

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

**DİNAMİK DALGA MODELİ KULLANILARAK FARKLI
ENKESİTLİ PRİZMATİK KANALLARDA TAŞKIN
ÖTELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NUMAN ÇAVDAR

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

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



**DİNAMİK DALGA MODELİ KULLANILARAK FARKLI
ENKESİTLİ PRİZMATİK KANALLARDA TAŞKIN
ÖTELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

NUMAN ÇAVDAR

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

NUMAN ÇAVDAR tarafından hazırlanan "DİNAMİK DALGA MODELİ KULLANILARAK FARKLI ENKESİTLİ PRİZMATİK KANALLARDA TAŞKIN ÖTELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 25.07.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç. Dr. Gürhan GÜRARSLAN

Üye

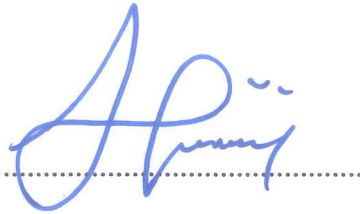
Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ

Üye

Doç. Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/09/2018 tarih ve 35/12.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.



NUMAN ÇAVDAR

ÖZET

DİNAMİK DALGA MODELİ KULLANILARAK FARKLI ENKESİTLİ PRİZMATİK KANALLARDA TAŞKIN ÖTELENMESİ

YÜKSEK LİSANS
NUMAN ÇAVDAR
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. GÜRHAN GÜRARSLAN)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

Doğada bulunan akarsuların enkesitleri genel olarak düzensiz biçimdedir. Fakat bu akarsularda zorunlu olarak taşkın öteleme hesaplamaları yapılmaktadır. Taşkın öteleme hesaplamaları için Saint-Venant denklemlerinden yararlanılarak akarsuda matematiksel modelleme yapılır. Matematiksel modelleme için akarsuyun enkesiti en basit prizmatik şekil ile temsil edilebilmektedir. Matematiksel modelleme sonucunda kinematik dalga modeli, difüzyon dalga modeli ve dinamik dalga modeli olmak üzere üç dalga modeli geliştirilmiştir. Bu dalga modellerinin sayısal çözümünde genel olarak sonlu fark yaklaşımları kullanılmıştır.

Bu çalışmada üç farklı prizmatik kanal için dalga modellerinin kıyaslanması, dalga modellerindeki ihmallerin taşkın hidrografına etkisi ve kanal parametrelerinin (taban eğimi, taban genişliği, şev eğimi ve Manning pürüzlülük katsayısı) taşkın hidrografının karakteristik yapısına olan etkileri incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Saint-Venant Denklemleri, Taşkın Öteleme, Kararsız Akım, Kinematik Dalga Modeli, Difüzyon Dalga Modeli, Dinamik Dalga Modeli, Sonlu Farklar Yöntemi.

ABSTRACT

FLOOD ROUTING IN DIFFERENT PRISMATIC CROSS-SECTIONS USING DYNAMIC WAVE MODEL

MSC THESIS

NUMAN ÇAVDAR

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. GÜRHAN GÜRARSLAN)

DENİZLİ, JULY 2018

Cross-sections of rivers in the nature are generally irregular. However, flood routing calculations are necessarily performed in these rivers. Mathematical modeling is done in rivers using the Saint-Venant equations for flood routing calculations. For mathematical modeling, the cross-section of the river can be represented by the simplest prismatic shape. Matematiksel modelleme sonucunda üç dalga modeli geliştirilmiştir. These are kinematic wave model, diffusion wave model and dynamic wave model. In the numerical solution of these wave models, finite difference approximations in general used.

In this study, the effects of wave models for three different prismatic channels, the effects of flood hydrographs on omissions in wave models, and the effects of channel parameters (channel bottom slope, base width, energy line slope, incline of slope and Manning roughness coefficient) on the characteristic structure of the flood hydrograph have been examined.

KEYWORDS: Saint-Venant Equations, Flood Routing, Unsteady Flow, Kinematic Wave Model, Diffusion Wave Model, Dynamic Wave Model, Finite Difference Approximations.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Amaç	2
1.3 Literatür Özeti	2
2. SAINT-VENANT DENKLEMLERİNİN TÜRETİLMESİ	9
2.1 Süreklilik Denklemi	9
2.2 Momentum Denklemi.....	11
3. AKIŞ DENKLEMLERİ	18
Dalga Hareketi.....	21
3.1.1 Kinematik Dalga	22
3.1.2 Difüzyon Dalgası	25
3.1.3 Dinamik Dalga.....	28
3.1.3.1 Sadeleştirilmiş Dinamik Dalga (Trapez kanal için).....	28
3.1.3.2 Tam Dinamik Dalga Modeli (Trapez kanal için).....	31
4. SONLU FARK YAKLAŞIMI	33
4.1 Sonlu Fark	34
4.1.1 Açık Şema.....	36
4.1.2 Kapalı Şema.....	38
5. UYGULAMA	39
5.1 Uygulama Verileri	39
5.2 Farklı Akarsu Enkesitleri.....	40
6. DEĞERLENDİRMELER	41
6.1 Farklı En Kesitlerin Kıyaslanması	42
6.2 Dalga Modellerinin Kıyaslanması.....	46
6.3 Kanal Taban Genişliğinin Kıyaslanması	50
6.4 Manning Pürüzlülük Katsayılarının Kıyaslanması.....	56
6.5 Kanal Taban Eğimlerinin Kıyaslanması.....	61
6.6 Şev Eğimlerinin Kıyaslanması	69
7. SONUÇLAR	74
8. KAYNAKLAR	76
9. ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1: Süreklilik Denklemi İçin Tanım Çizimi	10
Şekil 2: Momentum Denklemi İçin Tanım Çizimi	12
Şekil 3: Momentum Denklemi İçin Tanım Çizimi	15
Şekil 4: Sabit Bir Gözlemci Tarafından Akış Hareketinin Kontrolü	21
Şekil 5: Durağan Bir Gözlemci Tarafından Kısa Bir Kanal Mesafesinde Kinematik Ve Dinamik Dalgalarının Gözlemlenmesi	21
Şekil 6: Bir Taşkın Dalgasının Hareketi	25
Şekil 7: Trapez Kanal İçin Enkesit.....	29
Şekil 8: Sonlu Farklar İle Saint-Venant Denklemlerinin Sayısal Çözümü İçin Kullanılan $x - t$ Düzlemindeki Izgara Şeması	34
Şekil 9: $u(x)$ Fonksiyonu İçin Sonlu Fark Yaklaşımları	35
Şekil 10: Giriş Taşkın Hidrografı (Akan ve Yen (1981))	39
Şekil 11: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Taşkın Hidrografı ($x=2000 m$)	44
Şekil 12: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)	45
Şekil 13: Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Taşkın Hidrografı ($x=2000 m$)	47
Şekil 14: Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)	49
Şekil 15: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)	51
Şekil 16: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)	52
Şekil 17: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)	53
Şekil 18: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)	54
Şekil 19: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Taban Genişliklerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000 m$)	55
Şekil 20: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Taban Genişliklerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000 m$)	55
Şekil 21: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)	58
Şekil 22: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000m$) ..	59
Şekil 23: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000 m$)	60
Şekil 24: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000 m$)	60
Şekil 25: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$)	62
Şekil 26: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$)	63
Şekil 27: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$)	64

Şekil 28: Farklı Enkesitli Kanallarda Farklı Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000 m$)	65
Şekil 29: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$).....	66
Şekil 30: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$).....	67
Şekil 31: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$).....	68
Şekil 32: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$).....	70
Şekil 33: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$).....	71
Şekil 34: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$).....	72
Şekil 35: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$).....	73

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1: Giriş Taşkın Hidrograf Değerleri (Akan ve Yen (1981))	39
Tablo 2: Akarsu En Kesitlerine Ait Kesit Parametreleri.....	40
Tablo 3: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Taşkın Hidrograflarının Pik Değerleri ($x=2000\text{ m}$).....	43
Tablo 4: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrograflarının Pik Değerleri ($x=2000\text{ m}$)	43
Tablo 5: Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografların Pik Değerleri Ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$)	50
Tablo 6: Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ($x=2000\text{ m}$).....	55
Tablo 7: Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$).....	55
Tablo 8: Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ($x=2000\text{ m}$).....	56
Tablo 9: Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$)	57
Tablo 10: Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ($x=2000\text{ m}$).....	61
Tablo 11: Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$)	65
Tablo 12: Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ($x=2000\text{ m}$).....	69
Tablo 13: Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$).....	69

ÖNSÖZ

Lisans eğitimimde ve tez çalışmamın başından sonuna kadar her zaman yanımda olan, danışmanım sayın Doç. Dr. Gürhan GÜRARSLAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu arada hem motivasyon hem de iyi bir çalışma ortamı sağladıkları için bölümdeki bütün arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca dünyaya gözümü ilk açtığım andan bugüne kadar hayatımın her alanında bana yol gösteren, maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, dünyanın zorluklarına hazırlayan ve değerli bir akıl hocası olan babam Ahmet ÇAVDAR'a, değerli bir şefkat meleği olan annem Selver ÇAVDAR'a ve maddi manevi değerli hayat ortağı olan kardeşim Abdülkadir Ensari ÇAVDAR'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Havza akışının oluşumunda birden fazla etken vardır. Bu etkenlerin arasında en yaygın olanları yağışlar, karların erimesi ve doğal kaynak sularıdır. Bunların arasında debinin ani değişimine neden olan en büyük etken yağışlardır. Yağış esnasında sular geniş alanlara yayılarak büyük hızlarda akmaktadır. Bu durumda debinin veya su yüksekliğinin belirli bir seviyenin üstüne çıkması halinde taşkın diye nitelendirilen doğal afetler meydana gelir. Bu olayları önceden bilmek ve önlem almak için taşkın öteleme veya taşkın yönetimi adı verilen çalışmalar yapılır. Bu çalışmalarda çeşitli dalga modelleri kullanılarak oluşabilecek çeşitli taşkın durumlarında pik debi diye adlandırılan maksimum debinin miktarı hesaplanmaya çalışılır ve bu pik debiyi taşıyabilecek en uygun kanal enkesiti belirlenir. Bu dalga modelleri ise üçe ayrılır. Bunlar kinematik dalga modeli, difüzyon dalga modeli ve dinamik dalga modelidir.

Kinematik dalga modelinin oluşumunda sadece yerçekimi ve sürtünme etkileri göz önüne alınır. Bu iki etkenin dışındaki kuvvetler ihmal edilir. Ayrıca kinematik dalga modeli ile modellenen akışlar kararlı ve homojen akış olarak adlandırılır. Difüzyon dalga modelinin oluşumunda yerel ivme ve bağlanma ivmesinin dışındaki tüm etkilerden dolayı oluşan kuvvetler göz önüne alınır. Ayrıca difüzyon dalga modeli ile modellenen akışlar kararlı fakat homojen olmayan akış olarak adlandırılır. Dinamik dalga modelinde ise dalga üzerine etki edebilecek tüm kuvvetler göz önüne alınır. Bu etkiler; yerel ivme, konvektif, basınç, yerçekimi ve sürtünmedir.

Dalga modellerinin çözümünde, birkaç özel basit durum dışında analitik çözüm elde edilememektedir. Dalga modelleri analitik çözüme uygun olmadığı için sayısal yöntemlerden yararlanır. Bu tez kapsamında hesaplamalarda sonlu fark yaklaşımı kullanılmıştır. Sonlu fark yaklaşımında açık şema ve kapalı şema olmak

üzere iki farklı şema tanıtılmıştır. Bu şemalar konum-zaman ($x - t$) düzleminde bulunan noktalar ağından oluşmaktadır.

1.2 Amaç

Taşkınlar bir akarsu boyunca ilerlerken, bir baraj gölünden veya gölden geçerken, bir kanalizasyon sisteminden ilerlerken değişkenliğe uğrarlar. Bunun sonucunda pik oluşma süreleri ve pik değerleri değişir ve taşkınların hidrografları bozulur. Taşkın ötelemesi olarak bilinen bu olay, baraj dolu savağın boyutlandırılmasında, batardo yüksekliklerinin belirlenmesinde olduğu gibi bütün akarsu çalışmalarında da çok önemli sonuçlara sebep olur. Bunlardan dolayı çeşitli amaçlarla kullanılacak taşkın hidrograflarının belirlenmesinde, taşkınların meydana geliş mekanizmalarının anlaşılmasında ve bu mekanizmayı temsil eden matematik modellerin kurulması gerekir (Keskin, 1994).

Bu tez kapsamında farklı dalga modelleri kullanılarak akarsu enkesit parametreleri olan kanal taban genişliğinin, şev eğiminin, taban eğiminin ve Manning pürüzlülük katsayısının taşkın hidrografının oluşumuna etkilerini incelemektir.

1.3 Literatür Özeti

Hayami (1951), doğal nehirlerde, kanalların şekillerinin çok düzensiz olduğunu ve sürekli olarak değiştiğini belirtmektedir. Yatak eğimleri, genişliği, enine kesitler vb. parametrelerin net bir şekilde belirlemek imkânsızdır. Bu parametrelerin net bir şekilde belirlenememesine rağmen nehirlerdeki akış kararlıdır. Bu düzensizliklerin neden olduğu akış üzerindeki belirsizlikler birkaç kilometre içinde azalarak belirli boyutlara ve sürelerle sahip olurlar. Bu temel düzensizliklerin toplamının stokastik karakteri geniş ölçekte boyuna bir karışıma neden olur. Karışımın neden olduğu süreklilik denkleminin olan boyuna difüzyon etkisinin tanıtılmasıyla birlikte uygun bir aralıkta sabit ve muntazam bir şekilde elde edilen ortalama akışın varsayılmasıyla, taşkın dalgalarının diferansiyel denklemi türetilmiştir. Bu denklem adveksiyon terimini içeren bir difüzyon denklemidir.

Denklem doğrusal olmadığından, Hayami yaklaşık bir çözüm yöntemi kullanmıştır. Taşkın dalgalarının yaklaşık denklemleri lineerdir, bu nedenle herhangi bir formdaki bir taşkın, basit karakterli birçok basit taşkın dalgasından meydana gelir.

Lai (1988), belirtilen zaman aralığı (Specified Time Interval) (STI) sayısal şemalarının kullanımının, açık kanal akış problemlerinin düzensizliğine karşı karakteristik yönteminin (Method of Characteristics)(MOC) uygulanmasının popüler olduğunu belirtmiştir. STI şemalarının çeşitli varyantlarının çalışmaları ve analizleri zamansal geri bildirim, konumsal geri dönüşü ve klasik şemaları bir araya getiren çok modlu şema olarak anılan yeni bir şemanın türetilmesine yol açmıştır. Kapalı ve çok modlu şemaları uygulamak için üç sayısal model geliştirmiştir.

Chung ve ark. (1993), adveksiyon-difüzyon (AD) denkleminin, açık kanallarda sel dalgası yayılımını temsil etmek için yaygın olarak kullanıldığını belirtmiştir. Laplace dönüşüm yöntemleri, konumsal olarak çeşitlendirilmiş başlangıç durumu ve zamana bağlı Dirichlet sınır koşulları ile homojen olmayan AD denkleminin kesin çözümünü elde etmek için kullanılır. Laplace dönüşümünün sayısal olarak ters çevrilmesi, AD denkleminin, sonlu bir kanal erişiminin mansap sınırında belirtilen Neumann ve Robin sınır koşulları ile çözülmesi için kullanılır. Neumann sınır koşulu, su seviyesinin mansap sınırda sabit kaldığı varsayımıyla, yani bir kütle koruma versiyonuyla belirlenir. Bu, sürekli bir derecelendirme eğrisinin süreklilik denkleminde uygulanması ile elde edilen genel koşulun özel bir durumudur. Ters akış etkileri, bir alt - sonsuz kanalda sel akış hareketinin tepki fonksiyonları ve alt-sınır sınır koşulu olarak öngörülen genel koşullu bir sonlu kanalın analizi ile değerlendirmektedir. Bununla birlikte, Robin sınır koşulu, seviye-debi ilişkisi aracılığıyla momentum korunumuna dayalı türetilmiştir. Ters su etkilerini araştırmak için basit bir parametrelili giriş hidrografi, Hermite polinomlarına dayanılarak tanıtılmıştır. Giriş hidrografi, üç parametre göz önüne alınarak tamamen belirlenir. Bunlar pik debinin olduğu zaman (t_p), temel zaman (t_b) ve pik debisi (Q_p).

Hicks ve Steffle (1995), hiperbolik sistemler için sonlu eleman şemaları, tek boyutlu, kararsız, açık kanal akışı için Saint Venant denklemlerine uygulandığını belirtmişlerdir. Hicks ve Steffler karakteristik-dağıtıcı-Galerkin, Taylor-Galerkin ve en küçük kareler sonlu eleman şemalarının karşılaştırmalı performansları, doğrusal

Fourier analizi ve idealize doğrusal olmayan dalga yayılımı problemlerinin çözümü ile değerlendirmiştir. Temel çözümün uydunluğunu değerlendirmek için yöntemler herhangi bir ek yapay difüzyon veya şok yakalama formülasyonu olmaksızın Hicks ve Steffle tarafından karşılaştırılmıştır. Her iki dalga bileşeninin karakteristik-dağıtıcı-Galerkin yönteminde bulunan dengeli sonucunu göstermektedir. Ayrıca, yöntem, parametre değişimlerine çok az duyarlılık gösterir. Taylor-Galerkin şeması iyi bir çözüm sunar, ancak dalga yayılımına bağlı salınımlar ve regresif dalganın minimal difüzyonu görüntülenir. Ayrıca, bu yöntem zaman adımı artışına biraz hassastır. Hicks ve Steffle (1995), en küçük kareler yönteminin, regresif bir dalganın süperkritik bir akışta yayılamaması nedeniyle, açık ve kapalı kanal akışı problemleri için uygun olmadığını düşünmüşlerdir.

Moussa (1996), yaygın olarak kullanılan dalga denkleminin genellikle nehirlerde taşkın ötelenmesinde kullanıldığını savunmaktadır. Denklemin iki parametresi olan hızlanma ve yayılma, genellikle debinin işlevleri olarak alınır. Bu iki parametrenin yanal akış olmaksızın sabit olduğu varsayılırsa, difüzyon dalga denklemini analitik bir çözüme sahip olabilir: Hayami Modeli. Moussa (1996), Hayami'nin hipotezine dayanan genel bir analitik yöntem geliştirmiştir. Moussa (1996) bu yöntem ile difüzyon dalga modelini, bir kanal erişimi üzerinden homojen olarak dağıtılan yanal akış veya dış akışla çözen genel bir analitik yöntem geliştirmiştir. Taşkın öteleme parametreleri daha sonra gözlemlenen giriş akışı, çıkış akışı ve Hayami modeli kullanılarak tanımlanan çıkış akışında kullanılır.

Sivapalan ve ark. (1997), açık bir şekilde atalet etkilerini içeren genelleştirilmiş, doğrusal olmayan, difüzyon dalga denkleminin türetilmesini sunmuşlardır. Genelleştirilmiş denklem, su yüzeyi eğiminin yatak eğimine karakteristik bir oranı olan \mathcal{E} 'nin Saint-Venant denklemlerine bir yaklaşımdır. Literatürde elde edilen denklemlerde bulunan türevler, hem sürtünme hem de şekil direncini temsil eden, akış direnci için genel bir ifade kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kutija ve Hewett (2002), tek boyutlu serbest yüzey akışları için 'NewC' adı verilen hidrodinamik sayısal model sunmuştur. NewC, şu anda mühendislik uygulamalarında kullanılan şemalara göre büyük bir avantajı olan sonlu farklar şemasıdır. Algoritmik yapısı ise nehir rejimi tipindedir. Yönetici denklemlerde

herhangi bir değişiklik yapılmaksızın nehir rejimi, sel rejimi ve kritik rejim koşullarını modelleme yeteneğine sahiptir. Şema, birden büyük olan Froude sayıları için bile bir dizi Courant numarası için koşulsuz olarak stabildir.

Wang (2003), kanallarda taşkın ötelenmesi için Saint-Venant denklemlerinden yarı analitik bir çözüm türetmişlerdir. Bu çalışmada Saint-Venant denklemleri doğrusal olmayan bir difüzyon denklemine dönüştürülmektedir. Elde edilen bu denklem, karıştırma hücresi metodu (mixing cell method) kullanılarak konumsal en uygun adım boyutunun, karakteristik grid uzunluğu ile aynı olacak şekilde elde edildiği bir forma dönüştürülmektedir.

Ying ve ark. (2004), tek boyutlu açık kanal akışlarını hesaplamak için ağırlıklı bir su yüzeyi gradyan (water-surface-gradient) yaklaşımı olan rüzgâra direncine karşı korunumlu bir şema önermiştir. Sayısal şema, kontrol hacmi yöntemine dayanmaktadır. Gözlemlenilen akış, tek yönlü rüzgara karşı (upwind) metodu ile hesaplanır. Su yüzeyi gradyanı, hem rüzgâra karşı hem de rüzgar yönündeki gradyanlarının ağırlıklı ortalaması ile değerlendirilir. Şemayı doğal bir nehir vadisinde, dikdörtgen ve üçgen kesitli kanallarda; hidrolik sıçrama, kısmi baraj yıkılması problemi, aşırı akış problemi, hidrolik sıçrama ile tümsek üzerinde sabit bir akış ve bir baraj sonu sel kanallarında baraj yıkılması problemleri dâhil olmak üzere çeşitli örneklerle test etmişlerdir. Sayısal ve kesin çözümler veya deneysel veriler arasındaki karşılaştırmalar, önerilen şemanın, nehir rejimi, sel rejimi ve kritik rejimli akışlar dahil olmak üzere çeşitli açık kanal akışlarını doğru bir şekilde yeniden simüle edilebildiğini göstermiştir. Şema, doğal olarak sağlam, kararlı ve monotondur. Şema, çözümdeki süreksizlikleri yakalamak için yapay viskozite veya ön izleme tekniği gibi özel bir çözüm gerektirmez.

Hashemi (2007), kararsız açık kanal akışının sayısal simülasyonu için hızlı, yakınsak ve doğru (DQM) kullanmışlardır. DQM ilk defa bu çalışma kapsamında açık kanal hidroliği problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Saint-Venant denklemleri DQM ile konumsal ve zamansal boyutta ayrıştırılmıştır. Konum ve zaman boyutundaki bilinmeyenler, Saint-Venant denklemleri ile sınır ve başlangıç koşullarının eş zamanlı olarak hesaplanması ile bulunmaktadır. DQM kullanılarak, konum ve zaman boyutunda daha az grid noktası kullanılarak doğru sonuçlar elde edilebildiği gösterilmiştir. DQM'in stabilitesi, diğer yöntemlerden farklı olarak

zaman adımı veya Courant sayısı seçimine duyarlı değildir. Kritik derinliğe yakın kararsızlık, salınım ve düşük tahmin gibi sayısal güçlükler diğer yöntemlerde görülebilmesine rağmen, DQM bu durumda düzgün ve doğru sonuçlar vermektedir. Sonuçlar zaman ölçeğindeki grid dağılımına duyarlıdır. Bunun ışığında, Chebyshev-Gauss-Lobatto dağılımının performansı mükemmeldir.

Kaya ve ark. (2012), tek boyutlu, kademeli olarak değişken açık kanal akışını difüzyon dalga modeli yardımıyla incelemişlerdir. Difüzyon dalga modelinin çözümünde DQM kullanılmıştır. DQM'nin performansı, sonlu fark yöntemine (FDM) ve sonlu hacim yöntemine (FVM) karşı test edilmiştir.

Hasanvand ve ark. (2013), difüzyon dalgası modelinin, farklı durum değişkenlerinin (su derinliğine karşı debi), sonuçların doğruluğu üzerindeki etkisini görmek için bir sayısal yöntem sunmuşlardır. Bu model (Difüzyon Dalgası Modeli) geniş uygulama alanı ve düşük hesaplama maliyeti sağladığı için hidrolik ve hidrolojik problemlerin çözümünde hala aktif bir araştırma alanıdır. Difüzyon dalga denklemi, seçilen durum değişkenine bağlı olarak beş farklı biçimde dönüştürülebilmektedir. Bu çalışmada Q tabanlı (debi) ve y tabanlı (su derinliği) formülasyonlar dikkate alınmıştır.

Patowary ve Sarma (2017), bir nehir yatağında az eğimli bölgenin varlığının, nehir akış senaryosunu önemli ölçüde etkileyebilecek çok sayıda topografik, jeolojik ve coğrafi koşulun varyasyonları arasında kritik bir parametre olduğunu savunmuşlardır. Memba hidrografının ötelenmesi ile değerlendirilen akış durumu, bu tür yüksek sızma zonunun varlığı göz ardı edildiğinde daha yüksek akış derinliği verebilir ve bu nedenle su kaynakları planlaması ve taşkın yönetimi için endişe kaynağıdır. Patowary ve Sarma (2017), az eğimli bölgenin varlığında akış senaryosunu doğru olarak belirleme potansiyeline sahip yeni bir modifiye hidrodinamik model geliştirmişlerdir. Model, Green-Ampt sızma denklemi ile birleştirip, kararsız serbest yüzey akış denklemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Yönetici denklemlerinin çözümü için Beam ve Warming kapalı sonlu fark şeması kullanmışlardır. Önerilen model ilk olarak Trout Nehri'nin saha verilerine uygulanmış ve mükemmel bir sonuç elde edildiği gözlenmiştir. Doğrulanmış model daha sonra Hindistan'ın Brahmaputra Havzası'nın kollarının büyüklüğüne uygun bir varsayımsal bir nehir üzerinde uygulanmıştır. Sonuç olarak az eğimli bölgenin

varlığında ve yokluğunda maksimum debi ve derinlik hidrografi değerlerinde %10 ve %14 arasında bir fark olduğu gözlenmiştir.

1.4 Tezin Organizasyonu

Bu tez kapsamında dinamik dalga modeli kullanılarak prizmatik enkesitli kanallarda taşkın ötelenmesi incelenmiştir. Tezde giriş bölümünün dışında sekiz adet ana bölümümüz bulunmaktadır.

2. bölümde, Saint-Venant denklemleri olan süreklilik denklemi ile momentum denklemlerinin türetilmesi incelenmiştir. Süreklilik denkleminin türetilmesinde kütle korunumu prensibinden, momentum denkleminin türetilmesinde ise momentumun korunumu prensibinden faydalanılmıştır.

3. bölümde, akış denklemlerinin türetilmesi incelenmiştir. Bu bölümde ilk olarak süreklilik denklemi ile momentum denklemi daha yakından incelenmiş olup momentum denkleminde bulunan terimlerin ne anlam ifade ettiği belirtilmiştir. Ardından dalga modelleri olan kinematik dalga modeli, difüzyon dalga modeli ve dinamik dalga modeli için matematiksel modelleme yapılmıştır. Burada dinamik dalga modeli sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli ve tam dinamik dalga modeli olmak üzere iki başlık altında trapez enkesit için matematiksel modellemesi yapılmıştır.

4. bölümde, 3. bölümde türetilen dalga modellerinin çözümü için sonlu fark yaklaşımı tanıtılmıştır. Sonlu fark yaklaşımında kullanılan açık şema ile kapalı şema iki başlık altında incelenmiş olup avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

5. bölümde, tez kapsamında bulunan dalga modellerinin uygulaması için kullanılacak uygulama verileri ile kıyaslaması yapılacak kanal parametreleri için prizmatik kanalların geometrik formülleri iki başlık altında sunulmuştur.

6. bölümde uygulama verileri ile kıyaslamalar yapılmıştır. Bu bölümde enkesitlerin, dalga modellerinin, kanal taban genişliğinin, Manning pürüzlülük katsayısının, kanal taban eğiminin ve kanal şev eğiminin kıyaslanması 6 başlık altında yapılmıştır. Bu kıyaslamalarda, hesaplamalar sonucunda $x=2000$ m de

hesaplanan taşkın hidrograflarının grafikleri çizilmiş olup taşkın pik değerleri tablolar halinde verilmiştir. Bulunan taşkın hidrograflarının ve tablolarında daha sağlıklı kıyaslanabilmesi için boyutsuz taşkın hidrograflarının grafikleri çizilmiş olup boyutsuz taşkın pikleri ile beraber gecikme oranı ile sönlüme oranı tablolar halinde verilmiştir. Son olarak 7. bölümde, 6. Bölümde bulunan sonuçlar değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

2. SAINT-VENANT DENKLEMLERİNİN TÜRETİLMESİ

Dalga modelleri oluşturulurken Saint-Venant denklemlerinden yararlanılmaktadır. Saint-Venant denklemleri bir boyutlu zamanla değişen akarsu akımı için kütle ve momentumun korunumu prensipleri kullanılarak elde edilmektedir. Saint-Venant denklemlerinin türetilmesinde birkaç varsayım yapılmaktadır. Bunlar:

1. Basınç dağılımı hidrostatiktir. Akış çizgileri kesin eğrilere sahip değilse, bu geçerli bir varsayımdır.
2. Kanal taban eğimi küçüktür. Böylece akış derinliği kanal tabanına göre normal olarak ölçülür veya dikey olarak ölçülür. Normal olarak ölçmekle dikey olarak ölçmek yaklaşık olarak aynıdır.
3. Tüm kanal genişliği boyunca akış hızı eşittir.
4. Kanal prizmatiktir. Yani kanal kesiti ve kanal taban eğimi mesafe ile değişmez. Enine kesit veya taban eğimindeki varyasyonlar, kanalı birkaç prizmatik sonuca yaklaştırarak dikkate alınır.
5. Kararsız akıştaki yük kayıpları, Manning ve Chezy denklemi gibi kararlı durum direnci kanunları kullanılarak simüle edilirler. Yani, kararsız akış sırasında belirli bir akış hızı için yük kayıpları, sabit akış sırasında olduğu gibi aynıdır.
6. Akışkanın yoğunluğu her noktada sabittir ve sıkıştırılamaz.

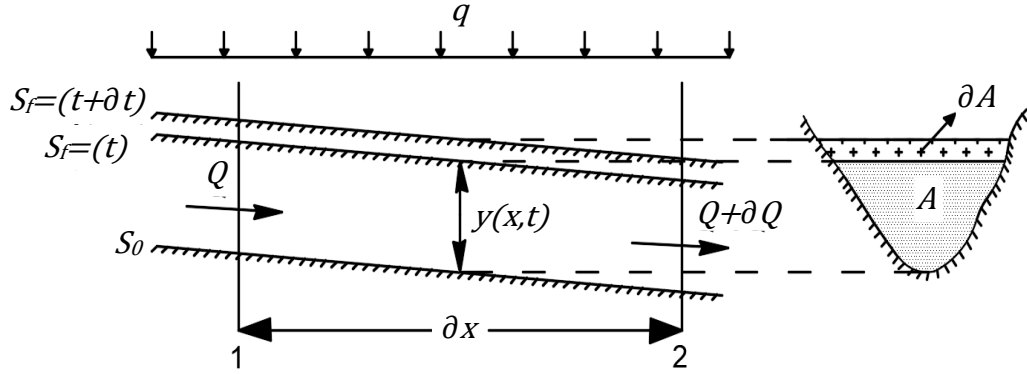
2.1 Süreklilik Denklemi

Açık kanal akışlarında, çoğunlukla akışkanın sıkıştırılamaz olduğu ve kütle yoğunluğunun sabit olduğu varsayılmaktadır. Süreklilik denkleminin elde edilebilmesi için Şekil 1’de verilen sabit sınırlara sahip bir kontrol hacmi ele alınır.

Şekil 1’de kütle korunumu prensibi kullanılarak 1 ve 2 sınırları arasında kalan su kütlesi farkının iki farklı biçimde ifade edilmelidir. Burada suyun

yoğunluğu sabit olduğu ve işlemlerde birbirini götürdüğü için denklemlerde gösterilmemektedir.

Birinci olarak alan değişiminden kaynaklanan su kütlesi değişimi bulunur. Alan değişimini ∂x ile çarparak su kütlesi değişimi bulunur.



Şekil 1: Süreklilik Denklemi İçin Tanım Çizimi.

$$\Delta k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e} = \partial A \partial x \quad (2.1)$$

İkinci olarak debinin değişiminden kaynaklanan su kütlesi değişimi bulunur. Bunun için ∂t sürede kontrol kesitine giren su ile kontrol kesitinden çıkan su miktarını birbirinden çıkartılarak bulunur.

$$\Delta k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e} = \partial Q + q \partial x \partial t - [Q + \partial Q] \partial t \quad (2.2)$$

Bulunan farklı iki kütle değişimi birbirine eşitlenir.

$$\partial A \partial x = \partial Q \partial t + q \partial x \partial t - [Q + \partial Q] \partial t \quad (2.3)$$

Bulunan Denklem 2.3'ü $\partial x \partial t$ ile bölünüp düzenlenirse Denklem 2.4'de verilen süreklilik denklemi elde edilir. Burada, Denklem 2.4'ün sağ tarafı sıfır ise,

kütle $x - t$ düzlemindeki herhangi bir kapalı çevre boyunca korunur. Sağ taraftaki terim sıfır değilse, bu terimin (q) işaretine bağlı olarak bir kaynak veya bir yitik gibi davranır.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2.4)$$

Çok geniş kanal kabulü yapılarak düzenli enkesite sahip bir kanalda akış derinliğindeki küçük bir değişiklikten (Δy) dolayı meydana gelen akış alanındaki değişim (ΔA) $B\Delta y$ olarak tahmin edilebilir. Dolayısıyla Denklem 2.4 aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$B \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2.5)$$

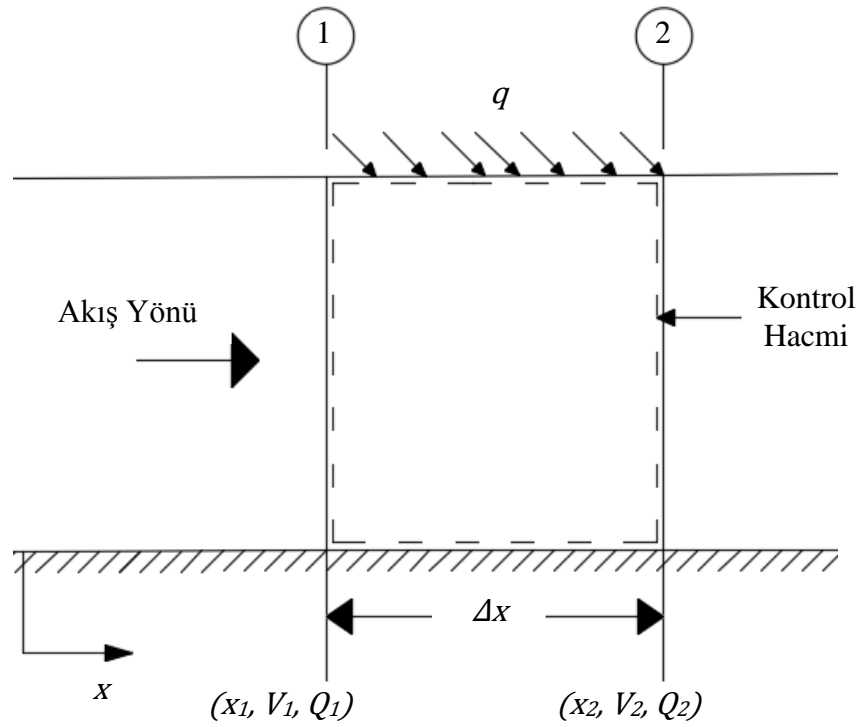
Benzer şekilde $Q = VA$, $\partial A/\partial x = B\partial y/\partial x$ ve hidrolik derinlik $D = A/B$ 'yi Denklem 2.5 de ikinci terimin genişletilebilmesi için kullanılarak aşağıdaki genel denklem elde edilir.

$$\frac{\partial y}{\partial t} + D \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{q_l}{B} = 0 \quad (2.6)$$

2.2 Momentum Denklemi

Bu bölümde bölüm 2.1'de olduğu gibi kütle korunumu prensibinden yararlanılacaktır. Şekil 2'de gösterildiği gibi sabit sınırlara sahip bir kontrol hacmi ele alınır. Kesit 1 ve 2 arasındaki akış eşit ve düzenli değil ise o zaman deşarj oranı Q , akış hızı V , akış derinliği y , x mesafesinin ve y zamanının bir fonksiyonudur. Reynolds taşıma teoremi kontrol hacminde uygulanabiliriz. Reynolds taşıma teoremi, belirli bir akışkan kütlesi için akış değişkenlerini, belirli bir akış bölgesininkiyile ilişkilendirir. Kararlı ve karasız akış koşulları için Saint-Venant denklemlerinin

türetilmesi için kullanıma elverişli bir teoremdir. Bu teoremden belirli bir sıvı kütlesi, bir sisteme ve belirtilen bir bölgeye, yani bir kontrol hacmine yerleştirilir. Bu sistemin sınırları onu çevresinden ayırır ve kontrol hacminin sınırları kontrol yüzeyi olarak adlandırılır. Kütle, momentum ve enerjinin korunumu kanunu, bu sistem ve çevresi arasındaki etkileşimi tanımlar. Bununla birlikte, hidrolik mühendisliğinde, genellikle bir akışkan parçacığının hareketini veya bir miktar kütlenin hareketini takip etmekle karşılaştırıldığında, bir bölgedeki akışla ilgilenilir. Reynolds taşıma teoremi, bir kontrol hacmindeki akış değişkenlerini bu sistemle ilişkilendirir.(Roberson ve Crowe, 2001)



Şekil 2: Momentum Denklemi İçin Tanım Çizimi

Bir sistemin sahip olduğu kapsamlı niteliği B ve buna karşılık gelen yoğunluk niteliği β olsun. Yoğunluk niteliği, bir sistemin kütlesi (m) başına B miktarı olarak tanımlanır, yani,

$$\beta = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \frac{\Delta B}{\Delta m} \quad (2.7)$$

Böylece, bir kontrol hacmindeki toplam B miktarı:

$$B_{kh} = \int_{kh} \beta \rho dV \quad (2.8)$$

Burada ρ kütle yoğunluğu ve dV akışkanın diferansiyel hacmidir. Tek boyutlu akışta böyle bir kontrol hacmi için aşağıdaki denklem, sistem özelliklerini kontrol hacmindeki giriş ve çıkışlar ile kontrol hacminden ve V akış hızından içeri ve dışarı akış miktarlarına değinmektedir. Sistemin tüm kontrol hacmini, yani sistem sınırlarının kontrol yüzeyi ile örtüştüğü varsayılmaktadır.

$$\frac{dB_{kh}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{kh} \beta \rho dV + (\beta \rho AV)_{\text{çıkış}} - (\beta \rho AV)_{\text{giriş}} \quad (2.9)$$

Momentum denklemi için, kontrol hacmindeki suyun momentumu $B = mV$ ve yoğun özelliği $\beta = V\Delta m/\Delta m = V$ 'dir. Buna ek olarak, Newton'un ikinci hareket yasasına göre, momentum değişim hızı kontrol hacmine etki eden kuvvete eşittir ($\sum F = dB/dt$). Bu ilişkilerin Denklem 2.9'e uygulanırsa;

$$\sum F = \frac{d}{dt} \int_{x_1}^{x_2} V \rho A dx + V_2 \rho A_2 V_2 - V_1 \rho A_1 V_1 - V_x \rho q (x_2 - x_1) \quad (2.10)$$

Burada V_x , x yönünde yanal akış hızının bileşenidir. q 'nin yanal giriş için pozitif olduğu ve yanal çıkış için negatif olduğu unutmamalıdır.

Burada Leibnitz kuralı uygulanır ve $Q = VA$ yazılır ise denklem;

Leibnitz Kuralı;

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_{f_1(t)}^{f_2(t)} F(x, t) dx &= \int_{f_1(t)}^{f_2(t)} \frac{\partial}{\partial t} F(x, t) dx + F(f_2(t), t) \frac{df_2}{dt} - F(f_1(t), t) \frac{df_1}{dt} \\ \sum F &= \int_{x_1}^{x_2} \rho \frac{\partial Q}{\partial t} dx + V_2 \rho Q_2 - V_1 \rho Q_1 - V_x \rho q (x_2 - x_1) \end{aligned} \quad (2.11)$$

halini alır. Eğer Denklem 2.11, $\rho(x_2 - x_1)$ ile bölüp ortalama değer teoremi uygulanır ise;

$$Q(x_2) - Q(x_1) = \frac{\partial Q}{\partial x} (x_2 - x_1) \quad (\text{Ortalama Değer Teoremi})$$

$$\frac{\sum F}{\rho(x_2 - x_1)} = \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(QV)}{\partial x} - V_x q \quad (2.11)$$

denklemini elde edilir.

Denklemin daha basit ve kullanımının daha kolay olması için rüzgâr nedeniyle akış yüzeyindeki kayma gerilmeleri ihmal edilebilir ve Coriolis hızlanmasının etkileri göz ardı edilebilir. Bunlar tipik hidrolik mühendislik uygulamaları için geçerli varsayımlardır. Kanalın prizmatik olduğu varsayıldığından, kanal hacmindeki değişiklikler nedeniyle kontrol hacmine etki eden hiçbir harici kuvvet yoktur. Bu nedenle, Şekil 3'e dayanarak, aşağıdaki kuvvetler kontrol hacmine etki etmektedir:

$$\text{Çıkış kuvveti üzerine etkiyen basınç kuvveti } F_1 = \rho g A_1 \bar{y}_1 \quad (2.13-$$

a)

Burada \bar{y}_1 , A_1 akış alanının merkezî derinliğidir.

$$\text{Giriş kuvveti üzerine etkiyen basınç kuvveti } F_2 = \rho g A_2 \bar{y}_2 \quad (2.13-b)$$

Burada \bar{y}_2 , A_2 akış alanının merkezî derinliğidir.

x yönündeki kontrol hacmindeki suyun ağırlık bileşeni, aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$F_3 = \rho g \int_{x_1}^{x_2} A S_0 dx \quad (2.13-c)$$

Burada S_0 değeri kanal alt eğimidir ve aşağı doğru pozitif eğim olarak kabul edilir.

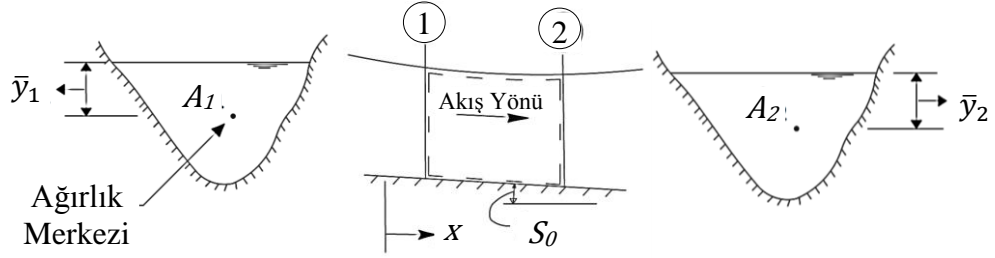
Sürtünme kuvveti (F_4), su ile kanal yanları ve kanal tabanı arasındaki kesişmeye bağlıdır. Sürtünme kuvveti sürtünme eğimi (S_f) veya sürtünmeyi aşmak için gereken enerji gradyanı olarak ifade edilebilir.

$$F_4 = \rho g \int_{x_1}^{x_2} AS_f dx \quad (2.13-d)$$

Sürtünme kayıpları için herhangi bir üstel formülde, sürtünme eğimi için ifade şu şekilde yazılabilir:

$$S_f = \frac{CV|V|^{m-1}}{R^p} \quad (2.13-e)$$

Burada C ve p kullanılan formüle bağlı olan katsayılardır, R hidrolik yarıçap ve m akış türüne bağlıdır. Örneğin, laminer akış için $m = 1$; pürüzsüz türbülanslı akış için $m = 1.75$; ve tam kaba türbülanslı akış için $m = 2$ alınır. Toplam kuvvet ise



Şekil 3: Momentum Denklemi İçin Tanım Çizimi

$$\sum F = F_1 - F_2 + F_3 - F_4 \quad (2.14)$$

F_1 'den F_4 'e kadar olan ifadelerin Denklem 2.13'ten denklem 14'e ve $\rho(x_2 - x_1)$ ile bölünmesiyle denklem;

$$\frac{\sum F}{\rho(x_2 - x_1)} = \frac{g(A_1\bar{y}_1 - A_2\bar{y}_2)}{x_2 - x_1} + \frac{g}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} A(S_0 - S_f) dx \quad (2.15)$$

ifadesi bulunur. Denklem 2.12 ve Denklem 2.15 denklemlerinin sağ tarafları eşitlenir ve ortalama değer teoremi uygulayarak uygulanır ise;

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(QV)}{\partial x} - V_x q = -g \frac{\partial A\bar{y}}{\partial x} + gA(S_0 - S_f) \quad (2.16)$$

denklemini buluruz. Bu denklem şu şekilde de yazılabilir:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(QV + gA\bar{y})}{\partial x} = gA(S_0 - S_f) + V_x q \quad (2.17)$$

Bu denklem koruma formundaki momentum denklemi olarak adlandırılır. Bu, $x - t$ düzlemindeki herhangi bir kapalı sınıra doğru olan momentumun, Denklem 2.17'nin sağ tarafının sıfır olması durumunda korunur olduğu anlamına gelir (Cunge ve ark., 1980). Sağ taraftaki sıfır olmayan terimler kaynak veya yitik olarak işlev görür.

$\Delta(A\bar{y}) = [A(\bar{y} + \Delta y) - 1/2B(\Delta y)^2] - A\bar{y}$. Böylece, yüksek mertebeden terimler ihmal edilir ve ağırlık merkezinin değişimi sıfıra götürülür ($\Delta y \rightarrow 0$) ise alan ile ağırlık merkezinin y 'ye göre türevinin alanı verdiği bulunur ($\partial(A\bar{y})/\partial y = A$). Bu ifade kullanılır ise;

$$\frac{\partial(gA\bar{y})}{\partial x} = \frac{g\partial(A\bar{y})}{\partial y} \frac{\partial(y)}{\partial x} = gA \frac{\partial(y)}{\partial x} \quad (2.18)$$

denklemini yazabiliriz. Böylece Denklem 2.17;

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(QV)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} = gA(S_0 - S_f) + V_x q \quad (2.19)$$

ifadesine dönüşür. Sol taraftaki ilk iki terim genişletilir ve yeniden düzenlenir ise aşağıdaki denklem elde edilir.

$$V \left(B \frac{\partial y}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + BV \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V_x}{V} q \right) + A \left(\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} + g(S_0 - S_f) \right) = 0 \quad (2.20)$$

Denklem 2.9'a göre, parantez içindeki terimlerin toplamı $V_x = 0$ veya $V_x = V$ ise sıfırdır. Bu nedenle;

$$\frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V^2}{2g} + y \right) = g(S_0 - S_f) \quad (2.21)$$

Bu denklem literatürde momentum denklemi, hareket denklemi ve dinamik denklem olarak adlandırılmıştır. Momentumun korunumunu tam olarak açıklamadığında biz dinamik denklem olarak adlandırıyoruz.

Denklem 2.21'in terimleri yeniden düzenlenir ise ;

$$S_f = S_0 - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V^2}{2g} + y \right) - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.22)$$

Kararlı, üniform

Kararlı, üniform olmayan

Kararsız, üniform olmayan

3. AKIŞ DENKLEMLERİ

Bir havzanın topraklarından veya kanallarından geçen su akışı dağıtılmış bir süreçtir. Çünkü akış debisi, hızı ve derinliği, havza boyunca değişir. Kanal sistemindeki önemli konumlardaki akış oranı veya su seviyesinin tahminleri, dağıtılmış bir akış yönlendirme modeli kullanılarak elde edilebilir. Bu tip bir model, akış oranı ve su seviyesinin, mekân ve zaman fonksiyonları olarak hesaplanmasını sağlayan kısmi diferansiyel denklemlere (tek boyutlu akış için Saint-Venant denklemleri) dayanmaktadır.

Taşkın suyu seviyesinin hesaplanması gereklidir çünkü bu seviye taşkın bölgesini belirler. Ayrıca bu hesaplamalar sonucunda köprü ve set gibi gerekli sanat yapılarının yükseklikleri belirlenir. Taşkın debisinin hesaplanması da önemlidir. Hidrolik bir akım öteleme modelinin kullanılmasına yönelik alternatif bir yöntem, istenen yerde akış debisini hesaplamak için toplu bir hidrolojik model kullanmaktır. Toplu model kullanıldıktan sonra, sahadaki kanal boyunca sabit ve düzenli olmayan akım varsayımı yapılarak buna karşılık gelen su seviyesi hesaplanmaktadır. Hidrolik bir taşkın öteleme modelinin bu alternatif üzerindeki avantajı, hidrolik modelin, akım hızı ve su seviyesini, ayrı ayrı hesaplamak yerine eşzamanlı olarak hesaplamasıdır. Böylece model, bir kanalda akım yayılımının gerçek, düzensiz ve eşit olmayan yapısına daha yakın olmaktadır.

Saint-Venant denklemleri çeşitli basitleştirilmiş formlara sahiptir ve bu formların her biri tek boyutlu hidrolik öteleme modelini tanımlamaktadır. Korunumlu ve korunumsuz (yanal girişin ihmal edilmesi, rüzgar direnci ve girdap kayıpları) formlardaki Denklem 2.7 ve Denklem 2.20'nin varyasyonları çeşitli tek boyutlu hidrolik öteleme modellerini tanımlamak için kullanılmaktadır.

Momentum denklemi, akış momentumunu düzenleyen fiziksel süreçleri temsil eden terimlerden oluşur. Bu terimler;

1. Yerel ivme terimi: Zaman içindeki hız değişimi nedeniyle momentumdaki değişimi açıklar,

2. Konvektif ivme terimi: Kanal boyunca hızdaki değişim nedeniyle momentumdaki değişimi açıklar,
3. Basınç kuvveti terimi: Kanal boyunca su derinliğinin değişmesiyle orantılıdır,
4. Yerçekimi kuvveti terimi: Yatak eğimi S_0 ile orantılı,
5. Sürtünme kuvveti terimi: Sürtünme eğimi ile orantılı S_f .

Yerel ve konvektif ivme terimleri hareketsiz kuvvetlerin akış üzerindeki etkisini gösterir.

Problemlerde kullanılan süreklilik denkleminin korunumlu ve korunumsuz formu aşağıdaki verilmiştir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (\text{Korunumlu form})$$

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (\text{Korunumsuz form})$$

Problemlerde kullanılan momentum denkleminin korunumlu ve korunumsuz formu aşağıdaki verilmiştir.

Korunumlu form

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - gA(S_0 - S_f) = 0$$

Yerel
hızlanma
terimi

Konvektif
ivmesi
terimi

Basınç
kuvveti
terimi

Yerçekimi
kuvveti
terimi

Sürtünme
kuvveti
terimi

Korunumsuz Form (birim genişlik elemanı)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial x}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0$$

┌

└

Kinematik dalga

┌

└

Difüzyon dalga

┌

└

Dinamik dalga

Su seviyesi veya akış hızı, kritik akış taşıyan bir kanalda belirli bir noktada değiştirildiğinde, bu değişikliklerin etkileri geri akışa doğru yayılır. Bu geri akış etkileri yerel ivme, konvektif ivme ve basınç terimleri yoluyla taşkın öteleme yöntemlerine dâhil edilebilir. Kinematik ve Difüzyon Dalga yöntemleri, ters su etkileri önemli olduğunda ve nehir eğimi az olduğunda akış koşullarını simüle etmede iyi sonuç vermeyebilir, çünkü bu metotlar akış momentumundaki değişikliklerin akış yönündeki ilerlemesini tanımlamak için herhangi bir hidrolik mekanizmaya sahip değildir.

En basit model, momentum denklemindeki yerel ivme, konvektif ivme ve basınç terimlerini ihmal eden kinematik dalga modelidir; Yani, $S_f = S_0$ olduğunu ve sürtünme ve yerçekimi güçlerinin birbirini dengelediğini varsayar. Difüzyon dalgası modeli yerel ve konvektif ivme terimlerini ihmal eder, ancak basınç terimini içerir. Dinamik dalga modeli momentum denklemindeki tüm ivme ve basınç terimlerini dikkate alır.

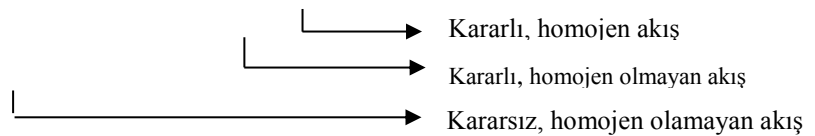
Momentum denklemi, aynı zamanda akış kararlı olsun veya olmasın, homojen olsun veya olmasın, Denklem 3.1'de gösterildiği gibi tüm formlarda yazılabilir. Süreklilik denkleminde kararlı bir akım için $\partial A/\partial t = 0$ ve homojen bir akım için yanal debi (q) sıfırdır.

Korunumlu Form;

$$-\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) - \frac{\partial y}{\partial x} + S_0 = S_f \quad (3.1)$$

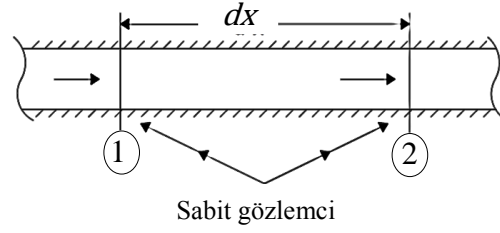
Korunumsuz Form;

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial y}{\partial x} + S_0 = S_f \quad (3.2)$$

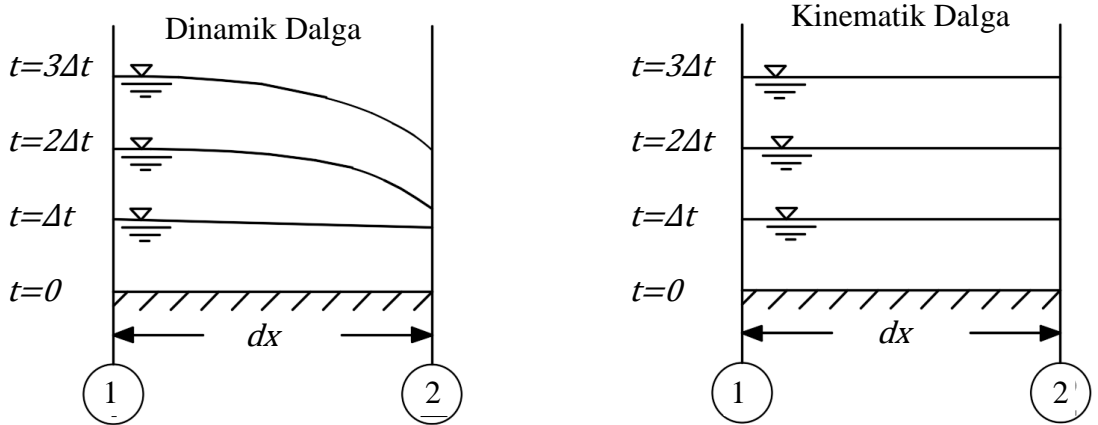


3.1 Dalga Hareketi

Atalet ve basınç kuvvetleri ihmal edildiğinde kinematik dalga modeli kullanılır. Dinamik dalga modelinde ise atalet ve basınç kuvvetleri ihmal edilmez. Kinematik bir dalgada yerçekimi ve sürtünme kuvvetleri dengelidir. Bu nedenle akış kayda değer bir şekilde değişmez. Şekil 4’de nehir kıyısında durağan bir gözlemcinin bakış açısına göre diferansiyel elemandaki kinematik ve dinamik dalga hareketi arasındaki farkı göstermektedir. Bir kinematik dalga için enerji çizgisi, kanal tabanına paraleldir ve akış, diferansiyel uzunluk içinde kararlı ve homojen ($S_f = S_0$) olurken, dinamik dalga için enerji çizgisi ve su yüzeyi yüksekliği kanal tabanına paralel değildir (Şekil 5).



Şekil 4: Sabit Bir Gözlemci Tarafından Akış Hareketinin Kontrolü



Şekil 5: Durağan Bir Gözlemci Tarafından Kısa Bir Kanal Mesafesinde Kinematik Ve Dinamik Dalgalarının Gözlemlenmesi

3.1.1 Kinematik Dalga

Dalga bir akıştaki varyasyondur (debideki ve su seviyesindeki değişiklikler gibi) ve dalga yayılım hızı bu varyasyonun kanal boyunca ilerlediği hızdır. Yayılım hızı, incelenen dalganın türüne bağlıdır ve su hızından oldukça farklıdır. Kinematik bir dalga için momentum denklemindeki hızlanma ve basınç terimleri göz ardı edilebilir olduğundan, dalga hareketi esas olarak süreklilik denklemi ile tarif edilir. Kinematik dalga modeli aşağıdaki denklemlerle tanımlanabilir:

Süreklilik Denklemi;

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial x} = q \quad (3.3)$$

Momentum Denklemi;

$$S_0 = S_f \quad (3.4)$$

Ayrıca momentum denklemi aşağıdaki formda da ifade edilebilir;

$$A = \alpha Q^\beta \quad (3.5)$$

Manning denklemi $S_0 = S_f$ ve $R = A/P$ eşitlikleri ile yazıldığında;

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{nP^{2/3}} A^{5/3} \quad (3.6)$$

Bu denklemde alan (A) ifadesi çekildiğinde;

$$A = \left(\frac{nP^{2/3}}{S_0^{1/2}} \right)^{3/5} Q^{3/5} \quad (3.7)$$

Bu durumda $\alpha = (nP^{2/3}/S_0^{1/2})^{0.6}$ ve $\beta = 0.6$ olur.

Denklem 3.3, A ve Q olmak üzere iki bağımlı değişken içerir, fakat A , farklılaşarak ortadan kaldırılabilir:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha\beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) \quad (3.8)$$

Denklem 3.3 de $\partial A/\partial t$ yerine yazılır ise aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha\beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) &= q \\ \frac{\partial Q}{\partial x} + c \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) &= q \end{aligned} \quad (3.9)$$

Kinematik dalgalar Q 'daki değişikliklerden kaynaklanır. Akıştaki dQ artışı, aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \frac{\partial Q}{\partial t} dt \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'u dx ile bölüp tekrar düzenlenir ise aşağıdaki denklemler elde edilebilir.

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{dt}{dx} \quad (3.11)$$

$$\frac{dQ}{dx} = q \quad (3.12)$$

Denklem 3.9 ile Denklem 3.11 özdeştir. O halde;

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad (3.13)$$

Denklem 3.5 yeniden yazılır ise;

$$\frac{dQ}{dA} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad (3.14)$$

ve Denklem 3.9 ile Denklem 3.10 karşılaştırılır ise;

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dQ}{dA} \quad (3.15)$$

veya;

$$c_k = \frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt} \quad (3.16)$$

c_k kinematik dalga yayılım hızlandırıcısıdır. Bu, akışa sahip bir $dx/dt = c_k$ hızında hareket eden bir gözlemcinin akış hızının $dq/dx = q$ oranında arttığını gösterir. Eğer $q = 0$ ise, gözlemci sabit bir deşarj görecektir. Denklem 3.8 ve Denklem 3.12, kinematik bir dalga için karakteristik denklemlerdir. Ayrıca bu denklemler yönetimsel süreklilik ve momentum denklemlerine matematiksel olarak denk olan iki adi diferansiyel denklemdir.

Kinematik dalga yayılım hızı, y derinliği olarak da ifade edilebilir.

$$c_k = \frac{1}{B} \frac{dQ}{dy} \quad (3.17)$$

Doğal sel dalgalarında hem kinematik hem de dinamik dalga hareketi vardır. Çoğu durumda kanal eğimi momentum denkleminde etkilidir. Bu nedenle, genellikle taşkın dalgaları kinematik dalga olarak hareket eder. Lighthill ve Whitham (1955), doğal taşkın dalgasının ana kısmının kinematik bir dalganınkiyle benzerliğini kanıtlamıştır. Eğer diğer momentum terimleri $[\partial V/\partial t, V(\partial V/\partial x)]$ ve $(1/g)\partial y/\partial x$ göz ardı edilemezse, sel dalgasının ana gövdesinden hem yukarı hem de aşağı yönde yayılabilen dinamik bir dalga cephesi vardır. Miller (1984), kinematik dalga yaklaşımının ne zaman uygulanabilir olduğunu belirlemek için birkaç kriteri özetlemektedir, ancak bu kararı vermek için tek bir evrensel ölçüt yoktur.

Daha önce gösterildiği gibi, bir dalga kinematik ise ($S_0 = S_f$) kinematik dalga hızı dQ/dA ile değişir. Manning denklemi için, Q arttıkça dalga hızı artar. Sonuç olarak, kinematik dalga teorik olarak yükselen noktası yükseldikçe o nokta aşağı akış yönünde ilerlemelidir. Bununla birlikte, dalga uzamaz ya da sönmez. Bu yüzden dalga sakinleşmez ve dalganın pik seviyesi aynı maksimum derinlikte kalır. Dalga daha dik hale geldikçe, diğer momentum denklemleri daha önemli hale gelir ve

dağılıma ile birlikte zayıflama da getirir. Taşkın dalgasının kesişimi kinematik dalga hızından ayrılır çünkü deşarj tek başına derinlik fonksiyonu değildir ve dalga tepesinde Q ve y sabit kalmaz.

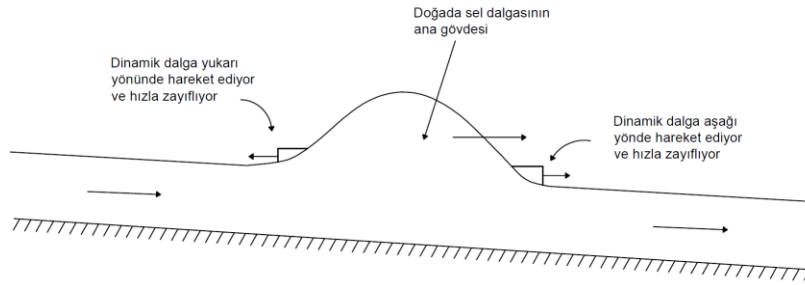
Lighthill ve Whitham (1955), bir dalga cephesinin görünüşünü, Chezy denklemini birleştirerek belirlediğini göstermiştir.

$$Q = CA \sqrt{RS_f} \quad (3.18)$$

ve

$$Q = CA \sqrt{R \left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \right)} \quad (3.19)$$

denklemini yazılabilir. Burada C , Chezy katsayısıdır ve R , hidrolik yarıçaptır.



Şekil 6: Bir Taşkın Dalgasının Hareketi

3.1.2 Difüzyon Dalgası

Kinematik dalgada uygulanan yaklaşıma benzer bir yaklaşım kullanılarak, aşağıdaki Denklem 3.20 ve Denklem 3.21 biçimindeki diferansiyel denklemler, difüzyon dalga modelinin çözümü için tek bir diferansiyel denkleme indirgenebilir. Farklı varsayımlar için, bağımlı değişkenin derinlik (y) ve akış debisi (Q) olduğu nihai denklemin çeşitli formları elde edilebilir. Bu bölümde akış debisine göre difüzyon dalga denkleminin klasik formu çıkartılacaktır.

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} + S_f - S_0 = 0 \quad (3.21)$$

Bu amaçla Manning denklemi yeniden yazılır.

$$Q = K \sqrt{S_f} \quad (3.22)$$

burada K ;

$$K = \frac{1}{n} R^{2/3} A = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad (3.23)$$

İletim olarak adlandırılan K sayısı sadece kesitsel parametrelerin bir fonksiyonudur. Denklem 3.22'nin Denklem 3.21'de değiştirilmesi, difüzyon dalga modelini (Denklem 3.20 ve Denklem 3.21) aşağıdaki gibi yeniden yazılmasına olanak sağlar:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{|Q|Q}{K^2} - S_f = 0 \quad (3.25)$$

Bir sonraki adımda, süreklilik denklemi x 'e göre ayrıştırılırken, dinamik denklem t 'ye göre farklılaşır. Kanalın genişliğini sabit olduğu varsayılır ise aşağıdaki denklemler yazılabilir ($B = sbt.$).

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (3.26)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + \frac{2|Q|}{K^2} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2|Q|Q}{K^3} \frac{\partial K}{\partial t} = 0 \quad (3.27)$$

Denklem 26'nın Denklem 27'den çıkarılması, y fonksiyonunun çapraz türevlerini ortadan kaldırır:

$$\frac{2|Q|Q}{K^3} \frac{\partial K}{\partial t} - \frac{1}{B} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - \frac{2|Q|Q}{K^3} \frac{\partial K}{\partial t} = 0 \quad (3.28)$$

K sayısı, derinliğin (y) bir fonksiyonunu olduğu için aşağıdaki denklemi yazılabilir.

$$\frac{\partial K}{\partial t} = \frac{\partial K}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} \quad (3.29)$$

Süreklilik denklemi Denklem 3.24 ile Denklem (3.29) birleştirilir ise;

$$\frac{\partial K}{\partial t} = - \frac{\partial K}{\partial t} \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (3.30)$$

eşitliği elde edilir. Denklem 3.28'de Denklem 3.30 kullanılır ise momentum denklemi;

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{Q}{KB} \frac{\partial K}{\partial t} \right) \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{K^2}{2B|Q|} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (3.31)$$

halini alır. Denklem 3.31 de;

$$C = \frac{Q}{KB} \frac{\partial K}{\partial y} \quad (3.32)$$

$$D = \frac{K^2}{2B|Q|} \quad (3.33)$$

C ve D fonksiyonları Denklem 3.31'de yerine yazılır ise;

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} - D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (3.34)$$

halini alır. Denklem 3.34, C 'nin kinematik dalga hızlandırması olduğu ve D 'nin hidrolik difüzyon katsayısının olduğu, adveksiyon-difüzyon denklemi biçimindeki yayılma dalgası modelidir.

Hayami'nin 1951'de (Eagleson, 1970) önerdiği yaygın dalga modelinin en popüler biçimi Denklem 3.30'dur. Aşağıdaki şartlarda Denklem 3.30 kullanılır;

1. Enerji çizgisi eğimi yatak eğimiyle değiştirilir ($S_0 = S_f$),
2. Dikkate alınan kanal geniş ve sığdır, böylece sabit ıslanmış çevre ($P = \text{sbt.}$) varsayılabilir.

Bu varsayımlar dikkate alınır ise C ve D fonksiyonları aşağıdaki formda yazılabilir.

$$D = \frac{K^2}{2B|Q|} = \frac{1}{2BQ} \frac{Q^2}{S_0} = \frac{Q}{2BS_0} \quad (3.35)$$

$$C = \frac{Q}{KB} \frac{\partial K}{\partial y} = \frac{5}{3}V \quad (3.36)$$

Denklem 3.36, daha önce kinematik dalga denklemi 3.9 için türetilmiş kinematik dalga hızını temsil eder. Katsayıların Denklem 3.35 ve Denklem 3.36 tarafından verildiği Denklem 3.34 biçimindeki difüzyon dalga modeli sıklıkla kullanılır.

3.1.3 Dinamik Dalga

Dinamik dalga denkleminde kinematik ve difüzyon dalga denklemlerinde yapılmış olan ihmaller yapılmaz. Momentum denklemi ile süreklilik denklemi sıralı olarak çözülür. Bu çalışmada dinamik dalga modeli iki başlıkta incelenecektir.

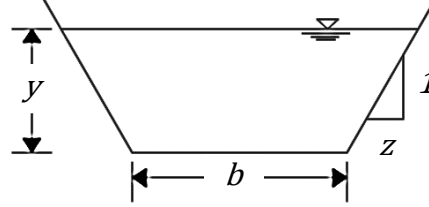
3.1.3.1 Sadeleştirilmiş Dinamik Dalga (Trapez kanal için)

Sadeleştirilmiş dinamik denklemde, kullanılan momentum denklemi sadece kanal alanının ve debinin kullanıldığı diferansiyel denkleme dönüştürülmeye çalışılacaktır. Keskin ve Ağırlioğlu (1997) yayımladıkları makalede dikdörtgen kesit için bir sadeleştirilmiş dalga modeli oluşturmuşlardır.

Burada trapez kanal kesiti için bu yöntem uygulanacaktır. Öncelikle momentum ve süreklilik denklemleri tekrardan hatırlanmak için bir daha yazılır.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} - gA(S_0 - S_f) = 0 \quad (3.37)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.38)$$



Şekil 7: Trapez Kanal İçin Enkesit

Burada trapez kesit ile ilgilenildiği için trapez kesitin ıslak alan ve ıslak çevre değerlerinin derinlik cinsinden ifadesinin bilinmesi gereklidir.

$$A = y(b + zy) \quad (3.39)$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (3.40)$$

Trapez kanalın alanı derinlik (y) değişkenin cinsinde yazıldığında 2. dereceden bir denkleme dönüşür. Bu denklemin köklerinin bulunabilmesi için Δ hesaplaması yapılır.

$$\Delta = b^2 + 4zA \quad (3.41)$$

$$y_1 = \frac{\sqrt{\Delta} - b}{2z} \quad (3.42)$$

$$y_2 = \frac{-\sqrt{\Delta} - b}{2z} \quad (3.43)$$

Burada Denklem 3.43'te hesaplanan y_2 değeri tüm trapez kanallarda negatif

$$y = \frac{\sqrt{b^2 + 4zA} - b}{2z} \quad (3.44)$$

çıkacağı için derinlik alan ilişkisi;

şeklinde yazılabilir. Momentum denklemindeki farklı diferansiyel terimlerden kurtulmak için $\partial y/\partial x$ diferansiyel terimi $\partial A/\partial x$ diferansiyel terimi cinsinden yazılır.

$$\frac{\partial A}{\partial x} = (b + 2zy) \frac{\partial y}{\partial x} \quad (3.45)$$

$$\frac{\partial A}{\partial x} = 1/\sqrt{b^2 + 4zA} \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.46)$$

$\partial y/\partial x$ terimi $\partial A/\partial x$ diferansiyel terimi cinsinden yazıldıktan sonra momentum denkleminin sadeleştirilmeye devam edilebilmesi için $\partial(Q^2/A)/\partial x$ terimi bileşenlerine ayrılır.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.47)$$

Buraya kadar bulunan eşitlikler ile momentum denklemini aşağıdaki formu alır.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \left(\frac{gA}{\sqrt{b^2 + 4zA}} - \frac{Q^2}{A^2} \right) \frac{\partial A}{\partial x} - gA(S_0 - S_f) = 0 \quad (3.48)$$

Şimdiye kadar momentum denkleminde sadece su derinliği değeri olan y terimi çıkarılabildi. Ancak Denklem (3.48), hesaplamayı zorlaştıran $\partial A/\partial x$ teriminden de arındırılmalı. Bunun için $Q = VA$ denkleminin x 'e göre türevi alınır. Ardından ortaya çıkan terimlerin sadece $\partial Q/\partial x$ veya $\partial A/\partial x$ diferansiyel terimleri cinsinden olacak şekilde sadeleştirilmesi gerekmektedir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.49)$$

Denklem 3.49, $\partial V/\partial x$ teriminden de arındırılabilmesi için bu terim kendi

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S_f} \quad (3.50)$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{1}{3} \frac{1}{n} R^{-1/3} S_f^{1/2} \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{-1/2} \frac{\partial S_f}{\partial x} \quad (3.51)$$

içerisinde açılır.

Burada $\partial S_f/\partial x$ sıfır kabul edilebilir. Çünkü bu terimin sonuca etkisi ihmal edilebilir düzeydedir (Keskin ve Ağırlioğlu, 1997). Hidrolik yarıçapın da x 'e göre türevini açılır ise aşağıdaki denklemler bulunur.

$$R = A/P \quad (3.52)$$

$$\frac{\partial R}{\partial x} = \frac{1}{P} \frac{\partial A}{\partial x} - \frac{A}{P^2} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (3.53)$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{1}{3} \frac{1}{n} R^{-1/3} S_f^{1/2} \left(\frac{1}{P} - \frac{A}{P^2} \frac{2\sqrt{1+z^2}}{\sqrt{b^2+4zA}} \right) \frac{\partial A}{\partial x} \quad (3.54)$$

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{1}{V \left[\frac{5}{3} - \frac{4}{3} \frac{R\sqrt{1+z^2}}{\sqrt{b^2+4zA}} \right]} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (3.55)$$

$\partial A/\partial x$ diferansiyel terimi $\partial Q/\partial x$ cinsinden yazabildiğine göre momentum denklemini aşağıdaki formu alır.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \alpha \frac{\partial Q}{\partial x} + \beta = 0 \quad (3.56)$$

burada;

$$\alpha = 2V - \frac{3V\sqrt{b^2+4zA}}{5\sqrt{b^2+4zA} - 4R\sqrt{1+z^2}} + \frac{3gA}{5V\sqrt{b^2+4zA} - 4R\sqrt{1+z^2}} \quad (3.57)$$

$$\beta = gA(S_0 - S_f) \quad (3.58)$$

3.1.3.2 Tam Dinamik Dalga Modeli (Trapez kanal için)

Sadeleştirilmiş dinamik dalga denkleminde Denklem 3.51'e kadar olan işlemlerde bir değişiklik olmaz. Sadece Denklem 3.51'de $\partial S_f/\partial x$ terimi ihmal edilmez. Bunun sonucunda Denklem 3.54;

$$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{1}{3} \frac{1}{n} R^{-1/3} S_f^{1/2} \left(\frac{1}{P} - \frac{A}{P^2} \frac{2\sqrt{1+z^2}}{\sqrt{b^2+4zA}} \right) \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{-1/2} \frac{\partial S_f}{\partial x} \quad (3.59)$$

şeklinde yazılır. Bunun sonucunda momentum denklemi aşağıdaki formu alır.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \alpha \frac{\partial Q}{\partial x} + \gamma \frac{\partial S_f}{\partial x} + \beta = 0 \quad (3.60)$$

$$\alpha = 2V - \frac{3V\sqrt{b^2 + 4zA}}{5\sqrt{b^2 + 4zA} - 4R\sqrt{1 + z^2}} + \frac{3gA}{5V\sqrt{b^2 + 4zA} - 4R\sqrt{1 + z^2}} \quad (3.61)$$

$$\gamma = \frac{V\sqrt{b^2 + 4zA} + gA}{5\sqrt{b^2 + 4zA} - 4R\sqrt{1 + z^2}} \quad (3.62)$$

$$\beta = gA(S_0 - S_f) \quad (3.63)$$

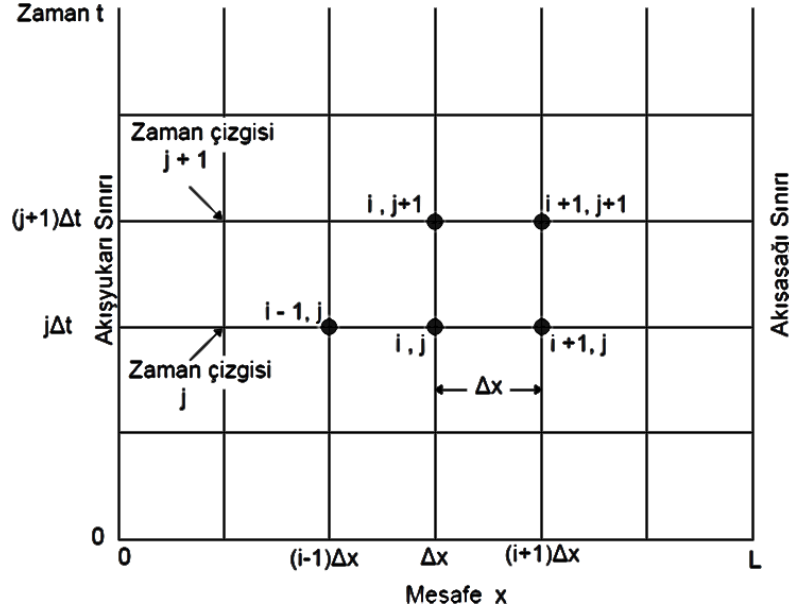
Fark edildiği üzere tam dinamik dalga modeli ile sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli arasındaki tek fark $\partial S_f / \partial x$ teriminin ihmal edilip edilmemesidir. α ve β değerleri bu terimin ihmal edilip edilmemesinden etkilenmez.

4. SONLU FARK YAKLAŞIMI

Saint-Venant denklemleri, birkaç özel basit durum dışında analitik çözüm için uygun değildir. Genel olarak sayısal yöntemler kullanılarak çözülmesi gereken kısmi diferansiyel denklemlerdir. Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için yöntemler doğrudan sayısal yöntemler ve karakteristik yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Doğrudan sayısal yöntemlerde, sonlu fark denklemleri, süreklilik ve momentum için orijinal kısmi diferansiyel denklemlerden formüle edilir. Akış hızı ve su yüzeyi yüksekliği için çözümler akıntı veya nehir boyunca artan zamanlar ve mesafeler için elde edilir. Karakteristik yöntemlerde, kısmi diferansiyel denklemler ilk önce karakteristik bir forma dönüştürülür ve karakteristik denklemler, daha önce kinematik dalga için gösterildiği gibi analitik olarak çözülür veya sonlu farklı bir gösterim kullanılarak çözülür.

Kısmi diferansiyel denklemleri çözmek için sayısal yöntemlerde, hesaplamalar $x - t$ düzlemi üzerine yerleştirilmiş bir ağ üzerinde gerçekleştirilir. $x - t$ düzlemi, Δx 'in mesafedeki uzunluk artışlarını ve Δt 'nin süredeki zaman artışları olarak tanımlanmış bir noktalar ağıdır. Şekil 7'de gösterildiği gibi, mesafe noktaları indeks i ve zaman noktaları indeks j ile gösterilir. Bir zaman çizgisi, x eksenini boyunca her bir mesafe noktasının tümünde belirli bir zaman dilimi için bir paralele dönüşür.

Sayısal şemalar, yönetimsel kısmi diferansiyel denklemleri, lineer veya lineer olmayan bir cebirsel sonlu fark denklemleri dizisine dönüştürür. Sonlu fark denklemleri, hem mevcut zaman çizgisindeki $(j + 1)$ hem de tüm değerlerin bulunduğu önceki zaman çizgisinde (j) bilinmeyen değişkenler açısından konumsal ve zamansal türevleri temsil eder (Şekil 8). Saint-Venant denklemlerinin çözümü bir zaman çizgisinden diğerine ilerler.



Şekil 8: Sonlu Farklar İle Saint-Venant Denklemlerinin Sayısal Çözümü İçin Kullanılan $x - t$ Düzlemindeki Izgara Şeması

4.1 Sonlu Fark

Sonlu fark yaklaşımları, Şekil 8'de gösterildiği gibi bir $u(x)$ fonksiyonu için türetilebilir. $x + \Delta x$ 'de $u(x)$ 'in bir Taylor serisi genişlemesi;

$$u(x + \Delta x) = u(x) + \Delta x \dot{u}(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 \ddot{u}(x) + \frac{1}{6} \Delta x^3 \dddot{u}(x) + \dots \quad (4.1)$$

Burada $\dot{u}(x) = \partial u / \partial x$, $\ddot{u}(x) = \partial^2 u / \partial x^2$ vb. Taylor serisinin $x - \Delta x$ 'deki genişlemesi ise;

$$u(x - \Delta x) = u(x) - \Delta x \dot{u}(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 \ddot{u}(x) - \frac{1}{6} \Delta x^3 \dddot{u}(x) + \dots \quad (4.2)$$

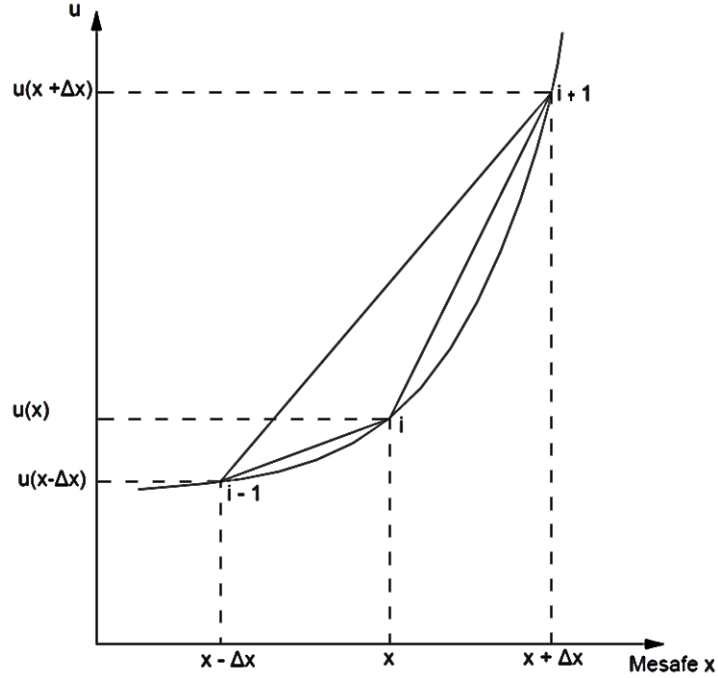
Denklem 4.1'den Denklem 4.2'yi çıkarmak bir merkezi yaklaşımdır.

$$u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x) = 2\Delta x \dot{u}(x) + 0(\Delta x^3) \quad (4.3)$$

$0(\Delta x^3)$ üçüncü ve daha yüksek mertebeden terimleri içeren bir artışı temsil eder. $0(\Delta x^3)$ kabulü ile $\dot{u}(x)$ 'nin çözümü;

$$\dot{u}(x) = \frac{u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x)}{2\Delta x} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. Δx^2 teriminin yaklaşık bir hatası vardır. Yüksek terim koşullarının düşürülmesi nedeniyle bu yakınsama hatası aynı zamanda bir kesme hatası olarak da ifade edilir. Denklem 4.4'ün şekil üzerinde gösterimi Şekil 9'daki gibidir.



Şekil 9: $u(x)$ Fonksiyonu İçin Sonlu Fark Yaklaşımları.

Denklem 4.1'den $u(x)$ 'nin çıkarılmasıyla bir ileri fark yaklaşımı tanımlanır.

$$u(x + \Delta x) - u(x) = \Delta x \dot{u}(x) + 0(\Delta x^2) \quad (4.5)$$

İkinci ve daha yüksek mertebeden terimlerin ihmal edilebilir olduğunu varsayarsak, $\dot{u}(x)$ için çözüm

$$\dot{u}(x) \approx \frac{u(x + \Delta x) - u(x)}{\Delta x} \quad (4.6)$$

Δx sırasının yaklaşık bir hatası vardır.

Geri-farklar yaklaşımı, $u(x)$ eksilti olarak tanımlanan farkı kullanır,

$$u(x) - u(x - \Delta x) = \Delta x \dot{u}(x) + 0(\Delta x^2) \quad (4.7)$$

böylece $\dot{u}(x)$ fonksiyonunu yalnız bırakırsak,

$$\dot{u}(x) \approx \frac{u(x) - u(x - \Delta x)}{\Delta x} \quad (4.8)$$

Sonlu fark yaklaşımında çözümler iki şema ile yapılabilir. Bu şemalar açık şema ve kapalı şemadır. İkisi arasındaki temel fark, açık şemada, bilinmeyen değerlerin bir mesafe noktasından diğerine bir zaman çizgisi boyunca ardışık olarak çözülürken, kapalı yöntemde, belirli bir zaman çizgisindeki bilinmeyen değerlerin hepsi eş zamanlı olarak hesaplanır. Açık şema daha basit olmakla birlikte kararsız yani stabil olmayan sonuçlar verebilir. Bu da sayısal işlemin yakınsaması için Δx ve Δt 'nin küçük değerlerinin gerekli olduğu anlamına gelir. Açık şema elverişli bir yöntemdir, çünkü sonuçlar grid noktalarında belirlenir ve akarsuyun boyuna olan değişken kanal geometrisini çözebilir. Ancak kapalı şema daha az elverişli olup uzun bir zaman periyodu boyunca sel akışlarını çözmek için uygun değildir.

Kapalı şema, matematiksel olarak daha karmaşıktır, ancak bilgisayarların kullanımıyla, yöntem programlandıktan sonra bu ciddi bir sorun değildir. Yöntem, az sayıda doğruluk kaybıyla büyük hesaplama adımları için kararlıdır ve bu nedenle açık yöntemden çok daha hızlı çalışır. Kapalı yöntem, kanal geometrisini bir kanal kesitinden diğerine önemli ölçüde hesaplayabilir.

4.1.1 Açık Şema

Sonlu fark gösterimi, Şekil 7'de gösterilen zaman-mesafe düzlemi üzerindeki noktaların ağı ile gösterilmektedir. t (zaman çizgisi j zamanında, hidrolik akış debisinin (u) bilindiği varsayılırsa, problem $t + \Delta t$ zamanında $(i, j + 1)$ numaralı noktada bilinmeyen akış debisinin (u_{j+1}^i) belirlenmesidir.

En basit şema, $(i, j + 1)$ noktasında kısmi türevleri, bitişiğindeki $(i - 1, j)$, (i, j) ve $(i + 1, j)$ 'teki noktalardaki miktarlar bakımından belirler.

$$\frac{\partial u_{j+1}^i}{\partial t} = \frac{u_{j+1}^i - u_j^i}{\Delta t} \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial u_j^i}{\partial x} = \frac{u_j^{i+1} - u_j^{i-1}}{2\Delta x} \quad (4.10)$$

Zaman türevi için bir ileri fark şeması kullanılır ve uzamsal türev için bir merkezi fark şeması kullanılır.

Konumsal türev, j satırında bilinen terimler kullanılarak yazılır. Öte yandan kapalı şemalar, zamansal ve konumsal türevler için $(j + 1)$ bilinmeyen zaman çizgisi açısından sonlu fark yaklaşımlarını kullanırlar.

Sonlu fark denklemlerinin uyumu için $x - t$ düzleminin bir ağ yapısına ayrılması sayısal hataları hesaplamaya sokar. Bir sonlu fark şeması, bir zaman çizgisinden diğerine başarılı bir hesaplama sırasında bu tür hatalar genişletilmezse stabildir. Hesaplamanın sayısal kararlılığı, göreceli adım boyutuna bağlıdır. Açık bir şemanın istikrarı için gerekli ama yetersiz bir koşul, Courant koşuludur (Courant and Friedrich, 1948). Kinematik dalga denklemleri için, Courant koşulu c_k 'nin kinematik dalga hızlandırmasıdır. Dinamik dalga denklemleri için c_k , Denklem 4.11'de $V + c_k$ ile değiştirilir. Courant koşulu, zaman adımının, bir dalganın mesafeyi (Δx_i) geçmesi için geçen süreden daha az olmasını gerektirir. Δt , Courant koşulu sağlanamayacak kadar büyükse bir birikim veya su birikintisi vardır. Courant koşulu kapalı şema için geçerli değildir.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x_i}{c_k} \quad (4.11)$$

Açık bir şemada hesaplama amaçları için, Δx her bir zaman adımında belirlenirken, Δt hesaplamalar boyunca belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Bunu yapmak için, sadece Courant koşulunu karşılayan bir Δt_i , j zaman çizgisi üzerindeki i nolu her ızgara noktasında hesaplanmakta ve en küçük Δt_i kullanılmaktadır. Δt küçük olmadıkça, açık yöntem kararsız olduğundan, bazen bir zaman çizgisi j en az Δt_i belirlemek için daha sonra bazı yüzdeyle azaltmak için tavsiye edilir. Courant koşulu stabilitenin gerçekleşmesi için kesin bir çözüm sunmaz. Bu nedenle sadece bir kılavuzdur.

4.1.2 Kapalı Şema

Kapalı şemalar, hem zamansal hem de mekânsal türevi için bilinmeyen zaman çizgisindeki bağımlı değişken açısından sonlu fark yaklaşımlarını kullanır. Burada çözümler tahmini bir başlangıç değeri ile başlayıp iterasyon yöntemi ile sonuca ulaşmaktadır. Basit bir örnek olarak, $(i + 1, j + 1)$ olarak bilinmeyen nokta için yer ve zaman türevleri yazılabilir.

$$\frac{\partial u_{j+1}^{i+1}}{\partial x} = \frac{u_{j+1}^{i+1} - u_{j+1}^i}{\Delta x} \quad (4.12)$$

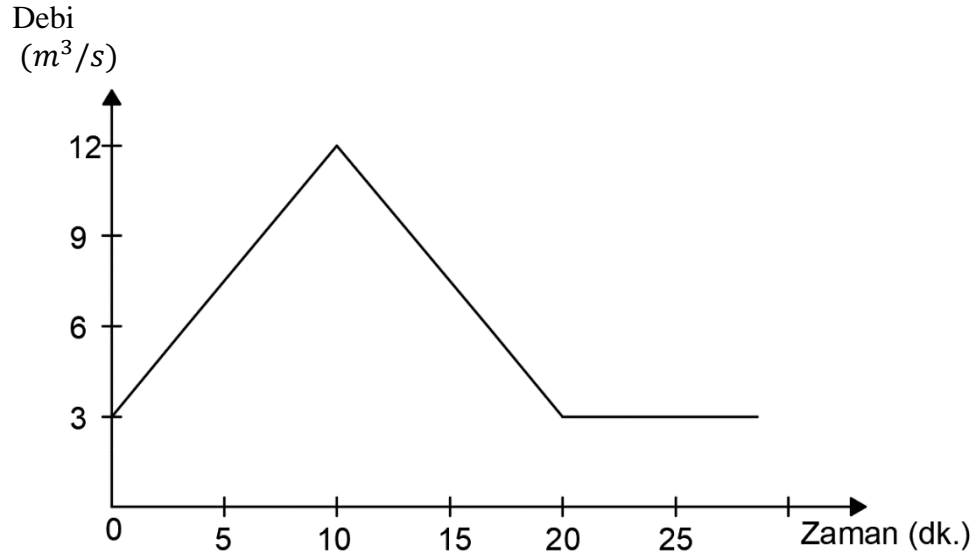
$$\frac{\partial u_{j+1}^{i+1}}{\partial t} = \frac{u_{j+1}^{i+1} - u_j^{i+1}}{\Delta t} \quad (4.13)$$

5. UYGULAMA

Doğada su kaynakları, kendi cazibesi ile en kolay akış ortamını oluşturabileceği akarsu yataklarını oluşturur. Bu nedenle doğada düzenli ve projelendirilmiş akarsu yatakları bulmak zordur. Bu akarsularda sürekli ve kısa mesafelerde gözlem istasyonları sayesinde ölçüm yapmak zor ve maliyetli bir iştir. Bu nedenle, problemin çözümünde kullanılan bazı veriler Akan ve Yen (1981)'nin çalışmalarından alınmıştır. Bu veriler sayesinde dalga modellerinin, kanal en kesitlerinin birbirleri arasında kıyaslanması, Manning pürüzlülük katsayısı, kanal eğimi, kanal genişliği ve şev eğimi gibi kanal parametrelerinin akışa etkileri incelenecektir.

5.1 Uygulama Verileri

Uygulamada kullanılan taşkın hidrografının şekli ve sayısal değerleri Şekil 9 ve Tablo 1 verilmiştir.



Şekil 10: Giriş Taşkın Hidrografı (Akan ve Yen (1981))

Tablo 1: Giriş Taşkın Hidrograf Değerleri (Akan ve Yen (1981))

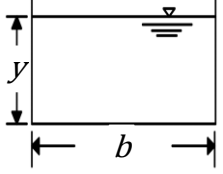
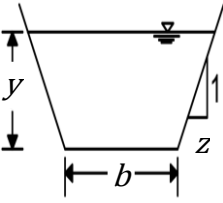
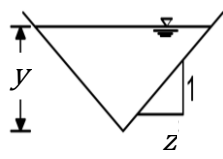
t (dk)	0	5	10	15	20	25	30
Debi (m³/s)	3	6	12	9	3	3	3

Q (m^3/s)	3	7.5	12	7.5	3	3	3
--------------------	---	-----	----	-----	---	---	---

5.2 Farklı Akarsu Enkesitleri

Uygulama bölümünde kıyaslanacak farklı akarsu en kesitlerine ait kesit parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Akarsu En Kesitlerine Ait Kesit Parametreleri

EN KESİTLER	ALAN	ISLAK ÇEVRE	HİDROLİK YARIÇAP
<p>DİKDÖRTEGEN</p> 	$b * y$	$b + 2 * y$	$\frac{b * y}{b + 2 * y}$
<p>TRAPEZ</p> 	$b * y + z * y^2$	$b + 2 * y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{b * y + z * y^2}{b + 2 * y\sqrt{1 + z^2}}$
<p>ÜÇGEN</p> 	$z * y^2$	$2 * y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{z * y^2}{2 * y\sqrt{1 + z^2}}$

Taşkın ötelemesi hesaplamalarında akarsu yataklarının genellikle dikdörtgen en kesit ve çok geniş kanal kabulü yapıldığı yapılan literatür çalışmalarında görülmektedir. Bir kanalda çok geniş kanal kabulü yapılırsa hidrolik yarıçap kanal genişliğine eşit alınır. Bu çalışmada dikdörtgen, üçgen ve trapez en kesit için kıyaslamalar yapılacaktır.

6. DEĞERLENDİRMELER

Teorisi ve çözüm teknikleri anlatılan dalga modellerinin uygulamaları üç türlü (dikdörtgen, üçgen ve trapez) en kesit için her türlü kıyaslama, giriş hidrografi olarak üçgen taşkın hidrografi kullanılarak kıyaslanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan veriler literatür taraması sonucu bulduğum Akan ve Yen'nin (1981) verileri kullanılmıştır. Araştırmalar sonucu kinematik ve difüzyon dalga modellerinin uygulamalarda kullanımının dinamik dalga modelin kullanımından daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu uygulamaların genelinin dikdörtgen en kesit üzerinde çok geniş kanal kabulü yapılarak gerçekleştirilmesi gözlerden kaçmamıştır.

Bu bölümde akarsuyun farklı en kesitleri için taşkın öteleme hesaplarında kanalın genişliğinin, taban eğiminin, Manning pürüzlülük katsayısının, şev eğiminin taşkın başlangıç noktasından 2000 m ilerisindeki taşkın hidrografının oluşumundaki etkileri kıyaslanacaktır. Bu kanal özelliklerinin yanı sıra dalga modellerinin, çözümde kullanılan şemaların ve yöntemlerinin de bu 2000 m oluşacak muhtemel taşkın hidrografi üzerindeki etkileri kıyaslanacaktır.

Hesaplamalar sonucu 2000 m için bulunan taşkın hidrograflarının pik debileri ve bu pik debilerinin meydana geldiği zaman hesaplanacaktır. Kıyaslama birim hidrograf üzerinde yapılacaktır. Burada dalganın sönümlenme oranı ve pik debinin oluşma süresi kıyaslama ölçütü olarak kullanılacaktır.

$$Q^* = Q_{pik} / Q_{max} \quad (6.1)$$

$$t^* = t_{pik} / t_{max} \quad (6.2)$$

$$Q_p = 1 - Q^* \quad (6.3)$$

Yukarıdaki denklemlerde;

Q_{pik} : Farklı en kesit ve parametreler göre taşkın hidrografındaki pik debi değeri,

Q_{max} : Giriş hidrografının pik debisi

t_{pik} : Farklı en kesit ve parametreler göre taşkın hidrografındaki pik debinin meydana geldiği zaman,

t_{max} : Giriş hidrografının pik debinin meydana geldiği zaman olarak alınmıştır.

Q_p : Sönümlenme oranı

6.1 Farklı En Kesitlerin Kıyaslanması

Bir taşkın dalgasının bir kesitten geçerken bu taşkın dalgasının oluşmasına etki eden birden fazla faktör vardır. Bu faktörlerin içerisinde en fazla öne çıkan kanalın en kesit biçimidir. Bu nedenle bu çalışmada ilk olarak akarsu en kesitlerinin taşkın dalgaları üzerindeki etkisini incelenecektir. Bu kıyaslanmanın yapılabilmesi için dikdörtgen, üçgen ve trapez olmak üzere üç farklı enkesit dikkate alınmıştır.

İstenilen kıyaslamaların yapılabilmesi için sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli kullanılarak bu üç farklı en kesit tipinin kıyaslanması yapılacaktır. Burada hesaplamalar yapılırken kanal genişliği (b) 5 m, kanal taban eğimi (S_0) 0.0005, şev eğimi (z) 1, Manning pürüzlülük katsayısı 0.0138, zaman adım boyutu (dt) 5 s mesafe adım boyutu (dx) 100 m alınarak açık Euler yöntemi ile çözüm yapılmıştır. Yapılan çözümlerin sonuçları Şekil 11 da verilmiştir.

Şekil 11’de de görüldüğü gibi tüm en kesit çeşitlerinde başlangıç taşkın hidrografına göre belirli düzeylerde sönümlenmeler meydana gelmiştir. Bu sönümlenmeleri belirlenebilmesi için tüm en kesitlerin $x=2000$ m. deki pik debi değerleri ve bu pik debilerin meydana geldiği zamanı bilinmesi gerekmektedir. $x=2000$ m’de dikdörtgen en kesitte $Q_{pik}= 6.508$ m³/s ve $t_{pik}=19$ dk, üçgen en kesitte $Q_{pik}= 6.304$ m³/s ve $t_{pik}=17$ dk, trapez en kesitte $Q_{pik}= 6.484$ m³/s ve $t_{pik}=20$ dk’da meydana gelmiştir. Bulunan bu değerlerin kıyaslamasını daha sağlıklı yapabilmemiz için boyutsuz taşkın hidrografa ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için Denklem 6.1 ve Denklem 6.2 kullanılabilir. Boyutsuz taşkın hidrografının grafiği Şekil 12’da ve taşkın pikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Taşkın Hidrograflarının Pik Değerleri ($x=2000$ m)

Dalga Modeli	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)
Giriş Hidrografi	10	12
Dikdörtgen En Kesit	19	6.508
Üçgen En Kesit	17	6.304
Trapez En Kesit	20	6.484

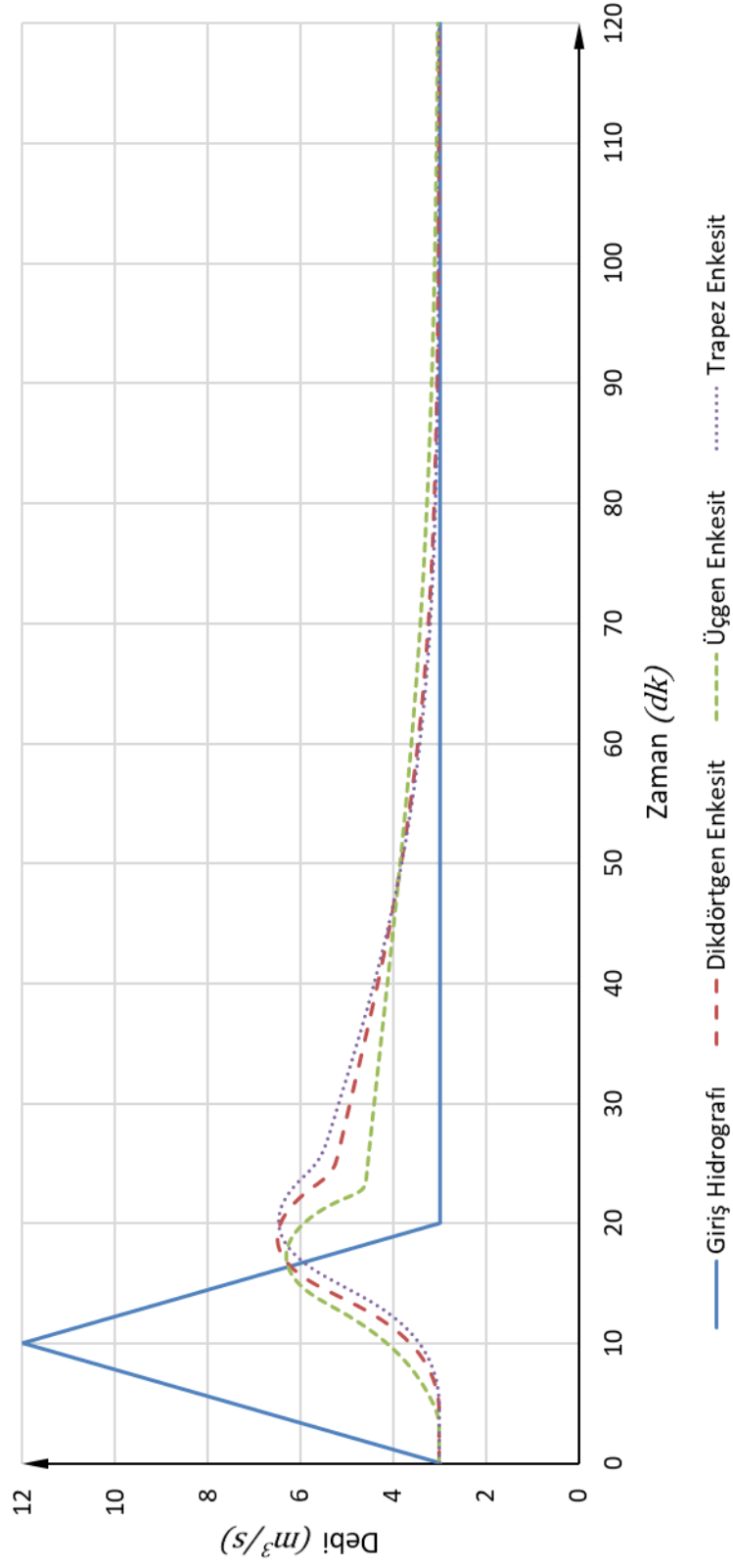
Tablo 4’de gösterilen sonuçlara göre $x=2000$ m’de dikdörtgen en kesitli akarsularda %45.8, üçgen en kesitli akarsularda %47.5 ve trapez en kesitli akarsularda %46 sönümlenme oluşmuştur. Ayrıca yine Tablo 4’de göre $x=2000$ m’de pik debilerin oluşması için geçen zaman giriş hidrografında taşkın oluşmaya başladıktan sonra pik debinin oluşması için geçen sürenin kaç katı sürede meydana gelebileceği gösterilmektedir. Yani dikdörtgen en kesitli bir akarsuda bu süre 1.9, üçgen en kesitli akarsuda 1.7 ve trapez en kesitli akarsuda 2 kat olduğu görülmektedir.

Bu verilere göre en fazla sönümlenme üçgen en kesitli akarsularda olduğu bulunmuştur. Bunun yanında taşkın hidrografını en geç yansıtan en kesit ise trapez en kesittir.

Tablo 4: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrograflarının Pik Değerleri ($x=2000$ m)

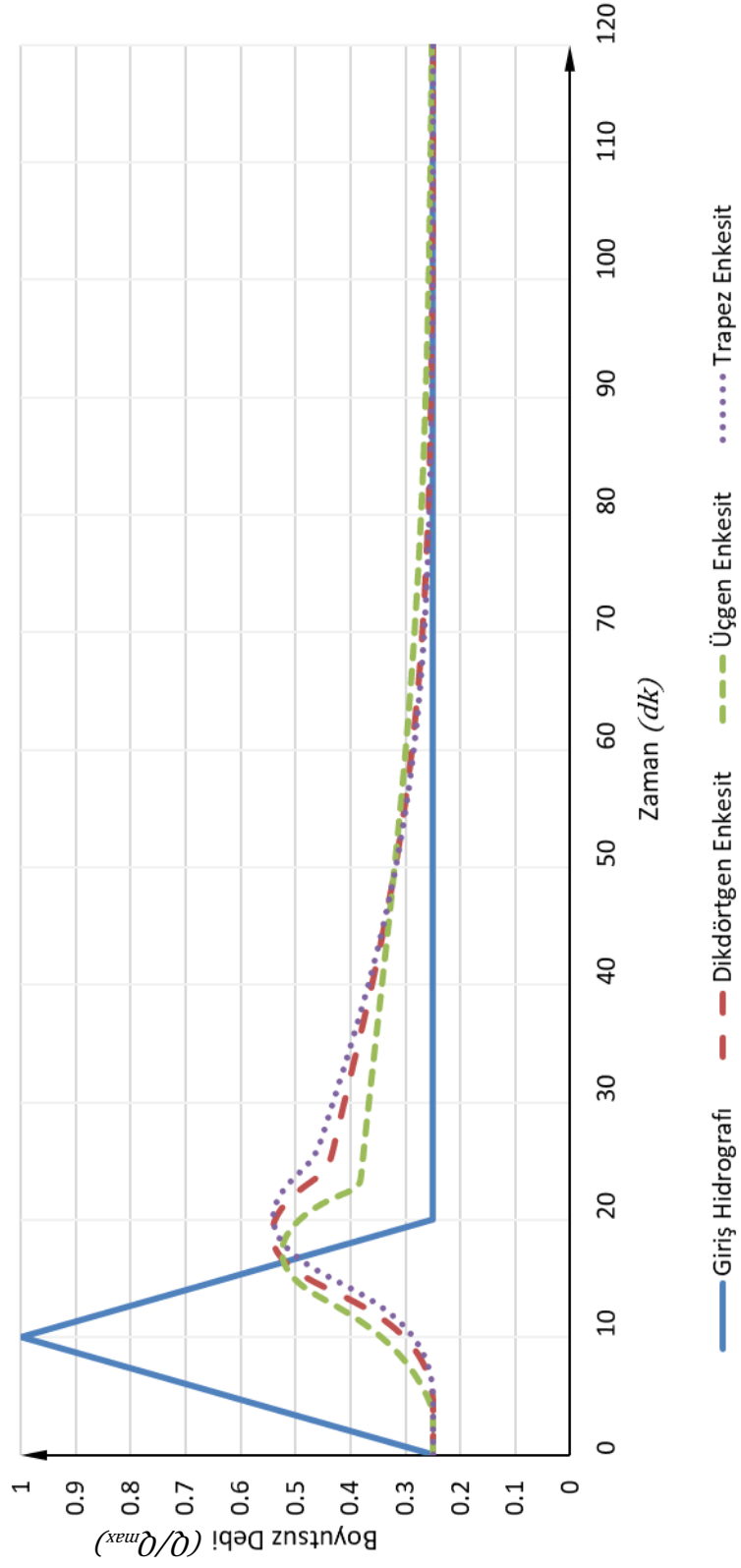
Dalga Modeli	$t^* = t_{pik}/t_{max}$	$Q^* = Q_{pik}/Q_{max}$	$Q_p = 1 - Q^*$
Giriş Hidrografi	1	1	1
Dikdörtgen En Kesit	1.9	0.542	0.458
Üçgen En Kesit	1.7	0.525	0.475
Trapez En Kesit	2	0.540	0.460

Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000m$)



Şekil 11: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000 m$)

Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrorafları ($x=2000\text{ m}$)



Şekil 12: Farklı Enkesitli Kanallarda Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)

6.2 Dalga Modellerinin Kıyaslanması

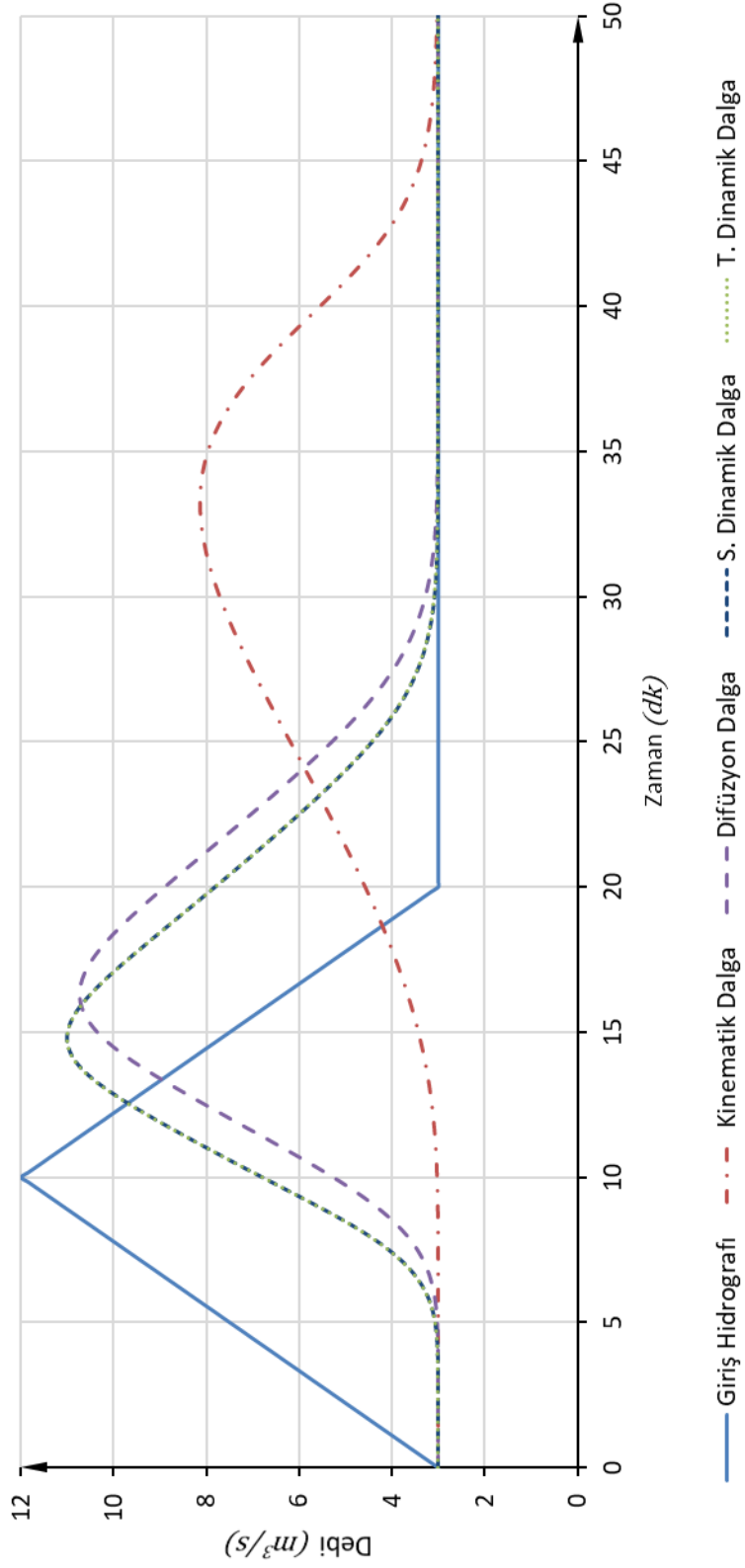
Akarsular genel olarak doğada insan eli değmemiş, kendiliğinden oluşmuş kanallarda akarlar. Bu nedenle, ülkemizdeki akarsuların genelinde kanal parametreleri istikrarlı değildir. Bu parametreler; kanal taban eğimi, Manning pürüzlülük katsayısı, alan-ıslak çevre ilişkisi gibi. Momentum denkleminin çözümü için de kanal parametrelerinin iyi bilinmesi gereklidir. Çözümü kolaylaştırmak için bilim insanları bu momentum denkleminde bazı ihmaller yaparak dalga modellerini türetmişlerdir. Elbette bu ihmallerden dolayı oluşan farklılıklar var. Bu bölümde 4 dalga modelleri bulunan sonuçlar ile kıyaslama yapıp aralarındaki farklılıkların ne ölçüde olduğu belirlenmeye çalışılacaktır.

Bu çalışmanın yapılabilmesi için dikdörtgen en kesitli bir kanalda kapalı şema yardımı ile kanal parametreleri olan kanal genişliği (b) 5m, kanal taban eğimi (S_0) 0.01, Manning pürüzlülük sayısı (n) 0.0125 kabul edilerek ve mesafe adım boyutu (dx) 100 m ile zaman adım boyutu (dt) 10 s alınmıştır. Çözümlerin sonuçları Şekil 13'de verilmiştir.

Şekil 13'de de görüldüğü üzere momentum denklemindeki ihmallerden dolayı $x=2000$ m de oluşan taşkın hidrograflarında farklılıklar vardır. Bu 4 farklı dalga modelini kıyaslayabilmek için $x=2000$ m oluşan pik debileri bilmemiz gerekmektedir.

Kinematik dalga modeli için $Q_{pik}= 8.137 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $t_{pik}= 33 \text{ dk}$, difüzyon dalga modeli için $Q_{pik}= 10.728 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $t_{pik}= 16 \text{ dk}$, sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli için $Q_{pik}= 11.003 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $t_{pik}= 15 \text{ dk}$, tam dinamik dalga modeli için $Q_{pik}= 10.997 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $t_{pik}= 15 \text{ dk}$ olarak hesaplanmıştır.

Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000\text{ m}$)



Şekil 13: Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)

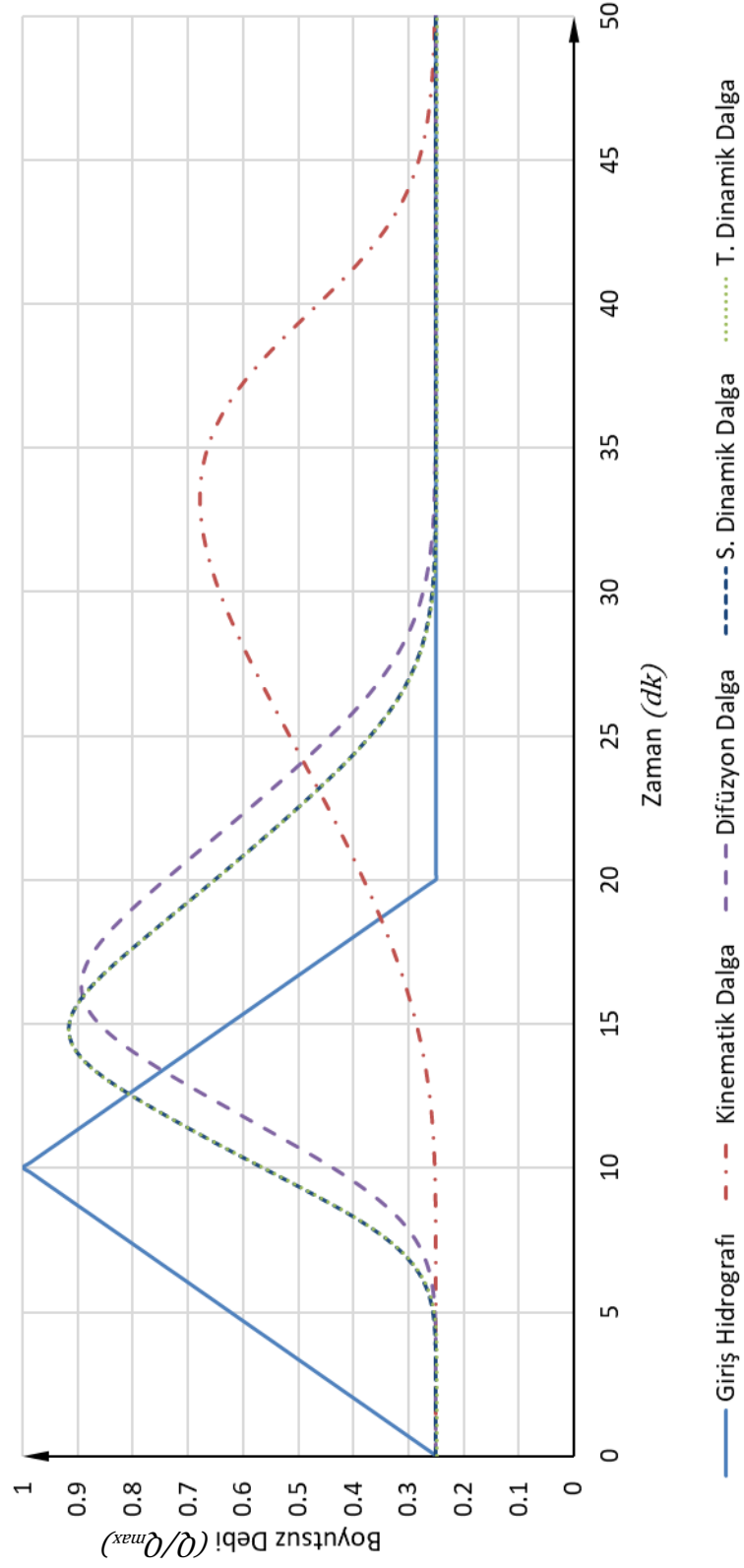
Bulunan bu değerlerin daha sağlıklı bir şekilde kıyaslanması için boyutsuz taşkın hidrografına ihtiyaç vardır. Boyutsuz taşkın hidrografi ve kıyaslamak için oluşturulan Tablo Şekil 14’de ve Tablo 4’de verilmiştir.

Bu verilere göre Sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli ile tam dinamik dalga modeli birbirine çok yakın değerlere sahiptir. Bu iki değer arasındaki farkı tam olarak çıkarmak için sadeleştirilmiş dinamik dalga modelinde bulunan pik debi $Q_{pik}=11.003$ m³/s ve tam dinamik dalga modelinde bulunan pik debi $Q_{pik}=10.997$ m³/s olarak bulunmuştur. Bulunan iki pik debi arasındaki fark oransal olarak 0.0005 olarak bulunur. Bu kadar küçük seviyedeki fark ihmal edilebilecek boyutta olduğu için ve sadeleştirilmiş dinamik denklemin her türlü en kesit için elde edilmesi tam dinamik dalga modele göre daha kolay olduğu için hız (V) teriminin mesafeye (x) göre türevinde $\partial S_f / \partial x$ ’li kısım ihmal edilebilecek boyuttadır.

Dinamik dalga modeli ile difüzyon dalga modeli de birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Aralarındaki farkı yüzdelerle ifade etmek gerekirse bu değer %2.5’tir. Bu da bize momentum denkleminde yerel hızlanma terimi ile bağlanma teriminin denklem sistemine olan etkisini göstermektedir.

Ayrıca momentum denkleminde en fazla ihmalin yapıldığı kinematik dalga modeli diğer modellere göre çok farklı sonuç verdiği grafikten anlaşılabilir. Bu yüzden kinematik dalga modeli ile hesap yapmak diğer modellere göre çok daha kolay olsa da sonuçlarının sağlıklı olmadığı anlaşılabilir.

Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografları ($x=2000m$)



Şekil 14: Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)

Tablo 5: Farklı Dalga Modellerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografların Pik Değerleri Ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$)

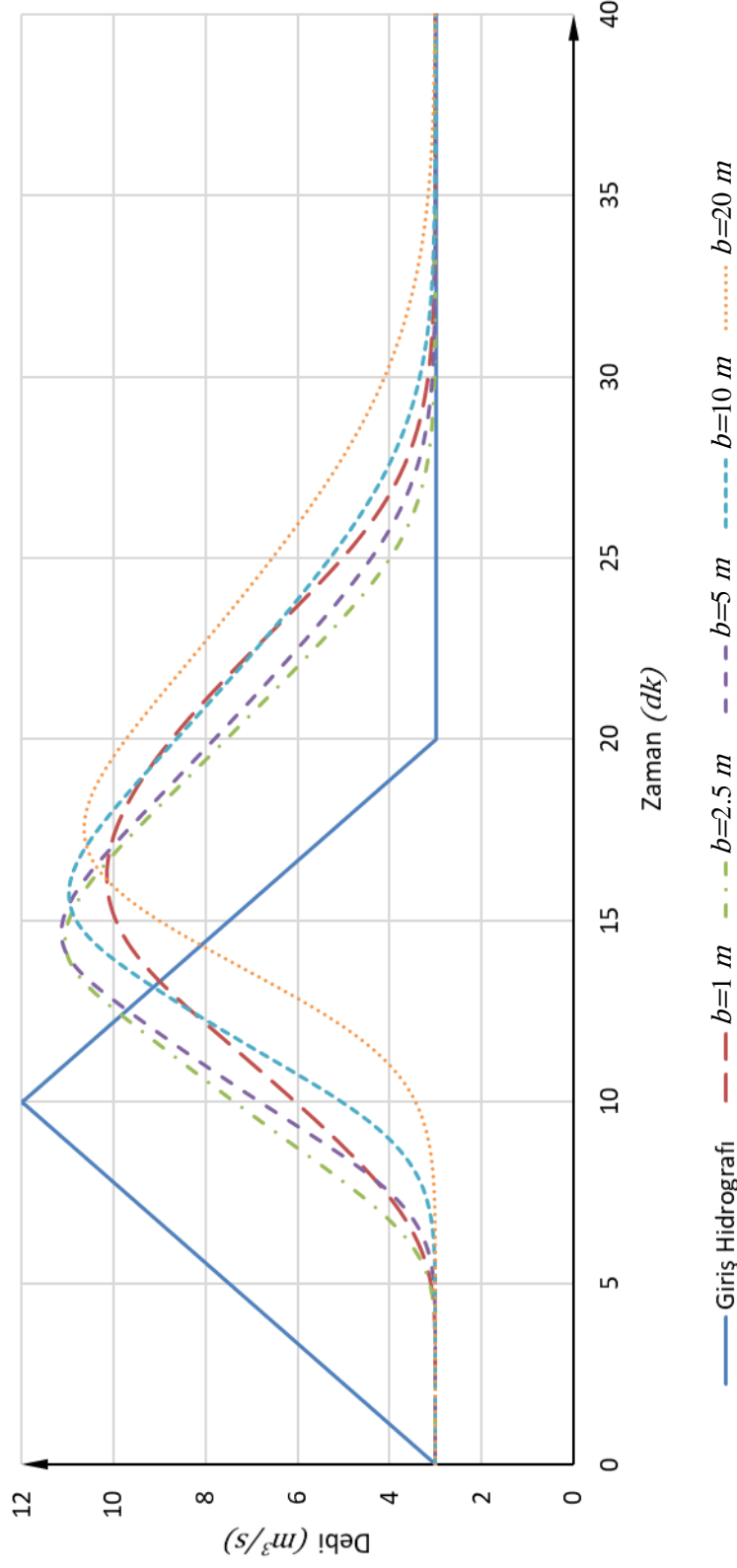
Dalga Modeli	$t^*=t_{pik}/t_{max}$	$Q^*=Q_{pik}/Q_{max}$	$Q_p=1-Q^*$
Giriş Hidrografi	1	1	1
Kinematik D.	3.3	0.678	0.322
Difüzyon D.	1.6	0.894	0.106
Sadeleştirilmiş Dinamik D.	1.5	0.917	0.083
Tam Dinamik D.	1.5	0.917	0.083

6.3 Kanal Taban Genişliğinin Kıyaslanması

Bu bölümde kanal taban genişliğinin değişmesi halinde, $x=2000\text{ m}$ 'de oluşacak Q_{pik} ve t_{pik} değerlerini göz önüne alarak kanal genişliğinin oluşacak taşkın hidrografi üzerindeki etkilerini inceleyeceğiz. Bizim ilgilendiğimiz üç en kesitten ikisinde taban genişliği kullanılmaktadır. Bunlar dikdörtgen enkesit ve trapez enkesittir. Bu iki farklı enkesitte taban genişliğinin etkisini inceleyeceğiz. Bunun için açık şemada zaman adımı 5 s ve mesafe adımı 100 m olacak şekilde Euler yöntemi ve diğer tüm parametreler sabit kalacak şekilde kıyaslama yapılacaktır. Burada taban eğimi %1, kanal şev eğimi 1, Manning pürüzlülük katsayısı 0.0125 alınacaktır. Dalga modeli olarak sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli kullanılacaktır.

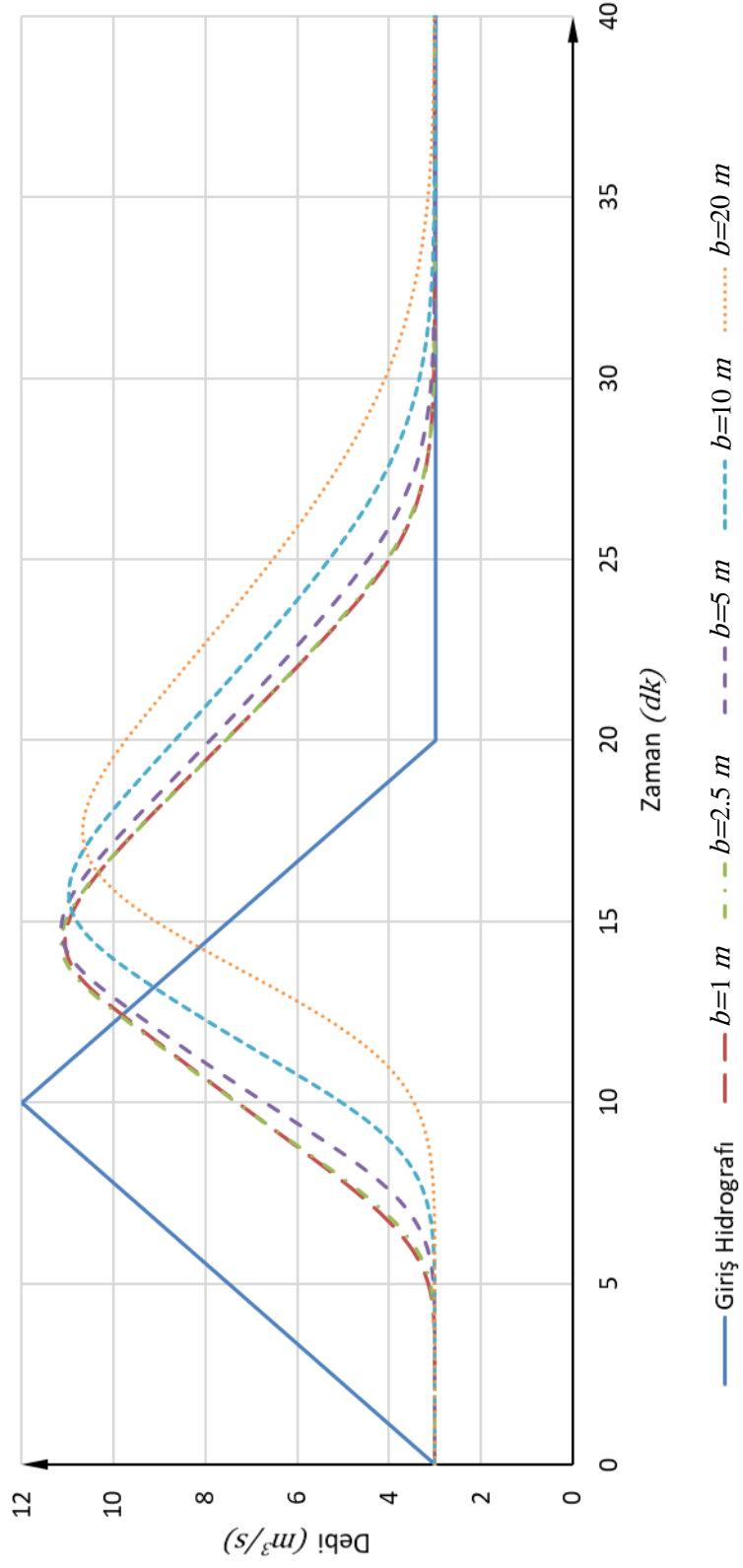
$x=2000\text{ m}$ 'de dikdörtgen ve trapez kanal için elde edilen taşkın hidrografları Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Bu taşkın hidrografların boyutsuz taşkın hidrografları ise Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir. Bu hidrograflardan elde edilen Q_{pik} ve t_{pik} değerleri ise Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmektedir. Ayrıca boyutsuz pik debi ile kanal taban genişliği arasındaki ilişki Şekil 19 ve Şekil 20'de daha açık bir şekilde görülebilmektedir.

Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)



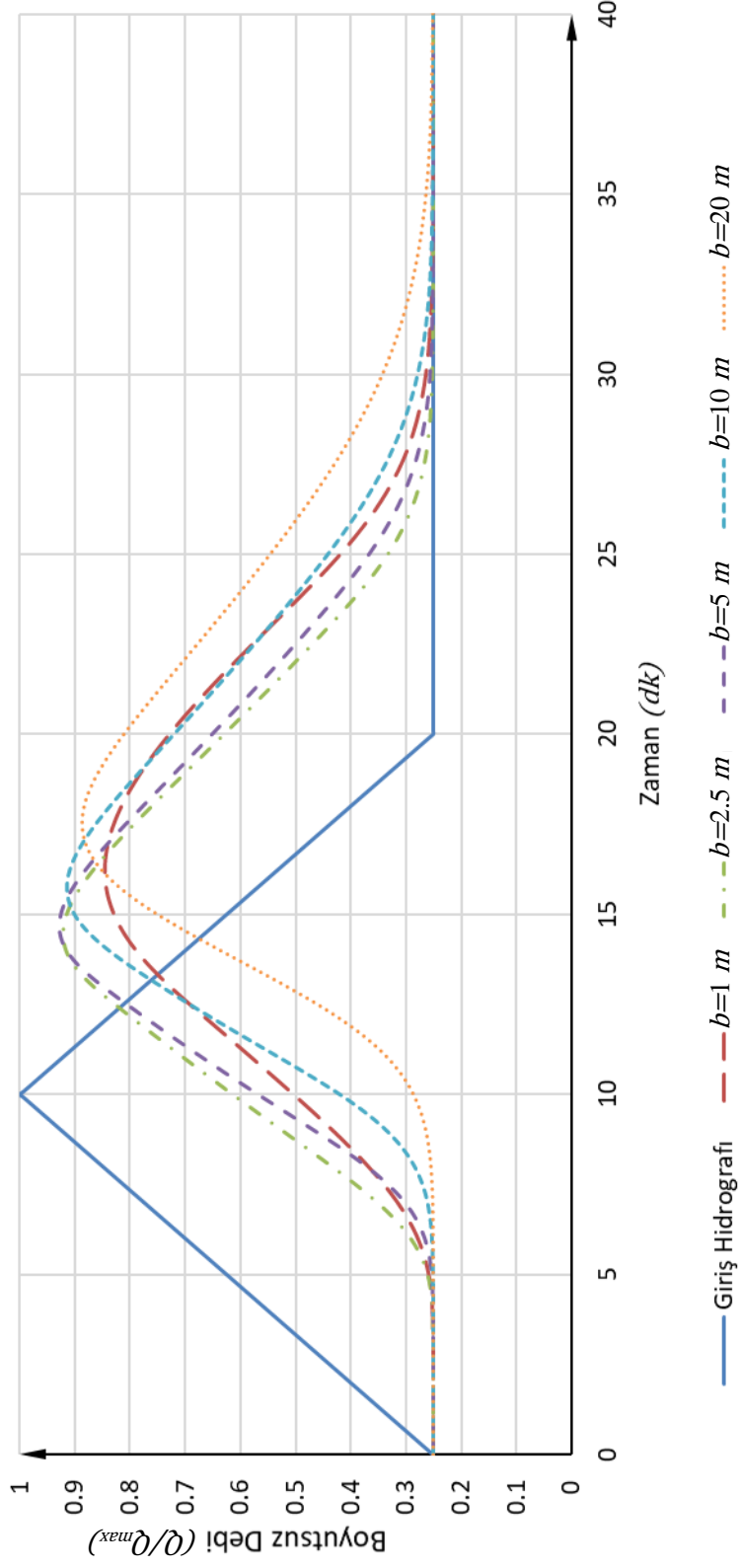
Şekil 15: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın
Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)



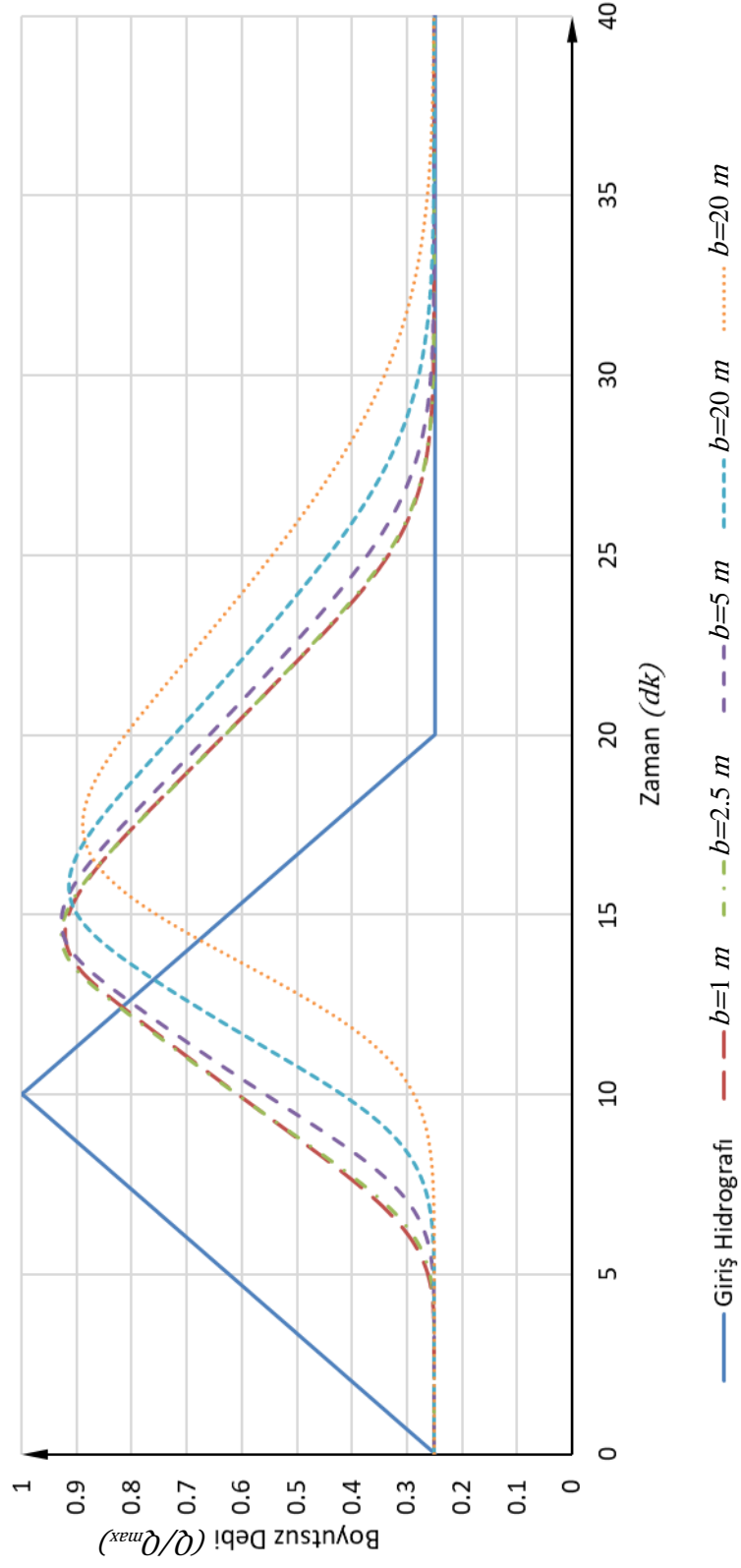
Şekil 16: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)

Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz
Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)



Şekil 17: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000 m$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)



Şekil 18: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)

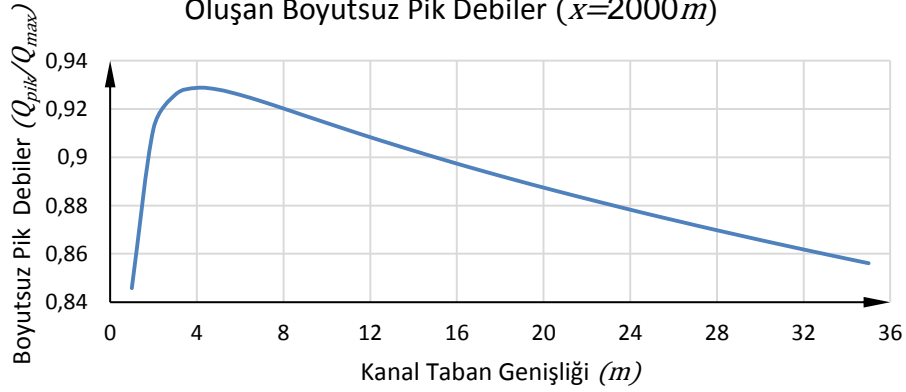
Tablo 6: Farklı Genişliklerde Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri
($x=2000\text{ m}$)

En Kesit	$b=1\text{ m}$		$b=2.5\text{ m}$		$b=5\text{ m}$		$b=10\text{ m}$		$b=20\text{ m}$	
	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)
Dikdörtgen	10.15	16	11.05	14	11.14	15	10.97	16	10.65	17
Trapez	11.07	15	11.14	14	11.12	15	10.96	16	10.66	17

Tablo 7: Farklı Genişliklerde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$)

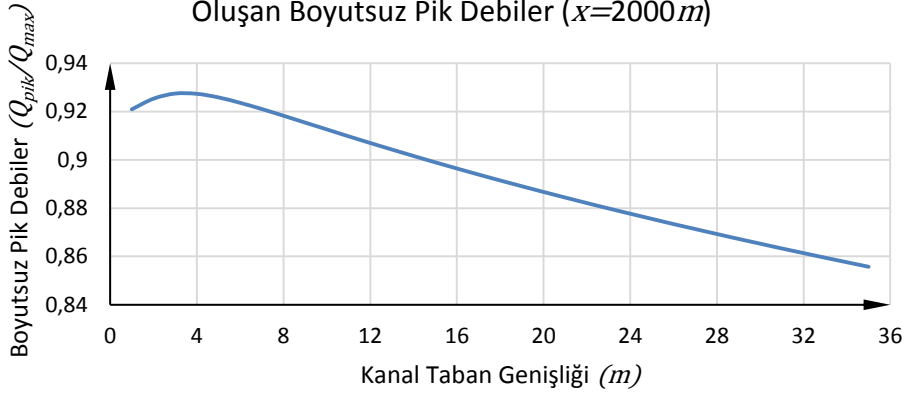
En Kesit	$b=1\text{ m}$			$b=2.5\text{ m}$			$b=5\text{ m}$			$b=10\text{ m}$			$b=20\text{ m}$		
	Q^*	Q_D	t_{pik}	Q^*	Q_D	t_{pik}	Q^*	Q_D	t_{pik}	Q^*	Q_D	t_{pik}	Q^*	Q_D	t_{pik}
Dikdörtgen	0.85	0.15	1.6	0.92	0.08	1.4	0.93	0.07	1.5	0.91	0.09	1.6	0.89	0.11	1.7
Trapez	0.92	0.08	1.5	0.93	0.07	1.4	0.93	0.07	1.5	0.91	0.09	1.6	0.89	0.11	1.7

Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Taban Genişliklerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\text{ m}$)



Şekil 19: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Taban Genişliklerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\text{ m}$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Taban Genişliklerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\text{ m}$)



Şekil 20: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Taban Genişliklerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\text{ m}$)

Elde edilen grafik ve tabloları yorumlarsak, başlangıçta seçilen kanal parametreleri ve çözüm yönteminde dikdörtgen en kesitli bir kanalda optimum debi kanal taban genişliği (b) 4 m olduğunda gerçekleşmektedir. Kanal taban genişliği 4 m'nin altına indiği zaman oluşan sönümlenme oranının artış ivmesi kanal taban genişliğinin 4 m'nin üstüne çıktığında oluşan artış ivmesinden büyüktür. Bunun sebebi dikdörtgen en kesitli kanallarda ıslak alan ile ıslak çevre sadece taban genişliği ile su derinliğine bağlıdır. Fakat trapez en kesitli kanallarda ıslak alan ile ıslak çevre kanal taban genişliğine, su derinliğine ve kanal şev eğimine bağlı olduğu için kanal tabanındaki ani değişimlerden fazla etkilenmez.

6.4 Manning Pürüzlülük Katsayılarının Kıyaslanması

Taşkın dalgalarının oluşumunda etkili olan parametrelerden biri de Manning pürüzlülük katsayısıdır. Manning pürüzlülük katsayısı kanlarda belirli bir mesafe için ortalama bir değer olarak bulunur.

Bu bölümde dikdörtgen enkesitte Manning pürüzlülük katsayısının etkilerini görebilmek amacı ile $n=0.0125, 0.0138, 0.0141$ ve 0.0207 değerleri ele alınmış ve bu değerler her bir kanal enkesitine ayrı ayrı uygulanmıştır. Akarsuyun $x=2000$ m aşağısında, yani mansapta, dikdörtgen enkesit için farklı Manning pürüzlülük katsayılarında meydana gelen taşkın hidrografları Şekil 21'de gösterilmiştir. Ayrıca incelenen tüm enkesitler için pik debiler Tablo 8 de verilmiştir.

Tablo 8: Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ($x=2000m$)

En Kesit	n=0.0125		n=0.0138		n=0.0141		n=0.0207	
	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)
Dikdörtgen	11.14	15	11.05	15	11.03	15	10.61	17
Üçgen	11.06	15	10.97	15	10.94	15	10.46	17
Trapez	11.11	15	11.02	15	11	15	10.60	17

Manning pürüzlülük katsayısının taşkın hidrografi üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek için yalnızca enkesitin dikdörtgen olması durumunda çizilen boyutsuz taşkın hidrografları Şekil 22'de gösterilmiştir. Manning pürüzlülük katsayıları için

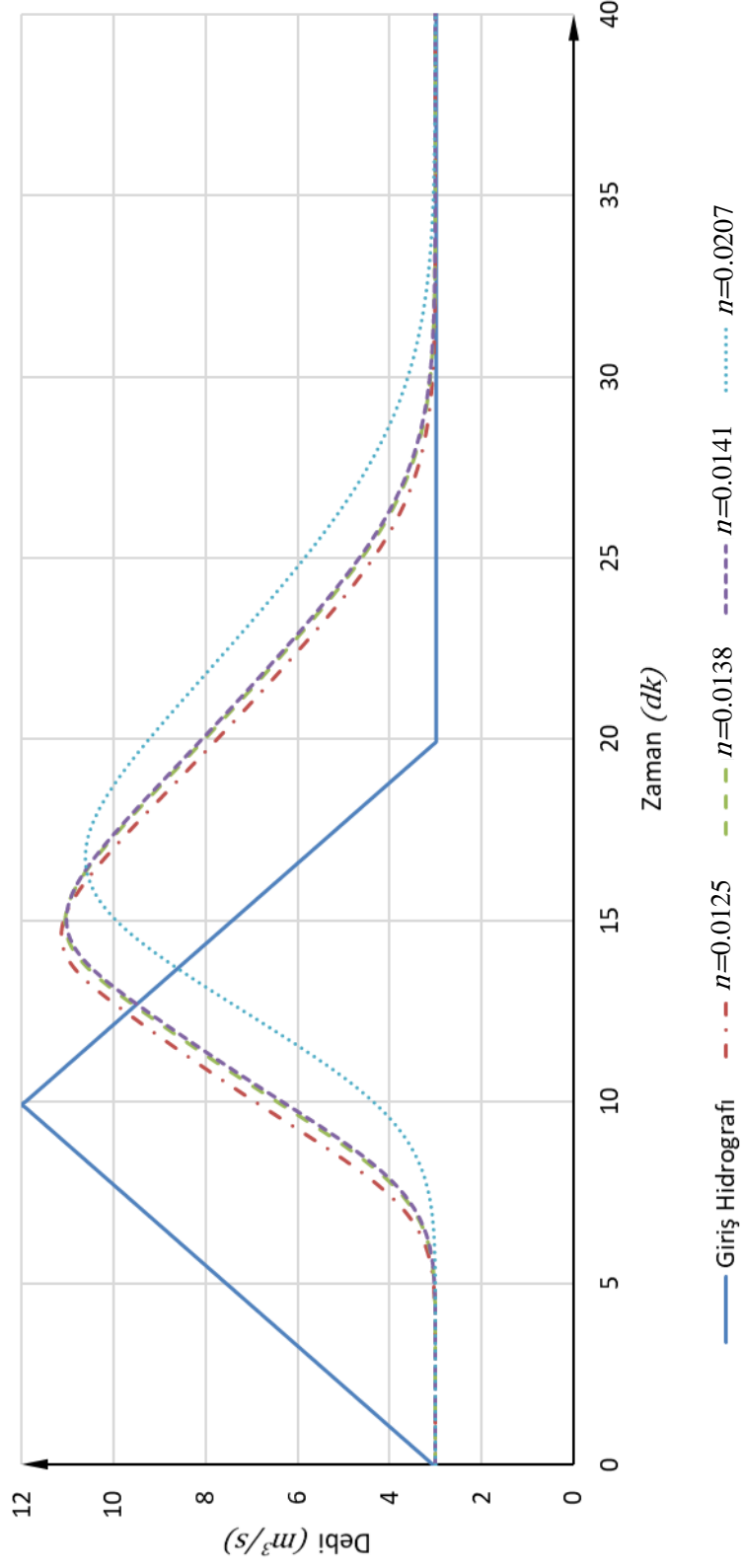
farklı enkesitlerde oluşan boyutsuz Q_{pik} , t_{pik} ve sönümlenme oranları Tablo 9'de verilmiştir.

Tablo 9: Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000m$)

En Kesit	n=0.0125			n=0.0138			n=0.0141			n=0.0207		
	Q^*	t_{pik}	Q_p	Q^*	t_{pik}	Q_p	Q^*	t_{pik}	Q_p	Q^*	t_{pik}	Q_p
Dikdörtgen	0.928	1.5	0.072	0.921	1.5	0.079	0.919	1.5	0.081	0.884	1.7	0.116
Üçgen	0.922	1.5	0.078	0.914	1.5	0.086	0.912	1.5	0.088	0.872	1.7	0.128
Trapez	0.926	1.5	0.074	0.918	1.5	0.082	0.917	1.5	0.083	0.883	1.7	0.117

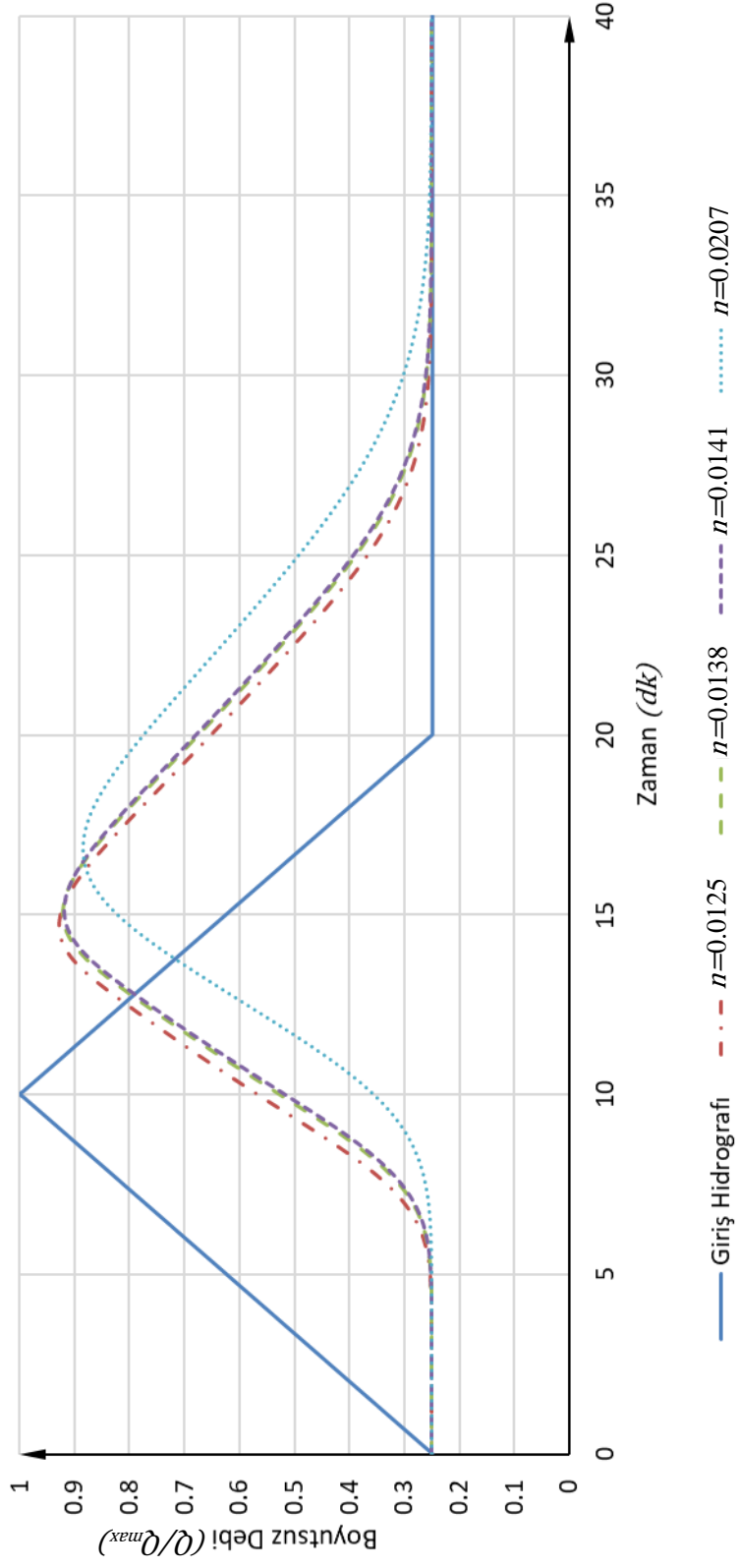
$x=2000$ m'de $n=0.0125$ için dikdörtgen enkesitte oluşan sönümlenme %7.2 iken üçgen enkesitte %7.8 ve trapez enkesitte %7.4 olarak bulunmuştur. $n=0.0138$ için dikdörtgen enkesit için sönümlenme oranı %7.9 iken üçgen enkesitte %8.6 ve trapez enkesitte %8.2 olarak bulunmuştur. $n=0.0141$ için sönümlenme oranı %8.1 iken üçgen enkesitte %8.8 ve trapez enkesitte %8.3 olarak hesaplanmıştır. $n=0.0207$ için sönümlenme oranı dikdörtgen enkesitte %11.6 iken üçgen enkesitte %12.8 ve trapez enkesitte %11.7 olarak hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlara göre Manning pürüzlülük katsayısı arttıkça sönümlenme oranı artmıştır.

Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)



Şekil 21: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)

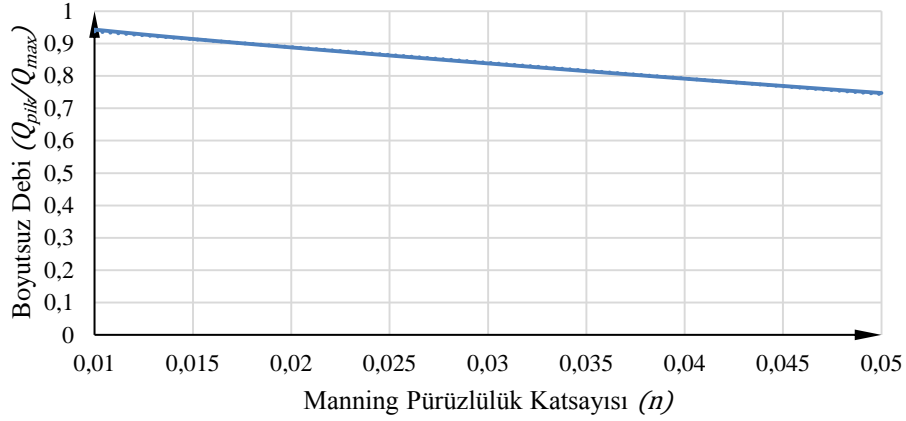
Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)



Şekil 22: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)

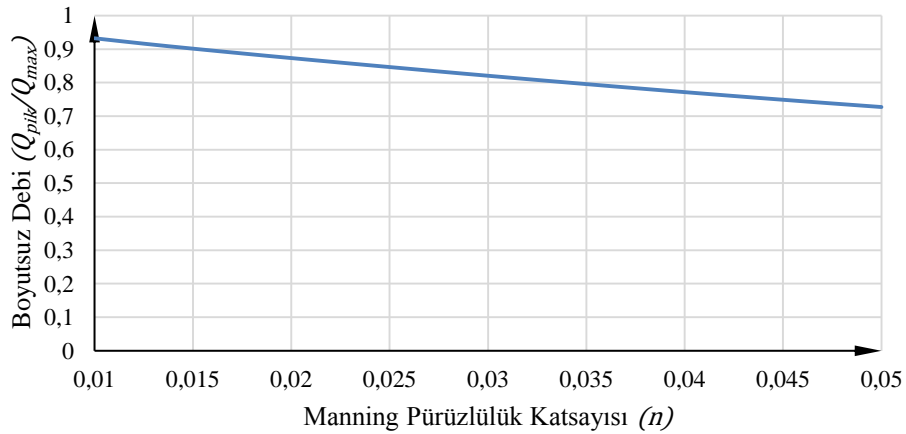
Manning pürüzlülük katsayısının arttıkça dikdörtgen ve trapez enkesitlerinde oluşan Q_{pik} değerlerindeki azalmanın doğrusal olduğunu Şekil 23 ve Şekil 24’de daha iyi görebiliriz.

Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\ m$)



Şekil 23: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\ m$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\ m$)



Şekil 24: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Manning Pürüzlülük Katsayılarında Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000\ m$)

6.5 Kanal Taban Eğimlerinin Kıyaslanması

Bu bölümde kanal taban eğiminin değişmesi halinde, $x=2000$ m'de oluşacak Q_{pik} ve t_{pik} değerlerini göz önüne alarak kanal taban eğiminin etkilerini inceleyeceğiz. Bunun için açık şemada zaman adımı 1 s ve mesafe adımı 100 m olacak şekilde Euler yöntemi ve diğer tüm parametreler sabit kalacak şekilde kıyaslama yapılacaktır. Burada taban genişliği 5 m, kanal şev eğimi 1, Manning pürüzlülük katsayısı 0.0125 alınacaktır. Dalga modeli olarak sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli kullanılacaktır.

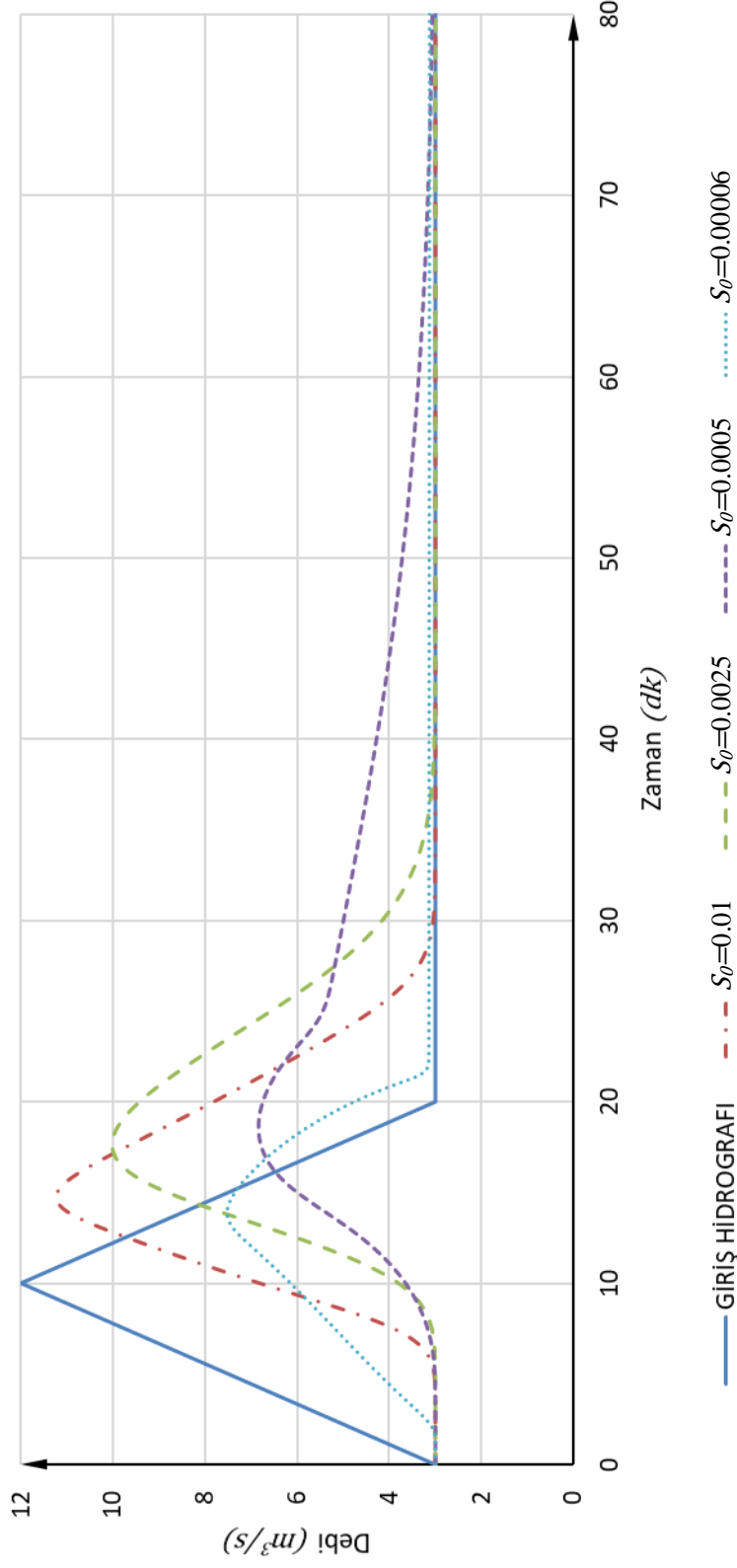
$x=2000$ m'de tüm prizmatik kanallar için elde edilen taşkın hidrografları Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27'de verilmiştir. Bu hidrograflardan elde edilen Q_{pik} ve t_{pik} değerleri ise Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10: Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ($x=2000$ m)

Kanal Enkesiti	$S_0=0.01$		$S_0=0.0025$		$S_0=0.0005$		$S_0=0.00006$	
	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m ³ /s)	t_{pik} (dk)
Dikdörtgen	11.229	15	10.017	18	6.839	19	7.522	14
Üçgen	11.148	15	9.567	18	6.583	17	7.990	13
Trapez	11.205	15	10.056	18	6.827	20	7.051	15

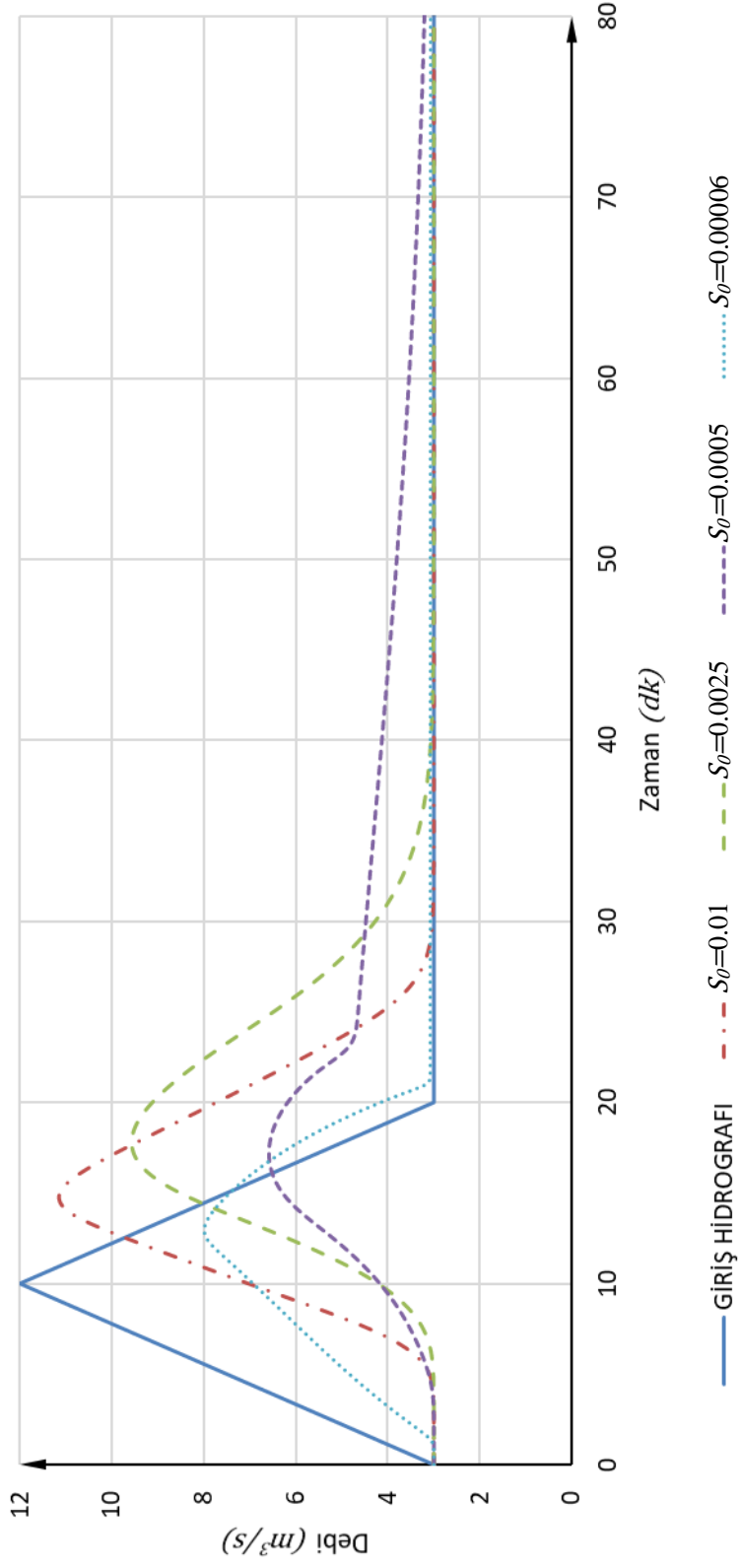
Bulunan sonuçlara göre incelenen tüm en kesitlerde genel olarak taban eğimi azaldıkça sönümleme oranı da artmaktadır. Ayrıca kanal taban eğimi ile taşkın pik debileri arasında doğrusal bir ilişki olduğu da gözlemlenir. Bunun nedeni ise basit bir fizik kuralı olan sürtünme kuvveti hesabıdır. Yerçekimi ivmesinin vektörel olarak yönü ile kanal tabanının yönünün kanal taban eğimi küçüldükçe aralarında kalan açının 90° daha çok yaklaşması olarak açıklanabilir. Bunun yanı sıra en küçük taşkın debisi $S_0=0.0005$ değerine sahipken elde edilmiştir.

Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)



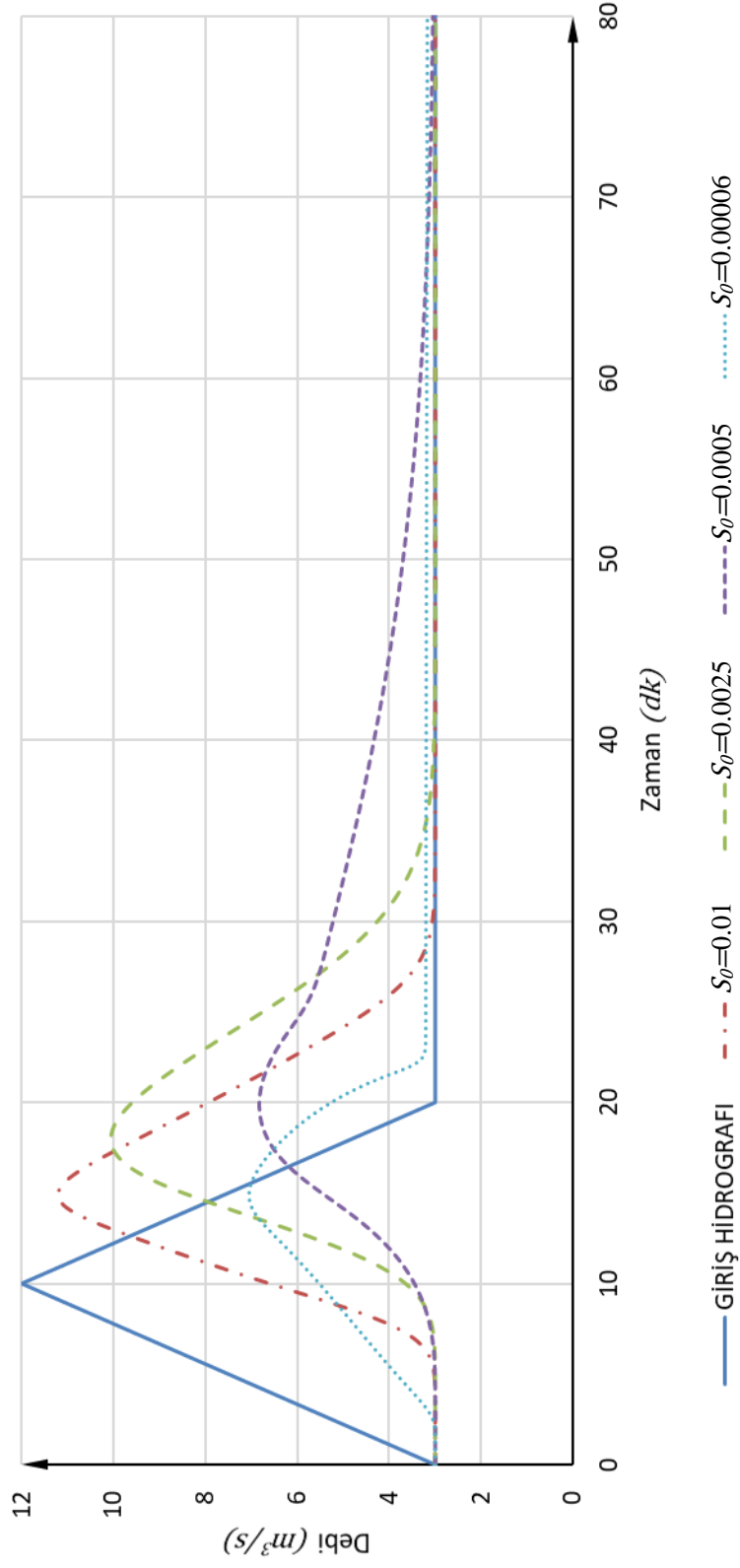
Şekil 25: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)

Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan
Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)



Şekil 26: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000m$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan
Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)



Şekil 27: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000 m$)

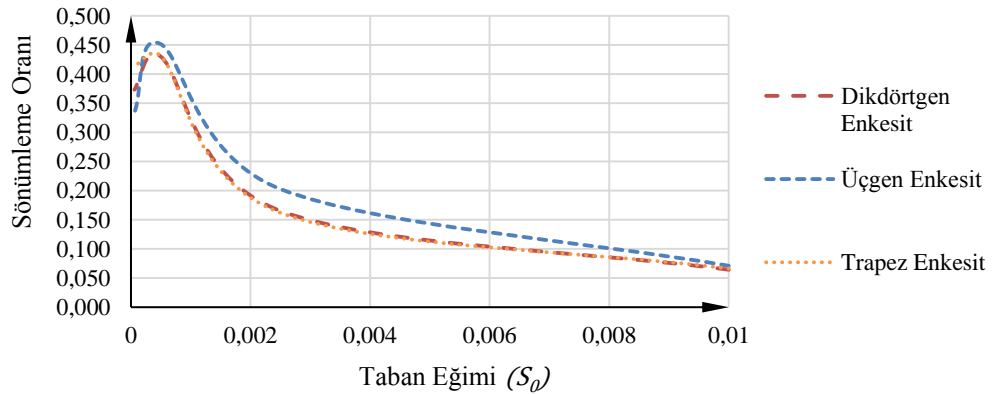
Farklı taban eğimlerinin etkisini daha iyi anlayabilmek için boyutsuzlaştırma yapılmış ve buluna boyutsuz taşkın hidrografları Şekil 29, Şekil 30 ve Şekil 31’de verilmiştir. Akarsuyun $x=2000$ m aşağısında farklı taban eğimlerine ait farklı prizmatik enkesitlerde oluşan boyutsuz taşkın pikleri Tablo 11’da gösterilmiştir.

Tablo 11: Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000m$)

Kanal Enkesiti	$S_0=0.01$			$S_0=0.0025$			$S_0=0.0005$			$S_0=0.00006$		
	Q^*	Q_p	t^*	Q^*	Q_p	t^*	Q^*	Q_p	t^*	Q^*	Q_p	t^*
Dikdörtgen	0.936	0.064	1.5	0.835	0.165	1.8	0.570	0.430	1.9	0.63	0.37	1.4
Üçgen	0.929	0.071	1.5	0.797	0.203	1.8	0.549	0.451	1.7	0.67	0.33	1.3
Trapez	0.934	0.066	1.5	0.838	0.162	1.8	0.569	0.431	2	0.59	0.41	1.5

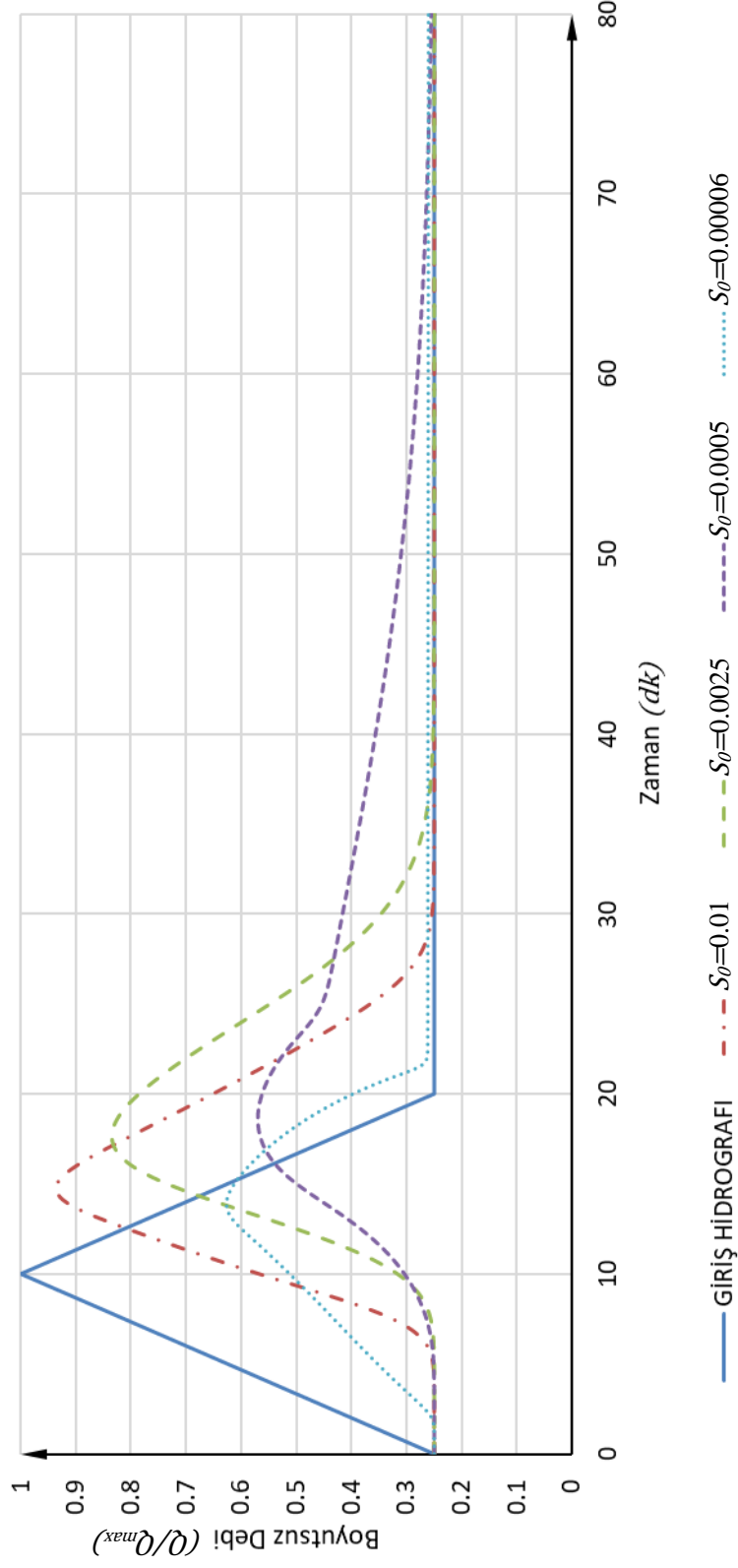
Kanal taban eğiminin 0.01 olması durumunda Q_{pik} 'in sönümlenme oranı dikdörtgen enkesitte %6.4 iken, üçgen enkesitte %7.1 ve trapez enkesitte %6.6 olarak bulunmuştur. Taban eğimi 0.0025 olması durumunda dikdörtgen enkesitte %16.5 iken, üçgen enkesitte %20.3 ve trapez enkesitte %16.2 bulunmuştur. Taban eğimi 0.0005 olması durumunda dikdörtgen enkesitte %43 iken, üçgen enkesitte %45.1 ve trapez enkesitte %43.1 olarak bulunmuştur. Taban eğimi 0.00006 olması durumunda dikdörtgen enkesitte %37 iken, üçgen enkesitte %33 ve trapez enkesitte %41 olarak bulunmuştur. Bu durumda en fazla sönümlenme üçgen enkesitte meydana gelmiştir. Bu verilere göre kanal taban eğimine bağlı olarak taşkın pikinin sönümlenme oranı Şekil 28’da verilmiştir.

Farklı Enkesitli Kanallarda Farklı Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000 m$)



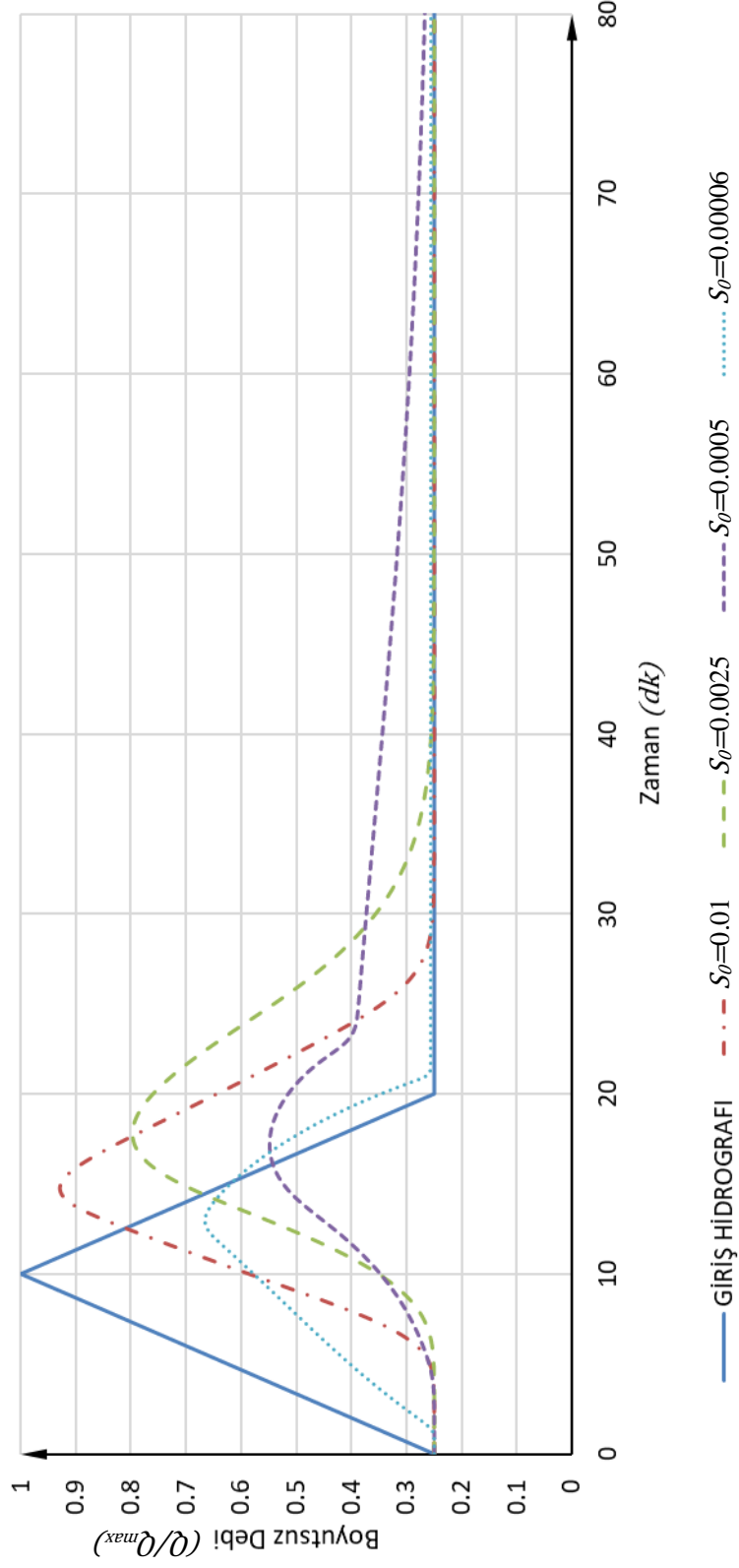
Şekil 28: Farklı Enkesitli Kanallarda Farklı Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Pik Debiler ($x=2000 m$)

Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)



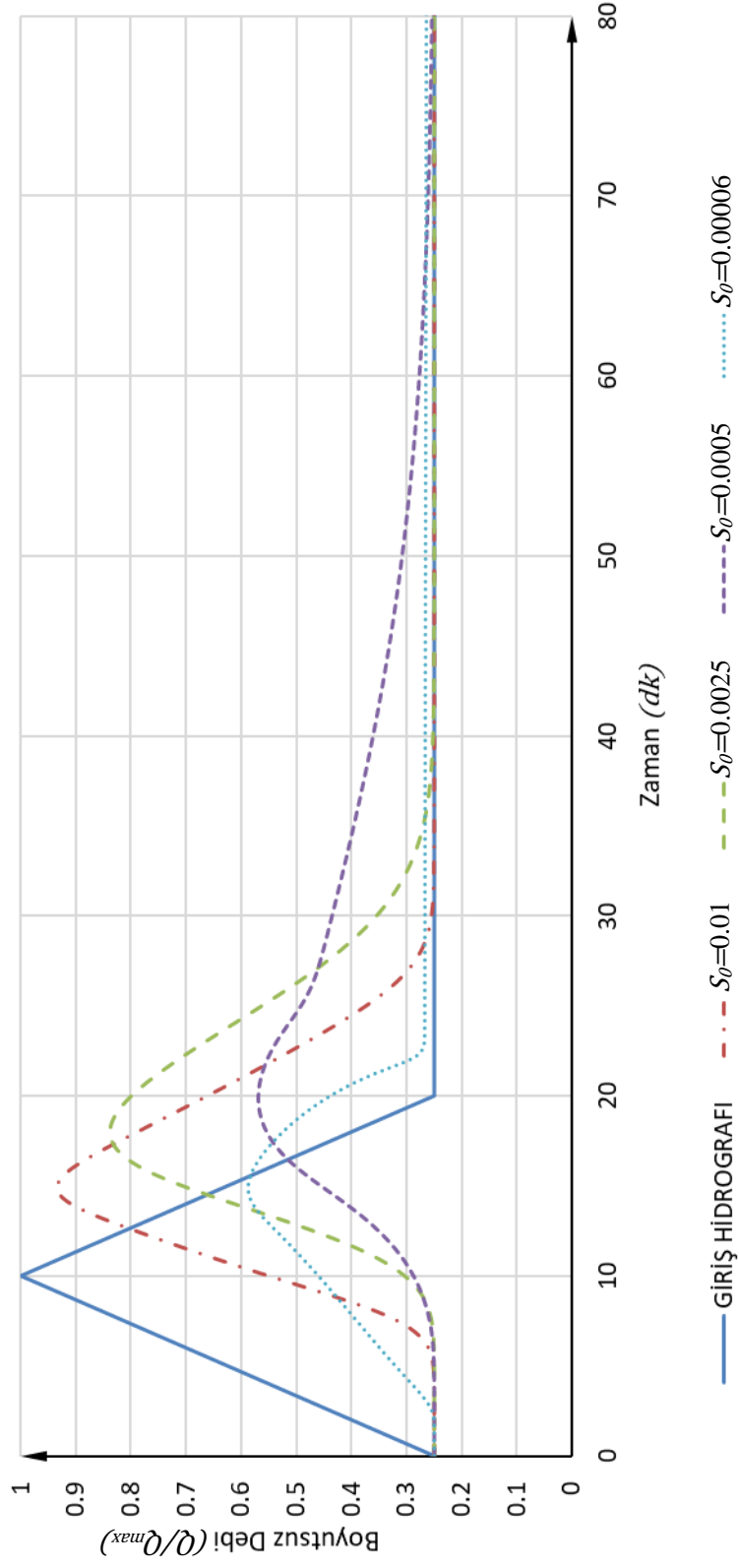
Şekil 29: Dikdörtgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000m$)

Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)



Şekil 30: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografi ($x=2000\text{ m}$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan
Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000\text{ m}$)



Şekil 31: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Taban Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000\text{ m}$)

6.6 Şev Eğimlerinin Kıyaslanması

Kanal şev eğiminin (z) taşkın hidrografı üzerindeki etkisini incelemek için $z=1$, $z=1.5$, $z=2$, $z=2.5$ olmak üzere birbirinden farklı değer ile hesaplamalar yapılmıştır. Her bir kanal şev eğimi ile üçgen ve trapez enkesit için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Kanalin başlangıç noktasından 2000 m aşağısında üçgen enkesit içi oluşan taşkın hidrografı Şekil 32’de, trapez enkesit için oluşan taşkın hidrografı Şekil 33’da verilmiştir.

Farklı şev eğimlerinde yamuk ve üçgen enkesitlerde oluşan Q_{pik} ve t_{pik} değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12: Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ($x=2000\text{ m}$)

Kanal Enkesiti	$z=1$		$z=1.5$		$z=2$		$z=2.5$	
	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)	Q_{pik} (m^3/s)	t_{pik} (dk)
Üçgen	11.064	15	11.037	15	10.995	15	10.953	15
Trapez	11.110	15	11.072	15	11.033	15	10.995	15

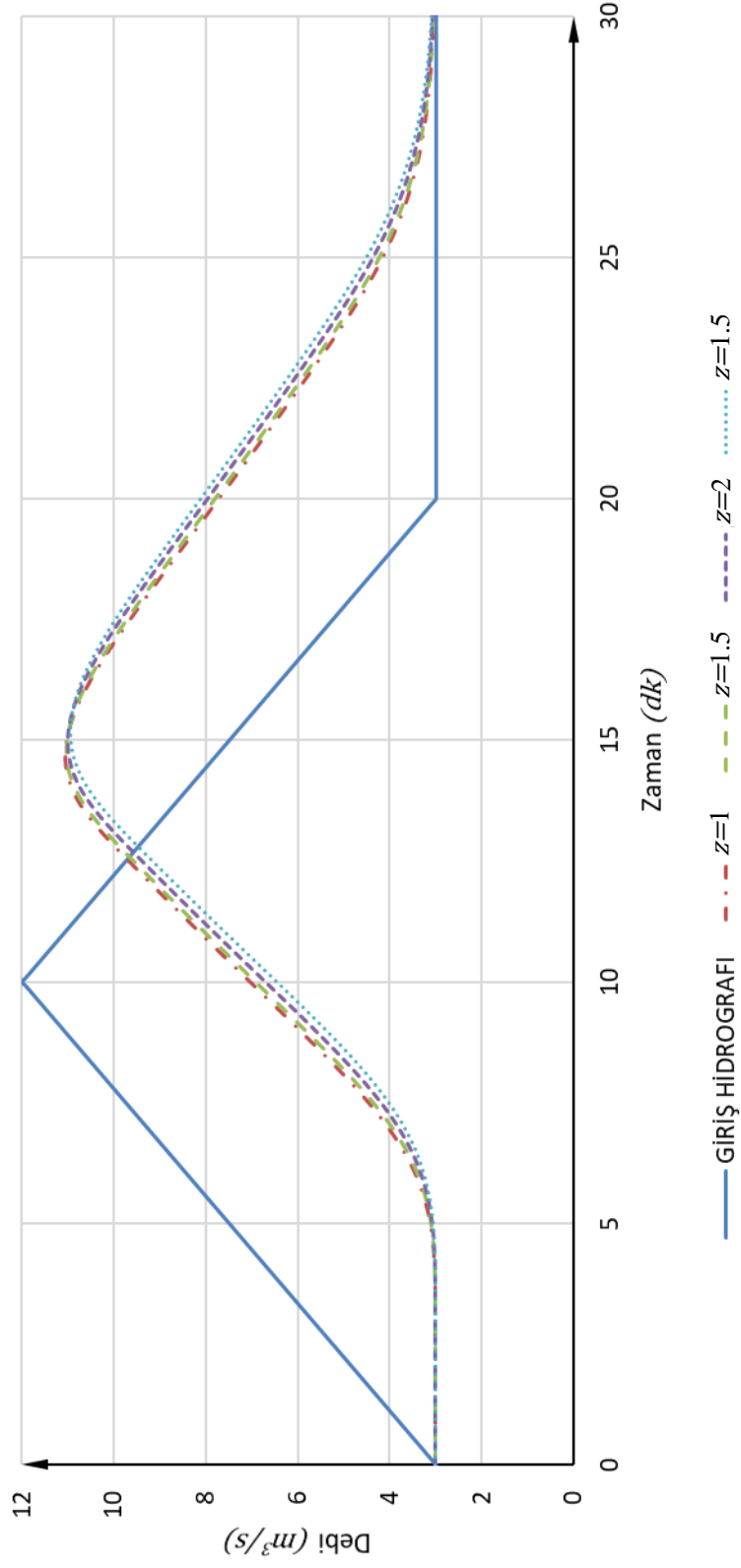
Her iki enkesit için şev eğimleri arttıkça taşkın pik değerleri azalmakta olup taşkın pik debilerinin oluştuğu zamanlarda değişme görülmemektedir. Kanal şev eğiminin $x=2000\text{ m}$ ’de oluşan taşkın hidrografına etkisini daha iyi görebilmek için boyutsuz taşkın hidrograflarının grafikleri üçgen enkesit için Şekil 34’de ve trapez enkesit için Şekil 35’de verilmiştir. Bu grafikleri daha iyi yorumlayabilmek için $x=2000\text{ m}$ ’de oluşan Q_{pik} ve t_{pik} değerleri ile sönümlenme oranları Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13: Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografının Pik Değerleri ve Sönümlenme Oranları ($x=2000\text{ m}$)

Kanal Enkesiti	$z=1$			$z=1.5$			$z=2$			$z=2.5$		
	Q^*	Q_p	t^*	Q^*	Q_p	t^*	Q^*	Q_p	t^*	Q^*	Q_p	t^*
Üçgen	0.922	0.078	1.5	0.920	0.080	1.5	0.916	0.084	1.5	0.913	0.087	1.5
Trapez	0.926	0.074	1.5	0.923	0.077	1.5	0.919	0.081	1.5	0.916	0.084	1.5

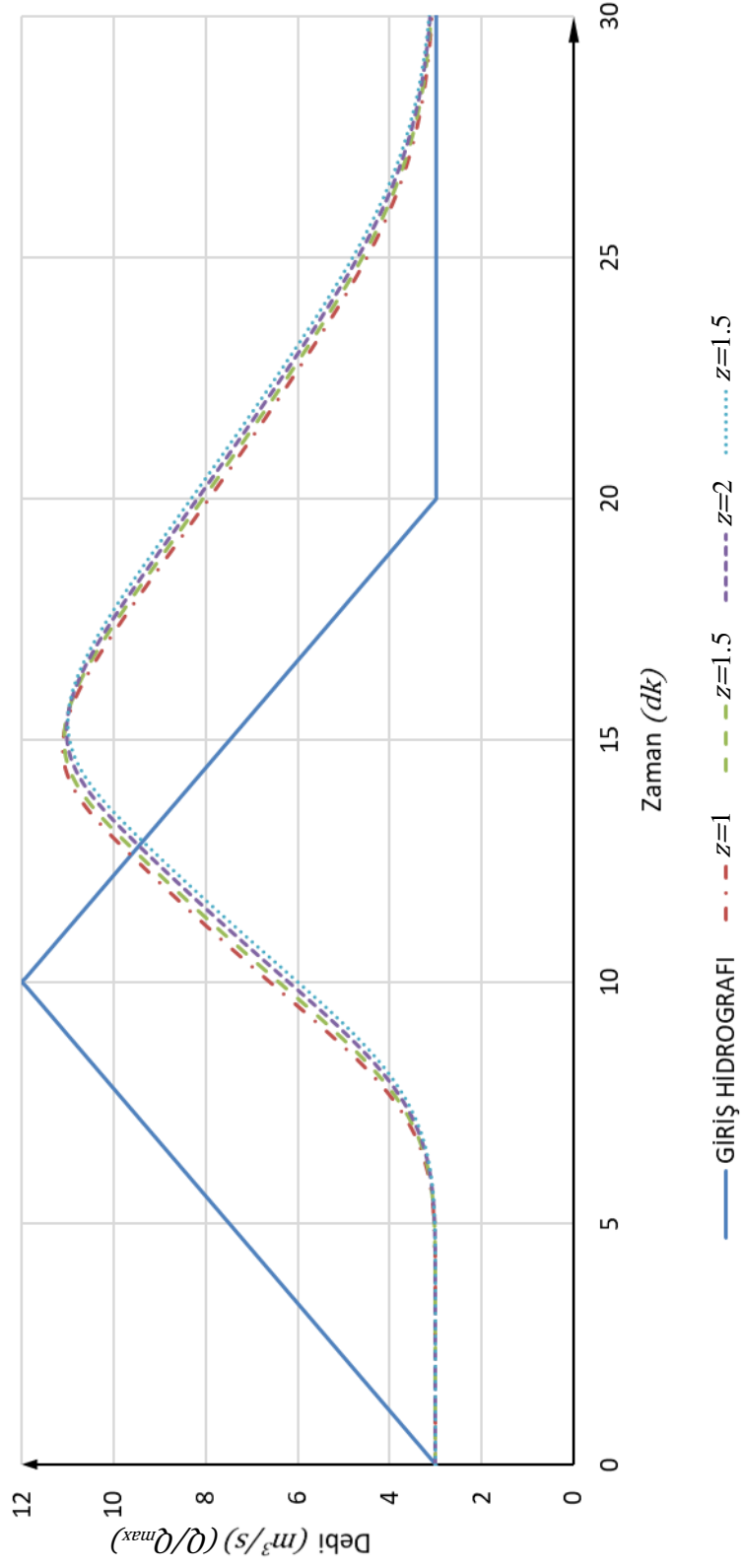
Tablo 13’ye göre her iki enkesitte meydana gelen taşkın hidrograflarının oluşma zamanları aynıdır. Bununla birlikte yamuk ve üçgen enkesitte oluşan taşkın pikinin sönümlenme oranı kanal şev eğimi arttıkça azalmaktadır.

Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografı ($x=2000\text{ m}$)



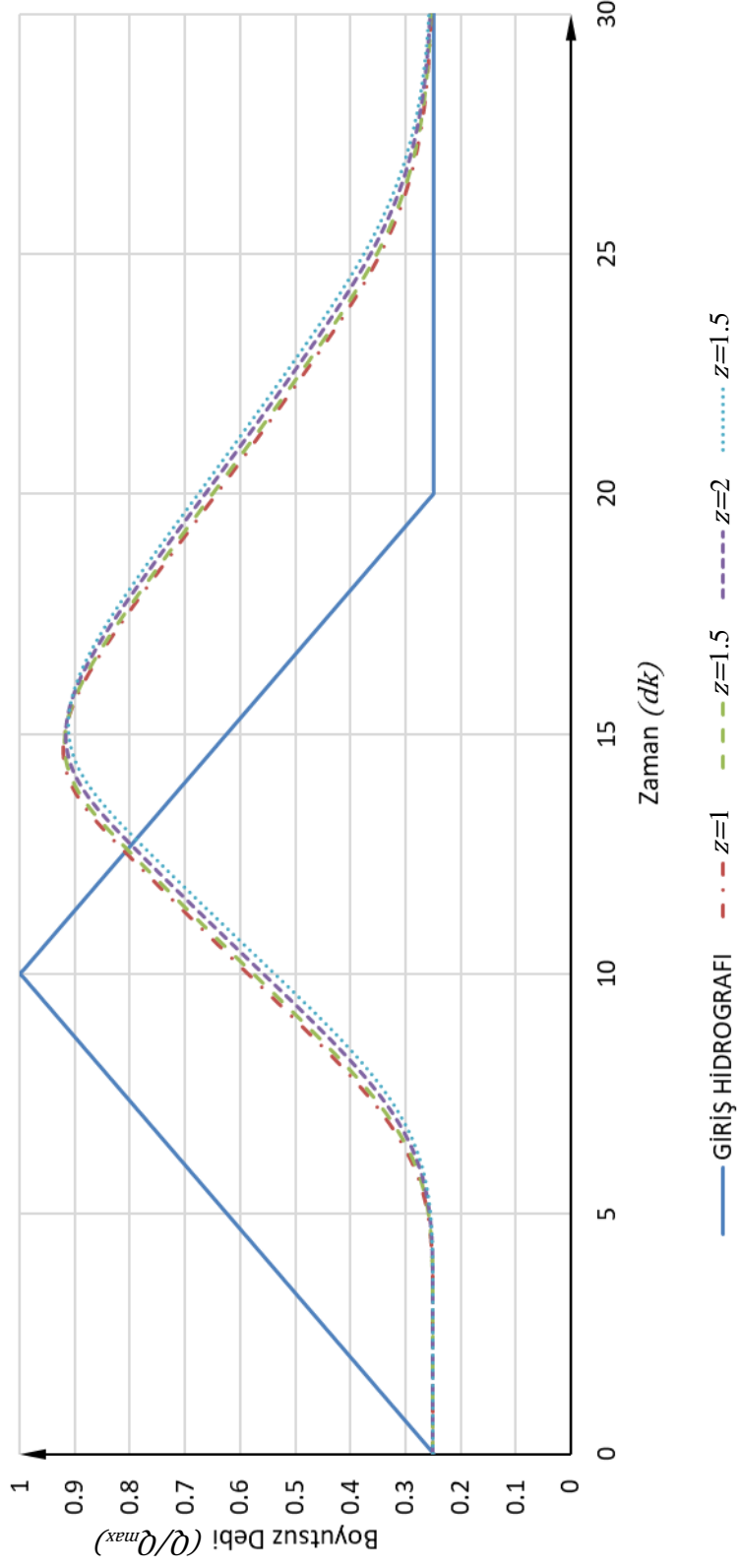
Şekil 32: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000\text{ m}$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografı ($x=2000\text{ m}$)



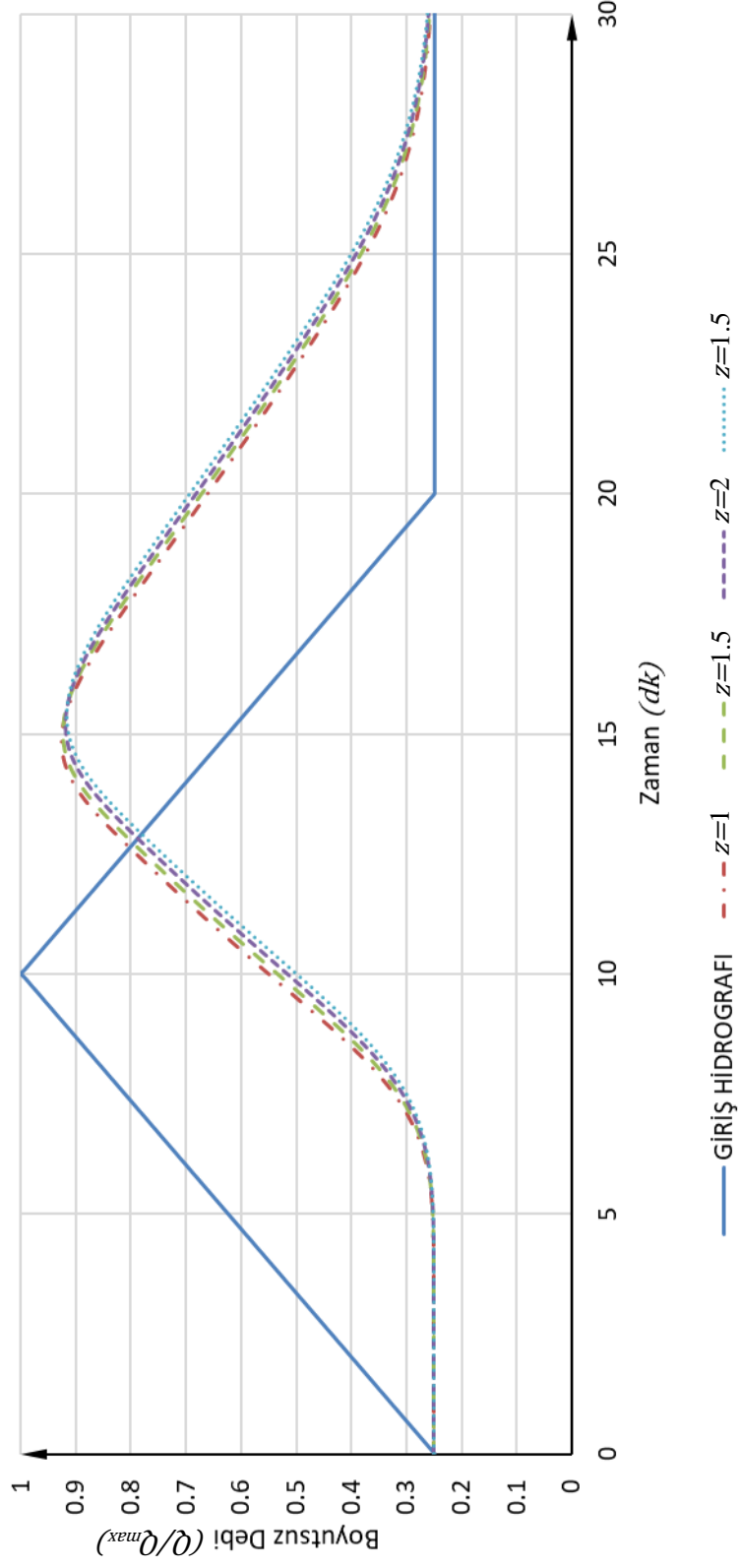
Şekil 33: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Şev Eğimlerinde Oluşan Taşkın Hidrografları ($x=2000\text{ m}$)

Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Şev Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000m$)



Şekil 34: Üçgen Enkesitli Kanalda Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000 m$)

Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Kanal Şev Eğimlerinde Oluşan
Boyutsuz Taşkın Hidrografı ($x=2000\text{ m}$)



Şekil 35: Trapez Enkesitli Kanalda Farklı Şev Eğimlerinde Oluşan Boyutsuz Taşkın Hidrografları ($x=2000\text{ m}$)

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, açık kanallarda bağımlı değişken parametrelili dalga modelleri için matematik denklemler çıkarılarak bu denklemler yardımı ile açık kanallarda taşkın ötelemesi problemi incelenmiştir. Denklemlerin çözümü için sınırlarda ek sınır şartı gerektirmeyen açık bir sonlu fark şeması kullanılmıştır. Farklı kanal enkesitleri olan dikdörtgen, üçgen ve trapez enkesitli kanallar ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca kanal parametreleri olan taban genişliğinin, Manning pürüzlülük katsayısının, taban eğiminin ve şev eğiminin taşkın hidrografi üzerindeki etkileri her bir enkesit için araştırılmıştır. Bunların dışında dalga modelleri kendi aralarında kıyaslanmıştır.

Bütün bu incelemelerde uygulama için literatürden veriler alınmış, matematik modellerin çözümü için MATLAB programı üzerinde çözüm algoritmaları geliştirilmiş, kodlamalar yapılmış ve çalıştırılmıştır. Yapılan yorumlar ve genellemeler uygulama verisinde kullanılan giriş taşkın hidrografi için geçerlidir.

Uygulama verisi olarak kullanılan hidrografta kanal enkesitinin dikdörtgen olması durumunda mansapta oluşan taşkın pikinde, membada oluşan taşkın pikine göre sönmüleme oranı %46 iken, üçgen enkesitte %48 ve trapez enkesitte %46 olarak hesaplanmıştır. Bununla beraber taşkın piklerinin gecikme oranı dikdörtgen enkesitte 1.9 iken, üçgen enkesitte 1.7 ve trapez enkesitte 2 olarak hesaplanmıştır.

Farklı Manning pürüzlülük katsayısının taşkın hidrografına etkisi de incelenmiştir. Dikdörtgen enkesitte oluşan taşkın piklerinin giriş hidrografındaki taşkın pikine göre sönmüleme oranı $n=0.0125, 0.0138, 0.0141$ ve 0.0207 değerleri için sırasıyla %7.2, %7.9, %8.1 ve %11.6 iken, üçgen enkesitte %7.8, %8.6, %8.8 ve %12.8, trapez enkesitte %7.4, %8.2, %8.3 ve %11.7 olarak hesaplanmıştır. Manning pürüzlülük katsayısı artması ile sönmüleme oranının da arttığı elde edilen sonuçlarda görülmektedir.

Farklı kanal taban genişliğinin taşkın hidrografına etkisi de incelenmiştir. Burada dikdörtgen enkesitte meydana gelen sönmüleme oranı $b=1$ m, 2.5 m, 5 m, 10 m ve 20 m olması halinde sırası ile %15, %8, %7, %9 ve %11 olarak hesaplanır iken,

trapez enkesitte %8, %7, %7 %9 ve %11 bulunmuştur. Kanal taban genişliği 1 m'den 35 m'ye kadar tüm kanal genişliklerinde oluşabilecek sönümlenme oranları hesaplanıp grafik çizilmiştir. Çizilen grafiklere göre en az sönümlenme hem dikdörtgen hem de trapez enkesit için $b=4m$ de oluşmaktadır.

Şev eğiminin taşkın pik debisi üzerindeki etkisini incelemek amacı ile farklı şev eğimleri dikkate alınmıştır. Üçgen enkesitte farklı şev eğimlerine karşılık meydana gelen taşkın pik değerlerinin başlangıç hidrografındaki taşkın pik değerine göre sönümlenme oranı, $z=1, 1.5, 2$ ve 2.5 iken sırası ile %7.8, %8, %8.4 ve %8.7 iken trapez enkesitte %7.4, %7.7, %8.1 ve %8.4 olarak hesaplanmıştır. Her iki enkesitte bulunan sonuçlara göre sönümlenme oranı şev eğimine bağlı olarak artmaktadır.

Kanal taban eğiminin taşkın pik debisi üzerindeki etkisini incelemek amacı ile farklı taban eğimleri dikkate alınmıştır. Dikdörtgen enkesitte farklı kanal taban eğimlerine karşılık meydana gelen taşkın pik değerlerinin başlangıç hidrografındaki taşkın pik değerine göre sönümlenme oranı, $S_0=0.01, 0.0025, 0.005$ ve 0.00006 iken sırası ile %6.4, %16.5, %43 ve %37 iken, üçgen enkesitte %7.1, %20.3, %45.1 ve %33, trapez enkesitte %6.6, %16.2, %43.1 ve %41 olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca tüm dalga modelleri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda taşkın hidrografi pik debilerinde sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli ile tam dinamik dalga modeli arasında %0.05'lik bir fark bulunmuştur. Bu ihmal edilebilir bir orandır. Bundan dolayı çözüm kolaylığı için sadeleştirilmiş dinamik dalga modeli tam dinamik dalga modeli yerine kullanılabilir.

8. KAYNAKLAR

Akan, A.O. and Yen, C.Y., “Diffusion-Wave Flood Routing In Channel Networks”, *Journal Of The Hydraulics Division*, 107 (6), 719-732, (1981).

Lai, C., Member, ASCE, “Comprehensive Method of Characteristics Models For Flow Simulation”, *Journal Of Hydraulics Engineering*, 114 (9), 1074–1097, (1988).

Kaya, B., Ulke, A. and Kazezyılmaz-Alkan, C.M., 2014. "Differential Quadrature Method in Open Channel Flows: Aksu River, Turkey", *Journal Of Hydraulics Engineering*, 17 (6), (2012)

Chung, W.H., Aldama, A.A., Smith, J.A., “On The Effects of Downstream Boundary Conditions On Diffusive Flood Routing”, *Advances in Water Resources*, 16 (5), 259–275, (1993).

Courant, R., Friedrich, K.O., *Supersonic Flow and Shock Wave*, New York: Interscience Publisher, (1948).

Cunge, J.A., Holly, F.M. and Verwey, A., *Practical Aspects Of Computational River Hydraulics*, London: Pitman, (1980).

Eagleson, P., *Dynamic Hydrology*, New York: Mcgraw-Hil, (1970).

Hicks, F. E. and Steffler, P. M., “Comparison of Finite Element Methods for The St. Venant Equations”, *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 20 (2), 99–113, (1995).

Hasanvand, K., Hashemi, M.R. and Abedini, M.J., “Development of An Accurate Time Integration Technique For The Assessment Of Q-Based Versus H-Based Formulations Of The Diffusion Wave Equation For Flow Routing”, *Journal Of Hydraulics Engineering*, 139 (10), 1079–1088, (2013).

Hashemi, M.R., Abedini, M.J. and Malekzadeh, P., “A Differential Quadrature Analysis of Unsteady Open Channel Flow”, *Applied Mathematical Modelling*, 31 (8), 1594–1608, (2007).

Hayami, S., *On The Propagation of Flood Waves*, Kyoto: Disaster Prevention Research Institute, (1951).

Kaya, B., Ülke, A., Üniversitesi, D.E., Kampüsü, T., “Diferansiyel Kuadratur Yöntemi Kullanılarak Difüzyon Dalga Yaklaşımı İle Taşkinların Ötelenmesi”, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 27 (2), 313–322, (2012).

Keskin, M.E., Ağiralioglu, N., “A Simplified Dynamic Model For Flood Routing In Rectangular Channels”, *Journal of Hydrology*, 202 (1-4), 302–314, (1997).

Kutija, V., Hewett, C.J.M., “Modelling Of Supercritical Flow Conditions Revisited ; Newc Scheme”, *Journal of Hydraulic Research*, 40 (2), 145–152, (2002).

Lai, C., Baltzer, R.A., Schaffranek, R.W., “Conservation-Form Equations Of Unsteady Open-Channel Flow”, *Journal of Hydraulic Research*, 40, 567–578, (2002).

Lighthill, M.J., Whitham, G.B., “On Kinematic Waves. I. Flood Movement In Long Rivers”, *Proceedings Of The Royal Society Royal Society A*, 229 (1178), 281–316, (1995).

Miller, J.E., *Basic Concepts Of Kinematic-Wave Models*, Washington: U.S. Geological Survey, (1984).

Moussa, R., “Analytical Hayami Solution For The Diffusive Wave Flood Routing Problem With Lateral Inflow”, *Hydrological Processes*, 10 (9), 1209–1227, (1996).

Sivapalan, M., Bates, B.C. and Larsen, J.E., 1997. “A Generalized, Non-Linear, Diffusion Wave Equation: Theoretical Development And Application”, *Journal of Hydrology*, 192 (1-4), 1–16, (1997).

Patowary, S., Sarma, A.K., “A Modified Hydrodynamic Model For Routing Unsteady Flow In A River Having Piedmont Zone”, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65 (1), 60–67, (2017).

Roberson, J.A., Crowe, C.T. and Elger, D.F., *Engineering Fluid Mechanics*, New York: Seventh Edition, John Wiley & Sons (2001)

Wang, G.-T., Chen, S., Boll, J., “A Semianalytical Solution Of The Saint-Venant Equations For Channel Flood Routing”, *Water Resources Research*, 39 (4), 1–10, (2003).

Ying, X., Khan, A.A., Wang, S.S.Y., “Upwind Conservative Scheme For The Saint Venant Equations”, *Journal of Hydraulic Engineering*, 130 (10), 977–987, (2004).

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Numan ÇAVDAR

Doğum Yeri ve Tarihi : Akşehir – 03.06.1993

Lisans Üniversite :Pamukkale Üniversitesi - DENİZLİ

Elektronik posta :numancavdar@gmail.com
numancavdar@yandex.com

İletişim Adresi :0 (544) 457 56 52