

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT ANABİLİM DALI

NEHİR VE REZERVUAR SEDİMENTASYONU

105851

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez No: İNŞ. YL. 006

TEZİ HAZIRLAYAN

Bülent Abbas KAYHAN

TEZ YÖNETİCİSİ

Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ

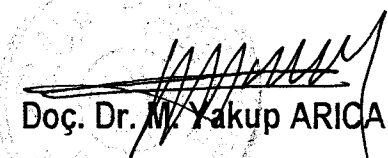
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANLAMA MERKEZİ

KIRIKKALE - 2001

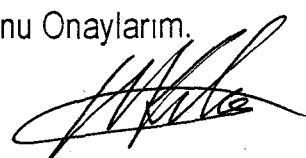
105851

Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Tezi Olarak Uygun Bulunmuştur.

..18../07../2001



Doç. Dr. M. Yakup ARICA
Enstitü Müdürü

Yüksek Lisans Derecesini Tamamlamak İçin Tezin Yeterli Olduğunu Onaylarım.


Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ
Anabilim Dalı Başkanı

Bu Tezi Okuduk. Bizim Açımızdan Tezin Kapsamı ve Kalitesi Yüksek Lisans Derecesini Tamamlamak İçin Yeterli ve Uygundur.

Yardımcı Danışman





Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ
Danışman

Tez Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

Prof. Dr. Melih YANMAZ

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Teşekkür	IV
Özet	V
Abstract	VI
Şekiller Dizini	VII
Tablolar Dizini	IX
Simgeler Dizini	X

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER

1.1. Rezervuar Sedimentasyonunun Önemi	1
1.1.1. Rezervuar Sedimentasyonu Nedir?	1
1.1.2. Konunun Seçilmesinde Yönlendirici Faktörler	1
1.1.3. Rezervuar Sedimentasyonunun Türkiye için Önemi	2
1.1.4. Rezervuar Sedimentasyonunun Dünyadaki Önemi	3
1.2. Tezin İçeriği	3

BÖLÜM 2

TEORİ VE TEMEL BİLGİLER

2.1. Erozyonun Hidromekaniği ve Sedimentasyon	5
2.1.1. Sediment Özellikleri ve Hareketin Mekaniği	5
2.1.1.1. Sedimentin Oluşumu ve Kaynağı	5
2.1.1.2. Sediment Taneciklerinin Temel Özellikleri	6
2.1.1.3. Sediment Hareketinin Mekaniği	11
2.1.2. Erozyon ve Hidrolik Prensipler	12
2.1.3. Nehir Erozyonu ve Sedimentasyonunun Hidroliği	15
2.1.3.1. Yatak Yükü	15
2.1.3.2. Asılı Yük	16
2.1.3.3. Yıkama Yükü	17
2.1.3.4. Toplam Yük	18
2.1.3.5. Sedimentin Sökülme Taşınma ve Çökme Hareketi	18
2.1.4. Nehir ve Rezervuar Sedimentasyonu	21

	Sayfa
2.2. Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalar	22
2.2.1. Sediment Yüklü Hesap Metotları	22
2.2.2. Değerlendirme Tatbikat ve Uygulamalar	28
2.3. Türkiyedeki Çalışmalar ve Uygulamalar	30

BÖLÜM 3

ÖLÜ HACİM HESAPLAMA

3.1. Ölü Hacim ve Baraj Tasarımı	32
3.1.1. Ölü Hacim Tahmini ve Önemi	32
3.1.2. Ölü Hacim ve Rezervuar İşletmesi	33
3.2. Ölü Hacim Hesaplama Metotları	34
3.2.1. Sediment Yığılma Prensipleri ve Şekilleri	34
3.2.2. Sediment Debisi Çeşitleri ve Yığılma Prensipleri	35
3.2.3. Ölü Hacim Hesaplanması	35
3.2.4. Türkiye’de Sediment Debisi ve Rezervuar Ölü Hacim Hesaplamaları	36
3.2.4.1. Türkiye’de Sediment Debisi Hesaplama Metotları	37
3.2.4.2. Türkiye’de Rezervuar Ölü Hacim Hesaplamaları	38

BÖLÜM 4

KARAKAYA BARAJ REZERVUARI (ÖRNEK ÇALIŞMA)

4.1. Yer Seçimi ve Gözlemler	40
4.2. Mevcut Bilgilerin Değerlendirilmesi	40
4.3. Uygulama ve Karşılaştırmalar	49

BÖLÜM 5

SONUÇ VE YORUMLAR

BÖLÜM 6

TAVSİYELER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

KAYNAKLAR**EKLER**

EK 1. Meyer – Peter ve Müller ve Değiştirilmiş Einstein Metotları	74
Meyer – Peter ve Müller Denklemi	75
Değiştirilmiş Einstein Metodu	78
EK 2. Bilgisayar Programları	87
Meyer – Peter ve Müller ve EİE İd. Yöntemi’ni Kullanan Bilgisayar Programı	88
Değiştirilmiş Einstein ve EİE İd. Yöntemi’ni Kullanan Bilgisayar Programı	95
EK 3. Veri Giriş Dosyaları	107
Meyer – Peter ve Müller ve EİE İd. Yöntemi’ni Kullanan Bilgisayar Programı İçin Veri Giriş Dosyası	108
Değiştirilmiş Einstein ve EİE İd. Yöntemi’ni Kullanan Bilgisayar Programı İçin Veri giriş Dosyası	111
EK 4. Bilgisayar ıktıları	114
Meyer – Peter ve Müller ve EİE İd. Yöntemi’ne göre Karakaya Rezervuarı Sedimantasyon Durumu	115

TEŞEKKÜR

Bu tezin yazarı, tez yöneticisi Prof. Dr. Mustafa Y. Kılınç'a tezin hazırlanma aşamaları boyunca göstermiş olduğu destek ve yardımdan dolayı teşekkürlerini sunmaktadır.

Ayrıca tez yazarı, başta Sediment Etütleri Şubesi Müdürü, Adil Alışık ve Yüksek Ziraat Mühendisi Ekrem Yalçın olmak üzere Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Personeli'ne ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Personeli'ne, tez çalışması için gerekli bilgi ve verileri sağladıkları için teşekkürlerini iletmektedir.

Yrd. Doç. Dr. Orhan Doğan'a, tezin dizgisi ile ilgili verdiği tavsiyelerden dolayı; ayrıca Mustafa Kayhan'a, şekillerin hazırlanmasında yardımcı olduğu için teşekkür edilmektedir.

Bülent Abbas KAYHAN

Kırıkkale

Temmuz, 2001

ÖZET

Bu tez çalışmasında genel olarak sedimantasyonun hidrolik prensipleri ile beraber sediment özellikleri, sediment yükü ve rezervuar sedimantasyonu hakkında bir araştırma yapıldıktan sonra bir örnek çalışmayla rezervuar sedimantasyonu hesaplamaları yapılmıştır. Bunun için Karakaya Barajı üzerinde bir örnek çalışma yapmak için seçilmiş ve birer bilgisayar programı ile Meyer – Peter ve Müller ile Değiştirilmiş Einstein Metotları uygulanmıştır. Meyer – Peter ve Müller Yöntemine göre rezervuar girişinde oluşan delta sebebiyle nehir kıyılarını sel basabileceği şeklinde bir tahmin yapılmıştır. Değiştirilmiş Einstein yöntemi ile elde edilen sonucun ise gerçeği yansıtmaktan uzak olması sebebi ile bu metodun uygulandığı bölgeye uygun hale getirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



ABSTRACT

In this M. Sc. thesis generally sediment properties, sediment load and reservoir sedimentation are studied and an investigation about reservoir sedimentation is carried out as a case study. Karakaya Dam Reservoir is chosen for this case study. Then Meyer – Peter and Müller, and Modified Einstein Methods are applied for this reservoir. Because of the delta that will be formed at the entrance of the reservoir according to Meyer - Peter and Müller Method, it is expected that the lands adjacent to the river at these regions may be flooded. Since the results obtained from Modified Einstein Method are thought to be far from explaining the real case, it is concluded that this method must be modified to be made applicable before its use for a specific region.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. İtme Katsayısı, C_D ve Reynolds Sayısı, Re arasındaki ilişki	9
Şekil 3.1. Bir rezervuarın kısımları, ve rezervuarda ölü hacim için yer ayrılması	39
Şekil 4.1. Keban Rezervuarı ve diğer ardışık rezervuarların profildeki detayları	41
Şekil 4.2. Keban İstasyonu'ndaki aylık debiler	42
Şekil 4.3. Rezervuar sedimantasyonu hesabında kullanılan matematiksel modelleme	43
Şekil 4.4. Karakaya Baraj Rezervuarı Haritası üzerinde alınan düğüm noktaları	44
Şekil 4.5. Tohma Suyu ve Fırat Nehri üzerindeki ve bu bölgedeki diğer akım gözlem istasyonları	46
Şekil 4.6. Karakaya net havza alanının alt havzalara ayrılması	48
Şekil 4.7. Yatak yükü için sediment dane dağılımı	51
Şekil 4.8. Toplam yük için sediment dane dağılımı	52
Şekil 4.9. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 5. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yük depolanma durumu	53
Şekil 4.10. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 10. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu	54
Şekil 4.11. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 15. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu	55
Şekil 4.12. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 20. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu	56
Şekil 4.13. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 40. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu	57
Şekil 4.14. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 60. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu	58
Şekil 4.15. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 80. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü	

depolanma durumu	59
Şekil 4.16. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 100. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu	60
Şekil 4.17. Mamba yönünde Keban Barajı'nın bulunmadığı hal için Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 100. Yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu	61
Şekil E1.1. Sediment taşınımının bir fonksiyonu olarak kanaldaki düzensizliklerden dolayı enerji kaybı	79
Şekil E1.2. Basınç düzeltme terimi, Y nin D_{65}/δ ya göre değişimi	80
Şekil E1.3. Logaritmik hız dağılımı için düzeltme katsayısının k_s / δ ya göre değişimi	80
Şekil E1.4. Einstein'ın $\Psi_* = f(\phi_*)$ şeklindeki yatak yükü fonksiyonu	81
Şekil E1.5. z'nün hesabında kullanılan nomograf	82
Şekil E1.6. J_1 integralinin $J_1 = f(E, z')$ fonksiyonuna göre değişimi	83
Şekil E1.7. J_2 integralinin $J_2 = f(E, z')$ fonksiyonuna göre değişimi	84
Şekil E1.8. $I_1 = f(E, z)$ şeklindeki fonksiyon	85
Şekil E1.9. $I_2 = f(E, z)$ şeklindeki fonksiyon	86

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Başlıca sediment sınıfları	7
Tablo 4.1. Türkiye'deki bazı sediment gözlem istasyonları ve sediment yükü verileri	47
Tablo 4.2. K değerlerini ve başlangıçtaki birim ağırlıkları gösteren tablo	50
Tablo 4.3. Karakaya Barajı Rezervuarı'nda Değiştirilmiş Einstein ve EİE İdaresi Metotlarına göre nehir yatağı ve araziden gelen toplam sediment yükleri (aylık değerler)	62



SİMGELER DİZİNİ

- A_p : Akıma dik tanecik izdüşüm alanı
 A_s : Toprak kaybı miktarı
 A_w : Havza özelliklerine göre değişen bir katsayı
 A : Sabit
 A_c : Akışın kesit alanı
 a : En uzun tanecik aksel uzunluğu
 a_e : Erozyon hesap denkleminde bir katsayı
 a' : Numune alma aracına ait bir değişken
 B_f : Akımın genişliği
 B_w : Havza özelliklerine göre değişen bir katsayı
 B : Sabit
 b : Orta uzunluktaki tanecik ekseni
 C : Ortalama sediment konsantrasyonu
 C_w : Arazinin bitki örtüsü ile ilgili özelliklerinin erozyona etkisi
 C_D : Direnç kuvveti katsayısı
 C' : Akımın sediment konsantrasyonu
 C_s' : Akışın sediment konsantrasyonu
 $C(y)$: sediment konsantrasyonunun düşey doğrultudaki değişimi
 c : En kısa tanecik aksel uzunluğu
 c_1 : Sabit
 c_2 : Sabit
 c_3 : Sabit
 c_4 : Sabit
 D_M : Suyun moleküler difüzyon katsayısı
 D_{50} : Sedimentin %50'sinin küçük olduğu çap
 D_{65} : Sedimentin %65'inin küçük olduğu çap
 D_{90} : Sedimentin %90'ının küçük olduğu çap
 D_m : Karakteristik yatak malzemesi çapı
 D : Tanecik boyutu
 d : Geniş ve sığ akımlar için ortalama akış derinliği
 d : Tanecik çapı
 d_i : İnç cinsinden ortalama tanecik çapı
 d_a : Karakteristik yatak malzemesi çapı

d_v : Asılı sediment örneklerinin alındığı derinlikler
E: Yatak kalınlığının ortalama derinliğe oranı
F: Taneciğe etkiyen direnç kuvveti
f: Matematiksel bir fonksiyon
h: Akımın derinliği
 i_b : Yatak yükünün boyut dağılımı
 $i_{bw} * q_{bw}$: Belli bir tanecik boyut oranı için bütün kesitten geçen yatak yükü
 $i_T * Q_T$: ince veya kaba taneli sediment yükü
 i_s : Askı yükünün boyut dağılımı
 K_R : İç sürtünme açısı formülünde bir katsayı
K: Sabit bir değer
 K_W : Toprağın aşınmayla ilgili özellikleri
k: Pürüzlülük katsayısı
 k_{sh} : Kumlu yatak malzemesinde yatak pürüzlülüğü yüksekliği
 k_s : Pürüzlülük çapı
 k_r : Tanecik pürüzlülüğüne ait pürüzlülük katsayısı
L: Akımın seçili kısmının uzunluğu
 $L*S$: Erozyonun topografi ile olan ilişkisi
 n_T : Toplam pürüzlülüğe ait Manning Katsayısı
n: Düğüm noktası
 n_s : Tanecik pürüzlülüğüne ait Manning Katsayısı
P: Erozyon önleme çalışmalarının erozyona etkisi
 P_E : Einstein Taşıma Parametresi
 P_b : Nehir yatağı ıslak çevresi
Q: Akış debisi
 Q_Y : Ortalama yıllık debi
 Q_s : Sediment yükü
 Q_v : Yüzeysel akışın hacmi
 Q_w : Akımın debisi
 q_p : Pik debi
 q_{bw} : Su altındaki ağırlık cinsinden sediment debisi
 q_n : Akımın herhangi bir kısmından çıkan sediment yükü
 q_{n+1} : Akımın herhangi bir kısmına giren sediment yükü
 q_n araziden : Araziden gelen sediment yükü

Q_n depolanan : Depolanan sediment yükü
 q_s : Akımın birim genişliğinden geçen sediment yükü
R: Yağışın erozyona sebep olan özellikleri
 R_b : Toplam pürüzlülüğe ait hidrolik yarıçap
 R_b' : Tanecik pürüzlülüğüne ait hidrolik yarıçap
 R_b'' : Yatak pürüzlülüğüne karşı etkiyen hidrolik yarıçap
 Re_* : Sürüklenme Reynolds Sayısı
 R_s : Sediment taşımınının gerçekleştiği hidrolik yarıçap
r: En uzun çapın en kısa çapa oranı
 S_w : Tanecik su içindeki özgül ağırlığı
S : Toplam pürüzlülüğe ait eğim
 S' : Tanecik pürüzlülüğüne ait eğim
 S'' : Nehir tabanındaki düzensizliklere ait eğim
 S_k : Toplam enerji gradyanı
 S_r : Tanecik pürüzlülüğüne ait enerji gradyanı
 T_Y : Yıl cinsinden zaman
T: Suyun sıcaklığı
 T' : Düzeltme katsayısı
t: Zaman
U: Ortalama akış hızı
 $U(y)$: Akış hızının düşey doğrultudaki değişimi
 U_* : Sürüklenme hızı
 U_{*b}' : Yatak pürüzlülüğüne ait sürüklenme hızı
 U_{*b}'' : Şekil pürüzlülüğüne karşı etkiyen sürüklenme hızı
u: x yönündeki sediment hareketi hızı
v: y yönündeki sediment hareketi hızı
X: Karışımın karakteristik tanecik büyüklüğü
x : Logaritmik hız dağılımı için düzeltme katsayısı
 Y_s : Fırtına sonucu oluşan sediment yükü
Y: Basınç düzeltme terimi
y: Düşey eksen
 W_1 : Başlangıçtaki sediment birim ağırlığı
 W_T : T_Y sene sonraki sediment birim ağırlığı
w: z yönündeki sediment hareketi hızı

- w_0 : Tanecik çökme hızı
- z' : Konsantrasyon değeri için kullanılan bir üs değışkeni
- β : Erozyon hesap denkleminde bir katsayı
- β_x : Bir değışken
- β : Sabit
- γ : Suyun özgül ağırlığı
- γ_s : Kuru haldeki sedimentin özgül ağırlığı
- δ : Laminer alt tabaka kalınlığı
- Δ : Görünen pürüzlülük çapı
- Δh : Tabanda sediment depolanma kalınlığı
- Δt : Zaman aralığı
- ε_x : x yönündeki türbülans difüzyon katsayısı
- ε_y : y yönündeki türbülans difüzyon katsayısı
- ε_z : z yönündeki türbülans difüzyon katsayısı
- μ : Akışkan vizkozitesi
- ρ : Akışkan özgül yoğunluğu
- ρ_f : Akışkan yoğunluğu
- ν : Suyun kinematik vizkozitesi
- Φ : İç sürtünme açısı
- Φ^* : Sediment taşınımının şiddeti
- ψ : Tanecikler üzerindeki sürüklenme gerilmesi yoğunluğu
- ψ' : Temsil edici tanecikler üzerindeki sürüklenme hızı şiddeti

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER

1.1. Rezervuar Sedimentasyonunun Önemi

Rezervuar sedimentasyonu bir barajın projelendirilmesinde gözönüne alınması gereken en önemli bir faktörlerden biridir. Nehir havzasının ve yatağının erozyon ve sedimentasyon özellikleri ile ilgili veriler; baraj ömrünün, baraj ömrü için gerekli ölü ve aktif rezervuar hacimlerinin, baraj gövdesi boyutlarının, dolu savak, geçit gibi su alma yapılarının konumlarının ve barajın memba ve mansap kısımlarında beklenen su seviyesi yüksekliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Günümüzde dünyada ve Türkiye’de sedimentasyon tahmini ile ilgili olarak yeterince doğru sonuçlar elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu alanda daha fazla çalışma yapılmasının gerekliliği bu tezin hazırlanmasında yönlendirici olmuştur.

1.1.1. Rezervuar Sedimentasyonu Nedir?

Barajlar pahalı ve çok büyük hidrolik yapılardır. Ekonomik bir kalkınma için mümkün olduğu kadar uzun süreli kullanılabilmesi gereken bu yapıların ömrünü belirleyen en önemli faktör rezervuar sedimentasyonudur. Rezervuar sedimentasyonu havzanın yukarı kesimlerinden akım ile taşınarak gelen sedimentin rezervuarda birikmesi olarak tanımlanabilir. Biriken sediment zamanla rezervuarın yukarı kesimlerinden baraj gövdesine doğru ilerleyen bir delta oluşturmakta ve böylece rezervuarın su depolama kapasitesinde ve güç eldesinde azalmaya yol açmaktadır (Akbari, 1987). İnce tanecikli sedimentin baraj gövdesine kadar taşınmasıyla geçitler tıkanabilmektedir.

Sediment ile dolmuş bir rezervuarın tekrar kazanılması genellikle mümkün olmadığından sedimentasyon tahmin ve önleme yollarına gidilmiş ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır (Simons ve Şentürk, 1992).

1.1.2. Konunun Seçilmesinde Yönlendirici Faktörler

Rezervuar sedimentasyonu hakkında çeşitli araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, sediment yükü tahmini ile ilgili hesaplamalar yeterince gerçeğe yakın olmamaktadır. Belli bir bölge için çıkarılan formüller başka bir yerde geçerli olmamakta veya doğru değerden çok uzakta sonuçlar verebilmektedir. Bu

nedenle her bölge için ayrı olarak detaylı çalışmalar yapılması gerekli olmaktadır (Simons ve Şentürk, 1992).

Su mühendisliğinde önemli yer tutan sedimantasyon tahmini hesapları üzerinde çalışma yapılmasını gerektiren bir alan olduğundan tez konusu olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

1.1.3. Rezervuar Sedimantasyonunun Türkiye için Önemi

Türkiye akarsu ve havza sayısı bakımından zengin doğal kaynaklara sahip bir ülkedir. Ülkemizde su ayırım hatları ile birbirinden ayrılmış 26 havza bulunmaktadır. 2001 yılı itibari ile ülkemizin aktif durumdaki barajlarının sayısı 241 dir. DSİ tarafından yapılan çalışmalar toplam 702 baraj sayısına ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir (Yanmaz, 2001).

Yeni barajlar inşaa etmenin yanında günümüzde aktif durumda olan barajların korunması da büyük önem taşımaktadır.

Geniş tarım alanlarına sahip ve endüstriyel ve ekonomik bakımdan gelişme aşamasındaki ülkeler arasında olan Türkiye'nin sürdürülebilir bir kalkınmayı sağlayabilmesinde su ve enerji kaynağı olan barajların etkisi çok fazla olmaktadır.

Depolama kapasitesini kaybetmiş veya düşük kalitede su (sediment ihtiva eden) sağlayan bir barajın yeniden kullanılabilir hale getirilmesine alternatif olarak yeni bir baraj inşaa edilmesi daha ekonomik bir yol olarak tercih edilmektedir. Fakat yeni bir baraj inşaa aynı zamanda çeşitli yerleşim merkezlerinin ve tarım alanlarının su altında kalmasına yol açmakta, doğal kaynakların kullanılamaz hale gelmesine ve yaban hayatının zarar görmesine sebep olabilmektedir.

Yukarıdakilere ek olarak, tarihi kalıntılar bakımından zengin bir ülke olan Türkiye'de bu kalıntıların rezervuar gölü altında kalması ile karşılaşılabilir.

Mevcut barajların kullanım ömürlerinin mümkün olduğu kadar uzatılması yeni barajlara olan ihtiyacı azaltacak ve böylelikle ülkenin pek çok alanda kalkınmasına ve gelişmesine olumlu katkıda bulunacaktır. Ayrıca inşa edilecek barajların tahmini kullanım ömürlerinin bilinmesi daha iyi bir kalkınma planı yapılmasını sağlayacaktır. Rezervuar sedimantasyonu ile ilgili çalışmalar bu konularda gerekli bilgiyi sağlaması açısından büyük öneme sahiptir.

1.1.4. Rezervuar Sedimentasyonunun Dünyadaki Önemi

Dünya nüfusunun artmasıyla ve teknolojinin ilerlemesiyle içme kullanma, sulama ve enerji üretimi için gerekli olan suya ihtiyaç günden güne artış göstermektedir. Buna karşılık yeryüzündeki baraj yapılabilecek topografik ve jeolojik bölge sayısı sınırlı durumdadır. Ayrıca yeni bir baraj inşaatı büyük miktarda malzeme, enerji ve işgücü gerektirdiğinden mevcut kaynakların büyük kısmının bu alana yönltilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak baraj inşaatı sırasında oluşan atıklar çevreyi kirletici yönde etki yapmaktadır.

Ekonomik, tarımsal ve sosyal alanlarda plan yapılmasında baraja gelen sediment yükünün, aktif hacmin ve rezervuar ömrünün belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yukarıdaki çevresel etkenlere ek olarak sediment yükü verileri ve rezervuardaki depolanma şekli baraj ile ilgili mühendislik çalışmalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu veriler rezervuar boşaltım yapılarının yerlerinin belirlenmesinde gözönüne alınmaktadır (Akbari, 1987). Sedimentin barajın mansabına geçebildiği durumlarda, sediment barajın dolusavak, geçit, ve baraj kapakları gibi boşaltım yapılarında yolunmaya sebep olabilmektedir. Bu şekilde yüzeyleerin pürüzlü hale gelmesiyle bu yapılarda akış sırasında titreşimler oluşabilmektedir (Yang, 1996). Suyun sediment konsantrasyonunun az olduğu durumlarda ise nehir yatağının mansap kısmında oyuntu oluşabilmekte ve bu da barajın stabilitesini tehlikeye düşürebilmektedir. Aynı şekilde baraj gövdesinin membaya bakan yüzünde etki eden sediment basıncı barajın denge halini bozma yönünde etki etmektedir.

1.2. Tezin İçeriği

6 bölümden oluşmakta olan bu tez çalışmasında genel olarak nehir erozyon ve sedimentasyonunun hidroligi ve baraj rezervuarlarında ölü hacim hesap yöntemleri hakkında bilgi verilmekte ve bir örnek çalışma üzerinde uygulama yapılmaktadır.

İlk olarak 1. Bölüm'de rezervuar sedimentasyonunun Türkiye ve Dünya'daki önemi vurgulanmaktadır. Daha sonra 2. Bölüm'de erozyon, sedimentasyon ve hidrolik prensipler hakkında bilgi verilmektedir. Bu bölümde ayrıca sediment yükü hesabı için bugüne kadar yapılan çalışmalar ve Türkiye'deki uygulamalar üzerinde durulmaktadır. 3. Bölüm'de anlatılanlar genel olarak rezervuar tasarımında ölü hacmin önemi ve hesap yöntemlerinden oluşmaktadır. 4. Bölüm'de örnek çalışma için seçilen Karakaya Barajı üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. 5. ve 6. Bölümler'de ise elde edilen

sonuçlar ve buna göre yapılan yorumlar ile gelecekte yapılması tavsiye edilen çalışmalar verilmektedir.



BÖLÜM 2

TEORİ VE TEMEL BİLGİLER

2.1. Erozyonun Hidromekaniği ve Sedimentasyon

Bir akımın bulunduğu zemini aşındırması, aşınan malzemenin taşınması ve sedimentasyonu birçok etkene bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu faaliyet sırasında sediment hareketinin mekaniğinin ne şekilde olacağını sediment özellikleri, akımın hidrolik özellikleri ve kanal geometrisi belirlemektedir.

2.1.1. Sediment Özellikleri ve Hareketin Mekaniği

Sediment tanelerinin harekete geçme durumu genel olarak yatak malzemesinin tanecik özelliklerine göre belirlenebilmektedir. Tanecik özellikleri ayrıca sediment çökme hız ve oranının belirlenmesinde etkili olmaktadır. Boyut, şekil, çökme hızı, özgül ağırlık ve iç sürtünme açısı olarak ifade edilebilen sediment özellikleri taneciklerin oluşum şekline ve kaynağına göre değişmektedir.

2.1.1.1. Sedimentin Oluşumu ve Kaynağı

Sediment, yeryüzündeki kayaların çeşitli atmosferik ve hidrolik etkenlerle aşınması ile oluşmaktadır. Bu etkenler kimyasal, mekanik ve organik etkenler olarak kısımlara ayrılabilir. Aşınmaya sebep olan başlıca kimyasal etkenler oksijen, karbondioksit ve su buharıdır. Mekanik etkenler ise maddenin büzülme ve genişmesi ile etki etmektedir. Organik etkenler ise otçul hayvanların otlaması ve bitki köklerinin kayaları parçalaması yoluyla gerçekleşmektedir.

Yukarıdaki etkenler sonucu sediment; eğim, toprak kaymaları ve akarsu yatağındaki aşınmalar yoluyla akış ile birlikte taşınmaya başlamakta ve sediment yükünü oluşturmaktadır. Sediment yükü miktarı taşınmakta olan malzemenin cinsine, akarsu debisine, ve kanal özelliklerine göre değişmektedir. Aşınma miktarı eğim ve hızla doğru orantılı, depolanma ise ters orantılı olarak gerçekleşmektedir.

Erozyona sebep olan diğer faktörler arasında kurak bölgelerde rüzgar, yüksek kotlu bölgelerde ise buzul etkileri sayılabilir (Garde ve Raju, 1978).

2.1.1.2. Sediment Taneciklerinin Temel Özellikleri

Sediment taneciklerinin temel özellikleri boyut, şekil, çökme hızı, özgül yoğunluk, iç sürtünme açısı, yüzey özellikleri ve istikamettir. Taneciklerin yüzey özellikleri ve nehir yatağını oluştururken aldıkları istikamet ölçülmesi ve belirlenmesi çoğunlukla mümkün olmayan özellikler olduğundan bu bölümde bunlar dışında kalan faktörler üzerinde durulmuştur.

a) Boyut: Sediment taneciklerinin boyutlandırılmasında farklı malzeme, boyut ve şekil özellikleri için farklı kriterler kullanılabilir. Sediment boyutu genellikle bir çap uzunluğu ile ifade edilmektedir. Başlıca sediment çapı çeşitleri nominal çap, çökme çapı, elek çapı ve üç ana eksen çapıdır.

Nominal çap kullanımında taneciklerin mükemmel bir küreselliğe sahip oldukları şeklinde bir kabul sözkonusudur. Bu kabul sırasında tanecik hacmi sabit tutulmaktadır. Çökme çapı bulunmasında ise taneciğin özgül yoğunluğu 2.65 olarak farzedilmekte ve taneciğin su içindeki çökme hızı dikkate alınmaktadır. Çökme çapı genellikle 0.063 mm. den küçük olan ince tanecikli sediment için kullanılmaktadır. Elek çapı elek analizi yöntemiyle bulunan çap olup, taneciğin sadece en küçük kesit alanı hakkında bilgi vermektedir fakat pratik bir yöntemdir. Üç ana eksen çapı ise taneciğin üç asal eksen yönündeki boyutları gözönüne alınarak bulunan bir özelliktir. Taneciğin şekilsel özelliklerini ifade eden bir formülle hesaplanır ve sonuçta bir index değeri elde edilir. Bu metot sık olarak kullanılmamaktadır.

Çap büyüklüklerine göre sediment sınıfları AGU Sediment Terminolojisi Altkomisyonu'na göre Tablo 2.1.'deki gibidir (Garde ve Raju, 1978).

Tanecik boyutu bazı durumlarda stabiliteyi bazı durumlarda ise çökme yoluyla konum değiştirmeyi sağlayan bir sediment özelliğidir. Nehir yatağındaki sedimentin boyut dağılımı akışla taşınacak sediment yükünün ve depolanacak miktarın belirlenmesinde kullanılan önemli bir veridir.

b) Şekil: Tanecik şeklinin ifade edilebilmesi amacıyla çeşitli yaklaşımlarla geliştirilmiş birçok formül bulunmaktadır. Bu formüller arasında en çok kullanılan aşağıdaki şekilde ifade edilen bir şekil faktörü eşitliğidir;

$$\text{Şekil Faktörü} = \frac{c}{\sqrt{a * b}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Tablo 2.1. Başlıca Sediment Sınıfları (AGU Sediment Terminolojisi Alt Komisyonuna Göre).

Çap Büyüklüğü (mm)	Sediment Sınıfı
4096 – 256	Kaya (boulder)
256 – 64	İri çakıl (cobble)
64 – 2	çakıl
2 – 1/16	kum
1/16 – 1/256	silt
1/256 – 1/4096	kil

Bu eşitlikte c en kısa, a en uzun, b ise orta büyüklükteki tanecik eksenel uzunluğunu göstermektedir. a, b ve c uzunlukları birbirine dik üç ayrı eksen (asal eksenler) boyunca ölçülmektedir. 0 ile 1 arasında değişmekte olan şekil faktörü küresel veya küp şeklinde bir tanecik için, maksimum değeri olan 1'e eşit olmaktadır. Şekil faktörünün 0'a yakın olması taneciğin ince uzun bir şekle veya disk şekline benzerliğinin fazla olduğunu ifade etmektedir.

Bir başka sediment şekil katsayısı Wadell'in (1932, 1933) bulmuş olduğu aşağıdaki formülle ifade edilebilir;

$$\text{Küresellik} = \left(\frac{\text{tanecik hacmi}}{\text{çevrel kürenin hacmi}} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.2)$$

Bu denklemde küresellik 0 ile 1 arasında değişen bir değer almaktadır.

c) *Çökelme Hızı*: Bir sediment tanesinin su içinde çökelme hızı (2.3)'teki tanecik Reynolds sayısının değerine göre değişiklik göstermektedir.

$$Re = \frac{\rho_f * w_0 * d}{\mu} \dots\dots\dots (2.3)$$

Bu formülde;

ρ_f : akışkanın yoğunluğunu;

w_0 : taneciğin çökme hızını;

d : tanecik çapını;

μ : akışkanın dinamik viskozitesini göstermektedir.

Re sayısının 0.1'den küçük olduğu durumlarda tanecik etrafındaki suyun hareketi laminer bir akım şeklinde olmaktadır.

Ayrıca çökelmekte olan tanecik etrafındaki suyun kinetik enerjisindeki değişimin taneciğin hareket yönüne zıt yönde bir itme kuvveti meydana getirdiği gözönüne alınarak aşağıdaki şekilde bir Newton direnç kuvveti denklemi yazılabilir;

$$F = C_D * (1/2) * A_p * \rho_f * w_0^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Bu denklemde;

F : taneciğe etkiyen direnç kuvvetini;

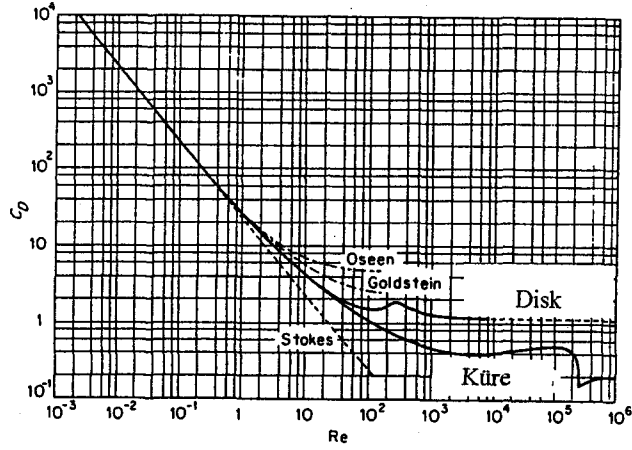
A_p : taneciğin akıma dik izdüşüm alanını;

C_D : direnç kuvveti katsayısını sembolize etmektedir.

Navier Stokes denklemleri ve Newton'nun direnç kuvveti denklemi kullanılarak laminer bir akım için teorik olarak bir $C_D - Re$ ilişkisi elde edilebilmektedir. Bu ilişki Şekil 2.1.'deki grafiğin Stokes şartlarının geçerli olduğu ($Re < 0.1$) kısmında görülmektedir. Bu bölgede teorik ve deneysel olarak elde edilen sonuçların aynı olması küçük Reynolds sayıları için akışkan hareketinin laminer olduğu kabulünün doğruluğunu göstermektedir.

Reynolds sayısı 0.1'den biraz daha büyük değerler aldığıında ($0.1 < Re < 5$) suyun tanecik etrafındaki hareketi türbülanslı hale gelmekte bu nedenle de Stokes denklemleriyle elde edilen eşitliklerin bir düzeltme katsayısı ile çarpılması gerekmektedir. Grafiğin belli bir Reynolds sayısından sonraki kısmı ise sadece deneysel verilere dayanılarak oluşturulabilmektedir.

Çeşitli tanecik şekilleri için farklı C_D grafikleri elde edilmektedir. Şekil.1.'de küresel ve disk şeklindeki tanecik şekilleri için C_D değerleri verilmektedir.



Şekil 2.1. İtme Katsayısı, C_D ve Reynolds Sayısı, Re arasındaki ilişki (Graf, 1971).

Tanecik çökme hızı akışkanın sıcaklığına göre de değişiklik göstermektedir. Akışkan sıcaklığının artmasıyla beraber viskozitede bir düşüş olmakta bu da çökelmekte olan taneciğe etkiyen direnç kuvvetini azaltıcı dolayısıyla tanecik çökme limit hızını artırıcı yönde etki etmektedir. Sıcaklık ile limit hız arasındaki bu ilişki küçük boyutlu tanecikler için daha belirgin hale gelmektedir.

Sedimentin çökelediği ortamın dar veya geniş olması veya suyun sediment konsantrasyonunun fazla olması da tanecik çökme hızını etkileyen faktörlerdendir. Çökme ortamının dar veya geniş olma durumu tanecik çapının kabın çapına oranı ile ifade edilmektedir. Bu oranın 0.2'den büyük olduğu durumlarda sediment çökme hızında önemli miktarda bir azalma görülmektedir. Ayrıca sediment konsantrasyonu fazlalığı da tanecik çapı büyüklüğü ile ters orantılı olarak çökme hızını azaltıcı yönde etki etmektedir. Ortamın darlığının ve konsantrasyon miktarının etkileri çökme hızına bir katsayı yardımıyla yansıtılmaktadır.

d) *Özgül Yoğunluk*: Sedimentin yerinden sökülme durumundaki hidrolik şartların ve sedimentin çökme eğiliminin bulunması için tanecik özgül yoğunluk değerinin doğru olarak bilinmesi gerekmektedir. Nehir ve rezervuar sedimantasyonunda

bu değer fazla bir değişiklik göstermediğinden genellikle sabit bir sayı olarak alınmaktadır.

Özgöl yoğunluk sedimentin mineral içeriğine göre değişmesine rağmen doğal ortamda suyun taşıdığı kumlu malzeme büyük miktarda kuartzdan oluştuğundan özgöl yoğunluk ortalama bir değer olarak 2.65 olarak alınmaktadır.

e) *İç Sürtünme Açısı:* Aşınabilir bir açık kanaldan akış etkisi ile taneciklerin sökülmesi malzemenin iç sürtünme açısıyla da yakından ilgilidir. Kanalın yan yüzeyleri kanal kesiti doğrultusunda büyük bir eğime sahip olduğundan buradaki tanecikler daha kolay yerlerinden sökülebilmektedirler. İç sürtünme açısı azaldıkça bu taneciklerin harekete geçme eğiliminde ayrıca bir artış olmaktadır. Kanal yan yüzeylerinin iç sürtünme açısına göre küçük bir eğime sahip olduğu durumlarda aşınma kanal tabanında bir oyuntu meydana gelmesi şeklinde olmaktadır. Yan yüzeylerin eğimi fazla olduğunda ise aşınmanın bu bölgelerde daha fazla olduğu görülmektedir (USBR, 1951).

İç sürtünme açısının büyük olması malzemenin herhangi bir konumdaki stabilitesinin yüksek olması anlamına gelmektedir ve taneciklerin akımla harekete geçmesini zorlaştırıcı yönde etki etmektedir (White, 1940).

Kritik sürüklenme kuvvetinin belirlenmesi için gerekli olan yatak malzemesi iç sürtünme açısı değeri Gibson'ın (1946) geliştirdiği aşağıdaki formülle bulunabilir;

$$\tan \Phi = K_R * d_i^{0.125} * S_w^{0.19} * r^{0.25} \dots\dots\dots (2.5)$$

Bu formülde

Φ : iç sürtünme açısını;

K_R : 0.92 değerini;

d_i : inç cinsinden ortalama tanecik çapını;

S_w : taneciğin su içindeki özgöl ağırlığını;

r : (en uzun çap)/ (en kısa çap) oranını göstermektedir.

Formülün incelenmesiyle görülebileceği gibi malzemenin iç sürtünme açısı taneciklerin anti-küreselliği r ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Ayrıca geometrik olarak stabilitenin tanecik çapına göre değişim göstermemesi gerekirken pratikte bu ikisi arasında bir yakın bir ilişki bulunmaktadır.

2.1.1.3. Sediment Hareketinin Mekaniki

Sabit eğimli bir nehir yatağında düşük debilerde taneciklerin belli bir kısmının statik halde bulunmasına rağmen debinin dolayısıyla akış derinliğinin ve hızının artmasıyla beraber harekete geçen tanecik sayısında bir artış olmaktadır. Akış hızının artması, akım ile beraber taşınan sediment yükünün de artmasına sebep olmaktadır.

Yataktaki tanecik etrafındaki akımın laminer veya türbülanslı olmasına göre taneciğe etkiyen sürüklenme kuvvetinin kaynağı farklılık göstermektedir. Sürüklenme Reynolds sayısının küçük olduğu ($Re_* < 3.5$) laminer bir akımda taneciğe etkiyen kuvvet büyük ölçüde suyun vizkozitik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Daha büyük Re_* sayılarında ise atalet kuvvetleri ön plana çıkmakta ve bu durumda sürüklenme kuvvetini taneciğe akım yönünde ve akıma ters yönde etki eden basınçlar arasındaki fark oluşturmaktadır (White, 1940).

Sürüklenme Reynolds sayısının değeri;

$$Re_* = \frac{U_* \cdot d}{\nu} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

ile ifade edilmektedir. Bu denklemde;

U_* : sürüklenme hızını;

d : tanecik çapını;

ν : suyun kinematik vizkozitesini belirtmektedir.

Sürüklenme Reynolds sayısı formülünden anlaşılacağı gibi nehir yatağında statik halde bulunan bir tanecik etrafındaki akımın laminer veya türbülanslı olma durumu sürüklenme hızına ek olarak tanecik çapına da bağlı olmaktadır.

Hareketin başlamasına karşı koyan kuvvet ve momentler ise taneciğin su içindeki ağırlığından kaynaklanmaktadır. Sedimentin iç sürtünme açısı da hareketin başlaması için gerekli olan momentin belirlenmesinde etkili olmaktadır.

Sediment taneciklerinin harekete başlama anındaki hidrolik özellikleri ve kanal özelliklerini belirleyebilmek amacıyla akımın sebep olduğu bir kritik sürüklenme kuvveti değeri (τ_{cr}) kullanılabilir (Shields, 1936). Nehir yatağı malzemesi farklı boyuttaki taneciklerden meydana geldiğinden seçilen her bir boyut sınıfı için ayrı bir τ_{cr} değeri bulunmaktadır. Bu nedenle belli akış şartları altında yatak malzemesinin tamamı hareket edebilir halde değildir. Küçük boyutlu taneciklerin hareketli hale gelebilmesi

için düşük bir sürüklenme kuvveti yeterli olurken daha büyük taneciklerin harekete geçmesi için akış hızının dolayısıyla sürükleyici kuvvetin (τ_0) belli bir değere ulaşması gerekmektedir (Garde ve Raju, 1978).

2.1.2. Erozyon ve Hidrolik Prensipler

Bir açık kanal akımının aşınma, taşınma ve depolanma hallerinden hangisine nerede sebep olacağı akımın hidrolik özellikleriyle yakından ilgilidir. Akımın hız, vizkozite, derinlik, ayrıca kanal taban pürüzlülüğü, kanal kesiti ve profildeki kanal eğiminden oluşan hidrolik özellikleri taneciklerin yerlerinden sökülüp taşınmalarına veya sedimentasyona uğramalarına sebep olmaktadır.

Kayma gerilmesi dağılımı bir bölgede erozyonun gerçekleşmesinde doğrudan etkili olan bir akış özelliğidir. Tabandaki kayma gerilmesinin kritik kayma gerilmesinden büyük olduğu durumlarda kanal tabanındaki malzeme akışla beraber taşınmaya başlamaktadır.

Akımın düşey yöndeki hız dağılımı taban kayma gerilmesi değerini belirleyerek bölgenin erozyona uğrama durumu hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca hız dağılımının bilinmesi askı halinde gelen sediment yükü hesabında büyük önem taşımaktadır.

a) Kayma Gerilmesi Dağılımı: Kanal yatak malzemesini harekete geçirici bir etken olan kayma gerilmesi akış şartlarına göre değişiklik gösteren bir parametredir.

Üniform bir açık kanal akışında suyun ağırlığının kanal tabanına paralel yöndeki bileşeni akım aracılığıyla kanal tabanında sürüklenme gerilmesini (kayma gerilmesini) oluşturan kuvvet olarak etki etmektedir. Bu nedenle nehir tabanının birim alanına etkileyen sürüklenme kuvveti suyun özgül ağırlığı, kanal eğimi ve akımın derinliğine bağlı olarak değişmektedir.

Nehir yatağına akış yönünde etki etmekte olan kayma gerilmesi kanal profilinde ve düşey doğrultuda bir değişim göstermektedir. Geniş bir kesite sahip, laminar bir akımın sözkonusu olduğu ve su yüzeyi ile hava arasındaki sürtünmenin ihmal edildiği bir kanalda tabandan yüzeye doğru lineer olarak azalan kayma gerilmesi yüzeyde 0 değerine kadar düşmektedir. Maksimum kayma gerilmesi değeri nehir tabanı seviyesinde gerçekleşmektedir.

Bir nehrin debisinde meydana gelen değişimler akış derinliğini etkileyerek nehir yatağının herhangi bir noktasındaki sürüklenme gerilmesinin artmasına veya azalmasına sebep olmaktadır. Manning Denklemi'ne göre debideki artış akış derinliğinde bir artışa

yol açmaktadır ve bu derinlik artışı birim alana etki eden sürüklenme kuvvetinin artmasıyla sonuçlanmaktadır.

Akış yönüne dik olan doğrultuda sürüklenme kuvveti derinlikle beraber artma veya azalma eğilimindedir. Bu nedenle nehir kenarlarından uzakta kalan nispeten derin kısımlarda daha büyük bir taban sürüklenme kuvveti etkimektedir.

Nehirlerdeki akımlar her zaman için türbülanslı olarak gerçekleşmektedir ve bu nedenle nehirlerdeki kayma gerilmesinin düşey doğrultudaki değişimi lineer halden biraz daha farklıdır. Akımın türbülanslılığı arttıkça makrotürbülans anaforlarının büyüklüklerinde ve katettikleri mesafede bir artış olmaktadır. Bu durum kayma gerilmesi değerinin su yüzeyinden tabana doğru olan artış oranının daha büyük olmasına sebep olmaktadır. Sonuçta taban kayma gerilmesi daha büyük bir değere ulaşmaktadır (Munson, 1990).

Türbülanslı akımlarda kanal tabanına yakın belli bir sınırın altında kısmen laminer bir akım bulunmaktadır. Bu bölgede kayma gerilmesinin değeri laminerlik ve türbülans etkilerinin bir toplamı olarak gerçekleşmektedir. Türbülans etkilerinin baskın olduğu "tam gelişmiş bir türbülanslı akım"da laminer akımın gerçekleştiği katman yüzey pürüzlülüğüne oranla çok küçük bir kalınlığa sahiptir (Julien, 1995).

Türbülans hareketlerinin kanal yatağı kesitinin şeklinden etkilenebilmesi sürüklenme kuvvetinde akış yönüne dik doğrultuda bir değişim meydana getirebilmektedir. Kanal akış yönüne dik olan kesitin köşe kısımlarında türbülans hareketleri yatak yüzeyinin kendisi tarafından engellenmektedir. Bu sebeple bu bölgelerde sürüklenme gerilmesi değerinde bir azalma görülmektedir. Yamuk kesitli bir kanalın yan duvarları ile taban kısmının birleştiği köşelerde sürüklenme gerilmesi değeri 0 değerine kadar düşmekte, köşelerden uzaklaştıkça sürüklenme gerilmesinde bir artış olmaktadır (Chow, 1959).

b) Hız Dağılımı: Akış hızı sediment yükü hesabında büyük önem taşıyan bir hidrolik parametredir. Akış hızının düşey doğrultudaki dağılımı özellikle asılı yükün hesabında gerekli olmaktadır.

Düşey doğrultudaki akış hızı dağılımı Newton Prensipleri'ne göre kayma gerilmesi dağılımının bir integrali olarak ifade edilmektedir. Akış hızı aynı zamanda vizkozite değeri ile ters orantılı olarak gerçekleşmektedir. Hız değeri tabanda 0 değerini almakta yüzeyde ise hava ile sürtünmenin ihmal edilmesi koşulu ile maksimum değerine ulaşmaktadır.

Taban seviyesinde kayma gerilmesi en büyük değerini aldığından buradaki hız gradyanı da büyük olmakta, yüzeye doğru ise 0 değerine kadar küçülmektedir.

Laminer ve üniform bir kanal akımında akış hızının derinlik boyunca olan dağılımının belirlenmesinde g (yerçekimi ivmesi), R (hidrolik yarıçap), h (akış derinliği), ν (kinematik viskozite), S (kanal eğimi) yeterli olmaktadır. Geniş bir kanalda ayrıca hidrolik yarıçap yerine akış derinliği kullanılarak gerekli parametrelerin sayısı 4'e düşürülebilmektedir.

Türbülanslı bir akım sözkonusu olduğunda düşeydeki hız profilini etkileyen faktörler arasına laminer akımdakine ek olarak suyun özkütlesi ve taban pürüzlülüğü de eklenmektedir. Ayrıca kayma gerilmesi hız ilişkisini ifade eden Newton Formülünün türbülanslı akım için değiştirilmesinde kullanılan bir Von Karman sabiti de gerekli olmaktadır.

Türbülanslı üniform bir akımın hız dağılımının ifade edilmesinde akımın hidrolik olarak pürüzsüz veya pürüzlü olması durumuna göre farklı formüller kullanılması gerekmektedir. Boyut analizi yöntemi ile çıkarılan bu formüllerde bazı katsayı ve sabit terimler de bulunmaktadır. Bu formüllerin sabit sayılarının belirlenmesinde Nikuradse laboratuvarında bir kanal tabanına kum taneleri yapıştırarak pürüzlü bir zemin oluşturmuş ve bu model üzerinde bir deney gerçekleştirmiştir (Nikuradse, 1933). Elde edilen sonuçlar pürüzsüz ve pürüzlü akımlar için farklı özellikler göstermektedir. Akımın pürüzsüz veya pürüzlü oluşu tanecik Reynolds sayısının belli değerlerden küçük veya büyük olması ile belirlenmektedir. Tanecik Reynolds sayısı,

$$Re_* = \frac{U_* \cdot k_{sh}}{\nu} \dots\dots\dots (2.7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlikte;

k_{sh} : kumlu yatak malzemesinde yatak pürüzlülüğü yüksekliğini ifade etmektedir.

Denklemler (2.7)'ye göre kayma gerilmesi hızı ve k_{sh} değeri büyüdükçe Re sayısı artmaktadır. Re sayısının artması ise türbülanslılığın artması yani akımın pürüzlü bir hale gelmesi demektir.

Farklı yatak malzeme ve şekil özellikleri için yatak pürüzlülüğü yüksekliği (k_{sh}) değerinde bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir. Nehir akımlarının birçoğunda kanal yüzey özellikleri sadece kum pürüzlülüğü ile ifade edilemediğinden ve ayrıca

nehir yatağında çeşitli eşik ve kum dalgaları da bulunabildiğinden bu niteliklerin Nikuradse'nin hız dağılımı denkleminde olan etkisinin de incelenmesi gerekmektedir.

Her bir farklı yatak malzemesi için Nikuradse'ninkine benzer bir deneyi tekrarlamak kolay bir işlem olmadığından farklı özellikte tanecikler için Nikuradse'nin elde ettiği deney sonuçlarından faydalanılarak hız profili denklemlerinde gerekli değişiklikler yapılmaktadır.

Nehir yatağındaki eşik ve kum dalgalarının pürüzlülüğe etkisinin belirlenmesinde bu dalgalanmaların ve taneciklerin geometrik özelliklerinden faydalanılarak elde edilmiş bir denklem kullanılması tercih edilmektedir (Yalın,1977).

2.1.3. Nehir Erozyonu ve Sedimentasyonunun Hidroliği

Bir akımda hidrolik özellikler ile yatak malzemesi ve kanal özelliklerinin durumuna göre sedimentin belli yerlerde zeminden sökülmesi, çeşitli şekillerde taşınması ve belli yerlerde çökelmeye uğraması halleri gerçekleşmektedir. Seçilen herhangi bir noktada bu hallerden üçünün de aynı anda gerçekleşebilmesine rağmen baskın olan hareket şekli bölgedeki aşınma veya depolanma durumunu tayin etmektedir.

Akımın belli bir kesitinden geçen sediment miktarına toplam sediment yükü denilmektedir ve taşınma şekline göre yatak yükü, yıkama yükü ve askı yükü olarak kısımlara ayrılmaktadır.

Sediment yükünü oluşturan malzeme yataktan sökülme yoluyla hareketine başlamakta, akımla belli bir mesafe kattettikten sonra belli yerlerde çökelmeye uğrayarak tekrar statik hale geçmekte ve buralarda depolanmaktadır. Hangi noktada ne miktarda erozyon ve depolanma gerçekleşeceği kanal boyunca akımın sediment konsantrasyonundaki değişimle yakından ilgilidir.

2.1.3.1. Yatak Yükü

Yatak yükü sedimentin akım içinde yuvarlanarak, sürüklenerek ve sıçrayarak taşınan kısmını oluşturmaktadır. Bu tür hareketin gerçekleştiği bölge yatak tabakası olarak adlandırılmaktadır. Yatak yükünü oluşturan malzeme genellikle kum ve çakıl gibi yüksek çökme hızlı taneciklerden oluşmaktadır. Yatak tabakasının kalınlığı kumlu ortamda 1 mm den az çakıllı yatakta ise birkaç desimetre kadar olabilmektedir (Julien, 1995).

Yatak yükünü oluşturan büyük boyutlu tanecikler yatakta yuvarlanarak veya sürüklenerek taşınırken nispeten küçük tanecikler zaman zaman yatakla olan temaslarını

kaybederek sıçrama şeklinde ilerlerler. Bu şekildeki sıçrama hareketine saltasyon (saltation) hareketi denilmektedir (Gilbert, 1914).

Sıçrama ile hareket eden taneciklerin düşey ve yatay hızlarında sürekli bir değişim olmaktadır. Suyun akış hareketiyle veya başka bir taneciğin çarpma etkisiyle kanal yatağından sökülerek sıçrama hareketine başlayan taneciğin düşey hızında yerçekimi etkisinden ve suyun direncinden dolayı bir azalma olmaktadır. Düşey hızdaki azalma bu hız 0 oluncaya kadar devam etmekte daha sonra aşağı yönlü bir hız artışı gerçekleşmektedir. Bu sırada yatay hızda ise akımın itme kuvvetinden dolayı sürekli bir artış görülmektedir. Yatak yüzeyine çarpmasıyla birlikte taneciğin sıçrama hareketinin periyotlarından biri tamamlanmış olmaktadır. Bu aşamadan sonra tanecik bir süre için hareketsiz kalabilir, çarpmanın etkisiyle bir sonraki sıçrama hareketine başlayabilir veya başka bir taneciğin hareketini tetikleyebilir (Bagnold, 1941).

Bir taneciğin sıçrayarak hareket etmesine sebep olan kuvvetler akımın ortalama hızı, türbülansı ve hareket halindeki diğer taneciklerin çarpma etkisinden gelmektedir. Nehir tabanındaki eşikler de sıçrama hareketini başlatmada etkili olmaktadır. Ayrıca nehir yatağının gözenekli bir yapıya sahip olması yatak seviyesindeki türbülans hareketlerinin artmasını sağlamakta dolayısıyla taneciklerin yerlerinden sökülmelerini kolaylaştırmaktadır. Suyun kaldırma kuvvetinden dolayı taneciklerin ağırlığında meydana gelen azalma sıçrama hareketinin daha kolay başlamasını sağlamaktadır (Garde ve Raju, 1978).

Yatak yükü miktarının ölçüm yoluyla belirlenmesi kolay bir işlem değildir. Bu nedenle yatak yükü genellikle asılı yükün belli bir yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Yatak yükü miktarı asılı yükün % 5 inden %25 ine kadar değişebilmektedir. Eğimin çok fazla olduğu dağlık arazilerde bu oran %50 ye kadar ulaşabilmektedir (Yanmaz, 2001).

2.1.3.2. Asılı Yük

Asılı yük akımla taşınırken nadiren nehir yatağıyla temas eden, küçük boyutlu tanelerden oluşmuş sediment yüküdür.

Askı yükünü oluşturan sedimentin kaynağını yatak tabakasında taşınmakta olan malzeme oluşturmaktadır. Akış sırasında yatak malzemesi ile askı malzemesi arasında sürekli bir geçiş söz konusudur. Bu geçişe sebep olan etkenler akışın sebep olduğu türbülans hareketleri ve akışkanın moleküler düzeydeki difüzyon özelliği ile açıklanmaktadır.

Askı halinde taşınan sedimentin akım içindeki konsantrasyon değeri sediment tanelerinin çökme ve yayılma eğilimlerinin birbirilerini dengelemesi sonucu oluşmaktadır. Taneciklerin aşağı doğru olan çökme eğilimlerine karşılık moleküler difüzyon etkisi ve akımın sebep olduğu türbülans hareketleri sediment tanelerinin yukarı yönde ilerlemesini sağlamaktadır. Bu aşağı ve yukarı yönlü harekete sebep olan etkenlerin birbirini dengelemesi sonucu akım içinde belli bir asılı sediment konsantrasyonu değeri gerçekleşmektedir (Graf, 1971).

Difüzyon ve türbülans sonucu meydana gelen sediment hareketi sedimentin yoğun olduğu bölgeden dışa doğru her yönde olmasına rağmen yerçekimi etkisi aşağı yönlü olduğundan nehir yüzeyinden tabana doğru sediment konsantrasyonunda bir artış olmaktadır. Sediment konsantrasyonundaki bu değişim hesaplanan askı yükünün alacağı değerde etkili olmaktadır. Tanecik çökme hızı ve yayılma katsayısı yardımıyla sediment konsantrasyonunun düşey yöndeki dağılımı bir diferansiyel denkleme formüle edilebilmektedir.

Asılı yük konsantrasyonu birim hacimdeki katı madde miktarı olarak ifade edilebilmekte ve kg/m^3 veya ton/m^3 cinsinden hesaplanabilmektedir. 1 milyon birim akışkan miktarının ihtiva ettiği tanecik birim miktar sayısı da (parts per million; ppm) kullanılması bazen uygun olan bir birimdir.

Asılı yükün hesaplanmasında akım içinde taşınmakta olan sediment tanelerinin akış yönünde ilerleme hızlarının bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Hız değerlerinin belirlenmesinde tanecik hızı ile akış hızının eşit olduğu şeklinde bir kabul yapılmaktadır. Böylelikle taneciklerin geride kalma miktarı ihmal edilerek askı yükünün gerçek değerinden daha büyük olarak hesaplanması yönünde bir etki sağlanmaktadır.

2.1.3.3. Yıkama Yükü

Yıkama yükü toplam yükün nehir yatağında önemli miktarda bulunmayan ve ince taneciklerden oluşan kısımdır. Yıkama yükünün kaynağı havzanın yukarı kesimlerdeki veya nehir kıyılarındaki malzemedir (Simons ve Şentürk, 1992).

Yıkama yükü nehir yatağında aşınma veya depolanmaya sebep olmayan akımın hidrolik özelliklerinden bağımsız ve sadece bölgedeki havza, zemin, topografi ve yağış gibi hidrolojik şartlara bağlı olarak değişen bir sediment yükü çeşididir. Bu nedenle belli hidrolik şartların geçerli olduğu bir durumda yıkama yükü ile nehir yatağındaki malzeme arasında bir bağıntı kurulamamaktadır (Bayazıt, 1996).

Yıkama yükü asılı yükün bir parçası olarak kabul edilmektedir ve yatak malzemesinin çok az bir kısmını meydana getirmektedir. Pratikte en büyük yıkama malzemesi tanecik çapı genellikle d_{10} olarak seçilmektedir (Bayazıt, 1996). Burada d_{10} yatak malzemesinden alınan herhangi bir sediment örneğinin en küçük boyutlu %10 luk kısmının maksimum çapını sembolize etmektedir.

2.1.3.4. Toplam Yük

Toplam yük bir akımın belli bir kesitinden birim zamanda geçen yatak, askı ve yıkama yüklerinin toplamından oluşmaktadır. Toplam yük kanalın herhangi bir yerinde aşınma veya depolanmanın olup olmayacağını veya ne miktarda olacağını belirlenmesi için hesaplanması gereken bir parametredir.

Toplam yük yatak yükü ve askı yükünün ayrı ayrı hesaplanmasıyla bulunabileceği gibi direk olarak malzeme, akım ve kanal özelliklerine göre de hesaplanabilmektedir.

Akımın toplam sediment taşıma kapasitesi ile tanecik boyutu arasında bir ters orantı bulunmaktadır. Tanecik boyutu küçük olduğunda akımın taşıma kapasitesi fazla olmakta, nehir yatağındaki taşınabilir durumda malzeme miktarı yetersiz kalmakta ve toplam sediment yükü büyük oranda havzanın yukarı kesimlerinden gelen yıkama yükü malzemesinden oluşmaktadır. Ortamda bulunan tanecik boyutu büyük olduğunda ise taşıma kapasitesi düşmekte, yatak malzemesi yükünün toplam yük içindeki oranı ise artmaktadır.

Akımın sediment taşıma kapasitesi arttıkça yıkama yükü oranında da bir artış olmaktadır. Bu durumda nehir yatağını oluşturan malzemenin özellikleri akım ile taşınmakta olan malzemeninkinden çok farklı hale gelmektedir. Taşıma kapasitesinin düşük olduğu (düşük akış hızı) durumlarda ise sediment yükü özellikleri ile yataktaki malzeme arasında büyük oranda benzerlik bulunmaktadır. Bu benzerliğin sebebi toplam yükün büyük ölçüde yatak yükünden oluşmasıdır (Julien, 1995).

Yıkama yükü olarak taşınan sedimentin oluşumu havzanın yukarı kesimlerindeki hidrolojik şartlar ile ilgili olduğundan, yıkama yükünün toplam yük içindeki oranını tam olarak tahmin etmek mümkün olmamaktadır (Garde ve Raju, 1978).

2.1.3.5. Sedimentin Sökülme, Taşınma ve Çökme Hareketi

Bir açık kanal tabanındaki sedimentin yerinden sökülerek akımla taşınması ve belli yerlerde çökmesi hidrolik şartlar ile malzeme ve kanal özelliklerine bağlı olarak

gerçekleşmektedir. Kanal boyunca gerçekleşen aşınma ve depolanmalar akımın sediment konsantrasyonundaki değişimleri meydana getirmektedir.

Bir açık kanal akımında debinin dolayısıyla hızın artması sonucunda kanal tabanındaki sediment taneciklerine etki eden sürüklenme gerilmesinde τ_0 da bir artış olmaktadır. Bir süre sonra hızın belli bir değere ulaşmasıyla statik haldeki tanecikler harekete geçmeye başlarlar ($\tau_0 = \tau_{cr}$). Tanecikler bir yandan yataktan sökülürken aynı anda bu bölgeye akımın memba kısmından taşınarak gelen sedimentin bir kısmı çökelmektedir. Hız arttıkça hareketli tanecik sayısında da bir artış olmaktadır. Eğer akımın belli bir kesimine gelen sediment buradan ayrılan malzemedan daha az ise bu bölgede bir süre sonra bir oyuntu oluşumu gözlenir.

Oyuntu oluşumunun belirgin ve hızlı bir şekilde gerçekleştiği bölgeler özellikle eğimin artması, kanal kesitinin daralması ve pürüzlülüğün azalmasından dolayı hızın arttığı; ve kanal yan duvarlarının stabilitesinin düşük olduğu yerlerdir.

Bir açık kanal akımında, kanal tabanının yapısal özellikleri yatakta statik halde bulunmakta olan taneciklerin harekete geçme eğilimlerinde etkili olmaktadır. Katı ve düzgün bir kanal tabanında türbülans hareketleri 0 olduğundan tanecikleri harekete geçirici türbülans etkisi azalmaktadır. Fakat alüvyonlu bir yüzeye sahip nehir tabanında taban yüzeyi gözenekli bir yapıya sahip olduğundan yüzeyde türbülans hareketleri gerçekleşebilmekte ve taneciklerin yerlerinden sökülmesi daha kolay olmaktadır. Tabandaki eşik ve kum dalgaları gibi düzensizlikler de tanecik hareketini başlatma ve dolayısıyla erozyonu kolaylaştırma yönünde etki etmektedir (Garde ve Raju, 1978).

Kum, çakıl boyutunda ve daha büyük boyuttaki tanecikler için nehir yatağını oluşturan malzemenin harekete geçmesine karşı koyan kuvvet taneciğin ağırlığından ileri gelmektedir. Bu durumda suyun kaldırma kuvvetinin hareketin başlamasını kolaylaştırıcı etkisini hesaba katmak için taneciğin su içindeki ağırlığının gözönüne alınması gerekmektedir. Harekete geçirici kuvvetlerin direnç kuvvetlerinden büyük olduğu anda tanecik hareketi başlamaktadır.

Birbirine yakın fiziksel özelliklere sahip taneciklerin tümü belli hidrolik şartlar altında aynı anda hareket halinde bulunmazlar. Yeterince geniş bir zaman aralığında genel olarak taşınabilir bir sediment sınıfına ait malzemenin tamamının hareket etmesine karşın belli bir anda yataktaki taneciklerin belli bir yüzdesi yer değiştirmekte olup, geri kalan kısmı hareketsiz kalabilmektedir. Bunun sebebi akım içindeki türbülans hareketlerinin zaman ve konum bakımından düzensiz dağılım özelliğine bağlanabilir (Graf, 1971).

Kramer değişen hidrolik şartlar altında kanal yatağındaki sediment hareketini zayıf hareket, orta dereceli hareket ve genel hareket hali olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma herhangi bir anda hareket halinde olan taneciklerin sayısına göre yapılmıştır. Zayıf hareket durumunda az sayıda tanecik hareket halindedir. Orta dereceli hareket gerçekleştiği zaman orta büyüklükteki çapa sahip tanecikler hareketlidir. Genel hareket halinde ise nehir yatağının bütün kısımlarında sürekli bir hareket hali görülmektedir (Kramer, 1935).

Yataktan sökülüp asılı hale geçen taneciklerin hareketi suyun akışı, akımın türbülansı ve suyun moleküler düzeydeki difüzyon etkisi ile belirlenmektedir. Akımın ortalama hızı ve yerçekiminin oluşturduğu çökeltme etkisi taneciklerin taşınma hızını oluştururken, akımın sebep olduğu türbülans dolayısıyla bir yayılma hareketi gözlemlenmektedir. Ayrıca su moleküllerinin difüzyon hareketi de sediment taneciklerinin su içinde yayılmasına etki etmektedir. Birim en, boy ve yüksekliğe sahip bir kontrol hacminin gözönüne alınmasıyla akım içindeki sediment konsantrasyonu dağılımı aşağıdaki formülle ifade edilebilir;

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} - w \frac{\partial C}{\partial z} + (\epsilon_x + D_M) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + (\epsilon_y + D_M) \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + (\epsilon_z + D_M) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \dots (2.8)$$

Bu diferansiyel denklemde;

C : kontrol hacminin ortalama sediment konsantrasyonunu;

t : zamanı;

u, v, w : x, y ve z yönlerindeki sediment hareketinin hızlarını;

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$: x, y ve z yönlerindeki türbülans difüzyon katsayılarını;

D_M : suyun moleküler difüzyon katsayısını göstermektedir.

Denklem (2.8) akım içinde düşey doğrultudaki sediment konsantrasyonunun değişiminin belirlenmesinde kullanılabilir.

Askı halindeki sedimentin düşey doğrultudaki hareketini etkileyen en önemli iki faktör yerçekimi etkisi ve sedimentin yayılma eğilimidir. Bu iki etkinin denge haline gelmesiyle yüzeyden dip kısımlara doğru artan bir sediment konsantrasyon değişimi

gözlenir. Bu etkileşim (2.8) deki denklemin yalnız düşey doğrultuda yazılmasıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$w_0 C + (D_M + \epsilon_z) \frac{\partial C}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Burada w_0 : tanecik çökme hızını göstermektedir.

Denklem (2.9) da görüldüğü gibi sediment konsantrasyon gradyanı tanecik çökme hızıyla doğru orantılı, difüzyon katsayıları toplamı ile ise ters orantılı olarak gerçekleşmektedir.

Akım ile taşınmakta olan sediment, hızın azaldığı bölgelerde çökme eğilimi gösterir. Akış hızının azalma sebebi kanal eğimindeki azalma, kesit alanındaki artış veya kanal pürüzlülüğündeki artış olabilir.

Hızın azalması sonucu türbülans hareketlerinde de bir azalma görülmekte ve taşınmakta olan malzemede bir çökme eğilimi gözlemlenmektedir. Hız azalırken ilk başlarda büyük çaplı malzeme sonraki aşamalarda ise türbülansın daha da azalmasıyla küçük çaplı tanecikler çökmektedir. Bu durum baraj rezervuarlarında çok belirgin bir şekilde gerçekleşmektedir.

Çok ince tanecikli sedimentin baraj gövdesine kadar ilerlemesi mümkün olabilmektedir. Baraj gövdesine yakın yerlerde akış kesit alanının iyice genişlemesiyle bu bölgede akış hızı 0 a çok yakın değerlere kadar düşmektedir. Bu nedenle buralarda ince tanecikli sedimentin ilerlemesinde etkili olan tek faktör sediment konsantrasyon farkından dolayı oluşan difüzyon hareketleridir (Simons ve Şentürk, 1992).

Nehrin belli bir kesiminden ayrılan sediment bu bölgeye gelen sedimentten az ise bu bölgede depolanma görülür. Bir baraj gövdesinin memba tarafında böyle bir hareket gerçekleşmektedir. Baraj gölü üzerinde oluşan kabarma eğrisi de kanal akış hızının azalmasına sebep olmakta ve çökme eğilimini artırıcı yönde etki etmektedir.

2.1.4. Nehir ve Rezervuar Sedimentasyonu

Nehir ve rezervuar sedimentasyonu akımın sediment taşıma kapasitesinin azaldığı bölgelerde gerçekleşen bir olaydır. Taşıma kapasitesi akış hızındaki azalmaya bağlı olarak düşüş göstermektedir. Kanalın profildeki eğimi, kanal yan yüzeylerindeki

eğim, ayrıca boyut, şekil ve iç sürtünme açısından oluşan sediment tanecik özellikleri de malzemenin taşınma ve depolanma eğilimini etkilemektedir.

Akımın rezervuara ulaşmasıyla kesit alanında çok büyük bir artış olmakta ve hız 0 değerine kadar düşmektedir. Bu durumda çökme eğilimi sedimentin difüzyon hareketinden daha baskın hale gelmekte ve rezervuar tabanında depolanma başlamaktadır.

Akım ile rezervuara gelen büyük çaplı tanecikler rezervuarın girişinde bir delta oluştururken, küçük tanecikler baraj gövdesine yakın yerlere kadar taşınır. Sediment ile doldukça rezervuarın sediment tutma kapasitesinde bir azalma görülür. Bunun sebebi rezervuar kesit alanındaki azalma ve dolayısıyla akış hızında meydana gelen artıştır. Bir süre sonra rezervuara gelen sedimentin belli bir kısmı çökmeden akımın mansabına geçebilir. Bu nedenle ileriki aşamalarda rezervuarın sediment ile dolma hızı azalabilmektedir (Yanmaz, 2001).

Bir rezervuarın ömrü ölü hacim olarak ayrılan kısmının sediment ile dolması sonucu sona ermektedir. Bu nedenle sediment debisi, rezervuar ölü hacmi ve sedimentin kuru haldeki özgül ağırlığı rezervuar ömrü hesabında büyük önem taşımaktadır.

2.2. Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalar

Rezervura taşınan sediment hacminin tahmini hakkında günümüze kadar pekçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda yatak ve askı yükünü hesaplamak amacıyla ampirik ve yarı-teorik bazı denklemler geliştirilmiştir. Toplam yük hesabında kullanılan mikroskopik ve makroskopik metotlar da bulunmaktadır. USLE ve MUSLE olarak adlandırılan formüller de bir havzanın sağlayacağı sediment miktarının belirlenmesinde faydalı olan pratik denklemlerdir.

2.2.1. Sediment Yükü Hesap Metotları

Sediment yükü hesabı için nehir yatağındaki malzeme gözönüne alınarak çıkarılmış formüller yatak yükü, asılı yük ve toplam yük formülleri olarak gruplandırılabilir. Arazideki koşullar ve hidrolojik özellikler gözönüne alınarak geliştirilmiş USLE, MUSLE ve RUSLE formülleri de bulunmaktadır. Rezervuar sedimantasyonunun nerede ve ne şekilde gerçekleşeceğinin tahmininde kullanılan analitik ve ampirik metotlar da bulunmaktadır.

a) *Yatak Yükü:* Ençok kullanılan ampirik yatak yükü hesaplama denklemleri Meyer-Peter ve Müller ile Değiştirilmiş Meyer-Peter ve Müller denklemleridir. Bu

denklemlerde tanecik pürüzlülüğü ile nehir tabanındaki düzensizliklerden dolayı oluşan akıma karşı koyucu kuvvetler ayrı ayrı incelenmektedir. Meyer-Peter ve Müller denkleminde eğimin akıma etkisi iki kısımda incelenmektedir ($S = S' + S''$). Sadece tanecik pürüzlülüğü gözönüne alındığında Manning Katsayısı için n_s kullanılmaktadır ve eğim S' ile sembolize edilerek akımın hız değerinin bu şekilde hesaplandığı farzedilmektedir. Toplam pürüzlülük gözönüne alındığında ise n_T ve S değerleri kullanılmaktadır. Bu durumda

$$S'/S = (n_s / n_T)^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

olmaktadır.

Değiştirilmiş Meyer-Peter ve Müller Denkleminde ise eğim yerine hidrolik yarıçapın bölünmesi sözkonusudur. Bu şekilde elde edilen

$$R_b'/R_b = (n_s / n_T)^{3/2} \dots\dots\dots (2.11)$$

eşitliği denklemin çıkarılışında kullanılmaktadır (Meyer-Peter ve Müller, 1948).

Meyer-Peter ve Müller ile Değiştirilmiş Meyer-Peter ve Müller denklemlerinde tanecik pürüzlülüklerinin ve yataktaki düzensizliklerin ayrı ayrı incelenmesi daha doğruya yakın bir yatak pürüzlülüğü modellemesi yapılmasını sağlamaktadır (Garde ve Raju, 1978).

Yatak malzemesinin harekete geçiş şartlarının belirlenmesinde kullanılan boyut analizi ile elde edilmiş önemli bir bağıntı Shields diyagramı ile ifade edilmektedir. Shields diyagramında kullanılan önemli bir parametre boyutsuz bir kayma gerilmesi parametresi olan Shields parametresidir. Shields parametresinin elde edilmesinde taneciği harekete geçirici ve taneciğin hareketini engelleyen kuvvetler birbirine oranlanmaktadır. Statik haldeki taneciğe etkiyen bu kuvvetler; su içindeki tanecik ağırlığı, temas halindeki diğer taneciklerin uyguladığı direnç kuvveti ve akımın sebep olduğu düşey ve yatay yönlerdeki sürüklenme kuvveti bileşenlerinden oluşmaktadır (Shields, 1936).

Tanecik üzerine etkiyen harekete geçirici ve hareketi engelleyici kuvvetlerin, taneciklerarası etkileşim yoluyla etkiyen reaksiyon kuvveti doğrultusu üzerinde seçilen bir noktaya göre momentlerinin alınmasıyla ve bu momentlerin birbirine oranlanmasıyla taneciklerin harekete geçme eğilimini ifade eden bir kayma gerilmesi

parametresi elde edilmektedir. Moment hesabında kullanılan sürükleyici kuvvete ait kuvvet kolu değeri akımın laminer veya türbülanslı olma durumuna göre değişmektedir. Akımın laminerliliğinin veya türbülanslılığının bu kuvvet kolunun değişimine olan etkisini gözönüne almak için tanecik çapının laminer alt katman kalınlığına bölünmesiyle elde edilen bir tanecik sürüklenme Reynolds sayısı kullanılmaktadır (Julien, 1995).

Yatak yükü hesabı için kullanılan bir diğer denklem yarı teorik bir deklemler olan Kalinske denklemidir. Kalinske denkleminin çıkarılışında 3 önemli kabul bulunmaktadır:

1. Hareketin başlama anında tanecik seviyesinde ortalama bir kritik hız değeri gerçekleşmektedir ve tanecik seviyesindeki anlık hız dolayısıyla tanecik sürüklenme kuvveti ortalama bir değer etrafında normal bir dağılım göstermektedir.

2. Laminer bir akışın gerçekleştiği bir ortamda taneciğin akış yönüne bakan tarafında, geri akımın olduğu bölgede türbülans hareketleri görülmektedir. Türbülanslı bir akımda ise bu hareketlerde artış olmaktadır.

3. Yatak yükü hareket halindeki taneciklerin boyutuna, sayısına ve ortalama hızına göre değişmektedir (Kalinske, 1947).

Kalinske'nin yukarıdaki kabulleri yaparak geliştirdiği denklem düz bir kanal tabanı için geçerli olup, kanal tabanındaki eşik ve kum dalgalarının etkisini gözönüne almamaktadır (Garde ve Raju, 1978).

Einstein tarafından geliştirilmiş olan bir yarı-teorik yatak yükü denklemi kanal yatağındaki dalgalanmaları da gözönüne almaktadır. Bu denklemin çıkarılışında yapılan bir kabule göre yatak malzemesini oluşturan farklı boyuttaki taneciklerin tamamı aynı anda harekete geçmemektedir. Bu nedenle yatak malzemesini oluşturan farklı boyuttaki sediment sınıfları için ayrı ayrı sediment yükleri hesaplanıp sonuçlar toplanmaktadır. Türbülans etkisi dolayısıyla taneciğe etkiyen kaldırma kuvvetinin zaman zaman taneciğin su içindeki ağırlığından büyük olması durumunun taneciğin sıçrama menziline etkisi bir ihtimal hesabı ile formüle dahil edilmektedir. Sıçrama menzili ayrıca tanecik çapına bağlı bir değişken olarak hesaplanmaktadır (Einstein, 1950).

Sato, Kikkawa ve Ashida da Einstein'inkine benzer bir metot ile yarı-teorik bir yatak yükü denklemi elde etmişlerdir (Sato, Kikkawa ve Ashida; 1958).

Van Rijn (1984) sıçrama hareketinin özelliklerine bağlı olarak bir yatak yükü hesap yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemin Einstein Yöntemi'nden farkı sıçrama

menzilinın sadece tanecik çapına bağlı olarak değil aynı zamanda diğer sediment özellikleri, akımın hidrolık özellikleri ve akışkan özelliklerine de bağlı olarak hesaplanmasdır. Bu yöntemin çıkarılışında taneciğin sıçrama hareketi sırasında izlediği hat bir diferansiyel denklem ile ifade edilmiştir (Yanmaz, 1993).

b) *Askı Yükü*: Askı yükü, birim alandan geçen sediment debisinin düşey doğrultudaki değişiminin (profilinin) yine düşey doğrultuda akış derinliği boyunca integralinin alınmasıyla elde edilebilmektedir. Sediment debisi profili ise düşey doğrultudaki sediment konsantrasyonu değişimi ve hız profili fonksiyonunun çarpımıyla bulunmaktadır. Bu işlem aşağıdaki integralle ifade edilebilir:

$$q_s = \int_{2d}^h C(y) * U(y) dy \dots\dots\dots (2.12)$$

Bu denklemde

q_s : akımın birim genişliğinden geçen sediment yükünü;

$C(y)$: sediment konsantrasyonunun düşey doğrultudaki değişimini;

$U(y)$: akış hızının düşey doğrultudaki değişimini;

d : tanecik çapını;

h : akımın derinliğini;

y : düşey ekseni göstermektedir.

Asılı yükün hesaplanması için gerekli olan düşey doğrultudaki sediment konsantrasyon dağılımının belirlenmesi sediment özellikleri, akımın hidrolık özellikleri ve herhangi bir derinlikteki sediment konsantrasyonunun bilinmesi ile mümkün olabilmektedir (Garde ve Raju, 1978).

c) *Toplam Yük Denklemleri*: Toplam yük hesabında mikroskobik ve makroskobik metotlar olmak üzere iki çeşit metot kullanılmaktadır.

Mikroskobik metotlarda yatak ve askı yükü ayrı ayrı hesaplanıp toplanmaktadır. Einstein'ın toplam yük denkleminde bu şekilde bir bir metot takip edilmektedir.

Değiştirilmiş Einstein Denklemi ile asılı yk hesabında teorik olarak elde edilmiş ve ölüm yoluyla bulunmuş sediment konsantrasyon değerleri arasında bir orantı kurulmaktadır (Colby ve Hembree, 1955; Schroeder ve Hembree, 1957).

Yatak yükü ile asılı yük arasında yakın bir ilişki olduğu varsayımından yola çıkılarak elde edilen makroskobik metotlar arasında Laursen; Bagnold; ve Engelund ve Hansen metotları bulunmaktadır (Garde ve Raju, 1978).

Laursen Denklemi'nde tanecik çap büyüklüğü ile Manning pürüzlülük katsayısı arasındaki bir ilişki kullanılmıştır. Tanecikleri harekete geçiren kuvvet tanecik kayma gerilmesinin toplam kayma gerilmesine oranı ile ifade edilmektedir (Laursen, 1958). Bagnold Denklemi'nde birim genişlikteki akımın gücünün belli bir kısmının taneciklerin taşınmasına harcadığı kabul edilmiştir (Bagnold, 1956). Engelund ve Hansen Metodu'nda ise kanal tabanında etkiyen sürüklenme gerilmesinin yaptığı işin taneciklerin kanal tabanındaki eşikler boyunca yükselerek kazandığı potansiyel enerjiye eşit olduğu kabulünden yola çıkılmaktadır (Engelund ve Hansen, 1967).

d) USLE , MUSLE ve RUSLE Denklemleri: Bir nehir havzasının aşınma yoluyla kaybettiği toprak miktarını hesaplamak amacıyla geliştirilmiş ampirik denklemlerdir. USLE (Üniversal Toprak Kaybı Denklemi) ve MUSLE (Değiştirilmiş Üniversal Toprak Kaybı Denklemi) Denklemleri Amerika Birleşik Devletleri'nin Orta ve Doğu kısımlarındaki havzalarda yapılan gözlem ve ölçümlerin sonuçlarına dayanmalarına rağmen başka ülkelerdeki uygulamalarda da doğruya yakın tahminlerin yapılmasını sağlayabilmektedir.

ABD Tarım Bakanlığı (US Department of Agriculture) tarafından çıkarılmış olan USLE Denklemi

$$A_s = R * K_w * L * S * C_w * P \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

şeklindedir. Bu denklemde;

- A_s : toprak kaybı miktarını;
- R : yağışın erozyona sebep olan özelliklerini;
- K_w : toprağın aşınmayla ilgili özelliklerini;
- L * S : erozyonun topografi ile olan ilişkisini;
- C_w : arazinin bitki örtüsü ile ilgili özelliklerinin erozyona etkisini;
- P : erozyon önleme çalışmalarının etkisini ifade etmektedir.

USLE Denkleminde yağışın erozyona etkisini ifade eden R katsayısı ihtimal hesabına göre hazırlanmış bir yağış frekans grafiğinden elde edilmektedir. Toprağın aşınabilirliğini ifade eden K_w değeri Wischmeier ve Diğerleri'nin geliştirmiş olduğu bir

nomograf yardımıyla bulunmaktadır. Bu nomografa göre toprağın erozyona uğrama miktarını etkileyen faktörler toprağın ihtiva ettiği ince tanecikli kum yüzdesi, organik madde yüzdesi ile zeminin fiziksel yapısı ve geçirimsizliğinden oluşmaktadır (Wischmeier ve Diğerleri, 1971). Arazinin eğiminin (S) ve eğimin uzunluğunun (L) erozyona olan etkisi bir formül yardımıyla ifade edilmektedir. L uzunluğunun erozyona olan etkisi, uzunluk arttıkça yüzeysel akış miktarında meydana gelen büyüme yoluyla gerçekleşmektedir (Wischmeier ve Smith, 1965). Arazinin bitki örtüsünün ve nadas durumunun etkisi bir C_w katsayısı yardımıyla formüle dahil edilmektedir. C_w katsayısı 0 ile 1 arasında değişen bir değer almaktadır. Bitki örtüsünün zayıf olduğu ve nadas halinin erozyon bakımından büyük ölçüde olumsuz etki yaptığı durumlarda bu değer 1'e yaklaşmaktadır (Wischmeier, 1972). Erozyon önleme çalışmalarının etkisini ifade eden P katsayısı da teraslama, şeritvari ekim, ve eğime dik yönde toprağı sürme tedbirlerinin derecesine göre 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır.

USLE Denklemiyle elde edilen toprak kaybı miktarının (A_s) birimi yağış etkisi (R) ve aşınabilirlik (K_w) değerlerinin birimlerine göre belirlenmektedir.

MUSLE Denklemi kısa süreli ve şiddetli yağışların etkisini gözönüne almak için USLE Denklemi'nin değiştirilmesiyle elde edilmiş bir denklemdir. Bu denklem tek bir fırtınanın sebep olduğu toprak kaybının hesaplanmasında kullanılmaktadır. USLE Denklemi'nde P ile ifade edilen yağış etkisi yerine MUSLE denkleminde $Q_v * q_p$ şeklinde yüzeysel akışın hacmi ile pik debinin çarpım sonucu kullanılmaktadır. Bu şekilde kısa süreli (Q_v küçük) fakat şiddetli (q_p çok büyük) bir yağışın büyük miktarda erozyona sebep olma etkisi formüle edilmiş olmaktadır (Williams ve Berndt, 1972).

MUSLE Denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$Y_s = a_e * (Q_v * q_p)^\beta * K_w * L * S * C_w * P \dots\dots\dots (2.14)$$

Bu denklemde,

Y_s : fırtına sonucu oluşan sediment yükünü;

a_e, β : belirli katsayıları;

Q_v : yüzeysel akışın hacmini;

q_p : pik debiyi göstermektedir.

K_w, L, S, C_w, P : USLE Denklemi'ndeki gibidir.

a_e ve β katsayıları rezervuar verilerine göre belirlenmektedir. Hesaplama sırasında yüzeysel akışın hacmi acre-feet, pik debinin değeri ise ft^3 / s cinsinden alınmaktadır.

Yıllık sediment yükü MUSLE Denklemi ile tahmin edilmek istendiği zaman belli gerçekleşme periyotlarına (return period) sahip çeşitli şiddetteki fırtınaların etkilerinin ayrı ayrı hesaplanıp bunların ağırlıklı bir ortalaması kullanılabilir (Simons ve Şentürk, 1992).

USLE Denklemine revize edilerek geliştirilmiş hali olan RUSLE Denklemi'nin (Revised Universal Soil Loss Equation) genel şekli yine (2.13)'deki USLE Denklemi gibidir ve bir bilgisayar programı halinde hazırlanmıştır. RUSLE Denklemi Batı ABD'de USLE'den daha fazla R değeri içermektedir. Doğu ABD'de ise bir miktar düzeltmenin dışında R değeri genellikle USLE'deki ile aynıdır. RUSLE'deki K_w değerinin USLE'dekinden farkı suyun donma ve erime etkisi ile toprağın nemliliğinin etkisini de gözönüne almasıdır. USLE'de tek bir LS tablosu kullanılmasına rağmen RUSLE'de oluk erozyonunun durumuna göre 4 ayrı LS tablosu kullanılmaktadır. RUSLE'nin bilgisayar yöntemi ile uygulanan bir yöntem olması eğimin etkisinin hesaplanmasında kolaylık sağlamaktadır. USLE'de C_w katsayısının değişimi yılda 4 -5 periyot boyunca incelenmesine rağmen RUSLE'de bu etki aylık olarak ele alınmaktadır. P değerinin belirlenmesinde ise RUSLE şeritvari ekim ve teraslamanın erozyona etkisinin hesaplanması için yeni geliştirilmiş sistemler kullanılmaktadır (www.iwr.msu.edu/~ouyangda/rusle/).

2.2.2. Değerlendirme, Tatbikat ve Uygulamalar

Farklı malzeme, akım ve kanal özellikleri ve farklı metotlar kullanılarak çıkarılmış olan sediment yükü tahmin denklemlerinden herbiri yalnızca geçerli olduğu ortam şartlarında güvenilir sonuçlar verebilmektedir. Bir sediment yükü denklemi ile elde edilen sonuçların güvenilirliğinden söz edebilmek için o denklemin, çıkarılışı sırasında yapılan kabullere uygun şartlarda kullanılması gerekmektedir.

İri yatak malzemeli kanallar için çıkarılmış bir yatak yükü denklemi olan Meyer-Peter ve Müller Denklemi tanecik çapının 5 mm. den büyük olduğu ($d_{bed} > 5 \text{ mm.}$) ortamlarda doğru sonuçlar vermektedir. Bu denklemin geçerli olduğu maksimum kanal eğimi $S = 0.001$ dir (Simons ve Şentürk, 1992).

Diğer bir yatak yükü hesaplama metodu olan Shields Metodu'nun geçerli olabilmesi için yatak malzemesinin kohezyonsuz taneciklerden oluşması gerekmektedir. Ayrıca sediment tanecik dağılımı üniform olmalıdır.

Kalinske Metodu ile yatak yükü hesabı düzgün yüzeyli nehir yatakları için geçerlidir. Bu metotta yataktaki dalgalanmaların etkisi gözardı edilmiştir.

Sato, Kikkava ve Ashida'nın (1958) geliştirdiği yatak yükü denklemi ise yatak malzemesinin üniform boyut dağılımına sahip taneciklerden oluştuğu durumlar için geçerli bir denklemdir.

Yatak yükü hesabında Van Rijn Yöntemi'nin kullanımı ince tanecikli sediment için iyi sonuçlar vermekte olup iri tanecikli sediment ile yapılan hesaplamalarda doğru değerden sapmalarla karşılaşmaktadır.

Einstein'in toplam yük metodu yatak yükü miktarının toplam yüke oranının yüksek olduğu durumlarda daha doğru sonuçlar veren bir metottur. Bu metodun geliştirilmesiyle elde edilmiş olan Değiştirilmiş Einstein Metodu'nda ise ölçüm yoluyla elde edilmiş olan bir konsantrasyon değeri formüle dahil edildiği için bu metotla gerçek değere daha yakın tahminler yapılabilmektedir.

Laursen'in (1958) geliştirmiş olduğu toplam sediment yükü hesaplama metodu sığ nehirler ile ince tanecikli kum veya iri taneli siltten oluşmuş malzeme için geçerlidir (Laboratuvar ortamında; $0.011 \text{ mm} < d < 4.08 \text{ mm}$). Bu metodun arazideki nehirlerle uygulanması ile bulunan konsantrasyon değerinin gerçek değerinin $\frac{1}{4}$ üne kadar düşebileceği görülmüştür.

Engelund ve Hansen'in (1967) geliştirmiş olduğu bir toplam yük hesabı metodu ise malzeme boyutunun 0.19 mm . ve 0.93 mm . arasında olduğu durumlarda geçerlidir. Bu metot ile yapılan tahminler kum dalgaları ve eşiklerin etkilerini de kapsamaktadır. Formülün çıkarılışında yapılan kabüllerden dolayı bu metot ile askı yükünün etkisi yeterince doğru olarak hesaplanamamaktadır (Garde ve Raju, 1978).

USLE ve MUSLE denklemlerindeki yağış etkisini gösteren R katsayısı Orta ve Doğu ABD'de yapılan gözlemler sonucunda elde edilmiştir. Özellikle kurak bölgelerde ölçüm istasyonları kurulmasının ve ölçüm yapılmasının zor olması ve bu bölgelerde belirli bir süre içinde gerçekleşen yağış sayısının az olması sebebiyle bu denklemlerdeki parametreler Batı ABD gibi kurak yerlerde ancak kısıtlı bir bölgenin kısa bir süre için geçerli özelliklerini yansıtabilmektedirler.

Orta ve Doğu ABD için çıkarılmış olmalarına rağmen USLE ve MUSLE denklemleri ile başka bölgelerdeki bazı ülkelerde de doğru sonuçlar elde edilmesi mümkün olmaktadır.

USLE Denklemi 1 mm. den küçük sediment boyutu için çıkarılmış olmasına rağmen daha iri tanecikli sediment içeren havzalarda da doğru sonuçlar verebilmektedir.

USLE ve MUSLE ve RUSLE denklemleri sadece araziden yağış yoluyla taşınarak eksilen toprak kaybını verdiği için nehir yatağındaki oyuntular ve arazideki heyelan etkileri ayrıca hesaba katılmalıdır (Yang, 1996).

2.3. Türkiye'deki Çalışmalar ve Uygulamalar

Türkiye'de barajlara gelen sediment yükü tahmini ve baraj ölü hacim hesabı için gerekli veriler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİEİ), Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Araştırma Merkezleri tarafından elde edilmektedir. Eldeki verilerin çeşitli metotlarla işlenmesiyle gerekli sediment yükü ve ölü hacim tahminlerinin yapılması yine bu kuruluşlar tarafından yürütülmektedir.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Araştırma Merkezleri Türkiye'deki havzalarda sediment yükü tahmini için USLE'yi sık olarak uygulayan bir kuruluştur. USLE ile yapılan hesaplamalarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Araştırma Merkezleri tarafından hazırlanmış Türkiye'deki yıllık yağış miktarının bölgelere göre değişimini gösteren bir harita ile yine bu kuruluş tarafından hazırlanmış "Türkiye Eğim Haritası" kullanılmaktadır. USLE ile sediment yükü tahmini için gerekli olan havza özellikleri ile ilgili bilgiler DSİ tarafından toplanmaktadır. Ayrıca yıllık ortalama yağış miktarları DSİ ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçülerek kaydedilmektedir.

Akımın sediment konsantrasyon değeri kullanılarak yapılan sediment yükü hesabı için DSİ tarafından baraja gelen toplam akış debisi aylık olarak ölçülmektedir. Ayrıca yine bu metotla sediment debisi hesabı için EİE İdaresi tarafından "sediment debisi ölçüm istasyonları" kurulmuştur. Bu istasyonlarda akımın sediment konsantrasyonu aylık olarak ölçülmektedir. EİE İdaresi bu verileri kullanarak

$$Q_s = Q_w * C' * T' \dots\dots\dots (2.15)$$

şeklinde bir denklem ile sediment yükünü hesaplamaktadır. Bu denklemde;

Q_s : sediment yükünü;

Q_w : akımın debisini;

C' : akımın sediment konsantrasyonunu;

T' : düzeltme katsayısını göstermektedir.

Barajın sulama, taşkın kontrolü, elektrik üretimi ve içme kullanma suyu sağlama amaçlarından hangisini veya hangilerini sağlamak amacıyla kullanılacağı ve bu amaca yönelik üretim kapasitesinin ne kadar olacağı da ölü hacmin belirlenmesinde gerekli olan bilgilerdir. Türkiye'deki barajların yapısal ve hidrolik özellikleri ile kullanım amaçlarının ne olduğuna ait kayıtlar DSİ tarafından tutulmaktadır (Yener, 1994).



BÖLÜM 3

ÖLÜ HACİM HESAPLAMA METOTLARI

3.1. Ölü Hacim ve Baraj Tasarımı

Bir barajın kullanım ömrü boyunca rezervuarına akış yoluyla gelen sedimentin sebep olacağı çeşitli etkiler barajın projelendiriliş şeklini belirleyen önemli unsurlardır. Rezervuara ulaşarak çökmeye uğrayan sedimentin barajın kullanılabilirliğini engellememesi için rezervuar tabanında belli hacme sahip bir bölge kullanılmayan bir kısım olarak ayrılmaktadır. Rezervuara gelen sedimentin çökmesi için ayrılan bu hacim “ölü hacim” olarak adlandırılmaktadır. Geçit ve dolusavakların baraj gövdesi üzerindeki konumları ve baraj gövdesinin diğer yapısal özelliklerinin belirlenmesinde ölü hacmin boyutları etkili olmaktadır.

3.1.1. Ölü Hacim Tahmini ve Önemi

Bir barajın ölü hacim tahmini sediment yükü hesapları ile elde edilen sonuçlara ve barajın sahip olması istenen yıllık ve toplam üretim potansiyellerine göre yapılmaktadır. Belli bir ölü hacim değeri için baraj inşasının ekonomik olup olmayacağı yapılan sediment yükü hesaplarının sonuçlarına göre karar verilmesi gereken önemli bir noktadır.

Barajların kullanım ömürleri boyunca depolanacak sediment seviyesinin geçit ve dolusavaklardan oluşan su alma yapılarının altında kalacak şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu şartın sağlanması için bir ölü hacim tahmini yapılarak su alma yapılarının minimum kot değeri hesaplanmaktadır.

Ölü hacim bir baraj rezervuarında sediment depolanmasının gerçekleştiği en son bölgedir ve görevi barajın kullanım ömrü boyunca dolusavak ve geçitlerin sedimentten etkilenmelerini önlemektir. Akış yolu ile gelen sedimentin çoğunlukla ölü hacmin dışındaki daha yukarı seviyelerden başlayarak depolanması sebebiyle içme- kullanma suyu veya enerji üretimi için kullanılacak aktif hacimde bir kayıp olmaktadır. Fakat ölü hacmin konumuna uygun olarak inşa edilen su alma yapıları bu yukarı kesimlerdeki sediment depolanması süresince herhangi bir zarar görmeden uğramadan barajın işlerliğini sürdürebilmesini sağlamaktadırlar (Simons ve Şentürk, 1992).

3.1.2. Ölü Hacim ve Rezervuar İşletmesi

Bir barajın kullanım ömrünün uzatılması için izlenmesi gereken yol baraj rezervuarına gelen sediment miktarını minimuma indirmek ve rezervuardan çıkan sediment yükünü maksimumda tutmaktır. Bu şekilde rezervuar ölü hacminin sediment ile dolma süresi uzatılmaktadır (Yang, 1996). Rezervuar tabanında depolanan sedimentin çıkarılarak barajın tekrar kazanılması ise genellikle ekonomik bakımdan uygun olmayan ve teknik olarak zor bir işlemdir.

Rezervuara gelen sediment yükünü azaltma yollarından biri havzadaki erozyon miktarını düşürmektir. Havzanın ağaçlandırılması, uygun toprak sürme tekniklerinin uygulanması, yüksek eğime sahip bölgelerde teraslama yapılması, şeritvari ekim uygulamaları ve dönüşümlü olarak uygun bitkilerin ekimi erozyonu önleyici çalışmalardır.

Erozyonu önleyici yapısal tedbirler ise nehir üzerinde bir çökeltme havuzu inşa ederek fazla sedimentin depolanması, nehir yatağındaki oyuntuları azaltmak için akıntı indirme kanalları inşa edilmesi, nehir kenarlarındaki erozyonu önlemek amacıyla istinat duvarları inşası ve eşik ve indirme yapılarıyla nehir yatağının dengelenmesidir (Linsley ve diğerleri, 1992).

Uygun rezervuar işletme metotlarının kullanılmasıyla baraj rezervuarının tuttuğu sediment miktarının kontrolü mümkün olabilmektedir. Rezervuardaki sıcaklık farkı, sediment ve suda çözülmüş minerallerin sebep olduğu yoğunluk farkından dolayı rezervuar içerisinde yoğun bir şekilde sediment taşıyan akıntılar oluşabilmektedir. Böyle durumlarda sediment bakımından yoğun olan bu akıntılar rüzgarın etkisi de gözönüne alınarak geçitler aracılığıyla barajın mansabına akıtılabilmekte ve rezervuarın sediment tutma kapasitesi %2'den %10'a kadar değişen oranlarda azaltılabilmektedir (Linsley ve diğerleri, 1992).

Bir taşkın başlangıç evresinde nehir suları yükselirken akışın getirdiği toplam sediment yükünde ortalama değere göre bir artış olduğu, nehir suları alçalırken ise sediment yükünün ortalamanın altına düştüğü bilinmektedir (UNESCO, 1985). Bu nedenle taşkın başlangıcında akımın rezervuar ile olan memba tarafındaki bağlantısı kesilerek akışın yönünün değiştirilmesiyle az miktarda su kaybı ile büyük miktarda sedimentin rezervuara gelmesi önlenebilmektedir (Yang, 1996).

Baraj rezervuarlarının sedimantasyon sonucu kaybolan hacimlerinin tekrar kazanılması genellikle ekonomik olmamakla birlikte bu işlem için bazı durumlarda akıtma, tarama ve sifonlama yöntemlerinden uygun olanı seçilebilmektedir.

Akıtma yöntemi barajdaki depolanmış suyun bırakılması ve depolanmış sedimentin su ile beraber barajın dışına taşınması şeklinde olmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı büyük miktarda su kaybına sebep olmasıdır. Ayrıca bu yöntem ile baraj gövdesinden fazla uzakta çökelmiş olan sedimente ulaşamamaktadır. Bu metot tekrar dolması kolay olan küçük rezervuarlar için uygundur. Sifonlama yöntemi bir boru hattı ile, çökelmiş sedimentin rezervuar dışına taşınmasıdır. Bu metotta boru hattının tıkanması veya güç yetersizliği ile karşılaşılabilir. Mekanik bir yöntem olan tarama yöntemi pahalı olması sebebiyle diğer metotların kullanılmadığı durumlarda uygulanması gereken bir metottur. Çıkarılan çökelti malzemesinin başka alanlarda kullanılmasıyla bu işlemin daha ucuz hale getirilmesi mümkündür. Bu şekilde çevreye verilecek olumsuz etkiler de önlenmektedir (Yang, 1996).

3.2. Ölü Hacim Hesaplama Metotları

Baraj rezervuarına akış yoluyla gelen sediment rezervuar tabanında çeşitli şekillerde ve miktarda depolanabilmektedir. Sedimentin depolanma durumunu etkileyen faktörler akımın hidrolik özellikleri, malzeme özellikleri, kanal özellikleri ve yine sedimentin rezervuarda o ana kadarki depolanma durumudur. Gelen sedimentin bu faktörlere bağlı olarak ne şekilde depolanacağı rezervuar ölü hacim hesabında önem taşımaktadır.

3.2.1. Sediment Yığılma Prensipleri ve Şekilleri

Bir nehir akımının baraj rezervuarına ulaşması ile akım ile taşınan sediment tanelerinin çökme süreci başlar ve rezervuar tabanının bütün bölgelerinde belli miktarda sediment depolanması gerçekleşir. Akımın rezervuara ulaşarak derinliğin artmaya ve hızın azalmaya başladığı noktadan itibaren ilk olarak çökmeye başlayan büyük tanecik boyutuna sahip sedimenttir. Bu malzemenin çökmesiyle akımın rezervuara ulaştığı bölgede rezervuar içerisine doğru uzanan bir delta oluşumu gerçekleşir. Rezervuar içerisinde ilerlerken çökmeye uğrayan bu iri taneciklerden oluşmuş aslı sedimentin tükendiği noktada delta oluşumu son bulur. Daha ileriki, rezervuarın daha büyük derinliğe sahip ve akış hızının daha küçük olduğu kesimlerde çökelen sediment daha küçük boyuta sahiptir. Bu şekilde baraj gövdesine yaklaştıkça çökelmiş sedimentin boyutunda bir küçülme görülür (Julien, 1995). Rezervuar girişindeki deltayı oluşturan malzeme kum ve çakıl boyutundaki taneciklerden oluşurken daha ileri noktalardaki depolanma silt ve kil boyutundadır (Akbari,1987).

Depolanan bu malzemeden ayrı olarak bir kısım çok ince sediment ise rezervuarda çökelmesinin barajın mansabına geçebilir.

Sediment yığılma şekli ve miktarı sediment özelliklerine ek olarak akımın hidrolik ve termal özelliklerine, mineral içeriğine ve kanal özelliklerine de bağlıdır. Bazı rezervuar işletme metotlarının uygulandığı durumlarda baraj gölü içerisinde sediment bakımından yoğun olan akıntıların getirdiği malzeme rezervuar içerisindeki sıcaklık ve yoğunluk farkları sebebiyle çökelmeye uğramaksızın akımın mansabına geçebilmektedir. Rezervuardaki su seviyesinin düştüğü durumlarda ise nehir akımı etkisiyle rezervuar girişinde delta oluşturmuş olan malzeme rezervuarın daha ileri kısımlarına taşınabilmektedir.

3.2.2. Sediment Debisi Çeşitleri ve Yığılma Prensipleri

Rezervuara gelen sediment debisinin yatak yükü, askı yükü, veya yıkama yükü şekillerinin hangisinden ne miktarda oluştuğu rezervuarda depolanan sedimentin miktarını ve yerini etkilemektedir. Yatak yükü şeklinde gelen sediment iri boyutlu taneciklerden oluştuğu için bu malzeme akımın rezervuara girdiği bölgede çökelmektedir. Askı ve yıkama yükü şeklinde gelen malzeme ise rezervuar içerisindeki hareketleri daha uzun süre devam edebildiği için rezervuarın daha ileri kısımlarına kadar taşınabilmektedir. Baraj rezervuarının fazla büyük olmadığı durumlarda askı ve yıkama malzemesi rezervuarın mansabına da geçebilmektedir (Garde ve Raju, 1978). Rezervuar içerisinde çökelen kil boyutundaki askı ve yıkama yükü malzemeleri ise burada konsolidasyona uğramakta, böylelikle özgül ağırlıklarında bir artış ve dolayısıyla depolanma hacminde bir azalma gerçekleşmektedir.

3.2.3. Ölü Hacim Hesaplanması

Akış yoluyla gelen sedimentin rezervuarın hangi kısmında ve ne miktarda çökeceğinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilmiş analitik ve ampirik metotlar bulunmaktadır.

Analitik metotlar olan “minimum birim akış gücü” ve “minimum akış gücü metotları” Yang tarafından termodinamik kurallarından faydalanılarak elde edilmiştir.

Minimum birim akış gücü akışın hızı ve enerji değişim çizgisinin çarpımı ile ifade edilmektedir (Annandale, 1987). Belli sınır şartları altında akımın bu minimum gücü sabit bir değere eşit olmaktadır. Bu durumda

$$u_* = \sqrt{g * R * S_f} \dots\dots\dots (2.15)$$

olarak ifade edilen sürüklenme hızı da minimum değerini almaktadır.

Baraj inşaaası ile birlikte barajın memba tarafında üniform olmayan kritiküstü (nehir rejimi) bir akış gerçekleşmekte ve akımın gücünde bir azalma görülmektedir. Bu durumda bir süre sonra sürüklenme hızı eski değerini alıncaya kadar kanal tabanında bir yükselme (depolanma) ve su seviyesinde bir artış gerçekleşmektedir. Manning Denklemi, akış enerjisi ve süreklilik denklemleri yardımıyla yeni kanal taban ve su seviyesi tahmin edilebilmektedir. Bu işlem deneme ve yanılma yöntemi kullanılarak ve bir tablo oluşturularak gerçekleştirilmektedir.

Daha genel bir teori olan minimum akış gücü ise akışın debisi ve enerji değişim çizgisinin eğiminin çarpımı şeklinde ifade edilmektedir. Bu yöntemde membaya doğru akış yönüne dik olarak ilerlerken kanal ıslak çevre uzunluğundaki artışın bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca hesaplar sırasında Annandale (1987) tarafından gözlem yoluyla elde edilmiş, kümülatif sediment hacmi ile baraj gövdesinden nispi uzaklık arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik de kullanılmaktadır.

Analitik bir metot olan Alan Eksiltme Metodu'nda rezervuarlar kapasite-nispi derinlik log-log grafiklerinin eğimine göre 4 ana sınıfa ayrılmaktadır ve deneysel olarak elde edilmiş denklemler yardımıyla rezervuardaki sediment dağılımı belirlenmektedir. Kapasite ve derinlik ilişkisine göre rezervuar şeklinin hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesinden sonra malzemenin boyutu da gözönüne alınarak uygun sediment dağılım denklemi seçilmektedir. Yeni rezervuar taban seviyesi için belli bir değer seçilerek deneme ve yanılma yöntemiyle rezervuardaki sediment dağılımı tahmini yapılmaktadır (Borland ve Miller, 1960).

Alan eksiltme metodunun Lara (1962) tarafından geliştirilmesiyle elde edilmiş olan "Değiştirilmiş Alan Eksiltme Metodu" nda ise boyut analizi ile elde edilmiş olan bir denklem ve deneysel olarak elde edilmiş bir grafik kullanılarak rezervuar yeni taban seviyesi belirlenmektedir. Böylelikle bir deneme ve yanılma metodu izlenmesine gerek kalmamakta ve doğrudan sonuca ulaşılabilir (Yang, 1996).

3.2.4. Türkiye'de Sediment Debisi ve Rezervuar Ölü Hacim Hesaplamaları

Türkiye'de inşa edilen barajların ekonomik ömrü 50 ile 100 yıl arasında değişmekte olup barajların bu sürenin sonuna kadar aktif durumda olabilmeleri için

ülkemizde gerekli sediment yükü ve ölü hacim tahmini çalışmaları ilgili kuruluşlar tarafından yürütülmektedir.

Sediment debisi hesabı için gerekli veriler belli noktalarda kurulmuş sediment ve akım gözlem istasyonlarında sürekli olarak yapılan ölçümler ile elde edilmektedir. Elde edilen veriler daha sonra ölü hacim hesabında kullanılmaktadır.

3.2.4.1. Türkiye’de Sediment Debisi Hesaplama Metotları

Türkiye’de sediment debisi tahmini için gerekli gözlem ve hesaplamalar Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir.

Sediment debisi hesabında EİE İdaresi tarafından gözlem ve ölçümlere dayalı olarak anahtar eğrileri aracılığıyla elde edilmiş denklemler kullanılmaktadır.

Meyer – Peter ve Müller Metodu ile Değiştirilmiş Einstein Metodu EİE İdaresi tarafından geçmişte Türkiye’de uygulanmasına rağmen şu anda kullanılmamaktadır. Yatak yükünden numune almanın güç bir işlem olması ve ayrıca bu iki metodun Türkiye dışındaki hidrolik şartlar ve kanal özellikleri için çıkarılmış olması sebebi ile bu metotlardan gerçeğe yakın sonuçlar alınamamış ve anahtar eğrisi metodunun kullanımına geçilmiştir. Bununla birlikte Meyer – Peter ve Müller ile Değiştirilmiş Einstein Metodu’ndaki katsayıların yeniden belirlenerek bu metotların Ülkemiz şartlarında kullanılabilir hale getirilebilmesi EİE İdaresi Laboratuvarları’nda halen çalışmalar sürdürülmektedir. Bu iki yöntem ile ilgili detaylı bilgi Ek 1’de verilmektedir.

EİE İdaresi tarafından etkin bir şekilde kullanılmakta olan anahtar eğrisi yardımı ile sediment debisi hesabında sediment yükü ile akış debisi arasında logaritmik bir bağıntı elde edilmesi için aylık olarak yapılmış sediment konsantrasyon ölçümlerinden ve günlük akış debisi değerlerinden faydalanılmaktadır.

İlk olarak aylık sediment debi değerleri ile akım debileri arasında bir logaritmik bir grafiğin oluşturulmasından sonra bu grafiğin eğiminden faydalanılarak

$$Q_s = A_w * Q^{B_w} \dots\dots\dots (3.1)$$

şeklinde bir denklem elde edilmektedir. Bu denklemde;

Q_s : sediment debisini (ton /s);

Q : akış debisini (m^3 /s);

A_w ve B_w : istasyonun ait olduğu havzanın özelliklerine göre değişen katsayıları göstermektedir.

Bu denkleme Microsoft Excell Progamı yardımıyla günlük akım değerleri girilerek günlük sediment yükü değerleri okunmaktadır. Daha sonra yine Excell yardımı ile günlük sediment yükü değerleri toplanarak aylık değerler bunlar da toplanarak yıllık değerler bulunmaktadır. Yıllık sediment yükü değerlerinin toplanarak ortalamasının alınması ve sonucun toplam havza alanına bölünmesiyle istasyonun yukarı kesimindeki havzanın sediment verimi ton /yıl /km² cinsinden elde edilmektedir. Toplam sediment yükü hesabında askı yükü şeklindeki sediment debisine %15 – 50 oranında bir yatak yükü eklenmektedir. Yatak yükünün askı malzemesinin bir yüzdesi olarak ifade edilmesinin sebebi yatak yükünün ölçüm yoluyla bulunmasının zor bir işlem olmasıdır.

Havzanın toplam sediment verimi bulunurken istasyonun yukarı kesimindeki havzanın verimi toplam havza alanı ile çarpılmaktadır.

3.2.4.2. Türkiye’de Rezervuar Ölü Hacim Hesaplamaları

Rezervuar ölü hacim tahmini sediment debisi hesabı gerçekleştirildikten sonra yapılan bir işlemdir.

Sediment yükü hesabı sonucu elde edilen toplam yük değeri sedimentin konsolide olma durumu gözönüne alınarak 1’den küçük bir sayı ile çarpılmakta ve belli bir miktar küçültülmektedir (Lane and Koelzer,1953).

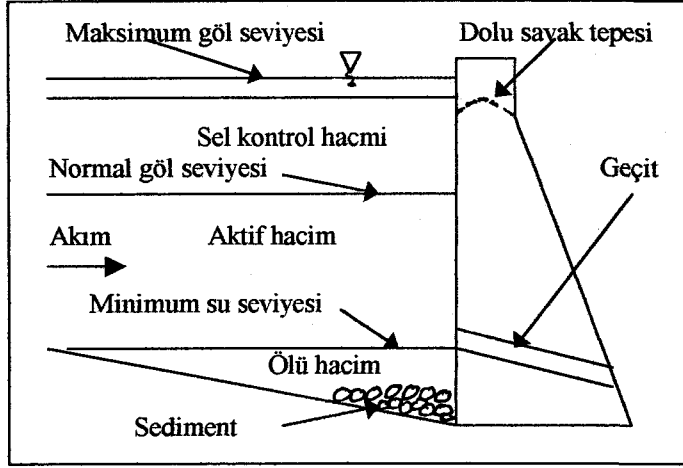
Planlama sırasında veya daha önce sediment konsantrasyonu ölçümü ile elde edilmiş veri bulunmadığı durumlarda ölü hacim hesabı DSİ Genel Müdürlüğü tarafından kullanılmakta olan bir formülle yapılmaktadır. 50 yıllık ekonomik ömre sahip bir baraj rezervuarı için formül aşağıdaki gibidir (Değirmenci,1990):

$$\text{Ölü hacim} = (0.001 \sim 0.0024) * 50 * Q_Y \dots\dots\dots (3.2)$$

Bu denkleme;

Q_Y : ortalama yıllık debiyi göstermektedir. Baştaki katsayı ise havzanın bitki örtüsü durumuna göre 0.001 ile 0.0024 arasında değişmektedir (Gürer, 1996).

Rezervuarın ekonomik kullanım ömrü sonunda sediment ile dolacak hacmi belirlendikten sonra bu hacmin rezervuarın en alt kısmında bulunduğu farzedilerek rezervuardan su alma yapıları yerleştirilmektedir (Şekil 3.1). Büyük barajlarda minimum su seviyesi ölü hacmin üst yüzeyinden çok daha yüksek bir seviyede bulunurken küçük barajlarda depolanan sediment rezervuarın ömrünün dolmasıyla minimum su seviyesinin üzerine de çıkabilmektedir (EİE İd., 1995).



Şekil 3.1. Bir rezervuarın kısımları, ve rezervuarda ölü hacim için yer ayrılması (Yanmaz, 2001).

BÖLÜM 4

KARAKAYA BARAJ REZERVUARI

(ÖRNEK ÇALIŞMA)

Bu tezin konusu ile ilgili bir örnek çalışma yapmak üzere Karakaya Baraj Rezervuarı seçilmiştir. Eldeki çeşitli veriler kullanılarak barajın sediment ile dolma durumu hakkında bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada genel olarak Karakaya Rezervuarı ölü hacminin ne kadarlık kısmının ne kadar sürede dolacağına hazırlanan bilgisayar programları aracılığı ile hesaplanması yoluna gidilmiştir.

4.1. Yer Seçimi ve Gözlemler

Örnek çalışma için seçilen Karakaya Barajı Fırat Nehri üzerinde mansapta Gölköy, memba yönünde ise Keban Barajı'nın bulunduğu beton kemer ağırlık tipi bir barajdır (DSİ, 1985). Karakaya Barajı'nın su toplama havzası 80538 km² olup Keban seviyesinde bu değer 64092 km² ye kadar düşmektedir. Maksimum su seviyesi olan 693 m. kotunda (deniz seviyesinden yükseklik) Karakaya barajının kuyruk suyu Keban'a kadar ulaşmaktadır. Keban'daki nehir taban seviyesi 685 m kotundadır (DSİ,1970).

Keban ve Karakaya barajı arasındaki uzaklık 166 km. ve ortalama rezervuar taban eğimi 0.00092 dir (Şekil 4.1.).

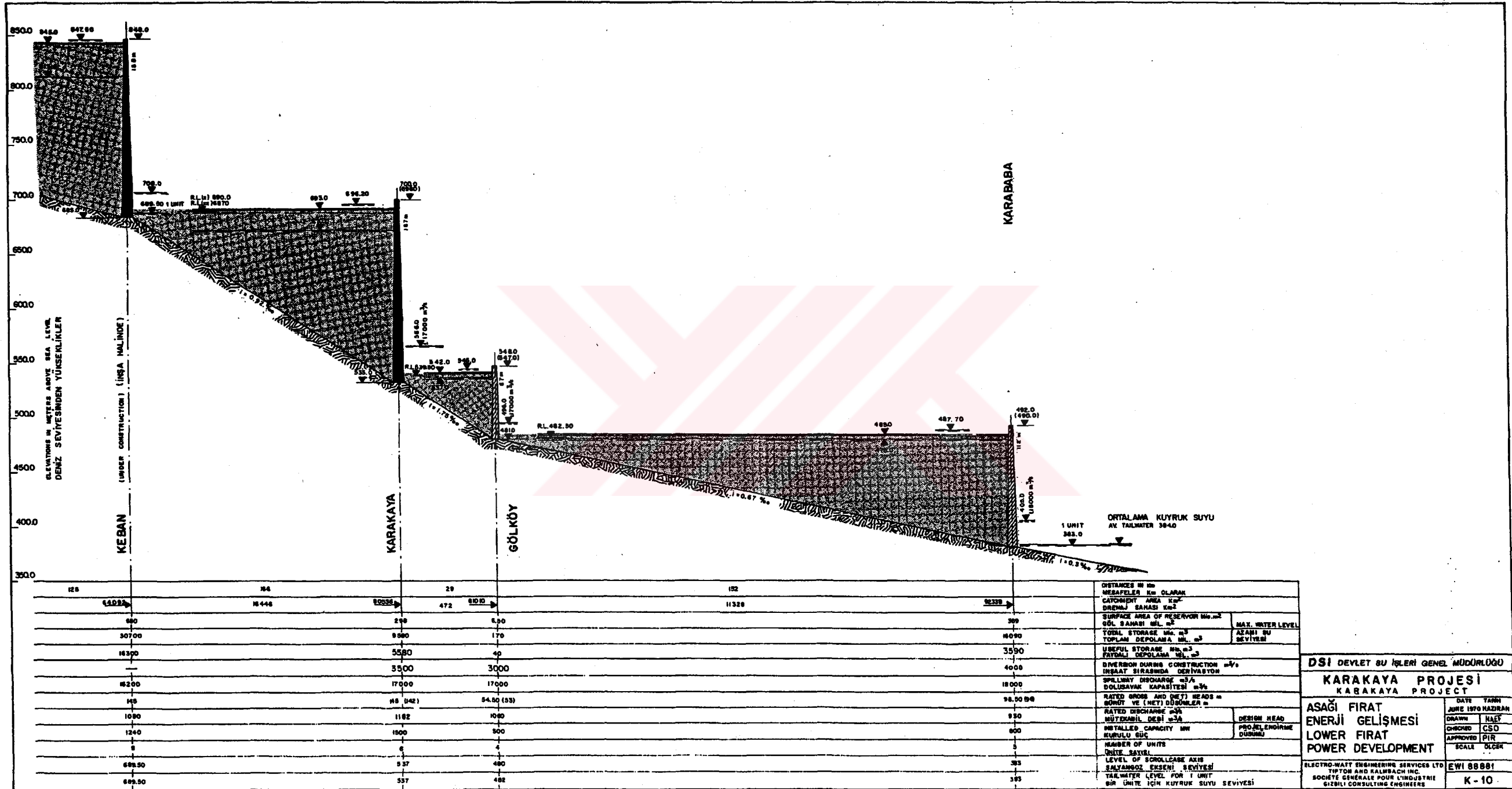
Karakaya Barajı'nın su toplama havzası genel olarak orta (%2 – 6) ve sarp eğimli (% 6 - 20) bir arazi yapısına sahiptir (Doğan ve Akyürek, 1987; Yener, 1994).

Karakaya Rezervuarı'nın toplam hacmi 9.58 milyar m³ olup bunun 4 milyar m³ ü ölü hacmi oluşturmaktadır.

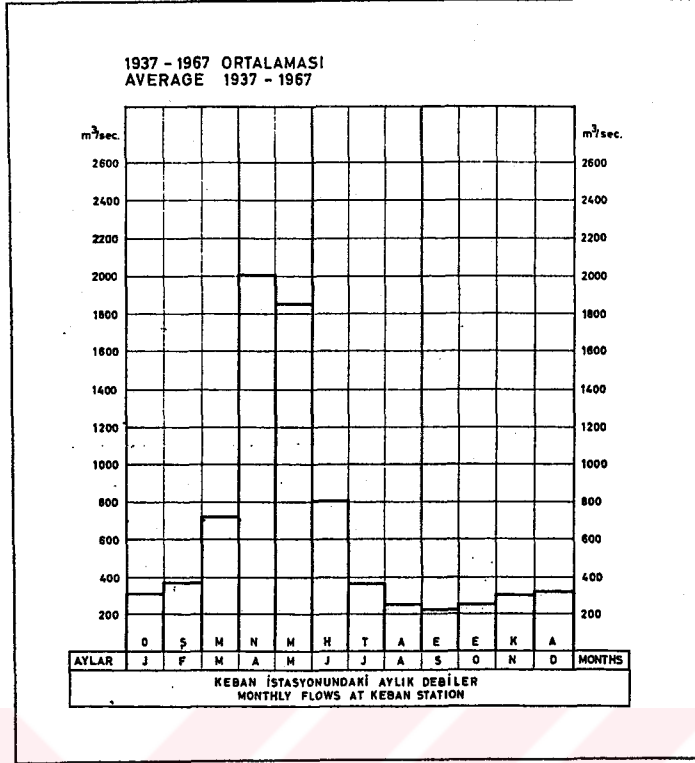
Fırat Nehri'nin Karakaya bölgesindeki debisinin aylara göre değişimi 250 m³/s ile 2000 m³/s arasında olmaktadır (Şekil 4.2.). Bu değerler 1937 ile 1967 yılları arasında yapılan ölçümlere göre elde edilmiş olan ortalama değerlerdir (DSİ, 1970).

4.2. Mevcut Bilgilerin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında Karakaya baraj rezervuarında sediment depolanma durumunu incelemek üzere genel olarak iki ayrı metot ile çalışma yapılmıştır. Metotlardan birincisi yatak yükünün hesaplanmasında kullanılan Meyer – Peter ve Müller Yöntemi'dir. İkinci metot ise toplam yük hesabında kullanılan Değiştirilmiş Einstein Metodu'dur. Her iki metot için de bu tez çalışmasında FORTRAN dilinde



Şekil 4.1. Karakaya Rezervuarı ve diğer ardışık rezervuarların profildeki detayları (DSİ, 1970).



Şekil 4.2. Keban İstasyonu'ndaki aylık debiler (DSİ,1970).

yazılmış birer bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programlarda Meyer – Peter ve Müller ve Değiştirilmiş Einstein Metodu ile hesaplanan kanal erozyon ve sedimentasyonuna ek olarak EİE İdaresi tarafından kullanılan Anahtar Eğrisi Metodu da araziden gelen sedimenti gözönüne almak için hesaba dahil edilmiştir. Her iki bilgisayar programında rezervuarda depolanma miktarını ifade etmek için Şekil 4.3.'te görüldüğü gibi bir matematiksel modelleme yapılmıştır (Yücel ve Graf, 1973). Bu şekilde;

q_{n+1} : akımın herhangi bir kısmına giren sediment yükünü (=taşıma kapasitesi);

q_n : çıkan sediment yükünü (=taşıma kapasitesi);

q_n araziden : araziden gelen sediment yükünü;

q_n depolanan : depolanan sediment miktarını göstermektedir. Bu durumda;

$$\Delta h = (q_n \text{ depolanan} / (B * L)) * \Delta t = ((q_{n+1} - q_n + q_n \text{ araziden}) / (B * L)) * \Delta t \dots\dots\dots (4.1)$$

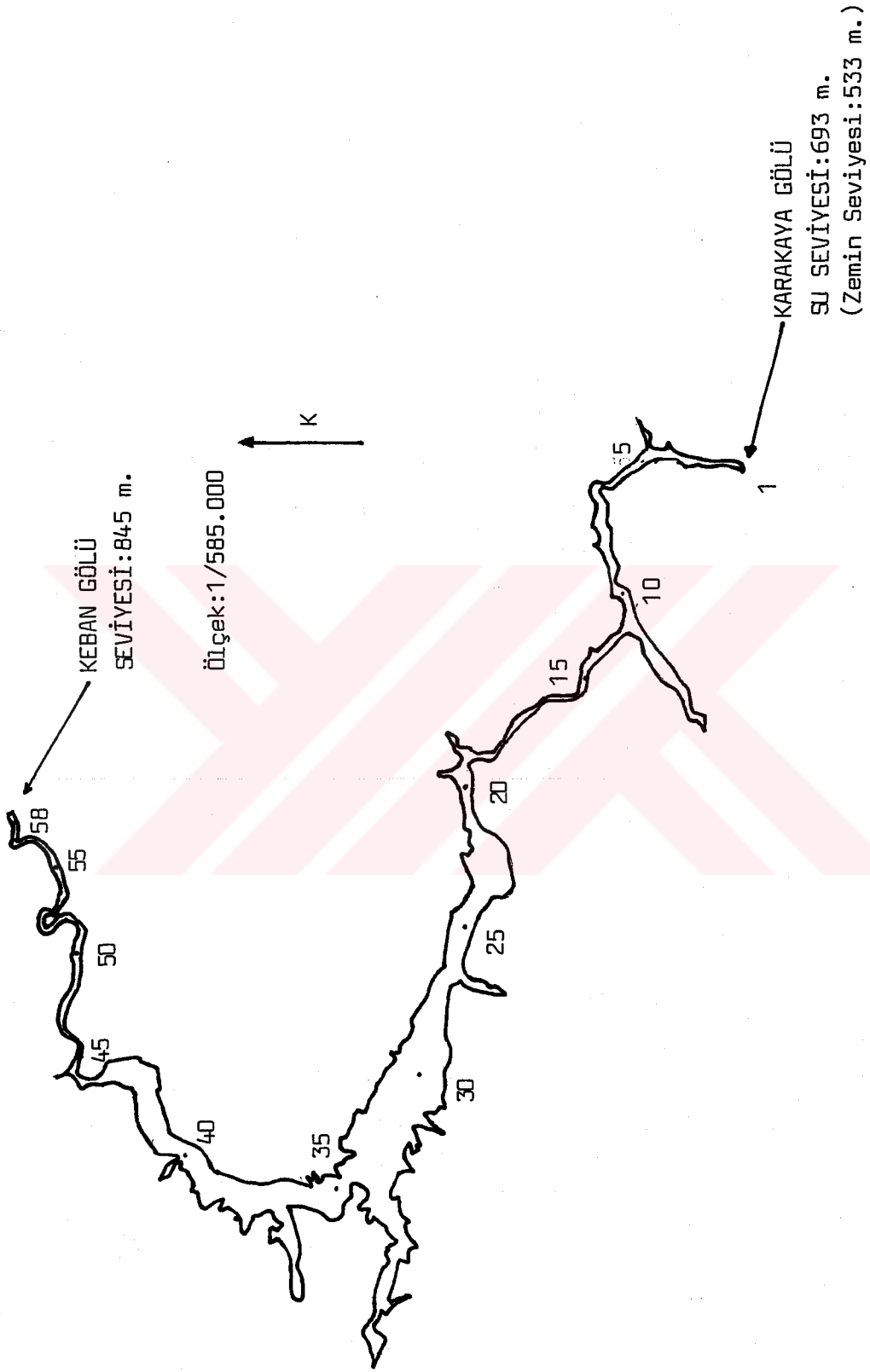
olmaktadır. Burada;

Δh : tabanda depolanma kalınlığını;

L: akımın seçili kısmının uzunluğunu;

Δt : zaman aralığını;

n: düğüm noktasını;



Şekil 4.4. Karakaya Baraj Rezervuarı Haritası üzerinde alınan düğüm noktaları (DSİ, 1970).

Baraj rezervuarında oluşan akımın üniform olmayan kritiküstü (nehir rejimi) bir akım olması sebebi ile Meyer- Peter ve Müller ile Değiştirilmiş Einstein Metotları'nda taban eğimi değeri doğrudan kullanılamamaktadır. Bu değer yerine enerji çizgisinin eğimi kullanılmaktadır. Böylelikle nehir akışına karşı uygulanan kuvvet doğru bir şekilde ifade edilebilmektedir.

Ayrıca elde yeterli veri olmaması sebebi ile Değiştirilmiş Einstein Metodu'nda akımın sediment konsantrasyon değeri için Tohma suyunun ortalama konsantrasyon değeri alınmıştır.

Karakaya Barajı Rezervuarına araziden gelen sedimentin EİE İdaresi Metoduna göre hesaba katılmasında Tohma Suyu üzerinde kurulu 2145 no.lu Süspanse (Askıda) Sediment Gözlem İstasyonu'nun verilerinden faydalanılmıştır (Tablo 4.1.; Şekil 4.5.). Buna göre araziden gelen sedimentin verimi 65 ton/yıl/km² olarak alınmıştır. Böylelikle 2145 no.lu istasyonun Karakaya Rezervuarı'nın net havzasının özelliklerini yansıttığı şeklinde bir kabul yapılmıştır.

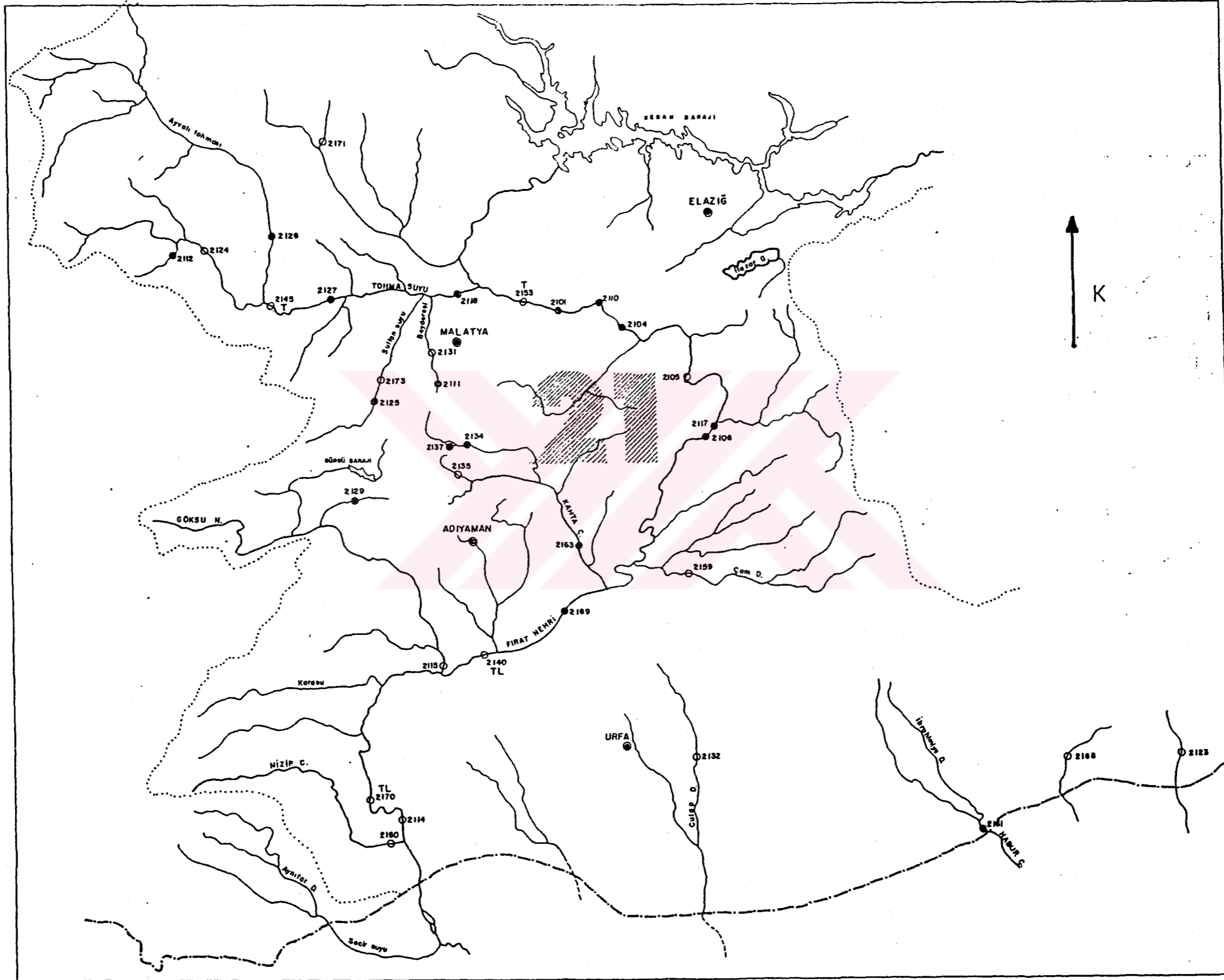
Araziden gelen toplam sedimentin bulunmasında 65 ton/yıl/km² olarak alınan sediment verimi Karakaya Rezervuarı'na ait net havza alanı ile çarpılmıştır. Keban Rezervuarı'nın Keban Barajı'nın yukarısında kalan alandan gelen sedimenti tuttuğu kabul edilerek net havza alanı Karakaya'nın havzasından Keban'nın havzası çıkarılarak elde edilmiştir. Buna göre;

$$\text{Net Havza Alanı} = 80538 - 64092 = 16446 \text{ km}^2$$

dir. Karakaya Rezervuarı'na ait net havza alanı daha sonra alt havzalara bölünerek her bir alt havzadan gelen sediment yükü, alan ile sediment verimi çarpılarak hesaplanmıştır (Şekil 4.6.).

Anahtar Eğrisi Metodu yardımı ile elde edilen sonuç süspanse sediment verimini verdiği için Meyer – Peter ve Müller için hazırlanan bilgisayar programında bu değer 0.25 gibi tahmini bir katsayı ile çarpılarak yatak yükü miktarı elde edilmektedir. Değiştirilmiş Einstein Metodu'nu kullanan bilgisayar programında ise bu katsayı 1.25 olarak alınmakta ve toplam yük değeri bulunmaktadır.

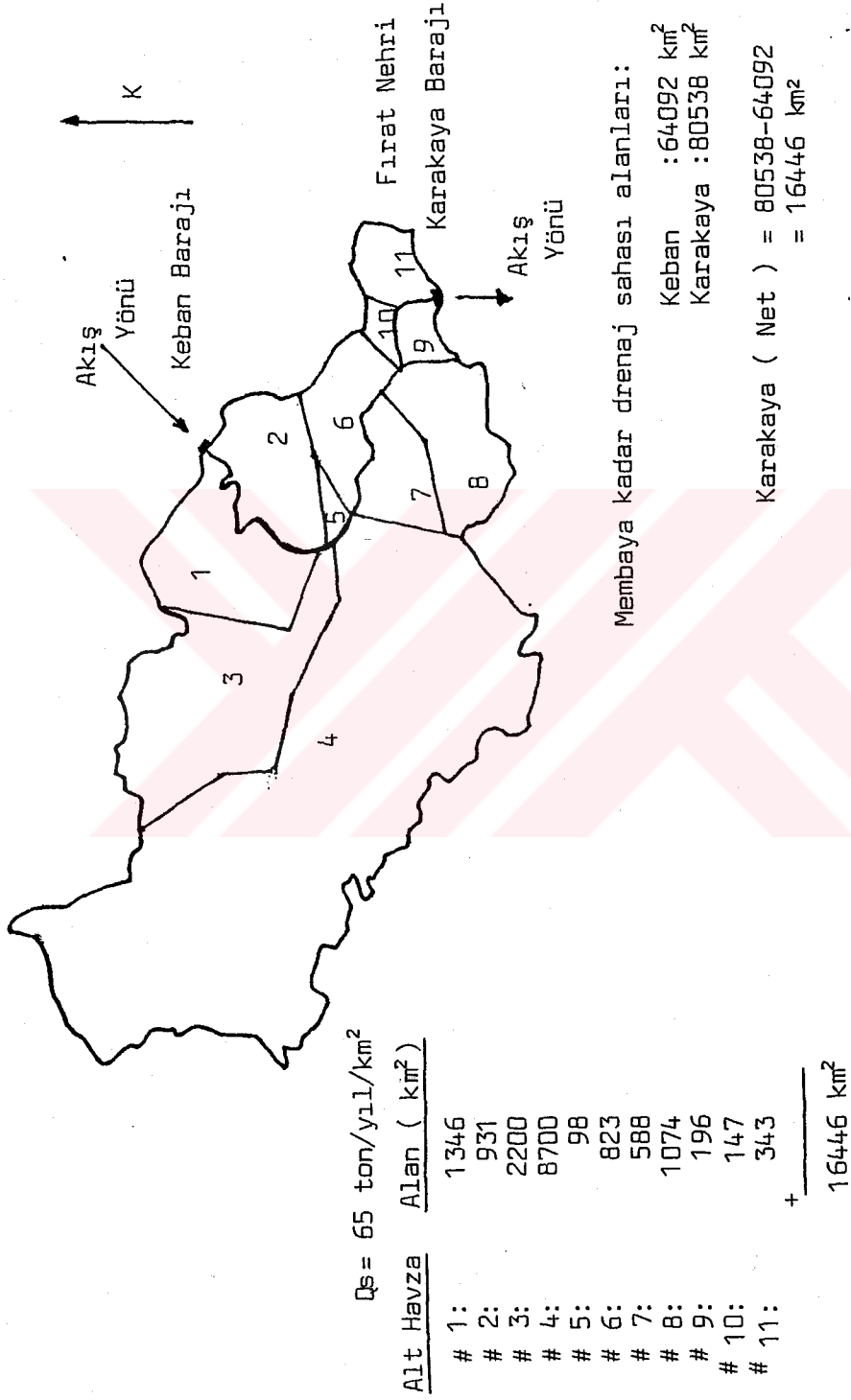
Meyer – Peter ve Müller ile Değiştirilmiş Einstein Metotlarında gerekli olan sediment boyutu değerleri elde edilen verilere göre hazırlanan sediment boyut dağılımı grafiklerinden elde edilmiştir (Şekil 4.7. – 4.8.). Bu metotların uygulanmasında gerekli olan d₃₅, d₅₀, d₆₅, ve d₉₀ değerleri hazırlanan boyut dağılımı grafiklerinden okunmuştur.



Şekil 4.5. Tohma Suyu ve Fırat Nehri üzerindeki ve bu bölgedeki diğer akım gözlem istasyonları (EİE İd., 1995).

Tablo 4.1. Türkiye'deki bazı sediment gözlem istasyonları ve sediment yükü verileri (Dokuz Eylül Üniversitesi, 2001).

HAVZA	SU ve İSTASYON		İSTASYONUN		GÖZLEM YILLARI		SEDİMENT ANAHTAR EĞRİSİ			SEDİMENT GÖZLEM YILLARINA GÖRE İSTASYONUN ORTALAMA SÜSPANSE SEDİMENT				EK BİLGİLER (Kapanma ve Değerlendirilmeyen Akım Yılları)
	No	Adı	Net Yağış Alanı km ²	Yüksekliği	Akım	Sediment	Eşitliği Q _s =Sediment Q=Akım	Belirleme Katsayısı	Ornek Sayısı	Değerlendirilen Akım Yı Gaysısı	Miktarı Ton / yıl	Yerimi Ton / yıl / km ²	Dane Dağılımı % K Kil u + Silt	
DOĞU AKDENİZ	1712	Göksu Nehri-Bucaklısu	2689,2	397	1954-1996	1975-1999	0,65	275	22	231.223	86	53,4	46,6	
	1714	Göksu Nehri-Karahacılı	6906,7	24	1961-1996	1965-1999	0,771	370	32	1.699.854	246	53,3	46,7	
	1719	Ermenek Çayı-Kırkkavak	3499,6	130	1965-1996	1977-1992	0,74	178	16	359.190	103	37,7	62,3	1992 Yılında Kapanmış.
	1721	Anamur Çayı-Alaköprü	313,2	37	1967-1996	1978-1999	0,706	240	19	27.228	87	19,3	80,7	
	1723	Ermenek Çayı-Çavuşköy	2148	515	1985-1996	1985-1999	0,85	161	11	149.617	70	47,3	52,7	
	1801	Göksu Nehri-Himmetli	2596,8	665	1935-1996	1966-1999	0,645	329	31	151.839	58	37,9	62,1	
	1818	Seyhan Nehri-Ütepe	13846	130	1966-1996	1968-1999	0,695	346	28	2.096.392	151	58,6	41,4	
SEYHAN	1820	Körkün Suyu-Hacılı Köp.	1440,8	167	1968-1996	1977-1999	0,805	267	20	175.493	122	51,4	48,6	
	1826	Zamanlı Nehri-Ergenusağı	8698,1	360	1987-1996	1991-1999	0,626	101	6	233.547	27	46,7	53,3	
	1907	Asi Nehri-Demirköprü	16170,0	85	1953-1996	1975-1999	0,772	277	22	140.159	9	37,2	62,8	
	2004	Ceyhan Nehri-Misis	5139,0	15	1970-1996	1970-1999	0,64	380	26	2.219.100	432	55,3	44,7	
CEYHAN	2006	Göksun Nehri-Karahmet	739,2	1324	1952-1996	1977-1999	0,813	278	20	8.991	12	45,7	54,3	
	2008	Savrun Deresi-Kadirli Köprüsü	444,0	75	1968-1996	1994-1999	0,736	59	3	63.764	144	55,1	44,9	
	2015	Hurman Suyu-Tanır	915,2	1180	1956-1995	1977-1997	0,664	231	20	23.057	25	40,9	59,1	1997 Yılında Kapanmış.
	2025	Hurman Suyu-Gozlerözü	914,7	1222	1995-1996	1997-1999	0,542	34	0	0	0	59,3	40,7	
	2102	Murat Nehri-Palı	24811,6	859	1967-1996	1968-1999	0,844	394	28	13.174.082	531	61,4	38,6	
	2115	Göksu Nehri-Malınar	3670,8	397	1953-1996	1977-1999	0,827	262	20	2.218.697	604	63,4	36,6	
	2119	Fırat Nehri-Kemahboğazi	7744,0	1123	1953-1996	1967-1999	0,822	388	23	1.595.957	206	49,9	50,1	1988-1995 yılları arası yok.
FIRAT	2133	Munzur Suyu-Melekbağçe	3284,8	875	1953-1996	1968-1995	0,726	344	27	936.394	285	61,9	38,1	
	2141	Peri Suyu-Korudibi	360,4	1100	1961-1993	1987-1993	0,757	73	5	3.291.267	913	55,8	44,2	1997 Yılında Kapanmış.
	2145	Tohma Suyu-Hisarçık	5822,0	935	1962-1996	1990-1999	0,641	116	7	379.220	65	58,4	41,6	
	2154	Karash-Aşğıkagardıç	2514,0	1675	1968-1996	1994-1999	0,82	64	3	12.187	5	41,8	58,2	
	2156	Fırat Nehri-Bağtaş	12950,0	865	1968-1996	1991-1999	0,60	86	6	6.767.945	523	58,1	41,9	
	2164	Göynük Çayı-Çaygazi	1844,0	998	1968-1996	1986-1999	0,847	154	11	538.061	292	53,0	47,0	
	2166	Peri Suyu-Loğmar	1605,8	847	1968-1996	1968-1999	0,814	377	27	2.503.479	1559	43,3	56,7	
	2170	Fırat Nehri-Beluzköy	8048,4	340	1973-1996	1977-1999	0,409	261	20	2.873.357	357	46,9	53,1	1999 Yılında Kapanmış.
	2174	Murat Nehri-Akkozak	17119,1	1285	1979-1996	1987-1999	0,881	136	9	6.439.802	376	54,1	45,9	1989 yılı yok.
	2176	Tacik Deresi-Mutubogazi	94,4	1225	1983-1996	1983-1999	0,681	201	13	6.274	66	53,6	46,4	1983 yılı yok.



Şekil 4.6. Karakaya net havza alanının alt havzalara ayrılması (DSI, 1970).

Değiştirilmiş Einstein Metodu için yazılan bilgisayar programında sediment depolanma veya aşınma miktarı hesaplandıktan sonra sediment depolanma şeklini belirlemek için Borland'ın (1971) geliştirdiği bir yöntem takip edilmiştir. Buna göre depolanan sedimentin üst eğiminin orijinal kanal taban eğiminin yarısı kadar olduğu, depolanan sedimentin ön yüzey eğiminin ise üst yüzey eğiminin 6.5 katı kadar olduğu kabul edilmiştir.

Değiştirilmiş Einstein Metodu ile elde edilen sediment hacmindeki, konsolidasyon sebebi ile gerçekleşen azalmayı gözönüne almak için Lane ve Koelzer'in (1953) geliştirdiği bir yöntem izlenmektedir. Bunun için Tablo 4.2.'den ve aşağıdaki denklemden faydalanılmaktadır:

$$W_T = W_1 + 0.4343 * K_1 * (T_Y/(T_Y-1) * \ln T_Y - 1) \dots\dots\dots (4.2)$$

Bu denklemden;

W_1 : başlangıçtaki birim ağırlığı;

K: sabit bir değeri;

T_Y : yıl cinsinden zamanı;

W_T : T_Y sene sonraki birim ağırlığı pound/ ft³ cinsinden göstermektedir.

Buna göre Karakaya Rezervuarındaki yaklaşık olarak 14 yıllık depolanma için

$W_T = 1.223 \text{ ton/m}^3$ olarak bulunmuştur.

Meyer – Peter ve Müller, ve Değiştirilmiş Einstein Metotları Ek 1'de verilmektedir. Bu tezde bu metotları kullanan bilgisayar programları, bu programların Karakaya Barajı için veri giriş dosyaları ve bilgisayar çıktıları sırasıyla Ek 2, Ek 3 ve Ek 4'te verilmektedir.

4.3. Uygulama ve Karşılaştırmalar

Karakaya Barajı'nda rezervuar sedimantasyonunun incelenmesinde bir bilgisayar programı aracılığı ile uygulanan Meyer- Peter ve Müller Metodu yatak yükü şeklinde gelen sedimentin aşınma ve depolanma durumunu verirken yine bir bilgisayar programı yardımı ile yapılan Değiştirilmiş Einstein Metodu ile ilgili hesaplamalar toplam sediment yükü değerini vermektedir.

Meyer – Peter ve Müller Metodu'na göre Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükünden oluşan ve zamanla rezervuara doğru ilerleyen bir delta oluşumu gözlemlenmektedir (Şekil 4.9. – 4.16.). FORTRAN Programlama Dili'nde yazılmış bir

bilgisayar programı ve Microsoft EXCEL yardımı ile elde edilen grafiklere göre 100. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nın %3 lük kısmının yatak malzemesinden oluşan sediment ile dolduğu sonucuna varılabilmektedir.

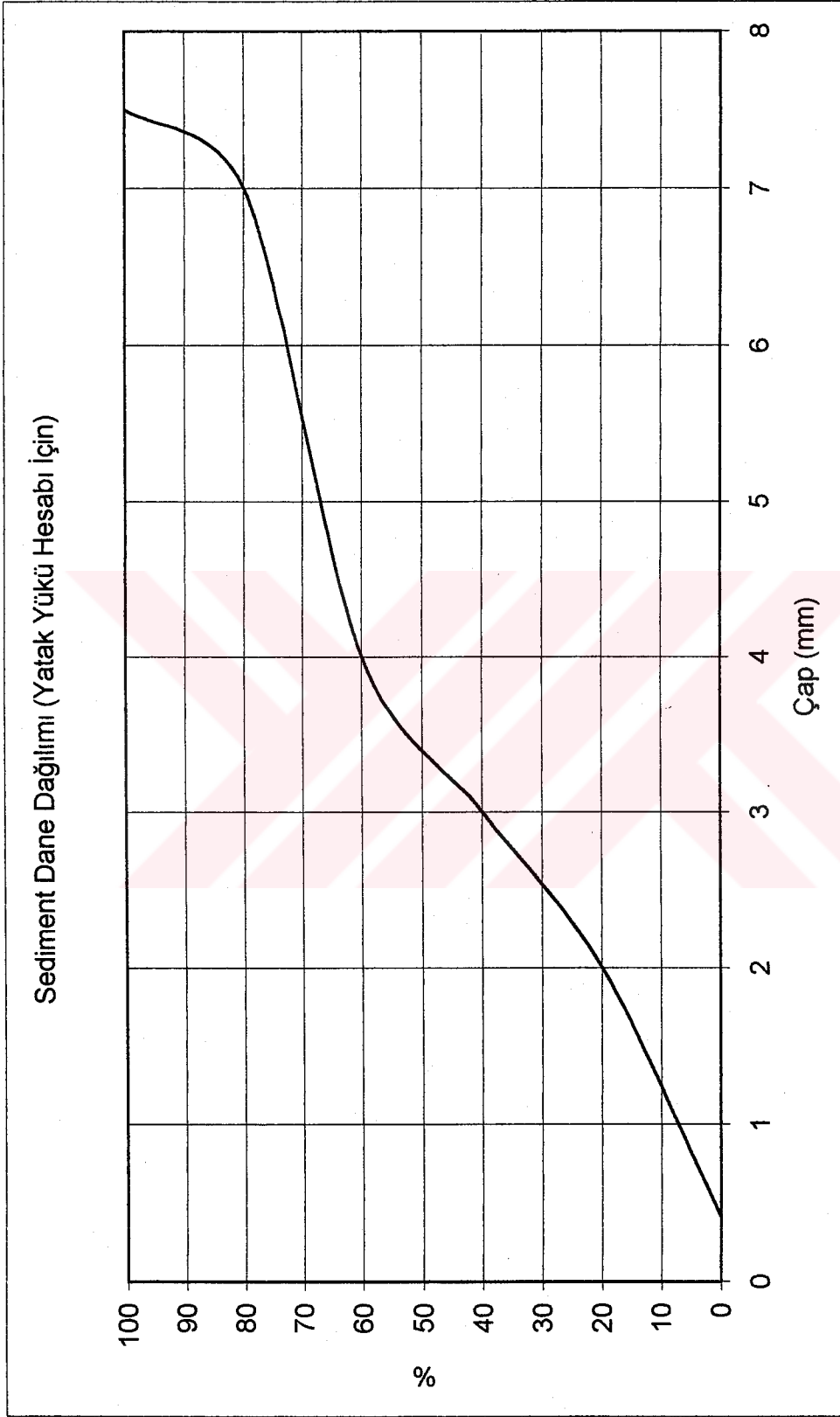
Karakaya Rezervuarı'nın havzasından gelen sedimentin 100. yılın sonunda belirgin bir depolanmaya sebep olmadığı yine Şekil 4.9.'dan Şekil 4.16.'ya kadar verilen grafiklerden görülebilmektedir.

Şekil 4.9. – 4.16.'da Karakaya Rezervuarı'nda yaklaşık olarak 50. Düğüm Noktası'ndan daha yukarı seviyelerde aşınma sebebi ile taban kotunda bir düşme görülmektedir. Aşınan bu kısımlardaki sediment daha sonra daha düşük taban kotlarında akımın derinleştiği ve hızın düştüğü bölgelerde delta şeklinde bir depolanmaya uğramaktadır.

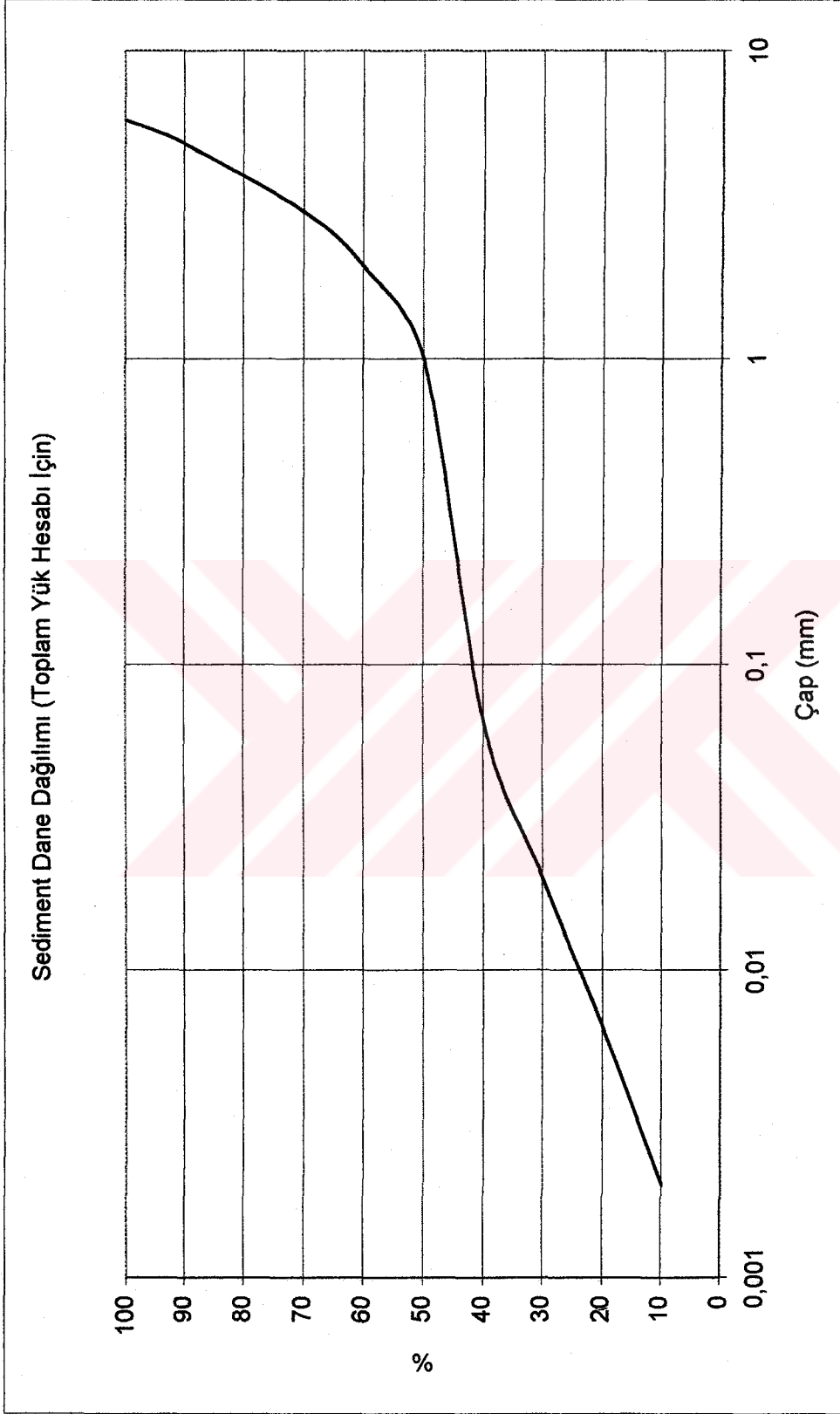
Değiştirilmiş Einstein Yöntemi ile rezervuar sedimantasyonu hesabında toplam yıllık depolanma $305,354,738 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak bulunmuştur. Bu sedimentin başlangıçtaki özgül ağırlığı 1.140 ton/m^3 olarak alınmış, konsolidasyondan sonraki son özgül ağırlığı ise 1.223 ton/m^3 olarak elde edilmiştir (Lane ve Koelzer, 1953). Buna göre son yıllık hacim $284,631,563 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak elde edilmiştir. Bu durumda Einstein Metodu'na göre $4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ 'lük ölü hacme sahip Karakaya Rezervuarı 14.05 yıl gibi çok kısa bir sürede sediment ile dolmaktadır (Tablo 4.3.).

Tablo 4.2. K değerlerini ve başlangıçtaki birim ağırlıkları gösteren tablo
(Alışık, 1995).

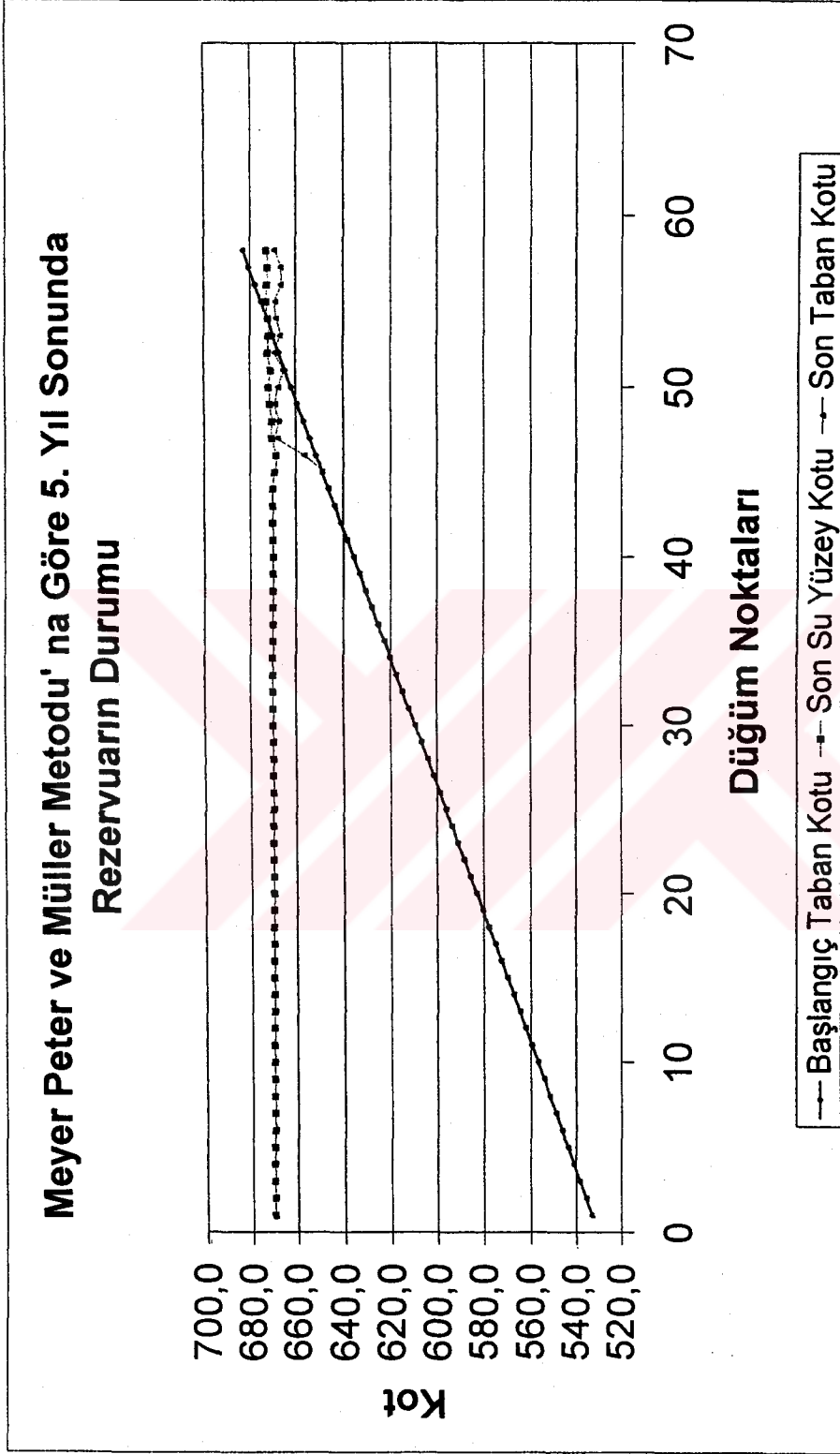
Rezervuar İşletme Durumu		KUM		SİLT		KİL	
		W1	K	W1	K	W1	K
A	Rezervuar daima dolu veya doluya yakın (HES)	97	0	71	5.7	35	16
B	Rezervuardan orta derecede su çekilmesi (HES, Sulama)	93	0	74	2.7	46	10.7
C	Rezervuardan önemli derecede su çekilmesi (Sulama amaçlı)	93	0	74	1.0	60	6.0
D	Rezervuar boş (Taşkın amaçlı)	93	0	82	0.0	78	0.0



Şekil 4.7. Yatak yükü için sediment dane dağılımı (DSİ, 1970).

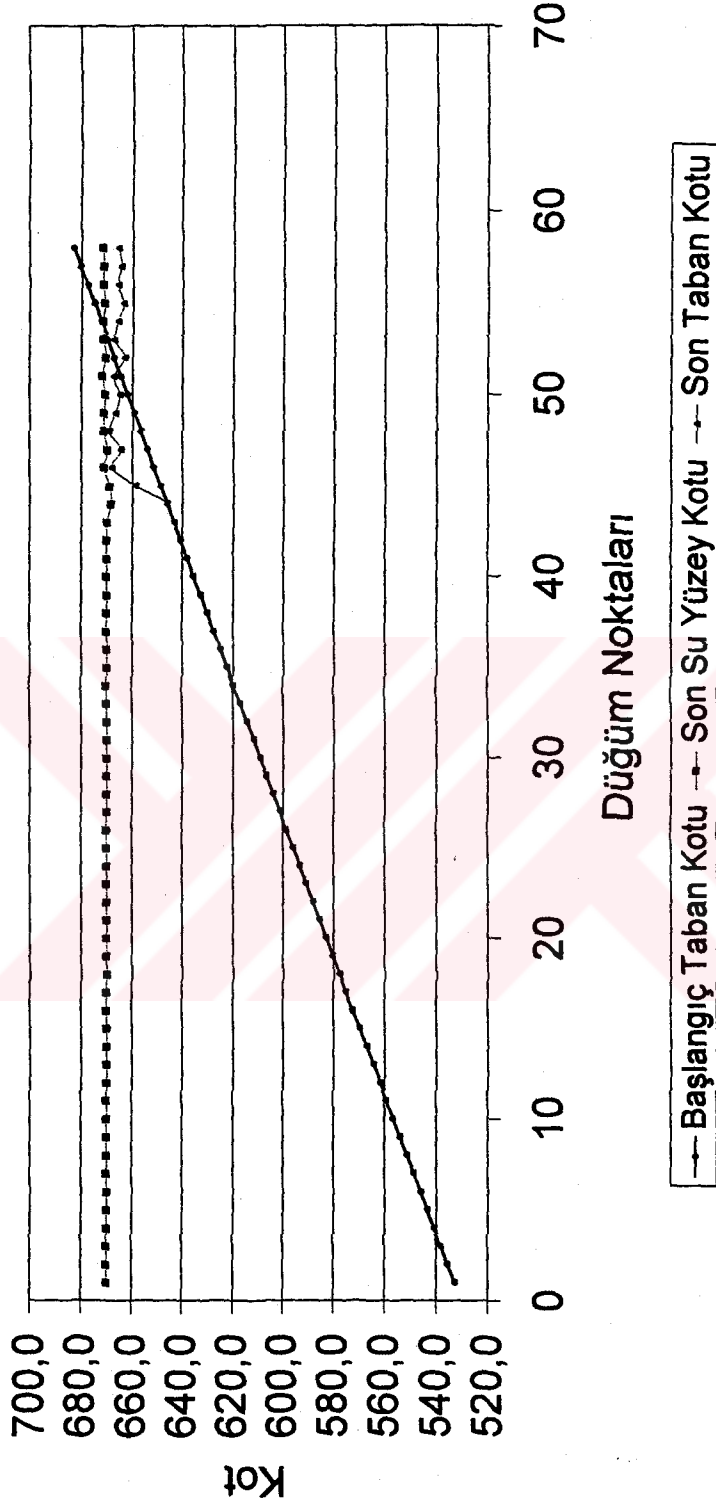


Şekil 4.8. Toplam yük için sediment dane dağılımı (EİE İd., 1995).



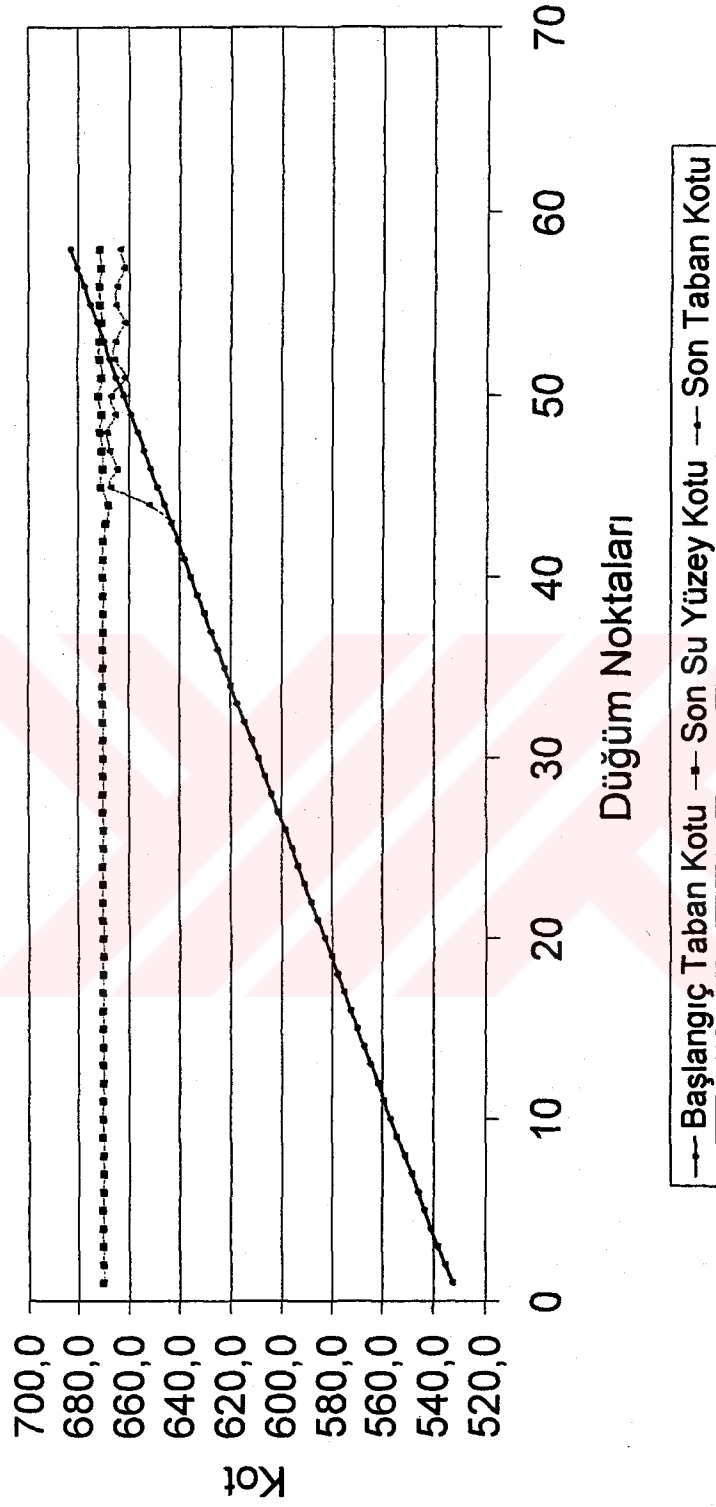
Şekil 4.9. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 5. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu.

Meyer Peter ve Müller Metodu' na Göre 10. Yıl Sonunda Rezervuarın Durumu

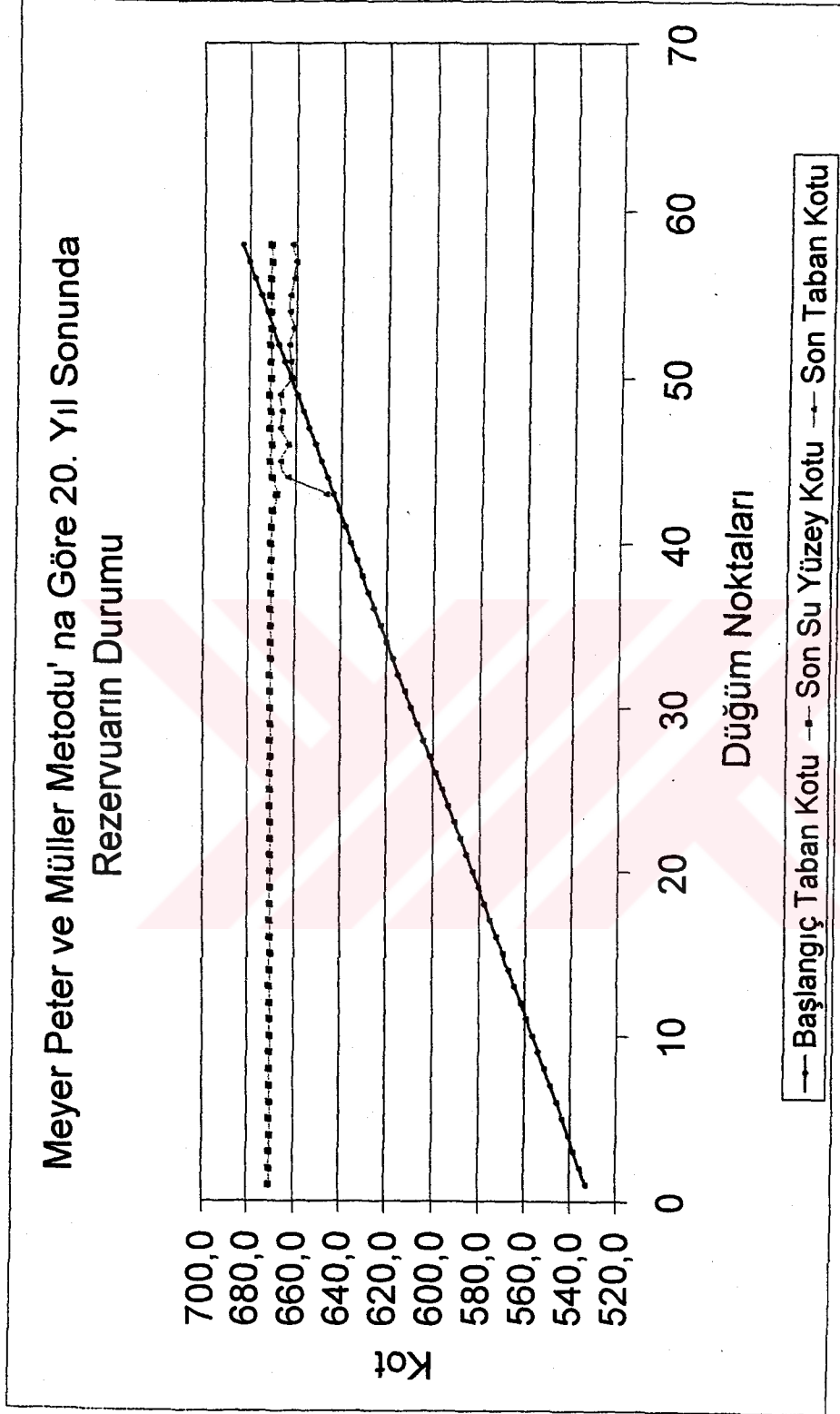


Şekil 4.10. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu' na göre 10. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı' nda yatak yükü depolanma durumu.

Meyer Peter ve Müller Metodu'na Göre 15. Yıl Sonunda Rezervuarın Durumu

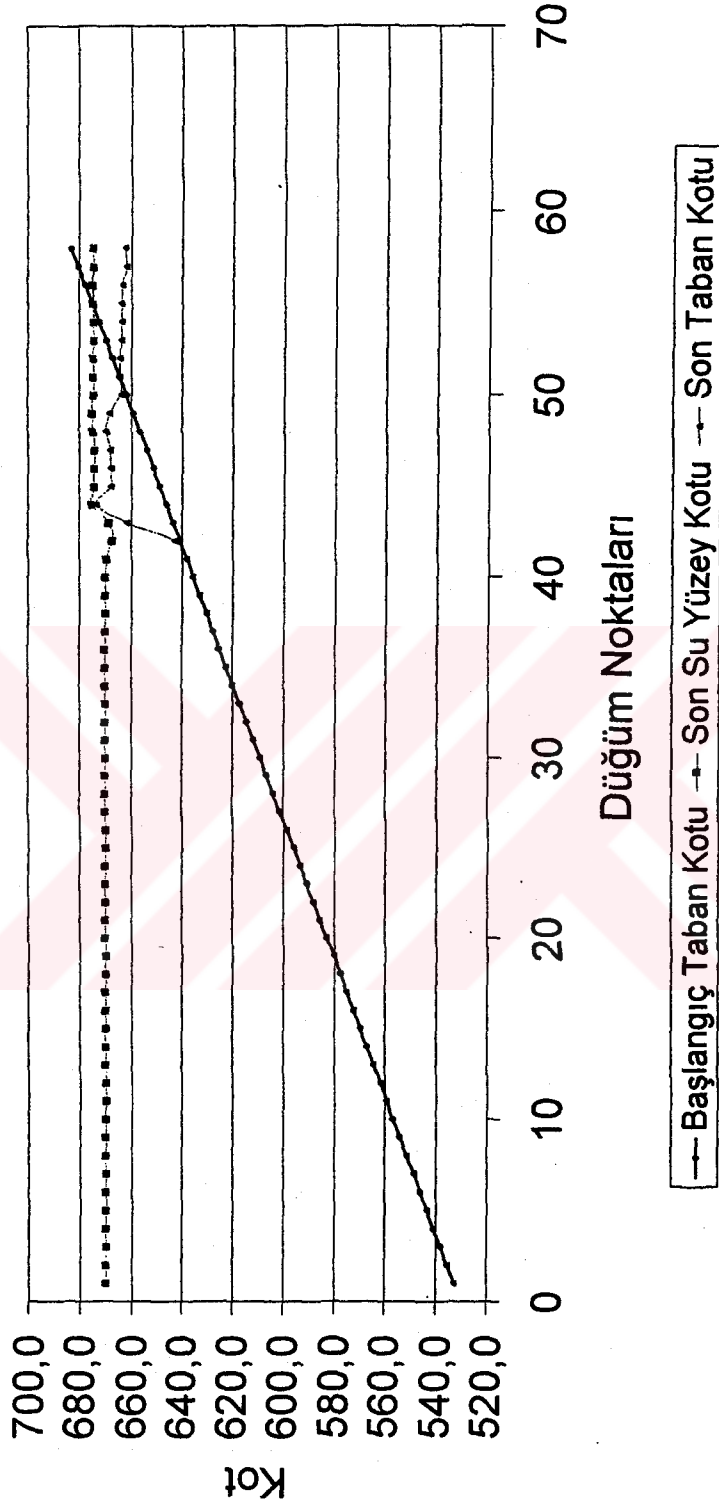


Şekil 4.11. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 15. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu.

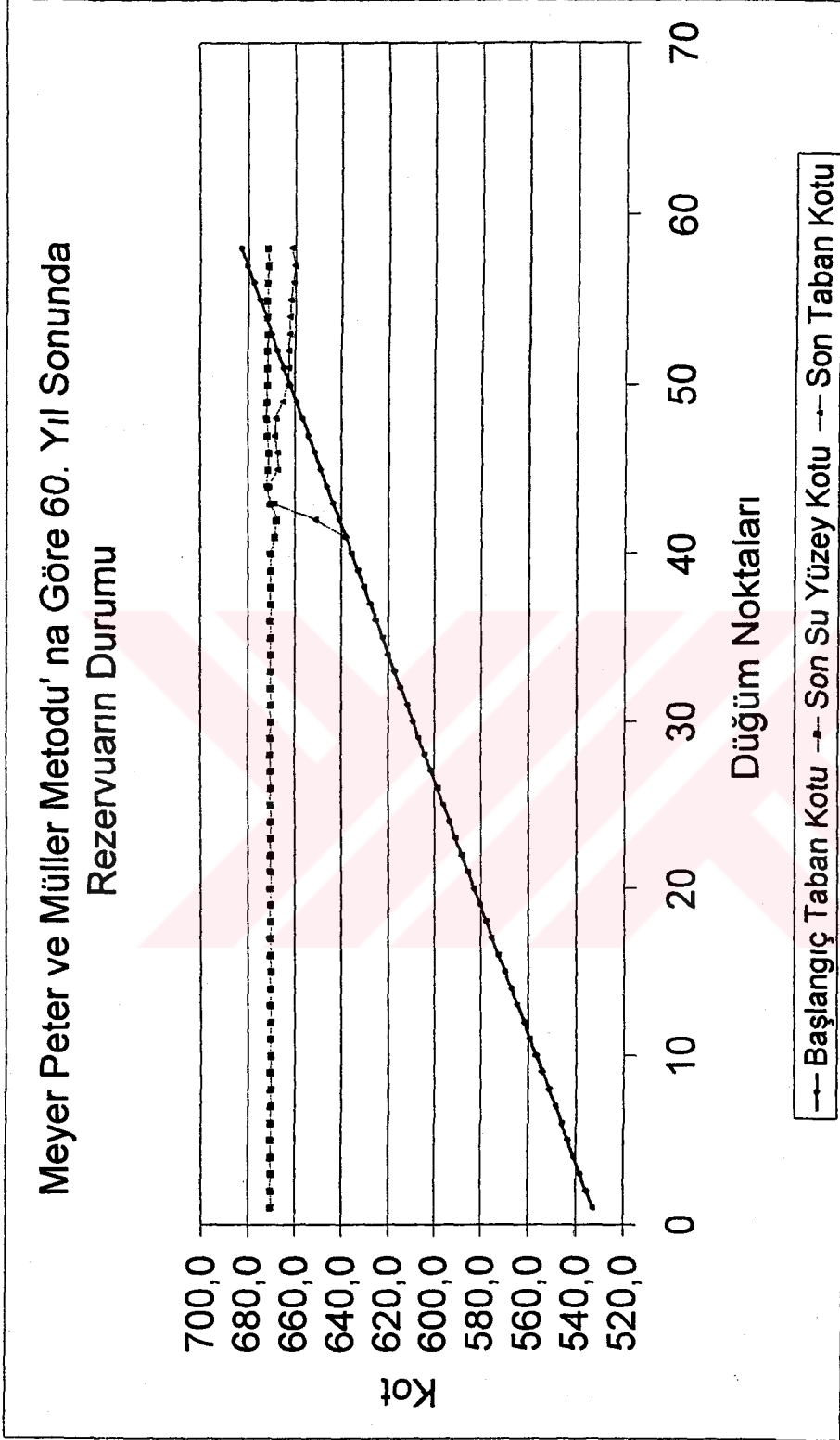


Şekil 4.12. Meyer – Peter ve Müller ile EIE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 20. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu.

Meyer Peter ve Müller Metodu' na Göre 40. Yıl Sonunda Rezervuarın Durumu

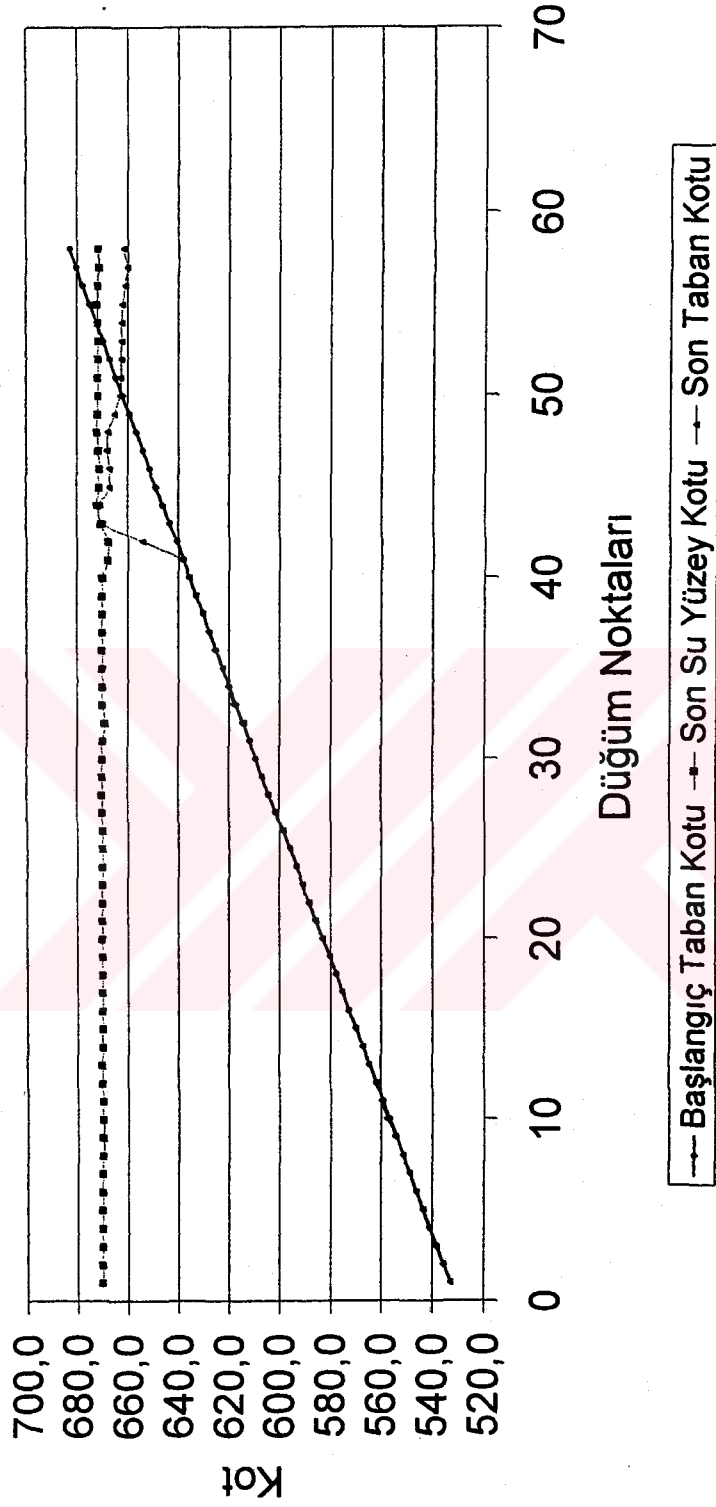


Şekil 4.13. Meyer - Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu' na göre 40. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yüklenme durumu.

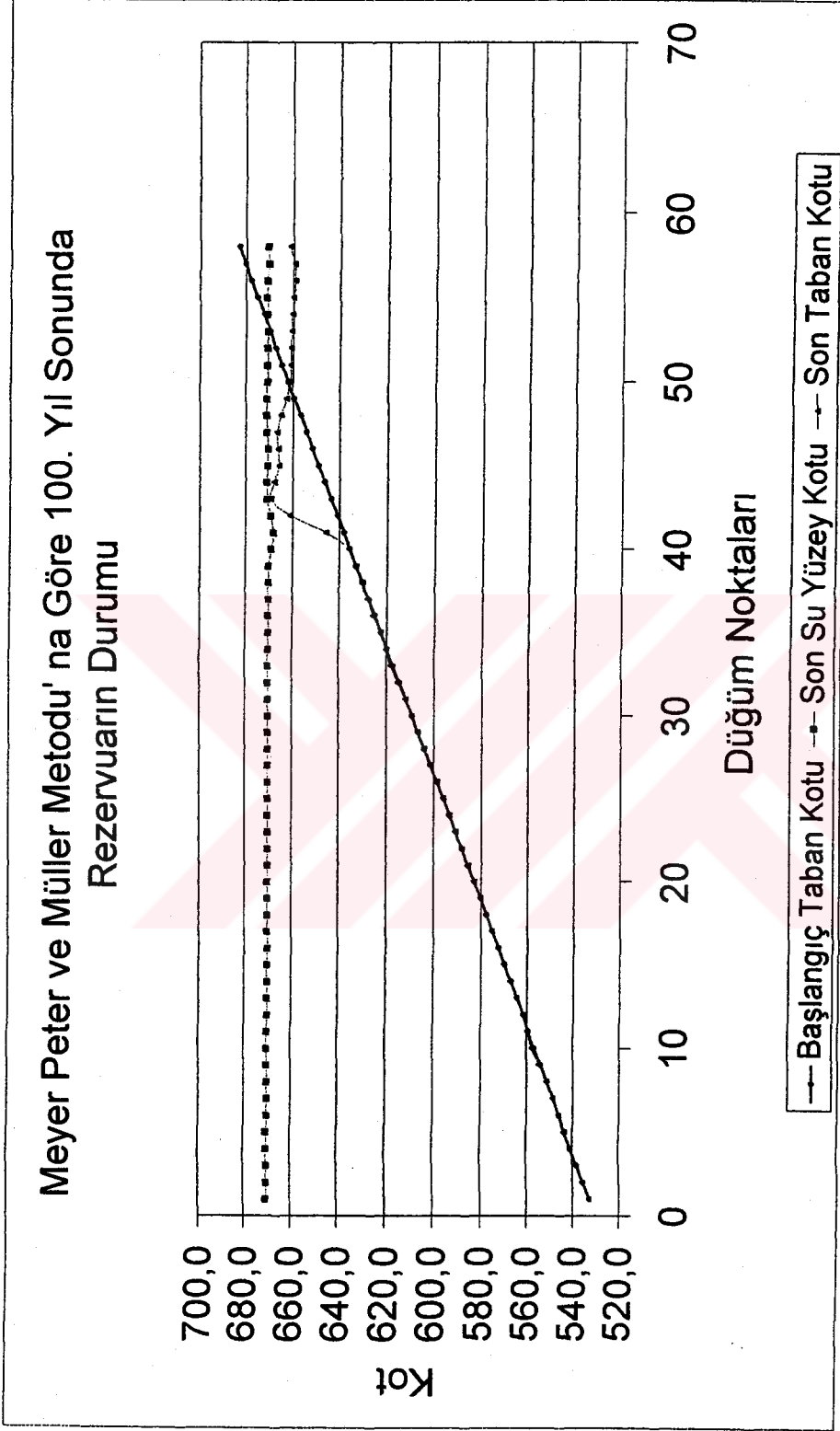


Şekil 4.14. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 60. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu.

Meyer Peter ve Müller Metodu' na Göre 80. Yıl Sonunda Rezervuarın Durumu

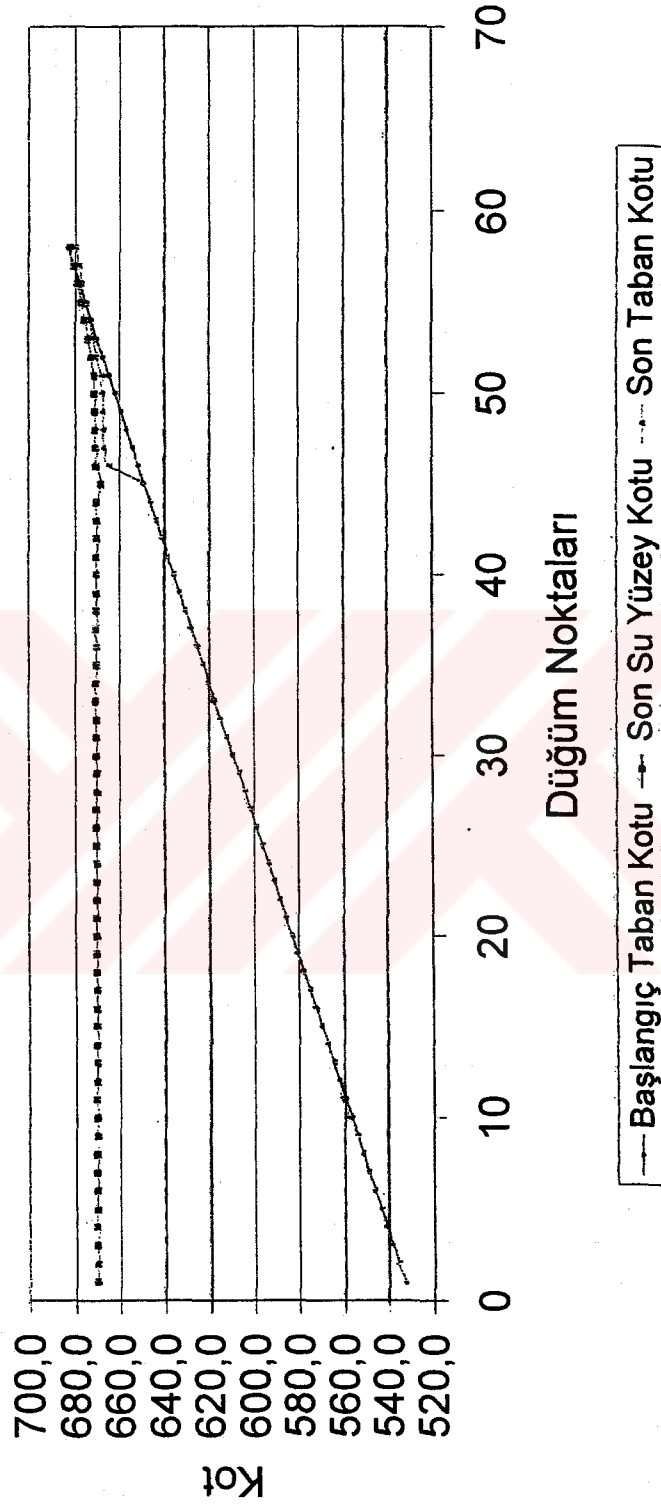


Şekil 4.15. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 80. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu.



Şekil 4.16. Meyer – Peter ve Müller ile EİE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu'na göre 100. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu.

Meyer Peter ve Müller Metodu' na Göre 100. Yıl Sonunda
Rezervuarın Durumu (mamba yönünde Keban Barajı' nın olmadığı
hal için)



Şekil 4.17. Mamba yönünde Keban Barajı'nın bulunmadığı hal için Meyer - Peter ve Müller ile EIE İdaresi Anahtar Eğrisi Metodu' na göre 100. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nda yatak yükü depolanma durumu.

Tablo 4.3. Karakaya Barajı Rezervuarı' nda Değiştirilmiş Einstein ve EİE İdaresi Metotları'na göre nehir yatağı ve araziden gelen toplam net sediment yükleri (aylık değerler).

Ay	Değiştirilmiş Einstein ve EİE İdaresi Metotları'na göre rezervuardaki toplam depolanma miktarı (yatak yükü + askı yükü) (m ³ / ay)
1	68609
2	43698
3	1141287
4	88023730
5	130438500
6	77242550
7	4514366
8	694186
9	441460
10	855951
11	726406
12	1163995
Toplam	
Depolanma(m³/yıl):	305354738
Konsolidasyon Etkisi:	305354738*1.140/1.223=
Son Hacim:	284631563
Rezervuar Ömrü (yıl):	4 * 10 ⁹ / 284631563 = 14.05

BÖLÜM 5

SONUÇ VE YORUMLAR

Sediment yükü hesabı için elde edilmiş formüller çıkarıldıkları bölgelerde iyi sonuçlar verip başka yerlerdeki uygulamalarda gerçek değerden çok uzakta değerler verebilmektedirler.

Meyer – Peter ve Müller Metodu ile yapılan hesaplama göre Karakaya Rezervuarı'nın girişinde delta şeklinde bir depolanma görülmektedir. Rezervuarın daha yukarı kesimlerinden aşınarak gelen sediment yaklaşık olarak 40. ve 50. düğüm noktaları arasında depolanmaya uğramaktadır. Meyer – Peter ve Müller Yöntemi yatak yükü hesabı için geliştirilmiş bir yöntem olduğundan oluşan deltanın yatak malzemesinden yani iri boyutlu taneciklerden meydana geldiği sonucuna varılabilir. Yapılan hesaba göre 100. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'nın ölü hacminin yaklaşık olarak %3'ü yatak yükü şeklinde gelen sediment ile dolmaktadır. Akışla rezervuarın daha ileri kısımlarına taşınmakta olan askı malzemesi ise Meyer – Peter ve Müller yönteminde gözönüne alınmamaktadır.

Meyer – Peter ve Müller Metodu'nun uygulanmasıyla Karakaya Rezervuarı'nın girişinde yaklaşık olarak 50. düğüm noktasından daha yukarı bölgelerde bir aşınma yine 50. düğüm noktasının daha aşağı kısımlarında ise bir depolanma gözlemlenmektedir. 20. yılın sonunda (Şekil 4.12.) aşınma ve depolanmaların gerçekleştiği bölgelerde küçük boyutlu bazı engebelerin dışında taban kotu yaklaşık olarak 660 m. ile 665 m. arasında değişen değerler almakta 44. düğüm noktasında ise maksimum seviyesi olan 665 m. ye ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra baraj gövdesine doğru taban kotunda çok hızlı bir düşüş görülmektedir ve yaklaşık olarak 43. düğüm noktasında taban seviyesi orijinal taban seviyesiyle aynı olmaktadır. 40. yılın sonunda (Şekil 4.13.) deltanın bir miktar ilerlemesiyle maksimum taban seviyesi 43. düğüm noktasında ve yaklaşık olarak 675 m. seviyesinde gerçekleşmektedir. 60., 80. ve 100. yılların sonunda (Şekil 4.14 – 4.16) deltanın maksimum seviyesinin gerçekleştiği düğüm noktası 42. noktada kalmakta ve bu yıllarda deltanın büyüme ve ilerleme hızında bir azalma görülmektedir.

Meyer – Peter ve Müller Metodu'nun 100 sene için verdiği depolanma değerini test etmek amacıyla bu metotla bir başka uygulama da yapılmıştır. Rezervuarın yukarı kesimlerindeki aşınmanın derinlik artışı sebebiyle giderek azalan bir oranda

gerçekleşmesinin oluşan deltanın büyüklüğünü ve ilerleme hızını büyük ölçüde etkileyebileceği düşünülebilir. Fakat gerçekte böyle bir durum olmadığı Meyer – Peter ve Müller Metodu için yazılan bilgisayar programının bir kez de memba yönünde Keban Barajı'nın olmadığı hal için uygulanmasıyla ortaya çıkmıştır (Şekil 4.17.). Bu durumda memba yönünden sediment bakımından doymuş halde su gelse bile 100. yılın sonunda Karakaya Rezervuarı'ndaki depolanma miktarı Şekil 4.16.'dakinden daha büyük olmamaktadır.

Meyer – Peter ve Müller Yöntemi'ne göre 100. yılın sonunda memba yönünde Keban Barajı'nın olmadığı hal için elde edilen ve Şekil 4.17.'de verilen sonuç ile, Keban Barajı'nın olduğu hal (Şekil 4.16.) karşılaştırıldığında, Keban Barajı'nın olmadığı durumda delta yüksekliğinin daha az olarak gerçekleştiği fakat deltanın daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Ayrıca Keban Barajı yokken depolanma rezervuarın daha yukarı kesimlerinden başlayarak gerçekleşmektedir. Keban Barajı'nın olduğu durumda deltanın memba yönündeki başlangıç noktası yaklaşık olarak 49. düğüm noktasında gerçekleşmekte ve delta 40. düğüm noktasında bitmekteyken, Keban Barajı'nın olmadığı durumda deltanın başlangıç noktası 56. düğüm noktası olup delta 45. düğüm noktasında bitmektedir. Keban Barajı'nın olmadığı durumda rezervuarın yukarı kesimlerinde belirgin bir aşınma ile karşılaşmamaktadır (Şekil 4.17.).

Değiştirilmiş Einstein Metodu'na göre rezervuar ölü hacminin 14 yıl gibi beklenenden çok daha kısa bir süre içinde dolacağı sonucuna varılmaktadır. Ülkemizde genel olarak rezervuar ömrünün 50 ile 100 sene arasında değiştiği gözönüne alınırsa elde edilen sonucun gerçek değeri yansıtmaktan uzak olduğu söylenebilir.

Meyer – Peter ve Müller Metodu'nun uygulanmasında Keban Barajına yakın sığ bölgelerdeki aşınmanın sebebi, burada derinliğin az dolayısı ile akış hızının yüksek olması ve aynı zamanda sediment tutma etkisi sebebi ile Keban'dan sedimentsiz su gelmesi sebebi ile açıklanabilir. Bu bölgeye giren akım bu kesimden çıkan akımdan daha az sediment ihtiva ettiği için akımın sediment konsantrasyonundaki artış nehir tabanında gerçekleşen aşınma ile karşılanmaktadır. Dolayısı ile bu bölgede Şekil 4.16'ya göre 58. Düğüm noktasında orijinal kanal tabanından 20 m. aşağıya kadar bir aşınma beklenmektedir.

Baraj Rezervuarındaki aşınma ve depolanmaların gerçekleşmesi kanal tabanında yeterli sediment bulunduğu kabulüne göre mümkün olmaktadır. Meyer – Peter ve Müller Metodu için kullanılan bilgisayar programlarının sonuçlarına göre 100. yılın sonunda Karakaya Rezervuarının 48. Düğüm noktasından daha yukarı kesimlerinde bir

aşınma gözlemlenmektedir (Şekil 4.16.). Bu kesimden aşınan sediment rezervuarın daha aşağı noktalarında depolanmaya uğramaktadır. Yine Değiştirilmiş Einstein Metodu'na göre depolanmanın büyük bölümü kanal erozyonu sonucu oluşan sediment ile gerçekleşmektedir. Karakaya Baraj Rezervuarı tabanında başlangıçta nekadar sediment bulunduğu hakkında elde yeterli veri olmadığından hesaplama yoluyla bulunan aşınma ve depolanma miktarları başlangıçta tabanda yeterli sediment bulunduğu kabulüne göre elde edilmiş sonuçlara dayanmaktadır.

Araziden gelen sediment miktarı bitki örtüsüne, topografiye, yağış ve toprak özellikleri ile havza yönetim şekline göre değişik değerler almaktadır. EİE İdaresi'nin elde ettiği arazinin bu özelliklerini yansıtan formüllere göre Karakaya Havzası'nda sediment verimi değeri 65 ton/yıl/km^2 gibi küçük bir sayıya eşit olmaktadır. Bu nedenle araziden gelen sedimentin kanal erozyonuna ek olarak rezervuar sedimantasyonuna fazla bir etkisi olmamaktadır.

Meyer – Peter ve Müller Yöntemi'ne göre yapılan hesaplama ile bulunan yaklaşık olarak 40. ve 50. düğüm noktaları arasındaki delta şeklindeki depolanmanın sebep olacağı çevresel bir etken olarak bu bölgelerde sel basması ile karşılaşılabılır. Rezervuarın yüksek kotlu bu bölgelerinde nehir yatağının sediment depolanması sonucu dolması ile özellikle taşkın zamanı bu bölgede nehrin yatağından çıkarak taşması beklenebilir.

BÖLÜM 6

TAVSİYELER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu tezin konusu ile ilgili gelecekte yapılması tavsiye edilen çalışmalar sediment hesabında kullanılan metotların daha etkin bir şekilde uygulanabilmesi ve baraj rezervuarlarının sedimantasyona karşı korunması olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir.

Sediment yükü hesabında kullanılan denklemlerden daha iyi sonuçlar alınabilmesi için ayrıca baraj rezervuarına gelen sediment miktarını azaltmak için gelecekte aşağıdaki çalışmaların yapılması tavsiye edilebilir:

a) *Sedimantasyon Tahmini İçin:* Rezervuara gelen sediment miktarını daha iyi tahmin edebilmek için aşağıdaki konularda çalışmalar yapılabilir;

- i. Sediment yükü hesap denklemlerini kullanan bilgisayar programlarında Denklem (4.1)'deki zaman aralığının mümkün olduğunca kısa tutulması ve yüksek hızlı bilgisayarların kullanılması.
- ii. Sediment yükü hesabı denklem ve metotlarının üzerinde deneyler ve eldeki veriler yardımı ile bazı değişiklikler yapılarak bu denklem ve metotların kullanıldığı bölgeye uygun hale getirilmesi.
- iii. Her sediment yükü denklem ve metodunun kendi hidrolik, malzeme ve kanal şartlarında kullanılması.
- iv. Daha fazla sayıda akım gözlem istasyonu (AGİ) kurarak havza özelliklerini daha iyi temsil eden denklemler elde edilmesi.
- v. Sediment yükü hesabında Van Rijn (1984), Nagakawa ve Tsujimoto (1980), Fernandez ve Beek (1974) ve Le Feuvre, Altınbilek ve Carstens (1970) Yöntemleri gibi daha yeni metotların kullanılması.

b) *Sediment Yükünün Azaltılması İçin:* Rezervuara gelen sediment veriminin azaltılması için aşağıdaki bitkisel, idari ve teknik tedbirler alınabilir:

- i. Bitkisel tedbirler olarak havzanın ağaçlandırılması ve uygun bitkilerin uygun şekilde ekimi ve dikimi.
- ii. Toprağı kullanan kimselerin eğitilmesi ve belli konularda gerekli cezaların getirilmesinden oluşan idari tedbirler.

- iii. Teknik tedbirler olarak arazide teraslama, eşik ve sekilerden oluşan kontrol yapılarının inşası.

Yukarıdaki çalışmaların yapılmasıyla baraj rezervuarına gelen sediment miktarının daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve barajların tasarımı aşamasında daha doğru bir ölü hacim boyutlandırılması yapılması mümkün olacaktır. Ayrıca barajın işletilmesi aşamasında alınacak yukarıda sözü edilen bir takım tedbirler ise rezervuara gelen sediment miktarının azaltılmasında ve böylelikle ölü hacmin dolma süresinin ve dolayısıyla baraj ömrünün önemli ölçüde uzatılmasında faydalı olacaktır.



KAYNAKLAR

1. Akbari, Ghulam Hussein. A Study of Reservoir Sedimentation. M. Sc. Thesis, Dept. of Civ. Eng. , Middle East Technical University. Ankara. July, 1987.
2. Alışık, Adil. Sediment Taşınımı ve Ölçüm Metotları. 1995. Sediment Etütleri Şubesi Müdürlüğü, EİE İdaresi. Ankara.
3. Annandale, G. W. Reservoir Sedimentation. 1987. Elsevier, Amsterdam.
4. Bagnold, R. A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. 1941. W. Morrow. New york.
5. Bagnold, R. A. Flow of Cohesionless Grains in Fluids. Philosophical Trans. ASL, No. 964, Vol. 249, 1956.
6. Bayazıt, Mehmetçik. Mechanism of Sediment Transport. DSI. Sediment Transport Technology, Proceedings, Vol. 1. June 3 – 28, 1996. Ankara.
7. Borland, W. M. ve Miller C., R. Distribution of Sediment in Large Reservoirs. Transactions of ASCE. Vol. 125, 1960.
8. Borland, M. River Mechanics. 1971. H. W. Shen (ed.). Water Resources Publications. Littleton, Colorado.
9. Chow, V. T. Open Channel Hydraulics. 1959. Mc Graw Hill. New York.
10. Colby, B. R. ve Hembree, C. H. Computations of Total Sediment Discharge, Niobrara River Near Cordy, Nebraska. USGS, Water Supply Paper, 1357. 1955.
11. Değirmenci, İ. Örneklerle Su ve Toprak Kaynaklarının Planlanması. Yeni Çağ Basım Yayın Ltd. 1990. Ankara.
12. Doğan, Kasım ve Akyürek, İbrahim. Türkiye Eğim Haritası. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Havza Islahı ve Göletler Dairesi Başkanlığı. 1987. Baskı İşleri Şubesi Müdürlüğü. Ankara.
13. Dokuz Eylül Üniversitesi. Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları. 3. Ulusal Hidroloji Kongresi. 27 - 29 Haziran 2001. s. 217 – 224.
14. DSI. ,Ministry of Energy and Natural Resources, Doluca Engineers Consultants. Karakaya Dam and Hydroelectric Project / Feasibility Report, and Appendix. June, 1970. Diyarbakır.
15. DSI. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, XXIV. Bölge Müdürlüğü. Karakaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali. 1985. DSI Basım ve Foto – Film İşletme Müdürlüğü Matbaası. Ankara.

16. EİE İdaresi Genel Müdürlüğü. 1991 Su Yılı Akım Değerleri. 1995. Yayın 95 – 5. Ankara.
17. Einstein, H. A. The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows. USDA. Tech. Bull. No. 1926, Sept. 1950.
18. Einstein, H. A. The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows. Technical Bulletin 1026, U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Serv., Washington, D.C., 1950.
19. Einstein, H. A. ve Barborassa, N. L. River Channel Roughness. Trans. ASCE, Vol. 117, 1952.
20. Engelund, F. ve Hansen E. A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. 1967. Tecnick Forlag. Denmark.
21. Fernandez, L. R. ve Van Beek, R. Erosion and Transport of Bed Load Sediment. Journal of Hydraulic Research. Vol 14, No. 2, pp. 127 – 144. 1974.
22. Garde, R. J. ve Raju, Ranga. K. G. Mechanics of Sediment Transport and Alluvial Stream Problems. 1978. Wiley Eastern, Limited. New Delhi.
23. Gibson, J. Scale Models in Hydraulic Engineering. Longmans Green and Co., pp. 212. 1946.
24. Gilbert, K. G. The Transportation of Debris by Running Water. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 86. 1914.
25. Graf, W. Hans. Hydraulics of Sediment Transport. 1971. Mc Graw Hill Book Company. New York.
26. Gürer, İbrahim. Sediment Yield of a Watershed. Sed. Tr. Tech. Proceedings; Vol,1; June 3- 28, 1996. Ankara.
27. Gürkan, Nur. General Review of Sedimentation in Reservoirs and Results of Experimental Investigation. M . Sc. Thesis, Dept. of Civ. Eng. Middle East Technical University. Ankara. March,1976.
28. Julien, Pierre Y. Erosion and Sedimentation. 1995. Cambridge University Press. Melbourne.
29. Kalinske, A. A. Movement of Sediment as Bed Load in Rivers. Trans. AGU, Vol. 28, No. 4, Aug. 1947.
30. Karahan, Emin. Mechanism of Sediment Transport. DSI. Sediment Transport Technology, Proceedings, Vol. 1. June 3 - 28, 1996. Ankara.

31. Kramer, H. Sand Mixture and Sand Movement in Fluvial Models. Trans. ASCE, Vol. 100, 1935, pp.798-878.
32. Lane, E. W. ; Koelzer V. A. Density of Sediment Deposits in Rezervoirs. Report No.5 of a Study of Metods used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams, St. Paul, U.S. Engr. Dist. Sub-Office Hydr. Lab., Univ. of Iova. Iova City. 1953.
33. Lara, J. M. Revision of the Procedure to Compute Sediment Distribution in Large Reservoirs. 1962. U. S. Bureau of Reclamation, Denver, Colarado.
34. Laursen, E. M. Total Sediment Load of Streams. JHD, Proc. ASCE, Vol. 95, No. HY-1, Feb. 1958.
35. Le Feuvre, A. R. , Altınbilek H. D. ve Carstens M. R. Sediment Pickup Function. Journal of Hydraulics Division. ASCE. Vol. 96, No. HY10, pp. 2051 – 2063. 1970.
36. Linsley, Ray K. ve diğerleri. Water Resources Engineering. 1992. Mc Graw Hill, Inc. Singapore.
37. Meyer – Peter, E.; Muller, R. Formulas of Bed Load Transport. 1948. Proc. IAHR, 2nd Congress. Stocholm.
38. Meyer –Peter E.; Muller R. Formulas for Bed Load Transport. 1948. Proc. 3rd Meeting IAHR. Stockholm., pp. 39 – 64.
39. Munson, B. R.; Young, D.F.; Okiishi, T. H. Fundamentals of Fluid Mechanics. 1990. Arico Printers Pte. Ltd. Singapore.
40. Nagakawa, H. and Tsujimoto, T. Sand Bed Instability Due to Bed Load Motion. Journal of Hydraulics Division. ASCE. Vol. 106, No. HY 12, pp. 2029-2049. 1980.
41. Nikuradse, J. Stromungsgesetzein rauhen Rohren. Forschg. Geb. d. Ing.- Wesens, Heft 361, 1933
42. Sato, S. ; Kikkava, H. ; ve Ashida, K. Research on the Bed Load Transportation. Journal of Research, Public Works Research Institute (Japan). Vol. 28, 1958.
43. Shields, I. A. Aplication of Similarity Principles and Turbulance Research to Bed Load Movement. 1936. A translation from the German by W. P. Ott and J. C. Van Vchelin, U.S. Soil Conserv. Service Coop. Lab., California Inst. of Tech., Pasedana.

44. Shields, A. Anwendung der Aehnlichkeitsmechanic und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebebewegung. 1936. Berlin. Mitteilungen der Preussische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau.
45. Schroeder, K. B. ve Hembree, C. H. Application of Modified Einstein Procedure for Computation of Total Sediment Load. Trans. AGU, Vol. 37, 1956 (bkz. Trans AGU, Vol. 38, No. 5, Oct. 1957)
46. Simons Darly B. ; Şentürk, Fuat. Sediment Transport Technology.; Water and Sediment Dynamics. 1992. Book Crafters, Inc. Michigan.
47. UNESCO. Method of Computing in Lakes and Reservoirs. A Contribution to the International Hydrological Program. Paris, France, pp. 65 - 164. 1985.
48. U. S. Bureau of Reclamation. Stable Channel Profiles. Lab. Report No. Hydraulics. 325, September 27, 1951.
49. Van Rijn, L. C. Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 110, No. 10, pp. 1494 – 1502. 1984.
50. Wadell, H. Volume, Shape and Roundness of Rock Particles. Jour. Of Geo., Vol. 40. 1932.
51. Wadell, H. Spherecity and Roundness of Rock Particles. Jour. of Geo., Vol. 41. 1933.
52. White, C. H. The Equilibrium of Grains on the Bed of a Stream. Proc. Roy. Soc. London, Series A, Vol. 174. 1940.
53. Wischmeier, W. H. ve Smith D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. 1965. Agriculture Handbook No. 282. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
54. Wischmeier, W. H.; Jonhson, C. B.; Cross, B. V. A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites. J. of Soil and Water Conservation, Vol 26, No. 5. 1971. pp. 189-193.
55. Wischmeier, W. H. Estimating the Cover and Management Factor for Undisturbed Areas. 1972. Presented at Sediment Yield Workshop, USDA Sed. Lab., Oxford, Mississippi.
56. Williams, J. R.; Berndt, H. D., Sediment Yield Computed with Universal Equation. J. of the Hydraulics Div., ASCE, Vol. 98, No. HY6, June 1972, pp. 1057-1070.
57. www.iwr.msui.edu/~ouyangda/rusle/
58. Yalın, M. S. Mechanics of Sediment Transport. 1977. Biddles Ltd. Oxford.

59. Yang, Chih Ted. Sediment Transport Theory and Practice. 1996. Mc Graw Hill, Inc. Singapore.
60. Yanmaz, Melih A. ve İhtiyaroğlu, Göl. Reanalysis of the Flume Bed Load Data. Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences. TÜBİTAK. pp. 53-58. 1995.
61. Yanmaz, Melih. Applied Water Resources Engineering. 2001. METU Press, İkinci Baskı. Ankara.
62. Yener (Kutoğlu), Audrey Göluy. Estimation of Sediment Yield Rates of Reservoirs in Turkey. M. Sc. Thesis, Dept. of Civ. Eng., Middle East Technical University. Ankara. Sept., 1994.
63. Yücel, Ö. ve Graf, W. H. Bed Load Deposition and Delta Formation – A Mathematical Model. 1973. Fritz Lab. Rep., Leigh Üniv. PA.



EKLER



EK 1
MEYER – PETER VE MÜLLER
VE
DEĞİŞTİRİLMİŞ EİNSTEİN METOTLARI



Meyer – Peter ve Müller Denklemi

Meyer - Peter ve Müller Denklemi çok sık olarak kullanılmakta olan ampirik bir yatak yükü denklemdir. Bu denklemin çıkarılışında akışın sürüklemeye karşı kullanılan enerjisinin bir kısmının nehir yatağındaki düzensizliklere karşı (S'') geri kalan diğer kısmının ise tanecik pürüzlülüğüne karşı (S') harcandığı kabul edilmektedir (Meyer – Peter ve Müller, 1948).

Meyer Peter ve Müller aşağıdaki (E1.1) ; (E1.2) ve (E1.3) formüllerinden yola çıkarak (kritik hal için) ve (E1.4) ile (E1.5) formüllerini kullanarak (E1.6) ve (E1.7) denklemlerini elde etmiştir:

$$f = (q_{bw}^{2/3} * S^{2/3} / D_{50})^c \dots\dots\dots (E1.1)$$

$$(\gamma_s * R_s * S / D_m)^c = k * (D_m / R_s)^{1/9} \dots\dots\dots (E1.2)$$

$$q_{bw}^{2/3} * S^{2/3} / D_m = c_1 + c_2 * q_{bw}^{1/2/3} / D_m \dots\dots\dots (E1.3)$$

$$S_k = U^2 / k_s^2 / R_s^{4/3} \dots\dots\dots (E1.4)$$

$$S_r = U^2 / k_r^2 / R_s^{4/3} \dots\dots\dots (E1.5)$$

$$S_r / S_k = (k_s / k_r)^2 \dots\dots\dots (E1.6)$$

$$\gamma * R_s * S / D_m = c_3 + c_4 * q_{bw}^{1/2/3} / D_m \dots\dots\dots (E1.7)$$

Yukarıdaki eşitliklerden (E1.4) ile (E1.5) Manning Denklemi'nden elde edilmiştir.

Akış yoluyla harcanan enerjinin bir kısmının yataktaki düzensizliklere karşı kalanının ise tanecik pürüzlülüğüne karşı kullanıldığı kabul edilerek

$$S = S_k^{1/3} * S_r^{2/3} \dots\dots\dots (E1.8)$$

şeklinde bir bağıntının varlığı kabul edilmiştir. Bu eşitlikte S toplam enerjiyi, S_k yataktaki düzensizliklere karşı ve S_r ise tanecik pürüzlülüğüne karşı kullanılan enerjiyi göstermektedir. Denklemdaki üssel değerlerden tanecik pürüzlülüğünün daha büyük bir enerji kaybına sebep olacağına dair bir kabul yapıldığı anlaşılmaktadır.

Elde edilen denklemlerin tek bir denklem halinde birleştirilmesinden ve (k_s / k_r) ifadesinin üssünün ortalama bir değer olarak $(4 / 3$ ve 2 'nin ortalaması) $3 / 2$ alınmasından sonra

$$\Upsilon * (k_s / k_r)^{3/2} * R_s * S_k / D_m = A + B * q_{bw}'^{2/3} / D_m \dots\dots\dots (E1.9)$$

ifadesi elde edilmiştir.

Yapılan deneyler ile

$$A = 0.047$$

$B = 0.25$ olarak bulunmuştur. Buna göre Meyer-Peter ve Müller Denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\Upsilon * (k_s / k_r)^{3/2} * R_s * S_k = 0.047 * \Upsilon_s' * D_m + 0.25 * \rho^{1/3} * q_{bw}'^{2/3} \dots\dots\dots (E1.10)$$

$$k_r = 26.0 / D_{90}^{1/6} \dots\dots\dots (E1.11)$$

Meyer – Peter ve Müller Denklemi'nde;

q_{bw}' : su altındaki ağırlık cinsinden sediment debisini;

D_{50} : Sedimentin %50'sinin küçük olduğu çapı;

Υ_s : kuru haldeki sedimentin özgül ağırlığını;

R_s : sediment taşınımının gerçekleştiği hidrolik yarıçapı;

D_m : karakteristik yatak malzemesi yarıçapını (D_{50});

S_k : toplam enerji gradyanını;

U : akış hızını;

k_s : toplam yatak direnç katsayısını;

S_r : tanecik pürüzlülüğüne ait enerji gradyanını;

k_r : tanecik pürüzlülüğüne ait pürüzlülük katsayısını,

Y: suyun özgül ağırlığını göstermektedir (Simons ve Şentürk, 1992).

Meyer – Peter ve Müller Denklemi'nin geçerli olduğu şartlar:

Eğim: $4 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-2}$

Sediment boyutu: 0.4 mm. – 30 mm.

Derinlik : 1 cm – 120 cm.

Tanecik özgül ağırlığı: 1.25 – 4.22 (Garde, 1978).

(E1.10) ve (E1.11) denklemlerinin başka bir notasyon ile ifade edilmiş şekli de

$$\left(\frac{n_s}{n_T} \right)^{3/2} * (\gamma_f * R_b * S) / (\gamma_s - \gamma_f) / d_a = 0.047 + 0.25 * (\gamma_f / g)^{1/3} * (q_b / \gamma_s)^{2/3} / (\gamma_s - \gamma_f)^{1/3} / d_a \dots\dots\dots (E1.12)$$

$$n_s = d_{90}^{1/6} / 26.0 \dots\dots\dots (E1.13)$$

şeklindedir.

(E1.12) ve (E1.13) denklemlerinde

n_s : tanecik pürüzlülüğüne ait Manning Katsayısını;

n_T : toplam pürüzlülüğe ait Manning Katsayısını;

d_a : d_{50} gibi karakteristik bir yatak malzemesi çapını ifade etmektedir.

Değiştirilmiş Einstein Metodu

Değiştirilmiş Einstein Metodu başlangıçta yatak yükü hesabı için geliştirilmiş orijinal Einstein Metodu'nun değiştirilmesiyle elde edilmiş bir toplam yük hesaplama metodudur (Colby ve Hembree, 1955).

Değiştirilmiş Einstein Metodu'nun uygulanabilmesi için gerekli veriler; Q , U , A_C , B_F , d_v , C_s' , i_s , i_b , ve T' den oluşmaktadır. Burada;

Q : akış debisini;

U : ortalama hızı;

A_C : akışın kesit alanını;

B_F : akışın genişliğini;

d_v : asılı sediment örneklerinin alındığı derinlikleri;

C' : akışın sediment konsantrasyonunu;

i_s : askı yükünün boyut dağılımını;

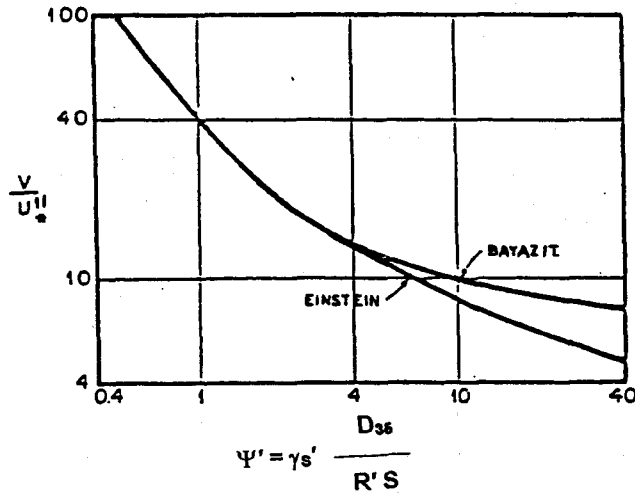
i_b : yatak yükünün boyut dağılımını,

T : suyun sıcaklığını göstermektedir. Bu değişkenlerden U ve C_s' değerleri, Einstein'ın yatak yükü hesaplama metodundan farklı olarak, ölçüm yoluyla elde edilmektedir.

Değiştirilmiş Einstein Metodu'nda takip edilecek adımlar aşağıda verilmektedir:

Hidrolik Hesaplamalar:

1. Feet cinsinden tahmini R_b' değerleri verilmesi; yatak pürüzlülüğüne ait hidrolik yarıçap.
2. $U_{*b}' = (g * R_b' * S)^{** 0.5}$; yatak pürüzlülüğüne ait sürüklenme hızı.
3. $\delta = 11.6 * \nu / U_*'$, (ft.); laminar alt tabaka kalınlığı.
4. $k_s = D_{65}$, (ft.); pürüzlülük çapı.
5. $x = f(k_s / \delta)$; logaritmik hız dağılımı için düzeltme katsayısı; (Şekil E1.1'den).
6. $\Delta = k_s / x$, (ft.); görünen pürüzlülük çapı.
7. $U = U_{*b}' * 5.75 * \log(12.27 * R_b' / \Delta)$, (ft/s); ortalama akış hızı.
8. $\Psi' = (\rho_s - \rho) / \rho * (D_{35} / R_b' / S)$; temsil edici tanecikler üzerindeki sürüklenme hızı şiddeti.
9. $U / U_{*b}'' = f(\Psi')$
10. U_{*b}'' , (ft/s); şekil pürüzlülüğüne karşı etkiyen sürüklenme hızı.
11. R_b'' , (ft.); yatak pürüzlülüğüne karşı etkiyen hidrolik yarıçap. ($U_{*b}'' = (g * R_b'' * S)^{** 0.5}$ 'ten.)

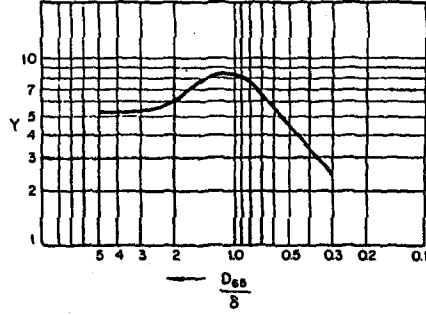


Şekil E1.1. Sediment taşımının bir fonksiyonu olarak kanaldaki düzensizliklerden dolayı enerji kaybı (Karahan, 1996).

12. $R_b = R_b' + R_b''$, (ft.); toplam hidrolik yarıçap.
13. $d_h \approx R_b$; geniş ve sığ akışlar için ortalama akış derinliği.
14. $R = R_b$
15. A_c , (ft²); kesit alanı.
16. P_b , (ft); nehir yatağı ıslak çevresi.
17. $Q = A_c * U$, (ft³/s); akış debisi.
18. X , (ft.); karışımın karakteristik tanecik büyüklüğü.
 - $X = 0.77 * \Delta$, $\Delta / \delta > 1.80$ için,
 - $X = 1.39 * \delta$, $\Delta / \delta < 1.80$ için.
19. $Y = f(k_s / \delta)$; basınç düzeltme terimi (Şekil E1.2.'den).
20. $\beta_x = \log(10.6 * X / \Delta)$
21. $\beta = 10.6$
22. $P_E = 2.303 * \log(30.2 * d_h / \Delta)$; Einstein taşıma parametresi.

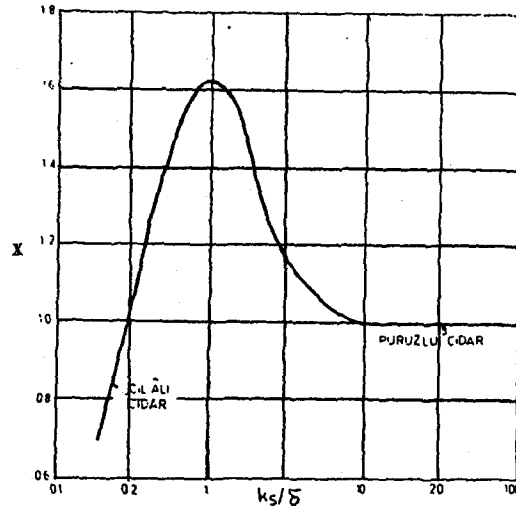
Sediment Yüğü Hesapları:

1. D , mm; tanecik boyutu.
2. i_b ; yatak malzemesi oranı



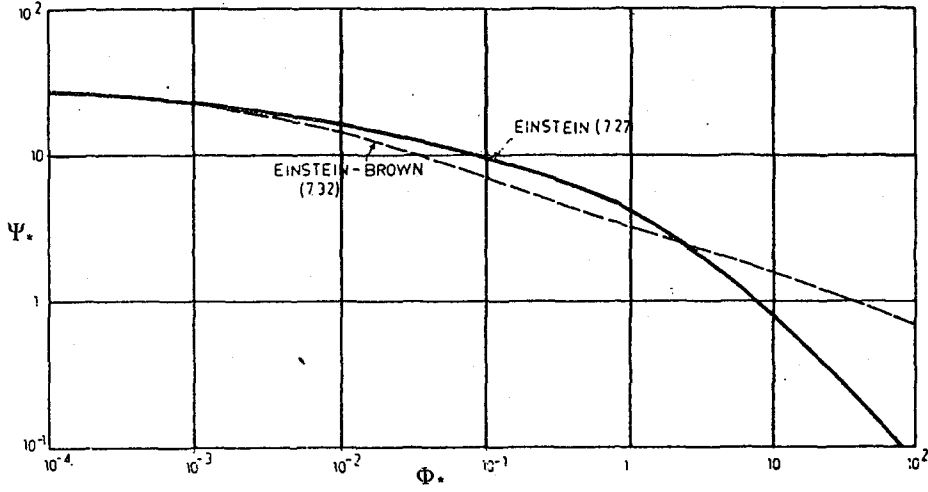
Şekil E1.2. Basınç düzeltme terimi Y nin D_{65}/δ ya göre değişimi (Einstein,1950).

3. $\Psi = (\rho_s - \rho)/\rho * D_{35} / (R' * S)$; tanecik üzerindeki sürüklenme gerilmesi, yoğunluğu
- $(S*R')^{**0.5} = U / (5.75 * g^{**0.5} * \log(12.27 * x * d_h / D_{65}))$
 - $x = f(k_s/\delta)$ (Şekil E1.3.'ten).
 - deneme yanılma yöntemi ile $(S*R')$ 'nün çözümü.



Şekil E1.3. Logaritmik hız dağılımı için düzeltme katsayısının k_s / δ ya göre değişimi (Bayazit, 1971).

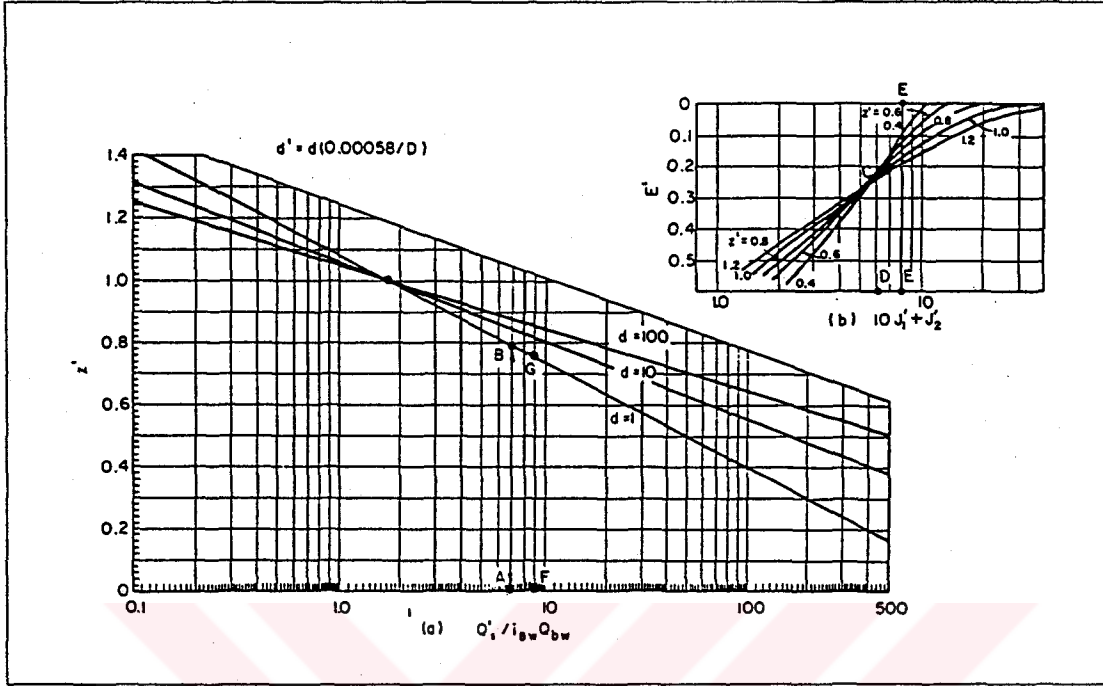
4. $\Phi_* = f(\Psi_*)$; sediment taşınımının şiddeti (Şekil E1.4.'ten).



Şekil E1.4. Einstein'ın $\Phi_* = f(\Psi_*)$ şeklindeki yatak yükü fonksiyonu (Einstein, 1950).

5. $i_{Bw} * q_{bw} = (1/2) * \Phi_* * i_b * \gamma_s (\gamma_s / \gamma - 1)^{0.5} * (g * D_i)^{3/2}$,lb/s.ft. ;birim kanal genişliği, ve tanecik boyut oranı için yatak yükü.
6. $i_{Bw} * q_{bw} = 43.2 * B_F * i_{Bw} * q_{bw}$; ton/gün.; belli bir tanecik boyut oranı için bütün kesitten geçen yatak yükü.
7. i_s ; askı malzemesi oranı.
8. $Q_{si}' = 43.2 * B_F * q_{si}' = 43.2 * i_s * \gamma * C_s' * q * ((1 - E') - 2.3 * (E' \log E') / (P_m - 1))$
 - i. $E' = a' / d_v$
 - ii. a' ; numune alma aracına ait bir değişken
 - iii. d_v ; numune alma derinliği
 - iv. $P_m = 2.3 * \log(30.2 * x * d / D_{65})$
9. z' ; konsantrasyon değeri için kullanılan bir üs değişkeni.
 - i. $d' = d_h$
 - ii. $z' = f(d', Q_s' / i_{Bw} Q_{bw})$;(Şekil E1.5a.)
 - iii. $10 * J_1' * J_2' = f(z')$;(Şekil E1.5b.)
 - iv. $z' = f(\log 8.0 - \log(10 * J_1' * J_2') + \log(Q_s' / i_{Bw} Q_{bw}))$; (Şekil E1.5a.)

- v. (ii) ve (vi) arasındaki fark yeterince küçülünceye kadar iterasyona devam et.



Şekil E1.5. z' nün hesabında kullanılan nomograf (Colby, 1964).

vi. $z_1 = z'$

vii. $z_1' = z_1 * (w_1/w_1)**0.7$;diğer boyut sınıfları için z_1' değerleri.

10. $E=2 * (D/d')$; yatak kalınlığının ortalama derinliğe oranı.

11. $J_1 = f(E, z')$; (Şekil E1.6.)

12. $J_2 = f(E, z')$; (Şekil E1.7.)

13. $J_1' = f(E', z')$; (Şekil E1.6.)

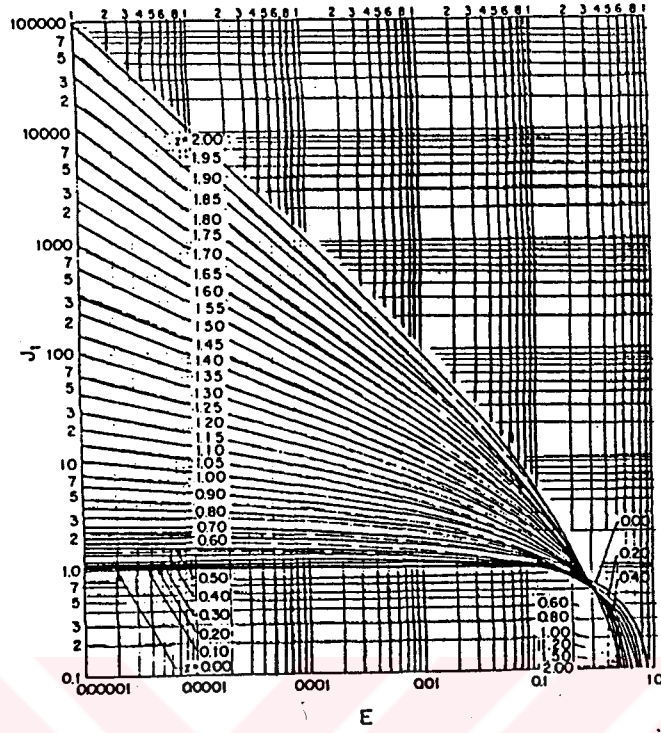
14. $J_2' = f(E', z')$; (Şekil E1.7.)

15. $(P_m * J_1 + J_2) / (P_m * J_1' + J_2')$ değerinin hesaplanması

16. $I_1 = f(E, z')$; (Şekil E1.8.)

17. $I_2 = f(E, z')$; (Şekil E1.9.)

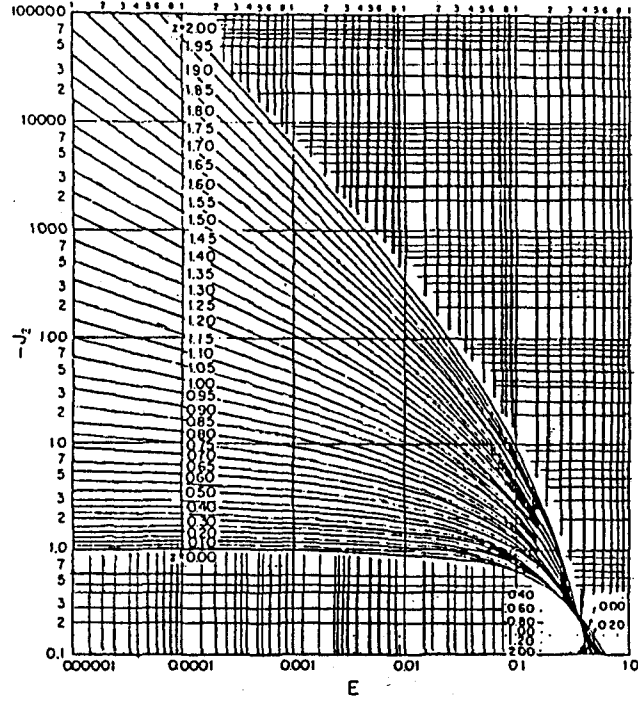
18. $P_m * I1 + I2$ değerinin hesaplanması



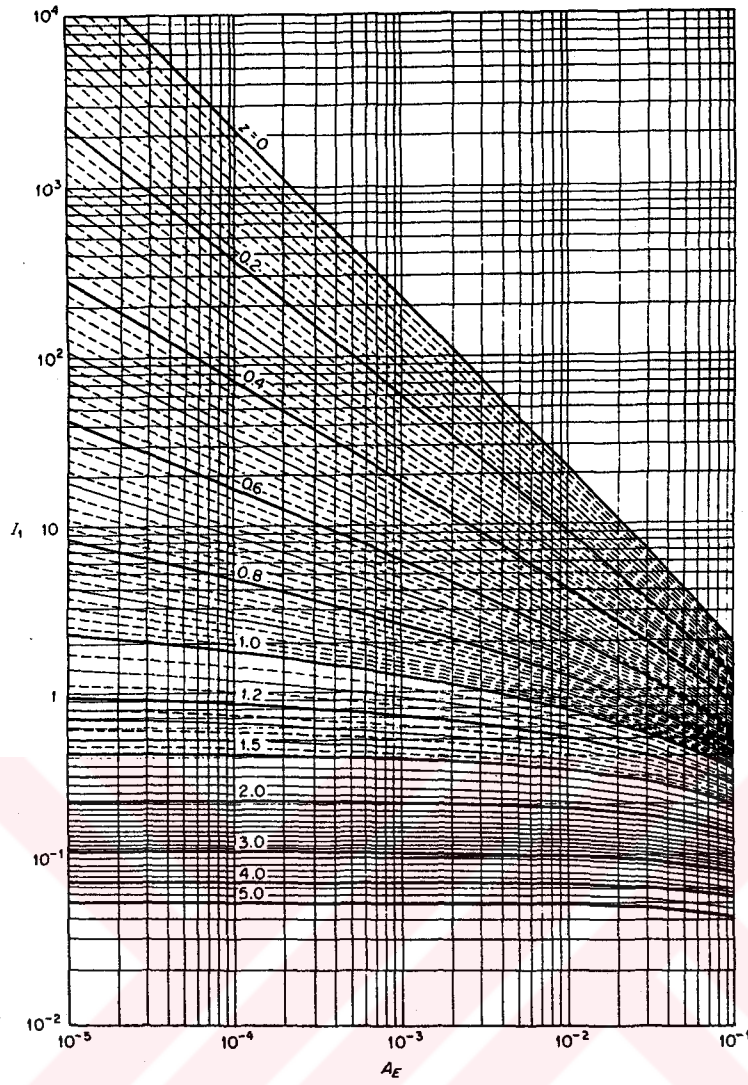
Şekil E1.6. J_1 integralinin $J_1 = f(E, z')$ fonksiyonuna göre değişimi (Colby ve Hembree, 1955).

19. $i_T * Q_T = Q_{si}' * (P_m * J1 + J2) / (P_m * J1' + J2')$, ton/gün ; ince taneli sediment için.

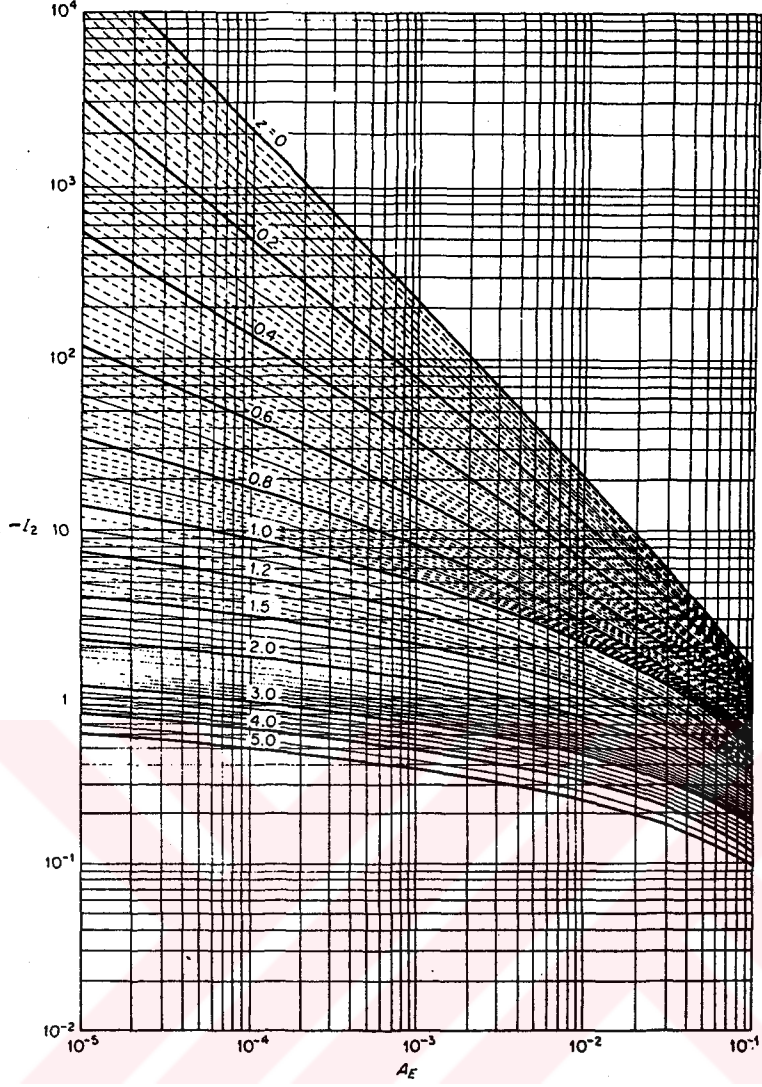
$i_T * Q_T = i_{Bw} * Q_{bw} * (P_m * I1 + I2+1)$, ton/gün ; kaba taneli sediment için
(Simons ve Şentürk, 1992).



Şekil E1.7. J_2 integralinin $J_2 = f(E, z')$ fonksiyonuna göre değişimi (Colby ve Hembree, 1955).



Şekil E1.8. $I_1 = f(E, z)$ şeklindeki fonksiyon (Einstein, 1950).



Şekil E1.9. $I_2 = f(E, z)$ şeklindeki fonksiyon (Einstein, 1950).

EK 2

BİLGİSAYAR PROGRAMLARI



MEYER – PETER VE MÜLLER
VE
EİE İD. YÖNTEMİNİ KULLANAN
BİLGİSAYAR PROGRAMI



```

C Bu program Meyer Peter ve Müller ve EİE İdaresi Yöntemi ile
C bir baraj rezervuarında sediment depolanma seklini hesaplayan
C bir FORTRAN Programıdır.
DIMENSION ELEMEN(100), GENISL(100), EGIM(100), CSUKOT(12)
DIMENSION DEBI(100,12)
REAL*8 SUYUZK(100,0:50),TABKOT(100,0:50)
DIMENSION QBKAPA(100),DEPOLK(100)
DIMENSION SEDGIR(100,0:12), DEBGIR(100,0:12), DUGDIE(100)
DIMENSION SEDDIS(100)
REAL N,KAAYLR(12)
CHARACTER A
INTEGER YILSUR
REAL KE
OPEN(7, FILE='REZSED1.DAT',STATUS='OLD')
READ(7,10) IDUGUM
10 FORMAT(/,I3,/)
READ(7,*) (ELEMEN(I), I=1,IDUGUM)
READ(7,20) A
20 FORMAT(A1)
READ(7,*) (GENISL(I), I=1,IDUGUM)
READ(7,20) A
READ(7,*) (EGIM(I), I=1,IDUGUM)
READ(7,20) A
READ(7,*) SIFSEV
READ(7,40) A
40 FORMAT(A1,/)
READ(7,*) (CSUKOT(IAY), IAY=1,12)
READ(7,40) A
READ(7,*) (DEBI(IDUGUM,IAY), IAY=1,12)
READ(7,20) A
READ(7,*) N
READ(7,40) A
READ(7,*) D35,D50,D65,D90
READ(7,20) A
READ(7,*) GSS,GSF
GAMAS=GSS*9.81
GAMAF=GSF*9.81
READ(7,20) A
READ(7,*) NSEDGI
READ(7,200) A
40 FORMAT(A1,/)
READ(7,*) (CSUKOT(IAY), IAY=1,12)
READ(7,40) A
READ(7,*) (DEBI(IDUGUM,IAY), IAY=1,12)
READ(7,20) A
READ(7,*) N
READ(7,40) A
READ(7,*) D35,D50,D65,D90
READ(7,20) A

```



```

READ(7,*) GSS,GSF
GAMAS=GSS*9.81
GAMAF=GSF*9.81
READ(7,20) A
READ(7,*) NSEDGI
READ(7,200) A
READ(7,*) (KAAYLR(IAY),IAY=1,12)
READ(7,200) A
READ(7,*) BKATSA
READ(7,200) A
200 FORMAT(A1,/)
DO 230 I=1,IDUGUM
DO 230 IAY=0,12
SEDGIR(I,IAY)=0.
230 DEBGIR(I,IAY)=0.
DO 180 K=1,NSEDGI
READ(7,*) SEDBOT,DEBBOT,IUSGIR,IALGIR
DO 190 I=IUSGIR,IALGIR,-1
SEDGIR(I,0)=SEDBOT/(IUSGIR-IALGIR+1)
DEBGIR(I,0)=DEBBOT/(IUSGIR-IALGIR+1)
DO 220 IAY=1,12
SEDGIR(I,IAY)=SEDGIR(I,0)*KAAYLR(IAY)**BKATSA
220 DEBGIR(I,IAY)=DEBGIR(I,0)*KAAYLR(IAY)
190 CONTINUE
180 CONTINUE
DO 250 IAY=1,12
DO 240 I=IDUGUM-1,1,-1
DEBI(I,IAY)=DEBI(I+1,IAY)+DEBGIR(I,IAY)
240 CONTINUE
250 CONTINUE
READ(7,40) A
READ(7,*) DIETSA
READ(7,20) A
READ(7,*) (DUGDIE(J),J=1,DIETSA)
READ(7,40) A
READ(7,*) (SEDDIS(J),J=1,DIETSA)
READ(7,20) A
READ(7,*) KE
READ(7,20) A
READ(7,*) YILSUR
CALL ORITAB(SIFSEV,IDUGUM,EGIM,TABKOT,ELEMAN)
IAY=1
SAAT=0
GUSAAT=1.
OPEN(8, FILE='REZSED1.OUT',STATUS='OLD')
IGUN=1
CALL KABARM( TABKOT, DEBI, CSUKOT, IAY, N, SIFSEV, GENISL,
* ELEMAN, SUYUZK,EGIM,IDUGUM,IGUN)
DO 280 IYIL=1,YILSUR
DO 280 IAY=1,12

```

```

DO 280 IGUN=1,30
WRITE(*,*) 'YIL:',IYIL
WRITE(*,*) ' AY:',IAY
WRITE(*,*) 'GÜN:',IGUN
WRITE(*,*) ' '

CALL MEYPET( IDUGUM, DEBI, SUYUZK, TABKOT, GENISL, D90, D50, N,
*GAMAF, GAMAS, QBKAPA, IAY, DEPOLK, SEDGIR, ELEMAN, GSS,
* DIETSA, DUGDIE, SEDDIS,GUSAAT, KE)
IF (SAAT.EQ.1) THEN
DO 360 ISAAT=1,24
WRITE(*,*) ' SAAT:',ISAAT
GUSAAT=1/24.
CALL MEYPET( IDUGUM, DEBI, SUYUZK, TABKOT, GENISL, D90, D50, N,
* GAMAF, GAMAS, QBKAPA, IAY, DEPOLK, SEDGIR, ELEMAN, GSS,
* DIETSA, DUGDIE, SEDDIS, GUSAAT, KE)
CALL KABARM (TABKOT, DEBI, CSUKOT, IAY, N, SIFSEV, GENISL,
*ELEMEN, SUYUZK,EGIM,IDUGUM,IGUN)
360 CONTINUE
GUSAAT=1.
SAAT=0.
GOTO 370
ENDIF
CALL KABARM( TABKOT, DEBI, CSUKOT, IAY, N, SIFSEV, GENISL,
* ELEMEN, SUYUZK,EGIM,IDUGUM,IGUN)
370 IF (IAY.EQ.12.AND.IGUN.EQ.30) THEN
IF (IYIL.GT.1) WRITE(8,*) ' '
WRITE(8,300) IYIL, ' Yıl Sonunda:'
300 FORMAT(6X,I3,A14)
WRITE(8,150) 'Düğüm Noktası','Su Kotu','Taban Kotu','Derinlik'
150 FORMAT(6X,A13,3X,A7,3X,A10,2X,A8)
WRITE(8,140) (I,SUYUZK(I,0),TABKOT(I,0),SUYUZK(I,0)-TABKOT(I,0),I=
*1,IDUGUM)
140 FORMAT(6X,I4,11X,F9.4,2X,F9.4,2X,F9.4)
IF (IYIL.EQ.YILSUR.AND.IAY.EQ.12)WRITE(*,310) YILSUR,'Yıl için hes
*aplama tamamlandı.'
310 FORMAT(I3,1X,A30)
ENDIF
280 CONTINUE
STOP
END

SUBROUTINE ORITAB(SIFSEV,IDUGUM,EGIM,TABKOT,ELEMAN)
DIMENSION EGIM(100),ELEMAN(100)
REAL *8 TABKOT(100,0:50)
REAL KONTR1
I=1
KONTR1=SIFSEV
TABKOT(1,0)=SIFSEV
DO 30 I= 1,IDUGUM

```

```

DO 100 J=0,3
IF (I.EQ.IDUGUM) EGIM(I+1)=EGIM(I)
IF (I.EQ.IDUGUM.AND.J.EQ.2) GOTO 200
TABKOT(I,J)=KONTR1+(J/3.)*ELEMEN(I)*(EGIM(I+1)+EGIM(I))/2.
100 CONTINUE
KONTR1=TABKOT(I,J-1)
30 CONTINUE
200 CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE KABARM( TABKOT, DEBI, CSUKOT, IAY, N, SIFSEV,
* GENISL, ELEMEN, SUYUZK,EGIM,IDUGUM,IGUN)
REAL*8 TABKOT(100,0:50)
DIMENSION DEBI(100,12),CSUKOT(12),GENISL(100),ELEMEN(100)
DIMENSION EGIM(100)
REAL*8 SF(0:50),SUYUZK(100,0:50)
REAL*8 KONTR0, KONTR2, KONTR3, KONTR4, KONDER, Y, Y1, GRSU,
* Y3, Y4,Y5
REAL N
CHARACTER *6 DURUM
ELEGEN(I)=(GENISL(I)+GENISL(I+1))/2.
TABEGI(I)=(TABKOT(I+1,0)-TABKOT(I,0))/ELEMEN(I)
GRSU(I,J,IAY,N,Y)=(ELEGEN(I)**2.*9.81*TABEGI(I)*Y**(19/3.)-DEBI(I,
*IAY)**2.*9.81*N**2.*Y**3.)/(9.81*ELEGEN(I)**2.*Y**(19/3.)-DEBI(I,I
*AY)**2.*Y**(10/3.))
SUYUZK(1,0)=CSUKOT(IAY)
KONTR3=TABKOT(1,0)
KONTR4=CSUKOT(IAY)
Y=CSUKOT(IAY)-SIFSEV
Y1=Y
DURUM='SUBKRI'
DO 50 I=1,IDUGUM
DO 90 J=0,2
IF (I.EQ.1.AND.J.EQ.0) GOTO 90
IF (I.EQ.IDUGUM.AND.J.EQ.1) GOTO 120
IF (I.EQ.IDUGUM) THEN
GENISL(I+1)=GENISL(I)
EGIM(I+1)=EGIM(I)
TABKOT(IDUGUM+1,0)=TABKOT(IDUGUM,0)
ENDIF
DUDERI=(DEBI(I,IAY)/ELEGEN(I)/9.81**0.5)**(2/3.)
DUEGIM=(DEBI(I,IAY)*N/ELEGEN(I)/DUDERI**(5/3.))**2.
GOTO 70
60 Y1=Y
70 CONTINUE
IF (Y.LT.DUDERI.AND.TABEGI(I).GT.0.) THEN
Y3=1E-9
Y4=((DEBI(I,IAY)/GENISL(I))**2./9.81)**(1/3.)-1E-6
340 CONTINUE

```

```

FX3=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IAY,N,Y3)+KONTR2)/2.*ELEMAN(I)*
* (1/3.)-Y3
FX4=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IAY,N,Y4)+KONTR2)/2.*ELEMAN(I)*
* (1/3.)-Y4
IF (FX3*FX4.LT.0.) THEN
Y5=(Y3+Y4)/2.
FX5=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IAY,N,Y5)+KONTR2)/2.*ELEMAN(I)*
* (1/3.)-Y5
ELSE
WRITE(*,*)'ORTALAMA DEĞER METODUNUN SINIRLARI YANLIŞ'
ENDIF
IF (FX3*FX5.LT.0.) Y4=Y5
IF (FX5*FX4.LT.0.) Y3=Y5
IF ((Y4-Y3).LT.0.0001) THEN
Y=(Y3+Y4)/2.
SUYUZK(I,J)=TABKOT(I,J)+(Y3+Y4)/2.
GOTO 330
ENDIF
GOTO 340
ELSEIF (Y.LE.DUDERI.AND.TABEGI(I).LE.0.) THEN
Y=Y-TABEGI(I)*ELEMAN(I)*(1/3.)
SUYUZK(I,J)=TABKOT(I,J)+Y
GOTO 330
ENDIF

```

```

FX=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IAY,N,Y)+KONTR2)/2.*ELEMAN(I)*
* (1/3.)-Y
FX1=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IAY,N,Y+0.000005)+KONTR2)/2.*
* ELEMAN(I)* (1/3.)-(Y+0.000005)
FX2=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IAY,N,Y-0.000005)+KONTR2)/2.*
* ELEMAN(I)* (1/3.)-(Y-0.000005)
Y=Y-FX/((FX1-FX2)/(0.000005+0.000005))
SUYUZK(I,J)=TABKOT(I,J)+Y
IF (ABS(Y-Y1).LT.0.0001) GOTO 330
GOTO 60
330 CONTINUE
110 KONTR4=SUYUZK(I,J)
KONTR3=TABKOT(I,J)
KONTR0=TABEGI(I)
90 KONTR2=GRSU(I,J,IAY,N,Y)
50 CONTINUE
120 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MEYPET (IDUGUM, DEBI, SUYUZK, TABKOT, GENISL, D90,
*D50, N, GAMAF, GAMAS, QBKAPA, IAY, DEPKAL, SEDGIR, ELEMAN, GSS,
*DIETSA, DUGDIE, SEDDIS, GUSAAT, KE)
REAL SF(100), DEBI(100,12), GENISL(100)
REAL NS, N, DEPKAL(100), SEDGIR(100,12), ELEMAN(100)

```

```

REAL DUGDIE(100), SEDDIS(100),QBKAPA(100)
REAL*8 SUYUZK(100,0:0),TABKOT(100,0:49)
REAL KE
TABEGI(I)=(TABKOT(I+1,0)-TABKOT(I,0))/ELEMAN(I)
DO 170 I=IDUGUM,1,-1
SF(I)=(DEBI(I,IAY)*N/(SUYUZK(I,0)-TABKOT(I,0))**(5./3)/((GENISL(I)
*+GENISL(I+1))/2.))**2.
NS=D90**(1/6.)/26.
IF (((NS/N)**(3/2.)*GAMAF*(SUYUZK(I,0)-TABKOT(I,0))*SF(I)/(GAMAS-G
*AMAF)/D50-0.047).LT.0) THEN
QBKAPA(I)=0.
GOTO 170
ENDIF
QBKAPA(I)=(((NS/N)**(3/2.)*GAMAF*(SUYUZK(I,0)-TABKOT(I,0))*SF(I)/(
*GAMAS-GAMAF)/D50-0.047)*(GAMAS-GAMAF) ** (1/3.) *D50 / 0.25/
*(GAMAF/ 9.81)**(1/3.))**(3/2.)*GAMAS/GAMAS
170 CONTINUE
DO 270 I=1,IDUGUM
DO 270 J=1,DIETSA
270 IF (I.EQ.DUGDIE(J)) QBKAPA(I)=SEDDIS(J)
DO 260 I=1,IDUGUM-1
DEPKAL(I)=(QBKAPA(I+1)-QBKAPA(I) +SEDGIR(I+1,IAY) /((GENISL(I) +
*GENISL(I+1))/2.)/GSS)/ELEMAN(I)*(60*60*24*GUSAAT)/KE
IF (DEPKAL(I).GT.ELEMAN(I)*TABEGI(I)-0.1) THEN
SAAT=1.
RETURN
ENDIF
IF (I.EQ.1) THEN
TABKOT(I,0)=TABKOT(I,0)+DEPKAL(I)
ELSE
TABKOT(I,0)=TABKOT(I,0)+(DEPKAL(I)+DEPKAL(I-1))/2.
ENDIF
260 CONTINUE
I=IDUGUM-1
TABKOT(IDUGUM,0)=TABKOT(IDUGUM,0)+DEPKAL(I)
DO 290 I=1,IDUGUM-1
DO 290 J=0,2
290 TABKOT(I,J)=(TABKOT(I+1,0)-TABKOT(I,0))/3.*J+TABKOT(I,0)
RETURN
END
C *****Bülent Abbas Kayhan*****

```

**DEĞİŞTİRİLMİŞ EİNSTEİN
VE
EİE İD. YÖNTEMİ'Nİ KULLANAN
BİLGİSAYAR PROGRAMI**



```

C   Bu program Değiştirilmiş Einstein Yöntemi ve EİE İdaresi Metodu
C   ile bir baraj rezervuarında sediment depolanma miktarını hesaplayan
C   bir FORTRAN Programı' dır.
    DIMENSION ELEMEN(100), GENISL(100), EGIM(100), CSUKOT(12)
    DIMENSION DEBI(100,12)
    REAL*8 SUYUZK(100,0:50),TABKOT(100,0:50)
C   DIMENSION DEPOLK(100)
    DIMENSION SEDGIR(100,0:12), DEBGIR(100,0:12), DUGDIE(100)
    DIMENSION SEDDIS(100),CB(12)
    REAL N,KAAYLR(12)
    REAL NU
    REAL D(20),IS(20),IB(20),W(20)
    REAL KE
    CHARACTER A
    INTEGER YILSUR
    OPEN(7, FILE='EINST.DAT',STATUS='OLD')
    READ(7,10) IDUGUM
10  FORMAT(/,I3,/)
    READ(7,*) (ELEMEN(I), I=1,IDUGUM)
    READ(7,20) A
20  FORMAT(A1)
    READ(7,*) (GENISL(I), I=1,IDUGUM)
    READ(7,20) A
    READ(7,*) (EGIM(I), I=1,IDUGUM)
    READ(7,20) A
    READ(7,*) SIFSEV
    READ(7,40) A
40  FORMAT(A1,/)
    READ(7,*) (CSUKOT(IAY), IAY=1,12)
    READ(7,40) A
    READ(7,*) (DEBI(IDUGUM,IAY), IAY=1,12)
    READ(7,20) A
    READ(7,*) N
    READ(7,40) A
    READ(7,*) D35,D50,D65,D90
    READ(7,20) A
    READ(7,*) GSS,GSF
    GAMAS=GSS*9.81
    GAMAF=GSF*9.81
    READ(7,20) A
    READ(7,*) NSEDGI
    READ(7,200) A
    READ(7,*) (KAAYLR(IAY),IAY=1,12)
    READ(7,200) A
    READ(7,*) BKATSA
    READ(7,200) A
200 FORMAT(A1,/)
    DO 230 I=1,IDUGUM
    DO 230 IAY=0,12

```

```

    SEDGIR(I,IAY)=0.
230 DEBGIR(I,IAY)=0.
    DO 180 K=1,NSEDGI
    READ(7,*) SEDBOT,DEBBOT,IUSGIR,IALGIR
    DO 190 I=IUSGIR,IALGIR,-1
    SEDGIR(I,0)=SEDBOT/(IUSGIR-IALGIR+1)
    DEBGIR(I,0)=DEBBOT/(IUSGIR-IALGIR+1)
    DO 220 IAY=1,12
    SEDGIR(I,IAY)=SEDGIR(I,0)*KAAYLR(IAY)**BKATSA
220 DEBGIR(I,IAY)=DEBGIR(I,0)*KAAYLR(IAY)
190 CONTINUE
180 CONTINUE
    DO 250 IAY=1,12
    DO 240 I=IDUGUM-1,1,-1
    DEBI(I,IAY)=DEBI(I+1,IAY)+DEBGIR(I,IAY)
240 CONTINUE
250 CONTINUE
    READ(7,40) A
    READ(7,*) DIETSA
    READ(7,20) A
    READ(7,*) (DUGDIE(J),J=1,DIETSA)
    READ(7,40) A
    READ(7,*) (SEDDIS(J),J=1,DIETSA)
    READ(7,20) A
    READ(7,*) NU
    READ(7,20) A
    READ(7,*) SEDSIS
    READ(7,40) A
    DO 420 I=1,SEDSIS
420 READ(7,*) D(I), IS(I), IB(I), W(I)
    READ(7,20) A
    READ(7,*) (CB(I),I=1,12)
    READ(7,20) A
    READ(7,*) KE
    READ(7,20) A
    READ(7,*) YILSUR
    CALL ORITAB(SIFSEV,IDUGUM,EGIM,TABKOT,ELEMAN)
    IAY=1
    SAAT=0
    GUSAAT=1.
    OPEN(8, FILE='REZSED1.OUT',STATUS='OLD')
    IGUN=1
    CALL KABARM( TABKOT, DEBI, CSUKOT,IAY,N,SIFSEV, GENISL,
    *ELEMAN, SUYUZK, EGIM, IDUGUM, IGUN)
    DO 280 IYIL=1,YILSUR
    DO 280 IAY=1,12
C DO 280 IGUN=1,30
    WRITE(*,*) 'YIL:',IYIL
    WRITE(*,*) 'AY:',IAY
C WRITE(*,*) 'GÜN:',IGUN

```



```

WRITE(*,*)''

CALL EINSTA(IDUGUM, DEBI, SUYUZK, TABKOT, GENISL, D65, D35, N,
*GAMAF, GAMAS, IAY, SEDGIR, ELEMEN, GSS, GSF, DIETSA, DUGDIE,
*SEDDIS, GUSAAT, CSUKOT, *SIFSEV, NU, D, IS, IB, SEDSIS, CB, W, KE,
*SAAT, EGIM, IYIL)
IF (SAAT.EQ.1) THEN
DO 360 ISAAT=1,24
WRITE(*,*)' SAAT:',ISAAT
GUSAAT=1/24.
CALL EINSTA(IDUGUM, DEBI, SUYUZK, TABKOT, GENISL, D65, D35,
*N, GAMAF, GAMAS, IAY, SEDGIR, ELEMEN, GSS, GSF, DIETSA, DUGDIE,
*SEDDIS, GUSAAT, CSUKOT, SIFSEV, NU, D, IS, IB, SEDSIS, CB, W, KE,
*SAAT, EGIM, IYIL)
CALL KABARM (TABKOT, DEBI, CSUKOT, IAY, N, SIFSEV, GENISL,
*ELEMEN, SUYUZK, EGIM, IDUGUM, IGUN)
360 CONTINUE
GUSAAT=1.
SAAT=0.
CCC GOTO 370
ENDIF
CALL KABARM( TABKOT, DEBI, CSUKOT, IAY, N, SIFSEV, GENISL,
*ELEMEN, SUYUZK, EGIM, IDUGUM, IGUN)
CCC 370 IF (IAY.EQ.12) THEN
C 370 IF (IAY.EQ.12.AND.IGUN.EQ.30) THEN
CCC IF (IYIL.GT.1) WRITE(8,*)''
CCC WRITE(8,300) IYIL, ' Yıl Sonunda:'
CCC 300 FORMAT(6X, I3, A14)
CCC WRITE(8,150) 'Düğüm Noktası', 'Su Kotu', 'Taban Kotu', 'Derinlik'
CCC 150 FORMAT(6X, A13, 3X, A7, 3X, A10, 2X, A8)
CCC WRITE(8,140) (I, SUYUZK(I,0), TABKOT(I,0), SUYUZK(I,0)-
CCC * TABKOT(I,0), I=IDUGUM-1, 1, -1)
CCC 140 FORMAT(6X, I4, 11X, F9.4, 2X, F9.4, 2X, F9.4)
CCC IF (IYIL.EQ.YILSUR.AND.IAY.EQ.12) WRITE(*,310) YILSUR, 'Yıl için hes
CCC *aplama tamamlandı.'
CCC 310 FORMAT(I3, 1X, A30)
CCC ENDIF
280 CONTINUE
STOP
END

```

```

SUBROUTINE ORITAB(SIFSEV, IDUGUM, EGIM, TABKOT, ELEMEN)
DIMENSION EGIM(100), ELEMEN(100)
REAL*8 TABKOT(100, 0:50)
REAL KONTR1
I=1
KONTR1=SIFSEV
TABKOT(1,0)=SIFSEV
DO 30 I= 1, IDUGUM
DO 100 J=0,3

```

```

IF (I.EQ.IDUGUM) EGIM(I+1)=EGIM(I)
IF (I.EQ.IDUGUM.AND.J.EQ.2) GOTO 200
TABKOT(I,J)=KONTR1+(J/3.)*ELEMEN(I)*(EGIM(I+1)+EGIM(I))/2.
100 CONTINUE
KONTR1=TABKOT(I,J-1)
30 CONTINUE
200 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE KABARM( TABKOT, DEBI, CSUKOT, IAY,N ,SIFSEV,
*GENISL, ELEMEN, SUYUZK,EGIM,IDUGUM,IGUN)
REAL*8 TABKOT(100,0:50)
DIMENSION DEBI(100,12),CSUKOT(12),GENISL(100),ELEMEN(100)
DIMENSION EGIM(100)
REAL*8 SF(0:50),SUYUZK(100,0:50),FX1,FX2,FX3,FX4,FX5
REAL*8
* KONTRO,KONTR2,KONTR3,KONTR4,KONDER,Y,Y1,GRSU,Y3,Y4,Y5
REAL N
CHARACTER *6 DURUM
ELEGEN(I)=(GENISL(I)+GENISL(I+1))/2.
TABEGI(I)=(TABKOT(I+1,0)-TABKOT(I,0))/ELEMEN(I)
GRSU(I,J,IAY,N,Y)=(ELEGEN(I)**2.*9.81*TABEGI(I)*Y**(19/3.)-DEBI(I,
*IAY)**2.*9.81*N**2.*Y**3.)/(9.81*ELEGEN(I)**2.*Y**(19/3.)-DEBI(I,
*AY)**2.*Y**(10/3.))
SUYUZK(1,0)=CSUKOT(IAY)
KONTR3=TABKOT(1,0)
KONTR4=CSUKOT(IAY)
Y=CSUKOT(IAY)-SIFSEV
Y1=Y
DURUM='SUBKRI'
DO 50 I=1,IDUGUM
DO 90 J=0,2
IF (I.EQ.1.AND.J.EQ.0) GOTO 90
IF (I.EQ.IDUGUM.AND.J.EQ.1) GOTO 120
IF (I.EQ.IDUGUM) THEN
GENISL(I+1)=GENISL(I)
EGIM(I+1)=EGIM(I)
TABKOT(IDUGUM+1,0)=TABKOT(IDUGUM,0)
ENDIF
DUDERI=(DEBI(I,IAY)/ELEGEN(I)/9.81**0.5)**(2/3.)
DUEGIM=(DEBI(I,IAY)*N/ELEGEN(I)/DUDERI**(5/3.))**2.
GOTO 70
60 Y1=Y
70 CONTINUE
IF (Y.GT.0..AND.TABEGI(I).GT.DUEGIM) THEN
Y3=0.001
Y4=((DEBI(I,IAY)/ELEGEN(I))**2./9.81)**(1/3.)-0.001
340 CONTINUE
FX3=KONTR4-KONTR3-

```

```

* (GRSU(I,J,IA,Y,N,Y3)+KONTR2)/2.*ELEMEN(I)*(1/3.)
*-Y3
FX4=KONTR4-KONTR3-
*(GRSU(I,J,IA,Y,N,Y4)+KONTR2)/2.*ELEMEN(I)*(1/3.)
*-Y4
IF (FX3*FX4.LT.0.) THEN
Y5=(Y3+Y4)/2.
FX5=KONTR4-KONTR3-
*(GRSU(I,J,IA,Y,N,Y5)+KONTR2)/2.*ELEMEN(I)*(1/3.)
*-Y5
ELSE
WRITE(*,*) 'ORTALAMA DEĞER METODUNUN SINIRLARI YANLIŞ'
ENDIF
IF (FX3*FX5.LT.0.) Y4=Y5
IF (FX5*FX4.LT.0.) Y3=Y5
IF ((Y4-Y3).LT.0.0001) THEN
Y=(Y3+Y4)/2.
SUYUZK(I,J)=TABKOT(I,J)+(Y3+Y4)/2.
GOTO 330
ENDIF
GOTO 340
ELSEIF (Y.LT.DUDERI.AND.Y.GT.0.AND.TABEGI(I).LT.0.) THEN
Y=Y-TABEGI(I)*ELEMEN(I)*(1/3.)
SUYUZK(I,J)=TABKOT(I,J)+Y
GOTO 330
ELSEIF (Y.GT.0.AND.Y.LT.DUDERI) THEN
SUYUZK(I,J)=TABKOT(I,J)+Y
GOTO 330
ENDIF
Y=ABS(Y)
Y1=ABS(Y1)
FX=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IA,Y,N,Y)+KONTR2)/2.*ELEMEN(I)*(1/3.)-
*Y
FX1=KONTR4-KONTR3-
*(GRSU(I,J,IA,Y,N,Y+0.000005)+KONTR2)/2.*ELEMEN(I)
* *(1/3.)-(Y+0.000005)
FX2=KONTR4-KONTR3-(GRSU(I,J,IA,Y,N,Y
* 0.000005)+KONTR2)/2.*ELEMEN(I)
* *(1/3.)-(Y-0.000005)
Y=Y-FX/((FX1-FX2)/(0.000005+0.000005))
IF (Y.LT.0.) Y=DUDERI+0.1
SUYUZK(I,J)=TABKOT(I,J)+Y
IF (ABS(Y-Y1).LT.0.01) GOTO 330
GOTO 60
330 CONTINUE
110 KONTR4=SUYUZK(I,J)
KONTR3=TABKOT(I,J)
KONTRO=TABEGI(I)
90 KONTR2=GRSU(I,J,IA,Y,N,ABS(Y))
50 CONTINUE

```

120 CONTINUE

RETURN

END

SUBROUTINE

*EINSTA(IDUGUM,DEBI,SUYUZK,TABKOT,GENISL,D65,D35,N,GAMAF

*,GAMAS,

* IAY,SEDGIR,ELEMAN,GSS,GSF,DIETSA,DUGDIE,SEDDIS,GUSAAT

*,CSUKOT,SIFSEV,NU,D,IS,IB,SEDSIS,CB,W,KE,SAAT,EGIM,IYIL)

REAL DEBI(100,12),GENISL(100)

REAL NS,N,DEPKAL(100),SEDGIR(100,12),ELEMAN(100)

REAL DUGDIE(100),SEDDIS(100),QBKAPA(100),CSUKOT(12)

REAL *8 SUYUZK(100,0:0),TABKOT(100,0:49)

REAL SUYUZF(100),TABKOF(100),GENISF(100),DEBIF(100,12)

REAL CSUKOF(12),CB(12)

REAL KS,NU,KD,NUF

REAL D(20),IS(20),IB(20),DF(20),W(20)

REAL LOG10,IBWQBW(20),QSIUS(20),ZIUSSU(20)

REAL WF(20)

REAL J1,J2,J1USSU,J2USSU,I1,I2

REAL ITQST(20),ITQBT(20)

REAL DEPKAF(100)

REAL KE,EGIM(100)

TABEGI(I)=(TABKOT(I+1,0)-TABKOT(I,0))/ELEMAN(I)

B(I)=(GENISF(I)+GENISF(I+1))/2.

LOG10(X)=LOG(X)/LOG(10.)

C Birimlerin feet' e çevrilmesi

DO 450 J=1,IAY

450 CSUKOF(J)=CSUKOT(J)*3.2808

SIFSEF=SIFSEV*3.2808

NUF=NU*3.2808**2.

DO 400 I=1,IDUGUM

SUYUZF(I)=SUYUZK(I,0)*3.2808

TABKOF(I)=TABKOT(I,0)*3.2808

GENISF(I)=GENISL(I) * 3.2808

D65F=D65 * 3.2808

D35F=D35 * 3.2808

GAMAFF=GAMAF*6.3658

GAMASF=GAMAS*6.3658

DO 400 J=1,12

DEBIF(I,J)=DEBI(I,J)*35.31

400 CONTINUE

DO 430 I=1,SEDSIS

WF(I)=W(I)*3.2808

430 DF(I)=D(I)*3.2808

I=1

J=1

C Değiştirilmiş Einstein Metodu' nun uygulanması:

DMAX=0.

MAXSED=0.

```

DO 470 ISEDSI=1,SEDSIS
IF (DF(ISEDSI) .GT. DMAX .AND. IS(ISEDSI) .NE. 0.) THEN
DMAX=DF(ISEDSI)
MAXSED=ISEDSI
ENDIF
470 CONTINUE
DO 510 I=1,IDUGUM-1
510 QBKAPA(I)=0.
C Hidrolik Hesaplamalar:
DO 390 I=IDUGUM-1,1,-1
C DO 380 RBUSSU=(SUYUZF(I)-TABKOF(I))*0.15,CSUKOF(IAY)-SIFSEF,
*0.25
DO 380 RBUSSU=0.25,CSUKOF(IAY)-SIFSEF,1
IF (SUYUZF(I)-TABKOF(I).LT.0.001) SUYUZF(I)=TABKOF(I)+0.001
SF=(DEBIF(I,IAY)*N/1.49/(ABS(SUYUZF(I)-TABKOF(I)))**(5./3)/B(I))**
* 2.
UYIBUS=(32.18*RBUSSU*SF)**(0.5)
DELTA=11.6*NUF/UYIBUS
KS=D65F
IF (KS/DELTA .LT. 0.2) THEN
X=1.
ELSE IF (KS/DELTA .GE. 0.2 .AND. KS/DELTA .LT. 0.8) THEN
X=18.03*LOG10(KS/DELTA)+19.43
ELSE IF (KS/DELTA .GE. 0.8 .AND. KS/DELTA .LT. 1.2) THEN
X=16.
ELSE IF (KS/DELTA .GE. 1.2 .AND. KS/DELTA .LT. 5. ) THEN
X=-11.36*LOG10(KS/DELTA)+17.42
ELSE IF (KS/DELTA .GE. 5.) THEN
X=10.
ENDIF
BDELTA=KS/X
U=UYIBUS*5.75*LOG10(12.27*RBUSSU/BDELTA)
PSIUS=(GSS-GSF)/GSF*(D35F/RBUSSU/SF)
IF (PSIUS .LT. 2.5) THEN
UYIBIU=U/10**(-1.15*LOG10(PSIUS)+1.61)
ELSE IF (PSIUS .GE. 2.5 .AND. PSIUS .LT. 100.) THEN
UYIBIU=U/10**(-0.40*LOG10(PSIUS)+1.34)
ELSE IF (PSIUS .GE. 100. .AND. PSIUS.LT. 1E12) THEN
UYIBIU=U/10**(-0.038*LOG10(PSIUS)+0.46)
ELSE IF (PSIUS .GE. 1E12) THEN
UYIBIU=U
C WRITE(*,*) 'PSIUS LIMITLERIN DISINDA'
ENDIF
RBIKUS=UYIBIU**2./(9.81*3.2808)/TABEGI(I)
IF (RBIKUS.LT.0.) RBIKUS=0.
RB=RBUSSU+RBIKUS
IF (RB.GT.SUYUZF(I)-TABKOF(I)-3 .AND. RB.LT.SUYUZF(I)-TABKOF(I)
*+3)
* GOTO 410
380 CONTINUE

```

```

410 KD=RB
    A=B(I)*KD
    Q=A*U
IF (BDELTA/DELTA .GT. 1.80) BX=0.77*BDELTA
IF (BDELTA/DELTA .LE. 1.80) BX=1.39*DELTA
IF (KS/DELTA .GE. 2.5) THEN
    YBASIN=5.5
ELSE IF (KS/DELTA .LT. 2.5 .AND. KS/DELTA .GE. 1.2) THEN
    YBASIN=10**(-0.42*LOG10(KS/DELTA) +0.91)
ELSE IF (KS/DELTA .LT. 1.2) THEN
    YBASIN=10**( 0.80*LOG10(KS/DELTA) +0.82)
ENDIF
    BETAX=LOG10(10.6*BX/BDELTA)
    BETA=LOG10(10.6)
C    PE=2.303*LOG10(30.2*KD/BDELTA)
C Sediment Hesapları:
    DO 440 ISEDSI=1,SEDSIS
    RUSSUS=(U/(5.75*(9.81*3.2808)**0.5*LOG10(12.27*X*DF(ISEDSI)/D65F))
    )**2
    PSI1=(GSS-GSF)/GSF*D35F/RUSSUS
    PSI2=(GSS-GSF)/GSF*DF(ISEDSI)/RUSSUS
    IF (PSI2. GT. PSI1) THEN
        PSI=PSI2
    ELSE
        PSI=PSI1
    ENDIF
    PSYILD=PSI
    IF (PSYILD .GT. 30.) THEN
        FIYILD=1E-5
    ELSE IF (PSYILD .GT. 9.) THEN
        FIYILD=10.**((LOG10(PSYILD)-0.84)/(-0.15))
    ELSE IF (PSYILD .LE. 9.) THEN
        FIYILD=10.**((LOG10(PSYILD)-0.54)/(-0.59))
    ENDIF
    IF (FIYILD.LT.1E-10) THEN
        IBWQBW(ISEDSI)=0.
        GOTO 460
    ENDIF

    IBWQBW(ISEDSI)=0.5*FIYILD*IB( ISEDSI ) *GAMASF* (GAMASF
*/GAMAFF- 1)**0.5
    *(9.81*3.2808*DF(ISEDSI)**3.)**0.5
    IBWQBW(ISEDSI)=43.2*B(I)*IBWQBW(ISEDSI)
460 EUSSU=0.3/KD
    PM=2.3*LOG10(30.2*X*KD/D65F)
IF (WF(ISEDSI)/UYIBUS .LE. 0.02) THEN
    CSIFIR=CB(IAY)*10**(-0.14*LOG10(WF(ISEDSI)/UYIBUS)+1.83)
ELSE IF (WF(ISEDSI)/UYIBUS .GT. 0.02 .AND. WF(ISEDSI)/UYIBUS .LT.
* 0.2) THEN
    CSIFIR=CB(IAY)*10**(-1.35*LOG10(WF(ISEDSI)/UYIBUS)+0.36)

```

```

ELSE IF (WF(ISED SI)/UYIBUS .GE. 0.2) THEN
CSIFIR=CB(IAY)*10**(-2.86*LOG10(WF(ISED SI)/UYIBUS)-0.70)
ENDIF
CSUSSU=CSIFIR
QSIUS(ISED SI)=43.2*B(I)*IS(ISED SI)*GAMAFF*CSUSSU*1E-6*
*DEBIF(LIAY)
* /B(I)*((1-EUSSU)-2.3*EUSSU*LOG10(EUSSU)/(PM-1))
CONTINUE
440 CONTINUE
QSBQB=QSIUS(MAXSED)/IBWQBW(MAXSED)
IF (QSBQB .LT. 800) THEN
ZUSSU=-0.34*LOG10(ABS(QSBQB))+1.09
ELSE
ZUSSU=0.1
ENDIF
490 ONJ12U=10**((EUSSU-0.28/ZUSSU-0.3)/(-0.4/ZUSSU))
PMJ12U=PM*ONJ12U/10.
QSBQB=10**(LOG10(ABS(QSBQB))+LOG10(8.0)-LOG10(ONJ12U))
IF (QSBQB .LT. 800) THEN
ZUSSU1=-0.34*LOG10(ABS(QSBQB))+1.09
ELSE
ZUSSU1=0.1
QSBQB=800
ENDIF
IF (ABS(ZUSSU-ZUSSU1).GT. 10.) GOTO 490
DO 480 ISED SI=1,SEDSIS
ZIUSSU(ISED SI)=ZUSSU1*(WF(ISED SI)/WF(MAXSED))**0.7
IF (ZIUSSU(ISED SI).GT.2.1) ZIUSSU(ISED SI)=2.1
E=2*DF(ISED SI)/KD
IF (IS(ISED SI).NE. 0.) THEN
J1=10**(-ZIUSSU(ISED SI)**2.3/4.5*LOG10(E)-0.12*ZIUSSU(ISED SI)**2.3
* )
J2=10**(-ZIUSSU(ISED SI)**1.79/2.63*LOG10(E)-0.19*ZIUSSU(ISED SI)**1
* .79)
J1USSU=10**(-ZIUSSU(ISED SI)**2.3/4.5*LOG10(EUSSU)-0.12* ZIUSSU(
*ISED SI)**2.3)
J2USSU=10**(-ZIUSSU(ISED SI)**1.79/2.63*LOG10(EUSSU)-
0.19*ZIUSSU(IS
* EDSI)**1.79)
ITQST(ISED SI)=QSIUS(ISED SI)*(PM*J1+J2)/(PM*J1USSU+J2USSU)
ELSE
ITQST(ISED SI)=0.
ENDIF
IF (IB(ISED SI).NE. 0) THEN
I1=10**(-0.37**ZIUSSU(ISED SI)*LOG10(E)+0.48*.37**ZIUSSU(ISED SI)-1.
* 3)
I2=-10**(-(0.90*0.90**(3.58*ZIUSSU(ISED SI)))*(LOG10(E)-1.48)-2.0)
ITQBT(ISED SI)=IBWQBW(ISED SI)*(PM*I1+I2+1)
ELSE
ITQBT(ISED SI)=0.

```

```

ENDIF
480 CONTINUE
    DO 500 ISEDSI=1,SEDSIS
        QBKAPA(I)=QBKAPA(I)+ITQBT(ISEDSI)+ITQST(ISEDSI)
500 CONTINUE
    QBKAPA(I)=QBKAPA(I)/GAMASF
390 CONTINUE
C   Colby ve Hembree, 1955; Değiştirilmiş Einstein Metodu.
    DO 270 I=1,IDUGUM-1
        DO 270 J=1,DIETSA
270 IF (I.EQ.DUGDIE(J)) QBKAPA(I)=SEDDIS(J)

        WRITE(8,*) ''
        WRITE(8,550) 'YIL:',IYIL,'AY:',IAY
550 FORMAT(A4,I3,6X,A3,I2)
        WRITE(8,540) 'Düğüm Noktası','Taşıma Kapasitesi(m3/ay)'
540 FORMAT(A13,10X,A24)
        TOPDEP=0.
        DO 260 I=1,IDUGUM-2
            DEPKAF(I)=(QBKAPA(I+1)-QBKAPA(I) + SEDGIR (I+1,IAY) 1150502*
            *1.25 / (((GENISF(I)+GENISF(I+1))/2.))/ELEMEN(I)/3.2802*(GUSAAT)*30.

            DEPKAL(I)=DEPKAF(I)/3.2802/KE
            WRITE(8,530) I,DEPKAL(I)*ELEMEN(I)*GENISL(I)
530 FORMAT(6X,I4,11X,F14.3)
            TOPDEP=TOPDEP+ DEPKAL(I)*ELEMEN(I)*GENISL(I)

CCC   IF (DEPKAL(I).GT.ELEMEN(I)*TABEGI(I)-0.1) THEN
CCC   SAAT=1.
CCC   RETURN
CCC   ENDIF
        IF (I.EQ.1) THEN
            TABKOT(I,0)=TABKOT(I,0)+DEPKAL(I)
        ELSE
            TABKOT(I,0)=TABKOT(I,0)+(DEPKAL(I)+DEPKAL(I-1))/2.
        ENDIF
260 CONTINUE
        WRITE(8,*) 'Toplam Depolanma=', TOPDEP
        I=IDUGUM-1
        TABKOT(IDUGUM,0)=TABKOT(IDUGUM,0)+DEPKAL(I-1)
        TABKOT(IDUGUM-1,0)=TABKOT(IDUGUM-1,0)+DEPKAL(I-2)
        DO 520 I=1,IDUGUM-1
C   Borland, 1971
        IF (TABKOT(I+1,0).GT.TABKOT(I,0)+EGIM(I)*ELEMEN(I)*6.5/2)
THEN
            TABKOT(I+1,0)=TABKOT(I,0)+EGIM(I)*ELEMEN(I)*6.5/2
        ELSE IF (TABKOT(I+1,0).LT.TABKOT(I,0)-EGIM(I)*ELEMEN(I)*2.25)
THEN
            TABKOT(I+1,0)=TABKOT(I,0)-EGIM(I)*ELEMEN(I)*2.25
        ENDIF

```



```
520 CONTINUE
    DO 290 I=1,IDUGUM-1
    DO 290 J=0,2
290 TABKOT(I,J)=(TABKOT(I+1,0)-TABKOT(I,0))/3.*J+TABKOT(I,0)
    RETURN
    END
C *****Bülent Abbas Kayhan*****
```



EK 3
VERİ GİRİŞ DOSYALARI



MEYER – PETER VE MÜLLER
VE
EİE İD. YÖNTEMİ'Nİ KULLANAN
BİLGİSAYAR PROGRAMI
İÇİN VERİ GİRİŞ DOSYASI



DÜĞÜM NOKTASI SAYISINI GİRİN:

58

DÜĞÜM NOKTALARI ARASINDAKİ MESAFELERİ MEMBA YÖNÜNDE GİRİN(m):

2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862

HER DÜĞÜM NOKTASI İÇİN REZERVUAR GENİŞLİĞİNİ MEMBA YÖNÜNDE GİRİN(m):

500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500,
500, 300, 300, 300, 250, 250, 250, 250, 250, 1250,
750, 2000, 3750, 1500, 2250, 1750, 1500, 2000, 3000, 3750,
5000, 4500, 5500, 3250, 2500, 1500, 2500, 2500, 3000, 1750,
1750, 1750, 2000, 2750, 250, 250, 250, 250, 250, 125,
125, 125, 125, 125, 125, 125, 125, 125

DÜĞÜM NOKTALARINDAKİ REZERVUAR TABAN EĞİMLERİNİ MEMBA YÖNÜNDE GİRİN:

0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092

BAŞLANGIÇTAKİ REZERVUAR TABANI SIFIR SEVİYESİNİ GİRİN(m):

533

AYLARA GÖRE (12 AY) REZERVUARIN SU ÇIKIŞI NOKTASINDAKİ SU SEVİYELERİNİ GİRİN(m):

670, 670, 670, 670, 670, 670, 670, 670, 670, 670, 670, 670

AYLARA GÖRE (12 AY) REZERVUARA GELEN REZERVUARIN GİRİŞ NOKTASINDAKİ AKIŞ DEBİLERİNİ GİRİN(m³/s):

300, 370, 710, 2000, 1850, 800, 380, 250, 225, 250, 300, 310

AKIŞIN MANNING KATSAYISINI GİRİN:

0.035

VERİLEN YÜZDESİNİN ÇAPTAN KÜÇÜK OLDUĞU SEDİMENT

BOYUTLARI(d₃₅, d₅₀, d₆₅, d₉₀):

0.25E-3, 0.11E-2, 0.33E-2, 0.45E-2

SIRASIYLA SEDİMENT VE AKIŞKAN ÖZGÜL AĞIRLIKLARINI GİRİN:

2.65, 1.

REZERVUARA AKIŞ YOLUYLA SEDİMENT GİRİŞ NOKTASI SAYISINI GİRİN:

11

REZERVUARA TERSİYERLERİN GETİRDİĞİ DEBİLERİN AYLARA GÖRE DEĞİŞİMİNİ İFADE EDEN VE YILLARA GÖRE ORTALAMA AYLIK DEBİ İLE ÇARPILACAK KATSAYILAR (OCAKTA'TAN ARALIK'A):

0.789, 0.786, 1.283, 2.000, 1.649, 1.038, 0.776, 0.660, 0.675, 0.747,
0.790, 0.807

TERSİYERİN GETİRDİĞİ SEDİMENT YÜKÜNÜN AYLARA GÖRE DEĞİŞİMİNİ BULMAK İÇİN KULLANILACAK, TERSİYER SEDİMENT DEBİSİ İLE AKIŞ DEBİSİ ARASINDAKİ KORELASYONU İFADE EDEN DENKLEMDEKİ ($Q_S=A*Q**B$) B KATSAYISINI GİRİN:

2.9638

REZERVUARA GELEN HER ALT HAVZANIN GETİRDİĞİ ASKI YÜKÜNÜ(t/s), AKIŞ DEBİLERİNİ(m^3/s) VE DEBİLERİN GİRDİĞİ DÜĞÜM NOKTALARININ LİMİTLERİNİ GİRİN:

2.788E-3, 4.982, 45, 38

1.919E-3, 3.446, 58, 38

4.535E-3, 8.143, 37, 37

17.93E-3, 32.203, 34, 33

0.202E-3, 0.3627, 36, 35

1.696E-3, 3.047, 25, 15

1.212E-3, 2.176, 32, 21

2.214E-3, 3.975, 11, 11

0.404E-3, 0.7255, 10, 3

0.303E-3, 0.5441, 10, 5

0.707E-3, 1.270, 4, 4

DIŞ ETKENLER SONUCU TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELLİ SINIR DEĞERLERE EŞİT OLDUĞU DÜĞÜM NOKTASI SAYISI:

1

BU DÜĞÜM NOKTALARI:

58

BU NOKTALARDAKİ SEDİMENT YÜKLERİ(BİR ÖNCEKİ SATIRDA DÜĞÜM NOKTALARININ YAZILIŞ SIRASIYLA AYNI SIRADA):

0.

KATI HACME ORAN OLARAK GÖZENEKLİLİĞİ GİRİN:

0.49

KAÇ YIL İÇİN TAHMİN YAPILACAGINI GİRİNİZ:

100

**DEĞİŞTİRİLMİŞ EİNSTEİN
VE
EİE İD. YÖNTEMİ'Nİ KULLANAN
BİLGİSAYAR PROGRAMI
İÇİN VERİ GİRİŞ DOSYASI**



DÜĞÜM NOKTASI SAYISINI GİRİN:

58

DÜĞÜM NOKTALARI ARASINDAKİ MESAFELERİ MEMBA YÖNÜNDE GİRİN(m):

2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862,
2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862, 2862

HER DÜĞÜM NOKTASI İÇİN REZERVUAR GENİŞLİĞİNİ MEMBA YÖNÜNDE GİRİN(m):

500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500, 500,
500, 300, 300, 300, 250, 250, 250, 250, 250, 1250,
750, 2000, 3750, 1500, 2250, 1750, 1500, 2000, 3000, 3750,
5000, 4500, 5500, 3250, 2500, 1500, 2500, 2500, 3000, 1750,
1750, 1750, 2000, 2750, 250, 250, 250, 250, 250, 125,
125, 125, 125, 125, 125, 125, 125, 125

DÜĞÜM NOKTALARINDAKİ REZERVUAR TABAN EĞİMLERİNİ MEMBA YÖNÜNDE GİRİN:

0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092, 0.00092,
0.00092, 0.00092

BAŞLANGIÇTAKİ REZERVUAR TABANI SIFIR SEVİYESİNİ GİRİN(m):
533

AYLARA GÖRE (12 AY) REZERVUARIN SU ÇIKIŞI NOKTASINDAKİ SU SEVİYELERİNİ GİRİN(m):

693, 693, 693, 693, 693, 693, 693, 693, 693, 693, 693, 693

AYLARA GÖRE (12 AY) REZERVUARA GELEN REZERVUARIN GİRİŞ NOKTASINDAKİ AKIŞ DEBİLERİNİ GİRİN(m³/s):

300, 370, 710, 2000, 1850, 800, 380, 250, 225, 250, 300, 310

AKIŞIN MANNING KATSAYISINI GİRİN:

0.035

VERİLEN YÜZDESİNİN ÇAPTAN KÜÇÜK OLDUĞU SEDİMENT BOYUTLARI(d₃₅, d₅₀, d₆₅, d₉₀):

0.25E-3, 0.11E-2, 0.33E-2, 0.45E-2

SIRASIYLA SEDİMENT VE AKIŞKAN ÖZGÜL AĞIRLIKLARINI GİRİN:

2.65, 1.

REZERVUARA AKIŞ YOLUYLA SEDİMENT GİRİŞ KISMI SAYISINI GİRİN:

11

REZERVUARA TERSİYERLERİN GETİRDİĞİ DEBİLERİN AYLARA GÖRE DEĞİŞİMİNİ İFADE EDEN VE YILLARA GÖRE ORTALAMA AYLIK DEBİ İLE ÇARPILACAK KATSAYILAR(OCAKTA'TAN ARALIK'A):

0.789, 0.786, 1.283, 2.000, 1.649, 1.038, 0.776, 0.660, 0.675, 0.747,
0.790, 0.807

TERSİYERİN GETİRDİĞİ SEDİMENT YÜKÜNÜN AYLARA GÖRE DEĞİŞİMİNİ BULMAK İÇİN KULLANILACAK, TERSİYER SEDİMENT DEBİSİ İLE AKIŞ DEBİSİ ARASINDAKİ KORELASYONU İFADE EDEN DENKLEMDEKİ $(QS=A*Q**B)$ B KATSAYISINI GİRİN:

2.9638

REZERVUARA GELEN HER ALT HAVZANIN GETİRDİĞİ TOPLAM SEDİMENT DEBİLERİNİ(t/s), AKIŞ DEBİLERİNİ(m³/s) VE DEBİLERİN GİRDİĞİ DÜĞÜM NOKTALARININ LİMİTLERİNİ GİRİN:

2.788E-3, 4.982, 45, 38

1.919E-3, 3.446, 58, 38

4.535E-3, 8.143, 37, 37

17.93E-3, 32.203, 34, 33

0.202E-3, 0.3627, 36, 35

1.696E-3, 3.047, 25, 15

1.212E-3, 2.176, 32, 21

2.214E-3, 3.975, 11, 11

0.404E-3, 0.7255, 10, 3

0.303E-3, 0.5441, 10, 5

0.707E-3, 1.270, 4, 4

DIŞ ETKENLER SONUCU TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELLİ SINIR DEĞERLERE EŞİT OLDUĞU DÜĞÜM NOKTASI SAYISI:

2

BU DÜĞÜM NOKTALARI:

58,57

BU NOKTALARDAKİ SEDİMENT YÜKLERİ(BİR ÖNCEKİ SATIRDA DÜĞÜM NOKTALARININ YAZILIŞ SIRASIYLA AYNİ SIRADA):

0.,0.

AKIŞIN KİNEMATİK VİZKOZİTESİNİ GİRİNİZ:

1.1E-6

YATAKTAKİ SEDİMENTİN KAÇ SINIFA AYRILDIĞINI GİRİNİZ:

4

HER SINIFIN ORTALAMA BOYUTU (m.) İLE SIRASIYLA ASKI VE YATAK MALZEMELERİNİN YÜZDE KAÇINI OLUŞTURDUĞUNU VE ÇÖKELME HIZINI(m/s) GİRİNİZ:

0.063E-3, 0.85, 0, 3.81E-3

0.313E-3, 0.15, 0.21, 39.9E-3

1.250E-3, 0, 0.14, 111.E-3

3.000E-3, 0, 0.65, 182.E-3

AYLIK SEDİMENT KONSANTRASYONU DEĞERLERİNİ GİRİN(ppm):

128.9, 93.4, 500.3,1008.6, 612.6, 619.3, 360.5, 121.0,

98.4, 154.4, 68.9, 112.7

KATI HACMİNE ORAN OLARAK GÖZENEKLİLİĞİ GİRİN:

0.49

KAÇ YIL İÇİN TAHMİN YAPILACAGINI GİRİN:

1

EK 4
BİLGİSAYAR ÇIKTILARI



**MEYER – PETER VE MÜLLER
VE
EİE İD. YÖNTEMİ'NE GÖRE
KARAKAYA REZERVUARI SEDİMENTASYON DURUMU**



5. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	3,5860	672,7221	669,1361
57	680,4502	5,6636	672,1141	666,4505
56	677,8172	6,1595	672,4895	666,3300
55	675,1842	3,9966	672,8099	668,8133
54	672,5511	3,4825	672,0384	668,5559
53	669,9181	5,0346	671,5416	666,5070
52	667,2850	3,0536	672,0688	669,0152
51	664,6520	5,3226	670,7378	665,4152
50	662,0190	4,1632	671,5548	667,3916
49	659,3859	2,3783	671,1911	668,8128
48	656,7529	2,9493	670,4087	667,4594
47	654,1198	2,7025	670,5423	667,8398
46	651,4868	12,2425	668,5108	656,2683
45	648,8538	20,3531	669,2047	648,8516
44	646,2207	23,7763	669,9994	646,2231
43	643,5877	26,4104	670,0003	643,5899
42	640,9546	29,0433	670,0003	640,9570
41	638,3216	31,6763	670,0003	638,3240
40	635,6886	34,3095	670,0002	635,6907
39	633,0555	36,9429	670,0002	633,0573
38	630,4225	39,5760	670,0003	630,4243
37	627,7894	42,1782	670,0065	627,8283
36	625,1564	44,8049	670,0003	625,1954
35	622,5234	47,4688	669,9941	622,5253
34	619,8903	50,0804	670,0058	619,9254
33	617,2573	52,6837	670,0051	617,3214
32	614,6242	55,3399	669,9947	614,6548
31	611,9912	58,0030	669,9954	611,9924
30	609,3582	60,6408	670,0003	609,3595
29	606,7251	63,2736	670,0003	606,7267
28	604,0921	65,9062	670,0004	604,0942
27	601,4590	68,5389	670,0003	601,4614
26	598,8260	71,172	670,0003	598,8283
25	596,1930	73,8052	670,0003	596,1951
24	593,5599	76,4384	670,0003	593,5619
23	590,9269	79,0718	670,0002	590,9284
22	588,2938	81,7044	670,0004	588,2960
21	585,6608	84,3364	670,0005	585,6641
20	583,0278	86,9675	670,0007	583,0332
19	580,3947	89,5931	670,0017	580,4086
18	577,7617	92,2190	670,0014	577,7824
17	575,1286	94,8509	670,0003	575,1494
16	572,4956	97,4840	670,0003	572,5163
15	569,8626	100,1178	670,0001	569,8823
14	567,2295	102,7596	669,9986	567,2390
13	564,5965	105,4021	669,9987	564,5966
12	561,9634	108,0367	670,0003	561,9636
11	559,3304	110,6086	670,0125	559,4039
10	556,6974	113,2280	670,0006	556,7726
9	554,0643	115,9205	669,9883	554,0678
8	551,4313	118,5655	670,0003	551,4348
7	548,7982	121,1986	670,0003	548,8017
6	546,1652	123,8316	670,0003	546,1687
5	543,5322	126,4647	670,0003	543,5356
4	540,8991	129,0796	670,0039	540,9243
3	538,2661	131,7091	670,0003	538,2912
2	535,6330	134,3616	669,9964	535,6348
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

10. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	6,1176	671,5749	665,4573
57	680,4502	6,9241	671,3537	664,4296
56	677,8172	5,8453	671,7285	665,8832
55	675,1842	7,3236	671,0918	663,7682
54	672,5511	5,9380	671,7440	665,8060
53	669,9181	4,2960	671,5317	667,2357
52	667,2850	7,3777	670,5314	663,1537
51	664,6520	4,4972	671,8427	667,3455
50	662,0190	5,6912	670,6129	664,9217
49	659,3859	4,5725	671,2669	666,6944
48	656,7529	1,9600	671,1989	669,2389
47	654,1198	5,2226	669,7422	664,5196
46	651,4868	3,0687	671,0541	667,9854
45	648,8538	10,0860	668,9132	658,8272
44	646,2207	22,1142	668,3390	646,2248
43	643,5877	26,4092	670,0005	643,5913
42	640,9546	29,0420	670,0006	640,9586
41	638,3216	31,6749	670,0006	638,3257
40	635,6886	34,3083	670,0005	635,6922
39	633,0555	36,9419	670,0005	633,0586
38	630,4225	39,5751	670,0006	630,4255
37	627,7894	42,1465	670,0129	627,8664
36	625,1564	44,7668	670,0006	625,2338
35	622,5234	47,4615	669,9882	622,5267
34	619,8903	50,0517	670,0116	619,9599
33	617,2573	52,6251	670,0103	617,3852
32	614,6242	55,3045	669,9894	614,6849
31	611,9912	57,9976	669,9908	611,9932
30	609,3582	60,6402	670,0006	609,3604
29	606,7251	63,2727	670,0007	606,7280
28	604,0921	65,9049	670,0007	604,0958
27	601,4590	68,5372	670,0007	601,4635
26	598,8260	71,1704	670,0005	598,8301
25	596,1930	73,8037	670,0005	596,1968
24	593,5599	76,4371	670,0005	593,5634
23	590,9269	79,0708	670,0005	590,9297
22	588,2938	81,703	670,0008	588,2978
21	585,6608	84,334	670,0009	585,6669
20	583,0278	86,9631	670,0013	583,0382
19	580,3947	89,5811	670,0034	580,4223
18	577,7617	92,2000	670,0028	577,8028
17	575,1286	94,8308	670,0006	575,1698
16	572,4956	97,4638	670,0006	572,5368
15	569,8626	100,0984	670,0003	569,9019
14	567,2295	102,7488	669,9972	567,2484
13	564,5965	105,4008	669,9975	564,5967
12	561,9634	108,0369	670,0006	561,9637
11	559,3304	110,5477	670,0250	559,4773
10	556,6974	113,1335	670,0011	556,8676
9	554,0643	115,9055	669,9767	554,0712
8	551,4313	118,5625	670,0006	551,4381
7	548,7982	121,1955	670,0006	548,8051
6	546,1652	123,8286	670,0006	546,1720
5	543,5322	126,4616	670,0006	543,5390
4	540,8991	129,0584	670,0078	540,9494
3	538,2661	131,6842	670,0006	538,3164
2	535,6330	134,3563	669,9927	535,6364
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

15. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	7,6965	671,1881	663,4916
57	680,4502	8,9112	670,9233	662,0121
56	677,8172	6,6873	671,6335	664,9462
55	675,1842	6,2442	671,0776	664,8334
54	672,5511	8,7247	670,5715	661,8468
53	669,9181	6,2722	671,6246	665,3524
52	667,2850	5,6521	671,0045	665,3524
51	664,6520	8,9575	670,2207	661,2632
50	662,0190	4,9647	671,8218	666,8571
49	659,3859	5,2274	670,5675	665,3401
48	656,7529	2,7460	671,2772	668,5312
47	654,1198	3,1541	670,3013	667,1472
46	651,4868	5,5677	670,0366	664,4689
45	648,8538	3,8628	670,8748	667,0120
44	646,2207	15,8322	667,9580	652,1258
43	643,5877	25,4255	669,0182	643,5927
42	640,9546	29,0407	670,0010	640,9603
41	638,3216	31,6734	670,0009	638,3275
40	635,6886	34,3070	670,0007	635,6937
39	633,0555	36,9410	670,0007	633,0597
38	630,4225	39,5742	670,0008	630,4266
37	627,7894	42,1148	670,0194	627,9046
36	625,1564	44,7288	670,0010	625,2722
35	622,5234	47,4541	669,9823	622,5282
34	619,8903	50,0229	670,0174	619,9945
33	617,2573	52,5666	670,0154	617,4488
32	614,6242	55,2691	669,9840	614,7149
31	611,9912	57,9923	669,9862	611,9939
30	609,3582	60,6396	670,0009	609,3613
29	606,7251	63,2719	670,0010	606,7291
28	604,0921	65,9037	670,0011	604,0974
27	601,4590	68,5356	670,0010	601,4654
26	598,8260	71,1688	670,0008	598,8320
25	596,1930	73,8023	670,0008	596,1985
24	593,5599	76,4358	670,0007	593,5649
23	590,9269	79,0698	670,0007	590,9309
22	588,2938	81,7015	670,0011	588,2996
21	585,6608	84,3316	670,0014	585,6698
20	583,0278	86,9586	670,0019	583,0433
19	580,3947	89,5692	670,0051	580,4359
18	577,7617	92,1759	670,0042	577,8283
17	575,1286	94,8106	670,0008	575,1902
16	572,4956	97,4436	670,0008	572,5572
15	569,8626	100,0791	670,0004	569,9213
14	567,2295	102,7381	669,9957	567,2576
13	564,5965	105,3995	669,9962	564,5967
12	561,9634	108,0372	670,0008	561,9636
11	559,3304	110,4868	670,0375	559,5507
10	556,6974	113,0790	670,0017	556,9227
9	554,0643	115,8905	669,9650	554,0745
8	551,4313	118,5594	670,0008	551,4414
7	548,7982	121,1924	670,0008	548,8084
6	546,1652	123,8255	670,0008	546,1753
5	543,5322	126,4585	670,0008	543,5423
4	540,8991	129,0372	670,0117	540,9745
3	538,2661	131,6594	670,0008	538,3414
2	535,6330	134,3510	669,9891	535,6381
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

20. Yil Sonunda Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	8,9137	670,7221	661,8084
57	680,4502	10,0180	670,4873	660,4693
56	677,8172	9,8464	670,7774	660,9310
55	675,1842	8,3502	670,9663	662,6161
54	672,5511	7,9214	670,6896	662,7682
53	669,9181	9,3348	670,3572	661,0224
52	667,2850	8,0147	670,9504	662,9357
51	664,6520	8,2959	670,4865	662,1906
50	662,0190	8,6562	670,5431	661,8869
49	659,3859	4,7912	671,3457	666,5545
48	656,7529	4,7048	670,3777	665,6729
47	654,1198	4,3154	670,5902	666,2748
46	651,4868	6,6930	669,9679	663,2749
45	648,8538	4,6907	670,9473	666,2566
44	646,2207	6,8312	669,9152	663,0840
43	643,5877	21,1250	667,6909	646,5659
42	640,9546	28,5285	669,5138	640,9853
41	638,3216	31,6528	670,0051	638,3523
40	635,6886	34,2860	670,0050	635,7190
39	633,0555	36,9194	670,0050	633,0856
38	630,4225	39,5525	670,0051	630,4526
37	627,7894	42,1070	670,0208	627,9138
36	625,1564	44,6765	670,0146	625,3381
35	622,5234	47,3785	669,9893	622,6108
34	619,8903	50,0116	670,0082	619,9966
33	617,2573	52,5456	670,0242	617,4786
32	614,6242	55,1994	669,9971	614,7977
31	611,9912	57,9484	669,9835	612,0351
30	609,3582	60,6387	669,9979	609,3592
29	606,7251	63,2786	670,0051	606,7265
28	604,0921	65,9112	670,0051	604,0939
27	601,4590	68,5439	670,0051	601,4612
26	598,8260	71,1770	670,0050	598,8280
25	596,1930	73,8102	670,0050	596,1948
24	593,5599	76,4434	670,0050	593,5616
23	590,9269	79,0768	670,0050	590,9282
22	588,2938	81,7094	670,0052	588,2958
21	585,6608	84,3415	670,0052	585,6637
20	583,0278	86,9725	670,0054	583,0329
19	580,3947	89,5861	670,0089	580,4228
18	577,7617	92,1858	670,0110	577,8252
17	575,1286	94,8010	670,0074	575,2064
16	572,4956	97,4317	670,0051	572,5734
15	569,8626	100,0655	670,0049	569,9394
14	567,2295	102,7192	670,0010	567,2818
13	564,5965	105,3879	669,9987	564,6108
12	561,9634	108,0392	670,0027	561,9635
11	559,3304	110,5180	670,0364	559,5184
10	556,6974	113,0230	670,0244	557,0014
9	554,0643	115,7918	669,9740	554,1822
8	551,4313	118,5512	669,9860	551,4348
7	548,7982	121,2034	670,0050	548,8016
6	546,1652	123,8364	670,0050	546,1686
5	543,5322	126,4695	670,0050	543,5355
4	540,8991	129,0605	670,0134	540,9529
3	538,2661	131,6614	670,0098	538,3484
2	535,6330	134,3330	669,9964	535,6634
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

40. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	12,2152	674,5935	662,3783
57	680,4502	12,4670	674,5372	662,0702
56	677,8172	11,3860	674,8080	663,4220
55	675,1842	10,7636	674,6530	663,8894
54	672,5511	10,7069	674,5613	663,8544
53	669,9181	10,5554	674,5887	664,0333
52	667,2850	10,3620	674,5810	664,2190
51	664,6520	10,0108	674,6026	664,5918
50	662,0190	10,1598	674,4864	664,3266
49	659,3859	6,8833	675,1822	668,2989
48	656,7529	5,0858	674,7246	669,6388
47	654,1198	6,1239	674,2264	668,1025
46	651,4868	6,2668	674,4909	668,2241
45	648,8538	6,4041	674,4252	668,0211
44	646,2207	1,9238	675,3544	673,4306
43	643,5877	6,6854	668,5158	661,8304
42	640,9546	24,3061	667,3116	643,0055
41	638,3216	31,3549	669,6669	638,3120
40	635,6886	34,3318	670,0102	635,6784
39	633,0555	36,9657	670,0101	633,0444
38	630,4225	39,5989	670,0103	630,4114
37	627,7894	42,0921	670,0382	627,9461
36	625,1564	44,6132	670,0271	625,4139
35	622,5234	47,3454	669,9871	622,6417
34	619,8903	49,9656	670,0175	620,0519
33	617,2573	52,4449	670,0396	617,5947
32	614,6242	55,0976	670,0005	614,9029
31	611,9912	57,9113	669,9761	612,0648
30	609,3582	60,5544	670,0151	609,4607
29	606,7251	63,1939	670,0080	606,8141
28	604,0921	65,9355	669,9890	604,0535
27	601,4590	68,5891	670,0104	601,4213
26	598,8260	71,2222	670,0102	598,7880
25	596,1930	73,8556	670,0102	596,1546
24	593,5599	76,4892	670,0102	593,5210
23	590,9269	79,123	670,0101	590,8871
22	588,2938	81,7549	670,0105	588,2556
21	585,6608	84,3854	670,0107	585,6253
20	583,0278	87,0132	670,0112	582,9980
19	580,3947	89,6149	670,0164	580,4015
18	577,7617	92,1912	670,0204	577,8292
17	575,1286	94,7784	670,0174	575,2390
16	572,4956	97,3923	670,0127	572,6204
15	569,8626	100,0250	670,0099	569,9849
14	567,2295	102,6925	670,0035	567,3110
13	564,5965	105,3883	669,9991	564,6108
12	561,9634	108,0563	670,0055	561,9492
11	559,3304	110,4159	670,0659	559,6500
10	556,6974	112,8227	670,0444	557,2217
9	554,0643	115,6485	669,9649	554,3164
8	551,4313	118,4939	669,9769	551,4830
7	548,7982	121,2080	670,0007	548,7927
6	546,1652	123,8506	670,0103	546,1597
5	543,5322	126,4837	670,0103	543,5266
4	540,8991	129,0338	670,0269	540,9931
3	538,2661	131,6025	670,0198	538,4173
2	535,6330	134,3007	669,9953	535,6946
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

60. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	9,9394	671,5867	661,6473
57	680,4502	11,1476	671,3353	660,1877
56	677,8172	10,9427	671,6598	660,7171
55	675,1842	9,9987	671,7318	661,7331
54	672,5511	9,4601	671,6224	662,1623
53	669,9181	9,2326	671,5667	662,3341
52	667,2850	9,1309	671,5365	662,4056
51	664,6520	9,0216	671,5273	662,5057
50	662,0190	8,6795	671,5572	662,8777
49	659,3859	6,7557	671,8514	665,0957
48	656,7529	4,0686	671,9119	667,8433
47	654,1198	3,1495	671,4364	668,2869
46	651,4868	3,7928	671,1006	667,3078
45	648,8538	3,9700	671,1979	667,2279
44	646,2207	0,9290	671,7630	670,8340
43	643,5877	1,5009	670,0805	668,5796
42	640,9546	16,4728	667,5341	651,0613
41	638,3216	29,1948	668,4933	639,2985
40	635,6886	34,2084	669,8431	635,6347
39	633,0555	37,0138	670,0148	633,0010
38	630,4225	39,5517	670,0340	630,4823
37	627,7894	41,9546	670,0571	628,1025
36	625,1564	44,5808	670,0079	625,4271
35	622,5234	47,3245	669,9942	622,6697
34	619,8903	49,7744	670,0557	620,2813
33	617,2573	52,2656	670,0351	617,7695
32	614,6242	55,0951	669,9716	614,8765
31	611,9912	57,9206	669,9851	612,0645
30	609,3582	60,5713	670,0174	609,4461
29	606,7251	63,2491	670,0550	606,8059
28	604,0921	65,9861	669,9960	604,0099
27	601,4590	68,6851	670,0055	601,3204
26	598,8260	71,3278	670,0149	598,6871
25	596,1930	73,9611	670,0149	596,0538
24	593,5599	76,5946	670,0148	593,4202
23	590,9269	79,2283	670,0148	590,7865
22	588,2938	81,8604	670,0151	588,1547
21	585,6608	84,4913	670,0153	585,5240
20	583,0278	87,1199	670,0157	582,8958
19	580,3947	89,7126	670,0228	580,3102
18	577,7617	92,2656	670,0294	577,7638
17	575,1286	94,8246	670,0269	575,2023
16	572,4956	97,4099	670,0221	572,6122
15	569,8626	100,0256	670,0170	569,9914
14	567,2295	102,6992	670,0064	567,3072
13	564,5965	105,4174	669,9996	564,5822
12	561,9634	108,1135	670,0054	561,8919
11	559,3304	110,4307	670,0800	559,6493
10	556,6974	112,7094	670,0728	557,3634
9	554,0643	115,4995	669,9719	554,4724
8	551,4313	118,4260	669,9648	551,5388
7	548,7982	121,2164	669,9935	548,7771
6	546,1652	123,8948	670,0101	546,1153
5	543,5322	126,5326	670,0149	543,4823
4	540,8991	129,0661	670,0348	540,9687
3	538,2661	131,5958	670,0316	538,4358
2	535,6330	134,2790	670,0016	535,7226
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

80. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	10,0254	671,6726	661,6472
57	680,4502	11,2338	671,4215	660,1877
56	677,8172	11,0290	671,7461	660,7171
55	675,1842	10,0853	671,8184	661,7331
54	672,5511	9,5471	671,7094	662,1623
53	669,9181	9,3200	671,6540	662,3340
52	667,2850	9,2187	671,6243	662,4056
51	664,6520	9,1098	671,6155	662,5057
50	662,0190	8,7682	671,6459	662,8777
49	659,3859	6,8449	671,9406	665,0957
48	656,7529	4,1594	672,0027	667,8433
47	654,1198	3,2484	671,5352	668,2868
46	651,4868	3,9008	671,2145	667,3137
45	648,8538	4,0830	671,3109	667,2279
44	646,2207	1,0559	671,8899	670,8340
43	643,5877	0,5338	670,3694	669,8356
42	640,9546	13,6331	667,8521	654,2190
41	638,3216	28,6638	667,9693	639,3055
40	635,6886	34,2034	669,8441	635,6407
39	633,0555	37,0100	670,0157	633,0057
38	630,4225	39,5481	670,0351	630,4870
37	627,7894	41,8277	670,0829	628,2552
36	625,1564	44,4285	670,0091	625,5806
35	622,5234	47,2953	669,9707	622,6754
34	619,8903	49,6595	670,0789	620,4194
33	617,2573	52,0315	670,0557	618,0242
32	614,6242	54,9536	669,0503	614,0967
31	611,9912	57,8992	669,9667	612,0675
30	609,3582	60,5690	670,0186	609,4496
29	606,7251	63,2457	670,0068	606,7611
28	604,0921	65,981	669,9974	604,0164
27	601,4590	68,6785	670,0069	601,3284
26	598,8260	71,3214	670,0159	598,6945
25	596,1930	73,9552	670,0159	596,0607
24	593,5599	76,5895	670,0158	593,4263
23	590,9269	79,2243	670,0157	590,7914
22	588,2938	81,8547	670,0166	588,1619
21	585,6608	84,4815	670,0172	585,5357
20	583,0278	87,1022	670,0183	582,9161
19	580,3947	89,6649	670,0296	580,3647
18	577,7617	92,1895	670,0350	577,8455
17	575,1286	94,7440	670,0280	575,2840
16	572,4956	97,3293	670,0232	572,6939
15	569,8626	99,9480	670,0175	570,0695
14	567,2295	102,6563	670,0007	567,3444
13	564,5965	105,4223	669,9945	564,5722
12	561,9634	108,1146	670,0065	561,8919
11	559,3304	110,1872	670,1300	559,9428
10	556,6974	112,4115	670,0750	557,6635
9	554,0643	115,4395	669,9252	554,4857
8	551,4313	118,4137	669,9660	551,5523
7	548,7982	121,2042	669,9946	548,7904
6	546,1652	123,8825	670,0113	546,1288
5	543,5322	126,5204	670,0160	543,4956
4	540,8991	128,9813	670,0504	541,0691
3	538,2661	131,4965	670,0327	538,5362
2	535,6330	134,2578	669,9870	535,7292
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

100. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu:

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	9,2689	670,6728	661,4039
57	680,4502	10,9650	670,3226	659,3576
56	677,8172	11,6934	670,5788	658,8854
55	675,1842	11,1335	670,7773	659,6438
54	672,5511	10,4026	670,7619	660,3593
53	669,9181	10,0233	670,6831	660,6598
52	667,2850	9,8555	670,6440	660,7885
51	664,6520	9,7517	670,6260	660,8743
50	662,0190	9,5351	670,6384	661,1033
49	659,3859	8,4159	670,8070	662,3911
48	656,7529	6,1289	670,9656	664,8367
47	654,1198	4,3664	670,8215	666,4551
46	651,4868	4,2833	670,4664	666,1831
45	648,8538	4,6614	670,4010	665,7396
44	646,2207	3,1902	670,7757	667,5855
43	643,5877	1,7691	670,6854	668,9163
42	640,9546	8,1345	669,1434	661,0089
41	638,3216	22,2001	667,9118	645,7117
40	635,6886	32,8235	668,8465	636,0230
39	633,0555	37,0627	669,9364	632,8737
38	630,4225	39,7342	670,0320	630,2978
37	627,7894	42,0201	670,0900	628,0699
36	625,1564	44,4179	670,0560	625,6381
35	622,5234	47,2596	669,9740	622,7144
34	619,8903	49,7940	670,0519	620,2579
33	617,2573	52,0360	670,0948	618,0588
32	614,6242	54,7571	669,9904	615,2333
31	611,9912	57,8083	669,9453	612,1370
30	609,3582	60,6374	669,9987	609,3613
29	606,7251	63,3053	670,0203	606,7150
28	604,0921	66,0107	670,0084	603,9977
27	601,4590	68,7282	670,0084	601,2802
26	598,8260	71,3995	670,0176	598,6181
25	596,1930	74,0378	670,0224	595,9846
24	593,5599	76,6716	670,0224	593,3508
23	590,9269	79,3057	670,0223	590,7166
22	588,2938	81,9372	670,0228	588,0856
21	585,6608	84,5666	670,0231	585,4565
20	583,0278	87,1805	670,0262	582,8457
19	580,3947	89,7365	670,0371	580,3006
18	577,7617	92,2510	670,0433	577,7923
17	575,1286	94,7917	670,0368	575,2451
16	572,4956	97,3746	670,0296	572,6550
15	569,8626	99,9795	670,0267	570,0472
14	567,2295	102,6628	670,0116	567,3488
13	564,5965	105,4300	669,9978	564,5678
12	561,9634	108,1712	670,0058	561,8346
11	559,3304	110,3265	670,1214	559,7949
10	556,6974	112,4144	670,1117	557,6973
9	554,0643	115,2687	669,9604	554,6917
8	551,4313	118,3216	669,9509	551,6293
7	548,7982	121,1931	669,9891	548,7960
6	546,1652	123,9192	670,0105	546,0913
5	543,5322	126,5760	670,0201	543,4441
4	540,8991	129,0508	670,0546	541,0038
3	538,2661	131,5205	670,0487	538,5282
2	535,6330	134,2334	670,0013	535,7679
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000

100. Yıl Sonunda, Meyer - Peter ve Müller Metodu' na Göre Rezervuarın Durumu
(memba yönünde Keban Barajı' nın bulunmadığı hal için):

Çıkış Su Kotu: 670 m.

Başlangıç Taban Eğimi: 0.00092

Başlangıç Taban Sıfır Seviyesi: 533 m.

Kanal Genişliği = değişken (125 - 5500 m.)

Düğüm Noktası	Başlangıç Taban Kotu:	Son Derinlik:	Su Yüzey Kotu:	Son Taban Kotu:
58	683,0833	2,3124	682,0879	679,7755
57	680,4502	2,2419	680,1142	677,8723
56	677,8172	2,1740	678,7883	676,6143
55	675,1842	2,2047	677,0054	674,8007
54	672,5511	2,0919	675,4878	673,3959
53	669,9181	2,3013	673,5577	671,2564
52	667,2850	2,0931	672,3796	670,2865
51	664,6520	3,2209	670,8005	667,5796
50	662,0190	3,4386	670,8891	667,4505
49	659,3859	3,3315	670,6952	667,3637
48	656,7529	3,3130	670,5810	667,2680
47	654,1198	3,3028	670,4811	667,1783
46	651,4868	5,5135	669,9983	664,4848
45	648,8538	18,4944	667,9375	649,4431
44	646,2207	23,6586	669,9130	646,2544
43	643,5877	26,3876	670,0049	643,6173
42	640,9546	29,0176	670,0063	640,9887
41	638,3216	31,6489	670,0058	638,3569
40	635,6886	34,2856	670,0048	635,7192
39	633,0555	36,9246	670,0045	633,0799
38	630,4225	39,5593	670,0055	630,4462
37	627,7894	41,5784	670,1190	628,5406
36	625,1564	44,0812	670,0064	625,9252
35	622,5234	47,3300	669,8823	622,5523
34	619,8903	49,5344	670,1160	620,5816
33	617,2573	51,5716	670,1027	618,5311
32	614,6242	54,6676	669,8936	615,2260
31	611,9912	57,9014	669,9078	612,0064
30	609,3582	60,6299	670,0061	609,3762
29	606,7251	63,2576	670,0065	606,7489
28	604,0921	65,8821	670,0071	604,1250
27	601,4590	68,5076	670,0068	601,4992
26	598,8260	71,1414	670,0052	598,8638
25	596,1930	73,7772	670,0051	596,2279
24	593,5599	76,4140	670,0049	593,5909
23	590,9269	79,0529	670,0046	590,9517
22	588,2938	81,6773	670,0075	588,3302
21	585,6608	84,2903	670,0092	585,7189
20	583,0278	86,8832	670,0129	583,1297
19	580,3947	89,3635	670,0341	580,6706
18	577,7617	91,8576	670,0283	578,1707
17	575,1286	94,4679	670,0056	575,5377
16	572,4956	97,0101	670,0056	572,9955
15	569,8626	99,7495	670,0025	570,2530
14	567,2295	102,5560	669,9715	567,4155
13	564,5965	105,3779	669,9746	564,5967
12	561,9634	108,0420	670,0056	561,9636
11	559,3304	109,4521	670,2502	560,7981
10	556,6974	111,8127	670,0112	558,1985
9	554,0643	115,6352	669,7666	554,1314
8	551,4313	118,5072	670,0056	551,4984
7	548,7982	121,1403	670,0056	548,8653
6	546,1652	123,7734	670,0056	546,2322
5	543,5322	126,4064	670,0056	543,5992
4	540,8991	128,6768	670,0781	541,4013
3	538,2661	131,2374	670,0056	538,7682
2	535,6330	134,2609	669,9275	535,6666
1	533,0000	137,0000	670,0000	533,0000