İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

REZERVUARLARDA SEDİMENT BİRİKİMİ, TEMİZLEME/YIKAMA YÖNTEM VE KOŞULLARI.

BİR ÖRNEK UYGULAMA: GÜLLÜBAĞ BARAJI SEDİMENT YIKAMA SAVAĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selin ŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

REZERVUARLARDA SEDİMENT BİRİKİMİ, TEMİZLEME/YIKAMA YÖNTEM VE KOŞULLARI.

BİR ÖRNEK UYGULAMA: GÜLLÜBAĞ BARAJI SEDİMENT YIKAMA SAVAĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selin ŞAHİN
(501101520)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlhan AVCI

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101520 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Selin ŞAHİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"REZERVUARLARDA SEDİMENT BİRİKİMİ, TEMİZLEME/YIKAMA YÖNTEM VE KOŞULLARI "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İlhan AVCI .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şevket ÇOKGÖR** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Emre N. OTAY .....
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **28 Ocak 2013**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans derslerime başladığım günden itibaren çalışmak istediğim konunun barajlar olduğunu anlamam ve bu konuda bilgisine ve deneyimlerine güvendiğim sevgili tez danışmanım Prof.Dr. İlhan Avcı'nın kapısını çalmam uzun sürmedi. Tüm yoğunluğuna rağmen benimle çalışmayı kabul ettiği için ve barajların en büyük sorunlarından biri olan sediment birikimi ve yıkanması konusunda çalışmam gerektiği doğrultusunda beni yönlendirdiği için kendisine minnettarım.

Gerek tezimin ana konusunu oluşturan deneysel çalışmalar esnasında gerekse bu konu hakkında yaptığım literatür çalışmalar sırasında ve tezimi yazma sürecinde teorik ve pratik deneyimlerini benimle paylaşan sevgili danışmanım Prof.Dr. İlhan Avcı'ya teşekkürlerimi sunuyorum..

İTÜ'ye geldiğim günden itibaren aldığım dersleri geçmemde ve tez dönemimdeki deneysel çalışmalarım esnasında maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen inşaat yüksek mühendisi sevgili arkadaşlarım Yasin Abdollahzadeh, Farrokh Mahnamfar ve inşaat mühendisi Gökhan Sevinç'e çok teşekkür ederim.

Ve tabiki lisans eğitimimin ardından uzmanlaşmam konusunda beni yönlendirip yüksek lisans eğitimime başlamam için cesaretlendiren ve bu dönemde her türlü desteğiyle yanımda olan sevgili ailem çok teşekkürler.

Aralık 2012

Selin Şahin

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR ix
ÇİZELGE LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xiii
SEMBOL LİSTESİ xv
ÖZET xvii
SUMMARY xix
1. GİRİŞ VE İNCELENECEK KONUNUN TANITILMASI 1
2. SEDİMENT (KATI MADDE) VE AKARSULARDA SEDİMENT TAŞINIMI 3
2.1 Sediment (Katı Madde) Kavramı Ve Temel Özellikleri 3
2.1.1 Sedimentin tane büyüklüğü 4
2.1.2 Sedimentin tane biçimi 5
2.1.3 Sedimentin yoğunluğu ve porozitesi 5
2.1.4 Sedimentin çökelme hızı 6
2.1.5 Sedimentin granülometrisi 7
2.2 Akarsularda Sediment Hareketi 8
2.2.1 Sediment hareket mekaniği 8
2.2.2 Akarsuların taşıdığı sedimentlerin sınıflandırılması 9
2.2.2.1 Malzeme kaynağına göre sınıflandırma 9
2.2.2.2 Akarsu taşınma şekline göre sınıflandırma 10
2.2.3 Akarsu Yataklarının sediment hareketine göre sınıflandırılması 11
2.2.3.1 Dengedeki akarsu yatağı 11
2.2.3.2 Yığılma ve alüvyon bölgesi 11
2.2.3.3 Erozyon bölgesi 11
2.2.3.3 Latent erozyon bölgesi 12
2.2.4 Akarsu yatağında sediment hareketinin başlaması 12
2.2.4.1 Yatakta bulunan sedimente etkiyen kuvvetler 12
2.2.4.2 Kritik yatak kayma gerilmesi 14
2.2.4.3 Kritik hız 15
3.REZERVUARLARIN YAPILIŞ AMAÇLARI, PLANLAMA VE TASARIM ESASLARI 17
3.1 Rezervuar Kavramı 17
3.2 Rezervuar Yapılış Amaçları 18
3.3 Baraj Rezervuarının Bölümleri 18
3.4 Rezervuar Ölü Hacminin Belirlenmesi 20
4. REZERVUARLARIN DEPOLAMA (AKTİF HACİM) KAPASİTELERİNİ KORUMA YÖNTEMLERİ 21
4.1 Rezervuara Sediment Girişini Azaltma Yöntemleri 21
4.2 Rezervuara Giren veya Biriken/Çökelen Sedimentin Uzaklaştırılması 22
4.2.1 Yıkama yöntemleri ve uygulamaları 22
4.2.1.1 Basınçlı yıkama yöntemi 23
4.2.1.2 Rezervuar su seviyesini alçaltarak yıkama 24
4.2.1.3 Boşaltma ve yıkama yöntemi 25
4.2.1.4 Yoğunluk akımlarının yıkanması 25
4.2.1.5 Yıkama yöntemlerinin etkinliği ve kriterleri 25

4.2.1.6 İşletme Koşulları 26
5.BARAJLARDA BULUNAN DOLU SAVAKLAR VE DİP SAVAKLARININ (SEDİMENT SAVAKLARI) YAPILIŞ AMAÇLARI; PLANLAMA VE TASARIM ESASLARI 27
5.1 Dolu Savaklar 27
5.1.1 Dolu savak elemanları 28
5.1.2 Serbest akışlı dolu savakların hidrolik hesabı 29
5.2 Dip Savaklar (sediment savağı) 30
5.2.1 Dip savak elemanları 31
5.3 Dip Savakların Sediment Yıkama Savağı Olarak Tasarımı 31
5.3.1 Tasarım esasları 31
5.3.2 Dipsavak boyutlarının yıkanma alanına (konisine) etkisi 32
5.3.3 Dip Savak (Sediment Savağı) İşletme koşullarının Yıkama Verimliliğine Etkisi 34
6. BİR ÖRNEK DENEYSEL UYGULAMA: GÜLLÜBAĞ BARAJI DOLU/SEDİMENT SAVAK YAPISI VE İŞLETME KOŞULLARININ SEDİMENT YIKAMA VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ 37
6.1 Projenin Tanımı Ve Model Deneylerinin Amacı 37
6.2 Mevcut Model ve Sistem Elemanları 38
6.3 Mevcut Dip Savağın İşletme Koşullarının Yıkama Verimliliğine Etkisinin Araştırılmasına YönelikYapılan Model Deneyleri 39
6.3.1 Dip savak proje debisinin belirlenmesi 39
6.3.2 Güllübağ Barajı modeli üzerinde daha önce yapılan model deneyleri 40
6.3.3 Ayırma perdeli ve perdesiz dip savak hali için optimal işletme koşullarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan ‘’Deney Programı’’ 42
6.3.4 Deney programına göre yapılan deneyler 46
6.3.5 Deney sonuçlarının değerlendirilmesi 60
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 65
KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 71

KISALTMALAR

AGM : Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü
AGNPS : Agricultural NonPoint Source Pollution Model
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
DSİ : Devlet Su İşleri
EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GPS : Global Pozisyonlama Sistemi
HES : Hidroelektrik Santral
İTÜ : İstanbul Teknik Üniversitesi
ICOLD : International Commission on Large Dams
NSS : Normal Su Seviyesi
SGİ : Sediment Gözlem İstasyonları
SSB : Silindirle Sıkıştırılmış Beton
USBR : United States Bureau of Reclamation
USLE : Universal Soil Loss Equation
WEPP : The Water Erosion Prediction Project

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tanelerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması 4
Çizelge 2.2 : Sediment yığınlarının porozitelerinin değişim bölgeleri (Bayazıt ve Avcı, 2010) 6
Çizelge 3.1 – Ülkemizdeki rezervuarların büyüklüklerine göre sınıflandırılması.....17
Çizelge 6.1: Ayırma perdeli ve perdesiz dip savak hali için optimal işletme koşullarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan ‘’Deney Programı’’. 45
Çizelge 6.2 : Su yüksekliği ile değişen ayırma perdeli ve ayırma perdesiz yıkanmış. alanlar 62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tane yuvarlaklığı sınıflaması. 5
Şekil 2.2: Granülometri eğrisine bir örnek (Bayazıt ve Avcı, 2010).....8
Şekil 2.3: Sediment tanelerinin akarsularda taşınım şekilleri (Graf, 1998). 10
Şekil 2.4: Yatak yüzeyindeki bir taneye etkileyen kuvvetler (Bayazıt ve Avcı, 2010). 13
Şekil 3.1 Çok amaçlı bir rezervuarda depolama bölümleri.....19
Şekil 4.1 : a) Su seviyesi düşürülmeden malzemenin yıkama etkisiyle temizlenmesi. 23
Şekil 4.1 : b) Su seviyesi düşürülerek malzemenin yıkama etkisiyle temizlenmesi.....23
Şekil 4.2 : Yıkanan alanın plan ve boykesitte görünüşü (Meshkati Shahmirzadi ve diğ., 2010). 24
Şekil 5.1 : Tipik dolu savak kesiti ve elemanları. 28
Şekil 5.2 : Dipsavak çevresinde, yıkanma sonrası oluşan yarım koni şeklindeki bölge (Meshkati Shahmirzadi ve diğ., 2010). 33
Şekil 6.1 : Güllübağ Barajı membadan görünüşü (Avcı ve diğ., 2009). 38
Şekil 6.2 : Güllübağ Barajı kesin projesi, dipsavak (sediment savağı) boy kesiti (Avcı ve diğ., 2009)…….38
Şekil 6.3 : Güllübağ Barajı fiziksel/hidrolik modeli mansaptan görünüşü 39
Şekil 6.4 : Dipsavak giriş ağzı seviyesinin 2 m altındaki (1108 m kotu) derinlikten geçen düzlemdeki hız alanı (baraj gölü maks.işletme seviyesinde, dipsavak ve enerji tünel kapakları tam açık) (hızlar cm/s) (Avcı ve diğ., 2009).. 41
Şekil 6.5 : Dipsavak girişinde 1118 m kotundaki yaklaşım hızı dağılımı (baraj gölü maks. işletme seviyesinde, dipsavak ve enerji tünel kapakları tam açık) (hızlar cm/s) (Avcı ve diğ., 2009).. 42
Şekil 6.6: Güllübağ barajı modeli dip savak girişine konulan ‘’ayırma perdesi’’nin yeri ve konumu (Menbadan görünüş) 43
Şekil 6.7 : Güllübağ barajı modeli dip savak girişine konulan ‘’ayırma perdesi’’nin yeri ve konumu (Menbadan görünüş)
. 43
Şekil 6.8 : Güllübağ Barajı kesin projesi, dolusavak boy kesiti ve detayı (Avcı ve diğ., 2009). 44
Şekil 6.9 : Güllübağ Barajı modeli dolu savak sol sahilden görünüşü 44
Şekil 6.10 : Deney öncesi polisteren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş ayırma perdesiz model 46
Şekil 6.11 : Yıkanmış sediment alanı 47
Şekil 6.12 : a) Şerit yardımıyla işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı 47
Şekil 6.12 : b) : Asetat kağıdı kullanılarak ölçeklendirilen yıkanmış sediment alanı.....48
Şekil 6.13 : Deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model 49
Şekil 6.14 : a) Şerit yardımıyla işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı. 49
Şekil 6.14 : b) Asetat kağıdı kullanılarak ölçeklendirilen yıkanmış sediment alanı.....50
Şekil 6.15 : Deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model 50
Şekil 6.16 : a) Yıkanmış sediment alanı 51
Şekil 6.16 : b) Asetat kağıdı, şerit ve kireç kullanılarak işaretlenen yıkanmış sediment alanıl.....51
Şekil 6.17 : Deney öncesi polisteren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model.....52
Şekil 6.18 : a) Yıkanmış sediment alanı 53

Şekil 6.18 : b)Asetat kağıdı, şerit ve kireç kullanılarak görüntülenen yıkanmış sediment alanı 53
Şekil 6.19 : Ayırma perdesi monte edilerek deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model 54
Şekil 6.20 : a) Şerit yardımıyla işaretlenen yıkanmış sediment alanı 55
Şekil 6.20 : b) Şerit ve kireç kullanılarak işaretlenen yıkanmış sediment alanı 55
Şekil 6.21 : Ayırma perdesi monte edilerek deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model 56
Şekil 6.22 : a) Yıkanmış sediment alanı 57
Şekil 6.22 : b) Asetat kağıdı, şerit ve kireç kullanılarak işaretlenen yıkanmış sediment alanı…… 57
Şekil 6.23 : Ayırma perdesi monte edilerek deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model 58
Şekil 6.24 : a) Şerit kullanılarak işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı. 59
Şekil 6.24 : b) Şerit ve kireç kullanılarak işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı 59
Şekil 6.25 : Ayırma perdeli dip savakta yıkanmış sediment alanı 60
Şekil 6.26 : Güllübağ barajı minimum su seviyesi için ayırma perdesiz bir dip savak (sediment savağı) işletmesinin yıkama etki alanı 61
Şekil 6.27 : Güllübağ barajı minimum su seviyesi için ayırma perdeli bir dip savak (sediment savağı) işletmesinin yıkama etki alanı 61
Şekil 6.28 : Sediment yıkama konisi yüksekliği. 62
Şekil 6.29 : Dip savak girişindeki akım derinliği 62
Şekil 6.30 : Su yüksekliği ile değişen, ayırma perdeli ve ayırma perdesiz yıkanmış alanların grafik olarak karşılaştırılması 63

SEMBOL LİSTESİ

A : Tanenin akıma dik izdüşümünün alanı
A_b : Baraj alanı
$A_{çıkış}$: Dipsavağın kesit alanı
A_h : Havza alanı
B : Akarsu kesit genişliği
B_r : Rezervuarın genişliği
c : Akarsuda askı maddesinin konsantrasyonu
c_a : Askı maddesi referans konsantrasyon
C_D : Direnç katsayısı (drag coefficient)
C_L : Kaldırma katsayısı
D : Katı tane çapı
D_n : Nominal çap
g : Yer çekimi ivmesi
F_D : Hidrodinamik sürükleme kuvveti
F_L : Hidrodinamik kaldırma kuvveti
F_{r*} : Tane froude sayısı
G : Sediment verimi
G' : Tanenin su altındaki ağırlığı
h : Akım derinliği
h_b : Baraj yüksekliği
H_P : Yoğunluk akımının dalma derinliği
H_s : Dipsavağın ekseninden itibaren birikmiş sedimentin yüksekliği
H_w : Dipsavağın ekseninden itibaren barajdaki su yüksekliği
L : Rezervuar uzunluğu
$L_{yıkanma}$: Yıkanma konisinin uzaklığı
Q : Akarsu debisi
Q_a : Rezervuara yıllık akım girişi
$Q_ç$: Taşkın zamanı rezervuardan mansaba bırakılan akımın debisi
Q_g : Rezervuara giren taşkın debisi
Q_s : Tahmini günlük süspanse sediment miktarı
$Q_{sç}$: Yoğunluk akımı ile mansaba bırakılan sediment miktarı
Q_{sg} : Yoğunluk akımı ile rezervuara giren sediment miktarı
Q_T : Toplam sediment (yıkanma ve yatak malzemesi) debisi
q_B : Akarsuyun birim genişliğinden birim zamanda geçen sürüntü malzemesi ağırlığı
q_s : Askı maddesi debisi
R : Akımın hidrolik yarıçapı
R^2 : Belirlilik (determination) katsayısı
R_{e*} : Tane reynolds sayısı
S : Enerji çizgisi eğimi
t : Süre (yıl)
A : Tanenin akıma dik izdüşümünün alanı
t_E : Tuzaklama verimliliği (%)

u : Tanenin yakınında akım hızı
u_* : Yatak kayma gerilmesi hızı
u_{*c} : Taneyi harekete geçirecek kritik yatak kayma gerilmesi hızı
u', v' : Çalkantılı akımın x ve y yönlerinde hız bileşenleri
$U_{\text{çıkış}}$: Dipsavak girişinde akımın hızı
V : Akımın ortalama hızı
V_c : Taneyi harekete geçirecek kritik akım hızı
V_k : Haznede yığılan sediment hacmi
$V_{yıkanma}$: Yıkanma konisinin hacmi
V_r : Rezervuar hacmi
W : Katı tane çökelme hızı
$W_{yıkanma}$: Yıkanma konisinin genişliği
γ : Suyun özgül ağırlığı
γ_s : Katı tanenin özgül ağırlığı
γ_{s*} : Tanenin su altındaki yoğunluğunun boyutsuz ifadesi
υ : Suyun kinematik viskozitesi
ρ : Suyun özgül kütlesi
ρ_s : Katı tane özgül kütlesi
τ_o : Yatak/Taban kayma gerilmesi
τ_c : Kritik yatak kayma gerilmesi
θ : Shields sayısı (hareketlilik sayısı)
θ_c : Shields sayısının kritik değeri
α : Tuzaklama oranı
σ_g : Katı tane çapı dağılımının standart sapması
^oC : Santigrat derece

REZERVUARLARDA SEDİMENT BİRİKİMİ, TEMİZLEME/YIKAMA YÖNTEM VE KOŞULLARI

BİR ÖRNEK UYGULAMA: GÜLLÜBAĞ BARAJI SEDİMENT YIKAMA SAVAĞI

ÖZET

Baraj inşasında dünya üçüncüsü olan ülkemizde, 2005 yılı itibariyle rezervuar yüzey alanı yaklaşık 415 bin hektara ulaşmış olup, plânlananların tamamı inşa edildiğinde ve diğer kuruluşlarca inşa edilenler de göz önüne alındığında yaklaşık 860 bin hektarlık bir yapay iç su potansiyelinin ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir.

Barajların yapımından sonra, nehrin mansabındaki kesimde morfolojik, hidrolojik ve katı madde taşınım miktarı özelliklerinde bazı değişimlere neden olduğu bilinmektedir.

Bütün akarsularda az veya çok askı maddesi ve sürüntü maddesi şeklinde katı maddeler taşınır. Taşınan maddelerin bir kısmı baraj gölünde yığılarak baraj haznesinin giderek azalmasına sebep olur. Planlama ve tasarım sırasında baraj haznesinde onun ekonomik ömrü içinde yığılabilecek katı madde miktarının oluşturacağı ölü hacim belirlenir. Bu ölü hacmin belirlenmesi için taşınan ve yığılan katı maddelerin özgül ağırlığı, haznenin bulunduğu akarsu kesitine gelen katı madde miktarı, haznenin tuzaklama oranı ve haznenin ekonomik ömrü bilinmesi gerekir.

Bu tez kapsamında rezervuarların ekonomik ömrünü azaltan sediment birikimi problemi ve özellikle de bu problemin çözüm yöntemlerinden olan yıkama yöntemi üzerinde durulmuştur.

Tüm bu deneyler sonucunda su seviyesinin baraj yüksekliğinin yaklaşık yarısından az olduğu ve dip savaklarda ayırma perdesinin kullanıldığı durumlarda yıkama alanını menbaya doğru genişlediği görülmüştür. Barajdaki su seviyesinin minimum düzeyde ve havzadan baraja gelen akımın da maksimum olduğu durumlarda ayırma perdeli dip savaklar yardımıyla yapılacak yıkama işleminde bu yıkma verimliliği çok daha artacaktır.

RESERVOIRS SEDIMENT DEPOSITION, CLEANING / WASHING METHOD AND CONDITIONS

A CASE STUDY: GÜLLÜBAĞ DAM SEDIMENT DRAIN CLEANING

SUMMARY

In our country ranking the third in dam construction, reservoir surface area has reached about 415 thousands hectares as of 2005, if all of the planned dams were constructed we would face an inland water potential of approximately 860 thousands hectares with other reservoirs constructed by other institutions.

After the construction of dams in the river downstream areas, morphological, hydrological and sediment transport is known to cause changes in the amount of some of the properties.

All streams in the form of more or less solids suspension agent and swab material is moved. Some of the substances carried in the dam reservoir dam's going to cause a reduction in stockpiled. During the planning and design of the dam reservoir in its economic life will create dead volume is determined by the amount of solid matter.This determination of the dead volume of solid materials transported to and stacked specific weight of the stream cross-section of the chamber containing the solid matter, the container trapping rate and the economic life of the reservoir must be known.

In this thesis, the problem of the accumulation of sediment in reservoirs, which reduces economic life and, in particular washing method, which focuses on the methods of solution of this problem.

Chapter 2 the concept of sediment in rivers and reservoirs, sediment transport is the general problem are discussed.

A better understanding of how they affect the accumulation of sediment reservoirs in Chapter 3 for the reservoir and parts of the concept are described.

Storage capacity of reservoirs that are part of this thesis is based on Chapter 4 of the protection methods of washing methods are mentioned.

This thesis is the result of experimental work basically. This model has been used in experimental studies of a dam. For better understanding of these experiments conducted in Chapter 5, which parts of the dam and the spillway structures, which are of great importance during experiments and dip through spillway mentioned. In addition, to determine the effects of these dimensions into the wash cabinet.

Section 6 and the results of investigations to better understand and to determine the optimal conditions Gullubag dam was built on the model of the laboratory experiments were carried out. During these experiments the water level, the tunnel opening later in the model as well as the bottom outlet (washing sediment cover) Let

them wash area and washing-mounted curtain of separation efficiency were investigated.

Finally, in section 7, and in all these studies the optimal conditions obtained from the results of studies and experimental studies are discussed.

Increasing the flow rate to ensure the transport of sediment in the reservoir wash washing method is called. Many techniques have been developed in relation to accumulated sediment by washing reservoir. There are many opinions about the efficacy of cleaning methods.

Researchers in this area Breusers and others (1982), in general, contended that there was a very effective hydraulic washing methods. The reason for this, the large flow rates even when washing the material only by mobilizing the region near the bottom sluice shown washing. However, lowering of the water level in the reservoir and the washing process is also known that most of the time given successful results.

Intensive planning stage, sediment deposition in reservoirs is expected, taking into account the analysis of the project is essential to the effectiveness of washing.

Washes the efficiency of the reservoir of natural conditions (climate, topography, etc.), project criteria and are affected by the operation of the reservoir. Due to the highly variable natural conditions, while others can be implemented according to the needs identified. For example, a reservoir is determined by the dimensions of the topography of the region. But the bottom outlet size can be changed according to the needs sizes.

The most favorable condition for the initiation of the wash cycle, before the flood discharge accumulated unconsolidated material where the water level is too low or empty condition of a reservoir. Closing the bottom outlet in order to prevent the entry of solid waste into a reservoir, the reservoir to a cleaning prior to filling is required for this purpose.

The washing process is more effective than narrow valley-type reservoirs (larger reservoirs, flood deposits accumulated material wasn't washed).

The observations made by the researchers, the water level in the reservoir is approximately less than half the height of the dam and reservoir, which is the flow rate of at least twice the average flow rate in the event showed that it is possible to wash effectively.

Gullubag Dam Sediment Drain Cleaning

Gullubag 84 MW of installed capacity of the dam is 105 m gross head is planned with a total annual production of 284.50 GWh. The total volume of the reservoir of the dam is 20.75 hm^3, 11.33 hm^3 active volume (Sucu and Dinç, 2008).

Gullubag immediately upstream of the dam axis on the left bank slope is very steep, is located in a side stream. This stream basin and its base material directly from the erosion of the dam is in an area close to the intake of sediment and water flumes.

These two sediment supply, due to delays in the construction of the dam Ispir and Laleli dam upstream catchment dam in a short time, such as 11 years in the future and the active volume of the sediment load of the retirement of concern is understood that much more important.

Erosion of the surface and the base material of the future dam hydraulic basin, upstream of the dam reservoir, coarse material, the right to dam axis will leave a thin swab and suspended material.

Located close to the steep coastal slopes of the dam axis with the side stream coming directly from the mass slope debris, sediment / bottom outlet and the water accumulated in front of the intake, water intake tunnel from the mouth of energy may create a risk of introduction of sediment. For this reason, sediment flumes, has a special importance in the project (Avcı and others, 2009).

This is likely to accumulate in the sediment away from the dam to the mouth of the water intake, ITU On a physical model of the Faculty of Civil Engineering Hydraulics Lab Avcı and Others (2009) carried out by the various model experiments.

This kind of physics and mechanics in accordance with the accumulation of sediment in reservoirs, upstream / streamflow from the very large grains of sediment upstream (inlet cross-section of the reservoir) are piling up against the body of the dam from here deposited / accumulated sediment will continue to get smaller diameters gradually.

Flow cross-section (depth and width), good growth and diminished flow velocities in regions close to the body of the dam from the suspended silt (or fine sand) character as a result of precipitation of particles of mud nature of the base in time, a sediment deposition occurs.

This material is too thin to enter through the mouth watering, there is no harm to go to the plant, but will create over time due to the decrease in the volume of active water reservoir is considered to be a negative (Avcı and others, 2009).

Given the current height of 100 m level drop Gullubag hydroelectric plant, sprinklers, and from there into the tunnel mouth power plant / turbine must not fall particles larger than 0.5 ~ 0.6 mm.

Based on this criterion, Avcı and Others (2009) by the upstream dam face Gullubag in the long term (sprinklers in front of the mouth) to come up here, which accumulate in the sediment flumes planned with the help of particles larger than 0.6 mm for the determination of washed in nature, diameter 2.5 per mm, corresponding to the quartz grains, experiments were carried out using the specific gravity of the material of polystyrene with 1.04 g/cm^3.

Polisteren approximately 1 m^3, using the correct 2 m distance downstream from the dam due to upstream and sediment flumes cross-section of the tunnel entrance is filled to a level between the floor level.

After filling and leveling of the two different water levels and operating conditions on the efficiency of washing the sediment sluice domain and experiments were carried out.

As a result of all these experiments is less than half of the height of the water level and the bottom of the dam spillways veil of separation when used in the correct fount washing area has been expanded. Minimum level of the water level in the dam and the dam basin where the maximum separation pitched the bottom of the stream with the help of weirs that destroy the efficiency of the washing process will be increase.

1. GİRİŞ VE İNCELENECEK KONUNUN TANITILMASI

Baraj, su biriktirmek amacı ile hazne oluşturmak üzere bir akarsu vadisini kapatarak akışı engelleyen yapıdır. Barajın su biriktirme yanında, su seviyesi yükseltme ve geniş su yüzeyi meydana getirme gibi iki önemli fonksiyonu daha vardır. Dünyada ilk barajın M.Ö. 4000 yıllarında Nil nehri üzerinde inşa edildiği tahmin edilmektedir. Uzunluğu 110 m ve yüksekliği 12 m olan bu baraj sulama ve içme su ihtiyacı için kullanılmıştır.

Bazı hidrolik faktörlerin değişmesi sonucunda, alüvyal nehirlerin tabanında ve yan şevlerinde veya bir başka deyişle nehrin konumu ve kesitlerinde değişimler meydana gelir. Bu değişimler doğal olarak veya insani etkilerle; ani, yavaş ve uzun vadede olabilir. Nehrin herhangi bir noktasında yapılan yersel bir müdahale o noktanın hem memba hem de mansabında etkiler meydana getirecektir.

Barajların yapımından sonra, nehrin mansabındaki kesimde morfolojik, hidrolojik ve katı madde taşınım miktarı özelliklerinde bazı değişimlere neden olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı herhang bir su kaynakları planlama ve geliştirme projesi veya nehir ıslah ve düzenleme projelerinin uygulaması esnasında; bölgenin iklim şartları, jeolojik etkenler (zemin, toprak sınıfı gibi), hidrolojik etkenler, geometrik karakteristikler, hidrolik karakteristikler, ekolojik ve biyolojik yapı, politik ve ekonomik kısıtlar gibi faktörlerin olası etkilerinin anlaşılıp iyice değerlendirilmesi gerekir.

Bütün akarsularda az veya çok askı maddesi ve sürüntü maddesi şeklinde katı maddeler taşınır. Taşınan maddelerin bir kısmı baraj gölünde yığılarak baraj haznesinin giderek azalmasına sebep olur. Planlama ve tasarım sırasında baraj haznesinde onun ekonomik ömrü içinde yığılabilecek katı madde miktarının oluşturacağı ölü hacim belirlenir. Bu ölü hacmin belirlenmesi için taşınan ve yığılan katı maddelerin özgül ağırlığı, haznenin bulunduğu akarsu kesitine gelen

katı madde miktarı, haznenin tuzaklama oranı ve haznenin ekonomik ömrü bilinmesi gerekir.Bu tez kapsamında rezervuarların ekonomik ömrünü azaltan sediment birikimi problemi ve özellikle de bu problemin çözüm yöntemlerinden olan yıkama yöntemi üzerinde durulmuştur.

Bölüm 2'de sediment kavramından ve rezervuarların genel problemi olan akarsularda sediment taşınımından bahsedilmiştir.

Bölüm 3'de sediment birikiminin rezervuarları nasıl etkilediğinin daha iyi anlaşılabilmesi için rezervuar kavramından ve bölümlerinden bahsedilmiştir.

Bölüm 4'de bu tezin esas bölümünü oluşturan rezervuarların depolama kapasitelerini koruma yöntemlerinden olan yıkama yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Bu tez temelde deneysel çalışmalar sonucunda hazırlanmıştır. Bu deneysel çalışmalarda bir baraj modeli kullanılmıştır. Yapılan bu deneylerin daha iyi anlaşılabilmesi için bölüm 5'de baraj bölümlerinden olan ve deneyler esnasında büyük önem teşkil eden yapılar olan dolu savak ve dip savaktan bahsedilmiştir. Ayrıca bunların boyutlarının yıkama alanına olan etkileri araştırılmıştır.

Bölüm 6'da yapılan incelemelerin ve sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi ve optimal koşulların belirlenebilmesi için laboratuarda inşa edilen Güllübağ barajı modeli üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler esnasında hem su seviyesi, hem tünel açıklığı hem de daha sonradan modeldeki dip savak (sediment yıkama kapağı) girşine monte edilen ayırma perdesinin yıkama alanına ve yıkama verimine olan etkileri incelenmiştir.

Son olarak bölüm 7'de de yapılan tüm bu araştırmalar ve çalışmaların sonuçlarından ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen optimal koşullardan bahsedilmiştir.

Barajdaki su seviyesinin minimum düzeyde ve havzadan baraja gelen akımın da maksimum olduğu, ayırma perdeli durumun optimal koşul olduğu tesbit edilmiştir.

2. SEDİMENT (KATI MADDE) KAVRAMI VE AKARSULARDA SEDİMENT TAŞINIMI

2.1 Sediment (Katı Madde) Kavramı ve Temel Özellikleri

Oluştuğu yerden çökeldiği yere kadar su tarafından taşınan katı maddelere **sediment** denir. Su yataklarındaki sediment suda asılı halde veya tabanda sürüntü malzemesi olarak taşınan alüvyon malzemeleri kapsamaktadır.

Taşınma olaylarından sonra tanelerin hızının azalması veya tamamen taşınamaz hale gelmesiyle bulundukları yerlerde depolanırlar veya çökelirler. İşte taşınan sedimentlerin üst üste yığılması veya depolanması olayına **çökelme** veya **sedimentasyon** denilir.

Akarsularda çakıl, kum, silt, kil gibi sediment tanelerinden oluşan bir yatak üzerindeki su akımı yataktaki taneleri harekete geçirebilir. Sökülüp taşınan sediment miktarı akım ve sediment özelliklerine bağlıdır. Tanelerin hareketi de akımı etkilediğinden, sıvı ve katı fazlardan oluşan bu iki fazlı hareketin incelenmesi sabit (rijit) yataklı bir açık kanaldaki akıma göre çok daha zordur. Akışkan ve katı taneler için yazılan süreklilik ve hareket denklemlerinin verilen sınır koşulları ile çözülmesi, akım türbülanslı olduğundan genellikle mümkün olmaz. Olayın karmaşıklığı yüzünden uniform tanelerden oluşan bir yatak üzerinde zamanla değişmeyen, uniform iki boyutlu akımda bile katı tanelerin hareketi için kesin çözüm elde etmekte büyük güçlükle karşılaşılır. Yataktaki tanelerin uniform olmayışı, akarsu kesitinin üç boyutlu yapısı, çeşitli yapımların etkisi ve akımın zamanla değişen karakteri olayların incelenmesini daha da zorlaştırır (Bayazıt, 1971).

Sedimentin akım içindeki hareketi sadece akımın özelliklerine bağlı değil, aynı zamanda tanenin özelliklerine de bağlıdır. Tanenin hidrolik açıdan en önemli özelliği tane çapıdır ve tanenin akım içindeki hareketi tane büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir.

Sediment tanelerini tanımlarken ortalama tane çapının yanında; tanenin yoğunluk, granülometri gibi diğer özellikleri de göz önüne alınır. Ya da bu özelliklerin hepsini karakterize eden çökelme hızı ile tane tanımlanır (Bayazıt ve Avcı, 2010).

2.1.1 Sedimentin tane büyüklüğü

Akarsulardaki taneler küresel biçimde olmadığı için tane büyüklüğünü ifade edebilmek için karakteristik bir çap kullanmak gerekir. Bu çap farklı şekillerde belirlenir;

Elek çapı: Parçacığın geçebildiği elek çapı olarak tanımlanır.

Katı madde çapı: Aynı akışkan içindeki çökelme hızı ve özgül ağırlığı parçacığınkilere eşit olan bir kürenin çapıdır. Kil ve siltler için çökelme çapı kullanılır.

Anma çapı: Parçacığın hacmine eşit bir kürenin çapıdır (Çizelge 2.1). Nominal çap elek çapından biraz büyüktür.

Çizelge 2.1 : Tanelerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması

ADI	Kil	İnce Silt	Orta Silt	İri Silt	İnce Kum	Orta Kum
ÇAPI(mm)	D<2	2-6	6-20	20-60	60-200	200-600
ADI	İri Kum	İnce Çakıl	Orta Çakıl	İri Çakıl	Taş	Kaya
ÇAPI(mm)	600-2	2-6	6-20	20-60	60-200	D>200

Silt ve kil boyutlu taneler çok küçük olduklarından eşdeğer çapları ancak dolaylı olarak ölçülebilir. Bu ölçümde kürelerin bir sıvı içinde çökelme hızının, sıvının gösterdiği viskozite kökenli dirençle karşılaştıran Stokes yasasından yararlanılır.

2.1.2 Sedimentin tane biçimi

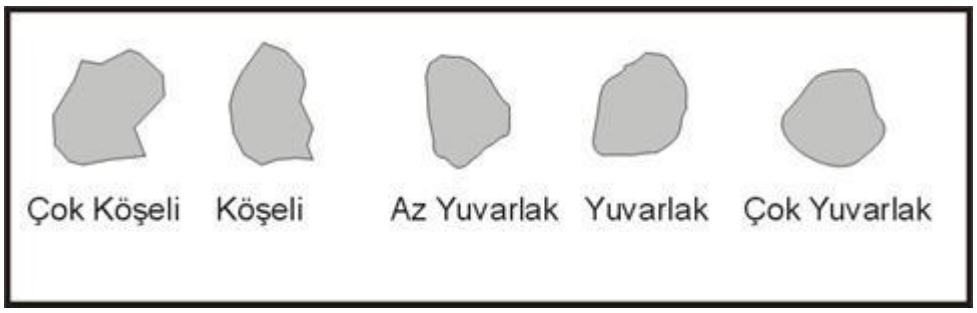
Tane biçimini şu parametreler karakterize eder.

Biçim faktörü: $c/\sqrt{ab}$ şeklinde yazılan bir formülle bulunur. Burada a, b, c sıra ile parçacığın birbirine dik eksenler üzerindeki en uzun, orta ve en kısa boyutlarını gösterir.

Küresellik: Parçacığın hacmine eşit bir kürenin yüzey alanının, parçacığın yüzey alanına oranı olarak tanımlanır.

Yuvarlaklık: Parçacığın ortalama eğrilik yarıçapının, parçacığın izdüşüm alanı içine çizilen bir dairenin yarıçapına oranını ifade eden bir değerdir.

Küresellik ve yuvarlaklık aynı değildir, küreselliği yüksek olan bir tanenin yuvarlaklığı küçük ya da tam tersi olabilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1 : Tane yuvarlaklığı sınıflaması

Tanenin biçimi oluştuğu kayanın özelliklerine bağlıdır. Taneler akarsu tarafından zamanla daha yuvarlak hale getirilirse de ilk biçim tamamıyla kaybolmaz.

2.1.3 Sedimentin yoğunluğu ve porozitesi

Sediment tanelerinin yoğunluğu meydana geldikleri kayanın özelliklerine bağlıdır ve genellikle 2.1 ile 2.8 g/cm^3 arasında değişir. Kayalarda en çok kuvars minerali bulunması nedeniyle ortalama sediment yoğunluğu 2.65 g/cm^3 alınabilir.

Bir sediment yığınında tanelerin kendi hacimlerinin yığının hacmine oranı, yığındaki boşluklar nedeniyle, her zaman 1'den küçüktür. Örneğin kum ve çakıl için bu değer 0.5 ile 0.7 arasında değişir. Bu sebeple yığının yoğunluğu tanelerin yoğunluğundan daha küçüktür.

Belirli bir gözenekli ortam örneğinin, sözgelimi toprağın, boşluk hacminin gözenekli ortamın boşluklar da dahil olmak üzere kapladığı brüt hacme oranına **porozite** denir.

Granülometriye, tane biçimine ve sıkıştırma derecesine bağlıdır. İnce tanelerin poroziteleri daha büyüktür (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 : Sediment yığınlarının porozitelerinin değişim bölgeleri (Bayazıt ve Avcı, 2010)

Sediment Sınıfı	Porozite (%)
Kaba kum	39-41
Orta kum	41-48
İnce kum	44-49
Kumlu lem	50-54

2.1.4 Sedimentin çökelme hızı

Bir parçacığın su içinde çökelme hızı, askı maddesi hareketinin incelenmesinde ve akarsudaki yığılma problemlerinde önemli rol oynar. Çökelmeye parçacığın ve akımın özellikleri etki eder. Parçacığın biçimi, özgül ağırlığı ile akımın rejimi, askı maddesi konsantrasyonu, suyun sıcaklığı gibi değişkenler çökelme hızına etki eden faktörlerdir. Durgun suya bırakılan küresel bir parçacığın başlangıçta sıfır olan hızı G ağırlığının etkisi ile giderek artar. Bunun yanında hareket yönüne zıt yönde hareket eden F direnç kuvveti hızın karesi ile doğru orantılı olarak artar. G ve F kuvvetleri eşit olduğu anda ivme sıfır olur ve dane o andaki hızı ile düşmeye devam eder. Danenin sabit hıza eriştiği bu denge durumundaki hızına çökelme hızı denir.

Denge durumu için;

$$(\gamma_s - \gamma)\pi\frac{D^3}{6} = C_D\left(\frac{\gamma}{g}\right)\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\frac{W^2}{2}$$

$$W = \sqrt{\left[\frac{4}{3}\,\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\;\; g\;\frac{D}{C_D}\right]} \qquad (\mathbf{2.1})$$

eşitliği yazılarak çökelme hızı laminer ve türbülanslı akımlar, için ayrı ayrı bulunur.

Burada,

γ_s : tanenin özgül ağırlığı

γ: suyun özgül ağırlığı

C_D: direnç katsayısı

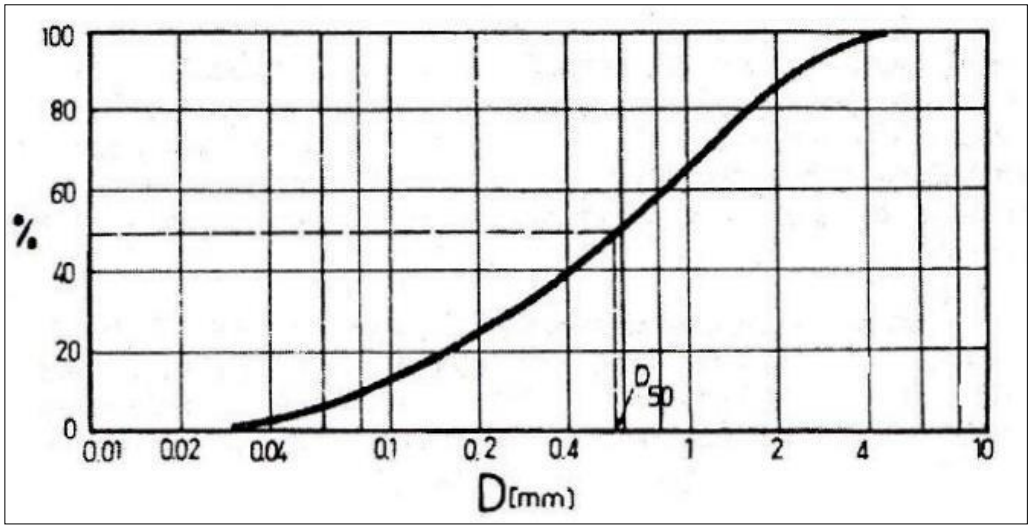
W : çökelme hızı

D : parçacığın ortalama çapı

g : yerçekimi ivmesi

2.1.5 Sedimentin granülometrisi

Bir sediment örneğinde farklı büyüklüklerde taneler bir arada bulunduğundan, tane büyüklüklerinin dağılımını bilmek gerekir. Bu dağılım yani Granülometri tane çaplarının eklenik frekans eğrisi ile gösterilebilir. Bunun için yatay eksende tane büyüklüğü, düşey eksende belli bir çaptan küçük (ya da büyük) tanelerin yüzde olarak ağırlığı işaretlenir. Tane büyüklüğü için yatay eksende genelde logaritmik ölçek kullanılır. Düşey eksende ise normal dağılım kağıdının ölçeği kullanılabilir (Şekil 2.3). Bu durumda granülometri eğrisi bir ya da daha çok doğru parçası ile gösterilebilir.Akarsularda belli bir dane çapı dane aşağıya taşındıkça küçülür. Çaptaki bu küçülme, hareket sırasında meydana gelen sürtünmelerden ve başka parçalarla çarpışmalardan kaynaklanır. Bir karışımı sınıflara ayırarak incelerken D_i ve D_{i+1} çapları arasında kalan sınıfın ortalama çapı genellikle $(D_i \text{ x } D_{i+1})^{0.5}$ geometrik ortalama çapı şeklinde hesaplanır.



Şekil 2.2: Granülometri eğrisine bir örnek (Bayazıt ve Avcı, 2010).

Yatak malzemesinin granülometrisi genellikle sürüntü ve askı maddesinin granülometrisinden farklıdır. Akım içinde çok şiddetli bir hareket varsa ancak o zaman granülometriler aynı olur.

2.2 Akarsularda Sediment Hareketi

Akarsuların rejimi, su, rüzgar, don olayı gibi yeryüzüne etki eden çeşitli faktörler tarafından düzenlenir. Atmosferik şartlar, kayayı parçalayarak erozyona neden olur. Bundan sonra katı madde hareketi başlar. Akarsu yatağı ve akım birbirlerini karşılıklı olarak etkileyen iki faktör olup, suyun sürükleme gücü ve akarsu yatağının direnci de akarsuyun rejimine tesir eder. Akım ile yatak arasındaki kuvvet oyunu, akarsuların kesim kesim ayrıcalık göstermesine neden olur.

2.2.1 Sediment hareket mekaniği

Akarsularda su akarken beraberinde sediment de taşır. Bu sediment ya akarsu havzasındaki erozyondan veya akarsu yatağındaki aşınmalardan kaynaklanır. Akarsu yatağındaki aşınmalar o bölgede birtakım oyulmaların oluşmasına sebep olur. Öte yandan akarsudaki akımın sürükleme gücünün azaldığı bölgelerde, taşınmakta olan sedimentin bir kısmı tabana çöker ve yığılmalar olur. Böylece akarsu boyunca katı madde hareketlerinden kaynaklanan birtakım oyulmalar ve yığılmalar meydana gelir. Bu katı madde olayları sonucunda akarsu morfolojisi değişir, akarsu üzerinde yapılan

yapılar fonksiyon ve sağlamlık açısından zarar görür, hatta akarsuyun su kalitesi etkilenir. Söz konusu değişme ve etkilenmeleri daha iyi anlamak ve sağlıklı belirlenmek için akarsudaki katı madde hareketinin prensiplerini bilmek ve akarsuyun morfolojisine en uygun düzenleme yapısını seçmek gerekir.

2.2.2 Akarsuların taşıdığı sedimentlerin sınıflandırılması

Akarsuların taşıdığı sedimentler malzeme kaynağına ve akarsu taşınım şekline göre olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

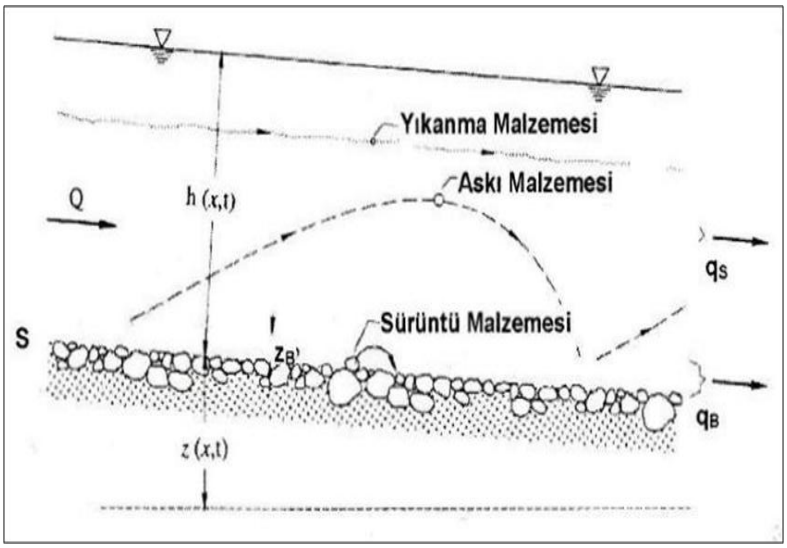
2.2.2.1 Malzeme kaynağına göre sınıflandırma

Yatak malzemesi: Yatağı oluşturan sediment karışımı olarak tanımlanır. Yatak malzeme parçacıkları herhangi bir anda veya belirli akış koşulları gerçekleştiği zaman taşınabilirler. Yatak malzemesi yükü akarsudaki akımın hidrolik koşullarına bağlıdır. Akarsu yatağından alınan bir sediment örneğinde sadece yatak malzemesi olarak tanımlanan iri taneler bulunur. Yatak malzemesini oluşturan taneler devamlı olarak bir yandan yataktan sökülür, bir yandan tekrar yatağa dönerler. Belli bir zaman aralığında yataktan sökülen miktar yatağa dönen miktara eşitse, akarsu yatağında miktar olarak bir değişme olmaz; bu duruma Dinamik Denge (rejim) denir. Yatak malzemesi hareketi yatağın stabilitesini etkiler. Bir akarsu yatağında sökülen malzeme yatağa geri dönen malzemeden fazla ise Oyulma (degradation) olur ve yatak yüzeyindeki malzeme irileşir. Akarsu yatağında sökülen malzeme yatağa geri dönen malzemeden az ise Yığılma görülür ve yatak yüzeyindeki malzeme incelir.

Yıkanmış malzeme: Yıkanma malzemesi yükü, akarsu havzasının büyüklük, zemin yapısı, topoğrafya, yağış şiddeti ve süresi, bitki örtüsü, rüzgâr ve tabaka akımı özelliklerine bağlıdır. İnce taneli olan yıkanma malzemesi akarsu yatağı ile bir ilişkiye girmeden akarsu boyunca sürekli olarak taşınmaktadır. Yıkanma malzemesinin taşınımında akarsuyun hidroliği doğrudan etkili olmadığı halde, akarsu debisinin artmasıyla yıkanma malzemesinin yükü yatak malzemesinde olduğu gibi artar. Çünkü havzaya düşen yağış miktarı sadece debiyi değil, havza erozyonunu ve dolayısıyla akarsuya taşınan yıkanma malzemesini de arttırır.

2.2.2.2 Akarsu taşınma şekline göre sınıflandırma

Akarsuda hareket sediment taneleri orijinlerine göre yatak ve yıkanma malzemesi olarak sınıflandırıldığı gibi taşınım şekillerine göre de sınıflandırılabilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3: Sediment tanelerinin akarsularda taşınım şekilleri (Graf, 1998).

Askı maddesi: Askı maddesi suyun içinde askı halinde hareket eden maddelerdir. Askı malzemesi akım içinde asılı olarak hareket edebilmek için gerekli enerjiyi türbülanstan alır. Bazı taneler yataktan söküldükten sonra yeterli büyüklükteki türbülans çevrilerinin bulunduğu bölgeye girerek, uzun bir süre su akımı içinde taşınırlar. Bu taşınma şekline **askı hareketi** denir.

Sürüntü maddesi: Esas olarak suda asılı halde bulunmayan ve akarsu tarafından yatak boyunca sürüklenerek taşınan kum, silt, çakıl ve kaya parçası olarak tanımlanır. Tabanda sıçrayarak hareket eden maddelerde sürüntü maddesi sınıfına girer. Sürüntü malzemesi hareket enerjisini doğrudan akımın kinetik enerjisinden alır. Sürüntü halindeki taneler yatakla temas halinde oldukları için, ağırlıkları yatak tarafından taşınır ve taneler duraklayarak hareket ettiklerinden, ortalama hızları akıma göre oldukça küçüktür

Akarsulardaki katı madde hareketinin incelenmesinde taşıma şekline göre yapılan sınıflandırma daha çok kullanılır. Sınıflandırmaya giren maddelerin toplamına, toplam katı madde denir. yani askı maddesi ve sürüntü maddesinin tamamına toplam katı madde denir. Taşınan katı madde miktarı, ya birim zamanda taşınan kuru hacim

(m^3/sn) ya da birim zamanda taşınan kuru ağırlık (kg/sn) olarak ifade edilir. Konsantrasyon terimi ise su içerisindeki askı maddesi miktarının su ve askı maddesi karışımı oranına denir.

2.2.3 Akarsu yataklarının sediment hareketine göre sınıflandırılması

Belli bir elek analizi özelliklerini içeren sürüntü maddesinin maksimumunu harekete geçiren akım, taşıma kapasitesi olarak adlandırılır. Katı madde taşınımında akarsu tabanı civarında sürüntü maddesi hareketini göz önünde bulundurarak dört ayrı durum belirlenmiştir.

2.2.3.1 Dengedeki akarsu yatağı

Bu durumda sürüntü maddesi miktarı "SG", taşınan sürüntü maddesi miktarına "ST" eşit olmalıdır. Bu durumda harekete rağmen akarsu tabanı sabit kalacaktır.

2.2.3.2 Yığılma ve alüvyon bölgesi

Gelen sürüntü maddesi, taşınan sürüntü maddesinden büyük olduğunda SG >ST akarsu yatağında yığılmalar olacaktır. Akarsu tabanının boyuna profilinde yükselme görülür. Dolayısıyla alüvyal kesimlerde zaman zaman taşmalar olacaktır. Söz konusu yığılmalar baraj, bağlama gibi su yapıları haznelerinin dolmalarına neden olur.

2.2.3.3 Erozyon bölgesi

SG > ST olduğu için. Akarsu yatağında oyulmalar olur. Akarsu tabanının boyuna profilinde zamanla derinleşmeler meydana gelir. Yerel oyulma köprü ayaklarında ve bağlamaların mansap tarafında oyulmalara neden olarak, bazı su yapılarının stabilitelerini tehlikeye sokabilir.

2.2.3.3 Latent erozyon bölgesi

Bu durumda SG>ST olduğu halde akarsu tabanında alçalma olmaz, çünkü durum sürekli değildir. Zira akarsu tabanı sağlam bir formasyondan oluşmuştur. Ya da daha önce taşınmış olan sürüntü maddesinin tamamı taşınmıştır. Taşınmaya karşı dirençli olanlarsa geriye kalan büyük daneli malzemedir. Bu tip akarsu kesimlerine örnek, kaya ve büyük bloklardan müteşekkil vahşi derelerdir.

2.2.4 Akarsu yatağında sediment hareketinin başlaması

2.2.4.1 Yatakta bulunan sedimente etkiyen kuvvetler

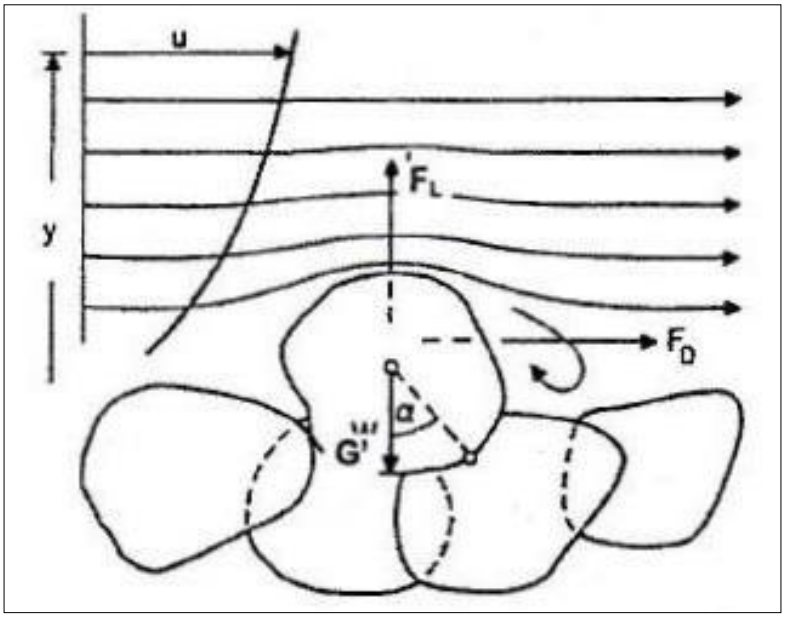
Yoğunlukları suyun yoğunluğundan büyük olan sediment tanelerinden oluşan bir yatak üzerinde yer alan akım sebebiyle, tanelere bazı kuvvetler etkir.

Bu hidrodinamik kuvvetlerin bileşkesinin, taneyi yerinde tutmaya çalışan kuvvetlerin bileşkesine eşit bir değere ulaşması durumuna **kritik durum** ya da **hareketin başlaması** adı verilir.

Hareketin başladığı koşulların belirlenmesi kararlı kesit hesabında, oyulma ve yığılmanın incelenmesinde ve sediment hareketi açısından önem taşır.

Yatağın akımla temas eden üst yüzeyindeki bir sediment tanesini etkileyen kuvvetler şunlardır (Şekil 2.5):

- Tanenin su altındaki ağırlığı (G')
- Hidrodinamik sürükleme kuvveti (F_D)
- Hidrodinamik kaldırma kuvveti (F_L)
- Taneyle temas halinde olan diğer tanelerin etkilediği reaksiyon kuvvetleri



Şekil 2.4: Yatak yüzeyindeki bir taneye etkileyen kuvvetler (Bayazıt ve Avcı, 2010).

Yüksek Reynolds sayılarında tane viskoz alt tabakanın dışına çıkar, tane yakınında akım çizgileri yer değiştirir ve tanenin arkasında ayrılma oluşur. Ayrılma bölgesinin büyüklüğü sınır tabakasının ayrılma noktasına bağlı olup tanenin biçimi ve Reynolds sayısı ile ilgilidir.

Ayrılma sonunda tanenin önünde ve arkasında basıncın farklı değerler almasıyla, taneyi akım yönünde hareket ettirmeye çalışan bir kuvvet doğar. Bu kuvvete F_D **sürükleme kuvveti** denir.

Yatak yakınında akım laminer ise sürükleme kuvveti sadece viskoziteye bağlıdır. Viskoz alt tabaka taneyi tamamen örterse $(u_* D/\upsilon < 5)$ bu durum görülür, tanenin arkasında sınır tabakası ayrılmaz, sürükleme kuvveti tanenin akımla temas eden yüzeyindeki sürtünme kuvvetinden oluşur.

Böylece sürükleme kuvveti, yüzeysel direnç (sürtünme) ve biçim direnci (basınç) ve bileşenlerinden oluşur.

Tanenin altında su neredeyse hareketsiz olduğundan basınç hidrostatiktir. Tanenin üst tarafında akım çizgilerinin eğriliği ve hızın artmasıyla, basınç hidrostatik değerin altına düşer. Tanenin altı ve üstündeki basınç farkından dolayı, taneye yukarı yönelmiş F_L **kaldırma kuvveti** etki eder.

Sürükleme ve kaldırma kuvvetleri için şu ifadeler yazılabilir:

$$F_D = C_D \rho \frac{u^2}{2} A \qquad (\mathbf{2.3})$$

$$F_L = C_L \rho \frac{u^2}{2} A \qquad (\mathbf{2.4})$$

C_D: direnç katsayısı

C_L: kaldırma katsayısı

u: tanenin yakınında akım hızı

A: tanenin akıma dik izdüşümünün alanı

Taneyi etkileyen kuvvetlerden ağırlığın akım doğrultusuna dik bileşeni (genellikle akarsu eğimi küçük olduğundan ihmal edilebilir) taneyi yerinde tutmaya, sürükleme-kaldırma kuvvetleri ile ağırlığın akım doğrultusuna paralel bileşeni taneyi harekete geçirmeye çalışır. Düşey doğrultudaki bileşke kuvvetin sıfıra eşit olması ya da bir değme noktasına göre bileşke momentin sıfır olması halinde kritik duruma varılır.

Hareketin başlamasında sürükleme ve kaldırma kuvvetlerinin oynadıkları roller tanenin konumuna bağlıdır. Bazı durumlarda sürükleme, bazı durumlarda kaldırma kuvveti taneyi yerinden sökmek için etkili olur.

Bazı tanelerin yataktan sökülmesiyle yatak yakınındaki akım koşulları değişir, hareket etkisiyle yataktaki bir taneyi yukarıya kaldırmaya çalışan bir kuvvet oluşabilir ve tanelerin arasındaki çarpışmalarla dinamik etkiler ortaya çıkabilir. Farklı büyüklükte, biçimde, yoğunlukta ve konumdaki tanelerden oluşan bir yatak yakınında tanelerin akımla temas şekilleri de başka başkadır.

Akım türbülanslı olduğundan, bir taneyi etkileyen hidrodinamik kuvvetler hız çalkantıları ile sürekli olarak değişir. Bütün bu nedenlerle yatakta hareketin başlaması olayı çok karmaşıktır, kritik durumu kesin olarak belirlemek güçtür (Bayazıt ve Avcı, 2010).

2.2.4.2 Kritik yatak kayma gerilmesi

τ_o yatak kayma gerilmesinin τ_c kritik değeri, yataktaki bir tanenin harekete başladığı akım koşullarını ifade etmek için en çok kullanılan akım değişkenidir.

Yatak yüzeyindeki taneler aynı büyüklükte olsalar bile; biçimleri, konumları ve içsel sürtünme açıları farklı olduğu için hepsi aynı anda harekete geçemeyeceğinden, kritik durumu belirlemek güçtür.

Hareketin başlaması olayındaki değişkenler için boyut analizi yapılırsa kritik durum için şu ifade yazılabilir:

$$\theta_c = {F_{r*}}_c^2 = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)D} = f\left(Re_*, \frac{D}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}\right) \qquad (\mathbf{2.5})$$

Shields (1936) tarafından başlatılan ve günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından yürütülen çalışmalar, ρ_s/ρ değişkeninin Fr_*^2 içinde ele alınmasının yeterli olduğunu göstermiştir.

D/h relatif tane çapı ise olay yatak yakınında yer aldığı için, D'nin h akım derinliğine göre küçük olmadığı hallerde (büyük eğimli dağ akarsuları) önem taşır. Bunun için genellikle kritik durum genellikle Fr_*^2 ile Re_* arasındaki bir bağıntı ile belirlenir.

θ Shields parametresinin (tane Froude sayısı) θ_c kritik değeri ile $Re_{*c} = u_{*c}\, D/\upsilon$ arasındaki ilişki, Shields ve diğer araştırmacılar tarafından yapılan deneylerle belirlenmiştir.

2.2.4.3 Kritik hız

Yataktaki tanelerin harekete geçmesi yatak kayma gerilmesine bağlı olmakla birlikte; pratikte akımın ortalama hızını kullanmak daha kolay olduğundan, çeşitli araştırmacılar V_c kritik hızı için formüller vermişlerdir. Bu formüllerde D tane çapına ek olarak h/D (ya da R/D) oranının da bulunduğu görülür.

Kritik hızın h/D oranına bağlı olmasının nedeni; aynı V ortalama hızında, h derinliği arttıkça yatak yakınında hız azaldığı için derin akımlarda kritik hızın daha büyük olmasıdır.

Araştırmacıların V_c kritik hız için vermiş oldukları formüllerden bazıları şöyledir:

Mavis ve Laushey (1948) kritik hız için h >1m olan akımlarda,

$$V_c = 0.22D^{0.5} \qquad (\mathbf{2.6})$$

formülünü vermişlerdir. Burada *V* m/s, *D* ise mm cinsindendir. 0.5 mm'den iri kum taneleri için bu formül kullanılabilir.

Goncharov (1964)'e göre;

$$V_c = \sqrt{\frac{2g\gamma_{s*}D}{\alpha}} log \frac{8.8h}{D} \qquad (\mathbf{2.7})$$

Türbülans çalkantılarının en büyük değerlerinde bile yatakta hareket olmaması için α=3.5, hızın zamansal ortalama değerinde hareket olmaması için α=1.75 alınacaktır. Yataktaki tanelerin uniform olmaması halinde D_{95} değeri kullanılacaktır.

Levy kritik hız için şu formülleri vermiştir (Chien ve Wan, 1999):

$$V_C = \sqrt{gD}1.4log\frac{12R}{D_{90}} \;\rightarrow\; R/D_{90} > 60$$

$$V_C = \sqrt{gD}\left(1.04 + 0.87log\,\frac{10R}{D_{90}}\right) \;\rightarrow\; R/D_{90} = 10 - 40 \qquad (\mathbf{2.8})$$

Shamov tarafından verilen formül (Chien ve Wan, 1999):

$$V_C = \sqrt{gD}1.47\left(\frac{h}{D}\right)^{1/6} \qquad (\mathbf{2.9})$$

Yang (1973), yataktaki bir taneyi etkileyen kuvvetlerin denge denkleminde bazı katsayıları deney sonuçlarına göre belirleyerek, *W* çökelme hızını ve u_*D/υ tane Reynolds sayısını içeren formüller vermiştir.

$$V_c/W = \frac{2.5}{log\left(\frac{u_*D}{\upsilon}\right) - 0.06} + 0.66 \rightarrow 1.2 < \frac{u_*D}{\upsilon} < 70$$

$$V_c/W = 2.05 \;\rightarrow\; \frac{u_*D}{\upsilon} \geq 70 \qquad (\mathbf{2.10})$$

3. REZERVUARLARIN YAPILIŞ AMAÇLARI, PLANLAMA VE TASARIM ESASLARI

3.1 Rezervuar Kavramı

Bir nehir, dere veya herhangi bir akarsuyun yüzey akışının engellenmesi sonucu oluşan su kütlesi **rezervuar** olarak adlandırılır. Rezervuarlar akarsuların yanı sıra belirli bir havzaya düşen yağmur suları ve taşkınlar gibi düzensiz su akışlarının bir bölgede toplanmasını sağlarlar. Bununla birlikte alanı 10 ha'dan küçük olan su kütleleri bu tarifin dışında tutulmaktadır. Rezervuarlar yüzey alanlarına göre küçük (< 1000 ha), orta (1000 ilâ 5000 ha) ve büyük (>5000 ha) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Sugunan, 1995). Bu sınıflandırmaya göre ülkemiz rezervuarlarına ilişkin bilgiler Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 – Ülkemizdeki rezervuarların büyüklüklerine göre sınıflandırılması

	Sayı	Normal su kotundaki alan (ha)
İşletmede olan barajlar	223	409.841
Küçük (<1000 ha)	173	48.215
Orta (1000-5000 ha)	38	97.797
Büyük (>5000)	12	263.829
İnşa hâlindeki barajlar	75	65.293
Küçük (<1000 ha)	58	19.663
Orta (1000-5000 ha)	13	23.252
Büyük (>5000)	4	22.378
Projesi hazır olan barajlar	74	93.768
Küçük (<1000 ha)	59	13.655
Orta (1000-5000 ha)	11	24.854
Büyük (>5000)	4	55.259
Projesi hazırlanmakta olan barajlar	75	269.138
Küçük (<1000 ha)	65	11.391
Orta (1000-5000 ha)	7	15.99
Büyük (>5000)	3	241.757
İşletmede olan göletler	383	15
Küçük (<1000 ha)	383	15
Mülga KHGM göletleri (2004)	617	13.8
Toplam	1447	866.31

3.2 Rezervuar Yapılış Amaçları

Rezervuarlar, bir ihtiyacın karşılanması için rezervuardan sağlanacak faydanın, projenin maliyet ve risklerinden yüksek olması da gözönüne alınarak planlanırlar. Rezervuarlar genellikle aşağıdaki fonksiyonlardan bir veya birkaçını yerine getirirler.

1) Sulama, kullanma ve endüstri suyu temini

2) Enerji üretimi,

3) Nehirdeki akım rejiminin düzenlenmesi (Rezervuarlar taşkın zamanında depolama yapabilecek ve kurak periyotta ise gerekli suyu sağlayabilecek şekilde işletilmelidir. Rezervuarlardaki su seviyesi etkili değişimler gösterebilir),

4) Taşkın kontrolu (Taşkın süresince yeterli boş hacme sahip bir rezervuar istenir),

5) Rekreasyon (Su seviyesi sabit olmalıdır),

6) Balıkçılık (Rezervuarın ölü hacmi yeterince büyük olmalıdır),

3.3 Baraj Rezervuarının Bölümleri

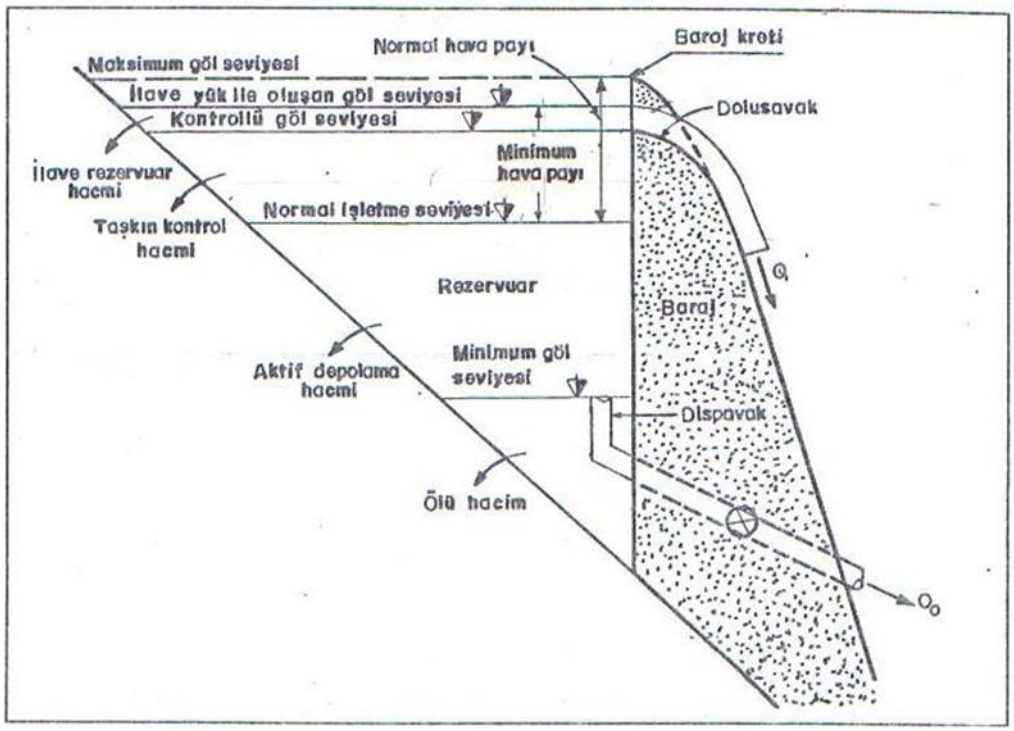
Akım bir rezervuara nehrin ana kolundan ve yan derelerden girer. Bunun yanısıra rezervuarın çevresindeki eğimli arazi ve kıyılardan da yüzey akımı şeklinde rezervuara giriş olur. Bir rezervuar bunların yanısıra atık sular, göl yüzeyine düşen yağış, veya rezervuara pompalanan su ile de beslenebilir. Rezervuardaki su hacmi ise suyun çeşitli şekillerde mansaba bırakılması, buharlaşma ve sızma (yeraltı suyu) kayıpları ile azalır Rezervuarda depolanan su bir veya birkaç amaca hizmet edebilir. Çok amaçlı bir rezervuarın depolama bölümleri şematik olarak Şekil 3.1'de verilmiştir. Genel olarak bir rezervuarın tüm hacmi aktif, pasif, taşkın hacmi ve ilave rezervuar hacmi olarak 4 bölümden oluşur. Rezervuarın tüm hacminin kullanılabilir bölümü rezervuarın projelendirme amaçlarına hizmet eder. Bu bölümler;

1) Minimum işletme kotunun altında kalan, rezervuara giren sedimentin birikmesi için ayrılan ve faydalanılamayan bölüme **ölü hacim** denir. Bu bölüm genellikle sedimentin birikimi için ayrılır ve aynı zamanda rezervuarın tümüyle boşalarak çeşitli çevre problemleri (koku, balık ölümleri) ve ekolojik tahribata (flora ve fauna) neden olunmasını engeller.

2) Minimum işletme kotunun üstünde kullanma amacıyla ayrılan bölüme **faydalı hacim** veya bir başka deyişle **aktif hacim** denir.

3) Taşkın sularını tutabilmek için en üstte taşkın piklerini azaltarak mansaba bırakmak amacına hizmet eden bölüme **taşkın kontrol hacmi** denir.

4) Dolusavak kreti veya maksimum su seviyesi üzerinde kalan taşkın ek yükünü karşılayan bölüme **ilave rezevuar hacmi** denir. Bu bölüm sürekli olarak boş tutulduğu için depolamaya katkısı olmayıp sadece emniyet açısından değerlendirilebilmektedir.



Şekil 3.1 Çok amaçlı bir rezervuarda depolama bölümleri

Ayrıca rezervuarın farklı bölümlerindeki depolamanın modellenmesi genellikle ayrı ayrı ele alınır. Bütün bu bölümler ise toplam depolamayı (total storage) oluşturur. Bir rezervuardan belirli bir zaman içerisinde bırakılabilecek toplam su miktarı **rezervuar verimi** olarak adlandırılır. Rezervuarın kapasitesi ve tahmin edilen verim arasındaki ilişki rezervuarların projelendirilmesi ve işletilmesinde öncelikli olarak ele alınır. Güvenilir verim kritik kurak bir periyot boyunca kullanımı garanti edilebilen maksimum debi olarak tanımlanır. İkincil verim ise yüksek debilerin geldiği bir periyotta güvenilir verimi aşan debi miktarı olarak tespit edilir.

3.4 Rezervuar Ölü Hacminin Belirlenmesi

Ölü hacmin belirlenebilmesi için taşınan ve yığılan katı maddelerin özgül ağırlığının, haznenin bulunduğu akarsu kesitine gelen sediment miktarının, haznenin tuzaklama oranının ve haznenin ekonomik ömrünün bilinmesi gerekir.

Haznede yığılan sediment hacmi V_k;

$$V_k = \alpha G A_h t \qquad (\mathbf{3.1})$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada α tuzaklama oranı (haznede tutulan sediment miktarının, hazneye gelen sediment miktarına oranı), G bir yılda 1 km^2 havzadan gelecek sediment miktarı (m^3/km^2/yıl, sediment verimi), A_h havza alanı (km^2), t yıl olarak geçen süredir.

G değeri ölçümlerle veya diğer yöntemlerle belirlenmemişse,

$$G = 1421\ {A_h}^{-0.229} \qquad (\mathbf{3.2})$$

bağıntısından yaklaşık olarak bulunabilir. Burada G, m^3/km^2/yıl cinsinden sediment oranı, A_h ise km^2 biriminde havza alanıdır.

4. REZERVUARLARIN DEPOLAMA (AKTİF HACİM) KAPASİTELERİNİ KORUMA YÖNTEMLERİ

4.1 Rezervuara Sediment Girişini Azaltma Yöntemleri

Rezervuarın depolama kapasitesini koruma metodlarının geliştirilmesi çabaları çok uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Örneğin rezervuarlardaki sedimentin mansaba akıtılması teknikleri ilk olarak 16. yüzyılda İspanya'da kullanılmıştır. Araştırmacılardan Brown (1943) bu konuda yapılabilecek çalışmaları aşağıda verilen 3 ana maddede açıklamıştır.

1) Sedimentin rezervuara girişini azaltacak metodlar

2) Sedimentin rezervuarda birikimini azaltmak için akımın hidrolik karakteristiklerini ele alan veya biriken malzemenin taşınmasını sağlayacak koşulları açıklayan metodlar

3) Hidrolik ve mekanik yöntemlerle malzemenin rezervuardan taşınması

Brown tarafından yapılan bu sıralama genel kabul görmektedir. Sürüntü malzemesi taşınımının yoğun olduğu nehirler üzerinde yapılan barajların projelendirmesi öncesinde bu metotların kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Rezervuarların kapasitesini koruma metodları arasındaki "çökelen malzemenin taşınması" veya "herhangi bir işlem yapılmaması" alternatifleri, projenin özelliklerine göre fayda-maliyet analizi yapılarak değerlendirilir. Örneğin rezervuara sediment birikiminden dolayı elektrik enerjisi üretiminde ve sulama amaçlı bir rezervuarın sulayacağı alanda ve tarımsal üretimdeki azalmaların sonuçları ekonomik açıdan değerlendirilerek, yapılabilirlik çalışması içerisinde gözönüne alınmalıdır.

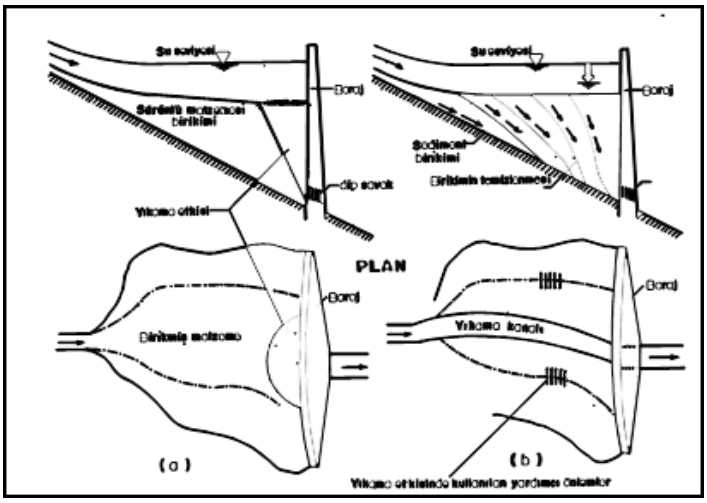
4.2 Rezervuara Giren veya Biriken/Çökelen Sedimentin Uzaklaştırılması

Rezervuara giren veya biriken/çökelen sedimentin uzaklaştırılması için birçok hidrolik veya mekanik yöntem geliştirilmiştir. Bu tekniklerden yıkama (Flushing), rezervuardaki akım hızının arttırılması ile sedimenti yıkayarak taşınımın sağlanması, boşaltma (Sluicing) ise sediment yoğunluklu akımın sedimentin çökelmesinden önce mansaba bırakılması olarak açıklanabilir. Yukarıda sözü edilen her iki teknik de barajlarda uygun olarak projelendirilmiş ve verimli işletilen düşük seviyedeki dipsavaklara ihtiyaç gösterirler. Genel olarak yıkama (Flushing) tekniği dipsavak işletmesi ile uygulanır. Taşkın önleme amacı olan rezervuarlarda dolum ve boşaltım işletmeleri kontrolsüz bir yıkama işletmesi olarak da kabul edilebilir. Ayrıca tarama ve sifonlama yöntemleriyle de rezervuarda birikmiş olan sediment uzaklaştırılabilir.

Bu tez kapsamında yıkama yöntemi üzerine deneysel çalışma yapıldığından dolayı özellikle yıkama yöntemi üzerinde durulacaktır.

4.2.1 Yıkama yöntemleri ve uygulamaları

Rezervuardaki akım hızının arttırılması ile sedimenti yıkayarak taşınımın sağlanması yöntemi yıkama olarak adlandırılır.Biriken sedimentin rezervuardan yıkanması ile ilgili olarak birçok teknik geliştirilmiştir. Fan (1985) bu konuda taşkın mevsimi boyunca rezervuar seviyesinin nehirin ortalama akım seviyesine kadar düşürülmesini önermiştir. Bu durum birikim deltasının iki ucundan başlayarak yıkanması sonucunu yaratır. Eğer akım sel rejiminde ise yıkama süresince membaya doğru gelişen (negatif) bir eşik ile mansaba doğru ilerleyen (pozitif) bir eşik oluşur (Şekil 4.1), (Wen Shen, 1999).



Şekil 4.1- a) Su seviyesi düşürülmeden malzemenin yıkama etkisiyle temizlenmesi

b) Su seviyesi düşürülerek malzemenin yıkama etkisiyle temizlenmesi

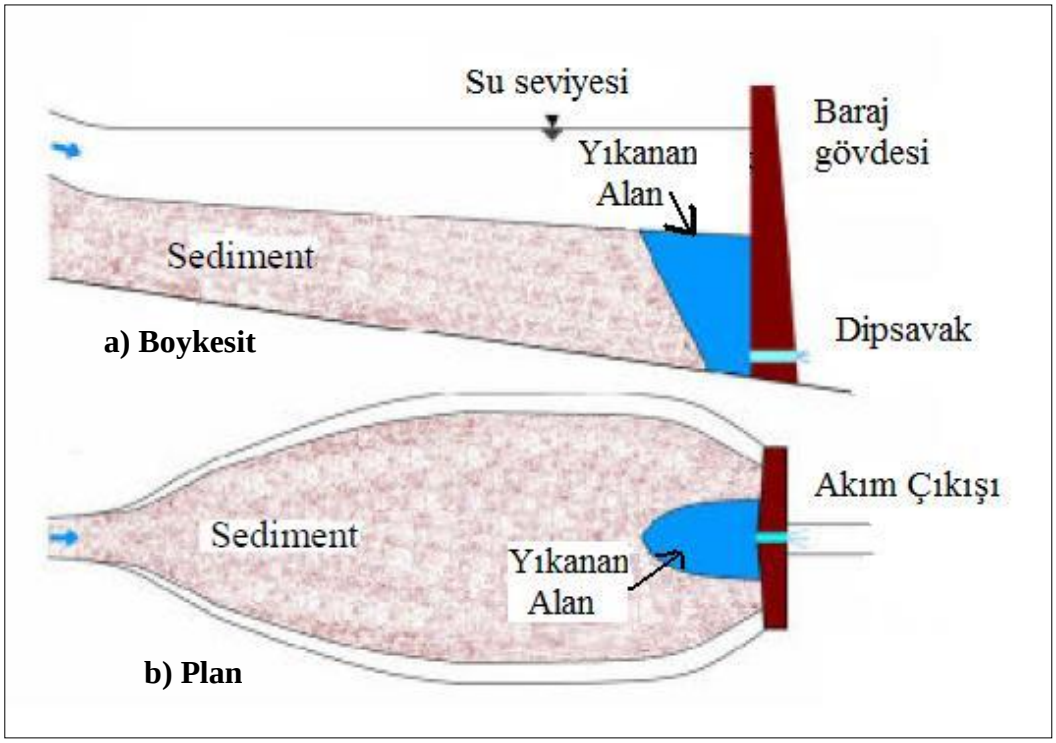
Bu iki taban oluşumu birbirleriyle birleştiğinde yıkama işlemi tamamlanmış olarak kabul edilir. Bu işlem uzun bir rezervuarda birkaç ay boyunca rezervuar su seviyesinin oldukça düşük kotlarda tutulması anlamına gelir. Çünkü yataktaki süreksizliklerin ilerleme hızı oldukça düşüktür (De Vries 1976).

Yıkama akımları, biriken malzeme içerisinde kendilerine derin bir kanal oluştururlar. Başlangıçta dar olan bu kanal periyodik olarak devam eden yıkama işlemlerinden sonra genişler (Şekil 4.1). Bu yıkama işleminde vadilerin yan yüzlerinde ve taşkın yataklarında biriken malzeme hareket etmez.

4.2.1.1 Basınçlı yıkama yöntemi

Su seviyesi sabit tutularak basınç altında gerçekleştirilen yıkama yöntemine **basınçlı yıkama** denir. Bu işlemde yıkamanın etkisi sadece dipsavağın çevresinde lokal bir alan olur.

Basınçlı yıkamadan sonra oluşan dipsavak çevresindeki yıkanmış alan koni şeklindedir (Şekil 4.2). Bu yöntem küçük rezervuarlarda ya da büyük kapasiteli dipsavaklara sahip olan rezervuarlarda etkili olmaktadır (Qian, 1982).



Şekil 4.2 : Yıkanan alanın plan ve boykesitte görünüşü (Meshkati Shahmirzadi ve diğ., 2010).

Yıkama işlemi için kullanılacak dipsavak boyutlarının belirlenmesi için uzaklaştırılacak sediment hacminin ve yıkamadan sonra oluşacak koni şeklinde alanın ne kadar olacağının tahmin edilmesi gereklidir. Bu sebeple dipsavak boyutu ile yıkanan sediment hacmi arasındaki optimum ilişki iyi belirlenmelidir (Meshkati Shahmirzadi ve diğ. 2010).

4.2.1.2 Rezervuar su seviyesini alçaltarak yıkama

Rezervuar su seviyesinin düşürülmesi ile yapılan yıkamanın sadece yıllık su girişleri kesin olarak bilinen rezervuarlar için uygun olduğu kabul edilmektedir. Yıkama işlemi için çıkış debisi sabit iken rezervuardaki su seviyesini düşürmenin yıkama etkisini arttırdığını ve yıkanma konisinin membaya doğru genişlediğini göstermiştir. (White ve Bettess -1984). Su seviyesinin düşürülerek sedimentin yıkanması için iki farklı işletme koşulu uygunabilir. Bunlar orifis akım ve serbest yüzeyli akım şeklinde sınıflandırılabilir (Fan 1985).

Orifis akımı: Rezervuar su seviyesi, elektrik üretimini etkilememesi için, minimum su seviyesinden bir miktar yüksekte tutularak orifis akımıyla yapılan yıkamada büyük debiler kısa sürelerle ve sık sık mansaba bırakılır.

Serbest yüzeyli akım: Enerji üretiminin tümüyle kesilmesilerek yıkama gerçekleştirilir.

4.2.1.3 Boşaltma ve yıkama yöntemi

Rezervuardaki boşaltma ve yıkama işlemleri genellikle taşkın zamanında yapılan yıkamalar ile sediment birikiminin önlenemediği rezervuarlarda uygulanmaktadır. Rezervuarların boşaltılması işlemi daha çok depolama kapasitesi azalarak kullanım dışı kalan küçük rezervuarlarda uygulanmaktadır. Bu barajlarlarda küçük olan faydalı hacimin büyük bir bölümü hemen baraj gövdesi yanında olduğu için, dipsavak kapaklarının belirli bir süre açık bırakılması halinde çökelen sedimentin bir bölümü akım tarafından yıkanabilmektedir.

4.2.1.4 Yoğunluk akımlarının yıkanması

Yoğunluk akımlarının mansaba aktarılması, özellikle depolama amaçlı rezervuarlardaki sediment birikimini önleyici etkili bir metod olarak bilinmektedir. Yoğunluk akımları konusunda bazı laboratuvar çalışmaları yapılmış olup bu çalışmalarda yoğunluk akımlarının oluşturulmasında soğuk su yerine tuzlu su ve bulanıklık akımları kullanılmıştır (Schoklitsch 1929). Yoğunluk akımları ile ilgili pek çok gözlem ve inceleme yapılmıştır. Rezervuara giren ve yıkanan sediment oranı arazide yapılan bu gözlemlerden elde edilen metodlarla tahmin edilebilmektedir. Yapılan bu gözlemler yoğunluk akımlarının yıkanması için en uygun işletme şeklini de ortaya koymuştur.

4.2.1.5 Yıkama yöntemlerinin etkinliği ve kriterleri

Yıkama yöntemlerinin etkinliği konusunda birçok görüş vardır. Bu konudaki araştırmacılardan Breusers ve diğ. (1982), genel olarak hidrolik yıkama yöntemlerinin çok etkili olmadığını ileri sürmüştür. Bunun nedeni olarak, büyük debilerle yıkama yapılsa bile sadece dipsavağa yakın bölgedeki malzemenin harekete

geçirilip yıkanabildiğini göstermiştir. Ancak rezervuar su seviyesinin alçaltılması ile yapılan yıkama işlemlerinin çoğu zaman başarılı sonuçlar verdiği de bilinmektedir.

Yoğun sediment birikimi beklenen rezervuarların projelendirme aşamasında, projenin yıkama etkinliği göz önüne alınarak incelenmesi gerekli ve önemlidir.

4.2.1.6 İşletme koşulları

Rezervuardaki yıkamaların verimliliği doğal koşullardan (iklim, topoğrafya vb), proje kriterlerinden ve rezervuarın işletilmesinden etkilenir. Doğal koşulların oldukça değişken olması nedeniyle, diğerleri ihtiyaca göre belirlenip uygulamaya konulabilir. Örneğin bir rezervuarın boyutları o bölgenin topoğrafyası ile belirlenir. Ancak dipsavak boyutları ihtiyaca göre değiştirilebilen boyutlardır.Yıkama işleminin başlatılması için en uygun koşul, taşkın debisi gelmeden önce konsolide olmamış biriken malzeme ile çok düşük su seviyesinin bulunduğu veya boş bir rezervuar koşuludur. Rezervuara giren katı atıkların dipsavak girişini kapatmasını engellemek için, rezervuarın doldurulmasından önce bu amaçla bir temizlik yapılması gereklidir.Yıkama işlemi dar vadi tipindeki rezervuarlarda çok daha etkilidir (daha geniş rezervuarların taşkın yataklarına biriken malzeme yıkanamamaktadır). Araştırmacılar tarafından yapılan gözlemler, rezervuardaki su seviyesinin baraj yüksekliğinin yaklaşık olarak yarısından az olduğu durumda ve rezervuara giren debinin ortalama debinin en az iki katına çıkması halinde etkili bir yıkamanın mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

5.BARAJLARDA BULUNAN DOLU SAVAKLAR VE DİP SAVAKLARIN (SEDİMENT SAVAKLARI) YAPILIŞ AMAÇLARI; PLANLAMA VE TASARIM ESASLARI

Baraj haznelerinden fazla suyu veya taşkın suyunu mansaba aktarmak için yapılan yapılara **savak** adı verilir.

5.1 Dolu Savaklar

Dolu savaklar, baraj rezervuarında toplanan su hacminin depolama kapasitesini aşması durumanda fazla suların baraja zarar vermeden mansaba aktarılmasını sağlayan yapılardır. Bu yapılar taşkın sularını rezervuarın üst kotlarından alarak mansaba aktarırlar.

Dolu savakların,

1) Suyun mansaba iletilmesini sağlamak,

2) Hazne su yüksekliğini kontrol etmek,

3) Haznede su birikimini düzenlemek

gibi önemli üç fonksiyonu vardır.

Dolu savakların esas amacı tasarım taşkın değerine kadar olan bütün taşkın miktarının boşaltılması için, akımın kontrol edilebilmesinde bir yöntem sağlamak ve hazneden çıkış noktasına kadar bir iletim sistemi oluşturmaktır.

Dolu savak maliyetleri genellikle kapasiteleriyle doğru orantılı olmamaktadır. Dolu savakların büyük ve yeterli kapasitede yapılmaları, yetersiz ve az kapasiteli yapılmalarına göre daha az masraflı olabilir. Çünkü yıkılmalarına büyük zararlar meydana gelebilir.

Dolu savakların tasarımında kullanılacak tasarım taşkını dolu savak boyutlarına ve dolayısıyla maliyetine etki eder. Ayrıca beklenenden küçük taşkın debisi seçimi ise büyük hasarlara ve maddi zararlara sebep olabilir.

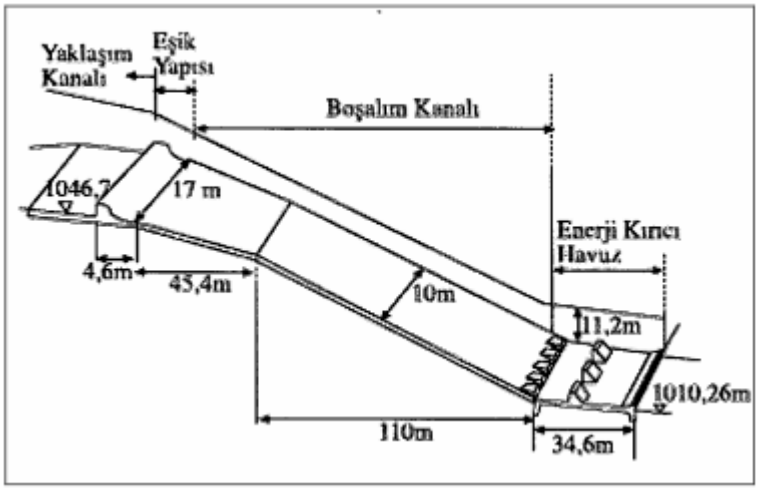
Dolu savakların taşkın debisine etki eden faktörler:

Baraj hazne hacmi: Hazne hacmi büyüdükçe, biriktirilen su miktarı ve dolayısıyla işin önemi artar. Çünkü büyük hacimli barajların maliyeti yüksek olacağı gibi, yıkılmaları halinde mansapta medyana gelecek zararlar da büyük olur. Bu bakımdan büyük barajlarda dolu savakların boyutlandırılmasında da büyük frekanslı taşkınların esas alınması gerekir.

Baraj mansabında tesislerin varlığı: Baraj gövdesinin yıkılması durumunda, baraj mansabında zarar görecek şehir, kasaba veya köyler ile verimli araziler, karayolları, demiryolları ve sanayi kuruluşları bulunması, baraj dolu savağının proje debisinin seçilmesinde etkili olur.

Dolu savak maliyeti: Savak maliyeti, baraj maliyetine doğrudan eklenecekse, daha küçük frekanslı taşkın, eklenmeyecekse (savaktan kazılan malzeme dolguda kullanılırsa veya savak gövde üzerinde yapılırsa) daha büyük frekanslı taşkın debisi göz önüne alınır.

5.1.1 Dolu savak elemanları



Şekil 5.1 : Tipik dolu savak kesiti ve elemanları

Yaklaşım kanalı: Suyun savaklanmak üzere dolu savak eşiğine yaklaşmasını sağlayan kanaldır. Bu kısmın ekseni genellikle dolu savak eşiğine diktir. Yaklaşım kanalı genellikle kaplamasız yapılır ve kazı yüzeyleri sadece düzeltilir. Bu kanalda yaklaşım hızı 1-3 m/sn arasında planlanır. Daha yüksek hız, yük kayıplarının arttıracağı ve dolayısıyla yüzeylerde bazı aşınmalara yol açacağı için istenmez. Yaklaşım kanalında düzgün bir akım oluşması için planda keskin dönüşlerden, ani daralmalardan veya genişlemelerden kaçınmak gerekir. Ayrıca bu kanalda şev eğimleri de tedrici olarak değiştirilmelidir.

Giriş kısmı: Kontrol kesiti veya eşik de denen bu kısım vasıtasıyla su hazneden boşalır. Bu kısım ya yamaçlar üzerinde yaklaşım kanalı içine veya baraj gövdesine ya da hazne ortasına yerleştirilir. Dolu savağın en önemli kısmı olan bu eşiğin hidrolik bakımdan çok iyi tasarlanması gerekir. Bu kısmın yan duvarları genellikle düşey yapılır.

Dolu savak boşaltım/deşarj kanalı: Dolu savak eşiğinden geçen suyu enerji kırıcılara ulaştıran bu kanalda su giderek hızlanır ve tepedeki akımın mansabında akım sel rejimine dönüşür. Bu kanallarda bazı durumlarda hızlar 25-30 m/sn'ye kadar yükselir. Bu yüksek hızlara dayanabilmesi için genellikle 0,25 m kalınlığında beton kaplanır. Bu kaplama altına sızan suların kaldırma kuvvetini azaltmak için çakıl filtreler içine dren boruları yerleştirilir.

Enerji kırıcılar: Dolu savak deşarj kanalından geçerken iyice hızlanan suyun etrafa zarar vermemesi için enerjisinin mutlaka kırılması gerekir (Ağıralioğlu, 2007).

5.1.2 Serbest akışlı dolu savakların hidrolik hesabı

Bir dolu savak genellikle belirli bir rezervuar su seviyesinde proje debisini geçirebilecek şekilde boyutlandırılır. Rezervuar seviyesi normal olarak maksimum operasyon seviyesidir. Yüksek yüklerde maksimum seviyeden daha yüksek seviyelerde kullanılabilir.

Savağın istenilen debiyi mansaba aktarması sırasında içinde bulunduğu hidrolik koşulların belirlenmesinden sonra, projelendirme esasları içinde yapı

boyutlandırılır. Bu konular birbirinden bağımsız olmayıp birbirlerini tamamlarlar. Savak hidroliği esasen serbest yüzeyli akımlar hidroliği olup, suyun savağın yaklaşım kanalına girdiği kesitle ana yatağa yeniden verildiği konum arasında incelenir. Bazı durumlarda mansap yatağının içindeki akım da savak hidroliği içine alınmaktadır.

Barajın yüksekliği artırılarak rezervuar hacminde önemli bir artış sağlanabiliyorsa taşkın suyunun bir kısmı rezervuarda biriktirilerek dolu savağın boyutu küçültülebilir. Barajın yüksekliğinin artırılması ile dolu savağın genişliğinin küçülmesinin veya bunun tersi olarak barajın yüksekliğinin azaltılması ile savak genişliğinin artmasının karşılaştırmalı ekonomik analizlerinin yapılması gerekir.

5.2 Dip Savaklar (sediment savağı)

Ölü hacim dışında hazneyi gerektiğinde tamamen boşaltma olanağı sağlayan tesislerdir. Bu yapılar aynı zamanda baraj mansabına gerekli can (ekosistem) suyunu bırakmak için de kullanılır. Dip savakların taşkın süresince ve taşkından sonra da belirli bir süre çalıştırılmasının faydası vardır. Haznedeki su dip savak vasıtasıyla aşağıdaki maksatların birisi için boşaltılır.

1) Haznedeki su baraj onarımı veya bakımı için boşaltılabilir.

2) Haznedeki suyu belli bir seviyeye düşürüp haznede taşkınlar için hacim oluşturmak için dip savak kullanılır.

3) Baraj mansabındaki akarsu kesiminde en az belli bir su debisi sağlamak için kullanılır.

4) Taşkın sularının önemli bir kısmı dolu savaktan atılmakla birlikte dip savak taşkın sularının bir kısmını mansaba aktarmak için devreye sokulabilir.

5) Baraj yıkılma tehlikesine karşı barajdaki suyu boşaltmak için dip savak işe yarar.

6) Haznenin doldurulması için dip savak kapatılır.

7) Haznedeki katı maddelerin bir kısmını ve bulanık suları mansap tarafa aktarmak için dip savak kullanılır.

5.2.1 Dip savak elemanları

Su alma yapısı: baraj gölünden tek veya değişik seviyelerden suyu alabilen yapılardır.

Memba tüneli: su alma yapısından alınan suyu ileten boru/tüneldir.

Tehlike vanası ve tıkacı: cebri boru veya ayar vanasında tamirat gerektiğinde suyu kesen vanadır.

Cebri boru*:* tehlike vanası ile ayar vanası arasında suyu ileten çelik borudur.

Ayar vanası ve ayar vana odası: istenilen su miktarına göre ayar yapan vanadır.

Enerji kırıcı tesis: suyun enerjisini alarak döküldüğü yere ve çevresine zarar vermesini önleyen yapıdır.

5.3 Dip Savakların Sediment Yıkama Savağı Olarak Tasarımı

5.3.1 Tasarım esasları

Dipsavaklar aşağıdaki gerekçelere uygun olarak projelendirilmelidir;

- Dipsavak, göl depolama hacminin önemli bir kısmının cazibe akışıyla tahliyesini sağlayacak şekilde konumlandırılmalıdır
- Dipsavakların projenin ekonomik ömrü boyunca taşınan sedimentle tıkanmalarını önlemek için, beklenen 50 yıllık sediment birikim seviyesinin üzerinde yer almalı veya değişik seviyelerden su alınabilen bir su alma yapısı tasarlanmalıdır
- Dipsavaklar baraj gölünü tahliye kapasitelerini koruyabilmek için toprak kaymaları sonucu tıkanmalarını önleyecek şekilde jeolojik etmenler dikkate alınarak konumlandırılmalıdır
- Baraj gölünü boşaltmak ve ilk su tutma sürecinde su seviyelerini kontrol etmek için kullanılacak dipsavaklar, su tutma ve tehlike

durumlarında boşaltma işlevlerini yerine getirmek için gerekli işletme koşullarına sahip olmalıdır.

5.3.2 Dipsavak (sediment savağı) boyutlarının yıkanma alanına (konisine) etkisi

Yıkanma konisinin hacmi ($V_{yıkanma}$) aşağıdaki değişkenlerin bir fonksiyonu olarak yazılabilir:

$$V_{yıkanma} = f\left(U_{çıkış}, A_{çıkış}, H_w, H_s, B_r, D_{50}, \rho_s, \rho, g, \upsilon\right) \qquad (\mathbf{5.1})$$

Burada kullanılan değişkenlerin tanımları aşağıda verilmiştir;

$U_{çıkış}$: dipsavak girişinde akımın hızı,

$A_{çıkış}$: dipsavağın kesit alanı,

H_w : dipsavağın ekseninden itibaren barajdaki su yüksekliği,

H_s : dipsavağın ekseninden itibaren birikmiş sedimentin yüksekliği,

B_r : rezervuarın genişliği,

D_{50} : sedimentin ortalama tane çapı,

ρ_s : sedimentin yoğunluğu,

ρ : suyun yoğunluğu,

g : yer çekimi ivmesi,

υ : kinematik viskozitedir.

Buckingham teoremine göre ρ, H_w ve $U_{çıkış}$ tekrarlanan değişkenler olarak alınırsa, aşağıda belirtilen boyutsuz parametreler elde edilir:

$$\pi_1 = \frac{V_{yıkanma}}{H_w^3}, \ \pi_2 = \frac{A_{çıkış}}{H_w^2}, \ \pi_3 = \frac{H_s}{H_w}, \ \pi_4 = \frac{B_r}{H_w}, \ \pi_5 = \frac{D_{50}}{H_w},$$

$$\pi_6 = \frac{\rho_s}{\rho}\ ,\ \pi_7 = \frac{U_{çıkış}}{\sqrt{gH_w}} = Fr_{çıkış}\ ,\ \pi_8 = \frac{\upsilon}{H_w\ U_{çıkış}} \qquad (\mathbf{5.2})$$

Burada ele alınan belirli bir baraj için H_s , B_r, D_{50} , ρ_s , ρ ve g sabittir. Ele alınan baraj için sabit değerler çıkartılırsa, boyutsuz değişkenler dört adet parametreye indirgenebilir:

$$\frac{V_{yıkanma}}{H_w^3}$$

$$= f(\frac{A_{çıkış}}{H_w^2}, \frac{H_s}{H_w}, \frac{\overbrace{U_{çıkış}}^{Fr_{çıkış}}}{\sqrt{gxH_w}}) \qquad (\mathbf{5.3})$$

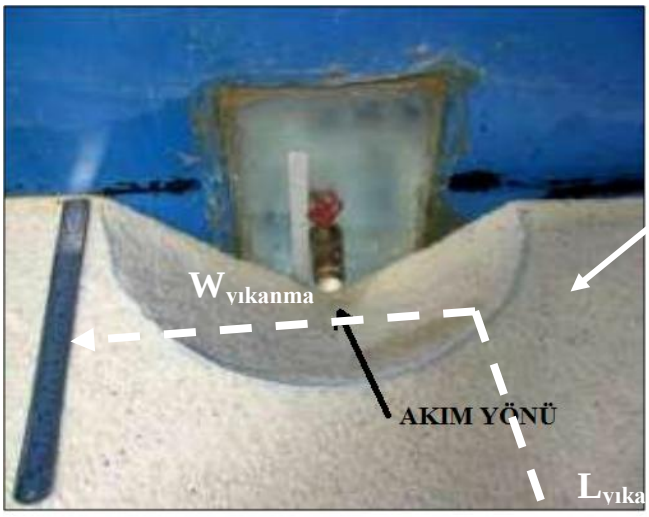
Aynı yaklaşım uygulanarak, $L_{yıkanma}$ (oluşan koninin en uzak noktasının dipsavak merkezine kadar uzaklığı) ve $W_{yıkanma}$ (dipsavak girişindeki yıkanma konisinin dipsavak eksenine olan uzaklığı) (Şekil 5.2) için de boyutsuz değişkenler yazılabilir:

$$\frac{L_{yıkanma}}{H_w}$$

$$= f\left(\frac{A_{çıkış}}{H_w^2}, \frac{H_s}{H_w}, Fr_{çıkış}\right) \qquad (\mathbf{5.4})$$

$$\frac{W_{yıkanma}}{H_w}$$

$$= f\left(\frac{A_{çıkış}}{H_w^2}, \frac{H_s}{H_w}, Fr_{çıkış}\right) \qquad (\mathbf{5.5})$$



Şekil 5.2 : Dipsavak çevresinde, yıkanma sonrası oluşan yarım koni şeklindeki bölge (Meshkati Shahmirzadi ve diğ., 2010).

Meshkati Shahmirzadi ve diğ.'nin (2010) Gorgan Üniversitesi (İran) Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirdikleri küçük ölçekli deney sonucu ve boyutsuz analizler doğrultusunda; yıkanma sonrası oluşan koninin hacmi ($V_{yıkanma}$), genişliği ($W_{yıkanma}$) ve uzunluğu ($L_{yıkanma}$) için formüller geliştirmişlerdir:

$$\frac{V_{yıkanma}}{H_w^3} = 0.042(Fr)^{0.149}\left(\frac{H_s}{H_w}\right)^{3.082}\left(\frac{A_{çıkış}}{H_w^2}\right)^{0.174} \quad (\mathbf{5.6})$$

$$\frac{W_{yıkanma}}{H_w} = 0.031(Fr)^{0.104}\left(\frac{H_s}{H_w}\right)^{0.733}\left(\frac{A_{çıkış}}{H_w^2}\right)^{0.146} \quad (\mathbf{5.7})$$

$$\frac{L_{yıkanma}}{H_w} = 0.031(Fr)^{0.104}\left(\frac{H_s}{H_w}\right)^{0.733}\left(\frac{A_{çıkış}}{H_w^2}\right)^{0.146} \quad (\mathbf{5.8})$$

Deney sonuçları, oluşan yıkanma konisinin boyutlarını etkileyen en önemli parametrenin dipsavağın kesit alanı ($A_{çıkış}$) olduğunu göstermiştir.

Literatürde yıkama işlemi sonrası oluşan koninin boyutlarına ilişkin olarak, prototipten gelen veya gerçek ölçüm sonuçlarına dayanan formüllere rastlanmamıştır.

Sınırlı bir laboratuvar ortamında ve küçük ölçekli model deney sonuçlarından elde edilen formüller de yukarıda tanımlanan formüllere yakınlık göstermektedir.

Deney sonuçlarını prototipte veya gerçekte yapılan yıkama çalışmalarından elde edilecek parametreler ve ölçüm değerleri ile birlikte değerlendirip, sonuçları gerçek değerlere yakın yeni formüller geliştirmek gereklidir. Bu hem uygulamada çalışanların amaç ve ihtiyaçlarına daha doğru ve pratik çözümler sunmak için hem de literatür açısından anlamlı olacaktır.

5.3.3 Dip Savak (Sediment Savağı) İşletme koşullarının Yıkama Verimliliğine Etkisi

Rezervuardaki yıkamaların verimliliği doğal koşullardan (iklim, topoğrafya vb), proje kriterlerinden ve rezervuarın işletilmesinden etkilenir. Yıkama işleminin başlatılması için en uygun koşul, taşkın debisi gelmeden önce konsolide olmamış biriken malzeme ile çok düşük su seviyesinin bulunduğu veya boş bir rezervuar koşuludur. Yıkama işlemi dar vadi tipindeki rezervuarlarda çok daha etkilidir. Araştırmacılar tarafından yapılan gözlemler, rezervuardaki su seviyesinin baraj yüksekliğinin yaklaşık olarak yarısından az olduğu durumda ve rezervuara giren debinin ortalama debinin en az iki katına çıkması halinde etkili bir yıkamanın mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

6. BİR ÖRNEK DENEYSEL UYGULAMA: GÜLLÜBAĞ BARAJI DOLU/SEDİMENT SAVAK YAPISI VE İŞLETME KOŞULLARININ SEDİMENT YIKAMA VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

6.1 Projenin Tanımı Ve Model Deneylerinin Amacı

İspir Barajı ve HES'in mansabında yapılması planlanan ve Yukarı Çoruh Havzası'nın üçüncü barajı olan Güllübağ Barajı ve HES; Erzurum ili, İspir ilçesinin 5.60 km mansabında yer almaktadır.

Güllübağ Barajı'nın kurulu gücü 84 MW olup, 105 m brüt düşü ile yıllık toplam 284.50 GWh enerji üretilmesi planlanmaktadır. Barajın toplam rezervuar hacmi 20.75 hm^3, aktif hacmi ise 11.33 hm^3'tür (Sucu ve Dinç, 2008).

Güllübağ Barajı aksının hemen memba tarafında, sol sahilde çok dik eğimli, bir yan dere yer almaktadır. Bu dere havzasından ve tabanından gelen erozyon malzemesi doğrudan barajın sediment savağı ve su alma yapısına yakın bir alana gelmektedir.

Bahsedilen iki sediment kaynağı, membadaki Laleli ve İspir Baraj inşaatlarının gecikmeleri nedeniyle Güllübağ Barajı'na havzadan gelecek olan ve 11 yıl gibi kısa süre içinde baraj aktif hacmini de doldurmasından endişe duyulan sediment yükünden çok daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.

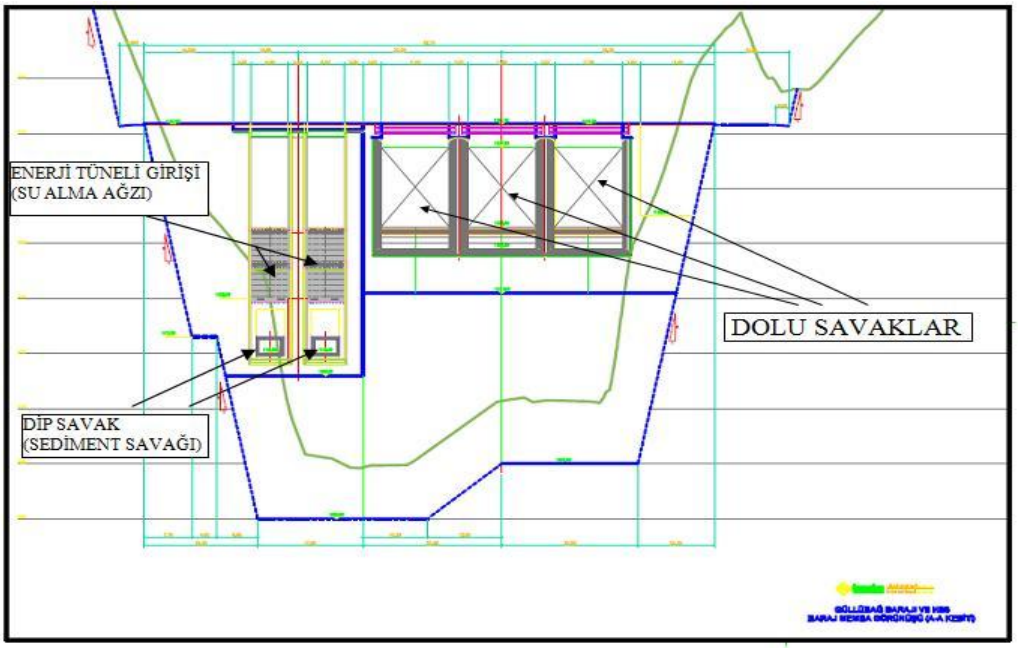
Baraj hidrolik havzasından gelecek olan yüzey ve taban erozyon malzemesi, baraj rezervuarının memba tarafında iri malzemeyi, baraj aksına doğru da ince sürüntü ve askıdaki malzemeyi bırakacaktır.

Baraj aksına yakın konumdaki yan dere ile dik sahil yamaçlarından gelecek kütlesel yamaç molozları doğrudan sediment/dipsavak ve su alma ağzı önünde birikerek, su alma ağzından enerji tüneline sediment girmesi riski yaratabilecektir. Bu nedenle sediment savağı, projede ayrı bir önem taşımaktadır (Avcı ve diğ., 2009).

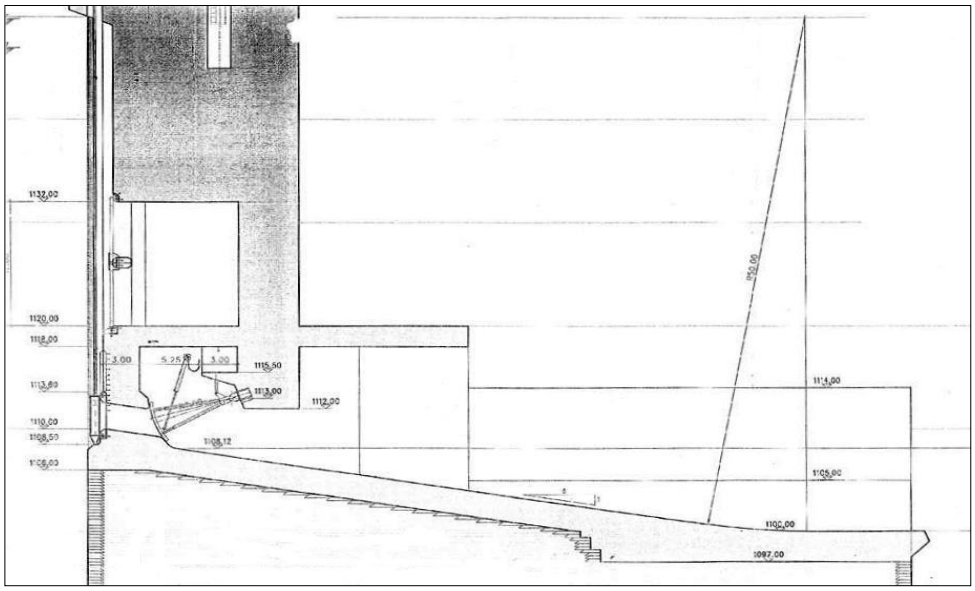
Bu barajın su alma ağzında birikecek muhtemel sedimenti uzaklaştırmak amacıyla, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarında yapılan bir fiziksel model üzerinde Avcı ve Diğerleri (2009) tarafından çeşitli model deneyleri gerçekleştirilmiştir.

6.2 Mevcut Model ve Sistem Elemanları

Güllübağ Barajı'nın gövdesi, silindirle sıkıştırılmış beton (SSB, RCC) baraj gövdesi tipindedir. Baraj gövdesi üzerinde 3 adet kapaklı dolusavak, 1 adet enerji tüneli su alma yapısı ve 2 adet kapaklı dipsavak şeklinde olan sediment yıkama savağı vardır. (Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3)



Şekil 6.1 : Güllübağ Barajı membadan görünüşü (Avcı ve diğ., 2009).



Şekil 6.2 : Güllübağ Barajı kesin projesi, dipsavak (sediment savağı) boy kesiti (Avcı ve diğ., 2009).



Şekil 6.3 : Güllübağ Barajı fiziksel/hidrolik modeli mansaptan görünüşü

6.3 Mevcut Dip Savağın İşletme Koşullarının Yıkama Verimliliğine Etkisinin Araştırılmasına Yönelik Yapılan Model Deneyleri

6.3.1 Dip savak proje debisinin belirlenmesi

Literatürde sediment yıkama amaçlı dipsavakların boyutlandırılması için proje /hesap debisinin seçilmesinde çeşitli kriterler vardır (ICOLD Bulletin 115,p.79). Bu yaklaşım ve kriterlerden en çok kabul görenlerden üçü, aşağıda verildiği gibidir.

- Dipsavakların kapasitesi Q_5 ila Q_{10}'u geçirecek şekilde olmalıdır. (Zhang and Qian,1985; Roseboom,1985)
  (Örneğin,Güllübağ Baraj yeri için, Q_5=364m^3/sn Q_{10}=431m^3/sn'dir.)
- En az yıllık ortalama akımın iki katı olmalıdır (Pitt and Thompson, 1984; WCD Thema Review, Operations, Monitoring and Decomissioning of Dams, 2000).
  (Örneğin, Güllübağ Baraj yeri yıllık ortalama akım= 46.5m^3/sn; buna göre dip savak proje debisi Q= 100m^3/sn olmaktadır.)

- Paul and Dhillon (Water Power, Mayıs 1988) kapasite seçimi için bir tasarım eğrisi önermiştir. Optimum dipsavak yüksekliğinin 1.5-2.5m olması önerilmektedir.

6.3.2 Güllübağ Barajı modeli üzerinde daha önce yapılan model deneyleri

Bu tür rezervuarlardaki sediment birikiminin fiziği ve mekaniğine uygun olarak, membadan/akarsudan gelen çok büyük boyutlu sediment taneleri membada (rezervuar giriş kesitinde) birikirken, buradan itibaren baraj gövdesine doğru çökelen/biriken sediment çapları gittikçe küçülerek devam eder.

Akış kesitinin (derinlik ve genişliğin) iyice büyüdüğü ve akım hızlarının küçüldüğü baraj gövdesine yakın bölgelerde ise askıda gelen silt (veya ince kum) karakterindeki tanelerin zaman içinde tabana çökelmesi sonucu oluşan çamur niteliğindeki bir sediment birikimi ortaya çıkar.

Bu kadar ince malzemenin sulama ağzından içeri girerek, santrale gitmesinde hiçbir sakınca olmamasına karşın, zamanla rezervuardaki aktif su hacminde yaratacağı azalma nedeniyle bir olumsuzluk olarak değerlendirilmektedir (Avcı ve diğ., 2009).

Güllübağ HES'in mevcut 100 m düzeyindeki düşüm yüksekliği dikkate alındığında, sualma ağzından tünele ve buradan da santrale/türbinlere 0.5~0.6 mm'den daha büyük tanelerin girmemesi gerekmektedir.

Bu kriter esas alınarak , Avcı ve Diğerleri (2009) tarafından ,uzun dönem içinde Güllübağ Barajı memba yüzüne (sualma ağzı önüne) kadar gelip, burada birikecek olan 0.6 mm'den daha büyük tanelerin planlanan sediment savağı yardımıyla yıkanabilirliğinin belirlenmesi için, doğada ortalama çapı 2.5 mm'lik kuvars tanelerine karşı gelen, özgül ağırlığı 1.04 gr/cm^3 olan polistren malzeme kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Yaklaşık 1 m^3'lük polisteren kullanılarak, baraj memba yüzünden itibaren mansaba doğru 2 m uzaklığa ve sediment savağı ile tünel giriş kesiti taban seviyesi arasındaki bir seviyeye kadar dolgu yapılmıştır.

Dolgu ve tesviye işleminden sonra, iki farklı su seviyesi ve işletme koşulu için sediment savağının etki alanı ve yıkama verimliliği ile ilgili deneyler yapılmıştır.

Birinci seri deneylerde baraj su seviyesi 1147 m'de (maksimum işletme seviyesi) tutularak dolusavak kapakları, tünel kapakları ve sediment savağı kapakları tam açık

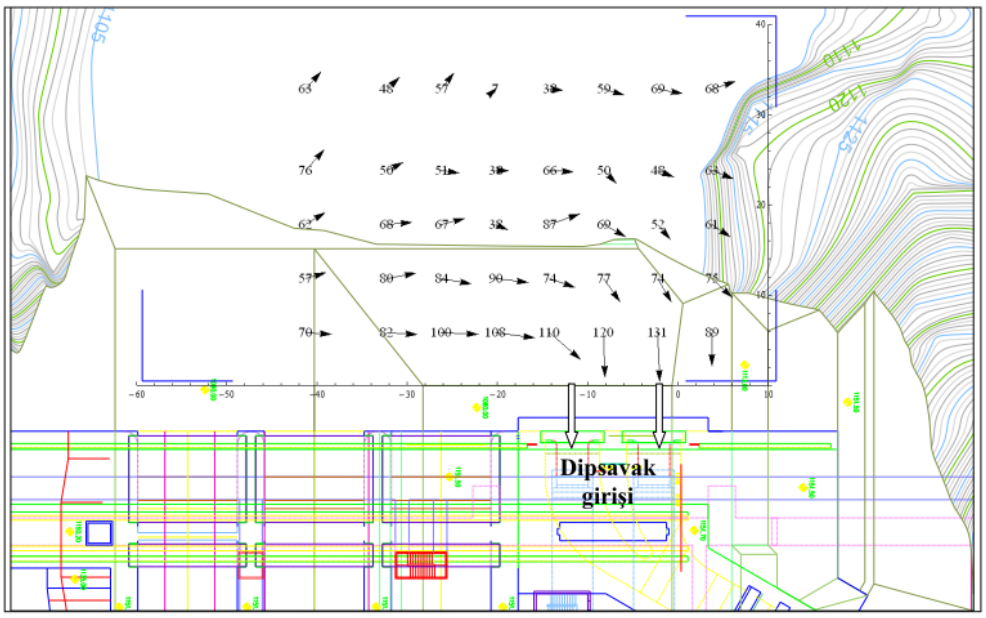
halde iken sediment yıkama deneyleri yapılarak, sediment savaklarının tabanda biriken malzeme üzerindeki yıkama etki ve verimliliği incelenmiştir.

İkinci deney serisinde ise, baraj su seviyesi 1133 m'de (dolusavak kret seviyesi) tutularak, sadece tünel ve sediment savak kapakları tam açık iken benzer deneyler yapılmıştır.

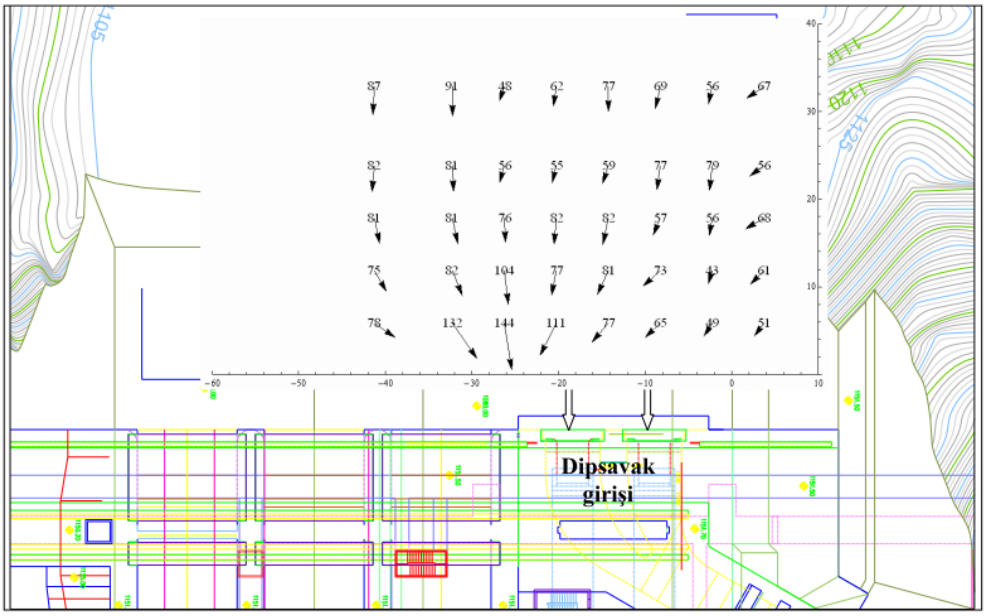
Sediment savağı kapakları tam açık halde iken yapılan deneylerde, baraj memba yüzünden itibaren membaya doğru 1.00 m (prototipte/doğada 30 m) uzaklığa kadar olan alanda yatay ve düşey enkesitler içinde akım hızları ölçülerek; dolusavak, tünel ve sediment savağı akımlarından kaynaklanan hız alanları ve hız dağılımları belirlenmiştir (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5).

Her iki akım ve işletme koşulu (dolusavak + tünel + sediment savağı ile tünel + sediment savağı tam kapasitede işletmede olduğu işletme koşulları) için de sediment savağı ve tünel giriş ağzına yakın bölgede, rezervuar tabanındaki akım hızlarında gerek şiddet ve gerekse doğrultu olarak önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.

Beklenildiği gibi sediment savağı önünde 1.00 m/sn değerini aşan akım hızları, membaya doğru uzaklaştıkça hızla azalmaktadır.



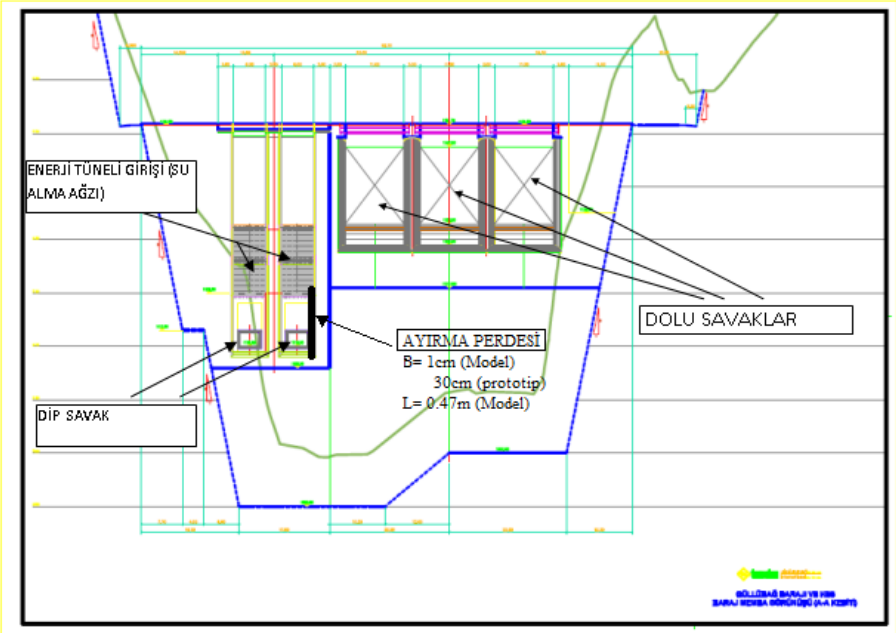
Şekil 6.4 : Dipsavak giriş ağzı seviyesinin 2 m altındaki (1108 m kotu) derinlikten geçen düzlemdeki hız alanı (baraj gölü maks.işletme seviyesinde, dipsavak ve enerji tünel kapakları tam açık) (hızlar cm/s) (Avcı ve diğ., 2009).



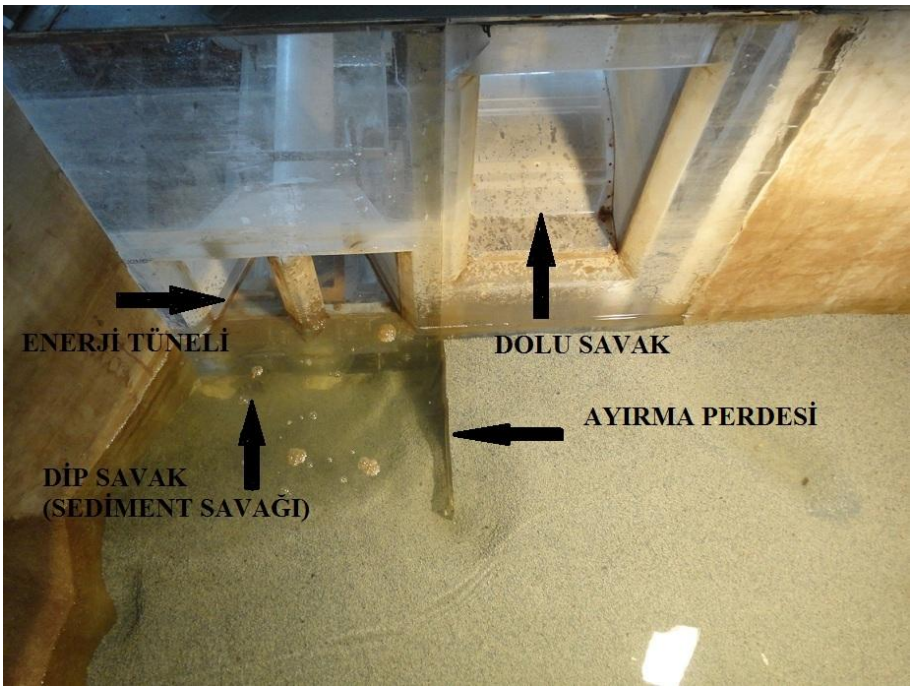
Şekil 6.5 : Dipsavak girişinde 1118 m kotundaki yaklaşım hızı dağılımı (baraj gölü maks. işletme seviyesinde, dipsavak ve enerji tünel kapakları tam açık) (hızlar cm/s) (Avcı ve diğ., 2009).

6.3.3 Ayırma perdeli ve perdesiz dip savak hali için optimal işletme koşullarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan ''Deney Programı''

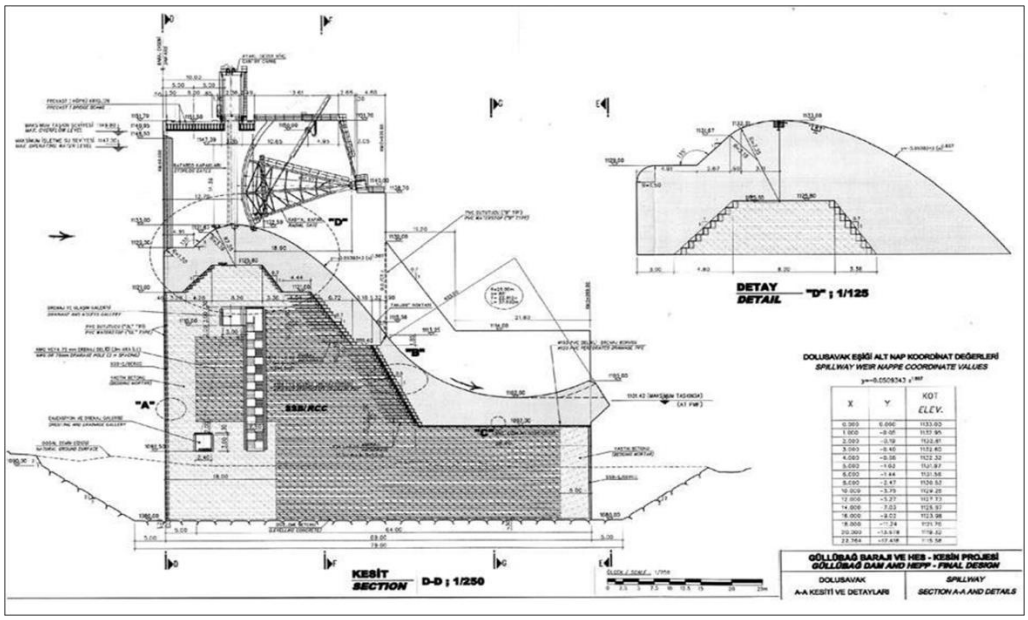
Avcı ve Diğerleri (2009) tarafından daha önce yapılmış olan Güllübağ barajı için dip savak işletme koşullarının yıkama verimliliğine etkisinin araştırılmasının ardından, dip savağın optimum işletme koşullarının belirlenmesi amacıyla bu tez çalışması kapsamı içinde bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamı içinde, önceki koşullara ilave olarak, modele bir de ayırma perdesi monte edilmiş (Şekil 6.6) ve bu ayırma perdesinin yıkama alanına olan etkisi de değerlendirilmiştir. Ayrıca önceki deneylerde kullanılan polisteren malzemenin zaman zaman su yüzüne çıkması sebebiyle doğadaki sedimente daha yakın özellik gösteren özgül ağırlığı 1.36 gr/cm^3, gri renkli propilen bir malzeme olan polistren malzeme tercih edilmiştir. Çizelge 6.1'de verilen deney programına göre, ayırma perdeli ve ayırma perdesiz olacak şekilde iki ana grup halinde toplam sekiz adet deney gerçekleştirilmiştir. Su seviyeleri değiştirilerek gerçekleştirilen bu deneylerde ayrıca tünelin açık ve kapalı olma durumlarının optimal koşullara olan etkisi de araştırılmıştır.



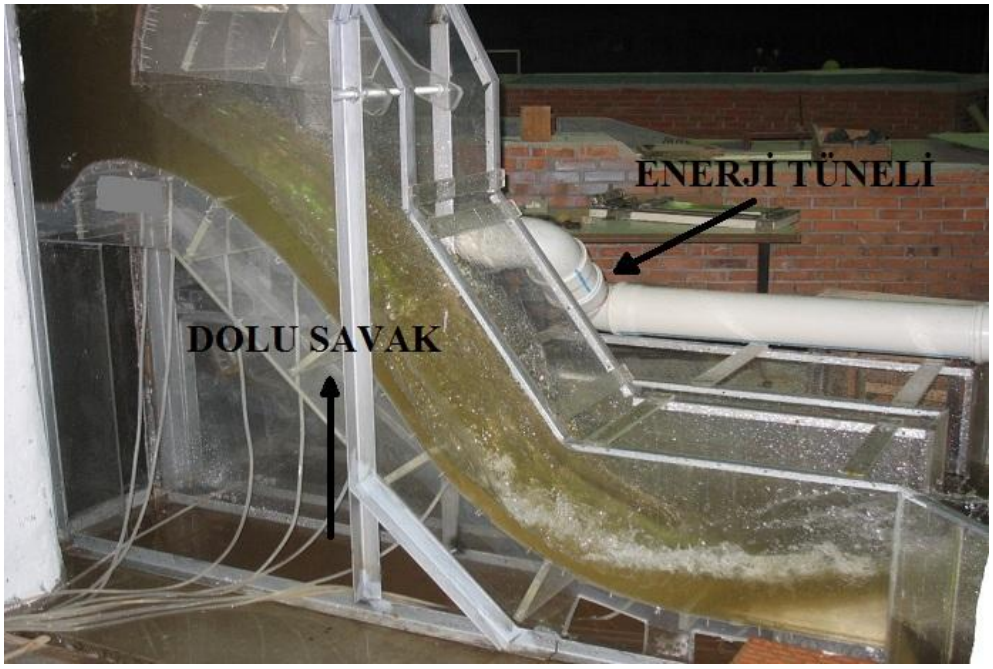
Şekil 6.6: Güllübağ barajı modeli dip savak girişine konulan ‘’ayırma perdesi’’nin yeri ve konumu (Menbadan görünüş)



Şekil 6.7: Güllübağ barajı modeli dip savak girişine konulan ‘’ayırma perdesi’’nin yeri ve konumu (Menbadan görünüş)



Şekil 6.8 : Güllübağ Barajı kesin projesi, dolusavak boy kesiti ve detayı (Avcı ve diğ., 2009).



Şekil 6.9: Güllübağ Barajı modeli dolu savak sol sahilden görünüşü

Çizelge 6.1: Ayırma perdeli ve perdesiz dip savak hali için optimal işletme koşullarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan ‘’Deney Programı’’

Deney Grup No.	Baraj Su Kotu (seviyesi)	Baraj Menbasında Su/Akım Derinliği H(m)	Deney No.	Barajdan Çıkan Akım (m^3/s)			Ayırma Perdesi				N o t l a r
				Q_{ds}	Q_T	Q_{SS}	Yok	Var			
								B(m)	L(m)	Üst Kotu (Talvekten Yükseklik,m)	
1	1133 (Min.İşl. Seviyesi)	42 (prototip) (1.40 Model)	**1.1**	0	X	X	X	-	-	-	
			1.2	0	0	X	X				
2	1120 (Tünel Girişi TabanSeviye)	29 (prototip) (0.97 Mode)	**2.1**	0	0	X	X	-	-	-	
3	1147 (Baraj Max..İşl.Seviyesi)	56 (prototip) (1.87 Mode)	**3.1**	0	X	X	X	-	-	-	
4	1133 (Min.İşl. Seviyesi)	42 (prototip) (1.40 Mode)	**4.1**	0	X	X	-	(Model 1 cm; Prototip 30 cm)	(Model 0.47m Prototip 14 m)		
			4.2	0	0	X	-	(Model 1 cm; Prototip 30 cm)	Model 0.47m Prototip 14 m		
5	1120 (Tünel Giriş Taban Sev.)	29 (prototip) (0.97 Mode)	**5.1**	0	0	X	-	(Model 1 cm; Prototip 30 cm)	Model 0.47m Prototip 14 m		
6	1147 (Baraj Max..İşl.Seviyesi)	56 (prototip) (1.40 Mode)	**6.1**	0	0	X	-	(Model 1 cm; Prototip 30 cm)	Model 0.47m Prototip 14 m		

$\mathbf{Q_{ds}}$: Dolu savak debisi

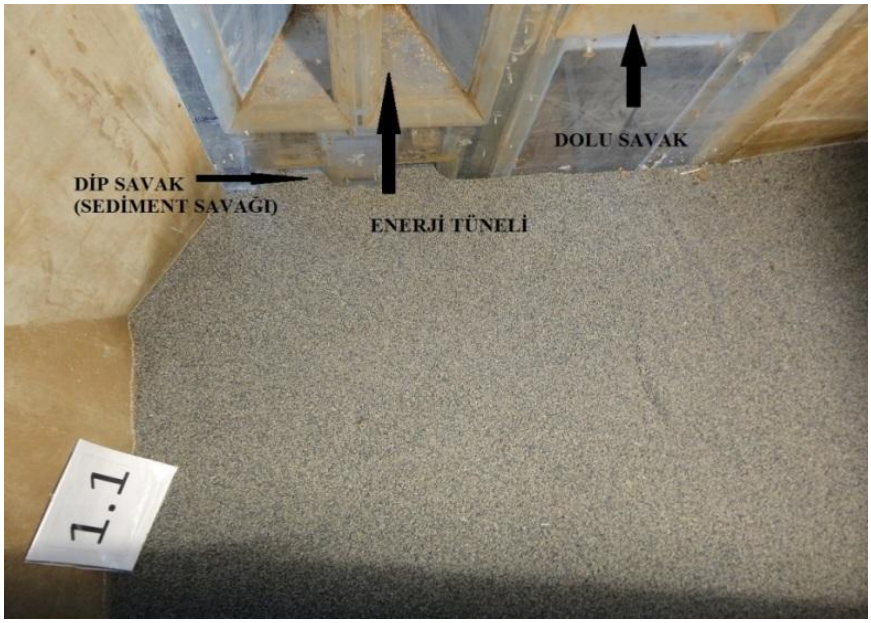
$\mathbf{Q_{ss}}$: Sediment savağı debisi (dip savak debisi)

$\mathbf{Q_T}$: Enerji tüneli debisi

6.3.4 Deney programına göre yapılan deneyler

Deney 1.1

Minimum işletme seviyesinde (1133m); dolu savağın devre dışı olduğu, dip savak (sediment savağı) ve tünelin devrede olduğu deney, ayırma perdesiz olarak gerçekleştirilmiştir(Şekil 6.10). Bu seride baraj rezervuarına/modele giren debinin değeri, bu işletme seviyesine karşı gelen tünel ve dip savak proje debilerinin toplamına eşit olacak şekilde ayarlanmıştır.



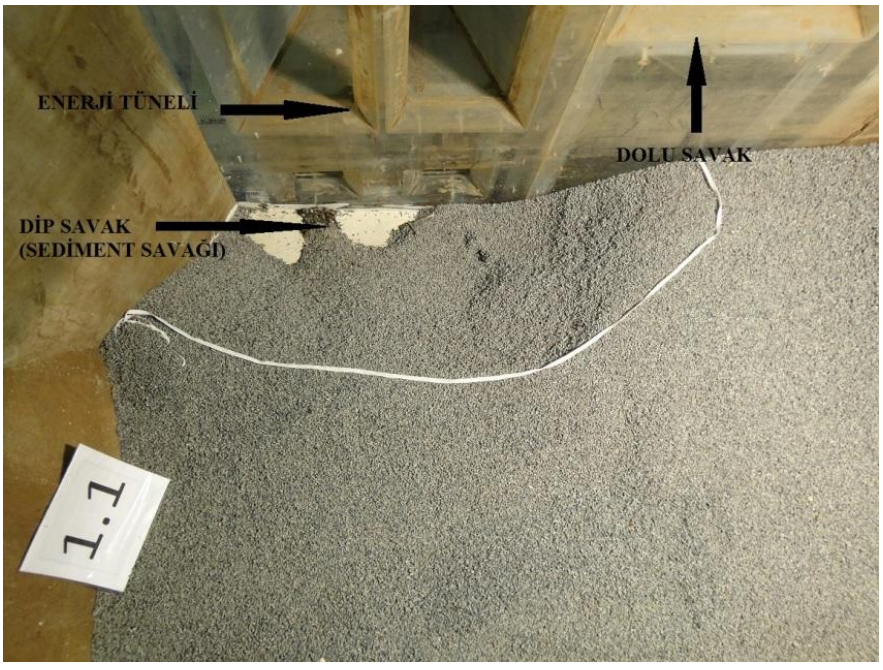
Şekil 6.10 : Deney öncesi polisteren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş ayırma perdesiz model

Minimum işletme seviyesine kadar su ile doldurulan baraj rezervuarı, daha sonra, bir yandan bu rezervuar girişinden gerekli miktarda su girişi sağlanırken, bir yandan da dip savak (sediment savağı) kapakları ve tünel kapağı açılarak sistemde süreklilik sağlanmıştır. Bu kararlı su seviyesinde yaklaşık 20 dakika deneye devam edildikten sonra, dip savak önündeki sediment birikimi ve yıkama konisinin konumu izlenmiş ve görüntüleri alınmıştır (Şekil 6.11).

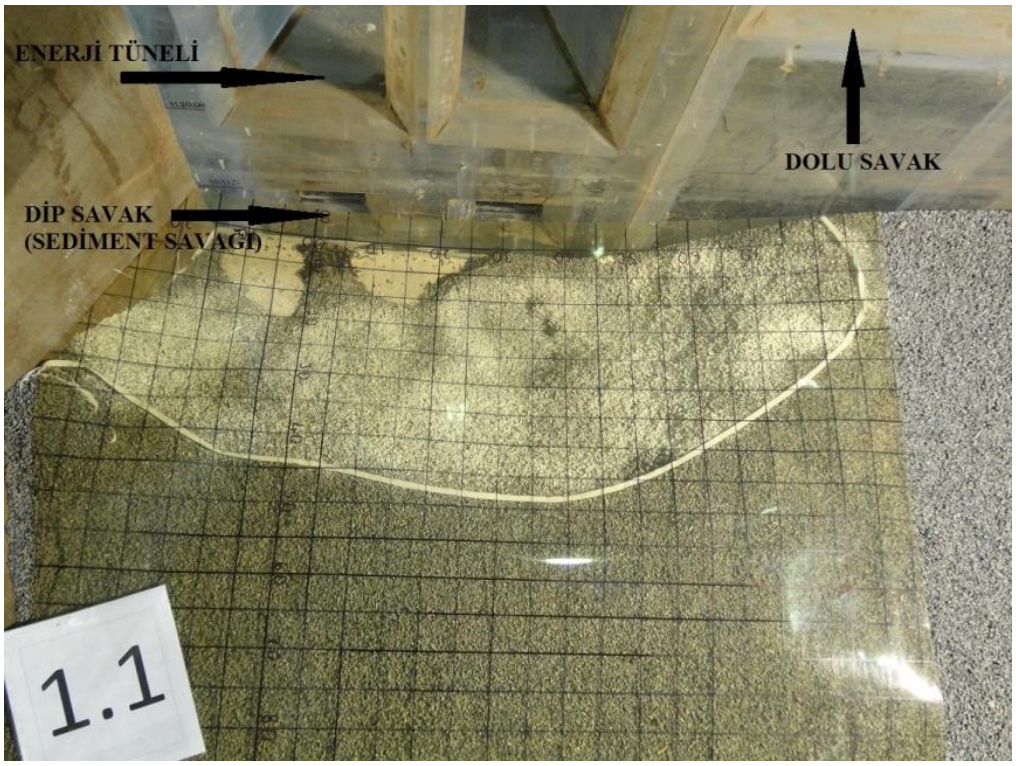


Şekil 6.11 : Yıkanmış sediment alanı

Yıkanan sedimentin alanının daha iyi görülebilmesi için beyaz bir şerit (Şekil 6.12a) ve kireç kullanılarak bu alan belirginleştirilmiştir. Ayrıca yıkanan alanın boyutlarının belirlenebilmesi için de 5x5(cm) olacak şekilde eş karelere ayrılmış asetat kağıdı kullanılmıştır (Şekil 6.12b).



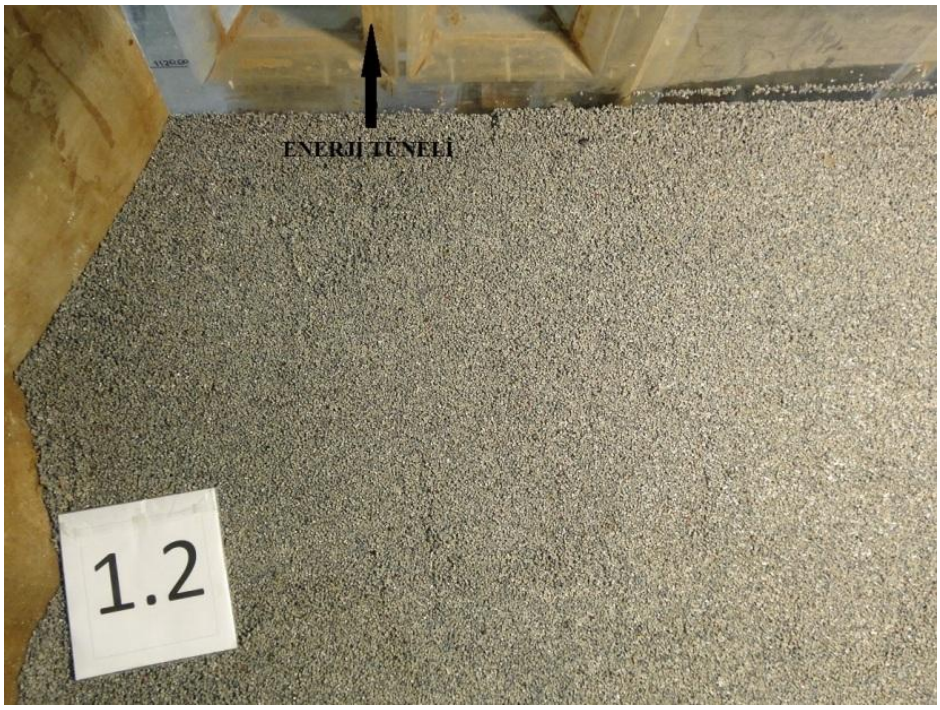
Şekil 6.12 - a) : Şerit yardımıyla işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı



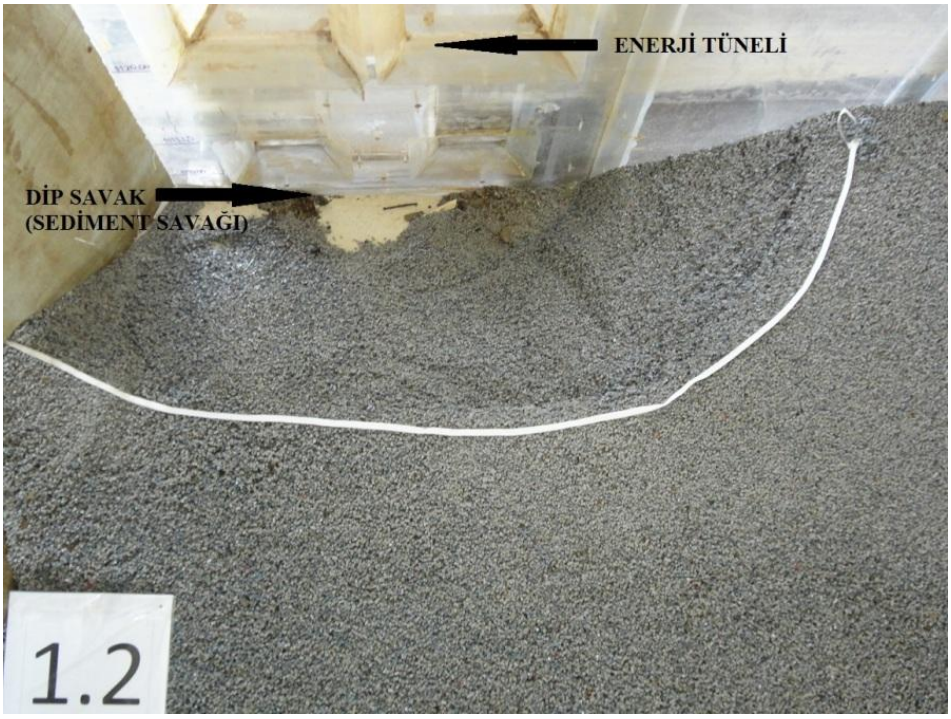
Şekil 6.12 – b) : Asetat kağıdı kullanılarak ölçeklendirilen yıkanmış sediment alanı

Deney 1.2

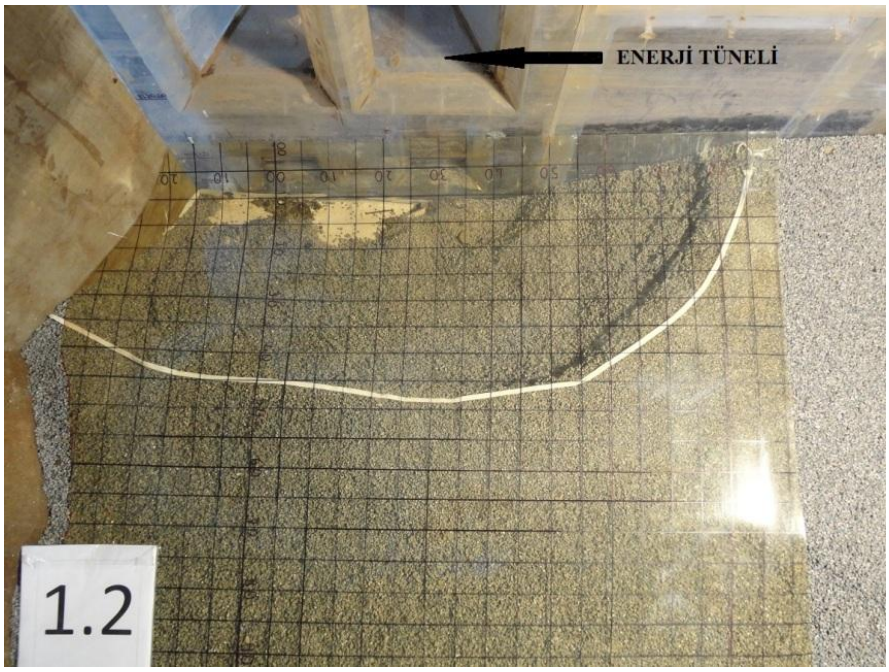
Minimum işletme seviyesinde (1133m); dolu savağın ve tünelin devre dışı olduğu, dip savak (sediment savağı)'ın devrede olduğu deney, ayırma perdesiz olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.13). Burada da yine minimum işletme seviyesine kadar su ile doldurulan baraj rezervuarı, daha sonra, bir yandan bu rezervuar girişinden gerekli miktarda su girişi sağlanırken, bir yandan da dip savak (sediment savağı) kapakları açılarak sistemde süreklilik sağlanmıştır. Bu kararlı su seviyesinde yaklaşık 20 dakika deneye devam edildikten sonra, dip savak önündeki sediment birikimi ve yıkama konisinin konumu izlenmiş ve görüntüleri alınmıştır (Şekil 6.14a ve Şekil 6.14b).



Şekil 6.13 : Deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model



Şekil 6.14 – a) : Şerit yardımıyla işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı



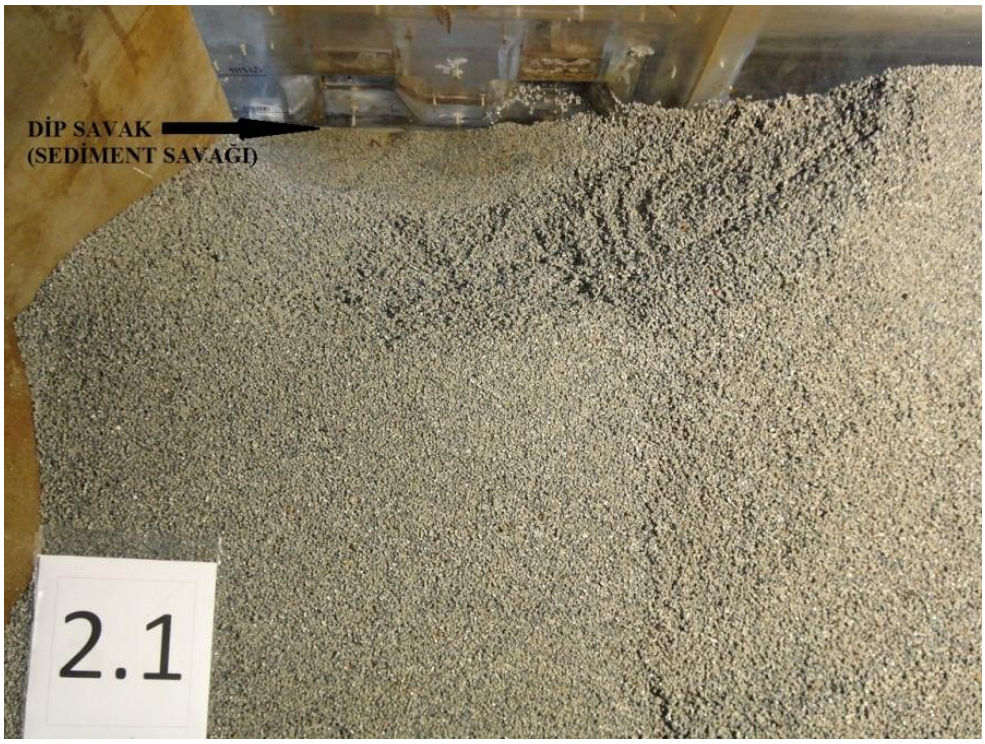
Şekil 6.14 – b) : Asetat kağıdı kullanılarak ölçeklendirilen yıkanmış sediment alanı

Deney 2.1

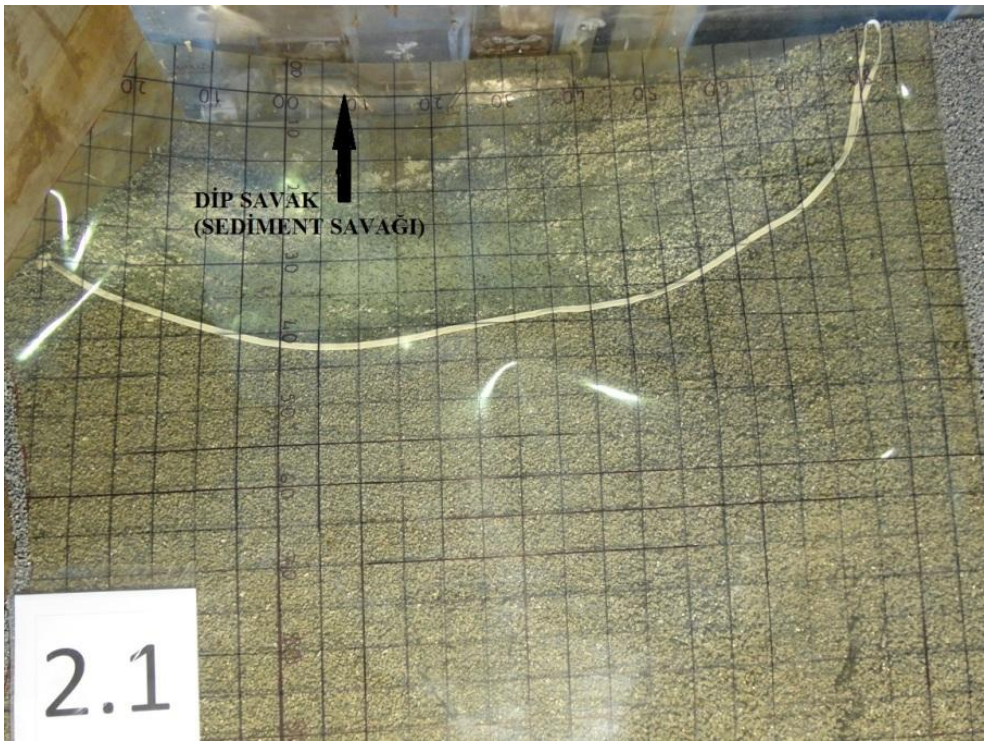
Rezervuar su seviyesi, tünel girişi taban seviyesinde (1120m); dolu savağın ve tünelin devre dışı olduğu, dip savak (sediment savağı)'ın devrede olduğu bu deney, ayırma perdesiz olarak gerçekleştirilmiştir . Bu ndeney serisine ait deney öncesi ve deney sonrası görüntüler Şekil 6.15 ve Şekil 6.16a ve Şekil 6.16b'de verilmektedir.



Şekil 6.15 : Deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model



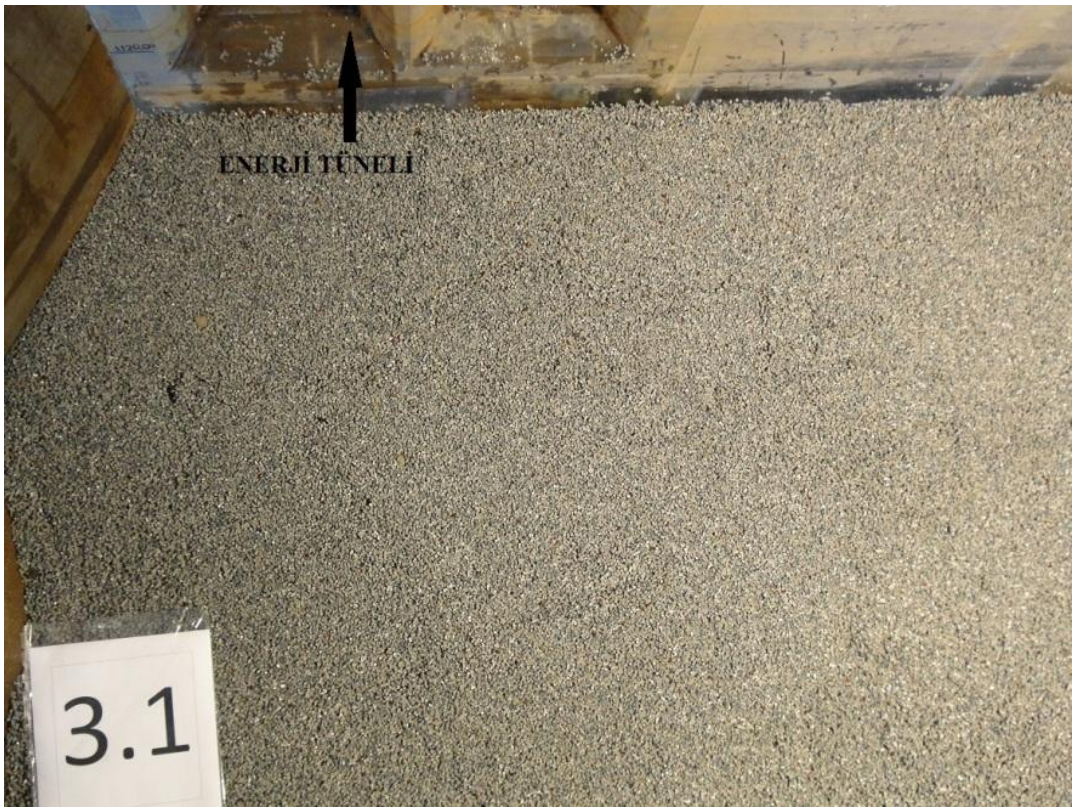
Şekil 6.16 – a) : Yıkanmış sediment alanı



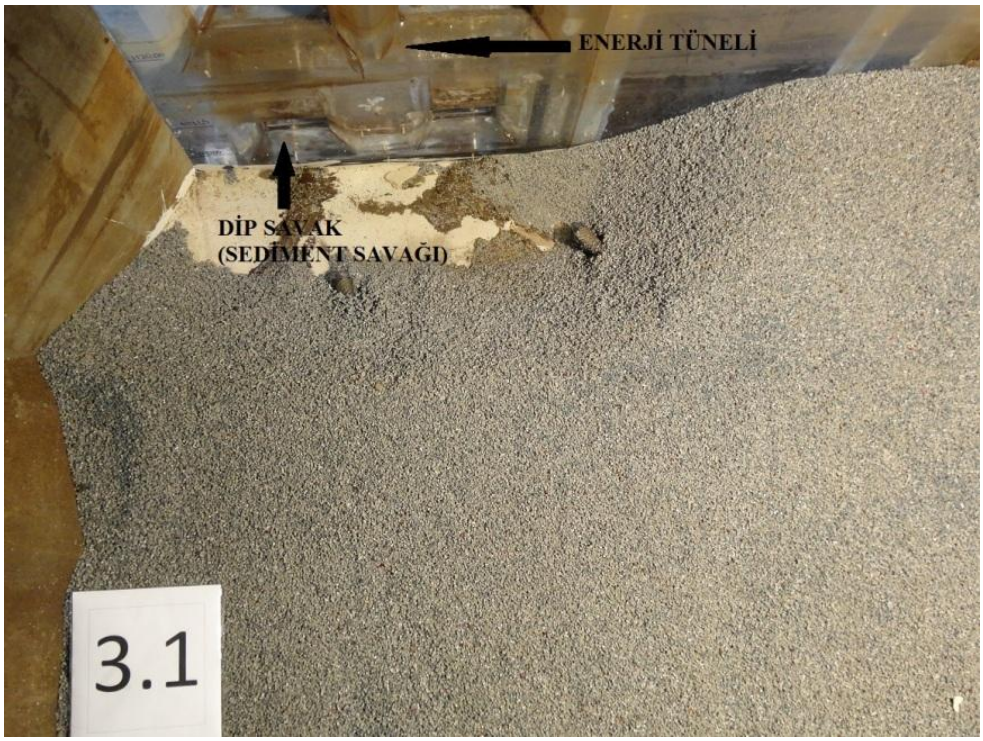
Şekil 6.16 – b) : Asetat kağıdı, şerit ve kireç kullanılarak işaretlenen yıkanmış sediment alanı

Deney 3.1

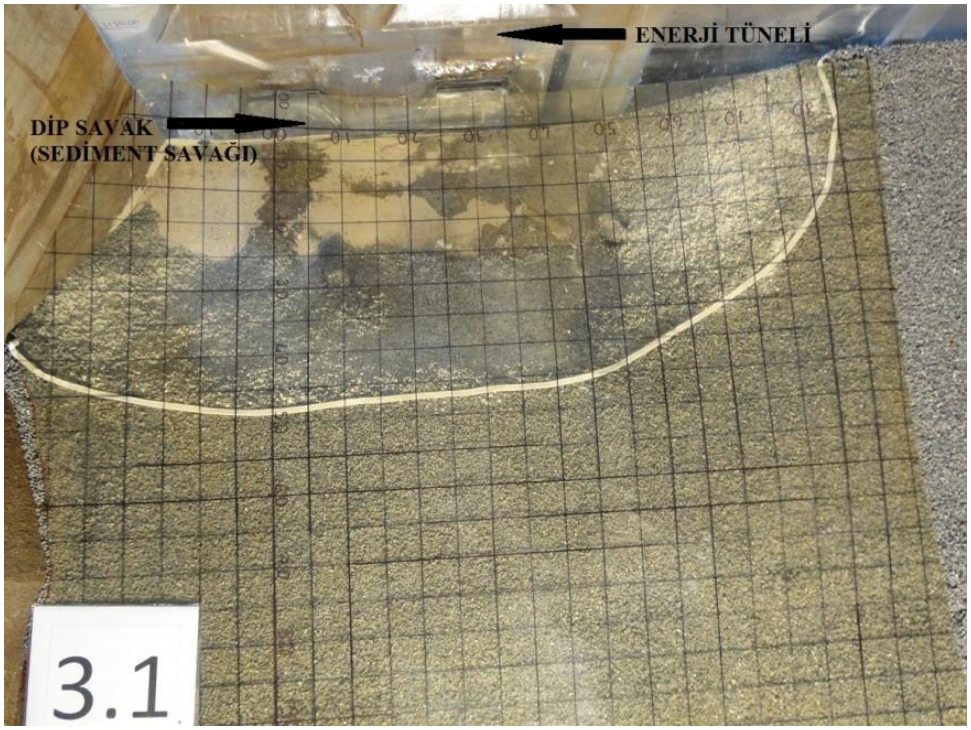
Baraj maksimum işletme seviyesinde (1147m); dolu savağın ve tünelin devre dışı olduğu, ayırma perdesiz dip savak (sediment savağı)'ın devrede olduğu durum için yapılan deney ve sediment yıkama savağının yıkama etkinliğine ilişkin görüntü ve sonuçlar Şekil 6.17 , Şekil 6.18a ve Şekil 6.18b'de verimiştir.



Şekil 6.17 : Deney öncesi polisteren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model



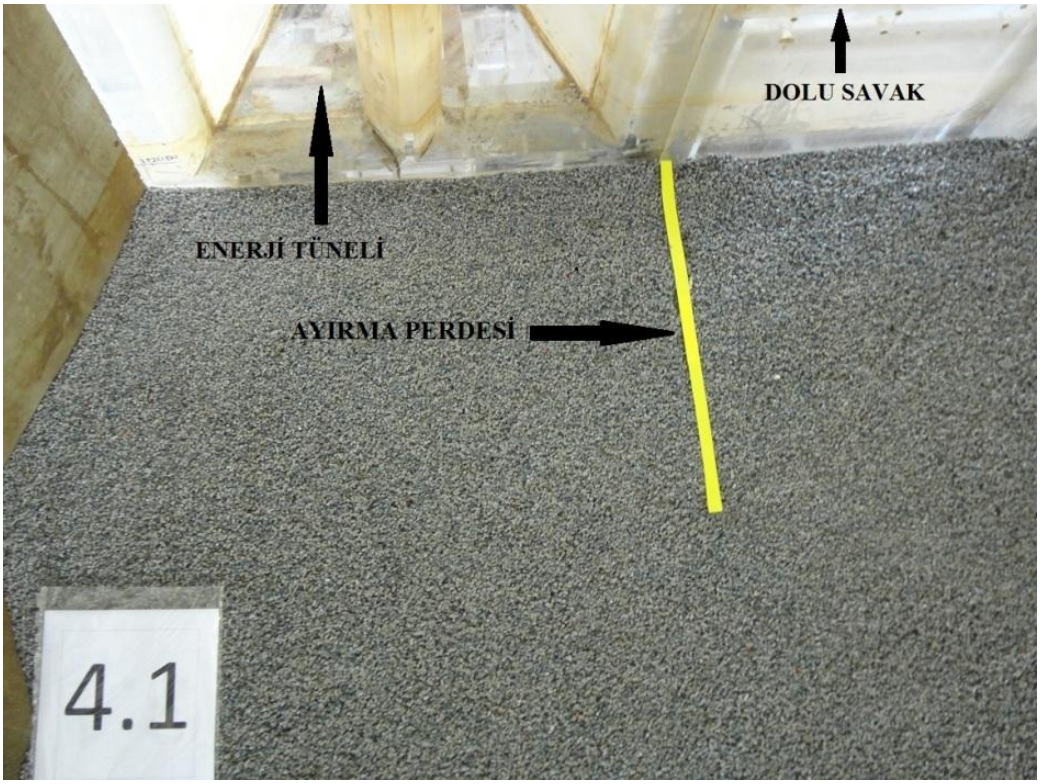
Şekil 6.18 – a) : Yıkanmış sediment alanı



Şekil 6.18 – b) : Asetat kağıdı, şerit ve kireç kullanılarak görüntülenen yıkanmış sediment alanı

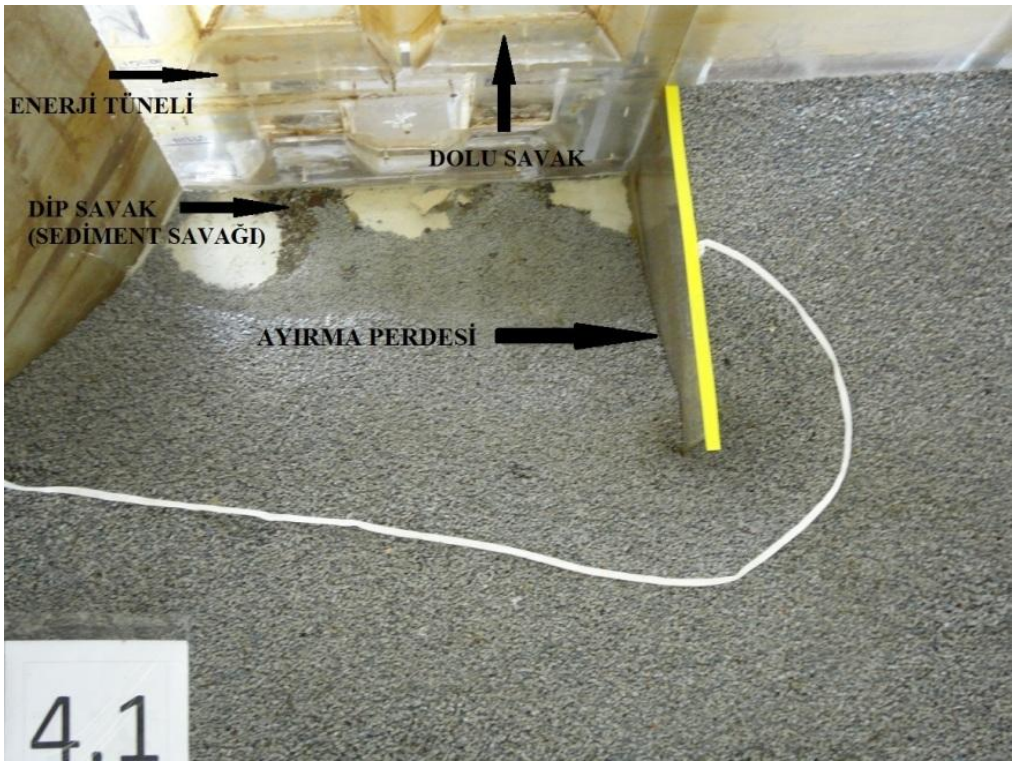
Deney 4.1

Minimum işletme seviyesinde (1133m); dolu savağın devre dışı olduğu, ayırma perdeli dip savak (sediment savağı) ve tünelin devrede olduğu deney serisine ilişki deney görüntüleri ve sonuçları Şekil 6.19, Şekil 6.20a ve Şekil 6.20b'de verilmiştir.

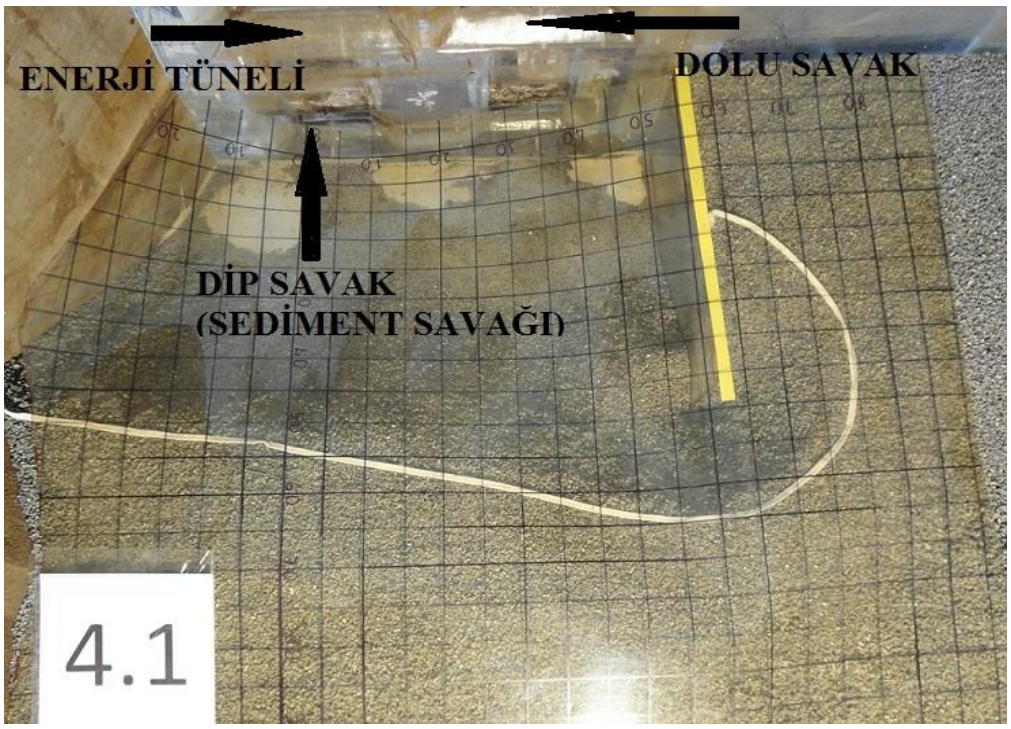


Şekil 6.19 : Ayırma perdesi monte edilerek deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model

Minimum işletme seviyesine kadar su ile doldurulan deney modeli daha sonra dip savak (sediment savağı) kapakları ve tünel açılarak ağır ağır boşaltılmıştır. Suyun tamamen boşaltılmasının ardından dip savak önünde belli bir alanın yıkanmış olduğu görülmüştür (Şekil 6.20a ve Şekil 6.20b).



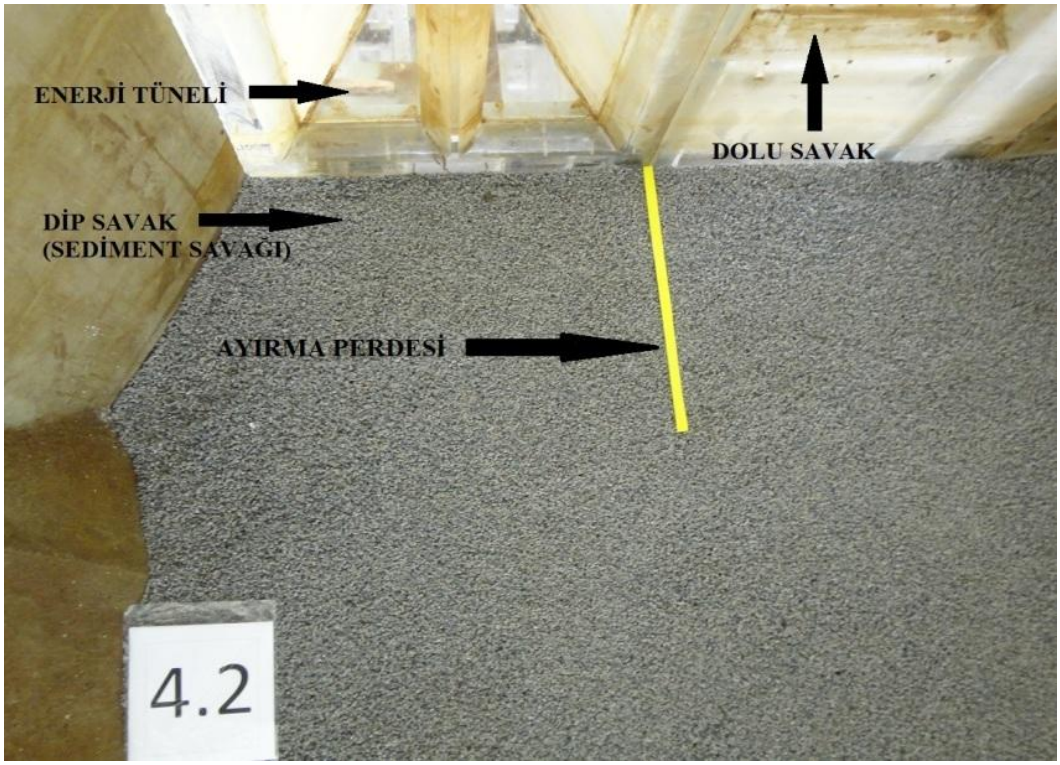
Şekil 6.20 – a) : Şerit yardımıyla işaretlenen yıkanmış sediment alanı



Şekil 6.20 – b) : Şerit ve kireç kullanılarak işaretlenen yıkanmış sediment alanı

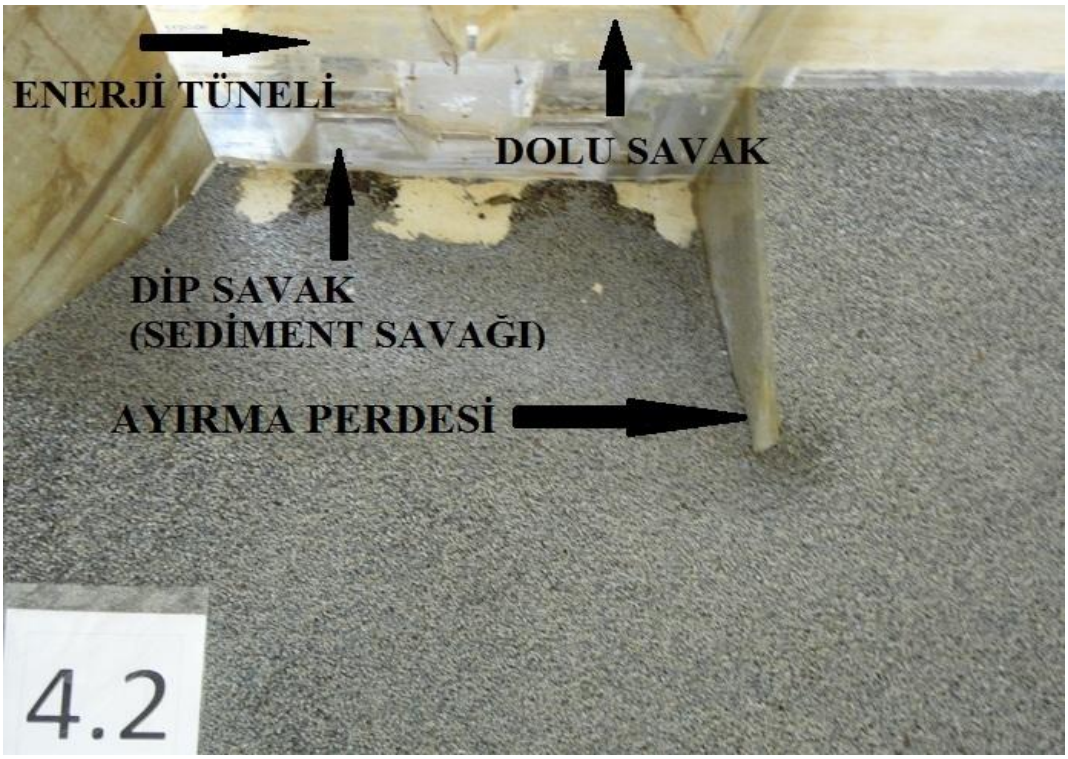
Deney 4.2

Minimum işletme seviyesinde (1133m); dolu savağın ve tünelin devre dışı olduğu, dip savak (sediment savağı)'ın devrede olduğu deney, ayırma perdeli olarak gerçekleştirilmiştir. (Şekil 6.21).

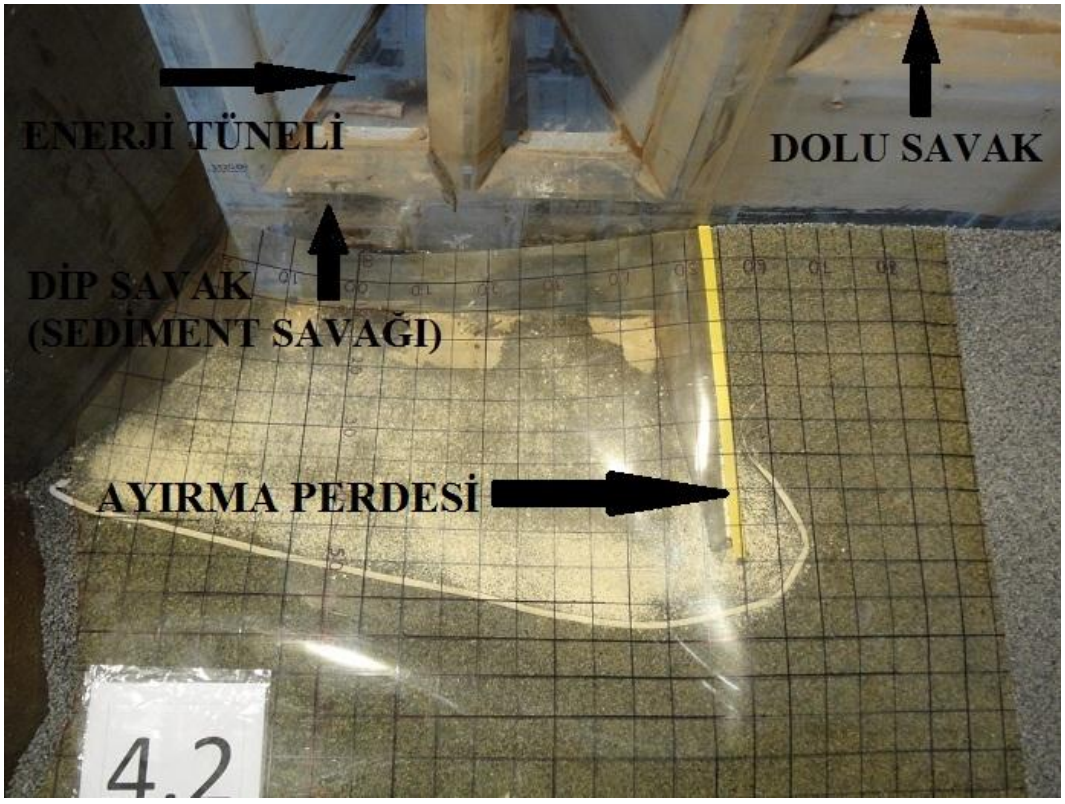


Şekil 6.21 : Ayırma perdesi monte edilerek deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model

Minimum işletme seviyesine kadar su ile doldurulan deney modeli daha sonra dip savak (sediment savağı) kapakları açılarak ağır ağır boşaltılmıştır. Suyun tamamen boşaltılmasının ardından dip savak önünde belli bir alanın yıkanmış olduğu görülmüştür (Şekil 6.22a ve Şekil 6.22b).



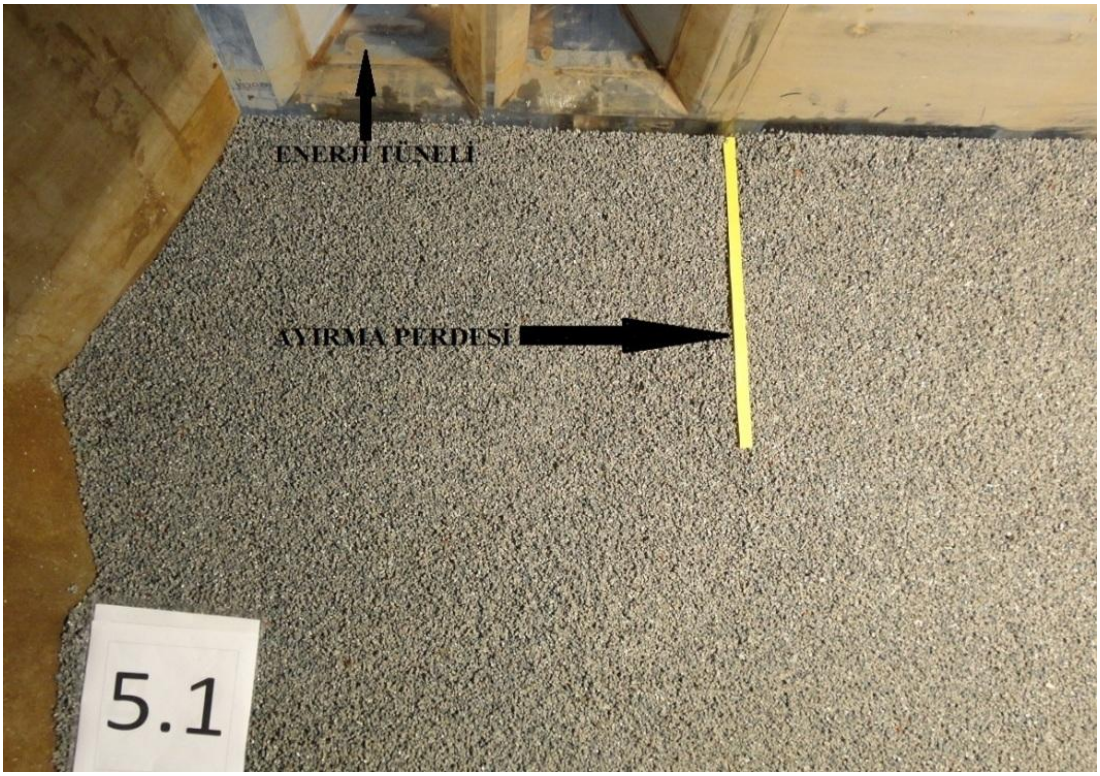
Şekil 6.22 – a) : Yıkanmış sediment alanı



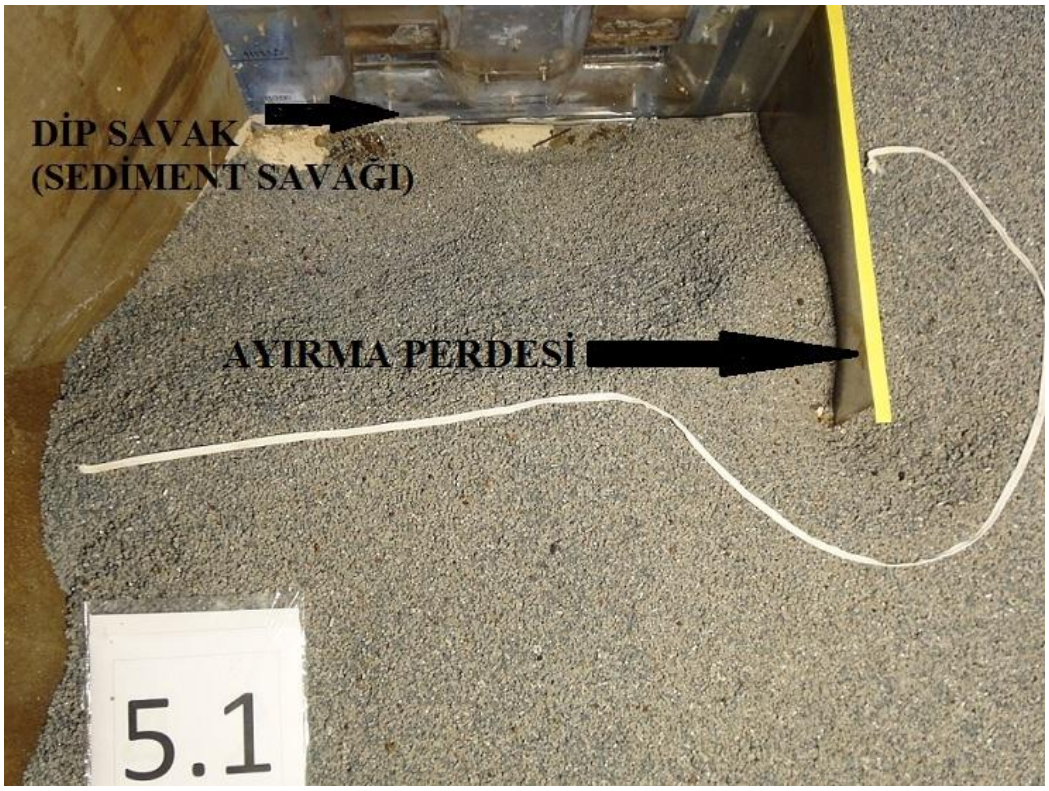
Şekil 6.22 – b) : Asetat kağıdı, şerit ve kireç kullanılarak işaretlenen yıkanmış sediment alanı

Deney 5.1

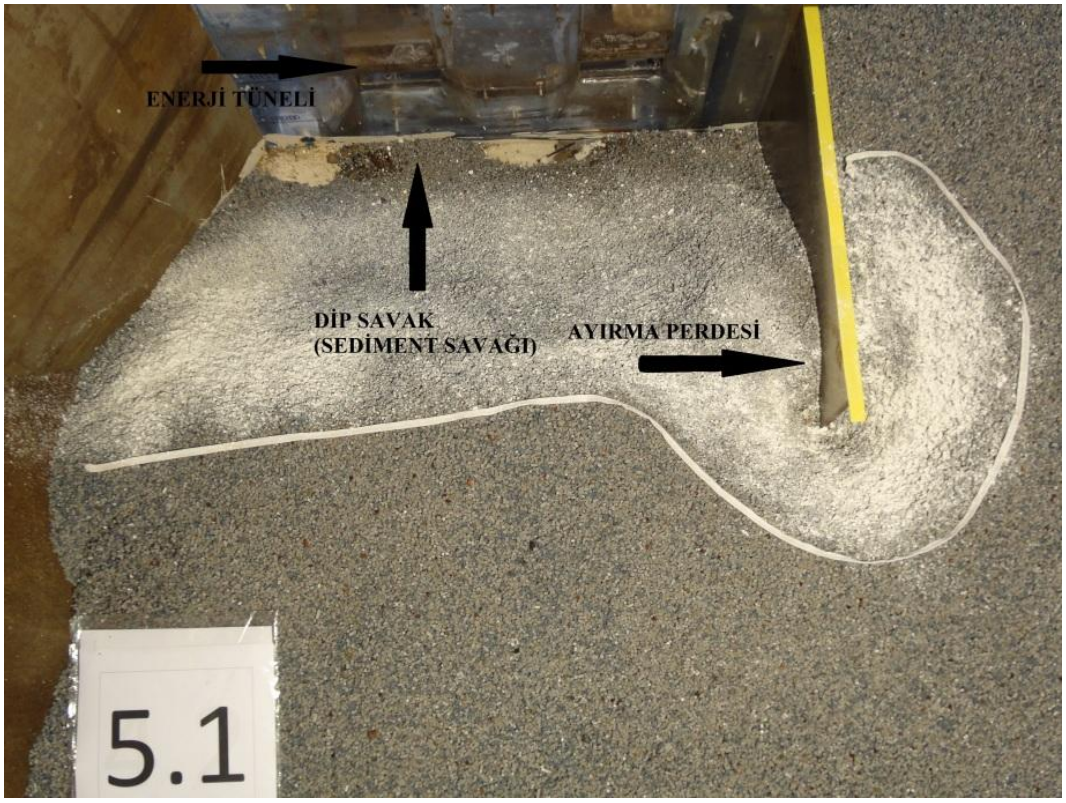
Rezervuar su seviyesi, tünel girişi taban seviyesinde (1120m); dolu savağın ve tünelin devre dışı olduğu, ayırma perdeli dip savak (sediment savağı)'ın ise devrede olduğu deneylere ilişkin görüntü ve yıkama görüntüleri Şekil 6.23, Şekil 6.24a ve Şekil 6.24b'de verilmiştir.



Şekil 6.23 : Ayırma perdesi monte edilerek deney öncesi polistren malzeme ile doldurulup tesviye edilmiş model



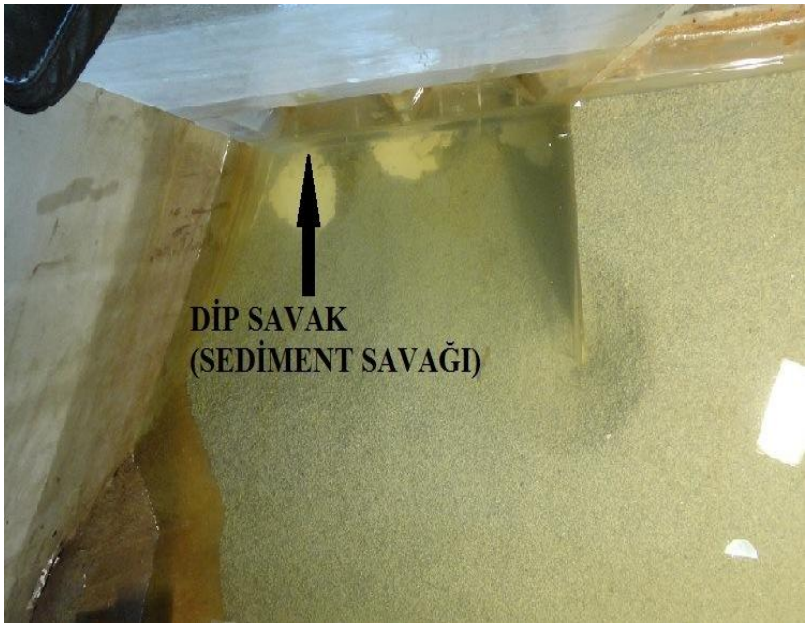
Şekil 6.24 – a) : Şerit kullanılarak işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı



Şekil 6.24 – b) : Şerit ve kireç kullanılarak işaretlenmiş yıkanmış sediment alanı

Deney 6.1

Baraj maksimum işletme seviyesinde (1147m); dolu savağın ve tünelin devre dışı olduğu, ayırma perdeli dip savak (sediment savağı)'ın ise devrede olduğu deneylere ilişkin deney ve yıkama verimliliğine ilişkin görüntü Şekil 6.25'de verilmiştir.

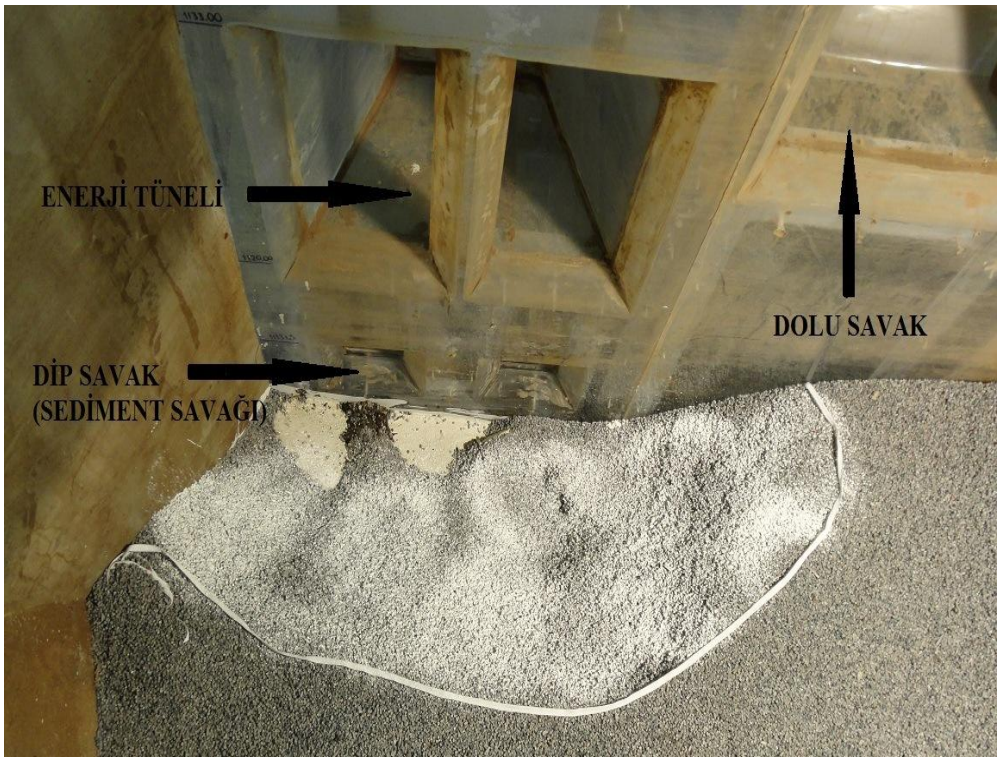


Şekil 6.25: Ayırma perdeli dip savakta yıkanmış sediment alanı

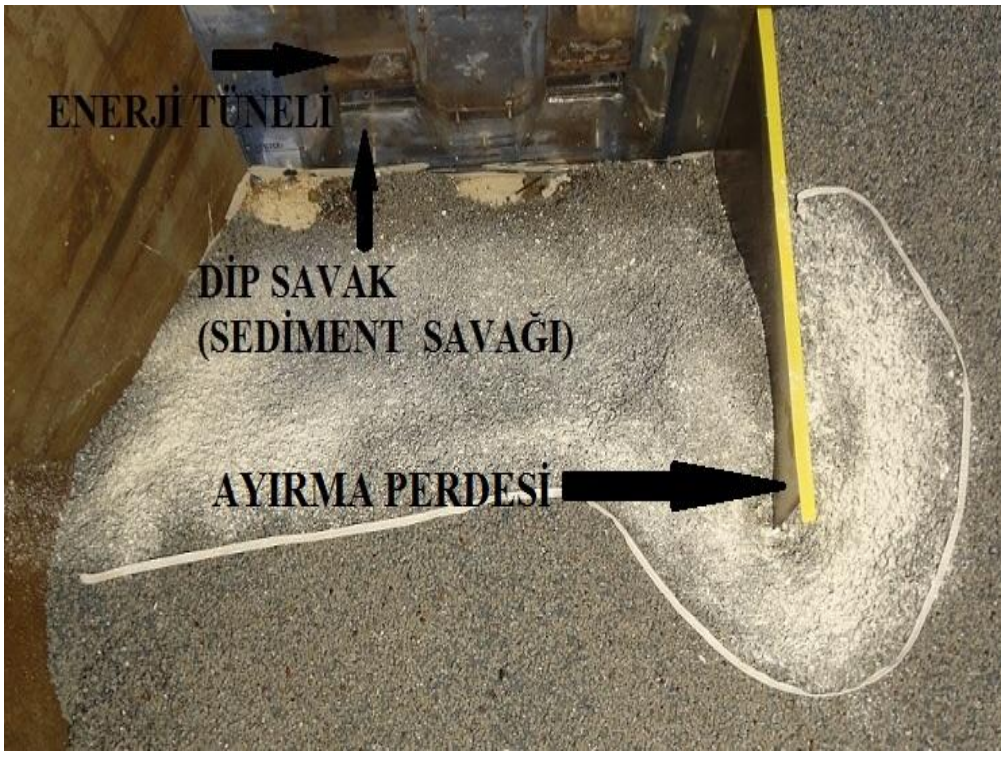
6.3.5 Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu tez kapsamı içinde bir örnek uygulama olarak Güllübağ barajı modeli üzerinde yapılan aynı boyutlu ''Ayırma Perdeli'' ve ''Ayırma Perdesiz'' dip savağı (sediment yıkama savağı) ''Yıkama Verimliliği'' ve ''Optimal İşletme Koşulları''na ilişkin deney ve deney sonuçları, bundan önceki alt bölümde verilmiştir.

Tüm bu deneyler sonucunda, barajdaki su seviyesinin düşük olduğu ve ayırma perdesinin kullanıldığı bir dip savak işletmesinde , savak önündeki sediment yıkama alanı ve yıkama uzunluğunun en yüksek düzeye çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 6.26 ve Şekil 6.27).

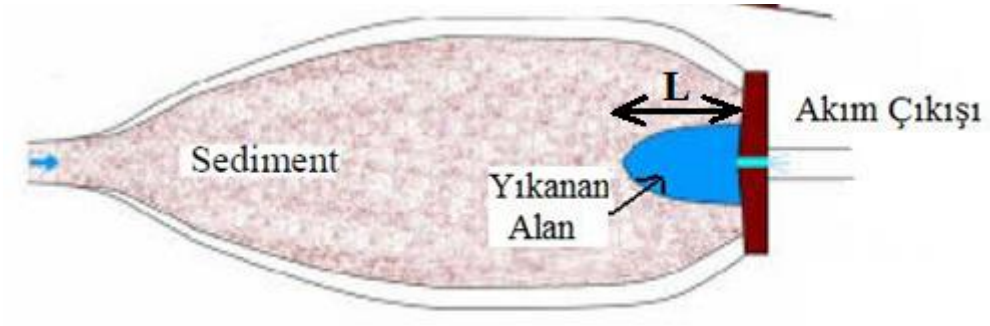


Şekil 6.26: Güllübağ barajı minimum su seviyesi için ayırma perdesiz bir dip savak (sediment savağı) işletmesinin yıkama etki alanı

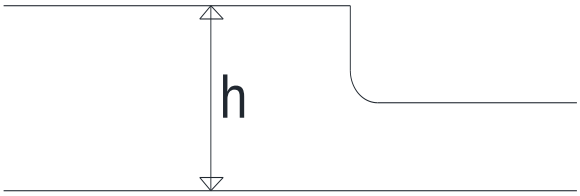


Şekil 6.27: Güllübağ barajı minimum su seviyesi için ayırma perdeli bir dip savak (sediment savağı) işletmesinin yıkama etki alanı

Deneyler sonucunda gözlemlenen yıkanmış alanların nicel olarak da ifade edilebilmesi için, deneyler esnasında kullanılan asetat kağıdı yardımıyla yıkanmış alanlar ölçülerek tablo ve grafik haline dönüştürülmüştür.



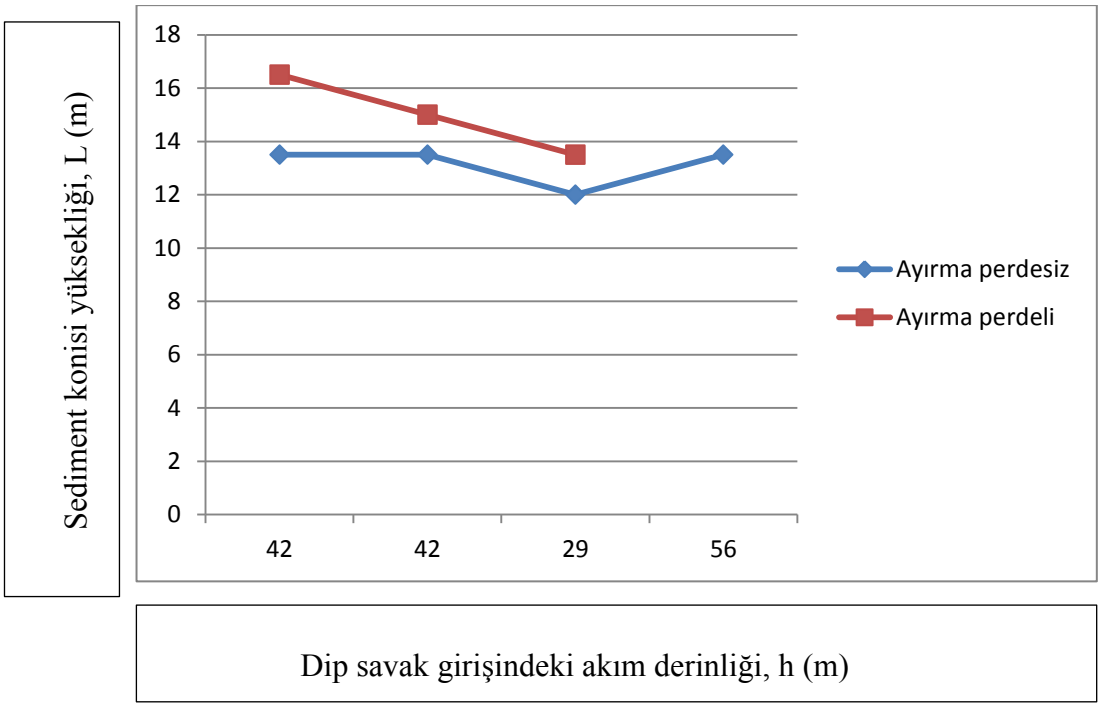
Şekil 6.28: Sediment yıkama konisi yüksekliği



Şekil 6.29: Dip savak girişindeki akım derinliği

Çizelge 6.2 – Su yüksekliği ile değişen, ayırma perdeli ve ayırma perdesiz yıkanmış alanlar

SEDİMENT YIKAMA KONİSİ YÜKSEKLİĞİ, L (m)		DİP SAVAK GİRİŞİNDEKİ AKIM DERİNLİĞİ, h (m)	
AYIRMA PERDESİZ	AYIRMA PERDELİ	AYIRMA PERDESİZ	AYIRMA PERDELİ
13.5	16.5	42	42
13.5	15	42	42
12	13.5	29	29
13.5	-	56	-



Şekil 6.30: Su yüksekliği ile değişen, ayırma perdeli ve ayırma perdesiz yıkanmış alanların grafik olarak karşılaştırılması

Ayırma perdeli dip savağın kullanıldığı bir barajda, rezervuardaki su seviyesinin minimum olduğu ve havzadan rezervuara giren/gelen suyun da maksimum olduğu dönemlerde bu dip savak üzerinden yapılacak yıkamanın çok daha etkili olacağı açıktır. (Çizelge 6.2, Şekil 6.30)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında genel olarak sediment kavramı, rezervuarlar, rezervuarların aktif depolama kapasitelerini koruma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Özellikle de bu aktif depolama kapasitelerini koruma yöntemlerinden yıkama yöntemi üzerinde durulmuş ve bu kapsamda Güllübağ barajı modeli üzerinde deneyler yapılmıştır.

Yıkama yöntemi, rezervuarda biriken sedimentin büyük kapasiteli dipsavaklar yardımıyla mansaba aktarılması yöntemidir. İri taneli malzemenin yıkanmasında etkilidir. Yıkama sırasında rezervuar su seviyesinin düşürülmesi, yıkamanın etkinliğini arttırır. Yoğunluk akımlarının dipsavaklar yardımıyla mansaba aktarılması da etkili bir yıkama yöntemidir.

Barajlarda son yıllarda uygulanmaya başlanan, kapasitesi arttırılmış dipsavaklar ve sediment yıkama savakları yardımıyla; ancak sualma ağzı önündeki sınırlı bir alanda biriken ve zamanla konsolide olmamış, ince malzeme birikiminin yıkanarak temizlenmesi mümkündür. Ancak baraj rezervuarında birikecek olan malzemenin temizlenerek aktif hacmin sürekli olarak korunması beklenemez.

Bu tez kapsamı içinde yapılan deneyler sonucunda, bu ince malzemenin en yüksek verimle yıkanabileceği optimum koşul belirlenmeye çalışılmıştır.

Tüm bu deneyler sonucunda su seviyesinin baraj yüksekliğinin yaklaşık yarısından az olduğu ve dip savaklarda ayırma perdesinin kullanıldığı durumlarda yıkama alanını menbaya doğru genişlediği görülmüştür (Şekil 6.30).

Barajdaki su seviyesinin minimum düzeyde ve havzadan baraja gelen akımın da maksimum olduğu durumlarda ayırma perdeli dip savaklar yardımıyla yapılacak yıkama işleminde bu yıkma verimliliği çok daha artacaktır.

Barajlarda dip savakların aynı zamanda bir sediment yıkama savağı olarak kullanılmasında, yıkama verimliliğinin artırılmasını sağlayan ayırma perdesinin,

savak yapısı, savak girişi ve akım koşulları ile olan ilişkisi ve optimal konum ve boyutlarının belirlenebilmesi için, bu konuda daha kapsamlı deneysel çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

Ağıralioğlu, N. (2004): *''Baraj Planlama ve Tasarımı-Cilt **1**''* Kitap, Su Vakfı Yayınları, İstanbul'04

Akıncı, M. (2002): ''Su Toplama Havzalarında Sedimantasyon Sorunu'', *KHGM Yayınları*, Ankara'02.

Alışık, A., Yalçın, E. (1998): ''Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nde Sediment Etütleri Çalışmaları'', *II. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 22–24 Haziran.

ASCE (1962): ''Sediment Transportation Mechanics: Introduction and Properties of Sediment'', *J. Hyd. Div.*, ASCE, **88**, 77-108.

Avcı, İ., Çokgör, Ş., Durmuş, Ö. (2009): ''Güllübağ Barajı Dolusavak ve Sediment Savağı Model Deneyleri'', SENERJİ Enerji Üretim A.Ş için hazırlanmış Teknik Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, Aralık 2009.

Barkdoll, B. (1999): Experimental Investigation of Flow Past Submerged Vanes, Discussion, Journal of Hydraulic Engineering, A.S.C.E., 896-898.

Bayazıt, M. (1971): *''Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği'',* İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.

Bayazıt, M., Avcı, İ. (2010): *''Akarsularda Akım ve Sediment Taşınımı''*, Kitap, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 2010, Birsen Yayınevi.

Borland, W.M. (1971): *''Reservoir Sedimentation''*, River Mechanics, Water Resources Publication, Fort Collins, USA.

Brabben, T.E. (1988): ''Reservoir Desilting Methods'', *Hydraulics Research*, Wallingford, Tech. Note OD/TN 32, January'88.

Brown, C.B. (1943): *''The Control of Reservoir Silting''*, U.S. Department of Agriculture, Miss. Publ., No.**521**, Aug.'43.

Bruk, S. (1985): ''Methods of Computing Sedimentation In Lakes and Reservoirs'', UNESCO, Paris, France, Feb. 1985.

Cavor, R., Slavic, M. (1983): ''Mathematical Model of Reservoir Flushing'', In: *Num. Methods in Laminar and Turbulent Flow*, Proc. Third Int. Conf., Seattle, USA, Section 11, Paper 85, p.986-995.

Chien, N., Wan, Z. (1999): *''Mechanics of Sediment Transport'',* ASCE Press.

Chow, V.T. (1959): *''Open-Channel Hydraulics''*, New York: McGraw-Hill Book Company, 679 p.

Demirkıran, O. (2002): ''Sediment Verimi Tahmininde Batimetrik Çalışmalar Ölçüm ve Değerlendirilmesi'', K. H. Ankara Araştırma Enstitüsü.

De Vries, M. (1976): ‘‘Morphological Computations’’, Delft University of Technology.

Duquennois, H. (1956): ‘‘New Methods of Sediment Control in Reservoirs’’, Water Power, May, p.174-180.

Erkek, C., Ağıralioğlu, (1993): N., Su Kaynakları Mühendisliği, İstanbul

Evrard, J. (1985): ‘‘Technical and Economic Impact of Reservoir Sedimentation’’, In: Bruk, S. (ed.) *Methods of Computing Sedimentation in Lakes and Reservoirs*, Unesco, Paris, p.1-10.

Fan, J. (1985): ‘‘Methods of Preserving Reservoir Capacity’’, pp. 65-164. In S. Bruk (editor), *Methods of Computing Sedimentation in Lakes and Reservoir*, UNESCO, Paris.

Fan, J. (1960): ‘‘Experimental Studies on Density Currents’’, Scientia Sinica, Vol. **IX**, No. 2.

Fan, J. ve diğ. (1962): ‘‘An Approximate Method for Calculating The Density Currents in Reservoirs (in Russian)’’, Scientia Sinica, v. **11**. p. 707-722.

Graf, W.H. (1998): *‘‘Fluvial Hydraulics’’*, Chichester, UK: John Willey & Sons.

Graf, W.H. (1971): *‘‘Hydraulics of Sediment Transport’’*, MeGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

Hay, A.E, Burling, R.W., Murray, J.W. (1982): ‘‘Remote Acoustic Detection of A Turbidity Current Surge’’, Science, 217, p.833-835.

Holeman, J.N. (l968): ‘‘The Sediment Yield of Major Rivers of The World’’, Water Resources Res. **4**, 737-747.

Hotchkiss, R., Parker, G. (1990): ‘‘Laboratory Modelling of Reservoir Sedimentation and Sluicing: Scale Considerations’’, *International Conference on Physical Modelling of Transport and Suspension*, ASCE, pp. 14B.25-14B.30.

Kerssens, P.J. M., Zwaard, J.J. van der (1980): ‘‘Hydraulic and Morphological Impacts of Dam Construction’’, Delft Hydraulics, Publ. No.238, The Netherlands.

ICOLD (1988): *‘‘Guidelines on Sedimentation of Reservoirs’’,* International Commission on Large Dams, Paris.

Kobilka, J.G., Hauck, H.H. (1982): ‘‘Sediment Regime in The Backwater Ponds of The Austrian Run-of-River Plants on The Danube’’, Trans. 14th ICOLD, Q. 54, R. 10.

Mahmood, K. (1987): ‘‘Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, Mitigation’’, *World Bank Technical Report,* No. 71, Washington, D.C.

McManus, J. (1985): ‘‘Physical Processes of Reservoir Sedimentation’’. In: Bruk, S. (ed.) *Methods of Computing Sedimentation In Lakes and Reservoirs*, Unesco, Paris, p.11-39.

Morris, G.L. (1996). ‘‘Design Analysis of Sediment -Excluding off- Stream Reservoir, Rio Fajardo, Puerto Rico’’, pp. V.78-V.84, 6th *Federal Interagency Sedimentation Conf.*, Las Vegas.

Morris, G.L., Fan, J. (1998): *‘‘Reservoir Sedimentation Handbook’’*, Design and Management of Dam, Reservuar and Watersheds for Sustainable Use, McGraw-Hill, New York, 1998, In: Electronic Version, Ver. 1.01, September 2009.

Morris, G.L., Fan, J. (1997): *‘‘Reservoir Sedimentation Handbook’’*, McGraw-Hill, New York, 1997.

Mosonyi, E. (1965): *‘‘Water Power Development’’*, Book Published by Akade Miai Kiado, Budapest, 1965.

Nelson, J.M., Shreve, R.L., Mclean, S.K., Drake, T.G. (1995): ‘‘Role of Near-Bed Turbulence Structure in Bed Load Transport and Bed Form Mechanics’’, Water Resour. Res., **31**, 2071-2086.

Özbek, T., Su Yapıları Gazi Üniversitesi Basın Yayın Yüksekokulu Matbaası

Qian, N. (1982): ‘‘Reservoir Sedimentation and Slope Stability. Tech. and Environmental Effects’’, *14th Int. Congress on Large Dams*, ICOLD, Rio de Janeiro, Brasil, Vol **III**, Q54, G.R 54, p.639-690.

Raudkivi, A.J. (1990): *‘‘Loose Boundary Hydraulics (Third Edition)’’*, Pergamon Press, Oxford, England.

Rooseboom, A. (1985): *‘‘Reservuar Sedimentation: Planning Directives’’*, Scientific Basics for Water Resources Management, IAHS Publ. No. **153**, Sebtembre’85.

Scheuerlein, H. (1987): ‘‘Sedimentation of Reservoirs-Methods of Prevention, Techniques of Rehabilitation’’, *First Iranian Symp. on Dam Engrg.*, Teheran, Iran, June '87.

Simons, D. B. and Şentürk, F., (1992): Sediment Transport Technology, Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

Sly, P.G. (1978): ‘‘Sedimentary Processes in Lakes’’, In: Lakes - Chemistry, Geology, Physics. (Ed. A Lerman), Spring-Verlag, 65-89.

Tolouie, E. (1989): *‘‘Reservoir Sedimentation and De-siltation’’*, M.Phil. Thesis, U. Birmingham, U.K.

Üneş, F., Ağıralioğlu, N. (2004): ‘‘Yoğun Dalmış Hazne Akımlarının Matematik Modelle İncelenmesi’’, *itüdergisi/d mühendislik,* Cilt:**3**, Sayı:6, 47-58, Aralık 2004.

Vanoni, V.A. (1977): ‘‘Sedimentation Engineering’’, ASCE, New York, p.587-604 and p.616-618.

Wen Shen, H. (1999): ‘‘Flushing Sediment Through Reservoirs’’, *Journal of Hydroulic Research,* vol.**37**:6, 743-757, 1999.

Wen Shen, H., Lai, J.S. (1996): ‘‘Sustain Reservoir Useful Life by Flushing Sediment’’, *International Journal of Sediment Research*, IRTCES, Vol. **11**, No 3. December.

White, R. (2001): *''Evacuation of Sediments From Reservoirs''*, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd.

Yang, C.T. (1973): ''Incipient Motion and Sediment Transport'', *J. Hyd. Div.*, ASCE, **99**, 1679-1704.

Yıldız, D., Kaş, İ. (2007): ''Rezervuarlarda Sediment Birikimi ve Uzaklaştırma Yöntemleri'', Teknik Rapor, Ada Mühendislik, Ankara 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Selin Şahin
Doğum Yeri ve Tarihi:	Kars, 23 Eylül 1988
E-Posta:	selinsahin_ce@hotmail.com
Lisans Üniversite:	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği