemette zemin ise **and** sağ sahil kısmı vadi yüksekliği alçak ise
and sol sahil tarafında vadi derin ve orta genişlikte ise **and** sol sahil sağlam kaya ise **and** vadi çok geniş ise
or vadi oldukça geniş ise **and** baraj yüksekliği <=150 m ise **and** baraj yerine yakın kum çakıl malzeme varsa
and baraj yerine yakın yeterli kaya malzeme kısıtlı olarak varsa **and** baraj yerine yakın bol miktarda kil malzeme yoksa
and uçucu kül **or** herhangi bir puzolanik malzeme varsa **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
Then sağ sahil kısmı kil çekirdekli kum çakıl + sol sahil kısmı RCC seçilebilir.

32. Çürük temele haiz baraj yerleri tip seçiminde önemli etkiye sahiptirler. Şistler, ayrışmış andezitler, çatlaklı greler, konglomeralar, ayrışmış serpantinler, marnlar vs. saymak mümkündür. Şistler üzerine Cezayir'de Kerrata Kemer barajı, Sardunya'da Bau-Mugeris payandalı barajı, Cezayir'de Irıl Emda toprak dolgu barajları inşa edilmiştir. Bu tip temeller genellikle tehlikelidir. Eğer bitümlü şistler iseler bunlar üzerine toprak barajlar inşa etmek gerekmektedir. Yine kötü kalitedeki şistler üzerine toprak baraj inşa etmek gerekmektedir (Şentürk, 1955).

If baraj temeli sol sahil kil,silt, tüf, marn v.b. mukavemette zemin ise **and** sol sahil kısmı vadi derin ve geniş ise
and sağ sahil sağlam kaya ise **and** vadi çok geniş ise **and** sağ sahil kısmında vadi alçak ve oldukça geniş ise
or vadi oldukça geniş ise **and** baraj yüksekliği <=150 m ise **and** baraj yerine yakın kum çakıl malzeme varsa
and baraj yerine yakın yeterli kaya malzeme varsa **and** baraj yerine yakın kil malzeme sınırlı ise **and** işçilik çok pahalı değilse
Then sağ sahil kısmı düz dilimli payandalı baraj + sol sahil kısmı kum-çakıl dolgu seçilebilir.

33. Yüksek dolgu barajların çoğunlukla zonlu tipte yapılmaları baraj stabilitesi açısından zorunludur. Yüksek dolgu barajlarda analizler yaparak oturma miktarları önceden belirlenmesi gerekmektedir. Kil çekirdekli kaya dolgu barajlar günümüze kadar inşa edilen en yüksek barajlardır (Thomas, 1976 ve Nihat Karadayı, 1997 -görüşme-).

If baraj temeli tamamen kaya ise **and** yamaçlar sağlam değilse **and** iki nehir birbirine çok yakın ise
and iki nehir üzerinde baraj inşa edilecekse **and** yamaçlar hemen hemen aynı kotta ise **and** orta merkezi sırt sağlam kaya ise
or orta merkezi sırt iyileştirilerek sağlamlaştırılacaksa **and** baraj düşük veya orta yükseklikte ise
or baraj yüksek inşa edilecekse, (300 m gibi) **and** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse
and vadi çok dar değilse **or** vadi orta genişlikte ise **or** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** yeterli kaya malzeme varsa
and yeterli kaya malzeme ekonomik olarak temin edilebiliyorsa **and** kum-çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilemiyorsa
and yeterli kil malzeme ekonomik olarak temin edilebiliyorsa **and** bölge çok yağışlı değilse
Then iki nehir üzerine de merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

34. Eğer kaya malzeme baraj yerine yakın ve bölge çok yağışlı ise o zaman eğik kil çekirdekli kaya dolgu barak seçilebilir (Ömür Özeriç, 1997 -görüşme-).

If baraj temeli tamamen kaya ise **and** yamaçlar sağlam değilse **and** iki nehir birbirine çok yakın ise
and iki nehir üzerinde baraj inşa edilecekse **and** yamaçlar hemen hemen aynı kotta ise **and** orta merkezi sırt sağlam kaya ise
or orta merkezi sırt iyileştirilerek sağlamlaştırılacaksa **and** baraj düşük veya orta yükseklikte ise **or** baraj yüksek inşa edilecekse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse **and** vadi çok dar değilse **or** vadi orta genişlikte ise
or vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** yeterli kaya malzeme varsa
and yeterli kaya malzeme ekonomik olarak temin edilebiliyorsa **and** kum-çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilemiyorsa
and yeterli kil malzeme ekonomik olarak temin edilebiliyorsa **and** bölge çok yağışlı ise
Then iki nehir üzerine de eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

35. Sağlam kaya temel; gerilmeleri tehlikesizce alması bakımından bu cins zeminler üzerine her çeşit baraj kolaylıkla yapılabilmektedir. Granit, gabro, diorit, kuartzit, andezit, bazalt gibi sağlam kayaçları saymak mümkündür. Şüphesiz ki, çatlaksız, sağlam bir granit kitle temel zemininin en iyisini teşkil eder (Şentürk, 1955).

If baraj temeli tamamen kaya ise **and** yamaçlar sağlam değilse **and** iki nehir birbirine çok yakın ise
and iki nehir üzerinde baraj inşa edilecekse **and** yamaçlar hemen hemen aynı kotta ise
and orta merkezi sırt sağlam kaya ise **or** orta merkezi sırt iyileştirilerek sağlamlaştırılacaksa
and baraj düşük veya orta yükseklikte ise **or** baraj yüksek inşa edilecekse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse **and** vadi çok dar değilse

or vadi orta genişlikte ise **or** vadi geniş ise **or** vadi oldukça geniş ise **and** yeterli kaya malzeme varsa
and yeterli kaya malzeme ekonomik olarak temin edilebiliyorsa **and** kum-çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilemiyorsa
and yeterli kil malzeme temini sıkıntılı ise **and** bölge çok yağışlı ise
Then iki nehir üzerine de ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

36. Payandalı barajlar üzerine dolusavak ve diğer su alma yapıları gövdeye yerleştirilebilir. İşçilik ucuz ise bu tipten yararlanmak mümkündür (Vehbi Bilgi, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli sağlam kaya ise **and** kil malzeme baraj yerine yakın mesafede temin edilebilecekse
and kaya malzeme baraj yerine yakın olarak var ise **and** yeterli puzolan mevcut değilse
or yeterli puzolan ekonomik olarak temin edilemiyorsa **and** kum-çakıl malzeme yeterli miktarda yoksa
and temelde farklı oturmalara neden olacak bölgeler yoksa **and** vadi çok geniş ise
and yamaçlar dolusavak için uygun ise **or** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
and memba yüzeyi aşırı ısı farkı ile zarar görmeyecekse
Then payandalı baraj + kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

37. Eğer bir birleşik beton - dolgu baraj inşası düşünülüyorsa bu durumda beton baraj inşası için yeter kalitede bir temelin mevcut olması gerekir. Eğer barajın memba ile mansap arasındaki su kotu farkı 6 metreden fazla ise bir kaya temele gereksinim vardır. Eğer bu su kotu farkı 6 metreyi aşmıyorsa ve baraj yüksekliği 20 metreden az ise, o zaman bu beton baraj kısmı kum çakıl gibi temeller üzerine (temelde izin verilebilir taşıma güçleri aşılmıyorsa) inşa edilebilir (Armstrong, 1977).

If vadi oldukça geniş ise **or** vadi geniş ise **and** memba ile mansap arasındaki su kotu farkı 6 metreden az ise
and barajın yüksekliği 20 metreden az ise **and** temel malzemesi taşıma gücü yeterli ise **and** temelin bir kısmı sıkışmış sağlam çakıl ise
or temelin bir kısmı sıkışmış sağlam kum ise **or** temelin bir kısmı sıkışmış sağlam kum-silt ise
and yeterli kum çakıl ve geçirimsiz toprak malzeme varsa **and** temelin diğer kısmı kil ise **or** temelin diğer kısmı silt ise
or temelin hepsi sıkışmış sağlam çakıl ise **and** sızmayı önleyici gerekli tedbirler alınacaksa **and** uçucu kül varsa
and kazılardan farklı toprak malzeme temin edilecekse **and** yamaçlarda dolusavak için yer yoksa
Then RCC + zonlu toprak dolgu baraj seçilebilir.

38. Kil çekirdekli ve ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlar sağlam taşıma gücü yeterli çakıl temeller üzerine inşa edilebilir. Baraj temeli baraj ağırlığından daha iyi olması gerekir. Kaya kendisinden daha kötü zemine oturtulmamalıdır (Erdoğan Demircigil, 1996 -görüşme-).
If vadi orta genişlikte ise **and** baraj temeli iyi sıkışmış sağlam çakıl ise **and** baraj yüksekliği orta yükseklikte ise
and kum çakıl malzeme eksikliği varsa **and** kil malzeme bol değilse
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

39. Beton ağırlık barajlar, birçok temel için uygun olmaktadır. Fakat, barajın yüksekliği temelin mukavemeti tarafından sınırlanmaktadır. Toprak temeller ve çakıl temeller üzerindeki bu tip barajların yüksekliği 20 m yükseklikte inşa edilebilmektedir. Temelin mukavemeti ve diğer analizler yapılarak inşa edilecek barajın yüksekliği belirlenir (Creager, 1957).

If vadi oldukça geniş ise **or** vadi geniş ise **and** memba ile mansap arasındaki su kotu farkı 6 metreden az ise
and barajın yüksekliği 20 metreden az ise **and** temel malzemesi taşıma gücü yeterli ise **and** temelin bir kısmı sıkışmış sağlam çakıl ise
or temelin bir kısmı sıkışmış sağlam kum ise **or** temelin bir kısmı sıkışmış sağlam kum-silt ise
and yeterli kum çakıl ve geçirimsiz toprak malzeme varsa **and** temelin diğer kısmı kil ise
or temelin diğer kısmı silt ise **or** temelin hepsi sıkışmış sağlam çakıl ise **and** sızmayı önleyici gerekli tedbirler alınacaksa
and uçucu kül veya puzolanik malzeme yoksa **and** çimento temin edilebilecekse
and kazılardan farklı toprak malzeme temin edilecekse **and** yamaçlarda dolusavak için yer yoksa
Then Klasik beton ağırlık baraj + zonlu toprak dolgu baraj seçilebilir.

40. Kazılardan (dolusavak kazısı gibi) çıkarılacak malzeme miktarı ve kalitesi baraj tipine etki etmektedir. Çünkü bu malzeme dolguda ekonomik olarak kullanılabilmektedir (Thomas, 1976).

If vadi çok geniş ise **and** baraj temeli bir kısmında alüvyon derinliği az **and** ana kaya sağlam **or** orta sağlamlıkta
and yamaçlarda dolusavak için yer yok **and** temelin diğer kısmı derin alüvyon içeriyorsa **and** baraj yüksekliği 20 metreden az ise
and kum çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül varsa **and** kil malzeme varsa **and** kazılardan değişik dolgu malzemeleri temin edilecekse
Then RCC + zonlu toprak dolgu baraj seçilebilir.

41. Alüvyon temel üzerine taşıma gücünden fazla yük aktaracak tipler inşa edilmemelidir. Bu temeller üzerine kendi malzemelerinden olan kum-çakıl dolgu baraj inşa etmek uygundur (Nihat Karadayı, 1996 -görüşme-).

If vadi çok geniş ise **and** baraj temeli bir kısmında alüvyon derinliği az **and** ana kaya sağlam **or** orta sağlamlıkta
and yamaçlarda dolusavak için yer yok **and** temelin diğer kısmı derin alüvyon içeriyorsa **and** baraj yüksekliği 20 -140 metre ise
and kum çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül varsa **and** kil malzeme varsa **and** kazılardan değişik dolgu malzemeleri temin edilecekse
Then RCC + kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

42. (U) ve (UV) şeklindeki vadilerde ve orta genişlikteki vadilerde beton ağırlık tipi barajların inşası uygun olmakta ve inşa edilebilmeleri için sağlam ya da orta sağlamlıkta kaya temeller tercih edilmektedir. Dolusavak hafriyatının zor olduğu vadilerde, beton gövde üzerine dolusavak oturtmanın mümkün olması nedeniyle bu tip barajlar avantaj sağlarlar. Ancak baraj yüksekliği arttıkça diğer baraj tiplerine oranla pahalı olmaktadırlar (Karadayı, 1992).

If vadi çok geniş ise **and** baraj temeli bir kısmında alüvyon derinliği az **and** ana kaya sağlam **or** orta sağlamlıkta
and yamaçlarda dolusavak için yer yok **or** yamaçlarda dolusavak kazısı güç ise **and** temelin diğer kısmı derin alüvyon içeriyorsa
and baraj yüksekliği 20 - 140 metre ise **and** kum çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül yoksa **and** kil malzeme kısıtlı varsa
and kaya malzeme yoksa
Then klasik beton ağırlık baraj + kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

43. Baraj temeli üniform olmadığı zaman veya temel mukavemeti düşük olduğu yerlerde toprak dolgu baraj inşası uygundur. Temel alüvyon ise sıvılaşma problemi iyi tetkik edilmelidir (Reşat Ulusoy, 1998 -görüşme-).

If baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj yüksekliği 20 - 50 m ise **and** baraj temeli yumuşak kaya + toprak ise
or baraj temeli silt ve ince kum + kil ise **or** baraj temeli silt ve ince kum + yumuşak kaya ise
or baraj temeli silt ve ince kum + sıkı alüvyon **or** baraj temeli silt ve ince kum + gevşek alüvyon
and vadi orta genişlikte ise **and** filtre için kum çakıl varsa **and** yamaçlar dolusavak için uygun ise
Then yatay ve düşey drenli toprak dolgu seçilebilir.

44. Topuk drenli homojen toprak dolgu barajların günümüzde kabul gören baraj yükseklik kriteri 10 m ve daha azdır. Bu barajın inşası için baraj aksına yakın uygun toprak malzemenin bulunması gerekir. (Fell vd, 1992).

If baraj yüksekliği 5-10 m ve arasında ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and temel zayıf or sağlam kaya karışımından ibaret ise **and** temel çok sert kaya + sert kaya ise
or temel çok sert kaya + yumuşak kaya ise **or** temel çok sert kaya + toprak ise
or temel sert kaya + yumuşak kaya ise **or** temel toprak + yumuşak kaya ise **or** temel kil + çakıl ise
or temel kil + silt ve ince kum ise **or** temel kil + kum - çakıl ise **and** yeterince **or** bol miktarda kil malzeme baraj yerine yakın ise
and topuk dren için malzeme varsa
Then topuk drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

45. Kum çakıl dolgu barajların zayıf temeller üzerine oturtulmaları mümkündür. Ancak bu durumda şevler yatıklaşmaktadır (Mustafa Yılmaz Kılınç, 1996 -görüşme-).

If baraj yüksekliği 5-10 m ve arasında ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and temel zayıf or sağlam kaya karışımından ibaret ise **and** temel çok sert kaya + sert kaya ise
or temel çok sert kaya + yumuşak kaya ise **or** temel çok sert kaya + toprak ise **or** temel sert kaya + yumuşak kaya ise
or temel toprak + yumuşak kaya ise **or** temel kil + çakıl ise **or** temel kil + silt ve ince kum ise **or** temel kil + kum - çakıl ise
and bol miktarda kil malzeme baraj yerine yakın değilse **and** kum-çakıl malzeme varsa **and** topuk dren için malzeme varsa
Then kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

46. Zonlu toprak dolgu barajlar memba tarafı veya merkezi kil, kumlu kil, killi kum, ve çakıl-kum-kil ile inşa edilmektedir. Toprak dolgunun diğer zonları benzer malzemeler ile inşa edilir. (Sherard, 1963) tarafından bu tip barajların 30 m ve birkaç tanesi daha yüksek olarak inşa edilmiş olduğu belirtilmiştir. Fakat bu tip barajların 20 m ve daha düşük yükseklikler için kullanılması daha uygun olacağı Fell vd, (1992) tarafından ifade edilmiştir.

If baraj yüksekliği 10-20 m ve arasında ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and temel zayıf or sağlam kaya karışımından ibaret ise **and** temel çok sert kaya + sert kaya ise **or** temel çok sert kaya + yumuşak kaya
or temel çok sert kaya + toprak ise **or** temel sert kaya + yumuşak kaya ise **or** temel toprak + yumuşak kaya ise
or temel kil + çakıl ise **or** temel kil + silt ve ince kum ise **or** temel kil + kum - çakıl ise **and** kil malzeme tüm gövde için yeterli değilse
or kil malzeme bol değilse **and** değişik toprak malzeme varsa
Then zonlu toprak dolgu baraj seçilebilir.

47. Yatay ve düşey drenli toprak dolgu barajlar , homojen barajlar ile aynı malzemelerden inşa edilmektedir. Yatay ve düşey drenler yüksek permeabiliteli kum, veya kum ve çakıl kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu tip barajlar 30 ile 50 m. yükseklikler için kullanılabilmektedir (Fell vd, 1992).

If baraj yüksekliği 30-50 m ve arasında ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and temel zayıf or sağlam kaya karışımından ibaret ise **and** temel çok sert kaya + sert kaya ise **or** temel çok sert kaya + yumuşak kaya
or temel çok sert kaya + toprak ise **or** temel sert kaya + yumuşak kaya ise **or** temel toprak + yumuşak kaya ise
or temel kil + çakıl ise **or** temel kil + silt ve ince kum ise **or** temel kil + kum - çakıl ise
and bol miktarda kil malzeme baraj yerine yakın ise **and** filtre için kum-çakıl malzeme varsa
Then yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

48. Homojen toprak dolgu barajlar genellikle kil, kumlu kil, killi kum ve çakıl - kum-kil zeminlerden inşa edilmektedir. Fakat daha geçirgen olan siltli kum, kum ve kumlu çakıl ile geçirgenlik kabul edilebilir olmadığında bu malzemeler ile inşa edilememektedir. İç sızma ve erozyon kontrolü olmadığından, mansap yüzeyinde sızma tehlikesi ve borulanmaya karşı hassastır. Homojen toprak dolgu barajlar geçmişte daha büyük yüksekliklerde kullanılmış, fakat uygun olanı 5 m. ve daha az olarak inşa edilmeleridir (Fell, 1992).

If baraj yüksekliği 5 m ve daha az ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** temel sağlam kaya karışımından ibaret ise
or temel orta sağlamlıktaki kaya karışımından ibaret ise **or** temel yumuşak kaya karışımından ibaret ise
or temel kil + çakıl temel ise **or** temel kil + silt ve ince kum ise **or** temel kil + kum-çakıl ise **or** temel kil + sağlam kaya ise
or kil + çürük kaya ise **or** yumuşak kaya + kil ise **or** temel sert kaya + kil ise **or** temel çok sert kaya + kil ise
and geçirimsiz kil malzeme yeter kalite ve miktarda varsa **and** filtre için kum-çakıl varsa
Then homojen dolgu baraj seçilebilir.

49. Bazı sedimenter kayaçlı temeller özellikle aratabakalı kiltaşı ve çamurtaşından ibaret ve sağlam kumtaşlı bir temel faylanmaya veya kıvrımlanmaya maruz kalmaktadır. Ve ayrıca tabakalanma düzlem kesmeleri oluşmakta ve düşük içsel sürtünme açısı meydana getirmektedir (Hutchinson, 1988). Bu durumlarda dolgu için daha yatık şevler gerekmektedir. Kaya dolgu zonları rasgele zonlar olarak teşkil edilip, kil çekirdekli kaya dolgu baraj oldukça yatık şevler kullanılarak inşa edilmelidir. Veya toprak dolguda yatay ve düşey drenlerin kullanımı avantajlı olabilmektedir (Fell vd, 1992).

If baraj temeli düşük toprak temel **and** yeterli bol miktarda geçirimsiz malzeme varsa **and** baraj yüksekliği 50 m.'den az ise
and filtre için yeterli ve kum çakıl malzeme temin edilebiliyorsa
Then yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir. Şevler 1/3.5 - 4 oranında yatık yapılacak şekilde seçilebilir.

50. Barajın temelinin mukavemeti, permeabilitesi ve sıkışabilirliliği dolgu tipi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bir toprak temelin mukavemeti düşük ise, dolgunun stabilitesine öncelikle karar verilmelidir. Bu gibi temellerde nispeten daha yatık şevler gerekmektedir. Bu yerler için toprak dolgu barajların inşası uygun olmaktadır. Yatay ve düşey drenler kullanılmalıdır (Fell vd, 1992).

If baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise **and** kil malzeme yeterince varsa
and kum - çakıl filtre malzemesi varsa **and** vadi dar ve dik değilse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse **and** topoğrafya malzeme taşınmasına uygun ise
and bölge çok yağışlı değilse **and** baraj yüksekliği 50 metreden az ise
Then yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

51. Derin toprak temeller üzerine inşa edilecek dolgular (örneğin nehir yatağı içerisinde veya bitişiğinde derin alüvyon) büyük oturma ve farklı hareketlere ve çatlaklara yol açmaktadır. Bu durumda, özellikle iyi filtrelerin sızma kontrolü için teşkil edilmesi ve temelde sızmanın kontrolü için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir (Fell vd, 1992).

If temel derin toprak malzemeden ibaretse **or** temel derin gevşek alüvyondan ibaretse **and** temel mukavemeti düşük ise
and yeterli geçirimsiz malzeme varsa **and** yeterli dren filtre malzemesi varsa
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse **and** baraj yüksekliği 50 m ve daha az ise
Then yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

52. Bazı sedimanter kayaçlarda özellikle zayıf kiltaşı ve çamurtaşı aratabakalı sağlam kumtaşı temeller faylanma ve kıvrımlanmaya maruz kalmaktadırlar. Tabakalanma düzlemi kesmeleri oluşmakta, düşük içsel sürtünme açıları meydana gelmektedir. Bu durumda oldukça yatık şevler gerekmektedir. Yatay ve düşey drenli toprak dolgu veya geçirimsiz toprak çekirdekli rasgele kaya dolgu zonlu baraj uygun olmaktadır. Maroon Barajı rastgele kaya dolgu zonlu ve kil çekirdekli olarak ve memba ve mansapta oldukça yatık şevler (1/7 gibi) kullanılmıştır (Fell, 1992).

If temel sedimanter kayaçlardan ibaret ise **and** temel sağlam kumtaşı ve zayıf aratabakalı kiltaşı ve çamurtaşlarından ibaretse
and temel faylanmaya maruz ise **and** temel kıvrımlanmaya maruz ise **and** temel tabakaları arasında düşük içsel sürtünme açısı oluşacaksa **and** dolgu için yeterli geçirimsiz toprak malzeme varsa **and** bölge sürekli yağışlı ise **and** filtre malzemesi ekonomik olarak varsa **and** baraj yüksekliği 50 metreden az ise **and** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse
Then oldukça yatık şevli yatay ve düşey drenli toprak dolgu seçilebilir.

53. Baraj aksına çok yakın kil malzeme bol miktarda varsa, kil malzeme gövdede bol kullanılması ekonomik olmaktadır (Novak vd, 1990).

If vadi çok geniş ise **and** vadi temelinde oldukça büyük kalınlıkta alüvyon varsa **or** vadi temeli derin morainik depozitler ile kaplı ise
and kil malzeme bol veya ekonomik ise **and** kil malzeme istimlakı ücreti pahalı değilse **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise
and temel taşıma gücü 1.8 - 2.1 Mnm^{-2} ise **and** bölge I, II, III, IV. dereceden deprem bölgesinde ise
and bölge çok kurak değilse **and** baraj yüksekliği 20 metreden az ise **and** filtre için kum çakıl malzeme varsa

Then yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj seçilebilir.

54. Dolgu barajlar temel taşıma gücü 1.8-2.1 MPa olan temeller üzerine inşa edilebilir (Novak vd, 1990). Vadi temelinde derin morainik malzeme varsa ve vadi orta genişlikte veya geniş ise bu yerler için dolgu barajlar uygundur (Singh, 1995).

If vadi çok geniş ise **and** vadi temelinde oldukça büyük kalınlıkta alüvyon varsa **or** vadi temeli derin morainik depozitler ile kaplı ise **and** kil malzeme kısıtlı ise **and** kum çakıl malzeme bol ve kolay temin edilecekse **and** kil malzeme istimlakı ücreti pahalı değilse **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise **and** temel taşıma gücü 1.8 - 2.1 MNm^{-2} ise **and** filtre için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge I, II, III, IV. dereceden deprem bölgesinde ise **and** bölge çok kurak değilse **and** baraj yüksekliği 20<H<140 metre ise **Then** kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

55. Kazının işletilmesi ile ariyet sahasının işletilmesi birbirinden farklı olmaktadır. Dolusavak kazısında malzeme çok örselenmektedir. Kazıdan çıkarılan malzeme daha az kullanışlı olmaktadır (Ergin Erayman, 1997 -görüşme-). Bu durum malzeme açısından dolgu barajlarda önemlidir. Eğer vadi tabanı 15 m'den dar ise o zaman toprak dolgu baraj veya çekirdekli kaya dolgu baraj inşaatı güçleşmektedir.

If baraj yüksekliği 50<H<300 metre ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj temeli yumuşak kaya + çok sert kaysa **or** baraj temeli yumuşak kaya + sert kaya ise **or** baraj temeli sert kaya + çok sert kaya ise **and** filtre için kum çakıl malzeme varsa **and** kil malzeme varsa **and** vadi tabanı 15 metreden fazla ise **and** kaya malzeme temini kum çakıl malzeme temininden ekonomik ise **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise **and** dolusavak kazı malzemesi dolgu için uygun ise **and** bölge çok yağışlı değilse **and** vadi orta genişlikte ise **and** vadi dik ve derin değilse
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

56. Membaya doğru eğik kil çekirdekli kaya dolgu barajlar, merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda kullanılan inşa malzemeleri ile yapılmaktadır. 15 m ile 20 m'den daha düşük yüksekliklerde inşa komplike bir hal aldığından diğer tip barajlar daha ekonomik olmaktadır. Bu tip barajlar 300 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell vd, 1992).

If baraj yüksekliği 20<H<300 metre ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj temeli yumuşak kaya + çok sert kaysa **or** baraj temeli yumuşak kaya + sert kaya ise **or** baraj temeli sert kaya + çok sert kaya ise **and** filtre için kum çakıl malzeme varsa **and** kil malzeme varsa **and** vadi tabanı 15 metreden fazla ise **and** kaya malzeme temini kum çakıl malzeme temininden ekonomik ise **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise **and** dolusavak kazı malzemesi dolgu için uygun ise **and** bölge çok yağışlı ise **and** vadi orta genişlikte ise **and** vadi dik ve derin değilse
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

57. Baraj yerine, malzeme ocaklarının ulaşım yollarının mevcut bulunması veya inşa edilecek olmaları, uzunlukları; proje ekonomisine dolayısıyla tip seçimine etki etmektedir (Fell vd, 1992).

If baraj yüksekliği 20-50 metre ise **and** temel üniform olmayan temel ise
and baraj temeli sağlam kaya (granit+andezit+bazalt gibi) karışımı ise **and** tüm gövde için kil yeterli değilse
and kaya malzeme bol miktarda varsa **and** kil malzeme taşınımı ekonomik ise **and** kaya malzeme taşıma mesafesi yakın ise
and filtre için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge çok yağışlı değilse **and** baraj temeli 15 metreden fazla ise
and yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

58. Kaya dolgu barajların belirli bir taşıma gücüne sahip temeller üzerine inşa edilmeleri gerekir. Kil çekirdekli barajlar için iyi kalitede filtre malzemesine gereksinim vardır. Uzak mesafe de de olsa temini zorunludur (Ergin Erayman, 1997 -görüşme-).

If baraj yüksekliği 20-50 metre ise **and** temel üniform olmayan temel ise
and baraj temeli sağlam kaya (granit+andezit+bazalt gibi) karışımı ise **and** tüm gövde için kil yeterli değilse
and kaya malzeme bol miktarda varsa **and** kil malzeme taşınımı ekonomik ise **and** kaya malzeme taşıma mesafesi yakın ise
and filtre için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge çok yağışlı değilse **and** baraj temeli tabanı 15 metreden fazla ise
and yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

59. Kil çekirdekli kum çakıl dolgu barajların 140 m'ye kadar inşa edilebilirler. Yamaç eğimlerinin dik olmaması dolgu barajlar için bir gereksinimdir (Erdoğan Demircigil, 1996 -görüşme-).

If baraj yüksekliği 74<H<140 metre ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj temeli çok sert kaya + toprak ise
or baraj temeli yumuşak kaya + toprak ise **or** baraj temeli yumuşak kaya + sıkı alüvyon ise
or baraj temeli yumuşak kaya + gevşek alüvyon ise **or** baraj temeli silt ve ince kum + sıkı alüvyon ise
or baraj temeli silt ve ince kum + gevşek alüvyon ise **or** baraj temeli silt ve ince kum + yumuşak kaya ise
or baraj temeli silt ve ince kum + sert kaya ise **or** baraj temeli silt ve ince kum + çok sert kaya ise **and** filtre malzemesi varsa
and kil malzeme varsa **and** kum çakıl malzeme varsa **and** yamaç eğimleri %70'ten az ise **and** vadi orta genişlikte **or** geniş ise

and yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise **and** yamaçlardan çıkarılan malzeme kullanılabilecek nitelikte ise
Then kil çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj seçilebilir.

60. Kaya dolgu barajlar toprak dolgu barajlara göre birim fiyatları pahalı, dolgu hacmi az, dolusavak boyu kısa, derivasyon boyu kısa, kil malzeme az ve daha iyi temel gerektirir. Kabuk kısımlarda alüvyonun kaldırılması gerekir (Hasan Tosun, 1996 -görüşme-).

If baraj yüksekliği 50<H<75 metre ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj temeli çok sert kaya + toprak ise
or baraj temeli yumuşak kaya + toprak ise **or** baraj temeli yumuşak kaya + sıkı alüvyon ise
or baraj temeli yumuşak kaya + gevşek alüvyon ise **or** baraj temeli silt ve ince kum + sıkı alüvyon ise
or baraj temeli silt ve ince kum + gevşek alüvyon ise **or** baraj temeli silt ve ince kum + yumuşak kaya ise
or baraj temeli silt ve ince kum + sert kaya ise **or** baraj temeli silt ve ince kum + çok sert kaya ise **and** filtre malzemesi varsa
and kil malzeme varsa **and** kum çakıl malzeme varsa **and** yamaç eğimleri %70'ten az ise **and** vadi orta genişlikte **or** geniş ise
and yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise **and** yamaçlardan çıkarılan malzeme kullanılabilecek nitelikte ise
Then kil çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj seçilebilir.

61. Bazı bölgelerde hem kaya ve hem de kum çakıl malzeme uygun şartlarda temin edilebilmektedir. Ekonomik açıdan bu malzemeler gövdede her ikisi birlikte kullanılabilmektedir. Örneğin memba eteğinde kaya dolgu mansap eteğinde kum-çakıl kabuk kullanmak uygundur. Hatunköy Barajını örnek olarak verilebilir (Sami Güzel, 1997 -görüşme-).

If baraj orta yükseklikte ise **or** baraj yüksekliği < 140 metre ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and baraj temeli memba tarafı sağlam kaya ise **or** baraj temeli memba tarafı orta sağlamlıkta kaya ise
and merkezi çekirdek altı kiltaşı veya zayıf kaya veya yumuşak kaya ise **and** kum çakıl malzeme bol olarak varsa
and kil malzeme varsa **and** filtre için temiz kum çakıl malzeme varsa **and** kaya malzeme yeterli miktar ve kalitede varsa
and mansap temeli kayayı taşıyacak kapasitede ise **and** bölge çok kurak değilse **and** bölge yağışlı ise
Then eğik kil çekirdekli memba tarafı kaya mansap tarafı kum çakıl dolgulu olarak seçilebilir.

62. Kil çekirdekli kaya dolgu barajlar çok yüksek inşa edilebilir (Ömür Özeriç, 1997 -görüşme-).

If baraj orta yükseklikte ise **or** baraj yüksek ise (300 metreye kadar) **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and baraj temeli memba tarafı sağlam kaya ise **and** baraj temeli memba tarafı orta sağlamlıkta kaya ise
and merkezi çekirdek yerleşim yeri yumuşak kaya ise **and** kaya malzeme bol ise **and** kil malzeme varsa
and filtre malzemesi varsa **and** bölge çok yağışlı **or** değil ise **and** bölge çok kurak değilse
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

63. Geçirimli zeminler üzerindeki dolgu barajlar için pozitif katoff ekonomik veya pratik olmadığı zaman geçirimsiz memba blanketi ile mansap drenajı kombinasyonu kullanılabilmektedir (Sami Güzel, 1996 -görüşme-).

If vadi yüksekliği alçak ise **and** vadi yamaçları dalgalı ise **or** vadi yamaçları düzenli ise **and** dolusavak için vadide veya yamaçta yer varsa **and** vadi geniş ise **and** baraj temeli alüvyon ise **and** baraj yerine yakın bol miktarda kil varsa **and** baraj yerine yakın bol miktarda kum çakıl varsa **and** kil çekirdek yatay olarak zemine yerleştirilecekse
Then kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

64.Silt ve ince kum temeller en hassas olunması gereken temellerdir. Bunların taşıma güçleri azdır ve sıvılaşma tahkiklerinin iyi yapılması gerekir (Reşat Ulusoy, 1998 -görüşme-).

If baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yapılan tahkikte sıvılaşma ihtimali yoksa
and baraj yüksekliği (H)<=140 metre ise **and** yeterli bol miktarda kum çakıl varsa
and geçirimsizlik için baraj aksına yakın yeterli kil varsa **and** borulanmaya karşı tedbir alınacaksa
and sıvılaşmaya karşı tedbir alınacaksa **and** dolusavak için vadide veya yamaçta yer varsa
and stabilite açısından gerekli iyileştirme yapılacaksa **and** uygun filtre malzemesi varsa
Then kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

65. Kil temeller toprak dolgu barajlar için kullanılabilir. Temel kayma mukavemetleri daha düşük olduğundan daha yatık şevler gerektirmektedirler. Bu temellerde konsolidasyon önemlidir. Oturma fazla olmaktadır. Bu temeller kaya dolgu barajlar ve beton barajlar için uygun olmamaktadır (USBR, 1987).

If baraj temeli derin kil ise **and** baraj yüksekliği 50 - 140 metre arasında inşa edilecekse
and dolusavak için vadide veya yamaçta yer varsa **and** bol miktarda kum çakıl varsa **and** kil malzeme varsa
Then kil blanketli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

66. Kötü şistler üzerine toprak baraj inşa etmek emniyet açısından gereklidir (Şentürk, 1955).

If baraj temeli derin kil ise or baraj temeli kötü şist ise **and** baraj yüksekliği 30 - 50 metre arasında inşa edilecekse
and dolusavak için vadide veya yamaçta yer varsa **and** bol miktarda kum çakıl yoksa **and** bol miktarda kil malzeme varsa

Then yatay ve düşey drenli homojen dolgu baraj seçilebilir.

67. Kil temelin alacağı gerilmeden fazla gerilme vermeyen baraj tipleri seçilmelidir (Şentürk, 1955).

If baraj temeli derin kil ise **and** baraj yüksekliği 10 - 20 metre arasında inşa edilecekse
and bol miktarda kum çakıl yoksa **and** dolusavak için vadide veya yamaçta yer varsa
and kazılardan değişik toprak malzeme temin edilecekse
Then zonlu toprak dolgu baraj seçilebilir.

68. Topuk drenli toprak dolgu barajlar, homojen barajlar ile benzer malzemeler, geçirimli bir kaya veya çakıl topuk dren kullanılarak inşa edilmektedir. Yatay ile düşey permeabilite oranı (kH/kV) hemen hemen aynıdır. Topuk sızmayı toplamakta ve güvenle uzaklaştırmaktadır. Topuk drenli toprak dolgu barajlar büyük yüksekliklerde kullanılmalarına rağmen bunların 10 m ve daha az yükseklikler için kullanılmaları daha uygundur (Fell, 1992).

If baraj temeli derin kil ise **and** baraj yüksekliği 5 ve daha küçük veya 10 metre arasında inşa edilecekse
and dolusavak için vadide veya yamaçta yer varsa **and** bol miktarda kum çakıl yoksa **and** bol miktarda kil varsa
Then topuk drenli homojen dolgu baraj seçilebilir.

69. Baraj temeli kil ise ve kilin kaldırılması ekonomik değilse blanketli kil seçilmesi çoğu kez uygun olmaktadır (İlyas Demirci, 1997 -görüşme-).

If temel derin toprak (kil, killi silt, siltli kil v.b.) ise **or** çok derin (baraj yüksekliğine eşit ve daha fazla) alüvyon varsa
and yeterli geçirimsizlik için kil varsa **and** dolusavak için vadide veya yamaçta yer varsa **and** filtre için kum çakıl malzeme varsa
and gövde için yeterli kum çakıl malzeme varsa **and** baraj yüksekliği (H)<=50 metre ise
Then kil blanketli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

70. Temelde aktif fay varsa kil malzeme gödede fazla kullanılmalıdır (Hasan Tosun, 1996 - görüşme).

If temel üniform olmayan temel ise **or** baraj temelinde fay vb. problem varsa **and** baraj yüksekliği 140 metreden az ise
and kil malzeme ekonomik olarak temin edilecekse **and** baraj aksına yakın kum çakıl malzeme bol miktarda varsa
and vadi orta genişlikte ise **or** vadi dar ise **and** vadi tabanı 15 metreden fazla ise
or vadi geniş ise **and** filtre malzemesi varsa
Then kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

71. Eğer rezervuar suyu, baraj inşa halinde iken herhangi bir amaç için kullanılacak ise, diyaframlı bir baraj ekonomik olmaktadır (Armstrong, 1977).

If vadi temeli kaya ise **and** yeterli miktarda kum çakıl malzeme yoksa **and** yeterli miktarda kaya malzeme varsa **and** yeterli miktarda uçucu kül yoksa **and** bölge iklimi çok sıcak değilse **and** rezervuar suyu inşa esnasında kullanılacaksa **and** yeterli kil varsa **and** asfalt kaplama malzemesi temin edilebilecekse **and** baraj sonradan yükseltilecekse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse
Then ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj seçilebilir.

72. Temel derin toprak veya alüvyon ise; 60 m yüksekliğindeki baraj için 30 m alüvyon kaldırılabilir. Yine 80 m için 30 m alüvyon kaldırılır. Fakat 30 m baraj için 30 m alüvyon kaldırılması ekonomik olmamaktadır (Ömür Özeriç, 1997 -görüşme-).

If temel alüvyon ise **and** memba tarafta alüvyon derinliği baraj yüksekliğinin yarısından fazla ise
and kil çekirdek yapılması durumundaki yerinde ve mansap tarafta 10 metreden az ise **and** alüvyon altı ana sağlam kaya ise
and baraj yüksekliği 150 metreden az ise **and** yatakta veya aksa yakın bir yerde kum çakıl malzeme varsa
and yeterli kalite ve miktarda kaya malzeme varsa **and** geçirimsizlik için kil malzeme varsa
and bölge çok yağışlı değilse
Then memba eteği kil çekirdekli kum çakıl, mansap eteği kaya dolgu olarak seçilebilir.

73. Kil çekirdekli ve ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlar sağlam taşıma gücü yeterli çakıl temeller üzerine inşa edilebilir. Baraj temeli baraj ağırlığından daha iyi olması gerekir. Kaya kendisinden daha kötü zemine oturtulmamalıdır (Hasan Usul, 1997 -görüşme-). Çakıl temeller eğer iyi sıkışmış iseler toprak dolgu ve kaya dolgu baraj için uygun olmaktadır" (USBR, 1987).

If temel alüvyon ise **and** mansap tarafta alüvyon derinliği baraj yüksekliğinin yarısından fazla ise
and kil çekirdek yapılması durumundaki yerinde ve memba tarafta 10 metreden az ise
and alüvyon altı ana sağlam kaya ise **and** baraj yüksekliği 150 metreden az ise
and yatakta veya aksa yakın bir yerde kum çakıl malzeme varsa **and** yeterli kalite ve miktarda kaya malzeme varsa
and geçirimsizlik için kil malzeme varsa **and** bölge çok yağışlı değilse
Then mansap eteği kil çekirdekli kum çakıl, memba eteği kaya dolgu olarak seçilebilir.

74. Anakaya ulaşılır derinlikte değilse kil blanket (yüzen katoff) L= 8.H boyunda yapılması uygun olmaktadır. Anakaya ulaşılır derinlikte ise pozitif katoff yapmak uygun olmaktadır (Erdoğan Demircigil, 1997 -görüşme-).

If baraj temeli alüvyon ise **and** alüvyon derinliği baraj yüksekliğinin yarısından fazla ise **and** kum çakıl malzeme bol ise
and kil malzeme yeterince varsa
Then kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

75. Kuru iklime haiz bölgelerde, baraj yerinde inşaatta kullanılacak su eksikliği olması durumunda, kil çekirdekli malzemenin kullanımı engellenebilir. Bu durumda diyaframlı tipte kaya dolgu baraj seçimi uygun olmaktadır (Armstrong, 1977).

If vadi temeli kaya ise **and** yeterli miktarda kaya varsa **and** yeterli miktarda geçirimsiz toprak malzeme varsa
and bölgede iklim oldukça kurak ise **and** inşaatta kullanılacak kullanma suyu eksiği varsa
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse **and** vadi dar ise **or** vadi geniş ise
or vadi çok geniş ise **and** baraj 20 - 300 metre ise **and** yeterli kum çakıl varsa **and** kayar kalıp vb. ekipman varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

76. Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlar, geçirimsizliği temin edecek toprak malzeme, filtre için kum-çakıl ve kaya malzeme kullanılarak inşa edilmektedir. 15 m ile 20 m'den daha düşük yüksekliklerde inşa komplike bir hal aldığından genellikle diğer tip barajlar daha ekonomik olmaktadır. Bu tip barajlar 300 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell, 1992).

If vadi yüksekliği alçak ise **and** vadi yamaçları dalgalı ise **or** vadi yamaçları düzenli ise **and** vadi geniş ise
and baraj temeli yeterli mukavemette kaya ise **and** baraj yerine yakın bol miktarda kaya malzeme varsa
and baraj yerine yakın bol miktarda ve kalitede kil malzeme varsa **and** bölge yağışlı değilse
and filtre için uygun kum çakıl malzeme varsa **and** beton kum çakıl malzeme uygun nitelikte değilse
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

77. Malzeme temin edilebilirliliği baraj tip seçiminde çoğu kez en etkili parametre olmaktadır (USBR, 1987)

If vadi yüksekliği alçak, 20 m'den fazla ise **and** vadi yamaçları dalgalı ise **or** vadi yamaçları düzenli ise **and** vadi geniş ise
and baraj temeli yeterli mukavemette kaya ise **and** baraj yerine yakın bol miktarda kaya malzeme varsa
and baraj yerine yakın bol miktarda ve kalitede kil malzeme varsa **and** bölge çok yağışlı ise
and filtre için uygun kum çakıl malzeme varsa **and** beton kum çakıl malzeme uygun nitelikte değilse
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

78. Kayalardaki süreksizlikler baraj tip seçimi üzerinde etkili olmaktadır. Ancak bu süreksizlikler bir kemer baraj için olduğu kadar, kaya dolgu barajlarda önemli değildir. Yine de tüm iyileştirilmeleri yapılmalıdır (USBR, 1987).

If baraj temeli kaya ise **and** kayada çatlak ve fissürler varsa ve iyileştirilecekse **and** temelde erimeli kireçtaşları mevcutsa
or temel kayacı eriyerek boşluklar oluşturacaksa **and** temel kayacı mukavemeti yeterli ise **and** yeterli kaya malzeme temin edilecekse
and bölge yağışlı ise **or** bölge yağışlı değilse **and** kompaksiyon için yeterli su temin edilecekse
and kum çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilemeyecekse **and** kil malzeme ekonomik olarak temin edilecekse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa **and** baraj sonradan yükseltilecekse
Then - temelde gerekli iyileştirmeler yapılarak - eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

79. Nispeten düşük mukavemetli bir temel, yapıdan gelen yükleri dağıtmak için daha büyük bir alan gerektirmektedir. Burada kemer baraj inşası düşünüldüğünde, temelde kemer kalınlığı oldukça büyük boyutlar alacaktır. Böylece, beton ve donatı hacminde artma gözlenecektir. Bu durumda diğer baraj tipleri içerisinden ekonomik ve uygun olan tip seçilmelidir (Armstrong, 1977).

If baraj temeli düşük mukavemetli kaya ise **and** kemer baraj olması durumunda taban genişliği oldukça büyük boyut olacaksa
and yamaçlar sağlam kaya ise **and** vadi çok dar ve dik değilse **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise
and kum çakıl malzeme varsa **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** kil malzeme oldukça ekonomik olarak temin edilebiliyorsa
and toprak malzeme temininde çevrecilerin tepkisi yoksa **and** bölge yağışlı değilse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekmiyorsa
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

80. Kaya kazımı ve yerine konulması 388 260 TL/m^3, kum çakıl malzeme alınması ve yerine konulması 93 149 TL/m^3'tür. Kaya ve kum çakıl malzeme aynı mesafede ise kum çakıl malzeme tercih edilir. Eğer kaya malzeme baraj aksına yakın kum çakıl malzeme uzak ise ekonomik analiz yapılır. Ona göre malzeme ve tip seçimi yapılır (Nihat Karadayı, 1998 -görüşme-).

If baraj yüksekliği 120 m'den az ise **and** baraj temeli kaya ise **and** baraj temel kayası çatlaklı ise
or baraj temel kayası faylanmaya maruz ise **and** kaya malzeme baraj aksına yakın ise **and** kum çakıl malzeme baraj aksına uzak ise
and kum çakıl malzeme temini kaya malzeme temininden daha ekonomik ise **and** kil malzeme bol ise **and** vadi geniş ise
Then kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

81. Enjeksiyon aşırı gereken vadilerde eğik kil çekirdekli barajlar ve ÖYBK kaya dolgu barajlarda bu işlem sürekli yapılabildiğinden bu tiplerin seçimi zaman ve ekonomi açısından gereklidir (Fell vd, 1992).

If baraj temeli karst kireçtaşı ise **and** su kaçakları problemi varsa **and** aşırı enjeksiyon çalışması gerekiyorsa
and kaya dolgu malzemesi varsa **and** kil malzeme ekonomik olarak temin edilecekse **and** baraj yüksek inşa edilecekse
or baraj yüksekliği >20 metre ise **and** beton için kum çakıl malzeme eksikliği varsa **and** filtre malzemesi varsa
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse **and** baraj sonradan yükseltilecekse
or baraj sonradan yükseltilmeyecekse
Then eğik çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

82. Planda nehir eğri ve vadi enkesitinde değişmeler olması durumunda, merkezi kil çekirdek yerine toprak dolgu miktarını azaltmak için eğik çekirdekli kaya dolgu barajın benimsenmesi uygun olur (Fell, 1992).

If nehir planda eğri ise **and** vadi enkesitinde önemli değişmeler varsa **and** vadi temeli kaya ise
and bol miktarda kil malzeme ekonomik olarak temin edilecekse **and** yeterli kaya dolgu malzemesi varsa
and baraj sonradan yükseltilecekse **or** baraj sonradan yükseltilmeyecekse **and** bölge yağışlı ise **or** bölge yağışlı değilse
and baraj yüksek inşa edilecekse
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

83. Baraj temeli sedimanter kayaç ise ve temel sağlam kumtaşı ve zayıf aratabakalı çamurtaşlarından ibaret ise o zaman kaya dolgunun şevlerini oldukça yatırmak gerekir (Hutchinson, 1988).

If temel sedimenter kayaçlardan ibaretse **and** temel sağlam kumtaşı ve zayıf aratabakalı kiltaşı ve çamurtaşlarından ibaretse
and temel faylanmaya maruz ise **and** temel kıvrımlanmaya maruz ise **and** temel tabakaları arasında düşük içsel sürtünme açısı oluşacaksa **and** yeterli geçirimsiz toprak malzeme varsa **and** bölge yağışlı ise **or** bölge yağışlı değilse **and** yeterli rasgele kaya dolgu malzeme varsa **and** filtre malzemesi varsa **and** temelde iyileştirme yapılacaksa **and** geçirimsiz malzeme tüm gövde için yeterli değilse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse
Then oldukça yatık şevli (1/7 gibi) rasgele kaya zonlu ve kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

84. Kaya dolgu baraj inşası zor, ekipman ihtiyacı fazladır (Leps, 1988). Buna karşılık olarak kum çakıl dolgu inşası kolay, ekipman gereksinimi kaya dolguya göre çok azdır. Kaya dolgu inşası, kum çakıl dolgu inşasına göre daha pahalı olmaktadır. Kum çakıl malzemenin iri olması arzu edilmektedir (Hasan Usul, 1996 -görüşme-).

If temel sedimanter kayaçlardan ibaretse **and** temel sağlam kumtaşı ve zayıf ara tabakalı kiltaşı ve çamurtaşından ibaretse
and temel faylanmaya maruz ise **and** temel kıvrımlanmaya maruz ise
and temel tabakaları arasında düşük içsel sürtünme açısı oluşacaksa **and** yeterli kil varsa **and** yeterli kum çakıl malzeme varsa
and bölge kurak fakat inşa suyu temini mümkünse **and** inşa esnasında taşkın ihtimali yoksa **and** baraj yüksekliği <150 m ise
Then kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

85. Temelde alüvyon derinliği fazla ise kaya dolgu baraj uygun olmaz. Kaya dolgu kayaya oturtulur. Zemin ne ise üzerine de o malzeme yerleştirilebilir (Sami Güzel, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli gevşek alüvyon ise **and** temelde sızdırmazlık için iyileştirme yapılacaksa
and temel taşıma gücü kum çakıl dolgu için uygun ise **and** kil malzeme bol olarak varsa
Then -sızma kontrolü ve taşıma gücü testleri ve iyileştirmeleri yapılarak - kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj seçilebilir.

86. Payandalı barajlar, klasik beton ağırlık barajlara göre % 30-50 oranında baraj yüksekliği 12 metreden fazla olması durumunda beton maliyetinde koruma sağlar (Franklin and Dusseault, 1991).

If baraj yüksekliği 50 - 75 metre ise **or** baraj yüksekliği 100 - 150 metre ise **and** baraj temeli üniform değilse
and baraj temeli yumuşak kaya + çok sert kaya ise **and** baraj temeli yumuşak kaya + sert kaya ise
and baraj temeli çok sert kaya + sert kaya **and** vadi yamaçları dik değilse **and** vadi orta genişlikte ise **or** vadi çok geniş ise
and temelde az oturma gözlenecekse **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** kil malzeme sıkıntısı varsa
and dolgu baraj ekipman gereksinimi varsa **and** kum çakıl malzeme varsa **and** ülkede demir sıkıntısı yoksa
and işçilik çok pahalı değilse **and** buz kalıpları basınçları varsa **and** dolusavak kapasitesi fazla ise
and baraj inşa esnasında su taşkını söz konusu ise **and** U kaldırma basınçları oldukça fazla ise **and** bölge çok sismik değilse
Then düz dilimli payandalı baraj seçilebilir.

87. Çok kemerli baraj, payandalı barajların bir çeşididir ve daha az beton gerektirmesine karşın daha kalifiyeli eleman gerektirir (Franklin and Dusseault, 1991).

If vadi yüksekliği alçak ise **and** vadi yamaçları dalgalı ise **or** vadi yamaçları düzgün değişken ise
and vadi yamaçları yatık şevli ise **and** vadi geniş ise **and** baraj temeli sağlam kaya ise **or** baraj temeli orta sağlamlıkta kaya ise
and dolgu malzeme eksikliği varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **and** dolusavak gövde üzerinde olması gerekiyorsa
and baraj yüksekliği <260 metre ise **and** temelde farklı oturma gözlenmeyecekse
Then çok kemerli payandalı baraj seçilebilir.

88. Eğer vadi uzun ise temel kaya ve baraj yüksekliği fazla değilse ve baraj yeri için ağırlık baraj inşaatı pahalı ise o zaman çok kemerli payandalı baraj seçilebilir (Armstrong, 1977).

If vadi genişliği çok büyük ise **and** baraj temeli sağlam kaya ise **and** beton ağırlık baraj gayrı ekonomik ise
and baraj yüksekliği 260 metreden az ise **and** dolgu malzeme kıtlığı varsa **and** işçilik çok pahalı değilse
and tek kemer ile vadi kapatılamıyorsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **and** ülkede demir sıkıntısı yoksa
and beton için çimento malzeme temin edilecekse
Then çok kemerli payandalı baraj seçilebilir.

89. Bazı bölgelerde dolgu malzeme temini güçtür. Eğer işçilik ucuz ve temel kaya ise payandalı baraj seçilebilir (Creager vd, 1957).

If vadi temeli kaya ise **and** temelde bazı küçük boyutta sağlam olmayan kayaçlar mevcutsa
and dolgu malzemesi temin edilemiyorsa **and** payandalar sağlam kayaya oturtulabilecekse **and** geçirimsiz kil, rasgele kaya dolgu malzemesi temin edilebilecekse **and** kum çakıl malzeme bol değilse **and** işçilik çok pahalı değilse **and** vadi orta genişlikte ise
or vadi geniş ise **and** yamaçlar sağlam kaya değilse **or** yamaçlar sağlam kaya ise **and** vadi yamaçları dik değilse
or vadi yamaçları tatlı bir eğime sahip ise **and** B/H oranı 4'ten büyük ise
Then payandalı baraj seçilebilir.

90.Eğer akarsu akımı çok fazla ise ve nehir yatağı büyük ise taşkın debisi fazla ise bu yerler için dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır. Payandalı barajlarda dolusavağı gövde üzerine oturtmak mümkündür.

If vadi oldukça geniş ise, B/H>7 ise **and** baraj çok yüksek inşa edilecekse **and** baraj yerine yakın toprak malzeme yok ise
and baraj yüksekliği > 20 metre ise **or** toprak malzeme taşınımı or istimlakı ekonomik değilse **or** H=20 m ve L(Kret kotu)>1000 m
and baraj temeli sağlam kaya (çok sert kaya - sert kaya) ise **and** temelin taşıma gücü ve elastisite modülü iyi ise
and kum çakıl malzeme mevcut fakat tüm gövde için yeterli değilse **and** işçilik çok pahalı değilse **and** yamaçlar dolusavak için uygun ise **or** yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** akarsu akımı çok fazla ise **or** akarsu akımı çok fazla değilse
Then çok kemerli payandalı baraj seçilebilir.

91. RCC barajları her türlü yüksekliklerde inşa etmek mümkündür (Hansen, 1991).

If vadi oldukça geniş ise, B/H>7 ise **and** baraj çok yüksek inşa edilecekse **and** baraj yerine yakın toprak malzeme yok ise
and baraj yüksekliği > 20 metre ise **or** baraj yüksekliği < 20 metre ise **or** toprak malzeme taşınımı or istimlakı ekonomik değilse
or H=20 m ve L(Kret kotu)>1000 m ise **and** baraj temeli sağlam kaya (çok sert kaya - sert kaya) ise
and temelin taşıma gücü ve elastisite modülü iyi ise **and** kum çakıl malzeme tüm gövde için yeterli ise
and uçucu kül veya puzolan varsa **and** işçilik çok pahalı ise **and** yamaçlar dolusavak için uygun ise
or yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** akarsu akımı çok fazla ise **or** akarsu akımı çok fazla değilse
Then RCC baraj seçilebilir.

92. Payandalı barajlarda barajın oturduğu tüm aksın temelinin sağlam olması gerekmez. Sadece ayakların oturduğu kısımların sağlam kaya olması yeterlidir (Armstrong, 1977).

If vadi oldukça geniş ise **and** baraj çok yüksekliği < 140 m ise **and** baraj yerine yakın toprak malzeme yok ise
or toprak malzeme taşınımı ekonomik değilse **or** toprak malzeme taşınımı or istimlakı ekonomik değilse
or H=20 m ve L(Kret kotu)>1000 m ise **and** baraj temeli kaya (çok sert kaya - sert kaya - yumuşak kaya) ise
and temelde kısmen çatlaklar varsa **and** payandalar sağlam kayaya oturtulabilecekse
and temelin taşıma gücü ve elastisite modülü iyi ise **and** kum çakıl malzeme tüm gövde için yeterli değilse
and bol olmayan kum çakıl malzeme taşınımı ekonomik ise **and** uçucu kül yoksa
and işçilik çok pahalı değilse **and** yamaçlar dolusavak için uygun ise **or** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
and dolusavak gövde üzerinde olması gerekiyorsa and akarsu akımı çok fazla ise **or** akarsu akımı çok fazla değilse
Then payandalı baraj seçilebilir.

93. Barajlarda heyelan ile gövde üzerinden su aşması olabilmektedir. Eğer temel kil ise o zaman bu aksa baraj yapmak risklidir.

If baraj temeli derin kil ise **or** baraj temeli mukavemeti düşük herhangibir toprak ise **and** baraj yüksek veya alçak inşa edilecekse
and taşıma gücü düşük ise **and** rezervuarda büyük bir heyelan tehlikesi varsa **and** barajın üzerinden su aşmasına neden olacaksa
Then bu aksa baraj yapımından vazgeçilir.

94. Faylar, kesmeler, açıklıklar, yaprak gibi ince tabakalı teşekküller, homojen olmayan kısımlar; çoğu temel formasyonunda vardır. Bunların sıklığı, boyutu, sürekliliği herhangibir baraj tipi için uygun

temele karar vermede önemli faktördür. Bir baraj yerinde büyük veya aktif bir fay zonunun varlığı kemer baraj tipi seçimini olanaksız kılmaktadır (Armstrong, 1977).

If baraj yerinde kayaçta büyük bir fay varsa **or** baraj yerinde aktif bir fay varsa **and** vadi dar ise **or** B/H<6 ise
and yamaçlar sağlam kaya ise **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then kemer baraj seçimi uygun olmamaktadır.

95. Bazı topoğrafik durum dolusavağın baraj içerisinden geçmesini zorunlu kılmaktadır. Gerekli dolusavak kapasitesi çok büyük ise barajın büyük bir kısmı dolusavak ile kapatılıyorsa, bu durumda beton ağırlık baraj kullanımı dikkate alınmalıdır (Armstrong, 1977).

If vadi geniş ise **and** dolusavak kapasitesi oldukça fazla ise **and** baraj temeli kaya ise
and barajın büyük bir bölümü dolusavak ile kapatılıyorsa **and** baraj düşük yükseklikli ise
or baraj yüksek inşa edilecekse **and** puzolanik malzeme yoksa **and** kum çakıl malzeme varsa
and baraj sonradan yükseltilecekse and kaya temeldeki aksaklıklar daha sonradan da ıslah edilecekse
or su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa
Then klasik beton ağırlık baraj seçilebilir.

96. Yayvan bir vadi toprak veya beton ağırlık bir barajın yapımını gerektirirken; sarp bir vadi kemer baraj için uygun olmaktadır" (USBR, 1986). Bir dolusavak bir barajın hayati önem taşıyan ilave bir yapısıdır. Çoğunlukla onun boyutu ve tipi ve onun yerindeki tabii sınırlamaları baraj tip seçiminde kontrol faktörü olmaktadır. Büyük bir dolusavağın inşa maliyeti barajın toplam maliyeti üzerinde önemli bir yer tutmaktadır (USBR, 1987).

If vadi geniş ise **and** dolusavak kapasitesi oldukça fazla ise **and** baraj temeli kaya ise **and** barajın büyük bir bölümü dolusavak ile kapatılıyorsa **and** baraj düşük yükseklikli ise **or** baraj yüksek inşa edilecekse **and** puzolanik malzeme varsa **and** kum çakıl malzeme varsa **and** baraj sonradan yükseltilecekse **or** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa
Then RCC baraj seçilebilir.

97. Vadiler eğer B/H<3 ise gorges, bu değer 3 ile 6 arasında ise dar vadi, bu oran 6'dan büyük ise geniş vadi olarak belirtilmektedir. Tipik olarak ince kemer barajlar 3 ve 3'ten daha küçük olması halinde baraj ekonomik olmaktadır. 3 ile 6 arasında kalın kemer baraj, 6'ten daha büyük yerler için beton barajlar veya diğer tipler uygun olmaktadır (Franklin and Dusseault, 1991). V şekilli sağlam vadilerde en ekonomik baraj tipi kuşkusuz kemer barajdır (Şentürk, 1955).

If baraj temeli kaya ise **and** yamaçlar sağlam ise **and** iki nehir birbirine yakın akıyorsa
and iki nehir üzerinde de baraj inşa edilecekse **and** yamaçlar hemen hemen aynı kotta ise
and ortak merkezi sırt sağlam kaya ise **and** ortak merkezi sırt yamaçlar ile aynı kotta ise
and 30 metreden yüksek inşa edilecekse **and** dolusavak için uygun yer var veya yoksa
and vadi dar ise **and** vadi V şekilli ise **and** B/H<6 ise **and** yamaçta ve temelde suda eriyen kayaçlar yoksa
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa **and** ülkede demir ve kalifiyeli işçi sıkıntısı varsa
Then her iki nehir için de kemer baraj seçilebilir.

98. Toprak temeller üzerine kemer baraj inşası uygun değildir. Günümüze kadar hiçbir toprak temel üzerine kemer baraj inşa edilmemiştir (Nihat Kardayı, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise
and kil malzeme yeterince varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge yağışlı ise **and** vadi dar ise
Then ince kemer baraj uygun olmamaktadır.

99. **If** baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise **and** kil malzeme yeterince varsa
and beton için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge yağışlı ise **and** vadi dar ise
Then kalın kemer ağırlık baraj uygun olmamaktadır.

100. Kil temeller üzerine ağırlık barajların inşası uygun değildir. Ancak temel zayıf temel ise düşük yükseklikli ağırlık barajların taban genişliğini genişleterek radye şeklinde yaparak inşa etmek mümkündür (Makoto Abe, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** baraj yüksek inşa edilecekse
and temel mukavemeti düşük ise **and** kil malzeme yeterince varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa
and bölge yağışlı ise **and** vadi dar ise
Then klasik beton ağırlık baraj uygun olmamaktadır.

101. Payandalı barajları kil temeller üzerine inşa etmek uygun değildir (Creager vd, 1957).

If baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** baraj yüksek inşa edilecekse

and temel mukavemeti düşük ise **and** kil malzeme yeterince varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa
and bölge yağışlı ise **and** vadi dar ise **and** kum çakıl malzeme varsa
Then payandalı baraj uygun olmamaktadır.

102. **If** baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** baraj yüksek inşa edilecekse **and** temel mukavemeti düşük ise **and** kil malzeme yeterince varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge yağışlı ise **and** vadi dar ise **and** kaya malzeme varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

103. RCC barajların tasarım ilkeleri klasik beton ağırlık barajların tasarım ilkeleri ile aynıdır. Bu tip barajlar temele büyük yükler aktarırlar. Bu nedenle bu tip temeller üzerine RCC baraj inşası uygun olmamaktadır. Yalnız baraj yüksekliği çok az ise ve bölgede toprak malzeme kıtlığı varsa o zaman temelde yük yayılarak bu tip baraj inşası düşünülebilir (Hansen, 1991).

If baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** baraj yüksek inşa edilecekse
and temel mukavemeti düşük ise **and** kil malzeme yeterince varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa
and bölge yağışlı ise **and** vadi dar ise **and** uçucu kül varsa
Then RCC baraj uygun olmamaktadır.

104. ÖYBK kaya dolgu barajlar sağlam kaya temellere gereksinimleri vardır (Fitzpatrick vd., 1985).

If baraj temeli toprak ise **or** baraj temeli kil ise **and** baraj yüksek inşa edilecekse **and** temel mukavemeti düşük ise
and kil malzeme yeterince varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge yağışlı ise
and vadi dar ise **and** kaya malzeme varsa **and** asfalt kaplama malzemesi varsa **and** bölge sıcak değilse
Then ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

105. Kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda baraj yüksekliği düşük olursa filtre teşkili zor ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle eğer baraj yüksekliği 20 m.den az ise o zaman kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçimi ekonomik olmamaktadır (Hasan Usul, 1996 -görüşme).

If vadi orta veya geniş ise **and** baraj yüksekliği 20 m.den fazla ise **and** temelde alüvyon depozit kalınlığı çok az ise **or** temelde çok az morainik depozit varsa **and** ana kaya sağlam veya orta sağlamlıkta ise **and** kaya dolgu malzeme varsa **and** kil malzeme var ve ekonomik ise **and** filtre malzemesi varsa **and** yamaçta dolusavak için uygun yer varsa **and** baraj yüksek inşa edilecekse
Then kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

106. Eğer vadi orta genişlikte ise ve baraj aks yerinde nehir yatağı alüvyonu derinliği kaldırılabilecek kadar az, ise o zaman alüvyon veya depozit malzeme ana kayaya kadar kaldırılır. Bu vadi için bir ağırlık baraj seçilebilir (Novak, 1990).

If vadi orta genişlikte ise **and** temelde alüvyon depozit kalınlığı çok az ise **or** temelde çok az morainik depozit varsa
and ana kaya sağlam veya orta sağlamlıkta ise **and** kaya dolgu malzeme varsa **and** kil malzeme var ve ekonomik ise
and filtre malzemesi varsa **and** uçucu kül varsa **and** yamaçta dolusavak için uygun yer yoksa **and** baraj yüksek inşa edilecekse
Then RCC baraj seçilebilir.

107.Erimeli kireçtaşları üzerine inşa edilen barajlarda özel bir durum sözkonusu olmaktadır. Burada sızma ve su kaçaklarını engellemek için aşırı enjeksiyona gerek olmaktadır.Bu durumlarda seçilen baraj tipi; enjeksiyon işleminin yapılmasına, baraj inşa halinde iken veya baraj gövde bitimi esnasında izin verilebilmelidir. Bu nedenle, ÖYBK kaya dolgu baraj veya eğik toprak çekirdekli kaya dolgu baraj yapımı uygun olur (Fell, 1992).

If baraj temeli kaya ise **and** temel kayacında erimeli kireçtaşları mevcutsa **or** temel kayacı eriyerek boşluklar oluşturacaksa
and temel mukavemeti kaya dolgu için uygun ise **and** yeterli kaya dolgu malzeme temin edilebiliyorsa
and bölge yağışlı ise **or** bölge çok yağışlı değilse **or** bölge kurak ise
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse **and** betonarme membran için yeterli kum çakıl malzeme varsa
and yeterli enjeksiyon yapılacaksa **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

108. Klasik beton ağırlık barajlar, RCC (SSB), RCD, ÖYBK kaya dolgu barajlar ve eğik kil çekirdekli kaya dolgu barajlar sonradan yükseltilmeye uygundur. Fakat, merkezi kil çekirdekli, beton çekirdekli ve asfalt çekirdekli dolgu barajlar, kemer barajlar ve payandalı barajlar sonradan yükseltmeye uygun değildirler (Fell, 1992 ve Hasan Usul, 1997 -görüşme-).

If vadi çok geniş ve derin ise **and** baraj temeli yumuşak kaya ise **and** temel mukavemeti iyi ise
and dolusavak kapasitesi büyük ise **and** büyük taşkın akımı sözkonusu ise **and** beton için kum çakıl malzeme varsa
and geçirimsizlik için kil malzeme temini ekonomik değilse **and** kaya dolgu malzeme yeterli kalite ve miktarda ise
and baraj sonradan yükseltilecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

109. Karst kireçtaşlı temeller çoğunlukla aşırı enjeksiyon gerektirirler. Su kaçaklarını önlemek için bu gereklidir. İnşaat süresinin uzamaması için enjeksiyon işlemine sürekli devam edilmesi gerekmektedir. ÖYBK kaya dolgu barajlar bu işlem için oldukça idealdır (Fell, 1992).

If baraj temeli karst kireçtaşı ise **and** su kaçakları problemi varsa **and** aşırı enjeksiyon çalışması gerektiriyorsa
and inşa süresi sınırlı ise, erken bitirilmesi gerekiyorsa **and** yeterli kaya dolgu malzeme varsa
and beton için yeterli kum çakıl malzeme varsa **and** baraj yüksek inşa edilecekse
or baraj yüksekliği >20 metre ise **and** bölge yağışlı ise **and** baraj sonradan yükseltilecekse **and** baraj sonradan yükseltilmeyecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

110. Dik vadi duvarları, toprak çekirdek tipli barajlarda önemli oturma problemleri doğurmaktadır. Bu durumda beton barajların inşa edilmesi daha uygun olmaktadır (Armstrong, 1977).

If baraj temeli mukavemeti yüksek yumuşak kaya ise **or** baraj temeli çok sert kaya ise **or** baraj temeli sert kaya ise
and yeterli kil malzeme varsa **and** vadi yamaçları çok dik ise **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise
and kum çakıl malzeme varsa **or** baraj sonradan yükseltilecekse **and** topoğrafya toprak malzeme taşınımına uygun değilse
or yamaç şevlerinde yerel değişmeler varsa **and** uçucu kül varsa
Then RCC baraj seçilebilir.

111. ÖYBK kaya dolgu ve RCC barajlarda devasa derivasyon tünellerine gerek yoktur. Bu tipler farklı yüksekliklerde ve uzunluklarda inşa edilebilirler.

If baraj temeli kaya ise **and** yamaçlar sağlam değilse **and** iki nehir birbirine çok yakın ise
and iki nehir üzerinde de baraj inşa edilecekse **and** yamaçlar hemen hemen aynı kotta ise **and** ortak merkezi sırt sağlam kaya ise
and ortak merkezi sırt yamaçlar ile aynı kotta ise **and** baraj yüksekliği >20 metre ise **and** vadi dar ve dik ise **or** vadi orta genişlikte
or H=20 metre ve L>1000 m ise **and** yeterli kaya dolgu malzeme varsa **and** yeterli kaya ekonomik olarak taşınabiliyorsa
and kil malzeme ekonomik mesafede değilse **or** kil malzeme yeterli değilse **or** kil malzeme istimlakı pahalı ise
or kil malzeme temininde çevrecilerin tepkisi fazla ise **or** baraj sonradan yükseltilecekse
and su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu değilse
Then her ikisi için de ÖYBK kaya dolgu seçilebilir.

112. ÖYBK kaya dolgu barajlar ideal olarak serbest drenajlı olarak inşa edilmektedir. Yüzey plağının kaya dolguya sabit ve üniform olarak oturtulması için, kaya dolgu ile yüzey plağı arasına bir geçiş kaya dolgu zonu yerleştirilmektedir. Bu tip barajlar genellikle yüksek yağış bölgelerinde, toprak dolgunun yerleştirilmesinin ekonomik ve pratik olmadığı yerlerde, ve iyi kaya temele haiz baraj yerlerinde uygulanmaktadır. Bu tip barajların 300 m'ye kadar inşa edilebilecekleri Berry C., 1989 tarafından belirtilmiştir. 20 m'den daha düşük yükseklikte plinth ve yüzey plağının inşası oldukça fazla maliyete yapılabilmektedir. Bu durumda bu tip barajlar ekonomik olmamaktadır (Fell vd, 1992).

If baraj temeli kaya ise **and** rezervuarda büyük bir heyalan tehlikesi varsa **and** bölgede bol miktarda geçirimsiz malzeme varsa
and bölgede toprak malzeme temini kaya dolgu malzeme temininden daha ekonomik ise
and oluşacak heyelan barajın üzerinden su aşmasına neden olacaksa **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise
and bölge çok yağışlı değilse **or** bölge çok yağışlı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** beton için yeterli kum çakıl malzeme varsa
and vadi dar ise **or** vadi geniş ise **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

113. RCC barajlar üzerinden su aşması baraja çok az zarar verir (Franco vd, 1995).

If baraj temeli kaya ise **and** rezervuarda büyük bir heyelan tehlikesi varsa **and** bölgede bol miktarda geçirimsiz malzeme varsa
and bölgede toprak malzeme temini kaya dolgu malzeme temininden daha ekonomik ise
and oluşacak heyelan barajın üzerinden su aşmasına neden olacaksa **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
and bölge çok yağışlı değilse **or** bölge çok yağışlı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** uçucu kül varsa
and beton için yeterli kum çakıl malzeme varsa **and** vadi dar ise **or** vadi geniş ise **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then RCC baraj seçilebilir.

114. Dar ve dik vadi enkesitlerinde vadinin hareketi neticesinde yanal basıncın tesiri nedeniyle toprak dolgu baraj gövdesinde oturma meydana geleceğinden dolgu baraj inşa edilmemesi önerilmektedir (Thomas, 1976).

If baraj temeli düşük mukavemetli kaya ise **and** yamaçlar sağlam kaya ise **and** vadi dar ve dik ise **and** bölge yağışlı ise
or bölge kurak ise **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **and** kil malzeme ekonomik olarak temin edilemiyorsa
and puzolan temini mümkün değilse **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

115. Eğer baraj inşa edilecek yerde inşaatta kullanılacak su eksikliği varsa o zaman kil çekirdekli tipler pek uygun olmamaktadır (Ömür Özeriç, 1997 -görüşme-).

If baraj temeli kaya ise **and** yeterli miktarda kaya varsa **and** yeterli miktarda geçirimsiz toprak malzeme varsa
and bölgede iklim oldukça kurak ise **and** inşaatta kompaksiyon için kullanılacak su eksikliği varsa
and yüzey betonu için yeterli kum çakıl malzeme varsa **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

116. **If** baraj yerine malzeme taşınması için ulaşım zorluğu çok fazla ise **and** yamaç eğimleri %70 ten fazla ise
and yeterli kaya dolgu malzeme baraj aksına yakın ise **and** baraj temeli mukavemeti yüksek yumuşak kaya ise
or baraj temeli çok sert kaya ise **or** baraj temeli sert kaya ise **and** temelde problemler varsa **and** temeldeki problemler giderilecekse
and yamaçlar sağlam değilse **and** baraj yüksekliği > 20 metre ise
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

117. Bir toprak veya kaya dolgu baraj çoğunlukla herhangibir klasik beton ağırlık barajdan daha ucuz olmaktadır. Bu durumda malzeme baraj yerinde veya yakınında uygun olarak bulunması gerekmektedir. Bu nedenle, eğer şartlar uygun ise bir dolgu baraj yapımı beton ağırlık baraja tercih edilmelidir (Şentürk, 1955 ve Creager vd,1957).

If baraj yüksekliği >20 ise **or** H =20 ve L>1000 metre ise **and** baraj çok yüksek inşa edilecekse
and baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj temeli yumuşak kaya + çok sert kaya ise
or baraj temeli yumuşak kaya + sert kaya ise **or** baraj temeli çok sert kaya + sert kaya ise
and kaya temini mümkün ise **and** kazılardan kaya malzeme temin edilecekse
and bölgede kil malzeme kısıtlı ise **and** bölge çok yağışlı ise **and** beton için kum çakıl malzeme varsa
and yamaçlar dolusavak için uygun ise **and** vadi alçak ve çok geniş ise **or** vadi orta genişlikte ise **or** vadi dar ve dik ise
and bölge çok sismik ise **or** inşa esnasında taşkın ihtimali varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

118. Dolgu barajlar heterojen kaya temeller üzerine gerekli tedbirler alınarak inşa edilebilir (USBR, 1987).

If baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj yüksekliği 20-50 m ve arasında ise **and** temel çok sağlam kaya karışımlarından ibaretse **or** temel sağlam kaya karışımlarından ibaretse **or** temel orta sağlamlıkta kaya karışımlarından ibaretse **and** bol miktarda kaya malzeme varsa **and** beton için kum çakıl malzeme varsa **and** bölge çok sismik ise **and** kil malzeme eksikliği varsa
and vadi geniş ise **and** yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

119. Cenza Barajı hidroelektrik enerji üretmek amacıyla inşa edilmiştir. Altı ayda betonlama işlemi tamamlanmıştır. Bunu diğer tiplerle başarmak imkansızdır. Baraj başlangıçta asfalt kaplı kaya dolgu baraj tipte planlanmıştır. Fakat burada çevrecilerin taş ocağı fikrine büyük tepkileri olmuştur. Bu nedenle bu tip yapımından vazgeçilmiş ve RCC yapımına karar verilmiştir. 100 km mesafeden RCC için gerekli agrega taşınmıştır. Bu seçim çevrecilerin inşaatı durdurmaları riskine karşı alınmıştır (Hansen, 1991).

120. **If** baraj temeli sağlam kaya ise **or** baraj temeli fissürlü ve az çatlaklı sert kaya ise **and** kum çakıl malzeme temini uygun ekonomik mesafede değilse (100 km gibi) **and** kaya malzeme temini kum çakıl malzeme temininden daha ekonomik ise **and** uçucu kül varsa **and** çevrecilerin taş ocağı malzemesi için büyük tepki ve yetkileri varsa **and** baraj sonradan yükseltilecekse
Then RCC baraj seçilebilir.

121. Özellikle ABD ve Japonya'da zayıf temeller üzerine düşük yükseklikli barajlar inşa edilmiştir. Ancak temel yükü daha geniş bir alana ve üniform olarak dağıtması için radye temel yapılmalıdır.

If baraj yerinde büyük bir fay varsa **or** baraj yarinde aktif bir fay varsa **and** vadi dar ise **and** vadi U şekilli ise
and yamaçlar sağlam kaya ise **and** B/H<6 ise **and** temel ve yamaçta suda eriyen kayaçlar varsa **and** baraj sonradan yükseltilecekse
and baraj yüksekliği <20 metre ise **and** kil malzeme sıkıntısı varsa **and** uçucu kül varsa
Then memba ve mansap tarafta baraj temeli geniş tutularak (bir istinat duvarı şeklinde), barajın temel yüzey alanı büyültülerek bir RCC baraj seçilebilir.

122. Bir baraj yeri için kil malzeme taşıma mesafesi uygun değilse yapı ekonomik olmamaktadır.

If vadi temeli yumuşak kaya, sert kaya veya çok sert kaya ise **and** yeterince kaya malzeme varsa
and yeterince geçirimsizlik için toprak malzeme varsa **and** kum çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilecekse
and yeterli puzolan varsa **and** vadi darsa **or** vadi orta genişlikte ise **or** vadi geniş ise **or** baraj sonradan yükseltilecekse
or baraj üzerinden inşa esnasında su aşması sözkonusu ise **and** geçirimsiz malzeme taşıma mesafesi ekonomik değilse
Then RCC baraj seçilebilir.

123. Bir ülkede beton barajlardan daha çok dolgu barajların olmasını, müteahhitlerin makine parklarının dolgu baraj yapımına uygun olmasına ve müteahhitlerin ve mühendislerin dolgu baraj yapımında daha tecrübeli olmalarına bağlamak mümkündür (Nihat Karadayı, 1996 -görüşme-).

If vadi temeli yumuşak kaya, sert kaya veya çok sert kaya ise **and** yeterince kaya malzeme varsa
and müteahhitin makina parkı dolgu baraj için uygun ise **and** mühendisler dolgu baraj yapımında pratikleşmiş iseler

and yeterince geçirimsizlik için toprak malzeme varsa **and** kum çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilemiyecekse
and yeterli puzolan yoksa **and** filtre için kum çakıl malzeme varsa **or** vadi orta genişlikte ise **or** vadi geniş ise
or baraj üzerinden inşa esnasında su aşması sözkonusu değilse **and** geçirimsiz malzeme taşıma mesafesi ekonomik ise
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

124. Santa Eugina barajı, ilk orjinal projesi ÖYBK kaya dolgu baraj tipte üç yılda bitirilecek şekilde planlanmıştır. Barajın erken bitirilmesi gerektiğinden, RCC tipe çevrilip iki yılda inşa edilmiştir. Bunun ilk yılı kazı işlemlerine harcanmıştır (Franco and Cordova, 1995).

If baraj temeli kaya ise **and** yeterli miktarda uçucu kül varsa **and** yeterli miktarda kum çakıl malzeme varsa
or yeterli miktarda puzolan varsa **or** yeterli miktarda kırmataş varsa **and** yeterli miktarda kaya malzeme varsa
and yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise **and** barajın erken bitirilmesi gerekiyorsa
or su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then RCC baraj seçilebilir.

125. RCC barajların en önemli davranış özelliklerinden biri, üzerinden su aşması durumunda iyi performans göstermeleridir. Santa Eugenia Barajı inşa esnasında, nehir derivasyon kapasitesini aşan iki ayrı taşkın ile karşılaşmıştır. Taşkın hacimleri sırasıyla 250 ve 350 m^3/s olmuştur. İlk taşkın baraj 21 metre yüksekliğinde 91 m uzunluğunda iken, ikinci taşkın 43 m yüksekliğinde 140 m uzunluğunda iken meydana gelmiştir. Baraj bu taşkınlardan hiçbir zarar görmemiştir. Sadece kenardaki iş makinaları sürüklenmiştir. (Franco vd, 1995).

If baraj temeli kaya ise **and** temelde fissür ve çatlaklar varsa ve iyileştirilecekse **and** yeterli miktarda uçucu kül varsa
or yeterli miktarda puzolan varsa **and** yeterli miktarda kum çakıl malzeme varsa **or** yeterli miktarda kırmataş malzeme varsa
and inşa esnasında baraj üzerinden su aşma ihtimali varsa **and** yeterli kaya malzeme yoksa
or yeterli kaya malzeme ekonomik olarak temin edilemiyorsa **or** baraj sonradan yükseltilecekse
or su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa
Then RCC baraj seçilebilir.

126. RCC barajlar birçok baraj yeri için uygun ve ekonomik olmaktadır. ÖYBK kaya dolgu barajlara göre %0-%25 daha ekonomik olmaktadır. Sağ ve sol yamaç dolusavak için uygun olmadığı zaman üzerine dolusavak inşa edilebilen tip daha avantajlı olmaktadır (Dunstan, 1994).

If baraj temeli kaya ise **and** yeterli miktarda uçucu kül varsa **or** yeterli miktarda ouzolan varsa **and** yeterli miktarda kum çakıl malzeme varsa **or** yeterli miktarda kırmataş malzeme varsa **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
Then RCC baraj seçilebilir.

127. RCC barajlar üzerine dolusavak koymak mümkündür.

If vadi orta genişlikte ise **and** dolusavak kapasitesi oldukça fazla ise **and** temel kaya ise
and barajın büyük bir bölümü dolusavak ile kapatılıyorsa **and** baraj düşük yükseklikli ise
or baraj yüksek inşa edilecekse **and** puzolan malzeme varsa **or** uçucu kül varsa **and** kum çakıl malzeme varsa
and kil malzeme eksikliği varsa **or** baraj sonradan yükseltilecekse **or** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa
Then RCC baraj seçilebilir.

128. RCC baraj gövdesinden su alma tesislerinin geçirilmesi uygundur.

If baraj temeli kaya ise **and** rezervuarda oldukça büyük bir heyelan tehlikesi varsa **and** bölgede bol miktarda geçirimsiz malzeme varsa
and bölgede toprak malzeme temini kum çakıl malzeme temininden daha ekonomik ise **or** bölgede toprak malzeme temini kum çakıl malzeme temininden daha ekonomik değilse **and** oluşacak heyelan barajın üzerinden su aşmasına neden olacaksa **and** yamaçlar dolusavak için uygun ise **or** yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** kum çakıl malzeme varsa **and** yeterli puzolan varsa
and vadi dar or orta genişlikte or geniş ise **or** baraj sonradan yükseltilecekse
or su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu ise
Then RCC baraj seçilebilir.

129. Baraj tip seçiminde sık olarak kontrol edilen bir faktör olmasına rağmen, simetrik veya simetriğe yakın baraj yeri kemer barajlar için arzu edilir. Eğer baraj yerinde aşırı derecede simetrik olmayan bir durum söz konusu ise, o zaman daha ekonomik olan diğer baraj tiplerinin yapımı düşünülmelidir (Armstrong, 1977).

If vadi temeli kaya ise **and** vadi temelinde fay yoksa **and** yamaçlar sağlam kaya ise **and** yamaçlarda aşınmış ve çatlaklı kayalar yoksa
and B/H <= 6 ise **and** baraj yerinde aşırı derecede simetrik olmayan bir durum varsa **or** baraj sonradan yükseltilecekse
and kum çakıl malzeme varsa **and** uçucu kül varsa
Then RCC baraj seçilebilir.

130. FSHD barajlar düşük mukavemetli temeller üzerine inşa edilebilirler. Bunlar yükü daha geniş bir alana yayarlar (Londe, 1992).

If baraj temeli düşük mukavemetli kaya ise **and** yamaçlar sağlam kaya ise **and** yamaçlarda uygun dolusavak yeri yoksa
and temel taşıma kapasitesi beton baraj için uygun ise **and** puzolanik malzeme ekonomik olarak temin edilebiliyorsa
and kaya malzeme yeterli ise **or** baraj sonradan yükseltilecekse
Then FSHD baraj seçilebilir.

131. RCC barajların inşa süresi oldukça kısadır. Süresi kısıtlı olan bölgelerde hızlı yapım ve kısa sürede bitirebilme imkanı sağlanması açısından avantaja sahiptir. RCC barajlar ideal olarak kaya temeller üzerine inşa edilmektedirler (Hansen, 1991).

If baraj yerine toprak malzeme taşınması için ulaşım zorluğu çok fazla ise **and** yamaçlar %70'ten fazla ise
and baraj yerine yakın yeterli kaya malzeme yoksa **and** baraj aksına yakın kum çakıl malzeme varsa
and uçucu kül temin edilecekse **or** puzolanik malzeme temin edilecekse **and** baraj yüksek inşa edilecekse
or baraj alçak inşa edilecekse **and** baraj temeli orta mukavemette kaya ise **and** vadi oldukça geniş ise
and dolusavağın baraj üzerinde inşa edilmesi gerekiyorsa
Then RCC baraj seçilebilir.

132. RCC barajların inşa sürelerinin kısa olması en önemli avantajlarındandır (Dunstan, 1994).

If inşa mevsimi kısa ise **or** soğuk hava mevsimi fazla ise **or** yağışlı hava mevsimi fazla ise
and inşaat alanı turistik bir bölge ise **and** turistik bölge toprak malzeme taşınımını veya temininde güçlükler doğuruyorsa veya yoksa
and baraj temeli kaya ise **and** vadi orta genişlikte ise
Then RCC baraj seçilebilir.

133. Homojen toprak dolgu barajlar hızlı inşa edilemezler, çünkü inşaat sırasında oluşan yüksek boşluk suyu basınçlarının azalmaları için belirli bir süre geçmesi gerekmektedir. RCC barajlar oldukça erken bitirilebilmektedir (Prendergast, 1992).

If baraj temeli üniform olmayan temel ise **and** baraj yüksekliği 20-50 metre ise **and** temel çok sert kaya + sert kaya
or temel çok sert kaya + yumuşak kaya **or** temel orta sağlamlıktaki kaya karışımlarından ibaret ise
or temel iyi sıkışmış çakıl + çok sert kaya **or** temel iyi sıkışmış çakıl + sert kaya
or temel iyi sıkışmış çakıl + yumuşak kaya **and** kil malzeme eksikliği varsa
or kil malzeme taşıma mesafesi fazla ise **and** uçucu kül or başka bir puzolanik malzeme varsa
and yamaçlar dolusavak için uygun değilse **or** barajın erken bitirilmesi gerekiyorsa
Then FSHD baraj seçilebilir.

134. FSHD barajların inşa maliyeti çok düşüktür. Simetrik yapılarından dolayı homojen olmayan temellerde uygulanabilirler (Londe, 1992).

If baraj yüksekliği 50-75 metre ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and temel yumuşak kaya + çok sert kaya ise **or** temel yumuşak kaya + sert kaya ise
or temel sağlam ve sıkı çakıl + çok sert kaya ise **or** temel sağlam ve sıkı çakıl + sert kaya ise
or temel sağlam ve sıkı çakıl + yumuşak kaya ise **and** kum çakıl malzeme varsa
and kaya malzeme yoksa **and** kil malzeme yoksa **and** puzolanik malzeme varsa
and kum çakıl malzeme temini kaya malzeme temininden daha ekonomik ise
and yamaçlar dolusavak için uygun değilse **or** yamaçlar dolusavak için uygun ise **or** büyük dolusavak kapasitesi varsa
Then FSHD baraj seçilebilir.

135. RCC barajlar gövdesinde ve diğer elemanlarında kullanılan malzemelerden ve baraj elemanlarının boyutlarından dolayı çoğunlukla düşük maliyette inşa edilebilme bakımından avantaja sahiptir Toprak dolgu yapılarda, kil malzemede en büyük sıkışmayı sağlayacak optimum su içeriğine kadar ıslatılma ya da özellikle kurutma işlemindeki zaman kaybına benzer bir durumun olmaması ve dolayısıyla zamandan tasarruf sağlanması avantajına sahiptir (Schrader, 1982).

If baraj 75 metreden daha yüksek ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise
and baraj temeli yumuşak kaya + çok sert kaya ise **or** baraj temeli sert kaya + çok sert kaya ise
and vadi dar or orta or geniş topoğrafyaya sahip ise **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
or yamaçlar dolusavak için uygun ise **and** kil sıkıntısı varsa **or** kil malzeme taşıma mesafesi uygun değilse
or kil malzeme taşımak için uygun topoğrafya yoksa **and** kum çakıl malzeme varsa
and ülkede demir sıkıntısı varsa **or** barajın erken bitirilmesi gerekiyorsa
or dolusavak kapasitesi çok fazla ise **or** baraj sonradan yükseltilecekse
or baraj inşa esnasında su taşkını olma ihtimali varsa **or** bölge çok sismik ise
Then RCC baraj seçilebilir.

136. RCC barajlar yüksek inşa edilebilme imkanına sahiptir. Yüksek inşa edilmesi halinde iyi performans gösterdiği yapılan statik ve dinamik analizler, ve tecrübelerle ispatlanmıştır. RCC ve RCD

barajların inşası esnasında meydana gelen taşkınlardan diğer birçok baraj tiplerine göre çok daha az zarar görürler (Sarkaria and Andriolo, 1995).

If baraj yüksekliği <=20 metre ise **and** baraj temeli üniform olmayan temel ise **or** dolusavak için uygun yer yoksa
and baraj temeli yumuşak kaya + çok sert kaya ise **or** baraj temeli sert kaya + çok sert kaya ise
or baraj temeli çok sert kaya + iyi sıkışmış çakıl ise **or** baraj temeli sert kaya + iyi sıkışmış çakıl ise
or baraj temeli yumuşak kaya + iyi sıkışmış çakıl ise **or** baraj temeli silt ve ince kum karışımı + iyi sıkışmış çakıl ise
or baraj temeli sillt ve ince kum karışımı + kaya isc **and** vadi dar or orta or geniş topoğrafyaya sahip ise
and baraj inşa halinde iken baraj üzerinden su aşma ihtimali varsa **and** kil sıkıntısı varsa
and kum çakıl malzeme yeterli ise **and** uçucu kül or puzolan varsa **and** dolusavak için uygun yer varsa
Then RCC baraj seçilebilir.

137. Dik vadi duvarları, çekirdekli barajlarda önemli oturma problemine neden olmaktadır. Bu durumda beton barajlar, veya ön yüzü beton kaplı baraj inşası uygun olmaktadır (Armstrong, 1977)

If vadi temeli sağlam kaya ise **and** yeterince kaya malzeme varsa
and yeterince geçirimsiz toprak malzeme varsa **and** vadi yamaçları çok dik ise
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

138. **If** vadi temeli sağlam kaya ise **and** yeterince kaya malzeme varsa **and** yeterince geçirimsiz toprak malzeme varsa
and vadi yamaçları çok dik ise
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

139. **If** vadi temeli sağlam kaya ise **and** yeterince kaya malzeme varsa **and** yeterince geçirimsiz toprak malzeme varsa
and vadi yamaçları çok dik ise
Then merkezi beton çekirdekli kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

140. **If** vadi temeli sağlam kaya ise **and** yeterince kaya malzeme varsa **and** yeterince geçirimsiz toprak malzeme varsa
and vadi yamaçları çok dik ise
Then merkezi asfalt çekirdekli kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

141. Derin dik yamaçlı kanyon bir vadide dolusavağı ayrı olan bir kaya dolgu barajdan, bir beton baraj daha ekonomik olmaktadır (USBR, 1987).

If vadi temeli sağlam kaya ise **and** yeterince kaya malzeme varsa **and** yeterince geçirimsiz toprak malzeme varsa
and vadi yamaçları çok dik ise **and** yeterli uçucu kül varsa
Then RCC baraj seçilebilir.

142. Eğer temel kaya ise ve daha sonradan ıslah edilmesi gerekecek ise beton ağırlık baraj seçmek yerinde olur (USBR, 1987).

If temeller silt ve ince kum ise **and** kil malzeme sıkıntısı fazla ise **and** baraj yüksekliği<=20 metre ise
and uçucu kül yoksa **and** baraj temelinde çıkacak aksaklıklar sonradan da ıslah edilecekse
Then klasik beton ağırlık baraj seçilebilir.

143. Silt, kil, kum, çakıl temeller üzerine aşağıdaki işlemler yapılması halinde 15 m yüksekliğinde ve memba ile mansap su seviyeleri arasındaki kot farkı 6 m'den fazla olmaması halinde ve mansap apronları yapılarak ve drenler ve katofflar yapılması şartıyla beton ağırlık baraj inşa etmek mümkün olmaktadır. Yalnız temelin taşıma kapasitesi yeterli olması gerekir.(Armstong, 1977).

If temeller silt ve ince kum ise **and** kil malzeme yoksa **and** baraj yüksekliği<=15 metre ise **and** memba ile mansap arasındaki su kotu farkı <=6 m ise **and** vadi orta genişlikte ise **and** puzolan yoksa **and** beton için kumçakıl malzeme varsa **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** vadi geniş ise **and** temel taşıma gücü yapılacak barajı taşıyacak kayma mukavemetine sahip ise
Then (taban geniş tutularak) klasik beton ağırlık baraj seçilebilir.

144. Eğer silt ve ince kum içeren bir vadide dolgu baraj inşa etmek uygun değilse baraj yüksekliği 20 m'den az ise FSHD baraj inşa edilebilir.

If temeller silt ve ince kum ise **and** kil malzeme yoksa **and** baraj yüksekliği<=15 metre ise **and** memba ile mansap arasındaki su kotu farkı <=6 m ise **and** vadi orta genişlikte ise **and** beton için kumçakıl malzeme varsa **and** yamaçlar dolusavak için uygun değilse **and** temel taşıma gücü yapılacak barajı taşıyacak kayma mukavemetine sahip ise **and** vadi geniş ise **and** puzolan yoksa
Then (taban kayma gerilmesine karşı geniş tutularak) FSHD baraj seçilebilir.

145. **If** temeller silt ve ince kum ise **and** kil malzeme sıkıntısı yoksa **and** baraj yüksekliği<=20 metre ise **and** vadi geniş ise
Then homojen toprak dolgu baraj seçilebilir.

146. Silt ve ince kum temeller üzerine, eğer uygun tasarım yapılırsa toprak dolgu barajlar ve alçak beton ağırlık barajlar yapılabilir. Bunlar üzerine kesinlikle kaya dolgu baraj yapılmaz (USBR, 1987).

If baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

147. **If** baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then ÖYBK kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

148. **If** baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

149. **If** baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then ön yüzü çelik kaplı kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

150. **If** baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then merkezi bitümlü kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

151. **If** baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

152. Kaya temel üzerine sağlam olması durumunda her tip baraj yapılabilir, fakat ince taneli toprak temeller üzerine yüksek barajlar veya kemer baraj inşa etmek uygun değildir (Thomas, 1976).

If baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then ince kemer baraj inşası uygun olmamaktadır.

153. **If** baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then kemer ağırlık baraj inşası uygun olmamaktadır.

154. **If** baraj temeli silt ve ince kum karışımı ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** temel mukavemeti düşük ise
Then payandalı baraj inşası uygun olmamaktadır.

155. **If** baraj temeli yumuşak kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise **and** beton baraj için uygun ve yeterli malzeme varsa
and baraj yüksekliği > 20 metre ise
Then klasik beton ağırlık baraj uygun olmamaktadır.

156. **If** baraj temeli yumuşak kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise **and** beton baraj için uygun ve yeterli malzeme varsa
and baraj yüksekliği > 20 metre ise
Then RCC baraj uygun olmamaktadır.

157. **If** baraj temeli yumuşak kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise **and** beton baraj için uygun ve yeterli malzeme varsa
and baraj yüksekliği > 20 metre ise
Then kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

158. **If** baraj temeli yumuşak kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise **and** beton baraj için uygun ve yeterli malzeme varsa
and baraj yüksekliği > 20 metre ise
Then kemer baraj uygun olmamaktadır.
159. **If** baraj temeli yumuşak kil ise **and** temel mukavemeti düşük ise **and** beton baraj için uygun ve yeterli malzeme varsa
and baraj yüksekliği > 20 metre ise
Then payandalı baraj inşası uygun olmamaktadır.

160. Baraj yerine ekonomik olarak çekilecek olan malzemenin sınırlanması ve arazinin sarp dağlık bir topoğrafyaya sahip olması bir toprak dolgu baraj seçimini sınırlamaktadır (Singh vd, 1995).

If vadi enkesiti oldukça dar ise **and** vadi yamaçları çok dik ise **and** kil malzeme bol olarak varsa
Then toprak dolgu baraj uygun olmamaktadır.

161. **If** baraj inşası için uygun ve yeter miktarda kum çakıl malzemesi yoksa **and** çimento temini çok güç ise
and çimento temini çok pahalı ise **and** ülkede çimento sıkıntısı varsa
Then beton baraj inşası uygun olmamaktadır.

162. Malzemeler inşaat alanına servis yolları kullanılarak iletilmektedir. Dik yamaçlı dar bir vadide yüksek bir baraj için her seviyede yamaçlarda servis yolları sağlamak güç ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle bu gibi durumlarda çoğu kez toprak dolgu baraj yapımından vazgeçilmektedir. Ayrıca, dik yamaçlı çok dar vadilerde toprak dolgu barajda, borulanma farklı oturmadan dolayı dolgunun çatlaması gibi tehlikeler oluşmaktadır. Bu tehlikeleri ortadan kaldırmak için de ilave maliyetler gerekmektedir. Örneğin, özel filtrelerin gerekmesi gibi.

If yeterli toprak malzeme yoksa **and** toprak malzeme temininde çevreci grupların önlemeleri varsa

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

or toprak malzeme istimlakı çok pahalı ise **and** vadi sarp ve malzeme taşınması güç ise **and** temel kaya ise
Then toprak dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

163. **If** baraj temeli oldukça iyi sıkışmış çakıl ve kum karışımı temel ise **and** temel mukavemeti yüksek ise **and** baraj yüksek inşa edilmeyecekse **and** kaya malzeme temini ekonomik ise **and** çimento sıkıntısı varsa **Then** (gerekli tüm tedbirler alınarak ve gerekli testler yapılarak) kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

164. İnce kemer barajlar, sezonluk ısı değişimleri çok fazla ise uygulanmamaktadır. Bölgede don tesiri aşırı derecde betona etki ediyorsa ince kemer barajlar tercih edilmemektedir (Şentürk, 1955 ve Boggs, 1988).

If baraj temeli farklı zeminlerden ibaretse **and** temel oldukça fazla oturmalara neden olacaksa **and** baraj geçirimsiz yüzeyinde oturmalar büyük tahribata neden olacaksa **Then** ön yüzü geçirimsiz kaya dolgu baraj inşası uygun olmamaktadır.

165. Kemer barajlar farklı oturmalar karşı daha hassastırlar. Bu nedenle temel ve yamaçların rijit olması gerekmektedir. Kaya kütle modülü en az 3.5 GPa olması önerilmektedir. İnce kemer barajlar ortalama olarak 5 MPa temel taşıma kapasitesi gerektirmektedir (Franklin, 1991). Fransa'da Le Gage Barajı gayet sağlam granitler üzerine inşa edilmiştir. Yüksekliği 40 m, kret genişliği 1.10 m, temel genişiliği 2.20 m olan kemer tipte baraj inşa edilmiştir. Gerilmeler 143.3 kg/cm^2'ye kadar çıkmıştır. Bu sonucun sebebi kayacın gayet sağlam olmasından kaynaklanmıştır (Şentürk, 1955).

If temel sağlam kaya ise **and** temel çatlaklı değilse **and** temel elastisite modülü minimum 3.50 GPa ise **and** temel faylanma ve kıvrımlanmaya maruz değilse **and** vadi şekil faktörü <=6 ise **and** yamaçlar sağlam kaya ise **Then** kemer baraj seçilebilir.

166. İtalya'da S. Giustina Kemer Barajı 152.50 m yüksekliğinde olup U şekilli bir vadide inşa edilmiştir.(Şentürk, 1955). İnce kemer barajlarda temelin kalitesi en önemli parametredir. Temelinin minimum taşıma kapasitesinin 5 MPa olması gerekmektedir (Franklin, 1991). Hafif eğime haiz yamaçlı geniş vadiler, genellikle dolgu baraj tasarımında problem doğurmamaktadır. Dar vadiler inşaat çalışma sahasının etkisi dolayısıyla tip seçimini etkilemektedir. Çok dar vadilerde inşa alanı küçüktür. Ekipman kullanımı sınırlanmaktadır. Bu nedenle ince beton kullanımını gerektiren tipler uygun olmaktadır.

If vadi V şekilli ise **or** vadi dar U şekilli ise **or** vadi dar ⇓ şekilli ise **and** yamaçlar sağlam kaya ise **and** temel sağlam kaya ise **and** temel taşıma gücü minimum 5 MPa ise **and** temelde stabilitesizlik yoksa **and** baraj sonradan yükseltilmeyecekse **Then** ince kemer baraj seçilebilir.

167. Kemirici suyun ince beton barajların yapımını engellemektedir. Diğer tiplerde ise özel koruyucu tedbirler ile kullanılabilmektedir (Boggs vd., 1988).

If suyun kimyasal özelliği betonu kemirici özelliğe sahip ise **and** suyun bu özelliğinin tahribatını önlemek için alınan tedbir ücreti çok fazla ise **and** vadi dar ve dik ise **and** temel kaya ise **Then** ince kemer baraj seçimi uygun olmamaktadır.

168. **If** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi kesinlikle zorunlu ise **and** baraj temeli kaya ise **Then** toprak dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

169. **If** su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi kesinlikle zorunlu ise **and** baraj temeli kaya ise **Then** kaya dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

170. Taşkın suyunu boşaltacak dolusavak yeri, şekli ve büyüklüğü baraj yeri ve tipi üzerinde önemli rol oynar. Örneğin dolgu tipinde planlanan bir barajda dolusavağın yerleştirileceği yamaçların kazı için uygun olmaması (kitle hareketi, kazı miktarı vb.) ya da uygun topoğrafik koşulların bulunmaması, dolusavağın üstten yapıldığı beton baraj tipine çevrilmesini gerektirir. Veya vadi geniş ise bir kısmı beton diğer kısmı ise dolgu baraj olarak planlanır (Turhan, 1990).

If dolusavak yerleştirilecek yamaçlar kazı için uygun değilse (kitle hareketi yapması gibi) **or** dolusavak kazısı için uygun topoğrafik koşullar yoksa **and** vadi dar ve dik ise **Then** dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

171. **If** bölgede don tesiri oldukça fazla ise **and** baraj temeli sağlam kaya ise **and** vadi dar ve dik ise **Then** ince kemer baraj seçimi uygun olmaz.

172. Bir beton baraj inşaatı uygun kalite ve nitelikte ve miktarda çimento malzemesine gereksinimi vardır.

If ülkede çimento eksikliği varsa **and** ülkede kalifiyeli kalıp ve beton işçisi yoksa **and** beton malzemeyi iletmek için ekipman eksikliği varsa **or** kalıp ve beton işçisi ücretleri oldukça pahalı ise
Then klasik beton ağırlık baraj seçimi uygun olmaz.

173. **If** ülkede çimento eksikliği varsa **and** ülkede kalifiyeli kalıp ve beton işçisi yoksa
and beton malzemeyi iletmek için ekipman eksikliği varsa **or** kalıp ve beton işçisi ücretleri oldukça pahalı ise
Then payandalı baraj seçimi uygun olmaz.

174. Eğer rezervuar küçük ise ve ani su alçalması oluşacaksa toprak baraj uygun olmaz.

If su seviyesi ani olarak değişiyorsa **and** su alçalması ve yükselmesi 1.5 m/saat ve daha yukarı ise
Then toprak baraj seçimi uygun olmaz.

175. **If** vadi üst genişliği 400 m ve daha fazla ise **and** kil malzeme bol ve ekonomik olarak temin edilecekse
and kum çakıl malzeme sıkıntısı varsa
Then toprak dolgu baraj seçilebilir.

176. Homojen dolgu barajlar hızlı inşa edilemezler; çünkü inşaat esnasında oluşan yüksek boşluk suyu basınçlarının azalmaları için belirli bir süre geçmesi gerekmektedir" (Bilgi, 1990). RCC barajlar, Klasik toprak dolgu ekipmanı ile yapabilme olanağı ve kalifiye eleman gereksiniminin en az olması dolayısıyla uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Bu nedenle bu tip barajlar oldukça erken bitirilmektedir (Hansen, 1991).

If vadi orta genişlikte ise **and** baraj temeli kaya ise **and** temel mukavemeti orta düzeyde ise **and** kum çakıl nakli ekonomik ise
and uçucu kül temini mümkün ise **and** kaya malzeme temini ekonomik değilse **and** barajın erken bitirilmesi gerekiyorsa
Then RCC baraj seçilebilir.

177. Kaya olmayan temeller (örneğin, oldukça sağlam sıkışmış dayanımı yüksek çakıllı temeller), sadece düşük yükseklikli (20 m gibi) RCC barajlar için uygun olmaktadır. Bütün durumlarda fazla materyal, toprak, alüvyon, veya belli kısımlarda biriken kaya ufakları ilkönce kaldırılmaktadır. Gerekli kazı miktarı, bozulmuş kayaların ve kaldırılacak fazla malzemenin derinliğine bağlıdır. Kaya temelleri kaplayan, kaldırılması gereken bütün fazla materyal (toprak, alüvyon gibi) kaldırılmalıdır. Bununla birlikte, aşınmış kaya da kaldırılmalıdır. Orta ve yüksek RCC barajlar için taze kaya yüzeyi temin edilmesi gerekmektedir (Hansen, 1991)..

If sağlam zemin ulaşılır derinlikte değilse **or** sağlam zemin kazımı ekonomik değilse
or sağlam zemine derinlik baraj yüksekliğinin yarısından fazla ise **and** zemin geçirgen ise
and zemin mukavemeti düşük ise **and** baraj yüksekliği 20 metreden fazla ise
Then RCC baraj seçimi uygun olmamaktadır.

178. **If** sağlam zemin ulaşılır derinlikte değilse **or** sağlam zemin kazımı ekonomik değilse
or sağlam zemine derinlik baraj yüksekliğinin yarısından fazla ise **and** zemin geçirgen ise
and zemin mukavemeti düşük ise **and** baraj yüksekliği 20 metreden fazla ise
Then klasik beton ağırlık baraj seçimi uygun olmamaktadır.

179. Kil şeylleri, ayrışmış bazalt ve bazı kumtaşları gibi daha zayıf kayaçlar temelde önemli problemler doğurmaktadır. Bu nedenle de tip seçimi sınırlanmaktadır. Zayıf temeller üzerine kemer baraj inşa edilmesi uygun değildir (USBR, 1987).

If vadi dar ise **and** vadi yüksekliği fazla ise **and** yamaçlardaki kayaçlar folyasyonlu ise
or yamaçlardaki kayaçlar aşırı derecede kırıklı ise **or** yamaçlardaki kayaçlar sıçrayıp birbirinden ayrılmış ise
or yamaçlardaki kayaçlar çatlaklı ve içleri kil vb. depozit ile dolu ise **or** yamaçlarda ayrışmış kayaçlar varsa
or yamaçlarda derin açıklıklar oluşmuş ise **and** temel kaya ise
Then kemer baraj seçimi uygun olmamaktadır.

180. Toprak dolgu barajlar üzerinden inşa öncesi ve sonrası su aşmamalıdır.

If inşa süresince taşkın olma ihtimali yüksek ise **and** akarsu büyük taşkın debisine haiz ise **and** boşaltım tesisleri yeterli olmayacaksa
Then yatay ve düşey drenli homojen toprak dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

181. **If** inşa süresince taşkın olma ihtimali yüksek ise **and** akarsu büyük taşkın debisine haiz ise
and boşaltım tesisleri yeterli olmayacaksa
Then merkezi kil çekirdekli dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

182. **If** inşa süresince taşkın olma ihtimali yüksek ise **and** akarsu büyük taşkın debisine haiz ise
and boşaltım tesisleri yeterli olmayacaksa
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

183. **If** inşa süresince taşkın olma ihtimali yüksek ise **and** akarsu büyük taşkın debisine haiz ise
and boşaltım tesisleri yeterli olmayacaksa
Then topuk drenli homojen toprak dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

184. **If** geçirimsiz toprak malzeme bol ve ekonomik olarak temin edilecekse **and** kum çakıl malzeme temini ekonomik değilse
and baraj yüksek inşa edilmeyecekse **and** geçirimli malzeme kısıtlı ise
Then homojen dolgu baraj seçilebilir.

185. Yüksekliği 150 metrenin altında olduğu durumlarda payandalı veya çok kemerli barajlar; ağırlık barajlara çoğunlukla tercih edilmektedir (Şentürk, 1955).

If baraj aşırı derecede buz kalıplarına maruz ise **and** vadi geniş ise **and** temel kaya ise **and** baraj yüksekliği <=150 metre ise
and temel çok az depozit içeriyorsa **and** işçilik çok pahalı değilse **and** kum çakıl malzeme mevcut fakat çok bol değilse
Then payandalı baraj seçilebilir.

186. **If** (U) baraj temeli altından kaldırma basıncı çok fazla ise **and** U kaldırma basıncı fazla kütle kullanımını gerektiriyorsa
Then klasik beton ağırlık baraj seçimi uygun olmamaktadır.

187. **If** (U) baraj temeli altından kaldırma basıncı çok fazla ise **and** U kaldırma basıncı fazla kütle kullanımını gerektiriyorsa
Then RCC baraj seçimi uygun olmamaktadır.

188. Yüksekliği 100 m'nin altında olduğu durumlarda, U kaldırma basıncının fazla olduğu yerlerde; payandalı veya çok kemerli barajlar, klasik beton ağırlık barajlara tercih edilmelidir (USBR, 1987).

If (U) baraj temeli altından kaldırma basıncı çok fazla ise **and** U kaldırma basıncı fazla kütle kullanımını gerektiriyorsa
and baraj yüksek inşa edilecekse **and** işçilik ücretleri fazla değilse
Then payandalı baraj seçilebilir.

189. Su seviyeleri değişmesinin günde 30 cm'den fazla değişmesi toprak dolgu barajlarda arzu edilmemektedir. Değişik dane dağılımına sahip, doğal ya da kırma agrega ile yapılabilme ve dolayısıyla kum, çakıl gibi malzemeyi ekonomik bir biçimde değerlendirebilme imkanı oluşturması bakımından avantajlıdır (Engin Alpdoğan, 1996 -görüşme-).

If rezervuarda ani su alçalması ve yükselmesi varsa **and** su alçalması ve yükselmesi bir günde 0.50 metreden fazla oluyorsa
and baraj memba yüzeyi su alçalmasından zarar göreceğine kanaat getirilmişse **and** baraj temeli kaya ise
and temel mukavemeti orta derecede ise
Then RCC baraj seçilebilir.

190. Eğer baraj yeri çok sismik ise ve baraj temeli kaya ise baraj tutucu bir prensip ile inşa edilecekse puzolanik malzeme temin edilecekse rcd teknolojisi mühendisler tarafından biliniyorsa o zaman rcd seçimi ekonomik olmaktadır (Hansen, 1991 ve Makoto Abe, 1996 -görüşme-).

If rezervuarda ani su alçalması ve yükselmesi varsa **and** su alçalması ve yükselmesi bir günde 0.50 metreden fazla oluyorsa
and baraj memba yüzeyi su alçalmasından zarar göreceğine kanaat getirilmişse **and** baraj temeli kaya ise
and temel mukavemeti orta derecede ise
Then RCD baraj seçilebilir.

191. **If** bölge çok sismik ise (475 -1000 yıllık deprem kayıtlarına göre) **and** vadi dar ise **and** temel kaya ise
and temel mukavemeti kemer baraj temelinde büyük kalınlık gerektiriyorsa **and** uçucu kül varsa
Then RCC kemer ağırlık baraj seçimi uygun olmamaktadır.

192. **If** bölge çok sismik ise (475 -1000 yıllık deprem kayıtlarına göre) **and** vadi dar ise **and** temel kaya ise
and temel mukavemeti kemer baraj temelinde büyük kalınlık gerektiriyorsa **and** uçucu kül varsa
Then RCD kemer ağırlık baraj seçimi uygun olmamaktadır.

193. **If** bölge çok sismik ise (475 -1000 yıllık deprem kayıtlarına göre) **and** vadi dar ise **and** temel kaya ise
and temel mukavemeti kemer baraj temelinde büyük kalınlık gerektiriyorsa **and** uçucu kül varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

194. **If** bölge çok yağışlı ise **and** bölge don olan günler çok fazla ise **or** inşa alanında inşaatta kullanılan su eksikliği varsa
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

195. **If** bölge çok yağışlı ise **and** bölge don olan günler çok fazla ise **or** inşa alanında inşaatta kullanılan su eksikliği varsa
Then homojen dolgu baraj seçimi uygun olmamaktadır.

196. Şevler, memba yüzü dik ve mansap yüzü eğimi 1 düşey ve 0.70-0.80 yatay olduğundan, özellikle dolgu barajlara göre daha küçük taban genişliğine sahiptir. Çoğunlukla daha kısa tüneller ve dolu savaklar temin edilmektedir. Bu yapımlar ekonomiklik sağlamaktadır. RCC barajların kısa sürede inşa edilmesi, inşaat süresi

içerisinde faizi azaltmakta ve anaparanın kısa zamanda geriye dönmesini sağlaması açısından avantaja sahiptir. İş makinelerinin kullanımı RCC barajların inşasında oldukça yaygındır. Taşıma, yayma ve sıkıştırma işlemlerinde, RCC barajlar klasik beton ağırlık barajlara göre avantajlara sahiptir (Hansen, 1994).

If dolusavak yerleştirilecek yamaçlar kazı için uygun değilse (kitle hareketi yapması gibi) **or** dolusavak kazısı için uygun topoğrafik koşullar yoksa **and** vadi dar ve dik ise **and** baraj erken bitirilmesi gerekiyorsa **and** daha kısa derivasyon tünelleri gerekiyorsa **and** rcc baraj maliyeti daha düşük ise **and** baraj temeli kaya ise
Then RCC baraj seçilebilir.

197. Baraj çok yüksek ise kemerleşme problemi ortaya çıkmaktadır. Eğer kaya üniform olmayan temelde kil zonları varsa ve baraj kil çekirdekli kaya dolgu baraj ise, bu durumda kil kendi kendine taşıtmaktansa sağlam kayaya oturtmak daha uygun olmaktadır. Bu durumda eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçmek mümkündür (Hasan Tosun - görüşme -).

If baraj temeli kaya ise **and** temel sağlam kaya ve özellikle merkezi çekirdek altı kil taşı aratabakalı ise
and kil malzeme 20 km veya daha az mesafeden alınacaksa ve yeterli ise **and** yeterli kaya malzeme varsa
and vadi orta genişlikte ise **and** yamaçlarda dolusavak için yer varsa
Then (çekirdek sağlam kayaya oturtulmak şartıyla) eğik çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

198. Kemer barajlar sadece dar vadilerde, kemer tesiri ile itkinin sağlam yamaçlar ve temeller tarafından karşılanması durumlarında inşa edilirler (Linsley, 1992).

If temel derin alüvyon ise **and** alüvyonun kaldırılması ekonomik değilse
Then ince kemer baraj uygun olmamaktadır.

196. **If** temel derin alüvyon ise **and** alüvyonun kaldırılması ekonomik değilse
Then kalın kemer baraj uygun olmamaktadır.

199. Alüvyona kaya dolgu koymamak gerekir. Genelde üzerine oturtulan temel ile malzeme aynı nitelikte olmalıdır. Temelde geniş taban genişliği oluşturmak gereklidir. Santa Juana Barajı alüvyon temel üzerine oturtulmuş bir ÖYBK barajdır. Pablo Anguita, Luis Alvarez ve Luis Vidal tarafından yazılan "Two Chilean CFRDs Designed On Riverbed Alluviums" makale sanki bu temeller üzerine kaya dolgu baraj inşa edilebileceğini göstermektedir. Bu baraj tipi böyle bir temel üzerine ilk kez inşa edilmiştir. Avustralyalılar gibi Şilililer de ÖYBK kaya dolgu baraj üzerinde oldukça büyük tecrübeye sahiptirler. Yaptıkları baraj enkesiti iyi incelendiğinde gövdede kullanılan malzemelerin 1A: Kohezyonsuz toprak, 1B: Rasgele malzeme,2A: Kum, 2B: Çakıl ve 3B-3C: Çakıl olduğu görülebilir. Buradan da alüvyon üzerine kaya oturtulmadığı anlaşılır (Nihat Karadayı, 1998 -görüşme- ve Anguita vd., 1993).

If temel derin alüvyon ise and alüvyonun taşıma direnci kaya dolguyu taşıyacak nitelikte değilse
and alüvyonun kaldırılması ekonomik değilse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

200. **If** temel derin alüvyon ise **and** alüvyonun kaldırılması ekonomik değilse
Then ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

201. **If** temel derin alüvyon ise **and** alüvyonun kaldırılması ekonomik değilse
Then payandalı baraj uygun olmamaktadır.

202. RCC karışımında klasik betona göre, daha büyük dane çapı içeren agrega kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, RCC karışımında kullanılan agreganın daha az işlem görüp, daha az titiz bir gradasyon işlemi gerektirmesi ekonomik avantajları olarak sayılmaktadır. Karışımdaki çimento oranı azaltılarak yerine %50 veya daha fazla oranlarda puzolanlar (çoğunlukla uçucu kül) kullanılarak ekonomiklik sağlanmaktadır. Günümüzde RCC barajlarda genellikle, az miktarda çimento ve büyük oranda uçucu kül kullanmaya doğru bir eğilim vardır (Dunstan, 1994 ve Makoto Abe, 1996 -görüşme-).

If vadi dar ise **and** vadi yüksekliği fazla ise **and** yamaçlardaki kayaçlar folyasyonlu ise
or yamaçlardaki kayaçlar aşırı derecede kırıklı ise **or** yamaçlardaki kayaçlar sıçrayıp birbirinden ayrılmış ise
or yamaçlardaki kayaçlar çatlaklı ve içleri kil vb. depozit ile dolu ise **or** yamaçlarda ayrışmış kayaçlar varsa
or yamaçlarda derin açıklıklar oluşmuş ise **and** temel kaya ise **and** kum çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilebilecekse
and puzolanik malzeme temin edilebilecekse **and** kaya malzeme taşıma mesafesi fazla ise
Then RCC baraj seçilebilir.

203. Yamaçlarda ayrışmış zonların bulunması veya yamaçlarda üçgensel kama zonlarının bulunması veya yamaçlarda girintili çıkıntılı olması, ÖYBK kaya dolgu baraj seçimi için bir eksiklik değildir.

If vadi dar ise **and** vadi yüksekliği fazla ise **and** yamaçlardaki kayaçlar folyasyonlu ise
or yamaçlardaki kayaçlar aşırı derecede kırıklı ise **or** yamaçlardaki kayaçlar sıçrayıp birbirinden ayrılmış ise
or yamaçlardaki kayaçlar çatlaklı ve içleri kil vb. depozit ile dolu ise **or** yamaçlarda ayrışmış kayaçlar varsa
or yamaçlarda derin açıklıklar oluşmuş ise **and** temel kaya ise **and** kum çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilebilecekse
and puzolanik malzeme yoksa **and** kaya malzeme taşıma mesafesi ekonomik ise ve yeterli ise
and bölge yağışlı ise **or** bölge yağışlı değilse **and** yamaçlardan biri veya ikisi dolusavak için uygun ise
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

204. ÖYBK kaya dolgu barajlar depreme karşı oldukça dayanıklıdırlar (Uğur Çavuş, 1996 -görüşme-).

If vadi temeli kaya ise **and** vadi geniş ise **and** yamaçlar sağlam değilse
and bölge yüksek (7-8 Richter) depreme haiz ise **and** beton kum çakıl malzeme var fakat kısıtlı ise
and temel için aşırı enjeksiyon gerekiyorsa **and** yeterli kaya malzeme varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

205. **If** yamaçların herhangi birinde üçgensel kama bloklarından kaynaklanan stabilitesizlik varsa
and vadi B/H<=6 ise **and** vadi yüksek ise **and** uygun ve bol miktarda kaya malzeme varsa
and yamaçlardan biri dolusavak için uygun ise **and** beton için uygun kum çakıl malzeme varsa fakat kısıtlı ise
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

206. **If** baraj temeli sağlam kaya ise **and** bölge yüksek yağış yüksekliğine (4000-5000 mm gibi) haiz ise
and bölgede uygun kaya malzeme varsa
Then merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

207. **If** baraj temeli sağlam kaya ise **and** bölge yüksek yağış yüksekliğine (4000-5000 mm gibi) haiz ise
and bölgede uygun kaya malzeme varsa
Then eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

208. **If** baraj temeli sağlam kaya ise **and** bölge yüksek yağış yüksekliğine (4000-5000 mm gibi) haiz ise
and bölgede uygun kaya malzeme varsa
Then toprak dolgu baraj uygun olmamaktadır.

209. Çok yağışlı bölgelerde ÖYBK kaya dolgu baraj inşaatı uygundur.

If baraj temeli sağlam kaya ise **and** bölge yüksek yağış yüksekliğine (4000-5000 mm gibi) haiz ise
and bölgede uygun kaya malzeme yoksa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

210. **If** baraj temeli sağlam kaya ise **and** kaya malzeme uygun mesafede ve miktarda varsa **and** kum çakıl malzeme kısıtlı olarak varsa
and vadi orta genişlikte ise **and** kil malzeme yoksa **and** baraj sonradan yükseltilecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

211. **If** temel kaya ise **and** yamaçlardan biri veya ikisinde aşınma varsa **and** hava şartları çok yağışlı ise
and uygun mesafede agrega mevcut değilse **and** çimento eksikliği varsa
Then klasik beton ağırlık baraj uygun olmamaktadır.

212. **If** temel kaya ise **and** yamaçlardan biri veya ikisinde aşınma varsa **and** hava şartları çok yağışlı ise
and uygun mesafede agrega mevcut değilse **and** çimento eksikliği varsa
Then RCC baraj uygun olmamaktadır.

213. Kaya dolgu barajlar; beton bir baraj için çimento maliyetinin yüksek olduğu, toprak bir baraj için uygun malzemenin temin edilemediği ve kaya malzemenin baraj yerine yakın olduğu durumlarda genellikle tercih edilmektedir (USBR, 1987).

If temel kaya ise **and** yamaçlardan biri veya ikisinde aşınma varsa **and** hava şartları çok yağışlı ise
and uygun mesafede bol miktarda agrega mevcut değilse **and** çimento eksikliği varsa
and yeterli kil malzeme yoksa **or** kil malzeme temininde çevrecilerin tepkisi ve yetkisi varsa
and yeterli miktarda kaya malzeme varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

214. **If** baraj temeli kaya ise **and** uygun tabii filtre malzemesi mevcut değilse **and** yamaçlar dik, veya oldukça engebelli ise
and kaya malzeme mevcut ise
Then kil çekirdekli kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

215. **If** baraj temeli kaya ise **and** uygun tabii filtre malzemesi mevcut değilse **and** yamaçlar dik, veya oldukça engebelli ise
and kaya malzeme mevcut ise
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

216. **If** baraj temeli kaya ise **and** yeterli kaya malzeme varsa **and** inşa esnasında baraj üzerinden su aşma riski varsa
and vadi çok geniş ise **and** kum çakıl malzeme kısıtlı ise

Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

217. **If** baraj temeli yumuşak kaya ise **and** temel mukavemeti iyi ise **and** uygun kaya malzeme varsa
and barajın yüksekliği az ise (20-40 m gibi) **and** baraj kret uzunluğu çok fazla ise (1000-2000 m gibi)
and uygun kil malzeme varsa **and** beton kum çakıl malzeme sınırlı olarak varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

218. Dolguda kullanılan toprak malzemeler istenen permeabiliteye ve kayma gerilmesine sahip olmalı, kolay sıkıştırılabilmeli ve çok miktarda organik madde içermemelidir. Uygun nitelikte kil malzeme baraj aksına yakın ise ve bölge yağışlı ise o zaman eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj inşa edilebilir (Hasan Tosun, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli kaya ise **and** çok yakın mesafede kil varsa ve yeterli ise **and** bölge çok sismik ise
and vadi orta genişlikte ise **and** uygun kil malzeme varsa **and** yeterli filtre malzemesi varsa **and** yeterli kaya malzeme varsa
Then eğimli kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

219.Dolgu barajlarda kabuk malzemesi yakından taşınmalı, 3-5 km olabilir.

If baraj yeri kaya ise **and** temel kayacı yumuşak kaya ise **and** bölge çoğu aylar şiddetli yağışlı ise
and barajın erken bitirilmesi gerekiyorsa **and** bölge çok sismik ise **and** kil malzeme taşıma mesafesi ekonomik değilse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

220. **If** vadi V şekilli ise **and** vadi tabanı çok dar (15 metreden az) ise **and** yamaçlar aşınmış ise **and** bölge çok sismik ise
and kaya malzeme mevcut ise
Then kil çekirdekli kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

221. Tünel uzunluğu barajın tipine ve vadideki kayacın doğal durumuna bağlıdır. Membranlı bir kaya dolgu baraj derivasyon tünel uzunluğu, baraj yüksekliğinin yaklaşık olarak dört katı olduğunu söylemek mümkündür. Bir homojen dolgu baraj (düz yatık şevlere sahip) derivasyon tünel uzunluğu yaklaşık olarak baraj yüksekliğinin sekiz katıdır. Bir başka değişle bir kemer baraj daha kısa derivasyon tüneli ile inşa edilebilir. Bir baraj yerinde derivasyon tünelinin maliyeti baraj tipi seçiminde etkili olduğu açıktır. Bu nedenle derivasyon tünelinin boyutu ve maliyeti de araştırılmalıdır (Thomas, 1976).

If temel kaya ise **and** büyük nehir derivasyon akımları varsa **and** kaya dolgu için gerekli kaya malzeme varsa
and kil malzeme varsa **and** baraj yüksek inşa edilecekse
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

222. **If** baraj inşa edilecek bölge çok sıcak ise **and** baraj temeli kaya ise **and** yeterli miktar ve kalitede kaya malzeme varsa
and kil malzeme varsa **and** baraj toprak işlerinde kullanılacak su eksikliği varsa
Then kil çekirdekli kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

223. **If** baraj inşa edilecek bölge çok sıcak ise **and** baraj temeli kaya ise **and** yeterli miktar ve kalitede kaya malzeme varsa
and kil malzeme varsa **and** baraj toprak işlerinde kullanılacak su eksikliği varsa
and baraj sonradan yükseltilecekse or yükseltilmeyecekse
Then kil çekirdekli kaya dolgu baraj uygun olmamaktadır.

224. Eğer derivasyon tünelleri oldukça büyük boyutlar alıyorsa ve kil malzeme temini güç ise baraj orta yükseklikte ise o zaman payandalı baraj seçilebilir (Erkek, 1997 - görüşme -).

If baraj inşa edilecek temel kaya ise **and** ekonomik mesafede kil malzeme varsa **and** ekonomik mesafede kaya malzeme varsa
and barajın derivasyon tünelleri oldukça büyük boyutlar alıyorsa **and** baraj sonradan yükseltilmeyecekse
and diğer baraj maliyetleri derivasyon vb. kalemler dolayısıyla fazlaysa **and** baraj yüksekliği 20-170 m arasında ise
Then düz dilimli payandalı baraj seçilebilir.

225. Klasik beton barajlardaki kalıp işlemleri RCC'de olmadığından, bu açıdan da bu tip barajlara göre avantaja sahiptir. Klasik beton genelde %3 ile %6 oranlarında hava içermesine karşın, RCC %1 ile %3 oranında hava içermektedir. Bu açıdan klasik betona göre avantaja sahiptir. RCC barajlar, klasik beton ağırlık barajlara göre aynı emniyette olmasına rağmen, çok büyük maliyet ve zaman avantajına sahiptir (Hansen, 1991). FSHD barajlar yükü daha geniş bir alana yaydıkları için zayıf kaya temeller üzerine inşa edilebilme imkanına sahiptirler (Londe, 1992).

If baraj inşa edilecek temel kaya ise **and** baraj temel kayası yumuşak düşük mukavemetli kaya ise
and ekonomik mesafede kil yoksa **and** kaya malzeme temininde çevrecilerin etkisi varsa **or** kaya malzeme temini pahalı ise
and yeterli puzolan malzeme varsa **and** kum çakıl malzeme bol olarak varsa **and** baraj üzerinden su aşma riski varsa
or su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi gerekiyorsa **or** yamaçlar dolusavak için uygun değilse
or kaya malzeme uygun fiziksel nitelikte değilse

Then FSHD baraj seçilebilir.

226. İnce membran yüzlü toprak kaya dolgu barajlar; ideal olarak kum-çakıl veya kaya dolgu, memba yüzeyi elastomerler, plastomerler, düşük yoğunluklu polietilin, polivinil membranlarıyla 0.2 mm ile 2 m. kalınlıklarda ve bitumious 3 ile 8 mm olacak şekilde kullanılmaktadır." (ICOLD, 1981). "İnce membran yüzlü toprak kaya dolgu barajlar; membran bir kum vaya kum-çakıl yastık ile ve bu membranı güneş ışığı, dalga tesirleri, yüzen cisimlerin etkisinden korumak için bir dizi önlemler alınmalıdır. 30 m. yüksekliğindeki barajlarda kullanılmıştır. Gerekli tecrübe kazanımı ile daha yüksek inşa edilmeleri mümkündür (Fell, 1992).

If vadi orta genişlikte ise **and** geçirimsiz kil malzeme yoksa **and** baraj yüksekliliği <=30 metre ise
and beton için kum çakıl malzeme temini pahalı ise **and** kaya dolgu malzemesi mevcutsa
and kazılardan farklı toprak malzeme temin edilecekse
and baraj temeli bir kısmı sağlam kaya bir kısmı daha düşük mukavemette zemin ise **and** uygun filtre malzemesi yoksa
and membran ile yapılacak geçirimsizlik dış etkilerden korunacaksa **and** membran temini uygun fiyata temin edilebilecekse
and membran ile sağlanan geçirimsizlik, diğer metotlardan daha ucuz olacaksa
Then ince membran yüzlü toprak-kaya dolgu baraj seçilebilir.

227. Bitümlü beton yüzlü toprak - kaya dolgu barajlar; ideal olarak serbest drenajlı olarak kaya veya kum çakıl dolgu ile inşa edilmektedir. Fakat toprak ve dolgunun geniş bir oranda kullanımı vardır. Bu tip barajlar 50 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell, 1992).

If geçirimsizlik için kil malzeme yoksa **or** kil malzeme temininde çevrecilerin etkisi fazla ise **and** kaya malzeme varsa
and kazılardan farklı toprak malzeme temin edilecekse **and** bölge sıcak değilse **or** bölge yağışlı ise
and bitümlü beton temini için gerekli malzemeler ekonomik olarak varsa **and** baraj yüksekliği <=50 metre ise
and dolgunun serbest drenajlı olarak temin edilmesi gerekiyorsa **or** toprak kompaksiyonu için yeterli su yoksa
Then bitümlü beton yüzlü toprak-kaya dolgu baraj seçilebilir.

228. RCC barajlar, kemer ağırlık ve bazı durumlarda toprak dolgu ve kaya dolgu barajlara göre, maliyet açısından, daha avantajlı olmaktadır. Puding Barajı 75 m yük. ve 195.6 m kret uzunluğundadır. Bu baraj tek merkezli değişik yarıçaplı olup, simetrik olmayan bir plana sahiptir. Krette kalınlığı 6.30 m ve tabanda 28.30 m'dir. Baraj gövdesinin toplam hacmi $137x10^3$ m^3'tür, bunun $103x10^3$ m^3'ü RCC'dir. Vadi "V" şekillidir ve nehir yatağı dardır. Bu barajın başarısı ile 100 m'nin üzerinde kemer RCC baraj inşa etme cesareti doğmuştur (Baile vd., 1994). Batoka Barajı Zambezi Nehri üzerinde planlanmıştır. 180 m yüksekliğinde, RCC kemer ağırlık tipindedir. Gövde hacmi yaklaşık olarak $4.3x10^6$ m^3'tür. Bağlayıcı oranı 220 kg/m^3'tür ve bunun %80-90'nı yüksek fırın cürufu içermektedir. Bu tip ve metotla inşa edilerek önemli oranda zamandan maliyetten ekonomiklik sağlanmıştır. Bu baraj ilk önce çift eğrilikli kemer baraj tipte planlanmıştır. Zaman ve maliyet korumaları açısından rcc kemer ağırlık tipte inşa edilmiştir (Dunstan, 1994). RCC ve RCD barajlar kemer ağırlık tipte, ekonomik olarak inşa edilebilme avantajına sahiptirler (Baile vd., 1994).

If vadi dar ise **or** vadi V şekilli ise **or** vadi U şekilli ise **and** vadi yüksekliği fazla ise **and** yamaçlardaki kayaçlar sağlam ise
and temel kaya ise **and** temel elastisite modülü ? ise **and** baraj yüksek inşa edilecekse **and** temel ince kemer baraj için yeterli sağlamlığa sahip değilse **and** kum çakıl malzeme ekonomik olarak temin edilebilecekse **and** puzolanik malzeme temin edilebilecekse
and kaya malzeme taşıma mesafesi fazla ise **or** kaya malzeme taşıma mesafesi fazla değilse **and** rcc kemer ağırlık tipi maliyeti en azsa
Then RCC kemer ağırlık baraj seçilebilir.

229. Özellikle toprak dolgu barajlarda yol durumu çok önemlidir. Malzeme taşınımı için genellikle 10-12 m yol gereklidir. Eğer topoğrafya çok dik ise gövde için gerekli malzeme çekilmesi güçleşir. Bu nedenle dolgu barajlarda uygun yol yapımı için topoğrafya müsait olmalıdır (Nihat Karadayı, 1996 -görüşme-).

If vadi ota genişlikte ise **and** topoğrafya uygun yol yapımına izin veriyorsa
and uygun toprak malzeme baraj aksına yakın ve bol ise **and** kaya malzeme baraj aksına uzak ise
and baraj yüksekliği 40 m den az ise **and** baraj temeli çakıl temel ise **or** baraj temeli alüvyon ve derinliği baraj yüksekliği kadar veya daha fazla derinlikte ise
Then yatay ve düşey drenli ve yüzen katoff'lu toprak dolgu baraj seçilebilir.

230. Geniş bir vadinin olması durumunda, inşa esnasında taşkınların geçmesi için gerekli tünel kapasitesi ve gerekli büyük dolusavaklar, dolgu baraj seçilmesi halinde projeyi ekonomik kılmamaktadır. Eğer bir beton ağırlık baraj veya bir payandalı baraj, barajın bir kısmı için inşa edilirse proje ekonomik olmaktadır (Armstrong, 1977).

If vadi çok geniş ise **and** baraj temeli sağlam kaya ise **and** dolusavak kapasitesi büyük ise
and kum çakıl malzeme varsa **and** büyük taşkın akımı söz konusu ise **and** kil malzeme yeterli miktar ve kalitede varsa

and kaya dolgu malzeme yeterli miktar ve kalitede varsa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme varsa
Then RCC + merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir.

231. FSHD barajlarda kum çakıl malzeme en ekonomik şekilde kullanılabilmektedir.

If vadi çok geniş ise **or** vadi orta genişlikte ise **or** vadi dar ise **and** baraj temeli orta sağlamlıkta çakıl ise
and baraj orta yükseklikte ise **and** dolusavak kapasitesi büyük ise **and** kum çakıl malzeme varsa
and büyük taşkın akımı söz konusu ise **and** kil malzeme yeterli miktar ve kalitede yoksa **and** kaya dolgu malzeme yeterli miktar ve kalitede yoksa **and** uçucu kül veya başka bir puzolanik malzeme var ve bol miktarda ise
Then FSHD baraj seçilebilir

232. Suda eriyen kayaç temelde mevcutsa kemer baraj yapmamak gerekir. Karstik kireçtaşlı bir temel iyi bir enjeksiyon çalışması ile iyileştirilebiliyorsa kemer baraj seçilebilir. Yamaçlardaki bütün mağaralar yoklanıp belirli bir derinliğe kadar iyileştirilmelidir (Nihat Karadayı, 1996 -görüşme-).

If vadi şekli faktörü <=6 ise **and** yamaçlardaki kayaçlar farklı litolojide ise
and farklı litolojideki kayaçlar kemer tesirine farklı oranlarda direnç göstereceklerse
Then kemer baraj seçimi uygun olmamaktadır.

233. Ayrışmış andezit üzerine beton barajları yapmamak gerekir. Eğer baraj beton baraj olarak inşa edilecekse, temel alanını genişletip hardfill baraj inşa etmek uygun olabilir.

İf temel ayrışmış andezit ise **and** kaya ve kil malzeme eksikliği varsa zayıf kalitede kum-çakıl varsa **and** puzolanik malzeme varsa

Then FSHD baraj seçilebilir.

234. Temelde jips varsa ve temelde yıkanma olacaksa, boşluklar oluşacaksa, kemer baraj seçmek uygun olmaz. Temelde oturmalar gözlenecekse RCC ve klasik beton ağırlık baraj seçimi uygun olmaz (Nihat Karadayı, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli jips ise and temelde yıkanma olacaksa and boşluklar oluşacaksa
Then kemer baraj seçimi uygun olmamaktadır.

235. RCC baraj için yamaç uygun değilse (yamaçta çok girinti çıkıntı varsa bunlar gerilme yığılmalarına sebep olurlar) ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

If vadi çok geniş ise **or** vadi orta genişlikte ise **or** vadi dar ise **and** vadi yamaçları çok girintili çıkıntılı ise **and** kil malzeme temini güç veya pahalı ise **and** kaya malzeme varsa
Then ÖYBK kaya dolgu baraj seçilebilir.

236. Marn'ın taşıma gücü zayıftır. Temel alanı genişletilerek kil çekirdekli kaya dolgu baraj seçilebilir. Eğer marn sağlam ise buraya hardfill baraj yapmak uygun olabilir. Temelin iyi ıslah edilmesi boşlukların yıkanmaması için gerekli tel işlemlerinin yapılması gerekir. Marn içindeki kumtaşı tabakaları için iyi enjeksiyon yapımı gerekir (Hasan Tosun, 1996 -görüşme-).

If baraj temeli marn ise and temel kayacı sağlam ise and gerekli temel iyileştirmeleri yapılacaksa
Then FSHD baraj seçilebilir.

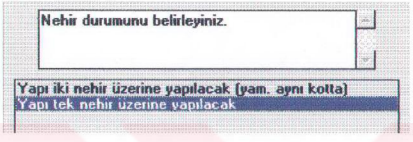
237. Kemer RCC barajlar günümüz pratiğine göre oldukça ucuza yapılabilen bir baraj tipidir.

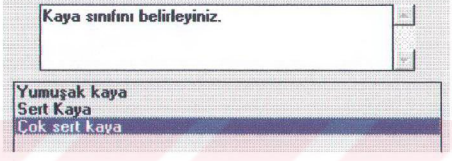
If baraj temeli sağlam kaya ise and vadi kemer ağırlık baraj için uygunsa and puzolanik malzeme varsa
Then RCC kemer ağırlık baraj seçilebilir.

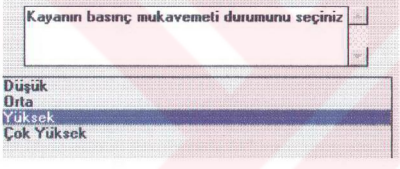
5.2. Uygulamalar

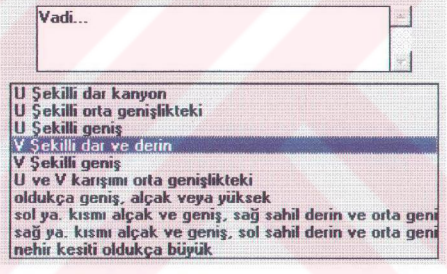
Hazırlanan DTS ES programı kullanılarak Türkiye'de inşa edilmiş dört baraj için uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalar için gerekli bilgiler, DSİ .Genel Müdürlüğüne ait baraj planlama raporlarından temin edilmiştir.

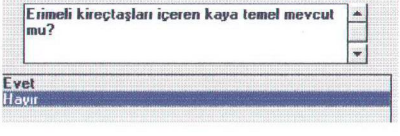
5.2.1. Karakaya Barajı

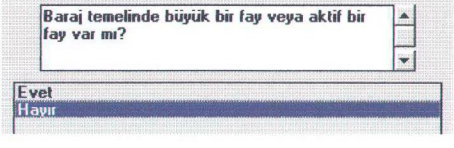


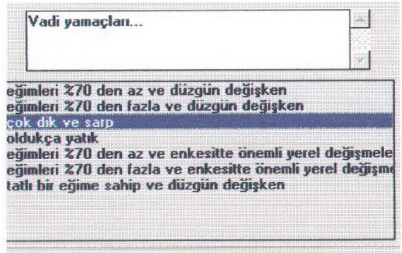


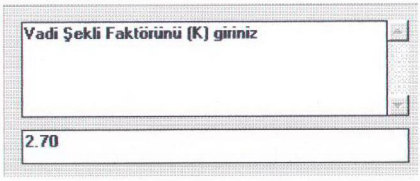


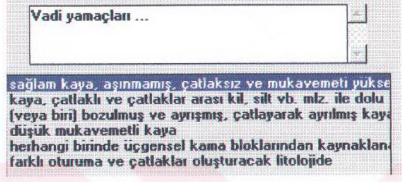


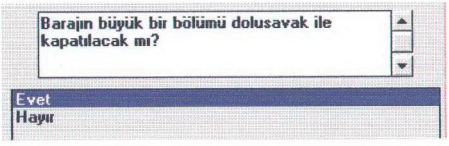


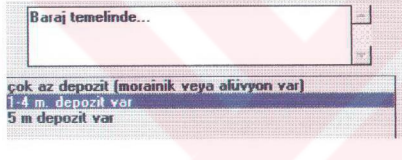


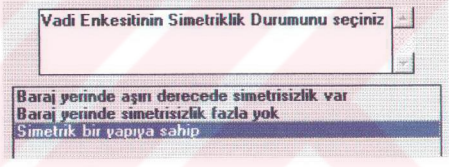

Vadi yamaçları...
eğimleri %70 den az ve düzgün değişken
eğimleri %70 den fazla ve düzgün değişken
çok dik ve sarp
oldukça yatık
eğimleri %70 den az ve enkesitte önemli yerel değişmele
eğimleri %70 den fazla ve enkesitte önemli yerel değişme
tatlı bir eğime sahip ve düzgün değişken

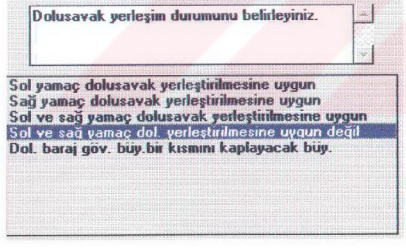

Vadi Şekli Faktörünü (K) giriniz
2.70

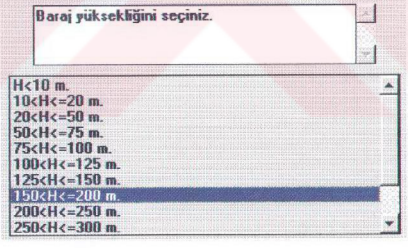

Vadi yamaçları ...
sağlam kaya, aşınmamış, çatlaksız ve mukavemeti yükse
kaya, çatlaklı ve çatlaklar arası kil, silt vb. mlz. ile dolu
(veya biri) bozulmuş ve ayrışmış, çatlayarak ayrılmış kay
düşük mukavemetli kaya
herhangi birinde üçgensel kama bloklarından kaynakla
farklı oturuma ve çatlakları oluşturacak litolojide

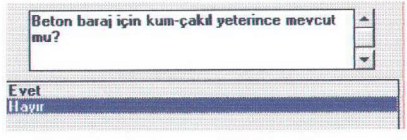

Barajın büyük bir bölümü dolusavak ile kapatılacak mı?
Evet
Hayır

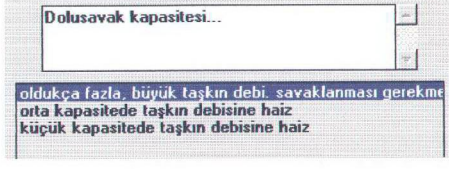

Baraj temelinde...
çok az depozit (morainik veya alüvyon var)
1-4 m. depozit var
5 m depozit var

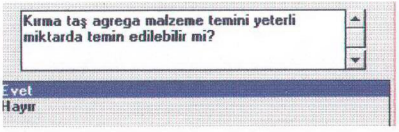

Vadi Enkesitinin Simetriklik Durumunu seçiniz
Baraj yerinde aşırı derecede simetrisizlik var
Baraj yerinde simetrisizlik fazla yok
Simetrik bir yapıya sahip

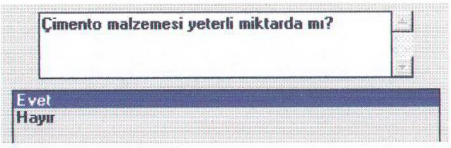

Dolusavak yerleşim durumunu belirleyiniz.
Sol yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sol ve sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sol ve sağ yamaç dol. yerleştirilmesine uygun değil
Dol. baraj gov. büy.bir kısmını kaplayacak büy.

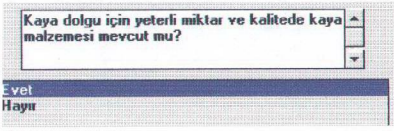

Baraj yüksekliğini seçiniz.
H<10 m.
10<H<=20 m.
20<H<=50 m.
50<H<=75 m.
75<H<=100 m.
100<H<=125 m.
125<H<=150 m.
150<H<=200 m.
200<H<=250 m.
250<H<=300 m.

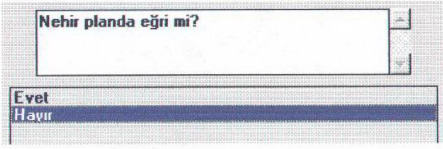

Beton baraj için kum-çakıl yeterince mevcut mu?
Evet
Hayır

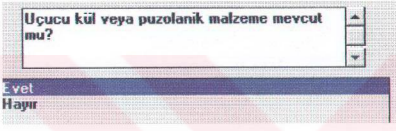

Dolusavak kapasitesi...
oldukça fazla, büyük taşkın debi. savaklanması gerekme
orta kapasitede taşkın debisine haiz
küçük kapasitede taşkın debisine haiz

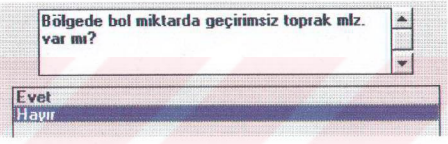

Kırma taş agrega malzeme temini yeterli miktarda temin edilebilir mi?
Evet
Hayır

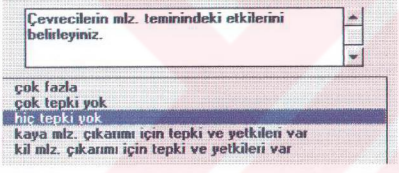

Çimento malzemesi yeterli miktarda mı?
Evet
Hayır

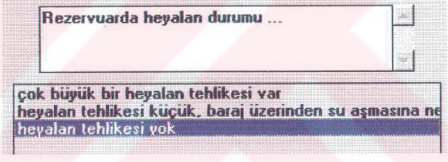

Kaya dolgu için yeterli miktar ve kalitede kaya malzemesi mevcut mu?
Evet
Hayır

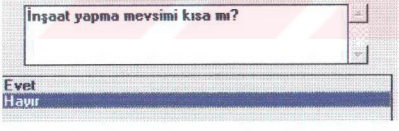

Nehir planda eğri mi?
Evet
Hayır

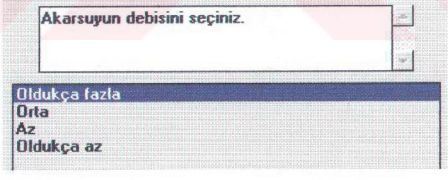

Uçucu kül veya puzolanik malzeme mevcut mu?
Evet
Hayır

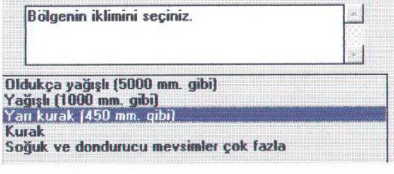

Bölgede bol miktarda geçirimsiz toprak mlz. var mı?
Evet
Hayır

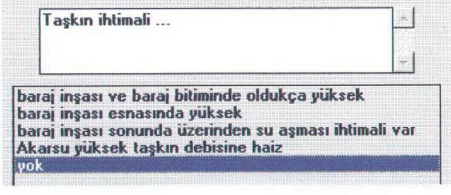

Çevrecilerin mlz. teminindeki etkilerini belirleyiniz.
çok fazla
çok tepki yok
hiç tepki yok
kaya mlz. çıkarımı için tepki ve yetkileri var
kil mlz. çıkarımı için tepki ve yetkileri var

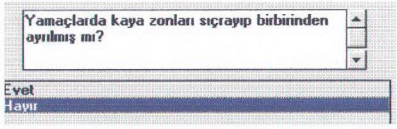

Rezervuarda heyalan durumu ...
çok büyük bir heyalan tehlikesi var
heyalan tehlikesi küçük, baraj üzerinden su aşmasına ne
heyalan tehlikesi yok

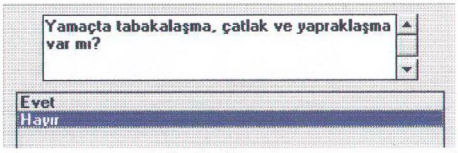

İnşaat yapma mevsimi kısa mı?
Evet
Hayır

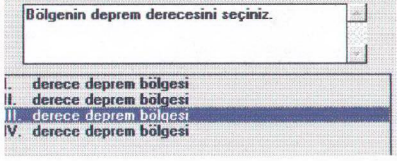

Akarsuyun debisini seçiniz.
Oldukça fazla
Orta
Az
Oldukça az

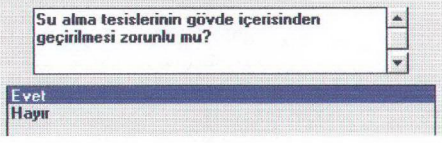

Bölgenin iklimini seçiniz.
Oldukça yağışlı (5000 mm. gibi)
Yağışlı (1000 mm. gibi)
Yarı kurak (450 mm. gibi)
Kurak
Soğuk ve dondurucu mevsimler çok fazla

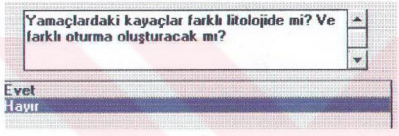

Taşkın ihtimali ...
baraj inşası ve baraj bitiminde oldukça yüksek
baraj inşası esnasında yüksek
baraj inşası sonunda üzerinden su aşması ihtimali var
Akarsu yüksek taşkın debisine haiz
yok

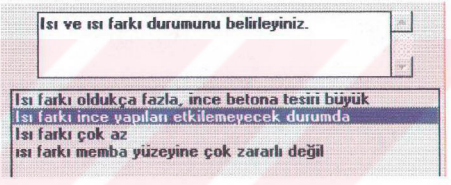

Yamaçlarda kaya zonları sıçrayıp birbirinden ayrılmış mı?
Evet
Hayır

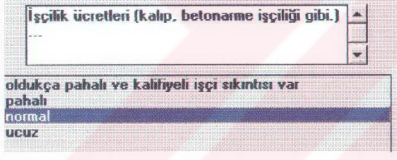

Yamaçta tabakalaşma, çatlak ve yapraklaşma var mı?
Evet
Hayır

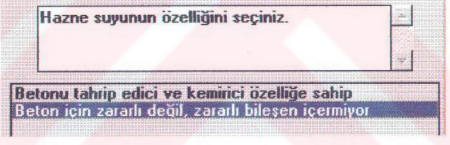

Bölgenin deprem derecesini seçiniz.
I. derece deprem bölgesi
II. derece deprem bölgesi
III. derece deprem bölgesi
IV. derece deprem bölgesi

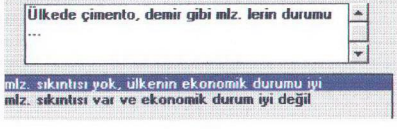

Su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu mu?
Evet
Hayır

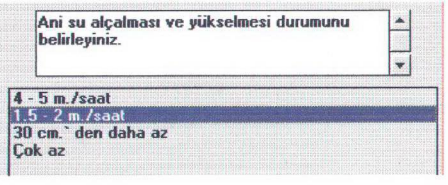

Yamaçlardaki kayaçlar farklı litolojide mi? Ve farklı oturma oluşturacak mı?
Evet
Hayır

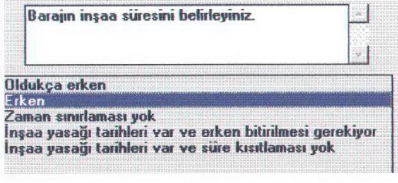

Isı ve ısı farkı durumunu belirleyiniz.
Isı farkı oldukça fazla, ince betona tesiri büyük
Isı farkı ince yapıları etkilemeyecek durumda
Isı farkı çok az
ısı farkı memba yüzeyine çok zararlı değil

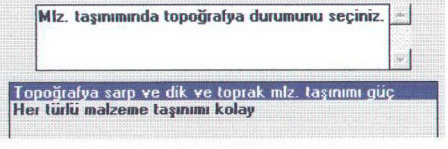

İşçilik ücretleri (kalıp, betonarme işçiliği gibi.)
...
oldukça pahalı ve kalifiyeli işçi sıkıntısı var
pahalı
normal
ucuz

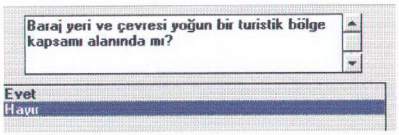

Hazne suyunun özelliğini seçiniz.
Betonu tahrip edici ve kemirici özelliğe sahip
Beton için zararlı değil, zararlı bileşen içermiyor

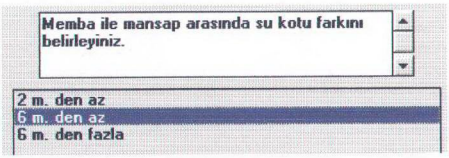

Ülkede çimento, demir gibi mlz. lerin durumu
...
mlz. sıkıntısı yok, ülkenin ekonomik durumu iyi
mlz. sıkıntısı var ve ekonomik durum iyi değil

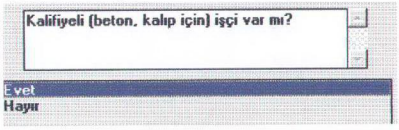

Ani su alçalması ve yükselmesi durumunu belirleyiniz.
4 - 5 m./saat
1.5 - 2 m./saat
30 cm.` den daha az
Çok az

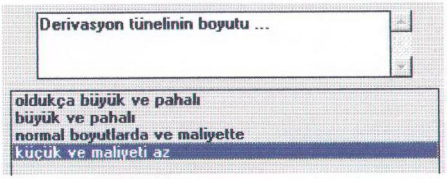

Barajın inşaa süresini belirleyiniz.
Oldukça erken
Erken
Zaman sınırlaması yok
İnşaa yasağı tarihleri var ve erken bitirilmesi gerekiyor
İnşaa yasağı tarihleri var ve süre kısıtlaması yok

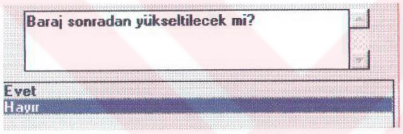

Mlz. taşınımında topoğrafya durumunu seçiniz.
Topoğrafya sarp ve dik ve toprak mlz. taşınımı güç
Her türlü malzeme taşınımı kolay

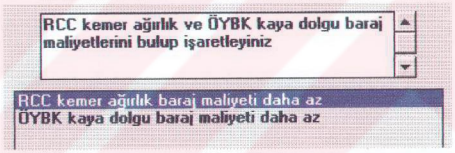


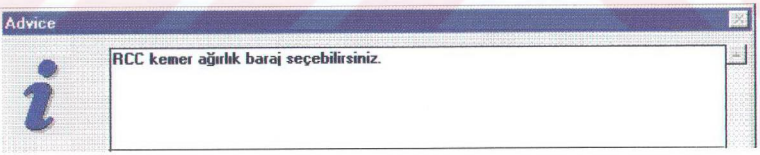






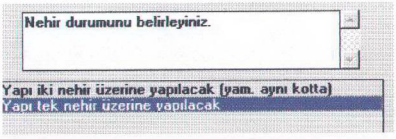


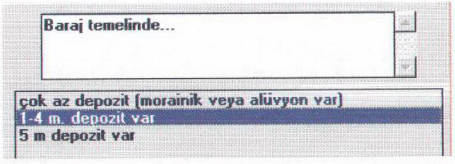


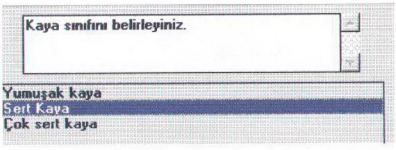


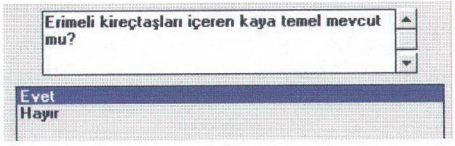
Karakaya Barajı Fırat Nehri üzerinde inşa edilmiş 173 m yüksekliğinde ve $2x10^6$ m^3 gövde hacminde bir kemer ağırlık barajdır. İnşaatına 1976'da başlanmış 1987'de bitirilmiştir. Oluşturulan uzman sistem ile yapılan analizler sonucu kemer ağırlık baraj tipi olarak yapılması yerine RCC baraj tipi olarak yapılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu barajın kemer ağırlık baraj tipi olarak seçilmiş olmasının nedeni, bu barajın projesinin hazırlandığı 1976'dan daha önceki yıllarda RCC baraj tipinin dünyada tanınmamasıdır. Eğer RCC kemer ağırlık baraj tipte seçilmiş olsaydı hem inşa süresi çok kısalacaktı ve hem de inşa maliyeti önemli oranda azalmış olacaktı.

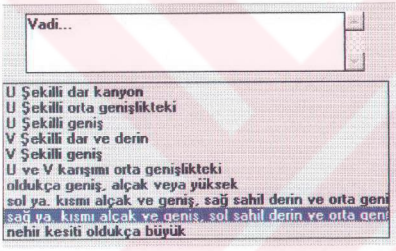
5.2.2. Keban Barajı

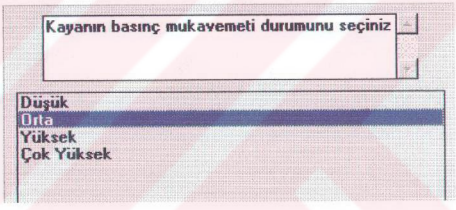


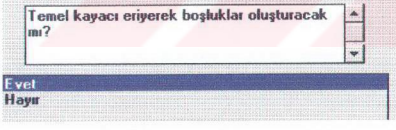


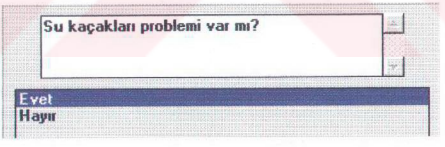


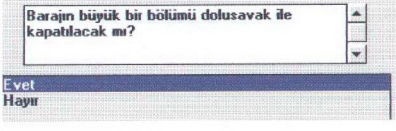


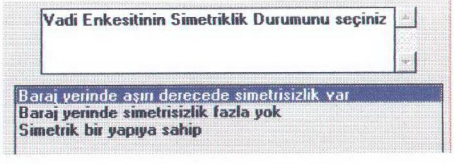


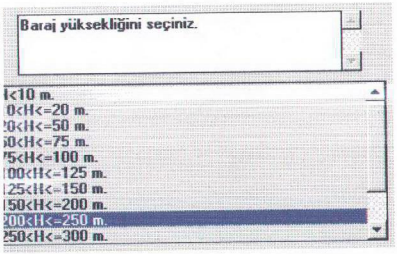


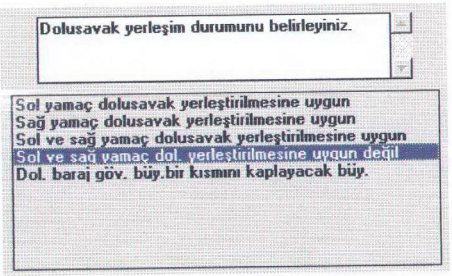




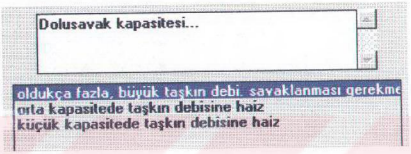


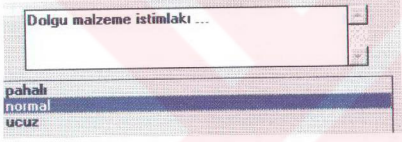


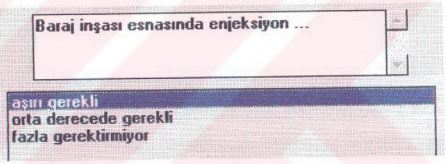

Baraj yüksekliğini seçiniz.
H<10 m.
0<H<=20 m.
0<H<=50 m.
0<H<=75 m.
5<H<=100 m.
00<H<=125 m.
25<H<=150 m.
50<H<=200 m.
00<H<=250 m.
250<H<=300 m.

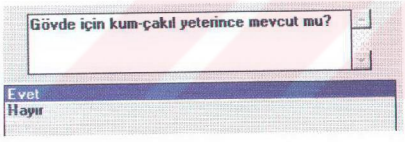

Dolusavak yerleşim durumunu belirleyiniz.
Sol yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sol ve sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sol ve sağ yamaç dol. yerleştirilmesine uygun değil
Dol. baraj göv. büy.bir kısmını kaplayacak büy.

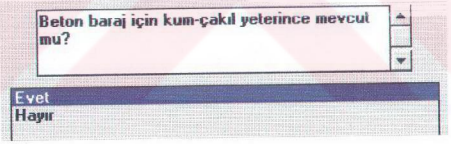

Nehir planda eğri mi?
Evet
Hayır

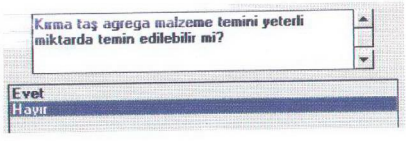

Dolusavak kapasitesi...
oldukça fazla, büyük taşkın debi. savaklanması gerekme
orta kapasitede taşkın debisine haiz
küçük kapasitede taşkın debisine haiz


Dolgu malzeme istimlakı ...
pahalı
normal
ucuz

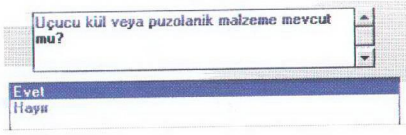

Baraj inşası esnasında enjeksiyon ...
aşırı gerekli
orta derecede gerekli
fazla gerektirmiyor

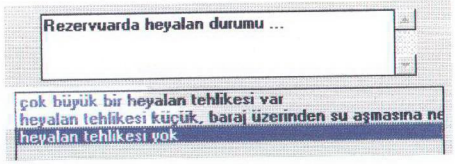

Gövde için kum-çakıl yeterince mevcut mu?
Evet
Hayır

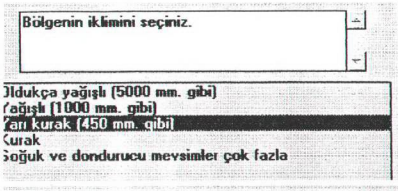

Beton baraj için kum-çakıl yeterince mevcut mu?
Evet
Hayır

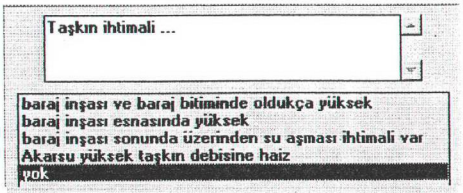

Kırma taş agrega malzeme temini yeterli miktarda temin edilebilir mi?
Evet
Hayır

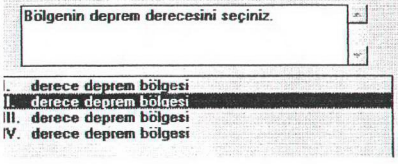

Çimento malzemesi yeterli miktarda mı?
Evet
Hayır

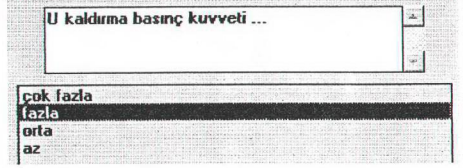

Uçucu kül veya puzolanik malzeme mevcut mu?
Evet
Hayır

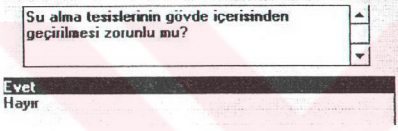

Rezervuarda heyalan durumu ...
çok büyük bir heyalan tehlikesi var
heyalan tehlikesi küçük, baraj üzerinden su aşmasına ne
heyalan tehlikesi yok

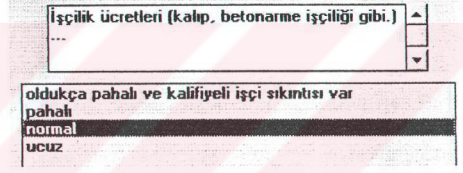

Bölgenin iklimini seçiniz.
Oldukça yağışlı (5000 mm. gibi)
Yağışlı (1000 mm. gibi)
Yarı kurak (450 mm. gibi)
Kurak
Soğuk ve dondurucu mevsimler çok fazla

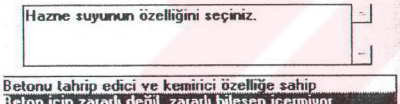

Taşkın ihtimali ...
baraj inşası ve baraj bitiminde oldukça yüksek
baraj inşası esnasında yüksek
baraj inşası sonunda üzerinden su aşması ihtimali var
Akarsu yüksek taşkın debisine haiz
yok

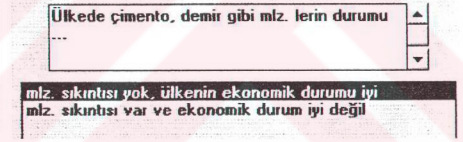

Bölgenin deprem derecesini seçiniz.
I. derece deprem bölgesi
II. derece deprem bölgesi
III. derece deprem bölgesi
IV. derece deprem bölgesi

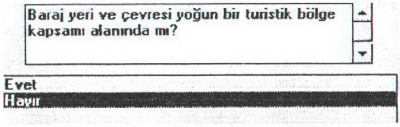

U kaldırma basınç kuvveti ...
çok fazla
fazla
orta
az

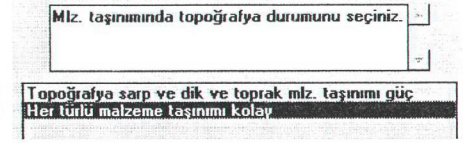

Su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu mu?
Evet
Hayır

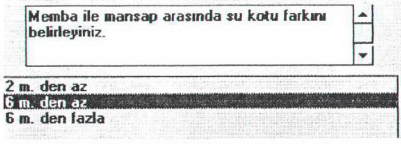

İşçilik ücretleri (kalıp, betonarme işçiliği gibi.)
...
oldukça pahalı ve kalifiyeli işçi sıkıntısı var
pahalı
normal
ucuz

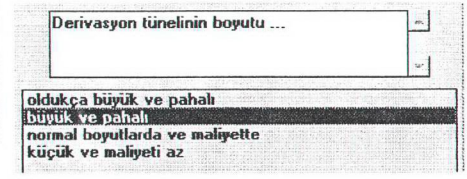

Hazne suyunun özelliğini seçiniz.
Betonu tahrip edici ve kemirici özelliğe sahip
Beton için zararlı değil, zararlı bileşen içermiyor

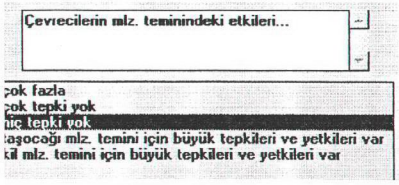

Ülkede çimento, demir gibi mlz. lerin durumu
...
mlz. sıkıntısı yok, ülkenin ekonomik durumu iyi
mlz. sıkıntısı var ve ekonomik durum iyi değil

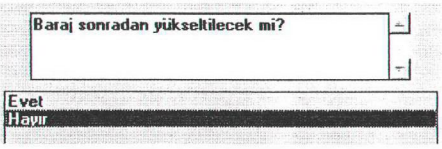

Baraj yeri ve çevresi yoğun bir turistik bölge kapsamı alanında mı?
Evet
Hayır

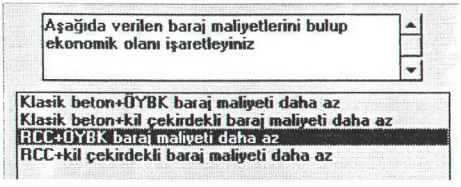

Mlz. taşınımında topoğrafya durumunu seçiniz.
Topoğrafya sarp ve dik ve toprak mlz. taşınımı güç
Her türlü malzeme taşınımı kolay

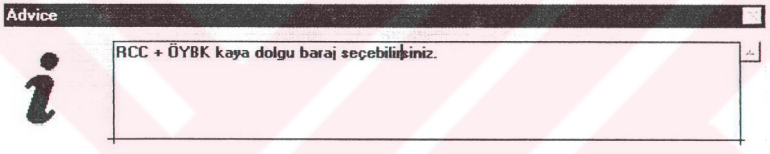

Memba ile mansap arasında su kotu farkını belirleyiniz.
2 m. den az
6 m. den az
6 m. den fazla


Derivasyon tünelinin boyutu ...
oldukça büyük ve pahalı
büyük ve pahalı
normal boyutlarda ve maliyette
küçük ve maliyeti az



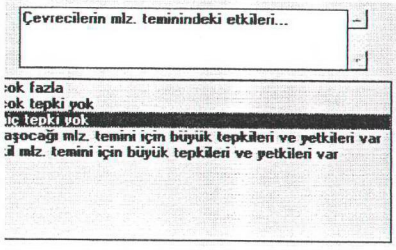


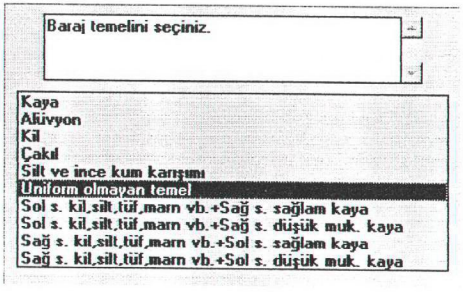


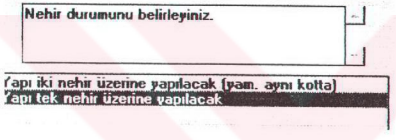


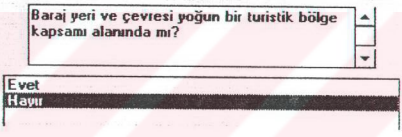
Keban Barajı Fırat Nehri üzerinde inşa edilmiş 207 m yüksekliğinde ($14x10^6$+941 470) m^3 hacimli bir kil çekirdekli kaya dolgu +klasik beton ağırlık barajdır. İnşaatına 1969'da başlanmış 1975'de bitirilmiştir. Oluşturulan uzman sistem ile aynı sonuç alınamamıştır. 1969'da baraj inşaatı başladığına göre projesi çok daha önce hazırlanmıştır. Bu tarihlerde ÖYBK kaya dolgu barajlar yığılmış kaya dolgu tipte inşa edilmekteydi. Bu tip barajlarda yığılmış kaya dolgu metotla inşa edilen barajlarda aşırı oturma gözlendiğinden yüksek barajların yapımında kullanılmamıştır. ÖYBK kaya dolgu baraj seçilmemesini yukarıda belirtilen nedene bağlamak mümkündür. Dolusavağı gövde üzerine oturtmak için baraj gövdesinin bir kısmı klasik beton ağırlık baraj seçilmiştir. RCC seçilmemesinin nedeni bu tipin tanınmamasından kaynaklanmıştır. Eğer RCC+ÖYBK tipte seçilmiş olsaydı oldukça kısa sürede ve daha az maliyete inşa edilmiş olacaktı.

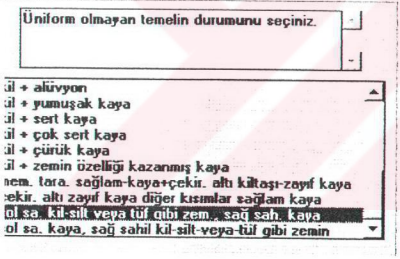
5.2.3. Gözeler Barajı

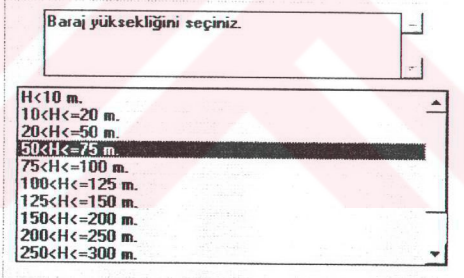


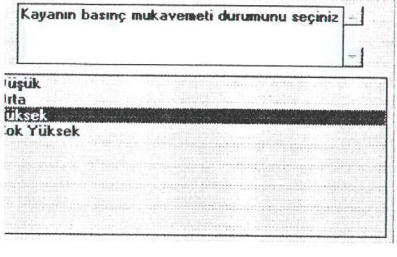


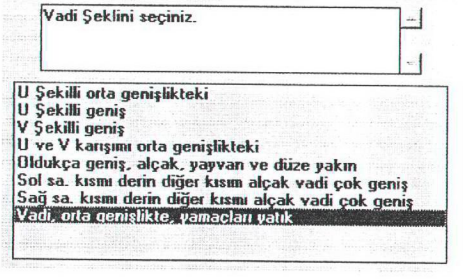


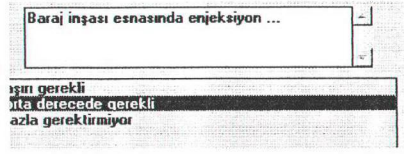


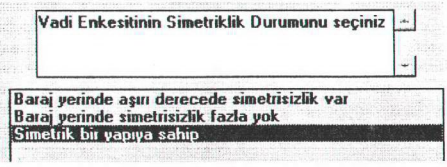


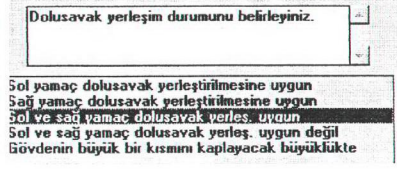


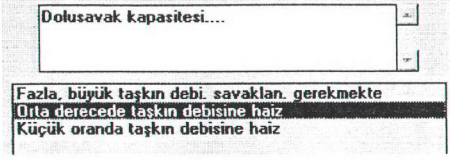


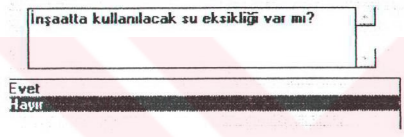


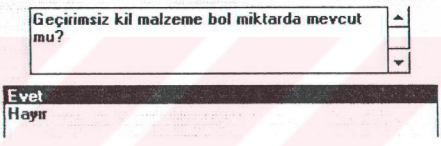

Baraj inşası esnasında enjeksiyon ...
şırı gerekli
rta derecede gerekli
azla gerektirmiyor

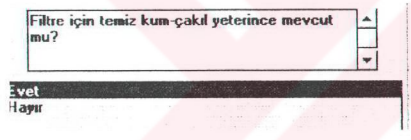

Vadi Enkesitinin Simetriklik Durumunu seçiniz
Baraj yerinde aşırı derecede simetrisizlik var
Baraj yerinde simetrisizlik fazla yok
Simetrik bir yapıya sahip

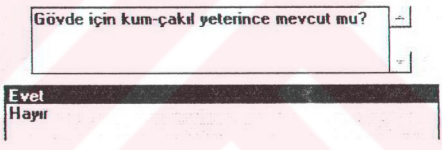

Dolusavak yerleşim durumunu belirleyiniz.
Sol yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sol ve sağ yamaç dolusavak yerleş. uygun
Sol ve sağ yamaç dolusavak yerleş. uygun değil
Gövdenin büyük bir kısmını kaplayacak büyüklükte

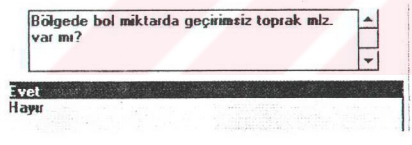

Dolusavak kapasitesi....
Fazla, büyük taşkın debi. savaklan. gerekmekte
Orta derecede taşkın debisine haiz
Küçük oranda taşkın debisine haiz

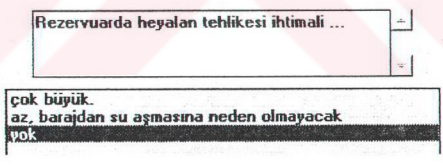

İnşaatta kullanılacak su eksikliği var mı?
Evet
Hayır

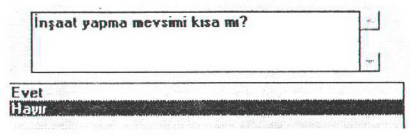

Geçirimsiz kil malzeme bol miktarda mevcut mu?
Evet
Hayır

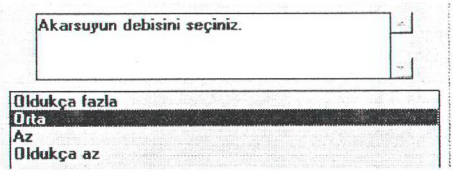

Filtre için temiz kum-çakıl yeterince mevcut mu?
Evet
Hayır

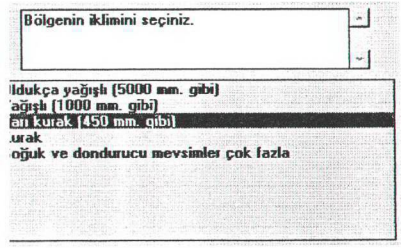

Gövde için kum-çakıl yeterince mevcut mu?
Evet
Hayır

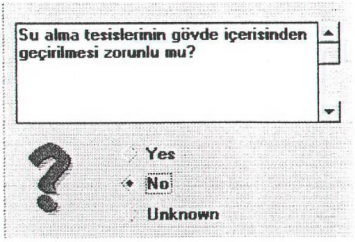

Bölgede bol miktarda geçirimsiz toprak mlz. var mı?
Evet
Hayır

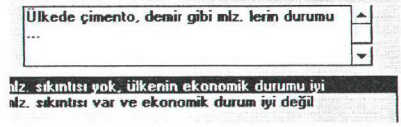

Rezervuarda heyalan tehlikesi ihtimali ...
çok büyük.
az, barajdan su aşmasına neden olmayacak
yok

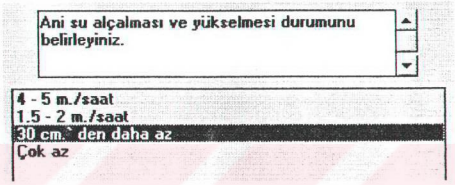

İnşaat yapma mevsimi kısa mı?
Evet
Hayır

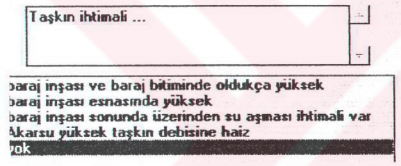

Akarsuyun debisini seçiniz.
Oldukça fazla
Orta
Az
Oldukça az

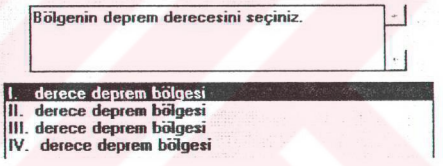

Bölgenin iklimini seçiniz.
ldukça yağışlı (5000 mm. gibi)
ağışlı (1000 mm. gibi)
arı kurak (450 mm. gibi)
urak
oğuk ve dondurucu mevsimler çok fazla

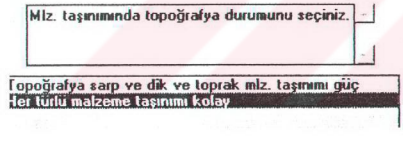

Su alma tesislerinin gövde içerisinden geçirilmesi zorunlu mu?
Yes
No
Unknown

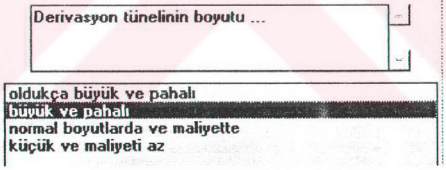

Ülkede çimento, demir gibi mlz. lerin durumu ...
lz. sıkıntısı yok, ülkenin ekonomik durumu iyi
lz. sıkıntısı var ve ekonomik durum iyi değil

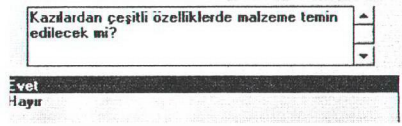

Ani su alçalması ve yükselmesi durumunu belirleyiniz.
4 - 5 m./saat
1.5 - 2 m./saat
30 cm.' den daha az
Çok az

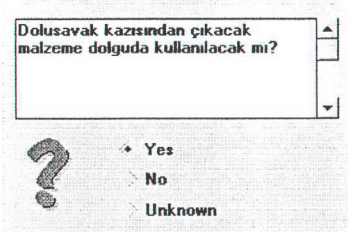

Taşkın ihtimali ...
araj inşası ve baraj bitiminde oldukça yüksek
araj inşası esnasında yüksek
araj inşası sonunda üzerinden su aşması ihtimali var
Akarsu yüksek taşkın debisine haiz
ok

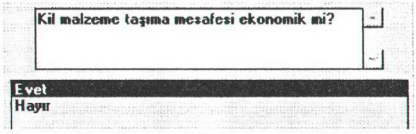

Bölgenin deprem derecesini seçiniz.
I. derece deprem bölgesi
II. derece deprem bölgesi
III. derece deprem bölgesi
IV. derece deprem bölgesi

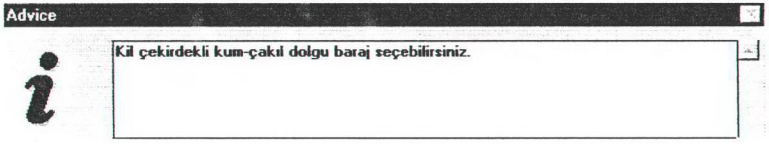

Mlz. taşınımında topoğrafya durumunu seçiniz.
Topoğrafya sarp ve dik ve toprak mlz. taşınımı güç
Her türlü malzeme taşınımı kolay


Derivasyon tünelinin boyutu ...
oldukça büyük ve pahalı
büyük ve pahalı
normal boyutlarda ve maliyette
küçük ve maliyeti az


Kazılardan çeşitli özelliklerde malzeme temin edilecek mi?
Evet
Hayır

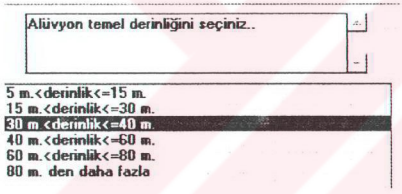

Dolusavak kazısından çıkacak malzeme dolguda kullanılacak mı?
Yes
No
Unknown

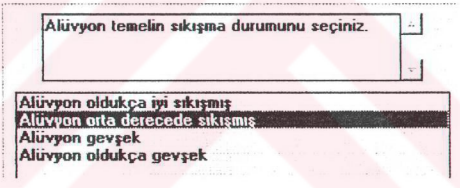


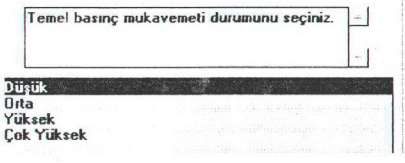


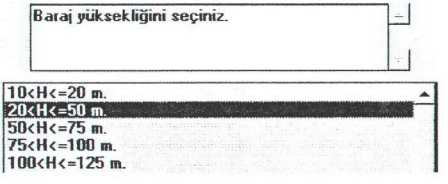
Bingöl ili yakınlarında Koçan Deresi üzerinde 59 m yüksekliğinde 1 482 000 m^3 hacimli kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj tipte inşa edilmiştir. baraj temeli üniform olmayan temeldir. Baraj aksına yakın kil ve kum çakıl malzeme temini kolaydır. Seçilen baraj tipi program ile bulunan baraj tipiyle aynı olmuştur.

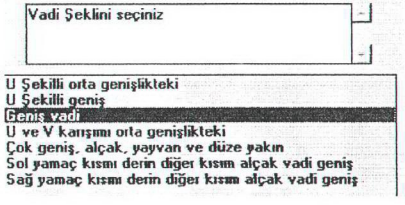
5.2.4. Fırat Üniversitesi Göleti

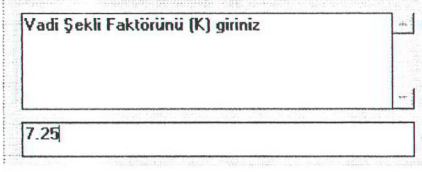


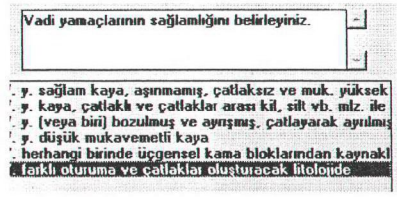


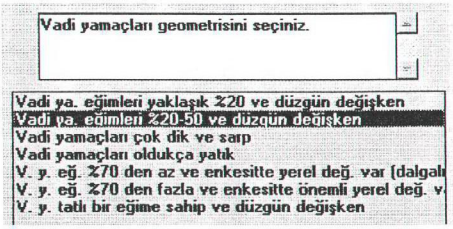


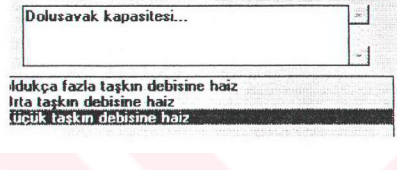


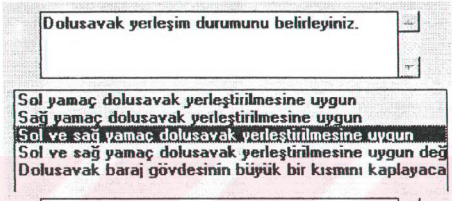


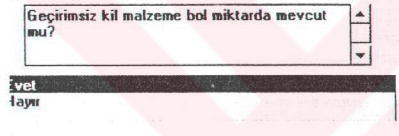


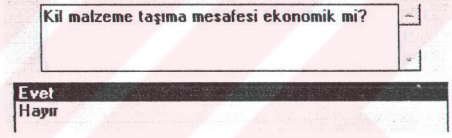

Vadi yamaçlarının sağlamlığını belirleyiniz.
. y. sağlam kaya, aşınmamış, çatlaksız ve muk. yüksek
. y. kaya, çatlaklı ve çatlaklar arası kil, silt vb. mlz. ile
. y. (veya biri) bozulmuş ve ayrışmış, çatlayarak ayrılmış
. y. düşük mukavemetli kaya
. herhangi birinde üçgensel kama bloklarından kaynakl
. farklı oturuma ve çatlakları oluşturacak litolojide

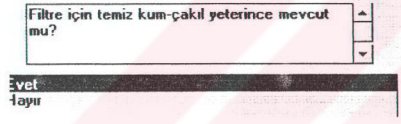

Vadi yamaçları geometrisini seçiniz.
Vadi ya. eğimleri yaklaşık %20 ve düzgün değişken
Vadi ya. eğimleri %20-50 ve düzgün değişken
Vadi yamaçları çok dik ve sarp
Vadi yamaçları oldukça yatık
V. y. eğ. %70 den az ve enkesitte yerel değ. var (dalgalı
V. y. eğ. %70 den fazla ve enkesitte önemli yerel değ. v
V. y. tatlı bir eğime sahip ve düzgün değişken

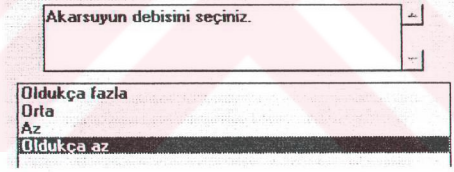

Dolusavak kapasitesi...
ldukça fazla taşkın debisine haiz
rta taşkın debisine haiz
üçük taşkın debisine haiz

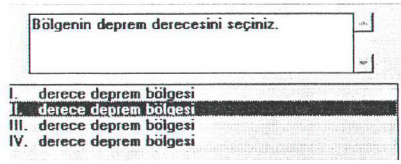

Dolusavak yerleşim durumunu belirleyiniz.
Sol yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sol ve sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun
Sol ve sağ yamaç dolusavak yerleştirilmesine uygun değ
Dolusavak baraj gövdesinin büyük bir kısmını kaplayaca

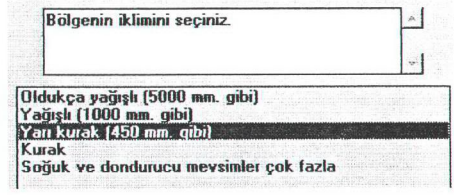

Geçirimsiz kil malzeme bol miktarda mevcut mu?
Evet
Hayır

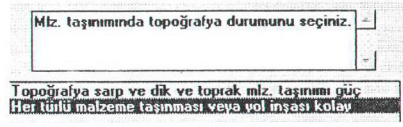

Kil malzeme taşıma mesafesi ekonomik mi?
Evet
Hayır

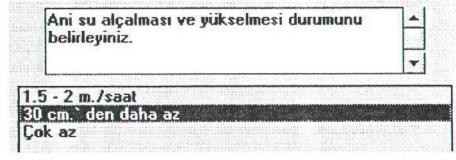

Filtre için temiz kum-çakıl yeterince mevcut mu?
Evet
Hayır

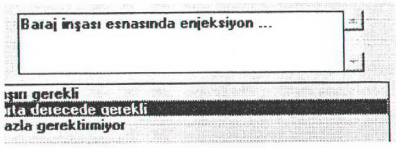

Akarsuyun debisini seçiniz.
Oldukça fazla
Orta
Az
Oldukça az

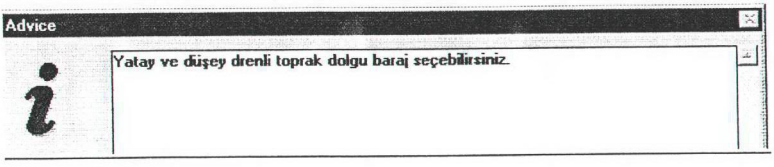

Bölgenin deprem derecesini seçiniz.
I. derece deprem bölgesi
II. derece deprem bölgesi
III. derece deprem bölgesi
IV. derece deprem bölgesi


Bölgenin iklimini seçiniz.
Oldukça yağışlı (5000 mm. gibi)
Yağışlı (1000 mm. gibi)
Yarı kurak (450 mm. gibi)
Kurak
Soğuk ve dondurucu mevsimler çok fazla


Mlz. taşınımında topoğrafya durumunu seçiniz.
Topoğrafya sarp ve dik ve toprak mlz. taşınımı güç
Her türlü malzeme taşınması veya yol inşası kolay


Ani su alçalması ve yükselmesi durumunu belirleyiniz.
1.5 - 2 m./saat
30 cm. den daha az
Çok az





Fırat Üniversitesinin yeşil alanlarının sulanması ve taşkın kontrollü olarak yapılması planlanan 29 m yüksekliğinde 213 877 m^3 gövde hacimli bir yatay düşey drenli toprak dolgu baraj tipte bir homojen barajdır. Seçilen baraj tipi ile program tarafından önerilen baraj tipi aynı olmuştur.

Ülkemizde inşa edilen bazı baraj tiplerinin, program tarafından önerilen baraj tipleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tecrübeli mühendisler ve DTS ES programı ile önerilen baraj tiplerinin karşılaştırılması

Barajın Adı	Akarsu	İli	Tecrübeli mühendisler tarafından önerilen baraj tipi	DTS ES Programı tarafından önerilen baraj tipi
Karacaören II	Aksu	Burdur	Klasik Beton Ağırlık	RCC
Birecik Barajı	**Fırat**	**Ş.Urfa**	**Klasik Beton A.+Kaya**	**FSHD+Kil Çekirdekli Kaya**
Koçhisar	Büyüköz	Çorum	Klasik Beton Ağırlık	RCC
Manyas	**Kocaçay**	**Balıkasir**	**Kum+Çakıl**	**Kil Çekirdekli Kum+Çakıl**
Torul Barajı	Harşit	Gümüşhane	Klasik Beton Ağırlık	FSHD
Şekerova	**Badişan**	**Ağrı**	**Kil Çekirdekli Kaya**	**ÖYBK Kaya Dolgu Baraj**
Muratlı	Çoruh	Artvin	Asfalt Yüzlü kaya	ÖYBK Kaya Dolgu baraj
Doyduk	**Kalaycık**	**Nevşehir**	**Toprak baraj**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Artvin	Çoruh	Artvin	Kemer Ağırlık	RCC Kemer Ağırlık
Porsuk	**Porsuk**	**Eskişehir**	**Klasik Beton Ağırlık**	**RCC**
Damsa	Damsa	Nevşehir	Toprak	Kil Çekirdekli Kum Çakıl
Altınyazı	**Basamaklar**	**Edirne**	**Toprak**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Devegeçidi	Furtakşa	Diyarbakır	Kaya	Kil Çekirdekli Kum Çakıl
Gökçekaya	**Sakarya**	**Eskişehir**	**Beton Kemer**	**İnce kemer Baraj**
Medik	Tohma	Malatya	Toprak+kaya	Merkezi Kil Çekirdekli Kaya
Dodurga	**Sarısu**	**Eskişehir**	**Toprak**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Boztepe	Boztepe	Tokat	Toprak	Yatay-düşey Drenli Toprak B.
Alibey	**Alibey**	**İstanbul**	**Toprak**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Doğanca	Nilüfer	Bursa	Kaya	ÖYBK
Arpaçay	**Arpaçay**	**Kars**	**Beton Ağırlık**	**RCC**
Söğüt	Ilgın	Kütahya	Toprak	Yatay-düşey Drenli Toprak B.
Alaca	**Suludere**	**Çorum**	**Kaya**	**ÖYBK**
Belpınar	Devrek	Tokat	Kaya	Merkezi Kil Çekirdekli Kaya
Oymapınar	**Manavgat**	**Antalya**	**Beton Kemer**	**RCC Kemer Ağırlık**
Altınkaya	Kızılırmak	Samsun	Kaya	ÖYBK
Manavgat	**Manavgat**	**Antalya**	**Toprak**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Gökçe	Sellimandra	Yalova	Kaya	ÖYBK
Darlık	**Darlık**	**İstanbul**	**Toprak**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Karacaören	Aksu	Burdur	Toprak	Kil Çekirdekli Kum Çakıl
Gezende	**Ermenek**	**İçel**	**Beton Kemer**	**RCC Kemer Ağırlık**
Sarımehmet	Karasu	Van	Kum+Çakıl	Kil Çekirdekli Kum Çakıl
Göksu	**Göksu**	**Diyarbakır**	**Toprak+Kaya**	**Merkezi Kil Çekirdekli Kaya**
Atatürk	Fırat	Şanlıurfa	Kaya	ÖYBK
Eğrekkaya	**Sey**	**Ankara**	**Kum+Çakıl**	**Kil Çekirdekli Kum Çakıl**
Demirdöven	Tımar	Erzurum	Kum+Çakıl	Kil Çekirdekli Kum Çakıl
Gönen	**Gönen**	**Balıkesir**	**Toprak+Kaya**	**Eğik Kil Çekirdekli Kaya**
Kralkızı	Dicle	Diyarbakır	Toprak+kaya	ÖYBK
Özlüce	**Peri**	**Bingöl**	**Kaya**	**ÖYBK**
Kürtün	Harşit	Gümüşhane	ÖYBK	ÖYBK
Çayboğazı	**Kapalıçay**	**Antalya**	**Kum+Çakıl**	**FSHD**
Dicle	Dicle	Diyarbakır	Kaya+Toprak	Merkezi Kil Çekirdekli Kaya
Kirazdere	**Kirazdere**	**Kocaeli**	**Toprak+Kaya**	**ÖYBK**
Berke	Ceyhan	K.Maraş	İnce Kemer	İnce kemer
İmranlı	**Kızılırmak**	**Sivas**	**Kum+Çakıl**	**Kil Çekirdekli Kum Çakıl**
Havran	Havran	Balıkesir	Kaya	ÖYBK+FSHD
Karkamış	**Fırat**	**K. Maraş**	**Beton+Toprak**	**FSHD+Yatay+Düşey D. B.**
Dim	Dim	Antalya	ÖYBK	ÖYBK
Boyabat	**Kızılırmak**	**Sinop**	**Beton Ağırlık**	**FSHD**
Mecitözü	Mecitözü	Amasya	Kaya	ÖYBK
Ilısu	**Dicle**	**Mardin**	**Toprak+kaya**	**Merkezi Kil Çekirdekli Kaya**
Pınarcık	Basılınca	İzmir	Kum+Çakıl	Yatay-düşey Drenli Toprak B.
Karg	Sakarya	Ankara	Kaya	ÖYBK
Büyükkılıçh	**Mezra**	**Tekirdağ**	**Toprak**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Çamur	Muğra	Trabzon	Toprak	FSHD
Hatunköy	**Hatunköy**	**Elazığ**	**Toprak+Kaya**	**Memba Eteği kum-çakıl, Mansap Eteği kaya dolgu kil çe. baraj**
Muratlı	Çoruh	Artvin	Asfalt Yüzlü Kaya	ÖYBK kaya dolgu
Pazaryolu	**Değirmen**	**Erzurum**	**Kaya**	**Eğik Kil Çekirdekli Kaya**
Aydınca	Belderesi	Amasya	Kaya	Memba Eteği kum-çakıl, Mansap Eteği kaya dolgu kil çe. baraj
Gökpınar	**Gökpınar**	**Eskişehir**	**Toprak**	**Yatay-düşey Drenli Toprak B.**
Göktaş	Zamantı	Adana	Beton	FSHD

6. SONUÇLAR

İnşaat mühendisliğinde yapay zeka uygulamaları henüz yeni bir konudur. Özellikle uzman sistemler ile ilgili ülkemizde yapılan çalışmalar çok azdır. Son zamanlarda oldukça popüler olan uzman sistemlerin gelecekte daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

Bu çalışmada barajların tip seçimi, yapay zekanın bir alt birimi olan uzman sistemler kullanılarak yapılmıştır. Önce uzman sistemin bilgi tabanı kurallar halinde oluşturulmuş, sonra bu kurallar yardımıyla ESTA uzman sistem shell'i kullanılarak barajlarda tip seçimine karar veren DTS ES uzman sistemi hazırlanmıştır. Uzman sistemin bilgi tabanı oluşturulurken; birçok ülkelerdeki uzmanların tecrübelerinden, ASCE (American Society Civil Engineering) ve diğer bilim kuruluşları tarafından düzenlenen barajlar ile ilgili sempozyumlardaki makalelerden, ilgili tüm literatürden, DSİ ve EİEİ'de 15- 20 yıldan fazla çalışmış tecrübeli mühendisler ve teknik elemanlardan, üniversitelerdeki ilgili öğretim elemanlarının bilgilerinden yararlanılmıştır.

DTS ES uzman sistemi baraj tip seçiminde kullanılabileceği gibi baraj tip seçimi konusunda yeterli tecrübeye sahip olmayan mühendislerin yetiştirilmesinde de eğitim amaçlı olarak kullanılabilir. Bu uzman sistem ileride geliştirilebilecek niteliğe sahiptir. Teknolojik ilerlemelere paralel olarak ortaya çıkan yeni kurallar hazırlanan uzman sisteme eklenilebilir.

Oluşturulan uzman sistem programı, kullanıcıya sorular sormaktadır. Program tarafından sorulan sorulara kullanıcı verilen seçenekleri işaretleyerek cevap vermektedir. Sorulan sorular kullanıcının işaretlediği seçeneklere göre yönlenmekte, soru sayısı ve şekli her problem için farklı olabilmektedir. Neticede program tıpkı bir tecrübeli mühendis gibi bir karara varmakta ve karar ekrana yazılmaktadır. Kullanıcı, önerilen kararın gerekçesini öğrenmek istediği takdirde, gerekli bilgileri ekranda görebilmektedir. Buna ilaveten, kullanıcıya seçilen baraj tipinin pictures database'te olan tipik fotoğrafı, kesiti ve detaylı açıklayıcı bilgileri verilebilmektedir.

DTS ES uzman sistem programında, teknolojisi yeni olan ve ülkemizde halen kullanım alanı bulunmayan baraj tipleri de dikkate alınmıştır. Bir başka ifadeyle, oluşturulan uzman sistem yeni geliştirilen ve oldukça ekonomik olan baraj tiplerini de içermektedir. Ülkemizde birçok barajın kısa sürede inşa edilmesi planlanmaktadır. Geliştirilen program, ülkemizde yapılacak barajların tip seçimlerinin belirlenmesinde kullanılabilecek niteliğe sahiptir.

Bu çalışmada DTS ES programı ile, ülkemizde inşa edilmiş olan birçok baraj test edilmiştir. Bu test neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de ve programın bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Yatay-düşey drenli ve kum-çakıl dolgu barajlar için DTS ES programının önerdiği baraj tipi ile tecrübeli teknik elemanların seçtikleri baraj tiplerinin genellikle aynı olduğu görülmüştür.

- Özellikle daha önceden inşa edilmiş çok yüksek barajların tipleri, program ile bulunanlardan farklı olmuştur. Örneğin Keban barajı kil çekirdekli kaya dolgu baraj+klasik beton ağırlık baraj tipinde inşa edilmiştir. Program ile daha ekonomik olan ÖYBK kaya dolgu baraj+RCC tipte yapılması önerilmiştir. Diğer bir örnek olarak Atatürk barajı merkezi kil çekirdekli kaya dolgu baraj tipinde inşa edilmiştir. Atatürk barajının hazırlanan uzman sistem ile ÖYBK kaya dolgu olarak seçilmesi önerilmiştir. Yukarıdaki iki örnekte açık olarak görüldüğü gibi bu farklılıkların nedeninin, o tarihlerde bu baraj tiplerinin iyi tanınmaması ve kullanılacak iş makinelerinin yeterli olmamasından kaynaklandığı söylenebilir.
- Programın RCC veya FSHD baraj olarak önerdiği birçok barajın, kaya dolgu tipte inşa edildiği görülmüştür. Ülkemizde inşa edilen barajların tip seçiminde beton barajların seçiminin oldukça az olduğu görülmüştür.
- Kil çekirdekli kaya dolgu tipte inşa edilen birçok baraj yeri için, DTS ES programı tarafından ÖYBK kaya dolgu baraj önerilmiştir.
- Baraj temelinin sıkı alüvyon olduğu ve bölgede toprak malzeme kısıtlı olduğu ve baraj yüksekliğinin 20 metreden az olduğu baraj yerlerinde, DTS ES programı tarafından temel alanı genişletilmiş FSHD baraj önerilmiştir. Bu yerler için tecrübeli mühendisler homojen dolgu barajlar seçmişlerdir. Bu durumda malzeme ocaklarının mesafeleri uzak olduğundan maliyet fazla olmuştur.
- Program tarafından çelik yüzlü kaya dolgu baraj seçimine pek rastlanmamıştır.
- Program tarafından asfalt yüzlü kaya dolgu baraj seçiminin ÖYBK kaya dolgu baraj seçiminden daha az olduğu görülmüştür.
- Programın yönelttiği soru sayısı baraj temelinin tipine göre değişmektedir. Temelin kaya olması durumunda, kayaçların isimlerinden çok litolojik özellikleri daha önemli olmaktadır. Bu durumda program tarafından sorulan soruların sayısı fazladır. Baraj temelinin kil veya alüvyon olması durumunda soru sayısı kaya temellere göre daha az olmaktadır.

Oluşturulan DTS ES programının avantajları maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir.

- Birçok tecrübeli mühendisin bilgisini bir arada içerdiğinden bu program geniş bir bilgi bankasına sahiptir.
- Baraj tip seçimi için farklı uzmanlık alanlarındaki elemanların ortak bir çalışma yapması gerekirken, hazırlanan DTS ES programını kullanan herhangi bir kişi bunu yalnız başına başarabilir.
- DTS ES programı günümüz teknolojisinde bilinen tüm baraj alternatiflerini kapsamaktadır.

- Hazırlanan uzman sistem, baraj planlamacılığında kullanılabilir ve birçok alternatifi çok kısa sürede değerlendirdiğinden belirli bir aks için baraj tip seçimini çok kısa bir sürede yapabilme özelliğine sahiptir.
- DTS ES programı üniversitelerde eğitim amaçlı olarak faydalı ve etkin bir şekilde kullanılabilir.
- Sorgulama sonucunda programın önerdiği kararın gerekçelerinin istenilmesi halinde, bunların adım adım izlenebilmesi mümkündür.
- Program kullanıcıya soruları şekil ve fotoğraflar kullanılarak yöneltebilmektedir.
- Program kullanıcıya sorgulama aşamasında kritik durumlarda gerektiğinde mesaj verebilmektedir.
- Program, sorgulama aşamasında yanlış veri girilmesi halinde kullanıcıyı uyarabilmektedir.
- Program, yeni bilgilere uyarlanabilme özelliğine sahiptir.

KAYNAKLAR

Abraham, T.J., (1970). "Selection and Design Of a Compacted ROCKFILL Dam With a Sloping Earth Core On a Foundation With Weak Horizontal Bedding Planes", 10th ICOLD Congress, Montreal, Q36, R.21, 1, pp.339-359.

Adeli, H. and Balasubramanyam, K. V., (1987), "A Heuristic Approach for Interactive Analysis of Bridge Trusses Under Moving Loads", Microcomputer in civil Engineering, 2, No.1, 1-18.

Akarun, R., (1997). "Söyleşi", Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 392, s.35-41.

Alkass, S. and Harris, F. (1988), "Expert System to Earthmoving Equipment Selection in Road Construction", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 114, No.3, pp. 426-440.

Amaya, Fabio, and Marulanda, Alberto, (1985) "Golillas Dam- Design, construction & performance", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 98-120,.

Antunes Sobrinho, Josè, and da Cunha, Joaquim C., (1985) "Ità Dam-Selection of type", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 601-607,.

Armstrong, E. L., (1977). "Selection Of The Dam", in Handbook Of Dam Engineering, Edited by Alfred R. Golze, pp. 267-289, Van Nostrand Reinhold, New York.

Arrau, Luis, Ibarra, Ismael, and Noguera, Guillermo, (1985) "Performance of Cogoti Dam under seismic loading", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 1-14,.

Arslan, A., Emiroğlu, M.E., (1997). "Uzman Sistemler ve İnşaat Mühendisliğinde Uygulamaları", Türkiye Mühendislik Haberleri TMMOB İnşaat Mühendisler Odası, Yıl 42, Sayı 387, sayfa 41-48.

Arslan, A., (1992) "İnşaat Mühendisliğinde 'Uzman Sistem Uygulamaları", İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı III. Sempozyumu, İ.T.Ü.İnşaat Fakültesi,Cilt-I, pp.217-229, 15-19 Haziran 1992, İstanbul.

Astete, J.; Martin, L.S. and Alverez, L., (1992). "The Santa Juana CFRD for Irrigation In Northern Chile", Water Power & dam Construction, April, pp. 42-44

Ataseven, H., Özden, S., (1995). "Derivasyon Tesislerinin Projelendirme Esasları", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, Barajlar ve HES Dairesi başkanlığı, Baraj Proje Semineri, Uludağ, Bursa.

Auguita, P, Alvarez, L. And Vidal, L., (1993). "Two Chilean CFRD Designed on Riverbed Alluviums", Proceeding International Symposium on High Earth-Rockfill Dams, 26-29 October, 1993, Beijing, China, pp. 83-98.

Baffaut, C. and Delleur, J. W. (1989). " Expert Systems for Calibrating SWMM, Journal Water Resources Planning and Management, ASCE, pp. 115, 3, pp. 278-298.

Baffaut, C. and Delleur, J. W. (1990). " Calibrating of Runoff Quality Model with an Expert System, Journal Water Resources Planning and Management, ASCE, 116, 2, pp. 247-261.

Baile, W., Donggeng, W., and Yingqiang, H., (1994) "Construction of the Puding RCC arch dam", The International Journal On Hydropower & Dams, March 1994, pp. 55-57.

Beach, A., Gill, R., and Emmerick, P. V., (1991)"Advances in face slab construction techniques for CFRDs", Water Power & dam Construction, January, pp. 19-23.

Beene, Ralph R. W., and Pritchett, Edward C., (1985) "The R. D. Bailey Dam- A concrete-faced, earth-rockfill", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.163-172.

Beken, Ş., (1970). "Derivasyon - Dipsavak, Dolusavak", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müd., Ankara.

Bell, F.G., (1993). "Engineering Geology", Blackwell Scientific Publications, London.

Bernard, A. E. and David, B. B., (1991), "DSS: Dam Site Selector Expert System For Education, J. of Irrigation and Drainage Eng. Vol. 117. No. 5, October, ASCE, pp. 774-782.

Bilgi, V., (1987). "Kapalı Kondüilerde Gerilme Analizi", DSİ Genel Müdürlüğü barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Bilgi, V., (1990). "Toprak ve Kaya Dolgu Barajların Projelendirme Kriterleri" T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, Barajlar ve HES Dairesi başkanlığı, Ankara.

Binnie, G.M., (1987), "Masonry And Concrete Gravity Dams", Insdust. Archaeol Rev. x(1), pp41-58

Bodman, Willam L., and Wyatt, John D., (1985) "Design & performance of Shiroro rockfill dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 231-251.

Boggs, H. L ., Tarbox, G. S., and Jansen, R.B., (1988). "Arch Dam Design And Analysis", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 493-539, Van Nostrand Reinhold, New York.

Boggs, H.L., and Richardson, A.T, (1985) "USBR Design Considerations for Roller Compacted Concrete Dams", in Roller Compacted Concrete, ASCE, New York.

Bralts, V. F., Driscoll, M. A., Shayya, W. H. and Cao, L., (1993), "An expert system for the hydraulic analysis of microirrigation systems", Computers and Electronics in Agriculture, v. 9, pp. 275-287.

Brand, E.W. & Phillipson, H.B., (1984), "Site Investigation And Geotechnical Engineering Practice In Hong Kong., Geotechnical Engineering (15), pp. 97-153.

Bridle, R.C., Vaughan, P.R., & Jones, H.N., (1985), "Empingham Dam - Design, Construction And Performance, Proc. Inst. Civil Engrs. 78, pp. 247-289.

Buchanan, B.G. and Shortliffe, E. H., (1984), "Rule - Based Expert Systems", The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Addision Wesley.

Bureau Of Reclamation, (1987). "Design Of Small Dams", A Water Resource Technical Publication, United States Government Printing Office, Colorado.

Bureau Of Reclamation, (1987). "Embankment Dams", Design Standards No 13, United States Department Of The Interior, Engineering And Research Center Denver, Colorado.

Bureau, Gilles, Volpe, Richard L., Roth, Wolfgang H., and Udaka, Takekazu, (1985) "Seismic analysis of concrete face rockfill dams", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Const. and Performance, Ed. by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 479-508.

Canik, B., (1997), "Mühendislik Jeolojisi", Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 43, Ankara.

Casinader, R., and Watt, R. E., (1985) "Concrete face rockfill dams of the Winneke Project", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.140-162,.

Casinader, R.J. & Stapledon, D.H., "The Effect Of Geology On The Treatment Of The Dam Foundation Interface At Sugarload Dam, 13th. Int. Cong. On Large Dams, New Delhi, Q48, R32, pp. 591-618.

Chang, T. J., Zheng, H., Kleopa, X. A. and Teoh, C. B., (1996), "Development of an expert system for daily drought monitoring", Journal of computing in civil engineering, Vol. 10, No.1, pp. 9145.

Clocksin, W. F. and Mellis, C. S., (1981). " Programming in PROLOG, Springer, Verlag, New York.

Coats, D.J. & Rocke, G., (1983). "The Kielder Headworks", Proc. Inst. Civil Engrs. 72, pp 149-176.

Collins, R.C.M. & Humphreys, J. D., (1974), "Winscar Reservoir", J. Inst. Water Engrs. Scient. 28, pp 17 -46.

Cooke, J. B., (1991) "The concrete - faced rocfill dam", Water Power & Dam Construction , January, pp. 11-15,.

Cooke, J. B., and Sherard, J. L., (1987) "Concrete - Faced Rockfill Dam: I ", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 10, ASCE, pp.1096-1112.

Cooke, J. B., (1984) "Progress in rockfill dams", 18th Terzaghi Lecture, J. Geotech. Engr., 110(10), pp. 1381-1414,.

Cooke, J. B., and Sundaram, A. V., (1993). "Concrete Face Rockfill Dams", Davis' Handbook Of Applied Hydraulics, Ed. Vincent J. Zipparo and Hans Hasen, pp. 14.1-14.34, McGraw-Hill, New York.

Copen, M. D. & Scirivner, L. R., (1970) "Arc Dam Design, State of Art., J. Power Div., ASCE, vol. 96, pp. 93-108.

Corn, C. F., Lombardi, G., (1988). "Concrete Dam Performance And Remedial Measures", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 578-608, Van Nostrand Reinhold, New York.

Corns, C. F., Tarbox, G. S., (1988). "Gravity Dam Design And Analysis", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 466-492, Van Nostrand Reinhold, New York.

Correa, Regis Danton, and Thielen, Fernando, (1985) "Machadinho Dam in Brazil", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE. pp. 594-600.

Creager, W. P., Justin, J. D. and Hinds, J., (1957). "Engineering For Dams", Jhon Wiley & Sons, Inc. New York.

Çakmak, C., (1997). "Türkiye'de Su kaynakları Potansiyeli ve Developmanı", Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 391, s.31-35.

Çeçen, K., (1994). " Türkiye'de Hidroelektrik Enerji", Bilim Teknik, Ekim Ayı, sayfa 44-48.

Dascal, O., (1985) "The Qutardes 2 cocrete-faced rockfill dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.121-139.

Delleur, J. W., (1991), "Expert Systems in Hydrology", Computer Methods in Water Resources II Proc. 2 Int. Conf. Comput. Method Water Resour. Publ. by Computational Mechanics Pub., Southampton, Engl., pp. 119-133.

DSİ, (1996). "Türkiye'deki Barajlar ve Hidroelektrik Santrallar", DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

DSİ, (19..). "DSİ tarafından hazırlanan baraj planlama raporları", Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

Duncan, J.M., Wong, K.S. and Ozawa, Y. (1980). "Geotechnical Engineering, FEADAM: A Computer Program For Finite Element Analysis Of Dams", *Report No. UCB/GT/80-02,* University Of California, Berkeley.

Dunstan, M.R.H., (1992) "A Review Of Design Criteria For High RCC Dams", Roller Compacted Conctere III, ASCE, San Diego, California, pp. 132-147.

Dunstan, M.R.H., (1994) "The state - of - the - art of RCC dams", The International Journal On Hydropower & Dams, March 1994, pp. 44-54.

Durgunoğlu, T. ve Yazıcıoğlu, A., (1993). "Kaya Dolgu Barajlarda Gerilme ve Deformasyon Hesabına Ait Bir Uygulama", Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Semp. 20-25 Eylül 1993, İzmir, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, s. 123-138.

El-Naqa, A., (1994) "Rock mass characterization of Wadi Mujib dam site, Central Jardon", Engineering Geology, V38, n1-2, pp. 81-93.

Emiroğlu, M.E., (1996) "Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlarda İlk Tasarım Ve Maliyet Tahmini", DSİ Teknik Bülteni, sayı 87, say. 3-13.

Emiroğlu, M.E., Özkan, F., Öztürk, M., (1996). "Keban Barajı Rezervuarının Elazığ İli İklim Şartlarına Etkisi Üzerine Bir Araştırma", Harran Üni. Gap 1. Mühendislik Kongresi, 29 Mayıs-1 Haziran, Şanlıurfa.

Emiroğlu, M. E., (1997). "Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajların Avantajları ve İnşasındaki Son Gelişmeler", Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, sayı 393, sayfa 47-56.

Emiroğlu, M. E., (1997). "RCC Barajlarda Yeni Tasarım Kavramları", Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, sayı 393, sayfa 57-64.

Emiroğlu, M. E., (1998). "RCC Barajların Tasarım ve İnşasındaki Gelişmeler", Harran Üniversitesi Gap 2. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, 21-23 Mayıs 1998, Şanlıurfa, sayfa 191-200.

Engel, B.A., Jones, D.D., and Wright, J.R., (1988). "Selection of an Expert System Development Tool", American Society Of Agricultural Eng., paper no. 88-5017, pp. 1-11.

Erguvanlı, K., (1995). "Mühendislik Jelojisi", Seç Yayın Dağıtım, Dördüncü Baskı, İstanbul.

Erkek, C., Ağıralioğlu, N., (1993). "Su Kaynakları Mühendisliği", Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İkinci Baskı, İstanbul.

Erken, A., ve Ansal, A. M., (1993). "Toprak Dolgu Barajlarda Sıvılaşma Nedenleri", Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyomu, DSİ 20-25 Eylül İzmir, sayfa 1-10.

ESTA for Windows ver. 4.1., Prolog Development Center, Denmark, 1993.

Eşiyok, G., (1991). "Gelecek On Yılda Su, Barajlar ve Hidrolik Güç", EİE Bülteni, Yıl 28, Sayı 173-174, (Water Power and Dam Construction'dan çeviri).

Feigenbaum, E. A., Buchanan, B. G. and Lederberg, J., (1971). " On Generality and Problem Solving: A case study involving the DENDRAL Program (in Machine Intelligence, EDS Meltzer and Michie) American Elsevier, New York.

Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., (1992). "Geotechnical Engineering of Embankment Dams", A. A. Balkema / Rotterdam/ Brookfield.

Fetzer, C. A., Swiger, W. F., (1988) "Earthfill Dam Construction And Foundation Treatment", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 321-353, Van Nostrand Reinhold, New York.

Fetzer, C. A., Swiger, W. F., (1988) "Eaartfill Dam Performance And Remedial Measures", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 354-367, Van Nostrand Reinhold, New York.

Fitzpatrick, Mike D., Cole, Bruce A., Kinstler, Frank L., and Knoop, Bram P., (1985) "Design of concrete-faced rockfill dams", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.410-434.

Fok, K. & Chopra, A.K., (1986) "Hydrodynamic and foundation Flexibility Effects in Earthquake Response of Arc Dams", J. of Structural Engineering, ASCE, vol. 112, No.8 pp. 1810-1828.

Franco, M.A. and Cordova, J.Y., (1995) "The Spanish Approach To RCC Dam Engineering", The International J. On Hydropower & Dams, Vol 2, May 1995, pp. 72-79.

Franklin, J. A. and Dusseault, M. B., (1991). "Rock Engineering Applications", McGraw-Hill, Inc., New York.

Gaschnig, J., reboh, R. and Reiter, J., (1981), "Development of a Knowledge - Based System for Water Resources Problems", Technical Report SRI Project 1619, SRI International.

Gaziev, E.G., (1980). "Major Problems Of Dam Foundations Behavior Control", 2nd International Congress Of The International Association Of Engineering Geology, pp. VI-PC-2.1-2.8.

Gondran, M., (1983), "An Introduction to Expert Systems", McGRAW-HILL Book Company (UK) Limited, London.

Good, R. J., Bain, D. L. W., and Parsons, A. M., (1985) "Weak rock in two rocfill dams", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 40-72, 1985.

Goodman, R.E., (1976). "Methods Of Geological Engineering In Discontinuous Rocks", West Publishhing Company, St. Paul.

Gosschalk, Edward M., and Kulasinghe, A. N. S., (1985) "Kotmale Dam and observations on CFRD", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 379-395.

Hacelas, Jorge E., Ramfrez, Carlos A., and Regalado, Guillermo, (1985) "Construction and performance of Salvajina Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 286-315.

Hanna, F. W., Kennedy, R.C., (1938). "The Design Of Dams - Selection Of Type Of Dam-", McGraw-Hill Book Company, Inc., pp. 32-43, New York.

Hansen, K.D., (1986) "Roller Compacted Concrete Developments In The USA", Water Power & Dam Constraction, January 1986, pp. 9-16.

Hansen, K.D., and Reinhardt, W.G., (1991) "Roller-Compacted Concrete Dams", McGraw-Hill, Inc., New York.

Hansen, K.D., (1994) "Built in the USA - RCC Dams of the 1990's", International Water Power & Dam Construction, April 1994, pp. 24-32.

Hart, P. E., Duda, R. O. and Einaudi, M. T., (1978), "PROSPECTOR, A Computer - Based Consultation System for Mineral Exploration, Laboratory, USEPA, Athens, GA.

Hillebrenner, G., (1993). "Roller Compacted Concrete Dams", Davis' Handbook Of Applied Hydraulics, Ed. Vincent J. Zipparo and Hans Hasen, pp. 15.1-15.20, McGraw-Hill, New York.

Hollingsworth, Harold, Conner, Timothy R., and Victor E. Anderson, (1985) "Design of Deer Creek Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 541-558.

Hutchinson, J. N., (1988). "General Report Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides In Relation To Geology and Hydrogeology", Proc. 5th. Int. Symp. On Landslides, Lausanne, Balkema.

Hutchinson, P. J., (1985), " An Expert System for the Selection of Earth Retaining Structures", Master's thesis, University of Sydney, Australia.

Imaizumi, Hideo, and Sardinha, Alvaro E., (1985) "A study of deformations in concrete faced rockfill dams", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 528-540.

Jansen, R. B., Lowe, J., (1988) "Earthfill Dam Design And Analysis", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, Van Nostrand Reinhold, New York.

Jhon, K.W., (1980). "Geologists And Civil Engineers In The Design Of Rock Foundations Of Dams", 2nd International Congress Of The International Association Of Engineering Geology, pp. VI-PC-3.1-3.9.

Joshi, C.S., (1980). "Designing The Profile Of Gravity Dams", Water Power & Dam Construction, January, pp. 28-30.

Karabatan, Y. (1997). "Türkiye'deki baraj Mühendisliğinin Günümüzdeki Durumu", Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 392, s.18-20.

Karadayı, N., (1986). "Baraj Yapılarının Tanıtılması, Projelendirme Esaslarına Kısa Bir Bakış", DSİ Genel Müd. Barajlar ve HES Dairesi Bşk., Ankara.

Karadayı, N., (1990). "Tiplerine Göre Barajların İncelenmesi", Baraj Projeleri ve Baraj İnşaatında Dikkat Edilecek Önemli Hususlara Kısa Bir Bakış, barajlarda İnşaatın teknik kontrolü ve mukavele semineri, 19-23 Kasım 1990, DSİ Genel Müd. Barajlar ve HES Daire Başkanlığı, Fethiye.

Kirn, I.D., and Sarkaria, G.S., (1955). "Influence Of Canyon Shape On The Design Of Concrete Dams", Civil Engineering And Public Works Review, 50, No. 585, March, pp.281-284.

Kleiner, D.E., (1993). "Embankment Dams", Davis' Handbook Of Applied Hydraulics, Ed. Vincent J. Zipparo and Hans Hasen, pp. 13.1-13.65, McGraw-Hill, New York.

Koichi, U., and Yajima, K., (1991) "Miyagase Dam To Employ Innovative RCD Methods", Water Power & dam Constraction, November 1991, pp. 17-20.

Kolonias, E., Dunstan, M.R.H., Hinks, J.L., and Copley, A.F., (1989) "The Design Of Platanovryssi: Europe's Highest RCC Dam", Water Power-Dam Construction, November 1989, pp.22-27.

Kong, T. B., Yow, W. P., (1982). "Site Investigations For The Bekok Dam, Johor, Malaysia", Proceedings IV International Association Of Engineering Geology Volume III, pp. III.11-III-17, New Delhi.

Korbay, S. R., (1989). "South Fork Dam - A Difficult Foundation: A Case History", Engineering Geology And Getechnical Engineering, Proceedings Of The 25th Symposium On Engineering Geology And Getechnical Engineering / Reno / 20-22 March.

Leps, T. M. , (1988) "Rockfiil Dam Design And Analysis", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 368-387, Van Nostrand Reinhold, New York.

Leps, T. M., (1988) "Rockfill Dam Construction And Foundation Treatment", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 388-408, Van Nostrand Reinhold, New York.

Leps, T. M., (1988) "Rockfill Dam Performance And Remedial Measures", Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 409-415 , Van Nostrand Reinhold, New York.

Leps, Thomas M., Cashatt, C. A., and Janopaul, R. N., (1985) "New Exchequer Dam, California", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 15-26.

Linsley, R.K.; Franzini, J.B.; Freyberg, D. and Tchobanoglous, G., (1992). "Water Resources Engineering", McGraw Hill International Editions, New York.

Londe, P. and Lino, M., (1992) "The Faced Symmetrical Hardfill Dam: A New Concept For RCC", International Water Power & Dam Construction, Fabruary 1992.

Mackenzie, P. R., and McDonald, L. A., (1985) "Mangrove Creek Dam: Use of soft rock for rockfill", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.208-230.

Materon, Bayardo, (1985) "Construction of Foz do Areia dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 192-207.

Materon, Bayerdo, (1985) "Alto Anchicaya Dam- Ten years performance", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Const. and Perf. Ed. by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.73-87.

Mathewson, C.C., (1981). "Engineering Geology ", Charles E. Merril Pub. Company, Ohio.

McLean, A. C., and Gribble, C. D., (1992). "Geology For Civil Engineers", Chapman & Hall, London.

Mermel, T.W., (1988), "Major Dams Of The World-1988", Water Power Dam Construction, 40 (6), pp 52 - 62.

Mermel, T.W., (1990), "The World's Major Dams & Hydro Plants", Water Power Dam Construction, pp 50 - 60.

Mikhailov, L.P., (1986). "Large Concrete Dam Construction In The USSR", Water Power & Dam Construction, March, pp. 24-28.

Millet, J. C., Louis, F., and Robert, F., (1985) "Design, construction & performance of Fades Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 27-39.

Morris, Michael, (1985) "Design and construction of Terror Lake Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 362-378.

Muchnick, S. S. and Schnupp, P., (1989), "Building Expert Systems in Prolog", Springer-Verlag, Inc., New York.

Mullarkey, P. W., (1985), CONE " An Expert System for Interpretation of Geotecnical Characterization Data from Cone Penetrometers", PhD thesis presented to Carnegie-Mellon University.

Müftüoğlu, F., (1982). "Akarsu Yapıları II", İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İst..

Neidert, S. H., and Toniatti, N. B., (1991) "Design and construction of the Segredo concrete-faced rockfill dam", Water Power & Dam Construction, January, pp. 15-19.

Newbery, J., (1971). "Engineering Geology In The Investigation And Consruction Of The Batang Padang Hydroelectric Scheme, Malaysia", Q. Jl Engng. Geol. Vol.3, pp. 151-181.

Novak, P., Moffat, A. I. B., Nalluri, C., and Narayanan, R., (1990) . "Hydraulic Structures", Unwin Hyman Ltd., London.

Odemark, E., Solgard, T.H. and Haugom, M., (1995) "Special design features of the Dokkfloy rockfill dam", International Journal on Hydropower & Dams V2, n 3, pp. 31-34.

Ogawa, H., Fu, K. S. and Yao, J. T. P., (1984). " SPERILL-II: An Expert System for Structural Damage Assessment of Existing Structures", Technical Report, CE-STR-84-11, School of Civil Engineering, Purdue University.

Orhon, M., (1997). "Baraj Tipleri ve Yapım Kriterleri", Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 391, s.12-16.

Öziş, Ü., (1997). "Türkiye Akarsularının Su ve Su Kuvveti Potansiyeli", Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 391, s.17-26.

Özbek, T., (1987). "Su Yapıları", Gazi Üniversitesi Yayın No: 112, Ankara.

Parsaya, K. and Chignell, M., (1988), "Expert Systems For Experts", John Wiley & Sons, Inc., Los Angeles, California.

Perdomo, D. A., Vasilescu, M. S., and Ferro, E. A., (1985) "Fortuna concrete face rockfill dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.252-265.

Phillips, P. R., (1985) "Batang Ai- Transition zone", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 396-409.

Pineros, Juan E., (1985) "Rockfill compression test and other aspect of the design of Miel I Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE. pp. 566-586.

Pinkerton, Ivor L., Siswowidjono, Soetomo, and Matsui, Yutaka, (1985) "Design of Cirata cocrete face rocfill dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.642-656.

Pinto, Nelson L. de S., Margues Filho, Pedro L., and Maurer, Edilberto, "Foz do Areia Dam-Design, construction and behaviour", published in CFRD Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.173-191, 1985.

Pinto, Nelson L. de S., Marques Filho, Pedro L., and Maurer, Edilberto, (1985) "Segrado Dam - Basic design aspects", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE. pp. 587-593.

Pircher, W., (1993). "36 000 dams and still more needed", Water Power & Dam Construction, pp. 15-18.

Prendergast, J., (1992) "RCC At 10", Civil Engineering, ASCE, October 1992, pp.44-51.

Prusza, Z., De Fries, K., and Luque, F., (1985) "The design of Macagua concrete face rockfill dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 608-617.

Rawat, J. S., (1982). "Engineering Geological At Warna Dam, Maharashtra, India", Proceedings IV International Association Of Engineering Geology Volume III, pp. III.59 - III-66, New Delhi.

Rogers, R. L., (1985) "Boondooma Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Const. and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.316-335.

Ross, T. J., and Wong, F. S., (1986), " Structural Damage Assessment Using AI Techniques", Applications of Artificial Intelligence to Engineering Problems.

Salembier, M., (1985) "Membrane sealing of Rounchain Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 88-97.

Sarkaria, G.S., and Andriolo, F.R., (1995) "Special Factors In Design Of High RCC Gravity Dams, Part I", International Water Power & Dam Const., April 1995, pp. 42-45.

Schenk V., Köngeter, J., (1982) "The Influence Of Anisotropic Foundation Rock On Design Of An Arch Dam In The German Moundations", Proc. 14th. ICOLD Congress, Rio de Janeiro.

Schenk, V., Risch, H., (1987). "An Usual Foundation For An Arch Dam In Mauritania", Bulletin Of The International Association Engineering Geology, No. 36, pp. 59-67, Paris.

Schrader, E. K., (1982) "Willow Creek Dam - World's first all-rollcrete dam", Civil Engineering, ASCE, April 1982, pp. 45-48.

Schrader, E. K., Swider, W. F., (1988). "Concrete Dam Construction And Foundation Treatment", Advensed Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation, Edited by Robert B. Jansen, pp. 540-577, Van Nostrand Reinhold, New York.

Seed, H. Belton, Seed, Raymond B., Lai S. S., and Khamenehpour, B., (1985) "Seismic design of concrete-faced rockfill dams", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 459-478.

Sherard, J. L., and Cooke, J. B., (1987) "Concrete - Faced Rockfill Dam: II ", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 10, ASCE, pp.1113-1132.

Sherard, J. L., Woodward, R. J., Gizienski, Stanley, F., and Clevenger, W. A., (1963). "Earth and Earth - Rock Dams", Engineering Problems of Design and Construction, Jhon Wiley and Sons, Inc., New York.

Sherard, James L., (1985) "The upstream zone in concrete-faced rockfill dams", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Const. and Perfor., Ed. by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 618-641.

Sherard, James L., (1992) "Rockfill dams: Steel-Faced Dam", Edited. by Sukhmander Singh, ASCE, Special Publication No. 32, pp. 2-9.

Sherard, James L., (1992) "A Current Review Of Experience With Asphaltic Concrete Imprevious Membranes On The Upstream Slope Of Earth And Rockfill Dams" Edited. by Sukhmander Singh, ASCE, Special Publication No. 32, pp. 10-29.

Sierra, Jesus M., Ramfrez,Carlos A., and Hacelas, Jorge E., (1985) "Design feature of Salvajina Dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 266-285.

Singh, B., Sharma, H.D., (1976). "Earth And Rocfill Dams", Sarita Prakashan , Meerut.

Singh, B., Varshney, R.S., (1995). "Engineering For Embankment Dams", A.A. Balkema , Rotterdam.

Slichter, F.B., (1967), "Influences On Selection Of The Type Of Dam", J. Of Soil Mechanics And Foundation Division, Paper 5224, Proc. ASCE 93, No. SM3, May 1967, pp. 1-8.

Soderberg, A. D., (1979). "Expect The Unexpected: Foundation For Dams In Karst", Bulletin Of The Association Of Engineering Geologists, Vol. XVI, No. 3, pp. 409-425.

Software Architecture and Enginering, Inc., (1987). "Knowledge Based Authors Manual, KES PS".

Sowers, G. F., Sally, H. L., (1962). "Earth And Rockfill Dam Engineering", Asia Publishing House, London.

Subcommittee On Small Water Storage Projects, Water Resources Committee and National Resources Committee, (1938). "Low Dams - Selection Of Type", pp. 42-58, Washington.

Sungur, T., (1990). "Günümüzde Dolgu Baraj Uygulamasından Seçilmiş Bazı İlginç Notlar", Baraj Projeleri ve Baraj İnşaatında Dikkat Edilecek Önemli Hususlara Kısa Bir Bakış, barajlarda İnşaatın

teknik kontrolü ve mukavele semineri, 19-23 Kasım 1990, DSİ Genel Müd. Barajlar ve HES Daire Başkanlığı, Fethiye.

Şentürk, F., vd., (1955). "Bent Tipinin Tayinine Ait Esaslar", T.C. Nafia Vekaleti Devlet Su İşleri Umum Müdürlüğü, Sayı: 18, Ankara.

Şentürk, F., (1979). "Karakuz barajı Raporları", Çilt III, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müd., Ankara.

Şentürk, F., (1994). "Hydraulics Of Dams And Reservoirs", Water Resources Publications, Colorado.

Tarbox, G.S., and Hansen, K.D., (1988) "Planning, Design, and Cost Estimates for RCC Dams", Roller-Compacted Concrete II, ASCE, New York, February 1988, pp. 21-38.

Thomas, H. H., (1976). "The Engineering Of Large Dams", Jhon Wiley & Sons, London.

Tosun, H., (1994). "Dispersif Killer Ve Toprak Dolgu Barajlar Açısından Önemi", DSİ Teknik Bülteni, sayı 80, sayfa 51-60.

Tsai, Chan-Feng, Yen, Bing C., Tucker, Keith D., and Askari, Shahen, (1985) " Design and stability evaluation of Balsam Meadow Dam", published in CFRD Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 509-527.

Tsuji, M., and Yajima, K., (1991) "Ryumon Composite Dam Uses Lifting Bridges For RCD Placement", Water Power & dam Construction, November 1991, pp. 21-24.

Tuna, A., (1985), "Akarsu Yapıları", F. Ü. Müh. Fak. İnş. Müh. Bölümü, Fırat Üniversitesi Basımevi, Elazığ.

Turfan, M., (1988). "Özetle Baraj Nedir ?", DSİ Genel Müdürlüğü, Ank.

Turfan, M., (1997). "Memleketimizde Yapılmış ve Yapılacak Olan Barajlar", Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 392, s.11-17.

Turhan, F., (1990). "Mühendislik Jeolojisi", Trabzon.

Ulusay, R., (1989). "Pratik Jeoteknik Bilgiler", Teknomand Yayınları, Ankara.

Valencia, F.G., Sandoval, E.M., (1996). "Geotechnical Instrumentation At Zimapan Dam", Rock Mechanics, Aubertin, Hassani & Mitri (eds), Rotterdam.

Varty, Alan, Boyle, Rick J., Pritchard, Edward D., and Gill, Roger E., (1985) "Construction of concrete faced rockfill dams", Published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Const. and Performance, Ed. by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp.435-458.

Vasconcelos, Aurelio A., and Eigenheer, Luiz Paulo, (1985) "The Xingô rockfill dam", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Construction and Performance, edited by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 559-565.

Walters, R.S.C., (1962). "Dam Geology", London.

Wasti, Y., (1990). "Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları", İMO Teknik Dergi, sayfa 177-188, yazı 13.

Watakeekul, Somkuan, Roberts, Gordon J., and Coles, Andreww J., (1985) "Khao Laem- A concrete face rockfill dam on karst", published in Concrete Face Rockfill Dams-Design, Const. and Performance, Ed. by J. B. Cooke, J. L. Sherard, ASCE, pp. 336-361.

Waterman, D. A., (1986), "A Guide to Expert Systems", Addison - Wesley Publishing Company, Inc., Menlo Park, California.

Wengler, R. P. and Yeh, C. H., (1993). "Arch Dam", Davis' Handbook Of Applied Hydraulics, Ed. Vincent J. Zipparo and Hans Hasen, 10.1-10.45, McGraw-Hill, New York.

Williams, O. P., Reader, R. A., (1994). "Design and Construction Of Kalavasos Dam, Cyprus", Proc. Instn. Civ. Engrs. Wat. Marit. & Energy, 106. Dec., pp. 392-398.

Winston, P. and Horn, B., (1981). "LISP", Addison wesley, Reading, MA.

Yeh, C.H. and Abdel-Malek, R., (1993). "Concrete Dam", Davis' Handbook Of Applied Hydraulics, Ed. Vincent J. Zipparo and Hans Hasen, pp. 9.1-9.30, McGraw-Hill, New York.

Zaruba, Q., Mencl, V., (1976). "Engineering Geology", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Zipparro, V. J., Hasen, H., (1993). "Davis' Handbook Of Appliend Hydraulics", MacGraw - Hill, Inc. Fourth Edition, New York.

Zozaya-Gorostiza, C. and Hendrickson, C., (1987). "An Expert System for Traffic Signal Setting Assistance", Journal of Transportation Engineering, ASCE Vol. 113, No. 2, pp. 20590.

Ülkemizde Görüşülen Tecrübeli Mühendislerden Bazıları Aşağıda Verilmiştir:

1. Dr. Nihat Karadayı (DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara)
2. Doç. Dr. Hasan Tosun (DSİ Genel Müdürlüğü, (yeni görev yeri) Osmangazi Üni., Eskişehir)
3. Hasan Usul (DSİ Genel Müdürlüğü)
4. Erdoğan Çekmecigil (DSİ Genel Müdürlüğü)
5. İnş. Yük. Müh. Ergin Erayman (DSİ Genel Müdürlüğü)
6. İnş. Yük. Müh. Uğur Şafak Çavuş (DSİ Genel Müdürlüğü)
7. İnş. Yük. Müh. Ömür Özeriç (DSİ Genel Müdürlüğü)
8. Dr. Makoto Abe (DSİ Genel Müdürlüğü)
9. Sami Güzel (DSİ IX Bölge Müdürlüğü)
10. Erdoğan Demircigil (DSİ Genel Müdürlüğü)
11. İlyas Demirci (DSİ Genel Müdürlüğü)
12. Doç. Dr. Reşat Ulusoy (Hacette Üni., Ankara)
13. Vehbi Bilgi (Özel şirket, Ankara)
14. Ömer Kayaalp (DSİ Genel Müdürlüğü)
15. Engin Alpdoğan (DSİ Genel Müdürlüğü)
16. Simten Özden (DSİ Genel Müdürlüğü)
17. Ahmet Bey (DSİ Genel Müdürlüğü)
18. Hacı Atasever (DSİ Genel Müdürlüğü)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ