SU KAYNAKLARIN
PLANLANMASI

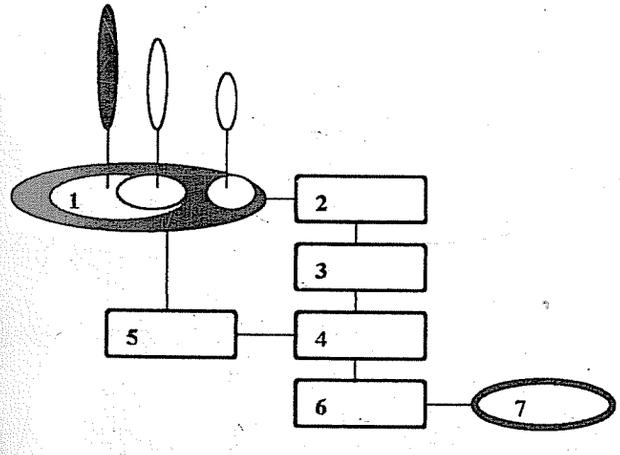
2 100482 000005

**Öğrenci fiyatıdır. Fiyatı KDV Dahil 21.00 TL.**

**Ç.Ü.Ziraat Fakültesi Genel Yayın No : 175**
**Ders Kitapları Yayın No: A - 53**

# SU KAYNAKLARININ PLANLANMASI

**Prof. Dr. Kazım TÜLÜCÜ**
**Çukurova Üniversitesi**
**Ziraat Fakültesi**
**Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü**




**ADANA - 2012**

## İÇİNDEKİLER


Sayfa No

**ÖNSÖZ**
**ÇİZELGELER LİSTESİ**
**ŞEKİLLER LİSTESİ**

**1.BÖLÜM** 1
PLANLAMA KAVRAMI 1
1.1. Su Kaynaklarının Geliştirilmesinde Planlama 2
1.2. Planlama Düzeyleri 3
1.3. Planlama Aşamaları 4
1.4. Amaçlar (hedefler) 5
1.5. Plan ve Bütçe Planlaması 6
1.6. Planlama Projeksiyonu 7
1.7. Proje Formülasyonu 9
1.8. Planlamada Halkın Katılımı 10
1.9. Proje Değerlendirmesi 11
1.10. Planlamada Parasal Düşünceler 12
1.11. Planlamada Çevresel Düşünceler 12
1.12. Su Planlamasında Sistem Analizi 14
1.13. Planlamada Gözükmeyen Bazı Genel Engeller 15
1.14. Su Kaynaklarının Muhafazası ve Artırılması 17
1.15. Çok Amaçlı Projeler 19
1.16. Çok Amaçlı Projelerde Fonksiyonel İstekler 20
1.17. Çok Amaçlı Kullanımların Uyumu 22

**2. BÖLÜM** 24
SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA
GEREKLİ VERİLER 24
2.1. Hidrometeorolojik Veriler 25
2.1.1. İklim 26
2.1.2. Yağışlar 26
2.1.3. Sıcaklık 27
2.1.4. Rüzgar 27
2.1.5. Diğer Meteorolojik Etmenler 27
2.2. Su İhtiyacı Verileri 28
2.2.1. Sulama Suyu İhtiyacı 28
2.2.2.Enerji Su ihtiyacı: 31
2.2.3. İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu İhtiyacı 31
2.4. Saptırılan Su 31
2.5. Su Kaynakları 32
2.5.1. Yerüstü Su Kaynakları 32
2.5.2. Yeraltı suyu Kaynakları 33
2.5.3. Sulamadan Dönen Sular 33
2.5.4. Su Niteliği 34

2.5.5. Hidrolojik Çalışmalar 34
*2.5.5.1. Proje Taşkınları* 34
*2.5.5.2. Sedimantasyon* 35
2.6. Toprak Kaynakları 35
2.7. Drenaj Alanı Nitelikleri 36
2.8. İşletme Çalışması 37
2.9. Tarihi, Kültürel ve Sosyal Veriler 37
2.10. Bölge Ekonomisine ilişkin Veriler 37
2.11. Ulaşım 37
2.12. Rekreasyon 38
2.13. Proje Aşamalarında Veriler ve Gruplandırılması 38

**3. BÖLÜM** 41
SU KAYNAKLARI VE SINIFLANDIRMASI 41
3.1. Su Kaynakları 41
3.1.1. Hidrolojik Çevrim 41
3.1.2. Kaynak Suları-(Pınarlar) 43
3.1.3. Akarsular 46
3.1.4. Göl, Gölet ve Barajlar 46
3.1.5. Denizler 47
3.1.6. Yeraltı suları 47
3.2. Su Kaynaklarının Sınıflandırılması 48
3.2.1. Akarsu Morfolojisi ile İlgili Tanımlar 48
3.2.2. Akarsuların Sınıflandırılması 50
*3.2.2.1. Topoğrafik-Morfolojik Özelliklere Göre Sınıflandırma* 50
*3.2.2.2. Akarsu Boyunca Akımın Değişimine Göre Sınıflandırma* 50
*3.2.2.3. Akımın Sürekliliğine Göre Sınıflandırma* 51
*3.2.2.4. Akımın Rejimine Göre Sınıflandırma* 51
*3.2.2.5. Büyüklüklerine Göre Sınıflandırma* 51
*3.2.2.6. Akarsu Yatağının Fiziksel Özelliklerine Göre Sınıflandırma* 52
3.3. Durgun Suların Sınıflandırması 53
3.3.1. Orijine Göre Sınıflandırma 53
3.3.2. Morfolojiye Göre Sınıflandırma 53
3.3.3. Besin Eldesine Dayanan Sınıflandırma 53
3.3.4. Göstergeçlerin Bileşimine Dayanan Sınıflandırma 53

**4.BÖLÜM** 55
SU TOPLAMA HAVZASI VE AKARSU FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ 55
4.1. Su Toplama Havzasının Fiziksel Özellikleri 55
4.1.1. Akarsu Havza Alanı ve Sınırı 55
4.1.2. Su Toplama Havzası Biçimi 56
4.1.3. Havza Ortalama Yüksekliği 58
4.1.4. Su Toplama Havzası Eğimi 58
4.1.5. Ana Su Yolu Özellikleri 61



**5.BÖLÜM** 67
SU KAYNAKLARININ PLANLANMASINDA YAĞIŞ ANALİZLERİ 67
5.1. Yağış Analizi 67
5.1.1. Seriler 67
5.1.2. İstasyon Yağış Analizi 69
5.1.3. Drenaj Alanı Yağışı ve Maksimize Edilmesi 70
5.1.4. Olası Maksimum Yağış 70
5.1.5. Standart Proje Sağanağı (SPS) 82
5.2. İstatistiksel Yaklaşım 83
5.2.1. Basit Doğrusal Regresyon ve Korelasyon 83

**6. BÖLÜM** 88
TAŞKIN ANALİZİ 88
6.1. Taşkın Analizi 88
6.1.1. Klasik Taşkın Denklemleri ile Taşkın Hesabı 88
6.2.Taşkınların Akım Verileri ile Hesabı (Frekans analizi) 90
6.3. Taşkın Hacimlerinin Hesabı 92
6.4. Sentetik Birim Hidrograf Yöntemiyle Taşkınların Hesabı 92
6.4.1. Sentetik Yöntemle Hidrograf Oluşturulması (DSİ Yöntem) 92
6.4.2. Mockus Sentetik Birim Hidrografı 101
6.4.3. Snyder Sentetik Birim Hidrografı Yöntemi 106
6.5.Yağış-Alan Bağıntısı 114
6.5.1.Yağıştan Yüzey Akışın Hesabı 114
6.5.2. Proje Sağanak Süresinin Seçimi 118
6.5.3.Farklı Yinelenmeli Taşkın Debilerinin Hesabı ve Hidrograflarının Çizilmesi 120
6.6. İstatistiksel Yaklaşım 127
6.6.1.Basit Regresyon Analizi, Eksik Verilerin Doldurulması 127
6.6.2. Doğrusal Çoklu Regresyon ve Korelasyon 135
6.6.3. Eğrisel Regresyon ve Korelasyon 136
6.4.4. Havza Parametreleri ile Çoklu Regresyon Analizi 138

**7. BÖLÜM** 141
AKARSU YATAĞINDA ÖTELENME 141
7.1. Ötelenme Kavramı 141
7.2. Doğal Kanallarda Ötelenme- Muskingum Yöntemi 142
7.2.1. Muskingum Öteleme Katsayıları 143
7.2.2. Muskingum Ötelenmesi 146

**8. BÖLÜM** 153
SU KAYNAKLARININ PLANLANMASINDA SEDİMANTASYON VE KATI MADDE HAREKETİ 153
8.1. Haznelerde Sedimantasyon Dağılımı 153

8.1.1. Havza Sediment Oranı ve Verimi 154
8.1.2. Rezervuar Sedimentasyon Kontrolü 157
8.2. Akarsularda Katı madde Hareketi 158
8.2.1. Tanımlar ve Katı Madde Fiziksel Özellikleri 159
8.2.2. Katı Madde Hareketine Etki Eden Etmenler 160
8.2.3. Askı Maddesi Miktarının Hesabı 161
8.2.4. Süründü Maddesi Miktarının Hesabı 164
8.3. Katı Maddelerin Ölçülmesi ve Örneklenmesi 166
8.3.1. Yatak Malzemesinin Ölçülmesi 167
8.3.2. Süründü Maddesinin Ölçülmesi 168
8.3.3. Askı Maddesinin Ölçülmesi 169
8.3.4. İzleyiciler 169
8.4. Erozyon ve Havza Sediment Hesapları 170
8.4.1. Sediment Anahtar Eğrisinden Yararlanma 171
8.4.2. Erozyon Sahası Fiziksel Özellikler Esaslı Yöntem 173
8.4.3. Yüzey Erozyonu 177

**9.BÖLÜM** 196
SU KAYNAKLARI YAPILARI 196
9.1. Akarsu Düzenleme Yapıları 196
9.1.1. Amaç, Kapsam ve Hedefler 196
9.1.2. Düzenleme Yapıları 197
9.2. Vahşi Dere Düzenlemesi 200
9.3. Taşkın Kontrolü Önlemleri ve Yapıları 200
9.3.1. Yapısız Taşkın Önlemleri 201
9.3.2. Yapılı Taşkın Kontrolü 201
9.4. Akarsu Taşımacılığı 203
9.5. Geçişler 203
9.6. Bağlamalar 204
9.7. Su Alma Yapıları 206
9.7.1.Su alma Yapılarının Sınıflandırılması 206
9.7.2. Nehir Suları Su Alma Yapıları 207
9.7.3. Göl-Gölet Suları Su Alma Yapıları 208
9.8. Su Kuvvetleri Yapıları 209
9.8.1. Barajlar 210
9.8.2. Barajlarda Müşterek Kısımlar 213
9.9. Sulama ve Drenaj Yapıları 215

**10. BÖLÜM** 220
SU KAYNAKLARI PLANLANMASINDA YASAL KISITLAR VE ÇEVRE 220
10.1. Yasal Kısıtlar 220
10.2. Planlamada Çevresel Düşünceler 224
10.3. Çevre Sorunlarında Dışsallık 230
10.3.1. Dışsal Maliyetler 230
10.3.2. Dışsal Faydalar 231



10.3.3. Çevre Kontrolünde Vergilendirme Kirleten Öder Prensibi 232
10.3.4. Maliyetin Tahsisi 232
10.4. Su Kaynakları Kirlenmesi 232
10.4.1. Su Kaynaklarının Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Ölçmeler 233
10.4.2. Nedenlerine Göre Su Kirliliği 234
10.5. Sürdürülebilir Kalkınma 235

**11. BÖLÜM** 238
NÜFUS PROJEKSİYONU VE İÇME KULLANMA SUYU TAHMİNİ 238
11.1.Nüfus Artış Tahmini 239
11.1.1. İlk Tahmin Yöntemleri 239
11.1.2. Grafiksel Tahmin 240
11.1.3. Nüfus Artış Yüzdesinin Hesabı: 242
11.1.4. Çoğalma Katsayısının Hesabı: 243
11.2. İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacı Tahmini 246
11.3. Proje Süresi 248

**12. BÖLÜM** 250
SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA EKONOMİK KAVRAMLAR 250
12.1. Üretim Fonksiyonu 251
12.2. Marjinal Üretim (MÜ) 251
12.3. Marjinal-Fiziksel Üretim (MFÜ) ve Azalan Gelir 251
12.4. Kaynakların En İyi (Optimum) Kullanımı 253

**13. BÖLÜM** 257
SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA EKONOMİK ANALİZ VE PROJE DEĞERLENDİRMESİ 257
13.1. Ekonomik Analiz İlkeleri 257
13.2. Fayda-Maliyet Akış Diyagramı 258
13.3. Su Kaynakları Projelerinin Faydaları 259
13.4. Su Kaynakları Projelerinin Masrafları 261
13.4.1. Yatırım Masrafları 261
13.4.2. Yıllık İşletme, Bakım ve Yenileme Masrafları 262
13.4.3. Yıllık Masraflar 262
13.5.Ekonomik Analiz Faktörleri 263
13.6. Faiz, İskanto, Bugünkü Değer ve Ödemeler 264
13.6.1. Faiz Hesapları 264
13.6.2. Bugünkü Değer (İskanto =İndirgeme) 267
13.6.3. Yıllık Eşit Ödemeler 269
13.6.4. Doğrusal (Lineer) Artan Seri Ödeme Durumları 272
13.7. Ekonomik Analizde Proje Değerlendirmesi 273
13.7.1. Fayda-Masraf Oranı Yöntemi 273
13.7.2. Net Bugünkü Değer (Net Fayda) Yöntemi 274

13.7.3. Yıllık Fayda-Masraf Yöntemi 275
13.7.4. İç Verim (Karlılık) Oranı Yöntemi 276
13.7.5. Tek Amaçlı Projelerin Değerlendirme Esasları 277
13.7.6. Çok Amaçlı Projelerin Değerlendirilmesi Esasları 277
13.7.7. Su Kaynakları Planlamasında Proje Seçimi 278

**14. BÖLÜM** 288
SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA
SİSTEM ANALİZİ 288
14.1. Genel 288
14.2. Sistem ve Sistem Mühendisliği Kavramı 290
14.3. Optimizasyon Problemi 292
14.3.1. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemler 293
14.3.2. Belirli ve Olasılık Sistem 293
14.3.3. Durgun ve Hareketli Sistem 294
14.3.4. Kümelenmiş ve Dağılmış Parametreler Sistemi 295
14.4. Doğrusal programlama 297
14.4.1 Grafiksel Çözüm 298
14.4.2.Doğrusal Programlama Modellerinin Çözümünde Simpleks yöntem 300
14.4.3. Ulaşım Problemi 300
14.5. Dinamik Programlama 309
14.5.1.Tek Aşamalı Karar Sistemi 309
14.5.2. Sırasal Çok Aşamalı Karar Sistemi 311
14.5.3. Dinamik Programlama Özellikleri 312
14.5.4. Deterministik Dinamik Programlama 313
14.6. PERT -Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme 316
14.6.1. PERT ve CPM Çalışmalarında Temel İşlemler 317
14.6.2. PERT ve CPM İle İlgili Temel Kavramlar ve Şema Çizimi 317
14.6.3. PERT Zaman Tahmini Hesabı 319
14.7. CPM-Kritik Yol Metodu 323

**15. BÖLÜM** 331
GENEL DEĞERLENDİRME VE PLANLAMA RAPORU 331
15.1. Planlama Raporunun Hazırlanması 331
15.2. Rapor Yazım Planı 332
15.3. Bölümlerin Ayrıntıları 334

**KAYNAKLAR** 337



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1.1. Planlama İşlemleri 2
Şekil 1.2. Su istem eğrisi 8
Şekil 1.3. Elastisite eğrileri 8

Şekil 3.1. Su toplama havzası 42
Şekil 3.2. Dışa ve içe akış 43
Şekil 3.3. Pınar çeşitleri 44
Şekil 3.4. Pınar çeşitleri 45
Şekil 3.5. Pınar çeşitleri 45

Şekil 4.1. Havza hipsometrik eğrisi 60
Şekil 4.2. Ana su yolu eğimi (Benson eğimi) 61
Şekil 4.3. Akarsu ve kolları Horton dereceleme yöntemi 62
Şekil 4.4. Su Toplama Havzası 66

Şekil 5.1. Yağış akış analizi akış şeması 68
Şekil 5.2. Ortalamanın gözlenen maksimum yağışa göre düzeltilmesi 74
Şekil 5.3. Ortalamanın gözlem süresine göre düzeltilmesi 74
Şekil 5.4. Standart sapmanın gözlenen maksimum yağışa göre düzeltilmesi 75
Şekil 5.5. Standart sapmanın gözlem yılına göre düzeltilmesi 75
Şekil 5.6. Olası maksimum yağış K frekans faktörü zarf eğrisi, yıllık seriler için 76
Şekil 5.7. Adana Meteoroloji İstasyonunda ölçülen 24 saatlik maksim. yağışların tekerrür ve olasılıkları (Gumbel dağılımı) 79
Şekil 5.8. Regresyon denklemleri 84
Şekil 5.9. Korelasyon katsayılarının durumu 86

Şekil 6.1. Yağış-Taşkın analizi akış şeması 89
Şekil 6.2. Yıllık maksimum akışların Gumbel olasılık kağıdına grafiklenmesi 93
Şekil 6.3. Drenaj alanı verim grafiği 97
Şekil 6.4. Sentetik birim hidrograf 101
Şekil 6.5. Mockus yöntemiyle sentetik birim hidrograf 105
Şekil 6.6. Birim hidrograf elemanları 108
Şekil 6.7. Taşkın debisi birim hidrograf genişliği 109
Şekil 6.8. Snyder yöntemiyle sentetik birim hidrograf 112
Şekil 6.8b. Taşkın hidrograflarının kıyaslanması 113
Şekil 6.9.Yağışın zaman dağılımı 122
Şekil 6.10. Çalışma alnı için DSİ sentetik yöntem ile oluşturulan yüz yıl tekerrürlü ($Q_{100}$) taşkın hidrografı 126
Şekil 6.11. Kuramsal taşkın frekans eğrisi 134

Şekil 7.1. Kanal ötelenmesi, giren-çıkan hidrograf ilişkisi 142
Şekil 7.2. Akarsu kanalında su yüzeyi profili 143
Şekil 7.3. Depolama ile çıkan akım arasındaki ilişki 144
Şekil 7.4. Muskingum öteleme katsayılarının bulunması aşamaları 146
Şekil 7.5. Muskingum ötelenme lupu (x=0.05 için) 150
Şekil 7.6. Muskingum ötelenme lupu (x=0.075 için) 150
Şekil 7.7. Muskingum öteleme, giren-çıkan akım 151

Şekil 8.1. Baraj haznesinde sediment birikimi 154
Şekil 8.2. Haznede sediment tutma oranı değişimi(Linsley ve ark. 1992). 155
Şekil 8.3 Churchill sediment tutma eğrisi (Özer,1990) 156
Şekil 8.4. Konsantrasyon ve hız dağılımı 163
Şekil 8.5. Konsantrasyon oranı $C/C_a$ grafiği 163
Şekil 8.6. Yatak malzemesi ölçme aleti 168
Şekil 8.7. Süründü maddesi ölçme aletleri 169
Şekil 8.8. Akarsu debisi ile taşınan asılı sediment ilişkisi (Örnek) 173
Şekil 8.9. Yıllık ortalama yağış erozyon faktörleri (R) (Doğan,1987) 181
Şekil 8.10. Aylık yağış erozyon faktörleri 181
Şekil 8.11a. Aylık yağış erozyon faktörleri 182
Şekil 8.11b. Aylık yağış erozyon faktörleri 182
Şekil 8.12. Aşınıma duyarlık faktörü (K) grafiği 183
Şekil 8.13. Yıllık yığışımlı erozyon faktörü (indisi) (Adana) 185
Şekil 8.14. Günlük ortalama akım- sediment miktarı ilişkisi 191

Şekil 9.1. Akarsu düzenlemesinde kullanılan bazı yapı tipleri 198
Şekil 9.2. Taban erozyonunu önlemek için taban düşü 198
Şekil 9.3. Kıyı koruma yapısı 198
Şekil 9.4.Mahmuz planı 198
Şekil 9.5. Eksene göre mahmuz 198
Şekil 9.6. Paralel yapılara örnekler 199
Şekil 9.7.Hareketli daralma 199
Şekil 9.8. Yargın plan ve kesiti 199
Şekil 9.9. İki kolun bağlanması 200
Şekil 9.10. Akarsuyun ada ile kollara ayrılması 200
Şekil 9.11. Yamaç korunması 200
Şekil 9.12. Vahşi dere yatağında taş kaplama 200
Şekil 9.13. Kademeli birikinti bentleri 200
Şekil 9.14. Taşkın kanalı ile taşkın düzenlemesi 202
Şekil 9.15. Taşkın geciktirme havuzu 202
Şekil 9.16. Sedde ile akarsuyun kanalda tutulması 202
Şekil 9.17. Basınçlı ve serbest akışlı kutu menfezler 204
Şekil 9.18a. Akarsuların vadileri akadük ile geçilmesi 204
Şekil 9.18b. Akarsuların vadileri ters sifon ile geçilmesi 204
Şekil 9.19. Kabartma yapıları 205
Şekil 9.20 Su alma yapısı elemanları 207



Şekil 9.21a Nehirden basit su alma (süzgeç mafsallı olabilir) 208
Şekil 9.21b Nehirden su alma (Gemi trafiği yok) 208
Şekil 9.21c. Nehirden su alma yapıları 208
Şekil 9.21d. Göllerden su alma yapıları 208
Şekil 9.22. Akarsu düşüm yüksekliğinin oluşturulması 209
Şekil 9.23. Çeşitli ağırlık baraj kesitleri 210
Şekil 9.24. Beton ağırlık barajı en kesiti 211
Şekil 9.25. Kemer barajlar. 211
Şekil 9.26. Payandalı baraj 212
Şekil 9.27. Torak dolgu baraj 212
Şekil 9.28. Baraj gövdesi ve kısımları 214
Şekil 9.29. Basınçlı galeri ve denge bacası 214
Şekil 9.30. Açık kanallı sulama ve drenaj sistemi 216
Şekil 9.31. İletim kanalı 216
Şekil 9.32. Ana kanal ekseni 217
Şekil 9.33 Tersiyer sulama ve drenaj kanalı en kesiti 218
Şekil 9.34. Kanalet, kısımları ve yerleştirilmesi 219

Şekil 10.1. Bir nehrin temiz tutulmasının fayda ve maliyeti (temsili) 231

Şekil 11.1. Dünya nüfusu tahmini 239
Şekil 11.2. Aritmetik nüfus projeksiyonu 241
Şekil 11.3. Geometrik projeksiyon 241
Şekil 11.4. Nüfusun yar-log grafik kağıdına grafiklenmesi 242

Şekil 12.1. İşçi üretim fonksiyonu, (a)Toplam üretim 252
Şekil 12.2. İşçi üretim fonksiyonu, (b) Marjinal fiziksel üretim 252
Şekil 12.3. Yatırım ile ilgili fayda masraf ilişkisi 255

Şekil 13.1. Ekonomik analiz ve proje değerlendirme akış şeması 257
Şekil 13.2. Fayda maliyet akış diyagramı 258
Şekil 13.3. Tek ödeme durumu 266
Şekil 13.4. Yıllık eşit ödeme 269
Şekil 13.5. Lineer artan seri durumu 272

Şekil 14.1. Sistemin şematik gösterimi 290
Şekil 14.1a. Grafiksel çözüm 298
Şekil 14.2. Sonsuz sayıda çözüm 299
Şekil 14.3. Sınırsız çözüm 299
Şekil 14.4.Çözümsüz 299
Şekil 14.5. Grafiksel çözüm 302
Şekil 14.6. Ulaşım problemi 306
Şekil 14.7 Arazi ve su kaynaklarının planlama ve işletilmesinde çok düzeyli yaklaşım (Tülücü, 1975) 308
Şekil 14.8. Tek aşamalı karar sistemi 309
Şekil 14.9. Sırasal çok aşamalı karar sistemi 311

Şekil 14.10 AB boru hattı için seçenekli yollar 313
Şekil 14.11 PERT ve CPM şeması işaretleri 317
Şekil 14.12. PERT ve CPM çeşitli bağlantı şekilleri 318
Şekil 14.13. Proje faaliyetlerine ilişkin PERT şeması 321
Şekil 14.14. Faaliyetlere ilişkin süreler ve kritik yol 322
Şekil 14.15. PERT şeması 326
Şekil 14.15. PERT şeması-kritik yol 329



## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No.

Çizelge 2.1. Kayıplar ve Randımanlar 30

Çizelge 3.1. Pınarların Debilerine Göre sınıflandırılması 43

Çizelge 4.1. Topoğrafik Bilgi 64
Çizelge 4.2. Alan-Yükseklik İlişkisi 65
Çizelge 4.3. Su Yolları Mertebeleri 65

Çizelge 5.1.Adana Meteoroloji İstasyonunda Ölçülen 24 Saatlik Maksimum Yağışların Tekerrür ve Olasılık Analizi 80
Çizelge 5.2. İstatistiksel Değerler eğrisi, yıllık seriler için 81

Çizelge 6.1. Maksimum yıllık akışların Gumbel olasılık ve Tekerrür Analizi (Noktalama Pozisyonu) 91
Çizelge 6.2. Ana Suyolu Kot ve Uzaklıkları 94
Çizelge 6.3. Ana suyolu Eğiminin Hesabı 94
Çizelge 6.4. Boyutsuz Birim Hidrograf Koodinatları 96
Çizelge 6.5. Anasuyolu Kot ve Uzaklıkları 98
Çizelge 6.6. Anasuyolu Eğiminin Hesabı 98
Çizelge 6.7. Boyutsuz birim hidrograf koodinatları 100
Çizelge 6.8. Hidrolojik Toprak-Örtü Komplekslerine Göre Yüzey Akış Eğri Eğri Eğri Numaraları (Önceki Rutubet 115
Durumu II ve Ia=0.2 S) 116
Çizelge 6.9. Hidrolojik Toprak Grubunun Tanımı 116
Çizelge 6.10. Önceki Rutubet Durumları ve Eğri Numaraları (Ia=0,2 S) 116
Çizelge 6.11. Yağış Öncesi Toprak Nem Durumu İçin Yağış Limitleri 116
Çizelge 6.12a. Ekim Dağılımı ve % Toprak sınıflaması 117
Çizelge 6.12b. Ortalama CN Değeri Hesabı 118
Çizelge 6.13. Sağanak Süresinin Seçimi 118
Çizelge 6.14. 100 Yıl Yinelenmeli Drenaj Alanı Yağışının Zaman Dağılımı ve Artık Akım Değerleri 124
Çizelge 6.15. Farklı Tekerrürlü Yağış-Akış ve Artım Akışlar 124
Çizelge 6.16. Söz konusu Havza Alanında 100 yıl Yinelenmeli Taşkın Hidrografının Sentetik Yöntemle Hesaplanması 125
Çizelge 6.17. Regresyon Analizi ve Eksik Verilerin Tamamlanması 129
Çizelge 6.18. Taşkın Frekans Analizi, İstasyon Değerlerinin Düzeltmesi 132
Çizelge 6.19. Düzeltilen İstasyon Değerleri ile Kuramsal Frekans Analizi 133
Çizelge 6.20. Taşkın Frekans Analiz Kısa İstasyon Değerlerinin Düzeltilmesi 133
Çizelge 6.21. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi 137
Çizelge 6.22. Çoklu Regresyon Parametrelerinin Hesabı 137
Çizelge 6.23. Problemin Parametrelerinin Düzeltilmiş Matris Çözümü 138
Çizelge 6.24. Çoklu Regresyon için Havza Parametreleri 140

Çizelge 7.1. Muskingum Ötelenme Veriler 148
Çizelge 7.2. Muskingum Ötelenme Yöntemi için Veriler 149
Çizelge 7.3. Muskingum Ötelenmesi 152

Çizelge 8.1. Yüzey ve Yatak Erozyonu 171
Çizelge 8.2. Sediment Ulaşım Oranları 172
Çizelge 8.3. Erozyona Maruz Sahaların Özellikleri 174
Çizelge 8.3. (Devam) Erozyona Maruz Sahaların Özellikleri 175
Çizelge 8.3. (Devam) Erozyona Maruz Sahaların Özellikleri 176
Çizelge 8.4. Arazi Kullanışına Göre Yıllık Brüt Erozyon Oranı 177
Çizelge 8.5. Buğday için Bitki Amenajman Faktörünün Hesaplanması 185
Çizelge 8.6. Bitki Amenajman Faktörü için C/K Oranları* 186
Çizelge 8.7. Fiziksel Özelliklere Göre Erozyon Miktarı Hesabı 189
Çizelge 8.8. Sediment Gözlemi (Göksu Himmetli) 190
Çizelge 8.9. Diğer İstatistiksel Bilgiler 191
Çizelge 8.10.Arazi Kullanma Durumu 192
Çizelge 8.11.Toprak Özellikleri 193
Çizelge 8.12.Arazi Amenajman Katsayısı C Değerinin Hesabı 193

Çizelge 10.1. Bir Ayrıntılı Kontrol Listesi (Uslu,1996) 229

Çizelge 11.1. Dünya nüfus tahmini 238
Çizelge 11.2. Nüfus Dilimlerine Göre Su ihtiyaçları 247

Çizelge 12.1. Üretim Fonksiyonu ve MFÜ Verisi 252

Çizelge 13.1. Sulama Projesi Alanı (Projesiz ve Projeli) Bitki Deseni ve Ürün Bileşimi 261
Çizelge 13.2. Yıllık İşletme ve Bakım Masraf Hesabı Katsayıları (*) 262
Çizelge 13.3. Proje Masrafları Hesap Çizelgesi 263
Çizelge 13.4. Su Kaynaklarında Kullanılan Bazı Yapıların Ekonomik Ömürleri (*) 264
Çizelge 13.5. Proje ile sağlanan net gelir artışı hesabı 279
Çizelge 13.6 Mevcut Durumda (Projesiz) Bitki Deseni ve Net Gelir 279
Çizelge 13.7. Projeli Durumda Bitki Deseni ve Net Gelir 280
Çizelge 13.8. Proje masraf hesaplarına ilişkin bilgiler 280
Çizelge 13.9. Çözüm Aşamaları 281
Çizelge 13.10. İndirgenmiş bugünkü değerler üzerinden Fayda -Masraf oranı 283
Çizelge 13.11. Ekonomik Analiz Tablosu 284
Çizelge 13.12. Ekonomik Analiz Tablosu 285

Çizelge 14.1. Optimum Bitki Deseni Veri Listesi 303
Çizelge 14.2. Örnek Uygulama 14.2'nin Simpleks Tablosu 305
Çizelge 14.3. Taşıma masrafı (Birim TL) 306
Çizelge 14.4. Örnek Uygulama 14.3'ün Simpleks Tablosu 307



Çizelge 14.5. AB Boru Hattı Seçenekli Yollar (Şekil 14.10)Bilgisi 314
Çizelge 14.6. ( n=1) 315
Çizelge 14.7. (n=2) 315
Çizelge 14.8. (n=3) 315
Çizelge 14.9. (n=4) 315
Çizelge 14.10. (n=5) 315
Çizelge 14.11. PERT uygulaması için proje zaman süreleri 321
Çizelge 14.12. Faaliyetlere ilişkin beklenen sürelerin hesabı 322
Çizelge 14.13.Kritik Yol Hesabı 322
Çizelge 14.14. Kritik Yol Standart Sapma Hesabı 323
Çizelge 14.15. Bir İnşaat Firmasına İlişkin CPM Bilgileri 326
Çizelge 14.16. Kritik Yol Hesabı 326
Çizelge 14.17. Proje Faaliyetleri Süre Hesapları 329
Çizelge 14.18. Normal Dağılım Tablosu 330

# BÖLÜM 1 PLANLAMA KAVRAMI

Su kaynaklarının geliştirilmesi, artan su gereksinmelerini karşılamak amacıyla, ülkelerin önünde duran ve sürekliliğini koruyan bir sorundur. Bugünün insanları geçmişten daha fazla su kullanmakta ve yarın daha fazla kullanacaktır.

Su kaynaklarının planlanması, işletilmesi ve bunlara uygun çözümlerin arasında görülen sorunlar çoğu zaman yöreseldir. Su kaynakları planlanmasında dar bölge yaklaşımı genellikle başarılı değildir. Çünkü dar bölgeler hidrolojik ve ekonomik açıdan bağımsız olmayıp, parasal kaynakların yetersizliği ve yasal güçlükler de içermektedir. Su kaynaklarının plânlanması ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar; yerel, yöresel veya ülke düzeyinde, özellikle gelişmekte olan ülkeler için tartışmasız birinci dereceden ekonomik etkiye sahiptir.

Su kaynaklar planlanması genel olarak Şekil 1.1'de görüldüğü gibi aşamaların saptanması, veri toplanması ve projeksiyonların yapılması, uygun seçeneğin belirlenmesi ve proje aşamasına geçilmesi şeklinde genel çerçeveden oluşur.

Düşünülen bir su kaynağı projesi için aşağıda özetlendiği gibi bir kısım sorular sorularak yanıt bulmaya çalışılır.

1) Amaç nedir?

Ne tür bir su sorunu veya sorunları bu gün ve gelecek için mevcuttur?

2)Planlamada gerekli hidrolojik veriler yeterli mi?

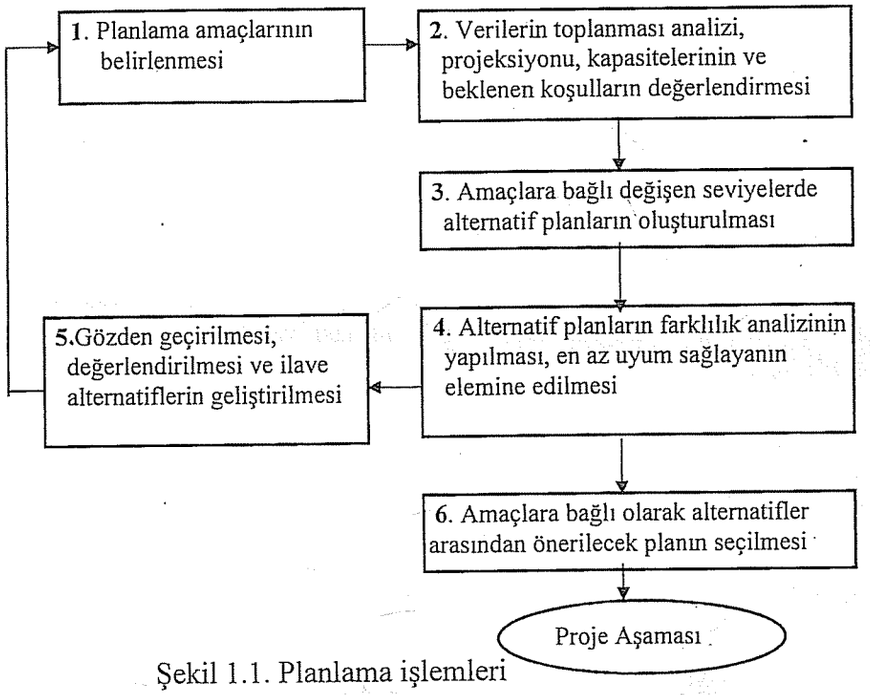
3) Bu günkü ve gelecekteki ihtiyaçlar nedir?

4)Proje formülasyonunda ne tür hidrolojik, hidrolik ve teknik çalışmalar gerekir?

5) Ne tür çözümler ve tavsiyeler olabilir?

6)Ekonomi, sonuçları nasıl etkiler?

Bu bölümün amacı, bölümler bazında planlamaya esas olacak bir kısım temel bilgiler verilmeden önce yukarıda çizilen çerçeve kapsamında planlama kavramını vermek, planlama çabası için yol gösterici olmasını sağlamak, işlenecek bölümlerden özet aktarımlar yapmak ve geçmiş deneyimlerle belirlenmiş bazı planlamada görülen engelleri, tuzakları ortaya koymaktır (Linsley ve ark. 1992; Anonim, 1990).




Şekil 1.1. Planlama işlemleri

## 1.1. Su Kaynaklarının Geliştirilmesinde Planlama

Planlama son karara varabilmek için, ortaya konan temel amaç ile seçeneklerin değerlendirilmesi arasında bir projenin sıralanmış düşünceleri olarak tanımlanır. Bir proje geliştirmede karar verme ve proje mühendisliği bakımından esas olan planlama, yapıların mühendislik ayrıntıları hariç bir projenin planı ile ilgili bütün çalışmaları ihtiva eder. Su geliştirme projeleri fiziksel ve ekonomik anlamda bir bütün olduğundan, verilecek en iyi kararı yönlendirebilecek basit bir yöntemi ortaya koymak olası değildir. Mühendislik kararları proje planlamasında önemlidir. Proje aşamaları ilerledikçe, mühendislik kararların tahmine dayalı kararlardan çok,





sayısal analizlerle desteklenmesi gerekir. Mühendislik ekonomisi plânlamada çok önemlidir.

Bazen "nehir-havzası planlaması" gibi deyim kullanılır, ancak bu ifade planlama safhasında olayın önemini ne büyültür ve ne de küçültür, en küçük proje koşulunda dahi planlama önemlidir. Tüm nehir havzası planlaması bağımsız bireysel projeden çok daha karmaşık planlama çabası gerektirir, ancak doğru karara varmadaki güçlükler bağımsız projelerde daha büyük olabilir.

"Planlama" terimi bir şehir veya bölgesel "mastır planı" gibi diğer bir anlamı da akla getirir. Bu önceki tanımdan farklıdır. Bu bir yerleşim alanında bir şehrin gelecekte en çok arzu edilen büyüme desenini tanımlar. Bir mastır planı *en çok arzu* edilen gelişme modeli gerçeğini yansıtıyorsa, o zaman gelecekteki büyümenin bu model içine yansıtılması gerekir. Maalesef "en çok arzu edilen" kavram sübjektiftir, ve ilk geliştirildiğinde bu yüksek standardı herhangi bir planın yakalaması güçtür. Teknolojideki, ekonomik gelişmedeki, devlet anlayışındaki değişmeler mastır planın kısa zamanda kullanılamaz hale gelmesine neden olur. Her plan geleceği düşünerek tahminler üzerine geliştirilir, ancak bu tahminler gerçekleşemezse, planın gözden geçirilmesi zorunlu olur. Planları periyodik olarak gözden geçirmek gerekir.

Diğer bölgesel planlarla eşgüdümlü ve ilişkili olarak geliştirilmiş bölgesel bir su yönetim planı, bir çok olası eylemlerin belirlenmesinde yararlı bir araç olabilir. Plan teknolojik, ekonomik ve sosyal çevre değişikliklere veya yeni geliştirilmiş verilere bağlı olarak her zaman değişmeye uğramak zorundadır. Mastır plan, bütün uygun eylemlerin bir katalogu durumundadır.

## 1.2. Planlama Düzeyleri

Ülkelere bağlı olarak planlama, farklı planlama amacı ve çabası ile birçok seviyede oluşur. Bir çok ülke sosyal ve ekonomik büyüme gayesi ile milli planlama organizasyonlarını kurmuşlardır. Böyle kuruluşlar olmadan da, devletin yasama ve yürütme işlevlerinde milli planlama şekilleri ortaya çıkmaktadır. Milli planlama kuruluşu genel olarak gıda üretimini, enerji üretimini endüstri üretimini, konut vs.. üretimini amaç edinir. Dolaylı olarak su yönetimi için de amaç edinebilir.

Birçok ülkede su kaynakları geliştirilmesi birçok kuruluşun sorumluluğundadır. Bu kuruluşlar arasında koordinasyon kurma ve ortak metodolojiyi yerleştirmek uğraşısı vardır. Türkiye'de büyük su planlamalarında DSİ bu görevi görmektedir.

Ülkenin çeşitli yöreleri arasındaki değişiklikleri dikkate alan, bölgesel planlama veya bölgesel su planlama birimleri olabilir. Ülkemizde bu şekilde bölge planlama müdürlükleri geliştirilmiştir. Dünyada örneği olduğu gibi ülkemizde de 1960'larda Fırat Bölge Planlama geliştirilmiştir.

Bu kuruluşlar, nehir havzasındaki çeşitli kuruluşlar arasındaki koordinasyonu sağlamayı amaçlar. Büyük su toplama havzasında su yönetimindeki özel bir olay nehrin aşağısında veya yukarısında benzer sonuçları doğurabilir. Planlamanın en alt düzeyini oluşturan bu özel olayların, planlamada ayrı tutulmaması ancak koordine edilmesi gerekir. Su yönetiminin etkinliğini belirleyen önemli kararlar seviyesi olan bu seviye çok kere proje planlama seviyesi olarak bilinir. Fiziksel proje gerekli bir sonuç olmayabilir. Örneğin, bir ova-taşkını önleme planı için çalışma yapılması yasal bir proje planıdır.

### 1.3. Planlama Aşamaları

Proje planlaması, son plan ortaya çıkmadan önce birçok aşamalar geçirir. Her ülkede, özel adlar ile belirlenmiş planlama seviyeleri olabilir.

*Ön inceleme (İstikşaf etüdü):* yoğun çalışmaya gerek duyulmadan uygun olmayan hususların kabaca süzgeçlenme sidir. Bu işlem mevcut harita ve diğer kaynaklardan yararlanılarak ve ihtiyaçlar karşılaştırılarak değerlendirilir. Olumlu bir sonuca varılırsa, daha kapsamlı çalışmalara başlanabilir. Ön inceleme aşamasını bir iki aşama takip edebilir.

*Ön planlama (Mastır plan):* Büyük akarsu havzaları düzeyinde hazırlanan uzun süreli bir geliştirme planıdır. Havzalarda ele alınacak alt projelerin zaman boyutundaki seçimi için bir temel oluşturur. Bunlar zamanla teknik ve ekonomik gelişmelerden etkilenirler. Bunlar planlama düzeyine bilgi hazırlarlar.

*Planlama:* Bu kademedeki planlama kapsamlı plan veya fizibilite (uygunluk) olarak ta bilinir. Bunlar düşünülen faaliyetin uygunluk değerlendirmesini ve süreç içinde en çok arzu edilen eylemi tanımlamayı, formüle etmeyi hedefler. Olayların kolayca





değerlendirilebileceği birçok hallerde tek bir fizibilite çalışması yeterli olabildiği gibi, diğer koşullarda bir veya daha fazla fizibilite çalışması gerekebilir. Burada düşünülen, teklif edilen önerinin farklı durumlarının incelenmesi söz konusu olabilir.

Bu takip eden çalışmaların amacı, ilk olarak projenin zayıf noktalarını belirleyerek, test ederek planlama maliyetini düşürmektir. Eğer bazı görüş nedeniyle proje devre dışı bırakılırsa, diğer tüm çalışmalarının maliyeti devre dışı bırakılmış olacaktır. Projenin bütün veçhelerinin gözden geçirilmesine izin verilmesi maliyetin çok daha fazla artmasına neden olur. Fizibilite çalışması genellikle doğru maliyet tahmini sağlamak için yeterli ayrıntıda tanımlanan bir projenin yapısal ayrıntısını gerekli kılar. Son aşama çalışmasında plan ayrıntıları, yapının çizimleri ve geliştirilen özellikler çok dikkatli olarak incelenmelidir. Bununla birlikte, prensip olarak, fizibilite yayını, fizibilite çalışması esasına göre gözden geçirilir, daima daha fazla çalışma daha fazla bilgi geliştirebilir ve bu fizibiliteyi değiştirebilir.

Planlama çalışmaları 1) veri toplama, 2) projeksiyonlar, 3) proje formülasyonu ve 4) kesin projenin seçimi olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilir.

Sonuç olarak, plan son şeklini alana kadar kararın kesin olmaması gerekir.

### 1.4. Amaçlar (hedefler)

Seçilen uygun bir su projesi, bu projeye dışlardan ciddi olumsuz etkiler olmaksızın, belirlenen proje hedefine etkin biçimde hizmet verir. Bundan dolayı fizibiliteyi ölçmek için, proje hedeflerinin veya amaçların, planlama çalışması başlamadan önce belirlenmesi, başarı değerlendirmesi için kuralların aynı zamanda konması gerekir.

Ulusal düzeyde amaçlar genel olup 1) milli ekonominin gelişmesini ve 2) çevre kalitesinin başarısını amaçlar. Bu ulusal amaçların başarısı diğer amaçların, yani milli gıda üretiminin, bölgesel kalkınmanın ve ulaşım faaliyetlerinin hızlanmasının başarısı olacaktır.

Nehir-havzasında veya proje aşamasında bu amaçlar daha çok özel amaçlara dönüşür. Örneğin, gıda üretimi sulama, drenaj, taşkın kontrolü, gübreleme, çiftçilerin eğitimi, geliştirilmiş tohumlar vs.. ile artırılabilir. Planlama bütün olası seçenek ölçümleri veya bu ölçümlerin bileşimlerini test eder, bu ölçümlerin bir kısmını elemine

eder ( Frederiksen, 1992; FAO, 1995. Reforming Water Resources Policy. ID Paper No:52).

## 1.5. Plan ve Bütçe Planlaması

*Bütçe ihtiyacı:* Planlama için bütçe genellikle sınırlı olup ve planlamadan önce tasarı aşamasında bütçe ihtiyacı başlar.

*Strateji geliştirilmesi:* Özel durumlar için stratejilerin geliştirilmesi gerekir. Bunu yapmak için, kritik faktörlere ihtiyaç vardır.

*Kritik faktörler*: Problemler mümkün olduğu kadar özenle değerlendirilerek planın şekillenmesi en kritik faktörlerin belirlenmesi gerekir. Kritik faktörler; 1) Su durumu. Örneğin, kurak bölgede suyun sağlanabilirliği sulama projesinin fizibilitesinde kritik bir faktördür. 2) Hidrolojik analiz. Su kaynaklarını ve ihtiyaçlarını yeterince geliştirmek için kullanılabilir veri olmadığında, hidrolojik analiz belki planlamayı kontrol edebilir. 3) Diğer kritik faktörler. Örneğin; toprak özelliği, mevcut baraj yerinin uygun olması, baraj gövdesi için uygun temel malzemesinin varlığı planlamayı yönlendirebilir.

*Açık yanıt*: Planlama çalışmasında gerekli çaba, kararı kontrol eden sorulara açık yanıt vermeyi gerektirir. Diğer konuların ayrıntılı biçimde araştırılması daha sonraki aşamasına bırakılması gerekir.

*Personel seçimi ve çalışma takvimi*: Personel veri toplama programlarının yapılmasında ve çalışma takviminin hazırlanmasında, özel problemlerin değerlendirilmesinde planlanmasında gerekir. Bunun için özenle personel seçimi gerekir. Bu yapılmazsa takip eden çalışmalar için ilk çalışmanın çoğunun yeniden yapılması zorunlu olabilir ve verilecek son kararın geriye bırakılması doğacak ve bu da bütün olarak planlama maliyetini artıracaktır.

*Veri ihtiyacı:* Planlama stratejisinde önemli bir düşünce veri ihtiyacıdır. Planlama için gerekli verilerin çoğunun, arazi kullanma, nüfus, topografya vs.. gibi yeni olmasıdır. Bu veriler ihtiyaçtan önce toplanmalı, ihtiyaç olduğunda hazır olmalıdır. Tarihsel gözlem verileri yetersiz gözükebilir. Bu durumda planlama başlamadan önce yeni gözlem istasyonlarının kurulması gereği (örneğin, yağış ölçeği istasyonu gibi) ortaya çıkabilir.





## 1.6. Planlama Projeksiyonu

*Planlama sürecinin seçimi*: Planlama daima gelecek için olduğundan, gelecek koşullar için tahminlerin yapılması esastır. Su projeleri için planlama süreci çok kere 50-100 yıl olarak seçilir. Hiçbir tahmin yöntemi mükemmel değildir ve en iyi sonucu vermez. Geçmiş 50 yıldaki deneyimler, tahminlerde çok büyük hataların olası olduğunu ve olacağını ortaya koymaktadır.

Teknolojideki olası değişiklikler gelecek projeksiyonlarında daima dikkate alınması, bunun için seçilen tekerrürlerin uygun seçilmesi gerekir. Açık olarak bütün değişiklikler gelecek 50 veya 100 yıl ötesinde meydana gelmez, daha kısa sürede de değişiklikler olacaktır. Bazı koşullarda gecikme, üstün bir yapının geri kalmasına izin verebilir.

*Tahmin yöntemlerinin seçimi:* Tahmin yöntemlerinde de önemli gelişmeler meydana gelmekte ve gelecektir. Güçlü gözüken yöntemler dahi basit sabit katsayılara bağlı kalmakta, bunların belirlenmesi de yine bir sisteme dolayısıyla sonuçlar yine tahmin esasına dayanmaktadır. Projeksiyonlarda, en azından uygun bulunan en gerçekçi tahmin yöntemlerinin seçilmesi, kullanılması, basit trend ekstrapolasyonlarının kullanılmasından kaçınılması gerekir.

*Seçenekli gelecekler:* Planlama problemi, zayıf tahminlerin sonucu olarak ortaya çıkacak yanlış karar riskini minimize eder. Bu, tahmin değerleri genişliği (aralığı) veya seçenekli gelecekler düşüncesi ile yapılır.

*Seçeneklerin testi:* Çeşitli proje seçenekleri, hedeflenen gelecek koşul aralığında nasıl bir değişim göstereceğini görmek için test edilir. İyi gelişim gösteren bir seçenek en iyi seçenek olacaktır. Eğer hiçbir seçenek yeterli değilse, o zaman fizibil olan bir seçenek yeniden formüle edilecektir. Bu inşa aşamasında yapılabilir. Örneğin, bir baraj gövdesinin yükselmesinin olasılıklı olarak geriye kalması veya türbin inşaatında sadece bir kısmının öncelikle yapılması gibi. Ova taşkınları ve dolayısıyla kontrolleri değişken olduğundan, başlangıçta bu arazinin bir kısmı gelecekteki koşullar için setler ile korunmaya alınabilir.

*Planlamada ihtiyaçların projeksiyonu:* Çok defa *su ihtiyacı* maksimum miktardaki su ihtiyacı ve bütün alanın hizmete açılması durumundaki *maksimum (en son) ihtiyaç* varsayımı esasına göre tahmin edilir. Bu gibi tahminler, nüfus, endüstri, tarım projeksiyonları

üzerine yapılır. Kişi başına kullanılan su veya birim alana kullanılan suyu esas alır, aynı zamanda mevcut su kullanma oranı da projeksiyon da kullanır.

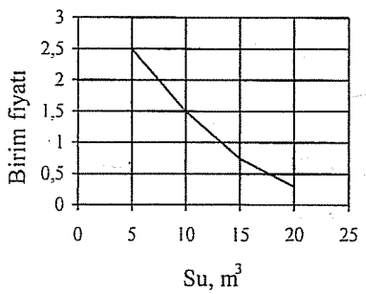
Tahminler tam gerçekçi olmayabilir ve aşırı tahmin edilmiş olabilir, gerçekçi olmayan su ihtiyaçları aşırı planlamayı (ihtiyaç üstü planı) ve aşırı masrafı ortaya çıkarır.

Gerçekçi planlama uydurma ihtiyaçtan çok, doğru ekonomik istemi tahmin etmeyi hedefler.

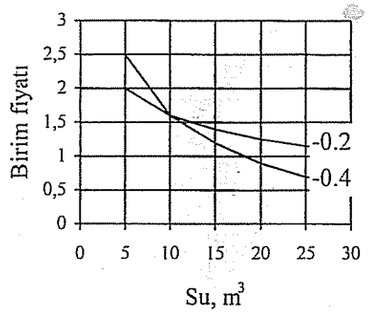
*Elastisitenin belirlenmesi:* İhtiyaçların belirlenmesinde ve karar vermede fiyat elastisitesi olarak bilinen su kullanma ile fiyatı (Şekil 1.1,1.2) arasındaki ilişki önem arz eder. Bu ilişki su istemini tanımlar ve şöyle ifade edilir.

$$E = \frac{-(dQ/Q)}{dP/P} \qquad (1.1)$$

Bu oran fiyatın kullanılan su miktarına etki ettiğini gösterir. Su kullanıcıları fiyata bağlı olarak kullanımlarını ayarlarlar. Kullanımdaki oransal değişim, fiyattaki değişime bağlıdır.




Şekil 1.2. Su istem eğrisi




Şekil 1.3. Elastisite eğrileri

Su kullanma genellikle fiyat yönünden etkilenir; bundan dolayı, fiyat politikası düşüncesi planlamada önemlidir. Gelişmiş ülkelerde evlerde kullanılan su genellikle -2.0 ile -0.4 arasında fiyat elastisitesine sahiptir. Yüksek derecede su kullanan endüstride fiyat elastisitesi yaklaşık -0.7'ye yükselir.





Su fiyatının yüksek oluşu genellikle yüksek elastisiteye neden olur ve bu inşaatın ilerlemesi için bir dürtü olur (Linesley ve ark., 1992).

## 1.7. Proje Formülasyonu

*Seçenek listesinin oluşması:* Temel veriler ve gelecek projeksiyonları bir araya getirildiğinde, gerçek proje formülasyonu başlayabilir. Bu, hayal ve yetenek isteyen planlama aşamasıdır. İlk önemli işlem seçenekler listesinin oluşmasıdır.

*Seçeneklerin değerlendirme kriterleri:* Planlama işlemleri, proje çehresine ve su kullanma durumuna bağlı olarak: 1) Bütün olası seçenekleri değerlendirir. Söz konusu bir yer için belirlenmiş su miktarının tahmini ile başlamak ve bu miktarı sunmak için iki veya daha fazla geçerli planı değerlendirmek yeterli değildir. 2) Planlama su kontrolü ve dağıtımında farklı ihtimaller kadar su kullanma yarışı ve seçeneklerini de dikkate alması gerekir. 3) Planlama işlemi dikkate değer geri beslemeyi içermesi gerekir. 4) Proje formülasyonu gelişirken, yeni veri veya projeksiyon isteği veya temel veride değişme gereğinin olması gerekir.

Proje formülasyonunda ilk aşama, projeyi sınırlayan sınır koşullarının tanımıdır. Örneğin:

1) Su kaynakları geliştirmesinde bir veya daha fazla görüş, fiziksel sınırlamalara bağlı olarak elemine edilebilir. Ör. Taşkın yaratan dağlık yöre akarsularında taşımacılık düşünülmesi gerekmez.

2) Gerçek problemler, bölgede belki sabit olabilir, ör. şehir için oluşturulmuş mevcut taşkın önleme yapıları.

3) Mevcut kullanılabilir su sınırlı olabilir veya çok düşük değişikliklere sadece konu olabilir.

4) Çeşitli gayeler için kullanılabilir maksimum alan tespit edilebilir. Bu, verilen arazi parçası için seçenekli kullanma olanağını dışlamamalıdır.

5) Politika kararı özel amaç için belirlenen araziler tedbir olarak korunabilir.

6) Su depolama (yüzey ve yeraltı) için olası mevki tanımlanabilir ve bunların sınırlanmış kapasiteleri geliştirilebilir.

7) Mevcut su kullanma devam ettiği sürece su sağlama devam etmek mecburiyetindedir.

8) Yasal kısıtlar belirlenen arazileri muhafaza edebilir veya belli etkinlikleri yasaklayabilir.

9) Negatif çevresel etkiler, daha ileri düşüncelerden belli projeleri yok edebilir.

Bu kısıtlar, süzgeçlenebilir ve düşünülen bir kısım seçenekler yok edilerek sadeleştirilebilir, çekici seçenekler belirlenebilir.

*Seçenek çeşitleri:* Seçeneklerin formüle edilmesinde, seçenek çeşitlerinin olası olduğunu vurgulamak önemlidir. Genel olarak seçenekler; 1) *Mühendislik seçenekleri;* değişik bölgeler veya baraj gövdesi yüksekliği veya rezervuarlara karşı toprak koruma setleri seçenekler olarak bilinir. 2) *Yapısal olmayan veya işletme seçenekleri*; ova-taşkın düzenlemesi gibi. 3) *Seçenekli amaçlar;* 4) *Kuruluş seçenekleri* de sayılabilir; çeşitli kuruluşlar, ulusal ve yerel, proje işletmecisi olarak hatırlanabilir; 5) *Zaman seçeneklerinin* var olduğunun hatırlanması uygun olur.

Planlama yapılırken ve yakın gelecekte bir faaliyet için tipik bir planlama yürütülürken, bazı koşullarda gereksinmeler proje verimi ile kıyaslandığında proje, belli bir tarihe ertelenerek faydalar dikkate değer ölçüde artırılabilir. Geri bırakma belki veri toplama bakımından zaman kazanabilir ve proje kapasitelerinin daha gerçekçi tahminine izin verir.

Planlayıcının görevi, devlet ve seçilmiş karar vericilere proje seçeneklerini sunmaktır. Planlayıcıların, kendi görüşleri veya ön yargıları nedeniyle bir seçeneğin yok edilmesi veya savunulması hususunda çok dikkatli olmaları gerekir.

## 1.8. Planlamada Halkın Katılımı

*Halkın katılımlarının sağlanması:* Bu olay Türkiye'de yabancısı olduğumuz bir olgudur. Halkın katkılarından gelişmiş ülkelerde yoğun olarak yararlanıldığı kaydedilmektedir. Bunun bir çok yararları vardır. Planın görülemeyen cephesi ortaya çıkabilir. Daha sonra halkın karşı koyması ortadan kalkabilir. Halk katkılarını sağlamak için: 1) Halk temsilcisinin planlama bürolarına davet edilmesi, tartışmaya katılmasının sağlanması. Halkın katkısına farklı yönlerde erişilebilir, katkılar farklı yönlerde değerlendirilebilir. 2) Halka duyurularla





önerilen planlar tartışılır ve soru sormak için halka fırsat sağlanır ve açık düşünceler yasal olarak birçok hallerde gerekli görülür. Bu duyurular sıkça yeni duyurular, broşürler ve kitapçıklar ile yenilenir, önerilen projeye genel bilgi akışı geliştirilir. Demostrasyon ve görsel eğitime ağırlık verilir. Halk duyarlı hale getirilir, karar verme problemlerinde halkın, şehirlinin deneyim kazanmasına fırsat sağlanır ve karar vermeye dahil olan ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerin karmaşıklığı duyarlı hale getirilir.

Halktan gelen öneriler, planlayıcılar tarafından düşünülmeyen olası seçenekleri ortaya çıkarabilir, halk görüşlerinden özellikle seneklerin değerlendirilmesinde yararlanılır (Moigne, 1992).

## 1.9. Proje Değerlendirmesi

Seçenekler belirlendikten sonra, planlayıcıların yeni görevi seçenekler arasından en uygununun seçimini kolaylaştırmak amacıyla veri geliştirmesi yapmasıdır. Ekonomik amaca bağlı olarak, fayda ve masraf verisi gerekli olur. Herbir seçeneğin yeterli ayrıntıda belirlenerek masrafların güvenilir olarak tahmin edilebilmesi gerekir. Fayda ve maliyet tahmininde kullanılan yöntemlerin çeşitli seçenekler için sonuçlanan değerlerin kıyaslanabilir olmasını garanti etmesi paranın zaman içindeki değerini, uygun iskonto oranını temsil etmesi gerekir. Tek ve çok amaçlı projelerde optimum kombinasyonu belirlemek için her projenin kıyaslanabilir olması, ekonomik açıdan amaçların optimal karışımını tarif edebilmesi, maksimum net fayda noktasını görebilmesi gerekir. Aynı şey ayrı ayrı birimlerin birleşiminden oluşan projeler için de doğrudur.

Su temini için yapılan bir çalışmada; enerji üretiminin, sulamada kullanılan suyun parasal faydalarının da belirlemesi durumu vardır. Bir çok kurum ve kuruluşlar su kullanmanın çeşitli olası bileşimleri uğraşmakta ve geniş sayıda bu yönde denemeler yapmaktadır. Bu çalışmalarda bilgisayar kullanımı ve bazı örnekleme sistemi temel olmaktadır. Tesadüfi örnekleme yönteminin en etkin araç olduğu vurgulanmaktadır.

Su projelerinin bütün fayda ve maliyetleri para bazında ölçülemez. Rezervuar bölgesinden göç ettirilen insanlar sosyal maliyetleri veya taşkın zararının düşürülmesinin kazandırdığı zihinsel huzur par ile kıyaslanamaz, bu tanımsal bir işlevdir. Çevresel maliyet ve faydalar yine bir çok tanımsal ifadeleri ihtiva eder. Sosyal ve

çevresel maliyet ve faydaları para bazında belirleme atılımları yanıltıcı olabilir. Parasal olmayan fayda ve maliyetler için para yerine geçen değerler, taşkın nedeniyle kaybolan bir hayat değeri veya proje nedeniyle ıslak alanların kaybı dikkatlice gözden geçirilmelidir. Sübjektif yaklaşım, sosyal ve çevresel etkileri hedeflediğinde en iyisidir. Bir proje alanında Çevre Etki Değerlendirmesinin yapılması proje alanındaki faktörlerin belirlenmesi, proje için bu faktörlerin her birinin, çok duyarlı, duyarlı, az duyarlı olarak değerlendirilmesi gerekir.

Bunlar tam olarak sübjektiftir ve ağırlıklandırma bağımsız planlayıcıdan çok halk veya seçilmiş temsilciler tarafından yapılması tercih edilir. Hatta seçeneklerin önem sıralanması yapıldıktan sonra, politik düşünceler, en çok tercih edilen alternatifler arasından seçimi yönlendirebilir.

## 1.10. Planlamada Parasal Düşünceler

Parasal olarak desteklenmeyen bir projenin kullanışı yoktur. Bundan dolayı, bir proje planlamasında önemli bir olay projenin finanse edilmesidir.

Gelişmiş ülkelerde bu gün bir projenin finansmanının devlet tarafından sağlanması beklenmemektedir. Bugün eğilim maliyet paylaşımı yönündedir. Bölgesel kuruluşlar arazi, huzur ve öncelik hakkı sağlamak için istenir ve proje bakım ve onarımı ödemesi için gerekli görülür. Burada bölgesel kuruluşlar geniş biçimde finans paylaşımı sağlamaktadırlar. Hükümetler bölgesel kuruluşları harekete geçirmeyi, gerçek tip projeleri başlatmayı, su kirliliğini düşürmek için belediyelerin atık su arıtma tesislerine destek sağlamayı hedefler. Türkiye'de projeler genellikle devlet desteklidir. Halk ve özel kuruluş katılımları yok veya yok denecek kadar azdır. Yabancı kaynaklı finansmanlarda yine devlet garantilidir.

Bütün dünyada olduğu gibi ancak iyi bir plan özel teşebbüsten destek görür. Destek bir projenin başarılı bir şekilde yerine getirilmesi için şarttır.

## 1.11. Planlamada Çevresel Düşünceler

*Doğa ve ekolojideki değişimler*: Dünyada 1960, 1970, 1980 gibi onar yıllık devrelerde çevre hakkında artan ilgiye şahit olunmuştur.





Kontrol edilemeyen aşırı nüfus artışı, motorlu araçların sayısındaki artışa, evlerden atılan atıkların çoğalmasına dolayısıyla hava, su ve arazi kirlenmelerine neden olmakta ve bitkilere, hayvanlara ve hatta insanlara zarar vermektedir. Nüfus artışı, teknolojik gelişme, şehirler, yollar, barajlar ve diğer mühendislik çalışmaları ile doğa acımasız bir şekilde değiştirmektedir. Bu değişiklikler sıkça söz konu alanın ekolojisinde değişikliklere neden olmakta, bitki ve hayvan varlıklarının yok olmasına, türlerin değişmesine neden olmaktadır.

*Çarpık ekstremler*: Çevresel ilginin büyümesi bir takım uç düşünceleri beraberinde getirmiştir. Bütün yapıların durmasını isteyen ve binaların mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde bitmesini isteyen ekstremler ile mühendisleri karşı karşıya kalmışlardır. Su kaynakları planlayıcısı çevresel problemlere daha fazla önem vermek zorundadır.

*Yenilikçilik:* Gelecek planlayıcıları yenilikçi, geniş düşünen ve kritik ihtiyaçları değerlendirebilen konumunda olmak durumundadır. Yenilikçiler ekonomik fayda gösterimine tek başına güvenemez, aynı zamanda kendi planlarının geliştirilmesinde estetik ve ekolojik kalite değerlendirmelerini de dikkate almak zorundadırlar. Yenilik daha az su ihtiyacı tasarlamak için, taşkın kontrolünde yapısal olmayan çözümleri teşvik etmek için ve atıkları işlemede daha iyi önlemleri bulmak ve kirli suları daha elverişli hale sokmak için gereklidir. Geniş anlamda su kirlenmesi, hava kirlenmesi ve katı atık arasındaki ilişkilerin çok iyi bilinmesi; getirilen suyun nüfus dağılımındaki önemi; yerel ekolojik ilişkilerde su projesinin önemi ve su kirlenmesinde projelerin etkilerinin bilinmesinin gereği vardır. Bunların en önemlisi proje için gerçek ihtiyacın kritik değerlendirmesidir.

*Uyanıklık:* Planlayıcı seçeneklerde öncekinden daha uyanık olmak durumundadır. Gerekli kamu hizmetini sağlamak için kabul edilebilir yaklaşımlar, ihtiyaç duyulan hizmetlerin inşaatını devam ettirecektir. Kamu sağlığı ve güvenliğini sağlamak için ihtiyaç duyulan su projeleri ve kabul edilebilir hoşluklar bu kamu çalışmalarına dahil edilecektir. Hidroelektrik projeler, kıt fosil fuel yerine esas olmak üzere yerleştirilebilir. Bununla birlikte, sulama projeleri hümit bölgelerdeki aşırı üretim ile, taşkın koruma projeleri, iyi arazi yönetimi ile yer değiştirebilir, daha iyi arıtma daha etkin olarak hizmet ettiği zaman oluşan sulandırma ile depolama kirliliği değişir, ve mesire projeleri komşu projeler ile veya doğal alanlar esas olmayanlar ile yarışır.

*Çevreyi gözeten plan*: Bir yerde proje gerekli görülürse, planlayıcı nehirde ve yakın çevresinde ekolojik etkileri dikkatli olarak değerlendirmek ve en az zarar verecek şekilde menfi etkilere sahip olacak plan geliştirmek durumundadır.

*Mimariyi gözeten plan:* Yapıların mimari planlamasında özel görünümün dikkate alınması gereklidir. Yüzeylerin işlenmesinde pahalı beton, boyalı çevreden kaçınılması, çim ve küçük boylu ağaççıkların ön plana çıkartılması uygun olur.

*Su kaynakları projesinin çevresel sonuçları*: Erozyon artması, sediment tutulması, su canlılarının yaşamının değişmesi, ekosistemin bozulması, tarihi kültürel kalıntıların yok olması, suyun fiziksel özelliklerinin değişmesi, suda atık ve toksik maddelerin artması, akım rejiminin değişmesi şeklinde özetlenebilir.

Bunlara daha bir çok durumlar ilave edilebilir ve henüz tarif edilemeyen çözümü zor etkiler de vardır. Geçici zararlar ile uzun süreli ve geri çevrilemez etkileri arasında açık ayırım yapılması gerekir. Biyolojistler, hidrolojistler, sosyal bilimciler, ve diğerlerini ihtiva eden çoklu grupların çevresel etki çalışmalarına katılmaları gerekli görülür. Görev, seçenek olayların çevresel etkilerinin tahminidir. Çevre etkilerinin bildiriminin hazırlanması bütün kuruluşların görüşlerinin alınması gerekir.

## 1.12. Su Planlamasında Sistem Analizi

Olası bütün seçeneklerin en iyisini seçmek planlayıcının görevi olduğundan, *sistem analizi* olarak tanımlanan çeşitli optimizasyon yöntemleri planlayıcının kullanımı için bir araçtır. Optimizasyon teknikleri su planlamasında üç seviyede dahil olur.

*İlk seviye* projenin bireysel özelliğini hedefler. Doğru olarak optimum çözümü (en düşük-maliyet) sağlamak için mühendislik ekonomisi yöntemleri kullanılması olasıdır.

*İkinci seviye* tek bir projeyi kapsar. Birim projenin alt optimizasyonun bir şekilde uzatılması ile projenin tümünün optimizasyonuna yönlendirilebilir. Bununla birlikte, Genellikle proje ölçeği durumuna göre ayrılmış olarak tekrar çözülmek durumundadır.

- Rezervuar ne kadar geniştir?
- Kıyı koruma için planlama taşkını nedir?





- Çok amaçlı proje için amaçlar ne kadar karışıktır?

Bu tip sorular genellikle iki sınırlayıcı ve matematik analiz ile yaklaşık olarak cevaplandırılabilir. Birincisi; sayısal olarak ölçülemeyen çevresel ve ekolojik sonuçlar, insan yaşamının değeri, kamu öncelikleri ve diğerleri proje alanı görünüşü çözüme dahil edilemez. İkincisi, proje faaliyet alanında kararlar yoğun olarak projeksiyonlara ve planlamaya dahil olan diğer tahminlere bağlı kalmakta ve matematiksel çözüm kullanılan verilerden daha iyi olmaktadır. Bu kısıtlara rağmen, matematiksel çözümler sayısal değerlerle ifade edilemeyen etmenlerin yeterliliğini gerekli gören, karar ayarlaması yapan, optimum olası bir noktayı bulmada değerlidir.

*Üçüncü seviye:* Planlamanın üçüncü aşaması proje sistemlerini (çoklu rezervuarlar, kanallar, toprak setler) ihtiva eder. Çok fazla sayıda veri içermesi nedeniyle optimizasyonun pratik olmadığını geçmiş uygulamalar açıkça göstermektedir. Basitleştirilmiş varsayımlara dayandırılarak elde edilen çözümler sistemin en iyi düzenlenmesinde ilk yaklaşımı gösterebilir. Ancak başarılı bir şekilde kanıtlanan tek metot simülasyonu ihtiva etmektedir. Simülasyon (yöneylem çalışması) bilgisayar çözümü için programlanabilir ve bir çok seçenek bileşimleri, maksimum net geliri ortaya koyan seçeneği belirlemek için test edilir. İkinci seviyede mevcut olan aynı kısıtlar aynı zamanda üçüncü seviyede de uygulanır. Ek olarak olası seçenekler sayısı çok geniş ve bu bütün seçeneklerin sistematik testi mümkün değildir ve çok boyutlu sorumlu yüzeyde örnekleme gerekebilir. Bu kısıtlara rağmen, sistematik simülasyon diğer her hangi bir metottan optimum noktaya daha yakın sonuç vermeye yönlendirmesi icabeder.

Girdi değerindeki veya geleceğe yönelik tahminlerdeki her hangi bir eksiklik doğru optimumun belirlenmesini engeller. Sistem analizi veri eksikliğini ve gelecek belirsizliğini yenemez.

Sistem analizi özel yöntemleri ilgili bölüme bırakılmıştır.

## 1.13. Planlamada Gözükmeyen Bazı Genel Engeller

Çeşitli kuruluşlar tarafından yapılan proje rapor çalışmaları, bir çok tuzağın olduğunu ve bunların projenin sağlıklı değerlendirmesini yapmak için sarf edilen mükemmel gayreti yok sayabileceğini göstermektedir. Bazı bilinen genel tuzaklar aşağıdaki paragraflarda tartışılmaktadır. Genel olarak, bu güçlüklere karşı tek önlemin

bunların analize dahil olmasına karşı ısrarlı olarak uyanık olunması olacaktır.

*Başlangıç Raporu:* Çok sayıda olası projelerin olması nedeniyle, analizinin ilk aşaması olarak bir projede başlangıç raporu hazırlaması iyi bilinen bir uygulamadır. Eğer oluşturulan başlangıç raporu benimsenmezse, daha fazla para sarf edilmeden, yani projenin ayrıntısına gidilmeden proje düşer. Eğer benimsenirse, kararı ilerletmek için daha fazla güvenle çalışma yapılır. Başlangıç raporu proje analizinde önemli bir adım olup tahminler ve yuvarlak yöntemler üzerine temellenmemesi gerekir.

Özellikle, hidrolojik çalışmalar ve su kullanımı uygun arıtma seviyesinin belirlenmesinde gereklidir. Eksik her hangi bir analiz ciddi hataya neden olur. Doğru haritalar aynı zamanda başlangıç raporu için esastır. Bunlar başlangıç raporu maliyetini artırır, ancak son aşamayı yakalayan projeler için son planın maliyetini düşürecektir.

*Kuruluş Standartları:* Plan ve metodoloji standartları bir projenin özel durumuna her zaman uygun olmayabilir. Teknolojik gelişme keza özel bir standart geliştirebilir. Profesyonel karar farklı öneride bulunduğu zaman, bu standartlara sıkı bağımlılık zorunlu olmaması gerekir.

Bir proje yapımına tam olarak başlamadan önce, periyot ortasında kazançlı olarak uygulanabilir fon harcamaları kullanma sistemine ihtiyaç vardır. Büyüyen su isteklerine bağlı olarak gerekli görülen rezervuar hacminin artmasını esas alan aşamalı yapım için planlanmış çok sayıda baraj örnekleri vardır. Suyun derhal gerekli olduğu bazı durumlarda, düşünülen geleceğin isteklerini karşılamak ve hatta, belki gelecekte bir dilimde yeterli derecede yeterli bir baraj için planlanan su yolunun yerleştirilmesinde ihtiyatlı olunması gerekir. Bununla birlikte, her durumda, ihtiyacın basit tahmin ile değil, analiz ile belirlenmesi gerekir.

Taşkından korunması düşünülen alanın belirlenmesi, beklenen gelecekteki büyümeyi esas alan taşkın önleme çalışmaları ve yapımın uygulaması anlayışı üzerine temellenmesi özellikle vurgulanması gereken bir hatadır. Taşkın koruma, mevcut veriler analiz edilene kadar geliştirilmemesi gerekir. Burada ova-taşkın yönetimi vurgulanmak istenmektedir.

*Öncelikli Kararlar*: Bir projenin gerçek veçhesini dikkate alan kararlar, bazen ekonomik analizden önce yapılır ve hiçbir zaman kontrol edilmez. Bir taşkın koruma projesinde banket erozyon





koruması için karar örneğin ABD'de maksimum 85 $m^3$/sn limitine göre verildiği, buna rağmen taşkın zararının, akışın 113 $m^3$/sn yi aşana kadar başlamadığı kaydedilmektedir. Pik akıştan her 28 $m^3$/sn düşülmesi ile ortaya çıkacak artımlı maliyetin, bank erozyonunda oluşan küçük kayıplar ile ortaya çıkacak oransal maliyetin kıyaslaması yönünde bir çalışmanın yapılmadığı bilinmektedir.

Bu tip öncelikli kararlar, bir çok projelerde ekonomik olmayan artışların bileşimlerine yön verebilir. Karar, artımlı fayda-maliyet oranı uygun olana kadar bekler

*Bütün seçenekleri dikkate alan başarısızlık*: Belki en çok bilinen tuzak bütün seçenekleri dikkate alan tuzaktır. Özellikle, ova taşkını yönetimi gibi mühendislik seçeneği olmayan seçeneklere, planlayıcı mühendisler tarafından göz yumulur. Ek olarak basit mühendislik seçenekleri, geleneksel çözümlerden ayrıldığı zaman planlayıcı mühendisler çok zaman ve özellikle göz yumarlar.

*Pazar fiyatlarının kullanılması:* Suyun pazar fiyatı her zaman gerçek durumu yansıtmaz. Böylece, pazar fiyatı, fayda hesabında yeterli gereklilikte değildir. Mümkün olursa gerçek faydanın tahmin edilmesi ve ekonomik analizde kullanılması önerilir.

*İzleyen-en iyi seçeneklerin kullanılması:* Bir projenin diğer herhangi bir fayda tahmini doğrultusunda, fayda ölçeği olarak izleyen en iyi seçeneğin maliyetinin kullanılması olağan üstü değildir. İzleyen-en iyi seçeneğin mantıklı seçimi ile, faydalar çok geniş bir gerçeklik yaratır. Bir başka bölgedeki farklı bir olayda oluşan fiyatın kullanılması pazar fiyatından daha iyi değildir ve belki değersizdir Fayda tahmini esasına göre kabul edilebilir bir seçenek kullanılabilecek bir seçenektir.

## 1.14. Su Kaynaklarının Muhafazası ve Artırılması

Dünya tatlı su kaynağı çok iyi tanımlanmamakla birlikte, şüphesiz dünya su ihtiyacı için yıllarca yeterlidir. Bununla birlikte, sağlanabilen miktarların dağılımı *zayıf* ve bazı bölgelerde *şimdiden yetersiz* ve bazı bölgelerde ise *kısa süre içinde yetersiz* olacaktır. Bu durumlarda seçenekler: 1) Kullanılabilir suya bağlı olarak bu alanların geliştirilmesini sağlamaktır. 2) Suyu fazla olan komşu havzalardan su getirmektir. Bir çok nedenlerle bu seçenek arzu edilmeyebilir. ve su temininin artırılmasında diğer çabalar hala devam etmektedir.

Su kaynağının artırılması, tamamıyla yeni taze su sağlamayı hedefler, ancak mevcut suyu daha fazla kullanmaya izin veren muhafaza veya düzenleme ile kullanımını artıran teknikleri de dikkate alması gerekir.

*Hava modifikasyonu:* Tamamen yeni su sağlayan teknikler, atmosferik sirkülasyonu arzu edilen şekilde değiştiren, bir çok olası planları sağlayan ve evapotranspirasyonu düşüren hava modifikasyonu ihtiva edebilir. Bu planlar, politik anlamlara sahip olacaktır. Şimdiki çabalar daha çok bölgesel yağışların bulut tohumlama ile artırılmasına yönlenmiştir. Son çalışmalar, uygun koşullar altında, yağışta ortalama %10 artışın olabileceğini göstermektedir. Yıllık yağıştaki küçük bir artıştan ($\Delta P$) meydana gelebilecek yıllık akıştaki artış ($\Delta R$) aşağidaki denklem ile açıklamaya çalışmıştır (Linsley ve ark.,1992).

$$\Delta R=\Delta P(0.29+1.2\frac{R_{ort}}{P_{ort}} \qquad (1.1)$$

Burada; $R_{ort}$ ve $P_{ort}$ sırayla yıllık ortalama akış ve yağıştır. Bu denklem, 7 kırsal havzanın analizi üzerine oluşturulmuştur. Bu ilişkinin sadece başlangıç tahminleri için kullanılması önerilmektedir. Burada akış/yağış oranı belli sınırlar ($0.1<R_{ort}/P_{ort}<0.5$) arasında kalmaktadır. Bu çalışma simülasyon tekniği kullanılarak gözlem ile elde edilen yağıştan oluşan akış ile kıyaslanarak geliştirilmiştir. Kullanılabilir ilave akış, havzada mevcut depolama imkanlarına bağlıdır. Genel olarak geniş rezervuar depolaması faydalı ilave akışın olmasını ister.

*Tuzlu suyun arıtılması:* Deniz suyunun arıtılması uygun ancak tatlı su sağlamada pahalı bir yoldur. Yüksek enerji gereksinmesi nedeniyle, tuzdan arındırma sadece seçenek olarak başka bir kaynak mevcut değilse düşünülebilir.

*Su tasarrufu sağlayan yeni teknikler:* Mevcut su muhafazası farklı yönlerde olabilir. Evde ve endüstride daha az su kullanacak olan tekniklerin geliştirilmesi önemli su tasarrufu sağlayacaktır.

*Tutumlu su kullanma*: Ailede su-tutum bilincinin geliştirilmesi ve aile başına kullanılan su miktarının düşürülmesi, düşük akışlı duşun kullanılması, rengi kirli suların bahçede kullanılması gibi düşünceler de su biriktirmede önemli tekniklerdir.

*Tekrar ve geri döngüsü kullanma:* Tekrar kullanma ve endüstride suyun geri döngülü olarak kullanılması, su tasarrufu





sağlayabilir. Bunun maliyeti yüksek olabilir, ancak endüstri ve kuruluşlara bunun benimsetilmesi gerekir.

*Su kullanmada eğitim*: Eğitim programları ile ve su fiyatları ile de su tasarrufu sağlanabilir.

*Su iletim kayıpları azaltılması*: Bir çok alanlarda su iletim kayıplarının düşürülmesi ve uygun olmayan tarla içi sulamaların kontrolü ile de su kullanmadan tasarruf edilebilir.

*Yeraltı suyu beslenmesinin sağlanması:* Yeraltı suları evapotranspirasyon kayıplarından genellikle serbest olduğu için yeraltı sularının çağdaş yöntemlerle yerüstü suları ile birlikte kullanılması, özellikle kurak bölgelerde, rezervuardan meydana gelecek evapotranspirasyon kayıplarını aza indirir. Bir bölgede gelişen şehir ve onun meydana getirdiği geçirimsiz alanlar taşkını artırır ve suyun düzenlenme ve depolanmasını zorlaştırır. Yer altı sularının beslenmesini engeller. Bunlar rezervuarların optimum kullanılması için, bütünüyle karmaşık insan gayretlerinin dikkatli planlama gereğinin sadece bazı örnekleridir.

*Zeminin geçirimsiz maddeler ile kaplanması*: Kurak bölgelerde toprak yüzeyinin kimyasal maddeler veya asfalt ile kaplanması su verimini artırır. Bu alanlarda yağıştan oluşacak su miktarı kolayca tahmin edilebilir. Bu sular bir tankta toplandığında evaporasyon kaybı önlenmiş olur. Bu yolla biriktirilen su, çiftliklerde küçük alanların sulaması, hayvanların ihtiyaçları için, belki küçük köylere kullanma suyu olarak ta aktarılabilir. Maliyet yüzeyin geçirimsiz hale getirilme masrafına bağlıdır.

## 1.15. Çok Amaçlı Projeler

*Tanım:* Bir proje birden fazla temel amaca; su getirme, sulama, enerji, su taşımacılığı, taşkın kontrolü, dinlence, şehircilik, yaban hayatı koruma vs.. hizmet edebilir. Proje imkanlarının çok amaçlı olarak kullanılması, buna bağlı olarak maliyeti artırmadan faydayı artırabilir. Böylece proje için verilecek ekonomik kararı güçlendirir. Tek amaç için planlanan projenin diğer projeler için meydana getireceği tesadüfi faydaların çok amaçlı projelerde dikkate alınmaması gerekir. *İki ve daha fazla amaca hizmet için planlanan ve çalıştırılan projeler çok amaçlı olarak tanımlanır.*

Çok amaçlı kullanma kavramı, su kaynaklarının maksimum kullanılmasında esastır. Bir çok proje, proje yeri en iyi seçilmiş olsa

dahi, çok amaç hedeflenmeden ekonomik olarak doğrulanamaz. Çok amaçlı projeler tek amaç elemanlarının basit birleşiminden daha fazla karmaşık olayı içerir. Bir çok koşullar altında iyi uyum içinde bazı kullanımlar sağlamak olası olmasına rağmen, bir rezervuarın olası kullanımlarının hiç biri diğer kullanımlar ile tümden kıyaslanabilir değildir.

*Uzlaşmalı işletim planı:* Çok amaçlı planda temel faktör uzlaşmadır. Herhangi bir tek amaç için maksimum verimliliğin yakalanması zorunlu olmasa bile, her amaç için makul verimli işletme sağlayan, çalışan planın tasarlanması gerekir. Fiziksel elemanlar, (gövde, savak, akış kapakları, geçişler, elektrik güç ünitesi vs..) tek amaç için olanlardan farklı değillerdir. Çok amaçlı plânlamâ tek özellik, farklı kullanımlar arasında etkin uzlaşmayı oluşturan işletme planı ve fiziksel çalışmaların seçimidir.

*Deponun kullanma varsayımı*: Rezervuar depolamasının kullanımında iki olası uçlar (1) depolamanın müşterek kullanılmadığı varsayımı, (2) bütün depolamanın müşterek kullanıldığı varsayımıdır. Birinci yaklaşımda bütün fonksiyonlar için depolama ihtiyaçları, toplam depolama gereksinmesini yaratmak için piramitlenmektedir. Bu toplam depolama gereksinimi, depolamanın birim maliyeti sabit veya toplam olarak depolama artımı düştüğü zaman sadece ekonomik olarak düşünülebilir. Diğer varsayım maksimum ekonomi yaratmakta, çünkü istenen depolama bir çok amaçlardan her hangi biri için gerekli olandan daha büyük değildir. Bu durum nispî olarak kıttır ve genellikle çok amaçlı proje, bu iki uç durumlar arasında bir yere düşmesi için planlanır.

## 1.16. Çok Amaçlı Projelerde Fonksiyonel İstekler

Çok amaçlı projede depolamanın müşterek kullanılması ile ulaşılan başarısı, çeşitli amaçlar için kullanım uyumuna bağlıdır. Bu çeşitli kullanımları gözden geçirmek ve bu kullanımların koordine edilebildiği yolları düşünmek yararlıdır.

*Sulama:* Sulama genellikle en fazla kurak yaz aylarında, belki çok az da kış aylarında yapılmaktadır. Proje alanı değişmezse yıldan yıla su ihtiyacı fazla değişmez, ancak yağışa bağlı olarak biraz değişir Sulama depolaması kuraklık için bir sigortadır. Mümkün olduğu kadar mevcut ihtiyaç sabit tutulmaya çalışılır.





*Su temini*: Evsel ihtiyaçların yıl boyunca bir dağılımı vardır ve bu sabittir. İhtiyaçlar yaz aylarında maksimuma erişir. İhtiyaç yavaş olmak üzere yıldan yıla artar ve bu artış için ön tahmin yapılmak durumundadır. Kuraklık esnasında su sıkıntısını karşılamak için yeterli miktarda su depolanmasının garanti edilmesi gerekir. Şehircilik ihtiyatları, dinlence amaçları için rezervuarların kullanılmasına engel olabilir.

*Hidroelektrik güç*: Enerji ihtiyacı genellikle hizmet alanının tipine bağlı olarak belirlenmiş, mevsimsel değişmelere sahiptir. Enerji tesislerinin çoğu enterkonnekte sisteme bağlıdır ve suyun diğer kullanımları ile olası enerji ihtiyacı işbirliği önemli ölçüde değişkendir. Enerji üretimi, suyun verime dayalı tüketimi değildir ve bu diğer kullanmalar ile daha fazla kıyaslanabilir. Rezervuardan sulama amacıyla bırakılan su belki enerji üretimi için türbinden geçebilir. Ekstrem olarak, enerji üretimi, diğer kullanımlar için fazla su bırakıldığı veya diğer kullanmalar için gerekli olduğu zamanlarda kısıtlanabilir.

*Su taşımacılığı*: Su taşımacılığı için aşağıdaki su akışını düzenlemek için geliştirilen planlanmış rezervuarlar, kurak mevsimin son kısmında istenen pik akışlar ile, kesin belirlenmiş mevsimlik su ihtiyacını temsil eder.

*Taşkın koruma*: Taşkın korumanın temel isteği, taşkın mevsiminde taşkın suyunu tutmaya izin verecek yeterli boş depo olmasıdır.

*Dinlence (mesire):* Sadece dinlence amacıyla geniş rezervuar planlamak çok enderdir ve dinlence faydaları, genellikle projenin diğer fonksiyonlarına özdeştir. İdeal dinlence rezervuarı, dinlence mevsiminde kayak yapma', balık tutma, yüzme ve diğer aktiviteler için tam dolu olmak durumundadır. Geniş çekilmeye konu olan rezervuar genellikle çirkin görünüm yaratır ve iskele, demirleme yeri, plajlar ve kullanılabilir koşullarda diğer kıyı tesisleri sorunları ortaya çıkarır.

*Balık ve doğal hayat*: Geniş rezervuarda balık ve doğal hayat korumanın temelidir. Rezervuar yapımı, mevcut yaşamda temel değişmelere neden olur ve bir türün düşmesine diğerinin yükselmesine neden olabilir. Rezervuar yapıları mevcut balık yaşamının korunması, balık geçit merdivenlerinin ve balıkların yukarı doğru göçü gibi diğer düzenlemelerin sağlanmasını gerekli görebilir. Baraj gövdesinin aşağısında akışın kesin durması, aynı zamanda balık ve doğal hayatın tahribatıdır. Gövdeden bırakılan akış hız nedeniyle, zemindeki göçer

balıkların yumurtalarını ve balık hareketini zedeleyecektir. Yeterli doğal yatak bırakılmadığında, balık sürüsü hareketlerini sağlamak için geçiş merdivenlerinin oluşturulması gerekli olabilir.

*Kirlenme kontrolü*: Bir rezervuar düşük-akış genişlemesi için de kullanılabilir. Düşük akış mevsiminde sulandırma suyu sağlamak için salınan su, akarsu içerisine bırakılan atık suyu daha iyi assimile edebilir. Bununla birlikte rezervuardan bırakılan su, çok defa rezervuarda meydana gelen su-kalite değişiklikleri nedeniyle kirliliğe neden olabilir., Topraktan ve taban kayalarından ve kıyı banklarından sızma ve terleme çözünmüş tuzları artırabilir. Aynı zamanda, yeşil yosun büyümesi veya rezervuar içinde bitki çöküşü özellikle rezervuarın düşük seviyesinde çözünmüş oksijen miktarını düşürebilir.

*Sivrisinek kontrolü:* Arzu edilirse, kıyıda tutunan larvaların gelişmesinin su seviyesindeki ani değişimler ile engellenmesi esasına göre rezervuar, sivrisinek gelişmesini kontrolü için işletilebilir.

## 1.17. Çok Amaçlı Kullanımların Uyumu

Sulama, su taşımacılığı ve su temini gibi istemler müşterek kullanılamayan hacimde su isterler ve proje birleştirilmesinden dolayı, bu fonksiyonlar bu her bir istem için depolama alanı kullanmasını sağlamak zorundadır. Enerji üretiminde su tüketimi olmadığı için, her hangi bir amaç için salınan su, enerji için de kullanılabilir. Mevsimsel enerji talebi değişimleri, diğer ihtiyaçlar ile uyuşmayabilir.

Su taşımacılığı için oluşturulan havuzlar da sıkça enerji üretimi için kullanılabilir. Yüksek su taşımacılığı baraj gövdesi, enerji üretimi ve/veya taşkın koruma için, birkaç metre yükseltilerek bir miktar daha fazla su depolanabilir.

Taşkın korumada haznenin boş bırakılması en az istenen bir seçenektir. Taşkın koruma için depolama iki yönde elde edilebilir; (1) taşkın koruma için özellikle sabit bir alanın ayrılması, (2) taşkın depolamasının için mevsimlik alan kullanılması. Birinci halde, hacim genellikle göl seviyesinin üstünde kullanılır ve su yalnız taşkın esnasında bu seviyede tutulur. Çok kere tahsis edilen seviye, savak üstündedir ve istendiğinde savak üst kapağı kapatılarak kullanılabilir hale getirilir. Taşkın meydana geldiği zaman mevcut herhangi bir hacim kullanılabilir fakat güvenilebilir değildir. Taşkın koruma için depolama faydalarının değerlendirilmesinde, sadece rezervuara ulaşan





doğal kanal depolamasının ötesindeki depolamanın dikkate alınması gerekir.

Taşkın koruma kapasitesi taşkının meydana geldiği mevsiminde yaratılır. Bu dönemde yüzey akışı yeterli doğrulukta tahmin etmek gerekir, bu da olasıdır. Taşkın tehlikesi geçtiği zaman diğer kullanımlar için gerekli depolama yapılabilir. Uzun dönem tahminler olası olmadığı yerde, mevsimlik kulanım planı hesaplanmış riske bağlı olarak geliştirilebilir. Tarihi taşkınların incelenmesi taşkın depolama durumunu gösterir. Depolamanın iyi işletilmesi için sağlıklı hidrolojik analizlerin yapılması gerekir. Depolama taşkın mevsiminin dışında diğer amaçlar için kullanılabilir, ancak burada depoyu doldurmak için *yeterli akışın* olması gerekir. Bu düzeyin her yıl doldurulacağına ait bir garanti yoktur ve bundan dolayı orada tutulan su ikinci dereceden su olarak kabul edilir.

Bir rezervuarın dinlence faydaları genellikle fırsat olarak değerlendirilir. Bazı koşullarda sistem işletme planı yapmak olasıdır çünkü dinlence mevsimin yoğunluğu esnasında aşırı derecede suyun çekilmesi istenmez. Aşırı su çekilmesinden kaçınılması gerektiği yerde, bir rezervuar kolu bir baraj ile kapatılarak yüzme için sabit seviyede tutulabilen bir alt depolama oluşturulabilir.

Dinlence aynı zamanda balık ve doğal yaşam üretimi içinde uygulanır. İşletme planı en düşük çekilmeyi ve kanal aşağısında yeterli akımı oluşturmayı gerektirir. Eğer düşük akış nehir aşağısında oluşturulursa, bu aynı zamanda depolamanın diğer amaçlara yeterli olacak kullanım tahsisi olması istenebilir. Kabul edilebilir çekilme balık ve yaban hayatı koruma için, bu en düşük seviyeye sınırlanabilir. Bu seviyenin altında depolama faydalı değildir.

# BÖLÜM 2
# SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA GEREKLİ VERİLER

Su kaynakları geliştirilmesinde ve kullanımında uzun yıllık ve doğru bir planlama, projeleme ve iyi bir işletme düzeni ancak sağlıklı veriler ile olmaktadır. Planlama gereği olarak bir yörenin su kaynakları verdisinin suya olan gereksinmelerin, olasılık düzeylerine göre sezinlemesi istenir. Bu nedenle toprak ve su kaynaklarının planlama ve projeleme çalışmalarında ilk işlem, meteorolojik, hidrolojik ve diğer bilgilerin toplanması, analizi ve değerlendirilmesi ile başlar.

Su kaynaklarını geliştirme çalışması, çalışma alanını ilgilendiren sosyal, ekonomik, yasal ve fiziksel bilgilerin bir araya getirilmesi ve analizini zorunlu kılar.

Bir çok gelişmekte olan ülkelerde yaygın ve güvenilir birikmiş istatistiksel veri çok kıt ve çok kez de bulunması güçtür veya var olanlar da özenli ve bilinçli bir şekilde arşivlenememiştir.

Planlama da hangi ileri teknik ve yöntemin kullanıldığına bakmaksızın, sonuçlar verinin sağlayacağı doğruluktan daha fazla güvenceli olamaz. Veri sağlama da plan yapısına bağlı kalmaktadır. Planın temel kavramlarının ortaya konması ve plan öğelerine göre bilgi derlenmesi gerekir. Su kaynaklarının geliştirilme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken bir kısım özellikler şöyle sıralanabilir.

1) Kaynaklar birbiri ile ilişkilendirilmeli ve maksimum yararı sağlayacak şekilde geliştirilmeli ve korunmalı.

2) Kaynakların ve endüstrinin birlikte düşünülmesi ile ekonomik ve sosyal değerlerin çok hızlı biçimde artacağı bilinmeli.

3) Doğal kaynaklar ülke ve insanların yaşam gücü, gelişmesi ve geleceğinin güvencesi olduğu bilinmelidir.

Bu temel kavramlara bağlı olarak bir kısım öğeler şöyle sıralanabilir: *Taşkın kontrolü, sulama, hidroelektrik, su taşımacılığı, belediye ve endüstri su gereksinimi, su toplama havzası bakımı, rekreasyon* amacı için su kullanımı, *balıkçılık ve doğal güzellik,*





*kirlenme, zararlanma kontrolü, drenaj, sediment kontrolü, tuzluluk kontrolü, yapay yağmur* vb.

Su kaynakları planlanmasında kullanılacak veriler; gözlenmiş değerler, etüt değerleri ve hesaplanmış değerler olabilir. Burada veriler ile ilgili bir kısım özet bilgiler verilecektir. Kullanılacak verilerin toplanması, uygunluk testlerinin yapılması, değerlendirilmesi ile ilgili konular kitap ve makalelerde bulunabilir (United Nations, 1964; Wolton, 1970 United Nations, 1972; Overton, 1976; Tülücü, 1979; Tülücü, 1980; Tülücü, 1981).

## 2.1. Hidrometeorolojik Veriler

Hidrometeorolojik veriler, bir zaman periyodu boyunca meydana gelen meteorolojik olayların gözlem, ölçüm ve kayıtlarıdır. Genel olarak kayıtların güvenirliği gözlem süresinin uzunluğu ile artmaktadır. Bununla birlikte, kayıtların birikimi için uzun süre beklenmesi bir engel olarak ortaya çıkmaktadır. Veri toplanması ve analizinde bir kısım düşünce etkili olmaktadır. Bunlar United Nations (1972)'a göre şöyle sıralanmaktadır.

1) Geniş boyutlu hava olayında iklim özelliklerin ve hidrometeorolojik devreye ilişkin birikmiş bilgi; klimatoloji de etki tepki olayının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır.

2) Teknik ve metodolojideki ilerleme; istatistiksel başarıda ve projeksiyonda uygun bir ortam hazırlanmasında, sayısal verilerden yararlanarak daha fazla bilgi sağlanmasını olası kılmıştır.

3) Elektronik aygıtların gelişmesi ve kullanılmaya başlaması, pratik olarak kullanılan basit kayıt aygıtların kullanımını ve dolayısıyla insan unsuru hataları da ortadan kaldırmıştır.

4) Hidrometeorolojik verilerin matematiksel ve analitiksel olarak analizi ve çözümü, bilgisayar sistemi ile önemli ölçüde sağlanmıştır.

5) Modern hava ve buna duyulan ilgi çok gelişmiştir.

Çalışmalar zayıf veri üzerinde kurulduğu zaman tehlikeli olmakta ve çok özen gösterilmesi gerekmektedir.

### 2.1.1. İklim

İklim bir bölgenin tarımsal yapısına, ekonomisine, dolaysıyla her yönüyle projeye etki eder. Bu nedenle bölgedeki yararlanılabilecek tüm meteorolojik bilgilerin değerlendirilmesi gerekir.

Meteorolojik gözlem değerlerinden yararlanılırken bir kısım özelliklerin her zaman göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlar şöyle özetlenebilir.

1) İstasyonun bulunduğu yerin ve kotunun haritada gösterilmesi gerekir.

2) İstasyonun gözlem süresinde yerinin değişip değişmediğinin, değişmişse nedeninin açıklanması gerekir.

3) Plüviyometre ve plüviyograf kayıtlarının kıyaslanması için işaretlenmesi gerekir.

4) Yağışa ait başlama ve bitiş saatlerinin, rüzgar ve sıcaklık gibi durumlarının belirtilmesi gerekir.

5) Gözlem değerleri kullanılmadan önce bağımsızlık, homojenlik, uygunluk ve hatta trend testlerinin yapılması uygun ve hatta gereklidir.

Bu uyarılardan sonra izleyen kısımlarda sadece periyodik ölçümü olan yağış, sıcaklık, rüzgar, buharlaşma ve terleme gibi bir kısım meteorolojik gözlem değerleri, analizleri yapılmadan, konu edilecektir.

### 2.1.2. Yağışlar

Taşkınlara neden olan yağışlar genellikle cephesel, orografik ve konvektiv olarak meydana gelmektedir. Bunlardan hangisinin, meydana gelen taşkınları etkilediği belirlenebilir. Yıllık ortalama yağışı yüksek olan bir yerde maksimum yağışlar düşük olabilir. Bu yağış rejimine bağlıdır.

Yağışlar plüviyograf veya plüviyometre ile ölçülür. Ölçüm değerleri yıllık meteoroloji bültenlerinde mm veya $m^2$ ye kg olarak verilir.





Yağış çeşitleri; yağmur, kar, dolu vs.. olabilir. Proje çalışmalarında daha çok yağmurun şiddeti, süresi, zaman içerisindeki dağılımı, alan içerisindeki dağılımı çok önemlidir. Yağmur verilerinin analizi ile elde edilecek şiddet-süre-tekerrür eğrileri, maksimum yağış-süre tekerrür eğrileri, derinlik-alan-süre çalışmaları, yağış frekans analizleri ile elde edilecek farklı yinelenmeli yağışlar gereklidir. *Yağış ve taşkın analizi bölümünde* farklı yinelenmeli yağış ve taşkın analizleri gerçekleştirilecektir. Planlamada ve projelemede kullanılacak bir kısım yağış analiz sonuçları ise daha önce yapılmış, yayınlanmış bir kayıtlardan alınarak kullanılacaktır.

### 2.1.3. Sıcaklık

Sıcaklık gözlemleri de meteoroloji bültenlerinde standart zamanlarda ölçülmüş gözlem değerleri şeklinde verilmektedir. Sıcaklık kayıtları hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı seklinde olur. Sıcaklık bitki gelişimi için gerekli ve bitki su ihtiyacının hesabında ana etmendir. Aşırı sıcaklıklar veya düşük sıcaklıklar da planlamaya etki eden etmenlerdir.

### 2.1.4. Rüzgar

Rüzgârlar yine meteoroloji parklarında genellikle 10 m yükseklikte, standart sürelerde ölçülür ve meteorolojik bültenlerde yayınlanır. Rüzgarlar da havadaki nem açığına etki eden önemli bir etmendir. İklimi meydana getiren, buharlaşmaya etki eden, bir kısım buharlaşma denklemlerinde bir faktör olarak yer alan önemli bir iklim etmenidir. 10 metre yükseklikte okunan rüzgar gerektiğinde 2 metrede okuma koşuluna dönüştürülebilir.

### 2.1.5. Diğer meteorolojik Etmenler

Basınç, nem ve güneşlenme de buharlaşma ve terlemeye etki eden, bir kısım buharlaşma ve terleme denklemlerinde faktör olarak yer alan periyodik gözlenen ve bültenlerde yayınlanan değerlerdir.

## 2.2. Su İhtiyacı Verileri

Su kaynakları planlamasında sağlanabilen toplam su ile toplam gereksinmelerin bir denge oluşturması amaçlanır. Bir bölgenin su kaynakları insan çalışmasına, bölgenin hidrolojik çevrimine; iklim, topografya, jeolojik koşullar ve havza kullanımına bağlıdır.

Su dengesi basit olmakla beraber, hata kolayca yapılabilir. Su dengesi sisteme giren, sistemde depolanan ve sistemden çıkan suyun sürekli bir kaynağıdır.

Su ihtiyacı sulama suyu, belediye ve endüstri su gereksinimi ve yapay olarak yeraltı suyunun beslenmesini içermektedir

Bu konuda ayrıntılı bilgi bu konuda yayınlanmış kitap ve diğer yayınlarda bulunabilir (USDA, SCS, 1970; Tülücü, 1970; Tülücü, 1996).

### 2.2.1. Sulama Suyu İhtiyacı

Net sulama suyu ihtiyacı şöyle deyimlenebilir.

$$W_r=W_{et}+W_L+W_m-R_e-W_s \qquad (2.1)$$

Burada;

$W_r$=Bir dönem içinde net sulama suyu gereksinimi
$W_{et}$=Bitki su tüketimi (evapotranspirasyon)
$W_L$=Yıkama suyu gereksinimi
$W_m$=Değişik amaçlı su gereksinimi
$R_e$=Etkin yağış
$W_s$=Kıştan arta kalan toprak suyu

*Bitki deseni*: Toprak durumu, iklim, çiftçi eğilimleri, gelecekteki gereksinmeler, iç ve hatta dış pazar durumları da göz önüne alınarak hizmet alanındaki projeli koşullarda, ekilebilecek tarla, bahçe gibi yaygın ve sebze, seracılık gibi yoğun tarım durumları tespit edilir. Bunun için yani optimum bitki deseni için optimizasyon teknikleri kullanılabilir. Ancak uygulanamayacak bitki desenleri oluşturarak yapılan plânlamadan da kaçınılması gerekir.





*Bitki suyu ihtiyacı-Buharlaşma ve Terleme*: Bitki su ihtiyacı, bitki desenine dahil olan bitkilerin, seçilen su tüketim denklemleri yardımıyla, ekim-hasat tarihleri arasındaki su gereksinmelerinin hesaplanması ile bulunur. Hesaplamalarda bitki büyüme katsayıları, yapılmış olan yöresel araştırmalardan, yoksa benzer bölge değerlerinden veya üniversel nitelikli değerlerden alınabilir.

Buharlaşma kaplarından okunan buharlaşma gözlem değerleri bitki su tüketiminin hesabında ilk adım olmuştur. Buharlaşma açık su yüzeyinden ve yağış anında tutunmuş diğer tüm yüzeylerdeki sıvı ve katı haldeki suyun gaz haline geçerek, havaya karışması olayıdır.

Buharlaşma ve terleme; gerçek koşullarda topraktan meydana gelen su kayıplarıdır. Bunun ikisini bir birinden ayırmak kolay bir işlem değildir. Yaklaşık Bunun ikisine birden (evapotranspirasyon) bitki su tüketimi denir. Bitki su tüketiminin söz konusu proje alanında denemelerle tespit edilmemiş olması durumunda, her bitki için veya havza bazında, meteorolojik verilerle, ampirik denklemler kullanılarak hesaplanabilir. Bu konuda bir çok ampirik denklemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazılarının isimleri şöyle sıralanabilir.

Blaney-Criddle
Penman
Heargreavese
Lowry-Johnson
Thornthwaite
Turc

Bunların seçimi istenen bilgiye ve mevcut meteorolojik bilgi varlığına bağlı kalmaktadır. Genel havza planlaması söz konusu olduğunda Penman, bitkiler tek, tek söz konusu olduğunda Blaney-Criddle ve benzeri denklemler seçilir. Thornthwaite drenaj çalışmalarında, toprak suyu bilânço hesaplarında kullanılır.

Sulama planlamasında aylık ve yıllık bitki su tüketimi bilgilerine ve sulama modüllerine gerek duyulur.

*Sulama alanları:* Proje alanında sulanabilecek brüt ve net arazi tespit edilir. Brüt arazi içindeki kullanılamayan, yol vs.. için terk edilen alanlar çıkartılarak net alan bulunur. Genellikle brüt alanın %94'ü alınarak (*Brüt Alan x %94)* düzeltme yapılır. Ayrıca suyun yetersiz olduğu proje alanlarında arazi verimlilik düzeyleri sınıflaması yapılabilir, öncelikli sulama alanlarının tespit edilmesi gerekebilir.

*Kayıplar ve Randımanlar:* Kayıplar göz önünde tutulması gereken önemli bir özelliktir. Doğal olarak sulama suyunun sulama sahasına taşınması ve tarlaya verilmesi halinde kayıplar meydana gelecektir. Bunlar randımanı düşürürler. bu nedenle gerekli su miktarı daha önce ifade edilen su miktarından daha büyük olacaktır. Bu kayıplar, su dağıtım şebekesinde meydan gelen kayıplar, yani işletme kayıpları ve tarlada meydana gelen kayıplar olmak üzere iki grupta toplanabilir.

- Çiftlik sulama kaybı ve çiftlik sulama randımanı ($E_ç$)
- İşletme, kanal sızma kaybı ve randımanı ($E_{iş}$)

Toplam randıman ise yüzde randımanların çarpımı ile bulunur.

$$E_t=E_ç.E_{iş} \qquad (2.2)$$

Toplam sulama randımanı uygulanan sulama yöntemine bağlı olarak $0.25<E_t<0.85$ arasında değişir. Randımanlara ilişkin örnek dağılımlar çizelge halinde verilmiştir (Frederiksen, 1992).

Saptırılması gereken sulama suyu ihtiyacı, bitki su ihtiyacının, sağlanan toplam randımana bölünmesi ile bulunur.

$$W_{bürüt}=\frac{W_r}{E_t} \qquad (2.3)$$

Kanalların kaplamalı, kaplamasız olmasına ve kanalın toprak yapısına göre randımanlar değişir.

Çizelge 2.1. Kayıplar ve Randımanlar

| Kayıp ve Randıman cinsi | Sembol | Toprak cinsi | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Kumlu | Orta | Killi |
| Yüzeysel akış ve derine sızma kaybı | Kys | %5<br>%35-%40 | %10-15<br>%10-%15 | %26-30<br>%5-10 |
| Sulama kanalında kayıplar | Ks | %15 | %6-10 | %2-5 |
| Tarla-çiftlik sulama randımanı | Eç | %55-60 | %70-80 | %60-70 |
| İşletme sulama randımanı | Eiş | %85 | %90-94 | %95-98 |
| Toplam sulama randımanı | Et | %45-50 | %60-75 | %55-70 |





*Çiftlik suyu ihtiyacı* : Bitki suyu ihtiyacının, çiftlik sulama randımanına bölünmesi ile bulunur. Çizelgede verilen durumlar dikkate alınır.

*İşletme suyu veya dağıtım (çevirme) suyu ihtiyacı* : Dağıtım suyu ihtiyacı ana iletim (isale), yedekler ve şebeke sistemini kapsar, bulunan çiftlik suyu ihtiyacının bu randımana bölünmesi ile bulunur.

Sulama suyu ihtiyacı, değişken ihtiyaçlardır. Bir mevsim içinde ayalara göre değişir. Depolama hacimlerinin hesabında istem doğrularının belirlenmesinde dikkate alınır.

### 2.2.2.Enerji Su ihtiyacı

Enerji üretimi, ihtiyaca göre veya fiziksel imkanlara ve akarsu kapasitesine göre planlanır. Projede enerji üretimi söz konusu ise bunun bu anlayış içinde etüt edilmesi değerlendirilmesi ve projelendirilmesi gerekir. Ancak her su kaynağı planlamasında enerji ihtiyacı planlaması söz konusu olmayabilir.

### 2.2.3. İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu İhtiyacı

Projelerin özelliğine göre kapsamında içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyacı veya bunların bir kısmı olabilir veya hiç biri olmayabilir. Duruma göre hareket edilmesi gerekir. Bu ihtiyaçlar bir yıl içinde değişen ihtiyaçlar olmayıp sabit ihtiyaçlar olarak bilinir. Hedeflenen yıllar için bu ihtiyaçların projeksiyonunun yapılması gerekir. Bölgenin gelişim durumuna göre özel ihtiyaçlar da göz önünde bulundurulur.

## 2.4. Saptırılan Su

Saptırılan su yukarıda sayılan kaynaklardan olabilir ve toplam saptırılan su, belirlenen ihtiyaçlar kadardır.

$$Q_{tss}=Q_{si}+Q_{besi}+Q_g \qquad (2.4)$$

Burada;

$Q_{ts}$= Toplam saptırılan su ihtiyacı
$Q_{si}$=Sulama ihtiyacı için saptırılan su
$Q_{besi}$=Belediye ve endüstri su ihtiyacı
$Q_g$=Yeraltısuyu beslemesi amacıyla saptırılan su

## 2.5. Su Kaynakları

Sağlanabilen toplam su, yerel yüzeysel su, yeraltı suyu ve komşu havzalardan getirilebilecek sudan oluşmaktadır.

$$Q_i=YYQ_i+G_i+IQi \qquad (2.5)$$

Burada;

Qi=Havza toplam su kaynağı
YYQi=Yerel yüzeysel su
$G_i$=Yeraltısuyu
$IQ_i$= Koşu havza veya havzalardan getirilen su
i=Alt havzalar (i=1,...,n)

Su kaynakları ayrıntılı olarak ayrı bir bölüm halinde açıklanacaktır. Ancak burada veri bütünlüğünü aynı anda görmek amacıyla özetlenecektir. Taşkın analizlere esas olacak olan hidrolojik verilerin derlenmesi, analizi ve kullanılabilir hale getirilmesi proje çalışmalarında çok önemlidir. Akım verileri, taşkın hesaplarında doğrudan doğruya kullanıldığından, vereceği sonuçların güvenirliği bakımından başta gelen öneme sahiptir.

### 2.5.1. Yerüstü Su Kaynakları

Hidrolojik çevrim içinde dolaşan suyun yeryüzünde bulunan kısmı yerüstü sularını teşkil eder. Yerüstü suları miktarı hidrometeorolojik ölçülerle tespit edilir. Hidrometerolojik ölçü ağı yani meteoroloji ve hidrometre istasyonlarının oluşturduğu ağ ile doğrudan doğruya ölçülürler. Ölçüler noktasal parametre





değerindedirler. Yazıcı aletlerle yapılan ölçümler tercih edilir. İstasyonlar amaca göre sürekli veya geçici olur.

Ülkemiz akarsularının rejimleri düzensizdir. EİE ve DSİ teşkilatları genellikle bu ölçüm işlerini yaparlar ve su yıllığı adı altında yayınlarlar. Yayınlanan istasyon akım değerleri çizelgelerinde istasyonun tanıtımı, su toplama alan büyüklüğü, anahtar eğrisi değerleri ve diğer önemli bilgiler yer alır.

Akarsulardan su sağlanması durumunda, çalışma alanında bulunan akarsular Akım Gözlem İstasyonu'nun (AGİ), gözleme başladığı yıldan itibaren yapılan gözlemlerine göre yıllık ortalama toplam akımları hacim (örneğin $hm^3$) olarak tespit edilir. Değerlendirilmemiş gözlemler değerleri veya eksik yıllar varsa gerekli analizlerin yapılması, tamamlanması ve *su temini tablosuna* ilave edilmesi gerekir. Eldeki mevcut akım gözlem yılları su tablosu yardımıyla depolama yeri su temini tablosu elde edilebilir.

### 2.5.2. Yeraltı Suyu Kaynakları

Yeraltı suları potansiyeli DSİ tarafından sondaj kuyuları açılarak belirlenmiştir. Yeraltı sularının dengeli kullanımları yani güvenli kullanım sınırları altına inmemeleri için gerekli araştırma ve uyarıların yapılması gerekmektedir. Yeraltı suları özellikle içme ve kullanma suları olarak temiz ve güvenlidir. Yeraltı sularının beslenme durumlarının, akım yönlerinin tespit edilmesi, planlamada göz önünde bulundurulması ve yaz kış yeraltı sularının seviye tespitlerinin yapılması, kalite durumlarının belirlenmesi gerekir.

### 2.5.3. Sulamadan Dönen Sular

Proje alanı, özellikle yüzey sulama sistemine göre projelenecekse sulamadan dönen suların da projelenmesi gerekir. Proje alanı kapalı bir sistemse dönen suların drenajı, uzaklaştırılması sorun olabilir. Dönen suların tekrar sulamada suyun kalitesine bağlı olarak kullanılabilirler, ancak kullanılması genellikle masraflı ve hatta imkansız olabilir.

### 2.5.4. Su Niteliği

Depolanmak veya doğrudan kullanılmak istenen suların niteliklerinin saptanması, kullanım amaçlarına göre su sınıflarının saptanması önemlidir. Amaca göre kaynağın yeterli ve niteliğinin kullanılabilir standartta olması gerekir.

Ayrıca su kaynağının ileride kirlenme durumunun da etüt edilmesi, önlemi bu aşamada düşünülmelidir (Moigne ve ark., 1992).

### 2.5.5. Hidrolojik Çalışmalar

Su kaynakları geliştirilmesinde hidrolojik veriler temel olmakta bunun için bunların sağlıklı seçilmesi gerekmektedir. Daha önce konu edildiği gibi hızlandırılmış yaklaşım hidrolojik verilerin analizinde ve özel kısıtlayıcı ve kararlara göre planlama ve geliştirme amaçlı çalışmalarda kullanılabilir. Hidrolojik veriler yıllık , mevsimlik, günlük, saatlik şeklinde sıralanabilir. Hidrolojik veriler yağış, evapotraspirasyon, yüzeysel akış, yeraltı suyu akışı, ve sistemde depolanan su olarak sayılabilir. İklimin uzun yıllık seyrini bilmek için yıllık verilere ihtiyaç olur. Yıllık çalışmalar yanında mevsimlik, aylık su dengesinin de bilinmesi gerekir. Kurak ve yağışlı mevsimler ve aylar için hazırlanacak su dengesi için en az 5-10 yıllık verilere gerek duyulur.

Günlük ve saatlik veriler, kısa süreli yağış ve akış verileri, özellikle taşkın sorunları için ve buna bağlı olarak erozyon ve sedimantasyon sorunu için önemlidir.

Hidrolojik çalışmalarda *frekans* çalışması da önemlidir. Yıllık, mevsimlik, aylık, günlük ve saatlik gibi tüm veriler frekans analizine tabi tutularak tekerrürlü veriler oluşturulur.

İstatistik, toplanan verilerin değerlendirilmesini ve olasılık ise verilerin meydana gelme sonuçlarını ve benzerliklerini inceler.

#### *2.5.5.1. Proje Taşkınları*

Proje taşkın debileri, akım gözlem değerleri varsa bunların analizi ile yoksa sentetik birim hidrograf yöntemleri ile belirlenir. Ülkemizde çok kullanılan Mockus, Snyder ve DSİ sentetik birim hidrograf yöntemleri taşkın analizleri bölümünde örnekleri ile açıklanmıştır. Aynı zamanda farklı yinelenmeli taşkın büyüklükleri ve





hacimleri de hesaplanabilir. Ayrıca dolu savak taşkın değerlerinin de belirlenmesi gerekir.

Bu analizler için yağış alanı, ana su yolu uzunluğu, ağırlık merkezine olan uzunluk gibi havza fiziksel özelliklerin bilinmesi gerekir. İlgili bölümde tüm havza parametreleri analiz yöntemleri ve örnek çalışmaları verilmiştir.

#### *2.5.5.2. Sedimantasyon*

Çalışma havzasında bir depolama yapısı söz konusu olduğunda taşınan sediment miktarının bilinmesi de önem arz eder. Taşınan sediment miktarı drenaj alanının topoğrafik yapısına, jeolojik durumuna, bitki örtüsüne, erozyon durumuna ve diğer bir kısım faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Minimum işletme hacminin (ölü hacmi), işletme kotunun belirlenmesi için bu bilgilere ihtiyaç vardır. Ölçülmüş sediment miktarı yoksa bölgesel çalışmalarla ve tahmin yöntemleri ile tahmin edilmesi gerekir (Anonim, 1967a-b).

### 2.6. Toprak Kaynakları

Toprak, bitkilerin yetişmesi ve canlıların yaşaması için gerekli ortamı sağlar. Topraklar inorganik ve organik maddelerden meydana gelir. Doğal olarak oluşuna birçok etmen etki eder. Toprağı oluşturan mineral maddeler tane çaplarına göre kum, silt, kil olarak sınıflandırılırlar.

Toprakların kıvam, renk, özgül ağırlık, birim ağırlık, porozite, geçirgenlik gibi fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Planlamada toprakların verimlilik durumları önem arz eder.

Su ve toprak kaynaklarından optimum yarar sağlamak için *istikşaf etüdüler*, *arazi sınıflaması* ve *ayrıntılı arazi sınıflaması* etütleri yapılır, etüt alanları tanıtılır.

*İstikşaf etüdüler:* 1/100000 ölçekli haritalarda arazinin tarımsal kullanma yeteneği, bugünkü kullanma durumu, yan dere durumu ve genel sorunları belirtilir.

*Arazi sınıflaması etütleri*: 1/25000 ölçekli haritalarda taş ve çakıl durumu, eğim ve bitki örtüsü, toprak profili ve yeraltı suyu durumu belirtilir. Arazi sınıflaması üç grupta yapılır.

1) Sulanabilir araziler (1, 2, 3, 4 . sınıf)

2) Geçici olarak sulanmaz araziler (5. sınıf)

3) Sulanamaz araziler (2. sınıf)

Ayrıntılı arazi sulaması etütleri: 1/5000 veya 1/10000 ölçekli haritalarda arazi sınıf ve sınırları daha belirgin olarak belirtilir.

Planlama alanında çiftlik sulama suyu ihtiyacının tespiti ve sulama yöntemlerinin seçimi için;

*Toprak suyu ilişkilerinin* (yerçekimi suyu, higroskopik su), *Toprak suyu değerlerinin* (doymuşluk kapasitesi, ağırlık yüzdesi, tarla kapasitesi, sürekli solma noktası) de bilinmesi istenir.

*Sulama suyu kalitesi:* Sulama suyu kalitesi: (1) Suda bulunan silt miktarına, (2) Endüstri artıklarına, (3) Tuzluluk durumu; tuzluluk, sodyum, bor gibi bağlıdır. Planlamada kullanılacak olan suların bu tespitlerinin yapılmış olması veya yapılması gerekir.

Planlama raporu değerlendirmesinde bütün bunlar *topoğrafik nitelikler*, *toprak fiziksel nitelikleri*, *toprak kimyasal nitelikleri* şeklinde değerlendirilebilir.

## 2.7. Drenaj Alanı Nitelikleri

Çalışma alanında drenaj etüdü yapılarak, alanın bu yönde de tanıtılması gerekir. Drenaj alanında yerleşim birimlerinin tespiti, arazinin topografik yapısının belirlenmesi, tarım nitelikli alanlarda drenaj gözlemlerinin yapılmış olması veya yapılması ve taban suyu haritalarının çıkartılması, taban suyu sorunu olan bölgelerin belirlenmesi gerekir. Ayrıca yamaç arazilerden gelen suların bir çevirme kanalı ile toplanması gereği de araştırılır. Taban suyu kritik en yüksek değerlerin meydana geldiği aylar tespit edilir, akım yönleri belirlenir, önlemler düşünülür.

Yapılan çalışmalar sonucunda; drenaj sorunu etmenlerinden beslenme havzasından gelen yamaç sularının oluşturduğu taşkınlar, yağışlar ve topoğrafik durumlardan yararlanılarak uygun boşaltım ağızları tespit edilir, açık veya kapalı drenaj sistemlerine karar verilir.

Çalışma alanında piyezometrik gözlemler yapılarak çevre arazilerde meydana gelecek sızmalar da incelenir.





## 2.8. İşletme Çalışması

İşletme çalışması, bir barajda aylık-yıllık su seviyesi değişimlerini ifade eder. Yağış ve akış ile baraja girebilecek su ve barajdan çekilecek su bilindiği için ve buharlaşma ve sızma ile kaybolacak su bir kısım kabuller ile hesaplanabildiği için, su dengesi hesabı ile aylık barajda bulunabilecek su belirlenebilir. Gerekli veriler daha önce söylendiği gibi kayıtlı gözlem değerlerinden alınır.

## 2.9. Tarihi, Kültürel ve Sosyal Veriler

Bir yörenin ve orada yaşayan insanların geçmişini, kültürünü ve sosyal yapısını anlamadan o yerde, özel bir görüşü içeren gelişme planı uygulamak, planı geliştirmek ve amaca ulaşmak olası değildir. Temel çalışma, gelişme planında öngörülen değişikliklere insanların uyabilme yeteneklerini içermelidir. Çalışma aynı zamanda özel bir kısım ölçütleri de içermelidir. Örneğin eğitim-öğretim yeniden yerleşmeler gibi... Geleneklere bağlılık, isteyerek değişikliği benimseme, yeni öngörülen tekniklere uyabilme yetenekleri önemli olmakta, temel araştırmalar bunları içermelidir.

## 2.10. Bölge Ekonomisine ilişkin Veriler

Su kaynaklarının geliştirilmesini amaçlayan planlar bölgesel ve ulusal ekonomik ve sosyal gelişmeyi amaçlaması gerekir. Su kaynakları planlayıcıları için ekonomik verileri toplamak, analiz etmek, projeksiyon yapmak ve sabit amaçlar ortaya koymak birinci dereceden görev olmaktadır.

## 2.11. Ulaşım

Su kaynakları planlamasında üretim amaçlı tüm servislerin düşünülmesi gerekmektedir. Eğer var olan servisler düşülen gelişmeye yeterli olamazsa, bunun bilinmesi ve planlama içinde düşünülmesi gerekmektedir. Posta, telefon ve radyo gibi hizmetler bilgi aktarmada

ve haberleşmede önemli servisler olup, bunlar projelerin benimsenmesi, yürütülmesi gibi tüm aşamalarında halkı uyarıcı vasıtalardır.

## 2.12. Rekreasyon

Rekreasyon insanların huzur bulduğu aynı zamanda ulusal sağlık için temel yerlerdir. Su kaynakları geliştirilmesi rekreasyon çalışmaları için ideal bir fırsattır. bu yönde de bilgi edinilmesi gerekir.

## 2.13. Proje Aşamalarında Veriler ve Gruplandırılması

Önceki kısımlarda su kaynaklarının planlanmasında kullanılabilecek veriler açıklanmıştır. Bu kısım ise, proje aşamalarında gerekli olabilecek veriler, yararlı olacağı duygusuyla bir bütün içinde, liste biçiminde verilmiştir (Linsley ve ark. 1992).

**1. Amaç Oluşturulması**

**2. Amaca Bağlı Olarak Veri Toplanması**

2.1. Genel Anlamda Veriler
- 2.1.1. Su Kaynakları
  - Hidroloji- yağış, akış, evapotranspirasyon, su kalitesi, sediment
  - Jeoloji- yeraltı suyu, toprak etüdü, erozyon
  - Topoğrafik- haritalar
- 2.1.2. Diğer Temel Kaynaklar
  - Jeolojik- mineral
  - Ekolojik- bitki, balık ve yaban hayatı
  - Nufüs tahmini- halk ve kuruluşlar
  - Ekonomik-endüstri,taşıma,pazarlar,turizm,dinlence,arazi vergiler
- 2.1.3. Kısıtlar
  - Yasa- su yasaları, kirlilik kontrolü, arazi yapısı, arazi mülkiyeti, yönetim yapısı, özel araziler.
  - Kamu anlayışı
  - Mevcut projeler

2.2. Özel Anlamda Veriler
- 2.2.1. Tarım
  - Arazi tasnifi
  - Bitki su tüketimi-miktar ve kalite
  - İklim koşulları
- 2.2.2. Belediye Kullanımları
  - Endüstri su ihtiyacı-miktar ve kalite





  - İnsan nüfusu su ihtiyacı
- 2.2.3. Hidrolik Enerji
  - Projelenen ihtiyaç
  - Seçenekli kaynaklar
- 2.2.4. Taşkın Kontrolü
  - Geçmiş taşkın ve zararların geleceğe uzatılması
  - Yerel sağanak yağış drenaj istekleri
- 2.2.5. Su Taşımacılığı
  - Mevcut trafik yapısı
  - Seçenekler- karayolu, tren yolu, hava ulaşımı
- 2.2.6.Dinlence
  - Doğal yapılar
  - Mevcut dinlence deseni-tipleri, yer, zaman
- 2.2.7. Kirlilik Kontrolü
  - Mevcut atık debisi- bölge, zaman, atık özelliği
  - Su kirliliği düzenlemeleri veya kalite standartları

**3. Projeksiyon İle Oluşacak Veriler**

3.1. Genel Veriler
- Nüfus Büyümesi ve Nüfus Hareketi
- Arazi Kullanma Durumu- Yer ve Zaman Etüdü
- Ekonomik Durum-Pazar, Turizm vs.

3.2. Özel Veriler
- 3.2.1Tarım- Pazar, Bitki Deseni, Su ihtiyacı Teknolojik gelişmeler
- 3.2.2.Belediye, Endüstri Su İhtiyacı ve Etki Eden Teknolojik değişiklikler
- 3.2.3. Bugün ve Gelecekte Enerji İhtiyacı, Pazar Durumu ve Kaynaklar
- 3.2.4.Taşkın Etkilenme Bölgeleri, Taşkın Frekansı, Zararları ve Kontrolü
- 3.2.5. Su Taşımacılığı (Olası ise)-İhtiyaç Duyulması, Ulaşım Rekabeti,
- 3.2.6. Dinlence (Mesire)- İhtiyaç Duyulması veya Artması ve Değişiklikler
- 3.2.7. Kirlilik- Atık Özellikleri, Miktarları ve Teknolojik Gelişmeler

**4. Proje Formülasyonunda Gerekli Olacak veya Oluşacak Veriler**

- 4.1. Sınır Koşullarının Tanımı
- 4.2 Olası Arazi Kullanma Listesinin ve Su İhtiyaçlarının Hazırlanması
- 4.3 Olası Proje Listesinin Hazırlanması ve İhtiyaçların Karşılanması
- 4.4.Proje Ön Çizimlerinin Hazırlanması
- 4.5.Listelenen Projeler için Fayda-Maliyet Hesaplarının Yapılması
- 4.6.Bireysel Olarak Ekonomik Olmayan Projelerin Reddedilmesi
- 4.7.Tek Olmayan, Bütün Projelerin Karşılıklı Bileşimlerinin Fayda ve Maliyetlerinin Belirlenmesi
- 4.8.Son Alternatif Planın Seçimi- Fayda-Maliyet Hesabının Yeniden Değerlendirilmesi, Analiz ve Maksimum Getiri Umudunu Sağlayan İki veya Üç Proje Kombinanasyonun Seçiminin Yapılması
- 4.9.Yetkili Görevli Tarafından Planın Gözden Geçirilmesi ve Rapor Hazırlanması- Son Seçeneklerde Aşamaları, Parasal Durumu ve Kısıtları Göseren Rapor Hazırlanması

**5. Proje Onayı**

5.1. Proje Formülasyonu Aşaması Sonunda Hazırlanan Raporun, Uygun Yetkili Tarafından Gözden Geçirilmesi

5.2. Yetkili Tarafından Bu Planlardan Birinin Seçimi





# BÖLÜM 3 SU KAYNAKLARI VE SINIFLANDIRMASI

## 3.1. Su Kaynakları

Su kaynakları pınarlar, akarsular, durgun sular, buzullar ve yeraltısularıdır. Bunlar hidrolojik çevrim içerisinde yerlerini alırlar.

### 3.1.1. Hidrolojik Çevrim

Suyun doğada sıvı, katı, gaz gibi çeşitli hallerde değişik miktarlarda yerkürenin çeşitli kısımlarında dönüp durduğu yolların tümüne birden hidrolojik çevrim denir. Hidrolojik çevrimin elemanları yağış, buharlaşma, terleme, tutulma, sızma, süzülme ve yüzeysel akışlardan oluşur.

Yağışın oluşumu, çeşitleri ve diğer özellikler; yüzeylerden oluşan buharlaşma, her türlü yüzeylerde yağış sularının tutulması atmosfere geri dönmesi, bitkilerden meydana gelen terleme, toprak yüzüne düşen veya oluşan suların toprak içine sızması, toprak içine sızan suların yerçekimi etkisiyle süzülerek yeraltı sularına ulaşması, bütün bunlardan arta kalan ve yüzeyde akışa geçen yüzey akışları çok karmaşık olayları kapsar.

Bunlar doğal dengeyi bozan ekonomik ihtiyaçlar, sedimantasyon, su niteliği, suya olan istemler gibi yapay oluşumlar da eklenince çok daha karmaşık olaylar ortaya çıkar. Bu konular çok değişik disiplinlerin uğraşı alanı olarak ortaya çıkmıştır.

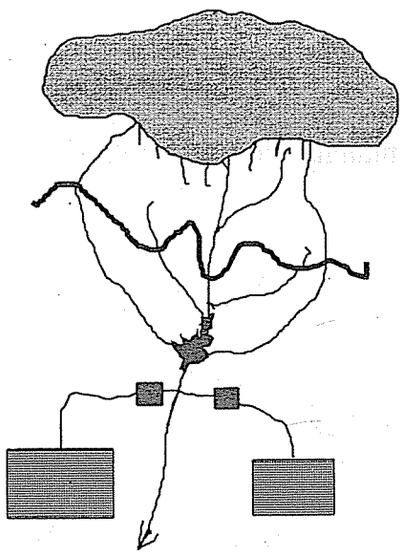
Hidrolojik denge çalışmalarında "kütlenin korunumu" ve "enerjinin korunumu" ilkeleri geçerli olup süreklilik esasına dayanır.

Bütün su kaynaklarının, kaynağını yağış oluşturur. Yağışın dağılımı, miktarı, şekli, şiddeti, süresi gibi birçok özelliklerin bilinmesi gerekir. Bunlar hidroloji konularına bırakılmıştır.

İnsanların ve diğer canlıların ihtiyacı olan sular; yerüstü suları (akarsular, göller, denizler) ve yeraltısularından sağlanır. Bunlar çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir.

Şekil 3.1' de bir akarsu havzası ve bunun üzerine temsili olarak yerleştirilmiş çevrim şeması görülmektedir. Akarsu havzası üzerine düşen yağıştan oluşacak yüzey sularının toplanıp aktığı alandır. Havzayı çevreleyen dağların en üst kısmından geçen çizgi havza sınırını verir. Yerüstü su ayırım çizgisinin izdüşümü, yeraltı hidrolojik su ayırım çizgisiyle aynı doğrultuda olursa, yerüstü ve yeraltı su toplama alanları birbirine eşit olur.

Bir su toplama havzasında, ana yatak, kolları, göl, gölet, baraj, açılmış kuyular, sulama alanları, yerleşim yerleri olabilir. Havza çıkışında yine su kullanma yerleri bulunabilir.



Şekil 3.1 Su toplama havzası

Böyle bir durumda, su getirme sistemlerinde;

1) Su alma tesisleri (kaptaj),

2) Gerekli ise arıtma tesisleri,

3) Su iletim ve dağıtım tesisleri düşünülebilir.

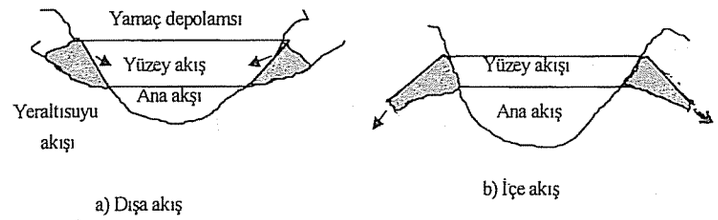
Bu sistemlere geçmeden önce ön bilgi olarak kaynakların oluşumu ve özellikleri hakkında özet bilgi verilmesi uygun olacaktır.





### 3.1.2. Kaynak Suları-(Pınarlar)

Bir su yatağındaki suyun seviyesine ve zeminin doygunluk durumuna göre su zeminden kanala (dışa akış, Şekil 3.2a) veya kanaldan zemine doğru akar (içe akış, Şekil 3.2b).




Şekil 3.2. Dışa ve içe akış

Doğanın jeolojik ve topoğrafik yapısına bağlı olarak yeraltında biriken suların bir kısmı kendiliğinden tekrar yerüstüne çıkar. Buna kaynak veya pınar denir. Pınarlar debilerine göre sınıflandırılabilir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Pınarların Debilerine Göre sınıflandırılması

| Sınıf | Pınar debisi lt/sn |
|---|---|
| Birinci sınıf | 2800 den büyük |
| İkinci sınıf | 280-2800 |
| Üçüncü sınıf | 28-280 |
| Dördüncü sınıf | 8 |
| Beşinci sınıf | 0.8-8 |
| Altıncı sınıf | 0.08-0.8 |
| Yedinci sınıf | 0.5-0.08 |
| Sekizinci sınıf | 0.5 den küçük |

Pınarlar, suyun yeraltında bulunuş şekline, diğer bir ifadeyle kayaç yapısına, yerüstüne çıkış şekline göre de sınıflandırılabilir. Pınarlar kayaca bağlı olarak mevsimlik salınmalar gösterebilirler. Kayaca veya geçtiği yolun toprağına bağlı olarak pınarların su niteliği de değişebilir. Pınarlar yerleşim birimlerinin önemli bir su kaynağıdır.

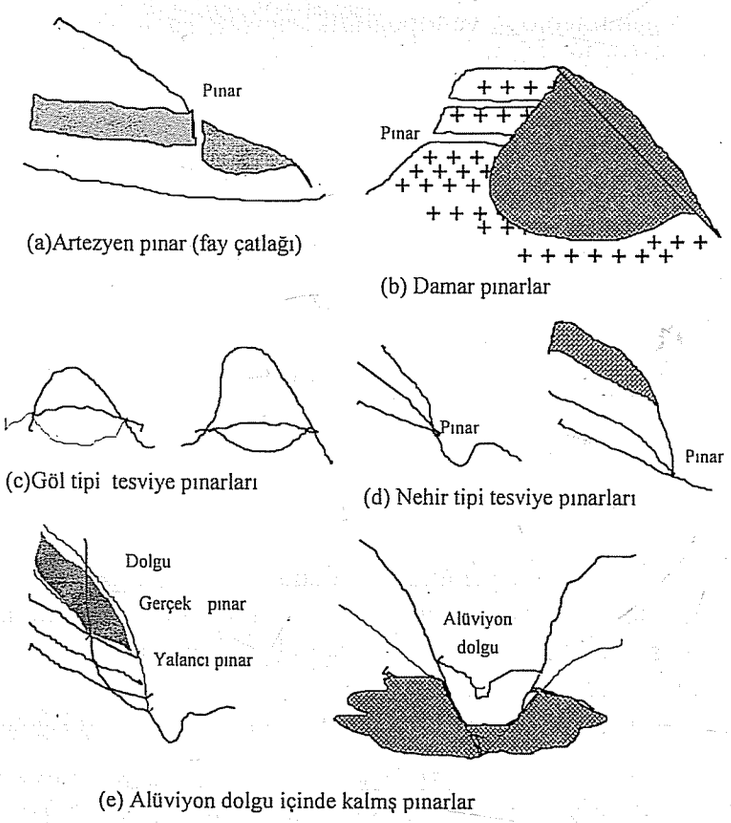
*Artezyen (Fay Çatlağı) Pınarları*: Bunlar, iki geçirimsiz tabaka arasında sıkışmış olan suyun fay çatlağı oluşması ile yeryüzüne çıkması şeklinde tanımlanabilir (Şekil 3.3a).

*Damar Pınarları:* Bunlar, çatlaklı püskürük kayaçların boşluklarına dolan suların bir yatay çatlaklı damar yoluyla yeryüzüne çıkması ile oluşur (Şekil 3.3b).

*Tesviye Pınarları:* Bunlar, bir vadi en kesitinde geçirimsiz zeminin yamaçları kestiği noktalarda yeraltı suyunun yeryüzüne çıkması ile meydana gelen pınarlardır. Bunlar geçirimsiz zeminin durumuna göre " göl tipi" veya nehir tipi pınarlar" diye adlandırılabilir (Şekil 3.3c,d).

Nehir tipi tesviye pınarları, bazen ana zemin üzerine yukarılardan gelen süprüntü malzemeleri ile belli bir kalınlığa kadar dolduğundan pınarın gerçek yeri zemin içinde gerilerde kalır ( Şekil 3.3e). Kaptaj tesislerinde buna dikkat edilmesi gerekir.

Bazen de bu dolgu malzemeleri vadiyi belli bir düzeye kadar doldurur, bu durumda pınar alüvyonlar içinde kalır. Görülmeyen pınar oluşur.




(a)Artezyen pınar (fay çatlağı)

(b) Damar pınarlar

(c)Göl tipi tesviye pınarları

(d) Nehir tipi tesviye pınarları

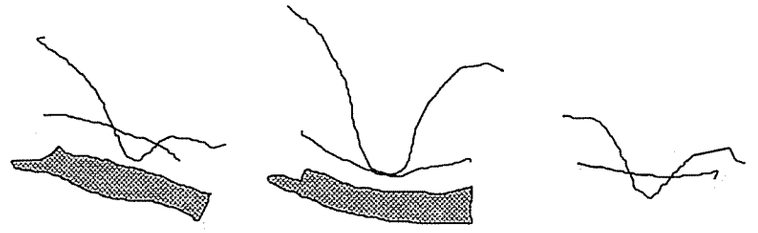
(e) Alüviyon dolgu içinde kalmş pınarlar

Şekil 3.3. Pınar çeşitleri





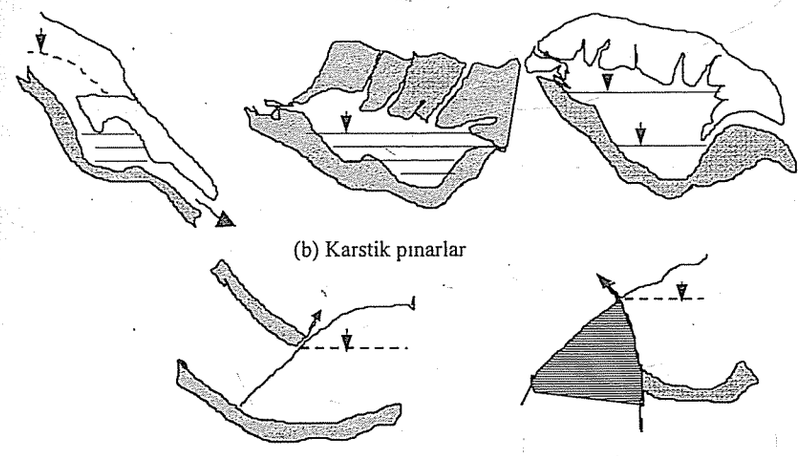
*Talveg Pınarlar:* Bu pınarlar, geçirimsiz zeminin vadi tabanını kesmemesi, derinde kalması koşulunda oluşur. Geçirimsiz zemin üstünde biriken yeraltı suyu seviyesi vadi zemini üstüne çıkmasıyla ortaya çıkar, seviye inmesiyle kaybolur (Şekil 3.4 a).




(a) Talveg pınarları

Şekil 3.4. Pınar çeşitleri

*Karstik Pınarlar:* Bu pınarlara drenaj pınarları da denilmektedir. Bu tip pınarlar geniş boşluklu kalker yapılı karstik kayaçlarda görülür. Boşluklara biriken sular yine büyük boşluklardan, çatlaklardan yerüstüne çıkar. Boşluklarda biriken bu sular yeryüzüne açılan çatlak seviyesine kadar dolduktan sonra dışarı akar. İçme suyu kaynağı olarak önemli bir sudur. Özellikle Akdeniz kıyılarında çok görülür. kıyılardan denize tatlı su verirler. Bazen yeraltı nehirleri de oluşur. Bunlara ilişkin örnekler Şekil 3.5b de görülmektedir.



(b) Karstik pınarlar

(c) Savak pınarları

Şekil 3.5. Pınar çeşitleri

*Savak Pınarları*: Su taşıyan tabaka zeminin (Nap) değil, başka geçirimsiz tabakanın yeryüzüne çıkması ile oluşmaktadır (Şekil 3.5c).

Pınarların çıkış ağızlarında debi ölçmelerinin yapılması gerekir. Ölçümü olmayan pınarların yağış-akış bağıntısı, benzer özellikteki kaynaklar ile karşılıklı grafiklenerek uzatılır. En düşük ve en büyük kritik debiler tespit edilir. Projeye esas olacak debiler belirlenir.

### 3.1.3. Akarsular

Akarsular, yağıştan yüzey akışa geçen sular ile yeraltından yüzeye çıkan sulardan oluşan ve bir yatak içinde akan sulardır. Küçük akarsular birleşerek büyük akarsuları, nehirleri oluşturur. Nehirlerin taşıdığı su miktarı, yağış miktarına, bu da yağış şiddeti ve süresine bağlıdır. Nehirlerin yıl içindeki akış seyri yağışlarla değişir, sakin veya hırçınlığını aktığı yatak topografyası belirler.

Nehirler taşıdığı silt, her türlü organik madde, tarımda kullanılan gübre ve tarım ilaçları ve üzerinde kurulan yerleşim birimlerinin atıkları ile kirlenirler. Bu nedenle akarsular içme ve kullanma suyu sağlanmasında en son kaynak olarak düşünülür. Nehir suları içme ve kullanma suyu olarak kullanılırken zorunlu olarak arıtma tesislerinden geçirilmesi gerekir.

Akarsuların ölçülmüş debilerinin analiz edilmesi; en düşük, en yüksek akış durumlarının, olasılıklarının belirlenmesi gerekir. Akarsu potansiyeli ile suya olan ihtiyaçlar arasında bir denge kurulmaya çalışılır.

Akarsular ilerleyen bölümlerde; topoğrafik-morfolojik özelliklerine göre, akarsu boyunca akımın değişimine göre, akımın sürekliliğine göre, akım rejimine göre sınıflandırılabilir.

### 3.1.4. Göl, Gölet ve Barajlar

Göller genellikle akış ağzı olamayan yeryüzündeki çukurluklarda suların doğal olarak birikmesi sonucu oluşur. Göletler ise, su toplama havzasına sahip bir vadinin uygun yerden önünün kapatılması ve geride suyun biriktirilmesi ile ortaya çıkar. Derinliği az, su yüzey alanı küçüktür.





Barajlar büyük akarsuların önünün bağlanmasıyla ortaya çıkan çok büyük su kütlesinin biriktiği yapılardır.

Bu tür durgun sular akarsulara kıyasla daha temizdir. Bu sular da içme ve kullanma suları olarak en son düşünülmesi gereken sulardır. Gölet ve barajlar çok amaçlı olarak yapılabileceği gibi sadece içme ve kullanma suyu sağlama amacıyla da yapılabilir. İçme ve kullanma suyu olarak seçilecekse mutlaka arıtma tesislerinde geçirilmesi gerekir.

Baraj projelemesinde ya topografya ya bağlı kalını ya da ihtiyaçlar saptanarak gerekli hazne hacmi belirlenir.

### 3.1.5. Denizler

Deniz suları tuzlu olduğundan bunun geniş miktarda ve ekonomik olarak arıtılması ve kullanılması henüz olası olamamaktadır. Bu nedenle içme ve kullanma suyu sağlanmasında kaynak olarak düşünülmemektedir.

### 3.1.6. Yeraltısuları

Toprağa sızan suyun toprak içerisindeki hareketi sonucu havalanma bölgesi altındaki geçirimsiz tabakaya kadar olan bölgedeki boşlukları dolduran suya yeraltısuyu denir.

Yeraltısuyu içme ve kullanmada en önemli su kaynağıdır. Doğal olarak filitrelenmiş, daha güvenceli, hastalık ve kokudan arınmış, kimyasal bileşimi ve sıcaklık derecesi sabit iyi kalitede sulardır.

Yeraltından su almak yerüstü sularından elde etmekten daha kolaydır. Yeraltında sular ya bir geçirimsiz tabakanın üstünde ya da iki geçirimsiz tabaka arasında birikir. Su taşıyan bu tabakalara "aküfer" denir. Su taşıyan tabakaların şekli yerüstünün topografik yapısına bağlı olarak değiştiği varsayılır.

Yeraltısuları potansiyeli hakkında karar verebilmek için;

1) Yeraltısuyunun beslenme durumunun,

2) Görülen ve görülmeyen pınarların,

3) Yeraltı jeolojik yapının bilinmesi gerekir.

Türkiye'de yeraltısuları tespit çalışmaları DSİ tarafın yapılmakta ve yeraltısuları potansiyelleri belirlenmektedir. Aküferlerin hidrolik parametreleri açılan deneme kuyuları veya kullanma amacıyla açılan kuyularda belirlenir.

## 3.2. Su Kaynaklarının Sınıflandırılması

Su kaynaklarının sınıflaması, su potansiyellerinin durumunun günümüz için değerlendirilmesinde ve gelecek için bir tahminde bulunulmasında önemli rol oynayacaktır. Buradaki sınıflama su sistemlerini tanımayı amaçlamaktadır.

Sınıflandırma; diğer gruplardan elementlerle farklılık gösteren, kendi aralarında benzer özelliklere sahip elementleri gruplama tekniğidir (Çelebi ve Akçe 199..). Su kaynaklarının veya diğer bir deyişle sistemlerinin sınıflandırılması; (1) su kimyası, morfolojisi, yaş, hayvan topluluğu ve benzeri gibi bir çok kriterlere göre, (2) akarsularda topografik- morfolojik özelliklere, akım değişimine, sürekliliğine ve akım rejimine göre, (3) ekonomik düşüncelere göre yapılabilmektedir. Kısaca su kaynakları fiziksel bileşenlere, biyolojik göstergelere ve ekonomik tercihlere göre sınıflandırılabilir. Su kaynaklarının oluşumundan günümüze kadar geçirdiği evrede, geçirdiği değişikliklerin bilinmesi, dikkate alınması, insanoğlunun faaliyetleri sonucu oluşacak değişikliklerin iyi değerlendirilmesi, su kaynaklarının planlanmasında önemli olacaktır.

Akan ve durgun suların sınıflandırmasının birbirinden ayrı olarak yapılmasının zor olmasına rağmen, önerilere dayanarak sınıflandırma ayrı yapılmaya çalışılacaktır (Erkek ve Ağıralioğlu,1993 ; Çebi ve Akçe 199-).

### 3.2.1.Akarsu Morfolojisi ile İlgili Tanımlar

***Akarsu***: Yüzeysel suların eğim yönünde oluşan doğal su yolları içinde toplanarak hareket eden sulardır.

***Akarsu (drenaj, su toplama) havzası***: Bir akarsuyun sularını toplayan alandır.





***Su ayırım çizgisi:*** İki komşu akarsu havzasını ayıran çizgidir.

***Dış drenaj alanı:*** Denize ulaşan suların havza alanıdır.

***İç drenaj alanı:*** Denize ulaşmayan akarsuların havza alanlarıdır.

***Kaynak (başlangıç) deresi:*** Bir akarsuyun çıktığı yerden ilk dere ile birleştiği yere kadar olan kesim.

***Akarsu kavşağı:*** İki veya daha fazla akarsuyun birleştikleri yer.

***Ayak (akarsu ayağı, göl ayağı):*** Daha geniş bir akarsudan, bir gölden ayrılan akarsu kesimi.

***Çıkış noktası:***Bir havza bölümünden gelen yüzeysel suların toplanarak havzayı terk ettiği akarsu kesiti.

***Ağız:*** Akarsuların ağız kısmında katı maddelerin (alüvyon) toplanması sonucu oluşan geniş birikinti depoları.

***Akarsu (Drenaj,kanal) ağı:*** Bir akarsu kolu ile yan kollarının tümünün meydana getirdiği şebeke.

***Kıyı:*** Akarsu yatağını kıyıya bağlayan şevli kenar şeritler.

***Yüksek kıyı:*** Taşkın su seviyesi üzerinde kalan kıyı şeridi.

***Taşkın yatağı:*** Yalnız ortalama su seviyesi üzerindeki debilerde su altında kalan, kıyı ile yüksek kıyı arasındaki arazi şeridi.

***Taşkın bölgesi:*** Tekerrür aralığı aynı olan taşkınlarda su altında kalan arazi kesimleri.

***Yatak ekseni:*** Bir akarsuyun birbirini takip eden kesitlerinde su yüzünün orta noktalarını birleştiren çizgi.

***Talveg:*** En düşük kotlu taban noktalarını birleştirerek elde edilen çizgi.

***Yatak (akıntı) yörüngesi:*** Akışın en hızlı olduğu noktaları birleştiren çizgi.

***Memba bölgesi:*** Bir akarsu kesitinin kaynak tarafında kalan akarsu bölümü.

***Mansap bölgesi:*** Bir akarsu kesitinin ağız tarafında kalan bölümü.

***Dış (İç bükey) kıyı:*** Bir akarsu kıvrımında dirseğin dış tarafında bulunan kısım.

***İç (dış bükey) kıyı:*** Bir akarsu kıvrımında dirseğin iç tarafında bulunan kısım.

***Dolanma oranı:*** Bir akarsuyun iki noktası arasındaki talveg uzunluğunun kuş uçuşu mesafeye oranı.

***Menderes:*** Birisinde saat ibresi yönünde, diğerinde aksi yönde akımın oluştuğu birbirini takip eden iki kıvrım.

### 3.2.2. Akarsuların Sınıflandırılması

#### *3.2.2.1. Topoğrafik Morfolojik Özelliklere Göre Sınıflandırma*

1) Dağ Akarsuları: Büyük eğim, hızlı akış ve fazla olamayan menderesleme ile karakterize edilebilen (dağ dereleri, deliçay ve vahşi dere gibi) akarsular.

2) Plato Akarsuları: Ova akarsularına benzer özellikler göstermelerine karşın erozyonun eğimin arttığı plato kenarlarından kaynak bölgesine doğru hızla ilerlediği akarsulardır.

3) Ova Akarsuları: Kaynaktan itibaren eğimi çok az olan, planda fazla menderesleme görülen akarsulardır.

#### *3.2.2.2. Akarsu Boyunca Akımın Değişimine Göre Sınıflandırma*

1) Sulak Akarsular: Havza büyüdükçe debisi artan sulak bölge akarsularıdır.

2) Bozkır Akarsular: Genellikle kurak bölgelerde görülen buharlaşma ve sızma sonucu debisi azalan veya mansaba gidildikçe yataktaki suyu kaybolan kuru derelerdir.

3) Karstik Akarsular: Yeraltında toplanan ve akarsu şebekesi oluşturacak şekilde kısmen veya tamamen yüzeyde akarken kalkerli arazide bir süre kısmen veya tamamen yeraltında devam ederek tekrar yüzeye çıkan akarsulardır.





#### *3.2.2.3. Akımın Sürekliliğine Göre Sınıflandırma*

1) Sürekli Akışlı Akarsular: Yatağında yıl boyunca su bulunan (sulu dere) akarsular.

2) Periyodik Akışlı Akarsular: Yatağında yalnız bol yağışlı mevsimlerde su bulunan ve yağışsız zamanlarda su bulunmayan (kuru dere) akarsular.

3) Sel Vadileri: Senelerce yatağı kuru olmasına rağmen ani bir sağanaktan sonra kısa bir süre büyük nehir görünümü kazanan çöl akarsuları

4) Arktik Akarsular: Yılın üçte ikisinde don görülen akarsular.

#### *3.2.2.4. Akım Rejimine Göre Sınıflandırma*

Akarsular düzenli ve düzensiz rejimli olmak üzere ikiye ayrılır. Düzenli rejimli akarsularda yıl içinde, aynı devrelerde akım değişmeleri aynı özelliği gösterir. Düzensiz rejimli akarsularda ise yılın herhangi bir devresinde akımlar bir yıl taşkınlar, diğer yıl küçük dereler veya bir yıl sulak, diğer yıl kurak periyot ortaya çıkabilir.

Akım rejimlerine göre önemli akarsu tipleri:

1) Yağmur (plüvial) rejimli akarsular: Yağmur ile beslenen ve debi gidiş çizgiler yağmur eğrilerine benzeyen akarsulardır.

2) Kar (Nival) rejimli akarsular: Kar ile beslenen karlı dağ ve karlı ova rejimli akarsularıdır.

Karma Rejimli Akarsular: Farklı rejimli akarsuların etkili olduğu durumlardır.

#### *3.2.2.5. Büyüklüklerine Göre Sınıflandırma*

Akan her büyüklükteki su akarsu olarak tanımlanır. Küçükten büyüğe doğru akarsular dere, çay, nehir adını alırlar. Kendi aralarında birleşik bir sonraki akarsuyu meydana getirirler. Bunların taşıdığı su miktarları kendi aralarında dahi çok farklı olabilir.

1) Dereler: Dağlık ve ovalık kesimlerde olabilen küçük su toplama havzası sularını toplayan genellikle sığ ve kısa su yollu

akarsulardır. Vahşi dereler, dağ dereleri ve ova dereleri şeklinde özelliğe sahip olabilir. Taşıdıkları süprüntü malzemeleri yığılma konisi oluşturur ve zarar verebilir.

2) Çay: Derelerin birleşmesi ile meydana gelir, büyüklükleri dere ile nehir arasındadır (Karaçay gibi). Su olarak çağrılan akarsular (Ilıksu gibi) ise çay büyüklüğündedir.

3) Nehir: Çayların birleşmesiyle meydana gelen, uzunluklarına, su toplama havzasına, kollarına, geçtiği ve döküldüğü yerin özelliklerine sahip olan büyük akarsulardır (Seyhan, Ceyhan nehri gibi).

### *3.2.2.6. Akarsu Yatağının Fiziksel Özelliğine Göre Sınıflama*

1)Yatağın genişliğinin değişimine göre: Üniform, düzensiz ve adacıklarla kollara ayrılmış yataklı akarsular şeklinde gruplandırılabilir.

2) Yatağın adacıklarla kollara ayrılma durumuna göre:Tek adacık, birden fazla adacık ile yatağı kollara ayrılmış akarsular.

3) Dolanma oranına göre: Düşük (1-1,3), orta (1,3-2,0),Yüksek (>2,0) derecede eğrilik gösteren akarsular.

4) Taşkın bölgesinde gölcükler oluşması durumuna göre: Gölcük oluşmayan, az sayıda ve çok sayıda gölcük oluşan akarsular.

5) Kıyı yüksekliğine göre: Alçak kıyılı (<1,5m), orta yükseklikte kıyılı (1,5-3,0m) ve yüksek kıyılı 3,0-6,0m) akarsular

6) Yatak kenarındaki doğal sedde formasyonlarına göre doğal seddeleri hiç olmayan, orta derecede gelişmiş, iyi derecede gelişmiş akarsular.

7) Taşkın yatağının durumuna göre: Taşkın yatağı akarsu yatağına göre çok, orta ve dar genişlikte akarsular.

8) Bitki örtüsüne göre: Kıyılarında bitki örtüsü bulunmayan, her iki kıyıda dar şeritte, yalnız dirseklerin iç kısımlarında, akarsu vadisinin tamamında bitki örtüsü bulunan akarsular şeklinde sınıflandırılabilir.





## 3.3. Durgun Suların Sınıflandırması

Durgun sularda akan sularda olduğu gibi hız ve diğer hidrolik etmenler söz konusu değildir. Daha çok güneş ışığı ve onun doğurduğu bir kısım sonuçlar ile diğer bir kısım önemli bileşenler önemli olmaktadır. Durgun suyla ilgili bir kısım sınıflamalar aşağıda verilmiştir.

### 3.3.1. Orijine Göre Sınıflandırma

Göllerin orijinine göre sınıflandırma iyi bilinen bir sınıflandırmadır. Hutchinson (1957) tarafından geliştirilmiştir. Yeryüzünün belli alanlarında oluşan belli tip işlemler olduğunu ifade etmektedir. Bunlar 76 tip gölü kapsamaktadır.

### 3.3.2. Morfolojiye Dayanan Sınıflandırma

Göl ekosistemlerinin niteliği, göllerin orijinden gelen etmenlerle ilişkili olabildiğinden bu sınıflandırma sığ ve derin göller arasında farklı değildir. Tatlı suların fiziksel ve biyolojik durumlarını inceleyen bilim adamları yani limnolojistler derinliğin büyük rol oynadığı sınıflandırma için morfometrik parametrelerin iyi kriter olduğunu vurgulamaktadırlar. Bu karakterler; alan, hacim, maksimum derinlik, ortalama derinlik, kıyı çizgisinin karakteristikleri ve diğerleri olarak sıralanabilir.

### 3.3.3. Besin Eldesine Dayanan Sınıflandırma

Ekonomik düşünce ön plana çıkmakta ve oligotropik göllerin az besine sahip olduğu ve buna paralel olarak ta alg ve omurgasızların yoğun olması yaklaşımı esas olmaktadır.

### 3.3.4. Göstergeçlerin Birleşimine Dayanan Sınıflandırma

Besinler dışında sıcaklık rejimi, hafif penentrasyon, çözünmüş gazların varlığı gibi faktörler de üretimi etkiler. Sınıflandırmaya esas

etmenler; iklim, morfometri, kimyasal ve fiziksel nitelikler, sediman, flora, fauna, verimlilik gibi sıralanabilir. Bunların hepsi her su kütlesinde mevcut değildir. Derinlikler oksijen durumunu ve biyolojik yaşamı etkilediği için sığ ve derin suları ayrı ayrı değerlendirmek gerekir.





# BÖLÜM 4 SU TOPLAMA HAVZASI VE AKARSU FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Akarsuyun morfolojisi ile ilgili tanımlar daha önce verildi. Bir akarsu su kaynakları yönünden önemi havzanın fiziksel özelliklerine ve hidrolojik şartlara göre bağlı olarak değişir. Bu özellikler taşkın hesaplamalarını tahmin için oluşturulacak denklemlerde önemli parametrelerdir. Havzalarda ayrıntılı araştırmalar için bu özelliklerin miktar olarak sağlıklı biçimde ifade edilmeleri önemlidir. Havza karakteristiklerinin en önemlileri izleyen kısımlarda açıklanmıştır.

## 4.1. Su Toplama Havzasının Fiziksel Özellikleri

Su toplama havzasının fiziksel özellikleri, havzanın su verdisine etki eder. Bu fiziksel özelliklerden yararlanılarak oluşturulacak ilişkiler, veriler olmayan benzer havzalarda tahminler için kullanılabilir.

### 4.1.1. Akarsu Havza Alanı ve Sınırı

Havza alanı, havza sınırları içinde kalan yüzeyin yatay bir düzlem üzerindeki projeksiyonu olarak alınır ve planimetre ile ölçülür. Şeklî ise belli geometrik şekillere benzerlik ile değişik oranlarla ifade edilir. Havza sınırı su ayırım çizgisi ile belirlenir. Su ayrımı çizgisi arazinin topoğrafik yapısını ayrıntılı olarak gösteren topoğrafik haritadan (genellikle 1:25000 ölçekli harita) yaralanılarak belirtilir. Alanı 250 $km^2$ den küçük olanlara küçük, bundan büyük olanlara ise büyük havza denir.

Bir havza üzerinde rasat istasyonu yoksa buradaki ön planlama çalışmalarında, havzanın yıllık ortalama verimi şöyle tanımlanabilir.

$$Q_o=\alpha P_o A \qquad (4.1)$$

Burada;

$Q_o$ =Yıllık ortalama su verimi, $m^3$/yıl

$\alpha$ = Akış katsayısı

$P_o$ = Uzun yıllık havza ortalama yağış yüksekliği (m)

A = Akarsuyun planlama yapılan kısmının çıkış noktasındaki havza alanı ($m^2$)

Hidrolojide $\alpha P_o$ değeri akış yüksekliği olarak bilinir.

Daha önce tanımlanan havza sınırı (perimetre) ise topoğrafik harita üzerinde eğri ölçer (körvimetre) ile ölçülür.

### 4.1.2. Su Toplama Havzası Biçimi

Akarsu havzaları çeşitli biçimde olabilir. Havzanın biçimi, taşkın pik debilerini ve hidrograf şeklini etkiler. Havza şeklini karekterize eden çeşitli büyüklükler (Örneğin; Biçim katsayısı, Gravelius katsayısı, Schumm katsayısı gibi) kullanılır.

Eagleson (1970) tarafından havza alanına (A) ve ana su yolu uzunluğuna (L) bağlı olarak aşağıdaki bağıntıları vermiştir.

***Havza biçim faktörü:***

$$m = \frac{A}{B.L} \qquad (4.2)$$

Burada;

B=Havza ortalama genişliği

L=Havza uzunluğu

***Uzunluk katsayısı:*** (Havza görünüm oranı - havza uzunluğuna bağlı olarak şekil indisi) Bu oran genişlik veya daire çapı olarak adlandırılır. Genellikle bu oran az engebeliden çok engebeli araziye doru sırayla 0.6-1.0 arasında değişir.

$$a = \frac{B}{L} \qquad (4.3)$$

***Şekil katsayısı:*** (Havza biçim ve görünüm oranına, diğer bir ifade ile havza ana su yoluna bağlı olarak)





$$R_f = m.a = \frac{A}{L^2} \qquad (4.4)$$

$$L = \frac{1}{(m.a)^{1/2}} A^{1/2} \qquad (4.5)$$

A ve L arasındaki bağıntı oluşturulan grafikten yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$L = 1.73.A^{0.5} \qquad (4.6)$$

***Dairesellik katsayısı:*** Su toplama havzası alanının, çevresi aynı olan dairenin alanına oranına dairesellik oranı veya katsayısı denir. Birçok su toplama Havzasında bu oran 0.6-0.7 arasında bulunmuştur.

$$R_c = \frac{A}{A_c} \qquad (4.7)$$

Bu denklemlerde:

A= Havza alanı

$A_c$ =Çevresi su toplama havzasının çevresine eşit olan daire alanı, $Ac=[(P/\pi)/2]^2\pi$

P=Havza çevre uzunluğu

***Sıkışıklık indisi*** (Gravelius katsayısı): Su toplama havzasının çevre uzunluğunun, havza ile aynı alandaki bir dairenin çevre uzunluğuna oranıdır.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{ve} \quad 2.\pi.r = 2.\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}} \qquad (4.8)$$

$$K_c = \frac{P}{2.\pi.r} \qquad (4.9)$$

$$K_c = 0.28\frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (4.10)$$

Burada;

Kc= Gravelius katsayısı

P=Havza çevre uzunluğu

2.π.r = Havza ile eş alandaki dairenin çevre uzunluğu

A= Havza alanı

***Havza dikdörtgen eşdeğeri:*** Eğim indeksi olarak ta tanımlanan bu değer, eşdeğer dikdörtgen bir hipsometrik eğri kavramından sağlanır. Denklemde görüldüğü gibi bu değer, eşdeğer dikdörtgen havza ile aynı hipsometrik eğriye, Gravelius katsayısına, alana, drenaj yoğunluna sahip bir dikdörtgendir. Dikdörtgenin boyutları ise şöyle tanımlanmaktadır.

$$L_a = \frac{K_c\sqrt{A}}{1.12}\left(1+\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2}\right) \qquad (4.11)$$

$$L_b = \frac{K_c\sqrt{A}}{1.12}\left(1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2}\right) \qquad (4.12)$$

Burada;

A= Havza alanı ($km^2$)

$L_a$, $L_b$= Dikdörtgen uzunluğu ve genişliği (m)

$K_c$= Gravelius katsayısı

***Eğim İndisi:*** Havza dikdörtgen eşdeğerine göre eğim indisi ($I_p$), $L_a$ ve $L_b$ kenarlı dikdörtgen içinde tesviye eğrileri dikdörtgenin kısa kenarına paralel olarak çizilir ve eğim indisi aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur.

$$I_p = \frac{1}{L_a}\sum_{i=1}^{n} x_i\left(\sqrt{\frac{e_i - e_{i-1}}{x_i}}\right) \qquad (4.13)$$

Burada;

$I_p$= Eğim indisi

La=Dikdörtgen uzunluğu





$x_i$ = Tesviye eğrileri arasındaki uzaklık

$e_i$ ve $e_{i-1}$ = Tesviye yükseltileri

Bu indisin üstünlüğü havzanın hipsometrik dağılımının topoğrafik harita üzerinde değil basit geometrik şekil üzerinde dönüştürülmüş olmasıdır.

### 4.1.3. Havza Ortalama Yüksekliği

Havza ortalama yüksekliği, havzanın en yüksek ve en düşük noktalarının kotları $H_o$ ve $Z_p$ olduğu kabul edilirse havza ortalama yükseltisi kabaca şöyle bulunur.

$$h = (H_o + H_p)/2 \qquad (4.14)$$

Küçük bir havzanın deniz seviyesinden olan ortalama yüksekliği şöyle hesaplanabilir.

$$H_m = 0.435\frac{H_0 - H_p}{\log H_o - \log H_p} \qquad (4.15)$$

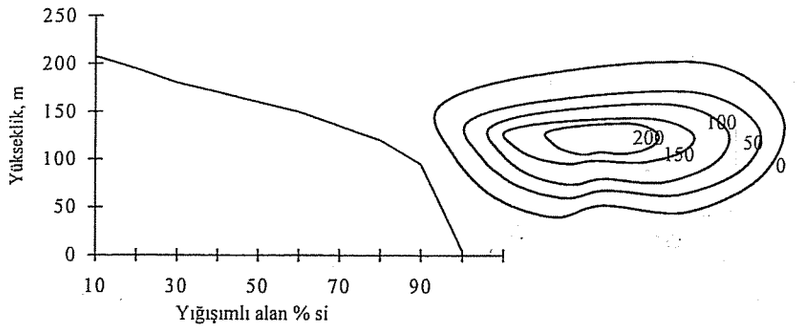
Burada;

$H_p$=Çıkış noktasındaki yükseklik

$H_o$=Su ayırım üzerindeki en büyük yükseklik

### 4.1.4. Su Toplama Havzası Eğimi

***Hipsometrik eğri:*** Bir su toplama havzası ortalama eğimi, tesviye yükseklikliklerine karşı o yüksekliğin altında kalan yığışımlı yüzde alanın alan yükseklik eğrisinin (hipsometrik eğri, median yükseklik) çizilmesi ve havza alanının %50 sine karşı gelen ortalama (median) yüksekliğin bulunması ile hesaplanır.




Şekil 4.1. Havza hipsometrik eğrisi

***Havza ortalama eğimi***:. Bir havzada tesviye eğrisinin toplam uzunluğu (M) iki tesviye çizgisi arasındaki kot farkı (D) ise havzanın ortalama eğimi $S_H$ aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S_1 = \frac{DM_1}{a_1} \qquad (4.16)$$

$$S_H = \frac{DM_1}{a_1}\frac{a_1}{A} + \frac{DM_2}{a_2}\frac{a_2}{A} + \ldots + \frac{DM_n}{a_n}\frac{a_n}{A} \qquad (4.17)$$

$$S_H = \frac{D}{A}\sum_{i=1}^{n} M_i \qquad (4.18)$$

Burada;

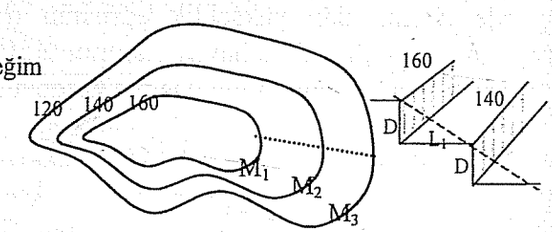
D=İki tesviye eğrisi arasındaki kot farkı (m)
M= i. ninci tesviye eğrisinin uzunluğu (i=1,...,n)
a= Tesviye eğrileri arasındaki alanlar

$A = \sum_{i=1}^{n} a_i$ , havza alanı ($m^2$)

**Örneğin:**

D=160-140=20 m ve eğim

$$S_1 = \frac{D.M_1}{L.M_1} = \frac{D}{L}$$








Burada L'yi ölçme imkanı olmadığı için ilişkisi 4.16 biçiminde verilmektedir.

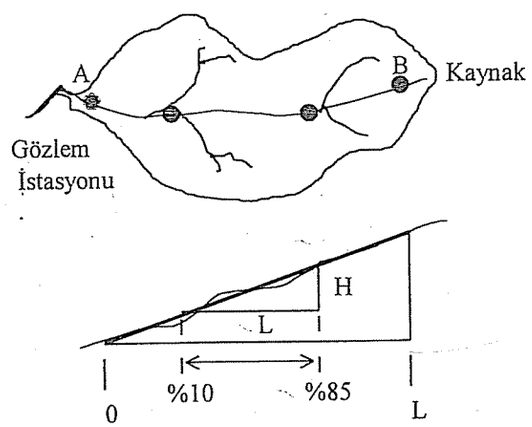
Havzanın eğimi artıkça akışın yıl içinde dağılımının düzensizleştiği, geçiş süresinin küçüldüğü, birim alandan gelen maksimum debinin arttığı görülür.

Havza röliyefi, $r = h_{max}-h_{min}$

Havza nispi röliyefi, $r_n = (h_{max}-h_{min})/(\text{Havza Çevre Uzunluğu})$

### 4.1.5. Ana Su Yolu Özellikleri

***Ana su yolu profili ve eğimi*:** Ana su yolu eğimi Benson eğim yöntemiyle bulunabilir. Bu yöntemde akım gözlem istasyonundan (çıkış noktasından) itibaren kaynak yönündeki toplam ana su yolu uzunluğunun %10 ile %85 'i harita üzerinde işaretlenerek elde edilen iki noktayı birleştiren doğrunun eğimi ana su yolu eğimi olarak alınır (Şekil 4.2).




Şekil 4.2. Ana su yolu eğimi (Benson eğimi)

$$S_s = \frac{H_{0.85} - H_{0.10}}{L_{0.85} - L_{0.10}} = \frac{\Delta H}{\Delta L} \qquad (4.19)$$

Burada;

$H_{0.85}$ = Yatay mesafenin %85'ne karşı gelen yükseklik

$H_{0.10}$ = Yatay mesafenin %10 'a karşı gelen yükseklik

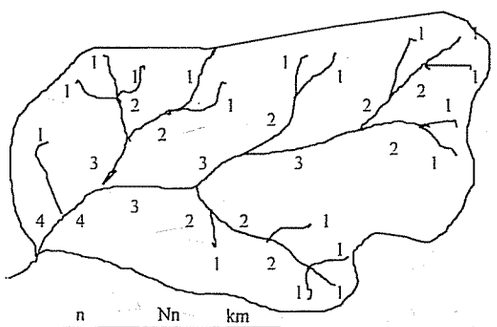
$L_{0.85}$= Yatay mesafenin %85'i

$L_{0.10}$= Yatay mesafenin %10'u

$L_{0.85}$- $L_{0.10}$=0.75L=ΔL

***Akarsu derecelenmesi:*** Akarsu kanal özelliği debiye ve konsantrasyon zamanına etki eder. Su toplama havzasındaki su taşıyan kanalların su iletme özelliği, akarsuyun derecesi olarak bilinir. Devamlı veya aralıklı olarak su bulunduran kanallar sistemin kısımları olarak değerlendirilir. Bu kanallar harita üzerinde işaretlenir ve Şekil 4.3 de görüldüğü gibi sıra sayıları ile derecelendirilir.

Derecelemede izlenen yol; su toplama havzasının en yüksek yerlerindeki kollara birinci derece, birinci derecelerin birleşmesiyle oluşan kanala bir üst derece, yani ikinci derece verilir. Bir alt ve bir üst dereceli su yollarının birleşmesi ile oluşan kanal, bu kollara verilen en üst derece ile derecelemesi devam eder (Eagleson, 1970).



| n | Nn | km |
|---|---|---|
| 1 | 18 | |
| 2 | 6 | |
| 3 | 2 | |
| 4 | 1 | |

Lu=ΣL=

Şekil 4.3. Akarsu ve kolları Horton dereceleme yöntemi

Ana su kanalı en büyük sıra sayısını alır ve su toplama havzasındaki akarsu bu derece ile tanımlanır.

Farklı dallanma oranlarına sahip aynı büyüklükteki iki havza karakteristikleri aynı yağışlar düştüğünde iki havzanın çıkış noktalarındaki akım hidrografları farklı olur.





***Havza dallanma (çatallaşma) oranı***: Akarsu ağı dereceli bir akarsu sistemi ile tanımlanır (Şekil 4.3) Havza dereceleri birimsiz sayılar oldukları için farklı derecelerdeki havzalar birbirleri ile karşılaştırılabilir. Bir akarsu ağını belirleyen en önemli büyüklük dallanma (bifürkasyon) oranı olup şöyle tanımlanabilir.

$$R_B = \frac{N_n}{N_{n+1}} \qquad (4.20)$$

Burada;

$N_n$=n dereceli akarsuların sayısı

$N_{n+1}$= n+1 dereceli akarsuların sayısı

Horton dallanma oranının bir havza için sabit bir sayıya yaklaştığını göstermiştir. Genellikle dallanma oranının 2-6 arasında değiştiği. kabul edilmektedir. Bu oran havzanın şekil ve drenajının nasıl olduğu hakkında bilgi verir.

***Drenaj yoğunluğu:*** Drenaj yoğunluğu birim alana, yani 1 $km^2$ ye düşen ortalama akarsu uzunluğu olarak tanımlanır. Bu değer havzanın drenajı hakkında bilgi verir. Havza içinde su taşıyan tüm doğal kolların, toplam uzunluğunun havza alanına bölünmesiyle elde edilir. Bu değer genellikle 0.5-2.5 km/$km^2$ arasında değişir.

$$D_d = \frac{L_u}{A} \qquad (4.21)$$

Burada;

$D_d$=Drenaj yoğunluğu

$L_u$=Bütün derecelerden akarsuların toplam uzunluğu (m)

A= Havza alanı ($km^2$)

$D_d$ bu değer ne kadar fazla ise havzanın drenajı o kadar iyidir denir.

***Drenaj frekansı (Su yolları frekansı):*** Drenaj frekansı birim alana düşen kanal sayısını gösterir havzanın drenajı hakkında drenaj yoğunluğu gibi bilgi verir. Şöyle ifade edilir.

$$D_f = \frac{\sum N_n}{A} \qquad (4.22)$$

Burada;

$N_n$= Yıl boyunca kurumayan dere sayısı,

A= Drenaj havzası alanı

Drenaj yoğunluğu ile kanal frekansı arasında bir ilişki vardır. Drenaj yoğunluğu aynı ancak frekansı farklı sistem olabilir.

***Ortalama kanal uzunluğu***: Kanal şebekesindeki aynı kanalların uzunluklarının haritadan ölçülmesi, toplanması ve aynı derecedeki kanal sayısına bölünmesiyle bulunan değer ortalama kanal uzunluğu olarak bilinir.

$$L_o = \frac{\sum L}{N} = \frac{L_u}{N} \qquad (4.23)$$

Burada;

$L_o$=Aynı derecedeki kanalların ortalama uzunluğu

$\Sigma L = L_u$=Aynı derecedeki kanalların toplam uzunluğu

N =Aynı derecedeki kanal sayısı.

## ÖRNEK UYGULAMA 4.1:

### Havza fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Şekil 4.4'teki su toplama alanına ilişkin topografik özelliklerinden elde edilen sayısal bilgiler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Topografik Bilgi

| Topografik özellik | Sayısal değeri |
|---|---|
| Havza alanı..... | A=9.41 km$^2$ |
| Havza çevre uzunluğu..... | P=15.22 km |
| Havza uzunluğu ..... | $L_H$=5.38 km |
| Haza genişliği..... | $W_H$=1.75 km |
| Ana su yolu | |
| max. yüksekliği..... | $HL_{max}$=1280 m |
| min yüksekliği..... | $HL_{min}$=1100 m |
| Ana su yolu uzunluğu..... | Ls=18 m |
| Havza max yüksekliği..... | $h_{max}$=1302 m |
| Havza min yüksekliği..... | $h_{min}$=1100 m |
| Havza röliyefi..... | r=1302-1100=202 m |





Çizelge 4.2. Alan- Yükseklik İlişkisi

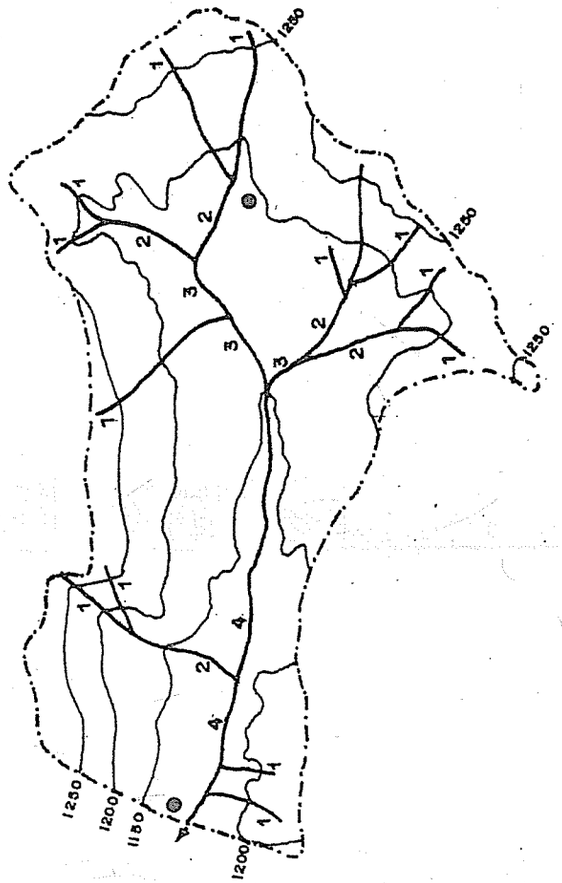
| Yükseklik dilimleri m | Tesviye eğrileri arasındaki alan, a, km$^2$ | Eğriler arasındaki alan % si (a/A)100= | Yığışımlı alan % si |
|---|---|---|---|
| 1300-1302 | 0.003 | | |
| 1250-1300 | 1.000 | | |
| 1200-1250 | 3.469 | | |
| 1150-1200 | 3.625 | | |
| 1100-1150 | 1.313 | | |
| | $\Sigma$a=A=9.41 | | |

Çizelge4.3. Su Yolları Mertebeleri

| Mertebe n | Kol adedi $N_n$ | Uzunluk, km $L_u=\Sigma L$ |
|---|---|---|
| 1 | 14 | 9.4 |
| 2 | 5 | 3.6 |
| 3 | 2 | 1.7 |
| 4 | 1 | 3.3 |
| Toplam | 22 | 18.0 |

**İstenen:** Verilen bilgilerden yararlanarak aşağıda sıralanan havza parametrelerini hesaplayınız.

1) Havza nispi röliyefi
2) Hipsometrik alan eğrisi
3) Havza medyan yüksekliği
4) Havza ortalama yüksekliği
5) Havza ortalama eğimi
6) Havza şekil indisi:
   a) Ana su yoluna bağlı şekil indisi
   b) Havza uzunluğuna bağlı şekil indisi
   c) Havza dairesellik oranı
   d) Sıkışıklık indisi
7) Havza dikdörtgen eşdeğeri
8) Havza dikdörtgen eşdeğerine göre eğim indisi
9) Ana su yolu profili ve eğimi
10) Havza su yolları dallanma oranı ve grafiği




Şekil 4.4. Su toplama havzası





# BÖLÜM 5
# SU KAYNAKLARININ PLANLANMASINDA YAĞIŞ ANALİZLERİ

Bütün projeler gelecek için projelenir ve planlayıcı, çalışmaya konu olan koşullardan emin değildir. Belirsizlikler, çok sayıda güvenlik faktörlerini göz önüne alarak ve kabul edilebilir varsayımlar ile hesaplamaya girer. Hidrolojik belirsizlikler, hidrolik planlamada önemlidir ve tektir. Gelecek su ihtiyacı, faydalar, maliyetler tümü bazı derecelerle belirsizdir. Beklenen hidrolojik tahminler hataları tüm projesi kötü yönde etkiler:

Gelecek yıllarda akış serisi tam olarak beklenemez, akışta olası değimler hakkında bazı şeyler söylenebilir. Plan kabul edilecek bir risk ile tamamlanır.

Bu bölümde yağış ve akış kayıtlarının analizi hakkında bilgi verilecektir. Bu konu aşağıdaki akış şemasına bağlı olarak işlenecektir. Bu konuda daha fazla bilgi temel hidroloji ve taşkın hidrolojisi kitaplarında ve araştırmalarında bulunabilir. Burada Bayazit ve ark., 1978;Eagleson, 1970; Memec, 1972; Sharp ve Sawden, 1984; Wilson. E.M., 1974 gibi bir kaç kaynak vermede yarar görülmüştür.

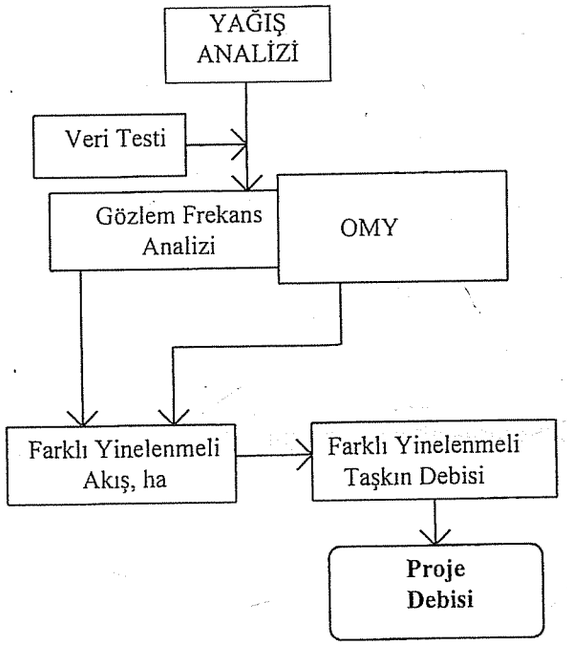
## 5.1. Yağış Analizi

### 5.1.1. Seriler

Genellikle olasılık analizleri de yıllık seriler kullanılır. Söz konusu bir istasyonda birbirini takip eden her bir yılda meydana gelen akışların en yükseği yıllık seri olarak bilinir.

***Kısmi süre serileri:*** Bazen her bir yılın ikinci büyük sayısı da değerlendirilmek istenebilir. Çünkü bazı yıllar içinde büyük sayı bir başka yılın birinci büyük sayısından daha büyük olabilir. Bunun için belirlenen bir baz büyüklüğün üstündeki akışlar seçilir.

Bu her iki seride büyük akışlar birbirine yakın yinelenme aralıkları veriri. Kısmi süre serileri ender olaylar için kullanılmaz. Kısmi seriler düşük akımlar ve özellikle 2 yıl dan az yinelenmeler için kullanılır.




Şekil 5.1. Yağış akış analizi akış şeması

***Analiz için istasyonların belirlenmesi:*** Taşkınlar ya gerçek gözlenmiş verilerle yada sentetik yöntemlerle belirlenir. Eğer taşkınların sentetik yöntemle hesabın olası maksimum yağış veya muhtelif tekerrürlü yağışların miktarları ile proje sağanağın kritik süreleri yağışın zaman ve alan içerisindeki dağılımlarının iyi saptaması gerekir. Bunun için elde yeteri kadar ve uzun süreli gözlem bilgilerine sahip olunması gerekir. Analiz için kullanılabilecek istasyonların kotu, havza kotuna yakın olması gerekir. Farklı ise yağışın yükseklikle değişimini temsil edecek bir regresyon denklemi yardımıyla kot farkından oluşan hata düzeltilir.

1) *Bir yağış istasyonu olması koşulunda istasyon maksimum yağışı:* Drenaj alanı civarından başlamak üzere, bu alanın içinde bulunan iklim bölgesindeki yağış istasyonlarının kotları ile yıllık ortalama yağışları, log-log grafik kağıdına yeteri kadar noktalanarak





bir ilişki bulunur. Daha önce hesaplanmış ortalama kotu bu grafikte işaretlenir ve ortalama yağış bulunur.

Genellikle maksimum yağışlar, yakın çevredeki yıllık ortalama yağışlarla orantılı olduğu kabul edilir. Bu nedenle drenaj alanı maksimum yağışı, istasyon maksimum yağışının ortalama yağışlar oranı ile çarpılarak bulunur.

*2) Yağış istasyonunun birden fazla olması koşulunda istasyon maksimum yağışı*: Drenaj alanı maksimum yağışı aritmetik ortalama, Thiessen çokgeni veya izohiyet yöntemlerinden biri ile belirlenir. İstasyonlardan hiçbirinin kotu, drenaj alanı maksimum kotunu temsilden uzak ise ilk iki yöntem sonuçları hatalı olur. Drenaj alanı maksimum yağışı, istasyon ve drenaj alanı yıllık ortalama yağış oranı veya doğrudan doğruya istasyonların maksimum yağışları kullanılarak saptanabilir. Birinci yıl daha kısa ve ancak ikinci yıl daha doğrudur.

### 5.1.2. İstasyon Yağış Analizi

Kot ve yağış yönüne göre analize sokulacak istasyonlar belirlendikten sonra, söz konusu istasyonların aşağıdaki şekilde maksimum yağış dağılımları araştırılır.

1) Günlük en büyük yağışlar ($X_m$) küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe doğru dizilir.

2) $P = \frac{m}{N+1}.100$ eşitliğine göre olasılıklar hesaplanır.

3) Uygun olasılık grafik kağıdına (ör. Gumbel, log-Gumbel veya log-normal) $X_m$ ve P (veya 1-P) değerleri karşılıklı olarak grafiklenir. Noktaları temsil eden uygun doğru gözle veya kuramsal olarak (üç nota yöntemi) geçirilir.

4) Verilerin hangi dağılıma uyduğu aşağıdaki testler ile kontrol edilir.

- Bağımsızlık testi,
- Homojenlik testi
- Uygun dağılımın ve parametrelerinin tespiti,
- Uygunluk testi

Bu analizlerden başka kritik yağış süresinin, proje sağanak süresinin, drenaj alanı yağışının zaman içindeki dağılımının, drenaj alanı yağışının alan içindeki dağılımının belirlenmesi gerekir.

### 5.1.3. Drenaj Alanı Yağışı ve Maksimize Edilmesi

Genelde yağışların plüviyograf gözlemlerinin sayı ve süre bakımından yetersiz olması nedeniyle bunun için Türkiye'de taşkın hesabında kullanılacak günlük en büyük yağışlar 1.13 katsayısı ile çarpılarak maksimize edilir. Yağış alan içindeki dağılım katsayıları ile çarpılır ve drenaj alanı yağışı bulunur. Taşkın hesaplarında bu değer kullanılır.

$$DAY=\text{İstasyon Yağışı} \times MF \times YADK \times PL \qquad (5.1)$$

Burada;

DAY=Drenaj alanı yağışı

MF=Maksimize faktörü (1.13)

YAPK=Yağışın alan dağılım katsayısı

PL=Plüviyograf katsayısı

Plüviyograf katsayısı; Türkiye maksimum yağışlar frekans atlasından veya DMİ G.Md. yağış-şiddet-süre-tekerrür eğrilerinden yararlanılarak bulunur. Bunun için istenilen tekerrür eğrisinden 24 saatlik yağış ve aranılan saatteki yağış okunur, ve aşağıdaki ilişki kurulur.

$$\text{Plüviyograf katsayı} = \frac{\text{İstenilen saatteki yağış}}{\text{24 saatteki yağış}}$$

### 5.1.4. Olası Maksimum Yağış

Olası maksimum yağış havzada belli bir yağış süresi için fiziksel olarak mümkün olabilecek en büyük yağış yüksekliğidir. Bu yağışın aşılabilmesi olasılığının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu kabul edilir. Olası maksimum sağanak, oluşması anlamlı





olarak düşünülen en tehlikeli sağanak olduğuna göre bu sağanaktan sonuçlanan olası maksimum taşkın geleneksel olarak birim hidrograf sonuçlarından yararlanarak hazırlanmış haritalardan ve olası maksimum yağışı sezinleyen yağışların kullanılmasından elde edilir.

Çalışma alanında yeterli sayıda gözlem verisi varsa bunların grafiklenmesi ve zarf eğrisinin elde edilmesi ile maksimum taşkın sağlanabilir. Çalışma bölgesinde örnek zarf eğrisi geliştirilmemiş ise dünya yağış kayıtlarından oluşturulan zarf eğrilerinden tahmin yapılır.

Olası maksimum yağış 4 yöntemle bulunabilir.

1) *Fiziksel yöntem*

Geçerli bir yöntem ancak veri toplanması ve hesap işlemleri uzun, kullanılması güçtür.

2) *Yüz yıllık yağışın iki katı alınması yöntemi* : $X_{omy}=2.X_{100}$

Kabul edilen yağış süresine bağlı olarak elde edilen 100 yıl yinelemeli yağışın 2 katı alınarak $X_{omy}$ bulunabilir. Sağlıklı sonuç vermesi şüpheli olup kontrol amacıyla kullanılır.

3) *Hersfield Yöntemi*

Hersfield tarafından önerilen, bir noktada 24 saatlik OMY 'ın hesaplanma yöntemi şöyle verilmektedir.

$$X_{omy} = \bar{X}+K.S_N \qquad (5.2)$$

Burada;

$\bar{X}$= Dizinin ortalaması

N= Eleman sayısı

$S_N$= Dizinin standart sapması

K= Sabit katsayı

Kayıt süresine bağlı olarak ortalama ($\bar{X}$) ve standart sapmanın ($S_N$) değerleri için düzeltmenin yapılması Hersfield tarafından bildirilmektedir. Bununla birlikte bu düzeltme sonuçları %5-10 dan daha fazla değiştirmediği vurgulanmaktadır.

Öte yandan belirtilen yinelenme yılı için ekstrem (uç) yağışlar Denklem 5.2'nin yeniden düzenlenmesi ile şöyle sağlanabilir.

$$X_{Tr} = \bar{X}_{24}\,(1+K.Cv) \qquad (5.3)$$

Burada;

Cv= Değişim katsayısı ($S_N / \bar{X}$)

$\bar{X}_{24}$=Gözlenen sürede 24 saatlik yağışların ortalaması

$X_{tr}$= Belirtilen yinelenme yılı için uç yağış değeri

Hersfield Aşamaları:

1) Dizinin ortalamasının bulunması

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N} \qquad (5.4)$$

2) Dizinin standart sapmasının bulunması

$$S_N = \sqrt{\frac{(X - \bar{X}_N)^2}{N-1}} \qquad (5.5)$$

3) Düzeltme amacıyla oluşturulan yeni dizinin ortalaması ve standart sapması

Bu dizideki en büyük değer atılır ve yeni dizinin ortalaması ve standart sapması bulunur.

$$\bar{X}_{N-1} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} X_i}{N-1} \qquad (5.6)$$

$$S_{N-1} = \sqrt{\frac{(\bar{X}_N - X_{N-1})^2}{N-2}} \qquad (5.7)$$

4) Düzeltme amacıyla oluşturulan yeni ve eski dizilerin ortalama ve standart sapma oranları.





$$\frac{\bar{X}_{N-1}}{\bar{X}_N} \quad \text{ve} \quad \frac{S_{N-1}}{S_N}$$

Şekil 5.2 den Ortalamalar oranına ($\frac{\bar{X}_{N-1}}{\bar{X}_N}$) karşı $C_1$ katsayısı ve

Şekil 5.3 den (N) gözlem sayısına karşı $C_2$ katsayısı bulunur.

Bu katsayılar, sırayla ortalamanın gözlenen maksimum yağışa göre ve gözlem süresine göre düzeltme katsayılarıdır.

5) Şekil 5.4 ten Standart sapmalar oranına $\frac{S_{N-1}}{S_N}$ karşı $C_3$ katsayısı ve

Şekil 5.5 ten (N) gözlem süresine karşıda $C_4$ katsayısı okunur.

C3 ve C4 sırayla standart sapmanın gözlenen maksimum yağışa göre ve gözlem süresine göre düzeltme katsayılarıdır.

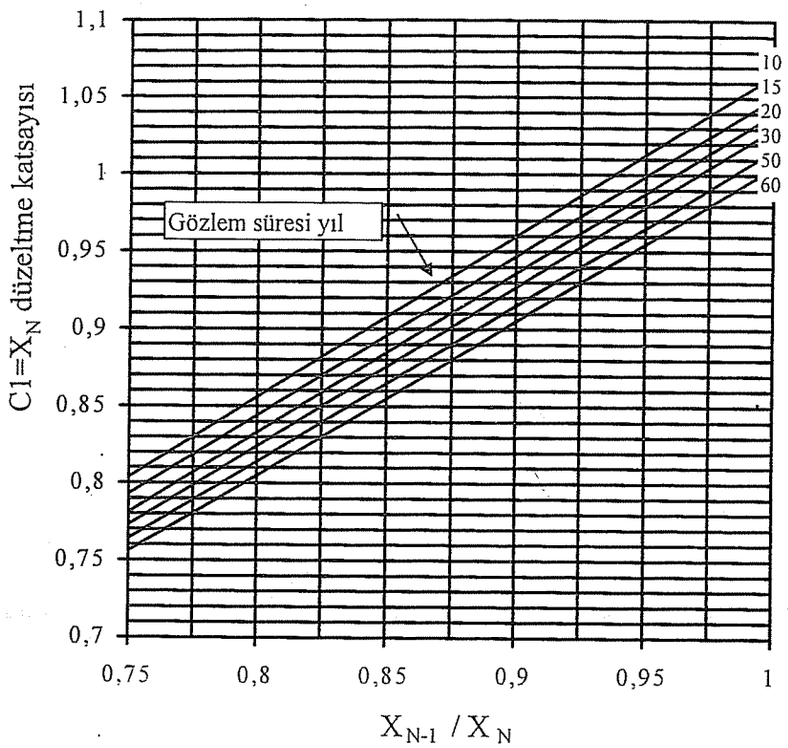
6) Düzeltilmiş ortalama ve standart sapmanın bulunması

$$\bar{X}'_N = \bar{X}_N . C_1 . C_2 \qquad (5.8)$$

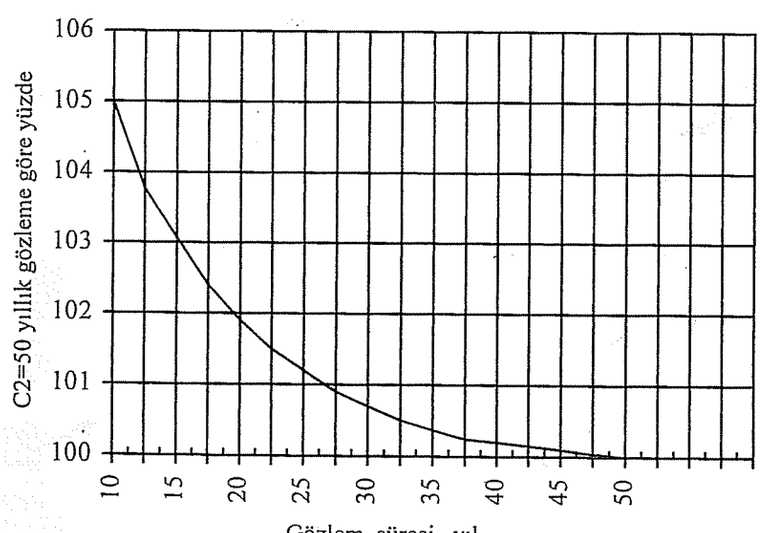
$$S'_N = S_N . C_3 . C_4 \qquad (5.9)$$

7) Olası maksimum yağışın (OMY) bulunması

$$X_{OMY} = \bar{X}'_N + K.S'_N \qquad (5.10)$$



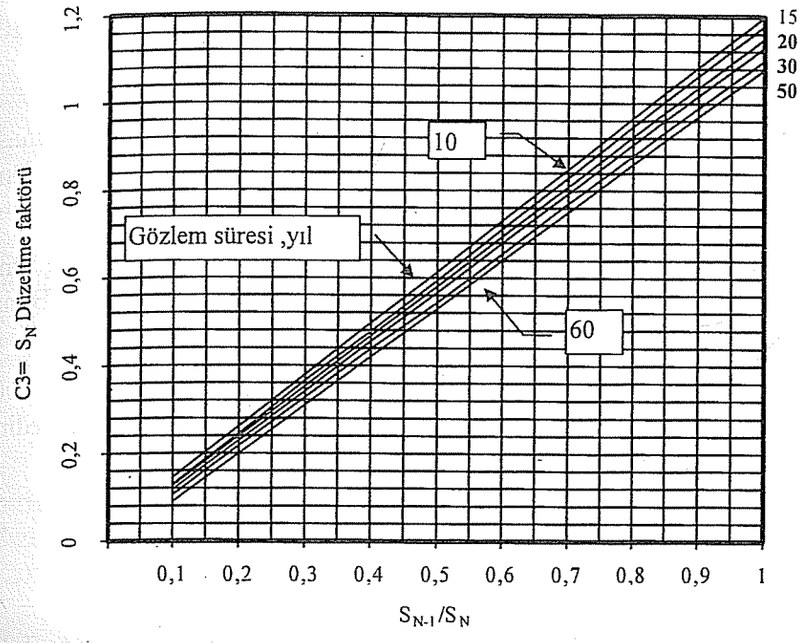

Şekil 5.2. Ortalamanın gözlenen maksimum yağışa göre düzeltilmesi



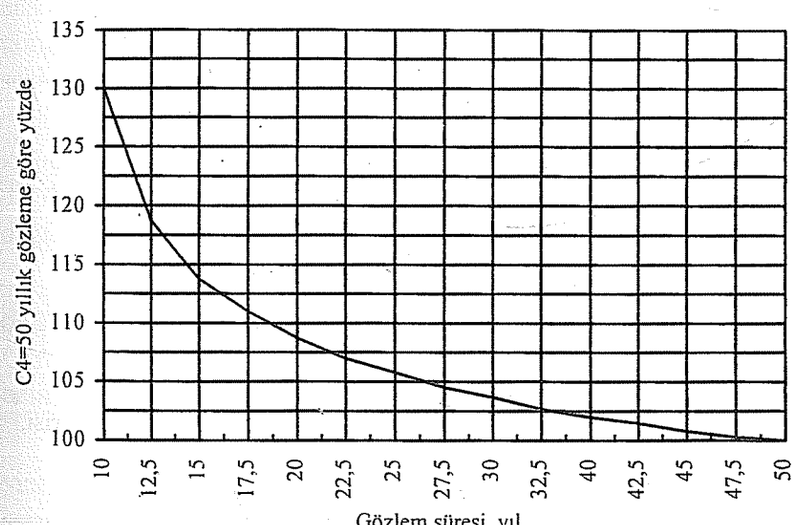

Şekil 5.3. Ortalamanın gözlem süresine göre düzeltilmesi








Şekil 5.4. Standart sapmanın gözlenen maksimum yağışın düzeltilmesi

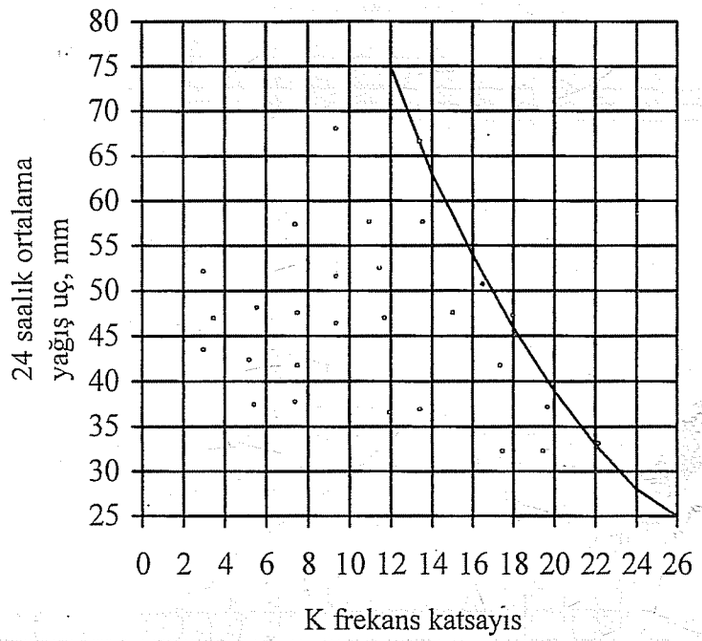



Şekil 5.5. Standart sapmanın gözlem yılına göre düzeltilmesi

8) K katsayısının belirlenmesi

K katsayısı bir frekans faktörü olup bunun ile sağlanması düşünülen yağışın ortalamayı aşması gerekmektedir. Geçmişteki tüm kaydedilmiş yağışlar için hesaplanan K değerleri ile K'nın ekstrem (uç) değeri saptanır. Ortalama ($\bar{X}$) ile K değerleri grafiklenir ve tüm grafiklenen noktaları kapsayacak şekilde zarf eğrisi çizilir. Buna ilişkin bir örnek Şekil 5.6'da verilmiştir.

Hershfield K=15 olarak önermiştir. Bu değerinin 2600 istasyonda yapılan çalışmalardan elde edildiği bildirilmektedir. Türkiye için K=12.5 olarak kullanıldığı görülmektedir.




Şekil 5.6. Olası maksimum yağış K frekans faktörü zarf eğrisi, yıllık seriler için





## ÖRNEK UYGULAMA 5.1.

### Yağış frekans analizi

Adana Meteoroloji İstasyonunun uzun yıllık 24 saatlik maksimum yağış verileri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Weibull yöntemini kullanmak suretiyle gerekli hesaplamaların yapılması ve sonucun değişik olasılık kağıtlarına grafiklenmesi ve en uygununun seçilmesi farklı yineleme yıllarına ilişkin yağış değerlerinin tespiti istenmektedir.

### Çözüm 5.1:

Çizelge 5.1 de verilen yıllara göre 24 saatlik maksimum yağış verileri büyükten küçüğe ve yukarıdan aşağıya doğru sıralanmıştır. Çizelgede görüldüğü gibi m=1'e karşıt gelen en büyük yağış değeri 120,5 mm'dir. Tr=(n+1)/m ve P=100/Tr veya P=(m/n+1)100 eşitliği hesaplanmış, ilgili sütunlara yazılmıştır. Örneğin; Tr=(43+1)/1=44 yıl. % P = 100/(43+1)=2.27 veya % 2.27 bulunur. Bunun anlamı. 120,5 mm ve daha büyük 24 saatlik maksimum bir yağışın tekerrürü (yinelenmesi) 44 yıl, olma olasılığı ise 0.0227'dir. 120.5 mm ve daha büyük bir yağışın olmama olasılığı ise J=(1-P)=1-0.0227=0.9773 olur. Olma veya olmama olasılıkları temel alınarak grafiklenebilir, fakat eksen olma/olmama olarak belirtilmesi gerekir. Normal veya log-normal olasılık kağıtlarından taban eksen olmama olasılığı olarak seçilirse, üst eksen kendiliğinden olma olasılığını gösterir.

Sıralanmış değerler ile karşıtı olasılıklar, seçilmiş olasılık kağıdında doğru veya doğruya yakın bir dağılım gösterirse veriler o dağılıma uyuyor denir ve o olasılık grafik kağıdı seçilir. Normal dağılan veriler normal olasılık kağıdında doğru verirler.

Şekil 5.6'de görüldüğü gibi Noktalama log-normal ve Gumbel olasılık grafik kağıtlarına grafiklenmiş noktaların en iyi log-normal ve Gumbel dağılımına uyduğu Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi belirlenmiştir.

Olasılık grafik kağıdının kullanılması: Örneğin, 200 yıl yinelenmeyle beklenen bir yağışın büyüklüğü ne olur? sorusu sorulduğunda. söz konusu grafikten 200 yıl tekerrürlü veya 0.005 (P=1/200) (olmama olasılığı 0,995) olasılıkla beklenecek yağış miktarı 150 mm olarak okunur. Bu doğru yeterince uzatılabilir ve amaç için kullanılır.

***Dağılımların Noktalanmasında Analitik Yöntem :***Dağılımların noktalanmasına Beard'ın analitiksel çözümü yardımcı olur. Beard grafiksel noktalanmayı desteklemek için istatistiksel yönteme dayanan analitik çözümü sunuyor. Bu yöntem değişken elemanların normal dağıldığını gösterdiğini ve log-normal olasılık kağıdında doğru oluşturduğunu varsayar.

Bir olayın gözlem elemanlarının geometrik ortalaması olayın ortalama değerini vermek için bulunur. Ortalama değere göre sapmalar, doğru ilişkisinde frekans eğrisinin eğimini verir. Bu sapma "standart sapma" olarak adlandırılır ve ortalamaya eklenir veya ortalamadan çıkartılır :

Bu şekilde üç nokta elde edilir. Bu üç noktanın kuramsal olarak yüzde olasılıkları aşağıda olduğu gibi bilinmektedir.

$(\bar{X}+S_x)$ % 84,13

$(\bar{X}+0)$ % 50,0

$(\bar{X}-S_x)$ % 15,87

Bu noktalar olasılıklarına karşıt olarak olasılık grafik kağıtlarında grafiklenir. Bu üç noktanın oluşturduğu doğru, dağılımı temsil eder. Bu analitiksel yönteme *üç nokta yöntemi veya kuramsal yöntem* denir.

Hesaplamalar logaritmik dönüşüm esasına göre yapılmıştır.

Gumbel dağılımını temsil eden üç nokta yöntemi ile oluşturulan doğru üzerinde veya doğruyu temsil eden denklemden seçilen yinelenme yıllarına ilişkin yağış değerleri aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$X_{50}$=126 mm

$X_{100}$=140 mm

$X_{200}$=150 mm

$X_{2.33}$ =60 mm

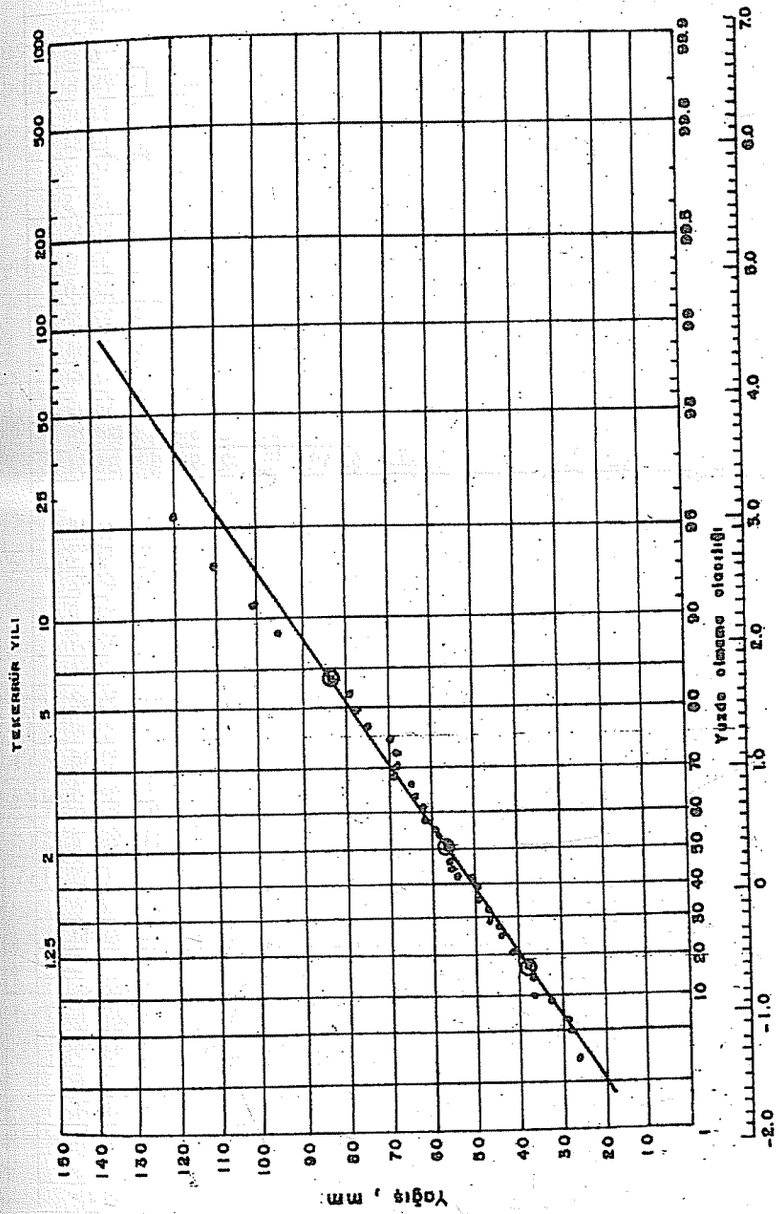
$X_5$ =80 mm

$X_{10}$=93 mm

$X_{25}$=108 mm








Şekil 5.7. Adana 24 saatlik maksimum yağışların tekerrür ve olasılıkları (Gumbel Dağılımı)

Çizelge 5.1. Adana Meteoroloji İstasyonunda Ölçülen 24 Saatlik Maksimum Yağışların Tekerrür ve Olasılık Analizi

| Yıllar | 24 Saatlik Yağış Mik.. mm | log | Sıra Numarası (m) | Büyüklük Sırası. Yağış (mm) | Tr=n+1/m Yıl | P=100/Tr % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1929 | 56.6 | 1.753 | 1 | 120.5 | 44.00 | 2.27 |
| 1930 | 82.7 | 1.918 | 2 | 120.4 | 22.0 | 4.55 |
| 1931 | 60.9 | 1.785 | 3 | 110.0 | 14.67 | 6.82 |
| 1932 | 33.2 | 1.521 | 4 | 102.5 | 11.00 | 9.09 |
| 1933 | 27.1 | 1.433 | 5 | 96.1 | 88.00 | 11.36 |
| 1934 | 37.8 | 1.578 | 6 | 82.7 | 7.33 | 13.64 |
| 1935 | 56.4 | 1.751 | 7 | 79.0 | 6.29 | 15.91 |
| 1936 | 77.6 | 1.890 | 8 | 78.9 | 5.5 | 18.18 |
| 1937 | 44.7 | 1.650 | 9 | 77.6 | 4.89 | 20.45 |
| 1938 | 55.8 | 1.747 | 10 | 75.3 | 4.40 | 22.73 |
| 1939 | 68.7 | 1.837 | 11 | 69.6 | 4.00 | 25.00 |
| 1940 | 68.0 | 1.833 | 12 | 68.7 | 3.67 | 27.27 |
| 1941 | 28.7 | 1.458 | 13 | 68.0 | 3.38 | 29.54 |
| 1942 | 52.3 | 1.719 | 14 | 68.0 | 3.14 | 31.80 |
| 1943 | 38.5 | 1.586 | 15 | 65.5 | 2.93 | 34.09 |
| 1944 | 45.0 | 1.653 | 16 | 64.3 | 2.75 | 36.36 |
| 1945 | 59.3 | 1.773 | 17 | 62.5 | 2.59 | 38.64 |
| 1946 | 26.8 | 1.428 | 18 | 61.8 | 2.44 | 40.91 |
| 1947 | 75.3 | 1.877 | 19 | 60.9 | 2.32 | 43.18 |
| 1948 | 65.5 | 1.816 | 20 | 59.5 | 2.20 | 45.45 |
| 1949 | 68.0 | 1.833 | 21 | 59.3 | 2.10 | 47.73 |
| 1950 | 41.7 | 1.620 | 22 | 56.6 | 2.00 | 50.00 |
| 1951 | 64.3 | 1.808 | 23 | 56.5 | 1.91 | 52.27 |
| 1952 | 79.0 | 1.898 | 24 | 56.4 | 1.83 | 54.55 |
| 1953 | 42.2 | 1.625 | 25 | 55.8 | 1.76 | 56.82 |
| 1954 | 56.5 | 1.752 | 26 | 52.3 | 1.69 | 59.09 |
| 1955 | 46.1 | 1.664 | 27 | 49.9 | 1.63 | 61.36 |
| 1956 | 47.1 | 1.673 | 28 | 49.8 | 1.57 | 63.64 |
| 1957 | 102.5 | 2.011 | 29 | 49.2 | 1.52 | 65.91 |
| 1958 | 49.8 | 1.697 | 30 | 47.1 | 1.47 | 68.18 |
| 1959 | 61.8 | 1.791 | 31 | 46.1 | 1.42 | 70.45 |
| 1960 | 62.5 | 1.796 | 32 | 45.0 | 1.38 | 72.73 |
| 1961 | 69.6 | 1.843 | 33 | 44.7 | 1.33 | 75.00 |
| 1962 | 96.1 | 1.983 | 34 | 42.2 | 1.29 | 77.27 |
| 1963 | 110.0 | 2.041 | 35 | 41.7 | 1.26 | 79.55 |
| 1964 | 49.9 | 1.698 | 36 | 39.4 | 1.22 | 81.82 |
| 1965 | 78.9 | 1.897 | 37 | 38.5 | 1.19 | 84.09 |
| 1966 | 49.2 | 1.692 | 38 | 37.8 | 1.16 | 84.36 |
| 1967 | 120.4 | 2.081 | 39 | 37.3 | 1.13 | 88.64 |
| 1968 | 120.5 | 2.081 | 40 | 33.2 | 1.10 | 90.90 |
| 1969 | 59.5 | 1.775 | 41 | 28.7 | 1.07 | 93.18 |
| 1970 | 37.3 | 1.572 | 42 | 27.1 | 1.05 | 95.45 |
| 1971 | 39.4 | 1.596 | 43 | 26.8 | 1.02 | 97.73 |





## ÖRNEK UYGULAMA 5.2.

### Olası Maksimum Yağış Hesabı

Daha önce verilen yöntemler kullanılarak ve önceki örnek uygulamanın bilgilerinden yararlanılarak olası maksimum yağış belirlenmek istenmektedir.

### Çözüm 5.2.

Çizelge 5.1'de verilen bilgilerin logaritması alınmadan elde edilen istatistiksel değerler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.2. İstatistiksel Değerler

| |
|---|
| 1) Veriler : Eski ve yeni diziler<br>N=43 N-1=42<br>$\bar{X}_N$= 60.772 $\bar{X}_{N-1}$=59.35<br>$S_N$=22.981 $S_{N-1}$=21.559 |
| 2) Yeni ve eski dizilerin ortalama ve standart sapma oranları<br>$\frac{\bar{X}_{N-1}}{\bar{X}_N}=\frac{59.350}{60.772}=0.9766$ $\frac{S_{N-1}}{S_N}=\frac{21.559}{22.981}=0.938$ |
| 3) Şekil 5.2'den 0.9766 ya karşı Tr=43 yıl için C1= 1.00 |
| 4) Şekil 5.3 den Tr=43 yıl için C2=1.01 |
| 5) Şekil 5.4 ten 0.938 e karşı Tr=43 yıl için C3=1.04 |
| 6) Şekil 5.5 ten Tr=43 yıl için C4=1.01 |
| 7) Düzeltilmiş ortalama ve standart sapma<br>$\bar{X}'_N = \bar{X}_N . C_1 . C_2$=60.772 x 1.00 x 1.01=61.38<br>$S'_N = S_N . C_3 . C_4$ =22.981 x 1.04 x 1.0 =24.139 |
| 6) Olası maksimum yağışın (OMY) bulunması<br>K=15 için (Hersfield önerisi)<br>$X_{OMY} = \bar{X}'_N + K.S'_N$= 61.38 + 15 x 24..139 = 423.47mm<br>K=12.5 için (Türkiye için önerilen)<br>$X_{OMY} = \bar{X}'_N + K.S'_N$= 61.38 + 12.5 x 24.139=363.12 mm |

**ÖRNEK UYGULAMA 5.3.**

**Zarf eğrisi ile beklenen yağış hesabı**

Uygulama 5.1 de verilen sayıların istatistiksel değerleri ile K zarf eğrisi değeri kullanılarak Denklem 5.3 yardımıyla beklenen yağış değeri bilinmek isteniyor.

**Çözüm 5.3:**

$\bar{X}_N = 60.772$ Düzeltilmiş $\bar{X}'_N = 61.380$

$S_N = 22.981$ Düzeltilmiş $S_{N-1} = 24.139$

$Cv = 22.981/60.772 = 0.378$

$Cv = 24.139/61.380 = 0.393$

$K = 14.5$ ($\bar{X}_N$ için)

$K = 14.3$ ($\bar{X}'_N$ için)

1) $X_N = \bar{X}_N(1+K.Cv) = 60.772(1+14.5x0378) = 394mm.$

2) $X_N = \bar{X}'_N(1+K.Cv) = 61.380(1+14.3x0.393) = 406mm$

### 5.1.5. Standart Proje Sağanağı (SPS)

Standart proje sağanağı, geniş barajların, yapıtların planlama ve projelenmesinde kritik derinlik olarak kullanılır. Bu değer genellikle drenaj havzasında tehlike doğurabilecek büyüklükteki sağanakların incelenmesi sonucu elde edilebilir. SPS olarak seçilen sağanak standart proje taşkını (SPT) için maksimum taşkın değerini geliştirir.

Standart proje sağanağı, olası-maksimum-yağış tahmininden farklılık gösterir. En şiddetli sağanak derinlik-alan-süre ilişkisine neden olan kaydedilmiş kayıttan desenlenir.

Genellikle, standart proje sağanağı yaklaşık olarak olası-maksimum-yağışın %50 si dolayında olduğu kanısı benimsenmektedir. SPS 'nin hesaplanmasında kullanılmak üzere, 4 veya 5 en büyük sağanak kaydının incelenmesi ve uygununun bulunması ve bir çeviri faktörünün bulunması gerekmektedir.





## 5.2. İstatistiksel Yaklaşım

Korelasyon ve regresyon gözlem sonucu ortaya çıkmış büyüklükler arasındaki ilişkinin derecesini bulma, bunu bir denklem ile tanımlama yöntemidir. x ve y gibi iki rastgele değişkenin aynı gözlem anında aldıkları değerler arasında bir ilişki varsa bu iki değişken arasında bir korelasyon vardır denir. Bağımsız değişkenlerden bir veya birden fazlasını değiştirdiğimiz zaman bağımlı değişkene olan etkisi incelenebilir. Değişkenler rastgele özelliğe sahip olduklarına göre aralarındaki bağıntı da deterministik bir bağıntı değildir. Bağımsız değişken (x)'in aldığı değer bilindiğinde, bağımlı değişkenin (y) alacağı değer kesin olarak belirlenemez. Korelasyon bağıntısında dikkate alınmayan diğer etkenlerin etkisiyle y az çok farklı değerler alabilir.

Bağımlı değişken araştırılan değer olup, bağımsız değişkenlere bağlıdır. Örneğin; bahar mevsimindeki yüzey akışı, diğer bütün etkenler yanında alandaki kar derinliği ile de doğrudan ilgilidir.

Değişkenlere bağlı fonksiyonlara, yani değişkenlerin oluşturduğu fonksiyonel ilişkiye *regresyon denklemi* denir. Diğer söyleyişle regresyon denklemi iki rastgele değişken arasındaki korelasyon bağıntısını tanımlayan matematiksel denklemdir. Regresyon denklemi ilişkinin doğrusal (lineer) veya doğrusal olmama (nonlineer) durumuna göre ikiye ayrılır. Regresyon ve korelasyon analizi konusu çok sayıda temel nitelikli kitaplar ve araştırmalar yapılmıştır. Yararlı olur amacıyla burada sadece Yevjevich, 1972; Snedecor ve Cochran, 1972; Steel, 1960; Freund, 1971 gibi bir kaçının ismini vermekle yetinilecektir.

### 5.2.1. Basit Doğrusal Regresyon ve Korelasyon

Basit doğrusal regresyon eşitliği aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$Y = a + bX \qquad (5.11)$$

Burada:

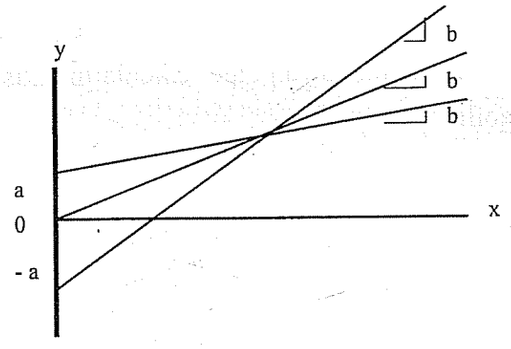
Y = Bağımsız X'e bağlı değişken (aranan)

X = Bağımsız değişken

a = Regresyon sabitesi (arakesit değeri)

b = Regresyon katsayısı, regresyon çizgisinin eğimi

Regresyon denkleminin oluşturulmasında adı geçen parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanır. Regresyon çizgileri Şekil 5.8'de gösterilmiştir.




Şekil 5.8. Regresyon denklemleri.

Regresyon analizi aşamaları:

1) ***"b" nin hesabı***

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \qquad (5.12)$$

Burada:

$$xy = \sum (X - \overline{X})(Y - \overline{Y}) = \sum (\Delta x . \Delta y) \qquad (5.13)$$

$$xy = \sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N} \qquad (5.14)$$





$$xy = \sum XY - N.\overline{Y}.\overline{X} \qquad (5.15)$$

$$x^2 = \sum (X - \overline{X})^2 = \sum \Delta x^2 \qquad (5.16)$$

$$x^2 = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N} \qquad (5.17)$$

$$x^2 = \sum X^2 - N\overline{X}^2 \qquad (5.18)$$

Bu denklemlerde:

N= Gözlem sayısı

$$\overline{X} = \sum X / N \quad \text{(ortalama)} \qquad (5.19)$$

$$\overline{Y} = \sum Y / N \quad \text{(ortalama)} \qquad (5.20)$$

2)***"a" nın hesabı***

Regresyon çizgisi örnekleme ortalamasından geçeceğinden, regresyon ilişkisi aşağıdaki şekilde yazılabilir ve buradan "a" regresyon sabitesi hesap edilebilir.

$$Y - \overline{Y} = b (X - \overline{X}) \qquad (5.21)$$

$$Y = \overline{Y} + b (X - \overline{X}) \qquad (5.22)$$

$$Y = (\overline{Y} - b\overline{X}) + bX \qquad (5.23)$$

Denklem (5.23)'de görülen regresyon eşitliğinde

$$a = \overline{Y} - b\overline{X} \qquad (5.24)$$

şeklinde yazılabilir.

Varyans analizlerinde ve dolayısıyla korelasyon ve regresyon analizlerinde kullanılan diğer parametreler ise:

3) "**X**" ve "**Y**" ***ye göre standart hatalar***

$$S_x^2 = \frac{\sum \Delta x^2}{N-1} = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N-1} \qquad (5.25)$$

$$S_y^2 = \frac{\sum \Delta y^2}{N-1} = \frac{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}}{N-1} \qquad (5.26)$$

Burada:

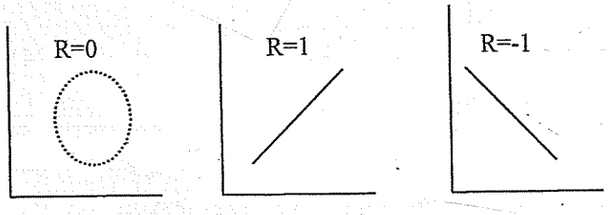
n - 1 = Serbestlik derecesini gösterir.

4) ***Korelasyon katsayısı*** **"R"**

$$R^2 = b - \frac{Sx}{Sy} = \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2 . \sum y^2} \qquad (5.27)$$

Korelasyon katsayısı bağımsız "X" ile bağımlı "Y" değişkeni arasındaki ilişkiyi gösterdiğinden, R'nin pozitif olması "b" ye bağlı olarak X değerinin artmasıyla Y değerinin artacağını gösterir. R nin negatif olması ise yukarıdaki tanımın tersini tanımlar.

Korelasyon katsayısının mutlak değeri, R, 0 ile 1 arasında, diğer bir ifade ile -1<R<1 arasında değişir. X ve Y'nin bütün olarak bağımsız olması koşulunda ortak olasılık dağılım fonksiyonu X ve Y değişkenlerinin olasılık dağılım fonksiyonlarının çarpımına eşit olacağından P(X.Y) = P(X).P(Y) = 0 olur. Bu değişkenler arasında




Şekil 5.9. Korelasyon katsayılarının durumu





doğrusal bir bağıntının olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısı 0 dan 1'e yaklaştığı zaman aralarındaki doğrusal bağıntının arttığını gösterir.

Korelasyon katsayısının sıfırdan farklı çıkması. X ile Y arasında doğrusal bir bağıntının olmasını gerektirmez. Değişkenler arasında anlamlı bir bağıntının varlığının çeşitli istatistik test yöntemleriyle kontrol edilmesi gerekir. Bunlardan birisi ve en basiti şöyle ifade edilir.

$$|R| > 3\frac{1-R^2}{N} \qquad (5.28)$$

Bu denklem koşulu sağlanırsa korelasyon katsayısının sıfırdan anlamlı derecede farklı olduğuna karar verilebilir. Bu test daha kuvvetli hale getirmek için aşağıdaki ilişki kullanılır.

$$|R| > 4\frac{1-R^2}{N} \qquad (5.29)$$

Bazı koşullarda hidrolojide korelasyon katsayısının bir baz değerin (örneğin R=0,60) üstünde olması şartı aranır.

Tarımdaki uygulamalarda genellikle korelasyon katsayısının 0.70'in üzerinde olması, yeterli bir ilişkinin olduğuna delil kabul edilebilir.

# BÖLÜM 6 TAŞKIN ANALİZİ

Taşkın, belirli bir gözlem süresindeki akışların üst sınırı veya gidiş çizgisinin en büyük değeridir. Taşkın yataktan taşarak çevredeki yerleşim birimlerinin tarım arazilerinin su altında kalmasına neden olur. Buna göre taşkın, mala veya cana zarar veren ve zamanla çabuk değişen yüksek akım veya seviyedir. Taşkından korunmak için, kabul edilen süredeki taşkın büyüklüğünü belirlenmesi gerekir. Bu bölümde, bu konuda bilgi verilecektir.

## 6.1. Taşkın Analizi

Taşkın analizleri için bir kısım bilgilere gerek vardır. Bunlar özet olarak şöyle sıralanabilir.

1) Topoğrafik haritalar, 2) Taşkın gözlem verileri, 3)Yağış analiz sonuçları, 4) Havza kullanım durumu ve havza karakteristikleri, 5) Diğer meteorolojik bilgiler.

Havza taşkınlarının belirlenmesi yöntemleri ise 4 grupta verilebilir.

1) Klasik taşkın denklemleri,
2) Taşkınların akım verileri ile analizi (Frekans analizi - Olasılık ve stokastik yaklaşımlar),
3) Birim hidrograf analizleri,
4) Zarf eğrisi yaklaşımı,

Bunlar izleyen kısımlarda konu edilecek ve açıklanacaktır.

### 6.1.1. Klasik Taşkın Denklemleri ile Taşkın Hesabı

Taşkın denklemleri genellikle konu olan alandaki sorunu çözmek için teorik, amprik veya bunların karışımı olarak geliştirilmiştir. Bunlar denendikleri alanların özellikleri, iklim şartları,

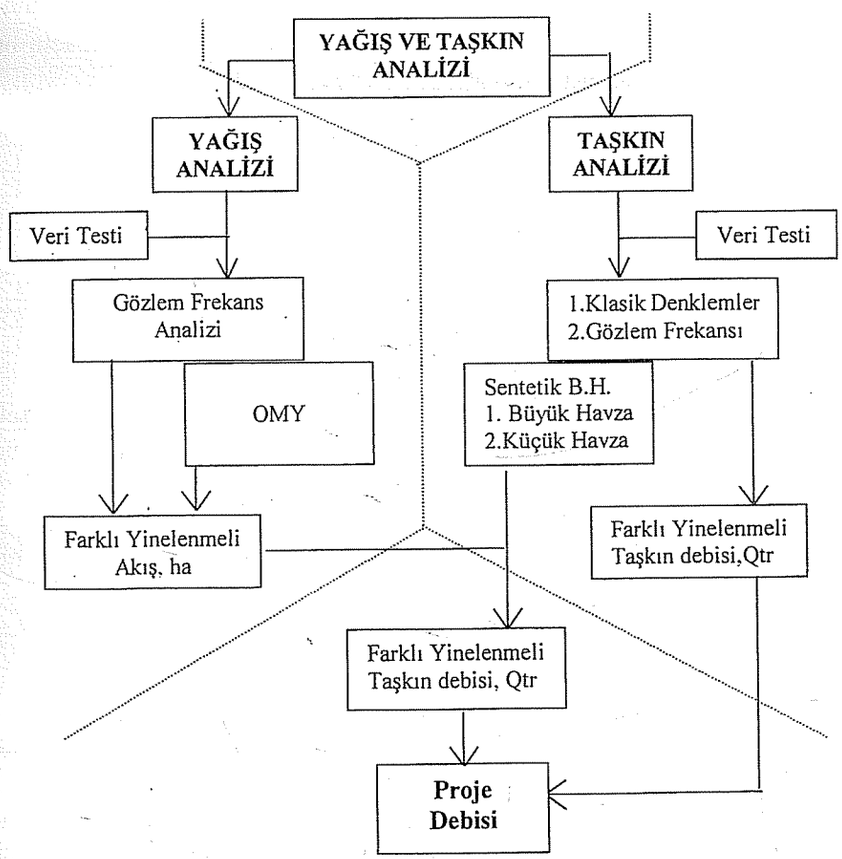




drenaj alanlarının büyüklükleri ve diğer özellikleri ile sınırlı kalmakta, yeterli havza parametresi de içermemektedir. Bu nedenlerle artık bu denklemler pek kullanılmamaktadır. Burada bunlardan bazılarının isimlerinin verilmesi ile yetinilecektir. Bunlar;

- R.Hofhauer Denklemi
- P.Kresnik Denklemi
- Hofman Denklemi
- Myers Denklemi
- İskowki Denklemidir.

Bu bölüm Şekil 6.1'de gösterilen taşkın analiz kısmına bağlı olarak işlenecektir. Yağış analiz kısmı Bölüm 5'de açıklanmıştır. İşlem bütünlüğü açısından burada yağış ve taşkın analizi aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.




Şekil 6.1. Yağış-Taşkın analizi akış şeması

## 6.2.Taşkınların Akım Verileri ile Hesabı (Frekans Analizi)

Taşkınların akım verileri ile hesabında da birçok yöntem geliştirilmiştir. Aşağıda sıralanacak olan bu yöntemlerden Gumbel ,hesapla tayin ve aynı zamanda grafikle çözüm imkanına sahip olduğu için hala yaygın olarak kullanılmakta ve hidroloji kitaplarında ayrıntılı olarak konu edilmektedir. Bu yöntemler;

- Gumbel yöntemi
- Foster yöntemi
- Slade yöntemi
- Fuller yöntemi
- Prechet yöntemi
- Potter yöntemi
- Hazen yöntemi
- Weiss yöntemi

Bunlara ilave olarak

- Bölgesel taşkın frekans analizi yöntemi
- Taşkınların tarihi akım verileri ile hesabı ve diğerleri sayılabilir.

Bu yöntemlerin ayrıntısına burada girilmeyecek, ancak gözlenmiş yıllık maksimum akış değerleri P=(M/n+1)100 yöntemiyle Gumbel grafik kağıdına grafiklenerek farklı yinelenmeli yıllar için bu grafikten debi değerleri okunacaktır.

### ÖRNEK UYGULAMA 6.1:

**Dağılımların birlikte uygulaması**

Bir nehir üzerindeki akış ölçmelerinden sağlanan maksimum yıllık akış debileri (Q) $m^3$ /sn olarak Çizelge 6.1'de verilmiştir.

1) Weibull (P =m/(n+1) noktalama yöntemini kullanılarak çizelgede verilen akış gözlem verisi *Gumbel* olasılık kağıdına (uç değer dağılım kağıdı) grafiklenecektir.

2) *Gumbel (uç I)* dağılımının istatistiksel parametreleri bulunarak kuramsal üç nokta değerleri hesaplanacak ve Gumbel grafik kağıdına işaretlenecektir.

### Çözüm 6.1:

Çizelgede görüldüğü gibi sayılar büyüklük sırasına dizilmiş, logaritmaları alınmış ve olasılık (P=(m/N+1)100 ve yinelenme Tr=1/P durumu hesaplanmış, ilgili sütunlara yazılmıştır. Grafik kağıdına sütun (4) ile Sütun (6) veya (7) karşılıklı olarak grafiklenmiştir (Şekil





6.2). Göz tahmini olarak veya yağış analizi konusunda olduğu gibi üç nokta yöntemiyle noktalar bir doğru ile temsil edilir.

Kuramsal üç nokta olasılık değerleri

| Olasılık | Gumbel | Olasılık | Log-Gumbel |
|---|---|---|---|
| $F(\bar{x}+S_x) = \%15.87$ | 101.88 | $F(\bar{y}+S_y) = \%15.87$ | 93.19 |
| $F(\bar{x}) = \%50$ | 58.67 | $F(\bar{y}) = \%50$ | 46.24 |
| $F(\bar{x}-S_x) = \%84.13$ | 14.44 | $F(\bar{y}-S_y) = \%84.13$ | 22.95 |

Eğer normal Gumbel olasılık grafik kağıdında noktalar bir doğru etrafında yoğunlaşmamışsa log-Gumbel veya log-normal veya log Prearson Tip dağılımları denenir uygunluk testleri yapılır.

Çizelge 6.1. Maksimum Yıllık Akış Olasılık ve Tekerrür Analizi (Noktalama Pozisyonu)

| Kayıt Yılı | Max. Akım x $m^3$/sn | Sıra Sayısı m | Büyüklük Sırası x $m^3$/sn | y=Log x | P=(m/N+1)100 | Tr=(N+1)/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| 1929 | 15.2 | 1 | 230.0 | 2.3617 | 3.23 | 31.00 |
| 1930 | 60.0 | 2 | 122.0 | 2.0864 | 6.45 | 15.50 |
| 1931 | 15.0 | 3 | 114.0 | 2.0569 | 9.68 | 10.33 |
| 1932 | 54.4 | 4 | 110.0 | 2.0414 | 12.90 | 7.75 |
| 1933 | 10.8 | 5 | 91.8 | 1.9628 | 16.13 | 6.20 |
| 1934 | 26.3 | 6 | 77.1 | 1.8871 | 19.35 | 5.17 |
| 1935 | 40.1 | 7 | 73.2 | 1.8645 | 22.58 | 4.43 |
| 1936 | 43.8 | 8 | 69.7 | 1.8432 | 25.81 | 3.88 |
| 1937 | 33.1 | 9 | 68.8 | 1.8376 | 29.03 | 3.44 |
| 1938 | 230.0 | 10 | 61.8 | 1.7910 | 32.26 | 3.10 |
| 1939 | 12.6 | 11 | 61.4 | 1.7882 | 35.48 | 2.82 |
| 1940 | 114.0 | 12 | 60.0 | 1.7782 | 38.71 | 2.58 |
| 1941 | 122.0 | 13 | 54.4 | 1.7356 | 41.94 | 2.38 |
| 1942 | 110.0 | 14 | 52.8 | 1.7226 | 45.16 | 2.21 |
| 1943 | 69.7 | 15 | 49.1 | 1.6911 | 48.39 | 2.07 |
| 1944 | 32.2 | 16 | 44.3 | 1.6464 | 51.61 | 1.94 |
| 1945 | 61.8 | 17 | 43.8 | 1.6415 | 54.84 | 1.82 |
| 1946 | 40.7 | 18 | 40.7 | 1.6096 | 58.06 | 1.72 |
| 1947 | 73.2 | 19 | 40.1 | 1.6031 | 61.29 | 1.63 |
| 1948 | 38.7 | 20 | 38.7 | 1.5877 | 64.52 | 1.55 |
| 1949 | 44.3 | 21 | 38.7 | 1.5877 | 67.74 | 1.48 |
| 1950 | 38.7 | 22 | 33.1 | 1.5198 | 70.97 | 1.41 |
| 1951 | 52.8 | 23 | 32.3 | 1.5092 | 74.19 | 1.38 |
| 1952 | 77.1 | 24 | 32.2 | 1.5079 | 77.42 | 1.29 |
| 1953 | 49.1 | 25 | 26.3 | 1.4200 | 80.65 | 1.24 |
| 1954 | 24.8 | 26 | 24.8 | 1.3945 | 83.87 | 1.19 |
| 1955 | 32.3 | 27 | 15.2 | 1.1618 | 87.10 | 1.15 |
| 1956 | 91.8 | 28 | 15.0 | 1.1761 | 90.32 | 1.11 |
| 1957 | 61.4 | 29 | 12.6 | 1.1004 | 93.55 | 1.07 |
| 1958 | 68.8 | 30 | 10.8 | 1.0334 | 96.77 | 1.03 |
| | | | $\bar{x}$ =58.16 | $\bar{y}$=1.6649 | | |
| | | | $S_x$ =43.72 | $S_x$ =0.3042 | | |

- *Örnek olarak yalnız log-Gumbel grafiği verilmiştir (Şekil 6.2). Grafik, sütun (4) ile sütun (7)'nin grafiklenmesiyle oluşturulmuştur.*

Kıyaslama amacıyla yöntem sonuçları aşağıda özetlenmiştir. Görüldüğü gibi log-Gumbel çok farklı değerler vermiştir.

*Grafiklerden okunan yinelenmeli debi değerleri, $m^3/sn$:*

| Yinelenme | Gumbel | Log-Gumbel | Log-Normal |
|---|---|---|---|
| $Q_{2.33}$ | 55 | 46 | 54 |
| $Q_{10}$ | 119 | 140 | 120 |
| $Q_{25}$ | 150 | 250 | 160 |
| $Q_{50}$ | 175 | 400 | 200 |
| $Q_{100}$ | 200 | 800 | 250 |

## 6. 3. Taşkın Hacimlerinin Hesabı

Hesaplanan veya Gumbel grafik kağıdından okunan debiler ($m^3/sn$) günün saniye sayısı (86400) ile çarpılarak hacme çevrilir. Hidrografların altındaki alan da hacmi verir. Bunun uygulamaları problemler içinde yapılacaktır.

## 6.4. Sentetik Birim Hidrograf Yöntemiyle Taşkınların Hesabı

Birim hidrograf, bir drenaj alanın bütününde, belli bir süre devam eden ve birim derinlikte akış meydana getiren bir yağış fazlasının ortaya çıkardığı hidrograftır. Bu, akarsu kesitindeki debi değişimini gösterir. Birim hidrograf varsayımlar üzerine kurulur. Doğal hidrografların oluşturulamadığı koşullarda sentetik hidrograflar geliştirilir. Birçok sentetik hidrograf geliştirilmiştir.

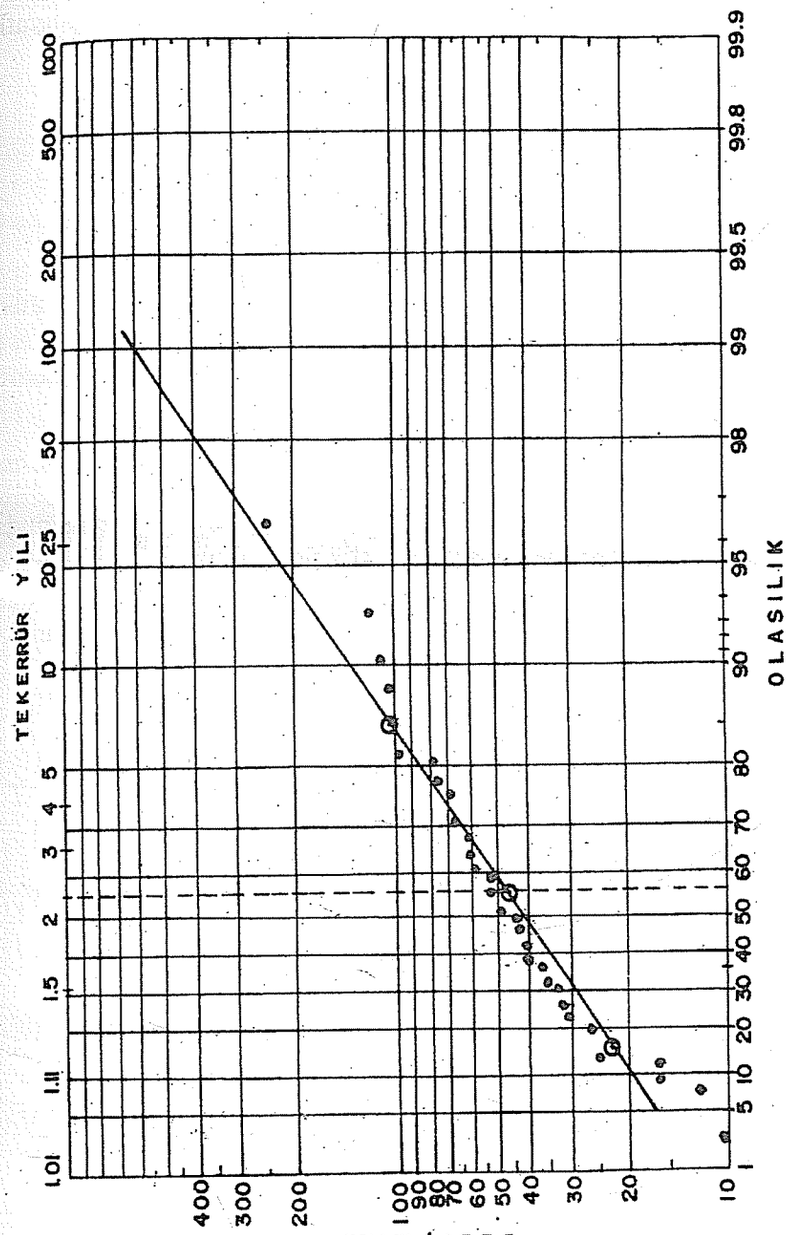
Burada sentetik hidrograflar konu edilecek, DSİ, Snyder ve Mockus sentetik hidrografları hakkında bilgi verilecektir.

### 6.4.1. Sentetik Yöntemle Hidrograf Oluşturulması, DSİ Yöntemi

Sentetik yöntemle birim hidrografın elde edilmesi DSİ'de yaygın olarak kullanıldığı için DSİ sentetik yöntemi olarak ta bilinmektedir.








Şekil 6.2. Yıllık maksimum akışların Gumbel olasılık kağıdına grafiklenmesi

Hidrografın elde edilmesinde koşul 1000 km$^2$ ye kadar olan drenaj alanları için kullanılmasıdır. Drenaj alanı bu alandan daha büyükse alan küçük alanlara ayrılarak her biri için ayrı hidrograf çizilir ve drenaj alanında ayrılmış olan kesitlerine göre geciktirilen hidrograflar noktalanarak bütün drenaj alanına ait hidrograf elde edilir.

**DSİ Yönteminin aşamaları:**

1) Harmonik eğimin bulunması:

$$S = \left( \frac{10}{\sum \frac{1}{\sqrt{s_i}}} \right)^2 \qquad (6.11)$$

Harmonik eğimin bulunması için akarsu kaynağından başlanarak proje kesitine kadar yükseklik ve uzaklıklar Çizelge 6.2 de toplanır. Bu değerler karşılıklı olarak grafiklenir, sonra toplam akarsu uzaklığı 10 eşit parçaya (L) bölünerek her bir parçada oluşan kot farkları (H) belirlenir ve ayrı bir çizelge toplanır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.2. Ana Suyolu Kot ve Uzaklıkları

| h, kot (m) | P, uzunluk (m) | $\sum$p (m) |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |

Çizelge 6.3. Ana Suyolu Eğiminin Hesabı

| Sıra No. | H (m) | L (m) | $s_i$=h/L | $\sqrt{s_i}$ | $1/\sqrt{s_i}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1<br>2<br>.<br>.<br>10 | | | | | |
| | $\sum$ | | | | $\sum$ |





2) $q_p$ = lt/sn/km$^2$/mm, birim alan debisinin *grafikten* okunması ve *analitik* olarak bulunması

• *$q_p$ nin Grafikten bulunması:*

Bunun için aşağıdaki orantı değeri hesaplanır

$$E = \frac{L.L_c}{\sqrt{S}} \qquad (6.12)$$

Burada; L= Ana su yolu uzunluğu, Lc = Drenaj alanı ağırlık merkezinin en uzun ana akarsu üzerindeki izdüşümü ile proje kesiti arasındaki mesafe olup aynı haritadan ölçülür veya bilgisayar paket programlarından yararlanılır.

*Ağırlık merkezinin bulunması:* Yağış alanı ölçekli olarak bir karton üzerine çizilip kesilmesi, çeşitli noktalardan asılmak suretiyle ağırlık merkezi bulunur.

Havza alanı ve bu oran ( E ) yardımıyla Şekil 6.3'ten $q_p$ değeri okunur.

• *$q_p$ nin analitik olarak hesabı:*

$$q_p = \frac{414}{A^{0.225}.E^{0.16}} \qquad (6.13)$$

3) $Q_p$, toplam alan (A) debisinin hesabı

$$Q_p = A.q_p.10^{-3} \quad m^3/sn/mm \qquad (6.14)$$

4) $V_b$, birim hacmin hesabı ($h_a$=1 mm akış için)

$$V_b = A.h_a.10^3 \qquad (6.15)$$

5) $T_b$, hidrograf toplam süresinin hesabı

$$T_b=3.65\frac{V_b}{Q_p} \qquad (6.16)$$

6) $T_p$, hidrograf yükselme zamanının hesabı

$$T_p=\frac{T_b}{5} \qquad (6.17)$$

Bu yöntemde proje sağanak süreşinin 2 saatin katlarından biri olarak alınması halinde T ve $T/T_p$ nin tam sayı olmasının gerekmesi nedeniyle, birim hidrograf yerine, 2 saat süreli her bir artışa ait debilerin (Q) Çizelge 6.4'ten yararlanılarak çizilmiş hidrografların süperpozesi yapılmaktadır.

Proje sağanak süreleri için bu yol uzun ve zaman alıcı olduğundan, çok kere sonuçların birim hidrograf kullanarak elde edilmesi daha kolay olmaktadır.

Drenaj havzası için hesaplanan Tp değerleri T/Tp ile ve Qp değeri ise Q/Qp değerleri ile çarpılarak T ve Q değerleri elde edilir. Bu değerler milimetrik grafik kağıdına grafiklenerek tek pikli basit hidrograf elde edilir.

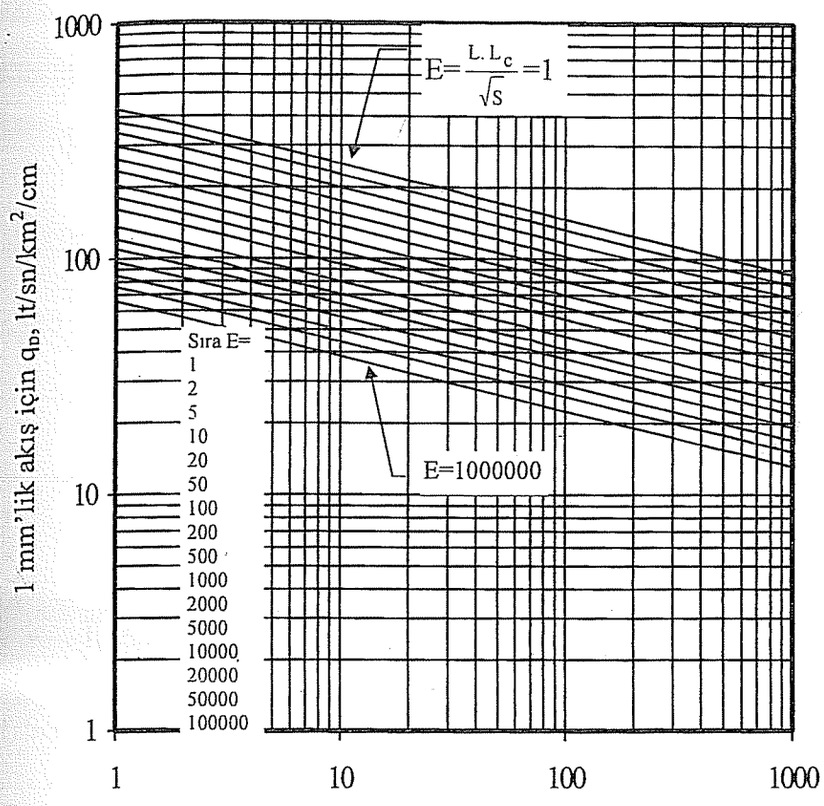
Çizelge 6.4. Boyutsuz Birim Hidrograf Koodinatları*

| $T/T_p$ | $Q/Q_p$ | $T/T_p$ | $Q/Q_p$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.000 | 1.4 | 0.75 |
| 0.1 | 0.015 | 1.5 | 0.66 |
| 0.2 | 0.075 | 1.6 | 0.56 |
| 0.3 | 0.16 | 1.8 | 0.42 |
| 0.4 | 0.28 | 2.0 | 0.32 |
| 0.5 | 0.43 | 2.2 | 0.24 |
| 0.6 | 0.60 | 2.4 | 0.18 |
| 0.7 | 0.77 | 2.6 | 0.13 |
| 0.8 | 0.89 | 2.8 | 0.098 |
| 0.9 | 0.97 | 3.0 | 0.075 |
| 1.0 | 1.00 | 3.5 | 0.036 |
| 1.1 | 0.98 | 4.0 | 0.018 |
| 1.2 | 0.92 | 4.5 | 0.009 |
| 1.3 | 0.84 | 5.0 | 0.004 |

*Klasik hidroloji kitaplarından alınabilir.








Şekil 6.3. Drenaj alanı verim grafiği

**ÖRNEK UYGULAMA 6.2:**

**DSİ yöntemi ile sentetik birim hidrograf elde edilmesi**

*Havzaya ilişkin bilgiler:*

A=140 km$^2$ drenaj alanı

L= 27 km. havzanın en uzun akarsu boyu

Lc= 14 km. proje kesitinden, ağırlık merkezinin ana suyoluna olan izdüşüm noktasına olan uzunluk

h=kot, m. (münhani), Çizelge 6.5.

p=Münhaniler arasındaki ana su yolu yatay uzunluğu, Çizelge 6.5.

Çizelge 6.5. Anasuyolu Kot ve Uzunlukları

| h, kot (m) | P, uzunluk (m) | L=∑p (m) |
|---|---|---|
| 120 | 0 | 0 |
| 120-110 | 125 | 125 |
| 110-100 | 105 | 230 |
| 100-90 | 145 | 375 |
| 90-80 | 1100 | 1475 |
| 80-70 | 1170 | 2645 |
| 70-60 | 1825 | 4470 |
| 60-50 | 4725 | 9195 |
| 50-40 | 3120 | 12315 |
| 40-30 | 2700 | 15015 |
| 30-20 | 3330 | 18345 |
| 20-10 | 5550 | 23895 |
| 10-05 | 3105 | 27000 |

Çizelge 6.6. Ana Suyolu Eğiminin Hesabı

| Sıra No. | h (m) | ΔL(m) | $s_i=h/\Delta L$ | $\sqrt{s_i}$ | $1/\sqrt{s_i}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 41 | 2700 | 0.0152 | 0.123 | 8.1 |
| 2 | 19 | " | 0.0070 | 0.084 | 11.9 |
| 3 | 5 | " | 0.0019 | 0.044 | 22.7 |
| 4 | 9 | " | 0.0033 | 0.057 | 17.4 |
| 5 | 10 | " | 0.0037 | 0.061 | 16.4 |
| 6 | 8 | " | 0.0014 | 0.037 | 26.7 |
| 7 | 5 | " | 0.0019 | 0.044 | 22.7 |
| 8 | 6 | " | 0.0022 | 0.047 | 21.3 |
| 9 | 9 | " | 0.0033 | 0.057 | 17.5 |
| 10 | 3 | " | 0.0011 | 0.033 | 30.3 |
| | ∑115 | | | | ∑195 |

1) Sentetik hidrograf ile ilgili bilgilerin hesaplanması

$$S=\left(\frac{10}{\sum\frac{1}{\sqrt{s_i}}}\right)^2=\left(\frac{10}{195}\right)^2=(0.0513)^2=0.0026$$





$$E=\frac{L.L_c}{\sqrt{S}}=\frac{27x14}{0.051}=\frac{378}{0.051}=7412$$

- $q_p$=32,729 lt/sn/km$^2$/mm ≈33.10$^{-3}$ m$^3$/sn/km$^2$/mm
  (A=140 km$^2$ ve E=7412 değerleri ile Şekil 6.3 ten alınır veya Denklem 6.13 ile hesaplanır)

- $Q_p=A.q_p.10^{-3}$= 140x33.10$^{-3}$=4.62 m$^3$/sn/mm

  $V_b=A.h_a.10^3$=140.10$^6$m$^2$x1.10$^{-3}$m=140.000 m$^3$

- $T_b=3.65\frac{V_b}{Q_p}=3.65\frac{140000}{4.62}$=110606 sn=31saat

- $T_p=\frac{T_b}{5}=\frac{31}{5}$=6.2 saat

2) Sentetik hidrografın çizilmesi

Çizelge 6.4'deki sütunların daha önce hesaplanan $T_p$ ve $Q_p$ değerleri ile çarpımı sonucu oluşan yeni hidrograf eksen değerleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 deki T ve Q sütunları karşılıklı olarak grafiklenerek sentetik birim hidrograf elde edilir (Şekil 6.4).

*Kritik:*

- $T_p$'nin 2 saatten küçük çıkması durumunda bu yöntemin kullanılması önerilmemektedir. Çünkü yağış devam ederken hidrografın yükselmeyerek azaldığını gösterir, buda mümkün değildir.

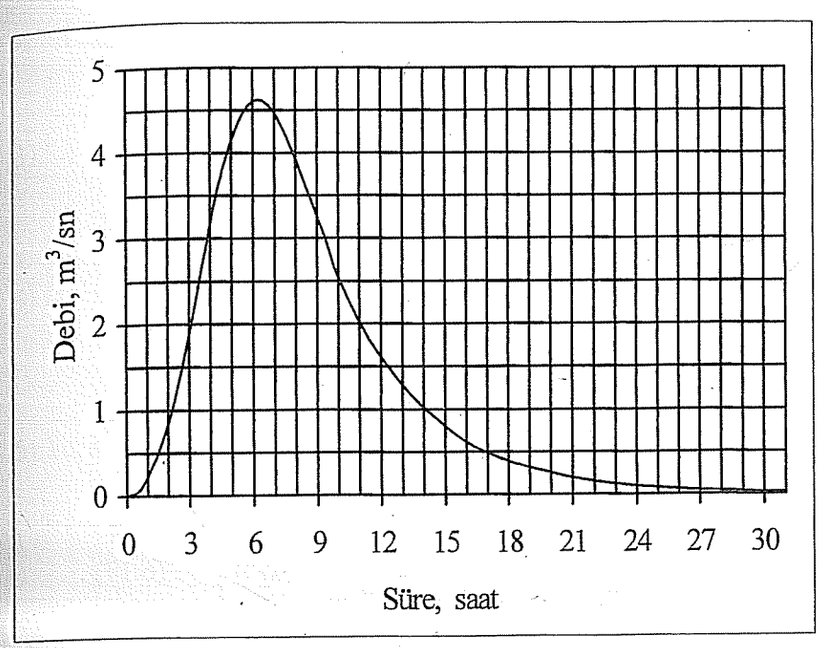
- Sentetik proje sağanak süresinin 2 saatin katlarından biri olarak alınması durumunda T ve $T/T_p$ nin tam sayı olmasının gerekmesi nedeniyle, birim hidrograf yerine, boyutsuz standart hidrograf oranlarından yararlanılarak oluşturulan hidrografların 2 şer saat artım süreli süperpozesi yapılması önerilmektedir. Uzun sağanak süreleri için bu yolun zahmetli olması, bunun yerine birim hidrograf yöntemi tercih edilmektedir.

Çizelge 6.7. Boyutsuz Birim Hidrograf Koordinatları

| $T/T_p$ | $Q/Q_p$ | $(T/T_p)T_p$ | $(Q/Q_p)Q_p$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 0,1 | 0,015 | 0,62 | 0,07 |
| 0,2 | 0,075 | 1,24 | 0,35 |
| 0,3 | 0,16 | 1,86 | 0,74 |
| 0,4 | 0,28 | 2,48 | 1,29 |
| 0,5 | 0,43 | 3,10 | 1,99 |
| 0,6 | 0,6 | 3,72 | 2,77 |
| 0,7 | 0,77 | 4,34 | 3,56 |
| 0,8 | 0,89 | 4,96 | 4,11 |
| 0,9 | 0,97 | 5,58 | 4,48 |
| **1** | **1** | 6,20 | 4,62 |
| 1,1 | 0,98 | 6,82 | 4,53 |
| 1,2 | 0,92 | 7,44 | 4,25 |
| 1,3 | 0,84 | 8,06 | 3,88 |
| 1,4 | 0,75 | 8,68 | 3,47 |
| 1,5 | 0,66 | 9,30 | 3,05 |
| 1,6 | 0,56 | 9,92 | 2,59 |
| 1,8 | 0,42 | 11,16 | 1,94 |
| 2 | 0,32 | 12,40 | 1,48 |
| 2,2 | 0,24 | 13,64 | 1,11 |
| 2,4 | 0,18 | 14,88 | 0,83 |
| 2,6 | 0,13 | 16,12 | 0,60 |
| 2,8 | 0,098 | 17,36 | 0,45 |
| 3 | 0,075 | 18,60 | 0,35 |
| 3,5 | 0,036 | 21,70 | 0,17 |
| 4 | 0,018 | 24,80 | 0,08 |
| 4,5 | 0,009 | 27,90 | 0,04 |
| 5 | 0,004 | 31,00 | 0,02 |








Şekil 6.4. Sentetik birim hidrograf (DSİ)

### 6.4.2. Mockus Sentetik Birim Hidrografı

Bu yöntem üçgen hidrograf yöntemi olarak ta bilinmektedir. Ancak bu yöntemle eğrisel hidrograflar da geliştirilebilmektedir. Üçgen hidrograflar rezervuarlarda ve akarsu yataklarındaki ötelemelerde de eğrisel hidrograflar kadar hassas sonuçlar vermektedir. Ancak hidrograf kuyruğunun projelendirmelere etki ettiği durumlarda eğrisel hidrografların oluşturulması zorunlu olmaktadır.

Mockus yönteminde koşullar:

- *Su toplama (konsantrasyon) zamanı* (Tc):

Tc=30 saat kadar olan drenaj alanları için geçerlidir. Alanların daha büyük olması durumunda alan kısımlara ayrılması ve her bir kısım alan için ayrı ayrı hidrograflar çizilip geciktirme zamanlarına göre süperpoze edilmesi gerekir.

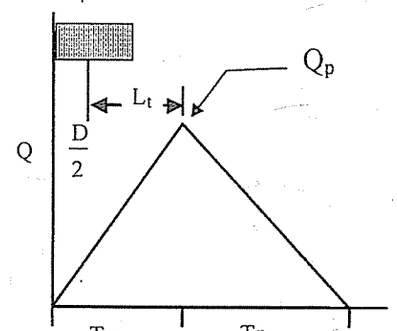
- *Birim sağanak süresinin (ΔD) seçiminde koşullar:*
  - $\Delta D \leq \frac{Tc}{5}$ Genel koşul,
  - İlk 6 saatlik proje sağanak süresi için ΔD=1 saat,
  - Tc<3 saat ise ΔD=0.5 saat,
  - Tc=10-15 saat ise ΔD=2 saat,
  - Tc=15-30 saat ise ΔD=3 saat alınır.

**MockusYöntemi aşamaları:**

1) $Q_p$, Pik debi genel denklemi

$$Q_p = \frac{0.208.A.h_a}{T_p} \qquad (6.17)$$

Burada; A=Havza alanı, $km^2$, $h_a$= Yüzey akış mm, $T_p$=Pik süre, saat.




2) $T_p$, Pik süre

Yüzey akışın başlamasından pik noktaya gelene kadar geçen süre-yükselme süresidir. Aynı denklemin üç farklı yazılışı verilmiştir.

$$T_p = \frac{D}{2} + L_t \quad \text{veya} \qquad (6.18)$$





$$T_p = \sqrt{Tc} + 0.6Tc \quad \text{veya} \qquad (6.19)$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6Tc \qquad (6.20)$$

3).$L_t$, gecikme süresi

$$L_t = 0.6Tc \qquad (6.21)$$

4) D, taşkını meydana getiren yağış süresi

$$D = 2\sqrt{Tc} \qquad (6.22)$$

5) Tc, su toplanma (konsantrasyon) süresi

$$Tc = 0.0195\frac{L^{1.15}}{H^{0.385}} \quad \text{veya} \qquad (6.23)$$

$$Tc = 0.0195\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \qquad (6.24)$$

Burada;

L= Ana su yolu uzunluğu, m
H=Memba ile proje kesiti (çıkış) arası kot farkı
S=Harmonik eğim.

Bazen harmonik eğim bilgisi olmayabilir, sadece ana kanal uzunluğu ve kot farkı bilinebilir. Bu iki denklemin de kullanılma imkanı varsa büyük değer veren tercih edilmektedir.

6) Üçgen hidrograf bağıntıları

Taban süre $T_b = T_p + T_r$ veya

$$T_b = T_p + 1.67T_p = 2.67T_p \qquad (6.25)$$

Geri çekilme süresi $Tr = 1.67Tp$ (6.26)

8) ΔD, birim sağanak süresinin seçilmesi

$$\Delta D = \frac{Tc}{5} \qquad (6.27)$$

Buçuklu değerler bir üste tamamlanır, süperpoze işlemi buna göre yapılır.

## ÖRNEK UYGULAMA 6.3:

### Mockus Sentetik birim hidrograf yöntemi

Bir su toplama havzasına ait aşağıda verilen sayısal değerler ile havza için sentetik birim hidrograf elde edilmek istenmektedir.

**Çözüm 6.3:**

*Havzaya ilişkin bilgiler:*

A=140 km$^2$

L=27 km

H=120-5=115m

S=0.0026 ( S, harmonik eğim; H ve L uygun haritadan alınır. Bu değer bir önceki örnek uygulamadan alınmıştır.)

$$Tc = 0.0195\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

- $Tc=0.0195\dfrac{27000^{0.77}}{0.0026^{0.385}}=\dfrac{50.371}{0.101}$=499 da =8.3 sa. (seçilir)
- $Tc=0.0195\dfrac{27000^{1.15}}{115^{0.385}}=\dfrac{2433}{6.2}$=392 da = 6.5 sa.
- $D=2\sqrt{Tc}=2x\sqrt{8.3}=5.76\approx 6$ sa. (yağış süresi)
- $\Delta D=\dfrac{Tc}{5}$=8.3/5 = 1.66 saat (Tc, 10-15 saat dilimine daha yakın olduğu için ΔD=2 saat olarak seçilecektir )
- $T_p=\sqrt{Tc}+0.6Tc=8.3^{1/2}+0.6x8.3=7.68$ saat veya
- $T_b$= 2.67Tp = 2.67x7.68 =20.51 sa (üçgen hidrograf taban süresi)
- Tr=1.67Tp=1.67x7.68=13.03 sa (üçgen hidrograf geri çekilme süresi)

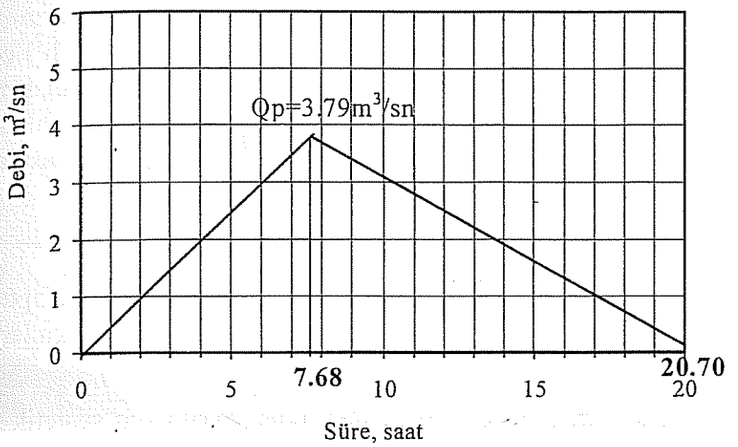
1 mm yüzey akış için:





- $Q_p=\dfrac{0.208.A.h_a}{T_p}=\dfrac{0.208x140x1}{7.68}=3.79$ m$^3$/sn/mm

Bu bilgiler ile oluşturulan grafik Şekil 6.5'te görülmektedir




Şekil 6.5. Mockus yöntemiyle sentetik birim hidrograf

Uygulamada sentetik yöntemde (DSİ) bulunan $q_p$ değerinin Mockus ta taban sürenin bulunmasında da kullanıldığı görülmektedir. Buradan hareketle $T_b$ ve $T_p$ hesaplanabilmektedir. Bu belki kıyas için kullanılabilir.

- $T_b=3.65\dfrac{V_b}{Q_p}=3.65\dfrac{140x1x10^3}{140x33x10^{-3}}=3.65\dfrac{140000}{4.62}$=110606 sn =30.72sa
- $T_p=\dfrac{Tb}{5}=\dfrac{30.72}{5}=6.14$ sa (üçgen hidrograf pik süresi)

### 6.4.3. Snyder Sentetik Birim Hidrograf Yöntemi

Snyder yöntemi 25-25 000 km$^2$ dağlık alanlarda geliştirilmiştir. Geliştirildiği bölgenin fiziksel karakteristiklerine benzeyen bölgelerde kullanıldığı ve parametreleri uygun seçildiği takdirde güvenilir sonuçlar verir. Bu yöntem daha büyük bir havzada, havza alt havzalara ayrılarak uygulanır. Büyük alanlarda (7000-8000 km$^2$) çok yüksek yoğunluktaki ani sağanaklar için yöntemin uygulanmasında zorluklar olduğu bilinmektedir. Havzadaki aküferlerin dolmuş olması ve aküferlerden sızmalar, normal koşullarda doğacak yüzey akıştan daha fazla bir yüzey akışa veya tersine neden olabilir.

*Yöntemin kullanma koşulları:*

1) Üzerinde çalışılan bir drenaj alanında belli bir süre ve tipteki yağışlardan doğan gecikme zamanı değeri, küçük taşkınlarda büyüktekinden biraz daha küçük sonuç verir.

2) Drenaj alanı tipik yelpaze şeklinden ayrıldıkça sentetik ve hakiki birim hidrograflar birbirlerinden çok ayrılırlar.

3) Denklemlerde adı geçen $C_t$ ve $C_p$ katsayıları dağlık bölgeler için geliştirildiğinden düz arazilerde farklılıklar gösterir, bu nedenle katsayıların düzeltilmesi gerekir.

4) Birim hidrografın 50 mm veya daha az yüzey akış doğuran sağanaklara uygulanması, daha büyük yağışlara uygulanmasından çok daha fazla dikkat edilmesi gerekir.

**Snyder yöntemi aşamaları:**

1) $q_p$ , Birim alandan oluşan debinin hesabı, lt/sn/km$^2$/cm

$$q_p=2760\left(\frac{C_p}{t_p}\right) \qquad (6.26)$$

2) $Q_p$ , Havzadan oluşan debinin hesabı, lt/sn/cm

$$Q_p = A \cdot q_p \cdot 10^3 \qquad (6.27)$$





3) $C_t$ , Havza parametresinin hesabı,

$$C_t=\frac{0.6}{\sqrt{S}} \qquad (6.28)$$

4) $t_p$ , Havza gecikme süresinin hesabı, saat

$$t_p=0.75\, C_t\, (L_c.L)^{0.3} \qquad (6.29)$$

5) $t_r$, Birim hidrograf sağanak süresi hesabı, saat

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \qquad (6.30)$$

6) $T_p$, Birim hidrograf pike ulaşma süresi hesabı, saat

$$T_p=\frac{t_r}{2}+t_p \qquad (6.31)$$

7) $T_b$ , Akış süresi (Taban süre) hesabı, saat

$$T_b=3+3\left(\frac{t_p}{24}\right) \qquad (6.32)$$

1) Birim hidrografın W75 ve W50 genişlik değerleri, saat

$$W75 \rightarrow 0.75Q_p \qquad (6.33)$$

$$W50 \rightarrow 0.50Q_p \qquad (6.34)$$

$T_p$ 'den çıkılan dikme üzerinde $Q_p$ değeri işaretlenir. Bu dikme üzerinde aynı zamanda 0.75Qp ve 0.50Qp değerleri de işaretlenir. Bu değerlere karşılık W75 ve W50 değerleri grafikten okunur (Şekil 6.7) ve 1/3'ü hidrografın yükselme tarafında, 2/3 ü alçalma tarafında işaretlenir (Şekil 6.6).

Yedi nokta ile; başlama noktası, W50 ve W75 yükselme, Qp, W50 ve W75 alçalma noktaları ve $T_b$ süresi ile hidrograf çizilir.

Çizilen hidrografın altında kalan alan akış hacmini verir. Bu hacmin, havzadan oluşan akış hacmine eşit olması gerekir. Bunun için

kontrol yapılır, eşit değilse aşağıda anlatıldığı şekilde düzeltme yapılır.

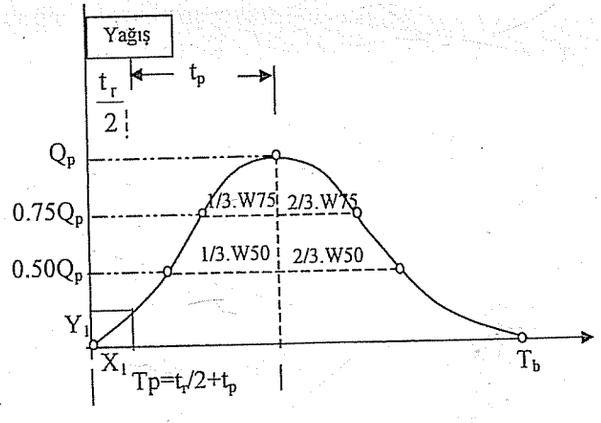
*Çizilen hidrografın düzeltilmesi*:

$$V_b = A.X_1.Y_1.3600 \qquad (6.35)$$

$$A = \frac{V_b}{X_1 Y_1 3600}\ cm^2 \qquad (6.36)$$

Burada; $X_1$= 1cm deki zaman

$Y_1$=1 mm'deki debi



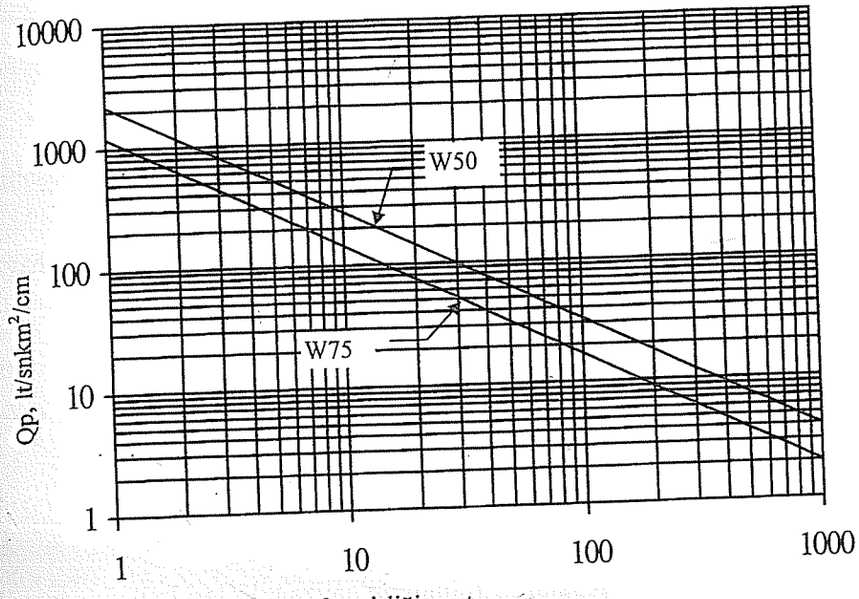

Şekil 6.6 Snyder birim hidrografı elemanları ve çizimi

A alanı denklemden hesaplanır, çizilen birim hidrograf alanı planimetre ile ölçülür ve denklemden bulunan alan bulununcaya kadar eğrinin çekilme bölümü düzeltilir.

Oluşturulan birim hidrograf eğrisinden birer saatlik dilimlerden çıkılarak debi (Q) değerleri okunur ve listelenir. $Q_p$ nin $T_p$ değeri tam sayı olmazsa bu yuvarlanır. Örnek, $T_p$=11.6 ise $T_p$=12 olarak alınır. Süperpoze işlemi Tr= $t_p$/5.5 değerine göre daha önce verilen kıstaslar dikkate alınarak yapılır.








Şekil 6.7. Taşkın debisi birim hidrograf genişliği

**Bu denklemlerde:**

A= Havza alanı, km.$^2$

$C_p$= Havza karakteristiğine bağlı bir katsayı olup 0.56-0.69 arasında değiştiği saptanmıştır. Genel olarak $C_p$ maksimum değerine yükselirken, $C_t$ minimum değerine düşer.

$C_t$= Havza karakteristiğine bağlı bir katsayı olup, özellikle eğim ve depolama farklılıklarını içerir. Genellikle 0.4-2.2 arasında değiştiği bildirilmektedir. $C_t$ değerinin küçüğü daha fazla eğimli havzalarda kullanılır. Bir havzanın, denklemde geçen fiziksel özellikleri ve havzadan geçen etkin debi bilinirse $C_t$ ve $C_p$ katsayıları hesaplanabilir.

| Ct | 1.8 | 2.0 | 2.2 |
|---|---|---|---|
| Cp | 0.69 | 0.63 | 0.5 |

$t_p$= Havza gecikme süresi, yani yağış kütlesinin ağırlık merkezi ile hidrograf pik akışı arasındaki süre, saat (Mockus'ta L).

$t_r$=Yağış süresi (Mockus'ta D)

$T_p$= Pike ulaşma süresi, saat

L= Havza ana su toplama yolunun çıkıştan yani boşaltım ağzından en uzak su ayırım noktasına kadar olan uzaklık, km.

Lc= Su toplama havzası ana su yolu boşaltım ağzından havza ağırlık merkezine en yakın noktaya (iz düşüm noktasına) olan uzaklık, km.

S= Ana kanal harmonik (tartılı) eğim.

**ÖRNEK UYGULAMA 6.4:**

**Snyder sentetik hidrografının oluşturulması:**

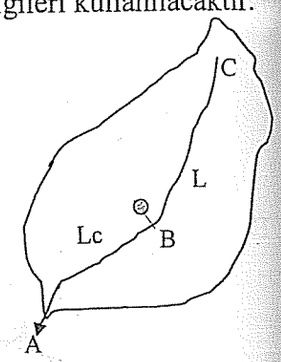
Önceki uygulamalarda kullanılan havza bilgileri kullanılacaktır.

*Havza verileri:*

$L = \overline{AB} + \overline{BC}$ $\quad Lc = \overline{AB}$

$A$= 140 km$^2$ $\quad L$=27 km, $\quad Lc$=14 km

$C_t$=1.8 ve $C_p$=0.69 alınmıştır.




**Çözüm 6.4:**

*Hesaplamalar:*

- $t_p = 0.75\, C_t (L_c.L)^{0.3} = 0.75 \times 1.8 (14 \times 27)^{0.3} = 8.0$ saat (gecikme s.)
- $q_p = 2760 (\frac{C_p}{t_p}) = 2760 \frac{0.69}{8.0} = 238.05$ lt/sn/km$^2$/cm

  $= 238.05 \times 10^{-3}$ m$^3$/sn/km$^2$/cm
- $Q_p = A.q_p.10^{-3} = 140 \times 238.05 \times 10^{-3}$

  $= 33.327$ m$^3$/sn/cm$= 3.333$ m$^3$/sn/mm





- $t_r = \frac{t_p}{5.5} = \frac{8}{5.5} = 1.455 \approx 2.0$ saat (yağış süresi)
- $T_p = \frac{t_r}{2} + t_p = 2/2 + 8.0 = 9.0$ saat (yükselme süresi)
- $T_b = 3 + 3(\frac{t_p}{24}) = 3 + 3.\frac{8}{24} = 4$ gün$=96$ saat (akış veya taban süre)

$Q_p$ nin 1cm'lik akış yüksekliği yerine 1 mm'lik akış yüksekliği için hesaplanması diğer yöntemlerle daha kolay kıyas imkanı sağlar.

- $Q_p$=238.05 lt/sn/cm için Şekil 6.7'den;

$0.75Q_p = 0.75 \times 3.33 = 2.5$ m$^3$/sn/mm de W75=6.0 saat ve

$0.50Q_p = 0.50 \times 3.33 = 1.7$ m$^3$/sn/mm de W50=10.5 saat okunmuştur.

*Birim hidrograf hacmi hesabı:*

$h_a$=1mm derinliğin 1 km$^2$ alan üzerindeki hacmi:

$V = A x h_a.10^{-3}$

$V = 1000000$ m$^2$x0.001m $= 1000$m$^3 = 10^3$ m$^3$

Havza alanı (140 km$^2$) için hacim:

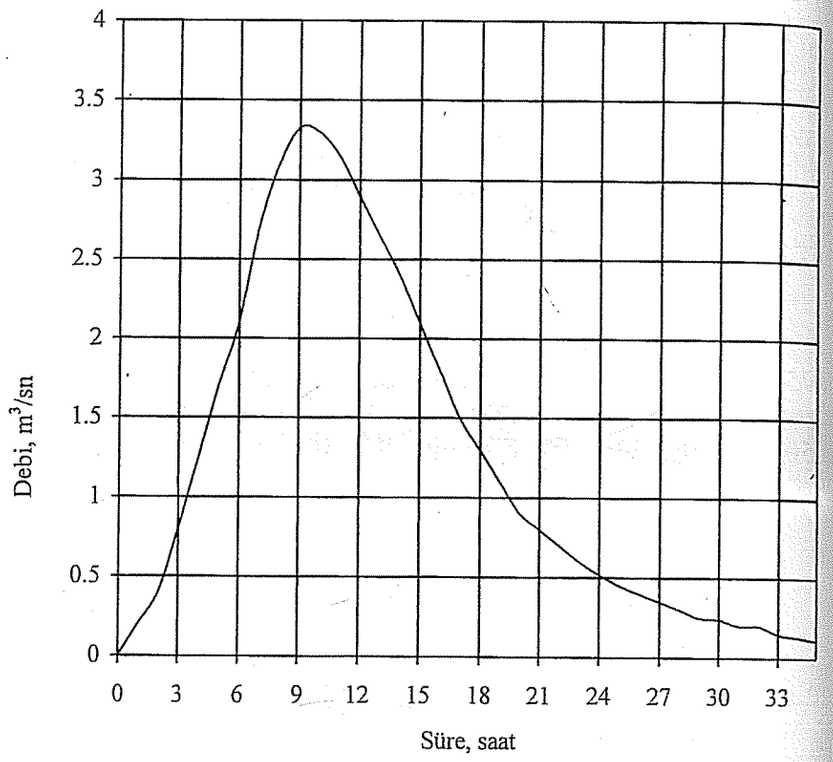
$V_b = A x 10^3 = 140 x 10^3 = 140000$ m$^3$

*Birim hidrografın çizilmesi* :

Birim hidrograf elemanları;

| | | |
|---|---|---|
| $t_p$ = 8.0 saat<br>$t_r$=2 saat<br>$T_p$=9.0 saat<br>$T_b$= 96 saat<br>$V_b$=140000 m$^3$<br>$Q_p$=3.33 m$^3$/sn/mm | Hidrograf genişliği<br>W75 → 6.0 saat<br><br>W50 → 10.5 saat | Hidrograf genişliği<br>(1/3) 6.0 =2.0 sa (sol)<br>(2/3) 6.0 =4.0 sa (sağ)<br>(1/3)10.5 =3.5 sa (sol)<br>(2/3)10.5 =7.0 sa (sağ) |

Bu, hidrograf elemanları kullanılarak Şekil 6.8 çizilmiştir. Bu bilgilerden yararlanılarak, yöntem kısmında verilen bilgilerle hidrograf düzeltilir. Amaç hidrograf altındaki alanın (hacim) hesaplanan hacme uydurulmasıdır.




Şekil 6.8. Snyder yöntemiyle sentetik birim hidrograf

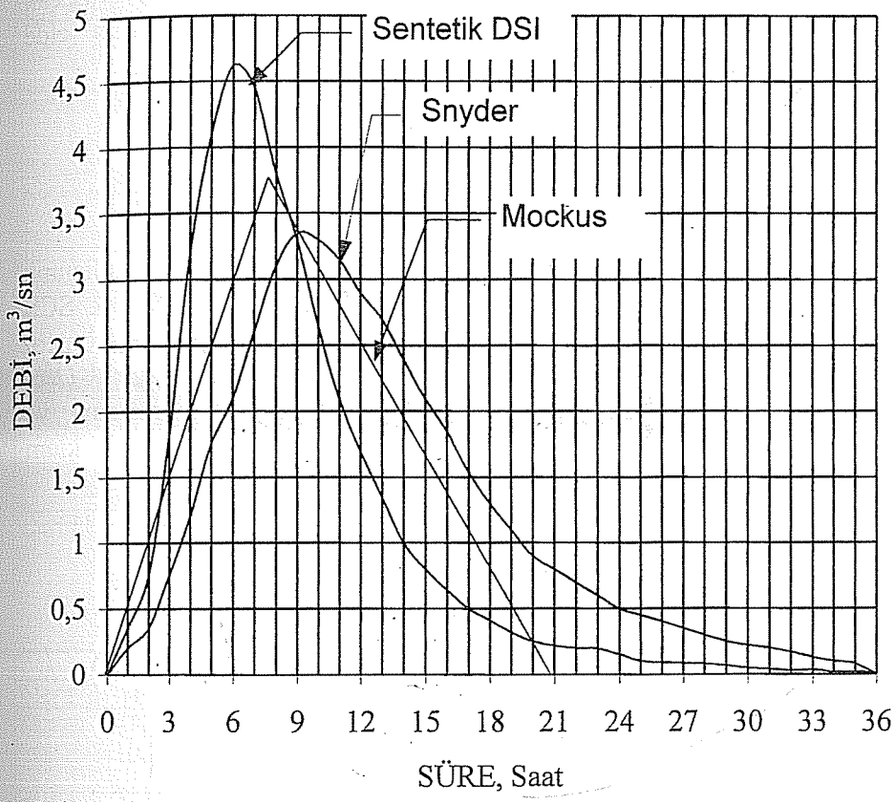
**Yöntemlerin Kıyaslanması:**

Sentetik (DSİ), Snyder ve Mockus yöntemlerinin önceki kısımlarda yapılan uygulamaları aynı grafik üzerinde kıyaslama amacıyla aşağıda verilmiştir

Buradan pik sürelerin, pik debilerin ve taban sürelerin kolayca kıyaslaması yapılabilir. Bu yöntem seçiminde yararlı olabilir. Buradan yüzde sapmalar da belirlenebilir.








Şekil 6.8b. Taşkın hidrograflarının kıyaslaması

## 6.5. Yağış -Akış Bağıntısı

Bu kısımda önceki kısımda açıklanan sentetik birim hidrograflardaki birim akış ($h_a$) değerlerinin yerine söz konusu sağanaktan meydana gelecek akış değerlerinin konması ile oluşacak proje hidrograflarının ve farklı yinelenmeli hidrografların elde edilmesi özetlenecektir.

### 6.5.1 Yağıştan Yüzey Akışın Hesabı

Yüzey akışa, drenaj alanının bitki örtüsü, arazi kullanma durumu ve toprak yapısı etki eder. Bunlar dikkate alınarak SCS (Amerikan Toprak Muhafaza Teşkilatı) tarafından bir yöntem geliştirilmiştir. Bu genellikle *SCS Tekniği veya Toprak-Örtü Kompleksleri yöntemi* olarak bilinir. Yöntem varsayımlarına ve denklem oluşturulma aşamalarına girmeden metrik sistemde denklem aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$Q_h = \frac{\left(P - (\frac{5080}{CN} - 50.8)\right)^2}{P + (\frac{20320}{CN} - 203.2)} \qquad (6.38)$$

Burada;

P=Seçilen süreli ve tekerrürlü yağış, mm.

CN=Eğri Numarası olup bitki örtüsü, arazi kullanma durumu ve toprak yapısına bağlı olarak belirlenen 0-100 arasında bir değer. Eğri numarasının belirlenmesi ile ilgili çizelgeler verilmiştir (Çizelge 6.8-6.11).





Çizelge 6.8. Hidrolojik Toprak-Örtü Komplekslerine Göre Yüzey Akış Eğri Numaraları (Önceki Rutubet Durumu II ve $I_a$=0.2 S için)

| Arazi Kullanma Şekli veya Örtü Durumu | Ekim Şekli | Hidrolojik Şart | Hidrolojik Toprak Grubu | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D |
| | | | CN | | | |
| Nadas | Sürülmüş | - | 77 | 86 | 91 | 94 |
| Sıra bitkisi | Sıra | Kötü | 72 | 81 | 80 | 91 |
| | " | İyi | 67 | 78 | 85 | 89 |
| | Kontur | Kötü | 70 | 79 | 84 | 80 |
| | " | İyi | 65 | 75 | 82 | 85 |
| | Teras | Kötü | 66 | 74 | 80 | 82 |
| | " | İyi | 62 | 72 | 70 | 81 |
| Küçük daneliler | Sıra | Kötü | 65 | 76 | 84 | 88 |
| | " | İyi | 63 | 75 | 83 | 87 |
| | Kontur | Kötü | 63 | 74 | 82 | 85 |
| | " | İyi | 61 | 73 | 81 | 84 |
| | Teras | Kötü | 61 | 72 | 79 | 82 |
| | " | İyi | 59 | 70 | 78 | 81 |
| Sık ekilmişbakkaliye ve rotasyonlu mer'a | Sıra | Kötü | 66 | 77 | 85 | 89 |
| | " | İyi | 58 | 72 | 81 | 85 |
| | Kontur | Kötü | 64 | 75 | 83 | 85 |
| | " | İyi | 55 | 69 | 78 | 83 |
| | Teras | Kötü | 63 | 73 | 80 | 83 |
| | " | İyi | 51 | 67 | 76 | 80 |
| Çayırlık ve mer'a | | Kötü | 68 | 79 | 86 | 83 |
| | | Orta | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | | İyi | 39 | 61 | 74 | 80 |
| | Kontur | Kötü | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | | Orta | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | | İyi | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Mer'a (devamlı) | | İyi | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Orman Çiftlik | | Kötü | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | | Orta | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | | İyi | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Çiftlik yerleşim alanı | | | 74 | 84 | 80 | 82 |
| | | | 74 | 84 | 90 | 92 |
| Yollar (sert zeminli) | | Altı otla kaplı | 39 | 53 | 67 | 71 |
| Meyvelik | | kapsız | 41 | 55 | 69 | 73 |

Çizelge 6.8.(Devam) Ticari ve Milli Orman Havzaları (Şart II)

| Hidrolojik sınırlar | Hidrolojik Toprak Grubu | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| I En zayıf | 56 | 75 | 86 | 91 |
| II Zayıf | 46 | 68 | 78 | 84 |
| III Orta | 36 | 60 | 70 | 76 |
| IV İyisi | 26 | 52 | 62 | 69 |
| V En iyi | 15 | 44 | 54 | 61 |

Çizelge 6.9. Hidrolojik Toprak Grubunun Tanımı

| Hidrolojik Toprak Grubu | Açıklamalar |
|---|---|
| A | *En düşük yüzey akış potansiyeli:* Derin, çok kumlu, az silt bulunduran geçirgenliği yüksek topraklar. |
| B | Orta derecede düşük yüzey akış potansiyeli: Az derin ve az kumlu, orta derecede geçirgen topraklar. |
| C | *Orta derecede yüksek yüzey akış potansiyeli:* Oldukça önemli miktarda kil ve kolloid bulunduran ve geçirgenlikleri ortalamanın altında olan topraklar |
| D | *En yüksek yüzey akış potansiyeli:* Derin ve fazla kil bulunduran, alt katmanları geçirimsiz veya geçirgenlikleri az olan topraklar. |

Çizelge 6.10. Önceki Rutubet Durumu ve Eğri Numaraları ($I_a$=0,2 S için)

| Durum II için Eğri Numarası | Durum II den. I ve III 'e çevri faktörü | |
|---|---|---|
| | Durum I | Durum III |
| 10 | 0.40 | 2.22 |
| 20 | 0.45 | 1.85 |
| 30 | 0.50 | 1.67 |
| 40 | 0.55 | 1.50 |
| 50 | 0.62 | 1.40 |
| 60 | 0.67 | 1.30 |
| 70 | 0.73 | 1.21 |
| 80 | 0.79 | 1.14 |
| 90 | 0.87 | 1.07 |
| 100 | 1.00 | 1.00 |

Çizelge 6.11. Yağış Öncesi Toprak Nem Durumu İçin Yağış Limitleri

| ÖRD | Toplam 5 gün önceki yağış, mm | |
|---|---|---|
| | Ölü Mevsim (hareketsiz mevsim) | Büyüme Mevsimi |
| I | < 13 | < 36 |
| II | 13-28 | 36-53 |
| III | > 28 | > 53 |





## ÖRNEK UYGULAMA 6.5:

### Eğri No (CN)'nin hesabı

Çalışma alanına ilişkin CN ile ilgili bilgiler Çizelge 6.12a'da verilmiştir. Bu bilgileri ve ilgili çizelgeleri kullanarak havza için ortalama bir CN değeri bulunmak istenmektedir.

Çizelge 6.12a. Ekim Dağılımı ve % Toprak sınıflaması

| Bitki | Ekim Şekli | Hidr. Şart. | Ekim Alanı ha | Ekim Yüz. | Hidrolojik Toprak Grubu | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | A | B | C | D |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| Pamuk | Sıra | - | 500 | 0.50 | 0.10 | 0.10 | 0.30 | 0.50 |
| Buğday | Sıra | İyi | 300 | 0.30 | - | 0.20 | 0.70 | 0.10 |
| Mısır | Sıra | İyi | 200 | 0.20 | 0.70 | 0.20 | 0.10 | - |
| Yonca | Sıra | İyi | 100 | 0.10 | - | 0.70 | - | 0.30 |

### Çözüm 6.5:

*CN'nin hesap aşamaları*

1) Her bitki için, ekim şekli ve hidrolojik şartlar için A, B, C ve D gruplara ait CN değerleri bulunur (ÖRD II) (Çizelge 6.12b, sütun (2)-(5)).

2) Bulunan CN değerlerini Çizelge 6.12a'da verilen hidrolojik toprak grubu yüzdeleri ile çarparak etkileri bulunur (Çizelge 6.12b, sütun (6)-(9)).

3) Her bitkiye ait etkiler toplanır ve Çizelge 6.12b sütun (10)'a yazılır.

4) Bütün alanı temsilen tek bir CN değeri bulmak için Çizelge 6.12b'nin sütun (1) ile (10)'u çarpılır ve sütun (11)'e yazılır.

5) Çizelge 6.12b sütun (11)'deki değerler yukarıdan aşağı toplanır ve bütün alan için, tek bir tartılı CN değeri bulunur (CN=85).

Çizelge 6.12b. Ortalama CN Değeri Hesabı

| | Ekim | CN | | | | CN x % Etki | | | | | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bitki | % | A | B | C | D | A | B | C | D | CN | (2)x(10) |
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
| Pamuk | 50 | 77 | 86 | 91 | 94 | 7.7 | 8. 6 | 27.3 | 47.0 | 90.6 | 45.30 |
| Buğday | 30 | 63 | 75 | 83 | 87 | - | 14.6 | 58.1 | 8.7 | 81.6 | 24.48 |
| Mısır | 10 | 67 | 78 | 85 | 89 | 46.9 | 15.6 | 8.5 | - | 71.0 | 7.10 |
| Yonca | 10 | 67 | 78 | 85 | 89 | - | 54.6 | - | 26.7 | 81.3 | 8.13 |
| | Havza için ortalama CN=85.01 | | | | | | | | | | |

6) Yağış öncesi nem durumu (5 günlük yağış) 30 mm (30<36) olduğu için Çizelge 6.10'dan ÖRD I olur. ÖRD II CN=85 için çeviri faktörü 0.83 ve ÖRD I için,

CN=0.85x0.83=**71** olur.

7) Adana için 10 yıl tekerrürlü, 24 saat süreli yağış Şekil 5.7 den 93 mm olarak bulunur.

8) 1000 hektarlık toplam alan için nokta yağışın alan yağışına çeviri faktörü 0.988 olsun. Alan için yağış 93x0.988=91.9 mm eder.

9) Bulunan 91.9 mm, yağış ve CN=71 değeri Denklem (6.38)'de yerine konularak

$Q_h$=28.95 mm=2.89 cm. bulunur.

10) Bütün alandan yüzey akış; (1mm 1 ha 10 $m^3$)

Vb=Qh.A =28.95mmx10x1000=289500 $m^3$ olarak bulunur. Bulunan bu miktar bütün drene olacak su miktarıdır.

### 6.5.2. Proje Sağanak Süresinin Seçimi

Proje sağanak süresi genellikle ülke için hazırlanmış kritik yağış süresi haritasından alınır veya seçilen sentetik yöntemlere göre belirlenmektedir.

Çizelge 6.13. Sağanak Süresinin Seçimi

| Sentetik yöntemler | Sağanak süresi | Açıklama |
|---|---|---|
| Mockus | $D = 2.\sqrt{T_c}$ | kadar almakta |
| Snyder | $T_r=T_p/5.5$ | den başlamakta |
| Sentetik (DSİ) | $T_p=T_b/5$ | almakta |





Küçük barajlarda sağanak süresinin Mockus'a yaklaştığı ve büyük barajlarda bundan uzaklaştığı kaydedilmektedir. Güvenilir proje sağanak süresi, bu yöntemlerle bulunanların en büyüğünden küçük olmamalıdır uyarısı yapılmaktadır. Proje sağanak süresi seçilirken bölgedeki taşkınlara neden olan yağışların da süresinin bilinmesi ve dikkate alınması önemlidir. Ülke için hazırlanmış kritik yağış süreleri haritalarından yararlanılabilir.

### 6.5.3. Farklı Yinelenmeli Taşkın Debilerinin Hesabı ve Hidrograflarının Çizilmesi

Sentetik birim hidrograf yöntemleri, ölçüm değerleri bulunmayan akarsu havzalarından gelecek debilerin tahmininde kullanılır.

Yağışı akışa dönüştüren bir havza sistemi lineer olmadığı için lineer diferansiyel denklemler ile ifade edilemez , lineer olmayan bu sistemlere süperpoze prensibi uygulanamaz. Ancak yağıştan tutma, yüzey biriktirmeleri ve sızma ayrılarak elde edilen akış (etkin yağış) ile toplam akıştan taban akışının çıkartılmasıyla elde edilen dolaysız akış göz önüne alınırsa, artık yağışı dolaysız akışa çeviren sistemin lineer olduğu varsayılır.

Artık yağışı dolaysız akışa çeviren lineer bir sistem olarak göz önüne alan havza modeline "birim hidrograf modeli" denir. Bu yaklaşımla bir çok sentetik birim hidrograflar geliştirilmiştir. Bunlardan bir kısmı daha önce verilmiştir.

Burada, seçilen bir sentetik birim hidrograf yöntemi ile elde edilen bir hidrografın ordinat değerleri ve seçilen süreli artım akış ile süperpoze işlemi yapılarak yeni hidrograflar elde edilecektir.

Artım akış değerleri; ilk saatteki ilk akışın sabit diğerlerinin bir birinin farkları yaklaşımı ile işlem gerçekleştirilecektir. Bazı artımlar aynı olabileceği gibi genelde farklar lineer olarak azalma göstermesi gerekir.

**Yöntem aşamaları:**

1) Seçilen bir sentetik yöntem ile hidrograf oluşturulur.
2) Proje sağanak süresi ve yinelenme yılı seçilir.
3) Seçilen yönteme göre artım akış süreleri belirlenir.

*Kaydırma:*

- Büyük havzalarda kaydırma süresi 2 saat olarak seçilir.
- DSİ de $D = 2\sqrt{Tc}$ yağış süresi ilişkisi ile yapılır
- Mockus'ta $\Delta D$ süresi kadar kaydırılır. Bu tam sayı olmayabilir. Bu gibi durumlarda, pik değerini yakalayabilecek bir değerin seçilmesi önerilir.
- Snyder de kaydırma $t_r=t_p/5.5$ ilişkisi ile yapılır.





Kaydırma sürelerine göre süperpoze işlemi yapılır.

4) Çalışma alanının günlük maksimum yağışı sağlanır. Bu iki yolla olabilir.

a) *Maksimum yağış-süre-tekerrür grafikleri* ***varsa:*** Çalışma bölgesi için hazırlanmış maksimum yağış-süre-tekerrür grafiklerinden seçilen tekerrür için, belirlenen sağanak süresine kadar seçilen süreler için (örneğin 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 saat = proje sağanak süresi) yağış değerleri listelenir.

b) M*aksimum yağış-süre-tekerrür grafiği* ***yoksa:*** Çalışma bölgesi için hazırlanmış günlük maksimum yağışlar, yağış frekans grafiklerinden seçilen tekerrürler için belirlenir. Birden fazla istasyon varsa ortalamaları alınır. Yoksa:

4) Bölge için hazırlanmış *maksimum yağışın zaman dağılımı oranı* grafiklerinden (Şekil 6.9) veya o bölgeye benzer bölge grafiklerinden sağlanan "drenaj alanı yağış" oranları bulunur. Süresi belli maksimum yağış değeri, bu oranlar ile çarpılarak yağışın zaman dağılımı bulunur.

Bunun için seçilen sürelerin sağanak süresine bölünmesiyle sağlanan oranlara (Örneğin; $t_i/t$=2/18, 4/18,...,18/18) karşın yağışın zaman dağılımı oranları ($p_i/p$) Şekil 6.9'dan seçilecek grafikten, okunur. Bu değerler; zaman oranı ($t_i/t$) ve yağış oranı ($p_i/p$) olarak iki sütun halinde bir çizelgeye yazılır. Toplam yağış süresi ve toplam yağış değerleri sırayla bu oranlar ile çarpılarak yağışın zamana dağıtımı yapılır (Çizelge 6.14).

6) Yukarıda bahsedilen koşuldan hangisi oluşmuşsa seçilen sürelere karşın listelenen yağış değerlerinden oluşacak akış değerleri yağıştan yüzey akış yöntemi (Denklem 6.38) ile hesaplanır ve aynı çizelgeye yazılır (Çizelge 6.15).

7) Buradan artım akışlar hesaplanır. Bunlar da aynı çizelgede yer alır. Artım akışlar bir sonraki sürenin akışından, bir önceki sürenin akışının çıkartılması ile bulunur (Çizelge 6.15).

8) Hangi tekerrürün hidrografı çizilecekse o tekerrürün artım akış bilgileri ayrı bir çizelgede (Çizelge 6.14 ) veya aynı çizelge toplanabilir (Çizelge 6.15).

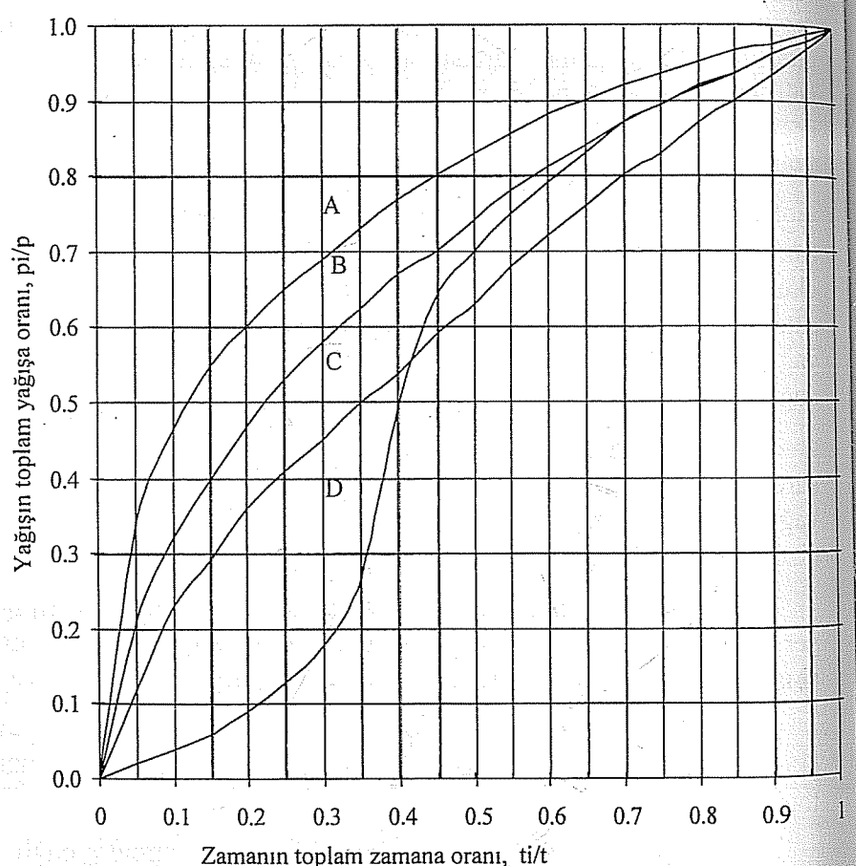
9) Çizelge 6.16 sütun (1) deki süreler ve sürelere bağlı akış değerleri sütun (2) çizilen hidrograflardan amaca göre yeniden okunur ve listelenir.

10) Kabul edilen proje sağanak süresi esas alınarak süperpoze işlemi yapılır ve taşkın hidrografları çizilir.

İşlem: Çizelge 6.16'daki hidrograf debi değerleri aynı çizelgedeki artım değerleri ile çarpılır, seçilen süreler kadar kaydırılır ve artım sütununa yazılır. Tüm artımlar için bu işlem devam eder. Sonra bu kaydırılmış değerler yatay olarak toplanarak çizelgenin son sütununa yazılır.

11) Süre (1.sütun) ile debi (son sütun) karşılıklı grafiklenir. Seçilen tekerrür için hidrograf elde edilmiş olunur.

İstenirse bu işlem diğer sentetik yöntemler ile de tekrarlanır sonuçlar kıyaslanır.




Şekil 6.9.Yağışın zaman dağılımı





## ÖRNEK UYGULAMA 6.5a:

**Farklı yinelenmeli taşkın debisinin hesabı ve hidrografının çizimi (Artık artım ve süperpoze)**

*Çalışma alanına ilişkin bilgiler:*

Proje sağanak süresi 18 saat olduğu varsayılmakta ve 100 yıl yinelenmeli taşkın tahmin edilmek istenmektedir.

Çalışma bölgesine ilişkin şiddet-süre-tekerrür grafikleri bulunmamaktadır. Bölgeye ilişkin çalışmalardan 100 yıl yinelenmeli günlük maksimum yağış, Adana 24 saatlik maksimum yağış frekans eğrisinden 140 mm olarak sağlanmıştır (Şekil 5.7).

Sentetik birim hidrograf (DSİ ) yöntemiyle hidrograf değerleri belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 6.17'de görülmektedir.

Çalışma alanı hidrolojik özelliği ön çalışmasından, Zaman Dağılım Grafiği "Grafik B" ye uyduğu anlaşılmıştır (Şekil 6.9).

Çalışama alanı tartılı CN değeri 71 olarak hesaplanmıştır (Örnek Uygulama 6.5).

**İstenen:**

Çalışma alanı için artık akım ve süperpoze yöntemi ile 100 yıl yinelenmeli taşkın hidrograf değerleri ile hidrografı geliştirilecektir.

**Çözüm 6.5a:**

Çizelge 6.16'nın birinci ve ikinci sütununda DSİ sentetik birim hidrograf yöntemiyle bulunan hidrograf değerleri görülmektedir. Son sütun hariç diğer sütunlar debi artım değerleri sütunları olarak düzenlenmiştir. Hidrograf zaman aralığı 0, 1, 2, 3,...., saat olarak seçilmiştir.

Artım süresi DSİ sentetik yönteminde $D = 2\sqrt{Tc} = 8.3$sa (Uygulama 6.5) olduğu için artım süresi 2 saat alınmıştır.

Drenaj alanı yağış dağılımı Grafik B ye göre tespit edilmiştir ( Çizelge 6.14 sütun 5).

Artım yağışların, yağıştan yüzey akışın hesaplanması yöntemiyle (Denklem 6.38) akışları hesaplanmıştır (Çizelge 6.14 sütun 6).

Hidrograf zaman aralığı debileri (sütun 2) ile debi artım değerleri çarpılmış artım sütununa kaydırılarak yazılmıştır. Bu işlem

tüm artım değerleri için yapılmıştır. Kaydırmalar artım süre değerlerine bağlı ve birinci sütun süre değerleri ile uyumlu olarak yapılmıştır.

Bu sütunlar (3)-(11) oluştuktan sonra, sütun değerleri yatay olarak toplanmış ve son sütun elde edilmiştir. Son sütun istenen tekerrürlü taşkın debisi hidrografı ordinat değerleridir. Sütun (1) ile (12) karşılıklı grafiklenerek Şekil 6.10'daki hidrograf elde edilmiştir.

Çizelge 6.14 100 Yıl Yinelenmeli Drenaj Alanı Yağışının Zaman Dağılımı ve Artık Akım Değerleri

| "B" Eğrisi Oranı | | Yağış | | Akış | |
|---|---|---|---|---|---|
| ti/t | pi/p | (ti/t)t Süre, saat | (pi/p)140 mm | q $m^3/sn$ | Δq $m^3/sn$ |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 0.11 | 0.32 | 2 | 45 | 4.595 | 4.595 |
| 0.22 | 0.49 | 4 | 69 | 15.317 | 10.722 |
| 0.33 | 0.61 | 6 | 86 | 25.194 | 9.877 |
| 0.44 | 0.71 | 8 | 100 | 34.321 | 9.128 |
| 0.56 | 0.79 | 10 | 110 | 41.274 | 6.952 |
| 0.67 | 0.85 | 12 | 119 | 47.789 | 6.515 |
| 0.78 | 0.91 | 14 | 127 | 53.759 | 5.970 |
| 0.89 | 0.96 | 16 | 134 | 59.105 | 5.347 |
| 1.000 | 1.00 | 18 | 140 | 63.771 | 4.665 |

Çizelge 6.15. Farklı Tekerrürlü Yağış-Akış ve Artım Akışlar

| Tekerrür yıl | Yağış Akış Artım | SÜRE, saat | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| | | Yağışın zaman dağılım oranı (Şekil 6.15, Çizelge 6.14) | | | | | | | | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
| 2.33 | DAY | | | | | | | | | |
| | A | | | | | | | | | |
| | AA | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | |
| 100 | DAY | 44.8 | 68.6 | 85.4 | 98 .0 | 109.2 | 117.6 | 126.0 | 133.0 | 140.0 |
| | A | 4.5 | 15.1 | 24.8 | 33.0 | 40.7 | 46.8 | 53.0 | 58.3 | 63.8 |
| | AA | 4.5 | 10.6 | 9.7 | 8.2 | 7.7 | 6.2 | 6.24 | 5.3 | 5.4 |

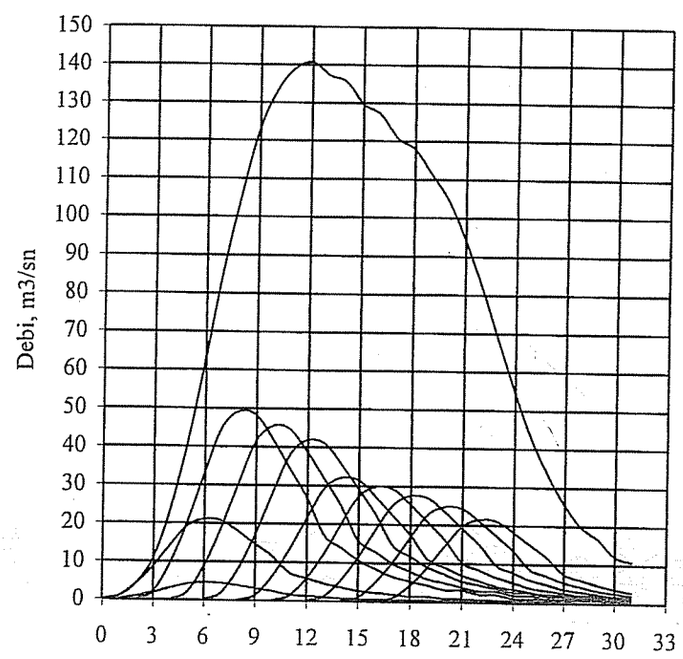
Not:DAY= Drenaj Alanı Yağışı, A=Akış, AA=Artım Akış, mm.





Çizelge 6.16. Söz konusu Havza Alanında 100 yıl Yinelenmeli Taşkın Hidrografının Sentetik Yöntemle Hesaplanması

| Süre saat | Debi $m^3/sn$ | ARTIM AKIM DEĞERLERİ (Çizelge 6.15) | | | | | | | | | Debi $m^3/sn$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4.6 | 10.7 | 9.9 | 9.1 | 7.0 | 6.5 | 6.0 | 5.4 | 4.7 | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (1)0 | (11) | (12) |
| 0 | 0.00 | 0.0 | | | | | | | | | 0.0 |
| 1 | 0.20 | 0.9 | | | | | | | | | 0.9 |
| 2 | 0.90 | 4.1 | 0.0 | | | | | | | | 4.1 |
| 3 | 1.90 | 8.7 | 2.1 | | | | | | | | 10.9 |
| 4 | 3.10 | 14.3 | 9.6 | 0.0 | | | | | | | 23.9 |
| 5 | 4.20 | 19.3 | 20.4 | 2.0 | | | | | | | 41.7 |
| 6 | 4.60 | 21.2 | 33.2 | 8.9 | 0.0 | | | | | | 63.3 |
| 7 | 4.50 | 20.7 | 45.0 | 18.8 | 1.8 | | | | | | 86.4 |
| 8 | 3.90 | 17.9 | 49.3 | 30.7 | 8.2 | 0.0 | | | | | 106.1 |
| 9 | 3.20 | 14.7 | 48.2 | 41.6 | 17.3 | 1.4 | | | | | 123.2 |
| 10 | 2.50 | 11.5 | 41.8 | 45.5 | 28.2 | 6.3 | 0.0 | | | | 133.4 |
| 11 | 1.60 | 7.4 | 34.3 | 44.6 | 38.2 | 13.3 | 1.3 | | | | 139.0 |
| 12 | 1.30 | 6.0 | 26.8 | 38.6 | 41.9 | 21.7 | 5.9 | 0.0 | | | 140.8 |
| 13 | 1.00 | 4.6 | 17.2 | 31.7 | 41.0 | 29.4 | 12.4 | 1.2 | | | 137.3 |
| 14 | 0.80 | 3.7 | 13.9 | 24.8 | 35.5 | 32.2 | 20.2 | 5.4 | 0.0 | | 135.6 |
| 15 | 0.60 | 2.8 | 10.7 | 15.8 | 29.1 | 31.5 | 27.3 | 11.4 | 1.1 | | 129.7 |
| 16 | 0.50 | 2.3 | 8.6 | 12.9 | 22.8 | 27.3 | 29.9 | 18.6 | 4.9 | 0.0 | 127.2 |
| 17 | 0.40 | 1.8 | 6.4 | 9.9 | 14.6 | 22.4 | 29.3 | 25.2 | 10.3 | 0.9 | 120.8 |
| 18 | 0.30 | 1.4 | 5.4 | 7.9 | 11.8 | 17.5 | 25.4 | 27.6 | 16.7 | 4.2 | 117.9 |
| 19 | 0.30 | 1.4 | 4.3 | 5.9 | 9.1 | 11.2 | 20.8 | 27.0 | 22.7 | 8.9 | 111.3 |
| 20 | 0.20 | 0.9 | 3.2 | 5.0 | 7.3 | 9.1 | 16.3 | 23.4 | 24.8 | 14.6 | 104.5 |
| 21 | 0.20 | 0.9 | 3.2 | 4.0 | 5.5 | 7.0 | 10.4 | 19.2 | 24.3 | 19.7 | 94.2 |
| 22 | 0.10 | 0.5 | 2.1 | 3.0 | 4.6 | 5.6 | 8.5 | 15.0 | 21.1 | 21.6 | 81.9 |
| 23 | 0.10 | 0.5 | 2.1 | 3.0 | 3.6 | 4.2 | 6.5 | 9.6 | 17.3 | 21.2 | 67.9 |
| 24 | 0.10 | 0.5 | 1.1 | 2.0 | 2.7 | 3.5 | 5.2 | 7.8 | 13.5 | 18.3 | 54.6 |
| 25 | 0.10 | 0.5 | 1.1 | 2.0 | 2.7 | 2.8 | 3.9 | 6.0 | 8.6 | 15.0 | 42.6 |
| 26 | 0.10 | 0.5 | 1.1 | 1.0 | 1.8 | 2.1 | 3.3 | 4.8 | 7.0 | 11.8 | 33.3 |
| 27 | 0.10 | 0.5 | 1.1 | 1.0 | 1.8 | 2.1 | 2.6 | 3.6 | 5.4 | 7.5 | 25.6 |
| 28 | 0.00 | 0.0 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.4 | 2.0 | 3.0 | 4.3 | 6.1 | 19.8 |
| 29 | 0.00 | 0.0 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.4 | 2.0 | 2.4 | 3.2 | 4.7 | 16.7 |
| 30 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 1.3 | 1.8 | 2.7 | 3.8 | 12.2 |
| 31 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 1.3 | 1.8 | 2.2 | 2.8 | 10.7 |




Şekil 6.10. DSİ sentetik yöntemi ile oluşturulan yüz yıl yinelenmeli taşkın hidrografı





## 6.6. İstatistiksel Yaklaşım

### 6.6.1. Basit Regresyon Analizi, Eksik Verilerin Doldurulması

Bu kısımda basit ve çoklu regresyon ve korelasyon analizi uygulanacaktır. Yöntemler ilgili uygulamalarda verilecektir.

**ÖRNEK UYGULAMA 6.6:**

**Regresyon analizi ile eksik verilerin analizi**

Çizelgede Seyhan Havzasında aynı kol üzerindeki iki akım ölçme istasyonuna ilişkin akım değerleri Çizelge 6.17'de ($m^3$/sn) verilmiştir.

***İstenen:***

1) Karşılıklı ölçümü olan (eşlenik) yılların değerleri doğrudan kullanılarak regresyon ve korelasyon analizi gerçekleştirilecek.

2) Oluşturulan regresyon denklemi ile eksik verisi olan istasyonun eksik verileri tamamlanacaktır. Burada kaç yıl uzatılabileceği (etkin kayıt yılı) hesabı yapılmayacaktır.

3) Gözlem verileri ile hesaplanan veriler farkı (Y-Y') hesaplanacak ancak artık farklar analizi yapılmayacaktır.

**Çözüm 6.6:**

1) Kullanılacak denklem ve parametreleri:

$$Y=a+bX \qquad (6.40)$$

$$b=\frac{\sum xy}{\sum x^2} \qquad (6.41)$$

$$a=\overline{Y}-b\overline{X} \qquad (6.42)$$

2) Y ve X 'e bağlı olarak varyans ve standart hatalar

$$S^2_{x/y}=\frac{\sum x^2}{N-1} \quad \text{Standart hata } S_{x/y}=\sqrt{S^2_{x/y}} \qquad (6.43)$$

$$S^2_{y/x} = \frac{\sum y^2}{N-1} \quad \text{Standart hata } S_{y/x} = \sqrt{S^2_{y/x}} \qquad (6.44)$$

$$\Sigma x^2 = \Sigma (X)^2 - (\sum X)^2 / N \qquad (6.45)$$

$$\Sigma y^2 = \Sigma (Y)^2 - (\Sigma X)^2 / N$$

$$\Sigma xy = \Sigma (X_1 X_2) - \Sigma X_1 \Sigma X_2 / N \qquad (6.46)$$

3) Korelasyon katsayısının $R^{-2}$ hesabı

$$R^2 = b.\frac{S_x}{S_y} = \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2 \sum y^2} \qquad (6.47)$$

4) Sonuçlar

$$b = \frac{20595036 - \frac{(27691)(15800)}{24}}{14070894 - \frac{(15800)^2}{24}} = \frac{2365127.7}{3669227.3} = 0.645$$

$$a = \overline{Y} - b.\overline{X}$$

a=1153.79-(0.645)(658.33)=729.43

$$R^2 = 0.645 \frac{391.004}{403.683} = 0.624 \qquad \textbf{R=0.79}$$

Oluşan tahmin denklemi: **Y=729.43+0.645X**

5) Fark değerler hesabı

Fark değerler hesaplanmış ve çizelgenin son sütununda verilmiştir. İlk değer şöyle hesaplanmıştır.

**Y'**=729.43+0.645(523) = 1066.765

Y-**Y'**=1094.0-1066.765 = 27.235

6) Eksik saylarının uzatılması

Korelasyon katsayısı R=0.79 gibi anlamlı büyüklükte bulunduğu için eksik sayılar yukarıda elde edilen doğrusal denklem ile bulunmuş ve birinci sütunda verilmiştir.





Çizelge 6.17. Regresyon Analizi ve Eksik Verilerin Tamamlanması

| İstas. Y | İsta. X | XY | $Y^2$ | $X^2$ | a | b | b.X | Y' | Y-Y' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1094 | 523 | 572162 | 1196836 | 273529 | 729.43 | 0,645 | 337,335 | 1066,765 | 27,235 |
| 825 | 508 | 419100 | 680625 | 258064 | 729.43 | 0.645 | 327,66 | 1057,09 | -232,09 |
| 1355 | 584 | 791320 | 1836025 | 341056 | 729.43 | 0.645 | 376,68 | 1106,11 | 248,89 |
| 1215 | 619 | 752085 | 1476225 | 383161 | 729.43 | 0.645 | 399,255 | 1128,685 | 86,315 |
| 1018 | 475 | 483550 | 1036324 | 225625 | 729.43 | 0.645 | 306,375 | 1035,805 | -17,805 |
| 1187 | 271 | 321677 | 1408969 | 73441 | 729.43 | 0.645 | 174,795 | 904,225 | 282,775 |
| 1187 | 403 | 478361 | 1408969 | 162409 | 729.43 | 0.645 | 259,935 | 989,365 | 197,635 |
| 692 | 322 | 222824 | 478864 | 103684 | 729.43 | 0.645 | 207,69 | 937,12 | -245,12 |
| 1947 | 906 | 1763982 | 3790809 | 820836 | 729.43 | 0.645 | 584,37 | 1313,8 | 633,2 |
| 1409 | 648 | 913032 | 1985281 | 419904 | 729.43 | 0.645 | 417,96 | 1147,39 | 261,61 |
| 2000 | 1551 | 3102000 | 4000000 | 2405601 | 729.43 | 0.645 | 1000,395 | 1729,825 | 270,175 |
| 1278 | 1963 | 2508714 | 1633284 | 3853369 | 729.43 | 0.645 | 1266,135 | 1995,565 | -717,565 |
| 988 | 450 | 444600 | 976144 | 202500 | 729.43 | 0.645 | 290,25 | 1019,68 | -31,68 |
| 1205 | 608 | 732640 | 1452025 | 369664 | 729.43 | 0.645 | 392,16 | 1121,59 | 83,41 |
| 759 | 510 | 387090 | 576081 | 260100 | 729.43 | 0.645 | 328,95 | 1058,38 | -299,38 |
| 1957 | 1043 | 2041151 | 3829849 | 1087849 | 729.43 | 0.645 | 672,735 | 1402,165 | 554,835 |
| 934 | 386 | 360524 | 872356 | 148996 | 729.43 | 0.645 | 248,97 | 978,4 | -44,4 |
| 405 | 253 | 102465 | 164025 | 64009 | 729.43 | 0.645 | 163,185 | 892,615 | -487,615 |
| 672 | 461 | 309792 | 451584 | 212521 | 729.43 | 0.645 | 297,345 | 1026,775 | -354,775 |
| 705 | 330 | 232650 | 497025 | 108900 | 729.43 | 0.645 | 212,85 | 942,28 | -237,28 |
| 1258 | 870 | 1094460 | 1582564 | 756900 | 729.43 | 0.645 | 561,15 | 1290,58 | -32,58 |
| 1331 | 676 | 899756 | 1771561 | 456976 | 729.43 | 0.645 | 436,02 | 1165,45 | 165,55 |
| 1224 | 870 | 1064880 | 1498176 | 756900 | 729.43 | 0.645 | 561,15 | 1290,58 | -66,58 |
| 1046 | 570 | 596220 | 1094116 | 324900 | 729.43 | 0.645 | 367,65 | 1097,08 | -51,08 |
| 1470,8 | 1150 | | | | | | | | |
| 041,8 | 485 | | | | | | | | |
| 856,7 | 198 | | | | | | | | |
| 1657,8 | 1440 | | | | | | | | |
| 1164,4 | 675 | | | | | | | | |
| 830,91 | 158 | | | | | | | | |
| 1053,4 | 503 | | | | | | | | |
| 1028,9 | 465 | | | | | | | | |
| 1494,6 | 1187 | | | | | | | | |
| 1326,3 | 926 | | | | | | | | |
| 994,1 | 411 | | | | | | | | |
| 1245,6 | 801 | | | | | | | | |
| 1192,8 | 719 | | | | | | | | |
| 1079,2 | 543 | | | | | | | | |
| 977,3 | 385 | | | | | | | | |
| 1013,4 | 441 | | | | | | | | |
| 1261,8 | 826 | | | | | | | | |
| 1013,4 | 441 | | | | | | | | |
| 1261,8 | 826 | | | | | | | | |
| 1014,7 | 443 | | | | | | | | |
| 1084,4 | 551 | | | | | | | | |
| 857,4 | 199 | | | | | | | | |
| 1166,3 | 678 | | | | | | | | |
| 1096,7 | 570 | | | | | | | | |
| 1028,9 | 465 | | | | | | | | |
| 1101,8 | 578 | | | | | | | | |
| 1094,7 | 567 | | | | | | | | |

Y=729.43+0.645X R=0.79

$\sum_1^{24} X = 15800$ $\overline{X}$=658.33

$\sum_1^{24} Y = 27691$ $\overline{Y}$ =1153.79

$\sum_1^{24} XY = 20595035$

$\sum_1^{24} Y^2 = 35697717$

$\sum_1^{24} X^2$ =14070894

$S_Y$=403.68 $S_X$=399.41

## ÖRNEK UYGULAMA 6.7:

**Pik frekans analizi ve analitiksel düzeltilmesi**

Örnek Uygulama 6.6'da verilen akım değerleri istatistiksel analize tabi tutularak analitiksel olarak düzeltilecek ve kuramsal frekans doğrusu oluşturularak beklenen yinelenme yılları için debi tahmini yapılacaktır.

**İstenen:**

Çizelge 6.18'deki veriler kullanılarak; 1) Kısa süreli istasyon, uzun süreli istasyon ve eşlenmiş uzun süreli istasyon değerleri analiz edilecektir.

2) Düzeltilmiş yeni istatistiksel değerler elde edilerek kuramsal frekans çizelgesi hazırlanacak ve uygun olasılık grafik kağıdına frekans doğrusu çizilecektir.

**Çözüm 6.7:**

Verilerin logaritmaları da ek sütunlarda verilmiştir.

1) Kullanılacak denklemler

$$S_Y^2 = \frac{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}}{N-1} \qquad (6.48)$$

$$Y - \overline{Y} = \left(Y_2 - \overline{Y}_2\right)\frac{S_{y1}}{S_{y2}} \qquad (6.49)$$

$$1 - \overline{R}^2 = \left(1 - R^2\right)\frac{N_1 - 1}{N_1 - 2} \qquad (6.50)$$

$$R^2 = \frac{\sum y_1 y_2}{\sum y_1^2 \sum y_2^2} \qquad (6.51)$$

$$\sum y_1 y_2 = \sum Y_1 Y_2 - \left(\sum Y_1 \sum Y_2\right)/N1$$

$$\sum y_1^2 \sum y_2^2 = \left[\sum Y_1^2 - \left(\sum Y_1\right)^2/N_1\right]\left[\sum Y_2^2 - \left(\sum Y_2\right)^2/N_2\right]$$





$$S'_{y1} - S_{y1} = \left(S_{y2} - S'_{y2}\right)R^2\frac{S_{y1}}{S_{y2}} \qquad (6.52)$$

$$\overline{Y}'_1 - \overline{Y}_1 = \left(\overline{Y}_2 - \overline{Y}'_2\right)R\frac{S_{y1}}{S_{y2}} \qquad (6.53)$$

$$N'_1 = \frac{N_1}{1 - \left(\frac{N_2 - N_1}{N_2}\right)\overline{R}^2} \qquad (6.54)$$

Bu denklemlerde:

$Y_1 = \log Q_1$, $Y_2 = \log Q_2$ düzeltilecek ve temel istasyon değerleri

$S_{y1}$ , $S_{y2}$ = Sırayla düzeltilecek ve temel istasyonun değerlerinin logaritmik standart sapması

$S'_{y1}$ = Kısa süreli istasyonun düzeltilmiş yeni standart sapması

$S'_{y2}$ =Eşlenmiş uzun süreli istasyon logaritmik standart sapması

$\overline{Y}_1$, $\overline{Y}_2$ = Logaritması alınmış değerlerin ortalaması

$Y'_1$ =Kısa süreli istasyonun düzeltilmiş yeni ortalaması

$N_1$ , $N_2$=Kısa ve temel süreli istasyon gözlem süresi

$N'_1$ =Düzeltilmiş yeni gözlem sayısı

2) Yukarıda verilen denklemlerin uygulaması çizelgede verilmiştir.

3) Kuramsal frekans çizelgesi(Cv=0.080; Cs=0.239)

Kuramsal frekans çizelgesi oluşturulmasında "Kuramsal Log-Olasılık Frekans Faktörleri" çizelgesi veya uygun diğer dağılımlara ilişkin çizelgeler seçilebilir.

Çizelge 6.18. Taşkın Frekans Analiz Kısa İstasyon Değerlerinin Düzeltilmesi

| | Q1 | Q2 | Y1=logQ1 | Y'=logQ2 | Y2=logQ2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1094 | 523 | 3,039017 | 2,718502 | 2,718502 |
| 2 | 825 | 508 | 2,916454 | 2,705864 | 2,705864 |
| 3 | 1355 | 584 | 3,131939 | 2,766413 | 2,766413 |
| 4 | 1215 | 619 | 3,084576 | 2,791691 | 2,791691 |
| 5 | 1018 | 475 | 3,007748 | 2,676694 | 2,676694 |
| 6 | 1187 | 271 | 3,074451 | 2,432969 | 2,432969 |
| 7 | 1187 | 403 | 3,074451 | 2,605305 | 2,605305 |
| 8 | 692 | 322 | 2,840106 | 2,507856 | 2,507856 |
| 9 | 1947 | 906 | 3,289366 | 2,957128 | 2,957128 |
| 10 | 1409 | 648 | 3,148911 | 2,811575 | 2,811575 |
| 11 | 2000 | 1551 | 3,301030 | 3,190612 | 3,190612 |
| 12 | 1278 | 1963 | 3,106531 | 3,292920 | 3,292920 |
| 13 | 988 | 450 | 2,994757 | 2,653213 | 2,653213 |
| 14 | 1205 | 608 | 3,080987 | 2,783904 | 2,783904 |
| 15 | 759 | 510 | 2,880242 | 2,707570 | 2,707570 |
| 16 | 1957 | 1043 | 3,291591 | 3,018284 | 3,018284 |
| 17 | 934 | 386 | 2,970347 | 2,586587 | 2,586587 |
| 18 | 405 | 253 | 2,607455 | 2,403121 | 2,403121 |
| 19 | 672 | 461 | 2,827369 | 2,663701 | 2,663701 |
| 20 | 705 | 330 | 2,848189 | 2,518514 | 2,518514 |
| 21 | 1258 | 870 | 3,099681 | 2,939519 | 2,939519 |
| 22 | 1331 | 676 | 3,124178 | 2,829947 | 2,829947 |
| 23 | 1224 | 870 | 3,087781 | 2,939519 | 2,939519 |
| 24 | 1046 | 570 | 3,019532 | 2,755875 | 2,755875 |
| 25 | | 1150 | | | 3,060698 |
| 26 | | 485 | | | 2,685742 |
| 27 | | 198 | | | 2,296665 |
| 28 | | 1440 | | | 3,158362 |
| 29 | | 675 | | | 2,829304 |
| 30 | | 158 | | | 2,198657 |
| 31 | | 503 | | | 2,701568 |
| 32 | | 465 | | | 2,667453 |
| 33 | | 1187 | | | 3,074451 |
| 34 | | 926 | | | 2,966611 |
| 35 | | 411 | | | 2,613842 |
| 36 | | 801 | | | 2,903633 |
| 37 | | 719 | | | 2,856729 |
| 38 | | 543 | | | 2,734800 |
| 39 | | 385 | | | 2,585461 |
| 40 | | 441 | | | 2,644439 |
| 41 | | 826 | | | 2,916980 |
| 42 | | 441 | | | 2,644439 |
| 43 | | 826 | | | 2,916980 |
| 44 | | 443 | | | 2,646404 |
| 45 | | 551 | | | 2,741152 |
| 46 | | 199 | | | 2,298853 |
| 47 | | 678 | | | 2,831230 |
| 48 | | 570 | | | 2,755875 |
| 49 | | 465 | | | 2,667453 |
| 50 | | 578 | | | 2,761928 |
| 51 | | 567 | | | 2,753583 |
| | | | 72,84669 | 66,25728 | 140,1706 |

$\Sigma$15800





Çizelge 6.19. Taşkın Frekans Analizi, İstasyon Değerlerinin Düzeltmesi

| Kısa süreli İst.. | | Uzun süreli İst | |
|---|---|---|---|
| $\Sigma Y_1$ | =72.84669 | $\Sigma Y_2$ | =140.1706 |
| $\Sigma Y_1^2$ | =222.4349 | $\Sigma Y_2^2$ | =387.6786 |
| $(\Sigma Y_1)^2/n$ | =221.110 | $(\Sigma Y_2)^2/n$ | =385.2509 |
| $\overline{Y}_1$ | =3.035 | $\overline{Y}_2$ | =2.7484 |
| n-1 | =24-1 | n-1 | =51-1=50 |
| $S_{y1}^2$ $S_{y1}$ | =222.4349-221.11<br>=0.0576<br>=0.240 | $S_{y2}^2$ $S_{y2}$ | =0.04855<br>=0.220 |
| **Eşlenmiş uzun süreli istasyon** | | **Korelasyon değeri** | |
| $\Sigma Y_2$ | =66.2573 | $\Sigma Y_1 Y_2$ | =201.6949 |
| $\Sigma Y_2^2$ | =184.0117 | $(\Sigma Y_1 \Sigma Y_2)/n$ | =201.1094 |
| $(\Sigma Y_2)^2/n$ | =182.918 | $\Sigma y_1 y_2$ | =0.5855 |
| $\overline{Y}_2$ | =2.7607 | $\Sigma y_1^2 \Sigma y_2^2$ | =1.3249x1.0937=1.44 |
| n-1 | =24-1=23 | $R^2$ | 9 |
| $S'^2_{y2}$ $S'_{y2}$ | =0.04755<br>=0.21806 | $\overline{R}^2$ | 0.5855/1.449=0.40407<br>0.623 |

Düzeltilmiş istatistik değerler

$S'_{y1} = 0.240+(0.220-0.21806)(0.40407)(0.240/0.21806)=0.2408627$

$\overline{Y}'_1$ =3.035+(2.7484-2.7607)(0.40407) (0.240/0.21806)=3.0295

$N'_1 = 24/\left[1-\left(51-24\right)/51\right]0.623 = 35.81$

Cv=0.07955 Cs=0.2392

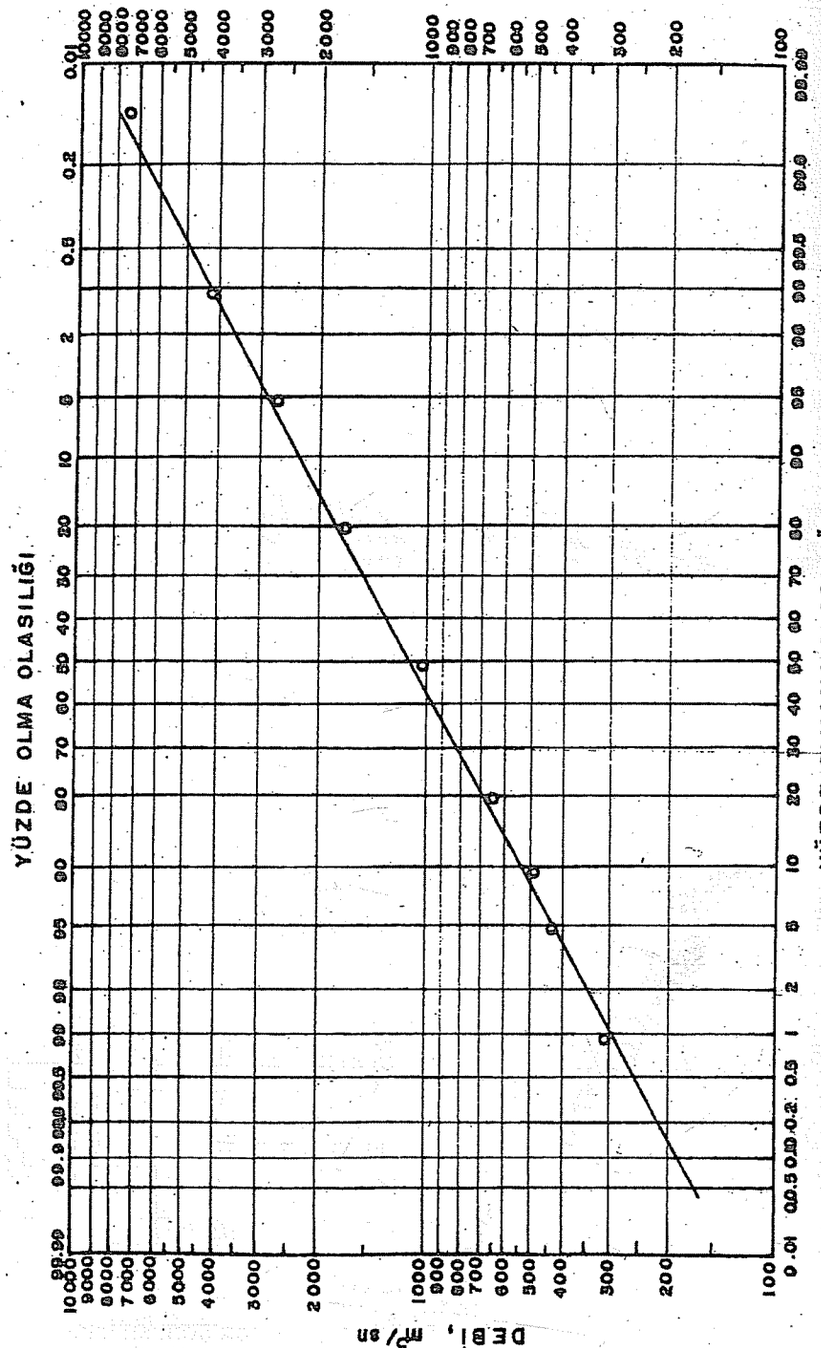
Kuramsal frekans katsayıları hidroloji kitaplarında bulunabilir (Tülücü, 1996b).

Çizelge 6.20. Düzeltilen İstasyon Değerleri ile Kuramsal Frekans Analizi

| Olasılık $P_N$ | K | $S'_{y1}$ | $\overline{Y}'_1$ | $\overline{Y}'_1 + K.S'_{y1}$ | Q |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0.01 | 4.26 | 0.241 | 3.03 | 4.057 | 11394 |
| 0.10 | 3.45 | " | " | 3.861 | 7269 |
| 1.00 | 2.51 | " | " | 3.635 | 4314 |
| 5.00 | 1.71 | " | " | 3.442 | 2768 |
| 20.00 | 0.82 | " | " | 3.228 | 1689 |
| 50.00 | -0.05 | " | " | 3.018 | 1042 |
| 80.00 | -0.85 | " | " | 2.825 | 668 |
| 90.00 | -1.34 | " | " | 2.707 | 509 |
| 95.00 | -1.58 | " | " | 2.649 | 446 |
| 99.00 | -2.16 | " | " | 2.509 | 323 |

4) Kuramsal frekans grafiğinin oluşturulması

Çizelge 6.20, Sütun (1) ile (6) değerleri ile söz konusu istasyon için frekans doğrusu oluşturulmuştur (Şekil 6.11). Buradan istenen olasılık veya yinelenme yılı için debiler okunabilir.




Şekil 6.11. Kuramsal taşkın frekans eğrisi





### 6.6.2. Doğrusal Çoklu Regresyon ve Korelasyon

Bunun genel regresyon denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = a + bX_1 + b_2X_2 + \ldots\ldots\ldots + b_nX_n \qquad (6.55)$$

1) **"b" *nin hesabı***

Regresyon katsayısı b'nin çözümündeki hesap işlemi bağımsız değişkenlerin sayısına bağlı olarak artar. Bunlar aşağıdaki denklemlerin veya matris sisteminin çözümü ile elde edilir. Denklemlerin genel olarak vektör tanımıyla yazılışı AB=G şeklindedir.

$$\begin{array}{|cccc|c|c|} & & A & & B & G \\ \hline x_1^2 & x_1x_2 & \ldots\ldots & x_1x_n & b_1 & x_1y \\ x_1x_2 & x_2^2 & \ldots\ldots & x_2x_n & b_2 & x_2y \\ \ldots\ldots & & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ x_nx_1 & x_nx_2 & & x_n^2 & b_n & x_ny \\ \hline \end{array} \qquad (6.56)$$

b'ler $B=A^{-1}.G$ şeklinde hesaplanabilir. Burada. $A^{-1}$, A'nın tersidir (inverse). Bunların çözümüne ait geniş bilgi istatistik ve matematik ders kitaplarında bulunabilir. Denklem (6.56)'deki terimler ortalamalardan sapmaları yani düzeltilmiş değerleri gösterir. Bunlar Denklem (6.57) ve (6.58)'deki gibi hesaplanır.

$$\Sigma x^2 = \Sigma (X)^2 - (\Sigma X)^2 / N \qquad (6.57)$$

$$\Sigma x_1x_2 = \Sigma (X_1X_2) - \Sigma X_1 \Sigma X_2 / N \qquad (6.58)$$

2) Korelasyon katsayısının $R^{-2}$ hesabı;

$$R^{-2} = 1 - (1-R^2)(N-1) / df \qquad (6.59)$$

$$R^2 = [\, b_1 (yx_1) + b_2 \Sigma(yx_2) + \ldots + b_n \Sigma (yx_n) / \Sigma(y)^2 \qquad (6.60)$$

3. Standart hatanın $S_e^2$ hesabı;

$$S_e^2 = (1-\overline{R}^2)\sum(y^2)/(N-1) \qquad (6.61)$$

Burada: N = Örnekleme sayısı, N-m= Serbestlik derecesi. (df)

### 6.6.3. Eğrisel Regresyon ve Korelasyon

Doğrusal regresyon, eğrisel regresyon un özel bir durumudur. Şayet bütün eğrisel fonksiyonlar transformasyon ile doğrusal bir duruma getirilebilse çözüm çok kolaylaşır. Bütün fonksiyonlar doğrusal bir ilişkiye transfer edilemez. y ve x ile belirtilen polinomiyal regresyon un genel eşitliği aşağıdaki şekildedir.

$$y = a_o + a_1x + a_2x^2 + ..... + a_mx^m \qquad (6.62)$$

veya

$$x = b_o + b_1y + b_2y^2 + .... + b_my^m \qquad (6.63)$$

Buradaki $a_i$ ve $b_i$ katsayıları en küçük kareler yöntemiyle saptanır. m çizgilerden sapmaların karelerinin toplamını minimuma indirmek için seçilir. Genel olarak, $2<m<4$ arasındadır.

Çözüm için genel olarak iki yöntem uygulanır. (1) Direk olarak parametreler en küçük kareler yöntemi ile hesaplanır. (2) x, $x^2$, $x^3$, ... değişkenleri doğrusal hale getirilerek ve çoklu doğrusal regresyon yöntemi uygulanarak hesaplanır. Bunlar için daha geniş bilgi istatistik ve matematik ders kitaplarında bulunabilir.

Sorunun çözümü için kimi zaman aşağıdaki şekilde bir eşitlik yazılabilir.

$$Y = ax^By^\gamma z^\delta \qquad (6.64)$$

Denklem (6.64) logaritmik bir dönüşüm ile doğrusal regresyon eşitliği şekline dönüştürülür.

$$\text{Log } Y = \log a + \beta \log x + \gamma \log y + \delta \log z ..... \qquad (6.65)$$

$\log a = a'$ $\quad \log y = y'$
$\log Y = Y'$ $\quad \log z = z'$
$\log x = x'$

Bu dönüşüm değerleri Denklem (6.65)'de yerine konulursa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Y' = a' + B\,x' + \gamma\, y'\, \delta\, z' \qquad (6.66)$$





## ÖRNEK UYGULAMA 6.8.

### Çoklu regresyon analizi

Çizelge 6.21 de bir su toplama havzasında yıllara göre kar derinliği, yeraltı suyu derinliği, Nisan yağışı ve yüzey akışı verilmiştir. Bu değerler kullanılarak yüzey akışın verilen değişkenlere bağlı olarak sezinlenmesi istenmektedir. Çoklu doğrusal regresyon yöntemini kullanarak istenen doğru geliştirilecektir.

Çözüm için verilen değerlerin logaritması alınarak gerekli işlemler yapılmış Çizelge 6.21, 6.22.-6.23'te hesaplamaları ve sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.21. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

| | $X_1$ | | $X_2$ | | $X_3$ | | $Y_1$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Su Yılı | Kar Derinliği | | Yeraltı Suyu | | Nisan Yağışı | | Yüzey Akış | |
| | cm | log | cm | log | cm | log | cm | log |
| 1936 | 6.4 | 0.806 | 5.4 | 0.732 | 13.0 | 1.114 | 20.1 | 1.303 |
| 1937 | 5.6 | 0.748 | 6.1 | 0.785 | 10.5 | 1.021 | 17.4 | 1.241 |
| 1938 | 6.0 | 0.778 | 6.5 | 0.813 | 44.9 | 1.652 | 28.7 | 1.458 |
| 1939 | 4.5 | 0.653 | 6.8 | 0.833 | 9.7 | 0.987 | 14.1 | 1.149 |
| 1940 | 3.9 | 0:591 | 6.3 | 0.724 | 25.4 | 1.405 | 11.8 | 1.072 |
| 1941 | 5.0 | 0.699 | 7.4 | 0.869 | 52.5 | 1.720 | 30.6 | 1.486 |
| 1942 | 5.0 | 0.699 | 8.2 | 0.914 | 25.5 | 1.407 | 29.21 | 1.466 |
| 1943 | 5.7 | 0.756 | 6.1 | 0.785 | 12.9 | 1.111 | 19.8 | 1.297 |
| 1944 | 5.0 | 0.699 | 6.3 | 0.799 | 44.1 | 1.644 | 26.7 | 1.427 |
| 1945 | 5.3 | 0.724 | 6.1 | 0.785 | 31.3 | 1.496 | 21.1 | 1.324 |
| 1946 | 3.7 | 0.568 | 6.6 | 0.820 | 27.7 | 1.442 | 14.5 | 1.161 |
| 1947 | 4.8 | 0.681 | 6.5 | 0.813 | 24.2 | 1.384 | 23.2 | 1.365 |
| N | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| $\Sigma X$ | 60.9 | 8.402 | 77.2 | 9.672 | 321.7 | 16.383 | 257.21 | 15.749 |
| $M=\overline{X}$ | 5.075 | 0.700 | 6.442 | 0.806 | 26.808 | 1.365 | 21.434 | 1.312 |

Çizelge 6.22.Çoklu Regrasyon Parametrelerinin Hesabı

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\Sigma X_1^2$<br>$\Sigma X_1^2/n$<br>$\Sigma x^2$ | $\Sigma X_1 X_2$<br>$\Sigma X_1 X_2/n$<br>$\Sigma (x_1x_2)$ | $\Sigma X_1 X_3$<br>$\Sigma X_1 \Sigma X_3/n$<br>$\Sigma (x_1x_3)$ | $\Sigma X_1 Y$<br>$\Sigma X_1 Y/n$<br>$\Sigma (xy)$ |
| $\Sigma X_2X_1$<br>$\Sigma X_2 \Sigma X_1/n$<br>$\Sigma (x_2x_1)$ | $\Sigma (X_2)^2$<br>$(\Sigma X_2)^2/n$<br>$\Sigma x_2^2$ | $\Sigma X_2X_3$<br>$\Sigma X_2 \Sigma X_3/n$<br>$\Sigma (x_2x_3)$ | $\Sigma X_2 Y_1$<br>$\Sigma X_2Y_1/n$<br>$\Sigma (x_2y_1)$ |
| $\Sigma X_3X_1$<br>$\Sigma X_3\Sigma X_1/n$<br>$\Sigma (x_3x_1)$ | $\Sigma X_3X_2$<br>$\Sigma X_3 \Sigma X_2/n$<br>$\Sigma (x_3x_2)$ | $\Sigma (X_3^2)$<br>$(\Sigma X_3)^2/n$<br>$\Sigma (x_3)^2$ | $\Sigma X_3 Y_1$<br>$\Sigma X_3\Sigma Y_1$<br>$\Sigma (x_3y_1)$ |

| | |
|---|---|
| $\Sigma (Y_1^2)=$ | |
| $\Sigma (Y_1)^2 /n=$ | |
| $\Sigma y_1^2=$ | |

Çizelge 6.23. Problemin Parametrelerinin Düzeltilmiş Matris Çözümü

| | X1 | X2 | X3 | Y1 |
|---|---|---|---|---|
| X1 | 316.09<br>309.0675<br>7.0225 | 391.21<br>392.29<br>1.08 | 1622.68<br>1622.63<br>9.9475 | 1330.00<br>1305.34<br>24.66 |
| X2 | | 504.87<br>497.94<br>6.929 | 2111.85<br>2072.2842<br>39.5658 | 1689.8120<br>1656.8611<br>32.9509 |
| X3 | | | 10884.85<br>8624.24<br>2260.609 | 7576.885<br>6895.371<br>681.514 |
| Y1 | | | | 5956.724<br>5513.082<br>413.642 |

$$77.0225\, b_1 - 1.08\, b_2 - 9.9475\, b_3 = 24.659$$
$$6.929\, b_2 + 39.5658\, b_3 = 32.9509$$
$$2260.609\, b_3 = 681.514$$
$$b_3 = 0.30147$$
$$b_2 = 3.03406$$
$$b_1 = 4.4051$$

$a = M_y - b_1M_1 - b_2M_2 - b_3M_3$

$a = 21.434 - (4.4051)(5.075 - 3.03406)(6.442 - 0.30147)(26.808)$

$a = -28.549$

Aranan denklem:

$$Y_1 = -28.549 + 4.4051\, X_1 + 3.03406\, X_2 + 0.30147\, X_3$$

### 6.6.4. Havza Parametreleri ile Çoklu Regresyon Analizi

Havza parametreleri kullanılarak debi tahmini yapılmak istenmektedir. Burada yöntem verilecek sayısal uygulama öğrencilere bırakılacaktır..

Taşkın tahmini için $T_r$ yıl tekerrüre göre aşağıda verilen biçimde denklem çoklu eğrisel (veya doğrusal) regresyon denklemi oluşturulabilir ve korelasyon analizi yapılabilir.





$$Q_T = aA^b.S^c.S_t^d.P^c.T^f.O^g \quad (6.67)$$

Burada:

A = Drenaj alanı $km^2$

S = Su toplama havzası ana kanal eğimi (İlgilenilen kanal üzerinde L uzunluğunun % 10 ile % 85'i arasındaki kanal boyunun eğimi)

$S_t$= Yüzey depolama alanı yüzdesi (toplam alana yüzdesi)

P = Belli yinelenmeli 24 saat süreli yağış. (veya yinelenmeli aylık yağış, mm)

T = Yinelenmeli ilgili ayın ortalama sıcaklığı

0 = Orografik faktör

b.c.d.e.f.g = Bütün değişkenlere logaritmik dönüşüm (transformasyon) uygulandığı zaman ortaya çıkan çoklu doğrusal regresyon denklemi katsayılarıdır.

$$Q_T = aA^b \quad (6.68)$$

$$Q_T = aA^b.S^c \quad (6.69)$$

$$Q_T = aA^b.S^c.S_t^d \quad (6.70)$$

$$Q_T = aA^b.S^c.S_t^d.P^c \quad (6.71)$$

$$Q_T = aA^b.S^c.S_t^d.P^c.T^f. \quad (6.72)$$

$$Q_T = aA^b.S^c.S_t^d.P^c.T^f.O^g \quad (6.73)$$

Görüldüğü şeklinde değişkenlerin etkinliğine bağlı olarak kademeli biçimde denklemler oluşturulabilir ve her çözüm için değişik korelasyon katsayısı saptanır. En büyük korelasyon son denklemde elde edilir.

Alan, görüldüğü gibi bu çalışmada değişmeyen faktör olarak her denklemde yer almıştır. Verilerin sağlanabilme ve kullanma kolaylığı göz önüne alınarak bu denklemlerden biri benimsenebilir.

**ÖRNEK UYGULAMA 6.9.**

**Havza Parametreleri ile Çoklu Regresyon ve Korelasyon**

1) Veri toplanması

Bir su toplama havzası alt havzalara ayrılarak var olan havza hidrolojik ve meteorolojik verileri ile havzadan sağlanabilecek parametreler aşağıdaki çizelgede toplanacaktır.

Çizelge 6.24. Çoklu Regresyon için Havza Parametreleri

| Havza | Debi $m^3/sn$ | Yağış mm | Sıcaklık $C^o$ | Alan $km^2$ | Eğim % | Bitki Örtüsü % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| n | | | | | | | |

2) Eğrisel veya doğrusal regresyon denkleminin seçimi

Seçilen havzaya ilişkin aylık veya yıllık taşkını sezinlemek için (6.62), (6.63), (6.64) veya (6.67) denklem tiplerinden biri seçilerek veya denenerek en uygun denklem bulunacak ve korelasyon analizi yapılacaktır.

3) Mevcut gözlem akım değerleri ile fark analizi yapılarak sapmalar belirlenecektir.





# BÖLÜM 7 AKARSU YATAĞINDA ÖTELENME

Hidrograf ölçüm istasyonundan geçen dalga hareketinin zamana göre grafiklenmesi olarak bilinmektedir. Bu dalga şekli aktığı yatak boyunca, yatağa ilave edilen suya ve akım hızına bağlı olarak değişiklikler gösterir. Akım ilavesi olmaksızın dalga şeklindeki değişim dalganın alçalmasını, sürenin uzamasını ve pik akımın düşmesini ihtiva eder. Yatağa su eklenmesi durumunda alçalma hala devam eder, ancak toplam hacımdaki artış onu belli etmez. Bu bölümde akarsu yatağında ötelenmenin kavramsal ve kuramsal olarak açıklanması ve sonrada uygulamasının yapılması öngörülmüştür.

## 7.1. Ötelenme Kavramı

Dalga mekaniği esasına göre dalga şeklindeki değişimin teorik hesabı, doğal kanallara uygulandığında çok güçtür, ancak diferansiyel denklemin sayısal çözümünü bilgisayar kullanarak sağlamak olasıdır.

Elle hesaplamalar genellikle, seçilen kısa kanal boyunda süreklilik esasına göre bir çözüm için kullanılır. Bu düşünce depolama denkleminde şöyle ifade edilir.

$$\bar{I}\,\Delta t - \Delta S = \bar{O}\,\Delta t \qquad (7.1)$$

Burada;

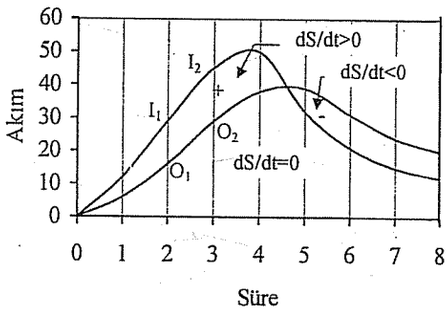
$\bar{I}$ ve $\bar{O}$, $\Delta t$ zaman aralığında ortalama giren ve çıkan akım şiddeti, $\Delta S$, $\Delta t$ zaman diliminde, kanala giren ve çıkan akım farkından meydana gelen su hacmidir. I seçilen kanala giren ölçülmüş debi olduğuna göre, denklemin O için çözümü $\Delta S$ değerinin belirlenmesine bağlı kalır. Verilen zaman periyodunda ortalama akım hızı, periyodun başındaki ve sonundaki akım hızı ortalamasına eşit ise Denklem (7.1) şöyle yazılabilir.

$$\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{O_1+O_2}{2}\Delta t=S_2-S_1 \qquad (7.2)$$

Burada; indis sayı 1 ve 2, $\Delta t$ zaman aralığının başını ve sonunu temsil etmektedir. $\Delta t$ zaman aralığı yeterince kısa ise periyodun başı ile sonu arası doğrusal kabul edilir. Hesaplamalarda $I_1$ ve $I_2$ ile başlangıç dışa akım ($O_1$) ile depolama ($S_1$) biliniyor veya küçük hata ile tahmin edilebilir. Geri kalan $O_2$ ve $S_2$ bilinmeyenleri için ikinci bir denkleme ihtiyaç vardır. Bu denklem, ölçülebilir parametre ile depolama ile ilgili olmalıdır.

Akarsu ötelenmesinde en çok kullanılan yöntem Muskingum yöntemidir. Bunun yanında grafiksel ötelenme yöntemleri de kullanılır. Burada sadece Muskingum yöntemi konu edilecektir.

Akarsu ötelenmesi koşulunda biriktirme denkleminin çözümü basit rezervuar ötelenmesinden çok daha karmaşıktır. Çünkü çözüm işlemine kama şeklindeki biriktirmede girmektedir.



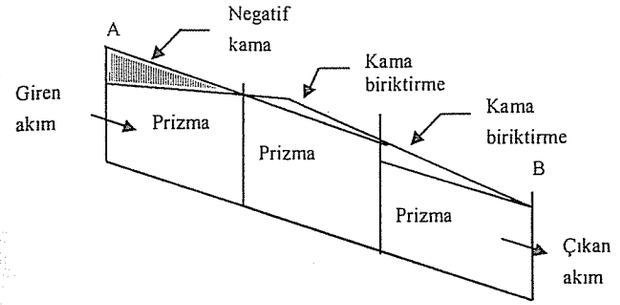

Şekil 7.1. Kanal ötelenmesi, giren-çıkan hidrograf ilişkisi

## 7.2. Doğal Kanallarda Ötelenme- Muskingum Yöntemi

Biriktirme veya depolama rezervuarda olduğu gibi sadece debinin bir fonksiyonu değildir. Biriktirme birinci derecede akarsu yatağı parçasına giren ve çıkan suyun ve yatağın hidrolik özelliklerinin bir fonksiyonudur.








Şekil 7.2. Akarsu kanalında su yüzeyi profili

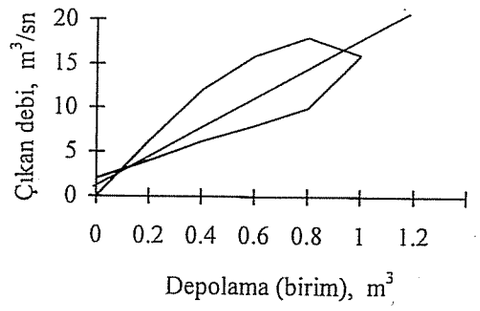
Her hangi bir anda akarsu yatağında biriken su, kanal veya vadi depolaması (S) olarak bilinir. S'nin bilinen en önemli belirleme yöntemi su yatağı hacminin topoğrafik haritadan doğrudan ölçme yöntemidir. Ancak yeterli hassaslıkta haritanın olmaması ve akımın her bir olası koşulunda su yüzeyi profilinin tahmini veya hesabına ihtiyaç duyulması ve bunun sağlanamaması bu yöntemi de yetersiz kılmaktadır. Denklem (7.1) sadece $\Delta S$ değerini ihtiva etmektedir. Mutlak depolama değerinin bilinmesi gerekmiyor.

$\Delta S$ değeri Şekil 7.1'de olduğu gibi giren ve çıkan gerçek akım değerleri Denklem (7.1) de kullanılarak belirlenebilir. Her bir artım için I ve O değerleri ve ortalamaları belirlenir, bu ortalamalar farkı

$\bar{I}-\bar{O}=\Delta S$ hesaplanmış olur. Biriktirme hacmi, varsayılan bir sıfır noktasından başlayarak artım biriktirme hacimlerinin toplanması ile hesaplanmış olur.

### 7.2.1. Muskingum Ötelenme Katsayıları

Hesaplanan S değerleri çıkan hidrograf değerleri ile karşılıklı grafiklendiği zaman (Şekil 7.3), genellikle biriktirme yükselen kısımda, çekilme kısmına oranla biraz daha yüksektir. Dalga piki seçilen kanal boyuna eriştikten sonra, biriktirme düşmeye başlar. Bununla birlikte çıktı debisi hala artar. Yaklaşık bütün akarsu ötelenme yöntemleri girdi ve çıktı değişimleri ile ilgilidir. Bazı durumlarda, biriktirmeyi ilgilendiren grup eğriler geliştirilir ve ötelenme döngüsü rezervuarda olduğu gibi su yüzeyi eğimi ile çözülür.




Şekil 7.3. Depolama ile çıkan akım arasındaki ilişkisi

Diğer önemli ve yaygın olarak kullanılan bir kabul ise biriktirmenin, ağırlıklanmış giren ve çıkan akımın ve yatağın bir fonksiyonu olduğudur.

Su yatağı parçasında genel **biriktirme** denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$S=(b/a)[x.I^{m/n}+(1-x)O^{m/n}] \qquad (7.3)$$

Burada;

a ve n= Akarsu yatağı hidrolik özelliğine bağlı katsayı

b ve m= Akarsu en kesiti su yüzeyi kotu, hacim özelliğine bağlı katsayı

**Muskingum** m/n=1 ve b/a=K şeklinde kabul ederek sonuç denklemini aşağıdaki şekilde vermiştir.

$$S=K[x.I+(1-x)O] \qquad (7.4)$$

Burada;

S= Ağırlıklı biriktirme
I=Giren akım
O=Çıkan akım
x= Birimsiz ağırlıklı bir katsayı ($0<x<0.5$)
K= Biriktirme katsayısı olup birimi zamandır.

Biriktirme hesabında kullanılan giren ve çıkan akımın oransal olarak önemini gösteren birimsiz, ağırlıklı bir katsayı olup 0 ile 0.5 arasında değiştiği vurgulanmaktadır. Denklemin uygulaması sonucu





genellikle K kanal parçasındaki geçiş süresine ve x ise ortalama 0.2 ye eşit olmaktadır.

K değeri seçilen kanal boyunda dalganın ilerleme süresini ifade eder. Bunun kanal girişinde gözlenen debi (I) ile çıkışında gözlenen debi (O) değerlerinin Denklem (7.4)'te kullanılması ve grafiklenmesi sonucu bulunması gerekir.

Denklem (7.4) diferansiyel formda yazılarak yeniden düzenlenebilir.

$$I-0=\frac{dS}{dt}=K\left[x\frac{dI}{dt}+(1-x)\frac{dO}{dt}\right] \qquad (7.5)$$

Eğer I=O ise;

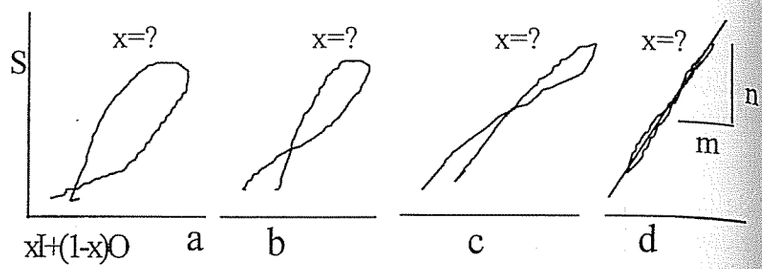
$$x=\frac{dO/dt}{dO/dt-dI/dt} \qquad (7.6)$$

$$K=\frac{S=I-O}{x.I+(1-x)O}=\frac{\text{Biriktirme}}{\text{Ağırlıklı dışa akım}} \qquad (7.7)$$

x, mevcut giren ve çıkan verilerden tahmin edilir. I=O olduğu zaman, rezervuar için O=f(S), dS/dt ve dO/dt sıfır olmak durumundadır. Bu durumda x=0 olur. Sıfır değeri, rezervuarda olduğu gibi çıkan akımın tek başına biriktirmeyi temsil ettiğini gösterir.

x=0.5 olması durumunda, giren ve çıkan akım biriktirmeyi eşit olarak etkiler. Genellikle doğal kanallarda x, 0.1 ile 0.3 arasında değişir.

Denklem (7.4) Muskingum ötelenme yönteminin temelidir. Kanal kesiti boyunca K ve x değerleri genellikle deneme yanılma yöntemi ile belirlenir. Tahmin edilen x değerleri ve S ile xI+(1-x)O değerleri karşılıklı olarak grafiklenir. Tahmin edilen x değerleri ile oluşturulan grafikler içinde doğru çizgiye en yakın olan grafiğin oluşmasında kullanılan x değeri seçilir. K değeri ise oluşan bu doğrunun eğimidir.




Şekil 7.4. Muskingum öteleme katsayılarının bulunması aşamaları

### 7.2.2. Muskingum Ötelenmesi

Muskingum ötelenme denklemi, $S_1$ ve $S_2$ değerleri için Denklem (7.4), Denklem (7.2) ile birleştirilmesi ve $O_2$ için çözülmesi ile elde edilir.

$$S_{n-1}-S_n=K[x(I_{n+1}-I_n)+(1-x)(O_{n+1}-O_n)] \quad (7.8)$$

$$O_{n+1}=C_0I_{n+1}+C_1I_n+C_2O_n \quad (7.9)$$

Eğer n=1,2..için açılırsa;

$$O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1 \quad (7.10)$$

$$O_3=C_0I_3+C_1I_2+C_2O_2$$

Burada;

$$C_o=\frac{-Kx+0.5\Delta t}{K-Kx+0.5\Delta t} \quad (7.11)$$

$$C_1=\frac{Kx+0.5\Delta t}{K-Kx+0.5\Delta t} \quad (7.12)$$

$$C_2=\frac{K-Kx-0.5\Delta t}{K-Kx+0.5\Delta t} \quad (7.13)$$

$$C_0+C_1+C_2=1 \quad (7.14)$$

Denklem (7.14)'te katsayıların toplamının bire eşit olduğu görülmekte olup, bunun öneminin hatırlanması gerekir. Aynı zamanda





Denklem (7.13) sadece, düzenli akımlarda ($I_1=I_2=O_1=O_2$), sabit sayıların bire eşit olma durumunda doğrudur. Denklemlerde kullanılan K ve $\Delta t$ değerlerinin aynı birimde olduğunun bilinmesi de önemlidir. Depolama $m^3$ ve akım ise $m^3/sn$ ise K ve t değerlerinin biriminin saniye olması zorunludur.

Buradaki varsayım seçilen kanal boyundaki su yüzeyinin yeknesak olması, prizma şeklindeki biriktirmenin var olması arzusudur. Eğer bu sınırlamalardan dolayı önemli derecede sapma olursa, nehrin daha kısa bir parçasında çalışma veya daha karmaşık bir yaklaşımın kullanılması gerekir.

Biriktirme (S)'nin I ve O'ya doğrusal olarak bağlı olduğunu kabul etmek her zaman yeterli değildir. Bazen Denklem (7.3) de olduğu gibi tahmin yapmak uygun olur. Üslerin değeri sınama ile bulunur.

Ötelenme yapılırken yan kollardan katılan suların da göz önüne alınması gerekir. Kol gözönüne alınan akarsu parçasının yukarısında ise kolun akış hidrografı, akarsudaki I(t) hidrografına eklenir. Kol akarsuya, parçanın alt kısmında (mansap) bir yerde katılıyorsa o parça için O(t) çıkış hidrografı hesaplandıktan sonra, kolun getirdiği akışın hidrografı buna eklenir. Gerekli görülürse kolun getirdiği hidrograf iki parçaya ayrılır. Bir kısım kaynakta, bir kısmı mansapta göz önüne alınabilir.

Ötelenmede seçilen akarsu parçası, akarsuyun özelliklerini aşağı yukarı sabit tutacak şekilde kısa olmalıdır.

$\Delta t$ zaman aralığı taşkın dalgasının akarsu parçasından geçmesi için gereken süreden (geçiş süresinden) küçük (bir sürenin 1/3-1/2'si kadar) seçilmelidir. Bunun nedeni hidrografın tepe noktası akarsu parçasının $\Delta t$ zaman aralığı içinde geçmesidir. Muskingum yöntemi kullanılırken $\Delta t$ zaman aralığının genellikle 2xK ile K sınırları arasında seçilmesi uygun olur.

**ÖRNEK UYGULAMA 7.1:**
**Muskingum yöntemi ile ötelenme**

Bir su haznesinden kaynağa doğru birkaç km uzaklıktaki bir akım istasyonundan herhangi bir zamanda sağlanan hidrograf bilgileri Çizelge7.1 (sütun 2 ve 3)'de görülmektedir. Her hangi bir zamanda önemli bir sağanak sonucu oluşan taşkın akım verileri ise yine aynı çizelgenin 4. sütununda verilmiştir.

**İstenen:**

Çevreden su yatağına etki edecek derecede bir akımın girmediği varsayılarak rezervuara giren akım, Muskingum öteleme yöntemi ile belirlenmek istenmektedir.

Çizelge 7.1. Muskingum Ötelenme Veriler

| Zaman saat | Muskingum katsayıları için kullanılacak | | Ötelenecek Giren akım m3/sn |
|---|---|---|---|
| | Giren akım $m^3/sn$ | Çıkan akım $m^3/sn$ | |
| 0 | 4.0 | 4.0 | 6.0 |
| 0.5 | 3.5 | 3.9 | 8.0 |
| 1.0 | 3.7 | 3.7 | 21.0 |
| 1.5 | 12.5 | 5.2 | 61.0 |
| 2.0 | 34.0 | 13.0 | 97.0 |
| 2.5 | 57.5 | 26.0 | 116.0 |
| 3.0 | 72.2 | 44.1 | 122.0 |
| 3.5 | 74.0 | 57.2 | 114.0 |
| 4.0 | 67.3 | 62.0 | 90.0 |
| 4.5 | 45.6 | 60.2 | 91.0 |
| 5.0 | 32.0 | 51.9 | 104.0 |
| 5.5 | 24.5 | 42.7 | 105.0 |
| 6.0 | 19.2 | 34.3 | 93.0 |
| 6.5 | 14.4 | 27.5 | 74.0 |
| 7.0 | 11.8 | 21.2 | 52.0 |
| 7.5 | 9.5 | 16.6 | 34.0 |
| 8.0 | 8.0 | 12.9 | 23.0 |
| 8.5 | 6.7 | 10.1 | 14.0 |
| 9.0 | 5.6 | 8.0 | 9.0 |
| 9.5 | 5.0 | 6.5 | 6.0 |
| 10.0 | 4.2 | 5.5 | 5.0 |

**Çözüm:7.1:**

1) Biriktirme (S) ile ağırlıklı akım (x.I+(1-x)O) arasındaki ilişki verilerinin hesabı:

S=I-O ve $S=(\bar{I}-\bar{O})\Delta t$

$\bar{I}_1=\frac{I_1+I_2}{2}$ ve $\bar{O}=\frac{O_1+O_2}{2}$ *çizelgede görülmektedir*

x=0.05 ve 0.075 için hesaplama yapılacaktır.



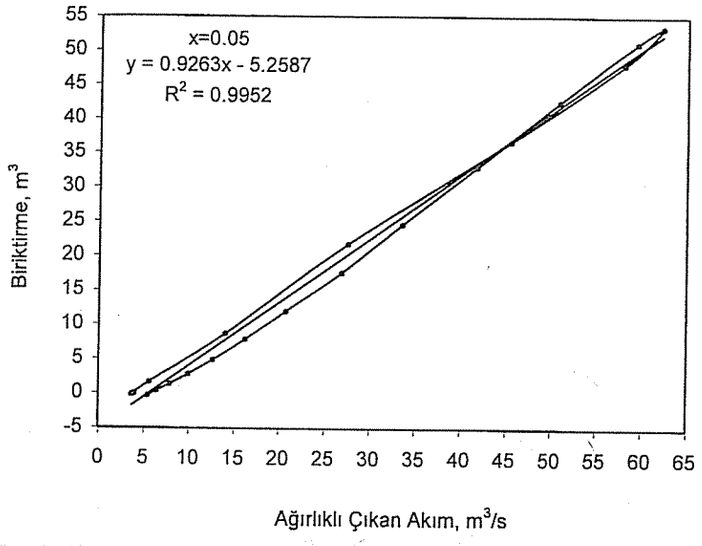


Çizelge 7.2. Muskingum Ötelenme Yöntemi için Veriler

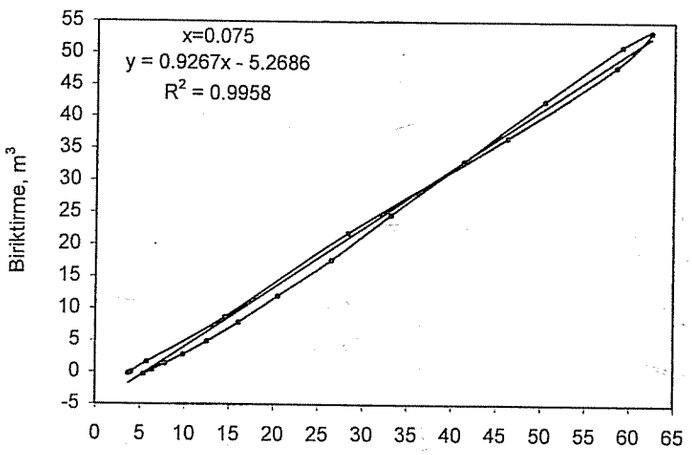
| Zaman saat | Giren akım I $m^3/sn$ | Ortalama $\bar{I}_1=\frac{I_1+I_2}{2}$ $m^3/sn$ | Çıkan Akım O $m^3/sn$ | Ortalama $\bar{O}=\frac{O_1+O_2}{2}$ $m^3/sn$ | Fark $(\bar{I}-\bar{O})\Delta t$ $\Delta t$=0.5 | Yığışımlı $S=(\bar{I}-\bar{O})\Delta t$ $m^3/sn$ | Ağırlıklı çıkan akım x=0.05 x.I+(1-x)O $m^3/sn$ | Ağırlıklı çıkan akım x=0.075 x.I+(1-x)O $m^3/sn$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| 0 | 4.0 | 0.00 | 4.0 | 0.00 | - | 0.00 | 4.000 | 4.00 |
| 0.5 | 3.5 | 3.75 | 3.9 | 3.95 | -0.10 | -0.10 | 3.88 | 3.87 |
| 1.0 | 3.7 | 3.60 | 3.7 | 3.80 | -0.10 | -0.20 | 3.70 | 3.70 |
| 1.5 | 12.5 | 8.10 | 5.2 | 4.45 | 1.83 | 1.63 | 5.57 | 5.75 |
| 2.0 | 34.0 | 23.25 | 13.0 | 9.10 | 7.07 | 8.70 | 14.05 | 14.58 |
| 2.5 | 57.5 | 45.75 | 26.0 | 19.50 | 13.13 | 21.83 | 27.58 | 28.36 |
| 3.0 | 72.2 | 64.85 | 44.1 | 35.00 | 14.90 | 36.73 | 45.51 | 46.21 |
| 3.5 | 74.0 | 73.10 | 57.2 | 50.65 | 11.23 | 47.95 | 58.04 | 58.46 |
| 4.0 | 67.3 | 70.65 | 62.0 | 59.60 | 5.53 | 53.48 | 62.27 | 62.40 |
| 4.5 | 45.6 | 56.45 | 60.2 | 61.10 | -2.32 | 51.15 | 59.47 | 59.11 |
| 5.0 | 32.0 | 38.80 | 51.9 | 56.05 | -8.63 | 42.53 | 50.91 | 50.41 |
| 5.5 | 24.5 | 28.25 | 42.7 | 47.30 | -9.53 | 33.00 | 41.79 | 41.34 |
| 6.0 | 19.2 | 21.85 | 34.3 | 38.50 | -8.32 | 24.67 | 33.55 | 33.17 |
| 6.5 | 14.4 | 16.80 | 27.5 | 30.90 | -7.05 | 17.63 | 26.85 | 26.52 |
| 7.0 | 11.8 | 13.10 | 21.2 | 24.35 | -5.63 | 12.00 | 20.73 | 20.50 |
| 7.5 | 9.5 | 10.65 | 16.6 | 18.90 | 4.13 | 7.88 | 16.25 | 16.07 |
| 8.0 | 8.0 | 8.75 | 12.9 | 14.75 | --3.00 | 4.88 | 12.66 | 12.53 |
| 8.5 | 6.7 | 7.35 | 10.1 | 11.50 | -2.08 | 2.80 | 9.93 | 9.85 |
| 9.0 | 5.6 | 6.15 | 8.0 | 9.00 | -1.45 | 1.35 | 7.88 | 2.82 |
| 9.5 | 5.0 | 5.30 | 6.5 | 7.25 | -0.98 | 0.38 | 6.43 | 6.339 |
| 10.0 | 4.2 | 4.60 | 5.5 | 6.00 | -0.70 | -0.33 | 5.44 | 5.40 |

2) x değerinin seçimi için sınama grafiklerinin çizimi: Biriktirme (sütun 7) ile çıkan ağırlıklı akım (sütun 8 ve 9) karşılıklı grafiklenir, doğru oluşturan x değeri seçilir.

Bunun için normal grafik kağıdı kullanılmış ve grafik Şekil 7.5-7.6'da verilmiştir. x=0.05 ve x=0.075 değerleri sınanmış ve x=0.075 değeri ile oluşan lup bir doğruya yeterli derecede yakın bulunmuştur.




Şekil 7.5. Muskingum ötelenme lupu "x=0.05" için




Şekil 7.6. Muskingum ötelenme lupu "x=0.075" için

3) Ötelenme Denklemi (7.10)'un katsayılarının hesabı

Şekil 7.5b'den x=0.075 için oluşan grafikten K=m/n=0.926 sn bulunmuştur. Uygulamada Δt=0.5 alınmıştır.

$O_2=C_oI_2+C_1I_1+C_2O_1$





$$C_o=\frac{-Kx+0.5\Delta t}{K-Kx+0.5\Delta t}=\frac{-0.926x0.075+0.5x0.5}{0.926-0.926x0.075+0.5x0.5}=\frac{0.1806}{1.1066}=0.163$$

$$C_1=\frac{Kx+0.5\Delta t}{K-Kx+0.5\Delta t}=\frac{0.926x0.075+0.5x0.5}{0.926-0.926x0.075+0.5x0.5}=\frac{0.3195}{1.1066}=0.289$$

$$C_2=\frac{K-Kx-0.5\Delta t}{K-Kx+0.5\Delta t}=\frac{0.926-0.926x0.075-0.5x0.5}{0.926-0.926x0.075+0.5x0.5}=\frac{0.6066}{1.1066}=0.548$$

$C_o+C_1+C_2=-0.163+0.289+0.548=1.00$

4) Muskingum ötelenmesi

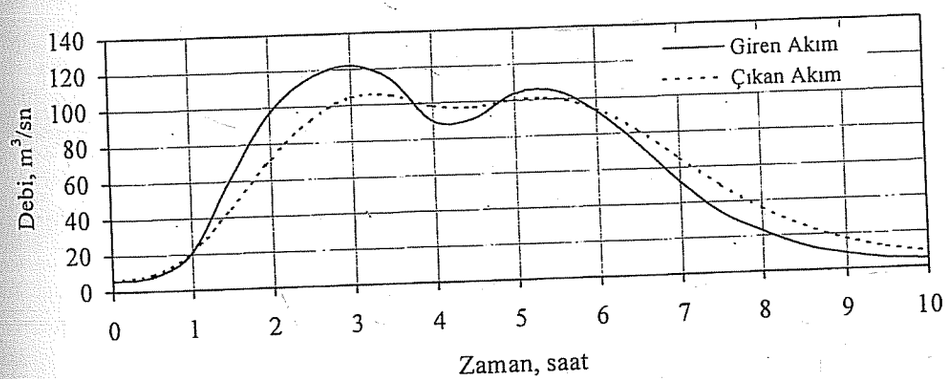
Çizelge 7.1'de son sütunda verilen ötelenecek akım değerleri ve bulunan öteleme katsayıları Ötelenme Çizelgesinde yer almıştır.

5) Ötelenme hidrograflarının çizimi

Zamana göre giren akım ve ötelenme sonucu oluşan çıkan akım değerleri Şekil 7.7'de görüldüğü gibi grafiklenmiştir.

Bunun için Çizelge 7.3 değerleri kullanılmıştır. Sütun (1) ile sütun (2) karşılıklı grafiklenerek giren hidrograf eğrisi ve sütun (1) ile sütun (6) karşılıklı grafiklenerek çıkan hidrograf eğrisi elde edilmiştir.

Pik debiler ve gecikme süresi çizelge ve grafikten okunabilir.




Şekil 7.7. Muskingum ötelenme, giren-çıkan akım

Çizelge 7.3. Muskingum Ötelenmesi

| Zaman saat | Giren akım $m^3/sn$ | Ötelenme Co=0.163 $C_oI_2$ $m^3/sn$ | $C_1$=0.289 $C_1I_1$ $m^3/sn$ | $C_2$=0.548 $C_2O_1$ $m^3/sn$ | Debi O $m^3/sn$ | AÇIKLAMA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| 0 | 6 | 1,30 | 1,73 | 3,29 | 6,33 | 3.29=0.548x6.0 |
| 0,5 | 8 | 3,42 | 2,31 | 3,47 | 9,20 | 6.33=1.304+1.734+3.29 |
| 1 | 21 | 9,94 | 6,07 | 5,04 | 21,05 | 5.04=0.548x9.20 |
| 1,5 | 61 | 15,81 | 17,63 | 11,54 | 44,98 | 9.20=3.42+2.31+3.47 |
| 2 | 97 | 18,91 | 28,03 | 24,65 | 71,59 | |
| 2,5 | 116 | 19,89 | 33,52 | 39,23 | 92,64 | Ötelenme aşağıya doğru |
| 3 | 122 | 18,58 | 35,26 | 50,77 | 104,61 | bu şekilde devam |
| 3,5 | 114 | 14,67 | 32,95 | 57,32 | 104,94 | etmektedir |
| 4 | 90 | 14,83 | 26,01 | 57,51 | 98,35 | |
| 4,5 | 91 | 16,95 | 26,3 | 53,9 | 97,15 | |
| 5 | 104 | 17,12 | 30,06 | 53,24 | 100,41 | |
| 5,5 | 105 | 15,16 | 30,35 | 55,02 | 100,53 | |
| 6 | 93 | 12,06 | 26,88 | 55,09 | 94,03 | |
| 6,5 | 74 | 8,48 | 21,39 | 51,53 | 81,39 | |
| 7 | 52 | 5,54 | 15,03 | 44,6 | 65,17 | |
| 7,5 | 34 | 3,75 | 9,83 | 35,71 | 49,29 | |
| 8 | 23 | 2,28 | 6,65 | 27,01 | 35,94 | |
| 8,5 | 14 | 1,47 | 4,05 | 19,69 | 25,21 | |
| 9 | 9 | 0,98 | 2,6 | 13,81 | 17,39 | |
| 9,5 | 6 | 0,82 | 1,73 | 9,53 | 12,08 | |
| 10 | 5 | 0,82 | 1,45 | 6,62 | 8,88 | |
| | 5 | | | | | |





# BÖLÜM 8
# SU KAYNAKLARININ PLANLANMASINDA SEDİMANTASYON VE KATI MADDE HAREKETİ

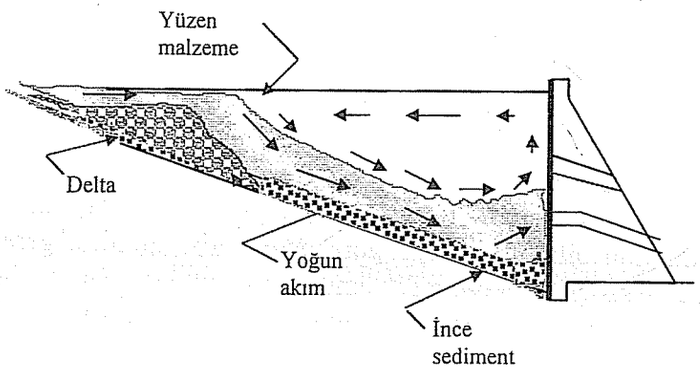
Su kaynaklarının planlanmasında sedimantasyon ve katı madde hareketinin sonuçları önem arz eder. Bir baraj, gölet hazne ölü hacimlerinin hesabında taşınan yıllık silt miktarının bilinmesi ve hatta bunların olasılıklı olarak saptanması gerekir. Öte yandan su yolu ıslah çalışmalarında sürüklenen maddenin bilinmesi, su yolunda kurulacak tesislerdeki zararlanmaları önlemek için yine su ile taşınan katı madde miktarının bilinmesi, buna göre önlemlerin alınması gerekir. Aksi halde tesislerin ekonomik ömürlerini etkiler. Su toplama havzasının sediment verim özelliği bilinirse gerek yatakta ve gerekse su toplama havzası bazında önlemlerin ne yönde alınacağı hususunda karar verilebilir.

Bu bölümde katı madde hareketinin kuramsal açıklamasından çok planlamaya dönük vurgulamalar yapılacaktır. Haznelerde sedimantasyon, akarsu yatakların katı madde hareketi ve önlemler öz olarak konu edilecektir.

## 8.1. Haznelerde Sedimantasyon Dağılımı

Bütün baraj ve gölet haznelerinin bir gün sediment ile dolacağı bir gerçek, ancak gelen sediment, hazne hacmi ile kıyaslandığında yüksekse, hazne çok daha kısa zamanda dolar. Kayıtlara göre su sağlamak amacıyla yapılan bazı rezervuarlar tamamlandığından bir yıl sonra dolmuştur. Su biriktirme hazneleri planlanırken etkin ömrü için olası sedimantasyon şiddetinin bilinmesi ölü hacimlerinin hesabında dikkatli olunması gerekir. Hazneye gelen katı madde miktarı su toplama havzasının büyüklüğüne, bitki örtüsüne, zeminin cinsine ve akarsu debisine bağlıdır. Hazneye gelen katı madde miktarını tayinde kullanılan ***katı madde verimi;*** bir yılda havzanın birim alanından belirli bir kontrol noktasına ulaşan katı madde miktarına denir. Genellikle *ton/km²/yıl* olarak tanımlanır.

**Delta ve yatak yükü**: Her akarsu belli oranda sediment taşır. Bu akarsu hazneye girdiğinde, akarsu akım hızı yavaşlar ve ana su yolunda iri sürüntü maddeleri ile bir kısım aslı maddeler hazne başında öncelikle çökelir. Bu *yatak yükü* olarak bilinir ve burada *delta* oluşur (Şekil 8.1). Daha küçük aslı maddeler ve sürüklenen siltler farklı zamanlarda ve farklı yerlerde yerçekimi ve özgül ağırlığına bağlı olarak çökelir. Bazı aslı maddelerin çökelmesi zaman alacağı için kapaklardan akımla gider.




Şekil 8.1. Baraj haznesinde sediment birikimi

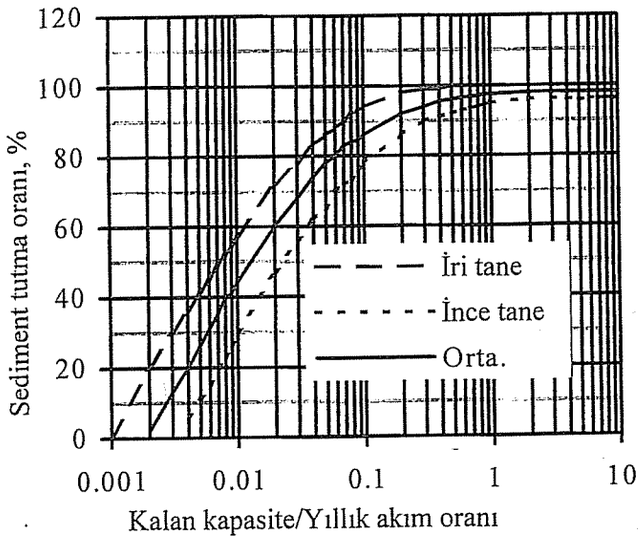
Akarsu asılı sediment yükü örnek alınması ve analizi ile. milyonda kısım (ppm) olarak belirlenir. Yatak yükünün belirlenmesi için oluşturulmuş kolay bir yol yoktur. Yatak yükü çok farklı kalınlıkta olabilir.

### 8.1.1. Hayza Sediment Oranı ve Verimi

**Hazne sediment tutma oranı**: Bir haznenin sediment tutma oranı, gelen sedimentin tutulan miktarıdır. Sediment tutulma oranı katı maddelerin özellikleri ile hazneden çekilen su miktarına bağlıdır. Haznede su uzun süre beklemesi koşullarında su ile gelen katı maddelerin büyük çoğunluğu çöker. Depolama tipi bir baraj için ABD de genel anlamda geliştirilen sediment tutma etkinliği zarf eğrisi Şekil 8.2'de verilmiştir Bu şeklin düşey ekseni tutulan sediment %'sini, yatay ekseni ise kalan rezervuar kapasitesinin yıllık giren akıma oranının temsil etmektedir.








Şekil 8.2. Haznede sediment tutma oranı değişimi (Linsley ve ark. 1992).

Taşkın kontrol barajlarında sürekli akım söz konusu olduğu için çökelme daha az olur.

Baraj haznelerinde silt birikimi; 1) Hazneye gelen katı madde miktarı, 2) Yığılan malzemenin özgül ağırlığı, 3) Haznenin sediment tutma oranı, 4) Tutulan maddelerin haznede dağılımı olarak gruplandırılabilir.

Bir baraj haznesinin sediment tutma oranı (tuzaklama oranı), yıllık giren akım ile gölde bulunan su miktarına ve tane çökelme hızına göre değişir. Sediment tutma kapasitelerini bulmak için Churchill yöntemi grafiği yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.3).

Churchil eğrilerini kullanmak için aşağıdaki sıra izlenir.

Grafik inç sisteminde olduğu için kullanılacak birimlerin bu birimde olması gerekir.

1)İşletme kotundaki baraj hazne hacmi bulunur.

2) Hazneye gelen ortalama debi bulunur.

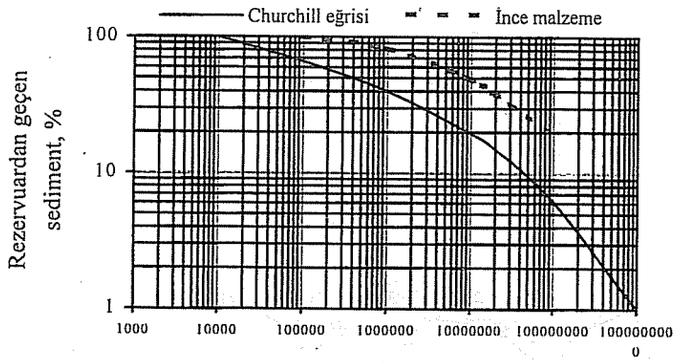
3)Tutma periyodu (madde1/madde2) belirlenir.

4)Baraj gölünün ortalama uzunluğu ve baraj gölü işletme kotu hesaplanır.

5) Göldeki ortalama hız hesaplanır (ortalama giriş debisi/ortalama enine kesit alanı). Ortalama göl enine kesiti ise göl hacmi/göl uzunluğu şeklinde bulunur.

6) Sediment endeksi hesaplanır ( tutma periyodu/ ortalama hız)

7) Sediment endeks değeri kullanılarak gölden geçen rüsubat yüzdesi bulunur.




Şekil 8.3. Churchill sediment tutma eğrisi (Özer,1990)

**Havza sediment verim tahmini:** Bir nehrin bir kesitinden geçen toplam sediment miktarı *sediment verimi* olarak bilindiğine göre nehirlerin bu tür istatistiklerinin sağlanması gerekir.

Bir hazneye gelen katı madde verimi:

1) Oluşturulmuş ampirik sediment denklemlerinden,

2) Doğrudan ölçümlerden,

3) Mevcut haznelerde yapılan gözlemlerden saptanır.

Mevcut baraj haznelerinin kapasiteleri, sediment birikimleri, her yıl sediment birikimi ile depolama kayıplarının tespiti, yeni yapılacak hazneler için önemli yol gösterici olur.

Su toplama havzasından sediment veriminin tahmini için yapılması gereken işlemler şöyle sıralanabilir

1) Sediment veriminin ölçülmesi: Bunun için rezervuarda a) sediment ön incelemelerin yapılması, b) sediment yükünün ölçülmesi gerekir.





2) Havzadan sediment veriminin tahmini: Havzada sediment verisi yeterli değilse veya yoksa bunun için üç yol izlenebilir: a) Verisi olan benzer havzadan yararlanılabilir, b) Sediment yükü tespit istasyonu kurulabilir, c) Havzadan erozyon tahmini yapılabilir, taşınma oranı tespit edilebilir. Bu konu Bölüm 8.4.1'de işlenecektir.

### 8.1.2. Rezervuar Sedimantasyon Kontrolü

1) *Rezervuar planlanmasında sediment hacmi*: Rezervuar Sedimantasyon kontrolü için bilinen en yaygın yöntem rezervuar kapasitesinde sediment için hacim ayırmaktır. Bu aslında olumsuz bir yaklaşımdır. Ancak büyük masrafların yapıldığı bu gibi tesislerde rezervuarın etkin ömrünün uzatılması için gereklidir. Sediment sadece bırakılan ölü hacim kısmında çökelmez aynı zamanda rezervuarın bütün faydalı taban alanında yığılır. Bu yönde ABD'de mevcut rezervuarlardan elde edilen bilgilerden yararlanarak *toplam derinliğin yüzdesi ile işaret edilen derinliğin altındaki toplam sediment yüzdesi* eğriler geliştirmişler ve planlama için öneri eğriler vermişlerdir. Rezervuardaki Sedimantasyon gerçekte olayı engelleyemez, ancak geciktirebilir. Başlangıçta rezervuar bölgesi seçilirken bir kısım özelliklerin dikkat alınması gerekmektedir. Düşük sediment akımı olan alternatif seçim bölgesi varsa, doğal olarak erozyona müsait yerlerin; toprak tipi, arazi eğimi, bitki örtüsü yağış karakteristikleri gibi özelliklerin göz ardı edilmemesi bunların dikkate alınması önerleri yapılmaktadır. Geniş rezervuarların küçük rezervuarlara kıyasla tutma özellikleri yüksek olduğunda, artım doğrusal olmaz. Bütün diğer özellikler sabit olsa dahi bu nedenle etkin ömrü daha uzun olur.

2) *Havza koruma yapıları*: Rezervuara akarsu ile taşınan sediment miktarının azaltılmasında önemli bir önlem de 1) Havza işletmeciliği; toprak muhafazası için uygun tarım tekniklerinin kullanılmasının sağlanması, işletmecilerin eğitilmesi yönlendirilmesi ve aşırı otlatmanın önlenmesi, münavebeli otlatmaya geçilmesi ve toprağın doğal bitki örtüsünün korunması veya kavuşturulması, 2) Koruma yapıları ile önlem alınması. Teraslama çalışmaları, yan dere ıslahları, dere yataklarının otlandırılması, ağaçlandırma gibi önlemler sıralanabilir. Bitki kaplı alanlarda yağmur enerjisi kırılacağı için, bitki ile kapalı alanda yağmur damlası üst toprağa etki edemez, toprak harekete geçmez. Toprak muhafaza çalışması tümden erozyonu yok

etmez ancak emin bir önlemdir, Bu çalışmalar masraflı bir yöntem olarak görülmektedir.

3) *Askı halindeki sedimentin kontrollü savaklarla dışarı akıtılması*: Rezervuardaki sediment birikiminin azaltılması, gelen sedimentin bir kısmının akım yoğunluğu yaratılarak dışarıya akıtılması suretiyle de olabilir. Bu şekilde %2-10 oranında sediment birikiminin azaltılması olası olduğu bildirilmektedir.

4) *Sediment temizleme*: Fiziksel olarak biriken sedimentin taşınması çok pahalı olup biriken malzemenin parasal bir değeri de yoksa bu yöntem olası değildir.

Kontrol için seçilen ve uygulanan yöntemlerin ölçülmesi, izlenmesi değerlendirilmesi ve geliştirilmesi gerekir.

## 8.2. Akarsularda Katı madde Hareketi

Çeşitli yollarla suya karışan katı maddeler su ile taşınırlar. Taşınan bu maddelerin bir kısmı büyüklük ve ağılıklarına göre akarsu yatağında çökelir. Akarsu taşıdığı debiye ve hızına bağlı olarak yatakta oyulmalara ve yatak morfolojisinin değişmesine neden olur. Akarsuda taşınan katı madde miktarı su toplama havzası fiziksel özelliklerine ve arazi kullanma biçimine bağlı olarak değişir. Burada su kaynakları planlanmasını doğrudan ilgilendiren bir kısım kavramlar verilmeye çalışılacaktır. Bu konuda ayrıntılı bilgiler kitaba ve makalelerde bulunabilir.

**Taşınan katı maddelerin sınıflandırılması:** Taşınan katı maddeler kaynağa ve taşınma şekline göre olmak üzere sınıflandırılabilir.

1) Malzeme kayağına göre sınıflandırma
   a) Yatak Malzemesi
   b) Yıkanmış malzeme
2) Akarsudaki taşınma şekline göre sınıflanma
   a) Askı maddesi
   b) Sürüntü maddesi

Yatak malzemesi hareketli tabanı oluşturan, yıkanmış malzeme ise daha ince olan ve erozyondan kaynaklanan malzemelerdir. Askı





maddesi suyun içinde askı halinde hareket eden, sürüntü maddesi ise yatakta yuvarlanarak hareket eden malzemelerdir.

Bunlardan başka su üzerinde yüzen organik maddeler de sayılabilir.

### 8.2.1. Tanımlar ve Katı Madde Fiziksel Özellikleri

*Katı madde:* Askı ve sürüntü maddelerin toplamdır.

*Konsantrasyon:* Su içindeki askı maddesi miktarının su ve askı maddesi karışımına oranıdır.

*Tane çapı:* mikron veya milimetre olarak ifade edilen farklı şekilde tanımlanan önemli bir özelliktir.

a)Elek çapı:Parçacığın geçebileceği elek çapı.

b)Anma çapı:Parçacığın hacmine eşit bir kürenin çapı

c)Katı madde çapı:Aynı akışın içindeki çökelme hızı ve özgül ağırlığı parçacığındakilere eşit olan kürenin çapı

*Tane özgül ağırlığı*: Özgül ağırlık maddenin birim hacimdeki ağırlığı olduğuna göre taşınan maddenin mineral yapısına bağlı olarak değişir. Genelde kum ve çakıl gibi kuvars minerallerin özgül ağırlıkları 2600-2650 kg/m$^3$ kabul edilir

*Tane biçimi*: Parçacığın şeklini tanımlar. Bunun için "biçim faktörü", "küresellik", ve "yuvarlaklık" tanımlamaları yapılır.

*Granülometre eğrisi*: Malzeme çapı ile elekten geçen malzemenin ağırlık yüzdesin in karşılıklı grafiklenmesi ile oluşturulur. Elekten geçen belli yüzdelikli çaplar katı madde taşıma denklemlerinde kullanılır.

*Tane çökelme hızı*: Askıdaki maddelerin zaman bağlı olarak çökelme için aldığı yoldur. Bu askıdaki katı maddelerin incelenmesinde ve akarsulardaki yığılma problemlerinde önemli bir fiziksel özelliktir.

**Türbülanslı akım için çökelme hızı :**

$$W = \left[\frac{4}{3}\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g \frac{D}{C_D}\right]^{1/2} \qquad (8.1)$$

Burada;

W= Çökelme hızı
$C_D$= Parçacığın sürüklenme katsayısı
(küre için $C_D \cong 0.5$ , disk için $C_D \cong 1.0$ alınabilir)
$\gamma$=Suyun özgül ağırlığı
$\gamma_s$=Parçacığın özgül ağırlığı
D=Parçacığın ortalama çapı
g= yerçekimi ivmesi

Bu denklem çapı D olan küresel bir parçacık için batmış haldeki ağırlık ve sürüklenme kuvveti arasındaki denge koşulunun yazılması ve W içim düzenlenmesini ifade etmektedir. Denklem (8.1) aynı zamanda Reynolds sayısı Re=1- 1000 arasına da geçerlidir.

**Laminar akim için çökelme hızı:** Küresel bir parçacık için ve Re =WD/$\nu$<1 ise $C_D$ ve Stok kanunu olarak bilinen çökelme hızı şöyle verilmektedir.

$$C_D = \frac{24}{Re} \qquad (8.2)$$

Stok Kanunu;

$$W = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{g}{18\nu} D^2 \qquad (8.3)$$

Burada;

$\nu$=Kinematik viskozite (20°C için $10^{-6}$ m2/sn)

D>0.06 mm olmalıdır.

Parçacığın elek çapı ve biçim faktörü ile çökelme hızı arasındaki ilişkiden grafikler oluşturulmuştur. Bu grafiklerden de çökelme hızı bulunabilir. Tabii kum için biçim faktörü 0.7 olarak önerilmektedir.

*Standart çökelme hızı*: Çok geniş bir kapta bulunan damıtılmış ve hareketsiz bir suda, 24°C de ortaya çıkan hıza standart çökelme hızı denir. Değişimi önemsenmeden hesaplamalarda kullanılır.

### 8.2.2. Katı Madde Hareketine Etki Eden Etmenler

Katı madde miktarının bilinmesi su alma yeri ve tipinin seçiminde, su kuvvet tesislerinde, baraj hazne hacminin





belirlenmesinde, taşımacılık ve taşkın kontrolü gibi düzenlemelerde, köprü çalışmalarında önem arz eder. Ekonomiyi, güvenceyi ve estetiği etkiler.

Akarsularla taşınan toplam katı madde miktarına etki eden etmenler fonksiyonu şöyle ifade edilebilir.

$$Q_s = f(Q,h,\tau,\nu,\rho,\varepsilon,\rho_s,D,w,g) \qquad (8.4)$$

Burada; Qs=Toplam katı madde olup buna etki eden etmenler gruplandırılabilir

1)Akımın özellikleri (Q,h,$\tau$)
Q=Akım
h=Su derinliği
$\tau$=Kayma gerilmesi
2)Akışkanın özellikleri ($\nu$,$\rho$,$\varepsilon$)
$\nu$=Kinematik viskozite
$\rho$=Suyun özgül kütlesi
$\varepsilon$=Karışım (difüzyon) katsayısı
3)Katı madde özellikleri ($\rho_s$,D,w)
$\rho_s$=Parçacığın özgül kütlesi
D= Parçacığın çapı
w=Çökelme hızı
4)Yerçekimi ivmesi (g)
g=Yerçekimi ivmesi

Burada sıralanan etmenler arasında bir kısım ilişkiler geliştirilebilir. Gerek doğrudan ölçme yöntemi ile ve gerekse geliştirilmiş olan bir çok ampirik denklemlerle katı madde belirlenmeye çalışılsın sonuçlar birbirlerinden farklı çıkacaktır. Bu sonuç bu olayın ne kadar karmaşık olduğunu ifade eder. Ancak farklı da olsa planlamada rakamlara ihtiyaç vardır.

### 8.2.3. Askı Maddesi Miktarının Hesabı

Hareket halindeki suda askı halinde bulunan maddeler çökelme hızı ile aşağıya inerken, türbülans etkisi ile de yukarı doğru çıkar ve bu şekilde denge oluşur. Bu denge koşulu bir boyutlu olarak diferansiyel biçimde ile deyimlenir.

$$wC + \varepsilon_s \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \qquad (8.5)$$

Bu denklem bir düşey boyunca konsantrasyonun değişimini göstermektedir Bu denklemin entegrasyonu ve gerekli düzenlemelerin

yapılması ile önemli ilişkiler elde edilir. Burada bu aşamalar atlanarak sonuç denklemlerinin verilmesi yeterli görülmüştür.

Birim genişlikten geçen askı maddesi debisi:

$$q_a = \int_a^h (V.C)dz = C_o q \qquad (8.6)$$

Bütün kesitten geçen askı maddesi miktarı:

$$Qa = \int_o^b q_a dx = \int_o^b \int_a^h C.V dz dx = C_o' Q \qquad (8.7)$$

Burada;

V=Tabandan z kadar yukarıdaki noktada suyun hızı

g=Yerçekimi ivmesi

$C_o$=Düşey eksende ortalama askı maddesi konsantrasyonu

Yukarıdaki eşitliklerde C birimi hacim ise $q_a$ birimi de hacim olur. Askı maddesi özgül ağırlığı ($\gamma_s$) ile dönüştürülerek $m^3/sn/m$ ve kg/sn/m olarak kullanılabilir.

Yukarıda ifade edilen diferansiyel halindeki denge koşulu yazılır, gerekli işlemler yapılırsa Denklem (8.6 ve 8.7) deki konsantrasyon (C) eşitliği şu şekli alır.

$$\frac{C}{C_a} = \left[\frac{h-z}{z}\frac{a}{h-a}\right]^{\alpha} \qquad (8.8)$$

$$\alpha = \frac{w}{k\sqrt{ghj}} \qquad (8.9)$$

Burada;

$C_a$= Askı maddesi konsantrasyonu (z=a kotu koşulu)

k= Von Karman katsayısı (temiz su için k=0.4, yoğun konsantrasyonlu sular için k=0.21)

h=Su derinliği

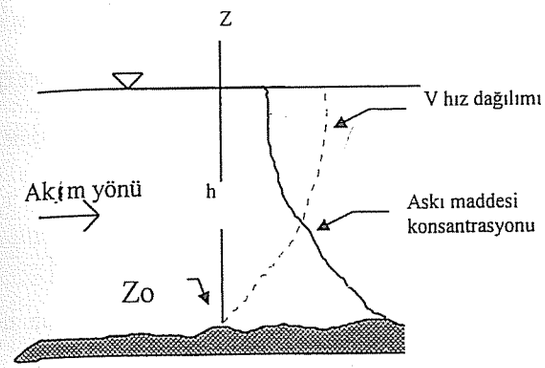
z=kot

j=Kanal taban eğimi

Bu denklem parametrelerinin anlamını kolaylaştırmak için Şekil 8.4 verilmiştir.



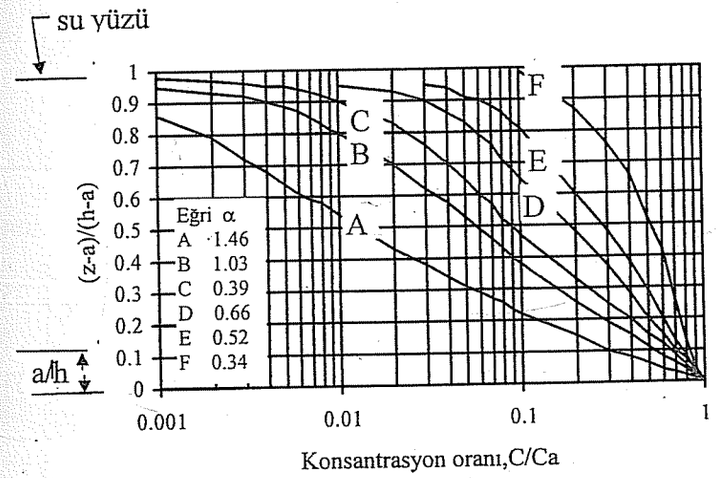





Şekil 8.4. Konsantrasyon ve hız dağılımı

Denklem (8.8)'de yer alan a değeri genellikle tabandan bir ölçme aleti mesafesi kadar yukarı alınan değerdir. a=0.05h alınabilir.

Genellikle Denklem (8.8)'in kullanılmasını kolaylaştırmak için α değerlerine bağlı olarak (z-a)/(h-a) oranlarına karşı $C/C_a$ oranları grafiklenir.




Şekil 8.5. Konsantrasyon oranı $C/C_a$ grafiği

Denklem (8.7)'deki $C_o'$ bütün kesit için ortalama konsantrasyon değeri, b yatağın genişliği ve h ise yatağın derinliğidir.

Uygulamada askı maddesi miktarının hesabı aşağıdaki sıra ile yapılır.

1) Ölçme noktası en kesit alanı, hızı, pürüzlülük katsayısı, taban eğimi ve debi belirlenir..

2) Ölçme kesitinde ölçme yapılacak düşey eksenlerin yeri ve ölçme aletleri belirlenir.

3) Belirlenen düşeylerde ölçme noktalarında hız belirlenir. Bu noktaların su derinliği ve tabandan yüksekliği belirlenir.

4) Çökelme hızı ve daha sonra α değeri ilgili bağıntıdan bulunur.

5) Denklem (128) den $C/C_a$ oranı elde edilir.

6) Düşey eksenlerdeki aynı noktalarda hız ve konsantrasyon değerleri çarpılır.

7) Bu çarpımların sonucu bütün enkesit boyunca entegre edilerek o keşitten geçen askı maddesi miktarı bulunur.

### 8.2.4. Sürüntü Maddesi Miktarının Hesabı

Sürüntü maddesi miktarı için bir çok ampirik denklemler geliştirilmiştir. Bu denklemler kayma gerilmesi, hidrolik özellikler ve tanelerin harekete geçme ihtimalleri esasına dayanmaktadır.

*Du Boys Denklemi*: Kayma gerilmesini esas alarak 1879 da aşağıdaki şekilde denklemi vermiştir.

$$q_s=\varphi.\tau(\tau-\tau_k) \qquad (8.10)$$

Burada;

φ.=Boyutlu bir parametre

τ=Akımın ortaya çıkardığı kayma gerilmesi

$\tau_k$=Kritik kayma gerilmesi

Ortalama tane çapı 4'mm ise φ=0.6, 2 mm ise φ=1, 0.25 mm ise φ=5 ve 0.1 mm ise φ=10 m3/(kg-sn) alınabilir.

*Schoklitsch denklemi*: Debiyi esas alarak 1930 yılında denklemini geliştirmiştir.

$$q_s=\frac{7000}{D^{0.5}}J^{1.5}(q-q_k) \qquad (8.11)$$

ve

$$q_k=1.94x10^{-5}\frac{D}{J^{4/3}} \qquad (8.12)$$

Burada;





$q_s$=Sürüntü malzemesi, kg/sn/m,

D=Tane çapı,(mm)

J=Eğim

q= (m3/sn/m)

$q_k$= ($m^3$/sn/m

Schoklitsch yöntemi ova akarsularında iyi sonuç verdiği kaydedilmektedir.

*Meyer-Peter ve Müller denklemi:* 1948 yılında Tane pürüzlülük katsayısı ile Manning pürüzlülük katsayısını ve diğer fiziksel özellikleri esas alan bir denklem geliştirmiştir.

$$q_s=\left[\frac{(\frac{Q_t}{Q})(\frac{n'}{n})^{3/2}\gamma RJ-0.047(\gamma_s-\gamma)D}{0.25(\rho)^{1/3}(\gamma_s-\gamma)^{2/3}}\right]^{3/2} \qquad (8.13)$$

Burada;

$$n'=\frac{D_{90}^{1/6}}{26} \qquad (8.14)$$

$D_{90}$=Malzemenin %90'ını geçiren elek çapı, metre

n=Tabanın pürüzlülük katsayısı. Manning denklemi ile bulunur.

n'=Tanelerin pürüzlülük katsayısı

$0.5<n'/n<1.0$ arasında olduğu kabul edilir. Yatak düz ise 1.0, eşik ve ters eşikte ise 0.5 olmaktadır.

$q_s$=Sürüntü miktarı, $m^3$/sn/m

$Q_t$= Taban genişliğine gelen akım, $m^3$/sn

Qt/Q=1 (pratik olarak bu şekilde alınabilir)

ρ=Suyun özgül kütlèsi, kg/$sn^2$/$m^4$

γ ve γs=Suyun ve parçacığın özgül ağırlığı, kg/$m^3$

D=Tane çapı, m

R=Hidrolik yarıçap, m

Mayer-Peter ve Müller denkleminde eğim 0.0004-0.02, tane çapı 0.4-30 mm arasında ve su derinliği ise 0.01- 1.2 m, malzeme

özgül ağırlığı 1.25-4.22 ton/m$^3$ alınmıştır. Bu yöntem ile tahmin edilen sonuç, gerçek değerden daha az olmaktadır.

*Einstein-Brown denklemi:* 1950 yılında tanelerin harekete geçme ihtimalini kullanarak bir bağıntı kurmuş ve daha sonra Brown bunu geliştir.

$$q_s = \phi K\left[g(\frac{\gamma_s}{\gamma}-)D^3\right]^{1/2} \qquad (8.15)$$

Burada;

$$\phi = 40\left[\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)D}\right]^{1/3} \qquad (8.16)$$

$$K = \left[\frac{2}{3}+\frac{36\upsilon^2}{gD^3(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1)}\right]^{1/2} - \left[\frac{36\upsilon^2}{gD^3(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1)}\right]^{1/2} \qquad (8.17)$$

Burada;

$\nu$=Kinematik viskozite

$\phi$ ve K =Boyutsu değerler

$\gamma$=Özgül ağırlık, kg/m$^3$

Einstein-Brown denkleminde karakteristik tane çapı $D_{50}$ dir. Einstein-Brown denklemi ile tahmin edilen değer, gerçek değerden fazla olmaktadır.

## 8.3. Katı Maddelerin Ölçülmesi ve Örneklenmesi

Havza hidrolojik gözlemlerinin bir kısmı olarak, seçilen akarsu kesitinden geçen sediment yükünün belirlenmesi gerekir. Bu bir rezervuarın ömrü için ve kurulacak su tesisleri için gereklidir Örneğin; taşkın kontrol yapıları, isnat duvarı, körü ve diğer yapıların yükseklikleri için gereklidir. Katı maddelerin taşınma mekanizmaları farklı olduğundan askı ve sürüntü maddelerinin ölçülmesi de farklı olmaktadır. Aynı zamanda akarsu morfolojisi açısından yatak





malzemesi ve yıkanmış malzeme ayrımı daha anlamlı olduğundan bunların da miktarlarının ölçülmesi gerekli olmaktadır.

Sediment yükü örnekleme oldukça pahalı bir ölçmedir. Çok özel ve önemli durumlarda mutlaka yapılması gerekir.

Katı madde ölçmeleri, yatak malzemesinin ve sürüntü maddesinin ölçülmesi biçiminde mekanik ölçme yöntemleri ve izleyicilerle yapılmaktadır. Bunlara ilişkin öz bilgi verilmeye çalışılacaktır.

Yatak en kesitinde malzeme dağılımı farklı olduğu için yatağı temsil edebilecek sonucu alabilmek için enkesitte numune alınacak düşeyler belirlenir.

Yatakta suyun derinliğine göre örnek almada kullanılacak aletler seçilir. Sığ sularda hız nedeniyle salınım ihmal edilebileceğinden küçük ağırlıksız aletler seçilirken hızı 1.5 m/sn'den fazla olan sularda ağırlık söz konusu olur.

### 8.3.1. Yatak Malzemesinin Ölçülmesi

Ölçme aletleri sürüklenerek ve kazarak, koparark olmak üzere iki kısma ayrılır (Şekil 8.6).

1) Yatak boyunca sürüklenerek doldurulan aletler

a) Kovalı tip-Yaygın olarak kullanılır. Yatakta sürüklenir, keserek örnek alır.

b) Kepçeli tip-Malzeme girebilecek açıp kapanabilir bir kapağı bulunmaktadır. Sığ sularda yaygın olarak kullanılır.

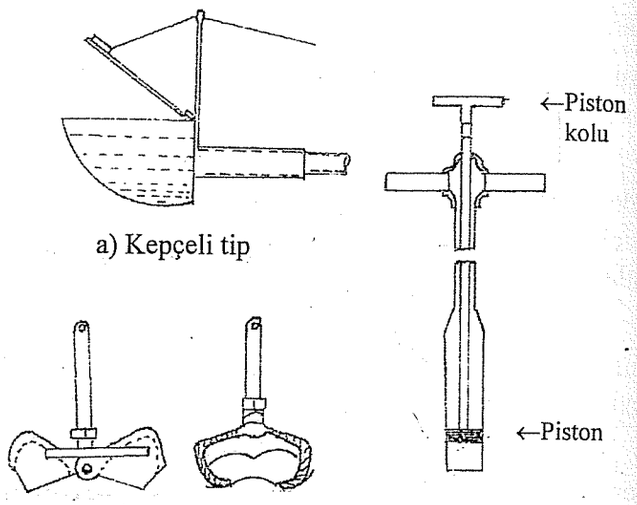
2) Yatak malzemesini kazarak veya kaparak toplayan aletler

a) Kapmalı tip-Kapma çeneleri bulunmakta çok küçük malzemeleri alamaz.

b) Düşey eksenli tip-Derin sularda kullanılır. 1.5 m ye kadar indirilebilir.

c) Kazmalı tip

Özel düzenle malzeme kazılarak alınır ve kovaya konur.




Şekil 8.6. Yatak malzemesi ölçme aleti

### 8.3.2. Sürüntü Maddesinin Ölçülmesi

Sürüntü maddesinin ölçülmesi, sürüntü maddesinin yakalanmasını sağlamak için akarsu tabanına yerleştirilen ve bir süre bekletilen özel şekilli aletlerle yapılır. Alınan örneklerin yatağı temsil edebilmesi için akarsu yatağında ölçme yeri en kesitinin iyi seçilmesi gerekir. Yatağın kesit alanı oyularak veya dolarak değişmemeli ve ölçülecek olan fiziksel ve hidrolik özelliklerin (hız, taban eğimi, tane çapı gibi) ölçülebilmesi ve zaman içinde değişmemesi istenir.

Kullanılan aletler geliştirilmiş tiplerine ve çalışma prensiplerine göre gruplandırılabilir (Şekil 8.7).

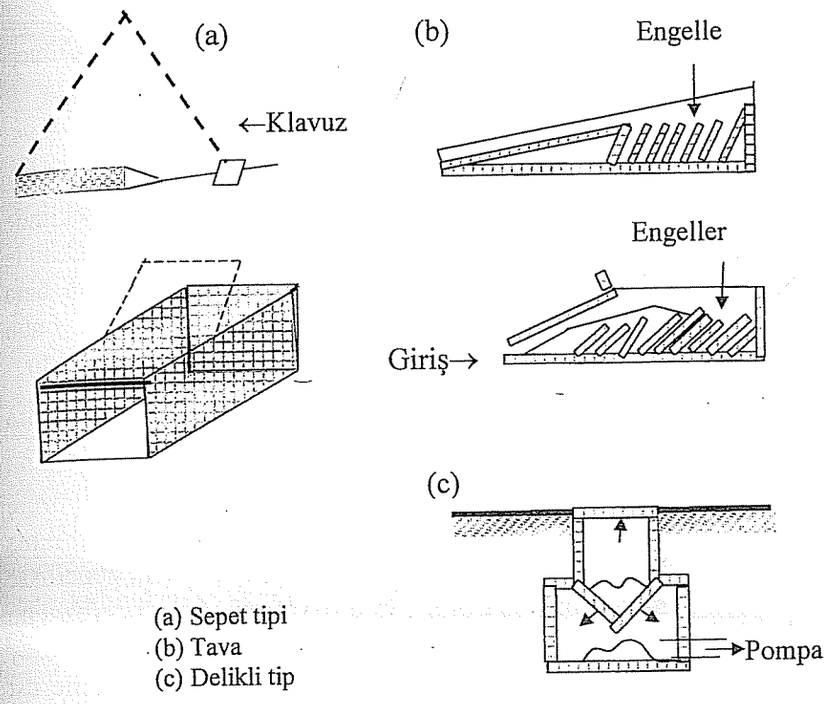
1) Sepet tipi-Akıma etki ettiği için sürüntünün %40-%60'ını tutabilir.

2)Tava tipi-Geliştirilmiş tipleri bulunmaktadır. Kalibre edilmesi gerekir.

3)Delikli tip-Kararlı tabanlı ve küçük akarsularda kullanılır.








(a) Sepet tipi
(b) Tava
(c) Delikli tip

Şekil 8.7. Sürüntü maddesi ölçme aletleri

### 8.3.3. Askı Maddesinin Ölçülmesi

Akarsu en kesitinde farklı düşeylerde ve farklı derinliklerde örnekleme yapılarak tüm alan için entegre edilir. Kullanılan aletler uçak veya balık tipinde olup içine yerleştirilen vasıtasıyla örnek alınır.

### 8.3.4. İzleyiciler

Diğer yöntemlerin uygulanmasında güçlük çekilen zor arazi şartlarında özellikle sürüntü malzemelerinin ölçülmesinde işaretlenmiş parçacıklar suyu karıştırılarak izlenir ve işaretsiz parçacıklarla karşılaştırılır, katı maddeler hakkında bilgi edinilir.

İzleyiciler üç grupta incelenebilir.

1) Flöresanslı

2) Radyoaktif

3) Özel kimyasal maddeler

İzleyicileri de kullanırken özel şartlara dikkat edilmesi gerekir.

## 8.4. Erozyon ve Havza Sediment Hesapları

Erozyon Toprağın aşınıp, taşınması ve yorulması şeklinde tanımlanabilir. Erozyon su, rüzgar, buzul ve kayma erozyonu şeklinde olabilir. Buna ilave olarak yerel bazda maden kazıları, yol ve bina kazıları gibi insan faaliyetleri de katılabilir. Sediment ezoyonun oluşturduğu bir üründür. Burada su neden olduğu erozyon anılacaktır.

Havza planlanmasında havzadan gelebilecek sedimentin yeteri derecede doğrulukla bilinmesi gerekir.

Erozyon doğal ve hızlandırılmış olmak üzere gruplandırılabilir. Doğal dengenin bozulduğu yerde hızlandırılmış erozyon başlar. Deniz, göl ve rezervuarlara taşınan sediment genellikle suyun neden olduğu erozyonla olur. Su erozyonu 1) Yüzey erozyonu ve 2) Kanal (yatak) erozyonu şeklinde gruplandırılabilir. Yüzey erozyonu arazinin üst yüzeyinden yağmur damlasının enerjisi ile üst toprağın oynaması ve su ile harekete geçmesi olaydır. Yatak (kanal) erozyonu kanalda akan suyun debisine bağlı olarak ortaya çıkar.

Genellikle yüzey erozyonunun şiddeti, havza topraklarının erozyona müsait olma derecesi ile, bitki örtüsü, arazi kullanma şekli, topografya, eğim derecesi, eğim uzunluğu ve yağışın şiddeti, süresi ve frekansına bağlıdır. Yatak erozyonunun şiddeti ise akım yoğunluğuna bağlı olarak sel yarıntıları, vadi ve akarsu yanları ile tabanlarının erozyona mukavemet derecelerine bağlıdır. Yüzey ile yatak erozyonu sonucu oluşan sediment veriminin, hümid bölgelerde %90 yüzey erozyonundan, %10'unu sadece yatak erozyonundan kaynaklanmaktadır.

*Sediment verim oranı:* Sediment verim miktarının, brüt erozyon miktarına oranı sediment verim oranı olarak bilinir. Her havzanın sediment verim oranı değişik olup, bu değişiklik yamaç ve kanal eğimi derecesi ve akarsu yoğunluğu ile doğru orantılı olarak büyür ve havza büyüklüğü ile ters orantılı olarak küçülür. Havza büyüklüklerine göre yüzey ve yatak erozyonu oranları Çizelge 8.1'de verilmiştir.





Çizelge 8.1. Yüzey ve Yatak Erozyonu

| Su toplama havzası alanı, $km^2$ | Yüzey erozyonu % | Mecra Erozyonu % | Su toplama havzası alanı, $km^2$ | Yüzey erozyonu % | Mecra Erozyonu % |
|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| 1 | 65 | 95 | 39 | 45 | 70 |
| 2.5 | 60 | 90 | 52 | 44 | 69 |
| 5 | 55 | 85 | 65 | 43 | 68 |
| 7.5 | 53 | 83 | 80 | 41 | 66 |
| 10 | 51 | 81 | 105 | 39 | 64 |
| 13 | 50 | 80 | 130 | 36 | 61 |
| 15 | 49 | 79 | 155 | 33 | 53 |
| 18 | 48 | 78 | 180 | 31 | 51 |
| 20 | 48 | 78 | 210 | 28 | 48 |
| 23 | 47 | 77 | 235 | 25 | 45 |
| 26 | 46 | 77 | 260 | 23 | 43 |

*Sediment ulaşım oranı:* Su toplama havzasındaki brüt erozyonun tesise gelen yüzdesidir. Bu su toplama havzasının büyüklüğüne, şekline, yoğunluğuna, topografyaya, akış özelliklerine, tahliye yataklarının özelliklerine ve sediment tanelerinin büyüklüğüne bağlı kalmaktadır. Bunlarda en önemlisi havza alanı ile doğal yatak fiziksel özelliğidir. Bunlara bağlı olarak hazırlanmış sediment ulaşım oranları Çizelge 8.2'de verilmiştir. Bu genel bilgilerden sonra sediment tahmin yöntemleri kısa olarak konu edilecektir.

### 8.4.1. Sediment Anahtar Eğrisinden Yararlanma

Kamu kurum ve kuruluşları tarafından kurulmuş ve periyodik olarak sediment ölçümü yapılan nehir ve kolları için oluşturulan sediment anahtar eğrisi, ölçümü olmayan benzer havzalar için doğrudan kullanılma yoluna gidilebilir veya bölgesel frekans analizi çalışması ile uygun veriler geliştirilebilir.

Havzadan taşınan toplam sediment hakkında bilgi edinilmesi için ölçülen sediment miktarı ile akımın debisi log-log grafik kağıdına grafiklenerek ilişkilendirilebilir. Genellikle log-log grafik kağıdında aşağıdaki gibi bir ilişki ortaya çıkar. Bu anahtar eğrisi olarak bilinir.

$$Q_s = k.Q^n \qquad (8.18)$$

Burada;

$Q_s$= Taşınan asılı sediment, ton/gün, Q=Akarsu debisi, $m^3/sn$

n=Logaritmik doğrunun eğimi olup akarsulara göre değişir.

k=Doğrunun arakesiti

Çizelge 8.2. Sediment Ulaşım Oranları

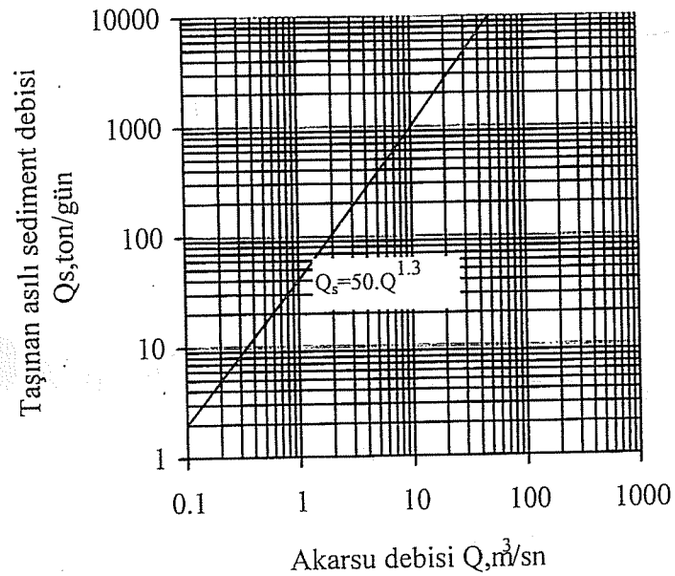
| Su toplama Havzası alanı, da | Sediment ulaşım oranı | | |
|---|---|---|---|
| | Tıkanıklı yatak | Normal yatak | Erozyona maruz yatak |
| (1) | (2) | (3) | (4) |
| 26 | 78 | 84 | 92 |
| 52 | 62 | 70 | 78 |
| 78 | 56 | 64 | 73 |
| 104 | 52 | 60 | 68 |
| 130 | 49 | 57 | 65 |
| 155 | 46 | 54 | 62 |
| 181 | 45 | 52 | 60 |
| 207 | 43 | 51 | 58 |
| 233 | 42 | 50 | 57 |
| 259 | 41 | 48 | 56 |
| 518 | 34 | 41 | 48 |
| 777 | 30 | 37 | 44 |
| 1036 | 28 | 35 | 41 |
| 1295 | 26 | 33 | 39 |
| 1554 | 25 | 31 | 37 |
| 1813 | 24 | 30 | 36 |
| 2072 | 23 | 39 | 35 |
| 2331 | 23 | 29 | 34 |
| 2590 | 22 | 28 | 33 |
| 3885 | 20 | 25 | 30 |
| 5180 | 18 | 23 | 28 |
| 6475 | 17 | 22 | 27 |
| 7750 | 17 | 22 | 27 |
| 9065 | 16 | 21 | 26 |
| 10360 | 15 | 20 | 25 |
| 11655 | 15 | 20 | 25 |
| 12950 | 14 | 19 | 24 |
| 15540 | 14 | 18 | 22 |
| 18130 | 13 | 17 | 21 |
| 20720 | 13 | 17 | 21 |
| 23310 | 12 | 16 | 20 |
| 25900 | 12 | 16 | 20 |
| 28490 | 12 | 16 | 20 |
| 31080 | 12 | 16 | 19 |
| 33670 | 11 | 15 | 19 |
| 36260 | 11 | 15 | 19 |
| 38850 | 11 | 15 | 18 |
| 41440 | 11 | 15 | 18 |
| 44030 | 11 | 14 | 18 |
| 46620 | 10 | 14 | 17 |
| 49210 | 10 | 14 | 17 |
| 51800 | 10 | 14 | 17 |

E.İ.E. Genel Müdürlüğünün rasatları sonucu elde edilen bir anahtar eğrisi Şekil 8.8'de görülmektedir.





Bir akarsuyun ölçülmüş sediment verisi olmadığında, ölçümü olan benzer bir havzanın verilerinden kıyaslama ile tahmin edilme yoluna gidilebilir. Bir nehrin bir kesitinden geçen toplam sediment miktarı sediment verimi olarak bilindiğine göre, nehirlerle ilgili kamu kuruluşlarının bu tür istatistikleri sağlaması gerekir. ABD'leri istatistiklerine göre orta Amerika nehirlerinin yıllık ortalama sediment verimleri 70-1400 ton $km^2$ arasında değişmektedir.




Şekil 8.8. Akarsu debisi ile taşınan asılı sediment ilişkisi (Örnek)

### 8.4.2. Erozyon Sahası Fiziksel Özellikler Esaslı Yöntem

Bir su toplama havzasında yüzey, oyuntu, kıyı ve rüzgar erozyonu gibi bütün erozyonlarından dekara $m^3$ ($m^3$/da/yıl) olarak meydana gelen miktara brüt erozyon denir. Bu miktar iklim, toprak, topografya, arazi kullanılışı ve bitki örtü durumuna bağlı olarak ve yıldan yıla olmak üzere değişiklikler gösterir.

Bu erozyon sahaların sınıfları, etütler ile yapılan bulguların standart sınıflama değerleri ile kıyaslanarak belirlenir. Kullanılabilecek özetlenmiş sınıflama kriterleri "Erozyona maruz sahaların özellikleri"adlı çizelgede verilmiştir (Çizelge 8.3-8.4). Etüt sahasında saptanan değerlere göre en uygun saha seçilir.

Çizelge 8.3. Erozyona Maruz Sahaların Özellikleri

| Saha özellikleri | a-Sahası | b-Sahası | c-Sahası | d-Sahası | e-Sahası |
|---|---|---|---|---|---|
| Topografya | orta-çok meyilli | orta-çok meyilli | düz-dik meyil | düz-tatlı meyil | dalgalı-orta meyil |
| Drenaj | iyi | iyi | orta-iyi, az kötü | orta-iyi, kötü | iyi |
| Yüzey drenaj | iyi | iyi | iyi, çöküntü var | | iyi |
| Toprak bünyesi | Sicl,Sil, L,göl tabanı | Sicl,Sil,L,göl tabanı | Sicl,Sil,L | Cl,Sicl, Sil | Sicl,Sil,L,göl tabanı |
| Toprak rengi<br>Yaş iken<br>Kuru iken | -gri-kahve-siyah<br>-koyu gri-kahve | -gri-kahve, siyah<br>-koyu gri-kahve | | -koyu gri-kahve | -gri-kahve-siyah<br>-koyu gri-kahve |
| Organik madde.<br>Üstte<br>Altta | %3-5<br>Azalır | %3-5<br>Azalır | %3-5<br>Azalır | | %3-5<br>Azalır |
| Toprak derinliği | 150cm< | 150cm< | 150cm< | 40-100cm | 150cm< |
| Tuzluluk durumu | | | Baz sat. %85 | | |
| Toprak oluşumu<br>Üst<br>Alt | -granüler-furda | -ince materyal<br>-yuvarlak, köşeli, çakıl depozitleri | -granüler-furda | akarsu vadisi<br>-aluviyal topraklar,<br>-kum, çakıl, C ve D horizonlar | ince materyal depozit |



Çizelge 8.3. (Devam) Erozyona Maruz Sahaların Özellikleri

| Saha özellikleri | f-Sahası | g-Sahası | h-Sahası | i-Sahası | j-Sahası |
|---|---|---|---|---|---|
| Topografya | dalgalı-dik meyilli | düz-dalgalı | düz-tatlı dalgalı | düz-tatlı dalgalı | dalgalı-orta meyil |
| Drenaj | iyi | orta-iyi | üst iyi,alt kötü | iyi | çok iyi |
| Yüzey drenaj | iyi | iyi | çokça iyi-orta | yüzlek çukurlar | iyi |
| Toprak bünyesi<br>Üstte<br>Altta | Sicl<br>L, Sil,Cl | L veya FSL<br>bol kireçli, | -Sil, L, CL, Na<br>-L, CL,LFS,FSL<br>farklı topraklar | CL veya L,CL | Sil, CL veya<br>Scl, Sil, L |
| Toprak rengi<br>Kuru iken | koyu gri-kahve | koyu gri-siyah | koyu gri-kahve | koyu kahve | koyu kahve-gri |
| Organik madde..<br>Üstte | %3-5 | %3-5 | %3-5 | %2-4 | %2-4 veya %3-5 |
| Toprak derinliği | 50-150cm, Sicl | 150 cm< veya<br>50-150 cm | 150 cm< | 150 cm< | 150 cm< |
| Tuzluluk durumu | | | -PH %15-25 | PH yüksek, Na | PH yüksek |
| Toprak oluşumu<br>Üst<br>Alt | granüler-furda<br>-bağıntısız,gevşek<br>-kum,kil,tortul<br>150 cm< | granüler-furda<br>-göl tabanı<br>-taban suyu yük.<br>kireçli | granüler-furda<br>-taban suyu yük<br>-bol kireçli<br>-aluviyal,kum,çakıl | ince bünyeli<br>-kalker, şist, bazalt, sütun vari yapı | ince bünye<br>-bağıntısız, gevşek<br>parçalanmış |

Çizelge 8.3.(Devam) Erozyona Maruz Sahaların Özellikleri

| Saha özellikleri | k-Sahası | l-Sahası | m-Sahası | p-Sahası | q-Sahası | r-Sahası |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Topografya | | inişli-yokuşlu | tatlı meyil, dalgalı - | inişli yokuşlu | Tatlı meyil, dalgalı | Tatlı meyil, dalgalı |
| Drenaj | çok iyi | iyi veya çok kötü | çok iyi | çok iyi | çok iyi | çok iyi |
| Yüzey drenaj | iyi | değişken | iyi | iyi | Orta | iyi |
| Toprak bünyesi Üstte | C | FS veya LFS, LS | SiCL veya L, SL | C, SiL veya C | L, SL, CL | C, SiC,SiL |
| Toprak rengi Kuru iken | -koyu kahve, koyu kırmızı | | -koyu kahve,kırmızı -koyu gri-siyah | kahve | koyu kahve | |
| Organik madde. Üstte | %2-4 | | %3-5 | oldukça yüksek | | |
| Toprak derinliği | 50-90 cm | 150 cm< veya 75 cm | 50-150cm | 90cm< veya 50-90cm | 40-100cm | 40-100 cm |
| Tuzluluk durumu | | | | | | |
| Toprak oluşumu Üst | ince bünyeli | çok kumlu, eksibe, aluviyal gevşek, bağıntısız | orta-ince bünyeli | ince bünyeli veya taşlı | taşlı | taşlı,kayalı |
| Alt | kalker, şist,bazalt | | massiv ana kaya | kalker, şist, bazalt | kalker,shale | Kalker, shale |





Çizelge 8.4. Arazi Kullanışına Göre Yıllık Brüt Erozyon Oranı

| | Arazi işlenme durumu <%25 | Arazi işlenme durumu %25-50 | Arazi işlenme durumu %50-75i | Arazi işlenme durumu % 75> |
|---|---|---|---|---|
| | $m^3$/da | $m^3$/da | $m^3$/da | $m^3$/da |
| a-Sahası | 1.7 | 1.98 | 2.29 | 2.56 |
| b-Sahası | 0.61 | 0.95 | 1.28 | 1.71 |
| c-Sahası | 0.55 | 0.85 | 1.13 | 1.40 |
| d-Sahası | 0.06 | 0.21 | 0.49 | 0.76 |
| e- Sahası | 0.31 | 0.52 | 0.76 | 1.04 |
| f- Sahası | 0.37 | 0.64 | 0.61 | 1.13 |
| g- Sahası | 0.15 | 0.40 | 0.70 | 0.98 |
| h- Sahası | 0.90 | 0.34 | 0.58 | 0.85 |
| i- Sahası | 0.03 | 0.24 | 0.52 | 0.76 |
| j- Sahası | 0.12 | 0.37 | 0.61 | 0.89 |
| k- Sahası | 1.80 | 2.07 | 2.35 | 2.64 |
| l- Sahası | 0.40 | 0.67 | 0.95 | 1.22 |
| m- Sahası | 2.90 | 4.27 | 7.02 | 10.07 |
| p- Sahası | 1.04 | 1.34 | 1.65 | 1.92 |
| mera | 2.20 | 1.74 | 1.28 | 0.82 |
| q- Sahası | 0.58 | 0.82 | 1.04 | 1.28 |
| mera | 1.59 | 1.13 | 0.70 | 0.24 |
| r- Sahası | 0.805 | 1.13 | 1.40 | 1.68 |

### 8.4.3. Yüzey Erozyonu

Bir çok araştırıcı deneysel olarak erozyonu tahmin etmeye ve matematiksel ilişkilerini vermeye çalışmışlardır. Kapsam olarak bunların tümünü burada konu etmek olası olmamaktadır. Eskiliğini için vurgulamak için bunların bazıların isimlerini vermede de yarar görülmüştür.

Ellison denklemi (1945), Musgrave denklemi (1947), Üniversel denklem (1947) Hook denklemi sayılabilir.

**Üniversal Denklem ile yüzey erozyonunun hesabı:**

Bir su toplama havzasından oluşacak ve depolama yapısına ulaşacak toplam sediment miktarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bugün bile yaygın olarak bu amaç için Üniversal denklem aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır.

$$A=R(K.L.S.C.P) \qquad (8.19)$$

Burada;

A=Birim alandan toprak kaybı, (ton/ha)
K=Toprak aşınım (erodibilite) faktörü
L=Eğim uzunluğu faktörü
S=Eğim derecesi faktörü
C=Havza ağırlıklı bitki amenajman faktörü.
P=Erozyon kontrol uygulaması faktörü
R=Yağış erozyon faktörü

Bu parametreler izleyen kısımlarda açıklanacaktır.

**R, Yağış erozyon faktörü**: Wischmeir ve Smith, 1958 yılında ABD. de, yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 dakikalık maksimum şiddetleri çarpımının (E.I) eğim yönünde sürülmüş nadas bir tarladan oluşan toprak kaybı ile yüksek bir bağıntı bulmuşlardır. Meteoroloji istasyonlarının plüviyograf kartları incelenerek aylık yıllık ve ortalama yıllık erozyon faktörleri ve haritaları hazırlanmıştır. Ülkemizde de benzer çalışmalar yapılmıştır.

Bir yağışın yağış faktörü (ton-metre/ha):

$$R_i = \frac{E_g . I_m}{100} \qquad (8.20)$$

Yıllık erosiv yağışların yağış faktörü:

$$R=\sum_{i=1}^{n} R_i$$

Bir erosiv yağışın birim kinetik enerjisi (ton-m/ha/cm):

$$E_u=210.3+89.\log I \qquad (8.21)$$

Bir erosiv yağışın toplam kinetik enerjisi (ton-m/ha):

$$Eg=E_u.h \qquad (8.22)$$

Üniform şiddetteki yağışların kinetik enerjisi (cm/sa):





$$I = \frac{h \times 60}{t} \qquad (8.23)$$

Burada;

$I_m$=Bir yağışın 30 dakikalık maksimum şiddeti, cm/sa
Eg=Toplam kinetik enerji, ton-metre/ha
$E_u$=Bir sağanağın birim kinetik enerjisi, ton-metre/ha/cm
I= Yağış şiddeti, cm/sa
h=Yağış derinliği, cm
t=Yağış süresi, dakika
n=Yağış sayısı

R değerleri toprak aşınım durumlarına göre Aşağıdaki şekilde gruplandırılabilmektedir.

| | |
|---|---|
| 1.sınıf | R<100 |
| 2.sınıf | 100<R<200 |
| 3.sınıf | 200<R<300 |
| 4.sınıf | 300<R<400 |
| 5.sınıf | 400<R<500 |
| 6.sınıf | R>500 |

**Örnek:** t=1.5 saat süreli bir yağışın yağış miktarı h=3 cm ve 30 dakikalık maksimum şiddeti $I_m$=3.5 cm/sa ise bu yağışın yağış erosiv faktörü nedir?

$$I = \frac{hx60}{t} = \frac{3cm.60da}{90da} = 2 \text{ cm/sa}$$

Eu=210.3+LogI=210.3+89.Log 2=237.09 ton-metre/hektar/cm

$E_g$=Eu x.h =237.09x3=711.27 ton-m/ha

$$R_i = \frac{711.27x3.5}{100} = 24.89 \text{ ton-metre/ha}$$

**K, Toprak aşınıma duyarlık (erodibilite) faktörü**: K faktörü %9 eğim ve 22.1 m. eğim uzunluğundaki bir arazi ünitesinde birim erozyon faktörü ile hektardan kaybolan toprağın ton olarak ifadesidir.

Toprakların aşınımlarına etki eden özellikler: *1) Bünye, 2) Yapı, 3)Organik madde miktarı, 4) Geçirgenlik, 5) Yüzeydeki % Çakıl miktarı, 6) Nem içeriği, 7) Profil derinliği* şeklinde sırlanabilir.

Aşınıma duyarlık faktörü bilinen toprak özelliği ve mevcut yöntemlerle tatmin edilmesi gerekir. Bu yönde çeşitli grafikler geliştirilmiştir. Basit olarak bir grafiğin X eksenine yağışların erosiv

($E_g$x $I_m$) değerleri buna karşın Y eksenine de alandan toprak kaybı (ton/ha) olarak işaretlenir ve oluşan doğrunun eğimi K verir.

$$K = \frac{\Delta \text{ toprak kaybı (ton / ha)}}{\Delta(E_g \times I_m)} \qquad (8.24)$$

Zeminin silt ve çok ince kum, kum, organik madde miktarı ve geçirgenliğine göre K değerlerini veren şekiller grafikler geliştirilmiştir. Bir örnek Şekil 8.12'de verilmiştir.

Toprakların aşınım özelliklerine göre K sınıflaması verilmiştir.

| | |
|---|---|
| $0.00<K\leq0.05$ | Çok az aşınabilir topraklar |
| $0.05<K\leq0.10$ | Az aşınabilir topraklar |
| $0.10<K\leq0.20$ | Orta derecede aşınabilir topraklar |
| $0.20<K\leq0.40$ | Kuvvetli derecede aşınabilir topraklar |
| $0.40<K\leq0.60$ | Çok kuvvetli derecede aşınabilir topraklar |

**LS, Eğim-uzunluk-eğim derecesi faktörü veya toprak-kayıp oranı (topoğrafik faktör):** LS, mevcut uzunluğun ve eğim derecesinin standart %9 eğim, 22.1 m. uzunluğa bölünmesi ile elde edilir.

L ve S değerleri söz konusu havza alt havzalara ve morfolojik ünitelere ayrıldıktan sonra, her bir alt havza için hesaplanır.

L meyil uzunluğu faktörü olup arazi çalışmalarından sağlanmaktadır.

$$L = \frac{\text{L parselinden oluşluşan rak kaybı (ton/ha)}}{\text{K parselinden oluşlu toprak kaybı (ton / ha)}}$$

Genellikle kullanılan L denklemi ise aşağıdaki şekilde verilmektedir.

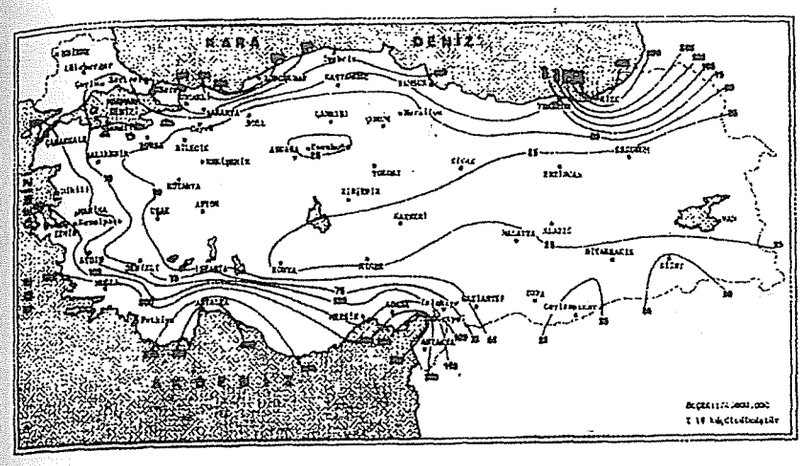
$$L=\left(\frac{l_e}{22.1}\right)^{0.5} \qquad (8.25)$$

Görüldüğü gibi eğer eğim %9 ve eğim uzunluğu $l_e<22.1$m. ise $L<1$, $l_e=22.1$m. ise $L=1$, $l_e>22.1$ m. ise $L>1$ kabul edilir.

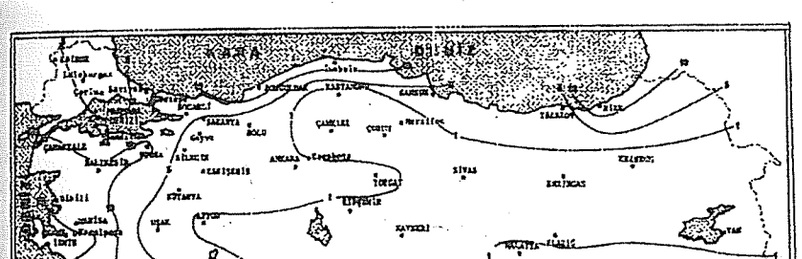
Eğim derecesi faktörü S aşağıdaki arazi çalışmalarından sağlanır.



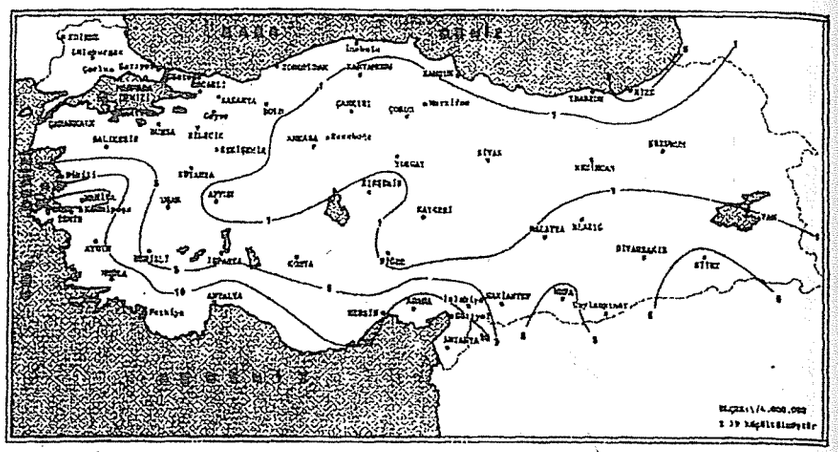





Şekil 8.9. Yıllık ortalama yağış erozyon faktörleri (R) (Doğan,1987)




Şekil 8.10. Aylık yağış erozyon faktörleri

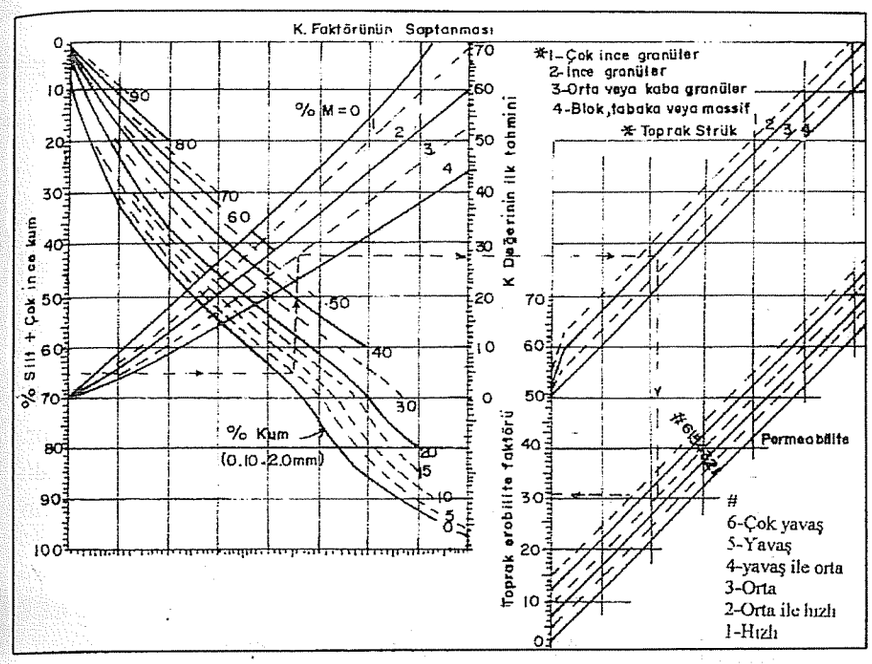



Şekil 8.11a. Aylık yağış erozyon faktörleri

Şekil 8.11b. Aylık yağış erozyon faktörleri








Şekil 8.12. Aşınıma duyarlık faktörü (K) grafiği

$$S = \frac{\text{S parselinden oluşan toprak kaybı (ton/ha)}}{\text{K parselinden oluşan toprak kaybı (ton/ha)}}$$

Üniversal toprak kaybı eşitliğinde kullanılan meyil derecesi S faktörü genelde aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$S = \frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613} \qquad (8.26)$$

S faktörünün değeri, %9 dan az olan eğimler için 1'den küçük, %9 eğim için 1 ve %9' dan büyük eğimler için 1'den büyüktür.

LS değeri yukarıda verilen yolla ayrı, ayrı L ve S hesaplandıktan sonra sağlanabileceği gibi aşağıda verilen denklem ile de hesaplanabilir.

$$LS = \frac{\sqrt{l_e}}{100}(1.36 + 0.97s + 0.138s^2) \qquad (8.27)$$

Burada;

$l_e$=Eğim uzunluğu, m.

s=Arazi eğimi, %.

**Örnek:** 130 m eğim uzunluğu ve %15 eğim derecesi olan bir arazinin LS topografik faktörü bulunmak istenmektedir.

le=130 m

S=15

$$LS=\frac{\sqrt{130}}{100}\left[1.36+0.97x15+0.138x15^2\right]=5.35$$

**C Bitki nöbetleşme (amenajman) faktörü:** Bu faktör bitki nöbetleşmenin çok fazla seçeneği olduğu için karmaşık bir faktördür. Bu nedenle tek yıllık bitkiler için arazi çalışmaları ile C faktörünün belirlenmesi gerekir. Örneğin tek yıllık buğday bitkisinin gelişim dönemi şöyle verilmektedir.

| Dönem | Tanım | Açıklama |
|---|---|---|
| F dönemi | NADAS | Anız bozma-ekim arası |
| 1.dönem | TOHUM YATAĞI | Ekim- 1 ay sonrası |
| 2.dönem | ÇİMLENME | Ekim-kış ayları dahil gelişme kadar |
| 3.dönem | GELİŞME | Çimlenme-hasat |
| 4.dönem | ANIZ | Hasat- anız bozma |

1) Bölgenin yıllık yağış erozyon indisinin yüzde olarak aylık dağılım eğrisi, yığıştırılarak aylara göre grafiklenir. Şekil 8.13'te Adana için oluşturulmuş böyle bir eğri görülmektedir.

2) Bir bitkinin belli periyotları ve bu periyotlarda C ve K parsellerinden oluşan toprak kayıpları oranları bulunur ve listelenir.

$$C_i=\frac{\text{C parselinden oluşan toprak kaybı}}{\text{K parselinden oluşan toprak kaybı}}$$

3) Periyotların başlama ve bitiş tarihleri belirlenir.

4) Yıllık erozyon indis eğrisinden, Şekil 8.13, bu periyot tarihlerine göre % değerleri okunur.

5) Yağış indis farkları alınarak periyot için değerler bulunur. Bu değerler (Δ%)(C/K) oranları ile çarpılarak periyotlar için $C_{pi}$ değerleri bulunur. Her periyot için bulunan bu $C_{pi}$ değerleri toplanarak bitki için $C_b$ değeri bulunmuş olur. Eğer arazi tek bir bitki ihtiva





ediyorsa Cb=C olarak Üniversal denklemde kullanılır. Ancak birden fazla bitki varsa tartılandırılır.

Havza için ağırlıklı bir C değeri şöyle hesaplanır.

$$C=\frac{C_1A_1+C_2A_2+...+C_nA_n}{A_1+A_2+...+A_n} \qquad (8.28)$$

Burada;

$C_1, C_2,...,C_n$=Bitkilerin amenajman faktörleri

$A_1,A_2,..,A_n$=Bitkilerin kapladığı alanlar

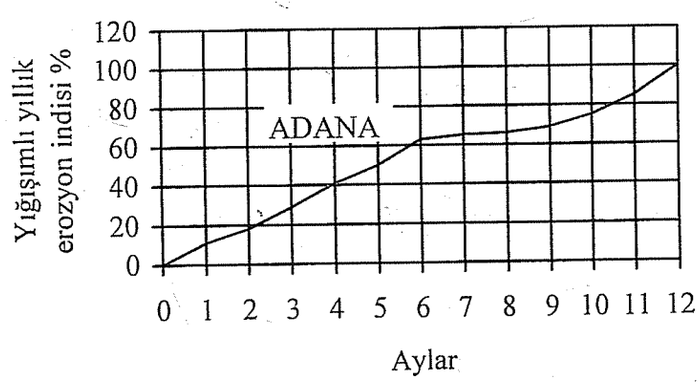
n=bitki sayısı

Bu denklemin verilerinin yerel bazda arazi denemeleri ile sağlıklı olarak elde edilmesi, tahmin sonucunu sağlıklı yönde etkileyecektir. Bitki amenajman faktörünün hesaplanmasına ilişkin bir örnek Çizelge 8.5'te verilmiştir. Çizelgenin 4. sütun değerleri Şekil 8.13 ten alınmıştır.

Çizelge 8.5. Buğday için Bitki Amenajman Faktörünün Hesaplanması

| Periyot | C/K | Periyot Başlama-Bitiş | Yıllık Yağış Erozyon İndisi | | C faktörü | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 Ocaktan | Periyot için | Periyot için (2x5) | Bitki için |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| Buğday | | 30/6 | 62 | | | |
| F | 0.65 | 30/6-15/10 | 71 | 71-62=9 | 0.0585 | |
| 1 | 0.70 | 15/10-15/11 | 80 | 80-71=9 | 0.0630 | |
| 2 | 0.45 | 15/11-15/2 | 16 | 116-80=36 | 0.1620 | |
| 3 | 0.15 | 15/2-25/5 | 47 | 47-16=31 | 0.0465 | |
| 4 | 0.03 | 25/5-10/6 | 54 | 54-47=7 | 0.0021 | C=0.266 |

Not: C/K değerleri gerçek olmayıp örnek olarak düzenlenmiştir.




Şekil 8.13. Yıllık yığışımlı erozyon faktörü (indisi) (Adana)

Çizelge 8.6. Bitki Amenajman Faktörü için C/K Oranları*

| | Kültür Şekli | Bitki gelişim periyotları | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Sap kaldırılmış tahıl tarımı | 65 | 70 | 45 | 15 | 20 |
| 2 | Sap kaldırılmış yem bitkileri sonrası tahıl tarımı | 23 | 40 | 40 | 10 | 15 |
| 3 | Sap kaldırılmış yem bitkilerini takiben 2 yıl tahıl tarımı | 60 | 65 | 45 | 15 | 20 |
| 4 | Otlatmasız tahılgil sonrası baklagil yem bitkileri | 65 | 70 | 40 | 07 | 20 |
| 5 | Tahıl sonrası otlatmasız bakla | 65 | 70 | 60 | 32 | 80 |
| 6 | İlk yıl otlak, daneliler-baklagiller nadas disklemesi üzerine ekilmiş | 92 | | 55 | 15 | 03 |
| 7 | Otlatmayı takiben 1 yıl tahılgillerden sonra hasat kalıntıları kaldırılmış iki yıllık otlak | | 80 | 45 | 15 | 03 |
| 8 | Gramine çayırlık+baklagiller | | | 0.1 | | |
| 9 | Ara ziraatı olmaksızın meyvelik | | | 90 | | |
| 10 | Devamlı çayırlık | | | 0.6 | | |
| 11 | Ormanlık | | | 3 | 15 | |
| 12 | Yem bitkileri | 65 | 70 | 40 | 0.7 | |
| 13 | Buğday OrtaAnadolu (Ankara) | 65 | 70 | 45 | 15 | 3 |
| 14 | Yulaf (ve arpa için) | | 58 | 35 | 15 | 3 |
| 15 | Mısır (1 yıl) (çayır bozumu sonrası) | 15 | 32 | 30 | 19 | 30 |
| 16 | Mısır (Mısır'dan sonra) | 42 | 57 | 49 | 28 | |
| 17 | Ayçiçeği için mısır değerleri kullanılabilir | | | | | |

*Doğan(1976)** Not: Tunus,Fas, Cezayir ve Türkiye de yapılmış araştırma sonuçları

**P, Toprak muhafaza tedbirleri faktörü:** Bu belli bir toprak koruma işlemi altında meydana gelen toprak kayıplarının, aynı şartlar altındaki devamlı nadas tarladan meydana gelen toprak kaybına oranıdır. Toprak muhafaza tedbirleri 1) *Teraslama, 2)Tesviye eğrilerine paralel sürüm ve ekim, 3) Şeritvari ekim* şeklini kapsar.

Araziyi tesviye eğrilerine paralel işleme uygulaması genellikle %50 erozyonu önler. Eğim derecesi arttıkça paralel işlemenin etkisi de düşer. Örnek olarak paralel uygulama faktörü tatlı eğimde 0.5 dik eğimde 0.9 sınırlarında değiştiği söylenebilir. Atlamalı şeritvari ekim iki defa daha fazla etkilidir. Klasik teraslama en etkin önlemdir. Hiç önlem alınmamış ve uygulama aşağı-yukarı yönünde ise P=1 olarak kullanılır.

Klasik teras boyutlandırmasında ilişki şöyle verilmektedir.

Teras düşey uzunluğu:

$$L_h = 0.7s + 2 \qquad (8.29)$$

Teras yatay uzunluğu:





$$L_y = \frac{(0.7s + 2)}{s} \qquad (8.30)$$

Burada;

$L_h$= Terasın düşey uzunluğu

s= Eğim derecesi, %

$L_y$= Teraslar arasındaki yatay uzunluk

Teraslar arasındaki yatay uzunluğun işleme aletlerinin çalışabilirliği bakımından 28-30m den daha az olmaması istenir.

**Rezervuara ulaşan sediment miktarının hesabı:**

1)*Sediment iletim katsayısı:* Bulunan bu kayıpların ne miktarının nehre ve nehir ile aşağıda oluşacak bir hazneye ulaşabileceğini tahmin etmek gerekir.

a) Sediment iletim katsayısı, drenaj alanı-sediment iletim katsayısı ilişkisi grafiklerinden alınabilir

b) Sediment iletim katsayısı, Williams ve ark. (1973) denkleminden yararlanılarak hesaplanabilir.

$$Dr = 0.627.SLP^{0.403} \qquad (8.31)$$

$$SLP = \left( \frac{N}{\sqrt{1/SLP_1} + \sqrt{1/SLP_2} + \ldots + \sqrt{1/SLP_3}} \right)^2 \qquad (8.32)$$

Burada;

N= Eşit uzunlukta bölünmüş ana su yolu sayısı

SLP=Ana su yolu % eğimi

$SLP_i$ =Bölünmüş parçaların % eğimleri (i=1,..,p adet)

2) *Nehre ulaşacak **yüzey erozyon** sediment miktarı*

=Yüzey erozyonu x $D_R$, ton/yıl

3) *Rezervuara ulaşacak yatak yükü*

=Yatak yükü x $D_R$

(Akers-White denklemi gibi geliştirilmiş denklemlerle yatak yükü hesaplanabilir).

4) *Nehrin taşıyacağı **toplam sediment** miktarı*

K= [Yüzey erozyonu x $D_R$ ]+[ Yatak yükü x $D_R$], ton/yıl

5) *Havza **sediment verimi***

=[Yüzey erozyonu x$D_R$]+[Yatak yükü x $D_R$ ]/Havza alanı $km^2$,

ton/yıl $km^2$

6) *Rezervuara ulaşan **sedimentin hacim** olarak miktarı*

=[ Rezervuara ulaşan toplam sediment ] / [ özgü ağırlık ]

7) *Rezervuar ölü hacmi*

=[ Rezervuar ömrü ] x [ sediment hacmi ]

8) Rezervuar ömrü içinde bir defa meydana gelecek taşkının oluşturacağı toplam erozyon miktarının hacmi de hesaplanarak, daha önce hesaplanan sediment hacmine ilave edilir.

Denklemlerin uygulanabilmesi için yağış faktörü, erozyon faktörü, havza amenajman durumu, erozyon tedbirlerinin topoğrafik özelliklerin ve havza topraklarının fiziksel özelliklerin bilinmesi gerekir. Türkiye'de kamu kuruluşlarının bu yönde yapmış oldukları bir kısım çalışmalar vardır. Bunların zenginleştirilmesi gerekir.

## ÖRNEK UYGULAMA 8.1:

### Fiziksel özelliklere göre sediment verimi

Küçük bir su toplama havzasında yapılan etüt çalışmaları sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Havza toplam alanı 17.655 $km^2$ dir. Havza bitki örtüsü ve arazi kullanımı; 5.3 $km^2$ hububat-nadas nöbetleşmesi şeklinde kuru tarım, 9.518 $km^2$ çok zayıf bitki örtüsü ile kaplı mera alanı, 2.568 $km^2$ eğim





aşağı-yukarı dikim yapılmış uygun olmayan bağ arazisi, 0.269' $km^2$ bozuk orman alanı şeklindedir. Topraklar orta meyil, orta derin, dik meyil ve sığ topraklara doğru değişkenlikler gösteren, orta ve çok şiddetli erozyona maruz bir karaktere sahiptir.

***İstenen:***

Arazi kullanma ve fiziksel özelliklerine göre su toplama havzasından 25 yıllık sediment verimi hesaplanmak istenmektedir.

**Çözüm 8.1:**

Çizelge 8.3'ten bitkilerin bu özellikleri için uygun, maruz erozyon sahası ve brüt erozyon miktarı seçilmiş ve Çizelge 8.7 de verilmiştir. Her bitkinin kaplı olduğu alandan meydana gelen yıllık ve 25 yıllık erozyon miktarları ve toplam alandan meydana gelen erozyon miktarı hesaplanmış ve çizelgede verilmiştir. Toplam erozyon miktarı 145600 $m^3$/25 yıl şeklinde bulunmuştur.

Çizelge 8.7. Fiziksel Özelliklere Göre Erozyon Miktarı Hesabı

| | Bitki örtüsü (Havza özellikleri) | | | |
|---|---|---|---|---|
| Etüdüler | Tarım | Mera | Bağ | Orman |
| Alan , A | 5.3 $km^2$ | 9.518 $km^2$ | 2.568 | 0.269 |
| Havza özellikleri | kuru tarım nadas-hububat | çok zayıf bitki örtüsü | Eğime aşağı-yukarı dikim | bozuk orman |
| Toprak grubu | q | q | q | q |
| Brüt erozyon mik. | 1.28 | 1.59 | 1.28 | 1.28 |
| Sediment ulaşım oranı | 0.23 | 0.21 | 0.28 | 0.48 |
| Yıllık sediment verimi $m^3$/yıl | 5300x1.28x0.23 =1560.32 | 9.518x1.59x0.21= 3178.06 | 2568x1.28x0.28= 920.37 | 269x1.28x0.48= 165.27 |
| 25 yıllık | 1560.32x25= 39008 | 3178.06x25= 79451.5 | 920.37x25= 23009.25 | 165.27x25= 4131.75 |
| 25 yıllık toplam erozyon verimi=39008.00+79451.50+23009.25+4131.75=145600.50 $m^3$ | | | | |

## ÖRNEK UYGULAMA 8.2:

### Sediment anahtar eğrisi Uygulaması

Çizelge 8.8'de, E.İ.E., 1987. "Türkiye Akarsularında Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları."adlı yayından örnek olarak anılan çizelge aşağıda verilmiştir..

*İstenen:*

değerleri (47 yıllık) kullanılarak istasyon için sediment anahtar eğrisi oluşturulmak ve denklemi belirlenmek istenmektedir.

**Çözüm 8.2:**

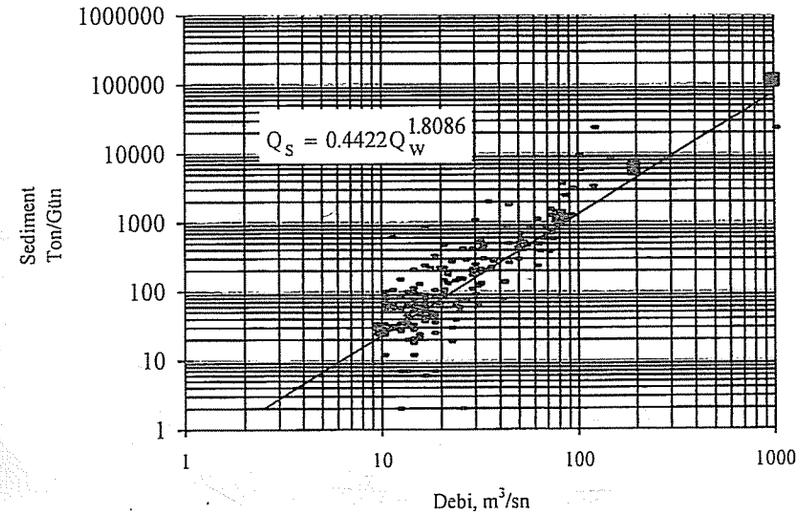
Çizelge 8.8. Sediment Gözlemi (Göksu Himmetli)

| | | HAVZA NO<br>HAVZA ADI | 18<br>SEYHAN |
|---|---|---|---|
| İSTASYON NO | | 1801 | |
| İSTASYON ADI, YERİ | | GÖKSU-HİMMETLİ | |
| NET DERE ALANI | | Saimbeyli-Kozan karayolu 21.km'sinde | |
| SEDİMENT GÖZLEM SÜRESİ | | 2563.0 km$^2$ | |
| ORTALAMA AKIM | | 27.03.1966-13-12.1984 | |
| DÜŞÜNCELER | | 31.195 m3/sn (47 yıllık) | |
| Num<br>Tarihi | Sıra<br>No | Debi<br>m$^3$/sn | Sed.Kon<br>PPM | Taş.Sed.Mik<br>Ton/gün | Kum<br>% | Su Sıcaklığı<br>C° |
| 27.2.1996 | 1 | 82.800 | 348.00 | 2489.6 | 46 | 10 |
| 23.3. | 2 | 61.200 | 93.00 | 491.8 | 16 | 9 |
| 21.4. | 3 | 88.500 | 172.00 | 1315.2 | 30 | 12 |
| 25.5. | 4 | 35.500 | 91.00 | 279.2 | 38 | 14 |
| 8.6. | 5 | 28.200 | 45.00 | 109.7 | 5 | - |
| 19.7. | 6 | 19.900 | 63.00 | 108.4 | 10 | - |
| 19.8. | 7 | 16.400 | 47.00 | 66.6 | 13 | - |
| 25.10. | 8 | 15.600 | 66.00 | 89.0 | 17 | - |
| 11.11. | 9 | 16.300 | 170.00 | 239.5 | 10 | - |
| 24.12. | 10 | 33.900 | 71.00 | 208.0 | 17 | - |
| 9.1.1967 | 11 | 31.100 | 48.00 | 129.0 | 15 | - |
| 22.2. | 12 | 25.100 | 196.00 | 425.1 | 16 | - |
| 9.3. | 13 | 30.800 | 50.00 | 133.1 | 7 | - |
| 11.4. | 14 | 90.600 | 405.00 | 3170.3 | 6 | - |
| 11.5. | 15 | 60.100 | 215.00 | 1116.5 | 37 | - |
| 23.6. | 16 | 26.200 | 127.00 | 287.5 | 9 | - |
| 11.7. | 17 | 21.600 | 146.00 | 272.5 | 7 | - |
| 18.8. | 18 | 17.900 | 215.00 | 332.6 | 10 | - |
| 20.9. | 19 | 16.400 | 614.00 | 870.1 | 2 | - |
| 26.10. | 20 | 14.000 | 55.00 | 66.6 | 4 | - |
| 15.11. | 21 | 15.200 | 44.00 | 57.8 | 3 | - |
| 19.12. | 22 | 30.800 | 202.00 | 537.6 | 5 | - |
| 17.1.1968 | 23 | 35.100 | 74.00 | 224.5 | 15 | - |
| 23.2. | 24 | 43.400 | 133.00 | 498.8 | 7 | - |
| 27.3. | 25 | 99.100 | 685.00 | 5865.2 | 60 | - |
| 12.4. | 26 | 142.400 | 680.00 | 8366.3 | 10 | - |
| 17.5. | 27 | 49.000 | 139.00 | 588.5 | 8 | - |
| 19.6. | 28 | 31.100 | 153.00 | 411.2 | 7 | - |
| 11.7. | 29 | 23.200 | 72.00 | 144.4 | 9 | - |
| 10.9. | 30 | 16.900 | 151.00 | 220.5 | 17 | - |
| 10.10. | 31 | 16.100 | 57.00 | 79.3 | 9 | - |
| 7.11. | 32 | 15.200 | 35.00 | 46.0 | 6 | - |
| 17.2.1969 | 33 | 24.400 | 35.00 | 73.8 | - | - |
| 24.4. | 34 | 84.800 | 174.00 | 1274.9 | - | - |
| 4.4. | 35 | 84.800 | 158.00 | 1157.7 | - | - |
| 21.5. | 36 | 69.700 | 213.00 | 1282.8 | - | - |
| 13.1.1970 | 37 | 21.500 | 16.00 | 29.8 | 70 | 8 |





Log-Log grafik kağıdına çizelge değerleri grafiklenerek Şekil 8.14 elde edilmiştir. Oluşturulan doğrunun denklemi ise yine grafik üzerinde verilmiştir.




Şekil 8.14. Günlük ortalama akım- sediment miktarı ilişkisi

Çizelge 8.9. Diğer İstatistiksel Bilgiler

| İstatistikler | Değeri |
|---|---|
| Standart hata | 0.42 |
| $R^2$ | 0.65 |
| Gözlem sayısı | 156 |
| Verim,Ton / Yıl / km$^2$ | |
| Sediment gözlemi $SG_i$ | 54 |
| Akım gözlemi $AG_i$ | 48 |
| Konsantrasyon | |
| $C_{max}$ | 2342 |
| $C_{min}$ | 1 |

*Açıklama:*

Sediment gözlem istasyonlarından aylık bazda toplanan örnekler (ppm) değerleri aşağıdaki biçimde ton/gün değerlerine dönüştürülmüştür.

$$Qs=Q_w.C.T \qquad (8.33)$$

Burada;

Qs=Sediment, ton/gün

$Q_w=m^3/sn$,

T=86400 (günün saniye sayısı),

C=Kısım / milyon

Örnek hesaplama; ilk taşınan sediment miktarı:

Qs=82.800x86400x(348.00/1000000)=2489.6 ton/gün

Anahtar eğrisinden günlük debi değerlerine karşı gelen günlük sediment miktarları elde edilir, bunlar toplanarak aylık ve yıllık toplam sediment değerleri elde edilir. Bu değerler yardımıyla akım ve sediment gözlem süreleri boyunca ortalama sediment miktarı belirlenebilir. Aynı zamanda gözlem istasyonu drenaj alanının birim kısmından gelebilecek sediment miktarı da ton/yıl/$km^2$ olarak belirlenebilmektedir.

## ÖRNEK UYGULAMA 8.3:

**Üniversal erozyon denkleminin uygulanması.**

1) *Uygulama alanı:* Doğu Akdeniz'de yaklaşık 200 $km^2$'lik bir su toplama havzasıdır. Arazi kullanma durumu vasıfları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 8.10.Arazi Kullanma Durumu

| Arazi kullanımı | Kapladığı alan | | İşletme durumu |
|---|---|---|---|
| | $km^2$ | % | |
| Mera | 8000 | 40 | Orta vasıflı |
| Tarım | 6000 | 30 | Buğday/sıra bitkisi |
| Bağ-bahçe | 4000 | 20 | Karışık |
| Orman | 2000 | 10 | Bozuk orman |
| Toplam | 20000 | 100 | |

2) *Erozyon durumu:* Erozyon havzanın büyük bir kesiminde aktif durumdadır. Yamaç araziler toprak bakımından oldukça fakirleşmiştir.

3) *Toprak özellikleri:* Alınan örneklerin fiziksel özellikleri aşağıdaki şekilde bulunmuştur.





Çizelge 8.11. Toprak Özellikleri

| Toprak fiziksel özelliği | % değeri |
|---|---|
| %Silt+çok ince kum | 30 |
| % kum (0.10-2.00mm) | 10 |
| % Organik madde | 2 |
| Geçirgenlik | Orta-yavaş |
| Yapı (strüktür) | Blok |

4) *Fiziksel özellikleri:* Havza tek ünite olarak alınmıştır.

$l_e$=225 m. (alansal ortalama)

s=%8

**Çözüm 8.3:**

**A=R(KLSCP) denklem parametrelerinin bulunması:**

R=150 ton-m/ha (Şekil 8.9 )

K=0.17 (Şekil 8.12 Vischmeier Abağı)

$$LS=\frac{\sqrt{l_e}}{100}(1.36+0.97s+0.138s^2$$

$$=\frac{\sqrt{225}}{100}(1.36+0.97x8+0.138x8^2)=.0.15(1.36+7.76+8.832)$$

LS=2.6928

Çizelge 8.12. Arazi Amenajman Katsayısı C Değerinin Hesabı:

| Arazi kullanma şekli | C değeri | Açıklama |
|---|---|---|
| Mera | $C_m$=0.20 | orta vasıflı |
| Buğday | $C_b$=0.54 | sap kaldırılmış tahıl ziraatı |
| Sıra bitkisi | $C_s$=0.50 | Tahmini alınmıştır |
| Bağ-bahçe | $C_{bb}$=0.90 | |
| Orman | $C_o$=0.15 | |
| C=0.20x.0.40+0.54x0.30+0.90x0.20+0.15x0.10=0.44 | | |

P, Toprak muhafaza faktörü:

P=1 (hiçbir toprak koruma önlemi alınmamıştır)

**Sonuç:**

Birim alandan toprak kaybı:

A=R(K.LS.C.P)=150 x 0.17 x 2.693 x 0.44 x 1.0

=30.215 ton /ha/yıl = 3021.5 ton / $km^2$ / yıl

Havzanın toprak kaybı:

A=3021.5x200 =604300 ton / havza / yıl

Sediment birim ağırlığı: $\gamma$=1.5 to/$m^3$ ise;

V=604300/1.5=402867≈403000 $m^3$/havza/yıl

*Havza büyüklüğüne göre Musgrave yönteminde, kullanılan yüzey erozyonu sediment verim oranı: 0.48 olduğuna göre;*

403000 xo.48=193440 $m^3$/yıl

*Havzanın 25 yıllık sediment verimi bilinmek istenirse;*

V=193440x25=4836000 $m^3$/25 yıl

**Sediment iletim katsayısı:** Bulunan bu kayıpların ne miktarının nehre ve nehir ile aşağıda oluşacak bir hazneye ulaşabileceği Denklem (8.31) yardımıyla hesaplanabilir. Ancak burada uygulama olması açısından SLP=0.08 kabul edilerek hesaplama yapılacaktır.

1) $D_R$= 0.627xSLP$^{0.403}$=0.627x0.08$^{0.403}$=0.23

2) Nehre ulaşacak **yüzey erozyon** sediment miktarı:

Yüzey erozyonu x $D_R$= 403000x 0.23=92690$m^3$/havza/yıl

3) Rezervuara ulaşacak **yatak yükü**:

*(Bu uygulamada yatak yükü, yaklaşık nehre ulaşacak yüzey erozyonun yarısı kabul edilecektir)*

Yatak yükü x $D_R$=46000x 0.23=10580 $m^3$/havza/yıl

5) Nehrin taşıyacağı **toplam sediment hacmi**:

[ Yüzey erozyonu x $D_R$ ]+[ Yatak yükü x $D_R$ =

92690 +10580=103270m3/havza/yıl

6) Havza **sediment verimi**:

=[ Yüzey erozyonu x $D_R$ ]+[ Yatak yükü x $D_R$ ] / Havza alanı,

=103270/200=516 ton/yıl/$km^2$

8) Rezervuar ölü hacimi:(Rezervuar ömrü = 50 yıl ise)

=[ Rezervuar ömrü ] x [ sediment hacmi ]





= 50 x 103270=5163500≈5.$10^6$ $m^3$

Hesaplamayı göstermek için bu uygulamada hayali abartılı rakamlar kullanılmıştır.

9) Rezervuar ömrü içinde bir defa meydana gelecek taşkının oluşturacağı toplam erozyon miktarının hacmi de hesaplanarak, daha önce hesaplanan sediment hacmine ilave edilebilir( Çizelge 8.1. Yüzey ve Yatak Erozyonu).

# BÖLÜM 9 SU KAYNAKLARI YAPILARI

Su kaynakları geliştirmesi, *ön araştırmalar, planlama, projeleme, inşaat, işletme ve bakım* aşamalarından geçtiğine göre planlamaya konu olacak bölgenin amaç doğrultusunda araştırılması, bilgi toplanması, yapılacak yapıtların belirlenmesi gerekir. Su kaynakları geliştirmesinde planlama, ekonomik bölgeleri, onların belirli bölümlerini, genelde bir akarsu havzasının tamamını veya onun bir kısmını kapsayacak şekilde çok geniş veya çok dar bir bölgeyi içine alabilir. Tek amaçlı, çok amaçlı, akarsu havzası projesi, akarsu havzası geliştirme projesi, entegre proje veya birleştirilmiş proje olabilir.

Düşünülen projeler içinde birçok yapılar söz konusu olabilir. Bu bölümde mühendislik kriterlerini vermeden yapıları hatırlama amacıyla bir kısım sınıflandırmalar, sıralamalar yapılacaktır. Ayrıntılı bilgiler su kaynakları mühendisliği kitaplarında bulunabilir (Özer, 1990; Özşahin,1991; Linsley ve ark. 1992; Erkek ve Ağıralioğlu,1993).

## 9.1. Akarsu Düzenleme Yapıları

### 9.1.1. Amaç, Kapsam ve Hedefler

*Akarsu düzenlemesi amacı*, bir veya birden çok olabilir, ancak özet olarak can güvenliğini ve daha fazla yararlanmayı, gelecek kuşaklara doğayı daha güzel bırakmayı amaçlar. Bunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1) Taşkın zararlarını önlemek veya azaltmak,
2) Suyun enerjisinden yararlanmak,
3) Yeni tarım ve yerleşim alanları kazanmak,
4) Sulama ve kurutma düzeltmek,
5) Akarsu ulaşımını sağlamak,
6) Diğer su yapılarını emniyete almak,
7) Yeraltı su seviyesini düzenlemek,





8) Akarsuyun kendi kendini temizlemesini sağlamak,
9) Buz yığılmalarını önlemek,
10) Akarsuyun doğa ile uyumunu sağlamak.

*Bir akarsuyun düzenleme planlaması,* tüm akarsuyun güzergahını kapsayacak şekilde bütün olarak yapılmalıdır. Planlamada coğrafik yapı, iklim, jeoloji, toprak durumu, su kaynakları ve havzanın durumu, ulaşım, ekonomi, çevre, doğa yaşam, dinlence ve su sporları gibi hususların dikkate alınması gerekir.

Düzenleme jeolojik, hidrolojik ve ekonomik çalışmaları gerektirir. Bunlar için uygun topoğrafik haritalara, kanal en kesitlerine, akarsuyun ölçülmüş debilerine, suyun kalitesi ile ilgili bilgilere, toprak ve bitki bilgisine, arazi dağılımı ve mülkiyet bilgisine, ekonomik istatistiklere,fizibilite bilgilerine ihtiyaç duyulur.

*Su kaynaklarının geliştirilmesi hedefleri* şöyle sıralanabilir.

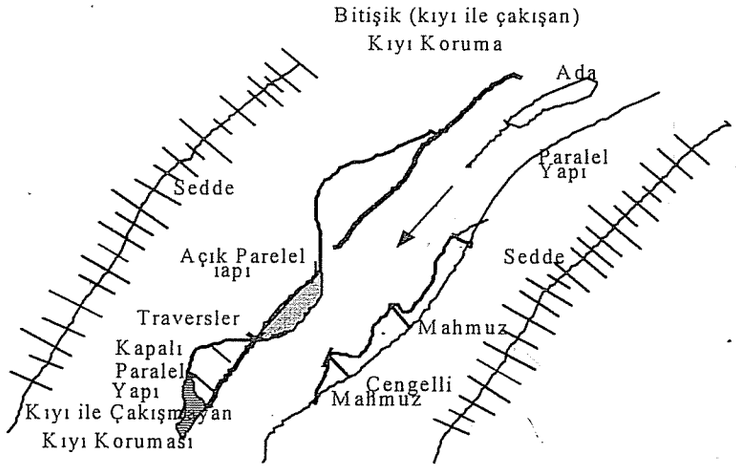
1) Milli ekonominin geliştirilmesi,
2) Çevre şartlarının düzeltilmesi,
3) Sosyal adaletin gerçekleştirilmesi,
4) Bölgesel kalkınmanın sağlanması,
5) Bölgedeki can güvenliğinin sağlanması.

### 9.1.2. Düzenleme Yapıları

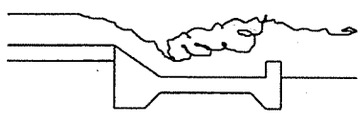
*Koruma Yapılarının amacı*: Koruma yapıları yamaç arazi yüzeylerini erozyona karşı korumayı amaçlar.

*Koruma yapı tipinin seçimini akars*u özellikleri, koruma amacı, yatak kısmı, kullanılacak malzeme özellikleri, boyutları, yapıda kullanılacak araçlar ve diğerleri etkili olur.

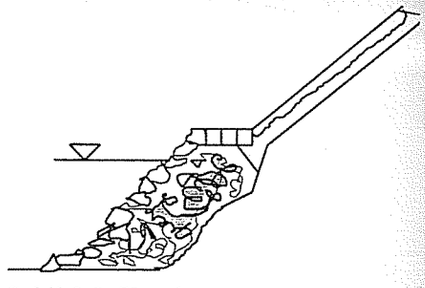
***Koruma yapıları*** 1) Taban koruma yapıları (Taban kaplaması,taban düşü), 2)Kıyı koruma yapıları (Eğik kıyı yüzeylerin koruması, su üstü kıyı yüzeyleri koruması, kıyı korumasında denge), 3) Daraltma yapıları (Mahmuzlar, paralel yapılar, hareketli daraltma yapıları), 4) Diğer düzenleme yapıları (Yargınlar, taban eşikleri, akarsu kavşakları, akarsuyun kollara ayrılması, yatak temizlenmesi, yatak taraması). Koruma yapıları ile ilgili şekiller Şekil 9.2-9.10'da verilmiştir.



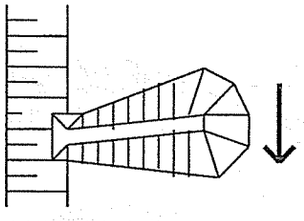

Şekil 9.1. Akarsu düzenlemesinde kullanılan bazı yapı tipleri



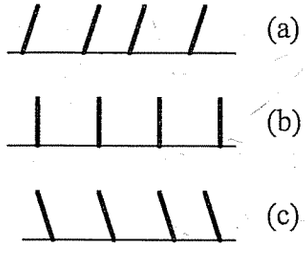
Şekil 9.2. Taban erozyonunu önlemek için taban düşü



Şekil 9.3. Kıyı koruma yapısı



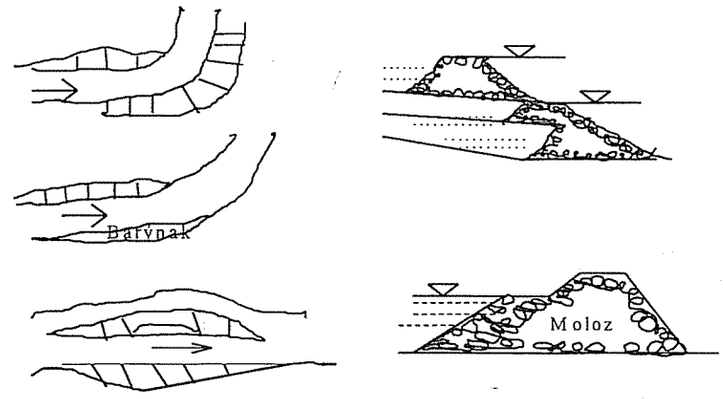
Şekil 9.4.Mahmuz planı



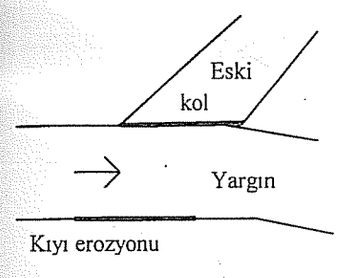

Şekil 9.5. Eksene göre mahmuz



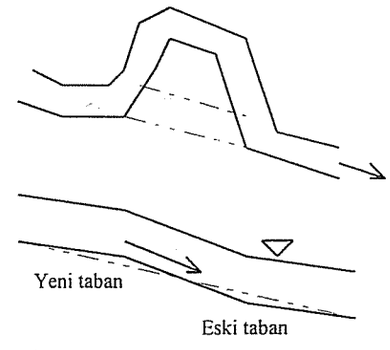




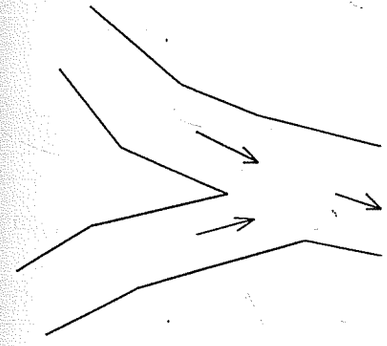

Şekil 9.6. Paralel yapılara örnekler



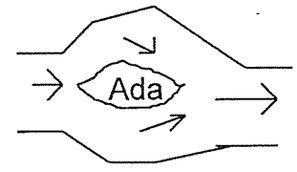

Şekil 9.7.Hareketli daralma




Şekil 9.8. Yargın plan ve kesiti



Şekil 9.9. İki kolun bağlanması

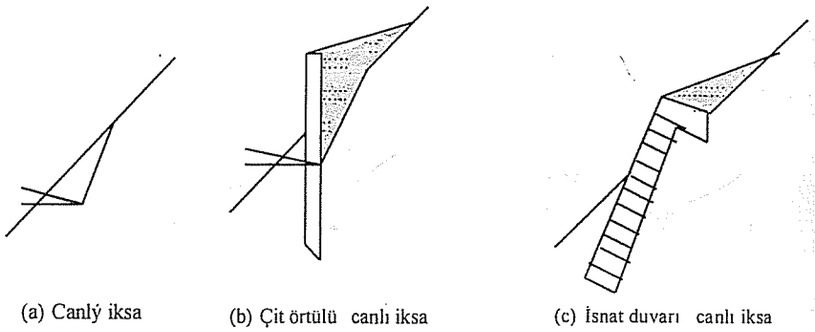



Şekil 9.10. Akarsuyun ada ile kollara ayrılması

## 9.2. Vahşi Dere Düzenlemesi

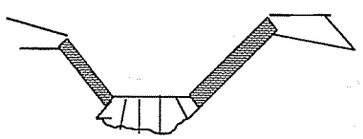
Vahşi dereler dik arazi yüzeyine ve zayıf bitki örtüsüne sahiptir. Sağanak yağışlardan sonra yüzey aşınır, aşınan malzeme sürüklenerek aşağılarda yığılır. Bu nedenle dereler *aşınma, boz ve yığılma bölgesine* sahiptir.

Dere özellikleri dikkate alınarak düzenleme yapılır. Bunlar, 1) Taşkın ve erozyonla mücadele, 2) Yamaçların korunması, 3) Taban ve kıyıların korunması, 4) Sürüntü maddelerin tutulması, 5) Düşü yapıları, 6) Yığılma konisi yapıları şeklinde gruplandırılırarak incelenir.

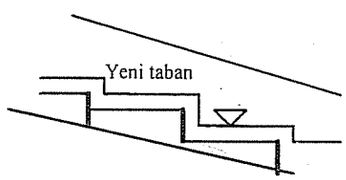


(a) Canlý iksa (b) Çit örtülü canlı iksa (c) İsnat duvarı canlı iksa

Şekil 9.11. Yamaç korunması



Şekil 9.12. Vahşi dere yatağında taş kaplama




Şekil 9.13. Kademeli birikinti bentleri

## 9.3. Taşkın Kontrolü Önlemleri ve Yapıları

Taşkınlar düz ovaları her zaman tehdit etmişler, zaman zaman diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de tehlike yaratmışlar, zarar doğurmuşlardır. Taşkınların; 1) Kıyı taşkınları, 2) Akarsu taşkınları olmak üzere ikiye ayrılarak incelenmesi uygun görülmektedir.

*Taşkın tanımı*: Taşkın tanımı farklı yapılabilmekte, ancak kavram aynıdır. Taşkın, belirli bir gözlem süresindeki akışların yukarı





sınırı veya gidiş çizgisinin en büyük değeri olarak tanımlanabilmektedir. Aynı zamanda taşkın, doğal veya yapay olarak oluşturulan ana yataktan taşarak çevredeki arazileri su altında bırakan akış miktarları olarak ta tanımlanabilmektedir. Kritik taşkın seviyesi, yerel özelliklere göre belirlenen ve bu değerin üzerine çıktığında akarsuyun taşkın halinde olduğu kabul edilen su seviyesidir.

Taşkın, mala ve cana zarar veren ve zamanla çabuk değişen yüksek akım veya seviye, taşkın olarak kabul edilir. Taşkın kontrolü, taşkın zararlarını azaltmak veya bütünüyle önlemek için yapılan bir dizi çalışmadır. Bu önlemler yapılı ve yapısız olabilir Bunlara ilişkin örnekler izleyen kısımlarda verilecektir.

### 9.3.1. Yapısız Taşkın Önlemleri

Yapılaşmayı önlemek, özellikli faaliyetlere izin vermek, kurtarma, kaçırma faaliyetlerini planlamak, taşkın bölge faaliyetlerine öncelik vermek, sigorta çalışması yapmak şeklinde özetlenmektedir.

### 9.3.2. Yapılı Taşkın Kontrolü

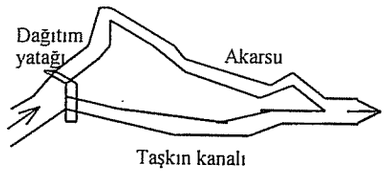
Yapılı taşkın kontrolü, önlem gerektiren yerlerde yüzeysel akışları kısmen azaltan veya geciktiren önlemler ve yapılardır.

1) Havza koruması: Teraslama, bitki örtüsünü korumak, yenilemek, çalılıkları ve ağaçlandırmayı artırmak.

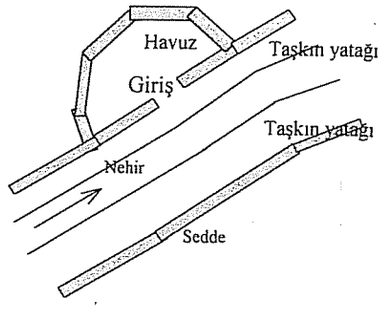
2) Akarsu yatağını düzenlemek: Küçük akarsularda yatağı genişletmek, derinleştirmek,eğrilikleri gidererek boyunu kısaltmak, talveg hattını değiştirmek, yataktaki hız kesen engelleri ortadan kaldırmak, yatak tabanını ve şevleri kaplamak şeklinde özetlenebilir.

3) Taşkın kanalları oluşturmak: Taşkın anında fazla gelen suyu akıtmak için uygun bir yerden yeni bir kanal açılması veya varsa göllere akıtılması olarak bilinir.

4) Taşkın geciktirme havuzları geliştirmek: Akarsu yatağının dışında, uygun bir yerde oluşturulacak geciktirme havuzu ile taşkın dalga yüksekliğinin kırılması sağlanır.




Şekil 9.14. Taşkın kanalı ile taşkın düzenlemesi

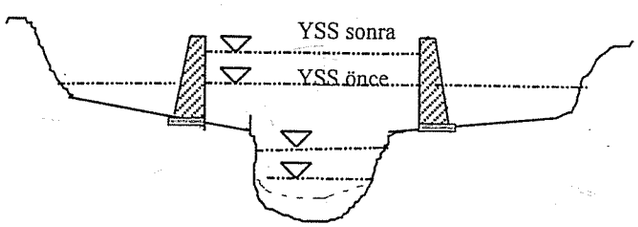



Şekil 9.15. Taşkın geciktirme havuzu

5) Sel kapanları:Bunlar Mansapta derinlikleri 10-20 m arasında tüm mühendislik kriterlerine göre oluşturulacak küçük barajlar olup, gelen taşkın sularını tutarak dalgaları kırmayı sağlar.

6) Seddeler: Ovalarda, düz arazilerde suyun kabarması ile doğacak zararları önlemek amacıyla nehir yatağının iki kıyısında oluşturulacak şerit halindeki yapılardır. Bunun mahsurları da olabilir; sedde ile oluşturulmuş yatakta su seviyesi yükselir, akış hızı artar, taşınan mil, organik maddeler kanalda sürüklenerek yatağın aşağı kesimlerde birikebilir. Tarım alanları bundan mahrum kalır

Seddeler yapılış amacına, konumuna ve düzenleme şekline göre sınıflandırılır mühendislik çalışmaları yapılır.




Şekil 9.16. Sedde ile akarsuyun kanalda tutulması

7) Taşkın duvarları: Yerleşim bölgelerinde, kıymetli tarım arazilerinin bulunduğu yerlerde sedde genişliğini azaltmak, akarsu yolu boyunca yapılan yollara isnat duvarı görevini yapmak, doğayla uyum sağlamak amacıyla oluşturulan yapılardır. Bunlar doğaya daha uygun ve ekonomiktir. Yatakta katı maddelerin birikmesini önlemek için kanal ortasında küçük bir kanal (kademeli kanal) oluşturularak akış hızı artırılabilir. Yatağın durumuna göre seddelerin mühendislik çalışmaları yapılır.





## 9.4.Akarsu Taşımacılığı

Türkiye'deki akarsulardan taşımacılık açısından pek yararlanılmamaktadır. Birçok akarsularımızın rejimleri düzensizdir. Bu da önemli ölçüde su taşımacılığını etkilemektedir. Bir kısım baraj göllerinde taşımacılık yapıldığı söylenebilir.

***İç su yollarının geliştirilmesi***; 1) Akarsuyun düzenlenmesi, 2) Kabartma yapıları ve eklüzlerin yapılması, 3) Yeni bir kanal açılması gibi metotlar ile yapılır. Doğal halinde akarsu taşımacılık için uygun değilse, önce akarsu düzenlemesi yapılmalıdır. Su yeterli ise kurak mevsimde kullanılmak üzere baraj yapılarak su biriktirilip salınır yatak beslenir. Kabartma yapıları ve eklüzlerin yapımı, ancak akarsu düzenlemesinin uygun olmadığı veya yetersiz kaldığı durumlarda düşünülür.

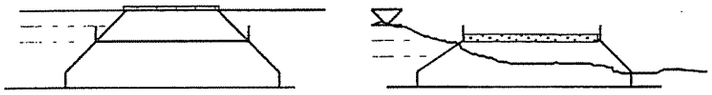
Akarsu limanları; Akarsu limanları, akarsu yatağının kenarında yada akarsudan ayrı olarak planlanır. Kenarlarda yapılanlar su seviye değişmelerinden, akış hızlarından yüzen cisimlerden ve katı maddelerden olumsuz biçimde etkilenirler.

## 9.5. Geçişler

Geçiş yapıları köprüler, menfezler, kanallar, tüneller ve borular şeklinde isimlendirilebilir. Köprüler akarsulara, akarsularda köprülere olumsuz etki ederler. Bu nedenle taşkın tahminlerinin iyi yapılması gerekir.

Su mühendisliği açısından 1) Körü yerinin seçimi, 2) Yatağın düzeltilmesi, 3) Yatağın oyulması, 4) Suyun kabarması, 5) Köprünün projelendirilmesi gibi hususlar önemle göz önünde bulundurulması gerekir.

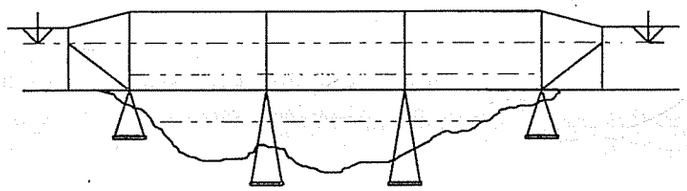
Menfezler duruma göre serbest akışlı veya basınçlı olarak yapılabilir. Küçük bir akarsuyu karayolu ve demiryolu ile geçmek için yapılır.



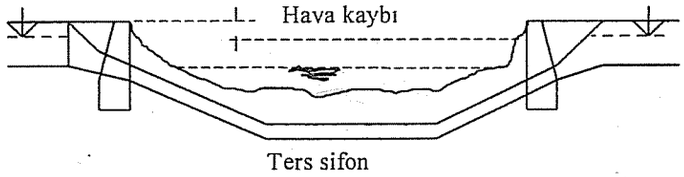
Şekil 9.17. Basınçlı ve serbest akışlı kutu menfezler

Kanallar, akadük, ters sifon, sel geçitleri şeklinde olabilir. Akadükler dere yatağını üstten geçen su yoludur. ters sifon ise alttan geçen basınçlı borulardır.

Akarşular tünelle de geçilebilir. Bunlar; üst geçiş ve alt geçiş şeklinde plânlanabilir. Koşulları dikkate alınarak mühendislik plan ve projelemesi özenle yapılmalıdır.



Şekil 9.18a. Akarsuların vadileri akadük ile geçilmesi




Şekil 9.18b. Akarsu vadilerinin ters sifon ile geçilmesi

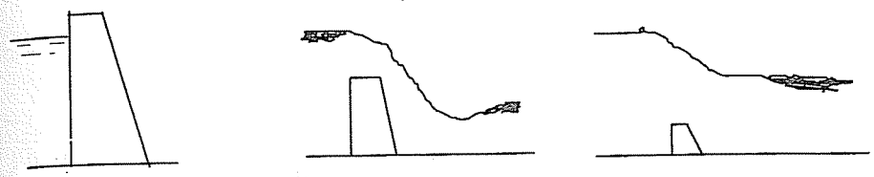
## 9.6. Bağlamalar

Kabartma yapıları, bir akarsu yatağı veya vadisinde suyu biriktirmek, belirli bir seviyeye yükseltmek, belirli bir seviyede tutmak, başka bir yöne çevirmek gibi çok farklı amaçlara yönelik olarak planlanan sabit veya hareketli kısımları olan yapılardır. Bir kabartma yapısının memba bölgesindeki su derinliğine *kabartma yüksekliği*, memba ve mansap su seviyeleri arasındaki farka *düşüm yüksekliği* denir.





Kabartma yapıları memba ve mansap su seviyelerinin durumları göz önüne alındığında baraj, bağlama ve taban eşiği olmak üzere üç gruba ayrılır (Şekil 9.19)




Şekil 9.19. Kabartma yapıları

Barajlar yatağından başka tüm vadiyi kapatan ve akarsuyun akım rejimini etkileyen suyun biriktirilmesini sağlayan yapılardır. Barajlar suyun akıtılması için dip savak, dolu savak, işletme tesisleri gibi özel yapılara sahiptir. Barajların boyutlandırılmasında statik etkiler önemlidir.

Bağlamalar genel olarak yalnız akarsuyun yatağını kapatan, suyu biriktirmekten çok, su seviyesini belirli bir kota kadar yükselten, suyu belirli bir yöne çeviren, istenilen seviyeden arzu edilen miktara su almayı sağlayan yapılardır. Bağlamalara savak, regülatör veya daha geniş anlamda yardımcı yapılar ile birlikte çevirme yapıları da denir. Her bağlama yapı olarak bağlama alt yapısı, bağlama veya kabartma gövdesi, bağlam ayakları, kıyı bağlantıları ve düşüm yatağı gibi elemanlardan oluşur.

Taban eşiklerin, yapı tepesi ve gövdesi sürekli olarak mansap su seviyesinin altında kalan yapılardır. Bu durumda batmış bir akım meydana gelir.

Her bağlama yapılış amacına uygun yapılarla birlikte düşünülmeli ve ekonomik yönden ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Ayrıca su haklarını, mevcut yapıları ve bölgedeki su kaynaklarını biyolojik ve diğer yönlerden ne ölçüde etkilediği, sürüntü maddesi ve buz geçişlerini ne ölçüde engellediği incelenmelidir. Bağlamaların mansaptaki aşınmalara, birikmelere, seviye değişmelerine neden olurlar, ulaşımı etkiler.

Bağlamaların plânlaması, hidroloji, hidrolik, jeoteknik, statik, su yapıları, inşaat, işletme, makine tekniği, ekonomi ile ilgili hususları göz önüne alınarak yapılır.

## 9.7. Su Alma Yapıları

Akarsu ve baraj gölü gibi su kaynaklarından suyu alıp iletim sistemlerine veren yapılara su alma yapıları ve bu yapıların giriş kısmına su ağızı veya priz denir. su alma yapıları suyu düzenlemek ve kontrol etmek gibi iki görevi var. Su alma yapıları düzenlenirken mühendislik ve ekonomik kriterlerin özenle dikkate alınması gerekmektedir.

### 9.7.1.Su Alma Yapılarının Sınıflandırılması

1)Yapı durumuna göre

Akarsu yatağından doğrudan su alma

Akarsudan bir kabartma tesisi ile su alma

2)Akım durumuna göre

Serbest yüzeyli su alma

-Yandan su alma,

-Tabandan su alma,

-Karşıdan su alma

Basınçlı su alma

-Yapı gövdesinden su alma

-Yamaçtan su alma

-Dipten su alma

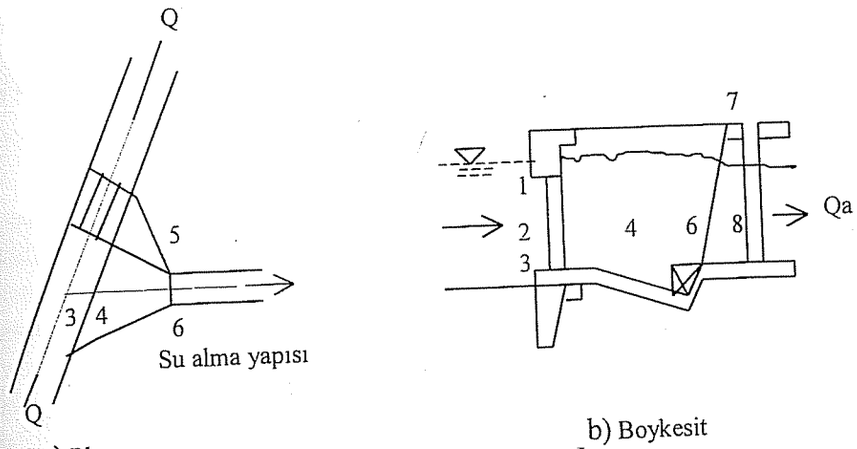
-Kuleli su alma

-Kuyruklu su alma

Bir su alma yapısında bulunabilecek kısımlar şekil 9.20'de gösterilmiştir.








a) Plan b) Boykesit

1.Dalgıç perde, 2.Kaba ızgara, 3.Giriş eşiği, 4.Çökeltim havuzu, 5.Yıkama kanalı, 6.İnce ızgara, 7.Izgara temizleme platformu, 8. Yedek kapak

Şekil 9.20 Su alma yapısı elemanları

### 9.7.2. Nehir Suları Su Alma Yapıları

Nehir suları nadan su alınırken tesis kurulurken dikkat edilecek bir kısım özellikler vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1) Kalite ve emniyet, ekonomiden önce tutulması,

2) Pis suların, tuzlu suların karıştığı yer olmamalı veya kabaran sularla geri teptiği dikkate alınmalı,

3) Pis suların karışması söz konusu ise, ek tesisler yapılmalı,

4) Su alma yeri su trafiğine engel olmamalı,

5) Derinliği fazla olan, az çamur getiren yerler seçilmeli, kurplar tercih edilmeli,

6) Yeterince derinden alınmalı, yüzücü maddelerden veya silt ve çamurdan zararlanmamalı,

7) Kabarma bölgesi içinde bulunmamalıdır.

Nehirden suların alınması

1) Sürekli olarak

2) Seçilen zamanlarda

3) Biriktirme suretiyle olur.

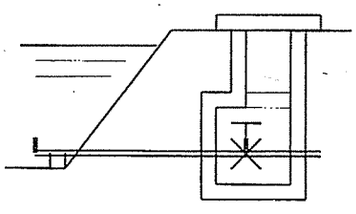
Bunlara bağlı olarak ta su alma yapıları planlanır. Şekil 9. nehirden su alınmasına bir örnek olarak gösterilebilir.

Bazen yaklaşım yapısı ile kıyıya iletilerek alınır, ince ızgaralardan geçirilerek su alınır.

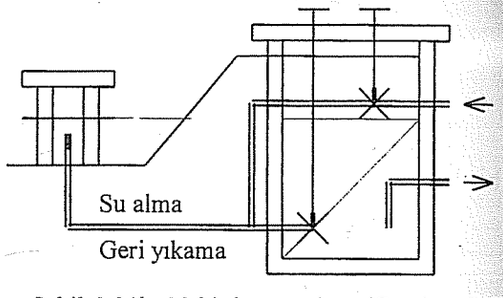
### 9.7.3. Göl-Gölet Suları Su Alma Yapıları

Yosunların, ölü organik artıkların olmadığı yerlerden, temiz kıyılardan, sığ göllerde 4-5 m derinlikten, derin göllerde 10-15 m derinlikten, tabandan ise 3-4 m üstten su alınması gerekir. Su alma yapısı nehirdekine benzer şekilde olabilir (Şekil 9.)

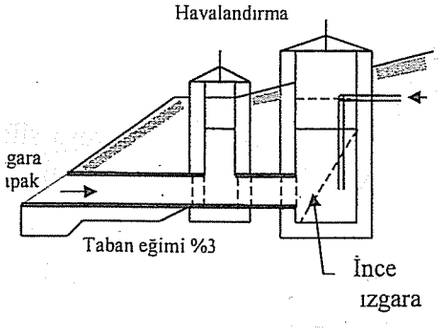
Göl suları nehir sularına kıyasla daha temizdir. Yönetmeliğe uygun olarak analizlerin yapılması, incelenmesi gerekir.



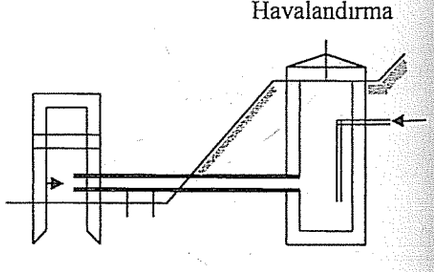
Şekil 9.21a. Nehirden basit su alma (süzgeç mafsallı olabilir)




Şekil 9.21b. Nehirden su alma (Gemi trafiği yok)




Şekil 9.21c. Nehirden su alma yapıları




Şekil 9.21d. Göllerden su alma yapıları





## 9.8. Su Kuvvetleri Yapıları

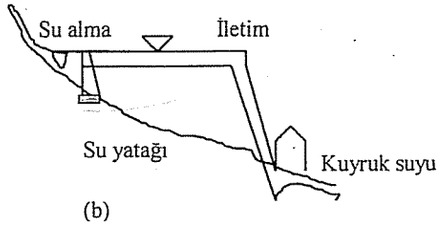
Suyun potansiyel ve kinetik enerjisini (Seviye enerji + basınç enerji + kinetik enerji) elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Su kütlesinin düşey mesafesinden düşürülmesi esasına dayanır. Tesiste bir saniyede üretilen enerjiye *güç,* ana gruplarda üretilmesi olası olan maksimum aktif güçlerin toplamına ise *kurulu güç* denir. Grupların verebilecekleri en büyük güçlerin toplamına tesisten alınabilen *maksimum güç* denir. Bölgeler arasında iletim şebekesi kurularak çeşitli enerji üretim kaynaklarının birlikte çalışmasının sağlanmasına *enterkonnekte sistem* denir.

Su kuvvetleri tesisleri enerji kayıplarını en aza indiren tesislerdir. Enerji ihtiyacı gün boyu değişir. Su kuvveti tesisleri farlı şekillerde sınıflandırılabilir.

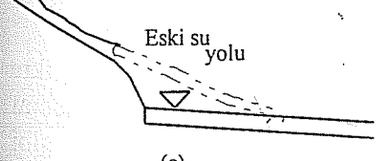
*Su tesislerinin yapı tipleri* 1) Alçak basınçlı tesisler, 2) Yüksek basınçlı tesisler, 3) Pompaj biriktirmeli santraller, 4) Gel-git santralleri şeklinde gruplandırılmaktadır.

*Su kuvveti tesislerinin yapı elemanları* 1) Açık kanallar, 2) Galeriler, 3)Basınçlı borular, 4) Denge bacaları, Yükleme odaları, 5) Türbinler, 6) Jeneratörler ve Transformatörlerdir.

(a)




(b)




(c)

a) Kabartma yapısı

b) Çevirme ve iletim hattı

c) Taban kotunun düşürülmesi

Şekil 9.22. Akarsu düşüm yüksekliğinin oluşturulması

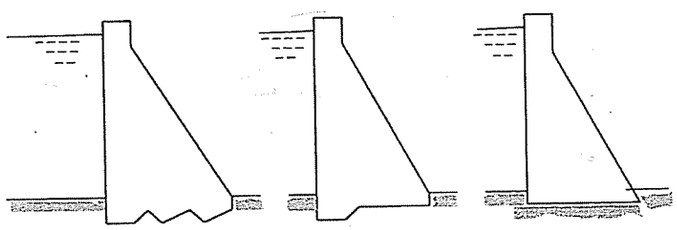
### 9.8.1. Barajlar

Akarsular aktığı yatağın eğimine bağlı olarak enerjiye sahiptirler. Akarsuların sahip olduğu bu enerjiye hidrolik enerji adı verilir. Akarsuların mevcut enerjileri kaya ve toprak parçalarını sürükleyerek bir takım zararlara neden olurlar. Akarsuyun kaynağından itibaren mevcut hidrolik enerjisini elektrik enerjisine çeviren tesislere su kuvvetleri yapıları adı verilir. Burada sadece baraj çeşitleri ve bir kısım müşterek yapılarının tanıtılması yapılacaktır. Su basıncını kendi ağırlığı ile karşılayan barajlardır.

Baraj bütün vadiyi kapatarak yapay bir göl oluşmasını sağlayan masif veya dolgu malzemesinden inşa edilen sabit yapıdır. Barajların taşkınları önlemek, enerji üretmek, içme, kullanma ve sulama suyu sağlamak gibi görevleri olan, su tutucu ve su depolayıcı yapılardır.

Baraj yerinin ve tipinin seçiminde göz önünde bulundurulacak etmenlere göre baraj tipleri; dolu gövdeli ağırlık barajları, payandalı barajlar, kemer barajlar, toprak barajlar, kaya dolgu barajlar olarak sınıflandırılabilir.

***Beton ağırlık Barajlar:*** Geride biriktirilen suyun ve diğer etkilerin gövdeye yaptığı basınç, baraj gövdesinin ağırlığı ile karşılanan betondan inşa edilen kütle yapılardır (Şekil 9.22).



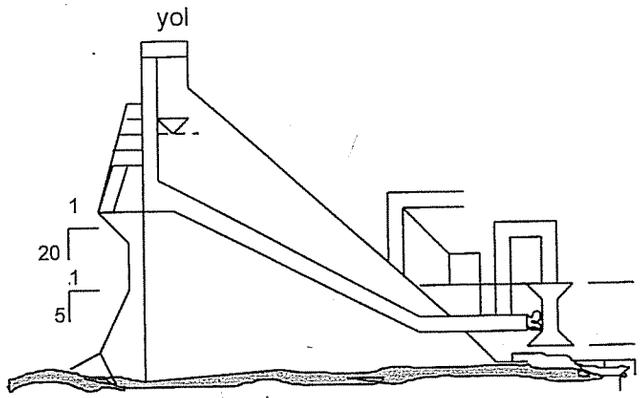
Şekil 9.23. Çeşitli ağırlık baraj kesitleri

Temelin sağlam ve boyutların ekonomik olması gerekir. Ağırlık barajların hesabında üçgen şekilli ana profil esas alınır.

Yeterli kalınlıkta kaya temelin bulunması, orta genişlikte vadiler, üzerinden taşkın suyunun akması koşulu, üzerinden ulaşım yolunun geçmesi durumu, don etkileri, güvenlik nedenleri gibi durumlar ağırlık barajlarının seçiminde tercih nedenleridir (Şekil 9.23).





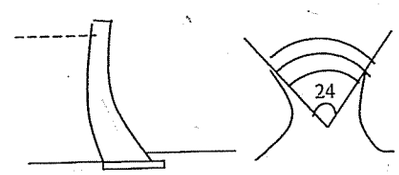



Şekil 9.24. Beton ağırlık barajı en kesiti

Ağırlık barajları iki yamaç arasında en kısa bağlantıyı sağlayacak şekilde doğru bir çizgi şeklinde planlanır. Ancak zemin durumu ve bazı koşullar kavisli yapımı da gerektirebilir. Plandaki şekline göre düz ağırlık ve kemerli ağırlık barajları olarak ikiye ayrılır.

***Kemer Ağırlık Barajlar:*** Ağırlık barajlarının yüksekliği arttıkça kalınlığı artar, kalınlığı azaltmak için çözüm aranır. Bunun için vadinin şekli temeli ve yamaçları uygun ise kemer tesisinden istifade edilir. Kemer ağırlık barajları bütün kret boyunca membaya doğru kavisli yapılarak, temele aktarılması gereken kuvvetlerin bir kısmını kemer vasıtasıyla yamaçlara aktarır. Böylece düz ağırlık barajlarına göre taban genişliği küçültülmüş ve masrafları azaltılmış olur

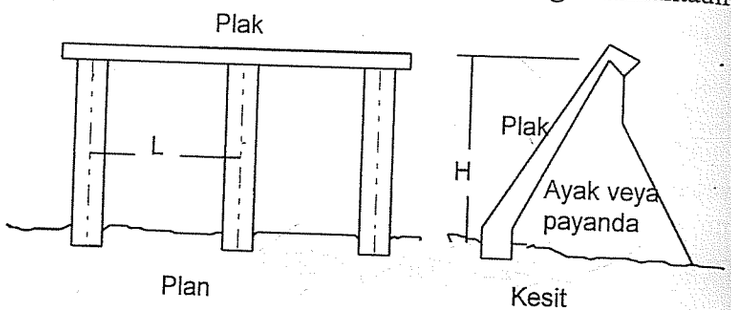
***Kemer Barajlar:*** Vadi derin ise ve yamaçlar kabartılan su seviyesi için uygun ise kemer barajlar yapılır. Kemer baraj yapılacak vadinin açıklığının kabartma yüksekliğine oranı 5/1'i geçmemelidir. Yamaçların sağlam olması gerekir (Şekil 9.24). Bu tip barajlarda yük taşımasının birinci derecede kemer tesiri ile karşılandığı bir veya iki yönde eğrilik gösteren taş veya beton barajlardır.




Şekil 9.25. Kemer barajlar.

***Payandalı Barajlar:*** Kabartıcı plak ve kemerlerin yüklerinin orta ayaklara taşıtılması ile meydana gelen baraj tipidir. Memba yüzünü kapan beton perde veya kemerler ile onlara mesnet görevi yapan payandalardan meydana gelir(Şekil 9.25).

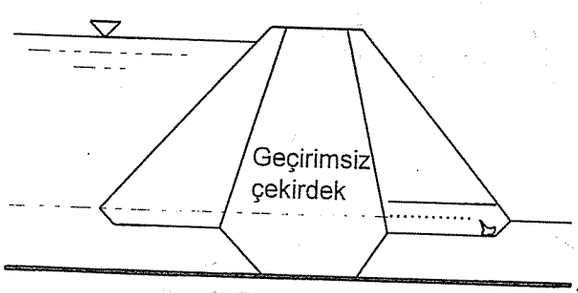
Payandalı barajlar, geniş ve yamaçları yatık vadilere, taşıma gücü yetersiz sadece payandaların için uygun zeminin olduğu yerlerde tercih edilir. Bununla ekonomi sağlanır. Ayaklar ara açıklıkları üzerinde barajın yükseldiği, temelin durumu, zeminin durumu, baraj üzerinde dolu savağın bulunup bulunmamasına bağlı kalmaktadır.




Şekil 9.26. Payandalı baraj

***Dolgu Barajlar:*** Dolgu barajlar, su basıncını dolgu gövdesinin ağırlığı ile temele aktaran barajlardır. Kaya dolgu ile toprak dolgu arasındaki fark, stabilitesinin toprak yerine kaya malzeme kullanılması ile yapılmasıdır.

Toprak dolgu barajlarda şevler, kullanılacak malzemenin karakterine, temel durumuna ve barajın yüksekliğine bağlı olarak değişir. Memba şevleri 2/1-4/1 arasında değişir, çoğunlukla 2.5/1-3/1 şeklinde düzenlenir. Mansap şevleri ise 2/1 veya 2.5/1 olur. Şevlerin stabilitesi gerekir(Şekil 9.26).




Şekil 9.27. Torak dolgu baraj





Şevler toprak dolgu barajlara oranla daha dik seçilebilir ve menbada 0.75/1 mansapta ise 1.5/1 ve 2.0/1 arasında olur.

Temel gücünün zayıf olduğu, dolgu malzemesi sorunu olmadığı, ekonomik olduğu durumlarda yapımı planlanır.

## 9.8.2. Barajlarda Müşterek Kısımlar

Tüm barajlar aşağıda özetlenen kısımlara sahiptir.

***Derivasyon Tüneli ve Batardalar:*** Deriyasyon akarsu yatağı güzergahının inşaat süresi boyunca değiştirilmesi için geliştirilen su yoludur. Bunlar duruma göre dip savak veya kuvvet tüneli olarak kullanılır. Aksi halde görevi biter bitmez iptal edilir (Şekil 9.28).

Batardo inşaat alanını kuruya almak için yapılan seddelerdir. Akarsu batardo ile kuşatılmayan kısımdan akmaya devam eder. Bu kısmın inşaatı tamamlandıktan sonra batardo yıkılır. Su gövde içinde bırakılan yola çevrilir (Şekil 9.28).

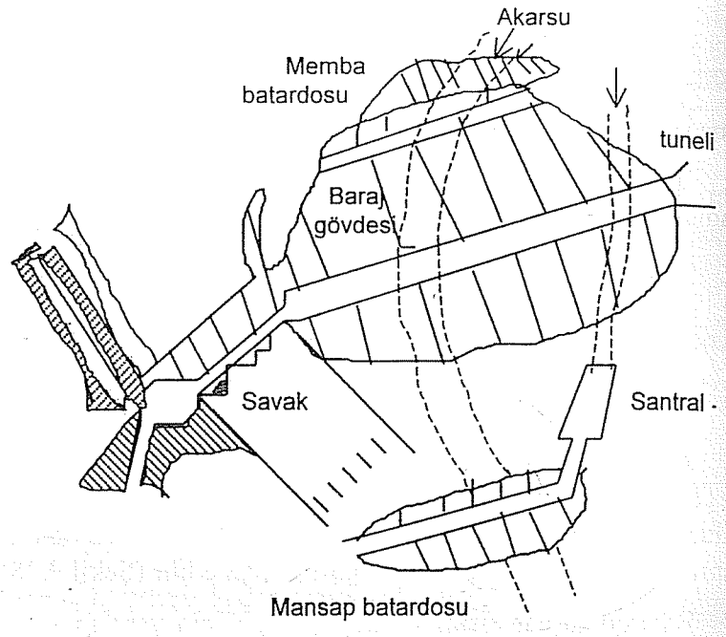
***Gövde:*** Biriktirilen suyun basıncı baraj gövdesi tarafından karşılanır. Gövdenin zemine oturması baraj tipine göre farklı olur (Şekil 9.27).

***Dolu Savaklar ve Kısımları:*** Baraja gelen fazla suların, feyezan sularının, gövdeye zarar vermeden baraj aşağısına akıtılması savaklar ile olur. Dolu savaklar genellikle suyu barajın üst kolundan almakta ve suni bir yak ile nehre akmaktadır. Bunlar maksimum feyezanlar için projelenir (Şekil 9.27).

Arazi koşulları dolu savağın yeri, tipi gibi çeşitli kısımlarının seçiminde önemli rol oynamaktadır. Dolu savaklar beton barajlarda olduğu gibi baraj gövdesinin bir kısmı olarak inşa edilebilirler. Toprak veya kaya dolgu barajlarda gövdeden ayrı olarak inşa edilirler.

*Dolu savak kısımları*; Kontrol yapısı, boşaltma kanalı, enerji kırıcı tesisleri, yaklaşım ve çıkış kanalları, ogee profilleridir.

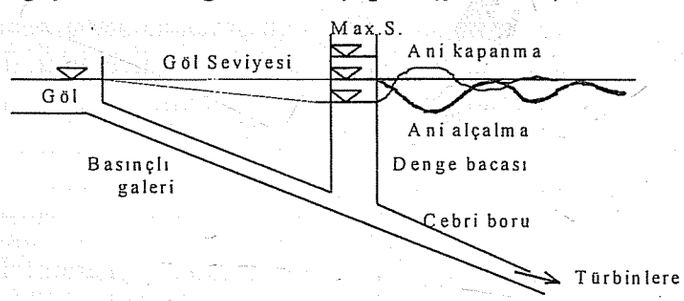
**Su Alma Yapıları:** Baraj üzerinde suyu kullanacağı yere götürebilmek için gerekli yapıların ilki su alma yapılarıdır. Bunlar hidroelektrik tesisleri için alçak basınçlı ve yüksek basınçlı olarak yapılır. Barajlardan su alma yapıları:




Şekil 9.28. Baraj gövdesi ve kısımları

***Basınçlı Galeriler:*** Yağışlara bağlı olarak haznede su seviyesi alçalır veya yükselir. Akarsuyun getirdiği debi, işletme debisinden büyük olduğu zamanlarda haznede su kotu yükselir. Buna göre bu haznenin maksimum ve minimum su kotları ve dolayısiyle galeri ağızları belirlenir.

***Denge Bacaları:*** Denge bacaları basınçlı galerilerin sonunda bulunur. Türbinlerin ayarlanması sırasında ani yükleme ve boşaltma esnasında cebri boruların içinde büyük kütle kuvvetleri meydana gelir. Bunların zararlarını azaltmak için basınçlı galeriler ile cebri boruların birleştiği yerlerde denge bacaları yapılır (Şekil9.28)..




Şekil 9.29. Basınçlı galeri ve denge bacası





***Cebri Borular:*** Cebri borular, denge bacaları ile kuvvet santralı arasında çelikten yapılan basınçlı borulardır. Gerekli yerlerde cebri boruya girişte otomatik vanalar veya kapaklar bulunur. Cebri borular araziye tespit edilir.

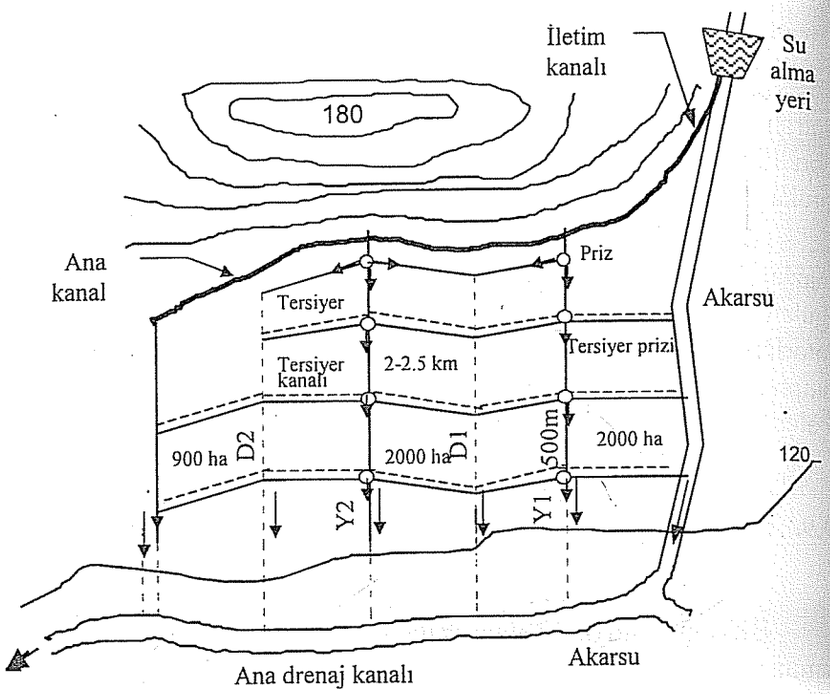
***Santral Binaları:*** Santral binaları; türbin makineleri ile türbin cihazlarını içine alılar. Bunlar; türbinler, jeneratörler, pompalar, basınç regülatörleri, giriş ve çıkış kapakları, basınçlı yağ veren hizmet motorları, sızan sular ve soğutma suları için su pompaları, kompresörler, vantilatörler, kreynler, ölçü ve kontrol aletleri, yüksek ve alçak gerilim kabloları olarak sıralanabilirler.

## 9.9. Sulama ve Drenaj Yapıları

Bitkinin ihtiyacı olan suyun yağışlar ile karşılanamayan kısmının toprağa verilmesi işlemi sulama olarak bilinir. Bu su yüzey ve yeraltı sularından sağlanabilir. Bu nedenle sulama alanlarında büyük çapta su temini ve su getirme yapılarına gereksinme duyulur. Sulama ve toprak tuzlarını yıkama amacıyla verilen suların artıklarının ortamdan uzaklaştırılması olayına da drenaj denir. Sulama ve drenaj aynı anda düşünülen kültürteknik faaliyetleridir. Burada sulama ve drenaj yapılarının hidrolik özelliklerine girmeden sadece tanıtılması yapılacaktır.

Sulama yöntemlerinin seçimine etki eden bir çok etmen vardır. Sulama yöntemleri; adi sulama yöntemi, bordür sulama yöntemi, karık sulama yöntemi, karık sulama yöntemi, yağmurlama sulama yöntemi, sızdırma sulama vs. gibi yöntemlere ayrılır.

Genel olarak sulama projeleri suyun temin ve dağıtılması yönünden yer çekimi sistemi, pompajlı sistem ve kombina sistem olmak üzere üç grupta toplanabilir. Pompajlı sistemlerde su pompalarla yüksek bir yere basılır ve buradan dağıtılır. Sulama sisteminin her ikisinde de suyun sulama alanına dağıtılması açık kanallı sulama şebekeleri, kanaletli sulama şebekeleri ve borulu sulama şebekeleri ile olur.

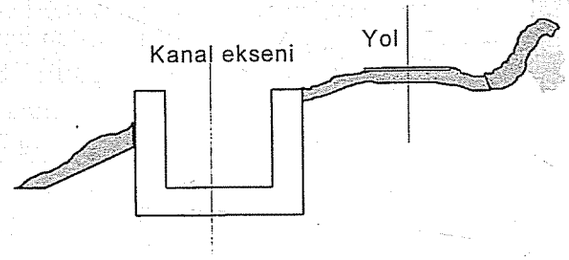



Şekil 9.30. Açık kanallı sulama ve drenaj sistemi

1) Açık Sulama Şebekeleri

***İletim Kanalı:*** İletim kanalı sulama suyunun çevirme ve su alma yapılarından alarak sulama ana kanalına iletilmesini sağlayan kanaldır( Şekil 9.29 ).

İletim kanalı genellikle engebeli araziden tesviye eğrilerini takip eder. Bu nedenle güzergahlar dolambaçlı ve kurpludur. Büyük kazı ister, malzeme taşıması için servis yolu gerekir. Servis yoklu da kanal yapımı kadar pahalı olabilir. Kaymaları önlemek amacıyla kanal tek veya çift taraflı duvarlı veya kapalı kanal halinde veya tünel şeklinde inşa edilebilir.

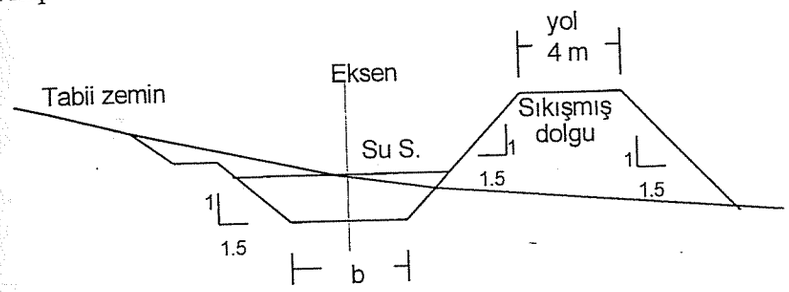



Şekil 9.31. İletim kanalı





***Ana Kanal:*** Sulama suyunu su alma yerinden yedek (sekonder) kanallara ileten, sulama suyunu sulama projesi içinde taşıyan kanaldır. Prizlerle ana kanaldan yedeklere veya doğrudan araziye su alınır. Ana kanal kapasitesi sulama alanı bürüt su ihtiyacına göre projelenir.



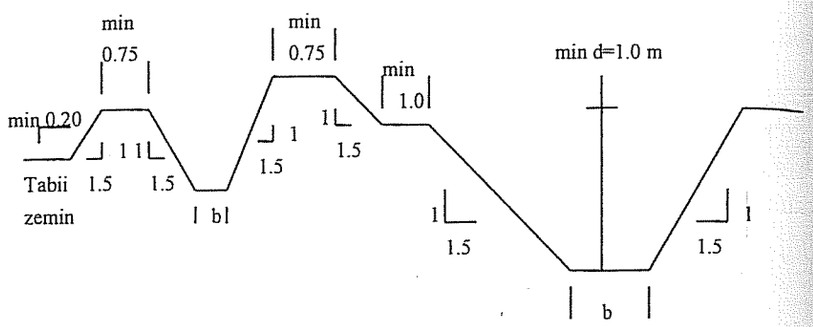

Şekil 9.32. Ana kanal ekseni

***Yedek Kanallar:*** Yedek kanallar suyu prizler vasıtasıyla ana kanaldan alır tersiyerlere ulaştırır. Yedekler, tesviye eğrilerini dik olarak keser. Arazinin alt kısımlarında iki yedek drenaj kanalı arasında bir yedek sulama kanalı, yedeklerin bir yanında bakım için servis yolu bulunur. Yedeklerden tersiyerler ayrılır. Genel yapıya bağlı olarak bunların ara uzaklıkları değişir. Ortalama 500 m denebilir. Yedekler beton ile kaplanır.

***Tersiyer Kanallar:*** Tersiyer kanallar prizleri ile yedeklere bağlanan yerlerden alınan suyu sulama sahasına taşıyan kanallardır. Üzerinde 200 m ara ile çiftçi arkı prizleri bulunur. Bu prizler vasıtasıyla çiftçiye verilir.

Tersiyerler tesviye eğrilerini izler. Genellikle tersiyer kanal taban eğimi 0.0004 civarında seçilir. Tersiyerlerin aralığı en fazla 500 m kadar olur. Maksimum uzunlukları 2-2.5 km'dir. En fazla 120 hektar alan sular.

Tersiyerler genellikle yedek drenaj kanalına 125-150 m kala tersiyer drenaj kanalına bağlanır. Betonla kaplanır ve hızı 0.30 m/sn den aşağı olmaması istenir. Tersiyer sulama ve drenaj kanalına ilişkin bir kesit örneği Şekil 9.30'da verilmiştir.




Şekil 9.33 Tersiyer sulama ve drenaj kanalı en kesiti

***Çiftçi Arkları (Kuarterler):*** Çiftçi arakları tersiyer prizlerinden saptırılan sulama suyunu tarlaya kadar götüren kanallardır. Bunlar genellikle 500 m kadar uzunlukta olup, çiftçi tarafından yapılır. Tarla sınırlarını takip eder.

2) Drenaj Sularının Uzaklaştırılması

***Tersiyer Drenaj Kanalları:*** Tersiyer drenaj kanalları sulama alanının fazla sularını uzaklaştırmaya yararlar. Tersiyer sulama kanalına paralel olarak yapılır. Amaca göre 1.5-2.5 m derinlikte açılabilir. Kaplamasız olarak ve 0.0001-0.0002 eğimli olur. Tersiyer drenaj kanalı suları yedek drenaj kanalına boşalır.

***Yedek Drenaj Kanalı:*** Yedek drenaj kanallarının özellikleri; bu kanalda biriken sular ana drenaj kanalına iletilir. Sulama ana kanalına paralel, tesviye eğrilerine dik ve eğimi fazla, kaplamasız olarak yapılır. Bir tarafında servis yolu bulunur ve geçitler büz yerleştirilir ve büz sanat yapısı ile bağlanır.

***Ana Drenaj Kanalı:*** Ana drenaj kanalı toplanan suları akar suya, göle veya denize iletir. Eğimleri olan kaplamasız olarak yapılan kanallardır.

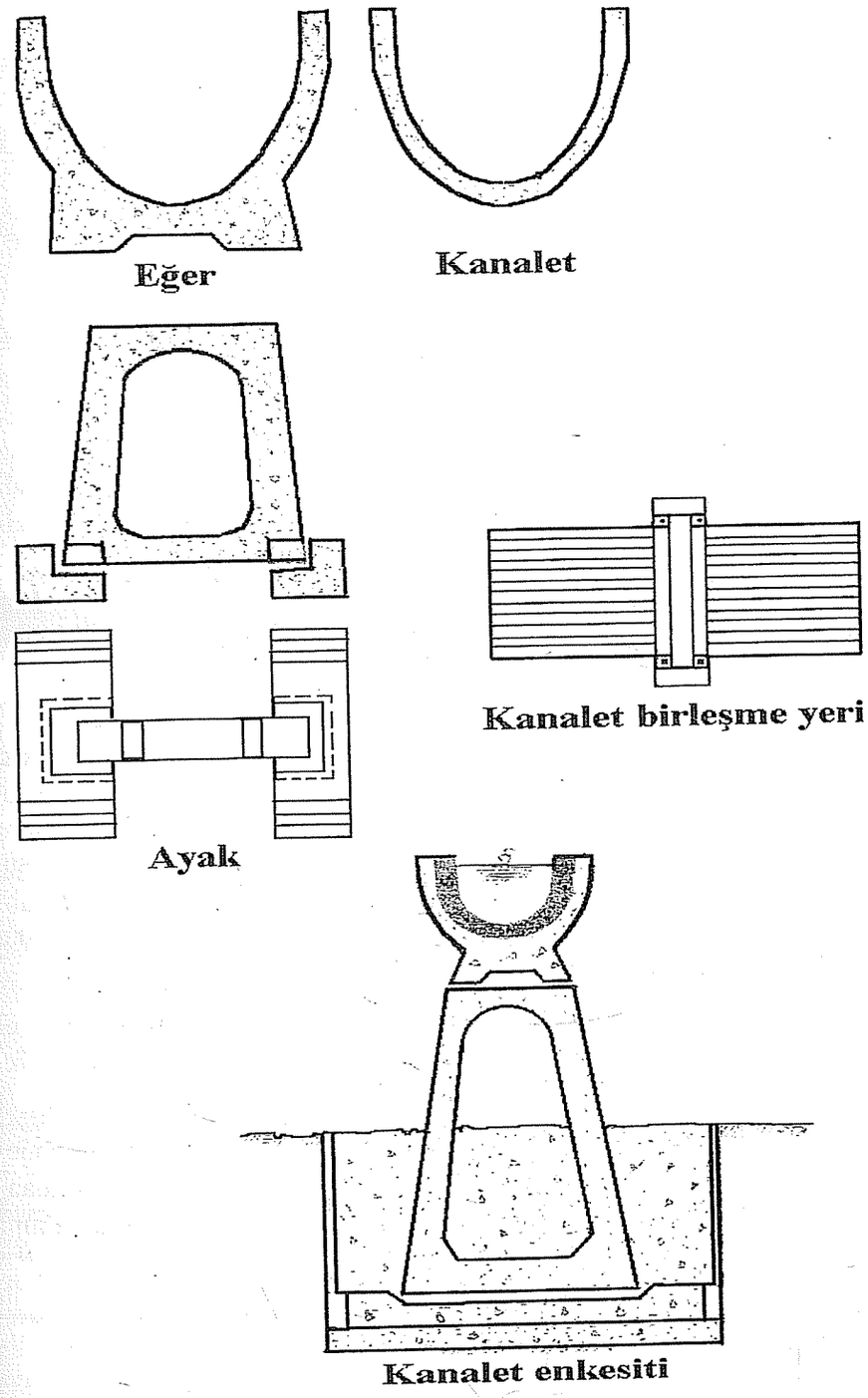
2) Kanaletli Sulama Şebekesi

Kanalet olarak tanımlanan sulama kanallarının prefabrike olarak imal edilmesi ve istenilen yükseklikte ayaklar üzerine inşa edilmesi ile kanaletli sulama sistemi meydana gelir. Kanaletli sulama sisteminde de çevirme ve su alma yapıları, sulama dağıtım şebekesi, drenaj şebekesi, sulama ve drenaj şebekelerindeki sanat yapıları bulunmaktadır.

Kanaletler küçük, orta ve büyük olarak sınıflandırılabilir ve boyları 5-7 m olabilir. Yapı elemanları prefabrik olarak yapılmış ano, isnat eğeri, ayak ve temel bloğundan ibarettir (Şekil 9.34).








Şekil 9.34. Kanalet, kısımları ve yerleştirilmesi

# BÖLÜM 10
# SU KAYNAKLARI PLANLANMASINDA YASAL KISITLAR VE ÇEVRE

Su kaynaklarının planlanması sırasında bir çok kurum ve kuruluşa ilişkin olarak çıkartılmış yasalar ile doğrudan çevre ile ilgili olarak çıkartılmış yasalar gündeme gelir. Bu yasalar göz ardı edilerek planlama yapılamaz. Burada kullanılan kısıt ifadesi engel anlamında çok göz ardı edilmemesi anlamına gelmektedir. Su kaynaklarının planlanması ile doğrudan veya dolaylı olarak bilinmesi gerekli derlenmiş bir kısım yasalar izleyen kısımda konu edilecektir.

## 10.1. Yasal Kısıtlar

***Osmanlı dönemi çevre***: Osmanlı döneminde kapsamlı bir çevre politikasının olmadığı bilinmektedir. Buna rağmen 18. yüzyıldaki planlama ve imar çalışmalarını çevre politikası olarak değerlendirilebilmektedir. Bu planlama ve imar çalışmaları da belli bölge çevrelere özel olarak uygulandığı vurgulanmaktadır. Osmanlıların ilk imar kanunu 1882'de çıkan "*Ebniye Kanunu*"dur. Bu kanunun da uygulaması sınırlı kalmıştır. Osmanlı döneminin önemli bir kanunlarından 1869 yılında çıkan "*Orman Nizamnamesi*",1900 yılında "*Asr-ı Antika*" eski eseler kanunudur.

Bu arada batıdan teknoloji aktarımıyla, gübre kullanımı ve üretiminin de başlamasıyla çevre kirlenmesi de başlanmıştır. İlk elektrik üretimi 1902'de Tarsus'ta kurulan bir santral ile başlamıştır.

***Cumhuriyet döneminde*** çevre: Cumhuriyetin ilk dönemlerinde çevre konusu ön plana çıkamamıştır. İlk dönemlerde Osmanlıdan kalan kanunların bazı maddeleri değiştirilmiş, 1930'larda Ankara'nın imar planı uygulanmıştır.

Bu yıllarda çıkan planlama ve çevreyi ilgilendiren bazı kanunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1)Belediye Kanunu





Bu kanun sağlık ve düzenlemeyi esas almakta ve ucuz konut yaparak, kiraya vererek çevre sorunlarını önlemeye yönelik uygulamaları getirdiği görülmektedir. Kanunun tam uygulandığı söylenememektedir.

2) Umumi Hıfzısıhha Kanunu (1593 sayılı)

Çevre konusunda önemli hüküm ihtiva eden bir kanun olarak bilinmektedir. Bu kanun genel sağlığın dışında maden suları-kaplıcalar, şehir suların durumlarını düzenlemiştir. Bazı değişikliklerle bu kanun hale yürürlüktedir.

3) Belediye Yapı ve Yollar Kanunu (yıl 1933 ve 2290 sayılı)

4) İmar Kanunu (yılı 1957, 6785 sayılı)

Bu kanun 2290 sayılı kanunu yürürlükten kaldırmıştır.

5) İmar Kanunu (yıl 1984, 3194 sayılı)

Bu kanun 6785 sayılı Kanunun yürürlükten kaldırmıştır.

Bu sayılan üç kanun kentlerin planlamasını hedeflemektedir. Su kaynaklarının planlanmasında kentlerin gelişim durumları, nüfus projeksiyonlarının ve suya olan ihtiyaçlarının bilinmesi zorunludur.

6) Orman Kanunu-Ormanların devletleştirilmesi ( yıl 1937)

7) Orman Kanunu-Milli parkların kurulması (yıl 1956)

Bu kanunla bazı bölgelerde milli parklar kurulmuştur. Milli parklar doğal hayatı korumada ve dolayısıyla su toplama havzasını korumada önemli fonksiyonları vardır. Orman alanında yapılacak bir çalışma bu yasalarla karşılaşacaktır.

8) Yeraltı Suları Hakkında Kanun (1960)

Bu kanunla yeraltı suları devletin tasarrufuna verilmiştir.

1960 yılına kadar ki dönemde gerek sanayi ve gerekse nüfus hareketi bakımından önemli bir hareketlilik olmamıştır. Çevre sorunu dikkat çekmemiştir.

***Planlı dönemde çevre ve yasal düzenlemeler***: Bu dönem 1961 Anayasası ile başlar. Anayasada insan sağlığı ile doğal kaynaklar ve ormanlar ile ilgili önemli maddeler bulunmaktadır. Çevre konferansları bu dönemde yoğunlaşmaya başlar, çevre konusu ön plana bu devrede çıkar.

Beşinci beş yıllık planında, kaynakların gelecek nesillerin de yararlanabileceği en iyi şekilde kullanılması, muhafazası ve geliştirilmesi gibi önemli vurgulama yapılmıştır. Altıncı beş yıllık plan çevre sorunlarına en geniş ve ayrıntılı yer ve önem veren özelliğe sahiptir. Ayrıca ekonomik politikalarda çevre boyutunun dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir.

Planlı dönemde yasalar:

1) Gecekondu Kanunu (775 sayılı)

2) Su ürünleri Kanunu (yıl 1971)

Bu kanun su ürünlerinin korunması, üretimi ve kontrolüne ilişkin hususları düzenlemektedir. usulsüz avlanmalar, sulara zehirli maddelerin dökülmesi gibi önemli hususları içerir.

3) Eski Eserler Kanunu (yıl 1973, 1710 sayılı)

Yeraltında, yerüstünde ve su altındaki tüm taşınır, taşınmaz eski eseler devletin malıdır. Zengin kültüre sahip olan Anadolu'da, özellikle su kaynaklarının planlanmasında çok dikkat edilmesi gereken bir husustur. Birçok eser su altında kalma durumunda olabilir veya kazı alanında kalabilir.

Planlı dönemde çevreyi dolaylı olarak ilgilendiren yasa sayısı oldukça artmış, çevre düşüncesi gelişmiştir. Ancak örgütlenmenin yeterli olduğu söylenemez.

***1980 sonrası çevre ve yasalar:*** Ülkelerin çevre sorunları hususunda uyanmaları 1965 yıllarına gider. 1970 başlarında ABD'lerinde çevre için telaşlanıldığı yıllardır. 1980 yılları ise Türkiye'de kirliliğin kendini hissettirdiği, çevre politikalarında çok büyük dönüşümün birden bire ve çok hızlı yaşandığı dönemdir. Bu dönemde yasalar.

1) 1982 Anayasası

1982 Anayasası "Herkes sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir." der. Bir çok maddeleri doğrudan ve dolaylı olarak çevre konusu ile ilgilidir.

2)Çevre Kanunu (2972 sayılı)

Çevre Kanunu amacı " bütün vatandaşların ortak varlığı olan çevrenin korunması, iyileştirilmesi, kırsal ve kentsel alanda arazinin ve doğal kaynakların en iyi şekilde kullanılması ve korunması, su, toprak ve hava kirlenmesinin önlenmesi, ülkenin bitki ve hayvan





varlığı ile doğal ve tarihsel zenginliklerinin korunarak, bugünkü ve gelecek kuşakların sağlık, uygarlık ve yaşam düzeyinin geliştirilmesi ve güvence altına alınması için yapılacak düzenlemeleri ve alınacak ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu olarak belirli hukuki ve teknik esaslara göre düzenlemek" olarak belirtilmektedir.

Su kaynaklarının planlanmasında ve korunmasında kanun çok önemli önlemler getirmiştir. Kalkınma çabalarında olumsuz etkilenmelere dikkat edilmesinin, kirlenmenin önlenmesinin, yapılan harcamaların kirleten tarafından karşılanmasının esası getirilmiştir.

Yasa gereği olarak birçok yönetmelikler çıkartılmıştır.

Çevre Kirliliğini Önleme Fonu Yönetmeliği (1985)

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (1986)

Gürültü Kontrol Yönetmeliği (1980)

Gemi ve Deniz Araçlarına Verilecek Cezalarda Suçun Tespiti ve Cezanın Kesilmesi ile Kullanılacak Makbuzlara Dair Yönetmelik (1987)

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (1988)

Katı Atıkları Kontrol Yönetmeliği (1991)

Bu yasa ve yönetmeliklerin her zaman güncelleştirilmesi, alınacak tedbirlerin bunlara uydurulması gerekmektedir. Politikaya ve durumlara göre uygulamalarda taviz verilmemesi, su kaynaklarının planlanmasında çevre yönetmelikleri ile çatışmaması çelişkiye düşülmemesi gerekir.

3) Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu (2863)

Bu kanun 1710 sayılı kanunu değiştirmiş, bazı yeni düzenlemeler getirmiştir.

4) Boğaziçi Kanunu (2960 sayılı)

5) İmar Kanunu (yıl 1985, 3194 sayılı)

Bu kanun 6785 sayılı kanunu değiştirmiş ve yerel demokrasiyi getirirken gecekondu affını ile de ayrı bir sorun yaratmıştır.

6) Milli parklar Kanunu (yıl 1983, 2873 sayılı)

Kanuna göre, kanun kapsamına giren yerlerde tabi ve doğal ekolojik denge bozulamaz, yaban hayatı tahrip edilemez. Kanun

gerekli hallerde istimlak yapılabileceğini, tesis için izin verilebileceğini de işaret etmektedir.

Baraj yapımında su altında kalabilecek milli parklar olabilecektir. Burada yasa ile belki karşı karşıya gelinebilir.

7) Kıyı Kanunu (yıl 1990, 3621 sayılı)

Bu kanuna göre "kıyılar devletin hüküm ve tasarrufu altındadır. Kıyılar herkesin eşit ve serbest olarak yararlanmasına açıktır".

Uygulamada, kıyı kanunu ile diğer bazı kanunların bazı hususlarda çatıştığı vurgulanmaktadır.

8) Özel Çevre Koruma Bölgelerinin Yönetimi

2872 sayılı Çevre Kanunu 9.maddesine göre Bakanlar Kurulu 1988 yılında ilk olarak Köyceğiz, Fethiye, Göcek ve Gökova sınırlarını Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak ilan etmiştir. Daha sonra bunların sayıları artırılmıştır.

Bu tür kararların da diğer bazı yasalarla çelişir halde olduğu vurgulanmaktadır.

Yasalar gelişmelere ve teknolojiye bağlı olarak her zaman eskimesi, değişikliğe uğraması doğaldır. Önemli olanı bilimsel, teknolojik ve eğitsel çalışmalara dayanarak değişikliklerin yapılmasıdır. Araştırmaların sürekli olması gerekir. Yasaların birbiri ile çatışmasının en aza indirilmesi ancak araştırma ile mümkündür. Kusursuz sorumluluk ilkesinin kesin bir biçimde uygulanması gerekmektedir.

## 10.2. Planlamada Çevresel Düşünceler

1960, 1970, 1980 gibi onar yıllık devrelerde çevre hakkında artan ilgiye şahit olunmuştur. Kontrol edilemeyen aşırı nüfus artışı ve evlerden atılan atıkların artması hava, su ve arazi kirlenmelerine neden olmakta ve dolayısıyla bitkilere, hayvanlara ve hatta insanlara zarar vermektedir. Nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler, şehirlerin büyümesi, yollar, barajlar ve diğer mühendislik çalışmaları doğal dengeyi bozmakta ve doğa yapıtını sert bir şekilde değiştirmektedir. Bu değişiklikler genellikle söz konu alanın ekolojisinde de önemli değişikliklere neden olmaktadır. Alanda bitki ve hayvan varlıklarını





yok olmakta, bölgeye daha az arzu edilen türlerin gelmesine neden olmaktadır ( Anonim, 1985).

Çevresel ilginin büyümesi, bütün yapıların durmasını isteyen uzak bir özlem ile planlamacıları, mühendisleri karşı karşıya getirmekte, çarpık bir durum sergilemektedir. Diğer taraftan bir özlemde binaların, tesislerin mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde bitmesini isteyen bir baskı da söz konusudur. Yeni bir anlayış planlanma işleminde, yaşayan kültürel değerlerin yani sosyal değerlerin teknik standartlar ve ekonomik değerlendirmeler gibi karar olarak katılmasıdır.

Gelecek için su kaynakları planlayıcıları çevresel problemlere daha fazla önem vermek zorundadır. Gelecek planlayıcıları yenilikçi, geniş düşünen ve kritik ihtiyaç değerlendirmeci olmak durumundadır. Planlayıcılar sadece ekonomik fayda gösterimine güvenmemeli, aynı zamanda kendi planlarının geliştirilmesinde estetik ve ekolojik kalite değerlendirmelerini de dikkate almalıdır. Yenilik daha az su ihtiyacı tasarlamak, taşkın kontrolünde yapısal olmayan çözümleri teşvik etmek, atıkları işlemede daha iyi önlemleri bulmak ve kirli suları daha elverişli hale sokmak için gereklidir (Frederiksen, 1992).

Geniş anlamda su kirlenmesi, hava kirlenmesi ve katı atık arasındaki ilişkilerin çok iyi bilinmesi gerekir. Getirilen suyun nüfus dağılımındaki paralelliğin yani gerçek ihtiyacın değerlendirilmesinin ; yerel ekolojik ilişkilerde su projesinin öneminin ve su kirlenmesinde projelerin etkilerinin bilinmesinin gereği vardır. Bunların en önemlisi proje için gerçek ihtiyacın değerlendirmesidir.

Kamu sağlığı ve güvenliğini sağlamak için ihtiyaç duyulan su projeleri ve kabul edilebilir kamu çalışmaları devam edecektir. Bir kısım projeler seçenekli olarak yer değişebilir. Hidroelektrik projeler, kıt akaryakıt yerine alabilir. Hidroelektrik, sulama, taşkın, mesire, gibi amaçlar birlikte düşünülmek durumundadır. Daha iyi arıtma daha etkin olarak hizmet ettiği zaman, depolama kirliliği değişir.

Bir yerde proje gerekli görülürse, planlayıcı nehirde ve yakın çevresinde ekolojik etkileri dikkatli olarak değerlendirmek ve en az zarar verecek şekilde menfi etkilere sahip olacak plan geliştirmek durumundadır.

Su kaynakları projelenirken projenin gerçekleşmesi ve uygulaması sonucunca, su kaynakları projelerinin bir kısım çevresel

sonuçlarının ne olabileceğinin de bilinmesi yerinde olur. Buna ilişkin bir kısım durumlar aşağıda sıralanan sonuçlara benzeyebilir.

1) Baraj inşaatı ile rezervuarda sediment tutulması, kanal aşağısının veya deniz kıyısı plajların sediment beslenmesi önlenir, aşınmalar meydana gelebilir.

2) Rezervuar dolması ile özel tarihi, jeolojik, arkeolojik ve tiyatro sahneleri gibi yapıların yok olabilir.

3) Göç eden balıkların yumurta yataklarının taşkına uğraması üretimi engeller veya su yatağının kazılması, kaplanması ile yumurta çakıl yatakları tahrip olabilir.

4) Rezervuar yapımıyla su sıcaklığı değişir, düşey olarak tuz ve oksijen dağılımı değişir bu da yeni canlı türlerinin ortaya çıkmasına neden olabilir.

5) Rezervuar ile arazi hayvanlarının normal geçiş yolları, balıkların yumurtlama amacıyla nehir yukarı hareketleri engellenir.

6) Yüksek gövdeli barajların selaşım savakları üzerinden veya türbün ve pompalarından geçen balıklar tahrip olabilir.

7) Bataklıkların ve benzer su birikintilerinin kurutulması su yataklarının kazılarak doğasının değiştirilmesi, buralarda canlı yaşamını yavaşlatır veya yok eder.

8) Sulama projesi sonucunda sulamadan dönen drenaj sularının su kalitesinde büyük değişiklik olması, diğer bir ifade ile aşırı besin maddesi taşıması ve tuz yoğunluğunun artması, su yosunlarının artmasına, tuzluluğun artması ile de su canlıları türlerinin değişmesine neden olabilir.

9) İnsanın faaliyeti sonucu ortaya çıkan erozyon veya kazma-serme işlemi sonucu olarak suyun bulanıklığının artması, bunun sürekliliğe dönüşmesi ile su canlı türlerinin değişebilir.

10) Toksik maddelerin (böcek ilaçları, toksik metaller..) nehirlere akıtılması, yiyecek zincirinde yoğunlaşması duyarlı hayvanlara hemen etki edebilir, nehir kendini yenileyemez hale geldiğinde sudaki tüm canlıları yok olabilir.

11) Doğanın tahribi sonucu nehirdeki su rejimi değişebilir, beklenmeyen taşkınlar olabilir ve bunun sonucu olarak ta kıyı banklarındaki bitki örtüsü ve doğal yapı zarar görebilir.





Bunlara daha bir çok maddeler ilave edilebilir ve henüz tarif edilemeyen çözümü zor etkiler de vardır. Ortaya çıkan geçici, uzun süreli ve geri çevrilemez zararlar arasında açık ayırım yapılması gerekir. Biyolojistler, mühendisler, hidrolojistler, sosyal bilimciler ve diğerlerinden oluşan çoklu grupların çevresel etki çalışmalarına katılmaları, seçenek olayların çevresel etkilerinin tahmininde görevlerini yerine getirmeleri zorunludur.

12) Çevrenin Korunmasına Yönelik Önlemler

Çevrenin korunmasına yönelik önlemler bilimsel, teknik, ekonomik, sosyal ve yasal olabilir. Bilimsel ve teknolojik çalışmalar gelişirken bir yandan da yasal tedbirler alınmıştır. Ülkemizde yasal gelişmeler daha önceki kısımda özet olarak verilmeye çalışıldı. Bu hususta daha fazla ayrıntılı bilgiler yayınlarda bulunabilir (Görmez, 1991; Özdek,1993; Kaboğlu,1992;Uslu,1996).

1982 Anayasasının doğrultusunda 2872 sayılı Çevre Kanununun 10 maddesine göre "**Çevresel Etki Değerlendirme**" kavramı getirilmiştir. Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin amaç bölümü olan 1.maddesi " *Bu yönetmeliğin amacı; gerçekleşmeyi planladıkları faaliyetleri sonucu çevre sorunlarına yol açabilecek kamu veya özel sektöre ait kurum, kuruluş ve işletmelerin yatırım kararlarının çevre üzerinde yapabilecekleri tüm etkilerin önlenmesi yada çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi ve alternatiflerin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilecek Çevresel Etki Değerlendirmesi sürecinde uyulacak idari ve teknik esasların düzenlenmesidir".* şeklindedir. Kapsam bölümünde ise nasıl hareket edileceği açıklanmaktadır.

Çevre Etki değerlendirme (ÇED) kesin projelendirme ve planlama kararlarının oluşturulduğu son aşama olmayıp karar mercilerinin, kararlarını sağlıklı bir şekilde verebilmeleri için seçenek üreten ve bu seçeneklerin olumlu ve olumsuz yönlerini sergileyen bir yaklaşım olduğu açık olarak vurgulanmaktadır. Çevresel etki değerlendirmesi, başlangıçta ekonomik açıdan tutarlı görünmelerine karşın, uzun vadede ekolojik açıdan tutarsız olabilecek ve sonuçta insan ve topluma faydadan çok zarar verebilecek problemlerin en erken bir zamanda teşhisini ve böylece gelecekte doğabilecek çok büyük boyutlardaki zararların zamanında görülerek gerekli önlemlerin alınmasını sağlayabilir.

Bir ÇED çalışması aşağıdaki adımlardan oluşur:

1) Hazırlık çalışmaları ve problemin tanımı,

2) Eleme,

3) Kapsam ve etkilerin belirlenmesi,

4) Çevrenin mevcut durumunun belirlenmesi,

5) Çevresel etkilerin niceliksel kestirimi ve değerlendirilmesi,

6) Gerekli çevre koruma önlemlerinin belirlenmesi,

7) Proje alternatiflerinin değerlendirilmesi ve önerilerin hazırlanması,

8) Çevresel etki değerlendirme raporunun hazırlanması,

9)Karar verme süreci,

10)Proje sonrası izleme ve değerlendirme.

Bu aşamaların çeşitli ortamlarda çevresel etkilerin belirlenmesi ve değerlendirmesinde kullanılması gerekir.

Çevresel etkilerin değerlendirilmesi yöntemleri; a)Örtmeler yöntemi, b) Kontrol listesi yöntemleri, c) Etkileşim matrisleri, d)Ağ sistem diyagramları, e)Kestirim yöntemleri şeklinde sıralanmaktadır.

Burada su kaynaklarını doğrudan ilgilendirdiği için UNEP tarafından geliştirilen, basitleştirilmiş kontrol listesi yönteminden *ayrıntılı kontrol listesine* bir örnek olması bakımın Çizelge 10.1'in verilmesi uygun bulunmuştur.

Çevre etki değerlendirmelerin hazırlanmasında bütün kuruluşların görüşlerinin alınması gerekir.

Çevresel Etki Değerlendirmesi uygulanacak hassas yöreler

1) "Milli Parklar", "Tabiat Parkları","Tabiat Anıtları" ve "Tabiat koruma Alanları" (2873 sayılı Milli parkalar Kanunu)

2) Yaban hayatı türlerinin yaşama ortamı alanlar (3167 sayılı Kara Avcılığı Kanunu)

3) "Kültür Varlıkları", "Tabiat Varlıkları","Sit", ve "Koruma Alanı" (2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruna Kanunu)

4) "Su Ürünleri İstihsal Sahalarının" çevresinde ki kıyılar (1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu)

5) "Hassas Kirlenme Bölgeleri" (2872 sayılı Çevre Kanunu-Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği)

6) "Özel Çevre Koruma Bölgeleri" (2872 sayılı Çevre Kanunu)





7) 2960 sayılı Boğaziçi Kanununa göre koruma altına alınan alanlar

8) 6831 sayılı Orman Kanununa göre orman alanı sayılan yerler.

Çizelge 10.1. Bir Ayrıntılı Kontrol Listesi*

| SİSTEM ÖĞESİ | OLASI ETKİLER | ÇED İÇİN GEREKLİ BİLGİLER | BİLGİ KAYNAĞI |
|---|---|---|---|
| Hidrolojik denge | Planlı faaliyetin hidrolojik dengeye yapacağı etiler | Projenin kapsamı; bölgedeki mevcut su kaynakları; yeraltı sularının, akarsuların, göllerin ve diğer su kaynaklarının yöredeki yerleşimler, flora ve fauna açısından önemi | Yatırımcı kişi veya kuruluş Hidrolog/ Hidrojeolog |
| Yeraltı suyu | Projenin yeraltı suyu rejimini etkileyip etkilemeyeceği.Yeraltı suyu kalitesi, miktarı, derinliği, su tablası, eğimler ve akım yönlerinin değişip değişmeyeceği, su tablasındaki değişimlerin toprağın yapısını etkileyip etkilemeyeceği. Hafriyatlar için su tahliyesinin gerekli olup olmayacağı. | Projenin kapsamı; su temin edilen kaynakları; atık uzaklaştırma uygulamaları; önerilen yüzey kaplamaları. Zemin koşulları; geçirgenlik, süzülme, su tablası, yeraltısuyu besleme bölgesinin konumu, akarsular ve diğer su kütleleri ile olabilecek muhtemel su alışverişleri. | Jeolojik haritalar, Jeoteknik araştırma ve sondajlar. Zemin mekaniği ve yeraltısuyu uzmanları. Yatırımcı kişi veya kuruluş. |
| Doğal ve yapay mecralar | Projenin yöredeki doğal ve yapay drenaj sistemlerini etkileyip etkilemeyeceği; mecralarda yapılması gerekli olabilecek değişiklikler. | Mevcut doğal ve yapay mecraların konum ve özellikleri, hidrolik kapasiteleri, yapım şekilleri; yörenin toprak ve zemin özellikleri | Yerinde incelemeler. Jeolojik haritalar |
| Sedimentler | Planlanan faaliyet sonucunda bölgedeki yüzeysel sularda rüsubat artışları olup olmayacağı; su kütlelerinin sedimentlerden etkilenmesi. | Proje yeri; inşaatın konum ve kapsamı, toprağın erozyon potansiyeli; yağmur sularının akış yönleri, topoğrafik yapı; erozyon ve sediment kontrol planları. | Yatırımcı kişi veya kuruluş. Toprak uzmanı. Yerinde incelemeler. Tomografik haritalar |
| Taşkınlar | Taşkınlar nedeniyle insan yaşamı ve maddi açıdan karşılaşılabilecek riskler. | Projenin kapsamı; 100 yıl tekerrürlü taşkınların etki alanları. | Yatırımcı Topğrafik çalışmalar |
| Su kalitesi | Temin edilecek içme ve kullanma sularının standartlara uyup uymadığı (WHO,TS266,v.b) alıcı ortamların ilgili standartları sağlayıp sağlamayacakları; arıtma gereksinimleri; yeraltı suyunun sızma, kirli ve tuzlu sularla kirlenme riskleri | Mevcut suların amaçlanan kullanım şekillerine göre standartlar kıyaslaması; mevcut ve gelecekte gerekli olacak atıksu arıtma tesisleri ve kanalizasyon sistemleri; su kaynaklarını koruma planları | Çevre koruma örgütü. Yatırımcı kişi veya kuruluş Hidrolog/ Hidrjeolog Çevre mühendisi |
| Yüzeysel sular | Faaliyetin mevcut yüzeysel suları doldurma, tarama, su çekimi, deşarj vb.. uygulamalarla olumsuz yönde etkileyip etkilemeyeceği. Estetik ve rekreasyonel değerlerle olabilecek etkiler. Düşük akım karakteristiklerinde olası değişimler | Projenin konusunu ve etki alanı. Yapım ve temizleme çalışmaları. Su kaynağı ve atık giderme alanları. Barajlar ve bağlamalar. Debi karakteristikleri ve akışların istatistiği. Ekolojik özellikler. Rekreasyon. | Yatırımcı kişi veya kuruluş inşaat mühendisi Hidrolog Biyolog Yerinde incelemeler |

*Uslu (1996)

## 10.3. Çevre Sorunlarında Dışsallık

Günümüzde kaliteli çevre az bulunur ve arzı talebinden düşük olan ekonomik bir hale gelmiş bulunmaktadır. Özümleme kapasitesi aşılmış çevre kirlenmiş sayılır ve diğer faydalı kullanımlar açısından değerlendirilemez. Kirlenmiş çevrenin temiz hale getirilmesi veya kirlenmeden önce korunması toplum refahını artırır. Ancak, kirlenme kontrolünün maliyeti ve kirlenmenin önlenmesi için sarf edilen maddi kaynak toplum refahını olumsuz yönde etkiler.

Çevre kalitesinin çok iyi bilinen sorunlarından birçoğu, dışsal etki problemleri olup, bir kısım değişmeler için incelenmesi gerekir. Kirletenler ortaya çıkan maliyetleri kabullenmezler. Kereste için orman ağacı kesilirken doğuracağı zararlar dikkate almazlar. Bütün hiçbir birey, belki çok kişi hariç, hava temizlemede ödemede bulunmaz, ancak faydasından yararlanır.

Bütün dışsal etkiler iki özelliğe sahiptir.

1) Bir birine bağlılık

2) Bedel yokluğu

Üretici ve tüketici arz ve talep mekanizması çerçevesinde bir birlerini kontrol ederler. Özet olarak dışsallık dış maliyetler ve dış faydalar olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar. İkisi de çevre kalitesi kontrolü için önemlidir.

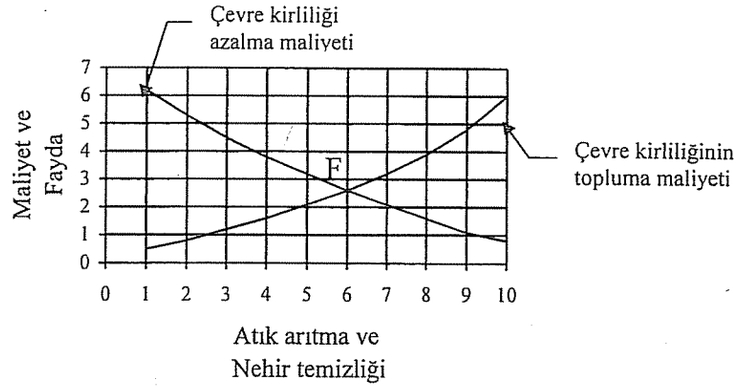
### 10.3.1. Dışsal Maliyetler

Ekonomik yönden bir dışsallık olan çevre kirlenmesinde çevreyi kirletenler bunun maliyetini, diğer ekonomik birimlere yüklerler. Çevreyi kirletmemeye karar verenin bir maliyeti göze alması gerekir.

Şekil 10.1'de bir nehrin temiz tutulması fayda ve maliyeti temsili olarak verilmektedir. Şeklin yatay ekseni atık arıtma ve temizliğinin artması ve düşey eksende de maliyet ve fayda görülmektedir.








Şekil 10.1 Bir nehrin temiz tutulmamasının fayda ve maliyeti (temsili)

Görüldüğü gibi "çevre kirliliğinin topluma maliyeti" artıkça, "çevre kirliliğinin azalma maliyeti" azalmaktadır. Atık arıtma miktarı "hiçbir" ve "bütün"arasında bir yerde optimal noktada olması gerekir. Optimum çok ender "sıfır kirlenme" noktasında olur. Firma zorlanarak maliyet firmaya ödettiriliyor, bundan halk yararlanıyor, ancak maliyeti firma üretim fiyatına yansıtıyor.

Bu şekilde dışsal maliyet, "çevre kirliliğini azaltma maliyeti" ve "çevre kirliliğinin topluma maliyeti şeklinde de yorumlanmaktadır.

### 10.3.2. Dışsal Faydalar

Dışsal faydalar, dışsal maliyetler gibi, tasarlanmamış ekonomik sonuçlardır. Hidroelektrik güç üretimi klasik bir örnektir. Bu tesis ile taşkın düzenleniyor, mesire yerleri ve balıkçılık uğraşısı oluşuyor. Kurak mevsimlerde sulama imkanı doğuyor.

Rekreasyonların düzenlemesinde üç görüş hakimdir.

1) İnsanların temel isteklerine hizmet verir.

2) Sosyal olmayan baskılar için bir çıkış yolu olur.

3) Kişilerde karakter oluşur.

Dışa yönelik rekreasyonlar, çok fazla uğraşı alanı geliştirir. Su kaynaklarının planlanmasında önemle üzerinde durulması gerekir.

### 10.3.3. Çevre Kontrolünde Vergilendirme, Kirleten Öder Prensibi

Çevrenin çeşitli amaçlar için kullanılabilmesi, çevrenin kalitesine bağlıdır. Kirlenmenin önlenmesi ve kontrolü masraf gerektirir. Kirleten kuruluş bu masrafları fiyatlarına yansıtabilir. Önemli olan kirleten mutlaka ödemeyi yapmasıdır.

### 10.3.4. Maliyetin Tahsisi

Önceleri "serbest mal" olarak kabul edilen çevre faktörlerinin sınırlı olduğu anlaşıldıktan sonra, ekonomik mekanizmaya entegre edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Böylece doğal çevre ve doğal kaynakların maliyeti tahsisi ile daha verimli bir şekilde kullanılması yoluna gidilmiştir. Bunun için dış ekonomik etkilerin iç ekonomik etkilere dönüştürülmesi aşağıdaki yöntemlerden biri ile yapılabilir.

1) Kirleticilerle, kirlenmeden zarar görenler aralarında pazarlık yaparak en iyi maliyet tahsisi gerçekleştirilebilir.

2) Merkezi otoriteler kirletenlerden yaptıkları hasar kadar bir vergi toplar ve bu vergiyi zarar görenlere dağıtabilir.

3) Genel olarak, dış ekonomik etkilerin iç etkiler haline dönüştürülmesi hangi yöntemle yapılırsa yapılsın (vergi, ödeme, yardım) özel ve sosyal maliyet arasındaki boşluk giderildiğinden optimum noktaya ulaşır.

Bu olay nehri kirleten bir firma örneği ile açıklanabilir ancak burada buna yer verilmeyecektir.

Şunu belirtmek gerekir ki, kirliliği kontrol etmenin maliyeti, kirliliğin devam etmesinin maliyetinden küçüktür.

## 10.4. Su Kaynakları Kirlenmesi

İnsanların müdahalesi olmadan canlı ve cansız varlıkların bir uyum içinde karşılıklı etkileşimlerde bulundukları durumlar doğal dengeyi tanımlar. Ancak ihtiyaçların farklılaşması, gelişen teknolojinin bunu teşvik etmesi, aşırı nüfus ve bunlara ilave olarak bir





kısım ülkelerin tedbir alamamaları su kaynaklarının çok hızlı bir şekilde kirlenmesine neden olmaktadır. Su kaynakları planlayıcıları bu günü planladıkları gibi geleceği de planlamak durumundadır. Bu planlamanın en önemli kısmını içermektedir. Bir yandan kaynakların korunması amacıyla araştırmalar, gözlemler yapılırken öte yandan da kaynakların tasarruflu kullanılmasını bilincinin geliştirilmesi, seçenekli kaynakların ortaya konması gerekir.

### 10.4.1. Su Kaynaklarının Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Ölçmeler

Akarsular, aktıkları doğal çevrenin özelliğini yansıtır. Sular sağlıklı içilebilir olabilir, sıcak sular olabilir, maden suları olabilir, sert sular olabilir vb. olabilir. Bunlar sonradan etkilenerek oluşmuş sular değildir. İnsan faaliyeti tarafından kirlenen veya yok edilen kaynaklar önem arz etmektedir. Su kaynaklarının kirliliği; "su kaynaklarının kullanılmasını bozacak veya zarar verme derecesinde kalitesini düşürecek biçimde uyun içinde organik, inorganik, radyoaktif ve biyolojik herhangi bir maddenin bulunması olarak tanımlanabilmektedir". Kirlilik tanımı farklı şekillerde de yapılabilir.

Kirliliğin düzeyini belirleyebilmek için standartların oluşturulması gerekir. Standartların oluşumunda araştırma, gözlem, kültürel değerler, kamu oyu ve risk etkili olur. Buna göre su kalitesinin belirlenmesine oluşturulmuş bazı standartlar şöyle sıralanabilir.

1)Alıcı ortam su kalitesi standartları

2) Atık su standartları (Türkiye'de uygulanmamaktadır)

3) İçme suyu standartları

4) Plaj ve su sporu standartları

Su kalitesini belirleyici özelliklerin sürekli ölçülmesi, yayınlanması ve değerlendirilmesi gerekir.

Öte yandan deniz göl ve diğer doğal suların özelliklerin belirlenmesi için birçok değişkenin tayin edilmesi gerekir. Bunlar:

1) Gözlenecek fiziksel değişiklikler

2) Gözlenecek kimyasal değişiklikler

3) Ortamın oksijen dengesi

4) Organizmalar

Gözlenecek bu özellikler belirlenmiş olan su kirleticilerinin sınır değerleri ile sürekli kontrol edilmelidir.

### 10.4.2. Nedenlerine Göre Su Kirliliği

Su kirliliği, tarımsal çalışmaların ve endüstrinin neden olduğu su kirliliği olarak iki ana grupta toplanabilir.

1) Tarımsal çalışmaların neden olduğu su kirliliği

Toprak erozyonundan gelen su kirliliği

Bitki besin maddelerinin yarattığı su kirliliği

Hayvansal artıkların yarattığı su kirliliği

Tarımsal ilaçların yarattığı su kirliliği

2) Endüstrinin neden olduğu su kirliliği

Kimyasal su kirliliği

Fiziksel su kirliliği

Fizyolojik su kirliliği

Biyolojik su kirliliği

Radyo aktif su kirliliği

Petrol ve petrol ürünleri su kirliliği

Yerleşim alanlarından kaynaklanan atıkların neden olduğu su kirliliği.

Bu faaliyetler sonucu su ve topraktaki mineral, organik ve biyolojik faktörlerde olan değişiklikler toprak ve su kirlenmesine neden olur. Yanlış tarım faaliyetleri, tarım dışı arazi kullanımı, ormanların tahribi, hayvancılık, madencilik, yerleşim faaliyetleri çöp depoları ve bütün bunların sonucu olan erozyon su kaynaklarını kirletmektedir.





### 10.5. Sürdürülebilir Kalkınma

Kaynaklar planlanırken geleceği de düşünmek gerekir. "Sürdürebilir kalkınma bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmek olanağından ödün vermeksizin karşılamaktır" şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanım iki kavramı içermektedir. Bunlar ;

1) İhtiyaç kavramı,

2) Sınırlamalar

Birinci kavram, insanların doğal ihtiyaçlarının karşılanmasını, ikincisi ise kaynakların kullanımına teknolojinin ve sosyal örgütlemenin getirdiği sınırlamaları ifade etmektedir. Bireylerin doğaya hakim olma duygusu doğayı tahrip etmekte, geleceği umursamamaktadır. Doğanın sorumsuzca kullanılmasına engel olunması, mülkiyetin tahribat hakkını vermediğinin öğretilmesi gerekmektedir.

Planlamada ülkeler ister piyasaya yönelik, ister merkezi sisteme yönelik olsunlar sürdürülebilirliği esas almaları gerekmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma kavramından çıkarılabilecek çevre ve kalkınma politikalarının kritik amaçlarından bazıları şöyle sıralanmaktadır.

1) Büyümeyi canlandırmak

2) Büyümenin kalitesini değiştirmek

3) İş bulmak, yiyecek, enerji, su ve sağlık konularındaki temel ihtiyaçları karşılamak

4) Sürdürülebilir bir nüfus düzeyini garantiye almak

5) Kaynak tabanını korumak ve zenginleştirmek

6) Teknolojiyi yeniden yönlendirmek ve riski yönetmek

7) Karar vermede çevre ile ekonomiyi birleştirmek.

Son zamanlarda gelişmiş ülkelerdeki eğilim daha az madde-yoğun ve daha az enerji-yoğun faaliyetleri seçmek, madde ve enerjiyi kullanmada tasarrufu özendirmektir.

Kirlenmelerle kaynaklar azaldıkça en iyimser olarak aynı kaldıkça, nüfus arttıkça sorun, temel besinlerin üretimi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Planlamacılar daha çok, destekleyici toplum özendiricilerine ve insanların kendi yardım çabalarına ağırlık vererek düşük maliyetli teknolojilerin daha etkin biçimde kullanılması yoluna gidilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar.

Sürdürülebilir kalkınma esasına göre planlama ekonomik ve ekolojik düşünceyi temel ilke sayar. Sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesi tarımsal üretim gibi, *yenilenebilir enerji sistemleri* gibi, kirlenme kontrolü gibi, yeni teknolojilerin getirilmesi ve yayılması için örgütlenmiş çabalar gerekmektedir. Bu çabaların çoğu uluslararası teknoloji değişimi üzerine kurulması, gelişmiş teçhizat ticareti, teknoloji transferi anlaşmaları, uzmanların sağlanması, araştırma konusunda işbirliği ve benzeri yollarla sağlanmalıdır. Bu çevre açısından sağlam teknolojilerin hazır ve kolay olarak ulaşılabilir olmasını sağlayacaktır.

Doğal kaynaklar dünyanın malı olduğuna göre doğal dengenin bozulmadan veya en az olumsuzluklarda kaynakların kullanılması önem arz etmektedir. Üzerinde durulması ve tartışılması gereken en önemli nokta, kalkınmanın ve insanlığın sahip olduğu kaynakların sürdürülebilir olmasıdır.

Bozulan dengenin düzeltilmesi için sarf edilen çabalar yaşamak için, refahı yakalamak için olmaktadır. Yoksullar yaşamak için çevreyi aşırı biçimde kullanmışlardır. Yoksullaşan çevre de onları daha fazla yoksullaştırmakta, yaşamlarını daha güç ve kuşkulu hale getirmektedir.

**Çevre baskıları;** çevre kirlenmelerinden iler gelmektedir. Çevre kirlenmelerinin nedenleri daha önce açıklanmıştır. Çevre baskı belirtilerinin en önemlileri;

1) Yoksulluk

2) Büyüme; kalıcılık ve ekonomik krizdir.

Yoksulluk, toprağın ve diğer kaynakların eşit olmayan dağılımlarıyla artmaktadır. Yenilik aramayı da, kültür alışkanlıkları, inanç ve şükür gibi duygusallıklar engellemektedir.

Dünyada olduğu gibi Ülkemizde de sera etkisi, ozon tabakasının incelmesi kalıcılık göstermektedir. Aynı zamanda Ülkemizde asit yağmurları, çölleşme, ormanların yok edilmesi, tarım





alanlarının yerleşime açılması, uygun olamayan alanların tarıma açılması gibi olaylar da kalıcılık göstermektedir.

Daha önceleri esas kaygıların, kalkınmanın çevreye etkileri üzerinde toplanırken, şimdi ise çevre kalkınmasının ekonomik kalkınmayı kösteklemesine, hatta geriye çevrilmesinden de aynı derece de kaygı duymaktadır.

OECD'nin yaptığı hesaplara göre çevre maliyetlerinin enflasyonist etkisi azdır. Bu yönde yatırım hem koruma ve hem de yeni iş alanları yaratması açısından önemlidir. Avrupa ülkeleri bütçelerinin önemli bir kısmını çevre çalışmalarına ayırmaktadır. Ülkemizde bir rakam vermek güçtür. Avrupa topluluğunun çevre politikasının esasları 1972 yılında üye hükümet ve devlet başkanları tarafından Paris zirvesinde tespit edilmiştir.

1) Kirlenmenin etkilerinin ortadan kaldırılması yerine, yol açan nedenlerin belirlenmesi, kaynağında yok edilmesi.

2) Çevre politikaları sosyoekonomik planla uyumlu olmalı.

3) Ekolojiyi bozabilecek etkiler gösteren tüm faaliyetlerde koruma-kullanma dengesi çok iyi kurulmalıdır.

4) Tüm planlama süreçlerinde çevre başta ele alınmalıdır.

5) Bilimsel ve teknik standartlar geliştirilmeli ve konudaki araştırma faaliyetleri teşvik edilmelidir.

6) Kirleten öder prensibi uygulanmalı.

7) Sınırlar arası kirlenmelerin önlenmesine çalışılmalı.

8) Topluluk çevre politikaların, gelişmekte olan ülkelerin ekonomik hedefleriyle ters düşmemesi için bu politikaların ülkeler üzerindeki etkileri tüm boyutlarıyla incelenmelidir.

9) Topluluk çevre konusunda aktif bir görev üstlenmelidir.

10) Çevre sorunların çözümü bütüncül bir yaklaşımla ele alınarak önemi sürekli vurgulanmalıdır.

11) Topluluğa üye ülkeler plan ve programlarını, topluluk çevre politikasının ana konularına paralel olarak sürdürmelidir.

12) Topluluk çevre politikasının, ulusal politikalarının koordinasyonu ve uyumu hedef alınarak ulusal gelişmelerle paralellik sağlanarak tesir edilmelidir.

# BÖLÜM 11
# NÜFUS PROJEKSİYONU VE İÇME KULLANMA SUYU TAHMİNİ

Her proje nüfus projeksiyonunu gerekli görür. Örneğin bir yerleşim biriminin taşkından korunması için yapılacak yatırımların büyüklüğü koruncak nüfusa bağlı kalır. Öte yandan su temini ve getirme gibi çalışmaları, okul ihtiyaçları, dinlence alanları yine nüfusun bilinmesini öngörür. Artan her kişi için suyun planlanması gerekir. Genellikle nüfus artışı, göçler ve yaşam düzeyleri hakkında bilgi bulunur, ancak gelecek periyotlar için bunu ancak belli kurallar kullanarak tahmin yapılabilir. Nüfus artışına biyolojik etmenler, sosyolojik etmenler, kültür, inanç gibi bir çok etmen etki eder.

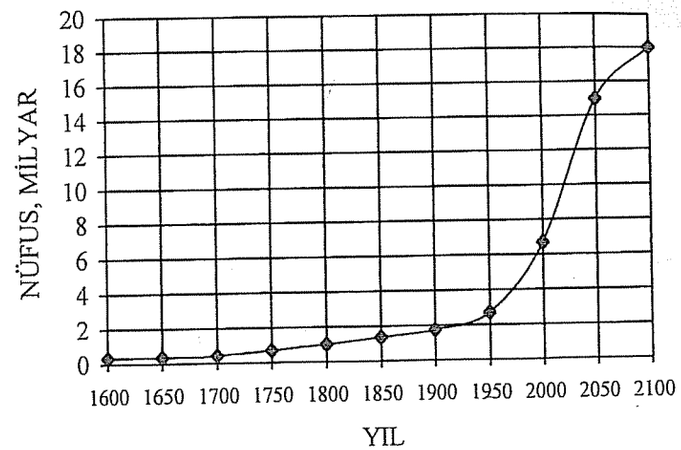
Dünyada nüfus artışında hızlanma 1930 yıllarında başlamıştır. Malthus "nüfus artışı geometrik olarak, gıda maddeleri atışı ise aritmetik olarak artmaktadır" demiştir. Nüfus artış hızı ile bir çok araştırıcı ilgilenmiş, değişik yaklaşımlar ortaya koymuşlardır. Dünya nüfusu aşağıdaki şekilde tahmin edilmektedir.

Çizelge 11.1. Dünya Nüfusu

| Yıllar | Nüfus, Milyar |
|---|---|
| 1942 | 1.25 |
| 1950 | 2.5 |
| 1970 | 3.5 |
| 1980 | 4.5 |
| 1990 | 5.5 |
| 2000 | 6.5 |
| 2019 | 8.0 |
| 2060 | 16.0 |








Şekil 11.1. Dünya nüfusu tahmini

## 11.1. Nüfus Artış Tahmini

Nüfus tahmini kolay bir olay değildir. Mevcut tahmin teknikleri 5, 10, 20, 50 yıl ileriye doğru çok güvenilir sonuçlar da vermemektedir. Doğum oranının nerede tutulması gerektiğine ilişkin bir temel esas yoktur. Gıda, okul, tarım ürünleri ve endüstrinin büyümesinin de dolayısıyla büyüme esası belli değildir.

### 11.1.1. İlk Tahmin Yöntemleri

İlk tahminler yapılmaya başlandığında nüfus istatistikleri hakkında aşağı yukarı bilgi yoktu. Bir kaç yıllık bilgi ile tahmin yapılmaya çalışılmıştır (Burton and Kates, 1960; Tülücü, K., 1993; Tülücü, K., 1994).

**Malthus Yasası**

$$P=Ce^{r.t} \qquad (11.1)$$

Burada;

P=t yıl sonunda nüfus

C= Katsayı
r =Yıllık değişim

**Pritchett Yöntemi**

$$P=A+Bt+Ct^2+Dt^3 \qquad (11.2)$$

Burada;

P= t periyodu sonunda nüfus

A,B,C,D = sabit sayılar

1790-1880 yıllarında bu şekilde üçüncü dereceden bir seri ile tahmin yapılmıştır. 1910 da artışın %3 dolayında olduğu ancak daha sonra hatanın artığı görülmüştür.

**Lojistik Eğri**

$$P = K(1+e^{a+bt})^{-1} \qquad (11.3)$$

Burada;

P= t periyot sonunda nüfus
K=Üst nüfus sınırı
a, b= Sabit sayı

Bu yöntemi 1920 Pearl ve Reed adlı araştırmacılar geliştirmiştir. Bu yöntemlerin birçok kullanılma güçlükleri vardır. Bunların ötesinde birçok yeni yöntemler geliştirilmiştir.

### 11.1.2. Grafiksel Tahmin

Elde yeterli istatistiksel nüfus bilgisi varsa grafiksel yöntemler kullanılabilir.

1) *Aritmetik projeksiyon*

Her hangi bir şehrin 10 yıl için ortalama nüfus değişikliğinin hesaplanması istenmektedir. Örneğin;

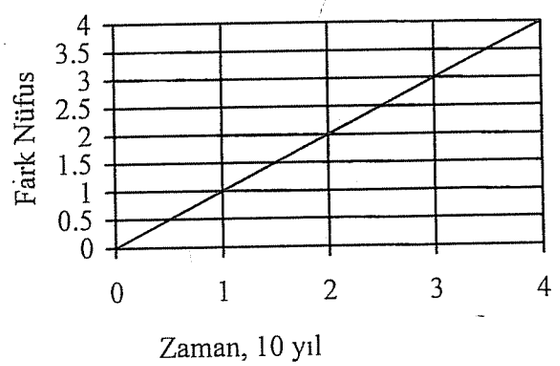
$P_{1985}$=100 000

$P_{1995}$=200 000 olsun.





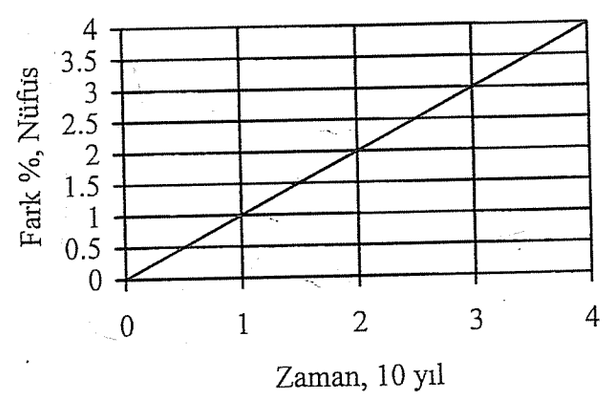
Aradaki fark ΔP=100 000 olur ve diğer 10 yılların da farkları bulunur zamana göre grafiklenerek projeksiyon yapılabilir.




Şekil 11.2. Aritmetik nüfus projeksiyonu

2) *Geometrik projeksiyon*

Bu sefer aradaki farklar % ΔP değişiklikler olarak belirlenir ve zamana göre grafiklenerek projeksiyon elde edilir

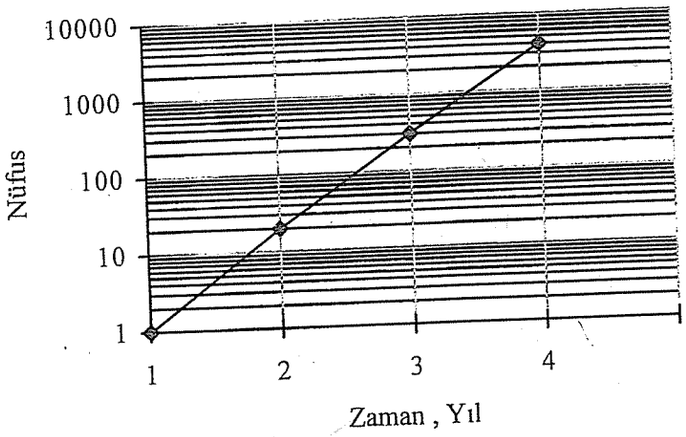



Şekil 11.3. Geometrik projeksiyon

3) *Yarı-logaritmik grafik kağıdına grafikleme*

Hesaplanan aritmetik ve geometrik projeksiyon değerleri (1. ve 2. madde) bu sefer yarı-log grafik kağıdına grafiklenerek

projeksiyon görülmeye çalışılır. Hangisinin daha iyi uyum sağladığını anlamak için korelasyon katsayısı bulunur yorum yapılır.




Şekil 11.4. Nüfusun yarı-log grafik kağıdına grafiklenmesi

4) *Kıyas Yöntemi*

Bir bölgedeki nüfus artışının diğer bir bölge nüfus artışı ile karşılıklı grafiklenmesi esasına ve varsayımlarla dayanır. (1) ve (2) grafik yöntemdeki gibi grafiklenebilir.

5) *Net içe ve dışa göçlerin projeksiyonu*

Burada sağlıklı bilgilerin bulunması kolay olmayabilir.

Burada sayılan yöntemlere ilave edilebilecek daha çok sayıda yöntem vardır. Bunlar nüfus tahmini çalışmasının ne kadar eski ve zor olduğunu vermek içindir.

### 11.1.3. Nüfus Artış Yüzdesinin Hesabı

$$\text{Nüfus Artış Hızı} = \frac{\text{Doğoğ oranı (binde)} - \text{Ölüm oranı (binde)}}{10} \qquad (11.4)$$

*Nüfusun iki katına çıkma süresi:*





$$\text{İki Katına Çıkma Süresi} = \frac{70}{\text{Nüfus artış hızı}} \qquad (11.5)$$

**Örnek:** 1984 yılında doğum oranı %0.28, ölüm oranı % 0.11 olarak bilindiğine göre

Nüfus artış hızı=(28-11)/10=1.7 bulunur.

İki katına çıkma süresi=70/1.7=41 yıldır.

### 11.1.4. Çoğalma Katsayısının Hesabı

Bir bölgenin nüfus miktarı hakkında en iyi bilgi resmi nüfus sayımıdır. Geliştirilmiş tahminler de geçmiş nüfus tahminleri üzerine kurulmuştur. Bilindiği gibi geçmiş yıllar ve mevcut durum için ve proje süresi için nüfus tahmini yapılır. Türkiye'de İller Bankası Talimatnamesi III'e göre aşağıdaki şekilde nüfus tahmini yapılması öngörülmüştür.

Şehir ve kasabanın 1945 yılı ile son defa yapılan nüfus sayımlarından faydalanılarak ve aşağıda verilen denklem kullanılarak çoğalma katsayısı bulunmaktadır.

$$P = \left(\sqrt[a]{\frac{N_y}{N_e}} - 1\right)100 \qquad (11.6)$$

$$N_{30+n} = N_y.\left(1+\frac{P}{100}\right)^{30+n} \qquad (11.7)$$

Burada;

$N_e$=Eski nüfus sayımı

P=Çoğalma katsayısı

$N_y$=Şehir veya kasabanın son sayımdaki nüfusu

a=İki nüfus sayımı arasındaki yıl

n= son nüfus sayımından, projenin hazırlandığı zamana kadar geçen yıl adedidir.

***Varsayım:***

Hesaplanan;

P değeri 3 ten büyükse P=3

P değeri 3 ten küçükse P=1 alınır.

Çoğalma değeri P hesaplandıktan sonra gelecekteki nüfus hesaplanır.

Ülkemizde su getirme ve kanalizasyon yapılarında proje süresi 30 yıl ve terfili iletimlerde ise 20 yıl sonraki nüfus esas alınmaktadır. Eğer 20 yıl için tahmin yapılacaksa Denklem (11.7) deki 30 sayısı 20 olarak değiştirilecektir.

Son nüfus sayımlarındaki nüfus artış hızı (P) 1945 dekine kıyasla yüksek olduğundan, ayrıca son nüfus sayımındaki nüfusun 1950, 1955, 1960 sayımlarındaki nüfuslara ayrı, ayrı oranlanarak yeni (P) değerleri bulunması, bulunan bu değerlerin en büyüğünün araştırılması önerilmektedir.

**ÖRNEK UYGULAMA 11.1.**

**Verilen nüfus rakamları ve denklemler ile nüfus tahmini.**

**1) Malthus Yasası**

$P = Ce^{rt}$

Çizelge veya grafiklerden alınan 10 yıllık değerler;

$P_{1970} = 204\ 000\ 000$

$P_{1960} = 183\ 000\ 000$ osun ve

$P_{2000}$ yılındaki nüfus ne olur?

$$r = \frac{P_{t+10} - P_t}{P_{t+10}} = \frac{204.10^6 - 183.10^6}{204.10^6} = 0.103$$

r =0.1 alınabilir.

Buradan,

$$C = \frac{p}{e^{r.t}} = \frac{204.10^6}{e^{0.1x1}} = 184.10^6$$





bulunur. Denklemde yerine konur ve 2000 yılına ait tahmin yapılır.

$P=184.10^6e^{0.1x4}$ (r=0.1 ve t=4 için)

$P_{2000}=184.10^6e^{0.4} = 274\ 495\ 574$ olarak tahmin edilmiş olur.

**2) Pritchett Yöntemi**

$P=A+Bt+Ct^2+Dt^3$

1930 P=123 000 000 Başlangıç t=0

1940 P=132 000 000 t=1

1950 P=154 000 000 t=2

1960 P=183000 000 t=3

$P_{1930}=A+0+0+0= 123\ 000\ 000$

$P^{1940}=132\ 000\ 000=123\ 000\ 000+B(1)^1+C(1)^2+D(1)^3$

$P_{1950}=154\ 000\ 000=123\ 000\ 000+B(2)^1+C(2)^2+D(2)^3$

$P_{1960}=183\ 000\ 000=123\ 000\ 000+B(3)^1+C(3)^2+D(3)^3$

Bu üç denklem yerine koyma ve yok etme yöntemiyle çözülürse;

$B=0.5x10^6$; $C=9.5x10^6$; ve $D=-1x10^6$

değerleri bulunur ve **Pritchett** denkleminde yerine konursa aşağıdaki son durum elde edilir.

$P=(123 + 0.5t+9.5t^2-1.t^3).10^6$

Bu denklem ile 2000 yılı için tahmin; 1930 başlangıç olmak üzere 2000-1970 =70 yıl (7x10yıl) t=7 olur, denklemde yerine konur.

$P_{2000}= (123 +0.5x7^1+9.5x7^2-7^3)10^6= 249\ 000\ 000$

olarak tahmin edilmiş olur.

**3) Lojistik Eğri**

$P = K(1+e^{a+bt})^{-1}$

Aynı veriler ile tahmin:

1930 P=123 000 000 Başlangıç t=0

K, eğrinin üst sınırı olduğuna göre K=350 000 000 varsayılsın.

"a" nın bulunması:

$123\ 000\ 000=350\ 000\ 000\ (1+e^{a})^{-1}$ buradan

a=0.62 bulunur.

"b" nin bulunması:

$P_{1940}-P_{1930}=9\ 000\ 000$

$9\ 000\ 000=350\ 000\ 000(1+e^{0.62+b})^{-1}$ buradan

b=3.015 bulunur ve denklemde yerine konur. Ancak Her 10 yıllar arasındaki artım farklı olduğu için diğer 10 yıllar arasındaki katsayıların da bulunması ve temsil eden bir b değerinin seçilmesi gerekir.

**4) Çoğalma katsayısının hesabı ile nüfus tahmini**

1985 $N_y=125\ 000$

1945. $N_e=13\ 000$

a=40 yıl

$$P=(\sqrt[40]{\frac{125}{13}}-1)100=5.82$$

Hesaplanan 5.8>3 olduğu için P=3 alınacaktır.

Proje 1995 te yapılmışsa n=10 yıl olacak ve nüfus tahmini,

$N_{30+10}=125000(1+(3/100))^{30+10}=125000x3.262=407754$ olacaktır.

## 11.2. İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacı Tahmini

Bir yerleşim biriminin su ihtiyacı ve suyun dağıtılması, nüfus yoğunluğuna, dağılımına, bölgenin fiziksel yapısına, iklime, uğraşlarına, alışkanlıklarına ve gelecekteki gelişme yönlerine ve ekonomiye bağlı kalmaktadır. Bu ayrıntılar ülkelerin su üretim standartlarını farklı oluşturmuştur.





Ülkemizde İller Bankasının kabul ettiği Talimatname III uyarınca su ihtiyacı hesaplanması yapıldığı bilinmektedir. Proje su ihtiyacı toplamı, insan, hayvan ve özel su ihtiyaçlarından oluşmaktadır. İnsan su ihtiyacı söz konusu talimatnameye göre Çizelge 11.1 deki gibi verilmektedir.

Çizelge 11.2. Nüfus Dilimlerine Göre Su ihtiyaçları

| Nüfus dilimleri | Günlük ihtiyaç, lt/gün |
|---|---|
| Nüfusu 3 000 'e kadar olan yerlerde | 60 |
| Nüfusu 3 001- 5 000'e kadar olan yerlerde | 60-70 |
| Nüfusu 5 001- 10 000'e kadar olan yerlerde | 70-80 |
| Nüfusu 10 001- 30 000'e kadar olan yerlerde | 80-100 |
| Nüfusu 30 001- 50 000'e kadar olan yerlerde | 100-120 |
| Nüfusu 50 001-100 000'e kadar olan yerlerde | 120-170 |
| Nüfusu 100 001-200 000'e kadar olan yerlerde | 170-200 |

Yazlık ihtiyaçları, normal ihtiyacın 1.5 katı alınarak günde adam başına hesaplama yapılması, ayrıca nüfusu 100 000' den büyük olan şehirler için idare ile anlaşma sağlanması öngörülmektedir.

Tesisatta normal olarak ortaya çıkabilecek kayıpla, bu verilen rakamlara dahil edilmiştir.

Hayvan su ihtiyacının içme suyundan sağlanan kısmında saptanması gerekir. Kriterlere göre;

Büyük baş hayvan için günlük su ihtiyacı 50 lt.

Küçükbaş hayvan için günlük su ihtiyacı 15 lt.

olacağı kabul edilmiştir.

Özel su ihtiyaçları ise özel şartnamede belirtilen miktar kadar olmak durumundadır. Özel ihtiyaçlar genellikle fabrika, liman, istasyon, mezbaha, dinlence alanları vs.. gibi yerlerdir. Ayrıca askeri birliğinde özel anlaşmaya alınması gerekmektedir.

**Toplam su ihtiyacı:**

$$Q=(q_n N_x)/86400+(50.N_B+15.NK)/86400+Q_e \qquad (11.8)$$

Burada;

Q=Toplam su ihtiyacı, lt/sn

$N_x$=Tahmin edilen proje nüfusu
$q_n$=Günlük nüfus başına ihtiyaç, lt/gün
$N_B$= Büyükbaş hayvan, adet
$N_K$=Küçükbaş hayvan, adet
$Q_e$=Özel ihtiyaçlar toplamı, lt/sn

## 11.3. Proje Süresi

Proje süresi; önerilen sistemin ve bunun kısımlarını oluşturan yapıların ve donatımın yeterli olacağı yıllar sayısı olarak tanımlanmaktadır. Proje süresinin tespitinde bir çok etmen etkili olur. Bunların çoğunluğu ekonomik özelliklidir. Bu etmenlerin bir kısmı şöyle sıralanabilir(İller Bankası, 1968; İller Bankası, 1988;Tülücü, 1994).

1) Tesislerin ve kullanılacak donatıların faydalı ömrü

2) Yenileme veya genişletmenin zor veya kolay oluşu

3) Sınai ve ticari nüfus artışı

4) Paranın geri ödemedeki değer kaybı

5) Tesislerin işletme şekilleri, ilk yıllardaki düşük kapasite ile çalışma durumları

Sistemler ve sistemi oluşturan kısımların proje ömürleri farklı olmakla birlikte İller Bankası içme suyu ve Kanalizasyon Talimatnamelerine göre proje süresi 30 yıl kabul edilmiştir.

**Getirilecek içme suyunun seçimi**: Çevrede mevcut su kaynakları kalite yönünden araştırıldıktan ve uygunları belirlendikten sonra bunların diğer etmenlere bağlı olarak seçiminin yapılması gerekir. İller Bankası İçme Suyu Talimatnamesine göre bir kısım seçime esas özellikler şöyle verilmektedir.

1) En kritik yıllarda ölçülen debilerin en az, yerleşim birimi ihtiyacı kadar olmalıdır. Aksi takdirde ihtiyacın 1.25-1.50 katı olmalıdır.

2) Proje süresi (30 yıl) su ihtiyaçlarını karşılaması ve 30 yıldan sonraki yenilenmelere cevap verebilmelidir.

3) Şartları sağlayan uzaklığı 10 km içinde olan cazibe ile gelebilen kaynaklar tercih edilmelidir.





4) Aynı nitelikli 10 km içinde bir kaç kaynak varsa tesis ve işletme masrafları, faiz ve amortismanları hesap edilerek %25 fazlasına kadar kalitesi daha iyi olan su seçilmelidir.

5) Madde 3 ve 4'ün dışında kalan hallerde tesis masraflarının faiz ve amortismanları, senelik işletme masrafları yedek malzeme, istimlak, zarar ve ziyan vs. gibi bütün masraflar gözönünde tutularak senelik masrafların %25 fazlasına kadar cazibe ile gelen su seçilir. Kıyaslama bir yeraltı suyu ile bir yüzey suyu arasında ise %35 fazlasına kadar yeraltı suyu seçilir.

# BÖLÜM 12
# SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA EKONOMİK KAVRAMLAR

Su kaynakları planlaması fiziki olarak uygun seçenekler arasından en uygununu seçme işlemlerini ihtiva etmektedir. Alternatifler arasından seçim, projenin ekonomik ve parasal uygunluğu ve olası sosyal çevre etkilerine bağlı olarak onların sosyal olarak kabul edilebilirliği tarafından yönlendirilir. Bunlar ayrı ayrı analiz edilmelidir.

Kaynakların geliştirilmesi ile ilgili projeler teknik ve ekonomik yönden incelenir ve değerlendirilir. Bu iki özellik ekonomik fizibilite etütleri ve planlama ve projeleme çalışmaları sırasında göz önünde tutulurlar. teknik olarak uygun olan bir proje ekonomik olarak uygun olmayabilir. Başlangıçta seçenek sayısı çok olabilir ancak genellikle sonuçta üzerinde ayrıntılı çalışmaların yapılması gereken iki seçenek kalır ve değerlendirmeler bunlar üzerinde yoğunlaşır.

Ekonomik etütler bir projenin uygulanabilir olup olmadığını ortaya koyduğu gibi projeler arasında öncelik sırasının saptanmasına da yardımcı olurlar.

Bu bölüm, su kaynakları projesinin ekonomik analizlerine geçmeden önce bir kısım ekonomik kavramları ve temel ekonomik bilgileri vermeyi amaçlamaktadır. Mühendislik ekonomisi ile ilgili yazarlar bir kısım klasik sorular sorarlar, bunlar; Bu niçin yapılıyor? Niçin şimdi yapılıyor? Bu niçin bu şekilde yapılıyor? gibi sorular sorulur Bunlar, soruların farklı yönlerine göre değerlendirilir, Ödeyecek mi ? sorusu sorulur.

Burada amaç, ekonomi konularını gözden geçirmek değil, daha sonraki konularda geçecek terim ve kavramları hatırlatmaktır.





## 12.1. Üretim Fonksiyonu

Üretim fonksiyonu, girdi değerlerine bağlı olarak maksimum elde edilebilir ürün miktarının teknik bir ilişkisidir. Üretim fonksiyonu yasası mühendislik ve teknik bilgi ister. Yeterli arazi, işçi ve makine, hammadde gibi diğer üretim girdileri varsa; söz konusu üründen ne kadar üretilebileceği teknolojiye bağlı kalır. Tarım da teknoloji ile yapılır. Üretim fonksiyonuna "mısır-su üretim fonksiyonu" veya bitki desenine bağlı olarak bitki- su üretim fonu örneği verilebilir.

Üretimi en iyi fiyatla satarak ve girdi değerlerini en düşük fiyatla temin ederek "eniyi-kazaç" sağlamak yoluna gidilir (Howe, 1971; Tülücü, 1979; Boyacıoğlu, 1981; Balaban, 1986; Tülücü, 1993).

## 12.2. Marjinal Üretim (MÜ)

Bir üretim faktörüne bağlı olarak marjinal üretim, diğer tüm üretim faktörlerini sabit tutarak, ilave edilen ekstra girdi faktörü ile elde edilen ekstra üretim veya çıktı değeridir. Diğer tüm üretim girdileri sabit tutularak ilave bir birim su ile elde edilebilecek ürün, marjinal üründür.

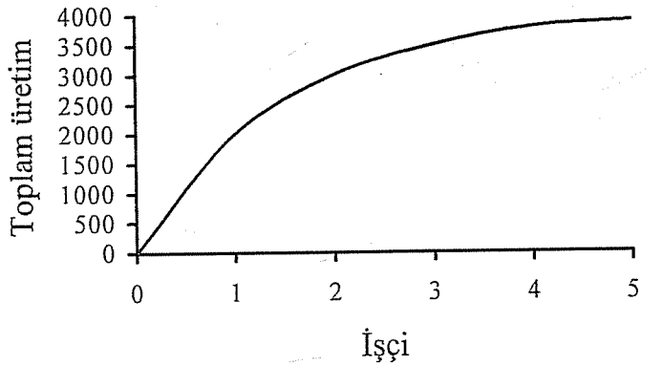
Ürün fiziksel terim ile ifade edildiği ve kargaşaya yer verilmemesi nedeniyle "marjinal-üretim" yerine "marjinal-fiziksel üretim" deyiminin kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

## 12.3. Marjinal-Fiziksel Üretim (MFÜ) ve Azalan Gelir

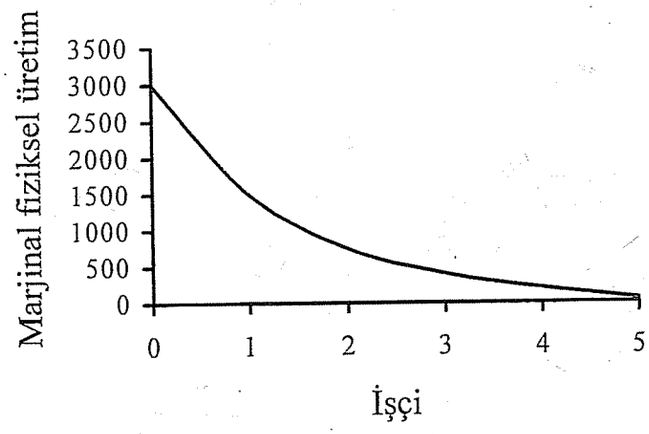
Marjinal fiziksel üretim kavramını daha iyi anlayabilmek için Çizelge 12.1. verilmiştir. Bu çizelgede birim işçi ve buna bağlı olarak toplam üretim görülmektedir. İşçi değişken, arazi sabit tutulmuştur. Çizelgenin 3.ü sütununda marjinal-fiziksel üretim görülüyor. İşçi miktarı arttıkça toplam üretim artmış, ancak birim işçiye düşen artım azalmıştır. Bunlar Şekil 12.1 (a) ve (b) de görülmektedir. Azalan gelir yasası, azalan marjinal-fiziksel üretim yasasına dönüşmektedir. Bağımsız ve bağımlı değişkenler yer değiştirerek yeniden incelenebilir.

Çizelge 12.1. Üretim Fonksiyonu ve MFÜ Verisi

| İşçi Miktarı (birim) | Toplam Üretim TÜ | $TÜ_{i+1}$ - $TÜ_i$ | Marjinal-Fiziksel Üretim (MFÜ) |
|---|---|---|---|
| (1) | (2) | | (3) |
| | 0 | | |
| | | Δ= | 2000 |
| 1 | 2000 | | |
| | | Δ= | 1000 |
| 2 | 3000 | | |
| | | Δ= | 500 |
| 3 | 3500 | | |
| | | Δ= | 300 |
| 4 | 3800 | | |
| | | Δ= | 100 |
| 5 | 3900 | | |




Şekil 12.1. İşçi üretim fonksiyonu, (a)Toplam üretim




Şekil 12.2. İşçi üretim fonksiyonu, (b) Marjinal fiziksel üretim





## 12. 4. Kaynakların En İyi (Optimum) Kullanımı

Ekonomik ilkeler proje amaçlarının saptanmasında ve yatırım miktarının araştırılmasında önemli görev yaparlar. Proje amacı; sulama mı?, enerji mi ?, taşkın ve toprak erozyonunu önleme mi?, veya bunların ilk ikisi mi?, yoksa hepsi mi?. Sağlıklı yapılmış ekonomik etütlerle ancak bu sorulara yanıt verilebilir.

Girdi ve çıktı değerleri arasındaki teknolojik ilişki, yani üretim fonksiyonu bilinirse, değişik girdi ve çıktı değerleri fiyatlarıyla birlikte net *üretim değeri* (*geliri*) veya sorumlu fonksiyonu belirlenebilir.

$$\sum_{i=1}^{n} p.x_i \qquad (12.1).$$

Burada;

x=Miktar

p=Fiyat

Üreticiler gelir ile üretim masrafı arasındaki farkı maksimum yapmak isterler. Bunun matematiksel ifadesi şöyle yazılabilir.

$$Z=R-C=PY-C \qquad (12.2)$$

$$Y=f(x)=f(x_1, x_2,...,x_n) \qquad (12.3)$$

Burada; R=Üretim geliri

C=Üretim masrafı

P=Üretim fiyatı

x=Üretim girdileri

Genellikle üretim fonksiyonu sürekli diferansiyelin alınabileceği varsayılır. *Net üretim fonksiyonu* Denklem (12.2), tek değerli olarak varsayılır ve şöyle tekrar yazılabilir.

$$Z=pf(x_1, x_2,...,x_n) \qquad (12.4)$$

*Üretim masraf fonksiyonu* tüm girdiler için yapılan masrafı temsil eder ve şöyle deyimlenebilir.

$$C = \sum_{i=}^{n} x_i . w_i + b_i = WX+B \qquad (12.5)$$

rada;

w=Girdi fiyatları

b=Sabit masraflar

Üretim masrafı, girdi fiyatları ile doğrusal ilişkili bir ıksiyondur.($w_1,w_2,...,w_n$), X($x_1$, $x_2$,...$x_n$) değerlerine karşıdır. B ğeri ise sabit girdilerin masrafıdır. Bu durumda denklem şöyle ıiden yazılabilir.

$$\text{Max } Z=pf(x)-wx-b \qquad (12.5)$$

Kısıtlar:

$X \geq 0$

n olarak yazılırsa;

$$\text{Max } Z=pf(x_1, x_2,...,x_n)-\sum_{i=1}^{n} w_i . x_i - b \qquad (12.6)$$

Kısıtlar:

$x_1,...., x_n \geq 0$

Net gelir $x_1$, $x_2$,...,$x_n$ girdi değerlerinin bir fonksiyonudur ve işkenlere göre Denklem (12.6)'nın kısmi türevi alınmak ve sıfıra lenmek suretiyle şöyle maksimize edilebilir.

Burada marjinal üretim (MÜ) şöyle verilmektedir.

$$f_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \qquad i=1,...,n$$

Denlem (12.7) $pf_1$ den $pf_n$ değerleri için çözülürse aşağıdaki ım ortaya çıkar.

$$\left\{ \begin{array}{l} pf_1 = w_1 \\ . \quad . \quad . \\ . \quad . \\ pf_n = w_n \end{array} \right\} \qquad (12.8)$$

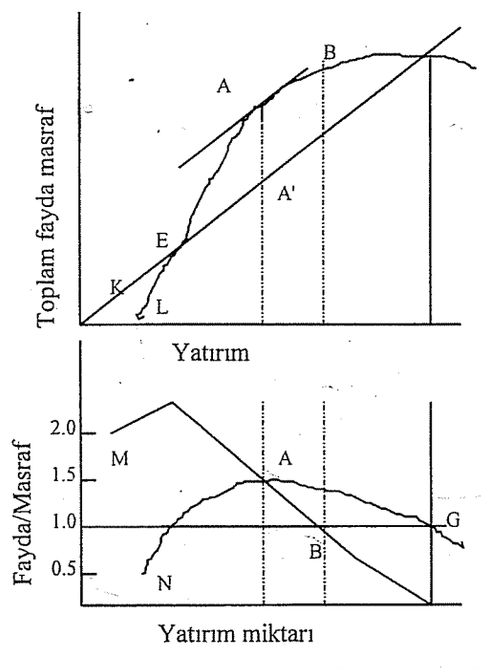
Kısmi türev $f_1$, $f_2$,...,$f_n$ marjinal fiziksel üretim (MFÜ) ve jinal fiziksel üretimin parasal tutarları, $pf_1$, $pf_2$,..., $pf_n$ yağış



olmaksızın geniş bir su uygulama düzeyleri içinde ek $x_1$, $x_2$,...,$x_n$ birim su ile gelirde artım hızlarıdır. Birim alana düşük su uygulaması üretimde bir artış göstermeyebilir. Bununla birlikte bazı koşullarda, çok fazla su uygulamasına karşın üretimde düşük bir artım meydana gelebilir. Bundan sonra her bir birim suya karşın üretimin hızlı arttığı bir bölge meydana gelmektedir. Sonra su kullanma hala hızlı artmasına karşın, her birim ek su düşük marjinal artım oluşturmaktadır.

Ekonomik ilkelerin, bir projenin her aşamasında kullanılması gerekir. Optimum yatırım miktarı belirlenirken, proje uygulama ve gerçekleşme sonuçları ile beklenen net fayda en üst düzeyde olmalıdır.

Teorik açıklamalar grafik yardımıyla da desteklenmeye çalışılmıştır.




Şekil 12.3. Yatırım ile ilgili fayda masraf ilişkisi

Bu şekilde :

K=Toplam masraf çizgisi
L=Toplam fayda çizgisi
M=Marjinal fayda / Marjinal masraf
N=Toplam fayda/ Toplam masraf
AA'=Maksimum net fayda

Görüldüğü gibi yatırım azalan biçimde artarken , masraf doğrusal olmaktadır. Şeklin alt kısmında A noktasında yatırım miktarı en yüksek Fayda/Masraf oranını vermektedir. B noktasında marjinal fayda, marjinal masrafa eşittir. C ve E noktalarında, toplam fayda toplam masrafa eşit ve oran 1'dir.

Optimum yatırım B noktasında gerçekleşir. B noktasında marjinal fayda (MF), marjinal masrafa (MM) eşittir. Yatırım kaynakları sınırlı olduğu varsayılırsa optimum yatırım miktarı A ile B noktaları arasında meydana gelir.

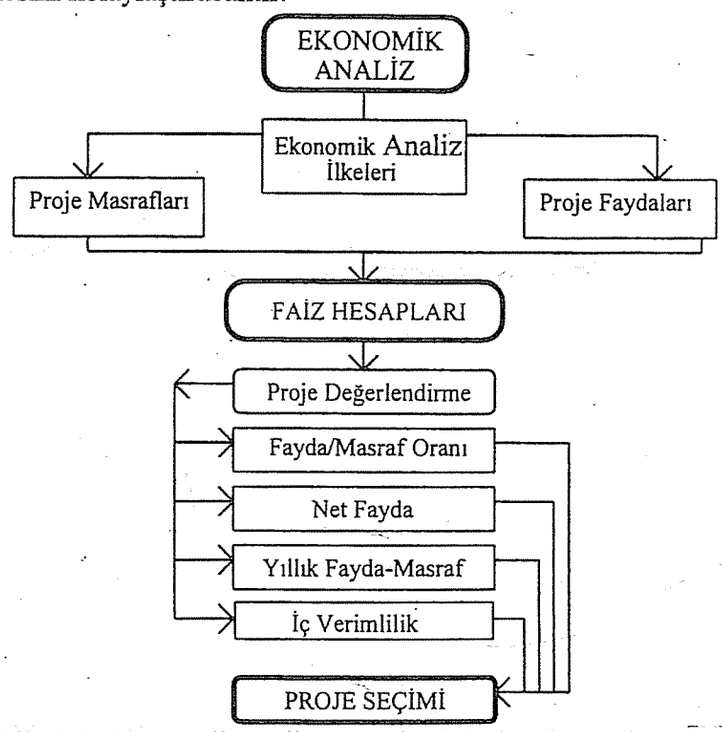
Bu ilişki en az masrafla net faydayı en yüksek düzeye çıkaracak bir seçeneğin belirlenmesinde ve proje ünitelerinde kullanılır.





# BÖLÜM 13
# SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA EKONOMİK ANALİZ VE PROJE DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde işlenecek olan ekonomik analiz ve değerlendirmesi konusunun akış şeması aşağıda verilmiştir. Akış şeması konunun izlenmesini kolaylaştıracaktır.




Şekil 13.1. Ekonomik analiz ve proje değerlendirme akış şeması

## 13.1. Ekonomik Analiz İlkeleri

Ekonomik analiz ile ortaya konan fiziksel alternatifler içinde çeşitli çözüm alternatiflerinin ortaya konması, alternatiflerin karşılaştırılması ve en uygununun seçilmesi işlemini ortaya konur. Ekonomik analizlere geçmeden önce analizde kullanılacak fayda ve maliyetlerin belirlenmesi, değerlendirme yöntemlerinin seçilmesi, ortaya konan amaç ve kısıtların dikkate alınması gerekir. Fayda ve

maliyet karşılaştırılmasında aynı birimde aynı tarihte ortaya çıkan değerlerle işlemin yapılacağının bilinmesi gerekir.

Ekonomik analizde kullanılacak olan fayda, maliyet, marjinal maliyet ve marjinal fayda terimleri ilgili kısımlarda açıklanmıştır. Su kaynakları değerlendirmesinde sistem mühendisliği de yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu konuda geçecek terimler de ilgili bölümde verilecektir.

Ekonomik analizde seçeneklerin kıyaslamasında göz önünde bulundurulması gereken bir kısım hususlar şöyle sıralanabilir.

1) Fayda- maliyet farkını maksimum kılan amaç fonksiyonunu gerçekleştirebilecek bütün seçenekler dikkate alınmalıdır.

2) Fayda-maliyet mümkünse para biriminde dikkate alınmalıdır.

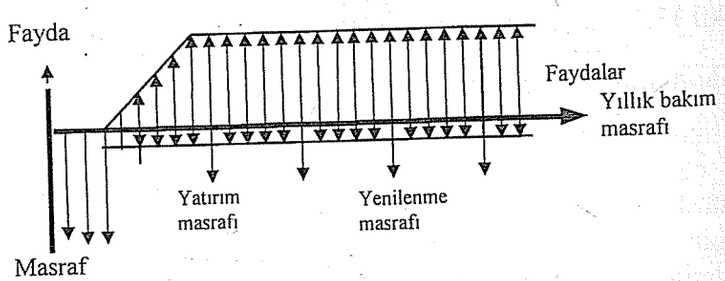
3) Geleceğe etki etmeyen sarf olmuş maliyetler göz önüne alınmamalıdır.

4) Ortalama maliyet yerine marjinal maliyetlerle kıyaslama yapılmalıdır.

5) Kıyaslamalarda her seçenek için aynı faiz oranı, aynı karşılaştırma süresi (analiz dönemi), aynı birim fiyatlar kullanılmalıdır.

## 13.2. Fayda-Maliyet Akış Diyagramı

Fayda maliyet akış diyagramı yatırım masrafları, yıllık bakım masrafları, yineleme masrafları ile faydaların bir kartezyen koordinat sisteminde gösterilmesi işlemidir. İlk bakışta olay hakkında fikir sahibi olmak için geliştirilir. Projenin her bir alternatifi için benzer bir diyagram hazırlanır. Bu diyagramlar kıyaslamalar için kullanılır.




Şekil 13. 2. Fayda maliyet akış diyagramı





## 13.3. Su Kaynakları Projelerinin Faydaları

Proje inşaatının tamamlanması ve işletmeye açılmasından sonra elde edilecek mal ve hizmetlere projenin faydaları denir. Faydalar etki derecesine göre ve parasal olmak üzere sınıflandırılabilir.

*Para ile ölçülemeyen faydalar:* Bu faydalar sosyal ve toplumsal faydalardır. Bunlar; hayat kurtarma, sağlık şartlarını iyileştirme, tarihi yerleri koruma, estetik bir görünüş sağlama örnek gösterilebilir.

***Para ile ölçülebilen faydalar:*** Bu grup kendi içinde gruplandırılarak incelenebilir.

1) Birinci dereceden faydalar

a)Doğrudan faydalar

b)Dolaylı faydalar

c)Toprağın daha iyi kullanmasından doğan faydalar

2) İkinci dereceden faydalar

a)Yaratılan ikinci dereceden faydalar

b) Neden olunan ikinci dereceden faydalar

3) İş sağlama faydaları

4) Kamu Faydaları

Gelir dağılımını düzenleme,

Bölge kalkınmasını sağlama vb.

***Birinci dereceden faydalar***: Projeden sağlanan bütün mal ve hizmetlerin toplamıdır. *Doğrudan birinci dereceden faydalar* ise taşkın kontrolü projesinde, taşkın zararlarında ortaya çıkan azalma, ya da bir kısım sulama projesinde sulamadan sağlanacak ürün artışı gibi kullanımların doğrudan sağladıkları faydalardır. *Dolaylı birinci dereceden faydalar ise*, projenin sağladığı yararlardan dolayı ortaya çıkan faydalardır. Örneğin; sulama projesi ile artan ürünü taşıyanların gelirlerindeki artış gibi. Dolaylı birinci dereceden faydalar, doğrudan birinci dereceden faydaların %5-20'si kadar alınabilir.

***İkinci dereceden faydalar***: *Yaratılan ikinci dereceden faydalar*, Projenin uygulaması ile yörede, bölgede, ülkede ortaya çıkacak ekonomik gelişmelerdeki artışlardır. Yaratılan ikinci

ceden faydalara önek elektrik üretimi ile ortaya çıkan yeni umlar gibi. Yaratılan ikinci dereceden faydalar, doğrudan birinci ceden faydanın %11-88'i kadar alınır. Neden olunan ikinci ceden faydalar ise, projenin sonucu olarak başka sahalardaki m artışlarını tanımlar. Örneğin bir içme suyu projesi ile sağlanan hizmetin ötesinde sağlık hizmetleri giderlerinin azalması gibi. Bu a doğrudan birinci dereceden faydanın %18' i alınabilir.

Su kaynaklarının geliştirilmesi ile sağlanacak başlıca temel lalar:

1) Taşkın kontrolü faydaları : Taşkın etkisinin azaltılması ve dan kaldırılması.

2) Arazi ıslahı faydaları: Kurutma, drenaj ve arazi ıslahı emleri sonucunda toprağın verimlilik düzeyinin artması ile ortaya acak ekstra faydalardır.

3) Elektrik enerji faydaları: İki alternatif projenin ekonomik ının enerji faydası değeridir.

4) Ulaşım faydaları: Projede su yolu ulaşımı söz konusu ise un sağlayacağı faydalardır.

5) İçme ve kullanma suyu sağlama faydaları: Buradan lanan faydalar farklı olup ayrıntılı incelenmesi gerekir.

6) Sulama faydaları: Sulama projeleri ile kuru koşuldan sulu şula geçişle sağlanan fark faydaları ifade eder. Sulu koşula geçişle etme masrafları da artar. Hesaplamalar birim alan yerine işletme imi olarak yapılmalı ve daha sonra alan birimine dönüştürülmelidir.

***Net sulama alanı:*** *Sulama suyunun götürüleceği toplam alan üt alan olarak ifade edildiğine göre net sulama alanının saplanması gerekir. Sulama şebekelerinde brüt sulama alanın;*

- *Kanal, yol vb.. yapılar %4'ünü,*
- *Mezarlık, harman yeri gibi yerler %2'sini kapladığı kabul edilir.*

*Bu şekilde brüt sulama alanından toplam kayıp %6 olur.*

*Aynı zamanda, uygulamada teknik nedenlerle brüt alanın ncak %90' nen sulanabileceği kabul edilir. Buna göre, net sulama anı brüt sulama alanının;*

*Klasik şebekelerde 0.94x0.90=0.846,*
*Kanaletli şebekelerde 0.97x0.90=0.873,*
*Borulu şebekede 1.00x0.90=0.90 olur.*





Mevcut ve projeli durum net fayda hesap örnek tablosu Çizelge 13.1 de görülmektedir.

Küçük su kaynaklarının geliştirilmesinde yıllık masraf ve faydalar sabit ise ekonomik parametrelerin hesaplanmasında yıllık ortalama değerlerin kullanılması yeterli görülmektedir.

Çizelge 13.1. Sulama Projesi Alanı (Projesiz ve Projeli) Bitki Deseni ve Ürün Bileşimi

| Ürünler | Ekim Alanı,% | Verim Kg/da | Fiyat TL/Kg | Brüt Gelir,TL | Masraf TL/da | Net Gelir TL/da | Orta.Net Gelir,TL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Ekili alan Toplam | | | | | | | |
| Nadas | | | | | | | |
| Boş alan | | | | | | | |
| Toplam alan | | | | | | Toplam | Toplam |

## 13.4. Su Kaynakları Projelerinin Masrafları

Masraflar bir projenin gerçekleştirilmesinde kullanılan her türlü mal ve hizmetler toplamlarının değeridir. Su kaynaklarının geliştirilmesinde hakiki masraflar esas alınır. Bunlar tesis masrafları, yatırım masrafları, ve yıllık masraflardır. İnşaatlar kısımlar halinde yapılmakla birlikte ekonomik analiz, projenin tümünün maliyeti esas alınarak ve projeleme aşamasında yapılır.

### 13.4.1. Yatırım Masrafları

Yatırım masrafı tesisin işletmeye açıldığı tarihteki toplam yatırım miktarıdır.

Yatırım masrafları

Doğrudan masraflar (Keşif bedeli)

Alt yapı giderleri

İnşaat giderleri

Makine ve donatım giderleri

Dolaylı masraflar

Beklenmeyen (bilinmeyen) masraflar (doğrudan masrafın %15'i )

Etüt, proje ve mühendislik (ilk etütlerden bitinceye kadar hizmetler)

İnşaat süresindeki faiz (geçerli faiz oranı ile inşaat süresinin yarısı rinden hesaplanır)

***Tesis maliyeti***= Doğrudan masraflar + %15 beklenmeyen masraflar

***Proje bedeli***= Tesis maliyeti + % 15 Etüt, proje ve mühendislik ısrafı + kamulaştırma bedeli

***Yatırım Masrafı***=Proje bedeli + inşaat süresindeki faiz

### 13.4.2. Yıllık İşletme, Bakım ve Yenileme Masrafları

Yıllık işletme bakım masrafları tesisin işlevini yapabilmesi için her l yapılması gereken masraflardır. Yenilenme masrafı ise tesiste zaman, man yapılması düşünülen, gerekli görülen değişiklikler için yapılan asraflardır. İşletme ve bakım masrafları genellikle, katsayılar ile belirlenir.

Çizelge 13.2. Yıllık işletme ve bakım masraf hesabı katsayıları (*)

| Proje Unsurları | Katsayılar |
|---|---|
| Baraj ve rezervuarlar | 0.001 |
| Su alma ve verme yapıları | 0.010 |
| Kaplamasız kanallar | 0.020 |
| Kaplamalı kanallar | 0.010 |
| Çelik boru hatları | 0.015 |
| Beton boru hatları | 0.010 |
| Sulama dağıtım sistemi | 0.030 |
| Kapaklar vb. metal işler | 0.015 |

(*) Balaban,1986.

### 13.4.3. Yıllık Masraflar

Ekonomik kıyaslamalar bugünkü değer yerine yıllık masraflar öntemi ile yapılırsa, yatırımların ekonomik kıyaslama dönemi için llık faiz ve amortisman giderlerinin hesabının yapılması gerekir. mortisman zamanla değerini kaybeden sermaye unsurlarının yerine 'nı işi yapabilecek yenilerini koyabilmek için o mal veya tesisin nrü boyunca her yıl ayrılması gerekli para karşılığıdır.





Amortisman hesabında tesisin ekonomik ömrü esas alınır.

Yıllık masraf unsurlarından faiz ve amortisman karşılığı, yatırım masrafları toplamının faiz ve amortisman katsayısı ile çarpımı sonucu bulunur.

Çizelge 13.3. Proje Masrafları Hesap Çizelgesi (Örnek)

| MASRAF TÜRLERİ | AÇIKLAMA | | TL. |
|---|---|---|---|
| 1.TESİS MASRAFLARI | | | |
| a)Proje Keşif Bedeli | Kamu harcamalarına esas | | ---- |
| a)Mahalli İştirak | (Varsa) | | ---- |
| c)Ek Masraflar | | | ---- |
| | | Toplam | ---- |
| 2.YATIRIM MASRAFLARI | | | |
| d)Tesis Masrafları | (a+b+c) | | ---- |
| e) Genel Masraflar | (0.20xd) | | ---- |
| f) İnşaat süresince faiz (t ay) | **F=(K.f.t)/12**=(1.20xd).f.t)/12 | | ---- |
| | | Toplam | ---- |
| 3.YILLIK MASRAFLAR | | | |
| g)Faiz, amortisman | (d+e+f).f | | ---- |
| h)İşletme,bakım, onarım | (0.20xd) | | ---- |
| i)Yıllık Ortalama Toplam | (g+h) | | ---- |
| | | Toplam | ---- |

## 13.5.Ekonomik Analiz Faktörleri

Ekonomik analizlerde karşılaştırma süresi, faiz oranı ve vergiler önemli üç faktördür. Bunlar izleyen kısımda kısaca özetlenmiştir.

***Karşılaştırma süresi***: Mühendislik ekonomisinde 5 farklı süre mevcuttur. Bunların birbiri ile karıştırılmaması gerekir.

*Fiziksel ömür*-Yapıdan beklenen teknik fonksiyonun başlaması ile bitmesi arasındaki zaman farkı.

*Ekonomik ömür*- İşletme başlangıcı ile, yapının işletilmesinde elde edilecek marjinal faydaların işletme için geçecek marjinal maliyetleri karşıladığı tarihin sonu arasındaki zaman farkı.

*Karşılaştırma süresi*- Tesislerin fayda ve maliyetlerinin karşılaştırılmasında göz önüne alınan süre. Özel sektör yatırımlarında 5-10 yıl, su kaynakları projelerinde 50 alınmaktadır.

*İnşaatın geçerli olduğu süre*-Kaç yıllık ihtiyacı karşılayacağı süre. Genellikle 30 yıl kabul edilir.

*İnşaat süresi*- Yapının başlaması ile bitirilmesi arasındaki süre.

Su kaynakları projelerinde karşılaşılan tipik yapıların ekonomik ömürleri Çizelge 13.4'de verilmiştir.

***Faiz oranı ve vergiler:*** Bir yılda belli bir yatırımdan kazanılan miktarın, yatırım miktarına oranına faiz oranı denir. Yatırımda kullanılan faiz oranları genellikle 15 yıllık veya daha uzun süreli devlet tahvilleri esas alınarak faiz oranları belirlenir. Devlet ve özel sektör yatırımlarında kullanılan faiz oranları farklıdır. Devlet yatırımları için elde bir ölçü yoksa % 6 faiz oranı kullanılabileceği bildirilmektedir.

Ekonomik analizlerde vergilerde önemli bir faktör olup kıyaslamalarda kullanılır.

Çizelge 13.4. Su Kaynaklarında Kullanılan Bazı Yapıların Ekonomik Ömürleri (*)

| Yapı | Ekonomik Ömür, yıl | Yapı | Ekonomik Ömür, yıl |
|---|---|---|---|
| BARAJLAR | | CEBRİ BORULAR | 50 |
| a.Toprak, beton, kargir | 150 | TÜNELLER | 100 |
| b.Gevşek kaya | 60 | TÜRBİNLER | 35 |
| c.Çelik | 70 | KUYULAR | 40-50 |
| KANALLAR (ayaklı) | | POMPALAR | 18-25 |
| a.Beton, kargir | 75 | BORULAR a.Font borular (çapa göre) | 50-100 |
| b.Çelik | 50 | b.Beton | 20 |
| c.Ahşap | 25 | c.Çelik (çapa göre) | 30-40 |
| JENERATÖR (güce göre) | 14-28 | YANGIN MUS. (boru ağızları) | 50 |
| DENİZ İNŞ:M. | 12 | NÜKLEER SAN. | 20 |

(*) Erkek ve Ağıralioğlu, 1993)

## 13.6. Faiz, İskanto, Bugünkü Değer ve Ödemeler

Bu kısımda daha sonraki uygulamalı çalışmalara geçmeden önce bir kısım ekonomik kurallar hakkında öz bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

### 13.6.1. Faiz Hesapları

Faiz, karşı taraftan sağlanan mal, para ve hizmetin kullanılma bedelidir. Seçilen faiz oranı genellikle ekonomik duruma , yatırımın özelliğine, risk ve enflasyona bağlı kalmaktadır.





Faiz oranı iki grupta toplanabilir; 1) Günlük para piyasasında kullanılan faiz oranı, 2) Ekonomik analiz faiz oranı.

Yatırımcı faiz oranlarını küçük tutmaya çalışır. Faiz oranı alternatif projelerin değerlendirilmesinde önem arz eder.

Proje uygulaması ile masraflar başlar ancak harcamalar farklı zamanlarda yapılır. Kolaylık sağlamak için proje yapım süresinde eşit zamanda eşit ödemeler esas alınır. Basit faiz hesapları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1) Yıllık Basit Faiz Eşitliği

$$F=K.f.t \qquad (13.1)$$

Burada;

F=t süresindeki sermaye ile faiz toplamı
K= Kapital (sermaye)
f= Faiz oranı
t=Zaman, yıl (t=1)

2) Aylık Faiz Eşitliği

$$F=\frac{K.f.t}{12} \qquad (13.2)$$

Burada; t = ay sayısıdır.

3) Günlük Faiz Eşitliği

$$F=\frac{K.f.t}{360} \qquad (13.3)$$

Burada; t = gün sayısıdır.

4) Bileşik Faiz Eşitliği

Bileşik faiz, borç veren parasını ve faiz gelirini çekmez ise onunda faizlendirilmesi anlamına gelir.

$$K_n=K_o.(1+f)^n \qquad (13.4)$$

veya

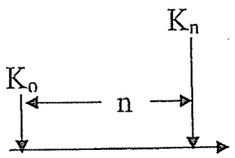
$$K_n=K_o.q^n \qquad (13.5)$$

Tek ödemelerde bileşik faiz (gelecek) katsayısı

$K_n/K_o=q^n$

urada;

$K_n$= n yıllık faiz ve sermaye (kapital) toplamı
$K_o$= Bugünkü değer (başlangıç kapitali)




Şekil 13.3. Tek ödeme durumu

**ÖRNEK UYGULAMA 13.1:**

**Yıllık faiz hesabı**

K=200 birim TL'nin f=%10 faizle bir yıl (t=1) sonundaki faiz eliri nedir?

F=200x0.10x1=20 Birim TL'dir.

**ÖRNEK UYGULAMA 13.2:**

**Aylık faiz hesabı**

K=2000 birim TL'nin %18 den t=3 ay süreli aylık faiz gelirleri nedir?

$$F=\frac{2000x0.18x3}{12}=90 \text{ Birim TL'dir.}$$

**ÖRNEK UYGULAMA 13.3:**

**Günlük faiz hesabı**

K=2000. Birim TL'nin f=0.05 ten t = 200 gün için günlük faiz geliri nedir?





$$F=\frac{2000x0.05x200}{360}=55.55 \text{ Birim TL'dir.}$$

**ÖRNEK UYGULAMA 13.4:**

**Sermaye ve Faiz hesabı**

$K_o$=2000. birim TL'nin f=0.3 faiz ile n=3 yıl sonunda oluşacak sermaye ve faiz toplamı nedir?

Tek ödemelerde bileşik faiz faktörü

$K_n/K_o=q^n=(1+f)^n=2.197$

$K_n=K_o(1+f)^n=2000(1+0.3)^3=4394$ Birim TL'dir.

### 13.6.2. Bugünkü Değer (İskanto =İndirgeme)

Bugünkü değere indirgeme, kıyaslama yapabilmek için farklı zamanlarda oluşacak fayda ve masrafların aynı zaman düzeyine getirilmesine yardımcı olacak bir yöntemdir. Bu yöntem bir anlamda bir önce verilen eşitliğin yeniden düzenlenmesidir.

$$K_o=\frac{K_n}{(1+f)^n}=\frac{K_n}{q^n} \qquad (13.6)$$

Tek ödemelerde bugünkü değer katsayısı

$$K_o/K_n=\frac{1}{q^n}$$

Burada; $K_o$ gelecekte gerçekleşecek ya da ödenecek fayda ve masrafların bugünkü değeridir.

**ÖRNEK UYGULAMA 13.5:**

**Uzun yıllık faiz hesabı**

$K_o$=2000. Birim TL'nin % 30 faiz ile n=10 yıl sonunda oluşacak miktarı nedir?

Tek ödemelerde bileşik faiz katsayısı ve oluşacak miktar

$K_n/K_o=13.786$

$K_n=2000(1+0.30)^{10}=27571.69$ Birim TL'dir.

**NEK UYGULAMA 13.6:**

**Bugünkü değer hesabı**

n=10 yıl sonra oluşacak 30 000 birim TL gelirin % 18 faize ına göre bugünkü değeri nedir? veya % 18 faizle 10 yıl sonra 30 birim TL'ye ulaşan paranın bugünkü değeri nedir?

Tek ödemelerde bugünkü değer katsayısı ve bugünkü değer

$K_o/K_n=1/q^n=0.191$

$K_o = K_n \frac{1}{q^n}=0.191x30000=5730$ B.TL

**NEK UYGULAMA 13.7:**

**Taksit ve amortisman hesabı**

Bir banka n=20 yıl süreyle ve %7 faizle 2000. Birim TL. kredi se, bunun faiziyle birlikte bir yıla düşen taksit miktarı ne olur? a 2000 birim TL'nin 20 yılda %7 faiz üzerinden geriye abilmesi için yıllık ana para (amortisman) ve faiz bedelleri toplamı lir?

Yıllık eşit ödemelerde, faiz amortisman katsayısı ve geri ması gereken ana para ve faiz değeri

$$\frac{A}{K_o} = \frac{f.q^n}{q^n-1}=0.094$$

$$A = K_o \frac{f.q^n}{q^n-1}=2000x0.094=188 \text{ Birim TL}$$





### 13.6.3. Yıllık Eşit Ödemeler

Yıllık olarak A miktarı, her yılın sonunda bileşik faizle yatırılsa, her yıl yapılan bu yatırımın n yıl sonunda erişeceği miktar $K_n$ olur.

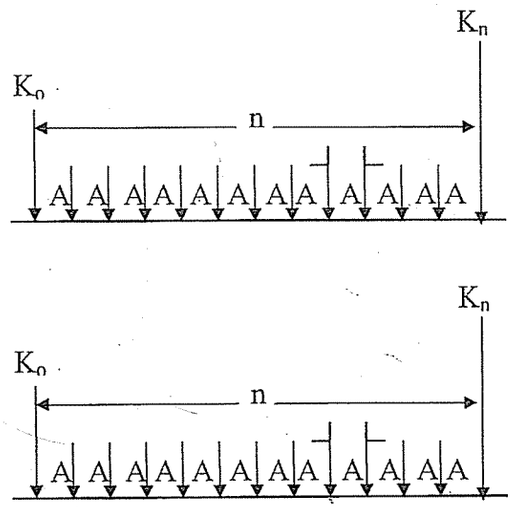
Yıllık eşit ödemelerde bileşik faiz katsayısı

$$\frac{K_n}{A} = \frac{(1+f)^n-1}{f} = \frac{(q^n-1)}{f}$$

n yıl sonra ve erişeceği miktar

$$K_n = A\frac{(1+f)^n-1}{f} = A\frac{(q^n-1)}{f} \qquad (13.7)$$

Burada; A=Her yıl eşit olarak yapılacak ödeme




Şekil 13.4. Yıllık eşit ödeme

**NEK UYGULAMA 13.8:**

**Yıllık eşit ödeme**

f=% 5 bileşik faizle her yıl yatırılacak A=1000 birim TL'nin ) yıl sonraki değeri nedir?

Yıllık eşit ödemelerde bileşik faiz katsayısı

$$\frac{K_n}{A}=\frac{(1+f)^n-1}{f}=\frac{q^n}{f}=33.065$$

$K_n$=1000x33.065=33065 B.TL

Denklem (13.7) ile bulunan n yıl süren eşit ödemelerin ünkü değeri, aynı şekilde Denklem (13.6)'da yerine konularak nabilir.

$$K_o=\frac{K_n}{(1+f)^n}=\frac{A\dfrac{(1+f)^n-1}{f}}{(1+f)^n}=\frac{A(q^n-1)}{fq^n} \qquad (13.8)$$

Yıllık ödemelerde bugünkü değer katsayısı

$$K_o/A=\frac{(q^n-1)}{fq^n}$$

**NEK UYGULAMA 13.9:**

**Bu günkü değer hesabı**

n=20 yıl boyunca %5 faizle her yıl yatırılan 1000 birim TL'nin ünkü değeri nedir?

$K_o/A$=12.462

$K_o$=1000x12.462=12462 B.TL veya

$$K_o=\frac{A\dfrac{(1+f)^n-1}{f}}{(1+f)^n}=\frac{1000((1+0.05)^{20}-1)}{0.05(1+0.05)^{20}}=12462.21$$



Başka bir deyişle bugün bankaya % 5 faizle 12462 birim TL yatırılsa fon tükenmeden 20 yıl boyunca her yılın sonunda 1000 birim TL çekilebilir.

Mühendislik problemlerinde çoğu kez belirli bir periyot sonunda belirli bir fonun yaratılması zorunlu olur. Böyle durumlarda gelecekte belirli bir yılda gerekli fon bilinir. Bu fonu biriktirmek için gerekli yıllık ödemelerin (biriktirme taksitlerinin) bilinmesi istenir. Yıllık ödemeler Denklem (13.7)'in A için düzenlenmesi ile bulunur.

$$A=\frac{K_n.f}{(1+f)^n-1}=\frac{K_n.f}{q^n-1} \qquad (13.9)$$

Yıllık ödemelerde eşit biriktirme katsayısı

Bugünkü bir yatırımı ($K_o$), amorti etmek için n yıl boyunca, her yıl ödenmesi gereken faiz amortisman (sermaye kurtarma) taksiti Denklem (13.8) in A için düzenlenmesi ile bulunur.

$$A=\frac{K_o.f(1+f)^n}{(1+f)^n-1}=\frac{K_o.f.q^n}{q^n-1} \qquad (13.10)$$

Yıllık ödemelerde faiz amortisman katsayısı

$$A/K_o=\frac{f.q^n}{q^n-1}$$

**ÖRNEK UYGULAMA 13.10:**

**Yıl sonu faiz-amortisman taksiti hesabı**

Bugün yapılan 100000 birim TL yatırımın, % 7 bileşik faizle 20 yılda amorti edilmesi için her yılın sonunda ödenmesi gereken faiz-amortisman taksiti nedir?

Denklem (13.10)'nin kullanılması ile bulunur.

$$A/K_o=\frac{f.q^n}{q^n-1}=0.0944$$

A=100000x0.944=9440

### 3.6.4. Doğrusal (Lineer) Artan Seri Ödeme Durumları

Lineer olarak artan ödeme söz konusu olduğu zaman bunun matiksel ifadesi şöyle verilebilir.

$$K_o = Q\frac{(1+f)^{n+1} - (1+nf+f)}{f^2(1+f)^n} \qquad (13.11)$$

da;

Q, 2Q, 3Q,...,nQ= Her yıl artan ödeme veya gelir
f=Faiz oranı
$K_o$= Şimdiki değer
$K_o/Q$ = Lineer artan ödemenin şimdiki değeri

Lineer artan ödemenin gelecekteki değer katsayısı ise şöyle ebilir.

$$\frac{K_n}{Q} = \left(\frac{K_o}{Q}\right).\left(\frac{K_n}{K_o}\right) \qquad (13.12)$$

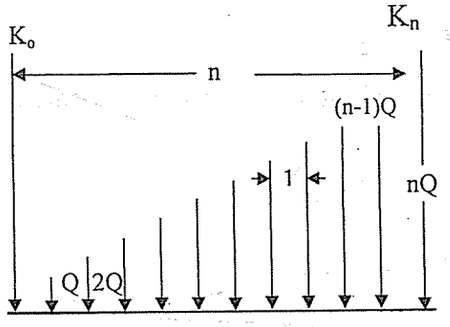
da;

$K_n/Q=(1+f)^n$ olduğu biliniyor.

Lineer artan seri aşağıdaki şekilde eşit artım serisine dönüşür.

$$A = Q.\left(\frac{K_o}{Q}\right)\left(\frac{A}{K_o}\right) \qquad (13.13)$$

da; $A/K_o$ Denklem (13.8)'ten alınacaktır.




Şekil 13.5. Lineer artan seri durumu



## 13.7. Ekonomik Analizde Proje Değerlendirmesi

Su kaynakları projelerinde ekonomik analiz yapılırken geleceğe yönelik bir kısmî tahminler de yapılır. Kıyaslama sonuçları bu tahminlerin güvenirliğine bağlıdır.

Bir kısım belirsizlikler şöyle sıralanabilir.

1)Proje hedeflerinde belirsizlik-Gelecekteki değişmelerin neden olduğu sosyal hedeflerdeki değişmeler.

2)Fiyat belirsizlikleri-Gelecekteki değişiklikler nedeniyle.

3)Tepki belirsizliği-Çevre halkının ortaya koyduğu tepkiler.

4)Değişim ve yenilik belirsizlikleri-Teknolojik değişmeler ve buluşlar neden olur.

5)Olasılıklı belirsizlikleri-Taşkın vb.. doğa olayları frekansları.

6)Politika belisizlikleri-İç ve dış politikalardaki değişiklikler.

Belirsizlikleri aza indirmek için bir kısım ek çalışmaların yapılması gerekir. Belki maliyetler belli bir oranda artırılır veya azaltılır, kıyaslama süresi kısa tutulur, amortisman bir risk payı eklenerek belirsizliklerin riski azaltılır.

Değerlendirmede bir ölçü olarak, masraflar sabit ise faydası en büyük, faydası sabit ise masrafı en küçük, ikisi de sabit değilse karı yani fayda masraf farkı en büyük olan alternatif seçilir.

Bu kısımda su kaynaklarının geliştirilmesinde fayda- masraf analizlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemler konu edilecektir.

### 13.7.1. Fayda-Masraf Oranı Yöntemi

Yöntem, proje karşılaştırma süresi boyunca elde edilecek faydaların şimdiki değeri ile aynı süre içinde projenin masraflarının şimdiki değeri arasındaki orana dayanmaktadır. Bu oranı en büyük yapan alternatif en uygun çözümdür.

$$R = \frac{F}{M} = \frac{BD(F)}{BD(M)} \qquad (13.14)$$

Burada;

R=Fayda-masraf oranı (Rantabilite)

BD=Bugünkü Değer
F=Karşılaştırma döneminde proje faydalarının bugünkü değeri
M=Karşılaştırma döneminde proje masraflarının bugünkü değeri

$$BD(F)=\sum_{t=1}^{n}(\frac{K_o}{K_n}).F_t \qquad (13.15)$$

$$BD(M)=\sum_{t=1}^{n}(\frac{K_o}{K_n}).M_t \qquad (13.16)$$

ıda;

$F_t$= t yılına ait fayda
$M_t$=t yılına ait masraf
BD(F) ve BD(M)= Fayda ve masrafın Bugünkü Değeri.

Masraf ve faydalar yıllara göre sabit ise basitleşir ve sadece k değerlerden oran bulunur. Bu oran projenin ekonomik rişliliği için çok önemlidir.

R<1 ise, proje ekonomik olarak elverişsiz

R=1 ise marjinal

R>1 ise uygulanabilir

R=5-10 ise çok elverişlidir

Fayda masraf oranı büyük ölçüde kullanılan faiz oranına ıdır. Uygulanan faiz oranı düştükçe fayda-masraf oranı yükselir, seldikçe düşer.

### 3.7.2. Net Bugünkü Değer (Net Fayda) Yöntemi

Net bugünkü değer yöntemi toplam fayda ile toplam masraf ındaki farkın bulunması esasına dayanır. Net bugünkü değer, enin karşılaştırma periyodunun başlangıcına ($t_o$) indirgenmiş günkü) toplam faydasından, indirgenmiş (bugünkü) toplam rafının çıkartılması ile bulunur.

$$F_n=F-M \qquad (13.17)$$

a



$$NBD=\sum_{t=1}^{n}(\frac{K_o}{K_n})(F_t-M_t) \qquad (13.18)$$

Burada;

$F_n$= Projenin net bugünkü değeri yada net faydası
F=Karşılaştırma periyodunda proje faydalarının bugünkü değeri
M=Karşılaştırma periyodunda proje masraflarının bugünkü değeri
NBD=Net şimdiki değer
$K_o/K_n = 1/(1+f)^n$ tek ödeme şimdiki değer katsayısı
n=Karşılaştırma süresi

Yıllık fayda ve masraf miktarları her yıl sabit ise bir yıllık değerler karşılaştırılır ve net şimdiki değer (F-M) olarak sabit bir şekilde tanımlanabilir. Net faydaların bugünkü değerleri hesaplanır, negatif değer veren alternatifler atılarak değerlendirmeye devam edilir.

### 13.7.3. Yıllık Fayda-Masraf Yöntemi

Bu yöntemin esası karşılaştırma dönemi süresinde elde edilecek yıllık eşdeğer faydaların, anılan süre içinde yapılacak yıllık eşdeğer masraflara bölünmesidir. Bu yöntemde fayda ve maliyetler yıllık olarak değerlendirilir. Vergi, muhasebe ve bütçe hesapları genellikle yıllık yapıldığı için kullanılışı pratiktir. Burada, fayda ve masraflar şimdiki değeri ile değil, bunların karşılaştırma süresinde üniform yayılmış yıllık eşdeğerleri ile işlem yapılır.

İzlenecek yol şöyle özetlenebilir:

1)*Karşılaştırma döneminin başının ($t_o$) seçimi*: Bu yatırımların bitirilerek işletmeye açıldığı yılın başlangıcı olarak seçilir.

2)*Toplam masrafın hesaplanması*: Projenin yıllık faiz-amortisman, yıllık işletme, bakım ve yenileme giderleri toplamı.

3)*Faydaları karşılaştırma dönemi başlangıcına getirmek*: Bunun için gelişme süresinin her yılına ait faydalar (projeli durumlardaki net gelir artışları) seçilen indirgeme (sosyal iskanto) oranında tek ödemelerde bugünkü değer faktörleri ($1/q_n$) ile indirgenerek karşılaştırma döneminin başlangıcına ($t_o$) getirilir.

4)*Düzgün yıllık faydaların gelişme süresi sonuna ve sonra başlangıcına getirme:* Gelişme süresinin sonu ile karşılaştırma dönemi sonu arasındaki düzgün olarak devam eden yıllık faydalar, önce yıllık

ödemelerde bugünkü değer faktörü ($q^n$-1/$fq^n$) ile indirgenerek. ;me süresinin sonuna, daha sonra da karşılaştırma döneminin angıcına ($t_o$) getirilir.

5)*Toplam proje faydasının yıllık eşdeğer faydaya üştürülmesi:* Karşılaştırma döneminin başlangıcına (to) getirilen am proje faydası, öngörülen faiz oranında analiz süresine ilişkin -amortisman faktörü ile çarpılarak ekonomik analiz (karşılaştırma yodu) süresine eşit yayılı (üniform) yıllık eşdeğer faydaya üştürülür. Bulunan bu yıllık eşdeğer fayda, yıllık masrafa inerek, yıllık fayda/masraf oranı bulunur.

### 3.7.4. İç Verim (Kârlılık) Oranı Yöntemi

İç karlılık ifadesi, karşılaştırma periyodunda net faydaların ünkü değerini sıfır yapan indirgeme (iskanto) ya da faiz oranı ak tanımlanır. Bu yöntem her yılın fayda masraf farkını zamana : dikkate alır. Yöntemin matematiksel ifadesi şöyle verilebilir.

$$M = \frac{F_1 - M_1}{1+\rho} + \frac{F_2 - M_2}{(1+\rho)^2} + \ldots\ldots + \frac{F_n - M_n}{(1+\rho)^n} \qquad (13.19)$$

Burada;

M=Projenin masrafı

F-M= Her yılı net faydası

ρ=İç verim oranı

M ve (F-M)'ler belli olduğuna göre deneme yanılma ile ρ jenin verimliliği bulunur. En yüksek verililiği sağlayan proje lir.

Diğer bir deyimle projenin verim (İç karlılık) oranı erpolasyonla aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$I_k = f_D + (f_y - f_p)\frac{N_D}{N_D - N_Y} \qquad (13.20)$$

rada;

$I_k$=Projenin iç karlılık oranı

$f_D$=Seçilen indirgeme oranından düşük olanı

$f_Y$=Seçilen indirgeme oranından yüksek olanı

$N_D$=Düşük indirgeme oranının, toplam nakit akımı

$N_Y$=Yüksek indirme oranının, toplam nakit akımı.



Karşılaştırma periyodunun her yılında gerçekleşen yıllık yatırım masrafları, yıllık işletme masrafları, projeli ve projesiz durumdaki yıllık fayda (gelir) göz önüne alınarak her yıl için hesaplanan yıllık nakit akımları, seçilen iki indirgenme oranında, indirgenerek bugünkü değere ($t_o$) indirgenmiş deneme-yanılma yöntemi uygulanır. Oranlardan düşük olan toplam indirgenmiş nakit akımını pozitif, yüksek olanı ise toplam indirgenmiş nakit akımını negatif yapacak biçimde seçilir. Projenin iç karlılık oranı bu sınır değerleri arasında olup, enterpolasyonla yukarıda verilen denklem biçimde yapılır.

Fayda-masraf oranı yöntemine göre işlemi uzundur. Daha ayrıntılı değerlendirme verir. Borç alınacaksa borcun faiz oranı, iç verim oranından hiçbir zaman fazla olmamalıdır.

Su kaynaklarında fayda-masraf oranı ve iç karlılık yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 13.7.5. Tek Amaçlı Projelerin Değerlendirme Esasları

Bir projenin seçiminde doğru karar verebilmek için bütün seçenekler araştırılmalı, veriler sağlıklı toplanmalı, değerlendirme yöntemleri iyi seçilmeli, sonuçlar kontrol edilmelidir.

Tek amaçlı projelerin ekonomik analizleri yapılırken ve değerlendirilirken her seçenek için göz önünde bulundurulması gereken bir kısım özellikler aşağıda özetlenmiştir

1) Projenin tanıtılması

2) İlk yatırım miktarının belirlenmesi

3)Yıllık masrafların belirlenmesi

4)Sağlanacak ana faydaların hesaplanması

5)Fayda ve masrafların uygun bir yöntemle karşılaştırılması

6)Tali faydaların ortaya konması.

### 13.7.6. Çok Amaçlı Projelerin Değerlendirilmesi Esasları

Genellikle çok amaçlı olarak yapılan su kaynakları projelerinin değerlendirilmesinde *masraf dağılımı* için, toplam masrafların proje amaçlarına ayrılması gerekir. Bu dağılım işlemi yatırım, işletme,

kım ve onarım maliyetlerinde yapılması gerekir. Masraf ğılımında en çok ayrılabilir masraflar ile kalan faydalar farkı ntemi kullanılır.

Masraflar amaçlara dağılırken *genellikle en düşük alternatif asraf* kullanılır. Çok amaçlı projelerde, projenin bütün faydaları, asraflardan fazla olmalıdır.

### 13.7.7. Su Kaynakları Planlamasında Proje Seçimi

Proje seçiminde göz önünde tutulması gereken hususlar*; teknik ellikler, proje ekonomisi, ulusal ekonomi ve sosyal etmenler* olmak ere gruplandırılabilir.

Teknik özellikler - teknik bakımdan proje amaçlarını sağlama proje maliyetidir.

Ulusal ekonomik özellikler-Ülke genel ekonomisi ile olan şkileri ve diğer ekonomik kesimlere katkısı, genel istihdam runlarına, vergi gelirlerine, ulusal gelir ve ödeme dengesine tkılarının analizini ifade eder.

Sosyal etmenler- Projenin toplumsal kalkınma, toplumun can mal varlığına katkılarını değerlendirir.

Proje ekonomisi- Proje alternatifleri değerlendirme yöntemleri değerlendirilerek sonuçlar analiz edilir. Değerlendirme öntemlerinin sonuçları aynı yerde birleşmeyebilirler. Aynı zamanda iz oranına bağlı olarak parametrelerin bir kısmı da değişebilir. üksek faiz oranında ekonomik gözükmeyen projeler faiz oranının işürülmesi ile ekonomik duruma dönüşebilirler.

Bu sıralanan nedenlerle alternatif projeler içinden proje seçimi apılırken fayda- masraf parametrelerine ek olarak, projelerin nansmanı için ülkede mevcut yatırım fonlarının sınırlılık durumu, de mevcut hazır projelerin sayısı ve durumu, uygun faiz oranı vb.. menler dikkate alınır.

### ÖRNEK UYGULAMA 13.11:

**Proje faydalarına ilişkin uygulama**

Sulanması düşünülen bir proje alanında tespit edilen bitki kiliş deseni, verimi, fiyatı ve masrafları gibi halihazır durumu





Çizelge 13.6 de, gelecekteki projeli koşulda bitki deseni, verim, fiyat ve dekara masrafları ise Çizelge 13.7 de verilmiştir. Toplam alan 4300 hektar. *Not: çizelge bilgileri uygulama amacıyla hayali olarak türetilmiştir.*

*İstenen:*

Proje alanına ilişkin faydanın hesaplanması.

### Çözüm 13.11:

Çizelgelerde verilen bilgiler kullanılarak çizelge başlıklarındaki sütun işlemlerine bağlı olarak çizelgeler doldurulmuş ve Çizelgelerin son sütunlarındaki tartılı net gelirler belirlenmiştir.

Proje uygulaması esnasında fiziksel tesisler için kullanılacak %4 alan ayrılarak 172 ha proje alanı 4128 ha olarak alınmıştır. Ayrıca nadas vs.. gibi durumlar için boş alan bırakılmamıştır (Balaban, 1986).

Çizelge 13.6 v3 13.7 değerlerinden projeli – projesiz gelir farkı Çizelge 13.5'te verilmiştir.

Çizelge 13.5. Proje ile Sağlanan Net Gelir Artışı Hesabı

| Projeli / Projesiz Durum | İşlem | Net Gelir |
|---|---|---|
| Projeden sonraki durum | 63210 B.TL/da x 41280 da | $26.093088 \times 10^8$ B.TL |
| Projeden önceki durum | 20172 B.TL/da x 43000 da | $8.67396 \times 10^8$ B.TL. |
| Proje Faydası | Fark (Projeli-projesiz) | $17.419128 \times 10^8$ B.TL |

Çizelge 13.6. **Projesiz** (Mevcut) Durumda Bitki Deseni ve Net Gelir

| Ürünler | Ekim Alanı, % | Verim Kg/da | Fiyat B.TL/Kg | Brüt Gelir B.TL | Masraf B.TL/d | Net Gelir B.TL/da | Tartı.Net Gelir B.TL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5)=(3)(4) | (6) | (7)=(5)-(6) | (8)=(2)(7) |
| 1)Hububat | 36 | 350 | 22 | 7700 | 2500 | 5200 | 1872 |
| 2)Pamuk | 10 | 225 | 40 | 9000 | 4000 | 5000 | 500 |
| 3)Sebze | 13 | 3000 | 30 | 90000 | 40000 | 50000 | 6500 |
| 4)Tütün | 10 | 150 | 300 | 45000 | 15000 | 30000 | 3000 |
| 5)Narenciye | 27 | 3000 | 50 | 150000 | 50000 | 10000 | 2700 |
| 6)Zeytin | 4 | 300 | 100 | 30000 | 10000 | 20000 | 800 |
| 7)Sebze (2.Ürün)i | 12 | 2500 | 30 | 75000 | 35000 | 40000 | 4800 |
| Ekili alan Toplam | 112. | | | | | | |
| Nadas | 0 | | | | | | |
| Boş alan | 0 | | | | | | |
| Toplam alan | 4300 ha | | | | | | 20172 |

Çizelge 13.7. **Projeli** Durumda Bitki Deseni ve Net Gelir

| r | Ekim Alanı % | Verim Kg/da | Fiyat B.TL/Kg | Brüt Gelir B.TL | Masraf B.TL/da | Net Gelir B.TL/da | Tartılı Net Gelir B.TL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (2) | (3) | (4) | (5)=(3)(4) | (6) | (7)=(5)-(6) | (8)=(2)(7) |
| ıbat | 15 | 500 | 22 | 11000 | 3600 | 7400 | 1110 |
| ık | 12 | 325 | 40 | 13000 | 6000 | 7000 | 840 |
| e | 28 | 3000 | 30 | 90000 | 40000 | 50000 | 14000 |
| n | 05 | 160 | 300 | 48000 | 18000 | 30000 | 1500 |
| nciye | 36 | 3250 | 50 | 162500 | 62500 | 100000 | 36000 |
| in | 4 | 350 | 100 | 35000 | 11000 | 24000 | 960 |
| e ün) | 20 | 2700 | 30 | 81000 | 37000 | 44000 | 8800 |
| lan n | 120 | | | | | | 63210 |
| | | | | | | | |
| an | | | | | | | |
| n alan | 4128 | | | | | | 63210 |

## NEK UYGULAMA 13.12:

### Proje masraflarına ilişkin uygulama

Çizelge13.8'de bir proje alanında yapılması gerekli görülen bir n bilgiler ve keşif bedelleri ile ayrıca gerekli diğer bilgiler de miştir.

Çizelge 13.8. Proje Masraf Hesaplarına İlişkin Bilgiler

| Yapımı Tasarlanan Proje Birimi | Keşif Bedeli (Birim TL) |
|---|---|
| Esik tipi bent | 650 |
| Borulu güzergah | 5000 |
| Ana trapez kanal | 5000 |
| Yedek kanallar | 3500 |
| Sel geçitleri | 250 |
| Priz kapakları | 300 |
| Kanal güzergahı açılması | 500 |
| Sekileme çalışmaları | 9000 |
| **TOPLAM** | 31400 |
| **Diğer bilgiler:** | |
| Çiftçi katılımı | Yok |
| Kamulaştırma | 600 |
| İnşaat Süresi | 2 yıl |
| Faiz oranı | %20 |



*İstenen:*

1) Tesis masrafı
2) Yatırım masrafı
3) Yıllık gider

**Çözüm 13.12:**

Çözüm aşamaları Çizelge 13.9'da verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi tesis masrafı, yatırım masrafı, yıllık gider ayrı, ayrı hesaplanmış ve çizelgede verilmiştir.

Çizelge 13.9. Çözüm Aşamaları

| Masraf çeşidi | Masraf Birim TL |
|---|---|
| 1). Tesis Masrafı | |
| Toplam keşif bedeli..... | 31400 |
| Beklenmeyen masraflar (%15)..... | + 4710 |
| Tesis masrafı..... | 36110 |
| 2) Yatırım masrafı | |
| Tesis masrafı..... | 36110 |
| Etüt ve mühendislik (%15)..... | 5416 |
| Kamulaştırma..... | + 600 |
| Proje Bedeli..... | 42126 |
| İnşaat süresindeki faiz (42126x0.2)..... | + 8425 |
| N=2/2=1yıl, f=0.20, $(q_n-1)=0.2$ | |
| Yatırım masrafı..... | 50551 |
| 3) Yıllık Gider | |
| Faiz ve amortisman (50551x0.200022)..... | 10111 |
| Proje ömrü n=50 yıl, f=0.20 | |
| Faiz amortisman faktörü=$fq^n/(q^n-1)=0.200022$ | |
| İşletme, bakım ve yenileme ..... | + ...722 |
| (Tesis masrafının %2'si) | |
| Yıllık gider..... | 10833 |
| | |

**EK UYGULAMA 13.13:**

**Fayda-Masraf analizlerine ilişkin uygulamalar**

Bir projenin yıllık ortalama masrafı 5 Birim TL ve yıllık net ise 6 Birim TL olarak belirlenmiştir.

*İstenen:*

Fayda-masraf oranı ile proje ekonomik açıdan lendirilecektir.

**Çözüm 13.13:**

Fayda-masraf oranı;

$$R=\frac{F}{M}=\frac{6\ birim}{5\ birim}=1.2$$

R=1.2>1 olduğundan proje ekonomik olup uygulanabilir.

**EK UYGULAMA 13.14:**

**Fayda-Masraf analizlerine ilişkin uygulamalar**

Bir projenin yıllara göre masraf ve fayda bilgileri Çizelge ) da verilmiştir. Faiz (iskanto) oranı %10, Proje ömrü 50 yıl, t süresi 3 yıl, geliştirme (developman) süresi 4 yıl olarak niştir.

*İstenen:*

a) Fayda-masraf oranı

b) Net bugünkü değer (net fayda)

c) İç karlılık oranı

**Çözüm 13.14:**

a) Fayda-masraf oranının belirlenmesi: Çizelge 13.10 un ilgili ılarında hesaplama sonuçları verilmiştir. Geliştirme süresi, proje i ve faiz oranı esas alınarak projenin ekonomik ömrü boyunca acak tüm masrafları ile faydaları bugünkü değere indirgenmişler onra fayda- masraf oranı bulunmuştur.

Hesaplamayı kolaylaştırmak için ilk 4 rakamdan sonraki 46 ı rakamları toplanarak yazılmış ve tek satır halinde bitirilmiştir.



***a) Fayda-Masraf oranı***

$R=\frac{F}{M}=\frac{78.04}{52.75}=1.48$ >1 olduğu için proje ekonomiktir, uygulanabilir.

Çizelge 13.10. İndirgenmiş Bugünkü Değerler Üzerinden Fayda-Masraf Oranı

| Yıl | Yıllık yatırım masrafı B.TL | Yıllık İşlme-bakım masrafı B.TL | Yıllık toplam masraf B.TL | $=1/q^n$ Bugünkü değere indir. kat. f=0.10 | İndirgenmiş masraf B.TL | Faydalar B.TL | $=1/q^n$ Bugünkü değere indir. kat. f=0.10 | İndirgenmiş fayda B.TL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| 1990 | 10. | 0.30 | 10.30 | 0.909 | 9.36 | - | - | - |
| 1991 | 20. | 0.70 | 20.70 | 0.826 | 17.10 | 3.60 | 0.826 | 2.97 |
| 1992 | 17. | 1.20 | 18.20 | 0.751 | 13.67 | 6.00 | 0.751 | 4.51 |
| 1993 | - | 1.70 | 1.70 | 0.683 | 1.16 | 9.50 | 0.683 | 6.49 |
| 1994 | | - | | - | - | - | - | |
| . | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | |
| 46 yıl Σ | - | 1.70 | | 6.744 | 11.46 | 9.50 | 6.744 | 64.07 |
| . | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | |
| 2040 | | | | | | | | |
| Toplam | | | | | 52.75 | | | 78.04 |
| Fayda-masraf oranı =78.04/52.75=1.48 | | | | | | | | |

*Not: Masraf ve fayda değerleri gerçek bir projeye ait değildir.*

Çizelgenin açıklanması:

1.Sütun: Projenin uygulamaya başladığı yılından itibaren ömrü.
2.Sütun: İnşaat süresi 3 yıl olduğu için 3 yıla ayrılan yatırım.
3.Sütun: İşletme bakım 4 yıldan sonra sabitleşmiştir.
4.Sütun: Sütun (2)+(3) toplamı
5.Sütun: f=0.10, n=50 yıla göre $K_o/K_n=1/q^n=1/(1+f)^n$
6.Sütun: Sütun (4)(5)
7.Sütun: Önceki çalışmalardan sağlanmış olması gereken değerler
8.Sütun : Sütun 5 'e benzer olarak bulunan katsayı
9.Sütun: Sütun (7)(8)

***b) Net bugünkü değer***

NBD=F-M=78.04-52.75=25.29 B.TL

Net fayda pozitif olduğu için proje uygulanabilir.

### *c) İç karlılık oranı analizi:*

Bu analiz için Çizelge 13.10 dan yararlanılarak Çizelge 13.11 oluşturulmuştur.

Çizelge 13.11 İç Karlılık Oranının Hesaplanması

| Yıl | Yıllık yatırım masrafı B.TL | Yıllık İşletme-bakım masrafı B.TL | Projeli Durum da yıllık gelir B.TL | Projesiz durum da yıllık gelir B.TL | Yıllık net gelir B.TL | Yıllık nakit akımı (2+3)-6 B.TL | $=1/q^n$ Bugünkü değere indir kat f=0.16 | İndirgenmiş nakit akımı | $=1/q^n$ Bugünkü değere indir kat f=0.20 | İndirgenmiş nakit akımı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
| 1990 | 10. | 0.30 | 12.00 | 12.00 | 0.00 | -10.30 | 0.862 | -8.88 | 0.833 | -8.58 |
| 1991 | 20. | 0.70 | 16.00 | 12.00 | 4.00 | -16.70 | 0.743 | -12.41 | 0.694 | -11.59 |
| 1992 | 17. | 1.20 | 18.00 | 12.00 | 6.00 | -12.20 | 0.640 | -7.81 | 0.579 | -7.06 |
| 1993 | - | 1.70 | 22.00 | 12.00 | 10.00 | 8.30 | 0.552 | 4.58 | 0.482 | 4.00 |
| 1994 | | - | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | | |
| 46 yıl | - | 1.70 | 22.00 | 12.00 | 10.00 | 8.30 | 3.448 | 28.62 | 2.402 | 19.94 |
| Σ | | | | | | | | | | |
| 2040 | | | | | | | | | | |
| Toplam | | | | | | | | 4.10 | | -3.29 |

$$\text{İç karlılık oranı} = 0.16 + (0.20-0.16)\frac{4.10}{4.10-(-3.29)} = 0.182$$

*Not: Masraf ve gelir değerleri gerçek bir projeye ait değildir.*

Çizelge 13.11'daki işlemler yine Çizelge 13.10'dakine benzer şekilde yapılmıştır. f=0.16 için indirgenmiş nakit akım toplamı 4.10 olarak bulunmuştur. Bu değer pozitif olduğundan, faiz oranı artırılarak,. f=0.20 için indirgenmiş nakit toplamı -3.29 olarak bulunmuştur. İlk faiz oranı için hesaplanan değer negatif olsaydı, ikinci faiz oranının ilk faiz oranına göre daha küçük alınması gerekirdi

İndirgenmiş nakit akım toplamını sıfır yapan faiz oranı iç karlılık oranını verecektir. Sıfır yapan faiz oranı f= % 18.2 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu iç karlılık oranı devlet tahvillerine kıyasla oldukça karlılık göstermektedir. Bu orana göre yatırım yapılabilir.





Çizelge 13.12 Ekonomik Analiz tablosu

| $1/(1+f)^n=1/q^n$ Çözüm değerleri | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| n | f=0.02 | f=0.03 | f=0.04 | f=0.05 | f=0.06 | f=0.07 |
| 1 | 0.980392 | 0.970874 | 0.961538 | 0.952381 | 0.943396 | 0.934579 |
| 2 | 0.942596 | 0.942596 | 0.924556 | 0.907029 | 0.889996 | 0.873439 |
| 3 | 0.942322 | 0.915142 | 0.888996 | 0.863838 | 0.839619 | 0.816298 |
| 4 | 0.923845 | 0.888487 | 0.854804 | 0.822702 | 0.792094 | 0.762895 |
| 5 | 0.905731 | 0.862609 | 0.821927 | 0.783526 | 0.747258 | 0.712986 |
| 6 | 0.887971 | 0.837484 | 0.790315 | 0.746215 | 0.704961 | 0.666342 |
| 7 | 0.870500 | 0.813092 | 0.759918 | 0.710681 | 0.665057 | 0.622750 |
| 8 | 0.853490 | 0.789409 | 0.730690 | 0.676839 | 0.627412 | 0.582009 |
| 9 | 0.836755 | 0.766417 | 0.702587 | 0.644609 | 0.591898 | 0.543934 |
| 10 | 0.820348 | 0.744094 | 0.675564 | 0.613913 | 0.558395 | 0.508349 |
| 11 | 0.804263 | 0.722421 | 0.649581 | 0.584679 | 0.526788 | 0.475093 |
| 12 | 0.788493 | 0.701380 | 0.624597 | 0.556837 | 0.496969 | 0.444012 |
| 13 | 0.773033 | 0.680951 | 0.600574 | 0.530321 | 0.468839 | 0.414964 |
| 14 | 0.757875 | 0.661118 | 0.577475 | 0.505068 | 0.442301 | 0.387817 |
| 15 | 0.743015 | 0.641862 | 0.555265 | 0.481017 | 0.417265 | 0.362446 |
| 16 | 0.728446 | 0.623167 | 0.533908 | 0.458112 | 0.393646 | 0.338735 |
| 17 | 0.714163 | 0.605016 | 0.513373 | 0.436297 | 0.371364 | 0.316574 |
| 18 | 0.700159 | 0.587395 | 0.493628 | 0.415521 | 0.350344 | 0.295864 |
| 19 | 0.686431 | 0.570286 | 0.474642 | 0.395734 | 0.330513 | 0.276508 |
| 20 | 0.672971 | 0.553676 | 0.456387 | 0.376889 | 0.311805 | 0.258419 |
| 21 | 0.659776 | 0.537549 | 0.438834 | 0.358942 | 0.294155 | 0.241513 |
| 22 | 0.646839 | 0.521893 | 0.421955 | 0.341850 | 0.277505 | 0.225713 |
| 23 | 0.634156 | 0.506692 | 0.405726 | 0.325571 | 0.261797 | 0.210947 |
| 24 | 0.621721 | 0.491934 | 0.390121 | 0.310068 | 0.246979 | 0.197147 |
| 25 | 0.609531 | 0.477606 | 0.375117 | 0.295303 | 0.232999 | 0.184249 |
| 26 | 0.597579 | 0.463695 | 0.360689 | 0.281241 | 0.219810 | 0.172195 |
| 27 | 0.585862 | 0.450189 | 0.346817 | 0.267848 | 0.207368 | 0.160930 |
| 28 | 0.574375 | 0.437077 | 0.333477 | 0.255094 | 0.195630 | 0.150402 |
| 29 | 0.563112 | 0.424346 | 0.320651 | 0.242946 | 0.184557 | 0.140563 |
| 30 | 0.552071 | 0.411987 | 0.308319 | 0.231377 | 0.174110 | 0.131367 |
| 31 | 0.541246 | 0.399987 | 0.296460 | 0.220359 | 0.164255 | 0.122773 |
| 32 | 0.530633 | 0.388337 | 0.285058 | 0.209866 | 0.154957 | 0.114741 |
| 33 | 0.520229 | 0.377026 | 0.274094 | 0.199873 | 0.146186 | 0.107235 |
| 34 | 0.510028 | 0.366045 | 0.263552 | 0.190355 | 0.137912 | 0.100219 |
| 35 | 0.500028 | 0.355383 | 0.253415 | 0.181290 | 0.130105 | 0.093663 |
| 36 | 0.490223 | 0.345032 | 0.243669 | 0.172657 | 0.122741 | 0.087535 |
| 37 | 0.480611 | 0.334983 | 0.234297 | 0.164436 | 0.115793 | 0.081809 |
| 38 | 0.471187 | 0.325226 | 0.225285 | 0.156605 | 0.109239 | 0.076457 |
| 39 | 0.461948 | 0.315754 | 0.216621 | 0.149148 | 0.103056 | 0.071455 |
| 40 | 0.452890 | 0.306557 | 0.208289 | 0.142046 | 0.097222 | 0.066780 |
| 41 | 0.444010 | 0.297628 | 0.200278 | 0.135282 | 0.091719 | 0.062412 |
| 42 | 0.435304 | 0.288959 | 0.192575 | 0.128840 | 0.086527 | 0.058329 |
| 43 | 0.426769 | 0.280543 | 0.185168 | 0.122704 | 0.081630 | 0.054513 |
| 44 | 0.418401 | 0.272372 | 0.178046 | 0.116861 | 0.077009 | 0.050946 |
| 45 | 0.410197 | 0.264439 | 0.171198 | 0.111297 | 0.072650 | 0.047613 |
| 46 | 0.402154 | 0.256737 | 0.164614 | 0.105997 | 0.068538 | 0.044499 |
| 47 | 0.394268 | 0.249259 | 0.158283 | 0.100949 | 0.064658 | 0.041587 |
| 48 | 0.386538 | 0.241999 | 0.152195 | 0.096142 | 0.060998 | 0.038867 |
| 49 | 0.378958 | 0.234950 | 0.146341 | 0.091564 | 0.057546 | 0.036324 |
| 50 | 0.371528 | 0.228107 | 0.140713 | 0.087204 | 0.054288 | 0.033948 |

Çizelge 13.12. (Devam)

| $1/(1+f)^n = 1/q^n$ Çözüm Değerleri | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| n | f=0.08 | f=0.09 | f=0.10 | f=0.11 | f=0.12 | f=0.13 |
| 1 | 0.925926 | 0.917431 | 0.909091 | 0.900901 | 0.892857 | 0.884956 |
| 2 | 0.857339 | 0.841680 | 0.826446 | 0.811622 | 0.797194 | 0.783147 |
| 3 | 0.793832 | 0.772183 | 0.751315 | 0.731191 | 0.711780 | 0.693050 |
| 4 | 0.735030 | 0.708425 | 0.683013 | 0.658731 | 0.635518 | 0.613319 |
| 5 | 0.680583 | 0.649931 | 0.620921 | 0.593451 | 0.567427 | 0.542760 |
| 6 | 0.630170 | 0.596267 | 0.564474 | 0.534641 | 0.506631 | 0.480319 |
| 7 | 0.583490 | 0.547034 | 0.513158 | 0.481658 | 0.452349 | 0.425061 |
| 8 | 0.540269 | 0.501866 | 0.466507 | 0.433926 | 0.403883 | 0.376160 |
| 9 | 0.500249 | 0.460428 | 0.424098 | 0.390925 | 0.360610 | 0.332885 |
| 10 | 0.463193 | 0.422411 | 0.385543 | 0.352184 | 0.321973 | 0.294588 |
| 11 | 0.428883 | 0.387533 | 0.350494 | 0.317283 | 0.287476 | 0.260698 |
| 12 | 0.397114 | 0.355535 | 0.318631 | 0.285841 | 0.256675 | 0.230706 |
| 13 | 0.367698 | 0.326179 | 0.289664 | 0.257514 | 0.229174 | 0.204165 |
| 14 | 0.340461 | 0.299246 | 0.263331 | 0.231995 | 0.204620 | 0.180677 |
| 15 | 0.315242 | 0.274538 | 0.239392 | 0.209004 | 0.182696 | 0.159891 |
| 16 | 0.291890 | 0.251870 | 0.217629 | 0.188292 | 0.163122 | 0.141496 |
| 17 | 0.270269 | 0.231073 | 0.197845 | 0.169633 | 0.145644 | 0.125218 |
| 18 | 0.250249 | 0.211994 | 0.179859 | 0.152822 | 0.130040 | 0.110812 |
| 19 | 0.231712 | 0.194490 | 0.163508 | 0.137678 | 0.116107 | 0.098064 |
| 20 | 0.214548 | 0.178431 | 0.148644 | 0.124034 | 0.103667 | 0.086782 |
| 21 | 0.198656 | 0.163698 | 0.135131 | 0.111742 | 0.092560 | 0.076798 |
| 22 | 0.183941 | 0.150182 | 0.122846 | 0.100669 | 0.082643 | 0.067963 |
| 23 | 0.170315 | 0.137781 | 0.111678 | 0.090693 | 0.073788 | 0.060144 |
| 24 | 0.157699 | 0.126405 | 0.101526 | 0.081705 | 0.065882 | 0.053225 |
| 25 | 0.146018 | 0.115968 | 0.092296 | 0.073608 | 0.058823 | 0.047102 |
| 26 | 0.135202 | 0.106393 | 0.083905 | 0.066314 | 0.052521 | 0.041683 |
| 27 | 0.125187 | 0.097608 | 0.076278 | 0.059742 | 0.046894 | 0.036888 |
| 28 | 0.115914 | 0.089548 | 0.069343 | 0.053822 | 0.041869 | 0.032644 |
| 29 | 0.107328 | 0.082155 | 0.063039 | 0.048488 | 0.037383 | 0.028889 |
| 30 | 0.099377 | 0.075371 | 0.057309 | 0.043683 | 0.033378 | 0.025565 |
| 31 | 0.092016 | 0.069148 | 0.052099 | 0.039354 | 0.029802 | 0.022624 |
| 32 | 0.085200 | 0.063438 | 0.047362 | 0.035454 | 0.026609 | 0.020021 |
| 33 | 0.078889 | 0.058200 | 0.043057 | 0.031940 | 0.023758 | 0.017718 |
| 34 | 0.073045 | 0.053395 | 0.039143 | 0.028775 | 0.021212 | 0.015680 |
| 35 | 0.067635 | 0.048986 | 0.035584 | 0.025924 | 0.018940 | 0.013876 |
| 36 | 0.062625 | 0.044941 | 0.032349 | 0.023355 | 0.016910 | 0.012279 |
| 37 | 0.057986 | 0.041231 | 0.029408 | 0.021040 | 0.015098 | 0.010867 |
| 38 | 0.053690 | 0.037826 | 0.026735 | 0.018955 | 0.013481 | 0.009617 |
| 39 | 0.049713 | 0.034703 | 0.024304 | 0.017077 | 0.012036 | 0.008510 |
| 40 | 0.046031 | 0.031838 | 0.022095 | 0.015384 | 0.010747 | 0.007531 |
| 41 | 0.042621 | 0.029209 | 0.020086 | 0.013860 | 0.009595 | 0.006665 |
| 42 | 0.039464 | 0.026797 | 0.018260 | 0.012486 | 0.008567 | 0.005898 |
| 43 | 0.036541 | 0.024584 | 0.016600 | 0.011249 | 0.007649 | 0.005219 |
| 44 | 0.033834 | 0.022555 | 0.015091 | 0.010134 | 0.006830 | 0.004619 |
| 45 | 0.031328 | 0.020692 | 0.013719 | 0.009130 | 0.006098 | 0.004088 |
| 46 | 0.029007 | 0.018984 | 0.012472 | 0.008225 | 0.005445 | 0.003617 |
| 47 | 0.026859 | 0.017416 | 0.011338 | 0.007410 | 0.004861 | 0.003201 |
| 48 | 0.024869 | 0.015978 | 0.010307 | 0.006676 | 0.004340 | 0.002833 |
| 49 | 0.023027 | 0.014659 | 0.009370 | 0.006014 | 0.003875 | 0.002507 |
| 50 | 0.021321 | 0.013449 | 0.008519 | 0.005418 | 0.003460 | 0.002219 |



Çizelge 13.12. (Devam)

| $1/(1+f)^n = 1/q^n$ Çözüm Değerleri | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| n | f=0.14 | f=0.15 | f=0.16 | f=0.17 | f=0.18 | f=0.19 |
| 1 | 0.877193 | 0.869565 | 0.862069 | 0.854701 | 0.847458 | 0.840336 |
| 2 | 0.769468 | 0.756144 | 0.743163 | 0.730514 | 0.718184 | 0.706165 |
| 3 | 0.674972 | 0.657516 | 0.640658 | 0.624371 | 0.608631 | 0.593416 |
| 4 | 0.592080 | 0.571753 | 0.552291 | 0.533650 | 0.515789 | 0.498669 |
| 5 | 0.519369 | 0.497177 | 0.476113 | 0.456111 | 0.437109 | 0.419049 |
| 6 | 0.455587 | 0.432328 | 0.410442 | 0.389839 | 0.370432 | 0.352142 |
| 7 | 0.399637 | 0.375937 | 0.353830 | 0.333195 | 0.313925 | 0.295918 |
| 8 | 0.350559 | 0.326902 | 0.305025 | 0.284782 | 0.266038 | 0.248671 |
| 9 | 0.307508 | 0.284262 | 0.262953 | 0.243404 | 0.225456 | 0.208967 |
| 10 | 0.269744 | 0.247185 | 0.226684 | 0.208037 | 0.191064 | 0.175602 |
| 11 | 0.236617 | 0.214943 | 0.195417 | 0.177810 | 0.161919 | 0.147565 |
| 12 | 0.207559 | 0.186907 | 0.168463 | 0.151974 | 0.137220 | 0.124004 |
| 13 | 0.182069 | 0.162528 | 0.145227 | 0.129892 | 0.116288 | 0.104205 |
| 14 | 0.159710 | 0.141329 | 0.125195 | 0.111019 | 0.098549 | 0.087567 |
| 15 | 0.140096 | 0.122894 | 0.107927 | 0.094888 | 0.083516 | 0.073586 |
| 16 | 0.122892 | 0.106865 | 0.093041 | 0.081101 | 0.070776 | 0.061937 |
| 17 | 0.107800 | 0.092926 | 0.080207 | 0.069317 | 0.059980 | 0.051964 |
| 18 | 0.094561 | 0.080805 | 0.069144 | 0.059245 | 0.050830 | 0.043667 |
| 19 | 0.082948 | 0.070265 | 0.059607 | 0.050637 | 0.043077 | 0.036695 |
| 20 | 0.072762 | 0.061100 | 0.051385 | 0.043280 | 0.036506 | 0.030836 |
| 21 | 0.063826 | 0.053131 | 0.044298 | 0.036991 | 0.030937 | 0.025913 |
| 22 | 0.055988 | 0.046201 | 0.038188 | 0.031616 | 0.026218 | 0.021775 |
| 23 | 0.049112 | 0.040174 | 0.032920 | 0.027022 | 0.022218 | 0.018299 |
| 24 | 0.043081 | 0.034934 | 0.028380 | 0.023096 | 0.018829 | 0.015377 |
| 25 | 0.037790 | 0.030378 | 0.024465 | 0.019740 | 0.015957 | 0.012922 |
| 26 | 0.033149 | 0.026415 | 0.021091 | 0.016872 | 0.013523 | 0.010859 |
| 27 | 0.029078 | 0.022970 | 0.018182 | 0.014421 | 0.011460 | 0.009125 |
| 28 | 0.025507 | 0.019974 | 0.015674 | 0.012325 | 0.009712 | 0.007668 |
| 29 | 0.022375 | 0.017369 | 0.013512 | 0.010534 | 0.008230 | 0.006444 |
| 30 | 0.019627 | 0.015103 | 0.011648 | 0.009004 | 0.006975 | 0.005415 |
| 31 | 0.017217 | 0.013133 | 0.010042 | 0.007696 | 0.005911 | 0.004550 |
| 32 | 0.015102 | 0.011420 | 0.008657 | 0.006577 | 0.005009 | 0.003824 |
| 33 | 0.013248 | 0.009931 | 0.007463 | 0.005622 | 0.004245 | 0.003213 |
| 34 | 0.011621 | 0.008635 | 0.006433 | 0.004805 | 0.003598 | 0.002700 |
| 35 | 0.010194 | 0.007509 | 0.005546 | 0.004107 | 0.003049 | 0.002269 |
| 36 | 0.008942 | 0.006529 | 0.004781 | 0.003510 | 0.002584 | 0.001907 |
| 37 | 0.007844 | 0.005678 | 0.004121 | 0.003000 | 0.002190 | 0.01602 |
| 38 | 0.006880 | 0.004937 | 0.003553 | 0.002564 | 0.001856 | 0.001347 |
| 39 | 0.006035 | 0.004293 | 0.003063 | 0.002192 | 0.001573 | 0.001132 |
| 40 | 0.005294 | 0.003733 | 0.002640 | 0.001873 | 0.001333 | 0.000951 |
| 41 | 0.004644 | 0.003246 | 0.002276 | 0.001601 | 0.001129 | 0.000799 |
| 42 | 0.004074 | 0.002823 | 0.001962 | 0.001368 | 0.000957 | 0.000671 |
| 43 | 0.003573 | 0.002455 | 0.001692 | 0.001170 | 0.000811 | 0.000564 |
| 44 | 0.003135 | 0.002134 | 0.001458 | 0.001000 | 0.000687 | 0.000474 |
| 45 | 0.002750 | 0.001856 | 0.001257 | 0.000854 | 0.000583 | 0.000398 |
| 46 | 0.002412 | 0.001614 | 0.001084 | 0.000730 | 0.000494 | 0.000335 |
| 47 | 0.002116 | 0.001403 | 0.000934 | 0.000624 | 0.000418 | 0.000281 |
| 48 | 0.001856 | 0.001220 | 0.000805 | 0.000533 | 0.000355 | 0.000236 |
| 49 | 0.001628 | 0.001061 | 0.000694 | 0.000456 | 0.000300 | 0.000199 |
| 50 | 0.001428 | 0.000923 | 0.000599 | 0.000390 | 0.000255 | 0.000167 |

# BÖLÜM 14
# SU KAYNAKLARI PLANLAMASINDA SİSTEM ANALİZİ

## Genel

Su tüm canlıların yapısındaki ana unsur ve hidrolojik enerji ağı olması nedeniyle doğal kaynakların en önemlilerinden idir. Su kaynaklarının planlaması ve işletilmesinde temel sorun ana ve yere bağlı olarak su kaynağının ve bundan rlanabilmesi için gerekli sermayenin saptanmasıdır. Su ile ilgili sorunlara doğru çözüm getirme tarımsal ve yapısal amaçlar için ik önem arz eder.

İnsanların en eski uğraşlarından birisi su kaynaklarının en iyi anımını sağlamak için sistem geliştirme çabaları olmuştur.: *Sistem :nli olarak birbirini etkileyen, birbirine bağlı olarak hareket eden nler kümesi olarak tanımlanır*. Bütün cisimler tam olarak hareketli dinamiktir). Ancak gerçek sisteme ilişkin bir model yapılırken, bu :ek çok zaman unutulur. Geliştirilen bu sistemler, nüfus artışına, şme ve bunların doğuracağı zorlamaya bağlı olarak sürekli değişim terir.

Tarımsal çalışmada sistem arama, artan nüfusun doyurulmasını açlamaktadır. Tarımsal üretimde doğal yağış miktarı ve süresi meli sorun yaratır. Doğal yağışların yetersiz ve düzensiz olduğu ak koşullarda bulunan bölge veya ülkeler bundan üretim ersizliği nedeniyle etkilenir. Eğer yöre yağışlı ise orada yaşayanlar ı sistem, akarsular ve onların doğuracağı sonuçlardır. Günümüz lı ve çağdaş taşımacılığı ve hatta endüstrideki uzmanlaşma, elerin çoğunu arazi ve su kaynaklarını en uygun biçimde lanmaya zorlamakta ve öteki ülkeler için, tarımsal üretimi ırmaya itmektedir. Bu yolla yeni sistemler gelişmekte ve gelişen temlerde sürekli değişmelere uğramaktadır.

Doğal su kaynakları sisteminin bozulması; nehir yataklarının ğal durumunun değişmesine, canlı hayatının felce uğramasına, hızla an dünya nüfusunun tek gıda kaynağı olan tarım alanlarının





erozyonuna neden olmaktadır. Su kaynakları sistemi ise fiziksel, jeolojik, biyolojik , ekonomik, sosyolojik, politik, yasal ve tarımsal amaçlı bütün görüş noktalarını içermektedir. Söz konusu sistemin sayısal ve sayısal olmayan boyutlarını olanak oranında geniş bir biçimde tanımayan ve bunları bütünleştirmeyen bir su kaynakları sistem mühendisi, bilgi birikimini en iyi bir biçimde uygulama için kullanamaya bilir. Bu da sonuç olarak ülke kaynaklarının kullanılması açısından çok tehlikeli olur ve yanlış işletmeye yöneltir.

Su kaynakları planlaması , onun analizi ve çözümü geniş görüşlü yaklaşıma gereksinme gösteren, karmaşık bir sorundur. Plan, daima bir zaman periyodu içinde değişme gösteren hareketli bir özelliğe sahip olmak durumundadır.

Sistem planlaması, olanak oranında geniş sayıdaki planların karşılaştırmasını ve bunların arasından sistem amaçlarını en iyi biçimde gerçekleştiren planın seçilmesini gerektirir. Bu durumda, sistem uygun (optimal) denir. Bunun belirlenmesi işlemi ise sistem mühendisliği olarak bilinir.

Sistem mühendisliği metodolojisinde, sistem analizinin alışıla gelmiş aşamaları şöyle sıralanabilir.

1) Sorunun ortaya konması

2) Amacın seçilmesi ve matematiksel fonksiyonun belirlenmesi

3) Amaçları içeren sistemin sentezi (modelin oluşturulması)

4) Sistemlerin analizi (model geçerliliğinin sağlanması ve modelin çalıştırılması)

5) Optimal (en iyi) seçeneklerin (alternatiflerin) tanıtılması (uygun kontrol yönetim politikasının saptanması)

6)Modelin çalıştırılması ve belirtilen amacın saptanması .

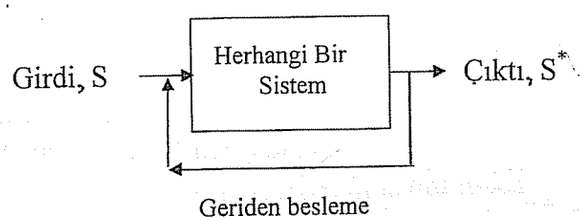
Bu işlemlerin sırayla yerine getirilmesi küçük sorunlar için kolaydır. Ancak sorunların çoğu karmaşık sistemlere sahiptir. Kullanılan seçenekler, olası sonuçlardan birini verir. Sorun bu seçenekli çözümler arasından en iyisini seçmektir.

Örneğin toprak suyu kontrol sistemlerinin planlamasında sorun, genellikle geniş anlamıyla tarımsal üretim içinde düşünülür. Üretimin maksimum kılınması ve bitki kaybının minimuma düşürülmesini amaçlayan bu sistem, fiziksel, ekonomik ve sosyal görüşlere bağlı şekilde daha doğrulukta formüle edilebilir. Bun gün

ızlı bilgi sayarlarla sistem mühendisliği çalışmalarının çözümü olaylaşmıştır. Ancak sistem analizinin ve yöneylem yöntemlerinin iyi ilinmesi gerekir.

## 4.2. Sistem ve Sistem Mühendisliği Kavramı

Özle koşullara, kısıtlayıcı koşullara ve girdi-çıktı ilişkilerine ağlı olarak birçok yönlerden sistem analizi yapılabilir. Sistem düzenli larak birbirini etkileyen, birbirine bağlı hareket eden cisimler kümesi lduğuna göre bir sistem şematik olarak Şekil 14.1'deki gibi anımlanabilir.




Şekil 14.1. Sistemin şematik gösterimi

Benzer herhangi bir gerçek sistem şöyle nitelendirilebilir.

1) Cismin herhangi bir kısmının, sistemin sınırı veya sistemin bir parçası olup olmadığını belirten bir kuralın saptanması

2) Girdi-çıktı tanımının çevre ile olan ilişkisinin saptanması

3) Sistem elemanları arasındaki ilişkilerin tanımı, girdi-çıktı ve çıktı-girdi işlevleri arasında birbirine olan dışsal etkilerin (geri beslemenin) saptanması.

**Sistem mühendisliği:** *Sistem mühendisliği yasa, ahlak, ekonomi, kaynaklar, doğal ve fiziksel yasalardan oluşan kısıtlayıcı etmenlere bağlı olarak, karar planlayıcıların ve vericilerin tüm amaçlarını en iyi biçimde temsil edecek, geniş sayıdaki uygun seçeneklerden (farklı görüşlerden) en uygununu seçme bilimi ve sanatıdır.*

Sistem mühendisliği oldukça karmaşık ileri düzeyli analitiksel yöntemlere gerek duyulmaktadır. Uygulamalı matematiğin bir kolu olan yöneylem araştırması sistem mühendislerine, karmaşık matematiksel programlama sorunlarının çözümüne ışık tutan güçlü yöntemler sunmaktadır.





**Matematiksel programlama**: Herhangi bir su kaynağı ve hidroloji sorununda da bu metodolojiyi kullanarak "optimal çözümü" sağlamak için, sistemde amaç ve kısıtlayıcı etmenleri belirtmek gereği vardır. Bu fiziksel sistemi temsil eden matematiksel model ile yapılır. Matematiksel model, gerçek sistemi temsil ve tarif eden bir grup denklemlerden oluşur. Bu grup denklemler sorunun değişik görüşlerini yansıtır. Sistem elemanlarının ve bütün kısımların fonksiyonel (işlevsel) ilişkilerini gösterir, kısıtlayıcı koşulların etkinlik ölçmesini kurar ve sorun ile ilgili hangi bilgilerin sayısal olarak derlenmesi gerektiğini gösterir.

İlgilenilen sistemin doğasına bağlı olarak bu denklemler cebrik veya diferansiyel biçimde olabilir. Aynı zamanda sistemin çözümünü sağlamak için, fiziksel sistemi en uygun biçimde temsil edecek diğer matematiksel model de sunulur. Sonra matematiksel sisteme uygun bir çözüm bulmada, bu modelleşme işleminin zor ve tehlikeli olduğu, çok dikkatli olarak yapılması gerektiği açık olarak görülmektedir.

Eğer su kaynakları sisteminin oluşu ve özellikleri, matris sistemiyle tanımlamak istenirse şöyle yazılabilir.

$$S = \begin{bmatrix} L \\ T \\ Q \end{bmatrix} \qquad (14.1)$$

Burada; L, T, ve Q bir vektör olup üçlü koordinat (x,y,z) sisteminde L= Su kaynakları yerini, T= Zaman içinde kaynağın sayısal olarak oluşunun olasılık dağılımlarının parametrelerini ve Q = Suyun mineral ve organik madde miktarını, ısı ve berraklık gibi kalitelerini temsil eder.

Su kaynakları geliştirilmesi, projenin amaçlarına bağlı olarak oluşturulan orijinal durum matrisi S'nin yeni bir durum matrisi $S^*$ 'ye dönüştürülmesini gerektirir.

$$S^* = \begin{bmatrix} L^* \\ T^* \\ Q^* \end{bmatrix} \qquad (14.2)$$

Burada; L*,T* ve Q*; L, T ve Q'nin yeni durumlarını tanımlar ve var olan durumun istenen duruma dönüşümü, dönüşüm matrisi θ ile sağlanır (Şekil 14.1).

$$S^*=\theta.S \qquad (14.3)$$

urada, $\theta[\theta_1, \theta_2,..., \theta n]$ projenin amaçlarını sağlayan kaynağın eliştirilmesi, kullanılması, kontrolü ve sistemin düzenlenmesinde erçek bir yüklemdir. Sorunun planlamasında ve uygulamasında inimum yatırımla maksimum yararı sağlayan θ'nin seçimi söz onusudur. θ'nin seçimi de optimizasyon yöntemiyle olmaktadır.

## 4.3. Optimizasyon Problemi

Optimizasyon, sistemin kısıtlayıcı koşullarına bağlı olarak maç fonksiyonunu maksimum (minimum) yapan karar değişkenleri ümesini seçme yönetimi olarak bilinmektedir. Genel olarak ptimizasyon probleminin matematiksel tanımı şöyle yapılmaktadır.

Amaç fonksiyonunu $f(x_1, x_2, .....,x_n)$ maksimum (minimum apacak olan karar değişkenleri kümesini $x_1^*, x_2^*,..., x_n^*$ seçme işlemi öyle ifade edilebilir.

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Max (min)} f(x_1,x_2,...,x_n) \qquad (14.4)$$

$$x_1,...,x_n$$

Kısıtlar:

$$\left.\begin{aligned} g1\,(x1,x2,...,xn) &= b1 \\ g2\,(x1,x2,...,xn) &= b2 \\ &\\ gn\,(x1,x2,...,xn) &= bn \end{aligned}\right\} \qquad (14.5)$$

$$x_j>0 \quad (j=1,...,n)$$

Burada; $b_1,...,b_m$ =Bilinen sağ taraf değerleri

$x_1,...,x_n$ =Sistemin girdi değerleridir.

Denklem sistemi (14.5) teki eşitlik hali ( $\leq, =, \geq$ ) işaretlerinden birini alır.





Kısıtlayıcı koşulların ve amaç fonksiyonu değişkenlerinin doğasına bağlı olarak yukarıda tanımlanan Denklem (14.4) ve (14.5) şöyle sınıflandırılabilir.

1) Doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (nonlineer) sistem

2) Belirli (deterministik) ve olasılık (probabilistik) sistem

3) Durgun (statik) ve hareketli (dinamik) sistem

4) Kümelenmiş (Lumped) ve dağılmış (distributed) parametreler sistemi.

Aşağıda ayrıntısına girmeden bu grupların genel tanımları yapılacak ve bunların çözümünde kullanılacak optimizasyon teknikleri sıralanacaktır.

### 14.3.1. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemler

Doğrusal varsayılan sistemler için geliştirilen doğrusal model, doğrusal denklemlerle tanımlanır. Doğrusal olmayan sistemde amaç fonksiyonu doğrusal olmayan bir denklemle, eğer kısıtlayıcılar varsa, doğrusal veya doğrusal olmayan denklemlerle gösterilir.

Doğrusal denklemler:

$$y=ax_1+bx_2+cx_3 \qquad (14.6)$$

Doğrusal olmayan denklemler:

$$y = ax_1^2 + bx_2x_3 \qquad (14.7)$$

$$y = \log x_1 \qquad (14.8)$$

$$y = \sin x_1 + \log x_2 \qquad (14.9)$$

### 14.3.2. Belirli ve Olasılık Sistem

Belirli sistem girdi-çıktı ilişkileri ile tanımlanır. Belirli modeller veya model elemanları ve bunlardaki değişkenler ve parametreler belli sabit sayı ve sayılarla ifade edilir. Eğer girdi-çıktı ilişkileri tam olarak bilinirse, doğal sistemin yeterli olarak anlaşıldığı

ıyılır. Sayısal (kantitatif) hidroloji belirli sistem içerir. Çünkü -çıktı ilişkileri ölçülebilir ve modellenebilir. Bu, mühendislik lamalarında çok önemlidir.

Olasılık sistem, sezinleme temeline dayanır. Kesinlik enemez. Girdi-çıktı ilişkilerini ve elemanların yapısını nlamak için kullanılan değişkenler veya parametreler belirgin ldir. Olasılık sistemi tam bir sezinleme sağlamaz , ancak belirli lar içinde olasılıklı değerleri saptayabilir.

### 4.3.3. Durgun ve Hareketli Sistem

Hareketli sistemlerin sabit sistemlerden farkı, zamanın bir işken olarak hareketli modelde yer almasıdır. Sabit sistemde bir yodu içinde modeller değişmez.

Statik modellerde, çoğu kez doğrusal programlama genellikle imal kontrole ve doğrusal programlama ise matematiksel gramlamaya karşılık bir deyimdir.

Genel olarak durgun (statik) modeller matematiksel olarak le tanımlanabilir.

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } f(x_1,x_2,...,x_n) \qquad (14.10)$$

$x_1,...,x_n$

Kısıtlayıcılar:

$$g_i(x_1,x_2,...,x_n)=0 \qquad i=1,...,m \qquad (14.11)$$

Dinamik modellerde, statik modelin aksine, zaman bir ğişken olarak model değişkenleri arasına girer. Genellikle tüm anlamalar dinamik özelliktedir.

Genel olarak dinamik modellerin matematiksel tanımı şöyle azılabilir.

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min} \int_b^t f(x_1,x_2,...,x_n, u_1,...,u_m, t)\, dt \qquad (14.12)$$





$u_1,..,u_m$

Kısıtlar:

$$\frac{d^n}{dt^n} x_i\,(x_1,...,x_n, u_1,...,u_m, t) \qquad (14.13)$$

$$g_i\,(x_1,...,x_n, u_1,...,u_m, t) \qquad i=1,...,m$$

$$x_i\,(t_o)= x_i^o \qquad i=1,...,m$$

### 14.3.4. Kümelenmiş ve Dağılmış Parametreler Sistemi

Kümelenmiş parametreler sisteminde yer koordinatları yok edilmekte ve benzetilen bütün noktalar uzayda tek bir nokta olarak varsayılmaktadır. Başka bir deyişle kümelenmiş parametreler sisteminde değişmelerin olmadığı varsayılmakta ve farklı parametreler ve sistemin bağlı değişkenlerinin, sistemin her yerinde aynı (homojen) olduğu düşünülmektedir. Kümelenmiş parametreler sistemi aynı zamanda kapalı sistem olarak ta adlandırılır. Burada giriş ve çıkış ölçülebilir veya sezinlenebilir. Bununla birlikte, onlar arasında birbirine etki eden işlemler genellikle gözlenemezler. Yeraltı suyu problemlerinin formüle edilmesinde ve çözümünde yer koordinatı sistemine gerek yoktur. Pratik bir örnek olarak, belli bir zaman süresi içinde bir kuyuda suyun yükselmesi, kuyu bölgesine ve yerine bakmaksızın kuyunun beslenmesi olarak düşünülür ve bu şekilde değerlendirilir. Benzer örnekler bir kısım akarsu beslenmelerinde ve yağış- akış modellerinde de verilebilir. Bunlara ek olarak deneysel denklemlerle bulunan evapotranspirasyon sezinlemesi de bu sistem içinde tanımlanabilir. Yine burada zaman değişkeni önemli, yer değişkeni önemli değildir. Bu sistem optimizasyon çalışmalarında çok kullanılır.

Dağılmış parametreler sistemi, sistem içinde her noktanın değişkenlikler göstermesi temeline dayanır. Matematiksel çözüm için başlangıç bilgileri, bütün noktaların özellikleri ile birlikte sınırlarını da içermek zorundadır. Örneğin, yeraltı suyunun geçirgen bir ortamdan akışı ancak bu özellikleri içeren kısmî diferansiyel denklemlerle çözülebilir Denklem 14.14). Burada yer koordinat sistemi, problemin oluşturulmasında ve çözümünde önemli bir noktadır.

Gerçek sistemlerin çoğu dağılmış parametreler sistemi olup şöyle tanımlanır.

$$t(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial P}{\partial r})) = S\frac{dP}{dt} \qquad (14.14)$$

Bu sayılan sistemlerin veya optimizasyon problemlerinin nü için geliştirilmiş birçok optimizasyon teknikleri vardır. Bunlar daki şekilde sınıflandırılabilir.

1) Matematiksel hesap
2) Doğrusal programlama
3) Doğrusal olamayan programlama
   a) Direk, dolaysız (doğrudan ) araştırma
   b) Lagrangian çarpanları
   c) Penaltı fonksiyonu
   d) Meyil fonksiyonu
   e) Geometrik programlama
   d) Ötekiler
4) Dinamik programlama
5) Benzetim (simülasyon)
6) İstatistiksel yaklaşım
7) Ötekiler

ıamik sistem ile ilgili kuramlar ve teknikler:

1) Kuyruk (quening) kuramı
2) Oyun (game) kuramı
3) Değişkenler hesabı (calculus of variations)
4) Şebeke (network) kuramı
5) Maksimum prensipler
6)Yarı doğrusallaştırma (quasilinearization)
7) Ötekiler

Su kaynaklarının planlamasında burada sıralanmayan veya ırada olmayan yöntemlerden biri, problemin karakterine göre seçilir : sorun çözülmeye çalışılır. Burada bunlardan bazıları izleyen sımda öz olarak verilecek ve örnek uygulaması yapılacaktır.





## 14.4. Doğrusal programlama

Bir çok problemde maliyetler veya gelirler optimize edilebilir, bu durumda amaç fonksiyonu ve kısıtlar özellikle basit doğrusal formda olabilir. Bu durumda kısıtlar da doğrusal formda ise bu doğrusal optimizasyon problemidir. Doğrusal amaç fonksiyonu ve doğrusal sınırlayıcı fonksiyonların tümü cebrik biçimdedir.

Doğrusal programlama doğrusal statik modellerin çözümü için çok etkili bir optimizasyon tekniğidir. Doğrusal programlama, verilen doğrusal eşitsizliklere, diğer bir deyimle kısıtlayıcılara bağlı olarak verilen doğrusal amaç fonksiyonunu maksimum (minimum) yapan negatif olmayan gerçek değerlerin seçilmesi olarak tanımlanabilir. Bunun matematiksel tanımı aşağıdaki şekildedir. Bu konu daha fazla bilgi temel nitelikli kitaplarda bulunabilir (Haley, 19962; Dantzig, 1963; Wagner, 1969; VandePanne, 1970 ; Salkin ve Saha, 1978;Vajda, 1981; Tülücü, 1988;

Amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum yapan, $x_1,....,x_n$ karar değişkenlerinin değeri şöyle bulunabilir.

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Max (min)} f(x_1,x_2,...,x_n)=c_1x_1+c_2x_2+... +c_nx_n \qquad (14.15)$$

$x_1,...,x_n$

Kısıtlar:

$$\left.\begin{aligned} g1\,(x1,x2,...,xn) &= a11x1+a12x2+...+a1nxn < b1\\ g2\,(x1,x2,...,xn) &= a21x1+a21x2+...+a2nxn < b2\\ &\\ gn\,(x1,x2,...,xn) &= am1x1+am2x2+...+amnxn < bn \end{aligned}\right\} \qquad (14.16)$$

$x_j>0$ (j=1,...,n)

Burada; $b_1,...,b_m$ =Bilinen sağ taraf değerleri

$x_1,...,x_n$ =sistemin girdi değerleridir.

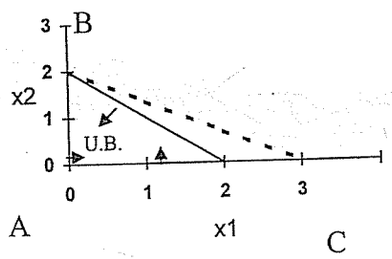
Denklem sistemi (14.5) teki eşitsizlik hali ( ≤, =, ≥ ) lerinden birini alır.

### .4.1 Grafiksel Çözüm

Grafiksel çözüm doğrusal programlama kavramını anlama nından yararlıdır. Değişken ikiden çok olduğu zaman grafiksel rimi yapmak güçtür ve hatta olanaksızdır.

Aşağıda iki boyutlu basit bir doğrusal programlama denklem mi görülmektedir. Bunun grafiksel çözümünün verilmesi ve bazı nların yapılması uygun olacaktır.

ç foksiyonu
$Z= 2x_1+3x_2$
lar:
$x2 \leq 2$
$x2 \geq 0$




Şekil 14.1a. Grafiksel çözüm

**Tanımlar:**

*Çözüm:* Doğrusal programlama deyimlendirilmesinde tlayıcı koşulları sağlayan herhangi bir $x_j$ grubu doğrusal gramlama probleminin bir çözümü olarak çağrılır.

*Uygun çözüm:* Negatif olmayan koşulları ($x_i>0$) sağlayan bir üm uygun çözüm olarak (ABC alanı).

*Optimal uygun çözüm:* Amaç fonksiyonunu optimize eden bir üm ise optimal uygun çözüm olarak tanımlanır (B köşe noktası).

Doğrusal programlamada optimal çözüm varsa, uygun genin uç noktalarından birinde meydana gelecektir. Amaç ksiyonunun eğimi kısıtlardan birinin eğimi ile aynı olduğu zaman el bir durum) birden çok çözüm var demektir. Diğer deyişle tlayıcı üzerindeki herhangi bir nokta optimal çözümü verir. sıtların işaretlerine bağlı olarak koordinat sisteminin negatif lgelerinde meydana gelen, yani pozitif olma şartını sağlamayan





durumlar çözümsüz ve koordinat sisteminin pozitif bölgesinde meydana gelen diğer bir ifade ile pozitif olma şartını sağlayan ancak sınırlanmamış, konveks küme meydana gelmemiş durumlarda ise çözüm sınırsızdır.

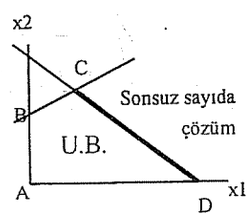
Bir sorunun çözümü için oluşturulan bir doğrusal programlama denklem sisteminin LP paket programı ile elde edilen çözüm çıktılarında aşağıdaki durumlardan biri belirtilir.

1) Belirli optimal çözüm (Şekil 14.1a)

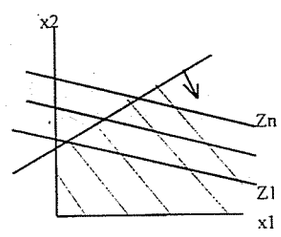
2) Sonsuz sayıda optimal çözüm (Şekil 14.2)

3) Sınırsız çözüm (Şekil 14.3)

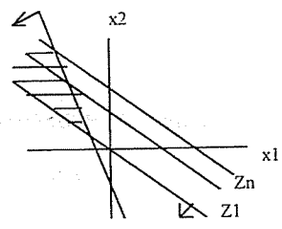
4) Çözümsüz (Şekil 14.4).




Şekil 14.2. Sonsuz sayıda çözüm




Şekil 14.3. Sınırsız çözüm




Şekil 14.4.Çözümsüz

Çözüm sonucunda sınırsız çözüm ile çözümsüz uyarısı alındığında veya bu durum görüldüğünde oluşturulan problemin yeniden gözden geçirilmesi, özellikle eşitsizlik işaretlerinin yönlerinin kontrol edilmesi gerekir.

Çözümler daima bir köşe noktasında meydana gelir. Değişken sayısı arttıkça sistemi elle çözmek olası değildir. Gelişmiş bilgisayar doğrusal programlama (LP) paket programlarının kullanılması gerekir.

## 4.2.Doğrusal Programlama Modellerinin Çözümünde Simpleks Yöntem

Burada konu hakkında öz bilgi verilecek konuya yakınlaşma ımaya çalışılacaktır.

Doğrusal programlamada değişken sayısı arttıkça denklem ıinin çözümü güçleşmekte, doğrusal denklem sisteminin ıünde cebirsel işlemlerinin tekrarı artmakta, bunların elle nası olanaksızlaşmakta, hızlı bilgisayarlar gerektirmektedir. Bu lamalarda amaç fonksiyonu sisteme dahil olmamaktadır. Dantzig amaç fonksiyonunu da denklem sistemine dahil eden Simpleks mi geliştirmiş ve bundan sonra doğrusal programlama llerinin her meslekte kullanılması çok artmıştır.

Simpleks yöntem uygulamasında simpleks algoritma uygulanır. olarak ;

1) Problem koniksel hale konur, bunun için denklik kenleri ve gerekirse yardımcı değişkenler ile denklik elde edilir.

2) Başlangıç çözümü sağlanır. Kaynak negatif olamaz

$b_i \geq 0$ (i=1,....,m denklem sayısı)

3)Simpleks tablo oluşturulur.

4)Giren-çıkan değişkenler belirlenir ve sadeleştirme yapılır. Bu ı Z-Cj sırasına bağlı olarak devam eder.

Çözüm sonucu oluşan tabloda her sayısal değirin bir anlamı ır. Problemi oluşturmak kadar bu sayılara bakarak yorumlamak, rlılık analizlerini irdelemek, masraf-fiyat analizlerini yeniden ıak ve hatta parametrik programlama yaparak arz-talep eğrilerini ırmak gerekir.

### 4.4.3. Ulaşım Problemi

Doğrusal programlamanın ulaşım problemlerine uygulanması önem arz etmektedir. Burada özet olarak konu edilecektir.

Ulaşım problemlerinde daima kaynak merkezleri ile dağıtım kezleri mevcuttur. Şimdi m sayıda kaynak ve n sayıda kullanım



merkezi ve kaynak merkezi i'den, tüketim merkezi j'e taşınacak cisim ise $x_{ij}$ olsun. Bu durumda m x n sayıda farklı $x_{ij}$ değerinin var olduğu anlaşılıyor. Problem maksimizasyon veya minimizasyon olabilir.

Bu durumda denklem sistemi şöyle verilebilir.

Amaç fonksiyonu

$$\text{Max(min) } Z=\sum_{ij}^{m,n} C_{ij}x_{ij} \qquad (14.17)$$

Kısıtlar

1) Kaynak merkezi kısıtı

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i \qquad (i=1,...,m) \qquad (14.18)$$

2) Dağıtım (Kullanım) merkezi kısıtı

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_i \qquad (j=1,...n) \qquad (14.19)$$

3) Negatif olmama koşulu

$x_{ij} \geq 0$

Burada;

$a_i$= Kaynak merkezindeki birim sayıdaki dağıtılacak miktarı
$b_j$=Kullanım merkezindeki birim sayıda istenen miktar
$C_{ij}$=Toplam taşıma masrafı

Su kaynaklarının proje gereği istenen bölgelere taşınmasının en ekonomik şekilde yapılması uygulamalarında kullanılabilir. Ayrıca proje uygulama esnasında malzeme taşımasında da ekonomik yolu bulmada kullanılabilir.

Minimizasyon problemi, maksimizasyon problemi çözümü gibidir. Amaç fonksiyonu doğrudan minimizasyon olarak kullanılacaksa minimizasyon algoritması kullanılır. Ancak en yaygın kullanılanı $Z_{min}$ amaç fonksiyonu eşitliğinin her iki tarafı (-1) ile çarpılarak işaret değiştirilir, maksimizasyona dönüştürülür ve max. algoritması kullanılarak çözüm işlemi yapılır.

Min f(x) =max (-f(x)) (14.20)

## EK UYGULAMA 14.1:

**Doğrusal programlama grafiksel çözüm.**

Bir tarım işletmecisi 18 hektarlık arazisine $x_1$ ve $x_2$ gibi iki ekimini planlamak istemektedir. $x_1$ bitkisinin yıllık su ihtiyacı ım ve $x_2$ bitkisinin 6 birimdir. Yıllık kullanılabilir toplam sulama miktarı ise 120 birimdir. Bitkilerin birim alandan sağlayacakları elirler ise sırayla 6 ve 4 B.TL dir. Çiftçi en uygun bitki desenini ek ve buna göre arazisini planlayarak gelirini maksimum yapmak ıektedir.

*İstenen:* Problemin doğrusal programlama sistemi içinde matiksel ifadesinin ve grafiksel gösteriminin yapılması mektedir.

aç fonksiyonu:

Max $Z= 6.x_1+4.x_2$

tlar:

$8x_1+6x_2 \leq 120$

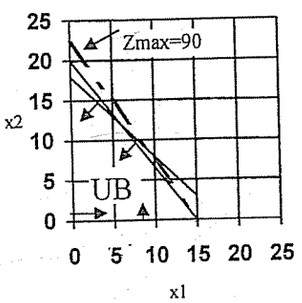
$x_1+x_2 \leq 18$

$x_1, x_2 \geq 0$

üm:

Denklem 1 $\frac{x_1}{x_2}$ 0 15 / 20 0

Denklem 2 $\frac{x_1}{x_2}$ 0 18 / 18 0




Şekil 14.5. Grafiksel çözüm

Köşe noktalarının koordinatları (0, 0) , (0, 18) ve (15, 0) olup aç fonksiyonu büyüme istikametinde hareket ettirildiğinde (15, 0) e noktasında maksimum Z değerine ulaşır. Grafiksel çözümde de üldüğü gibi bu durumda yalnız $x_1$ bitkisi ekime girmekte ve ksimum çözüm $x_1=15$, $x_2=0$ noktasında sağlanmaktadır. =6.15+4.0=90 B.TL dir.





## ÖRNEK UYGULAMA 14.2:

**Doğrusal programlama-Simpleks yöntem**

Bir tarımsal işletme 80 hektarlık arazi için optimum bitki desenini tespit etmek istemektedir. Kullanabileceği sulama suyu miktarı 100 litre/saniyedir. Düşünülen bitkiler ve arazi kısıtları, modül olarak bitkilerin su gereksinmeleri, birim alandan net gelirleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Söz konusu Araziden maksimum geliri sağlamak için bilinmesi gerekli en uygun bitki desenini verecek doğrusal programlama modelinin oluşturulması ve Simpleks tabloda gösterilmesi istenmektedir.

Çizelge 14.1. Optimum Bitki Deseni Veri Listesi

| | Bitki deseninde düşünülen bitkiler | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tütün | Sebze | Yonca | Hububat | (Hububat +2. ürün | Pamuk | Meyve |
| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ |
| Net-Gelir | 7. B.TL | 10. B.TL | 5. B.TL | 4. B.TL | 3. B.TL | 6. B.TL | 11. B.TL |
| Alan kısıtı | ≤5ha. | ≤20ha. | ≤4 ha. | ≤5 ha. | 10 ha. ≤ | 10 ha≤ | 15 ha≤ |
| Su İhtiyacı | 0.5 lt/sn/ha | 0.9 lt/sn/ha | 1.3 lt/sn/ha | 0.4 lt/sn/ha | 1.1lt/sn/ha | 1.2lt/sn/ha | 0.8 lt/sn/ha |

1)Denklem sistemi:

Amaç fonksiyonu:

Max $Z= 7x_1+10x_2+5x_3+4x_4+3x_5+6x_6+11x_7$

Kısıtlar:

$0.5x_1+0.9x_2+1.3x_3+0.4x_4+1.1x_5+1.2x_6+0.8x_7 \leq 100$

$x_1+ x_2+ x_3+ x_4+ x_5+ x_6+ x_7 \leq 80$

$x_1 \leq 5$

$x_2 \leq 20$

$x_3 \leq 4$

$x_4 \leq 5$

$x_5 \geq 10$

$x_6 \geq 10$

$x_7 \geq 15$

$x1,...,x7 \geq 0$

2) Koniksel hale konması:

$Z- 7x_1-10x_2-5x_3-4x_4-3x_5-6x_6-11x_7=0$

$0.5x_1+0.9x_2+1.3x_3+0.4x_4+1.1x_5+1.2x_6+0.8x_7+D_1 =100$

$x_1+ x_2+ x_3+ x_4+ x_5+ x_6+ x_7+D2=80$
$x_1+D_3=5$
$x_2+D_4=20$
$x_3+D_5=4$
$x_4+D_6=5$
$x_5-D_7+y_1=10$
$x_6-D_8+y_2=10$
$x_7-D_9+y_3=15$

Başlangıç çözümü:

n-m=0 kuralına göre (n değişken, m denklem sayısı)

=100, $D_2$=80, $D_3$=5, $D_4$=20, $D_5$=4, $D_6$=5, $y_1$=10, $y_2$=10, $y_3$=15 ılinde olduğu görülür. Değerler pozitif olduğu için başlangıç ;ümü vardır.

Amaç fonksiyonuna eklenecek olan -M($y_i$)'lerin yok edilmesi, $Z_M$ sırasının oluşturulması.

$y_1$, $y_2$, $y_3$ gibi yardımcı değişkenler eklenen kısıtlar, M ile pılır ve tüm kısıtlar denklemleri değişkenlere bağlı olarak alt alta ılanır, oluşturulan denklem amaç fonksiyonu denkleminden artılır, amaç fonksiyonundaki M($y_1$,$y_2$,$y_3$) yok edilmiş olur. nellikle amaç fonksiyonu ikiye ayrılarak Zc ve $Z_M$ sırası olarak ılır (Çizelge 14.2).

Bu işlemler bilgisayar paket programlarında yapıldığı için burada ıa fazla ayrıntısına girilmeyecektir.

**RNEK UYGULAMA 14.3:**
**Ulaşım problemi**

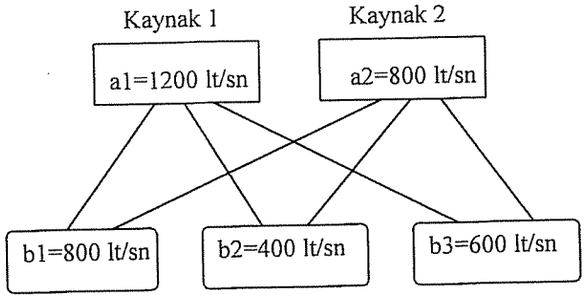
Şekilde görüldüğü gibi 3 sulama projesi alanına farklı yerde lunan 2 su kaynağından su getirilebilme durumu söz konusudur. b ynaklardan kullanım merkezlerine birim suyun iletim masrafları saplanmış aşağıda çizelgede verilmiştir. Ayrıca kullanım rkezlerinden istenen miktarlar ile kaynak merkezlerinin kapasitesi yine aynı çizelgede verilmiştir.





Çizelge 14.2. Örnek Uygulama 14.2'nin Simpleks Tablosu

| | | | 7 | 10 | 5 | 4 | 3 | 6 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | M | M | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | bi | $X_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_5$ | $D_6$ | $D_7$ | $D_8$ | $D_9$ | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ |
| | Zc | 0 | -7 | -10 | -5 | -4 | -3 | -6 | -11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | $Z_M$ | 35M | | | | | M | M | M | | | | | | | -M | -M | -M | | | |
| 0 | D1 | 100 | 0.5 | 0.9 | 1.3 | 0.4 | 1.1 | 1.2 | 0.8 | 1. | | | | | | | | | | | |
| 0 | D2 | 80 | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 0 | 1. | | | | | | | | | | |
| 0 | D3 | 5 | 1. | | | | | | | | | 1. | | | | | | | | | |
| 0 | D4 | 20 | | 1. | | | | | | | | | 1. | | | | | | | | |
| 0 | D5 | 4 | | | 1. | | | | | | | | | 1. | | | | | | | |
| 0 | D6 | 5 | | | | 1. | | | | | | | | | 1. | | | | | | |
| M | y1 | 10 | | | | | 1. | | | | | | | | | -1. | | | 1. | | |
| M | y2 | 10 | | | | | | 1. | | | | | | | | | -1. | | | 1. | |
| M | y3 | 15 | | | | | | | 1. | | | | | | | | | -1. | | | 1. |




Şekil 14.6. Ulaşım problemi

Çizelge 14.3. Taşıma masrafı (Birim TL)

| | Kullanım merkezi | | | İletilecek miktar |
|---|---|---|---|---|
| | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | |
| Kaynak $a_1$ | $C_{11}$=10 | $C_{12}$=15 | $C_{13}$=6 | 1200 |
| Kaynak $a_2$ | $C_{21}$=14 | $C_{22}$=12 | $C_{23}$=16 | 800 |
| İstenen miktar | 800 | 400 | 600 | 1800 |

*İstenen:*

Bu iki merkezden kullanım merkezlerine en ucuz yolla suyun istenmektedir. Buna göre denklem sistemi şöyle yazılabilir.

ıklem sisteminin oluşturulması

fonksiyonu:

Min $Z=10.x_{11}+15.x_{12}+6.x_{13}+14.x_{21}+12.x_{22}+16.x_{23}$

ır:

ynak merkezi

$x_{11}+x_{12}+x_{13}\leq 1200$

$x_{21}+x_{22}+x_{23}\leq 800$

llanım merkezi

$x_{11}+x_{21}=800$

$x_{12}+x_{22}=400$

$x_{13}+x_{23}=600$

niksel hale konulması

Min f(x)=max (-f(x)) kuralına göre;



Max $Z= -10.x_{11}-15.x_{12}-6.x_{13}-14.x_{21}-12.x_{22}-16.x_{23}-M(y_1+y_2+y_3)$

$Z+10.x_{11}+15.x_{12}+6.x_{13}+14.x_{21}+12.x_{22}+16.x_{23}+M(y_1+y_2+y_3)=0$

$x_{11}+x_{12}+x_{13}+D_1=1200$

$x_{21}+x_{22}+x_{23}+D_2=800$

$x_{11}+x_{21+}y_1=800$

$x_{12}+x_{22}+y_2=400$

$x_{13}+x_{23}+y_3=60$

3) Başlangıç çözümün sağlanması

n-m=0 kuralına göre (n=11 değişken, m=5 denklem)

$x_{11}=x_{12}=x_{13}=x_{21}=x_{22}=x_{23}=0$ ise

D1=1200, D2=800, y1=800, y2=400, $y_3$=600 değerler pozitif olduğu için başlangıç çözümü vardır.

Çizelge 14.4. Örnek Uygulama 14.3'ün Simpleks Tablosu

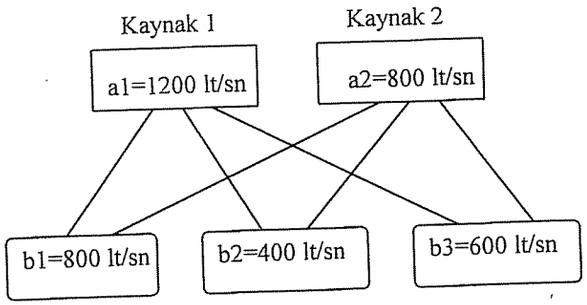
| | | | 10 | 15 | 6 | 14 | 12 | 16 | 0 | 0 | M | M | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CB | | $b_i$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | $x_{13}$ | $x_{21}$ | $x_{22}$ | $x_{23}$ | $D_1$ | $D_2$ | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ |
| | Zc | 0 | 10 | 15 | 6 | 14 | 12 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | $Z_M$ | 1800M | | | | M | M | M | -M | -M | | | |
| 0 | $D_1$ | 1200 | 1. | 1. | 1. | | | | 1. | | | | |
| 0 | $D_2$ | 800 | | | | 1. | 1. | 1. | | 1. | | | |
| M | $y_1$ | 800 | 1. | | | 1. | | | | | 1. | | |
| M | $y_2$ | 400 | | 1. | | | 1. | | | | | 1. | |
| M | $y_3$ | 600 | | | 1. | | | 1. | | | | | 1. |

**ÖRNEK UYGULAMA 14.4:**

**Arazi ve su kaynakları işletilmesi-Çok düzeyli yaklaşım.**

Şekilde bir toplama havzası arazi ve su kaynaklarının planlama ve işletilmesine ilişkin doğrusal programlama modeli görülmektedir. Bu model, bir havzayı alt havzalara bölerek 1) alt havzaları önce bağımsız ele alarak, 2) havzaları birlikte değerlendirerek çok düzeyli olarak çözmeyi esas almıştır.

Burada istenen; problem boyutu küçük tutularak matematiksel ifadelerin yazılmasıdır.




Şekil 14.6. Ulaşım problemi

Çizelge 14.3. Taşıma masrafı (Birim TL)

| | Kullanım merkezi | | | İletilecek miktar |
|---|---|---|---|---|
| | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | |
| Kaynak $a_1$ | $C_{11}$=10 | $C_{12}$=15 | $C_{13}$=6 | 1200 |
| Kaynak $a_2$ | $C_{21}$=14 | $C_{22}$=12 | $C_{23}$=16 | 800 |
| İstenen miktar | 800 | 400 | 600 | 1800 |

*İstenen:*

Bu iki merkezden kullanım merkezlerine en ucuz yolla suyun imi istenmektedir. Buna göre denklem sistemi şöyle yazılabilir.

Denklem sisteminin oluşturulması

naç fonksiyonu:

Min $Z=10.x_{11}+15.x_{12}+6.x_{13}+14.x_{21}+12.x_{22}+16.x_{23}$

sıtlar:

Kaynak merkezi

$x_{11}+x_{12}+x_{13}\leq 1200$

$x_{21}+x_{22}+x_{23}\leq 800$

Kullanım merkezi

$x_{11}+x_{21}=800$

$x_{12}+x_{22}=400$

$x_{13}+x_{23}=600$

) Koniksel hale konulması

Min f(x)=max (-f(x)) kuralına göre;





Max $Z= -10.x_{11}-15.x_{12}-6.x_{13}-14.x_{21}-12.x_{22}-16.x_{23}-M(y_1+y_2+y_3)$

$Z+10.x_{11}+15.x_{12}+6.x_{13}+14.x_{21}+12.x_{22}+16.x_{23}+M(y_1+y_2+y_3)=0$

$x_{11}+x_{12}+x_{13}+D_1=1200$

$x_{21}+x_{22}+x_{23}+D_2=800$

$x_{11}+x_{21+}y_1=800$

$x_{12}+x_{22}+y_2=400$

$x_{13}+x_{23}+y_3=60$

3) Başlangıç çözümün sağlanması

n-m=0 kuralına göre (n=11 değişken, m=5 denklem)

$x_{11}=x_{12}=x_{13}=x_{21}=x_{22}=x_{23}=0$ ise

D1=1200, D2=800, y1=800, y2=400, $y_3$=600 değerler pozitif olduğu için başlangıç çözümü vardır.

Çizelge 14.4. Örnek Uygulama 14.3'ün Simpleks Tablosu

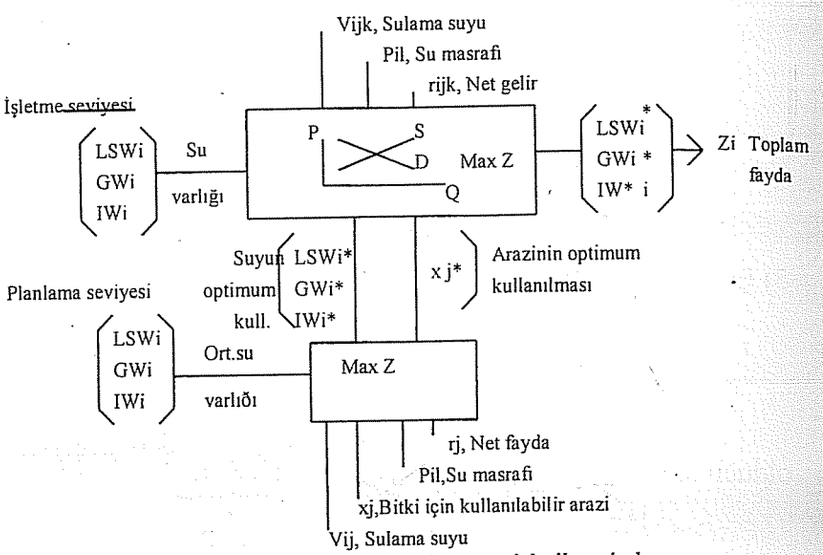
| | | | 10 | 15 | 6 | 14 | 12 | 16 | 0 | 0 | M | M | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CB | | $b_i$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | $x_{13}$ | $x_{21}$ | $x_{22}$ | $x_{23}$ | $D_1$ | $D_2$ | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ |
| | Zc | 0 | 10 | 15 | 6 | 14 | 12 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | $Z_M$ | 1800M | | | | M | M | M | -M | -M | | | |
| 0 | $D_1$ | 1200 | 1. | 1. | 1. | | | | 1. | | | | |
| 0 | $D_2$ | 800 | | | | 1. | 1. | 1. | | 1. | | | |
| M | $y_1$ | 800 | 1. | | | 1. | | | | | 1. | | |
| M | $y_2$ | 400 | | 1. | | | 1. | | | | | 1. | |
| M | $y_3$ | 600 | | | 1. | | | 1. | | | | | 1. |

**ÖRNEK UYGULAMA 14.4:**

**Arazi ve su kaynakları işletilmesi-Çok düzeyli yaklaşım.**

Şekilde bir toplama havzası arazi ve su kaynaklarının planlama ve işletilmesine ilişkin doğrusal programlama modeli görülmektedir. Bu model, bir havzayı alt havzalara bölerek 1) alt havzaları önce bağımsız ele alarak, 2) havzaları birlikte değerlendirerek çok düzeyli olarak çözmeyi esas almıştır.

Burada istenen; problem boyutu küçük tutularak matematiksel ifadelerin yazılmasıdır.




Şekil 14.7 Arazi ve su kaynaklarının planlama ve işletilmesinde çok düzeyli yaklaşım (Tülücü,1975)





## 14.5. Dinamik Programlama

Dinamik programlama belirli bir amaç fonksiyonunu optimum kılan, sırasal kararlar birleşiminin randımanlı olarak saptanmasını sağlar. Esas olarak dinamik programlama bir dönüşümü işlemidir. Bu, bir çok bağımsız değişkeni ihtiva eden sırasal veya çok aşamalı karar mekanizması olup, bu işlem, problemi tek aşamalı bir iki değişkeni olan problemlere çevirir.

*Tanımlar:*

*Karar değişkenleri;* $D(d_1, d_2, ...,d_n)$: Amaca ulaşmayı sağlayan, sistemi kontrol eden bağımsız veya karar değişkenleridir.

*Parametreler*; $Y(y_1,y_2,...,y_n)$ : Amacı etkileyen fakat kontrol edilemeyen faktörler, çıktılar.

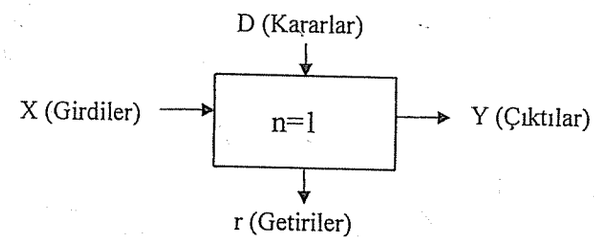
*Yararlılık ölçümü*; R (D,Y) :Parametre ve karar değişkenleri ile ilgili olarak bir değeri, getiriyi ifade eder.

*Uygun bölge*; S: Karar değişkenlerini içine alan ($D \in S$) belirlenmiş uygun bölge veya kısıtlar kümesi ile sınırlıdır. Kısıtlar kümesi bütün veya kısmi olarak şöyle ifade edilir.

$$g(D) = \left\{ \begin{matrix} \leq \\ 0 \\ \geq \end{matrix} \right. \qquad 14.20)$$

### 14.5.1.Tek Aşamalı Karar Sistemi

Sistem Şekil 14.8'deki gibi ifade edilebilir.




Şekil 14.8. Tek aşamalı karar sistemi

Şekil 14.8'de görülen ifadeler daha önce verilen tanımlar ndığı gibidir. Bunlara ilave olarak;

1) X= Başlangıç aşaması (adımı) olup aşama başında sistemi lar. Durumu ifade eder.

2) Y=Son aşama olup aşama sonunda sistemi tanımlar.

3) D= Karar değişkeni olup sistemi kontrol eder.

4) r =Aşama getirisi olup sistemin yararlılığını tanımlar.

$$r= r(X,D,Y) \qquad (14.21)$$

5) t= Aşama dönüşümü veya tek değer dönüşümü olarak ifade ektedir. Çıktı değerini girdi ve karar değişkenine bağlı olarak ılenmesini sağlar.

$$Y=t(X,D) \qquad (14.22)$$

Eğer Y ( $y_1$, $y_2$) ise $y_1=t_1(X,D)$ ve $y_2=t_2(X,D)$'dir.

Girdi ve çıktı durumlarının matematiksel farkı şöyle abilir.

$$Y=X-D \text{ veya } X=Y-D \qquad (14.23)$$

X veya Y'nin herhangi biri girdi olarak seçilebilir. Aşama şümü tek-değerli olduğu için, aşama getirisinden Y yok edilebilir. ın için Denklem (14.22), Denklem (14.21)'de yerine konarak ıdaki sonuç elde edilir.

$$r=r(X,D,t(X,D)) \qquad (14.24)$$

Bu ifade, sadece bağımsız değişkenin aşama getirisini ediğini göstermektedir. Bu denklem basit olarak şöyle lmaktadır.

$$r=r(X,D) \qquad (14.25)$$

Tek aşamalı başlangıç durum probleminin fonksiyonel tanımı e verilebilir.



$$f(X)=r(X,D(X))=r(X,D^*)= \max_D r(X,D) \geq r(X,D) \qquad (14.25)$$

veya

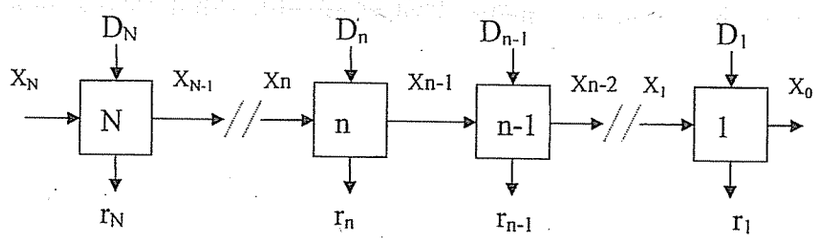
$$f(Y)=r(Y,D^*)= \max_D r(Y,D) \qquad (14.26)$$

Yukarıdaki yok etme işlemine benzer olarak D ifadesi de yok edilebilir.

$$f(X,Y)=r(X, \hat{t}(X,Y),Y)=r(X,Y) \qquad (14.27)$$

### 14.5.2. Sırasal Çok Aşamalı Karar Sistemi

Çok aşamalı sistem birçok aşamaları ihtiva eder. Şekil 14.9'da görüldüğü gibi bir aşamanın çıktısı diğer aşanın girdisi olmaktadır.




Şekil 14.9. Sırasal çok aşamalı karar sistemi

Buradaki matematiksel ilişkiler de tek aşamalıdakine benzer olarak yazılabilir.

N-aşaması başlangıç durum optimizasyon problemi, $D_1,...,D_N$ karar değişkenlerine ve $X_N$ durum değişkenlerine bağlı olarak N-aşamasında getiri $r_N$'nin maksimizasyonu $f_N(X_N)$ ve $D_n^*=D_n(X_N)$, $X_n^*=t_n(X_N)$ şeklinde kabul ederek alternatifli olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

I.Alternatif

$$f_N(X_N)=g(r_N(X_N, D_n^*), r_{N-1}(X_{N-1}^*,D_{N-1}^*),..., r_1(X_1^*, D_1^*)$$

$$= \max_{Dn,..,D1} g\left[(r_n(X_N, D_N),\ r_{N-1}(X_{N-1}, D_{N-1}),\ldots, r1(X_1, D_1)\right] \quad (14.28)$$

ışıtlar:

$$_{N-1}=t_n(X_n, D_n), \qquad n=1,\ldots,N \quad (14.29)$$

. Alternatif

$$_N(X_N)=g\left[r_N(X_N, D_N^*), r_{N-1}(X_N, D_N^*, D_{N-1}^*),\ldots, r_1(X_N, D_N^*,\ldots, D_1^*\right] \quad (14.30)$$

$$= \max_{Dn,..,D1} g\left[(r_n(X_N, D_N),\ r_{N-1}(X_N, D_N, D_{N-1}),\ldots, r_1(X_1, D_N,\ldots, D_1)\right] \quad (14.31)$$

kinci formülasyonun sadece karar değişkenleri $D_N,\ldots,D_1$ ile $X_N$ ım değişkenleri ihtiva etmesi nedeniyle daha çok tercih ebileceği vurgulanmaktadır. Daha ayrıntılı bilgi Nemhauser 6)'da bulunabilir.

### 14.5.3. Dinamik Programlama Özellikleri

Dinamik Programlama problemlerinin genel özellikleri

1) Sıralı aşamalara bölünebilir.

2) Her aşama kendisi ile ilgili bir dizi durum ihtiva eder.

3) Her aşamanın çıktı durumu bir sonraki aşamanın girdi rumudur.

4) Sonraki durumlarda alınacak kararlar öncekilerden ğımsızdır.

5) Çözümde ilk adım en son aşamadaki her bir durum için timal kararın bulunması ile başlanır.

6) Optimal kararlar yinelenme eşitliği ile bulunur.

7) Çözüm en son aşamadan geriye doğru yinelenme eşitliği ile ılunur.





### 14.5.4. Deterministik Dinamik Programlama

Dinamik Programlama yaklaşımında, bir sonraki aşamadaki durum tamamen, irdelenmekte olan aşamadaki eylem kararı tarafından belirlenirse, problem deterministik olarak tanımlanır. Bir sonraki durumun ne olacağına ilişkin bir olasılık dağılımı söz konusu ise problem probabilistik olarak nitelenir (Vagner, 1969; Nemhauser, 1966; Balaban, 1986).

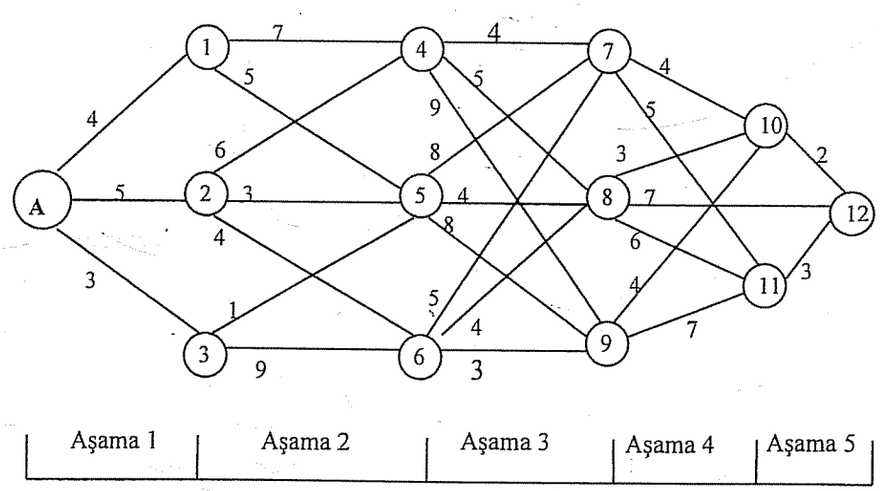
Çok amaçlı karar süreçlerinin çoğunda her karar masraf ya da faydalarla ilişkilidir. Anılan masraf ya da faydalar, sürecin aşama ve durumuna göre değişebilir. Bu tür süreçlerin analizindeki temel amaç en büyük toplam getiriyi sağlayan optimal kararın belirlenmesidir.

## ÖRNEK UYGULAMA 14.5:

**Dinamik programlama uygulaması.**

*Verilen:*

A noktasında bulunan kaynağın suyu B sulama alanına Şekil 14.10'da olduğu gibi boru hatti sistemi ile götürülmek istenmektedir. Boruların geçeceği yol güzergâhı durumuna göre *iletim yatırım masrafları* belirlenmiş ve aynı şekil üzerinde ve aynı zamanda Çizelge 14.5'te verilmiştir. Boru sisteminin geçeceği *muhtemel bağlantı (düğüm) noktaları* da Şekil 14.10'da görüldüğü gibi daireler içinde numaralanmıştır.




Şekil 14.10 AB boru hattı için seçenekli yollar



41

elge 14.5. AB Boru Hattı Seçenekli Yollar (Şekil 14.10) Bilgisi

| Aşa. A | | Aşa.2 | | Aşa.3 | | Aşa. 4 | | Aşa. 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 2 3 | | 4 5 6 | | 7 8 9 | | 10 11 12 | | 12 |
| 4 5 3 | 1 | 7 5 - | 4 | 4 5 9 | 7 | 4 5 - | 10 | 2 |
| | 2 | 6 3 4 | 5 | 8 4 8 | 8 | 3 6 7 | 11 | 3 |
| | 3 | - 1 9 | 6 | 5 5 3 | 9 | 4 7 - | 8 | 7 |

*İstenen:* A noktasını B1, B2 ve B3 seçenekten birine bağlayan masraflı yol belirlenmek istenmektedir.

**Çözüm:** Problem çok aşamalı bir karar süreci niteliğindedir. cek yöntem ilerleyen çözüm aşamalarında verilecektir.

Aşamalarda en masraflı yolu bulmada kullanılacak ***yinelenme i*** şöyle verilmektedir. Bu ilişki, işlemde n aşamanın ve geride ise aşamanın bulunduğu durumda optimum çözümle endirilebilir.

$$f_n^*(S) = \min_{Xn} C_{Sxn} + f_{n-1}^*(Xn) \qquad (14.32)$$

da;

n= Aşama sayısı

S= Durum değişkeni, işlemin her hangi bir aşamasında düğüm sı rakamı

$X_n$= Bir karar değişkeni, erişilecek daha n aşama var iken, nenin yöneldiği düğüm noktası

$f_n(S,X_n)$=İşlem S durumunda ve Xn kararı verilmişken, kalan n anın toplam masrafı

$C_{SXn}$=Masraf matrisinde görüldüğü gibi S-Xn bağlantısının afı

$X_n^*=f_n(SX_n)$ i minimize yapan Xn kararı

$f_n^*(S)=f_n(S,X_n)$ olur. Bu durum $X_n$ yerine $X_n^*$ nin konması ile ı minimum değerdir.

Yinelenme aşamaları Çizelge 14.6-14-10'de verilmiştir.



.Çizelge 14.6. ( n=1)

| S | $f_1^*(S)=\min_{x1}\{C_{Sx1}\}$ | $x_1^*$ |
|---|---|---|
| 10 | 2 | 12 |
| 11 | 3 | 12 |
| 8 | 7 | 12 |

Çizelge 14.7. (n=2)

| $x_2$ / S | $f_2(S,x_2)= f_2^*(S) =\min_{x2}\{ C_{Sx2}+ f_1^*(x_2)\}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 11 | 12 | $f_2^*(S)$ | $x_2^*$ |
| 7 | 4+2=6 | 5+3=8 | - | 6 | 10 |
| 8 | 3+2=5 | 6+3=9 | 7+0 | 5 | 10 |
| 9 | 4+2=6 | 7+3=10 | - | 6 | 10 |

Çizelge 14.8. (n=3)

| $x_3$ / S | $f_3(S,x_3)= f_3^*(S) =\min_{x3}\{ C_{Sx3}+ f_2^*(x_3)\}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 7 | 8 | 9 | $f_3^*(S)$ | $x_3^*$ |
| 4 | 4+6=10 | 5+5=10 | 9+6=15 | 10 | 7 |
| 5 | 8+6=14 | 4+5=9 | 8+6=14 | 9 | 8 |
| 6 | 5+6=11 | 4+5=9 | 3+6= 9 | 9 | 8 |

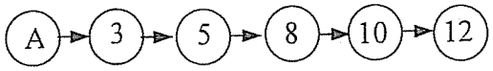
Çizelge 14.9. (n=4)

| $x_3$ / S | $f_4(S,x_4) = f_4^*(S)=\min_{x4}\{C_{Sx4}+ f_3^*(x_4)\}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 4 | 5 | 6 | $f_4^*(S)$ | $x_4^*$ |
| 1 | 7+8=15 | 5+9=14 | - | 14 | 5 |
| 2 | 6+8=14 | 3+9=12 | 4+7=11 | 11 | 6 |
| 3 | - | 1+9=10 | 9+7=16 | 10 | 5 |

Çizelge 14.10. (n=5)

| $x_3$ / S | $f_5(S,x_5) = f_5^*(S)=\min_{x5}\{C_{Sx5}+ f_3^*(x_4)\}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | $f_5^*(S)$ | $x_5^*$ |
| A | 4+14=18 | 5+11=16 | 3+10=13 | 13 | 3 |

Bu hesaplamalara göre en az masraflı boru hattı güzergahı aşağıdaki şekilde olduğu belirlenmiş olmaktadır.




Buradaki işlem *yinelenme ilişkisinin* gerçekleştirildiğini mektedir.

## PERT -Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme

PERT, İngilizce "**P**rogram **E**valuation and **R**eview **T**echnique" elerinin baş harflerinin kısaltılmasından oluşmuştur. Anlamı ram Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği"dir.

CPM, İngilizce " **C**ritical **P**ath **M**ethod" kelimelerinin baş rinden meydana gelmiştir. Anlamı, "Kritik Yol Metodu" dur.

İlk olarak PERT 1950'li yıllarda ABD'de Polaris Füze sinin planlama ve kontrolünde kullanılmıştır. Bu gün her konuda ılmaktadır. Örneğin; Köprü, fabrika, baraj, atölye yapım ve olü, uzay çalışmaları, diğer karmaşık sistemlerin plan, proje ve olünde, planlamanın her kademesinde yoğun olarak ılmaktadır.

PERT ile CPM temel özellikleri aynı olup, projenin zamanında mlanmasını etkileyebilecek olan kritik faaliyetleri öncelikle ele r. Ancak aralarındaki fark: 1) PERT, projenin istenilen belirli e tamamlanabilmesi için proje faaliyetleriyle ilgili sürenin kesin k belli olmadığı ancak belirli ihtimallere bağlı olarak lanabileceği (iyimser, kötümser, en olası) durumlar için geçerli mler verebilmektedir. 2) CPM tekniğinde proje faaliyetleriyle süre kesin olarak bilinmektedir. Bazı durumlarda normal ve tılmış süre olarak iki süre tahmini de yapılmaktadır. Bu konular gili olarak yayınlarda ve kitaplarda bölümler halinde yeterli bilgi ak olasıdır (Vagner, 1969; Taha, 1982; Tekin, 1992).



### 14.6.1. PERT ve CPM Çalışmalarında Temel İşlemler

1) Faaliyetlerin belirlenmesi

2) Faaliyetler arasındaki ilişki ve izleme durumunun belirlenmesi

3) Faaliyetler arasındaki ilişki şemasının çizilmesi

4) Faaliyet için zaman ve maliyet tahmini yapılması

5) Şemada en fazla süreye sahip kritik yolun belirlenmesi

6) Planlama ve kontrol işleminin şema yardımıyla yapılması.

### 14.6.2. PERT ve CPM İle İlgili Temel Kavramlar ve Şema Çizimi

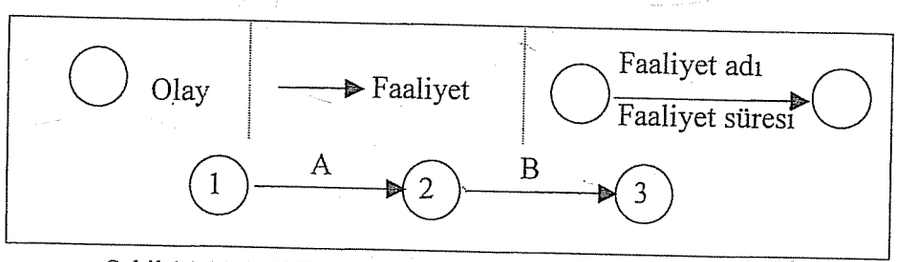
*Faaliyet:* Projeyi oluşturan öğedir. Örneğin temel kazanılması ve zaman harcanması gereken diğer çalışmalar. Ok ile gösterilir.

*Olay:* Faaliyetlerin başlaması ve bitmesini gösteren noktadır. Daire şeklinde gösterilmektedir.

*Proje:* Faaliyet ve olaylardan meydana gelen çalışmadır.

*Kritik Faaliyet:* Kritik yol üzerinde bulunan faaliyetlerdir.

*Kritik Yol:* Projenin başlangıç ve bitiş noktaları arasında, proje faaliyetleri süreleri toplamında en uzun olan yol, kritik yol olarak kabul edilir. PERT ve CPM şeması çizilirken kullanılacak işaretler Şekil 14.11'de verilmiştir.

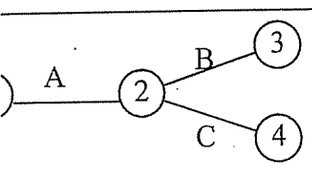



Şekil 14.11. PERT ve CPM şeması işaretleri

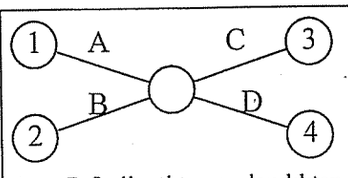
Bu şekillerde okların ucu soldan sağa doğru hareket etmekte ve A faaliyeti tamamlandıktan sonra B faaliyetinin başlayacağını

41

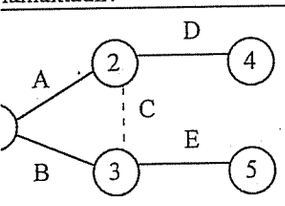
nektedir. A faaliyeti 1 ve 2 nolu olaylar ve B faaliyeti ise 2 ve 3 olaylar arasında yer almaktadır. Olabilecek diğer bağlantı ları ise Şekil 14.12'de verilmiştir.



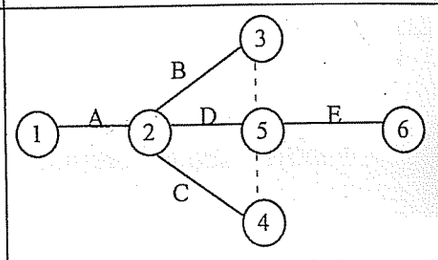

e C faaliyeti A faaliyeti
amlandıktan sonra aynı zamanda
lamaktadır.



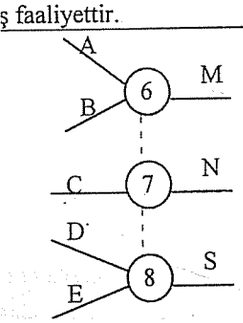

A ve B faaliyeti tamamlandıktan sonra C ve D faaliyeti başlayabilmektedir.



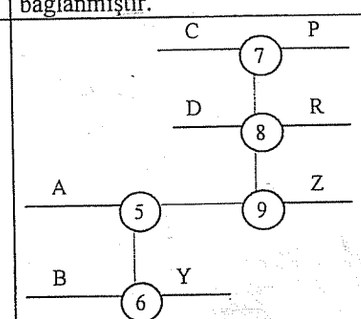

aaliyeti A faaliyeti
amlandıktan sonra, E faaliyeti ise
B ve C faaliyeti tamamlandıktan
ra başlayabilir. C faaliyeti, zaman
kaynak kullanımı gerektirmeyen
ş faaliyettir.




Projede birden fazla faaliyet bulunması durumunda, boş faaliyetler eklenerek faaliyetler bağlanır. yukarıdaki şekilde 2 ile 5 nolu olaylar arasında boş faaliyetler konularak B;D;C faaliyetleri bağlanmıştır.




faaliyeti A,B,C; den
faaliyeti C; den ve
faaliyeti C, D, E den sonra
şlamaktadır.




P faaliyeti, C den
R faaliyeti C, D den
Z faaliyeti C, D, A dan
Y faaliyeti A, B den sonra başlamaktadır.

Şekil 14.12. PERT ve CPM çeşitli bağlantı şekilleri





### 14.6.3. PERT Zaman Tahmini Hesabı

PERT tekniğinde her faaliyet için "İyimser", "Kötümser" ve En Muhtemel" tahmin olmak üzere 3 zaman tahmini yapılmaktadır.

1) *İyimser tahmin*: Gecikme ve aksamaların olmadığı, en olumlu koşullarda bir faaliyetin tamamlanabilmesi için kullanılacak en kısa süre tahminidir.

2) *Kötümser tahmin*: Muhtemel gecikme ve aksamaların olabileceği koşullarda bir faaliyetin tamamlanabilmesi için en uzun zamanı dikkate alan süre tahminidir.

3) *En Olası tahmin*: Normal bir ortam ve durumda iyimser ve kötümser zaman tahminleri arasında yer alan bir tahmindir.

**PERT yönteminde hesaplama aşamaları:** Projeyi meydana getiren faaliyetlere ilişkin beklenen süreler Beta ihtimal dağılımına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. İşlem aşamaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1) Faaliyetlerin en erken başlama süresi

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \qquad (14.33)$$

2) Faaliyetlerin medyanı

$$m = \frac{a + b}{2} \qquad (14.34)$$

3) Faaliyetlerin varyansı ve standart sapması

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2 \qquad (14.35)$$

$$\sigma = \frac{b - a}{6} \qquad (14.36)$$

3) Kritik yol

Çizelgede hesaplanan en uzun "te" değerinin oluşturduğu yoldur.

4) En geç bitirme süresi

$tL_{n-1}=tL_n-te_{(n-1)}$ (14.37)

k süre

$S=tL_n-te_n$ (14.38

ik yol toplam varyansı

$\sum\sigma^2$

ik yol toplam standart sapması

$$\sigma_t=\sqrt{\sum\sigma^2} \quad (14.39)$$

ndardize edilmiş sapma

$$R=\frac{PBS-BBS}{\sigma_t} \quad (14.40)$$

eğer ile Z tablosundan okunan olasılık değeri

nklemlerde;

a=İyimser tahmin

b=Kötümser tahmin

c=En muhtemel tahmin

m=Orta değer, medyan

$\sigma^2$=Faaliyetler varyansı

$\sigma$=Faaliyetler standart sapması

$\sigma_t$=Toplam varyans standart sapması

PBS=Programlanmış bitirme süresi

BBS=Beklenen bitirme süresi

$tL_n$ ve $tL_{n-1}$ = Sırayla bir sonraki ve bir önceki olayların en geç değerleri

$te_n$ ve $te_{n-1}$ =Sırayla bir sonraki ve bir önceki olayların en erken eri.



**ÖRNEK UYGULAMA 14.6:**
**PERT uygulaması.**

Bir sulama projesi çalışmasında çok sayıda faaliyetler bulunmaktadır. Bu faaliyetlerin bir kısmı aynı anda başlayabilir. Böyle bir çalışma için basitleştirilmiş bir uygulama bilgileri aşağıda verilmektedir.

*İstenen:*

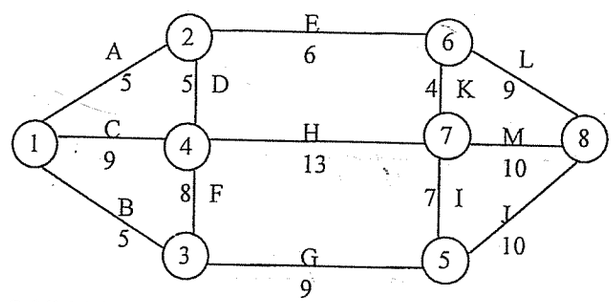
a)PERT *şemasının* çizilmesi

b) Başlama süresinin hesabı; *en erken başlama* (te*), en geç bitirme* (tL*)* ve *aylak* (S) süre bulunmak istenmektedir.

Çizelge 14.11. PERT Uygulaması İçin Proje Zaman Süreleri

| Faaliyet | (a) İyimser tahmin Ay | (m) En muhtemel tahmin, Ay | (b) Kötümser tahmin, Ay |
|---|---|---|---|
| A(1-2) | 3 | 5 | 7 |
| B(1-3) | 4 | 5 | 6 |
| C(1-4) | 6 | 7 | 8 |
| D(2-4) | 4 | 5 | 6 |
| E(2-6) | 4 | 6 | 8 |
| F(3-4) | 7 | 8 | 9 |
| G(3-5) | 7 | 9 | 11 |
| H(4-7) | 12 | 13 | 14 |
| I(5-7) | 6 | 7 | 8 |
| J(5-8) | 9 | 10 | 11 |
| K(6-7) | 3 | 4 | 5 |
| L(6-8) | 8 | 9 | 10 |
| M(7-8) | 8 | 10 | 12 |

Bu veriler yardımıyla oluşturulan projeye ilişkin PERT şeması Şekil 14.13'de görülmektedir.



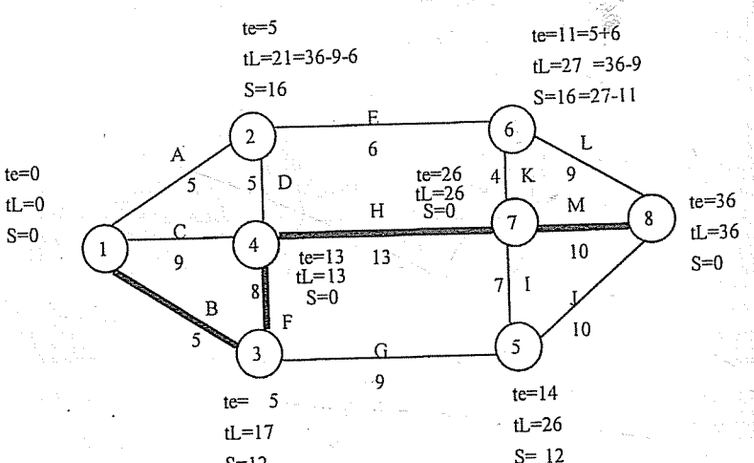

Şekil 14.13. Proje faaliyetlerine ilişkin PERT şeması

Çizelge 14.12. Faaliyetlere İlişkin Beklenen Sürelerin Hesabı

| Faaliyet | $t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$ | Ay |
|---|---|---|
| A(1-2) | $t_e$=(3+4x5+7)/6 | =5.0 |
| B(1-3) | $t_e$=(4+4x5+6)/6 | =5.0 |
| C(1-4) | $t_e$=(6+4x5+7)/6 | =5.5 |
| D(2-4) | $t_e$=(3+4x7+8)/6 | =6.5 |
| E(2-6) | $t_e$=(4+4x6+8)/6 | =6.0 |
| F(3-4) | $t_e$=(7+4x8+9)/6 | =7.3 |
| G(3-5) | $t_e$=(7+4x9+11)/6 | =9.0 |
| H(4-7) | $t_e$=(12+4x13+14)/6 | =13.0 |
| I(5-7) | $t_e$=(6+4x7+8)/6 | =7.0 |
| J(5-8) | $t_e$=(9+4x10+11)/6 | =10.0 |
| K(6-7) | $t_e$=(3+4x4+5)/6 | =4.0 |
| L(6-9) | $t_e$=(8+4x9+10)/6 | =9.0 |
| M(7-8) | $t_e$=(8+4x10+12)/6 | =10.0 |

Çizelge 14.13.Kritik Yol Hesabı

| Yollar | Süreler (Ay) | |
|---|---|---|
| 1.A E L | 5+6+9 | =20 |
| 2.A E K M | 5+6+4+10 | =25 |
| 3.A D H M | 5+6.5+13+10 | =34.5 |
| 4.C H M | 5.5+13+10 | =28.5 |
| **5.B F H M** | 5+7.3+13+10 | =35.3=**36**← |
| 6.B G I M | 5+9+7+10 | =31 |
| 7.B G J | 5+9+10 | =24 |




Şekil 14.14. Faaliyetlere ilişkin süreler ve kritik yol



Şekilde görüldüğü gibi kritik yol üzerinde aylak süreler sıfır (S=0) dır. Böyle olması da gerekmektedir. Çünkü $S=t_L-t_e$

**Projenin zamanında tamamlanıp tamamlanamayacağının bilinmesi:**

Yukarıda hesaplamalardan sonra projenin ön görülen zamanda bitirilip bitirilemeyeceği sorusuna yanıt aranmaya çalışılır. Bunun için işletme yöneticileri, kritik yolu belirledikten sonra projenin bir süre, gecikmeli olarak tamamlama ihtimalini öğrenmek isteyebilirler. Bu durumda, varyans ve standart sapma hesabının yapılması gerekecektir. Bu hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılacaktır.

Bu çalışmada, kritik yolun $t_e$=36 ay olduğu hesaplanmış ve gecikmeli olarak 38 ayda bitirilme ihtimali bilinmek istenmektedir.

Kritik Yol : B → F→ H→ M

Kritik süre:36 ay

Çizelge 14.14. Kritik Yol Standart Sapma Hesabı

| Kritik yol faaliyetleri | Standart sapma, $\sigma$ | Varyans, $\sigma^2$ |
|---|---|---|
| B (1-3) | (6 - 4)/6 =0.33 | 0.1111 |
| F (3-4) | (9 - 7)/6 =0.33 | 0.1111 |
| H (4-7) | (14-12)/6=0.33 | 0.1111 |
| M (7-8) | (12- 8)/6=0.67 | 0.4444 |
| Toplam varyans | | 0.7777 |
| Standart sapma, $\sigma_t$ | | 0.8819 |

$$R=\frac{PBS-BBS}{\sigma_t}=\frac{38-36}{0.8819}=2.268$$

"*Z Normal Dağılım Tablosu*"ndan (Çizelge 14.18)

Z= 0.98834 bulunur.

Buna göre proje % 98 olasılıkla 36 ayda tamamlanabilecektir.

## 14.7. CPM-Kritik Yol Metodu

CPM, İngilizce'de "**C**ritical **P**ath **M**ethod" kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Kritik Yol Metodu anlamına gelmektedir. CPM metodu, 1957 yılından Dupon Firması mühendislerinden M.R.Walker ve J.E.Kelly tarafından uygulamalı olarak geliştirilmiştir.

RT ile CPM arasındaki önemli bir kısım fark ıştır. Burada CPM'in önemli özelliklerinin belirtilmesinde ilmüştür.

CPM'in PERT'ten en önemli farkı, faaliyet süreleri kesin inen projelere uygulanmasıdır.

CPM tekniği deterministik bir modeldir.

CPM tekniği, işletme yönetiminin proje planlama, ama ve kontrol işleminde ilk olarak ne gibi faaliyetlerin ını belirler.

CPM, proje faaliyetlerinin en erken başlama ve en geç na sürelerinin bilinmesi sağlanır.

CPM, projenin tamamlanabileceği toplam süreyi belirleyerek rsiz faaliyetlerin projeden çıkartılmasına fırsat verir.

oje faaliyetlerine ilişkin aylık sürelerin önceden bilinmesi, ılama ve kontrolünü de olumlu yönde etkiler.

***PM tekniği analizinde işlem sırası:***

Faaliyetler saptanır.

Faaliyetler arasında bağıntı kurularak sıralama yapılır.

Şema çizilir.

Kesin süreler ve maliyetler belirlenir.

Proje faaliyetleri arasında en uzun yol olarak *kritik yol*

Şema yardımıyla proje planlama ve kontrol işlemleri yapılır.

Kesin olan 5 çeşit süre hesaplaması yapılır.

te=Belirli faaliyet için beklenen süre,

ES=Erken başlama,

EF=Erken bitirme süresi,

LS=Geç başlama süresi,

LE=Geç tamamlama süresi,

S=Aylak süre.

Bu harfler İngilizce'deki ifadelerin baş harflerinden tur. Böyle kullanılma uygun bulunmaktadır.



***Sürelerin hesaplanma yöntemi:***

1) Erken başlama süresi (ES)

Başlangıçtan söz konusu olan faaliyete kadar olan beklenen sürelerin toplanması ile sağlanır. Yol birden fazla ise en büyük süre seçilir.

$EF_E=te_A+te_{B+..}$

2) Erken tamamlama süresi (EF)

Erken tamamlama süresi, erken başlama süresine faaliyet süresinin eklenmesi ile bulunur.

EF=ES+Faaliyet Süresi

3) Geç tamamlama süresi (LF)

Şemadaki bitiş (son olay) noktasından başlama (ilk olay) noktasına (sağdan sola doğru ←) doğru gidilerek hesaplanır.

LF=Kritik Süre-Faaliyet Süresi (sondan noktaya doğru süre toplamı)

Bazı durumlarda sondan başlanarak, belirli bir faaliyetin olay noktasına bir kaç yoldan gelinebilir. Bu durumda en büyük süreye sahip olan yol dikkate alınır.

4) Geç başlama süresi (LS)

LS=LF-Faaliyet Süresi

5) Aylak Süre (S)

S=LS-ES veya S=LF-EF

**ÖRNEK UYGULAMA 14.7:**

**CPM Uygulaması:**

Bir inşaat şirketine ilişkin proje faaliyetleri ve kesin süreleri çizelgede verilmiştir.

*İstenen:*

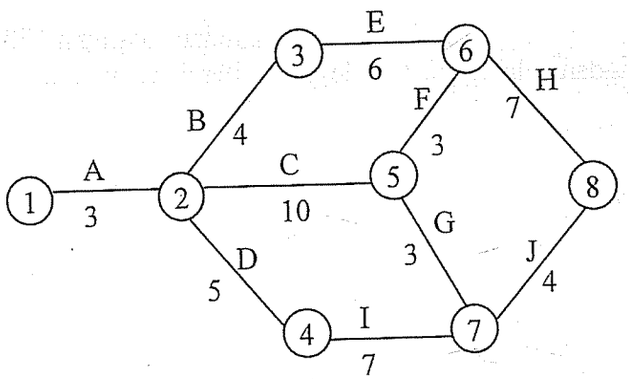
PERT şemasının çizilmesi, kritik yolun bulunması, ES, EF, LS, LF ve S sürelerinin hesaplanması istenmektedir.

Çizelge 14.15. Bir İnşaat Firmasına İlişkin CPM Bilgileri

| Faaliyetler | Süre, Gün |
|---|---|
| A (1-2) | 3 |
| B (2-3) | 4 |
| C (2-5) | 10 |
| D (2-4) | 5 |
| E (3-6) | 6 |
| F (5-6) | 3 |
| G (5-7) | 3 |
| H (6-8) | 7 |
| I (4-7) | 7 |
| J (7-8) | 4 |

**Çözüm 14.7:**

manın çizilmesi: Çizelge 14.15'teki faaliyetler ve süreler larak PERT şeması Şekil 14.15'teki gibi çizilir.




Şekil 14.15. PERT şeması

oje ile ilgili kritik yolun hesaplanması

Çizelge 14.16. Kritik Yol Hesabı

| Yollar | Süreler, Gün |
|---|---|
| 1) A B E H | 3+4+6+7=20 |
| **2) A C F H** | 3+10+3+7=**23** ← |
| 3) A C G J | 3+10+3+4=20 |
| 4) A D I J | 3+5+7+4=19 |

oje ile ilgili sürelerin hesaplanması

- Erken başlama (ES):



Şekil 14.15'te görülen PERT şemasında, şemanın başlangıç olayı (1) noktasından olay (7) noktasına doğru hareket edilerek hesap yapılır.

Örnek:

B(2-3) , C(2-5), D(2-4) faaliyetlerinin ES değerleri:

B,C,D faaliyetlerinden önce A faaliyeti olup tamamlama süresi $t_e$=3 gündür. B,C, D faaliyeti en erken A faaliyeti tamamlandıktan sonra başlayabilecektir. Bu durum göre B,C,D erken başlama süresi ES=3 gün olacaktır.

Bir faaliyetten önce başka faaliyetler varsa; bu durumda bu faaliyetin olay noktasına birkaç yoldan gidilebilir.

Örnek:

H(6-8) faaliyeti ES değeri:

H faaliyetine iki yol ile gidilir.

A→B→E =3+4+6 =13 gün

A→C→F =3+10+3 =16 gün (**seçilir**)

Burada en uzun süre ES=16 gün ile kritik yol ikinci yoldur.

- Erken tamamlama süresi (EF):

Erken tamamlama süresi (EF), erken başlama süresine (ES) ye faaliyet süresi $t_e$ eklenerek bulunur.

$EF=ES+t_e$

Örnek:

H(6-8) faaliyeti EF değeri;

EF=ES+te=16+7=23 gün.

- Geç tamamlama süresi (LF):

Şekil 14.15'te bitiş noktası (8)'den geriye, yani başa (1) doğru hareket edilmek suretiyle hesaplanır.

Örnek:

E(3-6) faaliyetinin LF değeri:

E faaliyetinin tamamlama süresi, E faaliyetinden sonra gelen H faaliyetinin faaliyet süresi $t_e$=7, kritik süre olan 23'ten çıkartılır

LF=23-7=16 gündür.

Bazı durumlarda sondan başlanarak birkaç yoldan olay a gelinir. Bu durumda en fazla süreye sahip olan yol seçilir.

Örnek:

C faaliyeti olay noktası (5)'e gelinerek hesap yapılır. Bu iki yol ile gelinir.

F←H süresi 7+3=10 gün **(seçilir)**

G←J süresi 4+3=7 gün

LF=23-10=13 gün bulunur.

Örnek:

A(1-2) faaliyetinin LF değeri

B←E←H Süre 7+6+4 =17 gün

C←F←H Süre 7+3+10=20 gün **(seçilir)**

C←G←J Süre 4+3+10=17 gün

D←I←J Süre 4+7+5 =16 gün

LF=23-20 =3 gün

Geç başlama süresi (LS):

LS=LF-$t_e$ ile hesaplanır.

A(1-2) noktası LS=LF-$t_e$= 3-3 =0 gün

B(2-3) noktası LS=LF-$t_e$=10-4=6 gün

Bu değerler; son noktadan olay başlangıcına kadar geçen t süreleri toplanarak kritik süreden çıkartılmasıyla da bilir.

LS=23-∑son noktadan olay noktaya kadar olan süreler

LS=23-23=0 gün

LS=23-17=6 gün

Aylak süre (S):

İki yolla bulunur:

S=LS-ES

S=LF-EF

Örnek:



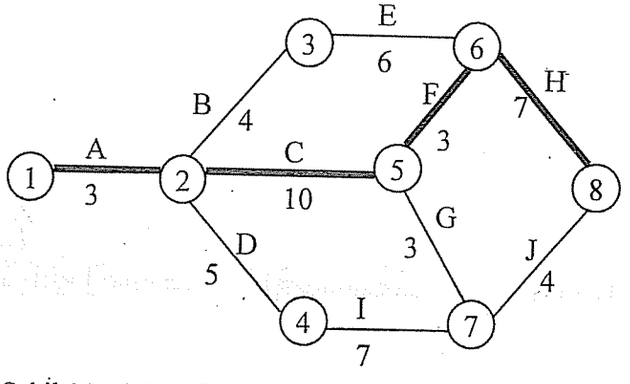
A(1-2) noktası S=0-0=0 veya S=3-3 = 0

B(2-3) noktası S=6-3=3 veya S=10-7=3

Sonuçlar Çizelge 14.17'de görülmektedir.

Aylak sürenin sıfırdan (0) farklı olduğu yerlerde projenin zamanında tamamlanma durumu sö konusudur. Bunun dışında proje tamamlanamama tehlikesi ile karşılaşılır.

Burada A→C→F→H kritik yoldur (Şekil 14.16). Bu yolda faaliyetler sürer.




Şekil 14.16. PERT şeması- kritik yol

Çizelge 14.17. Proje Faaliyetleri Süre Hesapları

| Faaliyet | Süre,te | ES | EF | LS | LS | LF | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| A (1-2) | 3 | 0 | 3 | 3-3=0 | 23-23=0 | 23-20=3 | 0 |
| B (2-3) | 4 | 3 | 7 | 10-4=6 | 23-17=6 | 23-13=10 | 3 |
| C (2-5) | 10 | 3 | 13 | 13-10=3 | 23-20=3 | 23-10=13 | 0 |
| D (2-4) | 5 | 3 | 8 | 12-5=7 | 23-16=7 | 23-11=12 | 4 |
| E (3-6) | 6 | 7 | 13 | 16-6=10 | 23-13=10 | 23- 7=16 | 3 |
| F (5-6) | 3 | 13 | 16 | 16-3=13 | 23-10=13 | 23- 7=16 | 0 |
| G (5-7) | 3 | 13 | 16 | 19-3=16 | 23- 7=16 | 23- 4=19 | 3 |
| H (6-8) | 7 | 16 | 23 | 23-7=16 | 23- 7=16 | 23- 0=23 | 0 |
| I (4-7) | 7 | 8 | 15 | 19-7=12 | 23-11=12 | 23- 4=19 | 4 |
| J (7-8) | 4 | 16 | 20 | 23-4=19 | 23- 4=19 | 23- 0=23 | 3 |

ge14.18. Normal Dağılım Tablosu "Z"

| .01 | .02 | .03 | .04 | .05 | .06 | .07 | .08 | .09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .50399 | .50798 | .51197 | .51595 | .51994 | .52392 | .52790 | .53188 | .53586 |
| .54380 | .54776 | .55172 | .55567 | .55962 | .56356 | .56749 | .57142 | .57535 |
| .58317 | .58706 | .59095 | .59483 | .59871 | .60257 | .60642 | .61026 | .61409 |
| .62172 | .62552 | .62930 | .63307 | .63683 | .64058 | .64431 | .64803 | .65173 |
| .65910 | .66276 | .66640 | .67003 | .67364 | .67724 | .68082 | .68439 | .68793 |
| .69497 | .69847 | .70194 | .70540 | .70884 | .71226 | .71566 | .71904 | .72240 |
| .72907 | .73237 | .73536 | .73891 | .74215 | .74537 | .74857 | .75175 | .75490 |
| .76115 | .76424 | .76730 | .77035 | .77337 | .77637 | .77935 | .78230 | .78524 |
| .79103 | .79389 | .79673 | .79955 | .80234 | .80511 | .80785 | .81057 | .81327 |
| .81859 | .82121 | .82381 | .82639 | .82894 | .83147 | .83398 | .83646 | .83891 |
| .84375 | .84614 | .84849 | .85083 | .85314 | .85543 | .85769 | .85993 | .86214 |
| .86650 | .86864 | .87076 | .87286 | .87493 | .87698 | .87900 | .88100 | .88298 |
| .88686 | .88877 | .89065 | .89251 | .89435 | .89617 | .89796 | .89973 | .90147 |
| .90490 | .90658 | .90824 | .90988 | .91149 | .91309 | .91466 | .91621 | .91774 |
| .92073 | .92220 | .92364 | .92507 | .92647 | .92785 | .92922 | .93056 | .93189 |
| .93448 | .93574 | .93699 | .93822 | .93943 | .94062 | .94179 | .94295 | .94408 |
| .94630 | .94738 | .94845 | .94950 | .95053 | .95154 | .95254 | .95352 | .95449 |
| .95637 | .95728 | .95818 | .95907 | .95994 | .96080 | .96164 | .96246 | .96327 |
| .96485 | .96562 | .96638 | .96712 | .96784 | .96856 | .96926 | .96995 | .97062 |
| .97193 | .97257 | .97320 | .97381 | .97441 | .97500 | .97558 | .97615 | .97670 |
| .97784 | .97831 | .97882 | .97932 | .97982 | .98030 | .98077 | .98124 | .98169 |
| .98257 | .98300 | .98341 | .98382 | .98422 | .98461 | .98500 | .98537 | .98574 |
| .98645 | .98679 | .98713 | .98745 | .98778 | .98809 | .98840 | .98870 | .98899 |
| .98956 | .98983 | .99010 | .99036 | .99061 | .99086 | .99111 | .99134 | .99158 |
| .99202 | .99224 | .99245 | .99266 | .99286 | .99305 | .99324 | .99343 | .99361 |
| .99396 | .99413 | .99430 | .99446 | .99461 | .99477 | .99492 | .99506 | .99520 |
| .99547 | .99560 | .99573 | .99585 | .99598 | .99609 | .99621 | .99632 | .99643 |
| .99664 | .99674 | .99683 | .99693 | .99702 | .99711 | .99720 | .99728 | .99736 |
| .99752 | .99760 | .99767 | .99774 | .99781 | .99788 | .99795 | .99801 | .99807 |
| .99819 | .99825 | .99831 | .99836 | .99841 | .99846 | .99851 | .99856 | .99861 |
| .99869 | .99874 | .99878 | .99882 | .99886 | .99899 | .99893 | .99896 | .99900 |
| .99906 | .99910 | .99913 | .99916 | .99918 | .99921 | .99924 | .99926 | .99929 |
| .99934 | .99936 | .99938 | .99940 | .99942 | .99944 | .99946 | .99948 | .99950 |
| .99953 | .99955 | .99957 | .99958 | .99960 | .99961 | .99962 | .99964 | .99965 |
| .99968 | .99969 | .99970 | .99971 | .99972 | .99973 | .99974 | .99975 | .99976 |
| .99978 | .99978 | .99979 | .99980 | .99981 | .99981 | .99982 | .99983 | .99983 |
| .99985 | .99985 | .99986 | .99986 | .99987 | .99987 | .99988 | .99988 | .99989 |
| .99990 | .99990 | .99990 | .99991 | .99991 | .99992 | .99992 | .99992 | .99992 |
| .99993 | .99993 | .99994 | .99994 | .99994 | .99994 | .99995 | .99995 | .99995 |
| .99995 | .99996 | .99996 | .99996 | .99996 | .99996 | .99996 | .99997 | .99997 |



# BÖLÜM 15 GENEL DEĞERLENDİRME VE PLANLAMA RAPORU

Önceki bölümlerde su kaynaklarının planlanmasında gerekebilecek temel bilgiler, yöntemler, analizler ve basit uygulamaları verilmeye çalışılmıştır. Bu kitabın bölüm bilgilerine ek olarak su kaynaklarının planlanmasında yeni bilgiler gerekebilir, ancak bazı temel bilgiler amaca ve duruma göre çok özel olabilir, bu nedenle bilinmesi gereken temel bilgiler ile sınırlı kalınmıştır. Öte yandan, planlama düşüncesinin geliştirmesi hedeflendiği için daha fazla ayrıntılı ve daha yaygın bilgi vererek kitap hacmi büyütülmek istenmemiş, bu şekliyle yeterli görülmüştür.

Bu bölümde ise adı konmuş çalışmanın aşağıda verilen aşamalara benzer biçimde planlama raporunun hazırlanması özetlenecektir.

## 15.1. Planlama Raporunun Hazırlanması

1) *Alternatif planların geliştirilmesi*: Planlama, genel olarak, proje amaçlarının tanımlanmasını, amaç dahilinde gereken bilgilerin toplanmasını, seçenek planların geliştirtmesini kapsar.

2) *Planın seçimi ve onayı*: Geliştirilen alternatif planların sosyo-ekonomik analizleri yapılır, en uygun olanı seçilir, onaylanır.

3) *Finansman kaynakları sağlanması*: Seçilen plan için finansman kaynakları aranır.

4) *Uygulama projelerinin hazırlanması:*.

5) *Yapımına başlanmasının olgunlaştırılması.*

Bu olaylar kısaca *ön inceleme* (istikşaf), *planlama* (yapılabilirlik-fizibilite) ve *kesin proje* olmak üzere üç aşamada özetlenir.

Planlama raporu belgeli, güvenilir, açık, düzgün ifadeli ve özlü durumundadır. Gerek görülen bir kısım bilgiler rapor ekinde ulmalıdır.

Planlama raporunun bölüm ve kısımları aşağıdaki çerçevedeki bilir. Bu çerçeve DSİ raporlarını esas almaktadır.

**apor Yazım Planı**

KAPAK SAYFASI

SUNUŞ

İÇİNDEKİLER

ÖZET

Projenin Yeri

Önerilen Tesisler

Proje Karakteristikleri

Proje Ekonomisi

GİRİŞ

Çalışmanın Amacı

Çalışmalar Kapsamı

Yetki

1.PROJE ALANIN TANITILMASI

1.1. Doğal Coğrafya

1.2. Sosyal Durum

1.3. Ulaştırma

1.4. Ekonomik Durum

1.5.Önceki Etütler

2. GELİŞME PLANI

2.1.Gelişme Nedenleri

2.2. Mevcut Tesisler



2.3. Gelişme Süresi

2.4. gelişme Planının Sonuçları ve Etkileri

3. İKLİM VE SU KAYNAKLARI

3.1. İklim

3.2. Su Kaynakları

3.3. Su İhtiyacı

3.4. İşletme Çalışmaları

3.5. Proje Taşkınları

3.6. Rusubat Durumu

4. TOPRAK KAYNAKLARI

4.1.Arazi Sınıflandırma Alanının Nitelikleri

4.2. Drenaj Alanının Nitelikleri

4.3. Arazi Sınıflandırma Sonuçları

4.4. Maliyet

5. DÜŞÜNÜLEN TESİSLER

5.1.Proje Formülasyonu

5.2.Depolama Tesisleri

5.3 Sulama ve Islah tesisleri

6. MALİYETLER VE YILLIK GİDERLER

6.1. Maliyet ve Gider Hesaplama Esası

6.2. Maliyetler

6.3. Yıllık İşletme, Bakım ve Yenileme Giderleri

6.4. Yatırım Programı

6.5. Yatırım Maliyetleri ve Yıllık Giderlerin Bugünkü Değeri

6.6. Yıllık Üniform Giderler

6.7. Döviz İhtiyacı

7. TARIMSAL EKONOMİ

7.1 Bugünkü Tarımsal Durum

7.2. projeden Sonraki Tarımsal Durum

7.3. Net Gelir Artışı ve Su Ücreti Durumu
. TAŞKINLAR EKONOMİSİ
. ENERJİ DURUMU VE EKONOMİ
0. İÇME VE ENDÜSTRİ SUYU EKONOMİSİ
1. BALIKÇILIK-AVCILIK DURUMU VE EKONOMİSİ
2. MESİRE YERLERİ VE TURİZM OLANAKLARI
3. AKARSU KİRLENMESİ
4. AKARSU TAŞIMACILIĞI
5. EKONOMİK ANALİZ
15.1. Gelirler
15.2. Giderler
15.3. Projenin Savunulması
15.4. Projenin Diğer gelirleri
16. MALİ ANALİZ
17. ALTERNATİFLER
18. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rapor yazılırken şekilsel ve teknik kurallara uyulması istenir. bir bitmiş raporu örnek alıp üzerinde çalışmak en doğru :. Burada şekilsel ve teknik ayrıntısına girmek ve hatta alt erin dahi konu olan proje özelliğine göre düzenlenmesi daha olur. Bunlara rağmen bölüm ayrıntıları ile ilgili bir kısım bilgi e yarar vardır.

**ölümlerin Ayrıntıları**

*Kapak Sayfası*:Kapak sayfasında projeyi hazırlayan kuruluş, dı ve bitirilme tarihi yer alır. Kapak sayfasından sonraki bir iki ı gelenek olarak bu çalışmada görev alanların ismi verilir.

*Sunuş:* Sunuş her raporda gözükmemektedir. Sunuş görev ve bitirilen raporun inceleme makamına sunuşunu ifade eder.



*İçindekiler:* Rapor içinde geçen bölüm, alt bölüm başlıklarını ve varsa Şekil, Çizelge, Pafta, ve Resim listesini gösterir.

*Özet:* Çalışmanın amacını açıklar, kısaca çalışma hakkında bilgi verir, teknik ve ekonomik alternatifleri sunar, yorum yapar, öneriler verir.

*Giriş:* Giriş bölümünde ele alınan problemin niteliği, neden planlama kapsamına alındığı, amaçlar ve bu amaçların nasıl gerçekleştirildiği hakkında bilgi verilir.

*Proje alanının tanıtılması:* Çalışmanın özelliğine göre çalışma alanı alt başlıklar halinde bu bölümde tanıtılır

*İklim ve su kaynakları*: Burada ihtiyaç duyulan özel iklim bilgileri, su ihtiyaçları, kaynaklar ve taşkınlar hakkında bilgiler verilir.

*Toprak kaynakları:* Arazi sınıfları, toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri, drenaj durumları, doğal drenaj kanalları vs. çalışmaları sonuçları verilir.

*Düşünülen tesisler:* Amaca ve duruma göre düşünülen tesisler ve tesislerin kısımları, imkanlar, taşkın çalışmaları, tarla içi faaliyetler, kamulaştırma, işçi sorunu, gibi birçok alt başlıkta çalışmalar verilir.

*Maliyetler ve yıllık giderler:* Maliyet ve giderlerin hesaplama esasları, tesis maliyetleri, yıllık işletme bakım ve yenileme giderleri, yatırım programı, maliyet ve giderlerin bugünkü değeri ve finanse ihtiyacı gibi çalışmalar verilir.

*Tarımsal ekonomi:* Bu bölümde mevcut tarımsal durum, mülkiyet, aile gelirleri, su ücretleri, işgücü durumları yer alır.

*Taşkınlar ekonomisi*: Yapılacak tesisin taşkın önleme özelliği olabilir. Bunun ekonomik katkısının incelenmesi gerekir.

*Enerji durumu ve ekonomisi*: Her planlama çalışması enerji üretimine yönelik olmayabilir, eğer söz konusu ise ayrıntısına girilmesi ve burada verilmesi gerekir.

9-10-11-12-13-14 Bölümler yine özel bölümler olup çalışmada bunlar söz konusu ise bu bölümlerde ayrıntılarının verilmesi gerekir. Söz konusu değilse de vurgulanması gerekir.

*Ekonomik analiz:* Burada faydalar, masraflar ve fayda-masraf oranı ve karlılık oranı, projenin diğer gelirleri konu edilir.

*ali analiz:* Maliyet taksimi, yatırımların geri ödenmesi

*ternatifler:* Depolama ve sulama tesisleri ile ilgili er ortaya konur ve tartışılır.

*nuç ve öneriler:* Projenin önemli özelliklerine ilişkin bulgu r özet olarak verilir. Sulanabilecek alan, proje yatırım bedeli, analiz sonucu, projenin yapılabilirlilik durumu belirtilir. unulur.



## KAYNAKLAR


Anonim, 1967a. What You Should Know About Watershed Development. Iowa State University of Science and Technology Coo.Ex. Ser. Pm -355;

Anonim, 1967b. Erosion Control Factors and the Universal Soil Loss Equation. Iowa State University of Science and Technology Co. Ex. Ser. Pm-410.

Anonim., 1978. 1.Ulusal Erozyon ve Sedimantasyon Sempozyumu Tebliğleri (25-27 Nisan). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, No.982, Ankara.

Anonim, 1985. Türkiye'nin Su Potansiyeli, İçme ve Kullanma Suları Kaynaklarının Korunması. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği İstanbul Şubesi, Yayın No: 7.

Anonim, 1990. Toprak ve Su Kaynakları. VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı Ö.İ.K. Raporu. Ankara.

Anonim, 1995. Arsuz-Gönençay Projesi Planlama Raporu. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ. Genel Müdürlüğü. VI. Bölge Müdürlüğü. Adana.

Balaban, A., 1986. Su Kaynaklarının Planlanması. A.Ü.Z.F. Ders K. No:284.

Bayazit, M. ve Avcı; I.; Şen, Z., 1978. Hidroloji Uygulamaları. İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı 1111.

Berkes, F., Kışlalıoğlu, M., 1993.Ekoloji ve Çevre Bilimleri. Remzi Kitabevi, İstanbul.

Biswas, A. K., 1980. The Application of System Analysis To Problems of Irrigation, Drainage and Flood Control. Water Development and Management Volume 11. Pergamon Press.

Boyacıoğlu, R., 1981. Toprak ve Su Kaynaklarının Geliştirilmesi Projelerinde Ekonomik Analiz. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü Yayınları No::704

Buras, N., 1972. Scientific Allocation of Water Resources. American Elsevier Innc., New York.

Chow, V. T., 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Com. New York.