ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇÖKELTİM HAVUZLARINDA SEDİMENT HAREKETLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÇANKIRI HAVZASI – TIMARLI MEVKİİ ÖRNEĞİ

Ayşe YAZICI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Ayşe YAZICI tarafından hazırlanan **"Çökeltim Havuzlarında Sediment Hareketliliğinin Değerlendirilmesi: Çankırı Havzası – Tımarlı Mevkii Örneği"** adlı tez çalışması 10/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Prof. Dr. Zeliha SELEK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Gazi Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Pembe Merve KARABULUT
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum **"Çökeltim Havuzlarında Sediment Hareketliliğinin Değerlendirilmesi: Çankırı Havzası – Tımarlı Mevkii Örneği"** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı" ile tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (10/08/2022).

Ayşe YAZICI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇÖKELTİM HAVUZLARINDA SEDİMENT HAREKETLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÇANKIRI HAVZASI – TIMARLI MEVKİİ ÖRNEĞİ

Ayşe YAZICI

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Ülkemiz yarı kurak iklim özelliğine sahip, dik yamaçlı, eğimli ve dağlık bölgelerden oluşmaktadır. Dik yamaçlardan ve dere kenarlarından ani sel baskınları sonucu toprağın kütlesel olarak hareketiyle sık sık heyelanlar oluşurken şiddetli yağışlar sonucu havza genelinde erozyonlarda meydana gelebilmektedir. Bunlar neticesinde, akarsu yataklarında önemli miktarda sediment taşınmaktadır. Akarsu yataklarında akım ile beraber sürüntü veya askıda hareket ile taşınan sedimentlerin baraj gibi yapıların rezervuarlarında akım hızının ciddi miktarda azalmasıyla önemli bir kısmı çökelmekte iken, regülatör tarzı yapılarda sedimentin yeterli miktarda çökelmesini sağlamak için ilave olarak çökeltim havuzlarının tesis edilmesi gerekebilmektedir. Bu sebeple, tarım alanlarına sulama amacıyla iletim kanallarıyla iletilecek suyun nispeten iri daneli sedimentlerden arındırılarak iletim hattı boyunca oluşabilecek çökelme risklerinin engellenebilmesi ve nispeten duru suyun taşınabilmesi için regülatör yardımıyla su teminin sağlanacağı sulama projelerinde ana kanalın başında veya belli kısımlarında çökeltim havuzlarının projelendirilmesi yapılabilir. Buna ek olarak, çökeltim havuzları sayesinde iletim hattı boyunca tesis edilecek olan yol geçişi veya dere geçişleri için imal edilen sifon ve menfez gibi kritik yapıların da kolayca tıkanması engellenebilecektir. Tez kapsamında ilave olarak, 40 m uzunluğuna sahip ilk çökeltim havuz uzunluğunun hesabı ile ilgili bilgi verilmiştir. HEC-RAS programında çökeltim havuzunu temsil edecek şekilde kesitlerin değişiklik gösterdiği yerler tanımlanarak yapının modeli oluşturulmuştur. HEC-RAS programında elde edilen sonuçlar ve çökelmesi istenilen minimum dane çapı dikkate alınarak çökelme mesafesi hesaplanabilmektedir. Çökelme mesafesinin belirlenmesi için literatürde birçok denklem önerilmektedir. DSİ tarafından en sık kullanılan denklem pratik olması sebebiyle Sümer tarafından 1977 yılında geliştirilen denklemdir. Yapılan hesaplamalar neticesinde ve çökeltilmesi istenen dane çapına göre DSİ tarafından belirlenen çökeltim havuzu ebatlarının arazideki boyutu ile bire bir aynı ve uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

2022, 66 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Çankırı Havzası, Tımarlı, Çökeltim havuzu, Sediment hareketliliği

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EVALUATION SEDIMENT DYNAMISM IN SEDIMENTATION POOL: EXAMPLE OF CANKIRI BASIN – TIMARLI LOCATION

Ayşe YAZICI

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Our country consists of semi-arid climates, steep slopes, sloping and mountainous regions. While landslides occur frequently with the massive movement of the soil as a result of sudden floods from steep slopes and stream sides, erosions may occur throughout the basin as a result of heavy rains. As a result of these, a significant amount of sediment is transported in the river beds. The sediments carried by the swab or suspended movement with the flow in the river beds seriously reduce the flow velocity in the reservoirs of structures such as dams. While a significant part of it is precipitating, it may be necessary to establish additional sedimentation ponds in order to ensure sufficient sedimentation of sediment in regulator-like structures. For this reason, the water to be transmitted through communication channels for irrigation purposes to agricultural areas should be purified from relatively coarse sediments. In order to, prevent precipitation risks that may occur along the transmission line and to carry relatively clear water, in irrigation projects where water supply will be provided with the help of a regulator. Sedimentation ponds can be designed at the beginning or in certain parts of the main canal. In addition, thanks to the sedimentation pools, the clogging of critical structures such as siphons and culverts manufactured for road crossings or stream crossings to be installed along the transmission line will be prevented easily. Within the scope of the thesis, information about the calculation of the length of the first settling pool with a length of 40 m is given. In the HEC-RAS program, a model of the structure was created by defining the places where the sections changed to represent the sedimentation pool. The settling distance can be calculated by considering the results obtained in the HEC-RAS program and the minimum particle diameter desired to be deposited. Many equations are suggested in the literature to determine the settling distance. The equation most frequently used by DSI is the one developed by Sümer in 1977 due to its practicality. As a result of the calculations and according to minimum the grain diameter desired to be precipitated, it was concluded that the size of the sedimentation pool determined by DSI is exactly the same and appropriate with the size of the field.

2022, 66 pages

Keywords: Çankırı Basin, Tımarlı, Sediment pool, Sediment dynamism

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Çökeltim Havuzlarında Sediment Hareketliliğinin Değerlendirilmesi: Çankırı Havzası – Tımarlı Mevkii Örneği" adlı tez çalışması hazırlanmıştır. Havzalarda heyelan ve erozyon gibi doğal afetler sonucu önemli miktarda akarsulara sediment taşınır. Kızılırmak akarsuyunun akış hızının yüksek olması sebebiyle akım ile beraber sürüntü veya askıda hareket eden sedimentlerin regülatör rezervuarından tarım alanlarının sulanması amacıyla iletim kanallarına alınan su ile beraber taşınmasıyla birikirler. Böylece sediment birikmesi sonucu meydana gelebilecek problemlerin önlenebilmesi amacıyla su alma ağzı önü ve kritik noktalara çökeltim havuzlarının yerleştirilmesi ile ilgili çözüm önerisi geliştirilmiştir. Bu tez kapsamında ek olarak, 40 m uzunluğundaki ilk çökeltim havuzunun tasarımı ile ilgili modelleme ve hesaplama çalışmaları yapılarak, saha alanındaki mevcut halinin uygunluğu kontrol edilip hem bilgi edinilmeye hem de bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışması süresince değerli görüş ve katkılarını benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU'na teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışma aşamasında yardımlarını esirgemeyen Çankırı İli DSİ 52. Şube Müdürü Murat BİNGÖL'e tezimin başından sonuna kadar her aşamasında bilgi, kaynak ve tecrübelerini benimle paylaşan Çankırı İli DSİ 52. Şube Müdürlüğü Yapı Denetim Görevlisi Murat ÇAVDAR ve teknik ekibine ayrıca İnşaat Mühendisi Dr. Mümtaz AK'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca sabır ve yardımı için Çankırı İl Milli Eğitim Müdürlüğü Yapı Denetim Görevlisi Mustafa TOPAL'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince sabır ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen yanımda olduklarını daima hissettiren çok değerli ailem annem Zeliha YAZICI ve ablam Gizem YAZICI YILDIZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayşe YAZICI

Çankırı, Ağustos 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **v**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Su Depolama ve Kabartma Yapılarının Önemi **5**
1.1.1 Su kabartma yapısı; regülatör (düzenleyici) **6**
1.2 Sediment ile İlgili Genel Bilgiler **6**
1.2.1 Sediment **6**
1.2.2 Sediment özellikleri **7**
1.2.3 Sediment hareketi **10**
1.2.4 Sediment birikmesi **17**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **21**
3. MATERYAL VE METOT **24**
3.1 Islah Seki ve Çökeltim Havuzu **24**
3.1.1 Çökeltim havuzu ile ilgili genel bilgiler **26**
3.2 Çalışma Sahasının Jeolojik Yapısı **28**
3.3 Çalışma Sahası ile İlgili Bilgilendirme **30**
3.3.1 Çalışma sahası alanında bulunan mevcut kapaklı regülatör tipi **41**
3.3.2 Çalışma alanında bulunan çökeltim havuzlarının temizlenmesi **49**
4. BULGULAR **51**
4.1 Çökeltim Havuzu Hesabı ile İlgili Genel Bilgilendirme **51**
4.1.1 Çalışma alanında bulunan ilk çökeltim havuz uzunluğunun hesabı **52**
5. SONUÇ ve ÖNERİLER **63**
KAYNAKLAR **64**
ÖZGEÇMİŞ **66**

SİMGELER DİZİNİ

A	Çökeltim havuzu ortalama kesit alanı
B	Çökeltim havuzu genişliği
d	Parçacığın çapı
D_{50}	Çökeltilmesi istenen dane çapı
D_n	Nominal çap
F_D	Hidrodinamik sürükleme kuvveti
F_L	Hidrodinamik kaldırma kuvveti
Fr_*	Tane Froude sayısı
g	Yer çekimi ivmesi
G'	Tanenin su altındaki ağırlığı
L	Çökeltim havuzu uzunluğu
n	Mannig pürüzlülük katsayısı
P	Islak çevre
Q	Tasarım debisi
Q_s	Toplam katı madde debisi
r	Havuz boyunca sediment çökelim oranı
R	Çökeltim havuzu kesiti hidrolik yarıçap
Re_*	Tane Reynolds sayısı
S	Taban eğimi
u_*	Sürükleme hızı
u_s	Havuz sonundaki su hızı
y	Havuz sonundaki su derinliği
w_f	Çökelme hızı
γ_s	Parçacığın özgül ağırlığı
ρ	Suyun özgül kütlesi
ρ_s	Parçacığın özgül kütlesi
τ_{kr}	Kanal yatağı kritik kayma gerilmesi
τ_o	Kanal yatağı kayma (sürükleme) gerilmesi
β	Askıdaki parçacıkların, çökelme hızı parametresi cinsinden çökelme hızı
γ	Suyun özgül ağırlığı
ε	Karışım (difüzyon) katsayısı
ϑ	Kinematik viskozite
θ	Shields (hareketlilik) sayısı
κ	Karman katsayısı
λ	Boyutsuz hızın fonksiyonu olan bir parametre

KISALTMALAR DİZİNİ

ASG	Alt Sel Geçitleri
DSİ	Devlet Su İşleri
HEC-RAS	Hidrological Engineering Centers River Analysis System
HES	Hidroelektrik Santrali
Ş.F.	Şekil Faktörü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USACE	United States Army Corps of Engineers
USBR	United States Bureau Of Reclamation
ÜSG	Üst Sel Geçitleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışması devam eden saha alanından trapez kesitli açık kanal örneği 2
Şekil 1.2 Çalışması devam eden saha alanından dairesel kesitli boru örneği 3
Şekil 1.3 Çalışma alanı ana kanal üzerinde bulunan priz yapısı örneği 4
Şekil 1.4 Çalışma alanı ana kanal üzerine yerleştirilen çelik kapak sistemleri ile ilgili örnek 5
Şekil 1.5 Tane çapının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan ve belirli standart ölçülerine sahip elekler ile eleme yönteminin yapılışının örnek gösterimi 8
Şekil 1.6 Tane yuvarlaklığı sınıflaması 9
Şekil 1.7 Yatak yüzeyindeki bir taneyi etkileyen kuvvetler 11
Şekil 1.8 Kritik kayma gerilmesini veren Shields eğrisi 13
Şekil 1.9 Akarsudaki katı maddelerin taşınım ve hareket türleri 15
Şekil 1.10 Tabandaki tane hareketleri 17
Şekil 1.11 Bir rezervuarda tipik sediment birikimi görünüşü 19
Şekil 3.1 Çankırı ili merkezinde bulunan ıslah seki örneği 25
Şekil 3.2 Çalışma sahası ana kanal üzeri inşa edilmiş dikdörtgen kesitli çökeltim havuzu örneği 27
Şekil 3.3 Proje sahasının harita üzerindeki yeri 28
Şekil 3.4 Proje sahasının uydu görüntüsü 29
Şekil 3.5 Çalışma sahasında ana kanalın projede geotekstil ve geomembran ile kaplanması ile ilgili dolguda tip enkesiti 30
Şekil 3.6 Çalışma sahasından trapez kesitli ana kanal yapım aşaması görünüşü 30
Şekil 3.7 Çalışma sahasında ana kanal üzeri inşa edilen çökeltim havuzu gösterimi 31
Şekil 3.8 Çalışma sahasında ana kanalda taşınan sedimentten arındırılmış suyun görüntüsü 31
Şekil 3.9 Çalışma sahasında regülatör önü rezervuarının sediment birikiminin yüzeyden görünümü 32
Şekil 3.10 Çalışma sahasında su geçişinin yapılması gereken alanın sediment birikimi sonucu oluşan durumu 33
Şekil 3.11 Çalışma sahasında inşaatı devam eden ana kanal üzeri çökeltim havuzu yapım aşamasından beton döküm işlemi 34
Şekil 3.12 Çalışma sahasında ana kanal su alma ağzı önü ilk çökeltim havuzu gösterimi 35
Şekil 3.13 Çalışma sahasında ana kanal üzeri çökeltim havuzu AutoCAD projesi-1 görünüşü 36
Şekil 3.14 Çalışma sahasında ilk çökeltim havuzunda biriken rüsubatın kepçeli araçlar yardımıyla temizlenebilmesi amacıyla inşa edilen iniş rampası 36

Şekil 3.15 Çalışma sahasında ana kanal üzeri çökeltim havuzu AutoCAD projesi-2 görünüşü 37
Şekil 3.16 Çalışma sahasında ana kanal üzeri çeşitli yerlerden taşınan sedimentin çökeltim havuzunda birikme durumunun gösterimi 38
Şekil 3.17 Çalışma sahasında ana kanala çeşitli yerlerden taşınan sedimentin birikme durumunun gösterimi 38
Şekil 3.18 Çalışma sahasında bulunan sifon yapısı enkesitinin proje detayı 39
Şekil 3.19 Çalışma sahasında sifon önü çökeltim havuzu gösterimi 40
Şekil 3.20 Çalışma sahasında bulunan Elektrometrik Flatometre (Debimetre) gösterimi 41
Şekil 3.21 Çalışma sahasında bulunan kapaklı (hareketli) regülatör tipi kabartma yapısı görünüşü 42
Şekil 3.22 Çalışma sahası alanından kapaklı (hareketli) regülatör tipine ait kısımlar 43
Şekil 3.23 Çalışma sahası alanından kapaklı (hareketli) regülatör tipine ait çelik kapak örneği 44
Şekil 3.24 Çalışma sahasında regülatör mansap tarafı üstten düşü havuzu görünüşü 45
Şekil 3.25 Çalışma sahası alanındaki regülatör hareketli kapak altı geçen akımın durumu 45
Şekil 3.26 Çalışma sahası regülatör mansap tarafı menderes oluşumu örneği 46
Şekil 3.27 Çalışma sahası alanındaki kapaklı (hareketli) regülatör tipinin mekanik aksamlarının görünüşü 47
Şekil 3.28 Çalışma sahasında emniyet kapağının indirilmesi amacıyla kurulan vinç sisteminin görünüşü 47
Şekil 3.29 Çalışma sahasında bulunan memba tarafı regülatör rezervuar kıyısında bulunan sedde görünüşü 48
Şekil 3.30 Çalışma sahasında ana kanal su alma ağzı önü hareketli çelik kapaklar görünüşü 49
Şekil 4.1 Dane çapına göre çökelme hızı 51
Şekil 4.2 HEC-RAS programından elde edilen su yüzü profili 54
Şekil 4.3 Model boyunca belirlenen en kesitlerde oluşacak olan su yükseklikleri 55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Başlıca sediment sınıfları 7
Çizelge 1.2 Sediment yığınlarının porozitelerinin değişim bölgeleri 9
Çizelge 1.3 Sediment hareketine etki eden fiziksel büyüklükler 12
Çizelge 4.1 Analiz sonuçları 56
Çizelge 4.2 Çökeltim havuzunun boyutlandırılması için gerekli veriler 57

1. GİRİŞ

Su, dünyamızın var oluşundan günümüze kadar tüm canlıların devamlılığını ve yaşamını sağlayan en önemli doğal maddedir.

Dünyamızın %71'i sularla çevrili olup, bu suların %97'si tuzlu sudur. Diğer bir deyişle bütün suyun sadece %3'ü temiz su kaynakları sınıfına girmektedir. Kalan temiz su kaynakları buzullara, atmosfere, toprağa ve yer altına dağılmış durumdadır.

Dünya'da temiz su kaynaklarımızın sınırlı miktarda bulunmasından dolayı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tahminlerine göre Türkiye nüfusu 2030 yılında 100 milyona ulaşacak ve su potansiyeli kişi başına yıllık 1120 m^3'e düşecektir. Türkiye su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yer alacağını göstermektedir. Bu nedenle, 2025 yılında 2 milyar, 2050'de ise 7 milyar kişinin susuzluk tehlikesiyle karşı karşıya kalacağı belirtiliyor (Yılmaz 2015).

Bu sebeple sınırlı miktarda bulunan su kaynaklarımızın verimli kullanılması, korunması ve gereksiz su tüketiminin önlenebilmesi için toplumun bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

DSİ sitesinde belirtilen su kaynakları potansiyeli verilerine göre; Türkiye de 44 milyar m^3 (%77) tarımsal amaçla, 13 milyar m^3 (%23) içme – kullanma suyu olarak toplam 57 milyar m^3 su kullanılmaktadır.

Türkiye'nin yüz ölçümü 78 milyon hektar olup, TÜİK ile Tarım ve Orman Bakanlığı verilerine göre bu alanın 24 milyon hektarı tarım arazisidir (https://www.dsi.gov.tr, 2021). Ülkemizin coğrafyası ve hızla gelişen nüfusu ile beslenme ihtiyaçlarının da artmasıyla tarımda birim alandan daha fazla ürün elde edebilmek için su kaynaklarının korunması ve yönetimi kritik bir öneme sahiptir.

Tarım alanlarının su ihtiyacı her zaman doğal yollarla karşılanamayabilir. Bitkiye istenilen zamanda, gerekli miktarda ve kontrollü bir şekilde yapay yollarla suyun tutulduğu alandan tarım alanlarına taşınması gerekir.

Suyun tarım alanlarına taşınabilmesi için kullanılan su iletim ve dağıtım sistemleri;

a) Açık kanal su iletim ve dağıtım sistemleri

- Sulama suyunu taşıyan bir kanaldır.
- Zeminde doğal yollarla oluşan veya insanlar tarafından inşa edilen üzerleri açık yapılardır.
- Açık kanal olmasından kaynaklı atmosfer basıncı direkt su yüzeyi ile temas halindedir.

Çalışma sahasından trapez kesitli açık kanal örneği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.1).

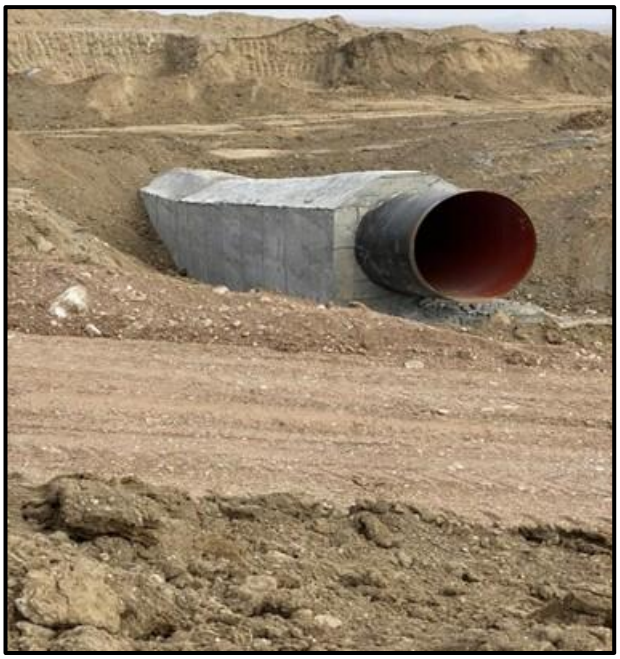


Şekil 1.1 Çalışması devam eden saha alanından trapez kesitli açık kanal örneği

b) Borulu su iletim ve dağıtım sistemleri

- Boru içerisindeki akış belirli bir en kesit içerisinde akar.
- Borulu sulamada su yüzeyi atmosfere kapalıdır.

Çalışma alanından dairesel kesitli boru örneği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Çalışması devam eden saha alanından dairesel kesitli boru örneği

Çalışma sahası alanında DSİ'nin su iletim ve dağıtım sistemleri için yaptığı yatırımlar incelendiğinde ana kanalların beton kaplamalı trapez, yedek ve tersiyer kanalları ile borulu sulama sistemi olarak inşa edildiği görülmüştür.

İletim kanalları şu şekilde isimlendirilir. Suyun depolandığı kaynaktan suyu alan kanala ana kanal, ana kanaldan ayrılan kanallara yedek kanal, yedek kanaldan ayrılan kanallara da tersiyer kanal denir.

- **Ana kanallar:** Ana kaynaktan suyu alıp yedek kanallara dağıtır. Kanal yanındaki arazileri sulamak için de priz yapıları, ana kanalın yedek ayrımlarının mansabında su seviyesini yükseltebilmek için çek yapıları bulunur (Şekil 1.3; Şekil 1.4). Taşınan suyun kanal zemini tarafından emilmesini önlemek için kanal beton malzeme ile kaplanır. Hatta kanalın inşa edildiği zemin jips ise yapının sıhhati için yalıtım malzemesi de kullanılır. Ana kanalın boyutlandırılması sulayacağı toplam alana ve bitki patentine göre hesaplanır. Sulama alanı küçüldükçe kanal ebadı küçülür.

- **Yedek kanallar:** Yedek kanallar ana kanallardan suyu alarak araziye ve varsa tersiyer kanallara iletir. Yedek kanalın boyutlandırılması sulayacağı toplam alana ve bitki patentine göre hesaplanır. Sulama alanı küçüldükçe kanal ebadı küçülür.

- **Tersiyer kanallar:** Tersiyer kanallar yedek kanallardan aldığı suyu sulamanın yapılacağı alana iletir. Tersiyer kanalın boyutlandırılması sulayacağı toplam alana ve bitki patentine göre hesaplanır.



Şekil 1.3 Çalışma alanı ana kanal üzerinde bulunan priz yapısı örneği



Şekil 1.4 Çalışma alanı ana kanal üzerine yerleştirilen çelik kapak sistemleri ile ilgili örnek

1.1 Su Depolama ve Kabartma Yapılarının Önemi

Türkiye'nin coğrafi konumundan dolayı yarı kurak bir iklim özelliğine sahiptir. İklim değişikliği sonucunda sıcaklık ile beraber buharlaşmanın artması, yağışların düzensizleşmesi ve zamanla su kaynaklarımızın yetersiz hale gelmesiyle su sorunlarının yaşanmaması için mevcut su kaynaklarından yeterli ve verimli bir seviyede yararlanılması gerekir.

Suyun etkin bir şekilde yönetilmesi, geliştirilmesi ve mevcut su kaynaklarından elde edilen suların boşa akıp gitmemesi için biriktirilmesi gerektiği düşüncesi geçmişten günümüze kadar gelmiştir.

Doğal su kaynaklarımızdan biri olan akarsu yataklarından istenilen zaman ve mekânda kullanılması gereken kadarının kontrolünün sağlanarak hali hazırda depolanabilmesi için baraj ve regülatör (düzenleyici) gibi su depolama ve kabartma yapıları inşa edilmiştir.

1.1.1 Su kabartma yapısı; regülatör (düzenleyici)

Tez çalışması için inceleme yapılan saha alanında regülatör (düzenleyici) su tutma ve kabartma yapısı bulunmaktadır.

Regülatör (düzenleyici) yapısı, akarsu yataklarının uygun yerine inşa edilen enine bir yapıdır. Yapı akarsuyun iki sahilini birleştiren, suyun akışını durdurarak istenilen kota kadar su seviyesini yükselten yapılardandır.

DSİ tarafından yayınlanan 2021 yılına ait Sanat Yapıları Uygulama ve Projeleri Yapım İşleri Teknik Şartnamesinde belirtildiği şekilde, regülatör yapısı olarak en yaygın kullanılan dolu gövde, kapaklı (hareketli), dolu gövde üzeri kapak, tirol tipi, lastik savak tipli regülatörlerdir.

Tez çalışma alanında regülatör (düzenleyici) tip olarak kapaklı (hareketli) regülatör tipi bulunmaktadır.

1.2 Sediment ile İlgili Genel Bilgiler

1.2.1 Sediment

Sediment (rüsubat), akan sular içinde askıda taşınan ve su hızı kesildiği takdirde çökelecek olan her türlü maddeye verilen addır (Cöntürk 1968).

Sediment, çeşitli kaynaklarda katı madde, rüsubat veya çökelti maddesi olarak da isimlendirilmektedir.

Sediment, koheziv olmayan kaya parçası çakıl, kum, koheziv olan silt, kil gibi malzemeleri ifade eder.

Sedimentin bir kısmını akarsu yatağının aşınması sonucu kopan taneler oluştururken, bir kısmını da iklim ile arazi özelliklerine bağlı olarak akarsu havzaların da sel, erozyon, heyelan gibi doğal afetler sonucu kopan taneler oluşturur.

Ülkemizin %14'ünde hafif, %20'sinde orta ve %63'ünde ise şiddetli ve çok şiddetli düzeyde erozyon etkinliğini sürdürmektedir (Dal 2011).

1.2.2 Sediment özellikleri

Dane çapı, dane şekli, özgül kütle (yoğunluk), porozite, özgül ağırlık, çökelme hızı sedimentin temel özelliklerindendir. Bunlardan kısaca bahsetmek gerekirse;

a) Dane çapı (büyüklüğü): Tanenin en önemli özelliklerindendir. Tanelerin birimi mikron ya da milimetrik olan karakteristik çap uzunlukları belirlenir.

Tane çapı elek, nominal (D_n), çökelme gibi çeşitli yöntemlerle belirlenebilmektedir. Elek yönteminin yapılış aşaması Şekil 1.5' de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 1.1'de gösterildiği gibi sediment daneleri çaplarına göre koheziv silt, kil gibi ince daneli ve koheziv olmayan kaya, iri çakıl, çakıl, kum gibi iri daneli malzemeler olarak birbirlerinden ayrılırlar.

Çizelge 1.1 Başlıca sediment sınıfları (Kayhan 2001)

ÇAP BÜYÜKLÜĞÜ (mm)	SEDİMENT SINIFI
4096-256	Kaya (boulder)
256-64	İri çakıl (cobble)
64-2	Çakıl
2-1/16	Kum
1/16-1/256	Silt
1/256-1/4096	Kil



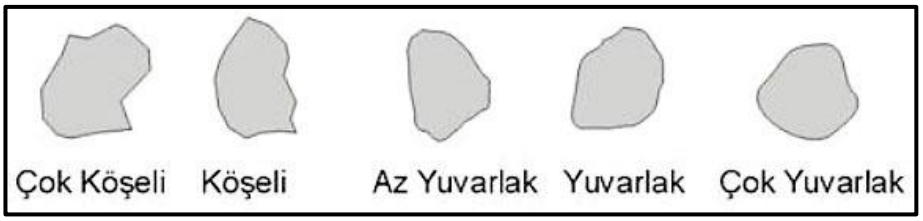
Şekil 1.5 Tane çapının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan ve belirli standart ölçülerine sahip elekler ile eleme yönteminin yapılışının örnek gösterimi

b) Tane biçimi (şekli): Tanenin ayrışarak meydana geldiği kayacın türüne ve özelliğine bağlıdır.

Tane şekli, Ş.F.= $^{c}/_{\sqrt{a*b}}$ formülünden elde edilecek orana göre bulunmaya çalışılır. Burada a, b, c sırası ile parçacığın birbirine dik eksenler üzerindeki en uzun, orta ve en kısa boyutlarını gösterir (Şahin 2013). Tane biçimi, küresellik ve yuvarlaklık olarak ikiye ayrılır.

- **Küresellik:** Dane küreye benzetilir. Örneğin, küp şekline sahip bir tanenin küreselliği yüksek, yuvarlaklığı azdır.

- **Yuvarlaklık:** Danenin köşeliğini ifade eder. Tane su içerisinde hareket ettikçe aşınmaya başlar. Aşınma sebebiyle kenarları köşeli olan tane zamanla yuvarlaklaşır. Örneğin, silindir şekline sahip bir tanenin küreselliği az, yuvarlaklığı yüksektir. Ayrıca ilk tane şekillerini tamamen kaybetmezler. Şekil 1.6'da tane yuvarlaklığı sınıflaması gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Tane yuvarlaklığı sınıflaması (Şahin 2013)

c) Özgül kütle (yoğunluk) (ρ_s): Genellikle bir sedimentin yoğunluk değerleri ayrıştığı kayacın cinsine ve özelliklerine göre değişir. Suda taşınan katı maddeler çoğunlukla 2,65 g/cm^3 yoğunluklu kuvars mineralinden oluşur (Söylemez 2019).

d) Porozite (gözenek): Birbiri üzerine yığılmış sediment yığınlarının aralarında meydana gelebilecek boşluk oranı olarak ifade edilir. Sediment yığınlarının porozitelerinin değişim bölgeleri aşağıdaki Çizelge 1.2'de göstermiştir.

Çizelge 1.2 Sediment yığınlarının porozitelerinin değişim bölgeleri (Bayazıt ve Avcı 2010)

POROZİTE (%)	SEDİMENT SINIFI
39-41	Kaba kum
41-48	Orta kum
44-49	İnce kum
50-54	Kumlu lem

e) Özgül ağırlık ($\gamma_s = \rho_s \times g$): Danenin meydana geldiği kayacın özelliklerine göre özgül ağırlık değerleri değişmektedir. Sedimentin özgül ağırlığı "γ_s" ile gösterilmekte olup, özgül kütle (yoğunluk) ile yer çekim ivmesinin çarpımıdır.

f) Çökelme hızı (w_f): Dane durgun bir su içerisine bırakıldığında ağırlığın etkisiyle aşağı yönde hareket eder. Su içerisine bırakılan bir danenin hızı gittikçe artar ve sabit bir değere ulaşır, bu sabit değere danenin çökelme hızı denir (Ülke 2010).

1.2.3 Sediment hareketi

Ülkemizin yarı kurak iklim özelliğine sahip olması, dağlık bölgeden oluşması, eğimin fazla, bitki örtüsünün az olması, hidrolik ve atmosferik gibi etkiler sonucu kolay ayrışabilen kayaçlardan oluşması, tarım alanlarının yerleşim yerleri olarak seçilerek uzun süre bilinçsiz ve yanlış kullanılarak toprak-bitki-su dengesinin bozulması gibi problemlerden kaynaklı akarsulara taşınan sediment miktarı fazla olur.

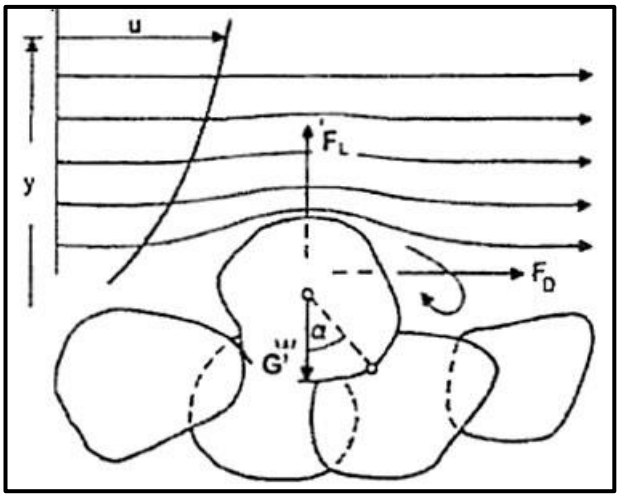
Türkiye'de birim alandan ortalama taşınan katı madde miktarı Kuzey Amerika'dan 6 kat, Avrupa'dan 17 kat, Afrika'dan 22 kat fazladır. Ayrıca Türkiye arazisinden bir yılda taşınan katı madde miktarı, tüm Avrupa Kıtası'ndan bir yılda taşınandan daha çoktur (Berkün 2005).

Akış içerisinde tabandaki sedimenti harekete geçirmek veya durdurmak için sedimente kuvvetler etki eder.

Kanal yatağının akımla temas eden üst yüzeyindeki bir katı maddeye etkiyen kuvvetler şunlardır (Bayazıt ve Avcı 2010):

1. Tanenin su altındaki ağırlığı (G'),
2. Hidrodinamik sürükleme kuvveti (F_D),
3. Hidrodinamik kaldırma kuvveti (F_L).

Yatak yüzeyindeki bir taneyi etkileyen kuvvetler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Yatak yüzeyindeki bir taneyi etkileyen kuvvetler (Bayazıt ve Avcı 2010)

- **Hidrodinamik kaldırma kuvveti** $(\boldsymbol{F_L})$: Ağırlığın akış yönündeki paralel bileşenidir. Alt bölgede basınç hidrostatik durumdadır. Bu sebeple dane tabanda hareketsiz durur. Akışın hızlanmasıyla üst bölgede basınç farkı oluşur. Basıncın hidrostatik durumdaki değerin altına düşerek tane yukarı ve akışa dik yönde hareket eder. Tanenin taşınmasına neden olur.

- **Hidrodinamik sürükleme kuvveti** $(\boldsymbol{F_D})$: Ağırlığın akış yönündeki paralel bileşenidir. Akışın hızlanmasıyla üst ve alt bölgelerde basınç değerlerinin farklılığından dolayı yatay bir kuvvet meydana gelir. Taneyi yerinden sökerek sürükler yani hareket ettirir.

- **Tanenin su altındaki ağırlığı** $(\boldsymbol{G'})$: Akış yönüne dik bileşenidir. Taneyi su içerisinde tabanda tutarak akış yönünde ki hareketini engellemeye çalışır.

Bu kuvvetler arasında etki-tepki kuvvetlerinin oluşmasından kaynaklı suyun kaldırma kuvveti ile suyun sürükleme kuvveti arasında farklı basınç değerlerinin meydana gelmesiyle iri taneler hareket etmeye çalışır.

Hareketin başlamasında sürükleme ve kaldırma kuvvetlerinin oynadıkları roller tanenin konumuna bağlıdır. Bazı durumlarda sürükleme bazı durumlarda kaldırma kuvveti taneyi yerinden sökmek için daha etkili olur (Bayazıt ve Avcı 2010).

Akarsu tabanında bulunan sediment öncelikle titrer, daha sonra akarsu da akışın şiddetinin artmasıyla aşınmalar ile taneler oyulur veya birbirlerinden kopar ya da tabanda hareketsiz duran taneler yerlerinden sökülerek sedimente etkiyen kuvvetlerin ve kayma gerilmesinin (τ_o) etkisi sonucu taşınırlar.

Küçük boyutlu taneciklerin hareketli hale geçebilmesi için düşük bir sürükleme kuvveti yeterli olurken daha büyük taneciklerin harekete geçmesi için akış hızının dolayısıyla sürükleyici kuvvetin (τ_o) belli bir değere ulaşması gerekmektedir (Kayhan 2001).

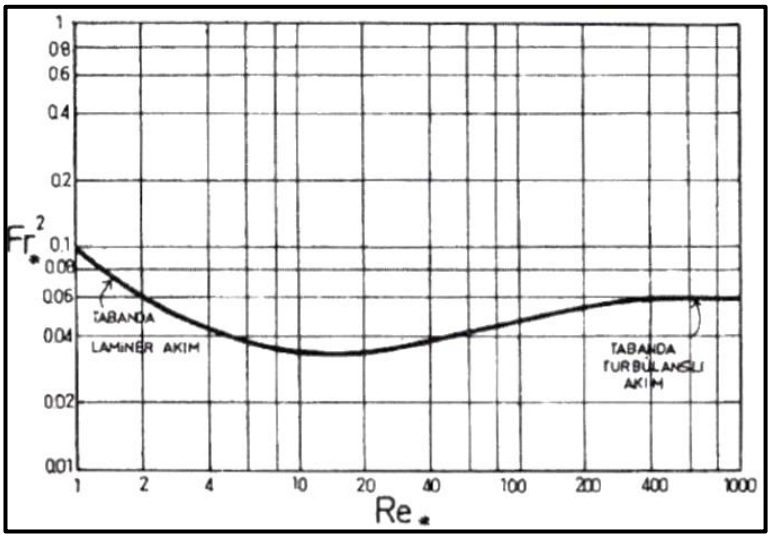
Yataktaki bir tanenin harekete başladığı akım koşullarını ifade etmek için en çok kullanılan akım değişkeni yatak kayma gerilmesinin (τ_o) kritik (τ_{kr}) değeridir (Bayazıt ve Avcı 2010).

Sediment hareketin de sedimentin özellikleri gibi akışkan ve akım gibi özelliklerde etkilidir. Bu fiziksel büyüklükler Çizelge 1.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.3 Sediment hareketine etki eden fiziksel büyüklükler

	Toplam Katı Madde Debisi	Q_s (ton/gün)
Akımın Özellikleri	Akım Debisi Su Derinliği Sürükleme Hızı Kayma Gerilmesi	Q (m^3/s) y (m) u_* (m/s) τ_o (N/m^2)
Akışkanın Özellikleri	Kinematik Viskozite Suyun Özgül Kütlesi Karışım (Difüzyon) Katsayısı	ϑ (m^2/s) ρ (kg/m^3) ε
Katı Madde Özellikleri	Parçacığın Özgül Ağırlığı Parçacığın Çapı Çökelme Hızı	γ_S (N/m^3) D (mm) w_f (m/s)
	Yerçekimi İvmesi	g (m/s^2)

Shields diyagramı sedimentin harekete başlayabilmesi için gerekli koşulları ve kritik noktayı belirleyip, sedimentin hareket durumu ile ilgili bilgi verir (Şekil 1.8). 1936 yıllarında diyagramın kendi ismi olan Shields tarafından akarsu tabanındaki koheziv olmayan sedimentlerin hareket başlangıçları için önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir.



Şekil 1.8 Kritik kayma gerilmesini veren Shields eğrisi (yatağın alacağı çeşitli şekiller $Fr_*^2 - Re_*$ düzleminde gösterilmiştir) (Bayazıt ve Avcı 2010)

Shields diyagramı (1936) ile ilgili;

- Shields diyagramında, eğrinin üst tarafında akarsu yatağındaki koheziv olmayan tanede hareket meydana gelerek sediment yuvarlanma, sıçrama ve askı hareketi yaptığı ve ayrıca eğrinin alt tarafında sediment hareketinin olmadığı,

- Shields diyagramının eğrisinde akarsuyun tabanındaki akımın ilk önce hızı düşük ve düzenli akım olan laminer akım durumunda bulunduğu sonra geçiş akım durumunda bulunduğu ve daha sonrasında debinin ve su hızının artmasıyla düzensiz akım olan türbülanslı akıma geçerek burada üç farklı akım durumunda bulunduğu,

- Shields eğrisinde kritik kayma gerilmesinin (τ_{kr}) sediment hareketinin başlaması ile bağlantılı olduğu,

- Sediment hareketinin açıklanabilmesi için Shields tarafından boyutsuz olan Froude ve Reynolds sayıları ile çalışmalar yapılarak Shields diyagramı elde edildiği,

- Shields diyagramında x ekseni tane kayma gerilmesi Reynolds sayısı (Re_*) olarak ve y ekseni de boyutsuz kayma gerilmesi (Shields parametresi) ($\theta = {Fr_*}^2$) olarak ifade edilen önemli boyutsuz değişkenlerden olduğu,

Shields tarafından geliştirilen Shields diyagramında yukarıdaki maddelerden bahsedilebilmektedir.

Ayrıca Fr_*'ın karesine Shields sayısı (hareketlilik sayısı) denir (Odabaşı 2011).

Akarsularda akış ile beraber taşınan sediment malzeme kaynağına ve taşınma şekline göre sınıflara ayrılır.

1. Malzemenin kaynağına göre;

a) Yatak yükü (malzemesi): Hareketli tabanı oluştururlar. Akarsu yatağından sökülen dane çapı 2 mm'den büyük iri taneli malzemelerden olan kum, çakıl gibi taneler yatak yükünü oluşturur.

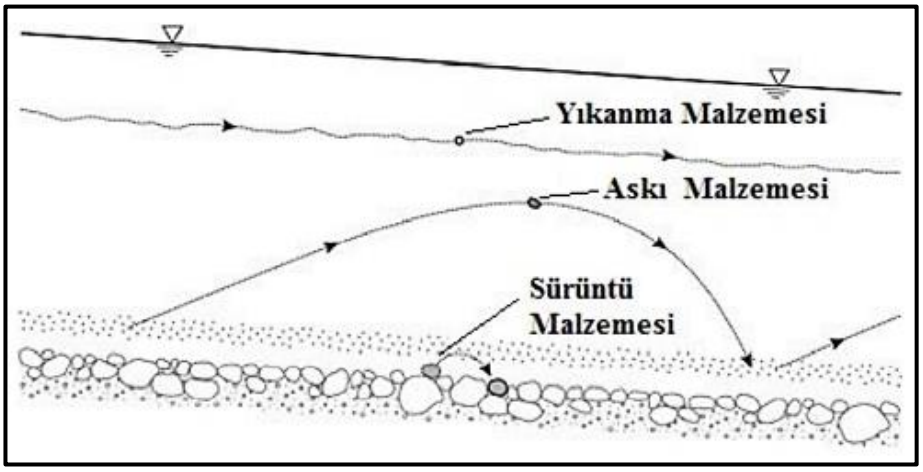
Eğimi fazla ve su akış hızının yüksek olduğu bölgelerde akarsuya yoğun miktarda yatak yükü taşınır.

Yatak yükünü oluşturan büyük boyutlu tanecikler yatakta yuvarlanarak veya sürüklenerek taşınırken nispeten küçük tanecikler zaman zaman yatakla olan temaslarını kaybederek sıçrama şeklinde ilerlerler (Mandev 2001).

Akarsu tabanındaki iri tanelerin harekete geçebilmesi için akım hızının yüksek olması gerekir.

Akış içerisinde taşınabilen bu taneler akım koşullarının sağlanamadığı durumlarda çökerek tekrar yatağa dönerler.

Şekil 1.9'da sedimentin su içerisindeki durumu ile ilgili bilgi verilmiştir.



Şekil 1.9 Akarsudaki katı maddelerin taşınım ve hareket türleri (Graf 1998)

b) Yıkanma (yıkanmış) malzemesi: Akarsu tabanında az ya da hiç bulunmazlar.

Dane çapı 2 mm'den küçüktür. İnce taneli malzemelerden olan silt, kil gibi taneler yıkanmış malzemeyi oluşturur.

İnce taneler tabana çökelmeden yüzerek veya her yana yayılarak taşınırlar.

Akarsu içerisinde taşınan malzemelerden büyük bir çoğunluğunu oluşturarak suyun bulanıklığına sebep olurlar.

Yıkama yükü nehir yatağında aşınma veya depolamaya sebep olmayan akışın hidrolik özelliklerinden bağımsız ve sadece bölgedeki havza, zemin, topografi ve yağış gibi hidrolojik şartlara bağlı oluşan sediment yükü çeşididir (Mandev 2001).

2. Sediment hareketi, su yataklarındaki sediment suda asılı halde veya tabanda sürüntü malzemesi olarak taşınan alüvyon malzemelerini kapsamaktadır (Odabaşı 2011).

Sediment hareketine göre;

a) Sürüntü madde hareketi: Tabanda hareketsiz duran sedimente çok küçük hızlar etki ederse sediment hareketsiz kalmaya devam eder.

Sürüntü hareketi, taban kayma gerilmesiyle ilişkilidir (Öcal 2007).

Sediment hareketi için suyun akış hızına bağlı olarak taban kayma gerilmesinin artarak belirli kritik bir değere ulaşması ya da aşması gerekir.

Akarsuyun hızının artması ile tabandaki kayma gerilmeleri de artacağından tanelerin bazılarının harekete geçtiği görülür. Bu hareket düşük hızlarda tanelerin taban üzerinde kayma ve yuvarlanması şeklinde olur. Buna "sürüntü hareketi" denir (Ülke 2010).

Akım hızının artmasıyla tane çapı biraz daha küçük olan sedimentler sıçrayarak hareket ederler.

Sıçrayarak hareket eden sedimentler zamanla durgunlaşıp, akış içerisinde başka bir sedimentin çarpması veya akışın hızlanıp türbülans etkisi ile sediment hareketlerine tekrar başlarlar.

Sürüntü madde hareketinde, sediment gerekli olan enerjisini akımın kinetik enerjisinden alır.

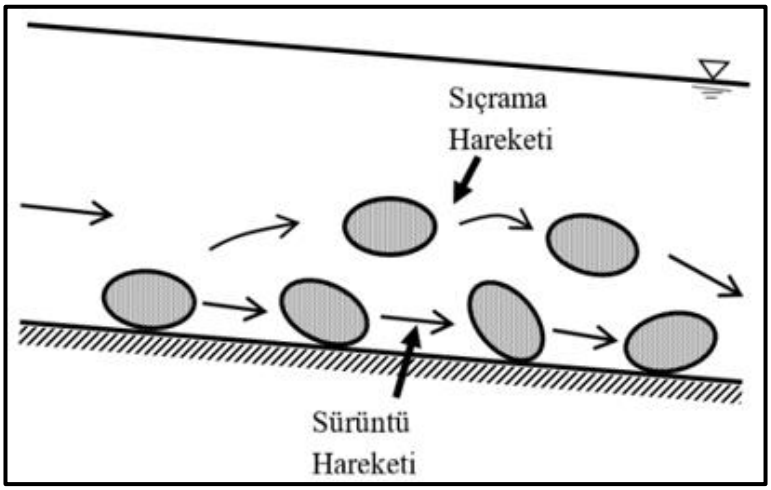
b) Askıda madde hareketi: Taşınan sedimentin %50-%95'i askıdaki sedimenttir. Bu yüzden askıdaki sediment miktarı önemlidir (Aşıkoğlu ve Eriş 2017).

Askı halinde taşınan malzeme genellikle çok ince taneli olmakla birlikte, yüksek eğimli, hızı ve türbülans şiddeti çok fazla olan bir akarsuda, iri tanelerin bile askıda taşındığı görülebilir (Ülke 2010).

İnce danelerin türbülans etkisiyle akarsu tabanıyla temas etmeden suyu bulanıklaştırarak akışla beraber uzun süre tabana çökelmeden taşınırlar.

Türbülans, sedimentin askıdaki hareketi için çok önemlidir. Sedimentin yüzdürülerek asılı halde taşınabilmesi için gerekli enerjiyi sedimente verir.

Şekil 1.10'da su içerisindeki tanelerin hareketleri görülmektedir.



Şekil 1.10 Tabandaki tane hareketleri (Tunç ve Emiroğlu 2019)

1.2.4 Sediment birikmesi

Akarsudaki doğal dengesinin bozulmasıyla, ilk aşama olan tabandan sediment sökülür. İkinci aşama olan orijinal yerinden sökülen veya tabana çöken sediment hareket etmeye başlar ve bir süre sonra akışla beraber sürüntü veya askıda hareket ile taşınır. Üçüncü ve son aşama olan sediment akarsu yatağında hız, eğim, sürükleme gücünün azalmasıyla sığ ve çukur alanlara çökelirler.

Sedimentin çökelmesi danenin hareketini sağlayan kritik değerlerin altına düşmesi veya sıfırlanması ile meydana gelir.

Su ile taşınan sedimentin yerçekimi etkisi ile çökelip birikmesi sedimantasyon olarak tanımlanır (Onüçyıldız vd. 2014).

Sedimentin taşınması ve birikmesi akarsu üzerlerine inşa edilen su depolama ve kabartma yapıları ile su dağıtım ve iletim sistemlerini de olumsuz yönde etkiler.

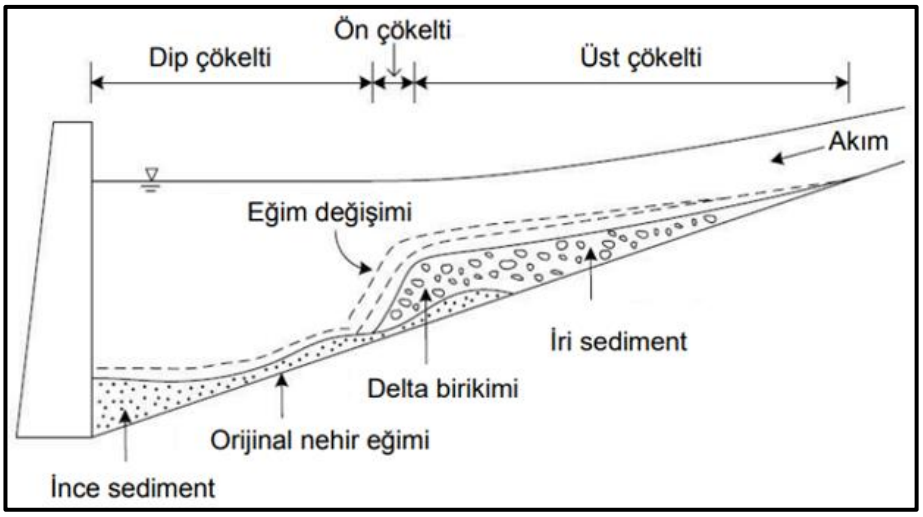
Su ile beraber taşınan kil, silt, çakıl, kum gibi sediment yüklü akımın su depolama ve kabartma yapısının rezervuarına geldiğinde kesit alanının artması, hız, sürükleme gücü ve türbülansın önemli ölçüde azalması sonucu sediment birikimi meydana gelir.

İri danelerin su depolama yapılarının rezervuar girişinde durgun su ile karşılaşmasıyla geniş bir şekilde depolanarak memba tarafında delta (çatalağız) şeklinde birikirler.

Şekil 1.11'de, iri ve ince danelerin rezervuar alanında çökerek depolandığı gösterilmiştir.

Askıda hareket ile taşınan sediment yükünü ifade eden ince daneler deltanın daha ileriki noktalarında, rezervuar gövdesine yakın ve rezervuar tabanı gibi alanlarda depolanırlar. Ayrıca akarsular tarafından taşınan iri ve ince daneli toprakların hepsi birden alüvyon olarak ifade edilir.

Su depolama ve kabartma yapılarının rezervuar alanları ile su iletim kanallarına sediment birikmesi sonucunda hacim kayıpları yaşanacağından büyük maliyetlerle inşa edilen su yapılarının ekonomik ömürlerini olumsuz yönde etkileyerek tesisten beklenen 50 yıllık hizmet süresini kısaltır ve işletme-bakım maliyetlerini arttırır. Ayrıca suyun geçtiği menfez, köprü altları gibi mühendislik yapılarını tahrip ederek tıkanmalara, tıkanmalar sonucunda sel, taşkın gibi doğal afetlerin oluşmasıyla can ve mal kayıplarının yaşanmasına neden olur.



Şekil 1.11 Bir rezervuarda tipik sediment birikimi görünüşü (Morris ve Fan 1998)

Nitekim dünya genelindeki barajların, nehirlerin taşıdığı sedimanların rezervuar alanlarında birikmesi sonucunda depolama kapasiteleri her sene yaklaşık ortalama %1 oranında (yaklaşık 50 km^3) azalmaktadır (Çakmak 2019).

Sediment birikimi ile ilgili dünya genelinden örnek verilecek olursa;

- El Salvador'daki Cerron Grande barajının yapımı öncesinde uzun yıllar işlev görebileceği düşünülürken sediment birikiminden dolayı baraj ömrü 30 yıla düşmüştür.

- Çin'de bulunan Sanmexia barajının sediment birikiminden dolayı yapımından sonraki 18 ay içerisinde rezervuarında 1,8 m^3 milyar sediment birikimi meydana gelmiştir.

Sediment birikimi ile ilgili Türkiye'den örnek verilecek olursa;

- İstanbul ilinde içme suyunun sağlanabilmesi için inşa edilen Elmalı, Ömerli, Alibey ve Sazlıdere barajlarının rezervuarlarında sediment taşınmasından kaynaklı rezervuarların da sediment birikmesi gibi bir tehdit söz konusudur.

- Cumhuriyet döneminde Ankara'ya su sağlanması amacıyla yapılan ilk baraj olan ve 1936 yılında işletmeye açılan Çubuk I barajının ölü hacminin 30 yılda, 1958 yılında işletmeye açılan Aydın – Kemer hidroelektrik – sulama barajının ölü hacminin 31 yılda sediment ile dolması örnek olarak gösterilir (Çelik vd. 2012).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

"Çökeltim Havuzlarında Sediment Hareketliliğinin Değerlendirilmesi: Çankırı Havzası – Tımarlı Mevkii Örneği" adlı tez çalışmasında ulusal ve uluslararası literatür taranarak konuyla alakalı öncel çalışmalar incelenmiştir. Aşağıda incelenen bu çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur.

Çakmak (2019), akarsu havzalarında toprak erozyonun meydana gelmesiyle her türde sedimanların barajlarda birikerek su tutma yapılarına zarar verdiği ve bu su tutma yapılarının ömürlerini azaltabildiği ifade edilmiştir. Antalya il sınırları içerisinde yer alan Korkuteli Çayı havzasında yatak yükü, süspanse ve eriyik olarak taşınan erozyon materyalinin oran ve miktarları belirlenmeye çalışılması için bir yıl akarsu üzerinde su seviyesi değişimleri ve debi ölçümleri yapılmış, sudan numuneler alınarak süspanse ve eriyik madde miktarları belirlenerek bu miktarlar havzada meydana gelen yağış ve akarsu debisi ile ilişkilendirilmiştir.

Çelik vd. (2012), fazla miktarda sediment taşınımı ile baraj ölü hacminin beklenenden kısa sürede dolması ve aktif hacmini de küçültmesiyle İstanbul Alibey barajında kurumuş alanın %70'inde inceleme yapmışlardır. Yazarlar, DSİ tarafından hazırlanan batimetrik harita ile yersel yöntemlerle üretilen baraj dip topoğrafyasının haritasını karşılaştırmış, baraja gelen sediment miktarı ve veriminin hesaplanmasını yapmışlardır.

Onüçyıldız vd. (2014), yüksek maliyetlerle inşa edilen sistemlerin işletmesinde sedimantasyon sorununu minimum ölçekli tutabilmek ve rezervuar alanında oluşan sedimantasyon problemini düzenli olarak takip edebilmek için geleneksel yöntemlere alternatif olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı analiz yöntemini önermişler ve Konya-Altınapa Barajına uygulamışlardır.

Şahin (2013), her akarsuda az ya da çok miktarda askıda ve sürüntü maddelerinin bir kısmı baraj rezervuar alanlarının kısıtlanmasına sebep olur. Bu durumun baraj rezervuarlarının ekonomik ömürlerini azaltmasından dolayı sediment problemi ve

özellikle bu problemin çözüm yöntemlerinden biri olan yıkanma yöntemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Pekmezci ve Buttanrı (2011), rezervuarlara nehirler tarafından sürüntü malzemesinin taşınması ve birikmesiyle depolama kapasitelerinin azalması sonucu rezervuarın depolama kapasitelerini korumak amacıyla metodlar geliştirmişlerdir. Bu metodlar sediment girişini azaltma, sedimenti yıkama, boşaltma, temizleme işlemleri, sedimenti tarama ve sifonlama metodları ile sediment aktarılmasıdır. Bu çalışma da sediment yıkama yöntemi ile ilgili açıklamalar yapılmaya çalışılmıştır.

İrtem ve Özgür (2000), Balıkesir – Çayören rezervuarının sedimantasyon problemi incelemişleridir. 1970 yılında hazırlanmış rezervuar haritası ile 1978-1983 yıllarında yapılan ölçümlerden faydalanılmış ve Çayören Barajı'na değişik sediment hacim ve dağılım metotları uygulanmıştır. Metot sonuçları kendi içlerinde DSİ ölçümleri ile karşılaştırılarak yorumlama yapılmıştır. Ayrıca tuzaklama verimi ile sediment birim ağırlığı hesaplanmış ve sonuç olarak barajın ölü hacminin yaklaşık %62'sinin 13 yılda dolmuş olduğu belirtilmiştir.

Mandev (2001), sediment ile dolmuş rezervuarların tekrar kazanılmasının mümkün olmadığını, bu sebeple sedimantasyon tahmini ve önlenebilmesi için bu konuda birçok çalışma yapmıştır. Nehirden sediment taşınmasından dolayı yeni bir tesis inşa etmek yerine mevcut tesislerin ömürlerinin azalmadan aktif barajların korunması için bugüne kadar yapılan analitik metotların yanında çok kısa sürede ve daha sağlıklı bilgiler verdiği düşünülen HEC-6 sayısal modeli üzerinde çalışmalar yapmıştır.

Odabaşı (2011), barajların rezervuarlarına akarsular tarafından sediment taşınması ve birikmesi sonucu, barajların depolama kapasiteleri azaldığını ve ömürleri kısaldığını ifade etmiştir. Yeni baraj yapım alanının kısıtlı olması ve maliyetinin yüksek olması mevcut barajın rezervuar kapasitesini korumak daha çok tercih edilen ve tartışılan bir konu olmuştur. Yukarıdaki sebeplerden dolayı sedimentin kontrol edilmesi ve uzaklaştırılması yöntemleri üzerinde detaylı bir şekilde durulmuş, bahsedilen yöntemler ile ilgili dünya ve

ülkemizdeki mevcut çalışan tesislerin rezervuar uygulanma şekilleri ile sonuçları incelenmiştir.

Arslan (2013), Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de açık kanal şebekeleri yerine basınçlı borulu şebekelerin kullanılmasıyla ekonomik olarak mevcut açık kanal şebekelerin akım içerisinde bulunan rüsubatın borulu sisteme gerektirdiği seviyelere azaltıldığını belirtmiştir. Mevcut çökeltim havuzlarının tekrar tuzaklama verimliliği tespit ve değerlendirmesi yapılmıştır. Türkiye'de açık kanal sulama şebekelerinde yer alan iki çökeltim havuzunda akımda taşınan rüsubat ölçümleri ile tuzaklama verimliliği hesabı yapılarak ölçümlerden ve literatürdeki yaklaşımlardan elde edilmiş tuzaklama verimlilikleri karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, "Çökeltim Havuzlarında Sediment Hareketliliğinin Değerlendirilmesi: Çankırı Havzası – Tımarlı Mevkii Örneği" ile ilgili tez konumda bahsi geçen çökeltim havuzlarının saha yerinde yapılan çalışmaları ve hesaplamaları hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Tez konusu ile ilgili yapılan çalışmalar Çankırı ili DSİ 5. Bölge – 52. Şube Müdürlüğü kontrollüğün de olan çökeltim havuzlarında yapılmıştır. Dere kenarlarından ve yamaçlardan meydana gelebilecek erozyon, sel, heyelan gibi doğal afetler sonucunda akarsu yataklarına yoğun miktarda sediment taşınır. Bu durum taşkınlara sebep olurken, su depolama alanlarına, insanlara, hayvanlara ve tarım alanlarına zarar vermektedir.

Köprü, menfez gibi geçiş yapıları, su depolama ve kabartma yapıları ile su iletim ve dağıtım kanallarına sedimentin birikmemesi için yapılan yapıların çalışma prensiplerini yerine getirip getirmediği saha alanında incelenmiştir.

3.1 Islah Seki ve Çökeltim Havuzu

Yüksek maliyetlerle inşa edilen su yapılarının ekonomik ömürlerinin belirlenen süre içerisinde tamamlayabilmesi için aktif olarak çalışır durumda olan su depolama ve kabartma yapıları ile iletim kanallarının sediment taşınımı etkisinden korunması gerekir.

Havzaların ağaçlandırılması, eğimin fazla olduğu alanlara teraslama yapılması, yanlış ve uygun olmayan arazi kullanımından vazgeçilmesi, doğal veya yapay hendeklerin yapılması gibi çalışmalar ile havzalarda erozyon, heyelan gibi doğal afetler sonucu akarsu yataklarına yoğun miktarda sediment taşınımı engellenmeye çalışılır.

Eğer bu çalışmalar sonucu havzalardan akarsulara sediment taşınımı engellenemezse akarsu içerisinde sürüntü ve askıda hareket ile taşınan sedimentin su depolama ve

kabartma yapılarının rezervuarlarına ulaşamadan uygun ve gerekli görülen alanlara farklı sediment tutucu yapılar inşa edilir.

Islah sekisi, enine taşkın kontrolü ve sediment tutucu yapılarından biri olup, tabanın korunması, heyelanlı kıyıların ve yamaç eteklerinin desteklenmesi, yatak yükünün taşınmasının azaltılması ya da fazla taşıntının uygun yerlerde depolanması amacıyla, dere yataklarında yapılan tek ya da bir dizi yapılara denir (Dinçsoy 2013).

Çankırı ili merkezinde DSİ tarafından inşa edilen Habeşindere tatlı çay sağ sahil, Kale Arkası ve 8 metre genişliğine sahip Çankırı ili merkezine ait en uzun ıslah seki yapısının bulunduğu Zindan tatlı çay sol sahil yan dere ve Yortan dersinde ki ıslah seki enine yapıları incelenmiştir (Şekil 3.1).

Havzalardan taşınan iri danelerin taban eğiminin azalmasıyla akım hızı ile sürükleme gücünün azaldığı ıslah seki membasın da biriktirilerek barbakan ile dolu savaktan suyun tahliye edilmesiyle ancak askıda hareket edebilen sediment geçebilir.



Şekil 3.1 Çankırı ili merkezinde bulunan ıslah seki örneği

Islah sekilerin dolu savak ve barbakanlarından taşınan sediment ve akarsu yatağının ilerisinde suyun koparma veya oyma etkisi sonucu taşınan sediment, eğimin azaldığı ve kesit alanının arttığı depolama ve kabartma yapılarının rezervuar alanlarında birikirler.

Rezervuar alanlarında rüsup malzemelerinden iri daneler çökelse dahi, hacim ve ağırlık olarak ince daneler çökelememektedir. Çökelemeyen sediment regülatör rezervuarından sulama için ana kanala alınan su ile birlikte kanal içine girer. Kanala giren sediment zamanla sulama sistemlerinin, sifon, menfez ve köprü gibi mühendislik yapılarının içlerini doldurur. Sonuç olarak, yapıların henüz ekonomik ömrü dolmadan kullanım dışı bırakır. Tesisin ömrünü uzatmak, taşkın ve işletme-bakım maliyetlerini azaltmak, tesisten beklenen faydanın sağlanması için iletim kanalı hattında belirlenen kritik noktalara sediment tuzaklayan çökeltim havuzları inşa edilir.

3.1.1 Çökeltim havuzu ile ilgili genel bilgiler

Çökeltim havuz konusu hem teorik hem de saha alanında detaylı olarak incelenmiştir.

Rezervuar alanından iletim kanalına alınacak suyun içerisindeki rüsubatın girişi su alma ağzı önü eşiklerle ne kadar engellenmeye çalışılsa da çoğu zaman akım ile askıda taşınan ince daneli malzemelerin girişine uygulama alanında engel olunamaz.

Geçiş yapılarının, kanalların ve borulu sistemlerin çalışma performanslarını arttırmak, suyun kullanılması gereken alanlara sedimentten arındırılmış duru suyun girişini sağlamak, işletme-bakım maliyetlerini azaltmak için kanal taban yüksekliği genellikle talveg kotundan daha aşağı bir kota indirilen, akım hızı ve türbülans etkisi azaltılan, kanal kesitine uygun, geniş ve derinliği arttırılmış çökeltim havuzları inşa edilir.

Çökeltim havuzunun girişinde öncelikle iri danelerin çökelmesi, iri daneler suyun etkisiyle yavaş yavaş hareket ederek havuz ortasına gelmesi ve ince danelerin ise havuz sonunda ince bir tabaka halinde yığılarak birikmeleri beklenir.

Kabartma yapılarından sulama kanallarına sediment girişi daima problem olmaktadır. Çökeltim havuzları kabartma yapıları ile bir bütün olarak değerlendirilmelidir.

Çökeltim havuzları tek gözlü ya da çok gözlü olarak inşa edilebilir. Çökeltim havuzları kullanım amaçlarına ve tiplerine göre ikiye ayrılır.

Çökeltim havuz tipleri (Arslan 2013);

- Dikdörtgen kesitli çökeltim havuzu
- Dairesel kesitli çökeltim havuzu

Tez çalışma alanında kanal boyunca tek gözlü dikdörtgen kesitli çökeltim havuzları bulunmaktadır.

Şekil 3.2'de köprü altı su geçişi önüne su ile beraber taşınan sedimenti tuzaklaması amacıyla inşa edilen dikdörtgen kesitli çökeltim havuz örneği gösterilmiştir.



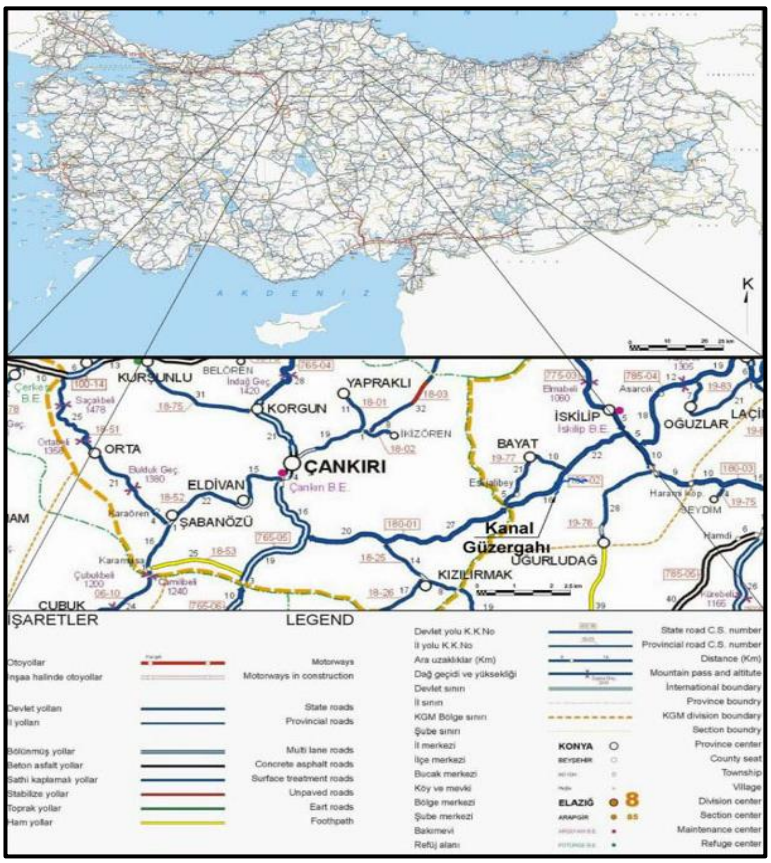
Şekil 3.2 Çalışma sahası ana kanal üzeri inşa edilmiş dikdörtgen kesitli çökeltim havuzu örneği

3.2 Çalışma Sahasının Jeolojik Yapısı

Çankırı il sınırı içerisinde kalan en büyük ve en önemli akarsu Kızılırmak'tır. Kızılırmak nehrinin aktığı güzergahtaki tarım arazileri sulanmaktadır. Ülkemizin en büyük ikinci havzası olan Kızılırmak sahası, yarı kurak iklim özelliğine sahiptir. Kızılırmak havzasında, havzanın jeolojisine bağlı olarak yaz-kış aylarında suyun çok hızlı ve yoğun akmasıyla su ile beraber askıda ve tabanda sürüntü hareketi ile fazla miktarda sediment taşınmaktadır.

Tez konum ile ilgili çalıştığım bölge, Çankırı İli Kızılırmak ilçesi Karaömer Köyü ile Çorum İli İskilip İlçesi'ndeki Obruk Barajı göl alanı arasında yer almaktadır.

Proje sahasının yeri Şekil 3.3'te karayolları haritasında ve Şekil 3.4'teki "Google Earth" görüntüsü üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Proje sahasının harita üzerindeki yeri



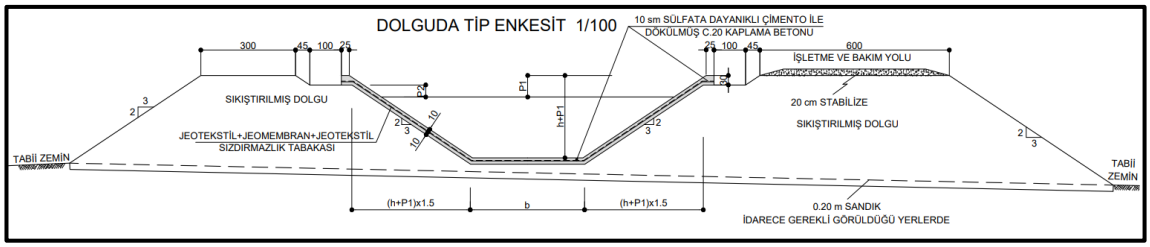
Şekil 3.4 Proje sahasının uydu görüntüsü

Proje sahasında toprak zeminde zararsız – zayıf zararlı düzeyde sülfat bulunduğu tespit edilmiştir. Ana kaya ise büyük ölçüde jipstir. Suda ve zeminde bulunan sülfat nedeniyle sulama sisteminde kullanılacak betonda sülfata dayanıklı çimento kullanılması önerilmektedir.

Güzergâh boyunca yapılan jeolojik etüt çalışmalarında yamaçlarda büyük ölçekli heyelanlara rastlanılmamıştır. Kanal güzergâhı, yer yer yamaç molozu ile kaplı yamaçlardan geçmektedir. Bu nedenle yapılacak kazılarda üst kotlardan hendek içlerine ufak çapta kaya düşmeleri ve toprak akmaları olabilir.

Kanaldaki suyun sızarak kanal altında yaratabileceği sıkıntının ve bölgede hâkim olan jipsin betona vereceği zararın önlenmesi amacıyla kanallarda sülfata dayanıklı çimento kullanılması, geotekstil ve geomembran ile kaplanarak zeminden izole edilmesi gerekmektedir (Şekil 3.5; Şekil 3.6).

Şişme, donma ve jipsten kaynaklanabilecek erimeye bağlı oturma riskine karşı, suyun ortamdan uzaklaştırılmasına dair önlemlerin alınması önerilmektedir.



Şekil 3.5 Çalışma sahasında ana kanalın projede geotekstil ve geomembran ile kaplanması ile ilgili dolguda tip enkesiti

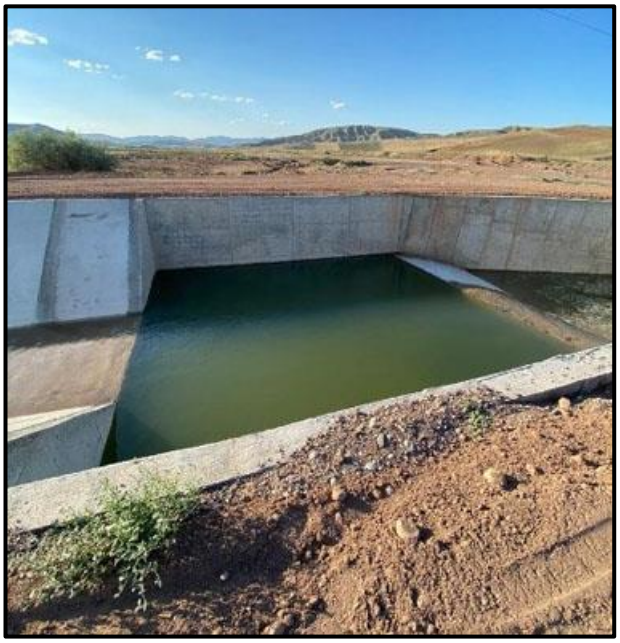


Şekil 3.6 Çalışma sahasından trapez kesitli ana kanal yapım aşaması görünüşü

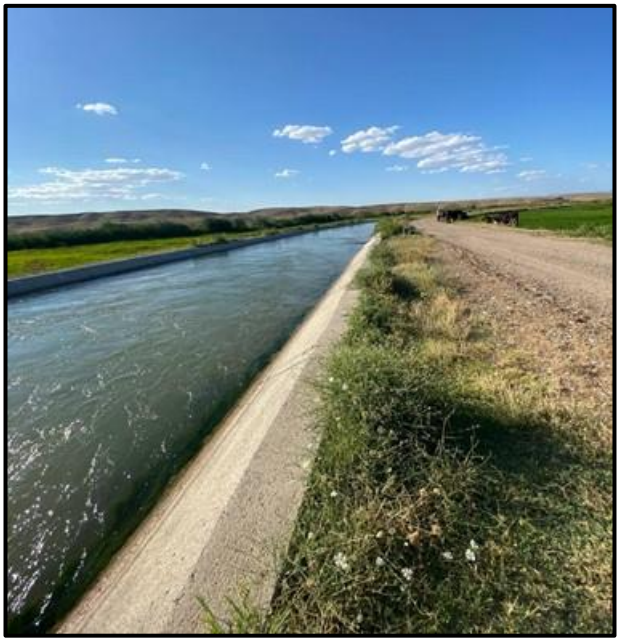
3.3 Çalışma Sahası ile İlgili Bilgilendirme

Tımarlı Sulaması 2. Kısım İnşaat İşi Kızılırmak vadisini sulayan toplam 40 yıllık projenin bir bölümünü oluşturmaktadır. 2015 yılında ihale edilmiş ve halen inşaatı devam etmektedir. Bu kapsamda, Çankırı ili sınırları içerisinde Tımarlı regülatörü su kaynağı olarak kullanılmış olup, regülatör Sol 1 ve Sağ 1 ana kanalını beslemektedir. Sol 1 ve Sağ 1 ana kanalı 1984 yılında Kızılırmak Vadi Sulaması adı altında ihale edilmiş olup, iş 1990 yılında tamamlanmıştır. Arazide, inşa edilen çökeltim havuzlarının tesis ömrünü ne kadar

uzattığı ve kanal boyunca sedimentten arındırılmış duru suyun taşınımı incelenmiştir (Şekil 3.7; Şekil 3.8).



Şekil 3.7 Çalışma sahasında ana kanal üzeri inşa edilen çökeltim havuzu gösterimi



Şekil 3.8 Çalışma sahasında ana kanalda taşınan sedimentten arındırılmış suyun görüntüsü

Regülatör rezervuar alanı aynı zamanda çökeltim havuzu görevi görmektedir.

Saha alanında yapılan inceleme sonucunda regülatör rezervuarının tamamen sediment ile dolduğu ve sediment birikiminin neredeyse yüzeye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Çalışma sahasında regülatör önü rezervuarının sediment birikiminin yüzeyden görünümü

Sol 1 ana kanal 29675 metre uzunlukta olup, kanal boyunca inşa edilmiş olan sifon ve menfezlerin sediment ile dolup tesisi kullanılamaz hale getirdiği görülmüştür. Sediment birikiminden dolayı tıkanan tesis ihtiyaç miktarı kadar suyu iletilmesi gereken araziye ulaştıramamaktadır.

Kızılırmak havzasında suyun ulaştığı arazilerde çoğunlukla çeltik, azımsanmayacak miktarda da bostan üretimi sağlanmaktadır. Tarla alanlarında yaygın olarak kullanılan salma (vahşi) sulama sistemi ile fazla miktarda suyun kullanılması hem tarım alanlarına zarar vermekte hem de suyun doğru miktarda kullanılamamasına sebep olmaktadır. Suyun tarım alanlarına zarar vermeden verimli, sürdürülebilir ve gereken miktarda kullanılabilmesi için damla sulama sistemine geçiş yapılması gerekmektedir. Ancak, bu sistemdeki borularda suyun çıkış noktaları çok küçük deliklerden oluştuğu için, kısa bir sürede delikler rüsubat sonucu tıkanmaktadır.

Sedimenti temizlemek amacıyla kepçeli ekskavatör araçları kullanılmış ve yeterli sonuç alınamamıştır. DSİ tarafından regülatör rezervuarı kovalı ekskavatör dragline aracı ile 35 m genişliğinde bant halinde regülatör rekortmanından membaya doğru 2 km boyunca hem sağ hem sol sahilde sediment temizliği yapılmıştır. Ancak, ekipman yetersizliği sebebiyle rezervuar alanının temizlenemediği anlaşılmıştır.

Sediment birim ağırlıklarına ya da danelerin özelliklerine bağlı olarak rezervuar alanında birikirler. Danelerin ağırlıkları sebebiyle basınç etkisi artarak tabana yakın biriken sedimentlerin gözenek ve boşluk hacimleri azalır. Saha alanında depolanan sediment, konsolide yani sıkışma ile sertleşerek bulunduğu yerde adeta betonlaşmıştır (Şekil 3.10). Menfez ebatlarının küçük olması sebebiyle iş makinası da kullanılamamış insan gücüyle de temizlenememiştir.



Şekil 3.10 Çalışma sahasında su geçişinin yapılması gereken alanın sediment birikimi sonucu oluşan durumu

Çankırı İli Kızılırmak İlçesi Tımarlı Sulaması 2. Kısım İnşaatının Çankırı kısmı 2018 yılı başında tamamlanmış olup, Çorum İli sınırları içinde kalan kısmı halen devam etmektedir. Bu işin kapsamında Sol 1 ana kanalın (29675 metre) kapasitenin arttırılması ve yenilenmesi, Sol 2 ve Sağ 2 ana kanal tamamen yeni yapım ve yedekleri ile 3 adet ek besleme kanalı, ÜSG, ASG, Köprüler, Menfezler, Hidrantlar, Tahliyeler, Vantuz yapılarını kapsamaktadır.

Regülatör rezervuarına sedimentin taşınarak dolmasıyla rezervuarın sediment tutma özelliği kalmadığı için rüsup malzeme su ile beraber ana kanala girmektedir. Eğer sediment burada tuzaklanamaz ise menfez, köprü gibi sanat yapıları ve açık kanal, kapalı borulu sulama sistemlerinin içlerine dolarak sistemin görevini yerine getirmesine engel olacaktır. Bu sebeple iletim kanallarının hemen başına ve kritik noktalara çökeltim havuzu yani DSİ teknik elemanları tarafından ifade edilen rüsubat havuzu inşa edilmiştir.

Çalışma sahasında inşası devam eden çökeltim havuzunun yapım aşaması ile ilgili bilgi vermesi amacıyla aşağıdaki şekiller gösterilmiştir (Şekil 3.11).



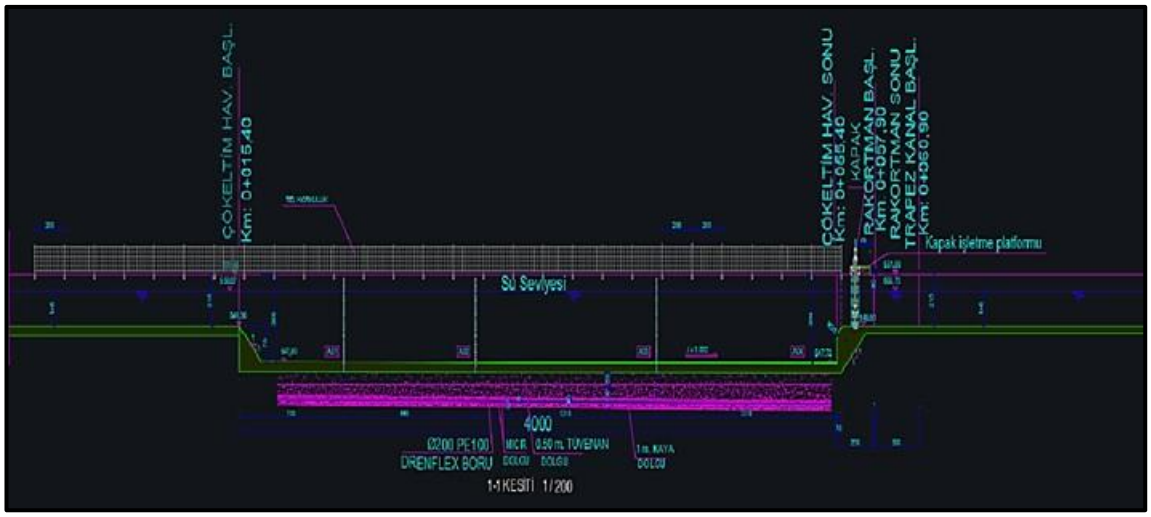
Şekil 3.11 Çalışma sahasında inşaatı devam eden ana kanal üzeri çökeltim havuzu yapım aşamasından beton döküm işlemi

Sol 2 ana kanalı Tımarlı HES'in çökeltim havuzunda çökelmiş yani sedimentten arındırılmış suyu almasına rağmen 7 adet küçük çökeltim havuzu bulunmaktadır. Bu havuzların toplam 750 m^3 rüsup tutma kapasitesi olup, dolduğunda temizlenebilmektedir.

Tımarlı regülatöründen beslenen Sol 1 ana kanalında ise 1 adet kanalın başında memba kısmında 0+43 km'sine kadar 40 metre uzunluğunda içten içe 10 metre genişliğinde, çökeltim havuz taban eğimi %1 ve kanal talveg kotundan 2 metre daha derin olmak üzere toplam 800 m^3'lük rüsubat rezervuar hacimli büyük rüsubat havuzu bulunmaktadır (Şekil 3.12; Şekil 3.13). Regülatör rezervuarından askıda taşınan dane çapı belirli sedimentin ilk çökeltim havuzu ile iletim kanalının başında tuzaklanarak kanal boyunca sedimentten arındırılmış duru suyun akması hedeflenir. Ayrıca, gerekli olduğunda iş makinalarının havuz temizliğini yapabilmesi için 7 metre uzunluğunda, 5 metre genişliğinde iniş rampası inşa edilmiştir (Şekil 3.14; Şekil 3.15).



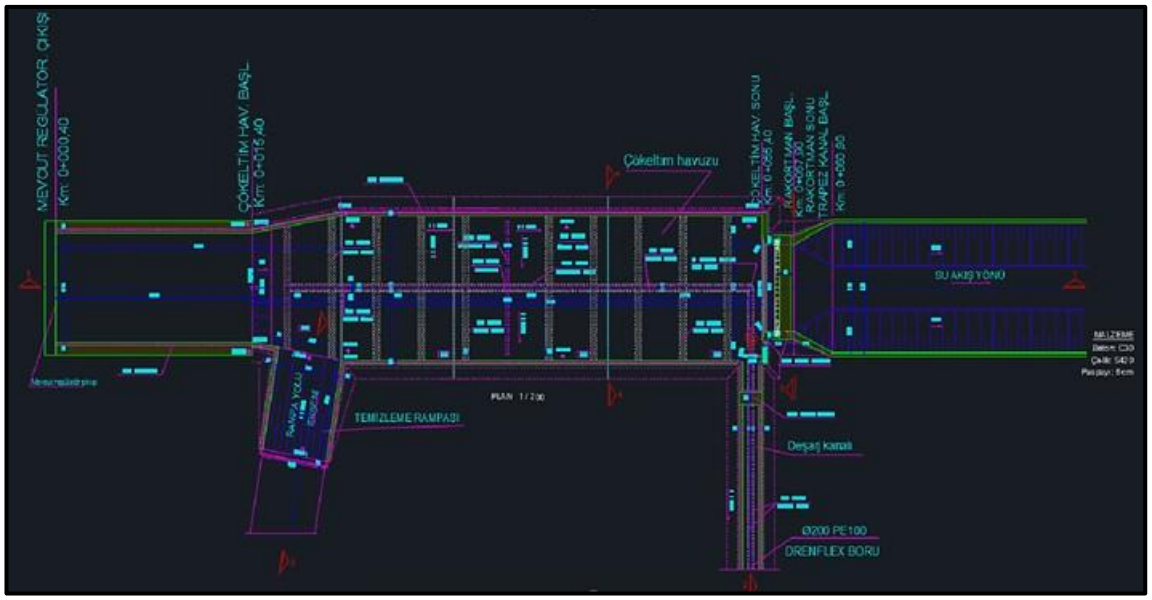
Şekil 3.12 Çalışma sahasında ana kanal su alma ağzı önü ilk çökeltim havuzu gösterimi



Şekil 3.13 Çalışma sahasında ana kanal üzeri çökeltim havuzu AutoCAD projesi-1 görünüşü



Şekil 3.14 Çalışma sahasında ilk çökeltim havuzunda biriken rüsubatın kepçeli araçlar yardımıyla temizlenebilmesi amacıyla inşa edilen iniş rampası



Şekil 3.15 Çalışma sahasında ana kanal üzeri çökeltim havuzu AutoCAD projesi-2 görünüşü

Sol 1 ana kanal üzerine inşa edilen menfez ve sifonların membasında 4 adet küçük çökeltim havuzu bulunmaktadır. Bu havuzların toplam rüsubat rezervuar hacim kapasitesi 1200 m^3'tür. 5 yıldır aralıksız kullanılan tesiste rüsubatın havuzlarda tabana çökelerek tutulmaktadır. Çalışma alanında ana ve yedek kanallarda rüsubat birikiminin olmadığı, gözlemlenen az miktardaki rüsup malzemenin ise akım ile değil kanal yanlarından çökeltim havuz ve kanal içine dökülen malzeme olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.16; Şekil 3.17).



Şekil 3.16 Çalışma sahasında ana kanal üzeri çeşitli yerlerden taşınan sedimentin çökeltim havuzunda birikme durumunun gösterimi

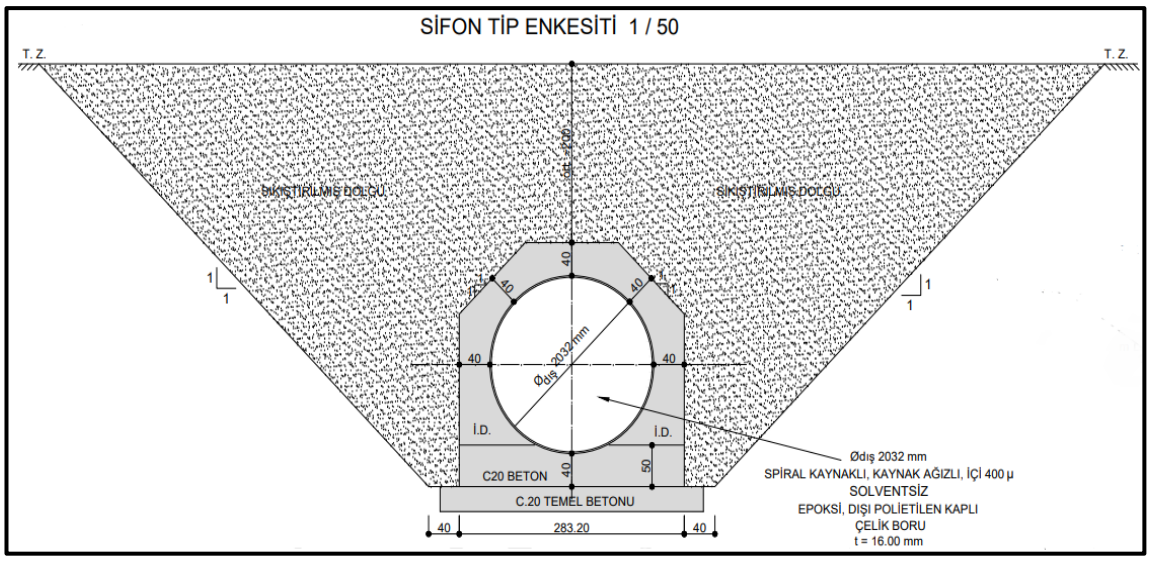


Şekil 3.17 Çalışma sahasında ana kanala çeşitli yerlerden taşınan sedimentin birikme durumunun gösterimi

İşin maliyeti düşünüldüğünde 1 adet büyük çökeltim havuzu ile sediment sorununun çözülmesi istenebilir. Fakat saha alanında iletim kanalı içerisine insan ve çevre etkilerinden dolayı sediment taşınımının yoğun olmasından kaynaklı kanal boyunca sedimentten arındırılmış duru suyun sürekli taşınabilmesi için çeşitli büyüklüklerde kritik noktalara çökeltim havuzları yerleştirilmiştir.

Sol 2 ana kanalda yan dereye 5 adet sifonla geçiş yapılıp her sifon boyunca çökeltim havuzu bulunmaktadır (Şekil 3.18; Şekil 3.19).

Sifon önüne inşa edilen çökeltim havuzlarında suyun yoğunluğundan daha küçük olan yüzen cisimlerin (örneğin dal, yaprak gibi) tuzaklanamaması durumunda sifon önlerine profil ızgara yerleştirilebilir.



Şekil 3.18 Çalışma sahasında bulunan sifon yapısı enkesitinin proje detayı



Şekil 3.19 Çalışma sahasında sifon önü çökeltim havuzu gösterimi

Ayrıca, Bayat çayından gelen toprak için Sol 2 ana kanala çökeltim havuzu yapılmıştır. Bu ekstra rüsubatı önlemek içinde ikisinin birleşimine çökeltim havuzu inşa edilmiş olup, Sol 1 trapez kesitli (beton) ana kanal 29675 metre uzunluğundadır. 1 adet ana kanaldan ayrılan 27 adet yedek kanal, yedek kanaldan ayrılan 32 adet tersiyer kanal bulunmaktadır.

Saha alanında kanala gelen debi miktarının ölçülebilmesi için "Elektrometrik Flatometre" yani debimetre olarak da ifade edilebilen debi ölçme aleti bulunmaktadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Çalışma sahasında bulunan Elektrometrik Flatometre (Debimetre) gösterimi

Elektrometrik Flatometre (Debimetre);

- Uydu bağlantılıdır.
- Kanal üzerine yerleştirildiği alandaki debinin ölçümünü yapar.
- Debimetrenin kanaldaki konumu önemlidir. Eğer suda ani yükselmelerin olduğu alana koyulursa debi fazla ölçülüp yanlış bilgi edilebilir. Bu sebeple güvenli bilginin alınabilmesi için genellikle suyun daha durağanlaştığı noktalara yerleştirilmesi önerilir.
- Anlık, saniyelik olarak ölçüm yapabilme yeteneğine sahiptir.
- Debi miktarının ölçülmesiyle kanal boyunca tarla sahiplerine ulaştırılması gereken debinin kontrolü yapılır.

3.3.1 Çalışma sahası alanında bulunan mevcut kapaklı regülatör tipi

Kızılırmak regülatörü "Kızılırmak Vadi Sulamaları 1. Merhale Projesi" kapsamında 1958 yılında inşa edilmiştir. 4 m x 5 m ebadında 14 adet kapaktan oluşan kapaklı (hareketli) regülatör tipi, tezimize konu olan Sol 1 ana kanalının kapasitesinin arttırılmasının yanı sıra 14 adet çelik kapak ekleme yöntemi ile 50 cm daha yükseltilmiştir (Şekil 3.21). Su

talveg kotundan itibaren 4,5 m kabartılarak rezervuar üst kotundan aşağı doğru 2,5 m'den su alınmaya çalışılmıştır. Proje debisi 4,3 m^3/s'den 7,7 m^3/s'ye çıkarılmış, hava payı da kullanıldığında 12 m^3/s'lik bir debinin taşınabildiği bir kanal yenilemesi yapılmıştır.



Şekil 3.21 Çalışma sahasında bulunan kapaklı (hareketli) regülatör tipi kabartma yapısı görünüşü

3.3.1.1 Kapaklı (hareketli) regülatör tipi

Tez çalışmasının yapıldığı saha alanında yüklerin zemine aktarılmasını sağlayan betonarme dairesel kesitli orta ayaklar, yaya yolu olarak kullanılan servis yolu ve çelik malzemeden yapılmış olan sızdırmazlığı az veya hiç olmayan kapaklı (hareketli) regülatör tipi bulunmaktadır (Şekil 3.22; Şekil 3.23).

Kapaklar aşağı ve yukarı olarak mekanik aksamlar vasıtasıyla hareket ettirilirler. Düzensiz yağışlar sebebiyle akarsu yatağının taşıdığı debinin artmasıyla sel, taşkın gibi doğal afetlerin oluşumunu engellemek için hareketli kapaklar yukarı yönde hareket ettirilerek suyun mansap tarafına düzenli bir şekilde geçişi sağlanır.

Kapak altından mansap tarafına geçirilen suyla beraber kapak altından geçen suyun hızının yüksek olması sebebiyle regülatör rezervuar önündeki biriken sediment tahliyesi de yapılır. Sediment taşınımın yoğun olduğu bölgelere kapaklı (hareketli) regülatör tipinin kullanılmasıyla regülatör rezervuarında sediment birikiminin azalmasına yardımcı olur.

Ayrıca suyun istenilen miktarda ve istenilen mevsimde düzenli bir şekilde alınabilmesi için hareketli kapaklar aşağı yönde hareket ettirilerek suyun yüksekliği artırılır.

Hareketli kapakların sürekli kullanılabilmesi için bakım ve onarımlarının düzenli bir şekilde yapılması gerekir.



Şekil 3.22 Çalışma sahası alanından kapaklı (hareketli) regülatör tipine ait kısımlar



Şekil 3.23 Çalışma sahası alanından kapaklı (hareketli) regülatör tipine ait çelik kapak örneği

Kapaklı regülatör tipi altından geçen suyun enerjisi ani kesit daralmasından ve taban eğiminin ani azalmasından kaynaklı çok yüksektir. Suyun yüksek enerjisinden dolayı kavitasyon dediğimiz mansap tarafında zeminde oyulma ve çevre yapılarına zarar vermesinin önlenmesi ayrıca suyun enerjisini kaybetmesi için talveg kotundan 2 metre aşağısında düşü havuzu yapılmıştır. Düşü havuzu ile suyun enerjisi kırılarak hidrolik sıçrama ile sel rejiminden suyun durgun hali olan nehir rejimine geçişi sağlanmıştır (Şekil 3.24).



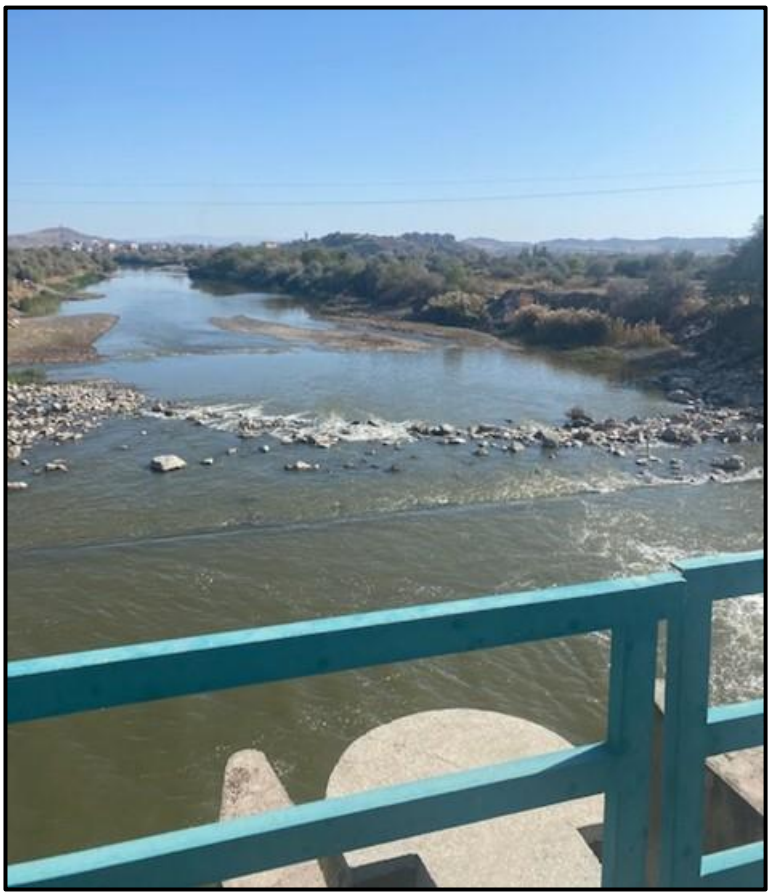
Şekil 3.24 Çalışma sahasında regülatör mansap tarafı üstten düşü havuzu görünüşü

Saha alanında ani taşkınlarda veya kış mevsiminde debi miktarının artmasıyla can suyu ve taşkın önlenmesi amacıyla 10-20 m^3/s arasında değişen belirli bir miktar debinin kapakları açılarak mansap tarafına sediment karışımlı suyun tahliyesi yapılır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Çalışma sahası alanındaki regülatör hareketli kapak altı geçen akımın durumu

Ayrıca çalışma alanında, akarsu yatağının sağ ve sol sahil kenarlarında sedimentin birikmesi ve yatağın aşınması sonucunda kıvrımlı olarak görünen mendereslerin oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Çalışma sahası regülatör mansap tarafı menderes oluşumu örneği

Saha alanındaki mevcut kapaklı regülatör tipi mekanik sistemli ve sonsuz millerden oluşmaktadır. Motor yardımıyla aç-kapat-stop gibi yönlendirme tuşlarına manuel olarak işin görevlisi tarafından basılır ve mekanizma çalıştırılır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 Çalışma sahası alanındaki kapaklı (hareketli) regülatör tipinin mekanik aksamlarının görünüşü

Regülatör kapaklarının mekanik bir sistem olması ve bozulma olasılığı yüksek olmasından kaynaklı bakım onarımının rahatlıkla yapılabilmesi için regülatör servis yolu alanında mekanik aksamlı vinç sistemi bulunur (Şekil 3.28). Bu sistem ile görevli tarafından emniyet kapağı indirerek kapakların rahatlıkla bakım onarımının yapılması sağlanır.



Şekil 3.28 Çalışma sahasında emniyet kapağının indirilmesi amacıyla kurulan vinç sisteminin görünüşü

Yapılan kanal yenilemesi ile regülatörün ilerisindeki memba tarafında tutulan suyun debisinin artmasıyla meydana gelebilecek taşkının tarım alanları ve köy yerleşkelerindeki taşmanın önlenmesi amacıyla akarsu kenarlarındaki seddelerin yükseklikleri belli bir mesafe boyunca 1,30 m kadar yükseltilmesi planlanmıştır (Şekil 3.29).

DSİ'nin Taşkın ve Rüsubat Kontrolü yönetmeliği 1. Bölümünde sedde, taşkın sularına karşı koruyucu tedbir maksadı ile bir akarsu boyunca inşa edilmiş olan suni dolgu olarak ifade edilmektedir.

Ayrıca sedde ile hem akarsuyun taşmasından kaynaklı gelebilecek zararlar engellenir hem de havza boyunca olabilecek erozyon, sel, heyelan gibi doğal afetler ile akarsulara taşınabilecek rüsubat engellenmeye çalışılır.



Şekil 3.29 Çalışma sahasında bulunan memba tarafı regülatör rezervuar kıyısında bulunan sedde görünüşü

Saha alanında su iletim kanalı girişinde giriş eşiği bulunduğu gözlemlenmiştir. Giriş eşiği suyun hız şartlarına uygun olması ve girişte vortex (girdap) oluşturmaması gerekir. Taşkın anlarında yoğun sediment girişinin kontrolü için etkilidir. Ayrıca kanal temizliği ile sulama sezonun bittiği kış aylarında suyun ana kanala girmesinin engellenebilmesi

amacıyla giriş eşiğinin bulunduğu alanda açılır ve kapanabilir mekanik aksamlı çelik kapak bulunmaktadır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 Çalışma sahasında ana kanal su alma ağzı önü hareketli çelik kapaklar görünüşü

3.3.2 Çalışma alanında bulunan çökeltim havuzlarının temizlenmesi

Çökeltim havuzlarının sediment ile dolarak havuz kesit alanının azalması ile su hızının artmasıyla sediment çökelemez ya da çökelen sediment askıda harekete geçer. Sedimentin ana kanalın ilerisine taşınarak sulama kanallarında birikme problemleri yaşanır. Bu durum sonucunda çökeltim havuzu istenilen performansı veremeyecek ve aynı zamanda hem boşa yapılan bir yatırım hem de çökeltim havuzlarında işletme – bakım maliyetlerini artıracaktır.

Dairesel kesitli sifon yapılarında, ani eğim değişiklikleri sediment girişini engelleyemeyip, boru içerisinin sediment ile dolması ve çökelip sertleşerek kesitlerde daralma, tıkanma, hava sıkışması ve boru yüzeylerinde aşınmalardan kaynaklı yıpranmalara sebep olur. Bu durum bakım-onarım maliyetlerinin artmasına, kullanım ömrünün kısalmasına ve iletilmesi gereken debinin iletiminin engellenmesine sebep olur.

Yukarıda belirtilen problemlerin önlenebilmesi için çökeltim havuzunun inşa edildiği alanın sonuna akarsu tarafına iletilen yıkama (tahliye) kanalları eklenerek çökeltim havuzlarının kendi kendini temizleyebilir duruma getirilmesi sağlanır.

Saha alanında yıkama (tahliye) kanalları dairesel kesitli borular şeklindedir.

Yıkama (tahliye) kanalı için kullanılan dairesel kesitli boruların içerisine giren sedimentin çökelip birikmemesi için akış hızı ve boru eğimi sedimentin boru içerisinde taşınabilecek bir seviyede olması gerekir.

Sediment borularla yer altından mansap tarafındaki dereye boşaltılır.

Yıkama kanallarından sediment tahliyesi su ile beraber yapıldığından debi kayıpları meydana gelebilir. Bu durum göz önünde bulundurularak kanalın taşıması gereken debi hesaplamaları yapılmalıdır.

Eğer kesintisiz olarak yıkama kanalından temizleme işleminin yapılması istenmezse yıkama (tahliye) kanalı boru önleri kapak ile kapatılır.

Çökeltim havuzunun temizlenebilmesi için illa havuzun tamamen dolması beklenmemelidir. Havuz tabanın belli bir kısmı dolduktan sonra taşmalara sebep olmadan temizlenmesi gerekir.

Çökeltim havuzu projesinde kendi kendini temizleyebilme özelliği dahil edilmediyse havuzun temizleme işlemi ekskavatör araçlar yardımı ile yapılır.

Kepçeli makina araçları ile temizleme işlemi yapılmadan önce su alma ağzından ana kanala gelen suyun girişinin engellenebilmesi için önündeki kapaklar indirilmelidir.

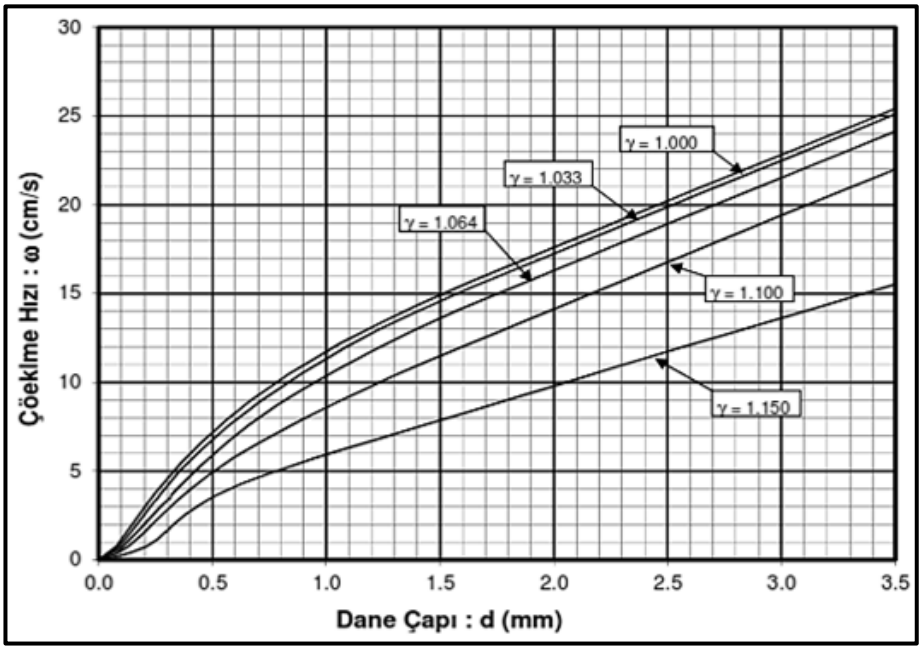
4. BULGULAR

4.1 Çökeltim Havuzu Hesabı ile İlgili Genel Bilgilendirme

Akım hızı ve türbülans etkisiyle askıda taşınan sedimentin çökeltim havuz tabanına çökeltilmesi ve suyun kullanılacağı sulama ve diğer alanlara sediment miktarı azaltılmış duru suyun kanal boyunca iletiminin sağlanabilmesi için çökeltim havuz boyutlarının bu amaçlara uygun olacak şekilde boyutlandırılması gerekir.

Çökeltim havuzlarının boyutlandırılmasında çökelmesi istenen en küçük dane çaplı sediment boyutları dikkate alınır. Dane yatay yönde akım hızı ve düşey yönde çökelme hızı bileşkesinde hareket ederek havuz tabanına çökeleceği için, boyutlandırma hesaplarının temelini bu durum oluşturur.

İlk olarak projenin yapılacağı alandaki sediment içeren suyun yoğunluğu ve çökelmesi istenen dane çapına bağlı olarak Şekil 4.1'den çökelme hızı değeri okunur.



Şekil 4.1 Dane çapına göre çökelme hızı

Sulama kanalı boyunca belli bir hızda hareket eden akım içerisindeki sediment türbülans etkisiyle çökelemeyebilir. Çökelim gerçekleşse dahi türbülans etkisiyle yeniden yukarı yönlü sediment hareketi oluşması beklenir. Türbülans etkisini azaltmak, akımla birlikte hareket eden sedimentin çökelmesini sağlamak ve çökelen sedimentin tekrar harekete geçmemesi için genel yaklaşım olarak çökeltim havuzunun içerisindeki akım hızının 0,30 m/s'den küçük olması istenir.

İnce danelerin çökelme hızlarının tespiti durgun suya göre yapılmaktayken, çökeltim havuzu içerisinde akımın belli bir yatay hız ve türbülansın etkisiyle dane çökelme hızı değişiklik gösterebilmektedir. Bu durumlar dikkate alınarak hesaplanan çökeltim havuz uzunluğunun güvenli tarafında kalınarak bir miktar artırılması yerinde bir yaklaşım olacaktır.

Basit çökelme teorisine göre çökeltim havuz tasarımı yapılır. Çökeltim havuz derinliği suyun miktarına ve tabana göre değerlendirilerek genel kabullere göre 1,5 m ile 4 m arasında seçilebilir. Çökeltim havuzlarının çok derin olması hem tehlikeli hem de işletme ve bakımı zorlaştırabileceği gibi çok sığ olması da ekonomik olmayan ebatlarda çökeltim havuzunun boyutlandırılmasına yol açabilir.

Çökeltim havuz taban eğimi işletme ve bakım esnasında havuzdaki suyun ve sedimentin havuz sonunda toplanmasını sağlamak için genellikle %1 seçilerek projelendirilirse de çökeltim havuzunun uzunluğu ve topoğrafya gibi şartlar göz önünde bulundurularak %2-%3 seçilerek de projelendirilebilmektedir.

4.1.1 Çalışma alanında bulunan ilk çökeltim havuz uzunluğunun hesabı

Bu kısımda Tımarlı regülatöründen beslenen Sol 1 ana kanal girişindeki ilk çökeltim havuz uzunluğunun hesaplanması ile ilgili bilgi verilmiştir.

Regülatör vasıtasıyla su alma yapısına aktarılacak ilk akımın yüksek miktarda sediment içermesi su alma yapısından hemen sonra tesis edilecek olan ilk çökeltim havuzunda

kanala girmeden fazla miktarda sediment çökelmesinin istenmesi ve bu kısımda çökeltim havuzunun yapılacağı alanın hali hazırda hazine arazisinde olması sonucu çökeltim havuzunun istenilen genişlik ve uzunlukta imal edilebilmesine olanak sağlaması gibi sebepler vasıtasıyla ilk çökeltim havuz boyutunun diğer çökeltim havuzlarının boyutlarından daha uzun ve geniş seçilmiştir.

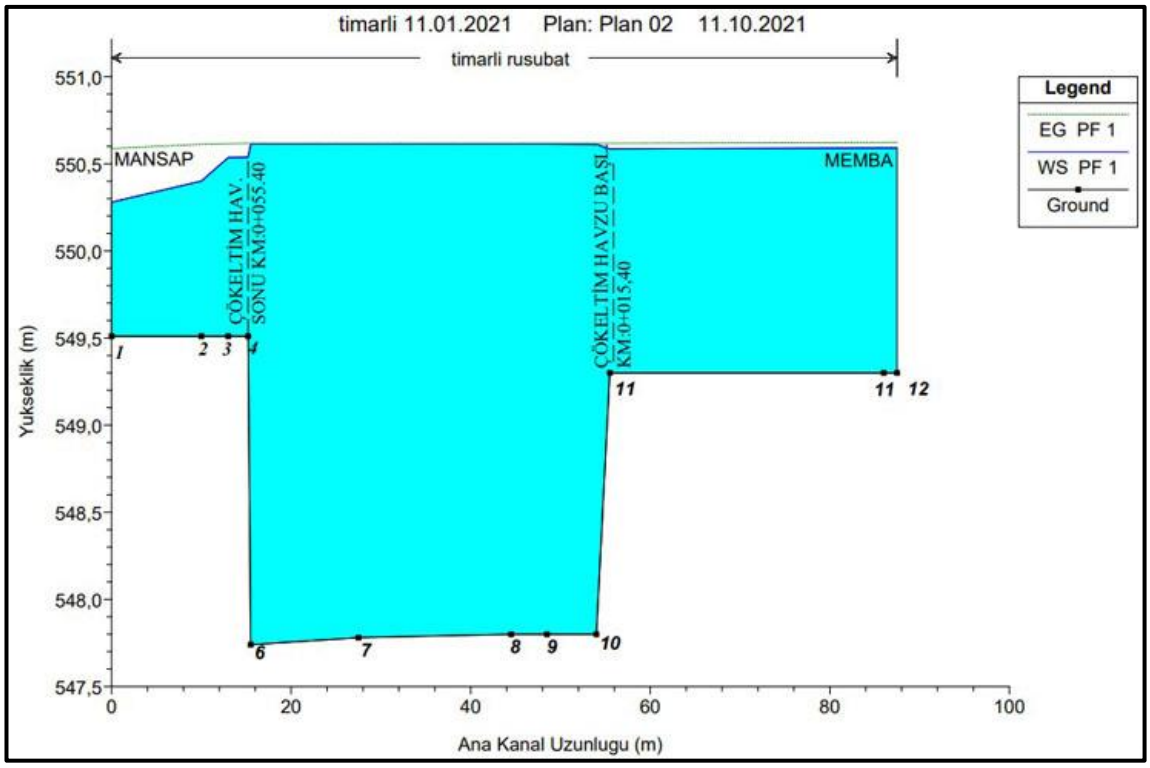
İlk çökeltim havuzundan farklı olarak, iletim kanalı üzerinde tesis edilecek olan çökeltim havuzlarında debi miktarının daha az olması ve daha kaba çaplardaki sedimentin çökelmesi yeterli görüldüğü için kurum tarafından yapılan hesaplamalarda çökelme mesafesi 8 m 33 cm olarak belirlenmiştir (DSİ teknik elemanları ile sözlü görüşme, 2022).

4.1.1.1 Çökeltim havuzu içerisindeki su hızının belirlenmesi için HEC-RAS programında analiz

USACE tarafından geliştirilen bir hidrolik analiz programı olan HEC-RAS analiz programı ile hesaplama aşamasında çökeltim havuzu içerisinde proje debi değerine (7,70 m^3/s) karşılık gelen su profili, su hızı ve derinliği belirlenmeye çalışılır.

Oluşturulan model için düzenli akıma sahip olduğu belirlenen noktalar dikkate alınarak su yüzü profili hesaplanır ve modele ait en kesitler için akım değişkenleri (akım hızı, akım yüksekliği, özgül enerji vb.) belirlenir.

Ön tasarım neticesinde belirlenen plan ve kesit görüntüleri üzerinden HEC-RAS modeli oluşturulmuş ve oluşan su yüzü profili Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

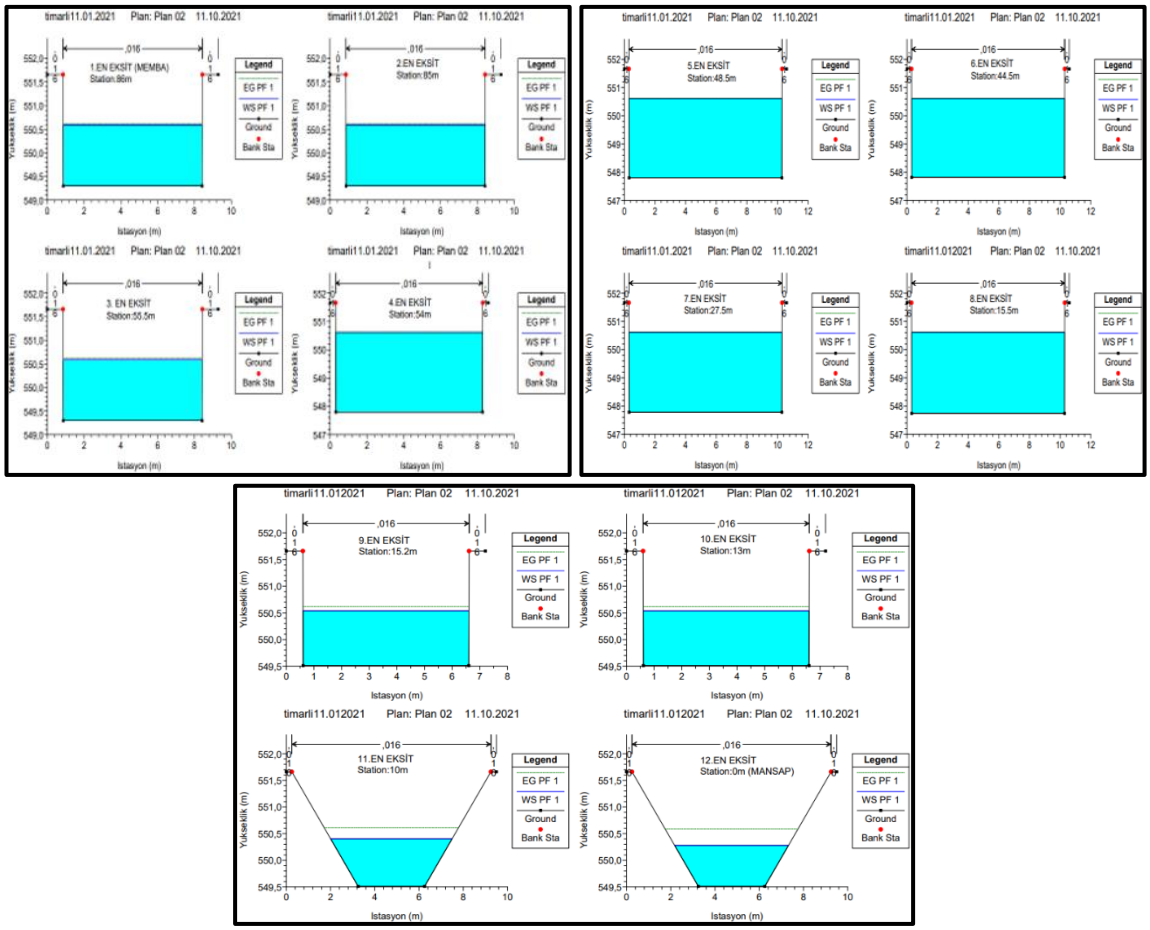


Şekil 4.2 HEC-RAS programından elde edilen su yüzü profili

Ön bir tahminle HEC-RAS programında kanal boyunca modelleme yapabilmek için programda 86 m uzunluğunda bir model oluşturularak, çökeltim havuzu ile giriş ve çıkış kesitleri birlikte temsil edilerek kesitlerin değiştiği noktalar HEC-RAS programında tanımlanarak modelin bire bir oluşturulması sağlanır.

DSİ tarafından önerilen manning pürüzlülük katsayısı trapez kesitli beton yüzeyler için n=0,016 değeri kullanılmıştır. Manning pürüzlülük katsayısı kanalın doğada doğal bulunması ya da insanlar tarafından inşa edilen ve akış hızını etkileyen yapay kanalların kaplama özelliklerine bağlı olarak değişen hazır tablodan direkt alınabilen veya COWAN metodu ile hesaplanan yaklaşık katsayılar olarak tanımlanabilmektedir.

Yapıların tümünü temsil etmek üzere 12 adet kesit oluşturulmuştur. Örneğin çökeltim havuzunun sonunda kot aniden yükselir. Bu durum HEC-RAS programına tanımlanırken hem yükselmeden önce hem de yükselmeden sonra kesitler tanımlanıp model oluşturulabilir. Proje debisi değeri (7,70 m^3/s) için elde edilen en kesit görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Model boyunca belirlenen en kesitlerde oluşacak olan su yükseklikleri

Analiz sonuçları incelendiğinde model boyunca belirlenen en kesitlerde oluşacak olan su yükseklikleri çökeltim havuzunda yükselmiş ve beklendiği gibi trapez kanalında azalarak devam etmektedir. Trapez kanal kesitinin uzun süre değişmemesi durumu göz önünde bulundurularak model sonunda sınır şartında akımın üniform derinlikte akacağı kabulü yapılmıştır.

Analiz neticesinde elde edilen kesitler üzerindeki o noktadaki debi değeri, minimum kot, su yüzü kotu, enerji seviyesi kotu, enerji seviyesi eğimi, hız, akım alanı, üst genişlik, Froude sayısı gibi hidrolik veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Analiz sonuçları

HEC-RAS Plan 02 River: timarli Reach: timarli Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m^3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m^2)	Top Width (m)	Froude # Chl
timarli	86	PF 1	7.70	549.30	550.59		550.62	0.000168	0.79	9.75	7.56	0.22
timarli	85	PF 1	7.70	549.30	550.59		550.62	0.000168	0.79	9.75	7.56	0.22
timarli	55.5	PF 1	7.70	549.30	550.59		550.62	0.000170	0.79	9.71	7.56	0.22
timarli	54	PF 1	7.70	547.80	550.61		550.62	0.000015	0.34	22.45	7.99	0.07
timarli	48.5	PF 1	7.70	547.80	550.61		550.62	0.000009	0.27	28.10	9.99	0.05
timarli	44.5	PF 1	7.70	547.82	550.61		550.62	0.000009	0.28	27.90	9.99	0.05
timarli	27.5	PF 1	7.70	547.78	550.61		550.62	0.000009	0.27	28.29	9.99	0.05
timarli	15.5	PF 1	7.70	547.74	550.61		550.62	0.000008	0.27	28.70	9.99	0.05
timarli	15.2	PF 1	7.70	549.51	550.54		550.62	0.000572	1.25	6.16	6.00	0.39
timarli	13	PF 1	7.70	549.51	550.54		550.62	0.000574	1.25	6.15	6.00	0.40
timarli	10	PF 1	7.70	549.51	550.40	550.28	550.61	0.001995	2.04	3.78	5.49	0.78
timarli	0	PF 1	7.70	549.51	550.28	550.28	550.59	0.003379	2.46	3.14	5.15	1.00

HEC-RAS programına 7,70 m^3/s' lik debi ve sınır değerlerinin (taban eğimi değeri ve akımın üniform akım derinliğinde olduğu) girilmesiyle analiz neticesinde çökeltim havuzu içerisindeki su hızı 0,27 m/s, Froude sayısının 0,05, su yüksekliği 2,87 m olarak sonuçlar elde edilir.

4.1.1.2 Dane çökelme kriterinin belirlenmesi ve havuz uzunluğunun kontrol edilmesi

Tımarlı Sol 1 ana kanalındaki ilk çökeltim havuzu ile ilgili çökeltim havuzuna alınacak suyun sedimentten arındırılarak sisteme verilmesi gerekmektedir. Bu sebeple çökeltim havuzu istenilen minimum çaptaki sedimentin çökelmesini sağlayacak şekilde boyutlandırılması gerekir.

Çökeltim havuzunun boyutlandırılması için HEC-RAS programından elde edilen gerekli veriler Çizelge 4.2'den alınarak çökelmesi istenilen dane çapının çökelme mesafesine bakılır.

Çizelge 4.2 Çökeltim havuzunun boyutlandırılması için gerekli veriler

VERİ	AÇIKLAMA	DEĞER	BİRİM
Q	Tasarım Debisi	7700	lt/sn
B	Çökeltim Havuzu Genişliği	10	m
y	Havuz Sonundaki Su Derinliği	2,87	m
S	Çökeltim Havuzu Taban Eğimi	0,01	m/m
P	Islak Çevre	15,74	m
D_{50}	Çökeltilmek İstenen Dane Çapı	0,5	mm
γ	Durgun Suyun Yoğunluğu	1,1	ton/m^3
κ	Karmen Katsayısı	0,42	-
r	Havuz Boyunca Sediment Çökeltim Oranı	95	%

HEC-RAS Programından alınmıştır.

Çökeltim havuzu boyunun hesaplanabilmesi ve minimum çaptaki sedimentin tuzaklanabilmesi için tuzaklama verimliliği ile ilgili birçok yöntem belirlenmiştir. Bu yöntemler (Arslan 2013);

- Camp (1944) ve Dobbins (1944)
- USBR (Vanoni, 1975)
- Sümer (1977)
- Garde vd. (1990)
- Raju vd. (1999)

Ön tahmin neticesinde HEC-RAS programında boyutlandırılan çökeltim havuzunda belirlenen minimum dane çapının çökelmesi için yeterli uzunlukta olup olmadığının kontrolünün sağlanabilmesi için tuzaklama verimliliği yöntemlerinden biri olan ve pratik hesaplamalarda DSİ tarafından sıkça kullanılan Sümer (1977) yöntemi kullanılmıştır.

Sümer (1977) tarafından havuz uzunluğunun hesaplanabilmesi için havuz boyunca sediment çökelim oranını simgeleyen r'ye karşılık gelen Denklem (4.1) önerilmiştir.

$$L = -\frac{6\left(\frac{u_s}{u_*}\right)y}{\kappa\lambda}\ln(1-r) \qquad (4.1)$$

Bu denklemde;

L = Çökeltim havuzu uzunluğu (m)
u_s = Havuz sonundaki su hızı (m/s)
u_* = Sürükleme hızı (m/s)
y = Su yüksekliği (m)
κ = Karmen katsayısı (0,42 değeri olarak kabul edilebilir)
λ = Boyutsuz hızın fonksiyonu olan bir parametre
r = Havuz boyunca sediment çökelim oranı

HEC-RAS programından elde edilen çökeltim havuz sonundaki su hızı ayrıca debi denklemi yazılarak da bulunabilir.

$$u_s = \frac{Q}{B \cdot y} = \frac{7{,}700}{10 \cdot 2{,}87} = 0{,}27 \text{ m/s} \quad (4.2)$$

Bu denklemde;

Q = Debi (m^3/s)
B = Çökeltim havuz genişliği (m)
y = Çökeltim havuz sonundaki su derinliği (m)
u_s = Çökeltim havuzundaki su hızı (m/s)

Denklemde bilinen değerler yerlerine konulduğunda u_s değeri 0,27 m/s olarak hesaplanır. Genel bir kriter olan su hızının 0,30 m/s'den düşük olması durumu sulama alanı için sağlanılmıştır. Bu hız değeri ile çökelme havuzunda danenin tuzaklanması, tuzaklanan danenin havuz tabanında tutulmaya çalışılarak tekrar hareket etmesi engellenmesi beklenmektedir.

Suyun kullanılacağı alanda çökeltilmesi istenilen dane çapına göre bu hız değeri kriteri farklılık gösterebilir. Örneğin hidroelektrik santrallerinde, türbinlerin korunması amacıyla çökeltim havuzunun genişliği ve derinliği arttırılarak su hızı daha düşük bir hız

değerinde tutulmasıyla bizim belirlediğimiz dane çapından daha küçük danelerin çökeltim havuzunda çökelmesi sağlanır. Bu tip durumlarda akım hız değerinin 0,30 m/s gibi bir hız değerlerinden daha da az olması gerekebilir. Fakat bu tez kapsamında ele alınan yapılar sulama tesislerine ait olduğu için çökelmesi istenilen dane çapının çok küçük seçilmesi hem ekonomik olmayan çökeltim havuzları ebatlarına yol açacak, hem de suyun içinde sulama için faydalı olabilecek maddelerin de çökelmesine neden olarak sulama suyu kalitesini azaltacaktır. Bu durumlar göz önünde bulundurularak kritik hıza yakın bir akım hızının çökeltim havuzunda sağlanması tasarım açısından daha uygundur.

Bu sebeple çökeltim havuzu içerisinde belirlenen akım hızının arzu edilen sediment çökelmesini sağlayacağı ve çökelen sedimentin tekrar hareketlenmesinin engellendiği sonucuna varılmıştır.

Sürükleme hızı (u_*) değeri ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot S}{\rho}} = \sqrt{\frac{g \cdot \rho \cdot R \cdot S}{\rho}} = \sqrt{g \cdot R \cdot S} \qquad (4.3)$$

$$u_* = \sqrt{g \cdot R \cdot S}$$

$$u_* = \sqrt{9{,}81 \cdot 1{,}82 \cdot 0{,}01}$$

$$= 0{,}42 \text{ m/s}$$

Bu denklemde;

τ_o =Kanal yatağı kayma (sürükleme) gerilmesi (N/m^2)
γ = Suyun özgül ağırlığı (N/m^3)
ρ = Suyun özgül kütlesi (kg/m^3)
u_* = Sürükleme hızı (m/s)
g = Yerçekimi ivmesi (m^2/s) (9,81 m/s^2)
R = Hidrolik yarıçapı (m)
S = Taban eğimi (m/m)

Hidrolik yarıçap (R) değerinin hesabı için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

Tez çalışma alanında kanal boyunca tek gözlü dikdörtgen kesitli çökeltim havuzlarının bulunmasından dolayı aşağıdaki hesaplamalar dikdörtgen kesitine göre yapılmıştır.

$$R = \frac{A}{P} \tag{4.4}$$

$A = y \cdot B = 2{,}87 \cdot 10 = 28{,}7\ m^2$

$P = 2 \cdot y + B = (2 \cdot 2{,}87) + 10 = 15{,}74\ m$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{28{,}7}{15{,}74} = 1{,}82\ m$$

Bu denklemde;

A = Çökeltim havuzu ortalama kesit alanı (m^2)

P = Islak çevre (m)

Denklemde bilinenler yerine konulduğunda R hidrolik yarıçap değeri 1,82 m olarak hesaplanır.

u_* değeri 0,42 m/s olarak hesaplanır.

λ boyutsuz hızın fonksiyonu olan parametre değerini hesaplamak için Denklem (4.5) önerilmiştir.

$$\lambda = 8{,}87\ \beta^{1{,}17} = 8{,}87 \cdot 0{,}28^{1{,}17} = 2{,}00 \tag{4.5}$$

λ = Boyutsuz hızın fonksiyonu olan bir parametre

Burada β değerini hesaplamak için Denklem (4.6) kullanılır.

$$\beta = \frac{w_f}{\kappa \cdot u_*} = \frac{0,05}{0,42 \cdot 0,42} = 0,28 \quad (4.6)$$

$\beta =$ Askıdaki parçacıkların, çökelme hızı parametresi cinsinden çökelme hızı (Arslan 2013)

Bu denklemde w_f (m/s) sediment parçasının durgun sudaki düşme hızını simgeler.

Çökeltilmesi istenen dane çapı D_{50} değeri 0,5 mm olarak seçilir ve çökeltim havuzunun bu belirlenen en küçük dane çapına göre boyutlandırılması istenir.

Çökeltim havuzlarının boyut hesaplamalarında dane çapı ile çökelme hızının öneminin daha iyi anlaşılabilmesi için saha alanında küçük bir deney ortamı oluşturulabilir. Örneğin bir kaba, saha alanındaki mevcut sudan alınarak içerisine iri ve ince daneli sedimentler atılarak tabana çökelme süreleri incelendiğinde büyük çaplı danenin daha hızlı çökeldiği küçük çaplı danenin daha geç çökeldiği gözlemlenecektir.

D_{50} çapında ki daneler için durgun suda ki düşme hızını belirlemek için belirlenen dane çapı ve suyun yoğunluğuna göre çökelme hızı Şekil 4.1'den okunur.

Burada suyun yoğunluk değerinin (γ), tez çalışma alanındaki Kızılırmak suyunun içerisindeki sedimentlerden dolayı daha bulanık olup, normal saf sudan daha yoğun olması beklenir.

Dolayısıyla bu değer güvenli tarafta kalınarak 1,1 ton/m^3 olarak belirlenir.

Şekil 4.1'den çökelme hızı $w_f = 0,05\ m/s$ olarak belirlenir.

Denklem (4.6)'da bilinen değerler yerine konulduğunda β değeri 0,28 olarak hesaplanır.

Denklem (4.5)'de bilinen değerler yerine konulduğunda λ değeri 2,00 olarak hesaplanır.

Denklem (4.1)'de bilinen tüm değerler yerine konularak suyun türbülans etkisi ihmal ve dane şeklinin küresel olarak kabul edilmesiyle ana kanal üzeri ilk çökeltim havuz boyu;

$$L = -\frac{6\left(\frac{u_s}{u_*}\right)y}{K\lambda}\ln(1-r) = -\frac{6\cdot\left(\frac{0,27}{0,42}\right)\cdot 2,87}{0,42\cdot 2,00} * \ln(1-0,95) = 39,48 \text{ m}$$ hesaplanır.

Su alma ağzından iletim kanalına alınan su hızının yüksek olması ve türbülans etkisi düşünülmesiyle çökelmesi istenilen minimum dane çapının çökeltim havuzunda rahatlıkla çökelebilmesi için güvenli tarafta kalınarak çökeltim havuz boyu hesaplanan uzunluktan bir miktar daha arttırılarak L = 40 m olarak belirlenir.

Suyun kullanılacağı alana göre çökeltim havuzunda çökelmesi istenen sediment oranı "r" %95 olarak seçilmiştir. Bu oran suyun kullanılacak alanlarına göre değişiklik gösterebilir. Eğer burada sediment çökelme oranının değeri daha yüksek bir değer seçilseydi örneğin %98 için çökeltim havuz boyu L= 51,55 m olarak hesaplanacaktır. Böylece sadece %3 fazla miktar için çökeltim havuz boyu daha uzun olacak ve nispeten daha az ekonomik olan bir çökeltim havuzu boyutu elde edilecekti. Bu sebeple %95 değeri uygun bulunmuştur.

HEC-RAS programında ön bir tahminle çökeltim havuz ebadı ve giriş – çıkıştaki kesitleri temsil edilerek yapılan modelleme ile HEC-RAS programından elde edilen analiz sonuçlarının kullanılmasıyla belirlenen minimum dane çapı için çökelme mesafesine bakılarak Sümer (1977) yaklaşımına göre 40 m'nin altında çıkmasıyla havuz tasarımında çökeltim havuzu uzunluğu uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Eğer HEC-RAS programında çökeltim havuz ebatları tanımlanan modelleme ile Sümer (1977) yaklaşımına göre belirlenen minimum dane çapına göre çökeltim havuzu uzunluğu arasında uyumsuzluk çıkmış olsaydı, örneğin belirlenen dane çapına göre çökelme mesafesi 40 m'den daha uzun çıksaydı ya sonucu göre çökeltim havuzunun boyu uzatılacak ya da suyun hızı düşürülerek çökeltim havuzunun derinlik ve genişliği arttırılarak çökeltim havuz tasarımında değişikler yapılacaktı.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sulama sezonu bittiğinde su alma ağzındaki kapakların kapatılıp, kanal tahliye kapaklarının açılmasıyla su iletim kanalları içindeki su boşaltmıştır. Bu işlemlerden sonra saha alanında çökeltim havuz içlerine sediment birikip birikmediği kontrol edilmiştir. Kontrol sonucunda Sol 1 ana kanal başında inşa edilen 40 m uzunluğunda büyük çökeltim havuzunda sedimentin tuzaklanarak biriktiği gözlemlenmiştir.

Çalışma sahası ile ilgili alınan ekstra bilgiye göre önceki yıllarda Sol 1 ana kanalın kapasite artırımı ve yenilenme çalışmaları tamamlanana kadar çalışma alanında 2 büyük feyezan meydana gelerek aşırı miktarda sediment yüklü olan akımın çökeltim havuzunda tuzaklandığı belirtilmiştir.

Çökeltim havuzları ile kanal boyunca taşınan rüsubatın yani sedimentin belirlenen noktalarda toplanarak en baştan müdahale edilip temizleme işlemleri yapılarak işletme – bakım kolaylaştırılmıştır.

Tez çalışmasında, HEC-RAS programında modellenen çökeltim havuz uzunluğu ile çökeltilmesi istenen minimum dane çapına göre HEC-RAS programından elde edilen hidrolik veriler kullanılarak Sümer (1977) yöntemiyle yapılan hesaplama sonucu 40 m uzunluğundaki ilk çökeltim havuz boyunun uygun olduğu ve DSİ tarafından yaptırılan çalışma sahasındaki 40 m uzunluğundaki ilk çökeltim havuz boyutu ile bire bir aynı ebatların tasarlandığı tespit edilmiştir.

Saha alanında yapılan inceleme sonucunda yüzen cisim olarak da tanımlanabilen dal, yaprak gibi malzemeler çökeltim havuzların da tuzaklanamamaktadır. Bu sebeple çalışma alanın da sifon gibi yapıların memba taraflarına profilden ızgara imalatı yapılarak, bu alanlarda yüzen cisimlerden dolayı meydana gelebilecek zararlar engellenmeye çalışılır.

KAYNAKLAR

Arslan, F. V. 2013. Sediment çökeltim havuzları, tuzaklama verimliliği ve Türkiye' deki uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 94 sayfa, Ankara.

Aşıkoğlu, Ö. L. ve Eriş E. 2017. Türkiye havzalarında sediment veriminin alansal değişimi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 9(2): 963-973.

Bayazıt, M. ve Avcı, İ. 2010. Akarsularda akım ve sediment taşınımı. Birsen Yayınevi, 309 sayfa, İstanbul.

Berkün, M. 2005. Su Kaynaklar Mühendisliği. Birsen Yayınevi, 439 sayfa, İstanbul.

Cöntürk, H. 1968. Erozyon ve sediment etütlerinin planlanmasına doğru. İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye İnşaat Mühendisliği IV. Teknik Kongresi, 1(13): 1-9.

Çakmak, S. 2019. Korkuteli Çayı'nda sedimant taşınım süreçleri. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, 174 sayfa, Antalya.

Çelik, H. E., Şengönül, K., Akyüz, F., Altunel, O., Dağcı, M. ve Esin, A. İ. 2012. İstanbul'un içme suyu barajlarının sedimantasyon problemi ve çözüm önerileri: Alibey barajı örneği. Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University, 62(2): 113-127.

Dal, M. 2011. Türkiye'de yandere ıslahı çalışmalarında örgütsel yapı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 103 sayfa, İstanbul.

Dinçsoy, Y. 2013. Yan derelerde erozyon ve rüsubat kontrolü. DSİ Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı, 67 sayfa, Ankara.

DSİ. Toprak kaynakları. Web sitesi. http://www.dsi.gov.tr. Erişim Tarihi: 15.10.2021.

Graf, W. H. 1998. Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channel of simple geometry. Wiley Yayınevi, 692 sayfa, İngiltere.

İrtem, E. ve Özgür, A. C. A. 2000. Balıkesir – Çayören rezervuarının sedimantasyon açısından incelenmesi. İMO Teknik Dergi, 11(52): 2155-2164.

Kayhan, B. A. 2001. Nehir ve rezervuar sedimantasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 124 sayfa, Kırıkkale.

Mandev, M. B. 2001. Nehir ve rezervuar sedimantasyonu ve Hec – 6 modeli. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 sayfa, İstanbul.

Morris, G. L. and Fan, J. 1998. Reservoir sedimentation handbook. McGraw-Hill Book Co., 784 sayfa, New York.

Odabaşı, B. 2011. Rezervuarlarda sediment birikiminin önlenmesi ve rezervuar ekonomik ömrünün uzatılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 171 sayfa, İstanbul.

Onüçyıldız, M., Bostancı, İ. ve Yarar, A. 2014. Konya Altınapa baraj gölündeki sedimantasyon kaynaklı kapasite kaybının coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak hesaplanması. Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, 7: 12-26.

Öcal, O. 2007. Yapay sinir ağları algoritması kullanılarak havzalarda yağış – akış – katı madde ilişkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 sayfa, Denizli.

Pekmezci, S. ve Buttanrı, B. 2011. Baraj göllerinde sediment birikimi ve sediment yıkama (flushing) methodu. II. Su Yapıları Sempozyumu, 241-250.

Söylemez, N. Ç. 2019. Kanal enkesit şeklinin harekete başlama kriteri ve taban yükü debisi üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 354 sayfa, İstanbul.

Şahin, S. 2013. Rezervuarda sediment birikimi, temizleme/yıkama yöntem ve koşulları. Bir örnek uygulama: güllübağ barajı sediment yıkama savağı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 71 sayfa, İstanbul.

Tunç, M. ve Emiroğlu M. E. 2019. Yan savak akımında sediment taşınımının deneysel incelenmesi. Su Kaynakları, 4(1): 1-11.

Ülke, A. 2010. Ege bölgesi doğal akarsularında katı madde taşınımı için ampirik, regresyon ve yapay zekâ yöntemlerinin uygulanması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 243 sayfa, İzmir.

Yılmaz, A. 2015. Küresel ısınma dünya su rezervleri üzerindeki etkileri. Kent Kültürü ve Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi, 8(2): 63-72.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Ayşe YAZICI

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Devam Ediyor
Lisans	Ankara Çankaya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2017

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2017-Halen	Çankırı İl Milli Eğitim Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi