

ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)
ISSN: 1308 - 2477 (Online)



SAYI: 137
YIL : OCAK 2021

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ

TEKNİK

BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına Genel Müdür
Kaya YILDIZ

Sorumlu Müdür

Nurettin PELEN

Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Ali GÖKYEL
Diğer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Harun MEYDAN
Muharrem ÖZDEMİR
Vehbi ÖZAYDIN
Hakkı KILAVUZ
Erol BÜYÜKKİRAZ
Yılmaz AKMAN

Editörler

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Haberleşme Adresi

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yücetepe - Ankara

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 454 38 05
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etilik - Ankara

SAYI : 137

YIL : OCAK 2021

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Alti ayda bir yayınlanır
(Ocak, Temmuz)

ISSN 1012 - 0726 (Baskı)
1308 - 2477 (Online)

İÇİNDEKİLER

FOSTER JOSEPH SAYERS RESERVUARINDA HEC-RAS PROGRAMI KULLANILARAK SEDİMENT HAREKETİ TAHMİNİ Bedriye Nur DİKENLİ AYTEKİN	1
DÜZELTME: EKECİK BESLENİM ALANI (EBA)'NDAKİ İÇME SUYU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ, ORTAKÖY, AKSARAY, ORTA ANADOLU Mustafa AFŞİN, Mustafa YILDIZ, Zeynel CEYLAN, İsmail Said KÜRE	18

DSİ Teknik Bülteni TÜBİTAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) ve uluslararası veritabanı EBSCO (Elton B. Stephens Company) tarafından taranmaktadır.

DSI TECHNICAL BULLETIN

Publisher

On behalf of GENERAL
DIRECTORATE OF
STATE HYDRAULIC
WORKS
Kaya YILDIZ
General Director

Director in charge

Nurettin PELEN

Editorial Board (DSI)

Murat Ali HATİPOĞLU
Ali GÖKYEL
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Harun MEYDAN
Muharrem ÖZDEMİR
Vehbi ÖZAYDIN
Hakkı KILAVUZ
Erol BÜYÜKKİRAZ
Yılmaz AKMAN

Editors

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Contact Address

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yücetepe – Ankara /
TURKEY

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 454 38 05
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etilik – Ankara / TURKEY

ISSUE: 137

YEAR : JANUARY 2021

Publication Type

Widely distributed
periodical
Published semi-annual
(January, July)

ISSN

1012 - 0726 (Press)
1308 - 2477 (Online)

CONTENTS

APPLICATION OF HEC-RAS MODEL TO PREDICT SEDIMENT
TRANSPORT FOR FOSTER JOSEPH SAYERS RESERVOIR
Bedriye Nur DİKENLİ AYTEKİN 1

CORRECTION: EVALUATION OF HYDROGEOCHEMICAL AND
ISOTOPIC PROPERTIES OF DRINKING SPRINGS OF EKECİK
RECHARGE AREA (ERA), ORTAKÖY, AKSARAY, CENTRAL ANATOLIA
Mustafa AFŞİN, Mustafa YILDIZ, Zeynel CEYLAN, İsmail Said KÜRE 18

DSI Technical Bulletin is indexed by TUBITAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) and international database EBSCO (Elton B. Stephens Company).

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen makaleler yayınlanır. Makaleler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak makalenin yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Makalelerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir. DSİ Teknik Bülteni TÜBİTAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) ve Eylül 2016 tarihi itibarı ile uluslararası veritabanı kuruluşu EBSCO (Elton B. Stephens Company) tarafından taranmaya başlamıştır.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI


1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, makaleler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Makaleler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Makaleler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italik 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "*DSİ Teknik Bülteni*" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "*DSİ Teknik Bülteni*" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) yazarın ORCID ID'si (ORCID ID'si olmayan yazarlar <https://orcid.org/signin> linkinden alabilirler.) (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütün olarak yazılmalı ve sütün aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmali ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgöl ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayımlandığı yer ve yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Makalenin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak yazılmış makalenin tam metni eğer e-posta ortamında gönderilebilecek kadar küçük boyutta ise e-posta adresine, değilse; hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve kuruluşlarınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Makaleyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

Yasal Uyarı

Bu Teknik Bülten yalnızca genel bilgilendirme amacıyla yayımlanmaktadır ve içeriğinde yer alan malzemelerin, prosedürlerin veya yöntemlerin tek mevcut ve uygun malzeme, prosedür veya yöntem olduğunu ima etmemektedir. Malzemeler, prosedürler veya yöntemler özel koşullara, yerel imar kanunlarına, tasarım şartlarına veya tüzel ve yasal şartlara göre değişebilir. Bu Teknik Bülten'deki bilgilerin doğru ve güvenilir olduğuna inanılmakla beraber, yayımlayıcı olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bu Teknik Bülten'in içeriğinde bulunan yöntemlerin, malzemelerin, talimatların veya fikirlerin herhangi bir şekilde kullanılması kaynaklı mal veya can kaybından veya oluşabilecek zararlardan sorumlu değildir.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı Saray Osmangazi Mah. Alparslan Türkeş Cad. No:6/5 Pursaklar / ANKARA
Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 454 38 05
E-posta bulten@dsi.gov.tr
Web <http://www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/dsi-teknik-bultenleri>

FOSTER JOSEPH SAYERS RESERVUARINDA HEC-RAS PROGRAMI KULLANARAK SEDİMENT HARAKETİ TAHMİNİ

Bedriye Nur DİKENLİ AYTEKİN 
DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı Hidrolik Model Laboratuvarı Şube Müdürlüğü
06100 Yücepete ANKARA
bedriyenur@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 25.02.2020, Makalenin kabul tarihi: 13.12.2020)

ÖZ

Akarsuyun taşıdığı sediment barajların ekonomik ömrünü belirleyen temel parametredir. Taşınan sedimentin rezervuarda birikmesi sonucu rezervuarın depolama kapasitesi azalmaktadır. Rezervuarda biriken sediment miktarı ve birikimin olduğu yer için birçok program kullanılmaktadır. Bu programlardan biri de HEC-RAS programıdır.

Bu makalede, Foster Joseph Sayers Rezervuarında tek-boyutlu (1-B) sediment hareketi tahmini için HEC-RAS 5.0.3 versiyonu kullanılarak sediment simulasyonu yapılmıştır. Kullanılan programda hem yarı-düzensiz akım methodu hem de düzensiz akım methodu üç hareket denklemi ile kullanılmıştır. Bu denklemler; Ackers-White denklemi, Engelund-Hansen denklemi ve Laursen denklemidir. Ackers-White denklemi ile sediment hareketini tahmin edebilmek için rezervuardaki dane dağılımının değişmesine bağlı olarak denklem parametrelerini değiştirilmesi gerekir. Simulasyon boyunca erozyon ve deposizyondan sonraki dane çapı dağılımındaki belirsizliğin üstesinden gelmek için Ackers-White denkleminde dört farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar yatağın dane dağılımındaki d35 değerinin dört farklı değer (dört senaryo) olması durumuna göre oluşturulmuştur. Sediment simulasyonunda kullanılmak üzere Digital Elevation Models (DEMs), kesit alanlarındaki ölçüler ve hidrolojik kayıtlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kullanılan akım metodunun simülasyon sonucu elde edilen tuzak verimliliğinde önem teşkil ettiği ve Ackers-White denkleminin yatağın dane dağılımına göre kalibre edilerek daha gerçeksel simulasyon yapılacağını ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: HEC-RAS, Sediment Simulasyonu, Foster Joseph Sayers Rezervuarı

APPLICATION OF HEC-RAS MODEL TO PREDICT SEDIMENT TRANSPORT FOR FOSTER JOSEPH SAYERS RESERVOIR

ABSTRACT

The sediment transported by the stream is the basic parameter that determines the economic life of dams. The storage capacity of the reservoir decreases due to accumulation of the transported sediment in the reservoir. Many programs are used to predict the amount of sediment accumulated and the location of the deposition of sediments in reservoirs. One of these programs is the HEC-RAS program. In this article, sediment simulation was performed by HEC-RAS 5.0.3 to one-dimensional (1-D) sediment movement estimation in Foster Joseph Sayers Reservoir. In the program, both quasi-unsteady and unsteady sediment simulations methods are used with three equations of transportation. These equations are The Ackers-White equation, the Engelund-Hansen equation and the Laursen equation. In order to predict sediment movement with the Ackers-White equation, the parameters of the equation must be changed depending on the change in the grain distribution of the reservoir. During the simulation, four different scenarios were created in the Ackers-White equation to overcome the uncertainty in the distribution of grain diameter after erosion and deposition. These scenarios were created according to the d35 value in the grain distribution of the bed which are four different values

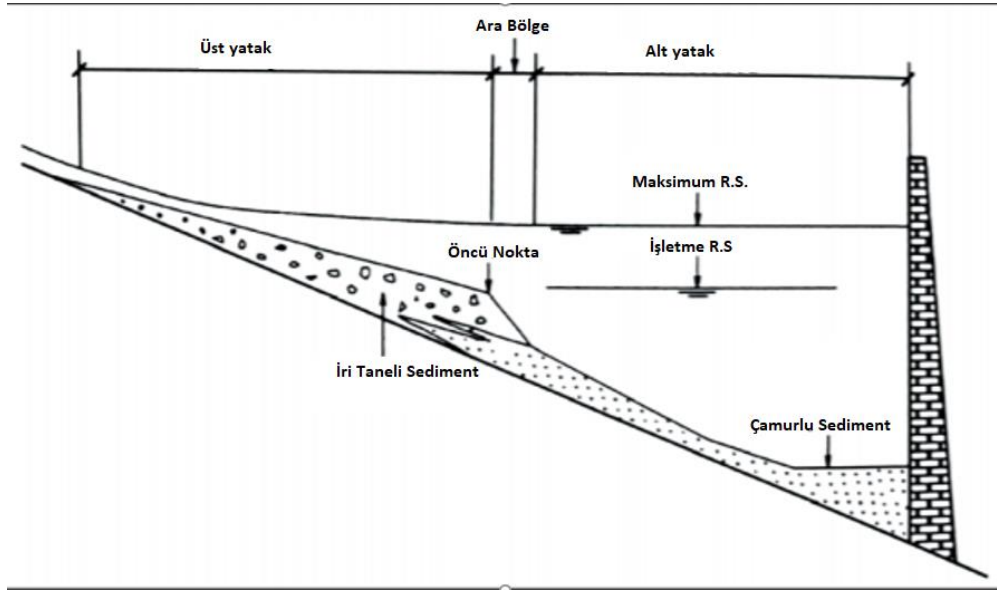
(four scenarios). Digital Elevation Models (DEMs), measurements in cross-sectional areas and hydrological records are used for sediment simulation. As a result of this study, it has been revealed that the chosen flow method is important in the trap efficiency obtained from the simulation and the Ackers-White equation can be calibrated according to the grain distribution of the bed to obtain more realistic results.

Keywords: HEC-RAS, hydrologic observations, Sediment Simulation, Foster Joseph Sayers Reservoir

1 GİRİŞ

Barajlar sulama, taşkın kontrolü, su temini, çevresel amaçlar ve hidroelektrik üretimi için su deposu olarak hizmet vermektedir [1], [2], [3]. Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi'ne [4] göre, barajların% 49.5'i tek bir amaç için, barajların %16.7'si birden çok amaç için inşa edilmiştir. Barajların depolama kapasitesi, verimliliklerini tanımlamak için kullanılan bir diğer önemli özelliktir. Amaçlarına bakılmaksızın, baraj yapımı ile rezervuarların oluşumu kesitsel alan artışına ve membadaki akış hızında azalmaya neden olur. Akış hızındaki azalmayla rezervuarda sedimantasyon oluşur.

Rezervuardaki sediment birikim bölgeleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilde görülebileceği gibi çakıl ve kaba kum gibi kaba malzemelerin birikimi nehrin rezervuara girdiği ilk bölgede bir delta veya üst küme yatak bölgesi oluşturur. Kaba malzemelerin çökmesinin ardından, ince sediment partikülleri, bulanık akımlar ile oluşan yatak barajın gövdesine yakın bir yerde biriktirilir. Rezervuar yatağında, üst küme ve alt küme bölgeleri arasındaki tampon bölgede, tane çapındaki farktan yatak eğimleri artar [1], [3].



Şekil 1 – Rezervuardaki sediment dağılım bölgeleri [1]

Sediment hareketi ve birikmesi barajlar için önemli bir problem teşkil etmektedir. Bütün bir havza alanında erozyon sonucu oluşan sedimentin %15 ile %25'i baraj arkasındaki rezervuarlar tarafından tutulmaktadır [5]. Sedimantasyon süreçleri ve sedimantasyonun rezervuardaki dağılımı için belirleyici faktörler arasında sediment özellikleri, rezervuara gelen su ve sediment miktarı, rezervuar özellikleri, dip çıkışlarının konumu ve rezervuar çalışma modu sayılabilir [1], [3] [6], [7]. Sedimantasyon sadece membadaki rezervuarı değil, mansaptaki

alanlarını da etkiler. Rezervuarda sedimantasyon aşağıdaki etkilere neden olur:

- Rezervuarların depolama kapasitesinin azalmasına [6], [8].
- Hidrolik yapıların performansında değişmesine [9].
- Nehir sediment arzına bağlı olan mansaptaki alanlarda sediment yoksunluğuna [10], [11], [12].
- Rezervuar yatağının yükselmesine ve aynı hacim suyu tutmak için suyun yüzey alanı

- arttırmasına böylece buharlaşan su miktarını artmasına [9], [13].
- Yatak seviyesinin yükselmesiyle, yüksek yerlere su basmasına, bataklık oluşumuna ve bataklıktaki vegetasyonda terleme nedeniyle su kaybının artmasına [14].
- Temiz su salınımları nedeniyle aşağı havzadaki sediment açılığının artmasına, nehir yatağının erozyonuna böylece tüm hidrolik yapıları etkilenmesine ve kıyı ekosistemini değişmesine [15], [16].
- Rezervuar tabanındaki sediment birikimi bitki örtüsünü gömülmesine, ölmesine ve çevre şartlarını değişmesine. Ek olarak, besinler genellikle çökelti tortusu ile ilişkili olduğundan bu materyallerin eksikliği akıntıdaki ekosistemi etkilenmesine [5], [17].

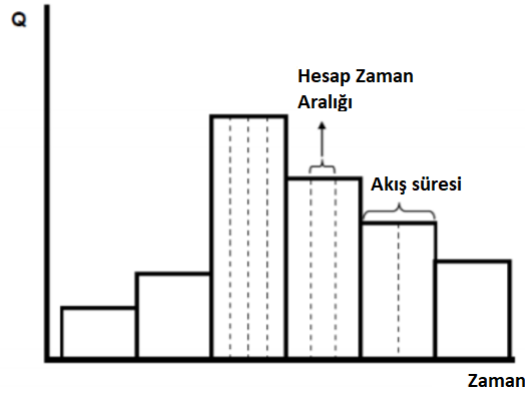
Rezervuar sedimantasyonunun olumsuz etkilerinin sayısız örneği vardır. Bazı gelişmekte olan ülkelerde, rezervuarların depolama kapasitesindeki kayıp oranına karşı alınan havza yönetim önlemleri aşırı iyimser tahminler nedeniyle etkisizdir. Örneğin, sedimantasyon, inşaat öncesi 350 yıl ömür tahmin edilen El Salvador'daki 135 MW Cerron Grande Barajının ömrünü 30 yıla indirmiştir [18]. Çin gibi gelişmiş ülkeler de sedimantasyon sorunları ile karşılaşmışlardır. Çin'deki Sanmenxia Barajı rezervuarında, durgun su etkisi nedeniyle baraj

operasyonunun ilk 18 ayında 1.8 m³ milyar sediment birikmiştir. Genel olarak, dünya rezervuarlarının depolama hacminin yaklaşık %1'i (yaklaşık 50 kilometreküp) sediment birikimi nedeniyle yıllık olarak kaybolmaktadır [1].

2 METOT

2.1 Yarı-Düzensiz Akım Hesabı

HEC-RAS, düzensiz akış varsayımından ziyade yarı-düzensiz akış varsayımı uygulayarak, mobil yatak taşınımı için hidrodinamik basitleştirmeleri daha kısa sürede hesaplar. Yarı-düzensiz akım varsayımını düzenli akım varsayımını uygulayacak şekilde belirli aralıklara böler. Sediment taşınımı hesaplamaları için akış profili üç zamanlı aşamalara bölünmesiyle düzenli akış profilleri, oluşturulur. Bu adımlar akış süresi, hesap zaman aralığı (akış göre tanımlanır) ve karıştırma süresi (mixing time)'dir. Akış süresi boyunca, HEC-RAS akışı sabit tutar. Model, her hesaplama süresinin bitiminde yatak geometrisini ve hidrodinamiği günceller. Model, her hesaplama artışı sırasında birkaç kez meydana gelen her bir yatak karıştırma süresi adımından sonra yatak katmanının bileşimini ve yatağın tane sınıfını günceller [19]. Yarı-düzensiz akış serilerinin bir diyagramı Şekil 2'te gösterilmektedir [19].



Şekil 2 - Yarı-düzensiz akım hesabında hesap zaman aralığı ve akış süresi gösterimi [19]

2.1.1 Yarı-Düzensiz Akım Hesabında Düzenli Akım Hesabı

HEC-RAS, hidrolik profili bir kesitten diğerine hesaplamak için standart adım yöntemi olarak bilinen yinelemeli bir prosedür kullanan bir 1-D enerji denklemi kullanır. 1. ve 2. noktalarda alınan enerji denklemleri aşağıdaki gibidir [19]:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Z_1, Z_2 = nehir yatağının taban kotu

Y_1, Y_2 = su yüksekliği

V_1, V_2 = ortalama hız

a_1, a_2 = hız ağırlık katsayısı

g = yerçekimi ivmesi

h_e = enerji kaybı

Enerji kayıpları sürtünme, büzülme ve genişleme kayıplarını içerir

2.2 Düzensiz Akım Hesabı

HEC-RAS, kararsız akışları simüle edebilmektedir. Bu bölümde kullanılan denklemler HEC-RAS'ın hidrolik referans kılavuzunda da bulunabilir [19]:

Süreklilik kanunu

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (2)$$

x = kanal uzunluğu

t = zaman

Q = debi

A =kesit alanı

S = kesitte birikme gözlemlenen alan

q_1 = yanal birim debi

Momentum korunum kanunu

Momentum koruma denklemi, momentumdaki değişimin sisteme etki eden dış kuvvetler nedeniyle oluşan momentuma eşit olduğunu ifade eder. Genel momentum koruma formülü aşağıdaki gibidir [19]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (3)$$

g = yerçekimi ivmesi,

S_f = sürtünme eğimi,

V = hız

2.3 Erozyon ve Birikim Hesabı

2.3.1 Sediment süreklilik denklemi

HEC-RAS, iki kesit arasındaki tortu değişikliklerini hesaplamak için Exner denklemini kullanır. Bu denklem, içeri giren yükler ile dışarı çıkan yükler arasındaki farkları hesaplar ve bu farkı yatak değişimine, aşınmaya veya çökeltme birikintisine dönüştürür. Exner denklemi aşağıda belirtilmiştir:

$$(1 - \lambda_p)B \frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (4)$$

B = kanal genişliği

η = kanal taban kotu

λ_p = aktif katmanın porozitesi

t = zaman

x =iki kesit alan arasındaki mesafe

Q_s = taşınan sediment yükü

2.4 Hareket Denklemleri

Bu çalışmada, yarı-düzensiz sediment analizleri ve düzensiz sediment analizleri için üç sediment taşıma denklemi uygulanmıştır: Ackers-White, Englund-Hansen ve Laursen-Copeland.

2.4.1 Ackers-White hareket denklemi

Ackers ve White Taşıma Denklemi, 1000'e yakın kanal deneyinde parçacık boyutu üniform ve üniforma yakın sedimentin hareketi ve taşınması incelenerek geliştirilmiştir. Bu çalışma, ince sediment hareketinin su sütunundaki çalkantılı dalgalanmalarla ilişkili olduğunu ve kaba sediment hareketinin, temsili değişken olarak kullanılan ortalama hız ile net sediment gerilmesi ile ilgili olduğu varsayımına dayanarak yapılmıştır [20].

Tek bir tane büyüklüğü dağılımı için Ackers-White fonksiyonu için genel taşıma denklemi aşağıdaki şekilde temsil edilir [19]:

$$X = \frac{G_{gr} s d_s}{D \left(\frac{u_*}{V} \right)^n} \quad (5)$$

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m \quad (6)$$

X = sediment yoğunluğu

G_{gr} = sediment taşınım parametresi

s = sediment özgül ağırlığı

d_s = ortalama dane çapı

D = efektif derinlik

u_* =kesme hızı

V = ortalama akım hızı

n = sediment boyutuna bağlı taşınım üssü

C = sediment taşınım katsayısı

F_{gr} = sediment hareket parametresi

A = kritik sediment hareket parametresi

m =sediment taşınım üssü

2.4.1.a Ackers-White Hareket Denkleminde Senaryo Oluşturma

X ve G_{gr} değerleri A , m , n , F_{gr} ve C parametrelerine bağlıdır. HEC-RAS'ta, Ackers-White denklemi A , C ve m parametreleri ile kalibre edilebilmektedir. Bu parametreler d_{gr} değerlerinden (boyutsuz tane çapı) hesaplanabilir [21]. D_{gr} hesaplama prosedürü aşağıda belirtilmiştir [20].

$$d_{gr} = D \left[\frac{g(S-1)}{v^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

$$F_{gr} = \frac{v_0}{\sqrt{gD(S-1)}} \left[\frac{v_*}{v_0} \sqrt{32 \log \frac{\alpha H}{D}} \right]^n \quad (8)$$

$$n = \begin{cases} 1 & d_{gr} \leq 1 \\ 1 - 0.56 \log(d_{gr}) & 1 < d_{gr} \leq 60 \\ 0 & d_{gr} > 60 \end{cases} \quad (9)$$

$$m = \begin{cases} \frac{9.66}{d_{gr}} + 1.34 & d_{gr} \leq 60 \\ 0.17 & d_{gr} > 60 \end{cases} \quad (10)$$

$$A = \begin{cases} \frac{0.23}{\sqrt{d_{gr}}} + 0.14 & d_{gr} \leq 60 \\ 1.5 & d_{gr} > 60 \end{cases} \quad (11)$$

$\log C =$

$$\begin{cases} 2.86 \log(d_{gr}) - (\log d_{gr})^2 - 3.53 & d_{gr} \leq 60 \\ 0.25 & d_{gr} > 60 \end{cases} \quad (12)$$

D = sediment çapı %35'inden daha ince malzeme çapı (d_{35})

C , A , n , $m = d_{gr}$ 'e bağlı parametreler

d_{gr} =boyutsuz dane çapı

H = su derinliği

S = sediment bağlı yoğunluğu

α = sabit değer (Ackers'e göre, $\alpha = 12.3$)

F_{gr} = hareket fonksiyonu

v_0 = suyun ortalama hızı

u_* =kesme hızı.

Sayers Barajının bulunduğu Bald Eagle Vadisi'nde yatak tane boyut analizinde, d_{35} ve d_{gr} sırasıyla 0.005 m ve 0.0527 olarak bulundu. Sediment tane büyüklüğüne göre Ackers-White denkleminin kalibrasyonu, 0.04 mm ile 28 mm arasındaki bir sediment büyüklüğü için geçerlidir [22]. Foster Joseph Sayers Rezervuarı'nın yatak tane boyutu bu aralığın dışında olmasına rağmen, yöntem ilerdeki zaman periyodunda değişmesi nedeniyle uygulanmıştır. Örneğin, kaba boyuttaki sediment genellikle barajın yukarısına yerleşirken, kil gibi ince malzemeler, barajın gövdesine yakın bölgede asılı yük olarak taşınmaya devam eder. Bu şekilde

simülasyonun ilerleyen zaman aralıklarında rezervuar yatağının dane dağılımı iri malzemeye evrilecektir. Bu çalışmada değişik dört d_{gr} değerine göre senaryo üretilmiş ve buna göre kalibre edilmiş dört Ackers-White denklemi oluşturulmuştur. Senaryo I'de kullanılan parametreler, HEC-RAS 5.0.3 tarafından kalibre edilmemiş başlangıç parametrelerdir. Senaryo II-III ince ve orta büyüklükte ($d_{gr} < 60$) dane dağılımına sahip yatak için tasarlanmıştır ve Durum IV $d_{gr}=60$ değerine göre hesaplanmıştır. Bu çalışmada incelenen dört durum için A, C ve m değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1- Ackers-White denklemi kalibrasyonunda kullanılan parametreler ve senaryolar

Senaryo	d_{gr}	A	C	m
I	-	0.19	0.25	1.78
II	1	0.37	0.0003	11
III	30	0.182	0.033	1.67
IV	60	0.17	0.025	1.50

2.4.2 Engelund-Hansen hareket denklemi

Engelund-Hansen hareket denklemi askıdaki sediment'in D_{50} boyutu 2 mm'den az olan kum yataklı nehirlerde toplam sediment yükünü tahmin etmeye yarayan denklemdir [19], [23]. Boyutu 0.19 ve 0.93 mm arasındaki sedimentin kanal içindeki hareketi gözlemlenerek oluşturulmuştur. Sonuçların saha değerleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Genel Engelund-Hansen hareket denklemi aşağıda gösterilmiştir:

$$g_s = 0.05 \gamma_s V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g(\gamma_s - 1)}} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} \right]^{3/2} \quad (13)$$

g_s = birim sediment taşınımı
 γ_s = sediment birim ağırlığı
 γ = suyun birim ağırlığı
 V = ortalama su hızı
 τ_0 = yataktaki kesme gerilmesi
 d_{50} = %50 elek altı sediment çapı

2.4.3 Laursen hareket denklemi

Laursen denklemi toplam sediment yükünü hesaplar. Bu denklem, nitel analiz, orijinal deneyler ve ek verilerin bir kombinasyonundan türetilmiştir [19]. Copeland ve Thomas'ın [24] katkıları çakıl büyüklüğündeki sedimanlara uygulanabilir sediment aralığını genişletmiştir. Uygulanabilirlik aralığı, ortalama parçacık çapı 0.011 ila 29 mm'dir. Laursen yöntemi için genel taşıma denklemi aşağıdaki denklem ile temsil edilir:

$$C_m = 0.01 \gamma \left(\frac{d_s}{D} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0'}{\tau_c} - 1 \right) f \left(\frac{u_*'}{\omega} \right) \quad (14)$$

C_m = Sediment debi konsantrasyonu

γ = suyun birim ağırlığı

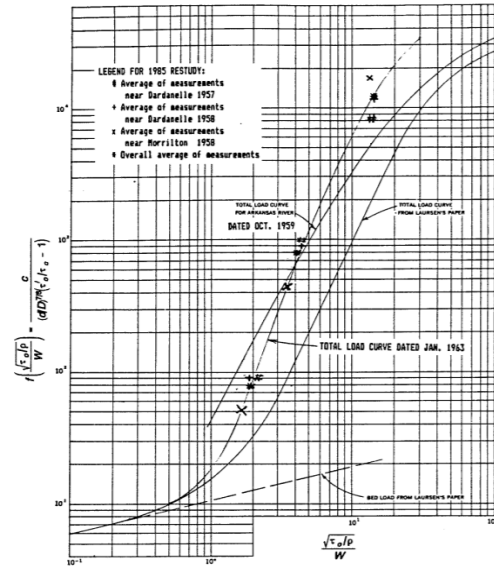
d_s = ortalama sediment çapı

D = efektif su yüksekliği,

τ_0' = Yatak kesme gerilmesi

τ_c = Kritik yatak kesme gerilmesi

$f \left(\frac{u_*'}{\omega} \right)$ = kesme hızının sediment çökeltme hızına oranına bağlı fonksiyon (Şekil 3) [25].



Şekil 3- Laursen methoduna göre kesme kuvveti sediment yükü ilişkisi [25]

2.4.4 İnce taneciklerde erozyon ve deposizyon kanunu

HEC-RAS 5.0.3, ince partiküllerin (silt ve kil gibi) biriktirilmesini ve sürüklenmesini hesaplamak

için Krone ve Parthenaides yöntemlerini kullanmaktadır. Bu yöntemler, su sütunundaki ince parçacıkların hareketlerinin yerçekimi yerine yüzey kuvvetlerinden etkilendiği kadar küçük olduğunu kabul. Krone ve Parthenaides yöntemleri, kesme gerilimini kritik kesme gerilimi ile karşılaştırarak çökme ve sürüklenme oranını hesaplar. Erozyon ve birikme oranları hidrodinamik yatak kesme gerilimi, τ_b ve yatak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanır [26]. Erozyon (Denklem 15) ve birikme (Denklem 16) hesabı aşağıda gösterilmiştir [27].

$$\left\{ \begin{array}{l} E = M \left[\left(\frac{u_*}{u_{*e}} \right)^2 - 1 \right] \text{ if } \tau_b = \rho u_*^2 > \tau_{ce} = \rho u_{*e}^2 \\ E = 0 \text{ if } \tau_b < \tau_{ce} \end{array} \right\} \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} D = W_s C \left[1 - \left(\frac{u_*}{u_{*d}} \right)^2 \right] \text{ if } u_* < u_{*d} \\ D = 0 \text{ if } u_* > u_{*d} \end{array} \right\} \quad (16)$$

19. denklemde M erozyon parametresini ($\text{kg/m}^2/\text{s}$), u_{*e} kritik erozyon hızını (m/s), ρ su yoğunluğunu (kg/m^3) göstermektedir. 20. denklemde W_s çökme hızını (m/s), u_{*d} birikme hızını (m/s), C ise sediment kütle konsantrasyonunu (g/l) göstermektedir.

3 VERİLER

Foster Joseph Sayers Barajı, ABD'deki Bald Eagle Vadisi üzerinde kurulu 200.25 m kret kotunda 30.43 m yüksekliğinde toprak dolgu barajıdır. Foster Joseph Sayers Rezervuar alanı (Şekil 4), 878 km^2 'dir. Rezervuar Mart 1971'de su tutarak oluşmaya başlamıştır.

3.1 Batimetri Verileri

ArcGIS yazılımı bir Dijital Yükseklik Modelini (DEM) geometrik verilere çevirebilir. DEM, düzenli aralıklarla bir dizi zemin konumu için örneklenmiş bir yükseklik dizisi oluşturur [28]. Kullanılabilir geometrik verileri HEC-RAS'a uygun hale getirmek için ArcGIS'te HEC-GeoRAS uzantısından yararlanılabilir [29]. HEC-GeoRAS, HEC-RAS ile kullanılmak üzere coğrafi konum verilerini işlemek için özel olarak tasarlanmış bir dizi ArcGIS aracıdır [30]. Bu çalışmada Sayers rezervuarının batimetresi 20 metre aralıklı uzamsal çözünürlüklü ve 2010 yılında PALSAR'ın L-bant sentetik diyafram radar sistemi tarafından kaydedilen DEM verileri kullanılarak elde edilmiştir. DEM verileri Alaska Uydu Tesisleri veri portundan elde edilmiş olup bölge için ulaşılabilen en yüksek çözünürlüğe sahip veriler kullanılmıştır.

3.2 Hidrolojik Veriler

HEC-RAS içindeki sedimantasyonu hesaplamak için akış hidrografi, gelen sediment yükü, yatak

sediment dağılımı ve su sıcaklığı verileri gerekmektedir. Bu veriler USGS-NWIS (The United States Geological Survey-the National Water Information System) web sayfasından çeşitli ölçüm istasyonlarında elde edilmiştir [31]. Gözlem istasyonları numaraları ve alınan çevrimiçi veriler Çizelge 2'de verilmiştir. Ölçme istasyonu konumları Şekil 4'te gösterilmiştir.

3.2.1 Debi verileri ve rezervuar seviyesi

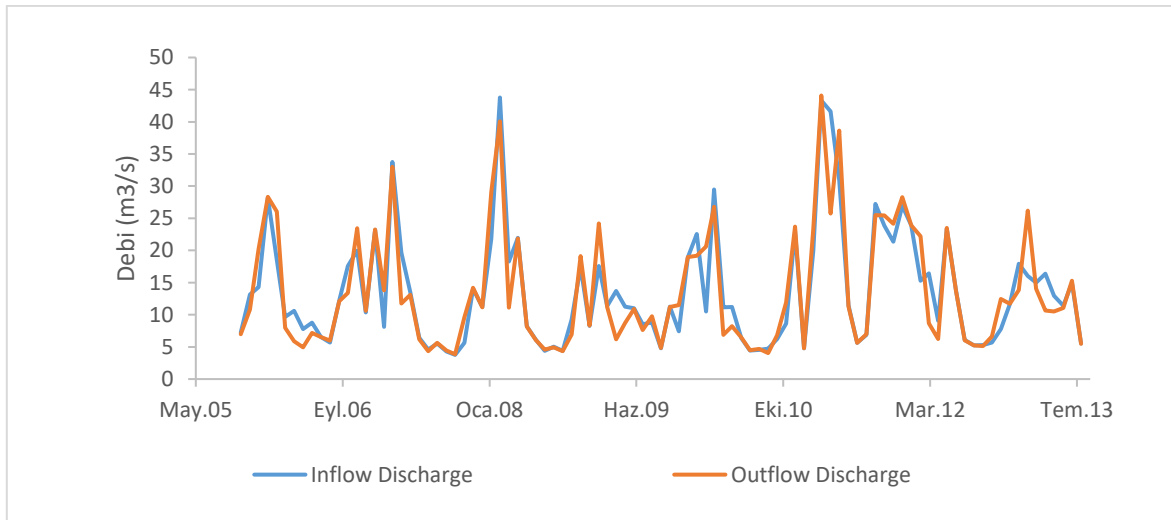
USGS NWIS'ten elde edilen veriler kullanılarak, rezervuarın ortalama aylık girişi ve çıkışı, Ocak 1973'ten Ekim 2016'ya kadar olan süre için 14.66 ve 13.99 m^3/s olarak bulunmuştur. HEC-RAS modeli, yarı-düzensiz akım metodunda kullanılarak Şekil 5'te gösterilen Ekim 2005 ile Eylül 2013 aralığı hidrografına dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Rezervuara giren su miktarı ve su seviyesi arasında ilişkiden (USGS 0154780 no'lu gözlem istasyonundan alınan veriler) yararlanılarak Manning sayıları belirlenmiştir. Bu hesaplama göre sol sahil, ana kanal ve sağ sahiller için Manning sayıları sırasıyla 0.06, 0.04 ve 0.1 olarak bulunmuştur. Yarı düzensiz ve düzensiz akım koşullarının etkisi incelenmek için orijinal hidrograf sistemde simüle edilmeye çalışılmıştır. Ancak düzensiz akım metodunda hidrograf, hassasiyet analizinde sistemin herhangi bir kesit alanında simülasyonun herhangi bir zaman aralığında önceki kesitte suyun birikmesi sonucu su yüksekliğinin çok düşük olması (kesitin kuru olması) ve hidrograftaki ani değişimler gibi istenmeyen durumlar oluşmuştur. Bu durumları ortadan kaldırmak için yeni bir hidrograf üretilmiştir. Yeni hidrograf hem yarı-düzensiz hem de düzensiz akım hesabında uygulanmış ve bu hidrograf sistemin gerçekte çalışmasını göstermeyip sadece akım hesap yönteminin sedimantasyon üzerindeki etkisini incelemek amacıyla oluşturulmuştur. Tasarlanan yeni hidrograf "Düzensiz Akım Analizinde Yaygın Model Stabilite Problemleri " [32] kriterlerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Orijinal ve revize edilmiş hidrograflar Şekil 6'da gösterilmektedir. Yeni, revize edilmiş hidrograf, düşük akım koşullarında akışın kritik derinlikten ve rezervuarda çok sığ derinliklerde ortaya çıkan istikrarsızlık sorunlarını ortadan kaldırmaktadır [32]. Sistemin düzensiz akım koşullarıyla çalışması için gereken minimum debi 20 m^3/s iken sayısal analiz problemlerini gidermek için 20 m^3/s üzerindeki debi değerleri 1.02 değeri ile çarpılarak revize hidrograf elde edilmiştir. Ekim 2005 ve Eylül 2013 tarihleri arasına kaydedilen rezervuar su seviyesi Şekil 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 2 - USGS gözlem istasyonları ve alınan veriler

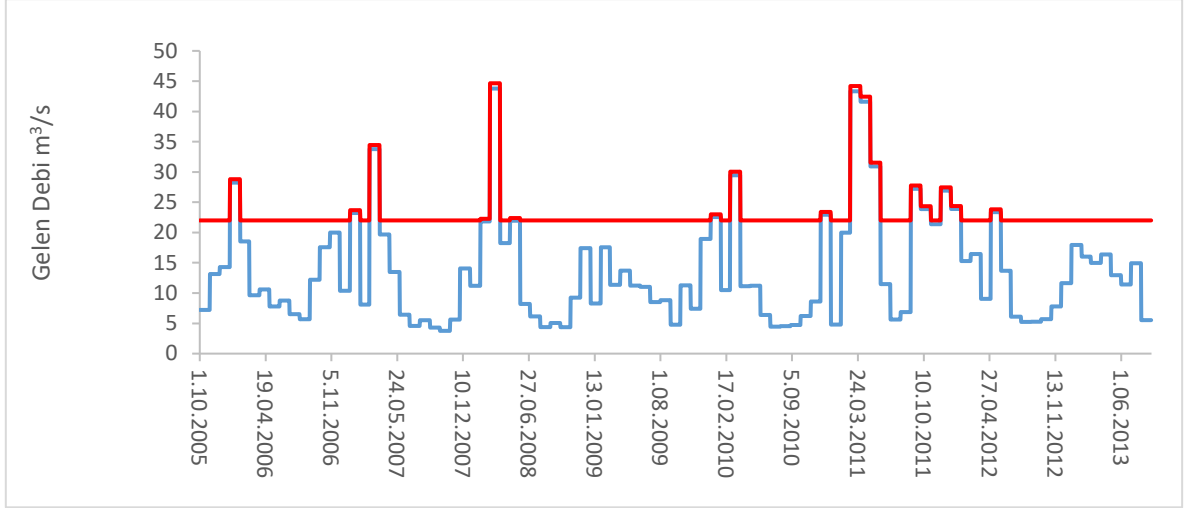
USGS Gözlem İstasyonu	Konum		Alınan Veri
	Enlem	Boylam	
01547480	41°02'53"	77°36'35"	Giren Debi
01547500	40°58'31"	77°44'35"	Giren Debi
01547500	40°58'31"	77°44'35"	Çıkan Debi
01547500	40°58'31"	77°44'35"	Kapak Açıklığı
01547400	40°58'31"	77°44'35"	Su Sıcaklığı
01547200	40°56'35"	77°47'12"	Gelen Sediment Yükü
01547500	40°58'31"	77°44'35"	Çıkan Sediment Yükü



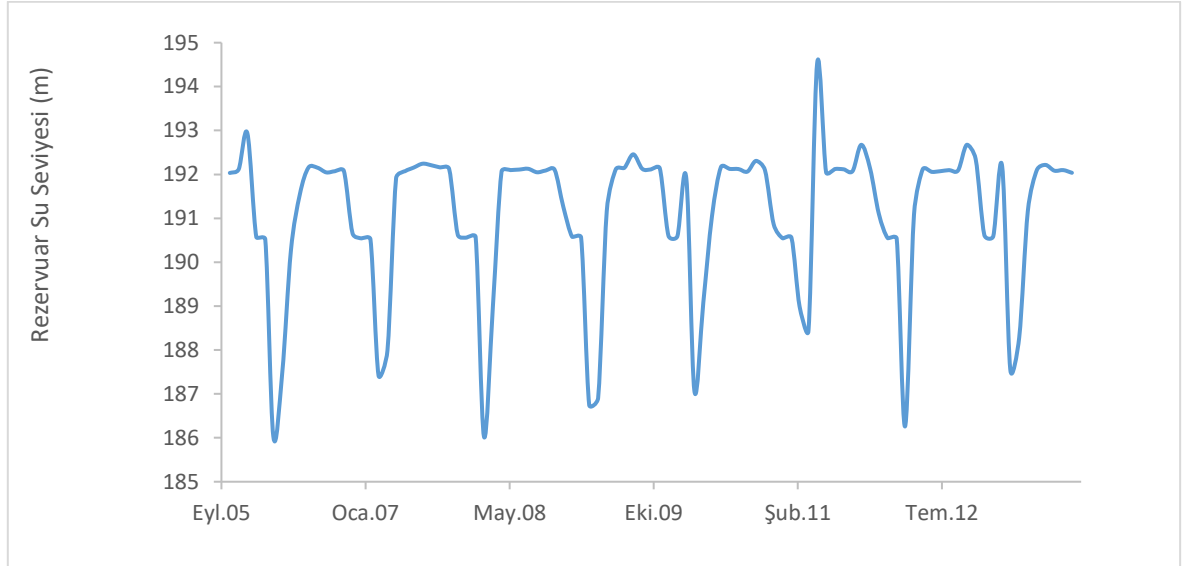
Şekil 4 - Gözlem istasyonlarının konumları (Google Earth, 2018)



Şekil 5 - Rezervuara Ekim 2005 ile Eylül 2013 arasında giren (mavi çizgi) ve çıkan (kırmızı çizgi) debi miktarı [31]



Şekil 6 - Rezervuara giren orijinal hidrograf (mavi çizgi) ile hassasiyet analizine göre dizayn edilmiş yapay hidrograf (kırmızı çizgi)



Şekil 7 - Rezervuarda Ekim 2005 ile Eylül 2013 tarihleri arası kaydedilen su seviyesi [31]

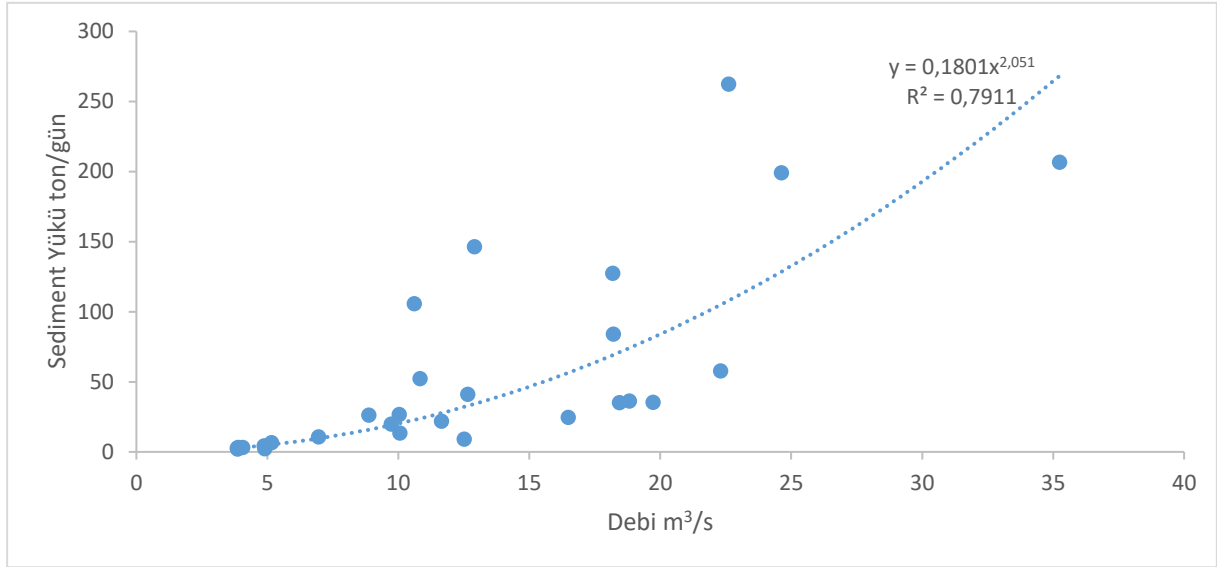
3.2.2 Kapak açıklığı verileri

Foster Joseph Sayers barajında, 180 m kotunda dolusavak üzerinde bulunan iki kapak taşkın akışını düzenler. Kapak açıklıkları sistemden çıkan debi miktarını (Q_{out}) belirleyen temel parametredir. Bu iki kapak 4.57 m yüksekliğinde ve 2.13 m genişliğindedir. Kapak açıklığı verileri Ocak 1973'ten Ekim 2016'ya kadar geçen sürede aylık ortalama olarak kaydedilmiştir [31]. Bu çalışmada dönemsel veri eksikliğinden dolayı sadece Ekim 2005 ile Eylül 2013 arasındaki kapak açıklığı değerleri kullanılmıştır, bunlar Şekil 8'de gösterilmiştir.

3.2.3 Su sıcaklığı verileri

Bu çalışmada düşme hızı hesaplama metodu olarak Rubey düşme hızı yöntemi kullanılmıştır.

Rubey, Stoke Yasası'na bağlı olarak sıvı, sediment özellikleri ve düşme hızı arasındaki analitik ilişkiyi tasarlar. Stokes Yasası'na göre, su sıcaklığının bir su sütunundaki düşme hızının (çökme) üzerinde doğrudan bir etkisi vardır [31]. Sıcaklık arttıkça su viskozitesi azalır ve çökme hızını artırır. Bununla beraber su sıcaklığı sedimentin yatay hareketini ve potansiyel erozyon oranını da etkiler. Daha viskoz veya daha yoğun olan sıvılar, potansiyel erozyonda bir artışa neden olur. Sediment taşıma mekanizmasının su sıcaklığına duyarlılığı nedeniyle bu veriler gerekmektedir. Yapılan istatistiksel çalışma sonucu aylık su sıcaklıklarının her yıl için aynı olduğu varsayılmıştır. Su sıcaklığı çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 9 - Ocak 1955 ile Ocak 1959 yılları arasındaki sediment yükü ve debi eğrisi [34]

3.2.5 Sediment dağılımı

Tane boyutu dağılımı, analizde kullanılacak tortu taşıma fonksiyonunun seçilmesinde önemli rol oynar. Sediment tane büyüklüğü dağılımı USGS 01547200'den alınan verilere göre belirlenmiştir. Bu çalışmada nehir ve rezervuar yatağı boyunca yatak sediment dağılımının sabit ve gelen sediment yükünde aynı sediment dağılımına sahip olduğu varsayılmıştır: Gözlem istasyonundan alınan veriler üç tortu boyutu sınıfına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar 0.004 mm, 0.0625 mm ve 1 mm parçacık çaplarıdır ve birikmiş elek altı derecelendirme değerleri sırasıyla %34, %62 ve %100'dür. Elek altı diğer sınıfların dağılımı için denklem 18 ve 19 kullanılmıştır [35]. Hesaplamanın sonuçları çizelge 4'te gösterilmektedir. Sediment boyut analizine göre yatak ve askıdaki malzeme ince kum ve kil arasındaki sınıftadır. Aşağıdaki denkleme göre asılı yük dağılımı $D_{35}=0.005$ mm, $D_{50}=0.050$ mm (ortalama boyut) ve $D_{90}=0.49$ mm'dir (yatak pürüzlülüğü).

$$\psi_x = \psi_{b,i} + \frac{\psi_{b,i+1} - \psi_{b,i}}{f_{f,i+1} - f_{f,i}} \left(\frac{x}{100} - f_{f,i} \right) \quad (18)$$

$$\psi_{b,i} = \ell_n(D_x) / \ell_n(2) \quad (19)$$

Burada D_x , numunenin yüzde x'inin D_x çapından daha ince olacağı elek boyuttur. $f_{f,i}$ numunenin toplam yüzdesidir ve $\psi_{b,i}$ tane büyüklüğü sınıfının phi ölçeğindeki değeridir. Phi ölçeği, geometrik Udden-Wentworth tane boyutu ölçeğinin logaritmik dönüşümü olarak tanımlanan bir sediment parçacık boyutu

ölçeğidir. Phi çapı, parçacık çapının (milimetre cinsinden) negatif logaritma 2 tabanında karşılığıdır [36].

Çizelge 4 - Birikmiş sediment boyut dağılımı

ψ_b	Sediment boyutu (mm)	Birikmiş dağılım oranı
-7.9658	0.004	0.340
-6.9658	0.008	0.411
-5.9658	0.016	0.481
-4.9658	0.032	0.552
-4	0.0625	0.620
-3	0.125	0.715
-2	0.25	0.810
-1	0.5	0.905
0	1	1.000

4 BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Hareket Denklemlerinin Baraj İnşası Öncesine Göre Kalibrasyonu

Genel olarak, bir rezervuarda biriken sediment miktarı, rezervuarda kalan sediment yüzdesi veya tuzaklama verimliliği (TE) olarak ifade edilir. Foster Joseph Sayers Rezervuarının yarı-düzensiz sediment simülasyonlarının kalibrasyonuna başlamak için bir dizi farklı taşıma denklemi değerlendirildi. Model kalibrasyonu, barajın inşasından sonra sediment verilerinin eksikliği nedeniyle Foster Joseph Sayers Barajı'nın inşasından önceki nehir yatağı üzerinde yapıldı. Ackers-White denklemi kalibrasyonu için dört farklı sediment sınıfına

göre denklem kalibre edilmiştir. Bu dört vakanın dışında Laursen denklemi ve Engelund-Hansen denklemin kalibrasyonu yapılmıştır. USGS 01547200 ve 01547500 istasyonlarından gelen akış ve sediment verilerine göre tuzaklama verimlilik değeri 15 Mart-1956 ve 15-Mart-1958 arasında %4,02 olarak hesaplanmıştır. Rezervuarın tuzak verimliliği denklem 20'e göre hesaplanmıştır [37]:

$$TE = \frac{V_i - V_o}{V_i} \times 100 \quad (20)$$

V_i , gelen sediment yükünün hacmi olduğu, V_o , çıkan sediment yüküdür ve TE, tuzaklama verimliliğidir. Bu yaklaşım ve simülasyon sonuçları karşılaştırılarak hareketli yatak derinliğinin 0.075 m olarak model kalibre edilmiştir. Çeşitli taşıma denklemleri için 1956 ve 1958 arasındaki tuzak verimlilik değerleri Çizelge 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5 - Baraj inşası öncesi durumdaki nehir yatağında denklemlere göre elde edilen tuzaklama verimliliği

TE (%)					
Acker-White Denklemi Durum 1	Acker-White Denklemi Durum 2	Acker-White Denklemi Durum 3	Acker-White Denklemi Durum 4	Engelund-Hansen Denklemi	Laursen Denklemi
47.40	96.61	32.63	4.95	3.58	3.60

Simüle edilen TE değerlerine göre, Ackers-White denkleminin 4. duruma göre kalibre edilmiş hali (TE değeri % 4.95 olan) bu nehir yatağında Ackers-White denklemi için en uygun olanıdır. Varsayılan sediment modeli parametreleri ile uygulanan Engelund-Hansen Metodu, %3.58 TE değeri ile sonuçlanmıştır; bu,

1956 ve 1958 yılları arasında gözlemlenen %4,02 TE değerine çok yakındır.

Laursen yöntemi için programın varsayılan parametreleri kullanıldığında TE değeri% 68.51 olarak bulunmuştur. Laursen Denklemi (Denklem 14) Şekil 10'daki gibi kalibre edilmiştir.

Şekil 10 - Laursen denkleminin kalibrasyon işlemi

Laursen denklemi kalibrasyonu sırasında, katsayı ve güç varsayılan değerlerden değiştirilmeden, sadece kritik Shield sayısı 0.2 ile 0.005 arasında ayarladı. Daha sonra, kritik Shield sayısının tüm simülasyon süresi boyunca 0.0156'ya eşit olduğu varsayılarak TE değeri %3.60 olarak simülasyon sağlandı. İleriki hesap basamaklarında kalibre edilmiş olan Laursen metodu, Engelund-Hansen metodu ve Ackers-White denkleminin 4. duruma göre kalibre edilmiş hali uygulanmıştır.

4.2 Kararsız ve Yarı-Kararsız Akımda Tuzak Verimliliği Simülasyonunda Duyarlılık Analizi

Hesap yönteminin askıdaki sediment konsantrasyonuna etkisine test etmek için Şekil 6 da oluşturulan yapay hidrograf ile rezervuara ait $S = 0.1801 Q^{2.051}$ sediment oranı denlemi kullanılmıştır. Sediment yoğunluğu 2,61 g/cm³ olarak programa girilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre hem Engelund-Hansen metodunda hem de Laursen metodun da yarı-

kararsız akım hesabında bulunan tuzak verimliliği oranı kararsız akım hesabından daha fazla çıkmıştır. Ackers-White denkleminde ise bu durumun tersi oluşmuştur. Denklemlerin akım hesabına karşı gösterdikleri duyarlılık en çok Laursen metodunda (%96.5 ile %90.11) gözlemlenmiştir. Engelund-Hansen metodunda ir.

ise tuzak verimliliği oranı yarı-kararsız akımda %95,9, kararsız akımda %91.63 olarak bulunmuştur. En az duyarlılık kaba tane çapına göre dizayn edilmiş olan Ackers-White denkleminde (%90.96 ile %92.75 değerleriyle) gözlemlenmiştir. Tuzak verimlilik değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir

Çizelge 6 - Yapay hidrograf kullanılarak elde edilen tuzak verimliliği ve kullanılan akım-hareket denklemleri

Hareket Denklemi	Tuzak Verimliliği (%)	
	Yarı-Kararsız Sediment Hesabı	Kararsız Sediment Hesabı
Ackers-White Metodu (Durum 4)	90.96	92.75
Engelund-Hansen Metodu	95.9	91.63
Laursen Metodu	96.15	90.11

4.3 Kararsız ve Yarı-Kararsız Akımda Yatak Değişimi

Yapay hidrograf kullanılarak yapılan simülasyonda yatak değişimini kıyaslamak için mutlak yatak değişimi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır. MYD hesabı metodu aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$MYD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_i)^2} \quad (21)$$

Burada x_i = yeni yatak yüksekliği

μ_i = başlangıçtaki yatak yüksekliği

I_i = yükseklik değişimi ($x_i - \mu_i$)

N = kesit alanı sayısı.

1 Eylül 2005 ile 26 Ağustos 2013 tarihleri arasındaki yapay hidrograf için simülasyonun sonucunda yatak değişimi kıyaslamak için kullanılan MYD metodunun sonucu çizelge 7 de gösterilmiştir. Kararsız akım hesabı sonucu yatak değişimi ortalama 0.088 m ile 0.090 m arasındadır. Yarı kararsız akım hesabında ise 0.087 m ile 0.091 m arasında hesaplanmıştır. Kararsız akım hesabında hareket denklemlerin yatak değişimi üzerindeki hassasiyeti yarı-kararsız akıma göre daha fazladır. Her iki akım hesabında da Ackers-White denklemi

sonucunda yatak değişimi en az olarak gözlemlenmiştir. Ancak; en fazla ortalama yatak değişimi yarı-kararsız akım hesabında Engelund-Hansen metodu iken kararsız akım hesabında ise Laursen metodu olmuştur.

4.4 Yarı-Kararsız Akımda Tuzak Verimliliği ve Ampirik Metotlarla Karşılaştırılması

Denklem 20 kullanılarak Foster Joseph Sayers Rezervuarının kaydedilen hidrograf verilerine (Şekil 5) ve yarı-kararsız akım simülasyonuna göre tuzak verimliliği hesaplanmıştır. Sonuçlar çizelge 8'de gösterilmiştir. En yüksek tuzak verimliliği %87.16 değeri ile Engelund-Hansen metodu sonucu olurken en az tuzak verimliliği %82.96 değeri ile Ackers-White Denklemi olur. Tuzak verimliliğini tahmin etmek için başvurulan diğer yöntemde ampirik metotlardır. Bu metotlar memba ve mansapta yeterli sediment verisi olmadığında uygulanır. Bu çalışmada kaba ve orta sınıf sediment tahmininde kullanılan Brune, Harbor ve Garg metotları kullanılmıştır. Bu metotların sonucu çizelge 9'da ve Şekil 11'de gösterilmiştir. Brune metodu tuzak verimliliği ile rezervuar kapasitesinin(V) gelen yıllık ortalama akım (I) arasında bir ilişki kurar. Brune ampirik metodu Denklem 22 'da gösterilmiştir [37].

Çizelge 7 - Yapay hidrograf kullanılarak elde edilen yatak değişiminin ortalaması ve akım-hareket denklemlerine göre

Akım Hesabı	Sediment Hareket Denklemi	MYD (m)
Kararsız akım- Sediment Hesabı	Ackers-White Metodu	0.088
	Engelund-Hansen Metodu	0.089
	Laursen Metodu	0.090
Yarı- Kararsız akım - Sediment Hesabı	Ackers-White Metodu	0.087
	Engelund-Hansen Method	0.091
	Laursen Metodu	0.087

Çizelge 8 - 1 Eylül 2005 ile 26 Ağustos 2013 tarihleri arasındaki rezervuarın sediment hareket denklemlerine göre hesaplanan tuzak verimliliği

Hareket Denklemi	Tuzak Verimliliği (%) Yarı-kararsız akım sediment hesabı
Ackers-White Metodu (Durum 4)	82.96
Engelund-Hansen Metodu	87.16
Laursen Metodu	86.6

$$TE = 100 \times 0.97^{\log\left(\frac{V}{I}\right)} \quad (22)$$

Harbor ampirik metodu Denklem 23'de verilmiştir. Burada C rezervuar kapasitesini belirtirken I yıllık ortalama gelen debiyi göstermektedir [38].

$$TE = -22 + \left[\frac{119.6 \frac{C}{I}}{0.012 + 1.02 \frac{C}{I}} \right] \quad (23)$$

Jothiprakash and Garg metotunda kaba ve orta boyut sediment için ayrı ampirik metotlar uygulanmıştır. Bu ampirik formüller [39]:

$$TE = \frac{8000 - 36 \times \left(\frac{C}{I}\right)^{-0.78}}{78.85 + \left(\frac{C}{I}\right)^{-0.78}} \quad (24)$$

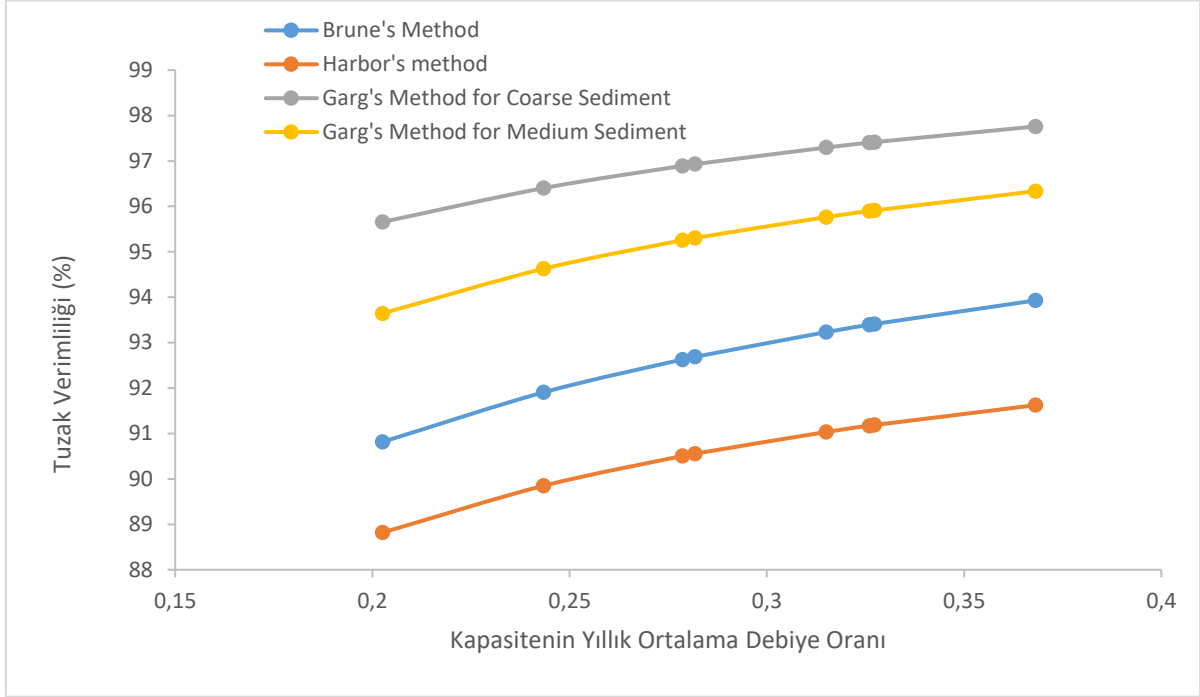
$$TE = \frac{\left(\frac{C}{I}\right)}{0.00013 + 0.01 \left(\frac{C}{I}\right) + 0.0000166 \times \sqrt{\left(\frac{C}{I}\right)}} \quad (25)$$

Çizelge 9 ampirik metotlarla hesaplanan tuzak verimliliği %93.9 iken HEC-RAS'ta simule edilip hesaplanan tuzak verimliliği ortalaması %87.16

olarak bulunmuştur. Ampirik metotlarla sediment hareket denklemi sonucu arasındaki fark Ackers-White denklemi, Engelund-Hansen denklemi ve Laursen denklemleri için sırasıyla %11.65, %7.18 ve %7.77'dir.

4.5 Yarı-Kararsız Akımda Yatak Değişimi

Foster Joseph Sayers Rezervuarınının 1 Eylül 2005 ile 26 Ağustos 2013 tarihleri arası kaydedilen hidrograf verilerine (Şekil 5) ve yarı-kararsız akım simülasyonu sonuçları MYD metodu kullanılarak yatak değişimi hesaplanmıştır. Sonuçlar çizelge 10'da gösterilmiştir. En yüksek yatak değişimi değeri 0.0875 m ile Engelund-Hansen metodu simülasyonunda gözlemlenmiştir. Kaba sınıf sediment için kalibre edilen Ackers-White denkleminde yatak değişimi ortalama 0.0859 m'dir. En az yatak değişimi Laursen denkleminin kullanıldığı simülasyonda 0.0856 m olarak bulunmuştur.



Şekil 1 - Tuzak Verimliliğinin C/I Oranına Değişimi

Çizelge 8 - Yıllık Rezervuar Tuzak Verimliliği

Yıl	Yıllık ortalama debi (m ³ /s)	C/I	Brune Metodu	Harbor Metodu	Garg Metodu (Kaba Sınıf Sediment için)	Garg Metodu Orta Sınıf Sediment için)
2005-2006	11.885	0.326	93.393	91.171	97.403	95.898
2006-2007	13.909	0.279	92.629	90.504	96.892	95.256
2007-2008	13.713	0.282	92.688	90.556	96.931	95.305
2008-2009	10.526	0.368	93.93	91.624	97.76	96.335
2009-2010	11.838	0.327	93.411	91.187	97.415	95.912
2010-2011	19.13	0.203	90.814	88.818	95.657	93.645
2011-2012	15.875	0.243	91.907	89.849	96.403	94.628
2012-2013	12.299	0.315	93.234	91.034	97.297	95.765

Çizelge 9 - 1 Eylül 2005 ile 26 Ağustos 2013 tarihleri arası toplam ortalama yatak değişimi

Akım Hesap Yöntemi	Hareket denklemi	MYD (m)
Yarı-Kararsız Akım Metodu	Ackers-White Method	0.0859
	Engelund-Hansen Method	0.0875
	Laursen Method	0.0856

5 SONUÇ

Bu çalışmada ilk bölümde yarı-kararsız sediment metodu yapılmış ve Ackers-White denklemi içinde oluşturulan 4 senaryodaki tuzak verimliliği ile 15 Mart 1956 ve 15 Mart 1958 yılı arasındaki kaydedilen sediment veriler karşılaştırıldığında sisteme en uygun senaryonun Senaryo 4 olduğu belirlenmiştir. Ackers- White denkleminin bu sistemde kaba sediment hareketine uygun olarak kalibre edilmesi gerektiği (parametreler $A= 0.17$, $C= 0.025$ ve $m=1.50$) anlaşılmıştır.

Sonraki aşamada, akış metodunun değişmesinin rezervuar yatağındaki değişimine ve tuzak verimliliğine etkisi araştırmak için yapay hidrograf kullanılmıştır. Bölüm 4.2'de akım hesaplama yönteminin değişmesiyle en yüksek hassasiyete sahip metodun Laursen metodunun olduğu yarı-kararsız sediment hesabında TE değeri %96.15 iken kararsız metotta TE değeri %90.11'e inmiştir. Ackers-White denkleminin uygulandığı simülasyonu dışında tüm simülasyonlarda kararsız sediment hesabındaki tuzak verimliliği azalmıştır (Engelund-Hansen metodunun kullanıldığı simülasyonda %95.9'dan %91.63'e, Laursen metodunda %96.15'ten %90.11'e inmiştir). Ackers-White denkleminin kullanıldığı simülasyonda TE değeri %90.96'dan %92.75'e yükselmiştir.

Ekim 2005 ile Eylül 2013 tarihleri arası kaydedilen hidrograf kullanılarak yarı-kararsız sediment hesabı yapılarak rezervuarın tuzak verimliliği araştırılmıştır. Yapılan simülasyon sonucu Ackers-White denkleminin kullanıldığı simülasyonda tuzak verimliliği en düşük değer olan %82.96 bulunurken, Engelund-Hansen ve Laursen metodlarının kullanıldığı simülasyonlarda TE değeri sırasıyla %87.16 ve %86.6 bulunmuştur. Rezervuarın TE değeri simülasyon dışında ampirik metotlar kullanılarak incelenmiş ampirik metotlar sonucu elde edilen ortalama TE değeri %93.9 bulunmuştur. Buda simülasyonlarla ampirik formüllerin paralellik göstermemiştir. Litaratürde belirtilen her rezervuarın kendine özgü TE değeri için ampirik formülleri olması gerekir kanısını doğrulamıştır.

6 KAYNAKLAR

- [1] Morris, G. L., and Fan, J. (1998). Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use. McGraw Hill Professional. ISBN 007043302X, 9780070433021
- [2] Jain, S. K., & Singh, V. P. (2003). Water resources systems planning and

management (Vol. 51). Elsevier. eBook ISBN: 9780080543697


- [3] Garde, R. J. (2006). River Morphology. New Age International Ltd., New Delhi, India
- [4] ICOLD CIGB. "General Synthesis." ICOLD CIGB, (Accessed in January 2017): www.icold-cigb.net/article/GB/world_register/general_synthesis/general-synthesis
- [5] Foster, I. D. (2010). Lakes and reservoirs in the sediment cascade. Sediment cascades: an integrated approach. Wiley, Chichester, 345-376
- [6] Annandale, G. (2013). Quenching the thirst: sustainable water supply and climate change. North Charleston, SC: CreateSpace Independent Publishing Platform
- [7] U.S. Bureau of Reclamation (1987). Design of small dams. Third edition. Appendix A. Water Resources Technical Publication, U.S. Government Printing Office & Washington, D.C.
- [8] Sumi, T., Okano, M., & Takata, Y. (2004, October). Reservoir sedimentation management with bypass tunnels in Japan. In Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation (Vol. 2, pp. 1036-1043)
- [9] Garde, R. J., & Raju, K. R. (2000). Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems. Taylor & Francis
- [10] Vörösmarty, C. J., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P., & Syvitski, J. P. (2003). Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. Global and planetary change, 39(1-2), 169-190
- [11] Meade, R. H., & Moody, J. A. (2010). Causes for the decline of suspended-sediment discharge in the Mississippi River system, 1940–2007. Hydrological Processes, 24(1), 35-49
- [12] Kondolf, G. M., Gao, Y., Annandale, G. W., Morris, G. L., Jiang, E., Zhang, J., ... & Hotchkiss, R. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. Earth's Future, 2(5), 256-280

- [13] Garde, R. J. (2006). River Morphology. New Age International Ltd., New Delhi, India.
- [14] Issa, I. E. (2015). Sedimentological and Hydrological Investigation of Mosul Dam Reservoir (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet)
- [15] Draut, A. E., Logan, J. B., & Mastin, M. C. (2011). Channel evolution on the dammed Elwha River, Washington, USA. *Geomorphology*, 127(1-2), 71-87
- [16] Ma, Y., Huang, H. Q., Nanson, G. C., Li, Y., & Yao, W. (2012). Channel adjustments in response to the operation of large dams: The upper reach of the lower Yellow River. *Geomorphology*, 147, 35-48
- [17] Syvitski, J. P., Vörösmarty, C. J., Kettner, A. J., & Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *science*, 308(5720), 376-380
- [18] McCully, P. (1996). *Silenced rivers: The ecology and politics of large dams*. Zed Books
- [19] Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS River Analysis System User's Manual, Version 5.0 Report CPD-69, California: US Army Corps of Engineers. Cameron
- [20] Ackers, P., & White, W. R. (1973). Sediment transport: new approach and analysis. *Journal of the Hydraulics Division*, 99 (hy11)
- [21] Prasuhn, A. L. (1993). Modification of the Ackers-White Procedure to Calculate Sediment Transport by Size Fractions. SOUTH DAKOTA STATE UNIV BROOKINGS
- [22] Wallingford, H. R. (1990). Sediment transport: The Ackers and White theory updated.
- [23] U.S. Bureau of Reclamation (2011). Hydrology, Hydraulics and Sediment Transport Studies for the Secretary's Determination on Klamath River Dam Removal and Basin Restoration Technical Report No. SRH-2011-02. Prepared for Mid-Pacific Region, US Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, CO
- [24] Copeland, R. R., & Thomas, W. A. (1989). Corte Madera Creek sediment study. Technical report HL89-6, USACE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS
- [25] Madden, E. B. (1993). Modified Laursen method for estimating bed-material sediment load. MADDEN (EDWARD B) DALLAS TX
- [26] Partheniades, E. (1962). A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water. University of California, Berkeley
- [27] Winterwerp, J. C., & Van Kesteren, W. G. (2004). Introduction to the physics of cohesive sediment dynamics in the marine environment (Vol. 56). Elsevier
- [28] USGS. (1993). Digital Elevation Model user guide. Reston, Virginia: United States Department of the Interior, U.S. Geological Survey
- [29] Hydraulic Engineering Center. (2005). HEC-GeoRAS User's Manual An extension for support of HEC-RAS using ArcGIS. U.S. Army Corps of Engineering Hydrologic Engineering Center, HEC 609 Second st. Davis
- [30] Cameron, T., Ackerman, P. E., & HEC-GeoRAS, G. I. S. (2012). Tools for Support of HEC-RAS Using ArcGIS User's; Manual; Report No. CPD-83. US Army Corps of Engineers: Washington, DC, USA
- [31] U.S. Geological Survey, 2018, National Water Information System data available on the World Wide Web (USGS Water Data for the Nation), accessed [Inflow, outflow discharge, water elevation], available at URL https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory/?site_no=01547480&agency_cd=USGS
- [32] Brunner, G. W. (2013). Common Model Stability Common Model Stability Problems When Performing Problems When Performing an Unsteady Flow Analysis. Retrieved in August 2018, from <http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/modelcalibration/6.%20%20Hydraulic%20Model%20Calibration/4.1%20L-11%20CommonModelStabilityProblemsInUnsteady%20FlowAnalysis.pdf>

- [33] U.S. Geological Survey, 2018, National Water Information System data available on the World Wide Web (USGS Water Data for the Nation), accessed [Water temperature], at URL https://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory/?site_no=01547400
- [34] U.S. Geological Survey, 2018, National Water Information System data available on the World Wide Web (USGS Water Data for the Nation), accessed [Suspended load], at URL https://waterdata.usgs.gov/nwis/dv?referr ed_module=sw&site_no=01547200
- [35] Parker, G. (2004). Chapter 2: Characterization of sediment and grain size distributions. Accessed in August 2018 at URL: <http://hydrolab.illinois.edu/people/parkerg/>
- [36] Donoghue J.F. (2016) Phi Scale. In: Kennish M.J. (eds) Encyclopedia of Estuaries. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht
- [37] Brune, G. M. (1953). Trap efficiency of reservoirs. Eos, Transactions American Geophysical Union, 34(3), 407-418
- [38] Harbor, J., Bhaduri, B., Angelakis, L., & Snyder, J. (1997). Sediment basins, using modified stormwater management basins and sediment basins to reduce water pollution from construction sites in Ohio. Dept. of Geology, Kent State Univ., Kent, Ohio
- [39] Jothiprakash, V., & Vaibhav, G. A. R. G. (2008). Re-look to conventional techniques for trapping efficiency estimation of a reservoir. International Journal of Sediment Research, 23(1), 76-84

DÜZELTME

EKECİK BESLENİM ALANI (EBA)'NDAKİ İÇME SUYU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ, ORTAKÖY, AKSARAY, ORTA ANADOLU

Mustafa AFŞİN 


Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray
mustafaafsin@aksaray.edu.tr

Mustafa YILDIZ 

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray
jeo.myildiz@gmail.com

Zeynel CEYLAN 

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

İsmail Said KÜRE 

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

(Makalenin geliş tarihi: 05.08.2019, Makalenin kabul tarihi: 16.10.2019)

DSİ Teknik Bülteni Sayı: 134, Ekim 2019'da yayınlanan makalenin 41. Sayfasındaki Çizelge 1'de soldan itibaren 7. Sütunda TDS (mg/L) yerine Debi (L/s) olarak sehven yazılmıştır. Çizelge 1'in düzeltilmiş hali aşağıdaki gibi olacaktır. Sorumlu yazar olarak tüm okurlarımızdan özür diliyorum. Mustafa AFŞİN

CORRECTION

EVALUATION OF HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPIC PROPERTIES OF DRINKING SPRINGS OF EKECİK RECHARGE AREA (ERA), ORTAKÖY, AKSARAY, CENTRAL ANATOLIA

DSI Technical Bulletin Issue: 134, in the Table 1 on page 41 of the article published in October 2019, it was written inadvertently as Flow (L / s) instead of TDS (mg / L) in the 7th column starting from the left. The corrected version of Table 1 will be as follows. As a responsible author, I apologize to all our readers. Mustafa AFŞİN

Çizelge 1. İncelenen suların fiziksel, kimyasal ve kirlilik parametreleri ile bazı iyon oranları

Örnek no'su ve yükseltisi (m)	pH	ÖEİ (µS/cm)	Sıcaklık (°C)	Bulanıklık (NTU)	ÇÖ (mg/L)	TDS (mg/L)	Sertlik (FS)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₂	NO ₃	NH ₄	Yük denge hatası (%)	Ca/Mg	Ca/SO ₄	Na/Cl
								meq/L							mg/L						
ZC-1a (1578)	6.52	95.2	11.8	0.18	5.79	83.2	5.36	0.852	0.219	0.289	0.009	0.047	0.07	1.14	0.00	2.23	0.00	3.02	3.88	5.38	4.02
ZC-1b	7.48	95.4	11.5	0.04		83.85	6.98	1.164	0.232	0.29	0.010	0.053	0.05	1.5	0.00	2.44	0.07	3.05	4.99	24.95	3.56
ZC-2a (1564)	7.17	100.3	13.8	0.11	8.32	83.2	5.85	0.946	0.223	0.288	0.019	0.069	0.14	1.23	0.00	4.26	0.00	-1.12	4.22	6.53	4.17
ZC-2b	7.59	106	12.7	0.01		90.35	7.53	1.264	0.242	0.29	0.022	0.076	0.13	1.5	0.00	3.53	0.05	2.62	5.20	9.96	3.81
ZC-3a (1540)	6.96	115.1	12.8	0.12	8.14	98.5	6.63	1.091	0.234	0.2685	0.030	0.062	0.16	1.32	0.00	4.97	0.00	-0.16	4.65	6.63	4.30
ZC-3b	7.79	112.5	12.4	0.02		96.85	8.33	1.41	0.254	0.28	0.034	0.07	0.14	1.6	0.00	4.21	0.18	3.31	5.52	9.78	3.98
ZC-4a (1352)	7.99	162	16	1.85	6.48	127	8.76	1.5	0.251	0.374	0.010	0.093	0.22	1.6	0.00	5.63	0.00	3.02	5.95	6.80	4.02
ZC-4b	7.36	167.8	15.4	0.18		133.25	9.85	1.69	0.278	0.39	0.010	0.095	0.18	1.9	0.00	3.52	0.00	3.59	6.06	9.23	4.06
ZC-5a (1405)	7.36	249.5	13.5	0.1	7.45	207.4	18.85	3.59	0.178	0.147	0.009	0.077	0.14	3.58	0.00	6.06	0.129	0.27	20.09	25.05	1.92
ZC-5b	7.56	269.8	13.7	0.09		223.6	20.76	3.93	0.216	0.15	0.014	0.078	0.13	3.9	0.00	5.59	0.92	2.44	18.19	30.94	1.97
ZC-6a (1410)	7.14	124.2	13.4	0.11	6.9	103.9	11.29	1.24	0.2281	0.348	0.013	0.076	0.18	1.42	0.00	6.46	0.00	21.39	4.29	10.06	6.11
ZC-6b	7.48	137.5	14.2			113.1	8.58	1.46	0.2477	0.37	0.015	0.099	0.16	1.6	0.00	5.2	0.10	7.45	5.92	9.20	3.68
ZC-7a (1301)	7.24	144	15.5	0.5	4.45	82	8.07	1.25	0.3618	0.328	0.035	0.087	0.23	1.51	0.00	4.10	0.00	5.01	3.46	5.56	3.75
ZC-7b	7.6	151.3	15.6	23		120.25	9.54	1.54	0.3681	0.34	0.030	0.092	0.19	1.8	0.00	3.72	0.22	4.05	4.17	8.03	3.70
ZC-8a (1418)	7.42	190.5	13.5	0.18	7.42	160	11.29	1.83	0.4263	0.462	0.031	0.184	0.29	1.42	0.00	45.82	0.100	2.31	4.29	6.31	2.51
ZC-8b	7.76	199.5	14.3	0.07		163.85	11.90	1.96	0.4156	0.45	0.032	0.107	0.26	1.7	0.00	37.35	0.050	4.27	4.72	7.63	4.25