

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BARAJLARDA TAŞKIN ÖTELENMESİNİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ ERTEN

DENİZLİ, KASIM 2023

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



BARAJLARDA TAŞKIN ÖTELENMESİNİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ ERTEN

DENİZLİ, KASIM 2023

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ALİ ERTEN

ÖZET

BARAJLARDA TAŞKIN ÖTELENMESİNİN ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ALİ ERTEN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. GÜRHAN GÜRARSLAN)
DENİZLİ, KASIM 2023

Bu yüksek lisans tezi, barajlarda taşkın ötelenmesinin analizini gerçekleştirmeyi ve taşkın ötelenmesi sürecini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Barajlar, su kaynaklarının depolanması, su akışının düzenlenmesi, hidroelektrik enerji üretimi ve sel kontrolü gibi önemli amaçlar için kullanılan yapılar olarak büyük bir öneme sahiptir. Ancak, taşkınlar barajlara ciddi zararlar verebilir ve olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, taşkın ötelenmesi, taşkın sularının barajlardan geçirilerek etkilerinin azaltılması veya farklı bir alana yönlendirilmesi anlamına gelir ve taşkın yönetimi için kritik bir adımdır.

Bu araştırma, barajlarda taşkın ötelenmesi konusundaki mevcut bilgi birikimini derinlemesine inceleyerek, analiz yöntemlerini değerlendirme ve süreci optimize etme amacı gütmektedir. Sayısal modelleme, hidrolojik ve hidrolik analizler, risk değerlendirmesi ve diğer ilgili yöntemler kullanılarak taşkın ötelenmesi süreci incelenecek ve etkinlikleri değerlendirilecektir.

Araştırmanın sonuçları, baraj tasarımlarının ve işletim süreçlerinin geliştirilmesine yönelik önemli öneriler sunmayı hedeflemektedir. Taşkın ötelenmesi yöntemlerinin iyileştirilmesi, barajların hidrolik performansının artırılması ve sel yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir adımdır. Bu tez, su kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için barajlarda taşkın ötelenmesinin analizini ve uygulanabilirliğini araştırmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Taşkın ötelenmesi, hidrolojik modelleme, hidrolik analiz, sayısal modelleme, taşkın yönetimi.

ABSTRACT

ANALYSIS OF FLOOD ROUTING IN DAMS

MSC THESIS

ALİ ERTEN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. GÜRHAN GÜRARSLAN)

DENİZLİ, NOVEMBER 2023

This master's thesis aims to perform an analysis of flood routing in dams and optimize the flood routing process. Dams play a crucial role in various important purposes such as storing water resources, regulating water flow, generating hydroelectric energy, and controlling floods. However, floods can cause significant damage to dams and lead to adverse consequences. Therefore, flood routing, which involves passing floodwaters through dams to reduce their impacts or diverting them to different areas, is a critical step in flood management.

This research seeks to comprehensively examine the existing knowledge on flood routing in dams, evaluate analysis methods, and optimize the process. Flood routing will be investigated through the use of numerical modeling, hydrological and hydraulic analyses, risk assessment, and other relevant methods to assess its effectiveness.

The findings of this research aim to provide important recommendations for the improvement of dam designs and operational processes. Enhancing flood routing methods is a crucial step towards enhancing the hydraulic performance of dams and developing flood management strategies. This thesis investigates the analysis and applicability of flood routing in dams to ensure the more efficient and effective utilization of water resources.

KEYWORDS: Flood routing, hydrological modeling, hydraulic analysis, numerical modeling, flood management.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel	1
1.2 Amaç	2
1.3 Kapsam.....	2
1.4 Literatür Özeti	2
2. TAŞKIN ÖTELEME YÖNTEMLERİ.....	18
2.1 Genel	18
2.2 Toplu Akış Ötelemesi.....	18
2.2.1 Hidrolojik Öteleme	19
2.2.2 Hidrolik Öteleme	20
2.3 Bir Rezervuar İle Hidrolojik Öteleme	22
2.3.1 Modifiye Puls Yöntemi.....	23
2.3.2 Goodrich Yöntemi	25
2.3.3 Standart Runge-Kutta Yöntemi	25
2.3.4 Giriş Hidrografi Özelliklerindeki Değişiklikler.....	28
3. SAYISAL UYGULAMALAR	29
3.1 Uygulama 1	29
3.1.1 Çözüm 1	30
3.2 Uygulama 2	33
3.2.1 Çözüm 2.....	34
4. SONUÇLAR.....	38
5. KAYNAKLAR.....	39
6. EKLER.....	42
EK A - Modifiye Puls Yönteminin Matlab Kodu	42
EK B – Hidrograf Değerleri	44
EK C – Seviye-Debi-Hacim Değerleri	45
7. ÖZGEÇMİŞ.....	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. :Modifiye Puls Yöntemi ile hazne öteleme.....	24
Şekil 2. :Giriş ve çıkış debilerinin değişim grafiği.	32
Şekil 3. :Hazne seviyesinin zamana göre değişim grafiği.	32
Şekil 4. :Modifiye Puls Yöntemi'yle hazne ötelemesi.....	35
Şekil 5. :Uygulama 2'ye ait hazne öteleme sonuçları grafiği.	37

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. :Bir hazneye ait Seviye-Depolama-Deşarj verileri.	29
Tablo 2. :Hazne içerisine giren taşkın hidrografi verileri.	29
Tablo 3. :Hazneye ait Seviye-Deşarj- $S + Q\Delta t^2$ verileri.	30
Tablo 4. :Bir hazne üzerinden taşkın ötelemesi – Modifiye Puls Yöntemi	31
Tablo 5. :Bir hazneye ait Seviye-Depolama-Deşarj verileri.	33
Tablo 6. :Hazne içerisine giren taşkın hidrografi verileri.	33
Tablo 7. :Hazneye ait Seviye-Akım- $2S\Delta t + Q$ verileri.	34
Tablo 8. :Hazne öteleme – Goodrich Yöntemi	36

SEMBOL LİSTESİ

Q	:Debi
I	:Giren Akım Debisi
S	:Depolanan Hacim
Δt	:Birim zaman
t	:Zaman
C_d	:Deşarj Katsayısı
L_e	:Taşma Kanalı Tepe Uzunluğu
H	:Taşma Kanalı Üzerindeki Su Seviyesi
g	:Yerçekimi İvmesi
A	:Su Yüzeyi Alanı
V	:Ortalama Akım Hızı
K	:Depolama Katsayısı
sa	:Saat
h	:Hidrolik Yük

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması aşamasında çalışmalarımı büyük sabır ve ilgi ile yönlendirip değerli bilgi ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Gürhan GÜRARSLAN'a en içten teşekkürlerimi sunar, yetiştirdiği öğrencilerden biri olduğum için gurur duyduğumu belirtmek isterim.

Çalışma sürecinde desteklerini esirgemeyen arkadaşlarımdan her birine ayrı ayrı teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu süreçte her zaman destek olan sevgili arkadaşım Ubeyit UZUN'a ve aileme şükranlarımı sunarım.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Taşkın, yüksek su dönemlerinde nehirlerin su seviyelerinde ve akışta zamanla meydana gelen değişikliklerden kaynaklanan taşmasını ifade eder. Sel olayları can ve mal kaybına neden olabilir. Taşkın yönetimi, taşkınların neden olduğu zararları önlemeye yönelik araştırma ve çalışmaları kapsar. Taşkınları etkili bir şekilde kontrol etmek için taşkın özelliklerini kapsamlı bir şekilde anlamak, sorunu doğru bir şekilde tanımlamak ve en gerçekçi çözümleri bulmak için onu matematiksel olarak modellemek ve analiz etmek önemlidir.

Taşkın öteleme, bir nehir veya rezervuar boyunca yayılan bir taşkın dalgasının zaman değişimini belirleme işlemidir. Taşkın öteleme için yaygın olarak iki farklı yöntem kullanılır: Hidrolojik öteleme ve hidrolik öteleme. Rezervuarlar veya barajlı nehirler söz konusu olduğunda, yaygın olarak kullanılan yöntem, rezervuar hacmi ile su seviyesi arasındaki ve dolusavak arasındaki ilişkilere dayalı olarak rezervuar veya baraj hacminin küçük zaman aralıklarında (Δt) hesaplanmasını içeren hidrolojik ötelemedir. Bu yöntem, rezervuardaki su kütesinin daima yatay konumda olduğunu, yani su seviyesinin su yüzeyine paralel olarak yükselip alçaldığını varsayar. Sonuç olarak, hareket halindeki su kütesinin dinamik hareketleri ihmal edilir ve çözüm sadece süreklilik denklemine dayanır. Öte yandan, hidrolik öteleme, duvar sürtünme kayıplarını hesaba katarak rezervuar veya nehir vadisi boyunca hareket eden su kütesinin dinamik etkilerini dikkate alır. Bu yöntem, süreklilik denklemini ve hareket denklemini çözerek gerçekleştirilir. Böylece hidrolik güzergah belirleme yöntemi rezervuar veya baraj vadisinin geometrik ve hidrolik özelliklerini dikkate alarak daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

1.2 Amaç

Bu çalışma, barajlarda taşkın ötelenmesinin analizine odaklanarak su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanımına katkıda bulunmayı, sel riskini azaltmayı ve barajların sürdürülebilirliğini desteklemeyi hedeflemektedir. Elde edilen sonuçlar, baraj projelerinin tasarımı, işletimi ve bakımı süreçlerinde karar vericilere ve mühendislere rehberlik ederek, taşkın riskini minimize etme ve etkili bir taşkın yönetimi sağlama konusunda stratejik kararlar alınmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, bu çalışma barajlarda taşkın ötelenmesinin analizi alanında bilgi birikimini artırmayı, mevcut yöntemleri geliştirmeyi ve gelecekteki araştırmalara ilham vermeyi amaçlamaktadır.

1.3 Kapsam

Çalışmanın ilk bölümünde konuyla ilgili genel bilgiler verilmiş olup devamında çalışmanın amacından bahsedilmiştir. Sonraki bölüm olarak literatür taranmış ve özet olarak sunulmuştur. 2. Ana başlık olan Taşkın Önleme Yöntemleri bölümünün başında genel bir bilgi verilmiştir. Ardından çalışmanın analiz kısmında kullanılacak olan modeller için teorik bilgiler bulunmaktadır. Çalışmanın bir diğer ana başlığı olan Analiz kısmında ise uygulamalı çalışmalar yapılmıştır ve ilgili konu hakkında somut bilgiler paylaşılmıştır. Son olarak çalışmanın Sonuç kısmında ise elde edilen uygulama sonuçları teorik yapıya uygun şekilde paylaşılmıştır ve sonraki çalışmalar için öneriler yapılmıştır. Çalışmanın en son kısmında ise Kaynakça yer almaktadır.

1.4 Literatür Özeti

1969 yılında Mozayney ve Song, yarı sonsuz düzgün dikdörtgen açık kanalın membasında meydana gelen sinüsoidal değişimlere bağlı olarak geçiş akımlarının

süreklilik ve momentum denklemlerini karakteristikler metoduyla başarılı bir şekilde çözmüşlerdir.

Bu araştırmanın temel amacı, farklı bölgelerdeki kararsız akımları anahtar eğriler üzerinde incelemek ve sonuç taşkın hidrografını Fourier serileri kullanarak birim hidrograf metoduna benzer bir şekilde benzetebilmektir. Böylece, herhangi bir verilen giriş hidrografına bağlı olarak esas hidrografi tanımlayabilmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca, değişen giriş akım şiddeti, Manning sürtünme katsayısı ve kanal eğimi gibi parametreleri değiştirerek, taşkın dalgasının sonuç dağılımını hesaplamışlardır. Özellikle pik seviyenin ve hareket eden taşkın pik debisinin yavaşlaması üzerine detaylı çalışmalar yapmışlardır.

Mozayney ve Song, çalışmalarıyla taşkın hidrolojisi ve akışkanlar mekaniği alanlarında önemli bir katkı sağlamışlardır. Bu metodoloji, taşkın analizlerinde ve hidrolojik olayların modellenmesinde kullanılabilir ve farklı koşullar altında su taşkınlarının etkilerini anlamak için değerli bir araç oluşturur. Yapılan çalışmalar sonucunda, sönümlenme katsayıları, başlangıç akım şiddeti, Manning sürtünme katsayısı ve kanal eğimi arasında belirli bir ilişki olduğu ortaya konmuştur. Bu durum, taşkın dalgasının doğrusal olmayan bir olay olduğunu göstermekte ve birim hidrograf metodunun dikkatli kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Aynı zamanda, pik seviyesi ve pik debi değerlerini belirleyerek, her ikisinin de kanal eğimi ve Manning sürtünme katsayısı ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, yapılan analizler doğrusallık katsayılarının uzun mesafelerde sabite yaklaştığını göstermiştir. Bu durum, sonsuz bir kanalda hidrografların doğrusallaşma eğilimi gösterdiğini ifade etmektedir.

Ponce ve ekibinin (1978) araştırması, kararlı üniform akımların sinüsoidal dalgalarının kinematik ve difüzyon modellerinin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada, sinüsoidal formda çözümler kullanılarak denklemler doğrusallaştırılmış ve homojen doğrusal denklem sistemine dönüştürülmüştür. Bunun yanı sıra, kinematik ve difüzyon dalga modellerine göre dalga yayılma hızı ve logaritmik azalma da hesaplanmıştır. Bu teorik çalışmadan elde edilen sonuçlar, orijinal Saint Venant denklemleriyle karşılaştırılarak bu yaklaşık modellerin uygulanabilirlik sınırlarının belirlenmesine katkı sağlamıştır. Ponce ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği karşılaştırma, kinematik ve difüzyon modellerinin fiziksel olayları ne

kadar doğru bir şekilde benzeştirebileceğini belirleyen eşitsizlik kriterlerini ortaya koymuştur. Bu kriterler, büyük yatak eğimleri veya büyük dalga periyotları gibi koşullarda kinematik veya difüzyon modellerinin yetersiz kaldığını ve bu tür durumlarda yüzeysel akışın büyük yatak eğimleri ve dalga periyotlarına sahip tedrici yükselen taşkın dalgalarında daha uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yapılan çalışma, her iki modelin de başarısız olduğu noktalarda fiziksel olayların sadece dinamik dalga modeliyle benzetilebileceğini vurgulamıştır. Ancak, dinamik modelin de belirgin eğim farklarına sahip olan bölgelerde daha doğru sonuçlar verebileceği belirtilmiştir.

Ponce ve Yevjevich (1978) tarafından yapılan araştırmada, geleneksel Muskingum Modeli ve Muskingum Cunge Modeli arasındaki parametre belirleme yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada, giriş ve çıkış hidrograf verileri kullanılarak Muskingum denklemlerinde yer alan K ve x parametrelerinin kalibrasyon yoluyla belirlenmesi, Muskingum Cunge Modeli'nde ise bu parametrelerin Cunge tarafından önerilen analitik denklemler kullanılarak hesaplanması ele alınmıştır. Muskingum Modeli, su akışının tahmininde sıkça kullanılan bir model olup, K ve x parametreleri hidrolojik verilerle uyumlu hale getirilerek belirlenir. Öte yandan, Muskingum Cunge Modeli, temel olarak Muskingum Modeli'ne dayanırken, K ve x parametrelerinin hesaplanmasında Cunge tarafından geliştirilen analitik denklemler kullanılır. Ponce ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, tüm modellerin doğruluğu üzerinde kapsamlı bir değerlendirme yaparak, sabit parametrelili Muskingum Cunge Modeli'nin sonuçlarının, taban artışı ve taşkın dalgasındaki alçalma gibi faktörlerin bu sabit parametreler üzerinde etkisinin olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Ayrıca, hesaplanan çıkış hidrografının, dört noktalı tekrarlamalı bir yaklaşımın taşkın dalgalarını doğru bir şekilde benzeştirmek için yeterli olduğunu ve iki noktalı bir yaklaşımın ise pik debi ve geçmiş zaman hesaplamalarında yanlış sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. İki noktalı metodun ayrıca büyük bir kütle kaybına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Ponce (1979), sadeleşmiş Muskingum ötelenme modeli üzerinde yaptığı araştırmada, giriş ve çıkış hidrografi verileri kullanılarak geleneksel olarak belirlenen K ve x parametrelerinin yerine, Cunge tarafından geliştirilen bir versiyonla birlikte, bu parametrelerin fiziksel problemlerle ilişkilendirilebileceğini göstermiştir. Bu yeni yaklaşım, kalibrasyon sürecindeki deneme yanılmayı azaltarak hesaplamaları daha

güvenilir hale getirmiştir. Cunge'un çalışmalarından elde edilen bulguları kullanarak, Ponce, hesaplamaları döngülü parametre metoduyla ya da basitliğinden dolayı büyük avantaj sağlayan değişken parametrelili mod ile başlatmayı tercih etmiştir. Bu iki farklı yaklaşım, Muskingum ötelenme modelinin pratik ve etkili bir şekilde kullanılmasına yönelik farklı seçenekler sunmaktadır. Zaman ve mesafe aralıklarını hesaplamak için, doğal olmayan prizmatik kanallar için kanal sürtünmesi, kesit alanı şekli ve debi-alan ilişkisini kullanan bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, Neuse nehrinin Goldsboro ve Kinston arasındaki 72 km uzunluğundaki bölümündeki verilerle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, herhangi bir yöntemin Kinston'da ölçülen hidrografi tam olarak yansıtamadığı görülmüştür. Ancak, Sadeleştirilmiş Muskingum ötelenme modeli, Δx mesafe ve Δt zaman aralıklarını $x=0$ ve $K=\Delta t$ olarak belirleyerek ötelenme denklemlerini basit bir ortalama hesabına indirgeyerek farklı bir yaklaşım sunmuştur.

Ponce (1979), konvektif denklemin stabilitesini ve açık sayısal şemanın yakınsama özelliklerini inceleyerek, mutlak stabiliteyi belirlemek için birleştirilmiş teorik yaklaşımı sunmuştur. Von Neumann ve Hirt analizlerini kullanarak, mutlak stabilite kavramını açıklamış ve açık şemanın ikinci dereceden doğruluğa ulaşabileceği yapısal bir iskelet içinde olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, saf konvektif denklemin açık şemasının sayısal özelliklerini birleştirilmiş bir kurumsal yöntemle sunmuştur. Yavaş değişen Courant sayısının mevcut olduğu durumlarda, mutlak stabiliteyi sağlama ve açık formülasyon içinde ikinci derece doğruluğa ulaşma olasılığının olduğunu ortaya koymuştur.

Strupczewski ve Kundzewicz (1980) tarafından yapılan çalışmada, Muskingum Modeli'nin varsayımları, model parametrelerinin değişkenliği ve doğası üzerine hidrolojistlerin görüşlerini incelemiştir. Bu çalışmada, sistem yaklaşımı kullanılarak, Muskingum model sonuçlarının doğrusal dinamik dalga modeli sonuçlarıyla karşılaştırılması yapılmış, giriş ve çıkışların ortak döngülerde yer aldığı ve su tablasında mesafe boyunca doğrusal değişimlerin oluşacağı varsayımları altında, dikdörtgen enkesitli üniform kanallar için geliştirilen doğrusal olmayan denklemin analizi ele alınmıştır. Araştırmada, Muskingum Modeli için karakteristiklerin uygulama mesafesi ve buna göre x parametresinin değerlerini hesaplamak üzere, sistemin fiziksel özellikleri ve akım değişimleri üzerine odaklanılmıştır. x parametresine bağlı olarak meydana gelen gecikmenin etkisi üzerinde çalışılmış ve

doğrusal olmayan depolama denklemi temel alarak Muskingum modeli giriş ve çıkış değerlerine bağlı olan parametrelerin güvenilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, karma depolama için kısa mesafelerde x 'in negatif değerlerinin, uzun mesafelerde ise pozitif değerlerinin kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Muskingum modelinin etki-tepki ilişkisi ile dinamik dalga modeline ait momentlerin eşitlenmesiyle elde ettikleri formülasyonla bu prensip onaylanmıştır. Ayrıca, x 'in negatif değerlerinin geçiş prosedürü ile ilgili olarak model performansının yeterliliğini azalttığı tespit edilmiştir. Bu durum, Muskingum modelinin belirli koşullarda uygulanabilirliğini sınırlandırabileceğini göstermektedir. Araştırmada ayrıca, Muskingum modelde en iyi yarı çevrim özelliklerinin $x=0.5$ değeriyle elde edilebileceği belirlenmiştir. Bu değer, modelin taşkın dalgalarını en iyi şekilde yansıtmada önemli bir rol oynadığı görülmüştür.

Ponce ve Theurer (1982), Muskingum modelinin ötelenme parametrelerinin kanal ve ağ karakteristiklerine bağlı olduğu bir analiz gerçekleştirmiştir. Sayısal deneyler yardımıyla, mesafe adımına üst bir sınır getirme önerilerine yeni bir perspektif kazandırmışlardır. Ayrıca, Muskingum difüzyon modelindeki mesafe ve zaman çözümlerine dair mevcut katkıları gözden geçirmiş ve test etmişlerdir. Bu çalışmada, modelin doğruluğunu korumak için mesafe çözümlerine yönelik bir kriter geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmalarında, Δx , c ve D katsayılarını belirlemek için sayısal deneyler gerçekleştiren araştırmacılar, Δx 'in büyük değerlerinde D ve c katsayılarının düşük değerlere ulaştığını gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlar, doğruluk seviyesini korumak ve x gerçel bir sayı olmak üzere, $c > x$ durumuna dikkat çekerek pratik uygulamalar için $x=0.33$ değerini önermelerine yol açmıştır. Aynı şekilde, en uygun doğruluk parametresi k değeri için de pratik uygulamalarda $K=2.00$ değerinin önerildiği görülmüştür. Bu değerler, modelin daha güvenilir ve hassas sonuçlar üretebilmesi için belirlenmiş olan kritik değerlerdir.

Tingsanchali ve Manandhar (1985), durgun su etkileri ve yan dere akımlarını hesaba katan analitik bir difüzyon modeli geliştirmiştir. Bu modeli, farklı memba, mansap ve yan dere sınır şartları ile taşkın ötelenme çalışmalarına uygulamış ve özellikle Kuzey Tayland'daki Lowermun akarsuyuna ait 1980-1981 yıllarındaki akım şartları ile karşılaştırmışlardır. Araştırmada, temel difüzyon denklemini, ortalama bir derinlik değeri etrafında doğrusallaştırarak, durgun su etkileri ve yan dere akımlarını hesaba

katan sınır şartları kullanarak çözümlenmişlerdir. Modelin uygunluğunu, akım ivmesinin ihmal edilebildiği tedrici yükselen taşkınlarla sınırlayarak ve su derinliğinin çözümünü uygun bir dizi histogramla ifade etmişlerdir. Modelde Chezy, c ve kanal düzensizliklerine bağlı difüzyiviteye ait K değeri kullanılmış ve modelin kalibrasyonu sürecinde bu parametreler deneme-yanılma yöntemiyle belirlenmiştir. Hipotetik olarak, $K=0$ değerine sahip bir dikdörtgen kanalın uygulanması sonucunda elde edilen çıktılar ($\Delta t=1$ saat, $\Delta x=1$ km), Saint Venant denklemlerine dayanan kapalı sonlu fark modeli sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, modelin en kesit alanının detaylı verilerine veya akarsu yatağının geometrisine ihtiyaç duymadan çalışabildiği belirlenmiştir. Sadece bu değerlerin ortalama değerlerine gereksinim duyduğu ve sınır şartlarının tek ya da tüm etkilerini analiz edebildiği gözlenmiştir. Ayrıca, belirli şartlarda hesap için daha az zaman gerektiren bir model olduğu tespit edilmiştir. Bu özelliği sayesinde, taşkın modellerinin daha hızlı ve verimli bir şekilde uygulanmasına olanak tanır.

Aldama (1990), doğal akarsularda taşkın ötelenmesinde arazi verilerindeki eksiklikler nedeniyle Saint Venant denkleminin kullanılmasının zor olduğunu ve bu durumda Muskingum Modeli gibi Yaklaşık tekniklerin tercih edildiğini araştırmıştır. Bu çalışmada, Muskingum ötelenmesi için mevcut en küçük karelerle parametre tahmin tekniklerini incelemiş ve Gill, Heggen ve O'Donnell tarafından sunulan farklı parametre tahmin metodlarıyla karşılaştırmıştır. Araştırmada, O'Donnell'in metodunu diğer iki tekniğe göre değiştirmiş ve Gill'in metodu ile O'Donnell'in değiştirilmiş metodunun taşkın öteleme hesaplarında daha açık ifadeler elde ettiğini belirtmiştir. Bu durum, parametre tahminlerinin daha kesin ve doğru yapılabilmesini ve taşkın ötelenme hesaplarının daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlar. Heggen'in yönteminin en büyük dezavantajının, matematiksel denklemin global minimumda temsil etmesi gerekmeyen bir iterasyon sonucunu gerektirmesi ve tahmin aşamasında K ve x parametrelerini doğrudan uygulayan test edilmiş bir prosedürün bulunmaması olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu parametrelere karşılık tamamının optimum olduğu tespit edilmiştir. Gill'in K ve x parametreleri üzerine olan tahminlerinin, Heggen ve O'Donnell'in değiştirilmiş metodundan daha iyi uyduğu sayısal deneylerle gösterilmiştir. Gill'in yöntemi, parametre tahminlerinin daha doğru ve güvenilir yapılmasına olanak sağlar ve Muskingum ötelenme modeli için daha etkili sonuçlar vermesini sağlar.

Araştırmada, doğrusal debi-depolama ilişkisi ile momentum denklemi yaklaşımına dayanan uygulamalar ile akarsu boyunca giriş hidrografına cevap veren Muskingum Modeli arasında karşılaştırma yapılmıştır. Gill'in yöntemi, bu açıdan tutarlı bir yaklaşım sağlayarak ötelenme parametrelerinin akarsuyun giriş hidrografına vereceği yanıtı en yeterli şekilde tahmin edebildiği ve bu yüzden kalibrasyon sürecinde kullanılan diğer modellere göre daha tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Schmid (1990), Kinematik dalga denkleminin çözümüne yoğunlaşarak, sabit etkili yağış şiddeti ve şok dalgaların etkisiyle birlikte Muskingum Cunge Modeli'nin etkinliğini araştırmıştır. Çalışmanın başlangıcında, Muskingum Cunge ötelenme modelinin, uygulanmış, kaydedilmiş ve hesaplanmış niceliklerde (örn. yağış, su derinliği) en uygun model olduğunu kanıtlamıştır. Ancak modelin sınırlı durumlarda geçerli olduğuna dikkat çekmiş ve bu nedenle Muskingum Cunge modelinin daha kapsamlı bir analiz için daha detaylı bir incelemeye ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, yönlendirilen bir analiz gerçekleştirmek amacıyla yarı analitik bir temel model kullanılmıştır. Özellikle vurgulayarak, iki düzlemlilik bir kaskatta Kinematik akımın yarı analitik ve Muskingum Cunge modeline dayalı yöntemleri arasında kapsamlı bir benzeştirmeyi içeren bir karşılaştırma yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, güçlü dalgaların olduğu ve olmadığı türbülanslı akım durumları için Muskingum Cunge ötelenmesinin tatmin edici sonuçlar üretebileceğini ortaya koymuştur. Ancak, şok dalgaların etkili olduğu laminer Kinematik akımları, Muskingum-Cunge Modelinin uygulanabilirlik sınırlarının dışında kalmış ve bu tür akımlar için modelin başarılı sonuçlar sağlayamadığı ifade edilmiştir.

Ponce (1991), kinematik dalga modeli üzerine yapılan tartışmaları göz önünde bulundurarak, kinematik dalgalarla ilgili çalışmalara odaklanmıştır. Araştırmaları, kinematik dalga difüzyonunun yapısını ve uygulanabilirliğini incelemeye yöneliktir ve kinematik şokun hesaplamalarda nasıl ele alındığına dair açıklığa kavuşturmayı amaçlamıştır. Ayrıca, uygulamada alanların belirlenmesi ve tüm modelleme kriterlerinin kontrolüne yönelik çabalar da çalışmanın bir parçasıdır. Ponce (1991), akarsu ve kanal akımları için difüzyon dalga denklemi ve yüzey akışı için de benzer bir yaklaşımla D ve hidrolik yayılım kullanarak denklemler geliştirmiştir. Bu denklemlerde, lokal ivme, konvektif ivme ve hareket denkleminin temel terimlerini

kullanmıştır. Çalışmasında, bu denklemleri hem analitik hem de sayısal yöntemlerle çözerek düzgün bir kinematik dalga durumunda, düşük bir taban/pik akım oranına, geniş ve uzun bir kanala ve yüksek Froude sayısına sahip akım şartlarında Kinematik şok oluştuğunu belirlemiştir.

Ponce (1991), yapay sayısal etkilerin ve küçük ağ boyutunun kinematik dalga çözümleri üzerindeki etkisini değerlendirmiş ve sonlu ağ boyutu nedeniyle sayısal difüzyon ve dağıtımın gerçek miktarına sahip olduğunu göstermiştir. Bu durumda, ağ boyutunun sonuçlar üzerinde etkili olduğuna dikkat çekmiş ve kinematik dalga metodunun özellikle 2.5 km²'den küçük, özellikle fiziksel detayların, modelin deterministik yapısıyla uyumlu bir şekilde çözülebildiği durumlarda, birim hidrograf metodunun ise 2.5 km²'den büyük, 1000 km²'den küçük orta ölçekli havzalarda daha uygun olduğunu ifade etmiştir. Sonuç olarak, Ponce (1991) çalışması kinematik ve difüzyon dalga teorilerinin dinamik bir genişleme ile modellenmenin, kanal ve akım şartlarının Verdernikov sayısının sıfırdan farklı olduğu durumlarda uygulanabilir olduğunu belirtmiştir. Özellikle sel rejimine yakın ve sel rejimli akımlar gibi durumlar için bu yöntemin uygun olduğunu göstermiştir. Perumal (1992), taşkın dalgalarını içeren bir zaman dağıtım planına dayanan çoklu doğrusal modelleme yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem, mevcut çoklu doğrusal modellerin sınırlamalarını ve eksik yönlerini ortadan kaldırmayı hedeflemiştir. Muskingum Modelini, hesaplamalarda doğrusal bir alt model olarak kullanarak önerilen bu yöntemin, giriş hidrografının ötelenmesi için sabit parametrelerin kullanıldığı mevcut çoklu doğrusal modellere benzemediğini vurgulamıştır. Bu sayede taşkın dalga hareketinin doğrusal olmayan davranışının daha iyi modellenebileceğini ve giriş hidrografının ötelenmesinde kullanılan akım bölgelerinin sayısının göreceli olarak belirlenmesi problemini ortadan kaldırdığını açıklamıştır. Perumal, taşkın ötelenmesi için önerilen yeni yöntemi yanal debisiz düzgün geniş dikdörtgen kanallarda kuramsal verilerle test etmiştir. Bu çalışmada, çoklu doğrusal modellenmenin başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Ağırlık parametresinin, giriş hidrografının karakteristiğine bağlı olarak 0.5 olarak tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, öteleme çalışmalarında kullanılan geçiş zamanı (K) değeri oldukça büyük bulunmuştur. Perumal'ın çalışması, taşkın dalgası ötelenmesi için daha doğru ve etkili bir yöntemin varlığını ortaya koymaktadır.

Perumal, geniş çaplı eğrilerle karakterize edilen bir taşkın hidrografının ötelenmesi durumunda daha uzun bir geçiş süresi ve daha geniş bir aralığın gerekeceğini açıklamıştır. Ağırlık parametresinin tahmininde Froude sayısını kullanmamanın daha uygun olacağı konusunda önerilerde bulunmuştur. Bu yaklaşım, taşkın dalgalarının daha gerçekçi bir şekilde modellendiğini ve mevcut çoklu doğrusal modellere göre daha hassas sonuçlar elde edildiğini vurgulamaktadır. Perumal'ın çalışması, taşkın ötelenmesi için geliştirilen bu yeni yöntemin etkinliğini ve doğruluğunu göstermektedir. Perumal (1994), taşkın ötelenmesi yöntemi için zaman dağılım şemasına dayalı bir inovatif doğrusal modelleme yaklaşımı geliştirmiştir. Bu çalışmada, farklı kanal ve akım karakteristiklerini ilişkilendiren çeşitli kademeli modelleri doğrusal alt modeller olarak entegre etmiştir. Bu iki parametrelili alt model, ötelenme başlangıcında çıkış hidrografını daha gerçekçi bir şekilde eşleştirerek ve Muskingum Modeline göre daha üstün sonuçlar üreterek dikkat çekmektedir. Perumal'ın bu çalışması, taşkın ötelenmesi alanında yeni bir bakış açısı sunarak, daha doğru ve etkili bir modelleme yönteminin potansiyelini ortaya koymaktadır.

Perumal (1994), düzgün dikdörtgen kanallarda taşkın ötelenmesi için giriş hidrografının ötelenmesi üzerine matematiksel bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, eğim ve Manning pürüzlülüğü açısından farklı üç kanal tipinde yapılan incelemelerle modelin uygunluğunu değerlendirmiştir. Giriş hidrografının ötelenmesini çeşitli mesafelerde gerçekleştirerek bu farklı kanallardaki performansı karşılaştırmıştır. Bu çalışması, taşkın ötelenmesi alanında yeni bir perspektif sunarak, farklı kanal tipleri ve hidrolik koşullar altında modelin etkinliğini matematiksel olarak göstermektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kullanılan doğrusal alt modeller, Saint Venant çözümlerine çok yakın sonuçlar üretmiştir. Bu yöntemle, ötelenme süresi ve akış oranları gibi parametrelerin belirlenmesinde öznelliğin göz ardı edileceği belirtilmiştir. Ayrıca, kanal boyunca ötelenme için parametrelerin değişimi incelenmiştir. Kanaldaki anahtar eğrisinin verilen giriş hidrografına göre belirlendiğinde geniş bir döngü ile karakterize edildiği ve geniş bir oran gerektiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, çalışmada kullanılan modelin kütlenin korunumu prensibine uygun olduğu da gösterilmiştir.

Ponce (1994) araştırmasında, değişken parametrelili Muskingum Cunge Modeli'nin farklı yapılarını dikkatli bir şekilde incelemiştir. Bu çalışma, modelin doğrusal ve

doğrusal olmayan tiplerini ayrı ayrı analiz ederek önemli bulgulara ulaşmıştır. Doğrusal modda, ötelenme parametrelerini hesaplamak için başlangıçta ortalama akım değerlerini kullanmış ve bu değerleri hesaplama süreci boyunca sabit tutmuştur. Ancak doğrusal olmayan modda, bölgesel akım değerlerinin her hesaplama adımında ötelenme parametrelerini güncellemiştir. Böylece, modelin akım şartlarına daha esnek ve dinamik bir şekilde adapte olması sağlanmıştır. Ponce'un çalışması, değişken parametrelili Muskingum Cunge Modeli'nin doğrusal ve doğrusal olmayan tipleri arasındaki farkları aydınlatmıştır. Doğrusal olmayan yapı, modelin gerçek hidrolojik durumları daha hassas bir şekilde simüle etmesini sağlamıştır. Bu araştırma, modelin uygulama esnekliğini artırarak, çeşitli akım koşullarında daha doğru sonuçlar elde edilmesine olanak tanımıştır.

Ponce (1994) araştırmasında, değiştirilmiş üç noktalı doğrudan ve dört noktalı iterasyonlu değişken parametreler metodu ile geniş bir pik debi aralığında sayısal deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, modeldeki kütle kaybının küçük fakat kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Pratik uygulamalarda, değişken parametre metoduyla yapılan küçük kütle kaybı, önemli bir dezavantaj oluşturmayacağını göstermiştir. Bu çalışma, modelin esnekliğini ve doğruluğunu artırarak, farklı hidrolojik senaryolarda güvenilir sonuçlar sağlamak için potansiyelini vurgulamaktadır. Muskingum Cunge modelinin hidrolojik verilerin (akarsu akım verilerinin) olmadığı durumlarda, hidrolik verilerin (enine kesit alanı, kanal eğimi, vb.) daha kolay belirlendiği durumlarda, klasik Muskingum modelinin daha karmaşık dinamik dalga modellerinin yerine geçebilecek bir alternatif olduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışma, daha az veri gereksinimi olan ve pratik uygulamalarda kullanılabilen bir modelin varlığını vurgulamaktadır.

Ponce ve Huston (1994), taşkın dalgalarının konveksiyon-difüzyon-dağılım denkleminde yer alan katsayılar üzerinde önemli bir çalışma sunmuştur. Bu çalışmada, literatürdeki diğer teorik çalışmalara da atıfta bulunarak, c , D , F ve η gibi katsayıların formülasyonlarını titizlikle incelemiştir. Froude sayısının esas hızın dinamik denkleme olan oranı, Verdernikov sayısının ise Kinematik dalga yayılım hızının dinamik dalga yayılım hızına olan oranı olduğunu açıklayarak, bu katsayılar arasındaki bağlantıyı vurgulamışlardır. Özellikle, taşkın dalgalarının konveksiyon-difüzyon-dağılım denkleminde üçüncü dereceden konvektif-difüzyon dağılım denklemini

kullanarak taşkın dalgalarının analizine daha detaylı bir yaklaşım getirmişlerdir. Bu çalışma, taşkın dalgalarının katsayıları hakkında daha derinlemesine bir anlayışa sahip olmamızı sağlayarak, ilgili alanda yeni keşifler yapılmasına katkı sağlamıştır.

Bajracharya ve Barry (1995) tarafından yürütülen araştırma, kimyasal madde taşınımı problemlerinde doğrusal olmayan bir Freundlich izotermiye dayalı boyutlu eriyik geçişinin sayısal çözümlerini incelemiştir. Muskingum-Cunge Yaklaşımı'nın bu tür problemlerin hızlı ve hassas bir şekilde çözülebileceğini göstermeyi amaçlayarak, genel sonlu fark şemasından başlayarak doğrusal olmayan reaktif geçiş problemini ele almışlardır. Araştırmada, toprağa kimyasal tutunmayı açıklamak için sıkça kullanılan Freundlich izotermi modelini seçmişlerdir. Muskingum-Cunge modelinde, mesafe ve zaman adım ölçüleri birleştirilerek oluşan belirsiz sayının neden olduğu zayıf ve doğru sonuç verememe durumunu dikkate alarak, doğrusal olmayan reaktif eriyik geçiş probleminin çözümü için aynı yaklaşımı uyarlamışlardır. Optimize edilmiş bir Muskingum-Cunge şeması önererek, mevcut Crank-Nicolson gibi standart sayısal çözümlerle karşılaştırmışlar ve bu yeni yaklaşımın basit ve etkili olduğunu göstermişlerdir. Optimize edilen prensipleri, gecikme kolonu ve sayısal işlemlerden kaynaklanan yuvarlanma hatasını en aza indirmeye yönelik bir strateji olarak açıklamışlardır. Yapılan sayısal deneylerle, verilen şartların doğru sonuçlarla çözüldüğünü kanıtlamışlardır. Elde edilen sonuçlar, topraktaki reaktif kimyasal geçişinin Freundlich izotermine uygun şekilde yumuşak doğrusal olmayan etkilere sahip olduğunu ve uygulamada toprak profilinin mesafe adımlarının integral sayılarına benzemediğini göstermiştir.

Barry ve Bajracharya (1995) adlı çalışmada, Ohio'daki Muskingum akarsuyunun taşkın kontrolü için geliştirilen Muskingum modeli titizlikle incelenmiştir. Muskingum modeli, iki parametrelili ve depolama için diferansiyel denkleme dayanan bir modeldir, ancak parametrelerin hesaplanış yöntemi zaman alıcı ve tahmin yeteneğinden yoksun olduğundan Cunge tarafından değiştirilmiş ve Muskingum-Cunge Modeli olarak adlandırılmıştır. Çalışmada, Dinamik Dalga, Difüzyon Dalga ve Kinematik Dalga Modelleri ile ilgili formülasyonlar detaylı bir şekilde sunulmuş ve sonlu fark çözümü ile sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, uygunluk analizi ile elde edilen sayısal sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir. Araştırmanın temel amacı, açık şartlar altında Muskingum-Cunge yaklaşımının Difüzyon Dalga denklemini her

zaman doğru sonuçlarla takip edip etmediğini göstermektedir. Çalışmada ayrıca, hidrolik ötelenme şemalarında yaygın olarak kullanılan yuvarlanma hatalarının Courant sayısı $C=1/2$ olduğu tespit edilmiş ve bu şartların mesafe ve zaman adımlarını sabitlediği belirtilmiştir.

Ponce ve diğer araştırmacılar (1996) tarafından yapılan çalışma, Muskingum Cunge Modelinin taşkın modellenmesinde etkinliğini analitik yöntemlerle sınamıştır. Bu çalışmada, pik sönmleme ve dalga yayılım hızı gibi önemli özelliklerin test edilmesi hedeflenmiştir. Muskingum Cunge Modelinin gerçek sayısal uygulamaları, analitik sonuçlarla karşılaştırılarak modelin gerçek taşkınların ötelenmesinde ne kadar doğru sonuçlar üretebildiği değerlendirilmiştir. Çalışmada, Muskingum Cunge Modelinin boyutsuz Courant ve Hüresel Reynolds sayıları ile ilgili bir geliştirme yapılmıştır. Bu boyutsuz sayılar, modelin taşkın dalga hareketini fiziksel ve sayısal açıdan ne kadar doğru yansıttığını ifade etmektedir. Muskingum ötelenme parametreleri de bu boyutsuz sayılara bağlı olarak $C1$, $C2$, $C3$ ötelenme katsayıları olarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Muskingum Cunge Modelinin taşkın modellenmesinde güvenilir ve etkili bir seçenek olduğunu göstermiştir. Yapılan 12 farklı test, modelin çıkış pikini analitik sonuçlarla uyumlu bir şekilde benzeştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, sayısal geçiş zamanı ile analitik geçiş zamanının benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Keskin ve Ağralıoğlu (1997), dikdörtgen kanallardaki taşkın ötelenmesi için Saint Venant denklemlerinin çözümüne yönelik yeni bir momentum denklemi formülasyonu geliştirmişlerdir. Yeni formülasyonda, momentum denklemini enine kesit alanı ve kanal debisiyle ilişkilendiren iki parametrelili kısmi diferansiyel denklem olarak ele almış ve bu modelin çözümünü açık sonlu fark şeması kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan basit aşamalı sayısal algoritma ile elde edilen sonuçları, literatürden seçtikleri genel Dinamik Model çözümleriyle karşılaştırmışlar ve kullanılan yeni Dinamik Modelin diğer genel Dinamik Modellerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu yeni basitleştirilmiş modelin formülasyonunun diğer yöntemlere göre daha anlaşılır ve hesaplama süresinin daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, modelin Kinematik Modelle karşılaştırılması sonucunda, basitleştirilmiş Dinamik Modelin daha düşük pik debi ve sönmleme değerleri elde ettiği görülmüştür. Kinematik Modelin uygun olmadığı senaryolarda, bu yeni basitleştirilmiş Dinamik Modelin daha uygun bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

Birkhead ve James (1998) akarsulardaki çevresel su ihtiyacının belirlenmesi için akış miktarının hidrolik koşullarda açıklanmasının önemini altını çizmişlerdir. Ancak, geleneksel yöntemlerle bu akış verilerini anahtar eğrilerle elde etmenin zor ve zaman alıcı olduğunu dile getirmişlerdir. Dolayısıyla, akarsu seviyelerinin bir dere boyunca kolayca izlenebildiği ve taşkın ötelenme teknikleriyle aynı akarsu üzerindeki farklı noktadaki akış verileriyle ilişkilendirilebileceği alternatif bir yaklaşımın gerekliliğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, yerel alandaki eş zamanlı ve kısa süreli akış verilerini doğrusal olmayan Muskingum modeline dahil ederek, uygun bir şekilde ayarlanmış tahmin fonksiyonunun parametrelerini elde etmişlerdir. Bu yaklaşım, daha hassas bir akarsu ötelenmesi için tahmin değerlendirme ilişkisini revize ederek ve dinamik akarsu depolamasını dikkate alarak Güney Afrika'daki Sabie Nehri üzerinde izlenen bölgeye uygulanmış ve doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır.

Camacho ve Lees (1999), taşkın ötelenmesi için kullanılan iki parametrelili çoklu doğrusal kademeli modelinin geliştirilmiş bir versiyonunu tanıtarak literatüre katkı sağlamışlardır. Bu geliştirilmiş üç parametrelili model, farklı kavramsal doğrusal kanal elemanlarına sahip olan ve zaman gecikmesi parametresi ile karakterize edilen doğrusal alt öğeleri bir araya getirir. Zaman gecikmesi parametresinin tahmin uygulamalarında özellikle uygun olduğunu gösterir ve taşkın ötelenmesi modellemesinde daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar. Araştırmacılar, zekice düşünülmüş değişken zamanlı parametrelerin, standart bir kanalın genişletilmiş doğrusal etkisini temsil eden momentum yöntemiyle birleştirilmesi sonucu, fiziksel kanal karakteristikleriyle uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir. Bu geliştirilmiş modelin performansını farklı hidrolik koşullar ve kanal geometrileri için test etmek amacıyla, çoklu doğrusal model sonuçları ve tam Saint Venant denklemleriyle karşılaştırmalar yapmışlardır. Sonuçlar, genişletilmiş modelin ek serbestlik derecesi sayesinde, taşkın dalga dağılımının daha doğru tahminlerine izin verdiğini ve önerilen matematiksel modelin kısa mesafelerde yeterli düzeyde doğru tahminler sunduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, özgün bir yaklaşımla, kanallardaki taşkın ötelenmesini daha etkili bir şekilde modellemek için değişken parametrelili bir yöntem geliştirmişlerdir. Yeni yöntemde, zaman ve mekânla değişen parametrelerle birlikte momentum denklemlerini entegre etmişler ve bu şekilde taşkın dalga dağılımını daha doğru bir şekilde tahmin etmeyi başarmışlardır. Yapılan testler, geliştirilen modelin farklı hidrolik koşullar ve kanal geometrileri için başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Ayrıca, üniform kanallarda kullanılan geleneksel yöntemlerin, bazı durumlarda pratik olmadığını belirlemişlerdir. Bunun yerine, gelgitlerin ve yan derelerin etkisi olmayan bölgelerde, basit ve doğrusal sınır şartları kullanmanın uygun olduğunu vurgulamışlardır.

Sonuç olarak, bu çalışma, taşkın dalgalarının karmaşık doğasını başarılı bir şekilde modellendirme ve doğru sonuçlar elde etme çabasını yansıtmaktadır. Yapılan analizler, yeni yöntemin mevcut standart modellere kıyasla daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu şekilde, taşkın dalgalarının hidrolik koşullarını ve dağılımını daha iyi anlamak ve yönetmek için yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

Ponce ve Lugo (2001) tarafından yapılan çalışma, Muskingum Cunge taşkın ötelenme modelini iyileştirerek döngülü anahtar eğrilerin etkin bir şekilde modellenmesine odaklanmıştır. Bu geliştirilmiş modelde, döngülü eğrilerin alanlara doğru genişletilmesi sağlanmış ve geleneksel dört noktalı modelde hidrolik difüzyon ifadesindeki su yüzeyi eğimi ve Verdernikov sayısı dikkate alınmıştır. Yapılan deneyler, bu yeni modelin özellikle kinematik ya da difüzyon kararsız akım şartları altında döngülü eğrilerin oluşumunu başarıyla simüle ettiğini göstermiştir. Araştırmacılar, modeli sayısal deneylerle test etmiş ve döngü kalınlığı, kütle korunumunun yüzdesi, çözüm seviyesi, taşkın dalgası periyodu, baz akışı ve giriş-çıkış akımlarının pik oranının farklı değişkenlerle ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Elde edilen sonuçlar, araştırmacıların ötelenme modellerinin taşkın dalgalarının doğrusal olmayan etkilerini başarıyla benzeştirebileceğini gösterdiğini ortaya koymaktadır. Döngülü anahtar eğrilerinin dinamik dalga modeli ile uyumlu sonuçlar ürettiği ve Muskingum Cunge modeli ile elde edilen eğrilerle başarılı bir şekilde karşılaştırılabildiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, su yönetimi ve taşkın kontrolü gibi uygulamalarda daha doğru tahminler yapmak için ötelenme modellerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca, döngülü anahtar eğrilerinin doğru şekilde modellenmesi, taşkın ötelenme süreçlerinin daha iyi anlaşılmasına ve etkili çözümlerin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen modelin, Muskingum Cunge modelinin geniş uygulanabilirliği ile kinematik/difüzyon kararsız akım şartları altında döngülü eğrilerin başarıyla oluşturulması için etkili olduğu belirtilmiştir.

Choudhury (2007), Muskingum modelini, yatay akış olmayan iki boyutlu basit kanallarda uygulanabilir hale getirerek taşkın öteleme şartlarını incelenmiştir. Bu çalışmada, mansaptaki akımı tahmin etmek için sınırlı bir zaman aralığı ve mevcut akıma dayalı olarak tahmin formülü geliştirilmiştir. Farklı havzalardan gelen ve mansapta birleşen giriş akımlarını, tek bir çıkış akımı olarak birleştirmek için Muskingum şartı uygulanarak ideal bir Muskingum modeli oluşturulmuştur. Choudhury, makalesinde Muskingum modelinin güncellenmiş bir sürümünü sunarak, birden fazla giriş akımının etkin bir şekilde hesaplanabildiğini göstermiştir. Bu geliştirilmiş model, parametresiz akarsularda da kullanılabilir ve birden fazla giriş ve çıkış akımını tek bir giriş ve çıkış akımı olarak başarılı bir şekilde modellendirebilmektedir. Bu sayede, Muskingum-Cunge modeline benzeyen çoklu akımlı bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Birden fazla giriş akımı durumunda, diğer tahmin modellerine kıyasla hesaplamalar daha basit hale gelmiş ve mansaptaki çıkış akımının önceden tahmin edilmesi kolaylaşmıştır. Aynı zamanda, modelin performansını kinematik dalga modeli ile karşılaştırarak doğruluk düzeyini değerlendirmiştir. Choudhury, Hindistan'daki Normada Havzası'ndaki taşkınlara bu modeli uygulamış ve sonuçlarda başarı elde etmiştir.

H.R. Moradi, M. Vfakhah ve A. A. Baviel (2007), kanal, gölet veya drenaj yapıları gibi yapılar üzerinde, tek ya da birden fazla noktada meydana gelen taşkın dalgalarının hızı, büyüklüğündeki değişim ve taşkın dalgasının ilerlemesi için matematiksel bir sürecin önemini belirtmiştir. Bu süreçte, hidrolik ve hidrolojik metotları kullanarak taşkın öteleme problemi çözümlenmiştir. Bu çalışmada, bilim insanları hidrolojik ve hidrolik yöntemleri incelerken farklı yaklaşımların olduğunu gözlemlemişlerdir. Hidrolojik yöntemlerin daha basit adımlar içerdiğini, ancak hidrolik yöntemlerin daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Dolayısıyla, taşkın kontrolü ve tasarımı için hidrolik yöntemleri tercih etme kararı almışlardır. Bu çalışma Azerbaycan'da yapılmış olup, Lighvan akarsuyunun Lighvan ve Hervy hidrometrik istasyonları arasında 12 km uzaklıktaki bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Akımın dönüş periyodunu memba istasyonundan elde edilen verilerle belirlemişlerdir (2, 10, 20, 50 ve 100 yıl). Daha sonra, her bir dönüş periyodu için Muskingum ve Muskingum-Cunge modellerini kullanarak analizlerini yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, iki yöntemin Hervy istasyonundan dönüş periyoduna bağlı olarak önemli bir ayırım sergilediğini açığa çıkarmıştır. Bu farkın çeşitli nedenleri mevcuttur; örneğin,

dağlık bölgedeki arazi Şekli, iki istasyon arasındaki su akıŐını etkileyebilir. Bu durum, akarsu rejimi ve taşkın karakteristiği üzerinde etkili olabilir.

2. TAŞKIN ÖTELEME YÖNTEMLERİ

2.1 Genel

Taşkın kontrol yöntemleri, su taşkınlarının etkilerini azaltmak ve yönetmek için kullanılan önemli hidrolojik mühendislik teknikleridir. Bu yöntemler, yoğun yağışlar, kar erimeleri ve diğer doğal olaylar nedeniyle nehirlerin veya akarsuların taşmasını engellemeyi amaçlar. Su taşkınlarının zararlarını minimize etmek, çevreye olan etkilerini sınırlamak ve insanların ve yapıların güvenliğini sağlamak için bu yöntemler kullanılır. Taşkın kontrol yöntemleri, suyun düzenli yayılmasını ve taşkın alanlarında hasarı azaltmak için farklı yapılar ve tasarım stratejileri kullanarak suyun kontrol altına alınmasını içerir. Bu yapılar arasında barajlar, su depolama havuzları, taşkın setleri, kanalizasyon sistemleri ve drenaj sistemleri bulunur. Bu yöntemler, su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi ve altyapı planlaması konularında kritik bir rol oynar ve toplumların güvenliğini artırarak su taşkınlarının getirdiği riskleri minimize etmeye yardımcı olur.

2.2 Toplu Akış Ötelemesi

Hidrograf ötelemesi, aslında giriş akış hidrografının bir belirli alan içinde, örneğin bir nehir bölümü veya bir gölette, mekânsal ve zaman içinde nasıl değişeceğini tahmin etmeye çalıştığımız bir süreçtir. Bu öteleme süreci, genellikle iki temel türe ayrılır, bunlar hidrolojik öteleme ve hidrolik ötelemedir. Hangi türün kullanılacağı genellikle deneylere veya fizik tabanlı yaklaşıma bağlıdır. Hidrolojik öteleme, bir nehir veya gölette suyun girişten çıkışa kadar olan hareketini, önceden belirlenmiş bir depolama-çıkış ilişkisi ve kütle korunumu yasasını temel alarak tahmin eder. Bu ilişki lineer veya doğrusal olabilir. Diğer yandan hidrolik öteleme hem kütle korunumu hem de momentum yasalarını kullanarak suyun hareketini modellemeye dayanır.

2.2.1 Hidrolojik Öteleme

Hidrolojik öteleme, hidrolik ötelemeye göre daha basit bir yaklaşım olmasına rağmen, gerçek dünya uygulamalarında çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Örneğin, hidrolojik öteleme, yukarı akış bir konumun koşullarını bilerek aşağı akış bir konumda sel tahmini yapmak için kullanılabilir. Ayrıca, havza simülasyon çalışmalarında dağıtılmış doğanın modellenmesinde kullanılır; bu çalışmalarda alt havza düzeyinde oluşturulan hidrograflar, aşağı akış konumlara yönlendirilir. Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi ile ABD Mühendisler Kolordusu gibi kuruluşlar, şiddetli fırtına öncesi sel tahminlerinde hidrolojik öteleme yöntemlerini kullanır. Ayrıca, hidrolojik öteleme, gölette sel kontrol önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi ve kentselleşmenin çevresel etkilerinin analizinde de kullanılır. Giriş akış hidrografının bir hidrolojik eleman içinden geçişi, depolama elemanındaki suyun birikmesi ve çıkış akış hidrografının zaman içinde değişimi gibi sürekli olmayan bir süreçtir. Hidrolojik eleman içinde giriş, çıkış ve depolama, kütle korunumu yasasına göre aşağıdaki şekilde ilişkilendirilebilir.

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t) \quad (2.1)$$

Burada, I giriş akış hızını (m^3/s) temsil eder, Q çıkış akış hızını (m^3/s) temsil eder ve S hidrolojik eleman içindeki depolamayı (m^3) ifade eder. Bu denklem (2.1), sürekli bir zaman diliminde geçerli olmakla birlikte, nehirdeki deşarj verileri genellikle belirli zaman aralıklarında toplanır veya analiz edilir. Verilerin çok küçük bir zaman aralığı (Δt) içinde kullanılabilir olduğunu varsayarsak, bu durumda hidrolojik değişkenler (I, Q ve S) bu küçük zaman aralığında lineer kabul edilebilir. Bu durumda, Denklem (2.1), zaman aralığının başında ve sonunda giriş ve çıkışın ortalama değerlerini alarak aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir. Burada, alt indeks 1 zaman aralığının başlangıcını, alt indeks 2 ise Δt zaman aralığının sonunu temsil eder.

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right) \Delta t - \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \Delta t = S_2 - S_1 \quad (2.2)$$

2.2.2 Hidrolik Öteleme

Hidrolik öteleme, hidrolojik öteleme yöntemine göre daha hassas sonuçlar sağlar. Bu yaklaşım, gözlem istasyonlarının bulunmadığı havzalarda kavramsal birim hidrograf geliştirmek için oldukça faydalıdır. Aynı zamanda, dağıtılmış yağış-akış modellemesi ve simülasyon çalışmalarında önemli bir rol oynar. Nehirlerdeki akış, sürekli ve momentum denklemlerinin kararsız formundan etkilenen sürekli bir olaydır. Bir nehrin kararsız akışı için (yan akış giriş/çıkışı olmadığını varsayarsak) sürekli denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

Bu denklemde, Q akış debisini, T akış kesitinin üst genişliğini temsil ederken, y akış derinliği ve x akış yönünü ifade eder. Nehirdeki kararsız akışın hareket denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = S_o - S_f \quad (2.4)$$

Yukarıda verilen süreklilik ve momentum denklemleri, Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant (1871) tarafından ilk defa geliştirilmiştir ve St. Venant denklemleri olarak bilinirler. Bu denklemler, aynı anda hem neredeyse doğrusal hem de hiperbolik türde birinci dereceden kısmi diferansiyel denklemleri temsil ederler ve genellikle analitik olarak çözülmesi zor olan denklemlerdir. Analitik çözümler, genellikle oldukça basitleştirilmiş sistemler için mümkün olabilir ve bu nedenle bu denklemler, genellikle büyük ölçekli sistemler için sayısal teknikler ve yüksek hızlı bilgisayarlar kullanılarak çözülürler.

St. Venant denklemlerini çözmek için bir dizi sayısal yöntem mevcuttur ve bunlar genellikle iki kategoriye ayrılabilir: (a) kısmi çözüm yöntemleri ve (b) tam sayısal yöntemler. Kısmi çözüm yöntemlerinde ya sadece süreklilik denklemi kullanılır veya momentum denkleminin büyük ölçüde basitleştirilmiş bir versiyonu, süreklilik

denklemleri ile birlikte çözülür. Hidrolojik rezervuar öteleme yöntemi, Muskingum Nehir Öteleme yöntemi ve Kinematik Dalga yöntemi gibi yaklaşımlar, kısmi çözüm yöntemi kategorisine aittir. Bu yöntemlerde genellikle ya süreklilik denklemi ya da basitleştirilmiş momentum denklemi çözülür. Tam sayısal yöntemler ise hem süreklilik hem de momentum denklemlerini aynı anda çözmek için sofistike sayısal teknikler kullanırlar. Tam sayısal yöntemler üç farklı türde olabilir: (a) Sonlu Fark Yöntemleri, (b) Karakteristikler Yöntemi veya (c) Sonlu Eleman Yöntemleri. Sonlu Fark Yöntemleri, kısmi türevlerin sonlu fark yaklaşımlarıyla hesaplandığı yöntemlerdir. Bu yaklaşım, St. Venant denklemlerini cebirsel denklemlere dönüştürerek ve bu denklemlerdeki bilinmeyenleri çözmek için kullanılan bir dizi yöntemle uygulanır. Sonlu Fark yöntemleri, genellikle iki alt kategoriye ayrılır: açık ve kapalı yöntemler. Açık yöntemler, her zaman adımın sonunda bilinmeyen değişkenlerin bilinen nicelikler kullanılarak açık bir şekilde hesaplandığı için kullanımı kolaydır. Öte yandan, kapalı Sonlu Fark yöntemleri, bilinmeyen miktarların yinelemeli prosedürler yoluyla hesaplandığı için hesaplama açısından daha maliyetlidir. Karakteristikler Yöntemi'nde, St. Venant denklemleri önce olağan diferansiyel denklemlere dönüştürülür ve ardından herhangi bir Sonlu Fark yöntemi kullanılarak çözülür. Sonlu Eleman yöntemlerinde ise sistem, küçük elemanlardan oluşan bir ağ olarak kabul edilir ve tüm düğüm noktalarındaki bilinmeyen miktarları elde etmek için bu ağ entegre edilir.

Hidrograf ötelemesi doğal nehirlerde, birçok ücretsiz ve ticari bilgisayar yazılım sistemi aracılığıyla başarıyla uygulanmıştır. Ücretsiz bir yazılım olan Hidrolojik Mühendislik Merkezi Nehir Analiz Sistemi (HEC-RAS), ABD Ordusu Mühendisler Kolordusu (USACE) tarafından geliştirilmiştir. HEC-RAS, doğal nehirlerde su yüzeyi seviyesini tek boyutlu akış analizi kullanarak hesaplayabilen, sel akışlarını simüle edebilen, basit sediment taşıma hesaplamaları gerçekleştirebilen ve su kalitesi analizleri yapabilen bir yazılımdır. FLDWAV, ABD Ulusal Hava Servisi (NWS) tarafından geliştirilen ve Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (FEMA) tarafından desteklenen başka bir geliştirilmiş sel öteleme bilgisayar programıdır. Bu yazılım, tek bir akarsu veya birbirine bağlı su yolları sistemi üzerinden akışları modelleme yeteneğine sahiptir. Hidrograf öteleme ve analizi için popüler yazılım örneklerinden bazıları şunlardır: FLO-2D (FLO-2D, Inc., ABD), TUFLOW ve MIKE-FLOOD.

2.3 Bir Rezervuar İle Hidrolojik Öteleme

Havza giriş hidrografının bir rezervuardan geçişi, yalnızca süreklilik denklemi (Denklem 2.2) kullanılarak gerçekleştirilir. Giriş hidrografının rezervuardan geçerken uğradığı değişiklikler, rezervuarın depolama özelliklerine bağlı olarak şekillenen çıkış hidrografına yansır. Herhangi bir zaman t 'sinde girişi $I(t)$, çıkışı $Q(t)$ ve rezervuardaki depolamayı $S(t)$ temsil etsin. Rezervuardaki depolama, içindeki su seviyesinin bir işlevi olacaktır, yani $S = S(h)$.

Rezervuardaki su seviyesi zamanla sürekli olarak değişir, yani $h = h(t)$, çünkü giriş hidrografı rezervuardan geçerken zamanla ilerler. Genellikle bir rezervuar, kontrolsüz taşma kanalı şeklinde bir çıkış yapısına sahiptir. Rezervuardan taşan akış, aşağıdaki tahliye denklemi kullanılarak ifade edilir:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L_e H^{3/2} \quad (2.5)$$

Bu bağlamda, C_d deşarj katsayısını, L_e taşma kanalı tepe uzunluğunu ve H taşma kanalının üzerindeki su yüksekliğini ifade eder. Eğer rezervuarın sonunda başka bir çıkış yapısı, örneğin kontrol edilen bir taşma kanalı veya su tahliyesi kapakları gibi, bulunuyorsa, $Q = Q(H)$ için Denklem (2.5) yerine kullanılabilen bir karşılık ilişkisi kabul edilebilir. H , rezervuardaki su seviyesini belirli bir referans noktasının üzerinde temsil ederken, h rezervuardaki su yüzey seviyesini temsil eder ve uygun bir referans noktasına dönüştürülebilir. Rezervuardan kaynaklanan hidrolojik öteleme sorunu, $I(t)$ değerleri, depolama hacmi ile yükseklik ilişkisi (S v/s h), çıkış yapısının su yüksekliği ile ilişkisi (Q v/s H), ve başlangıç koşulları ($t = 0$ 'da $Q(t)$ ve $S(t)$ değerleri verildiğinde), $Q(t)$ ve $S(t)$ 'nin hesaplanmasını içerir. Bu amaçla birçok yöntem mevcuttur.

2.3.1 Modifiye Puls Yöntemi

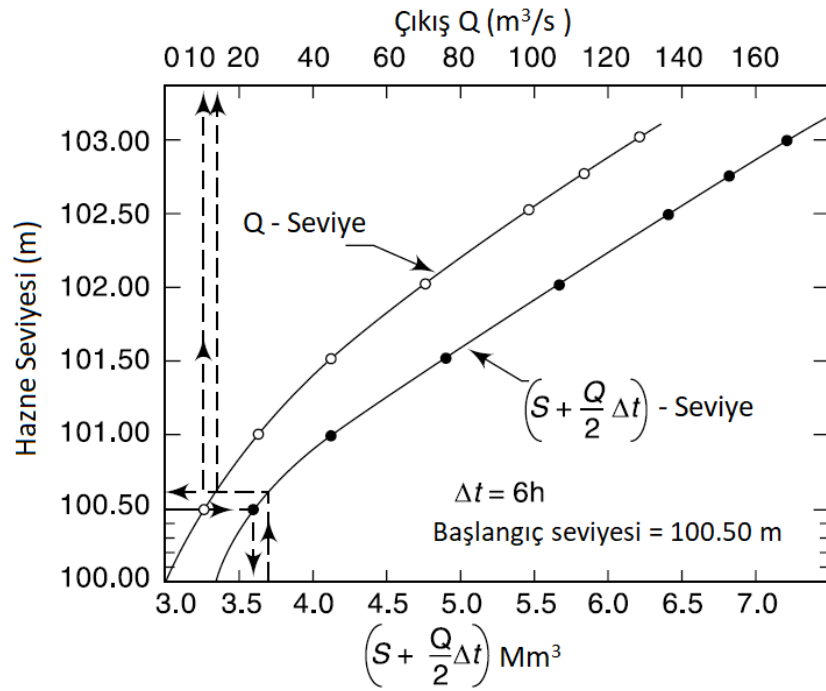
Hidrografın bir rezervuardan geçişi için Modifiye Puls yöntemi, yarı-grafik bir yöntemdir ve aynı zamanda seviye havuzu ötelemesi olarak da bilinir. Bu yöntem sadece süreklilik denklemini (Denklem 2.2) kullanır. Bu denklem, tüm bilinmeyen miktarları sağ tarafta toplayacak şekilde yeniden düzenlenebilir.

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)\Delta t + \left(S_1 - \frac{Q_1\Delta t}{2}\right) = \left(S_2 + \frac{Q_2\Delta t}{2}\right) \quad (2.6)$$

Hidrograf ötelemenin başlangıcında, rezervuardaki çıkış ve depolama değerleri (Q_1 ve S_1) başlangıç koşullarından bilinmektedir. Bu nedenle, denklemin sol tarafındaki tüm değerler bilinmektedir. Bu durumda, Denklem (2.6) sağ tarafındaki ifade tahmin edilebilir. $(S + Q\Delta t/2)$ terimi, endikatif depo olarak adlandırılır ve bir hidrografın rezervuardan hidrolojik olarak yönlendirilmesinde oldukça kullanışlıdır. Herhangi bir Δt zaman aralığının sonunda endikatif depo, Denklem (2.6) kullanılarak kolayca hesaplanabilir. Bu hesaplama yapıldığında, Δt zaman aralığının sonunda Q ve S değerlerini (yani, Q_2 ve S_2) belirlemek için yarı-grafik bir yöntem kullanılabilir. Her zaman aralığının sonundaki Q ve S değerlerini belirleme süreci aşağıdaki adım adım bir prosedürle açıklanmaktadır.

- Giriş ve çıkış ilişkilerinin, Δt süresi boyunca lineer olduğu kabul edildiğinden, Δt 'nin çok küçük bir değeri seçilir. Yaklaşık bir değer olarak, Δt , giriş hidrografının zirveye ulaşma süresinin yaklaşık beşte biri olarak alınabilir.
- "S v/s h" ve "Q v/s h" verilerini kullanarak, h değerine karşılık gelen yaklaşık depolama eğrisini oluşturmak için $(S + Q\Delta t/2)$ v/s h eğrisini çizin ve bu verileri bir grafik üzerinde gösterin.
- "H vs. S + Q $\Delta t/2$ " ve "h vs. Q" eğrilerini aynı grafik üzerinde çizin. Bu grafikte, rezervuardaki su seviyesi (h) y-ekseninde, endikatif depo $(S + Q\Delta t/2)$ birinci x-ekseninde ve çıkış (Q) ikinci x-ekseninde gösterilir.
- Zaman aralığının başlangıcındaki bilinen değerleri kullanarak endikatif depoyu hesaplayın $(S_2 + Q_2 \Delta t/2)$

- Endikatif depo ile h eğrisinden karşılık gelen h değerini bulun.
- "Q vs. h" eğrisinden, belirli bir h değerine karşılık gelen Q değerini bulun. Bu, Δt zaman aralığının sonundaki çıkış, yani Q_2 'dir.
- Q_2 değeri bilindiğinde, Δt zaman aralığının sonundaki endikatif depo (S_2), Q_2 değerinden $\Delta t/2$ çıkartılarak hesaplanabilir.
- Δt zaman aralığının sonundaki endikatif depodan ($S_2 + Q_2\Delta t/2$) değerinden $Q_2\Delta t$ 'yi çıkartarak ($S_2 - Q_2\Delta t/2$) değerini elde edin. Bu, bir sonraki zaman aralığı için Denklem (2.6) sol tarafındaki ikinci terimi ifade eder.
- Adım 4'e geri dönün ve Adım 4'ten 8'e kadarki prosedürü bir sonraki zaman aralığı için tekrarlayın. Bu işlem, giriş hidrografının tüm zaman aralıkları için Q ve S değerleri belirlenene kadar devam eder.
- Çıkış ve giriş hidrografları daha sonra karşılaştırma amacıyla aynı grafik üzerinde çizilir.



Şekil 1 :Modifiye Puls Yöntemi ile haznede taşkın ötelenmesi.

Bir rezervuardan veya bir kanal kesiminden geçerken giriş hidrografının zirve deşarjının azalması olayına "sönümlenme" denir. Ayrıca, çıkış hidrografındaki zirve deşarjın meydana geldiği zaman gecikme yaşandığında buna "zirve gecikmesi" veya giriş hidrografının geçişi sırasında yaşanan gecikme olarak adlandırılır.

2.3.2 Goodrich Yöntemi

Goodrich'in rezervuar üzerinden hidrograf öteleme yöntemi, Modifiye Edilmiş Puls yöntemine oldukça benzer bir yarı-grafik yöntemdir. Modifiye süreklilik denkleminde (2.6), tüm miktarlar hacimsel birimlerde (m^3) ifade edilir. Bununla birlikte, bu denklem biraz farklı bir biçimde düzenlenebilir, böylece ilgili miktarlar deşarj birimlerinde (m^3/s) ifade edilir.

$$(I_1 + I_2) + \left(\frac{2S_1}{\Delta t} - Q_1 \right) = \left(\frac{2S_2}{\Delta t} + Q_2 \right) \quad (2.7)$$

Goodrich yöntemi ile Modifiye Edilmiş Puls yöntemi arasındaki adımlar benzerdir. Tek fark, Goodrich yönteminde gösterge depolamanın deşarj birimlerinde ifade edilmesi ve $(2S/\Delta t + Q)$ şeklinde yazılmasıdır. Bu, Modifiye Edilmiş Puls yöntemiyle karşılaştırıldığında 8. adımda değişiklik olarak ortaya çıkar, burada $2Q_2$ gösterge depolamasından çıkarılır.

2.3.3 Standart Runge-Kutta Yöntemi

Rezervuardan gelen giriş hidrografını ötelemek için kullanılan iki yöntem yarı-grafik yöntemlerdir ve bilgisayarda uygulanması bazı zorluklar içerebilir. Bu nedenle süreklilik denkleminin ve rezervuar özelliklerini kullanarak diğer sayısal yöntemler tercih edilebilir. Farklı sıralardaki Runge-Kutta yöntemleri, hidrografların rezervuardan yönlendirilmesi için kullanılabilir. Özellikle dördüncü dereceden Standart Runge-Kutta Yöntemi, hidrologlar tarafından doğruluk ve uygulanabilirlik nedeniyle sıkça

kullanılmıştır. Daha önce gördüğümüz gibi, giriş hidrografi bir rezervuardan geçerken depolama sürekli olarak zamanla değişir. Bir rezervuardaki depolama değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\frac{dS}{dt} = A(h) \frac{dh}{dt} \quad (2.8)$$

Burada A , rezervuarın su yüzeyinin h yüksekliği ile ilişkilendirilen alanıdır. Rezervuardan çıkan Q çıkışı, rezervuardaki su seviyesinin bir fonksiyonu olarak ifade edilir, yani $Q = Q(h)$. Süreklilik denklemi (2.1) ve Denklem (2.8) aşağıdaki gibi birleştirilebilir.

$$I(t) - Q(h) = A(h) \frac{dh}{dt} \quad (2.9)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{I(t) - Q(h)}{A(h)} = f(t, h) \quad (2.10)$$

Bu noktada, $f(t, h)$ işlevi, $I(t)$ giriş hidrografına, $Q(h)$ ise rezervuarın sonundaki çıkış yapısının türüne bağlı olan deşarj ilişkisine ve $A(h)$ rezervuarın su yüzey yüksekliğine bağlı olan yüzey alanı-depozit ilişkisine bağlıdır.

Bir hidrolojik modelleme probleminde, giriş hidrografi öteleme işlemi, $t = 0$ anındaki başlangıç su seviyesi (S) ve akış hızı (Q) değerlerinin bilindiği bir noktada başlar. Herhangi bir zaman aralığının sonundaki rezervuardaki su seviyesi, dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplama, aşağıdaki denklemlerle açıklanabilir:

$$h_{t+\Delta t} = h_t + \frac{1}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)\Delta t \quad (2.11)$$

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= f(t, h_t) \\ K_2 &= f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, h_t + \frac{1}{2}K_1\Delta t\right) \\ K_3 &= f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, h_t + \frac{1}{2}K_2\Delta t\right) \\ K_4 &= f(t + \Delta t, h_t + K_3\Delta t) \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Başlangıç koşulları, giriş hidrografı $I(t)$ ile rezervuarın su seviyesi h ve çıkış deşarj derecelendirme eğrisi (h karşısında Q) ile verildiğinde, dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi aşağıdaki adımlarla uygulanır:

- Δt zaman aralığının küçük bir değer olduğunu ve giriş hidrografının bu zaman aralığında doğrusal kabul edilebileceğini varsayarak, küçük bir zaman adımı Δt seçebilirsiniz.
- $t = 0$ 'daki başlangıç değeri olarak h 'yi kullanarak, mevcut iki ilişkiden Q çıkışı ve A rezervuarının yüzey alanını hesaplayabilirsiniz.
- $F(t, h)$ fonksiyonunun değerini hesaplamak için, zaman aralığının başlangıcındaki I , Q ve A değerlerini içeren (2.10) denklemini kullanın.
- Eşitlik (2.12) kullanılarak Runge-Kutta parametrelerini (K_1 , K_2 , K_3 ve K_4) hesaplayın. Unutmayın ki zaman adımı $(t + \Delta t/2)$ 'deki giriş akışı değeri, zaman aralığı Δt 'nin başlangıcı ve sonundaki giriş akışı değerlerini, yani sırasıyla $I(t)$ ve $I(t + \Delta t)$ 'yi kullanarak doğrusal bir şekilde interpolasyon yaparak hesaplanabilir.
- Zaman aralığı Δt 'nin sonunda rezervuardaki su seviyesi, $h(t + \Delta t)$, eşitlik (2.11) kullanılarak hesaplanabilir.
- Zaman aralığı Δt 'nin sonunda çıkış deşarjı, $Q(t + \Delta t)$, mevcut çıkış derecelendirme eğrisi (Q ile h arasındaki ilişki) kullanılarak hesaplanır.
- Zaman adımı $(t + \Delta t)$ için rezervuarın yüzey alanını, rezervuar için mevcut A ile h ilişkisini kullanarak hesaplanır.
- Adım 3'e dönün ve adım 3'ten adım 7'ye kadar bir sonraki zaman aralığı için tekrarlayın. Bu prosedürü, iç akış hidrografındaki tüm zaman aralıkları için h ve Q değerleri belirlenene kadar sürdürün.

- Rezervuardaki depolama miktarı, rezervuar için mevcut yükseklik (h) ve depolama miktarı (S) arasındaki ilişkiyi kullanarak her zaman adımında hesaplanabilir.
- Çıkış ve giriş hidrografları daha sonra karşılaştırma amacıyla aynı grafik üzerine çizilir.

2.3.4 Giriş Hidrografi Özelliklerindeki Değişiklikler

Yukarıda sunulan rezervuardan gelen hidrograf öteleme örnekleri, iç akış hidrografının rezervuardan geçerken nasıl değiştiği hakkında bazı içgörüler sunmaktadır. Bu tür değişikliklerin iç akış hidrografının karakteristiklerini incelemek, özellikle sel sırasında rezervuarın etkili yönetiminde önemlidir. Diğer bir önemli husus, iç akış hidrografının rezervuardan çıkarken çıkış hidrografına dönüşürken tepe deşarjının nasıl değiştiğidir. Çıkış hidrografının tepe deşarjı, iç akış hidrografının tepe deşarjından daha küçük olmasına rağmen, çıkış hidrografının tepe deşarjı, iç akış hidrografının tepe deşarjına kıyasla zaman açısından gecikir. İç akış hidrografının tepe deşarjının azalması, "zayıflatma" olarak adlandırılır ve tepe deşarjın gecikmesi (iç akış ve çıkış hidrografının tepe deşarjlarının oluşma zamanı arasındaki zaman farkı) "gecikme" olarak anılır. Bir rezervuardan çıkış kontrolsüz olduğunda, çıkış hidrografının tepe noktası iç akış hidrografının zayıflayan bölümü ile kesişir. Zayıflatma ve gecikme miktarları, rezervuar depolama özellikleri, çıkış yolu özellikleri ve başlangıç koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır. Rezervuar ve taşkın yolu özellikleri belirli bir alan için sabit olsa da, sel sırasında istenen zayıflatma ve gecikmeyi elde etmek için başlangıç su seviyelerini (ve dolayısıyla başlangıç depolama ve çıkışı) dikkatlice seçerek veya yöneterek mümkündür. Bu nedenle, rezervuardan hidrograf öteleme konusu, sel sırasında başlangıç koşullarını dikkatlice yöneterek rezervuar aracılığıyla sel yönetiminin önemli bir yönünü oluşturur. Ek olarak, yükselen koldaki iç akış ve çıkış hidrograf arasındaki alan, iç akışın çıkıştan fazla olduğu durumda bir rezervuara giren fazla su hacmini temsil eder. Öte yandan, düşen koldaki çıkış ve iç akış hidrograf arasındaki alan, bir sel sırasında rezervuardan salınan depo eksikliğini temsil eder.

3. SAYISAL UYGULAMALAR

3.1 Uygulama 1

Aşağıdaki tabloda bir hazneye ait seviye, depolama ve deşarj debisi verileri verilmiştir.

Tablo 1. :Bir hazneye ait Seviye-Depolama-Deşarj verileri.

Seviye (m)	Depolama (10^6 m^3)	Deşarj Debisi (m^3/s)
100.00	3.350	0
100.50	3.472	10
101.00	3.380	26
101.50	4.383	46
102.00	4.882	72
102.50	5.370	100
102.75	5.527	116
103.00	5.856	130

Hazne seviyesi 100.50 m'ye ulaştığı anda aşağıdaki tabloda verilen taşkın hidrografi hazne içerisine girmiştir.

Tablo 2. :Hazne içerisine giren taşkın hidrografi verileri.

Zaman (sa)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
Deşarj (m^3/s)	10	20	55	80	73	58	46	36	55	20	15	13	11

Oluşacak taşkın yönünü belirleyin ve taşkın dalgasının geçişi sırasında çıkış hidrografını ve hazne seviyesi-zaman grafiğini elde edin.

3.1.1 Çözüm 1

Tabloda verilen değerlere bakılarak zaman aralığı $\Delta t = 6$ saat seçilir ve Seviye-Deşarj- $\left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right)$ tablosu hazırlanır.

$$\Delta t = 6 \times 60 \times 60 = 0.0216 \times 10^6 \text{ s}$$

Tablo 3. :Hazneye ait Seviye-Deşarj- $\left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right)$ verileri.

Seviye (m)	100.00	100.50	101.00	101.50	102.00	102.50	102.75	103.00
Çıkan Akım (m ³ /s)	0	10	26	46	72	100	116	130
$\left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right)$ (Mm ³)	3.35	3.58	4.16	4.88	5.66	6.45	6.78	7.26

Q – Seviye ve $\left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right)$ - Seviye grafiği hazırlanır (Şekil 2). Taşkın durumundan önce tabloda verilen değerler sırasıyla, seviye = 100.50 m, Q = 10.0 m³/s ve $\left(S - \frac{Q\Delta t}{2}\right) = 3.362$ Mm³'dir. $\left(S - \frac{Q\Delta t}{2}\right)$ 'in bu değerinden başlayarak, Denklem (2.6), 6 saatlik ilk zaman diliminin sonunda $\left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right)$ 'i elde etmek için kullanılır:

$$\left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right)_2 = (I_1 + I_2)\frac{\Delta t}{2} + \left(S - \frac{Q\Delta t}{2}\right)_1 = (10 + 20) \times \left(\frac{0.0216}{2}\right) + (3.362) = 3.686 \text{ Mm}^3$$

Şekil (2)'ye bakıldığında, $\left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right) = 3.686$ Mm³'e karşılık gelen su seviyesi 100.62 m'dir ve buna karşılık gelen akış miktarı Q = 13 m³/s'dir. Bir sonraki adım için, önceki adımın $\left(S - \frac{Q\Delta t}{2}\right) = \left(S + \frac{Q\Delta t}{2}\right)$ 'in başlangıç değeri;

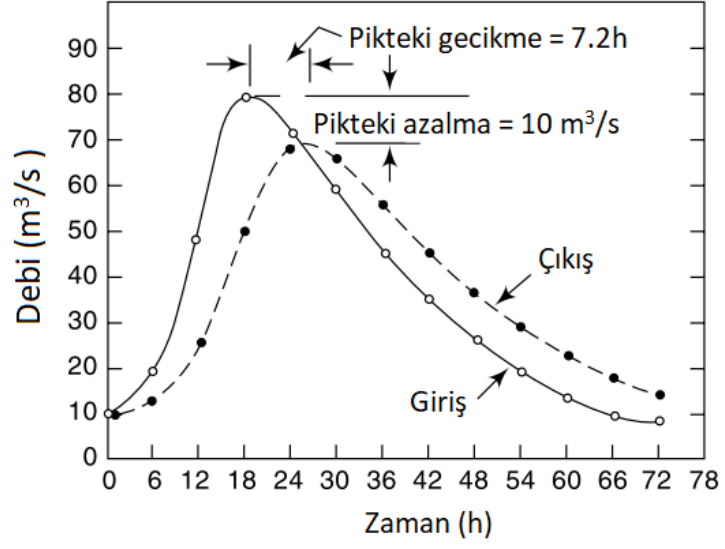
$$= (3.686 - 13 \times 0.0216) = 3.405 \text{ Mm}^3$$

Bu işlem, giren akış hidrografının tüm süresi boyunca Tablo (4)'de gösterildiği gibi tekrarlanır.

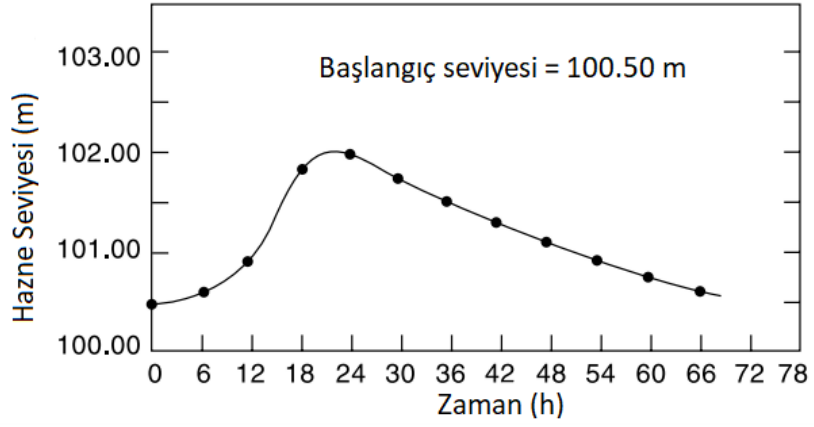
$$\Delta t = 6 \text{ saat} = 0.0216 \text{ Ms}, \quad I' = (I_1 + I_2) / 2$$

Tablo 4. : Bir hazne üzerinden taşkın ötelemesi – Modifiye Puls Yöntemi

Zaman (saat)	Giriş Akımı I (m ³ /s)	I' (m ³ /s)	I' . Δt (Mm ³)	$\left(S - \frac{\Delta t Q}{2}\right)$ (Mm ³)	$\left(S + \frac{\Delta t Q}{2}\right)$ (Mm ³)	Seviye (m)	Q (m ³ /s)
0	10	15	0.324	3.362	3.636	100.5	10
6	20	37.5	0.81	3.405	4.215	100.62	13
12	55	67.5	1.1458	3.632	5.09	101.04	27
18	80	76.5	1.652	3.945	5.597	101.64	53
24	73	65.5	1.415	4.107	5.522	101.96	69
30	58	52	1.123	4.096	5.219	101.91	66
36	46	41	0.886	3.988	4.874	101.72	57
42	36	31.75	0.686	3.902	4.588	101.48	48
48	27.5	23.75	0.513	3.789	4.302	101.3	37
54	20	17.5	0.378	3.676	4.054	100.1	25
60	15	14	0.302	3.557	3.859	100.93	23
66	13	12	0.259	3.47	3.729	100.77	18
72	11			3.427		100.65	14



Şekil 2: Giriş ve çıkış debilerinin değişim grafiği.



Şekil 3 : Hazne seviyesinin zamana göre değişim grafiği.

3.2 Uygulama 2

Aşağıdaki tabloda bir hazneye ait seviye, depolama ve deşarj debisi verileri verilmiştir.

Tablo 5 : Bir hazneye ait Seviye-Depolama-Deşarj verileri.

Seviye (m)	Depolama (10^6 m^3)	Deşarj Debisi (m^3/s)
100.00	3.350	0
100.50	3.472	10
101.00	3.380	26
101.50	4.383	46
102.00	4.882	72
102.50	5.370	100
102.75	5.527	116
103.00	5.856	130

Aşağıda verilen taşkın hidrografını Goodrich yöntemini kullanarak hazneden geçirin. (Başlangıç koşulları $t = 0$ olduğunda hazne seviyesi 100.60 m'dir.)

Tablo 6 : Hazne içerisine giren taşkın hidrografı verileri.

Zaman (sa)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
Deşarj (m^3/s)	10	30	85	140	125	96	75	60	46	35	25	13

3.2.1 Çözüm 2

Tabloda verilen değerlere bakılarak zaman aralığı $\Delta t = 6$ saat = 0.0216 Ms seçilir. Tabloda verilen Seviye-Depolama-Deşarj verileri kullanılarak aşağıdaki tablo hazırlanır.

Tablo 7 : Hazneye ait Seviye-Akım- $\left(\frac{2S}{\Delta t} + Q\right)$ verileri.

Seviye (m)	100.00	100.50	101.00	101.50	102.00	102.50	102.75	103.00
Çıkan Akım (m ³ /s)	0	10	26	46	72	100	116	130
$\left(\frac{2S}{\Delta t} + Q\right)$ (m ³ /s)	310.2	331.5	385.3	451.8	524	597.2	627.8	672.2

Bu verilerden Q-Seviye ve $\left(\frac{2S}{\Delta t} + Q\right)$ -Seviye ilişkisini gösteren bir grafik hazırlanır (Şekil 5).

t = 0 anında, seviye = 100.60 m, Şekil 5'e bakılarak Q = 12 m³/s ve

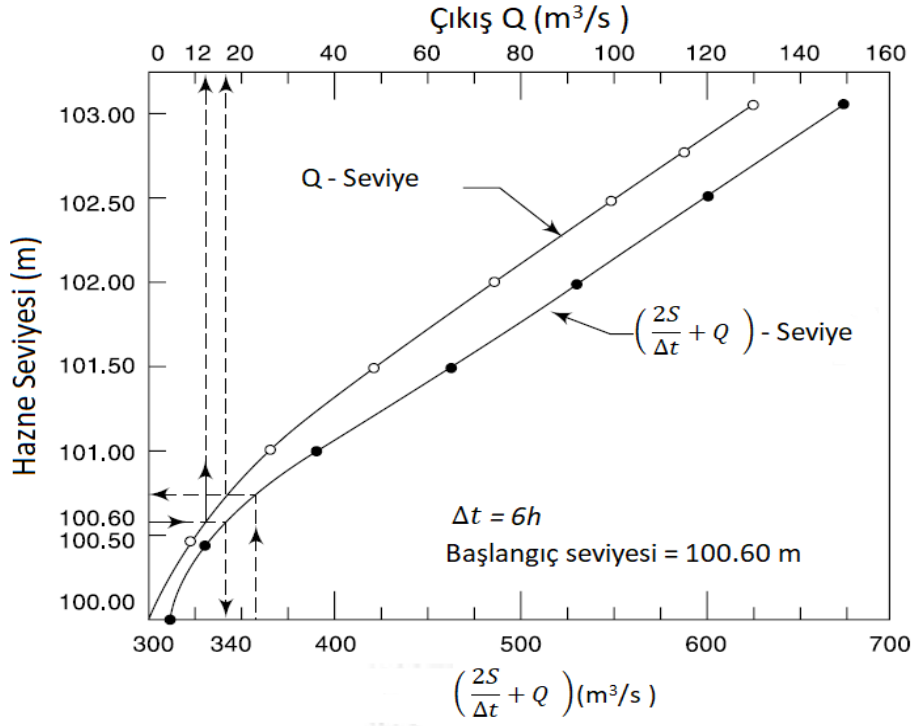
$$\left(\frac{2S}{\Delta t} + Q\right) = 340 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\left(\frac{2S}{\Delta t} + Q\right)_1 = 340 - 24 = 316 \text{ m}^3/\text{s}$$

t = 6 saatlik birinci zaman aralığı için,

$$I_1 = 10, I_2 = 30, Q_1 = 12 \text{ ve}$$

$$\left(\frac{2S}{\Delta t} + Q\right)_2 = (10 + 30) + 316 = 356 \text{ m}^3/\text{s} \text{ bulunur.}$$



Şekil 4 : Modifiye Puls Yöntemi'yle hazne ötelemesi.

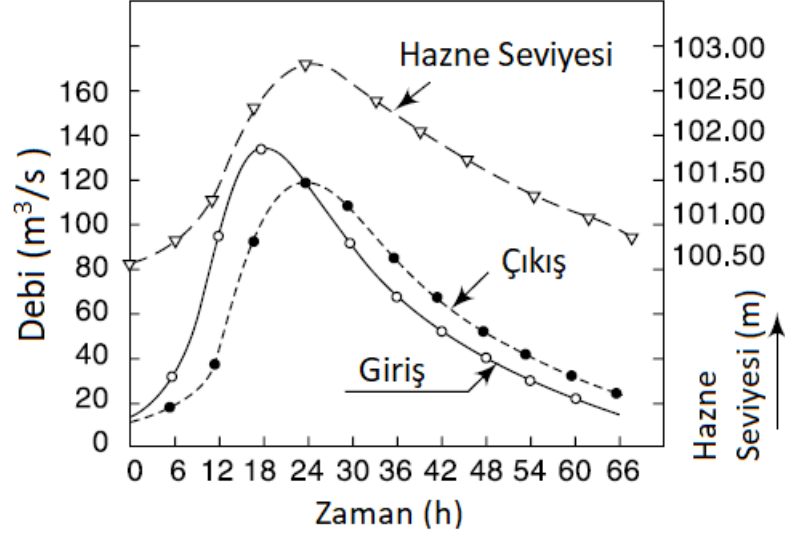
Şekil 4'te bu $(\frac{2S}{\Delta t} + Q)_2$ için hazne seviyesi = 100.74 m'dir. Bir sonraki artış için,

$$(\frac{2S}{\Delta t} - Q)_1 = 356 - 2 \times 17 = 322 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bu işlemler, taşkın kontrol altına alınana kadar aşağıda verilen tablodaki gibi tekrarlanır.

Tablo 8 :Hazne öteleme – Goodrich Yöntemi

Zaman	Giriş Akımı	(I_1+I_2)	$\left(\frac{2S}{\Delta t} - Q\right)$	$\left(\frac{2S}{\Delta t} + Q\right)$	Seviye	Q
(sa)	I (m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	m	(m ³ /s)
0	10			(340)	100.6	12
		40	316	356		
6	30				100.74	17
		115	322	437		
12	85				101.38	40
		225	357	582		
18	140				102.5	95
		265	392	657		
24	125				102.92	127
		221	403	624		
30	96				102.7	112
		171	400	571		
36	75				102.32	90
		135	391	526		
42	60				102.02	73
		106	380	486		
48	46				101.74	57
		81	372	453		
54	35				101.51	46
		60	361	421		
60	25				101.28	37
		45	347	392		
66	20				101.02	27
			335			



Şekil 5 :Uygulama 2'ye ait hazne öteleme sonuçları grafiği.

4. SONUÇLAR

Bu tezde kullanılan üç farklı yöntemin kendi aralarında avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Modifiye Puls ve Goodrich yöntemlerin hesaplama maliyeti oldukça düşüktür ve uygulamada en çok kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin kesinliği Runge-Kutta yöntemine göre daha az olmakla birlikte kabul edilebilir seviyededir. Runge-Kutta yönteminin en büyük avantajı matematiksel formülasyonun oldukça basit olması, sayısal kararlılık bölgesinin geniş olması ve kesinliğinin yüksek olmasıdır.

5. KAYNAKLAR

Mozayeny, B., Song, C. S., “Propagation of Flood Waves in Open Channels”. Journal of Hydraulics Division, Vol. 95, No: HY3,p 877-892 (1969)

Ponce, V. M., Li, R., Simons, D. B., “Applicability of Kinematic and Diffusion Models”. Journal of Hydraulics Division, Vol.104, No: HY3, p. 353-361. (1978).

Ponce, V. M., Yevjevich, V., “Muskingum- Cunge Method with Variable Parameters”. Journal of Hydraulics Division, Vol. 104, No: HY12, p. 1663-1667. (1978).

Ponce, V. M., “Simplified Muskingum Routing Equation. Journal of Hydraulics Division, Vol. 105, No:HY1, p.85–91. (1979).

Ponce,V. M., Chen, Y. H., Simons, D. B., “Unconditional Stability in Convection Computations”. Journal of Hydraulic Division , Vol. 105, No: HY9 , p. 1079-1086. (1979).

Strupczewski, W., Kundzewicz, Z., “Muskingum Method Revisited”. Journal of Hydrology, 48, p. 327-342. (1980).

Ponce, V. M., Theurer F. D., “Accuracy Criteria in Diffusion Routing“. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, No:4, p.511–525. (1982).

Ponce, V. M., Theurer F. D., “Accuracy Criteria in Diffusion Routing”. Journal of Hydraulics Division, Vol. 108 , No:HY6, p.747-757. (1982)

Tingsanchali, T., Manandhar, S. K., “Analytical Diffusion Model for Flood Routing”. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 111, No:3, p. 435-453. (1985).

Aldama, A. A., “Least Squares Parameter Estimation for Muskingum Flood Routing”. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 116, No: 4, p580-586 (1990).

Ponce, V. M., "The Kinematic Wave Controversy". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, No: 4, p. 511-525. (1991).

Perumal, M., "Multilinear Muskingum Flood Routing Method". Journal of Hydrology, 133, p.259-272. (1992).

Perumal, M., "Multilinear Discrete Cascade Model for Channel Routing". Journal of Hydrology .158, p. 135-150. (1992).

Perumal, M., "Multilinear Discrete Cascade Model for Channel Routing". Journal of Hydrology 158, p.135-150. (1994).

Ponce, V. M., Huston, P. T., "New Perspective on the Convection-DiffusionDispersion Equation".Water Resources Research,Vol. 30,No:5,p.1619-1620.(1994)

Barry, D. A., Bajracharya, K., "On the Muskingum-Cunge Flood Routing Method", Environment International, Vol. 21, No:5, p. 485-490. (1995).

Bajracharya, K., Barry, D. A.,. "Optimized Muskingum- Cunge Solution Method for Solute Transport with Equilibrium Freundlich Reactions", Journal of Contaminant Hydrology, 18, p.221-238 (1995).

Keskin, M. E., Ağırlioğlu N., "A Simplified Dynamic Model for Flood Routing in Rectangular Channels". Journal of Hydrology. 202,p.302-314. (1997).

Srivastava, R., & Jain, A. (2017). Engineering Hydrology. Hydrograph Routing, p.187-200.

EKLER

6. EKLER

EK A - Modifiye Puls Yönteminin Matlab Kodu

```
clc

clearvars

load hidrograf.txt

load seviye_debi_hacim.txt

t=hidrograf(:,1);

I=hidrograf(:,2);

H_Star=seviye_debi_hacim(:,1);

Q_Star=seviye_debi_hacim(:,2);

S_Star=seviye_debi_hacim(:,3);

dt=10*60;

SDTQ_Star=2*S_Star/dt+Q_Star;

n=length(t);

Q=zeros(n,1);

S=zeros(n,1);

SDTQ=zeros(n,1);

S(1)=0;%Hazne başlangıçta boştur

Q(1)=I(1);
```

```
SDTQ(1)=2*S(1)/dt-Q(1);
```

```
for j=1:n-1
```

```
    SDTQ(j+1)=I(j)+I(j+1)+2*S(j)/dt-Q(j);
```

```
    Q(j+1)=interp1(SDTQ_Star,Q_Star,SDTQ(j+1),'linear');
```

```
    S(j+1)=interp1(SDTQ_Star,S_Star,SDTQ(j+1),'linear');
```

```
end
```

```
result=[t I Q]
```

EK B – Hidrograf Değerleri

0	0
10	60
20	120
30	180
40	240
50	300
60	360
70	320
80	280
90	240
100	200
110	160
120	120
130	80
140	40
150	0
160	0
170	0
180	0
190	0
200	0
210	0

EK C – Seviye-Debi-Hacim Değerleri

0	0	0
0.5	3	21780
1	8	43560
1.5	17	65340
2	30	87120
2.5	43	108900
3	60	130680
3.5	78	152460
4	97	174240
4.5	117	196020
5	137	217800
5.5	156	239580
6	173	261360
6.5	190	283140
7	205	304920
7.5	218	326700
8	231	348480
8.5	242	370260
9	253	392040
9.5	264	413820
10	275	435600

7. ÖZGEÇMİŞ