



**KÜÇÜK SU HAVZALARI HİDROLOJİK MODELİ WinTR-55'İN
BURSA İLİ BAZI SULAMA GÖLET HAVZALARINA
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

ÇAYAN ALKAN



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜÇÜK SU HAVZALARI HİDROLOJİK MODELİ WinTR-55'İN BURSA İLİ
BAZI SULAMA GÖLET HAVZALARINA UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ÇAYAN ALKAN

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2016

TEZ ONAYI

Çayan ALKAN tarafından hazırlanan "Küçük Su Havzaları Hidrolojik Modeli WinTR-55'in Bursa İli Bazı Sulama Gölet Havzalarına Uygulanabilirliğinin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Başkan : Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Uludağ Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU

Uludağ Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Gökhan ÇAMOĞLU

Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

07.09.2016

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

27/05/2016

Çayan ALKAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÜÇÜK SU HAVZALARI HİDROLOJİK MODELİ WinTR-55'in BURSA İLİ BAZI SULAMA GÖLET HAVZALARINA UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Çayan ALKAN

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Bu tezde, Bursa İli bazı gölet havzalarında Mockus, Rasyonel ve DSİ sentetik yöntemleriyle bulunan taşkın debi değerleriyle USDA (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı) tarafından geliştirilen ve küçük su havzalarına yönelik bir model olan WinTR-55 modelinin uygulanmasıyla bulunan taşkın debi sonuçlarını karşılaştırarak, modelin gölet havzalarına uygulanabilirliği araştırılmıştır. İncelenen on yedi havza içerisinden, Kestel Ağlaşan-Kayacık Kızılcıklıdere ve Gemlik Küçükkuşla gölet havzaları dışındaki on beş havzada, WinTR-55 modelinin biraz daha büyük pik debiler tahminlemeye eğilimli olduğu görülmektedir. Modelin, küçük su havzalarında taşkın debilerinin hesaplanmasında emniyetli bir biçimde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik model, WinTR-55, havza, yağış-akış ilişkileri, taşkın, Mockus yöntemi, Rasyonel yöntem, eğri numarası yöntemi

2016, xi + 100 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

A Research on Applicability of Small Watershed Hydrological Model WinTR-55 to the Basins of Some Small Earth Dams Aimed at Irrigation in Bursa

Çayan ALKAN

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

The value of flood flow which occurs with usage of Mockus, Rational and DSİ sentetik method in some pond basins of Bursa compared with a model (WinTR – 55) that was developed by USDA (United States Department of Agriculture) for small watersheds in this thesis. In this study aimed to investigate the feasibility for various hydrological models, WinTR - 55 model was researched if flood flow results which the implementation of the ponds basins or not. Within seventeen basins on the thesis, except for Kestel Ağlaşan-Kayacık Kızılcıklıdere and Gemlik Küçükkuşla pond basins, WinTR-55 model estimated greater peak flow. It is thought that the model securely could be used in the flow calculation.

Keywords: Hydrologic model, WinTR-55, watershed, rainfall-runoff relationship, flood, Mockus method, rational method, curve number method

2016, xi + 100 pages.

TEŞEKKÜR

İleriki yıllarda bir hidrolojist olabilme fırsatını bana veren değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali Osman DEMİR ve Doç. Dr. Hayrettin KUŐÇU başta olmak üzere Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümündeki ve tüm eğitim hayatımdaki hocalarıma, bu tezin oluşmasında desteklerini esirgemeyen Araş. Gör. Bilge KESKİN, Araş. Gör. Hilal ERDOĞAN ve diğer tüm asistan arkadaşlarıma, veri temininde yardımlarını benden esirgemeyen Ziraat Mühendisleri Halil DÖNMEZ ve Talat USTA ile Meteoroloji Mühendisi Feryal BİÇKİCİ'ye, başlamış olduğum üniversite kariyerimde akademik hayata ısınmama yardımcı olan Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi personeline ve Biyosistem Mühendisliği Bölümündeki hocalarıma, desteğini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çayan ALKAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1 . Hidrolojik Sistemlerin Sınıflandırılması.....	5
2.2 . Önemli Bazı Hidrolojik Simülasyon Modelleri ve İlgili Çalışmalar.....	6
2.2.1 TR-20 ve WinTR-55.....	10
2.2.2 SWAT	12
2.2.3 HEC-HMS	14
2.2.4 WEPP	15
2.2.5 AGNPS	17
2.2.6 EUROSEM	20
2.2.7 IHACRES	20
2.2.8 Diğer Modeller.....	21
2.3 . Hidrolojide En Yaygın Kullanılan Yazılımlar	25
2.4 . Hidrolojide Kullanılan Yöntemlerden Bazıları.....	26
2.4.1 Kolmogorov – Smirnov Testi (Frekans analizi).....	28
2.4.2 Birim Hidrograf Yöntemi.....	32
2.4.3 Eğri Numarası (CN) Yöntemi.....	35
2.4.4 Mockus, DSİ Sentetik ve Rasyonel Yöntemleri.....	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM	44
3.1 . Materyal	44
3.1.1 Çalışma Alanının Tanıtılması.....	44
3.1.1.1 Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Havzası.....	44
3.1.1.2 Gemlik Küçükkuşla Göleti Havzası.....	44
3.1.1.3 Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere Göleti Havzası.....	44
3.1.1.4 Büyükorhan Kocadere Göleti Havzası.....	45
3.1.1.5 Osmangazi Güneybayır Göleti Havzası.....	45
3.1.1.6 İnegöl Çavuşköyü Göleti Havzası.....	45
3.1.1.7 İnegöl Olukman-Tekke Göleti Havzası.....	45
3.1.1.8 Yenişehir Fethiye Gürgendere Göleti Havzası.....	45
3.1.1.9 Yenişehir Gökçesu Pınarbaşidere Göleti Havzası.....	46
3.1.1.10 Orhaneli Altıntaş Göletyeridere Havzası.....	46

3.1.1.11	Keles Sorgun Örendere Göleti Havzası.....	46
3.1.1.12	Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere Göleti Havzası.....	46
3.1.2	WinTR-55 Modelinde Kullanılan Veriler.....	47
3.2	Yöntem.....	51
3.2.1	WinTR-55 Modeli.....	51
3.2.1.1	Eğri Numarası (CN) nın Belirlenmesi.....	62
3.2.1.2	Konsantrasyon Süresi (Tc) nin Belirlenmesi.....	63
3.2.1.3	Yüzey Akış Pik Debisinin Hesaplanması.....	65
4.	BULGULAR	66
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	86
	KAYNAKLAR	89
	ÖZGEÇMİŞ	100



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AGNPS	Agricultural Non-point Source Pollution Model
AMC	Antecedent Moisture Condition
ANSWERS	Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation
ARS	Agricultural Research Service
BBH	Boyutsuz Birim Hidrograf
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri
cfs	Cubic feet per second
CN	Curve Number
CREAMS	Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EUROSEM	European Soil Erosion Model
GLEAMS	Groundwater Loading Effect of Agricultural Management Systems
GR4J	Génie Rural á 4 paramétres Journalier
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Model System
HSPF	Hydrologic Simulation Program-Fortran
IHACRES	Identification of Unit Hydrographs and Component Flows From Rainfall, Evaporation and Streamflow Data
K-S	Kolmogorov-Simirnov
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation
NRCS	Natural Resources Conservation Service

RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
STORM	Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
SWM	Stanford Watershed Model
SWIM	Soil and Water Integrated Model
SWMM	Storm Water Management Model
SWRRB	Simulator for Water Resources in Rural Basins
YSA	Yapay Sinir Ağları
USDA NRCS	United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service
US EPA	United States Environmental Protection Agency
WEAP	Water Evaluation and Planning System
WEPP	Water Erosion Prediction Project
WinTR-55	Windows Technical Release-55

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Hidrolojik modeller için yapılmış bir sınıflandırma (Xu 2002)	6
Şekil 2.2. Programlama dilleri ve yazılımların hidrolojik analizler için önem sırası (Maidment 2005)	26
Şekil 3.1. NRCS Tip II yağış dağılımı için birim pik yüzey akış miktarı (Huffman ve ark. 2013)	53
Şekil 3.2. NRCS yağış dağılımları için ABD'deki coğrafi sınırlar (Huffman ve ark. 2013).....	54
Şekil 3.3. WinTR- 55 modeli ana penceresi (Roberts ve ark. 2009).....	58
Şekil 3.4. Keles Sorgun Örendere havzası verilerinin girildiği WinTR-55 modelinin ana penceresi.....	60
Şekil 3.5. WinTR-55 modeline Keles Sorgun Örendere havzası yağış verilerinin girildiği pencere.....	60
Şekil 3.6. Keles Sorgun Örendere havzası için WinTR-55 modelinde çıkması istenen hidrografın tekerrür periyotlarının seçimi sonucu oluşan tablo.....	61
Şekil 3.7. Keles Sorgun Örendere havzası için WinTR-55 modelinde hidrograf sonucunu grafik olarak gösterebilmek için istenen tekerrür periyotlarının seçimi sonucu oluşan grafik.....	61
Şekil 3.8. WinTR- 55 modelinde ağırlıklı eğri numarasının belirlenmesi.....	62
Şekil 3.9. WinTR- 55 modelinde konsantrasyon süresinin belirlenmesi.....	64
Şekil 4.1. Bazı yöntemlerin 2 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.2. Bazı yöntemlerin 5 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.3. Bazı yöntemlerin 10 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.4. Bazı yöntemlerin 25 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması.....	72

Şekil 4.5. Bazı yöntemlerin 50 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.6. Bazı yöntemlerin 100 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 4.7. Büyükorhan Kocadere Göletyeri havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	74
Şekil 4.8. Büyükorhan Kocadere İçmedere (Derivasyon) havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	74
Şekil 4.9. İnegöl Çavuşköyü Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	75
Şekil 4.10. Yenişehir Fethiye Gürgendere Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	76
Şekil 4.11. Yenişehir Gökçesu Pınarbaşidere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	76
Şekil 4.12. Keles Sorgun Örendere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	77
Şekil 4.13. Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Kızılıklıdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	78
Şekil 4.14. Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yandere-1 havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	79
Şekil 4.15. Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yandere-2 havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	79
Şekil 4.16. Gemlik Küçükkuşla Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle DSİ Sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	80

Şekil 4.17. Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle DSİ Sentetik yöntem, Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	81
Şekil 4.18. Osmangazi Güneybayır Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle DSİ Sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	82
Şekil 4.19. İnegöl Olukman-Tekke Gürgenlikdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	83
Şekil 4.20. İnegöl Olukman-Tekke Dalakdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	83
Şekil 4.21. İnegöl Olukman-Tekke Karanlıkdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	84
Şekil 4.22. Orhaneli Altıntaş Göletyeridere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	85
Şekil 4.23. Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı hidrolojik simülasyon modelleri (Usul 2001).....	8
Çizelge 2.2. WinTR-20 modelinin değişken ve kısıtları (Anonim 2004).....	11
Çizelge 3.1. Havzaların WinTR-55 modelinde kullanılan fiziksel özellikleri	47
Çizelge 3.1. Havzaların WinTR-55 modelinde kullanılan fiziksel özellikleri (devam)...	48
Çizelge 3.2. WinTR-55 modeli için gerekli olan havzaların 24 saatlik yağış miktarları (mm).....	49
Çizelge 3.2. WinTR-55 modeli için gerekli olan havzaların 24 saatlik yağış miktarları (mm) (devam).....	50
Çizelge 3.3. Düzeltme faktörü, F_p (Huffman ve ark. 2013).....	52
Çizelge 3.4. Hidrolojik toprak gruplarının tanımlaması (Huffman ve ark. 2013).....	55
Çizelge 3.5. WinTR-55 modelinin yetenekleri ve kısıtları (Roberts ve ark. 2009)	56
Çizelge 3.5. WinTR-55 modelinin yetenekleri ve kısıtları (Roberts ve ark. 2009) (devam)	57

Çizelge 3.6. WinTR-55 modelinde kullanılan önceki nem durumları (AMC) (Huffman ve ark. 2013)57

Çizelge 4.1. Farklı tekerrür sürelerinde havzalarda çeşitli yöntemlerle tahminlenen pik debi değerleri (m^3/s)66

Çizelge 4.1. Farklı tekerrür sürelerinde havzalarda çeşitli yöntemlerle tahminlenen pik debi değerleri (m^3/s) (devam)67

Çizelge 4.1. Farklı tekerrür sürelerinde havzalarda çeşitli yöntemlerle tahminlenen pik debi değerleri (m^3/s) (devam)68



1. GİRİŞ

Yerkürede suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bilim dalına *hidroloji* denilmektedir (Bayazıt 2011).

Hidroloji biliminin alt sınıflarına örnek olarak; yüzey suyu hidrolojisi, yer altı suyu hidrolojisi, mühendislik hidrolojisi, tarımsal hidroloji, kentsel hidroloji, istatistiksel hidroloji, sel hidrolojisi, kuraklık hidrolojisi ve orman hidrolojisi gösterilebilmektedir. Hidroloji bilimi ayrıca jeoloji (hidrojeoloji), meteoroloji (hidrometeoroloji), oşinografi (okyanus bilimi), sedimentoloji (tortul bilimi), mineraloloji, hidrolik, tarım, ormancılık, coğrafya, matematik, istatistik (istatistiksel yöntemler), biyoloji (botanik), fizik ve ekonomi bilim dallarıyla ilişkilidir (Ogunlela 2011).

Hidrolojik çevrimdeki yüzeysel akış, su verimi ve taşkın debisi olarak tahminlenebilmektedir. Bu çalışmadaki amaç, sel felaketinin tarım alanları üzerindeki zararını en aza indirmek için taşkın debisinin doğru tahminlenebilmesidir. Tahminlenen taşkın debileri dikkate alınarak drenaj kanalları boyutlandırılacaktır.

Günümüzde, değişik girdilerin denenmesi ile hidrolojik olayların daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla yaygın olarak hidrolojik modeller kullanılmaktadır. Model, bir olayın o olayı etkileyen tüm bileşenleriyle birlikte meydana gelişini sonuçlarıyla gösteren ilişkidir. Haan ve ark. (1994) bir hidrolojik modeli şöyle tanımlamıştır: “Fiziksel yasaların ve deneysel gözlemlerin bir toplamı olarak yazılan matematiksel terimlerin, bilinen veya varsayılan girdilere dayalı hidrolojik tahminleri (çıktıları) üretmeye yönelik kombinasyonlarıdır”. Modellerin en yaygın kullanım alanlarından bir tanesi, hidrolojik sistemde modellenen bazı fiziksel değişimlerin pik taşkın debisine etkisinin değerlendirilmesidir. Model, hidrolojik sistemin yerine geçmemekte sadece matematiksel hesaplamalar yapmaktadır. Modellere ihtiyaç duyulmasının başlıca nedenleri; kullanıcılara farklı arazi kullanımlarının yüzey akış üzerine etkilerini karşılaştırma imkanı sağlamanın yanında ekstrem olayların oluşma periyotlarını

belirlemek, gelecekteki doğal felaketlerin tahminini yapmak ve yapay olarak veri elde etmektir. Bu bağlamda, tarımsal hidroloji konusunda model kullanımının amacı; yüzey akışı belirlemek, ürün verimindeki duyarlılıkları saptamak, havzanın morfolojik ve iklimsel özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkabilecek sonuçları belirlemektir. Hidroloji’de yaygın olarak kullanılan modellerden bazıları: AGNPS, ANSWERS, CREAMS, GLEAMS, HEC-HMS, HSPF, MIKE-SHE, SWAT, SWM, SWMM ve WEPP’tir (Apaydın ve Öztürk 2003a, Keskiner 2008, Owens 2009, Huffman ve ark. 2013).

Modelleme aşamaları, model çalışma planı hazırlama, veri toplama, veri işleme ve kavramsallaştırma, model kurulumu, kalibrasyon ve doğrulama, simülasyon ve değerlendirme gibi yedi temel adımda özetlenebilmektedir. Gelecekte üretilen hidrolojik modellere daha çok veri girişi sağlanarak daha hassas sonuçlar elde edilebileceği belirtilmektedir (Apaydın ve ark. 2006, Refsgaard 2007).

Hidrolojik modeller, değişik girdilerin programda denenmesi ile hidrolojik olayların daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. İlk havza modeli, Crawford ve Linsley tarafından 1966’da geliştirilen Stanford Watershed Modeli (SWM)’dir (Oogathoo 2006).

Kesintisiz (continuous) modeller, anlık (event) modellere göre daha hassas olmaktadır. WEPP ve CREAMS gibi kesintisiz modellerin, her yıl değişen iklim ve arazi kullanım durumuna göre geniş ölçüde giriş verisine ihtiyaç duymaları sorun oluşturmaktadır. Kesintisiz modeller, uzun süreli bir periyodun değerlendirmesini gerektirdiğinden sonucu etkileyen birçok parametre kullanmakta ve anlık modellerdeki gibi yakın sonuç bulma ihtimali daha da azalmaktadır (Morgan ve ark. 1998).

Model felsefesine, zamanlamasına, alansal boyuta, uygulanabildiği bölgeye v.b özelliklere göre sınıflandırılabilir. SWM ve HSPF, büyük kırsal ve kentsel havzalara uygulanabilen kesintisiz ve kavramsal bir model iken SWMM, küçük kentsel havzalara uygulanan anlık ve fiziksel bir modeldir. Diğer taraftan; SPAW ve CREAMS, küçük tarımsal havzalarda uygulanan kesintisiz ve fiziksel tabanlı bir model iken, anlık ve kavramsal bir model olan HEC - 1 ve TR-20 ise küçük kırsal havzalarda çalışmaktadır. Tarımsal havzalar için üretilmiş fiziksel tabanlı modellere örnek olarak ANSWERS ve

DRAINMOD gösterilebilmektedir. Bu modellerden ANSWERS, orta ölçekli havzalarda çalışan anlık bir model iken DRAINMOD'un da küçük havzalarda çalışan kesintisiz bir model olduğu bilinmektedir. Toplu kavramsal modele örnek olarak Sacramento ve Stanford havza modeli (SWM) verilebilirken; dağılık ve fiziksel tabanlı model örneği olarak ise MIKE-SHE modeli ve bir yeraltı suyu modeli olan Modflow karşımıza çıkmaktadır (Demissie ve ark. 1997, Refsgaard 2007).

Uygulamada basitliğinden dolayı kullanımı tercih edilen modeller toplu, anlık, deterministik ve süreç modellerdir. Modellerin zamansal ve mekansal değişkenlikleri de göz önüne alması istendiğinde bu modellerin geliştirilmesi zorlaşmaktadır ve tahmin ettiği sonuçların gerçeğe yaklaşmakta zorlanması beklenir (Anonim 2015a).

Hidroloji biliminde, konumsal olarak değişim gösteren meteorolojik faktörlerin kullanıldığı düşünüldüğünde dağılık modellerin kullanılmasının daha başarılı sonuçlar vereceği tahmin edilebilmektedir. Hidrolojik olaylardan elde edilen varyantlar, mekansal ve zamansal olarak bağımlıdır. Belirli periyotlarla ölçülen yüzey akışları da zamansal olarak bağımlıdır. Hidrolojik modellerde genelde öncelikle hidrometeorolojik veriler ve havzanın fiziksel özelliklerini veren veriler gerekmektedir (Apaydın ve Öztürk 2003a).

Akarsu havzası bir sistem olarak düşünüldüğünde modeller, kapalı kutu modelleri ve parametrik modeller olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bu modellerden kapalı kutu modelleri; yağış, sızma ve yer altı akışı gibi hidrolojik bileşenler arasındaki ilişkiyi detaylı olarak değerlendirirken parametrik modeller; yağış, sızma ve yer altı akışı gibi hidrolojik bileşenler arasındaki ilişkiyi detaylı olarak incelemeyip sadece yağış ile akış arasındaki ilişkiyi değerlendirmektedir (Yurtal 2015).

Doğada bileşenleri arasında karmaşık ilişkilerin olduğu hidrolojik olaylar hakkında hızlı ve kolay bir şekilde yorumların yapılıp değerlendirmelerin yapılmasını sağlayan hidrolojik modellerin ve modellemenin öneminin günümüzde olduğu gibi gelecekte de artarak devam edeceği düşünülmektedir.

Küçük gölet havzalarında genellikle akım gözlemi verilerine ulaşamadığından burada sentetik yöntem sonuçları, ölçülen (gerçek) değerlerle karşılaştırılmamış bunun yerine sentetik yöntem farklılıkları üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada, TR-20 modeli esas alınarak geliştirilen ve tarla ölçeğinde bile kullanılabilen WinTR-55 modeli ile belirlenen pik debiler, Mockus yöntemi başta olmak üzere Rasyonel ve DSİ sentetik yöntemleri kullanılarak bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bursa'nın farklı ilçelerindeki bazı gölet havzalarına ilişkin veriler kullanılarak hidrometeorolojik ve havzaların fiziksel özellik değişimlerinin sonuçlara etkisi değerlendirilmiştir.



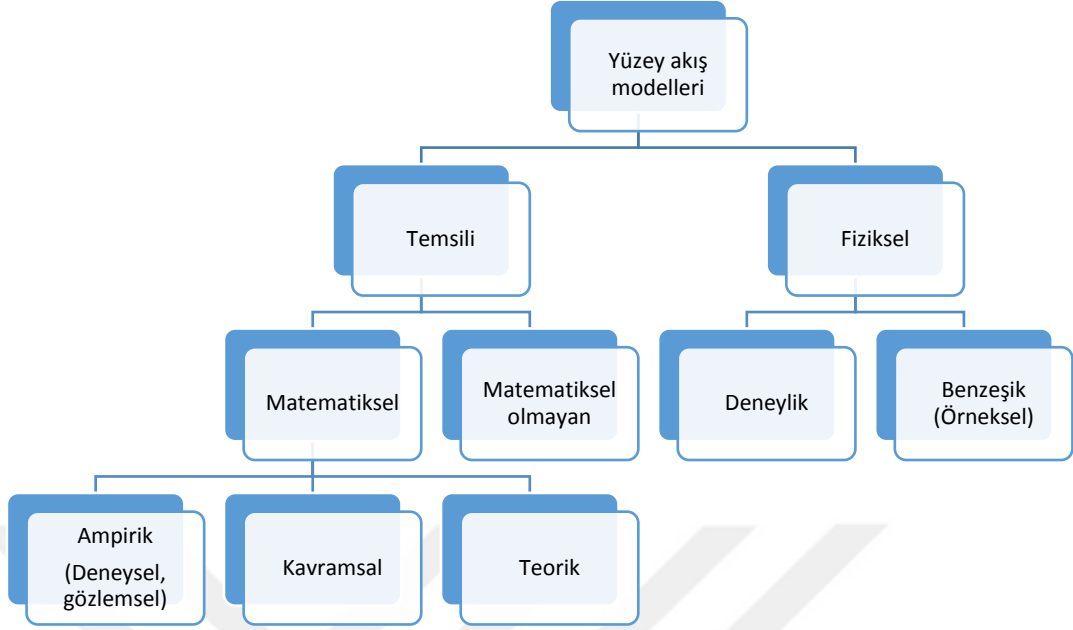
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hidrolojik Sistemlerin Sınıflandırılması

Çevresel sistemin bir parçası olan hidrolojik sistem, sediment ve kirleticilerin taşınımı ile yeryüzündeki doğal suların akışını içermektedir. Hidrolojik sistem; fiziksel, kimyasal, biyolojik v.b süreçlerin etkisi altındaki girdi bileşenlerini çıktı bileşenlerine çeviren örneklemeler bütünüdür. Havza, bir hidrolojik sistem olarak düşünülebilir. Yağış bir girdi, akım ise çıktıdır. Buharlaşıma ve yüzey altı akış da diğer çıktı bileşenleri olarak tanımlanabilmektedir (Xu 2002, Solaimani 2009).

Bir havza sisteminde, A yağışının B akımını, C yağışının da D akımını oluşturduğu düşünüldüğünde ve bir bütün olarak değerlendirildiğinde $A+C \neq B+D$ olma ihtimalinin varolmasından dolayı, yağış ile akış arasındaki ilişki lineer değildir. Havza sistemleri bu süperpozisyon (toplama, birleştirme) ilkesine uymadığından bu sistemler *nonlinear sistem* olarak tanımlanmaktadır (Yurtal 2015).

Ampirik, kavramsal ve teorik olarak alt sınıflara ayrılabilen matematiksel modeller ayrıca kendi aralarında; doğrusal, dağınık, istatistiksel olup olmamalarına ve zamana bağlı olup olmamalarına göre de sınıflandırılabilirler (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Hidrolojik modeller için yapılmış bir sınıflandırma (Xu 2002)

2.2. Önemli Bazı Hidrolojik Simülasyon Modelleri ve İlgili Çalışmalar

Sediment verimi tahminleme ile yüzey akımı tahminleme çalışmaları birbirleriyle ilişkilidir. Çünkü, sediment de akımla taşınmaktadır.

Hidrolojik modellerin kullanıldığı çalışmalarda karşılaşılabilecek iki önemli kavram kalibrasyon ve doğrulamadır. Model sonuçları ile havzanın ölçülen sonuçları arasındaki farkı en aza indirmek için girdiler ve/veya model eşitliği değiştirilir. Bu işleme kalibrasyon denir. Farklı veri kombinasyonlarıyla (kombinasyon takımlarıyla) da aynı sonuca ulaşıp ulaşılmadığının değerlendirilmesi işlemi de *doğrulama* olarak tanımlanmaktadır (Apaydın ve Öztürk 2003a, Anonim 2015a).

Anlık modeller hidrolojik sistemde herhangi bir t anındaki girdiler ve bu girdilerin oluşturduğu sonuçlarla ilgilenirken, kesintisiz modeller bir Δt süresince değişen girdiler ve bu girdiler nedeniyle zamanla değişmesi beklenen çıktılar ile ilgilenmektedir. Anlık modeller, birkaç saatlik veya günlük tek sağanaktan meydana gelen yüzey akışı hesaplarken; kesintisiz modeller, uzun periyotlar boyunca devam eden sağanak

olaylarında, havzadaki değişimleri açıklar. HEC-HMS, anlık modele örnek olarak verilebilir. Kesintisiz modeller, uzun periyotlar boyunca yüzey akışları modeller ve her bir zaman periyodunda havza karakteristiklerindeki değişimleri açıklar. Kesintisiz model girdileri, birkaç aylık veya yıllık tarihsel veriye ihtiyaç duyarlar. Kesintisiz modele örnek olarak da HSPF verilebilir. Anlık modellerde; toprak karakteristiği, arazi kullanım verisi, sağanak süresi gibi az sayıdaki veriler de yeterli olurken; kesintisiz modellerde; arazi kullanımı, toprak ve bitki örtüsüne ait detaylı bilgi, evaporasyon, yüzey akış ve sıcaklık gibi daha çok sayıda veriye ihtiyaç vardır. Hidrolojistler, tasarlanan bir sağanak olayından yüzey akışı hesaplamak için anlık modeli kullanmaktadırlar. Anlık model kavramındaki bahsedilen an, birkaç saat ile birkaç gün arasında süren yağışlarla sonlanabilir (Wolfe 2006, Anonim 2015a).

Model değişkenlerinin rastlantısal özelliğe sahipliği, modelin konumsal değişimleri dikkate alıp almaması, modelin zamana göre değişip değişmemesi (zamana bağımlı olup olmaması) ve modelin kuramsal olup olmamasına göre hidrolojik modellerin sınıflandırılması yapılabilmektedir. Modellerin sınıflandırma çeşitlerinden bazıları: statik ve dinamik, kuramsal ve ampirik, toplu (homojen-lumped) ve dağınık, deterministik (belirleyici) ve istatistiksel (stokastik) modellerdir. Modelleri, deterministik ve istatistiksel modeller olarak ikiye ayırıp bunların tanımı yapılmak istenirse istatistiksel modeli, içerisindeki herhangi bir değişkeninin tesadüfi özellik taşıdığı modeller (hava tahmini yapan modeller gibi), deterministik modeli ise model içindeki tüm değişkenlerinin tesadüfi özellik taşımayan modeller (taşkın ötelemesi gibi) olarak tanımlamak mümkündür. Deterministik yaklaşımla stokastik (istatistiksel) yaklaşım arasındaki temel fark; deterministik özellikler, mevsimselliğin varlığını ön plana çıkarırken stokastik özellikler, değişkenin durağanlığını ön planda tutmaktadır. Eğer modelleri, toplu (homojen-lumped) ve dağınık olarak ikiye ayırıp bunların tanımı yapılmak istenirse de toplu model, herhangi bir değişkeninin havza için ortalama bir değere sahip olduğu kabulüyle tüm havzada o değişkeni temsilen değişkene tek değer ataması yapan modeldir. HSPF, Sacramento ve Tank modeli toplu modele örnek olarak verilebilmektedir. Dağınık model ise, model değişkenlerinin havzanın farklı kesimlerinde farklı değerler aldığı kabulüyle havzanın her bir bölgesi için model eğitliliğini yeniden kullanan modeldir. Modelleri, kuramsal ve ampirik modeller olarak

ikiye ayırıp bunların tanımı yapılmak istenirse de kuramsal modellerde model eşitliği; fiziksel, kimyasal, hidrolik vb. yasalardan elde edilmekte, ampirik modellerde ise model eşitliği, yasalar yerine arazide yapılan gözlem sonuçlarından veya laboratuvarlarda yapılan ölçümlerden elde edilmektedir (Apaydın ve Öztürk 2003a, Pektaş 2012).

Geçmişte yağış, sızma, yüzeysel akış v.b hidrolojik çevrim elemanlarının ayrı ayrı değerlendiren süreç modellerinin yerini günümüzde bu aşamaları bir bütün olarak değerlendirebilen ve içlerine yönetim, karar v.b mekanizmaların eklendiği entegre havza modelleri almaktadır. Hidrolojik modellerin kullanımının yaygın olmasının nedeni, hidrolojik sistemde farklı havza yönetim kombinasyonlarının denenmesinin ve sonuçlarının değerlendirilebilmesinin kolay olması (senaryo analizi yapılabilmesi) biçiminde özetlenebilmektedir (Refsgaard 2007).

Bazı önemli hidrolojik modellerin hangi kurum tarafından geliştirildiği ve geliştirilme tarihleri de Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Bazı hidrolojik simülasyon modelleri (Usul 2001)

Model	Geliştirilme tarihi	Geliştiren kuruluş
HMS	2001	HEC
WMS	1997	Brigham Young Üni.
MIKE	1987	Danish hydraulic ins.
TR-55	1986	USDA NRCS
HSPF	1980	Hydrocomp, EPA
TR-20	1974	USDA NRCS
STORM	1974	HEC, US army corp. of eng.
SWMM	1971	US EPA, Florida Üni.
Stanford	1966	Crawford ve Linsley

Tarımsal alanlarda gerçekleşebilecek yüzeysel akışı ve erozyonu azaltacak tarım şekline karar vermede, su kaynaklarının tarım ilaçları ve gübreler nedeniyle kirlenme sonuçlarının değerlendirilmesi ve bu kirliliğin azaltılmaya çalışılması gibi karmaşık ilişkilerin, süreçlerin anlaşılmasında, optimum karar vermede ve bu kararların sonuçlarının değerlendirmesinin (doğuracağı sonuçların önceden izlenmesinin) yapılmasında en etkin rol yine modellere düşmektedir. Ancak, Türkiyede kullanılan

yüzeş akış modellerinin tahminlemede başarıya ulaşamamasının nedenlerinden başlıcası da genelde yurtdışı kaynaklı üretilen bu modellerin ülkemizin iklim, toprak ve topografya şartlarını dikkate alarak geliştirilmemiş olmasıdır (Apaydın ve Öztürk 2003a, Anonim 2015a).

Hidrolojik modeller kullanılarak tahminlenen değerler ile gözlenen değerlerin birbirinden çok farklı çıkmasının temel nedenlerinden biri; hidrolojik olayların her birinin ayrı ayrı başka değişkenlerden etkilenmesi, yani mekanik olmama özelliğidir (Öztürk ve ark. 2003a).

Hidrolojik çalışmaların zorluğunun bir başka göstergesi de, bir yağış süresince artık yağış yüksekliğinin zamansal ve alansal olarak üniform (tek düze) dağıldığı varsayımını bünyesinde barındırmasıdır (Şen 2009).

Modellerin ölçülmüş değerlere yakın sonuç bulabilirliğinde önemli etkenlerden birisi olarak şu husus öne çıkmaktadır: Modellerin yaptığı bazı kabuller nedeniyle oluşturulduğu bölgelerin iklimi ve koşullarından da izler taşıdığı inkar edilmemektedir. Yani herhangi bir bölgenin koşullarına göre bir model oluşturulmuşsa o bölgeye daha zıt bir iklimde (kutup, çöl v.b) yakın sonuç bulunması beklenilmemelidir. Aynı sonucu bulmaya yönelik modellerden daha çok veri girişi talebinde bulunan programın da gerçeğe yakın sonuçlar üreteceği beklenebilir. Fakat modelde seçilen matematiksel denklem ve hesaplama denklemlerinin de çok önemli bir etken olduğu göz ardı edilmemelidir (Maidment 2005).

Çoğu bilimsel çalışmada olduğu gibi hidrolojik araştırmalarda da en önemli bileşen veridir. Hidrolojik modeller içerisindeki yöntemler ne kadar popüler ve kaliteli olursa olsun veriler düzgün toplanmamışsa model tahminleri güvenilirlikten uzak olmaktadır. Türkiyedeki hidrometeorolojik istasyonların kalitesi ve sayılarının istenen seviyede olmadığı da düşünüldüğünde model çalışmalarındaki zorluklara şaşırılmamak gerekmektedir (Anonim 2014).

Tahminlenen pik debilerin, araziden ölçülmüş verilerin gidişine paralel seyretmesi tahminleme yöntemlerinin geçerli olabileceğinin yanında bu yöntem katsayılarında ufak düzenlemelere ihtiyaç duyulduğunun bir göstergesi olmaktadır (Şen 2009).

Toprak ve su gibi tarımsal açıdan doğal kaynak olarak nitelendirilen bileşenlerden özellikle su kaynaklarına hakim olma isteği savaşların da nedenleri arasında düşünülmektedir. Kendi içlerinde bile belirsizlik olan su, toprak v.b doğal kaynakların birbirleriyle olan karmaşık ilişkilerine ek olarak canlıların bu bileşenlere yaptığı etkilerin tahminindeki zorluklar ve tüm bu belirsizlikler gölgesinde hidrolojik çalışmalardan kesin sonuçlar beklemek yerine tahmini ve yaklaşık sonuçlar bulmasını istemek daha gerçekçi ve akılcı olacaktır. Bu yüzden uygulamada modelleri tercih ederken kullanılacak coğrafyaya, iklime ve toprak özelliklerine uygunluğuna dikkat edilmelidir. Modellerin güvenilir sonuçlar ürettiği koşullara benzer koşullarda mı kullanıldığı önem kazanmaktadır. Modeller hakkında doğru sonuç çıkartıyor, uzak sonuç tahminliyor diye değerlendirme yapmak yerine modellerin bölgesel bazlı üretildiklerini (tasarlandığını) yani bölgesel ölçekte hassas sonuç çıkarttıklarının ve bir tahminleme aracı olduklarının unutulmaması gerekmektedir. Herhangi bir model övülüp, diğeri yerilmemelidir (Anonim 2015a).

2.2.1. TR-20 ve WinTR-55

Win TR-55, TR-20'nin revize edilmiş versiyonudur ve hidrograf oluştururken TR-20 (sürüm 1.11)'nin hidrolojik hesaplamalarını kullanmaktadır (Anonim 2015b).

TR-20 modelini geliştiren kurum olan NRCS, hidroloji çalışmalarında belirli bir alanda meydana gelen yağıştan oluşan yüzey akışın hesaplanmasında birim hidrograf teorisini ve yüzey akış eğri numarası yöntemini kullanmaktadır. Win TR-20 çalışma grubu 1998'li yılların sonunda oluşturulmuş ve programın Windows formatında da çalışması sağlanmıştır. WinTR-20 modeli, havza ölçeğinde anlık bir fırtınanın neden olduğu yüzey akışı değerlendiren hidrolojik bir modeldir (Anonim 2004).

WinTR-55 modelinde olduğu gibi öteleme yöntemi olarak Muskingum-Cunge'yi kullanan WinTR-20 modelinin CN değerleri 30 ile 100 arasında girilebilirken, WinTR-

55 modelinde bu değerler 40 ile 98 arasında değişmektedir. WinTR-20 modelinin hidrograf dağılımı artışları 0.01 cfs'den küçük olmayacak şekilde artabilmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. WinTR-20 modelinin değişken ve kısıtları (Anonim 2004)

Değişkenler	Kısıtlar
Besleme kolları tipi	Kanal ya da yapı
Manning kanal pürüzlülük katsayısı “n”	0.005 – 1.00
Öteleme yöntemi	Muskingum-Cunge
Tabaka akışı maksimum uzunluğu	100 feet
Tabaka akışı Manning kanal pürüzlülük katsayısı “n”	0.005 –1.00
Hidrograf dağılımı artışları	≥ 0.01 cfs
Yüzey akış eğri numarası	30-100
Ağırlıklı eğri numarası	30-100

Win TR-20 modeli maksimum akımı hesaplayabilmektedir. Win TR-20'deki en temel veri gereksinimleri; sağanak analizi (yağış dağılım tipi, önceki yüzey akış durumu, 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik yağış miktarı), minimum hidrograf değeri, havzanın alanı, konsantrasyon süresi (Tc), eğri numarası (CN), girdi ve çıktı verilerinin birimleridir (Anonim 2004).

TR-20 modeli ve onun revize edilmiş hali olan WinTR–55 modeliyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Garday ve Pugh (2006), ABD'nin Franklin Eyaletindeki Hop Brook havzasında WinTR-55 modeliyle pik debi tahminlemiştir. Tahminlenen ve ölçülen pik debiler arasında en çok % 9'luk fark elde etmişlerdir.

Esparza ve ark. (2007), Meksika'da bulunan Ciudad Juarez kentsel bölgesindeki toplam 6821 hektarlık altı farklı havzanın yirmi dört alt havzasında WinTR-55 modelini kullanarak farklı tekerrür sürelerine ait hidrograflar ve maksimum debiler elde etmişlerdir. CBS teknolojileri ile WinTR-55 modelini birlikte kullanarak bölgedeki koruma önlemlerine karar vermeyi amaçladıkları çalışmalarını sonucunda, bu yirmi dört alt havzadaki konsantrasyon sürelerinin 0.1'den 2.43'e kadar farklılık gösterdiğini ve 2,

5, 10, 25, 50, 100 yıllık periyotlara göre tahminlenen taşkın debilerinin $8.07 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den $308.77 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye kadar değiştiğini belirlemiştir.

Fitri ve ark. (2011), Malezya'daki Sains Malaysia üniversitesi ana kampüsünde meydana gelen sel felaketini önlemek için yapılan Harapan göletinin verimliliğini WinTR-55 modeli kullanarak test etmişlerdir. CBS teknolojileri kullanarak elde ettikleri verileri WinTR-55 modeline girerek yüzey akışa neden olan taşkın hidrografları üretmişlerdir. Harapan göletinin sırasıyla 2 ve 10 yıllık tekerrüre göre yaklaşık % 19.5 ve % 18.4 oranında taşkın seviyesini azalttığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, Harapan göletinin taşkın seviyesini yaklaşık % 43 oranında azalttığını belirlemiştir.

Jamaluddin ve ark (2011), materyal olarak Malezya'daki Sains Malaysia üniversitesi kampüs alanını seçtiği ve ani sel taşkın potansiyelinin artmasında geçirimsiz alanların etkisini araştırdığı çalışmasında kampüs alanındaki beş alt havzada yapılaşma öncesi ve sonrası pik yüzey akış miktarı sonuçlarını WinTR-55 hidrolojik modeli kullanarak karşılaştırmışlardır. Yapılaşma sonrasındaki durumu, yapılaşma öncesindeki duruma göre kıyasladıkları bu çalışmaları sonucunda pik debi miktarları arasındaki; en büyük artışın üç nolu alt havzada 2 yıllık tekerrüre göre % 158.43'lük bir oranla; en küçük artışın beş nolu alt havzada 5 yıllık tekerrüre göre % 15.47'lik bir oranla temsil edildiğini tespit etmişlerdir.

Muhammad ve Khan (2015), Pakistan'daki Khyber Pakhtunkhwa'nın güney bölgesindeki 72 km^2 'lik küçük bir havzada WinTR-20 modelini kullanmışlardır. WinTR-20 modeliyle 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrürlere karşılık sırasıyla $11.3 \text{ m}^3/\text{s}$, $39.9 \text{ m}^3/\text{s}$, $77.7 \text{ m}^3/\text{s}$, $147.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $221.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $320 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debiler tahminlemiştir.

Sutjiningsih ve ark. (2015), Sugutamu havzasında sediment verimini belirlemek için Schaffernak yaklaşımını ve WinTR-55 modelini kullanmışlardır. WinTR-55 modeli yardımıyla debi-süre eğrisi elde etmişlerdir.

2.2.2. SWAT

Bir kesintisiz model olan SWAT; sediment verimini, pestisitleri, akım ötelenmesini ve yüzey akışı incelemektedir. Bir nehir sistemi boyunca gerçekleşen ötelenme, çeşitli depolama yöntemleri ve Muskingum yöntemiyle ilişkilendirilmektedir (Sukwimolseree ve Kosa 2014).

SWAT modelinde maksimum yüzey akış miktarı, modifiye edilmiş rasyonel formül ya da NRCS-TR 55 yöntemiyle bulunmaktadır. SWAT modelinin çıktıları arasında evapotranspirasyon ve su verimi (yüzey akış ile yüzey altı akışın tamamı) de bulunmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon, Hargreaves, Priestley-Taylor ve Penman-Monteith eşitlikleri kullanılarak tahmin edilmektedir (Oogathoo 2006).

SWRRB modelinden türeyen SWAT modelinde başlıca model bileşenleri; arazi yönetimi, pestisitler, toprak özellikleri, bitki gelişimi, iklim ve hidrolojiyi kapsar. SWAT modelinde bir havza, alt havzalarına bölündükten sonra homojen arazi kullanımı ve toprak özelliklerine sahip hidrolojik tepki birimlerine bölünmektedir. SWAT, sediment verimini tahminlerken MUSLE'yi kullanmaktadır (Nobert ve ark. 2010).

GLEAMS, CREAMS ve EPIC gibi modelleri temel alan SWRRB modelinin gelişmiş bir versiyonu olan SWAT modeli, SWIM modelinin geliştirilmesine de öncülük etmiştir.

SWAT modeliyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Karaş (2005), Ankara İlinde bulunan Küçükemmalı ve Güvenç havzalarındaki su ve sediment verimini belirlemek için SWAT modelini kullanmıştır. Çalışmada Güvenç havzasının gözlenen su verimi 119.62 mm olmasına karşın tahminlenen su verimi 127.38 mm olmuştur. Küçükemmalı havzasında ise gözlenen su verimi 141.85 mm iken tahminlenen su verimi 245.76 mm olmuştur. Sonuç olarak iki havzada da gözlenen sonuçlarla tahminlenen sonuçlara arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar olduğunu belirlemiştir.

Nobert ve ark. (2010) tarafından bildirildiğine göre, Borah ve Bera (2003; 2004) SWAT modeliyle diğer modelleri kıyasladıkları 2003 yılındaki çalışmaları sonunda

Dynamic Watershed Simulation Model (DWSM), HSPF ve diğerk modelleri hidrolojik ve sediment verimiyle ilgili özellikler bakımından kıyaslayıp SWAT modelinin özellikle de tarımsal havzalarda kullanışlı bir model olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Nobert ve ark. (2010) tarafından bildirildiğine göre, Saleh ve Due (2004) Texas'taki Kuzey Bosque Nehir havzasında ortalama günlük akımları ve sediment verimlerini inceledikleri çalışmalarında SWAT ile HSPF'nin oldukça yakın sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Nobert ve ark. (2010) tarafından bildirildiğine göre, Sing ve ark. (2005) Doğu Illinois ve Batı Indiana'da yaptıkları çalışmalarda Iroquois nehir havzasında SWAT'ın akış tahmininin HSPF'nin akış tahmininden daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Nobert ve ark. (2010) tarafından bildirildiğine göre, El - Nasr ve ark. (2005) Belçika'nın Jeker Nehir havzasının hidrolojik simülasyonunda SWAT ve MIKE-SHE modellerinin kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Sukwimolseree ve Kosa (2014); arazi kullanım haritasını, günlük hava verilerini ve SWAT modelini kullanarak arazi kullanım değışiminin yüzey akış üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır.

2.2.3. HEC-HMS

HEC-1 modeli US Corps of Engineering tarafından 1968'de geliştirilmiştir. Anlık bir model olarak havzalardaki gerek ölçülmüş gerekse teorik olarak varsayılan yağış olaylarından hidrograf üreten model, alanı 1-100 000 km² arasında değışen havzaları simüle etmektedir. HEC-HMS'de başlıca model girdileri; yağış verileri, simülasyonun yapılmasının istendiğı tekerrür aralığı, havzanın akım ağı ve boyutları, öteleme yöntemleri (Muskingum-Cunge gibi), infiltrasyon kayıp yöntemleri: Green-Ampt, NRCS CN gibi, sağanak yağışı yüzey akışa dönüştürme yöntemleri: NRCS, Sneyder birim hidrograf, kinematik dalga ve kullanıcı tanımlı birim hidrograflardır. HEC-HMS'de başlıca model çıktuları; akış hacmi ve hidrograflardır. HEC-RAS'da başlıca model girdileri; nehir geometrisi verileri (genişlik, eğim, şekil, uzunluk gibi), Manning

”n” değerleri, sınır şartları (eğim, kritik derinlik gibi) ve akım debi değerleridir. HEC-RAS’da başlıca model çıktıları; su yüzei yükseklikleri, hidrolik özellikleri (hız, enerji eğim çizgilerinin eğimi, akım alanı gibi) dir (Oogathoo 2006, Yuan ve Qaiser 2011).

HEC-HMS programında günlük ya da saatlik yağış verileri kullanılmaktadır. Program, akış modelini oluştururken de yağışın homojen düştüğü varsayımı yapan birim hidrograf modeli ve kinematik dalga modelini kullanmaktadır. Boyutsuz birim hidrograf yöntemi kullanılarak maksimum akım belirlenirken; ana akarsu uzunluğu, akarsuyun minimum ve maksimum yükseklikleri ile havza alanı verilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Haltaş ve Alkan 2013).

Havzanın sızma, yüzei akış, öteleme gibi verileri yanında meteorolojik verilerini ve başlama-bitiş sınırlılıkları ile zaman aralığı değerleri girilerek zaman serisi ve grafik çıktısının alınabileceği belirtilmektedir (Bakir ve Xingan 2008).

HEC-HMS modeliyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Yener (2006), İzmit İlindeki Yuvacık havzasını üç alt havzaya bölüp 2006 yılında yeni sürümü HEC-HMS olarak ortaya çıkan modeli kullanarak yaptığı çalışma sonucunda gözlenen akımlarla tahminlenen akımlar arasında uyum yakalamış ve modelin akım tahmininde kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Dınor ve ark. (2007), Malezya’daki Sungai Padas havzasında arazi örtüsü değişiminin yüzei akışa etkisini HEC-HMS modeli kullanarak tahminlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda orman örtüsündeki % 11’lik azalmanın yüzei akışı % 25 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir.

Bouabid ve Elalaoui (2010), Kuzey Fas’taki Sebou havzasının dört adet alt havzasında IHACRES ve HEC-HMS modellerini kullanmışlardır. Akım tahminlemede her iki modelin de güvenilir sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

2.2.4 WEPP

Sediment verimini tahminlemenin yanında sedimentin nerede ve ne zaman oluşacağı ile olası depolanma zamanı ve yerlerini de belirleyen ve en çok kullanılan sediment tahminleme modellerinden biri olan WEPP modeli; dağınık parametrelili, kesintisiz simülasyon yapabilen bir modeldir. Dağınık girdi parametreleri; yağış şiddeti, toprak tekstür tipini, bitki gelişim parametreleri, arazi eğimi, toprak erodibilite özelliği ve tarımın toprak özellikleri üzerine etkisini içermektedir. Toprak yapısı, iklim koşulları ve topoğrafik durum gibi faktörlere göre toprak erozyonu ve sediment verimini tahminleyen WEPP modeli, günlük ya da uzun vadede gerçekleşecek infiltrasyon ve yüzey akışı da hesaplayabilmektedir. WEPP modelinin başlıca girdi parametreleri; toprak, eğim, iklim ve bitki yönetim (arazi kullanım) verileridir. İklim dosyası, CLIGEN programı kullanılarak kolayca oluşturulabilmektedir. Çıktı dosyaları; su dengesi, bitki, verim ve toprak dosyalarıdır. Yüzey akış, infiltrasyon, bitki su tüketimi, topraktan olan buharlaşma, yağışın bitkide tutulması ve yüzey depolanması WEPP'in hidroloji bileşenleri tarafından hesaplanabilmektedir. DRAINMOD modelinde olduğu gibi WEPP modelinde de infiltrasyon, Green-Ampt eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Yüzey akış, kinematik dalga eşitliği kullanılarak, su dengesi ise SWRRB modeli aracılığı ile hesaplanmaktadır. WEPP'deki bitki gelişiminin belirlenmesi EPIC ve SPUR model yaklaşımlarına dayanmaktadır (Flanagan ve Livingston 1995, Huffman ve ark. 2013, Anonim 2015c).

ERMİT ise, erozyon tahmininde WEPP modelini kullanan web tabanlı bir uygulamadır. ERMİT, WEPP internet sitesine (<http://forest.moscowfsl.wsu.edu/fswepp/>) girilerek çalıştırılabilmektedir. WEPP modelinde görüntülenebilecek formatta istatistiki günlük hava veri dosyası üretmek için ERMİT, iklim veri dosyalarını CLIGEN (iklim üretici)'e girmektedir (Robichaud ve ark. 2007).

ERMİT için kullanıcıların girmesi gereken verilerden bazıları; topraktaki kayaç içeriği, iklim, bitki örtüsü tipi, arazinin eğimi, arazinin uzunluğu ve toprak yapısıdır (Robichaud ve ark. 2007).

WEPP modelindeki iklim dosyasında olan veriler ise; solar radyasyon, rüzgar hızı ve yönü, minimum ve maksimum sıcaklıklar, günlük yağışın süresi, maksimum şiddeti ve bu şiddete ulaşma süresidir (Robichaud ve ark. 2007).

WEPP modeliyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Kırnak (2002), ABD'nin Ohio eyaletindeki Rock Creek havzasında 1988 ile 1990 yılları arasındaki verilerle coğrafi bilgi sistemlerini de kullanarak WEPP ve AGNPS modellerini kıyaslamıştır. Yaptığı istatistiksel analizler sonucunda WEPP ve AGNPS modellerinin sırasıyla %15.5 ve %26.5 oranında fazla bir pik yzey akış debisi tahminlediğini belirtmiştir. Araştırmacı bu iki modelin de tahminledikleri akış debi değerlerinin, sediment verimi değerlerinden daha başarılı olduğunu tespit etmiştir. Pik yzey akış debisi ve sediment miktarı belirlemede WEPP modelinin AGNPS modeline oranla daha başarılı olduğu sonucuna ulaştığı çalışmasında bu iki modelin de tarımsal havzalardaki pik yzey akış debisi ve sediment miktarının belirlenmesinde gvenle kullanılabilieceği sonucuna varmıştır.

Cecilio ve ark. (2004), olülmüş yzey akış ve toprak kaybı değerlerini RUSLE ile WEPP kullanarak tahminledikleri değerlerle kıyaslamışlardır. Toprak kaybını tahminlemede her iki modelin de başarılı olmasının yanında RUSLE'nin WEPP'ten daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, WEPP modelinin ABD dışında kullanılması durumunda kalibrasyonunun yapılmasına ihtiyaç duyulacağını vurgulamışlardır.

Ebrahimpour ve ark. (2011), Malezya'daki Lui havzasında WEPP ve TOPAZ'ın bir CBS ortamında bütynleştirilmiş hali olan GeoWEPP kullanarak sediment verimini ve yzey akışı tahminlemişlerdir. alışmalarında 1996-2008 yıllarına ait verileri kullanmışlar ve ölçülen verilerle tahminlenenleri kıyasladıklarında sediment verimini daha büyük, yzey akışı daha küçük olarak belirlediklerini belirtmişlerdir. Ayrıca, GeoWEPP'in yzey akış sonuçlarının sediment verimi sonuçlarından daha gvenilir olduğunu öne sürmüşlerdir.

2.2.5. AGNPS

Yzey akışla birlikte taşınan toprak ve bitki besin maddeleri, gerek evre kirliliğine gerekse su biriktirme yapılarının haznelerinin dolmasına neden olmakta ve bu da söz konusu yapıların ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır. Kentsel havzalarda, kirliliğin

kaynağı ve miktarı noktasal ölçümlerle belirlenebilirken (genellikle kirleticiler az sayıdaki büyük sanayi kuruluşları olmaktadır); kırsal havzalarda, kirliliğin kaynağı ve miktarının bulunmasında zorlanılmaktadır (küçük ve çok sayıdaki tarım alanlarında yapılan uygulamalar takip edilememektedir). Çoğunlukla kırsal havzalarda karşılaşılan bu kirlilik çeşidine *noktasal kaynaklı olmayan kirlilik* denilmektedir. AGNPS modeli, bu kirliliğin belirlenmesinde kullanışlı bir modeldir (Apaydın ve Öztürk 2003b).

AGNPS modelinin 2001 yılındaki sürümüyle kıyaslandığında AnnAGNPS (ANNualized AGNPS) sürümünde CN ve RUSLE yöntemlerinin kullanımına ek olarak pik debinin NRCS-TR 55 yöntemiyle belirlendiği göze çarpmaktadır. Yani; AnnAGNPS (ANNualized AGricultural Non-Point Source) modeli, AGNPS'nin güncellenmiş versiyonu olup alanı 1-300 000 ha arasında değişen tarımsal havzalardaki su kalitesiyle yüzey akışı değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Yüzey akış hacmi ve miktarı, NRCS CN ve NRCS-TR 55 yöntemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. AGNPS modelinin aşırı derecede veri istemesi nedeniyle TOPAZ gibi yazılımlar kullanılmadan AGNPS modeline veri aktarmanın ve analiz yapmanın düşünülemeyeceği belirtilmektedir. TOPAZ, grid veriler kullanılmaktadır. SWRBB modelinde de, AGNPS modelinde olduğu gibi havzanın homojen alt havzalarının elde edilmesi gerekmektedir (Apaydın ve Öztürk 2003b, Oogathoo 2006).

AGNPS modeli (2001 versiyonu), su ve sediment verimlerini belirlemenin yanında kimyasal taşınmayı da bulmaktadır. Modelde, su verimi hesabında CN kullanılırken, sediment verimi RUSLE kullanılarak hesaplanmaktadır. Vektör veriler, CBS yazılımları kullanılarak TOPAZ'da kullanılmak üzere sayısal yükseklik modeline çevrilmektedir. Çünkü AGNPS modeline veri transferi TOPAZ ile yapılabilmektedir. AGNPS modeli, günlük, aylık ve yıllık tekerrürlerle yüzey akışı hesaplayabilmektedir (Apaydın ve Öztürk 2010).

Genel olarak açıklamak gerekirse AGNPS model girdileri; gübre, pestisit, biriktirme ve kanal bilgileri iken AGNPS model çıktıları; hidroloji, sediment analizi, arazi kullanım özeti, besinler ve pestisitlerdir. Daha detaylı açıklamak gerekirse, AGNPS modelinde ihtiyaç duyulan veriler; hücre sayısı, drenaj hücrelerinin sayısı, eğri numarası (NRCS CN), ortalama arazi eğimi, yüzey eğim faktörü, ortalama arazi eğim uzunluğu, ortalama

akarsu yatağı eğimi, ortalama akarsu yatağı şev eğimi, kanalın Manning pürüzlülük katsayısı, toprak erozyon faktörü, bitki faktörü, uygulama faktörü, yüzey durumu sabiti, görünüm (drenaj yönü), toprak bünyesi, gübreleme düzeyi, karışım düzeyi (Gübrelemeye uygunluk faktörü), noktasal kaynak göstergesi, su kaynağı durumu, kimyasal oksijen ihtiyacı faktörü, biriktirme faktörü ve kanal göstergesidir. AGNPS modelinin sedimentle ilgili ürettiği bazı çıktılar ise şöyledir; sediment miktarı, sedimentin tane büyüklük dağılımı, sedimentlerin tane dağılım oranı ve sediment konsantrasyonudur. AGNPS modeli en az 25.4 mm yükseklikteki yağış değerini kabul etmektedir (Öztürk ve ark. 2003a, Leon ve George 2011).

AGNPS modeli olay odaklı bir model olduğundan yağış öncesindeki hidrolojik koşulların (toprağın nem içeriği v.b) bilinmesi model başarısında başlıca etmendir. Havza şartlarının da homojen olmayabileceği gerçeğiyle yağışların havzaya homojen dağılmayışı (Yağışlar noktasal özellikte olmadığından; yüzey akışa sebep olan yağışlar havzada homojen dağılmayabilmektedir.) birlikte değerlendirilirse model kullanımındaki zorluklar daha net anlaşılacaktır. Havzadaki uzun yıllık yağış ile akım gözlem periyotlarının çakışmaması ve havza alanlarına ilişkin detaylı toprak etüdlerinin yapılmayışı nedeniyle model çalışmaları tıkanmaktadır (Öztürk ve ark. 2003a).

AGNPS modeliyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Öztürk ve ark. (2003a), Bilecik- Kurukavak dere havzasında 1994-1996 yılları arasındaki verileri kullanarak yaptığı çalışmada yüzey akış ve sediment miktarını AGNPS modeliyle tahminlemeye çalışmışlardır. On beş farklı yağış olayından seçtikleri sekiz olayda K-S testine göre $P= 0.98$ olarak bulunmuş ve model değerlerinin gözlem değerlerini temsil edebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Apaydın ve Öztürk (2003b); AGNPS, GLEAMS ve SWRRB modellerini CBS yardımıyla Ankara -Yenimahalle - Güvenç havzasına uygulamış ve çalışmasında kullandığı 1989-1997 yılları arasındaki ortalamaya göre 464.4 mm yağışın 100 mm akıma dönüştüğü bu akımında 29.6 mm'lik kısmının yüzey akış olduğunu belirtmiştir. Hidrolojik modellerden AGNPS 48.5 mm ve GLEAMS 34.5 mm yüzey akış tahminlerken; SWRRB 39.8 mm akım tahminlemiştir.

Oogathoo (2006) tarafından bildirildiğine göre, Baginska ve ark. (2003) Avustralya koşullarında AnnAGNPS modelini test etmiş ve modelin anlık akış tahminini iyi yaptığını belirlemişlerdir.

Apaydın ve Öztürk (2010) tarafından bildirildiğine göre, Wu ve ark. (1993) üç havzada ve otuz olayda yaptığı çalışmada ANSWERS, AGNPS ve CREAMS modellerinin yüzey akış ve sediment verim tahminleri kıyaslamış, en uygun sonuçları ANSWERS modelinin tahminlediğini belirlemişlerdir.

2.2.6. EUROSEM

Sadece Avrupa'da değil; Kenya, Malezya, Bolivya ve Avustralya gibi dünyanın çeşitli ülkelerinde de rağbet gören EUROSEM modeli; yüzey akış taşıma kapasitesi, yüzey çöküntülerinde olan depolama hacmi, sediment depolama, yağış ve yüzey akış etkisiyle gerçekleşen toprak parçacık aşınmalarıyla, bitki örtüsü nedeniyle olan yağışın tutulmasıyla ilgilenmektedir. EUROSEM, bir sediment debisi olarak toprak kaybını hesaplar. Model, verilen bir zamanda ve verilen bir noktadaki sediment geçişinin hacmini, akımdaki sediment konsantrasyonu ve yüzey akış oranının üretimi olarak tanımlamaktadır. Hesaplama, dinamik kütle dengesi eşitliğine dayanmaktadır. EUROSEM; anlık, fiziksel ve dağılık model olmasından dolayı KINEROS modeliyle, kesintisiz model olmasından dolayı da MIKE-SHE modeliyle ilişkilidir. Çoğu hidrolojik modelde olduğu gibi KINEROS modelinde de arazi yüzeyinde olan biriktirmeler ihmal edilmektedir. Dağılık modelde alansal değişkenlikler dikkate alınmaktadır. Yani, bir alan alt birimlerine bölünürken; toprak, eğim, arazi örtüsü karakteristiklerinin üniform olmasına göre bölünmektedir. Toplu modelde ise durum böyle değildir ve tüm alanın, tek bir üniform karakteristiğe sahip olduğu kabulü yapılmaktadır. Dağılık model yaklaşımına uyan EUROSEM modelinin de model yapısı KINEROS modelinin yapısına benzemektedir. Dağılık ve anlık bir model olarak geliştirilen EUROSEM, toplam yüzey akışı ve toprak kaybını tahminlemesinin yanında her bir anlık olay için hidrograf ve sedigraf (sediment grafiği) da üretebilmektedir (Morgan ve ark. 1998).

2.2.7. IHACRES

IHACRES programı, yağışın akışa geçen kısmını hesaplamaya dayanmaktadır. Bu nedenle program, modellemesini yaparken akım değeri, yağış, havza alanı ve sıcaklık gibi parametrelere gereksinim duymaktadır. IHACRES, akım bileşenlerini ve birim hidrografi belirleyebilmektedir. Modelde, evapotranspirasyon ve yağış verileri kullanılarak etkili yağış hesaplandıktan sonra bu etkili yağış değeriyle doğrusal ilişkili şekilde akışa geçecek miktar tahminlenebilmektedir. IHACRES modeline, kar erimesini de dikkate alabilen, zeminin sızma kapasitesi ile arazi kullanım durumunu da gösteren parametrelerin eklenmesi durumunda, daha yakın sonuçlar elde edilebileceği belirtilmektedir (Gürer ve Öncü 2011).

IHACRES modeliyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda sunulmuştur.

Gürer ve Öncü (2011), Konya kapalı havzasının alt havzaları olan Kozanlı ve Samsam gölleri havzasında kuraklık analizinde eksik akım verilerinin tamamlanması amacıyla hidrografların benzeşimi üzerine araştırma yapmıştır. Yağışı akışa dönüştüren IHACRES yağış-akış model programı kullanarak yaptığı analizler sonucunda benzeşim yapılan hidrograflar arasında genel olarak uyum gözlenmesine rağmen özellikle kurak dönemde uyumsuzluk gözlemlendiğini tespit etmişlerdir.

Hassan ve ark. (2013), YSA ve IHACRES ile ortalama yüzey akış değerini tahminledikleri çalışmalarında, her iki yöntemin de iyi sonuçlar bulmasının yanında YSA'nın IHACRES'ten daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

2.2.8. Diğer Modeller

Hidrologistler 1950'ler boyunca kavramsal modeller geliştirmeye başlamışlardır. Bilgisayarların 1960'larda hidrolojik modellemede kullanılışı yeni bir dönemi başlatmıştır. İlk kapsamlı hidrolojik hesaplamalar modeli 1966 yılında Stanford üniversitesi tarafından geliştirilen Stanford Watershed Modeli (SWM) dir. 1960'larda çıkan modellerden bazıları: Sacramento modeli, HBV modeli ve Tank modelidir. 1980'lerde geliştirilen önemli modellerden diğerleri de SHE ve TOPMODEL'dir. Bu ön çalışmalardan sonra 1990'larda ise daha karmaşık modeller geliştirilmeye başlanmıştır (Abhishek 2008).

CREAMS modeli, USDA-ARS tarafından 1980 yılında geliştirilen noktasal kaynaklı olmayan kirliliği araştıran bir model olup, NRCS ve Green-Ampt eşitliklerini kullanmaktadır. GLEAMS modelinin ortaya çıkışı da CREAMS modelinin revizyonu sonucu olmuştur. GLEAMS modelinde, yüzey akış NRCS CN yöntemine göre belirlenirken sediment verimi USLE (Universal Soil Loss Equation) ile hesaplanmaktadır. GLEAMS modeli; tek program gibi üretilmemiş, hidroloji, erozyon, pestisit ve bitki besin maddesi gibi alt programlarına göre tahminleme yapabilmektedir. Hidroloji alt programına veri girilmesi zorunludur (Apaydın ve ztrk 2003b).

AGNPS, SWRBB ve GLEAMS modelleri karşılaştırılacak olursa; bu üç model arasında yazılımı en eski olan GLEAMS çok az veri girilmesi halinde bile sonuç vermekte ama sonuçlarının güvenilirliği tartışılmaktadır. AGNPS modelinin de SWRBB modeline oranla daha çok veri ihtiyacı hissetmesi bu modelin bir dezavantajı olarak öne çıkmaktadır. Sonuçta, araştırmacılara SWRBB modelini kullanmaları tavsiye edilebilmektedir. Bu tavsiye sıralamasını AGNPS ve GLEAMS modellerinin izlediği söylenebilir. Yağış-akış ile erozyon modellemesi yapabilen AGNPS, CREAMS, HSPF ve ANSWERS modelleri arasındaki farkları ise şöyle özetlenebilir: AGNPS ile CREAMS, USA - USDA tarafından geliştirilmiş iken ANSWERS, Purdue niversitesi tarafından HSPF ise EPA tarafından geliştirilmiştir. Veri ihtiyacı ve model karmaşıklığı AGNPS ve ANSWERS’da az iken HSPF ve CREAMS’ta çoktur (Apaydın ve ztrk 2003b, Anonim 2015a).

WEPP modelinden başka sediment tahmini yapan diğer modellere örnek olarak EPIC, ANSWERS ve RUSLE verilebilir. Bu modellerden ANSWERS, tarımsal havzalarda oluşan sediment veriminin ve yüzey akışın en uygun yönetiminin etkilerini değerlendiren model olarak öne çıkmaktadır. ANSWERS modelinin şimdiki versiyonu olan ANSWERS-2000, Beasley ve Huggins tarafından 1970’lerin sonlarında geliştirilmiştir. Fiziksel tabanlıdır ve kesintisiz simülasyon (anlık değil) yapabilmektedir. Model, alanı 500-3000 ha arasında değişen orta büyüklükteki havzalarda çalışmaktadır. Alanı 100 hektara kadar olan havzalarda alışan EPIC modeli ise, genellikle tarımsal yönetim problemlerinde kullanılmaktadır. EPIC modelinde potansiyel evaporasyon; Hargreaves ve Samani, Penman, Priestley-Taylor ve Penman-Monteith eşitlikleriyle belirlenmektedir (Anonim 2015c, Oogathoo 2006).

SWIM modeli, SWAT ve tarımsal havzalarda kullanılmak üzere Estonya'da geliştirilen MATSALU modellerine dayanmaktadır. AGNPS, GLEAMS, EPIC ve MATSALU modelleri kökenini CREAMS'dan almakta iken; EPIC ve GLEAMS, SWAT'ın geliştirilmesine yardımcı olmuştur. SWAT ile MATSALU modelleri de SWIM modelinin keşfine kaynaklık etmişlerdir (Krysanova ve ark. 2000).

SWIM; nehir havzası ölçeğinde iklim verilerini de kullanarak erozyonu, bitkiyi, toprak kirleticilerini ve hidrolojiyi birleştiren bir modeldir. SWIM modelinde havzanın her alt havzasındaki sediment verimi MUSLE'ye göre hesaplanmaktadır. Model, havza alanı 100-24000 km² arası olan yerlerde etkin şekilde kullanılabilir (Krysanova ve ark. 2000).

Su dengesini belirlemek için geliştirilen ve deterministik bir model olan HELP modeli, HSSWDS (Hydrologic Simulation Model for Estimating Percolation at Solid Waste Disposal Sites), SWRRB ve CREAMS gibi modellerden uyarlanmıştır. Yağış-akış aşaması NRCS CN yöntemi kullanılarak modellenmektedir. Bu yöntemin yaygın şekilde kullanılmasının nedenleri ise; etkili hesaplama yapması, ihtiyaç duyulan verilere kolayca erişilebilmesi, arazi kullanım ve toprak tiplerinin çeşitliliğine de hassas olmasıdır (Schroeder ve ark. 1994).

FIPR (Florida Institute of Phosphate Research) modeli; Modflow'un tüm yeteneklerini FHM'de kapsamaktadır. FHM ile nehirler, kuyular ve hendekler çok sayıda akifer sistemi için tanımlanabilmektedir. HydroGIS olarak tanımlanan FHM'nin GIS kullanımıyla alansal verilerin analizi, depolama, toprak ve bitki örtüsü tipi, arazi kullanım, topoğrafya ve hidrograflar değerlendirilebilmektedir (Ross ve ark. 1997).

GR4J günlük yağış akış modeli öteleme ve biriktirme tabakalarından oluşmaktadır. Modelin dört parametresi vardır. Bunlar; birim hidrograf zamanı, yeraltı suyu yüksekliği değişim katsayısı, bir gün önceki ötelenen akım depolama kapasitesi ve biriktirme kapasitesidir (Kumanlıoğlu ve Fıstıkoğlu 2015).

ABD'deki Stockol Enviroment Institute (STI) tarafından geliştirilen WEAP modeli, havza su kaynakları planlama çalışmalarında ve su bütçesinin hesaplanmasında kullanılabilir (Yılmaz ve Tombul 2015).

Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilen MIKE 11 NAM modeli 1972 yılından beri kullanılmaktadır. Modelin yağış-akış modülünün ihtiyaç duyduğu verileri ise; havza alanı, toprak özellikleri, yüzey - yüzey altı - taban akışları için sınır değerleri, günlük meteorolojik veriler ve ölçülmüş günlük akım verileri (kalibrasyon için) dir. Avrupa Birliği sponsorluğunda ve üç Avrupa organizasyonu (Danimarka hidrolik enstitüsü, Fransız danışmanlık şirketi SOGREAH, İngiliz hidroloji enstitüsü) tarafından geliştirilen MIKE-SHE modeli ise; sediment verimini, su kalitesini ve akımı bulabilen deterministik ve fiziksel tabanlı bir modeldir. MIKE-SHE model çıktıları; x, y ve z yönündeki yeraltı suyu akımlarını içermektedir. MIKE-SHE modelindeki suyun hareketi ile ilgili eşitlikler; yüzey akışı, kanal akışı, evapotranspirasyon (Kristensen ve Jensen yöntemi), doymamış akım (yer çekimi akımı, su dengesi eşitliği, richards eşitliği) ve doymuş akım (doğrusal birikim yöntemi) eşitlikleridir (Oogathoo 2006, Anonim 2007, Can ve ark. 2008, Oğuz ve ark. 2010).

Fiziksel tabanlı (teorik) modellere bir örnek de SHE modelidir. Deneysel model olarak da ARMA'dan bahsedilebilir. Kavramsal modelin, teorik ve deneysel model arasında kaldığı söylenebilir. Genellikle kavramsal modeller, fiziksel model olarak da düşünülebilmektedir. HBV bu sınıfa örnek olarak verilebilecek modellerden birisidir (Xu 2002).

MIKE-SHE modeli ve GR4J modeliyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda sunulmuştur.

Keskin (2007), İzmit İlindeki Yuvacık baraj havzasını üç alt havzaya bölüp MIKE 11 isimli hidrolojik modelin NAM ve UHM modüllerini kullandığı çalışmada yılın değişik mevsimlerindeki akım hesabında iyi sonuçlar elde etmiştir.

Oğuz ve ark. (2010), alanı 7 km² olan Tokat-Uğrak havzasında 1997-2001 tarihleri arasındaki akım gözlem değerlerini MIKE 11 NAM isimli hidrolojik modelin

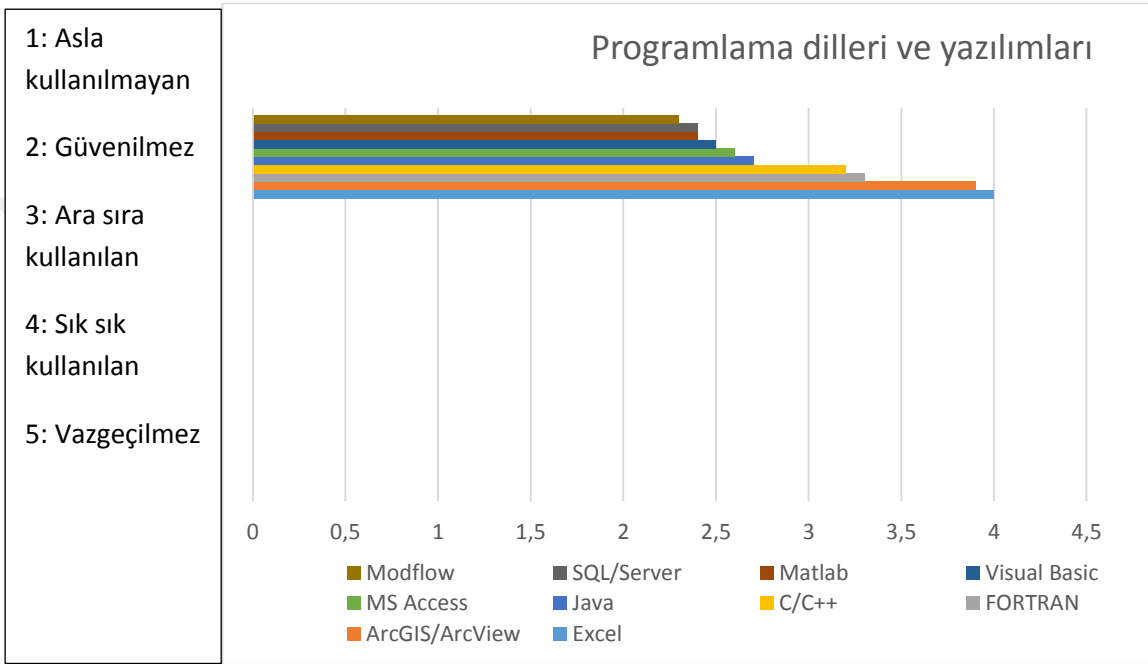
tahminlediği akım değerleriyle karşılaştırdıkları çalışmada, modelin beş yıllık dönem için toplam hacimsel akımı iyi tahmin ettiğini fakat gözlenen akım ile tahminlenen akım arasındaki ilişkinin tatmin edici olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kumanlıoğlu ve Fıstıkoğlu (2011), deterministik, kesintisiz bir parametrik model olan GR4J modeline YSA ve Genetik Algoritmalar yöntemlerini entegre ederek son derece az parametreye sahip ve parametrelerini kendisi otomatik olarak kalibre edebilen GR4J-YSA-GA entegre yağış-akış modelini geliştirmişlerdir. Araştırmacılar bu entegre modeli Gediz havzasının Yiğitler, Medar ve Murat alt havzalarında kullanarak GR4J modeline YSA ve Genetik Algoritmalar yöntemlerinin entegrasyonunun model performansını ciddi oranda arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır (Kumanlıoğlu ve Fıstıkoğlu 2011).

2.3. Hidrolojide En Yaygın Kullanılan Yazılımlar

Hidrolojik araştırmalar için en çok kullanılan programlama dilleri sırasıyla; FORTRAN, C/C++ , Visual Basic ve Java'dır. Hidrolojik araştırmalarda en çok kullanılan veri yönetim yazılımları da sırasıyla; Excel, MS Access ve SQL/Server'dır. Hidrolojik çalışmalarda kullanılan en popüler coğrafi bilgi sistemleri ise sırasıyla; Arc GIS (ESRI ArcInfo, ArcView v.b), IDRISI (Clark Labs) ve MapInfo'dur. Hidrolojik çalışmalarda en çok kullanılan matematiksel/istatistiksel yazılımların sıralaması ise; Matlab, Excel, SAS, SPSS, Mathematica ve Minitab'tır. Modflow en çok kullanılan yer altı suyu modeli olmasına rağmen yüzey suyu modellerinin gölgesinde kalmaktadır. Hidrolojik çalışmalarda kullanılan en popüler hidrolojik modeller ise sırasıyla; Modflow, HEC-HMS, GMS (Groundwater Modeling System), TOPMODEL, Sacramento/HSPF, SMS (Surface Water Modeling System), MIKE-SHE, Groundwater Vistas, EPA Basins, WMS (Watershed Modeling System) ve SWAT'tır. Özetle Hidrolojik araştırmalarda; FORTRAN en popüler programlama dili, Microsoft Excel en çok kullanılan veri yönetimi yazılımı, Matlab en çok kullanılan istatistiksel yazılım, ESRI ArcGIS en çok kullanılan coğrafi bilgi sistemi yazılımı ve Modflow ise en çok kullanılan yeraltı suyu modelidir. Minitab programı yardımıyla F (Fisher) testi, Anderson-Darling testi ve student t testi uygulanabilirken, Matlab programıyla da Mann-Whitney U testi yapılabilmektedir (Maidment 2005).

Programlama dilleri ve yazılımların hidrolojik analizler için önem sırası Şekil 2.2’de verilmiştir (Maidment 2005). Örnek sayısı (n) nın otuz dokuz olduğu grafikteki bu sonuçlar, 2005 yılının Mart ayında Texas’ta yapılan CUAHSI HIS sempozyumunda sunulmuştur. Önem sırasına göre sırasıyla sıralamanın ilk dördünü oluşturan yazılımlar Excel, ArcGIS, FORTRAN ve C/C++ olurken; hidroloji çalışmalarında diğer dikkat çeken önemli bileşenler Visual Basic ve Matlab’dır.



Şekil 2.2. Programlama dilleri ve yazılımların hidrolojik analizler için önem sırası (Maidment 2005)

Hava ve iklim verileri, coğrafi veriler, uzaktan algılama verileri ve hidrolojik gözlem veri tabanları kullanılarak oluşturulan ve üzerinde çalışma yapılan yapı *dijital havza* olarak adlandırılabilir. Hidrolojik bilgi sistemlerinden ya da bireysel olarak elde edilen iklim, uzay görüntüleri v.b veriler HSPF gibi su kalitesi modellerine, Modflow gibi yeraltı suyu modellerine, TOPMODEL ve NRCS-CN gibi yüzey akış modellerine girilerek elde edilen çıktılar Matlab, ArcInfo, SAS, SPS v.b yazılımlarla analiz edilebilmektedir (Maidment 2005).

2.4. Hidrolojide Kullanılan Yöntemlerden Bazıları

Sabit olmayan veya süreklilik göstermeyen yağış gibi kesikli değişkenleri, daha az sayıda açıklayıcı değişkenle temsil eden regresyon modelleri pek güvenilir olmamaktadır (Keskiner 2008).

Model karşılaştırmalı çalışmalardan çıkan sonuçlar, YSA yönteminin yüzey akışı klasik regresyon yöntemlerinden daha yakın tahminlediğini göstermiştir. YSA modellerinin, karmaşık problemlerin kıyaslanmasında daha güçlü ve kullanışlı araçlar olduğu bilinmektedir (Solaimani 2009).

Doğada ölçülebilen ve havzanın özelliklerini belirten havzanın eğimi, alanı, uzunluğu gibi yapısal bileşenler ölçülebildikleri için kalibre edilmeyerek ölçülen değerleri ile modele girmektedirler. Gözlemlenmiş gerçek sonuç değerlerine yakın model çıktı parametreleri elde etmek için veri girişi parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi işlemine *kalibrasyon* dendiğini bu noktada hatırlatmakta yarar vardır (Anonim 2015a).

Taşkın debileri, yağış ve havza özellikleri arasındaki ilişkilerden meydana gelmektedirler. Yağış değişkenleri; süre, miktar, dağılım ve yağışın şiddeti iken havza değişkenleri; zemin özellikleri, eğim ve havza alanı olmaktadır. Tüm bunlara bir de tarımsal etkiler (arazi kullanım durumu ve bitki örtüsü gibi) eklenince hidroloji biliminin başarısına gölge düşebilmektedir (Şen 2009).

Hidrolojik yöntemlerden bazılarıyla ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Aksu (2007), Hurman Çayı havzasında yağış-akış ve sediment ilişkilerini incelediği çalışmasında havzadaki yağış-akış ilişkisini en iyi tanımlayan eşitliğin korelasyonunu 0.88 olarak bulmuş, yıllık en büyük akış değerleriyle yıllık toplam sediment miktarları arasında da 0.96 korelasyonuna sahip bir ilişki bulmuştur.

Tuna (2011), Çalgan Deresi yağış-akış ilişkisini belirlemenin yanısıra hem olası taşkın zararından korunmak için hem de Fırat Üniversitesi kampüs alanı içerisinde sulayabilmek

adına bir gölet projelendirmek amacıyla yaptığı hidrolojik hesaplarını çalışmasında sunmuştur.

Hidrolojide kullanılan başlıca yöntemlerden; K-S testi, BH yöntemi ve CN yöntemi aşağıda sıralanmaktadır.

2.4.1. Kolmogorov-Smirnov Testi (Frekans Analizi)

Frekans analizi: Belirli bir olayın frekansı, bahsedilen olayın uzun bir deney serisinde meydana gelme sayısının, toplam deney sayısına oranı olarak tanımlanabilmektedir. Frekans analizi, ekstrem hidrolojik olayların niceliğinin ve sıklığının tahmininin yapılmasının yanı sıra bu tahmini de göz önünde tutarak belirlenen hidrolik yapıların tasarım kriterlerini belirlemede çok önemlidir. Frekans analizleri, BestFit yazılımı ile yapılabilmektedir. Frekans dağılımlarının hangi dağılımla temsil edilebileceği Kolmogorov-Smirnov testi ile belirlenebilmektedir. K-S testinin uygulanışı üç şekilde anlatılabilmektedir: Birinci kullanım şekli için bu testte her bir akım gözlem istasyonu için her bir olasılık dağılımına göre hesaplanan tahmini (kuramsal) akım değerleri ile gözlenen akım değerleri arasındaki en büyük farklar hesaplanır ve bu farklara hangi olasılık dağılımı ulaşmış ise 1'den N sayısına kadar numaralandırma yapıp bu olasılık dağılımlarının isimlerinin yanına aşağıda tarif edildiği gibi yazılır. En büyük (maksimum) farkı en az olan (yani, gerçeğe en yakın olan) olasılık dağılımına 1, en çok olana ise N sayısı verilir. Sonuçta; en fazla sayıda, maksimum farkı en az olan yani en çok 1 sayısı ile numaralandırılan dağılım aranan en uygun dağılım olur. Buradaki "aranan en uygun dağılım" kelimesinden kastedilen ise; belirli tekerrür süresine sahip yıllık toplam akım değerlerinin saptanmasındaki en uygun dağılımı ifade etmektedir. İkinci kullanım şeklinde, gözlenmiş seri elemanları küçükten büyüğe ya da tam tersi şekilde sıralanır. Seçilen noktalama pozisyonu formülü ile her bir parametrenin olasılığı (p_i) hesaplanır. Üç nokta yöntemiyle seçilen dağılımın frekans doğrusu çizilir. Seçilen olasılık dağılım fonksiyonunda bu x_i değerine karşılık gelen $F(x=x_i)$ olasılıkları bulunur. Aynı değer için kuramsal hesaplanan nokta olasılığı ile gözlem grafiklenen nokta olasılığı arasındaki fark bulunur. Şöyle ki:

$$\Delta_{max} = | p_i - F(x=x_i) | \quad (2.1)$$

Bu farklar arasındaki mutlak maksimum değer olan Δ_{max} değeri, K-S testi için örnek sayısı ve çeşitli önem düzeylerine göre hazırlanmış olan çizelge değerinden ($\Delta_{çizelge}$) küçükse seçilen olasılık dağılım modeli kabul edilmektedir. Üçüncü kullanım şeklinde ise; gözlenen olasılık fonksiyonu $P(x)$ ile kabul edileceği varsayılan dağılımın olasılık fonksiyonu $P_0(x)$ arasındaki en büyük farka D_n denilmektedir. Bu D_n değeri, teorik model ile gözlenen veriler arasındaki ölçülmüş farktır.

$$D_n = \max | P(x) - P_0(x) | \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilen formülde, eğer D_n değeri kritik değerden küçükse varsayılan dağılım kabul edilir, tersi durumda ise belirtilen anlamlılık düzeyinde reddedilmektedir (Aşık ve ark. 2004, Keskiner 2008, Tuna 2011, Karahan ve Özkan 2013).

Farklı tekerrür sürelerinde yağış ve taşkınların değerleri belirlenirken faydalanılan yöntemlerden bazıları; Momentler yöntemi, en küçük kareler yöntemi ve maksimum benzerlik yöntemidir (Şen 2009).

Hidroloji çalışmalarında, homojen bölgelerde bölgesel frekans analizi yapılarak daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu analizler aracılığıyla;

Yağışın frekans ve miktarı, anlık taşkın debi değerleri ve hidrolojik verilerin standart sapması, ortalaması gibi istatistiki özellikleri belirlenebilmektedir. “Bölgesel frekans analizi” kelimesindeki bölgesellikten kastedilen durum, sadece coğrafi olarak birbirine komşu olan alanlardaki istasyonları (akım gözlem ve yağış gözlem istasyonlarını) ifade etmemektedir. Frekans dağılımları aynı olan istasyonlar, birbirlerine komşu olmasalar bile bölgesel olarak aynı potada düşünülebilmektedir. Bu durumun hidrolojik çalışmalarda veriye ulaşma sıkıntısı da düşünüldüğünde çok büyük avantajlarının olduğu söylenebilir. Bölgesel frekans analizinde kullanılan yöntemlerden olan Monte Carlo simülasyon tekniğiyle, bölgeselleştirme yapılırken tahmin edilen tasarım yağışlarının doğruluğunun değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bölgesel frekans analizinde, komşu istasyonlarda ölçülmüş benzer frekanslı yağış verileri kullanılmaktadır. Yani, farklı ölçüm istasyonlarındaki verilerin birbirine benzemeleri durumunda bu analiz yapılabilmektedir. Burada bahsi geçen “komşu istasyon” larda verilerin coğrafik olarak komşuluğundan değil, sayısal değer olarak birbirine

yakınlığından söz edilmektedir. Bölgesel frekans analizinde Hosking tarafından 1990'da geliştirilen L moment tekniği sıkça kullanılmaktadır. L - Moment tekniğiyle parametre tahmini yapıp, gösterge taşkın yöntemi kullanarak da bölgeselleştirme yapılabilmektedir (Şorman 2004, Anlı ve ark. 2008)].

Bölgeselleştirme, normal heterojenlik durumlarında istasyonlar arasında bağımlılık olması durumuna kıyasla noktasal analizden daha uygun sonuçlar verebilmektedir (Anlı ve ark. 2008).

A yılda B kere taşkın olma ihtimali araştırıldığında, cevabın B/A olduğu bulunacaktır. A yılda A kere taşkın olma ihtimalinde ise cevap olarak A/A=1 çıkmaktadır ki, bu da %100 bu olayın gerçekleşeceği anlamına gelmektedir. Fakat gerçekte böyle bir durum söz konusu değildir. Bu durum, taşkınların belirsizlik ile doğru bir şekilde tahminlenemeyeceğini kanıtlamaktadır (Şen 2009).

Havzaya ait yağış ve akış verileri mevcut ise, birim hidrograf yönteminin kullanılması önerilmektedir. Havzada yeteri kadar çok yıllık maksimum akış değerleri varsa taşkın frekans analiziyle hatalı tahmin yapma ihtimali azalmaktadır (Saf ve Bacanlı 2015).

Haktanır ve ark. (1990) yaptıkları bir araştırmanın sonucunda; Türkiye'deki akarsular için pik debiye en uygun olasılık dağılım fonksiyonu şudur diye bir genelleme yapılamayacağı kararına varmalarının yanı sıra pik debilerin frekans analizinde Log Pearson Tip-3 ve Log – Lojistik dağılımlarının, Gumbel dağılımdan daha başarılı olduğu sonucuna ulaşımlardır (Saf ve Bacanlı 2015).

Hidroloji uygulamalarında, farklı tekerrür periyotları için taşkınların tahmin edilmesinde Gumbel, Gama, Logaritmik Normal, Pearson Tip-3, Logaritmik Lojistik, Weibull v.b frekans dağılımları kullanılarak parametre tahminlenebilmektedir. Bu olasılık dağılımları arasından en çok kullanılanlara örnek olarak; Gumbel, Normal, Log Person Tip-3 ve Gama dağılımları gösterilebilmektedir. Taşkın hidrolojisi alanında ise Log Pearson Tip-3 ve Pearson Tip-3 dağılımları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu dağılımların da tıpkı havza modelleri gibi doğruluğu havzadan havzaya değişebilmektedir. Gözlemlerin çarpık, düzensiz ve kısa periyotlu olması analiz

yaparken parametrik olmayan testleri kullanmayı gerektirmektedir. Değişim katsayısı, bir dağılımın ortalamasının standart sapmaya bölünmesiyle bulunur. Değişim katsayısı azaldıkça değişkenin değerleri arasındaki değişim de azalmaktadır. Ayrıca, değişim katsayısı yükseldikçe de taşkın debilerinin tahmininde de büyük değişimler olmaktadır. Çarpıklık ve varyasyon katsayılarının her bir AGİ (Akım Gözlem İstasyonu) için farklı olmasının nedeni; iklimsel farklılıklar, havzaların fiziksel özelliklerinin ve akarsu yatağı özelliklerinin farklı olmasıyla açıklanabilmektedir. Akım miktarları arasındaki farkların küçük çıkmasında kritik periyodun 10 yıl olduğu söylenebilir. Yani, 10 yıldan büyük tekerrür sürelerinde bu fark da artmaktadır (Aşık ve ark. 2004, Abdollahzadeh moradi 2012).

K-S testi parametrik olmayan (nonparametrik) testlerdendir. Parametrik testler ile nonparametrik testler kıyaslanacak olursa; nonparametrik testin kullanımının kolay olmasının yanında nominal ve ordinal verilerle yapılabilir olması, bu testin avantajı iken (parametrik testler daha çok veriye ihtiyaç duymaktadır); nonparametrik testin dezavantajı olarak da, parametrik teste oranla 2. tip bir hata yapma ihtimalinin (yani aynı şartlar altındaki parametrik testlere oranla gücü azdır) daha yüksek olması gösterilebilmektedir. Parametrik testler ile nonparametrik testler arasındaki farkı özetlemek gerekirse, nonparametrik testlerin programdaki tahmin edilen değerlerinin havzada ölçülen değerden büyük olup olmadığının araştırılmasının yeterli olduğu durumlarda kullanımı önerilmektedir. Aradaki farkın uzaklığının önem kazandığı durumlarda parametrik testlerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Bircan ve ark. 2003).

Yağış ve akım analizlerinde K-S testi sonucuna göre dizilere en uyumlu dağılım fonksiyonları belirlenebilmektedir. K-S testi dışında Anderson-Darling ve Ki Kare (X^2 testi) dağılımı uygunluk testleri de sıkça kullanılabilir. K-S ile Ki-Kare testleri çok popülerdir. Bu testler, veri setinin belirli bir dağılım popülasyonundan gelip gelmediğini test etmektedirler. Ki-Kare testiyle belirlenen (X^2) değerine bakarak, gözlem ve model değerlerin homojen olduğu sonucuna ulaşıyorsa; bu durum, gözlem ve model değerlerin aynı popülasyona ait olduğu ve model değerlerinin gözlem değerlerini temsil edebileceği anlamına gelmektedir. Hidrolojik süreçlerde sıkça görülen olasılık dağılımlarının; Genel Ekstrem Değer (GEV), Gama (G1 ve G2), Log

Pearson Tip-3 ve Log Normal (LN2, LN3) dağılımları olduğu göze çarpmaktadır. Parametrik olmayan K-S testi; iki serinin kendi içinde uyumlu olup olmadığının belirlenmesinde sıkça kullanılmaktadır (Öztürk ve ark. 2003a, Karahan ve Özkan 2013, Anonim 2014, Saf ve Bacanlı 2015).

Ki-Kare testi ile K-S testi kıyaslanacak olursa, Ki-Kare testinde gözlenen frekansların beşten büyük olacağı ön şartının olması ve K-S testinde böyle sınırlamaların olmayıp daha güvenilir sonuçlar vermesinden dolayı, K-S testinin kullanımının daha sağlıklı sonuçlar verebileceği bilgisine ulaşılabilmektedir (Bircan ve ark. 2003).

K-S testiyle (Frekans analiziyle) ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Bircan ve ark. (2003) bir ana kütlede alınan yirmi örnek üzerinde K-S ve Ki-Kare uygunluk testlerini karşılaştırmış, t testi sonucuna göre her iki testten elde edilen P değerleri arasında önemli bir fark olmadığını söylemişlerdir.

Aşık ve ark. (2004) araştırmasında Gediz havzasındaki nehirlerin gözlenmiş verilerini kullanarak belirli tekerrür periyotlarındaki akım oranlarının tahminleyebilecek en uygun istatistik dağılım modelini bulmayı amaçlamışlardır. Gediz havzası verilerine göre aradıkları dağılım modelinin Log Pearson Tip -3 dağılımı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Anlı ve ark. (2008), Samsun ilinde gözlenen ekstrem yağışları gösterge taşkın yöntemiyle bölgeselleştirmek için materyal olarak DMİ Genel Müdürlüğünün işlettiği yedi yağış ölçeğinde gözlenen 11-79 yıl süreli yıllık maksimum yağışları kullanmıştır.

Abdollahzadeh moradi (2012) Karun üst havzasında (İran) akımların kayıt süresinin 18-36 yıl arasında olduğu on dört akım ölçüm istasyonlarının debi değerlerinden her yılın anlık pik debilerine çeşitli yöntemleri kullanarak taşkın frekans analizi yapmıştır. Çalışmasının sonucunda farklı tekerrür periyotlarındaki en düşük debi değerini Normal dağılımın tahminlediğine, en yüksek debi değeri tahminlerinin ise Log Normal ve Log Pearson Tip-3 dağılımlarıyla elde edileceği sonucuna ulaşmıştır. Çalışmanın yapıldığı

havzaya K-S testinin uygulanması sonucunda da en uygun dağılımın Log Normal 3 ve Log Pearson Tip 3 olduğu belirtilmektedir.

2.4.2. Birim Hidrograf Yöntemi

İlk defa 1932 yılında Sherman tarafından kullanılan BH kavramı, bir havzaya sabit şiddette yağan 1 cm yüksekliğindeki artık yağıştan oluşan dolaysız akışın hidrografıdır. Birim hidrograflar tüm havza üzerine 1 cm su sütunu olarak düşen artık yağışın o havza çıkışında meydana geleceği dolaysız akış hidrografıdır (Aksu 2007, Şen 2009).

Bir başka ifadeyle, drenaj havzasına sabit şiddette belirli bir zamanda yağan 1 cm'lik (birim yükseklikteki) artık yağışın meydana getirdiği yüzey akışın hidrografına *birim hidrograf* denilmektedir. Belirli bir yağmurdan meydana gelen yüzey akışın pik debisi bulunmak istenirse, aynı süreli BH'ın pik debisiyle yağmur miktarının çarpılması gerekmektedir (Öztürk ve Apaydın 1997).

Yüzey akış belirleme yöntemleri için yapılan bir sınıflandırma da şöyledir (Oogathoo 2006):

- A) NRCS CN ya da birim hidrograf yöntemi
- B) Kinematik dalga yöntemi

NRCS CN ve Rasyonel yöntem, Snyder ve Mockus yöntemlerine oranla genelde pik debileri daha küçük ve taban süreleri daha büyük BH'lar üretebilmektedir (Şen 2009).

Hidrografın şekli bu hidrografın olduğu havzanın fiziksel özelliklerini belirtmektedir. Hidrografın şekline bakarak, havza hakkında tahmini fikirler edinilebilmektedir. Hidrograflardaki pik debiden sonra debi değerlerinin azalmasıyla oluşan hidrografın çekilme eğrisi kolunun yorumu şu şekilde yapılabilmektedir (Şen 2009):

Havzanın en uzak bölgesindeki yüzeysel suların bile havza çıkışına ulaştığı ve debiyi arttıracak bir parametrenin kalmadığı anlaşılmaktadır. Bu çekilme eğrisinin eğimi havzanın yüzey şekliyle doğrudan ilişkilidir. Tüm hidrografların yükselme süresi çekilme süresinden daha küçük olmaktadır. Havzanın birçok kola ayrılması yani drenaj

yoğunluğunun fazla olması, dolaysız akışın çabucak havza çıkışına ulaşmasını sağlamaktadır. O zaman hidrografın taban süresinin drenaj yoğunluğuyla ters orantılı olduğu söylenebilmektedir. Hidrograflar analiz edildiğinde, yağışın başlamasıyla hidrografın yükselme eğrisinin oluşumu aynı zamanlara denk gelmez. Bu gecikme süresinin nedeni olarak havzanın toprak neminin henüz doyumluğa ulaşmamasından kaynaklandığı söylenebilmektedir.

Birim hidrografın altında kalan bölümün hacim cinsinden değerinin, havza üzerindeki 1 cm'lik artık yağış hacmine eşit olması gerektiği yorumu yapılabilmektedir. Buradan da şu genelleme yapılabilir: taban süreleri ve pik debileri ne olursa olsun aynı havza üzerindeki bütün birim hidrografların altında kalan kısımların hacimleri birbirine eşittir. Artık yağış yüksekliği 1 cm ve havza alanı $A \text{ km}^2$ olan bir havza üzerine yayılmış artık yağış hacmi $H = A \times 10^3 \text{ m}^3$ 'tür (Şen 2009).

BH'lar aşağıdaki kabuller sonucunda oluşmaktadır (Şen 2009);

- Artık yağış yüksekliğinin belirli bir zaman boyunca üniform olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Küçük havzalarda ve kısa süreli yağışlarda çalışılması sonucu bu kabulden kaynaklanacak hata miktarı oldukça azaltılabilmektedir.
- Aynı havza için üretilen hidrografların ordinatları arasında bir orantı vardır. Bundan dolayı aynı havzada bulunmak şartıyla hidrograflar birbiriyle toplanıp çıkarılabilmektedir.
- Her havzanın birim hidrografının o havza içerisinde zamansal olarak değişmediği kabulü yapılmaktadır. Gerçekte bitki örtüsü ve zemin şartları (AMC), mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Fakat hesap kolaylığı, hidrolojik analiz ve dönüşümlerdeki kolaylık açısından bu ufak değişiklikler ihmal edilmektedir. Yani getirdiklerinin yanında götürdükleri hiç önemli olmamaktadır.

BH'lar üretilirken şu aşamaya özellikle dikkat edilmelidir (Şen 2009):

- Farklı tekil sağanıklar için bulunan BH'ların taban süreleri ve pik debilerinin ortalaması alınarak havza için genel bir BH çıkarılabilmektedir. Burada gözden kaçabilecek durum ise, bu genel BH'n altındaki alanın havza üzerindeki 1 cm'lik artık yağış hacmine eşit olması gerekliliğidir.

Dünya genelinde yapılan BBH üretme çalışmaları sonucunda anlaşılmasıdır ki; pik noktası, yükselme ve çekilme eğrisi farklılıkları % 5'lik bir hatayla birbirine benzemektedir. Bu nedenle, çok ufak yanlış tahminlemelere ve değerlendirmelere de yol açsa yine pratikliği açısından BBH'lar yaygın olarak kullanılabilmektedir (Şen 2009).

Hidrolojik çalışmalarda, gözlem ve ölçüm sonucu BH üretme aşamasının araştırmacıları zorlaması, pahalı ve yavaşlatıcı olmasından dolayı hidrolojistleri pratikliği açısından sentetik birim hidrograflar kullanmaya ve yeni yöntemler geliştirmeye itmektedir.

2.4.3. Eğri Numarası (CN) Yöntemi

Yağış – akış tahmininde kullanılan modellerden bazıları; Rasyonel yöntem, Green - Ampt yöntemi ve NRCS CN yöntemidir. NRCS CN yönteminde yağış sırasında buharlaşmanın bulunmadığı varsayılarak buharlaşma parametresi dikkate alınmamaktadır. NRCS CN yönteminde yağışın; arazi yüzeyindeki su depolanmasına, sızmaya ve dolaysız akışa dönüştüğü varsayılmakta başka olabilecek kayıplar hesaba katılmamaktadır. NRCS CN yöntemiyle bulunan sonuçların hatalı olmasının sebeplerinden birisi de alçalma eğrisi süresinin yükselme eğrisi süresine oranının 1.67 olması gerektiğinin araştırmacılar tarafından gözden kaçırılabilmesidir. CN, zamana bağlı bir değişken olmasına rağmen NRCS CN yönteminde bu durum da ihmal edilmekte ve bu yöntemle hatalı değerlendirme yapılmasının gerekçelerinden biri daha anlaşılmalıdır (Şen 2009, Oğuz ve ark. 2010).

O zaman NRCS CN yönteminin dezavantajları şöyle özetlenebilmektedir (Şen 2009);

- Yağış-akış ilişkisini zaman boyutunda değerlendirmeden genelleme yapmakta ve hidrolojinin başlıca üç bileşeninden olan sızmayı direkt olarak dikkate almamaktadır.

- Bu yöntemde üssel hiçbir modelleme yapılmamıştır (Karmaşık olan hidrolojik bileşenlerde üssel ilişkilerin oluşma beklentisi çok olağandır).
- Yöntemin içeriğinde zaman boyutu ihmal edildiğinden direkt olarak hidrografi vermeyip, BBH kullanımı ile hidrograf üretebilmektedir.
- Model sonuçlarının standart sapması çok yüksek olabilmektedir (CN'nin seçilmesindeki keyfilikten dolayı bu durum sürpriz değildir).

Yöntemde yapılan hatalı kabullerden dolayı küçük olarak seçilen CN değerlerinde, yağış olmamasına rağmen akış oluşabilmektedir. NRCS CN yöntem formülü şu şekilde eleştirilebilmektedir (Şen 2009);

Yöntemin yağış-akış bağıntısı olan

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2.3)$$

Yağışın olmadığı durumda akışın da olmaması beklenmesine rağmen denklemde $P=0$ iken $R = 0.5 S$ gibi anlamsız bir sonuç çıkmaktadır. Bu yüzden bu yöntemi esas alan hidrolojik modeller de hatalı tahminler yapabilmektedir.

Dünyanın 1954'te tanıştığı SCS (NRCS) CN yöntemi, basitliğinden ve kolaylığından dolayı mühendislik uygulamalarında çok kullanılmaktadır. Yağış ve yüzey akış verilerinin önemli bir parametresi olup çeşitli bileşenlerden oluşan CN'nin yağışlarla değiştiği ve her havza için sabit bir değere sahip olmadığı bilinmektedir. Ülkelerin farklı bölgelerinde farklı yağış dağılımları oluşmakta bu da tekrar yeniden CN hesabı yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Tarım yapılan alanlar, ormanlık alanlara oranla daha yüksek CN'lere sahiptir (Gajbhiye ve ark. 2013).

Pik debinin hesaplanmasında kullanılan NRCS CN yöntemi, ABD'de beş eyaletteki kentsel havzalar esasesas alınarak geliştirildiği için aslında sadece bu bölgelerde kullanıldığında sağlıklı sonuçlar üretmesi beklenirken, günümüzde dünyanın pek çok bölgesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pektaş 2012).

USA NRCS CN yöntemi ile yağış ile akış arasında bağıntı şöyle gösterilebilmektedir (Tuna 2011):

$$S = (25400 / CN) - 254 \quad (2.4)$$

$$h = (P - 0.2 \times S)^2 / (P + 0.8 \times S) \quad (2.5)$$

Denklemlerdeki

S = Sızma kayıpları (mm)

P = Yağış (mm)

h = Akış (mm)

CN = Yüzey akış eğri numarasıdır.

2.4.4. Mockus, DSİ Sentetik ve Rasyonel Yöntemleri

Tezin oluşmasındaki yardımcı yöntemlerden Mockus, Rasyonel yöntem ve DSİ sentetik yöntemleri hakkında kısa bilgiler aşağıda verilmektedir.

Genel bir kabul olarak, alt havzaların alanı 5 000 km²'ye kadar çıkabilmektedir. Küçük havza tanımına da alanı 10 km²'den küçük havzaların girdiği unutulmamalıdır (Anonim 2014).

İstatistiksel yöntemlerle taşkın debisi hesaplanırken kullanılacak bileşenler; bulanık mantık yöntemi, gama dağılımları, yapay sinir ağı yöntemi, pearson dağılımları ve log normal (2 ve 3 parametrelili) dağılımlarıdır (Çelik 2012).

Yeterince akım ölçümleri bulunmadığı takdirde yağış değerlerinden faydalanılarak deterministik yöntemlerle de taşkın debisi hesaplanabilmektedir. Bunun için kullanılacak yöntemler ise; Rasyonel yöntem, Mockus yöntemi ve DSİ sentetik yöntemidir (Çelik 2012).

Genelde Rasyonel yöntem alanı 5 km² den küçük havzalarda kullanılmaktadır. Rasyonel yöntem; yüzeysel drenaj kanallarının ve küçük yan derelerin kapasite hesaplarında kullanılabilir. Mockus yöntemine süperpozisiz, Snyder yöntemine süperpozeli yöntem de denilebilir. Mockus (Süperpozisiz) yöntemi, toplanma zamanı otuz saate kadar olan drenaj alanları için uygulanabilir ve Mockus yönteminde BH'nin şeklinin üçgensel olduğu kabulü yapılmaktadır. Mockus yönteminin genelde alanı 1-15 km² arasındaki havzalarda kullanımı uygun olmaktadır. Alanı 1000 km² den küçük olan havzalarda kullanılan ve NRCS BH yöntemi tabanlı olan DSİ sentetik yöntemde kullanılan birim hidrograf 2 saatlik sağanak yağışlara göre elde edildiğinden, BH'nin yükselme süresinin 2 saatten az olmaması gerekir. Yani, pike erişme süresinin 2 saatten az olduğu durumlarda DSİ sentetik yöntem kullanılmamaktadır. Çünkü bu yöntemde BH 2 saatlik sağanıklara göre üretilmektedir. Sentetik yöntemde en iyi sonuca alanı 50-100 km² arasında olan havzalarda ulaşılabilir. Alanı 1000 km² den büyük havzalarda uygulanan Snyder yönteminin, içerisindeki C_t katsayısı İngiliz birim sistemi kullanılarak tespit edildiğinden, Türkiye'deki çalışmalarda metrik sistemde sonuç çıkması isteniyorsa bu C_t katsayısının 0.752 ile çarpılması gerekmektedir (Aksu 2007, Yavuz 2011, Çelik 2012, Anonim 2014).

Havza ortalama yağışı belirlenirken; büyük engebeli arazilerde izohital, küçük düz arazilerde ise Thiessen çokgenleri yöntemi kullanılabilir. Pratikliği (basitliği ve kolaylığı) açısından aritmetik ortalama da çoğu küçük alanlarda yeterli olabilir (Yavuz 2011).

Yüzeydeki ince tabaka halindeki akış *tabaka akışı* ya da *yüzeysel akış* adını almaktadır. Bu tabaka akışı bir kanala ya da vadiye ulaştığında akım toplanmış ve *kanal akışı* adını almıştır. Sel sırasında infiltrasyonla dere yataklarına da su geçişleri olmaktadır. Bu kayıplara *iletim kayıpları* denilmektedir (Wheater ve Al-Weshah 2002).

Maksimum akış analizinin havza alanıyla ilişkisi de şu şekildedir; 2.5 km²'den küçük alanlarda infiltrasyon yaklaşımı ve Rasyonel yöntem kullanılırken, havza alanı 2.5–500 km² arasında ise BH yöntemi, 500 km²'den büyük alanlarda ise sel ötelemesini de içeren dağınık modelleme yöntemleri kullanılmaktadır (Wheater ve Al-Weshah 2002).

Havzaların akış katsayısı; yağış yoğunluğu, zeminin sızma oranı ve cinsi gibi havzanın çeşitli parametrelerine bağlıdır. Havzaların akış katsayıları, veri bazlı hesaplamalar ya da abaklar yardımıyla bulunabilmektedir. Abaklar, sadece belirli şartlar ve bölgeler için geliştirildiğinden çok genel (kabaca) sonuçlar verirken veri bazlı hesaplamaların başarısı ise, kurulacak olan yağış-akış modelinin içerdiği fiziksel gerçekleri gösteren parametrelerin sayısına ve varsayılan kabullerin gerçeğe yakınlığına bağlı olarak artacaktır. Hem abak kullanımı hem de yıl bazında yapılan hesaplamalar, olay ve mevsimsel tabanlı değişimleri doğru yansıtamamaktadır. Yüzey akış katsayısı; küçük havzalarda pik debinin tahminlenmesinde sıkça kullanılan Rasyonel yöntemin, tahminlenmesi en zor ve kritik parametresi olduğundan hidrologistlerin en zorlandığı konu olagelmıştır. Akış katsayısı (C) kabaca (Pektaş 2012),

$$C = \frac{\text{Akış yüksekliği}}{\text{Yağış yüksekliği}} \quad (2.6)$$

eşitliğiyle gösterilebilmektedir.

Yüzey akış katsayısı (C), havza çıkışındaki yüzey akış miktarının havzaya düşen yağış miktarına oranını ifade etmektedir. İhtiyaç halinde tüm Türkiye'deki havzalar için yüzey akış katsayısı 0.37 alınabilmektedir (Acınan 2008, Huffman ve ark. 2013).

Bayazıt, akış katsayısının kırsal havzalarda 0.05–0.5 arasında değiştiğini söylemektedir. Bayazıt'a göre, bir akarsu havzasının çıkış noktasından belli bir sürede geçen akış miktarına *akış yüksekliği* denir (Pektaş 2012).

Kapalı kutu modelinde, havzada gerçekleşen olaylar ayrıntılı incelenmez ve havza, yağışı akışa çeviren kutu olarak tanımlanmaktadır. Havza sistemleri nonlineer davranış gösterdikleri için yağış-akış modellemesi çalışmalarında YSA yönteminin kullanılması başarıyı arttırmaktadır (Pektaş 2012).

19.yy'da geliştirilen Rasyonel yöntem formülü, hidrolojik modellerden üretilmiş ilk formül olarak değerlendirilebilirken, 1930'larda ABD'li mühendis Sherman tarafından BH kavramının kullanılması hidrolojik çalışmalarda önemli adımlardan biri olarak düşünülebilmektedir (Xu 2002).

Genelde tersiyer drenaj kanalları 2, yedek drenaj kanalları 5, ana drenaj kanalları ise 10 yıllık yağış tekerrürlerine göre projelendirilmektedir (Öztürk ve Apaydın 1997).

1889 yılında Kuichling tarafından geliştirilen Rasyonel yöntem, havza alanı 800-1200 ha arasında olan ve özellikle 2-10 yıllık tekerrürlü pik yüzey akış debilerinin belirlenmesinde kullanışlı olmaktadır. Tüm havza üzerine üniform, sabit şiddette ve havzanın konsantrasyon süresine eşit bir sürede yağın yağıştan oluşan yüzey akışı belirleyen Rasyonel yöntem eşitliği aşağıda gösterildiği gibi ifade edilebilmektedir (Öztürk ve Apaydın 1997, Huffman ve ark. 2013);

$$Q= 0.0028CIA \quad (2.7)$$

Eşitlikteki;

Q : Pik yüzey akış debisi (m^3/s)

C : Yüzey akış katsayısı (Boyutsuzdur)

I : İstenilen tekrarlanma aralığında konsantrasyon süresine eşit bir yağış süresi için ortalama yağmur şiddeti (mm/saat)

A : Havza alanı (ha)

Rasyonel yöntemdeki konsantrasyon süresi eşitliği ise şu şekildedir (Çelik 2012):

$$Tc= 0.0195(L^3/H)^{0.385} \quad (2.8)$$

Eşitlikteki;

Tc = Konsantrasyon süresi (dakika)

L = Ana akarsu uzunluğu (metre)

H : Ana akarsu kolunun en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki kot farkı (metre)dir.

Mockus BH yöntemi (Üçgen BH yöntemi)= Mockus isimli bir araştırmacı, farklı boyutlardaki havzalar için belirlediği BH'lar üzerinde yaptığı incelemelerde, hidrografın

herhangi bir zamanındaki debisinin pik debiye oranı ile, aynı zamanlardaki yüzey akış hacimlerinin toplam yüzey akış hacmine oranlarında anlamlı bir fark olmadığını öne sürmüştür (Benzer şekilde, bunların zamanlarının da pik debinin oluşma zamanına bölmüş ve oranlar arasında yine ciddi bir fark görememiştir). Bu şekilde elde edilen grafiğe *Boyutsuz Birim Hidrograf* denmektedir. (Öztürk ve Apaydın 1997)

Her saat içinde 1 mm'lik bir yüzey akış oluştuğu ve havza alanının 1 km² olduğu varsayılarak, bu akımın pik debisi Mockus yöntemine göre şu eşitlikle bulunmaktadır (Öztürk ve Apaydın 1997);

$$q_p = \frac{1}{1.18} T_b = \frac{1}{4.8} T_p \quad (2.9)$$

Eşitlikteki;

q_p = Mockus birim hidrografının pik debisi (m³/s), T_b = Mockus birim hidrografının süresi (saat), T_p = Pik debinin oluşma süresi (saat)'dir.

Havzanın her km² alanından 1 mm'lik yüzey akışın pik debisi (q_p), havza alanı (A) ve etkili yağış miktarının (R_e) çarpımı yüzey akışın pik debisini (Q_p) vermektedir. Şöyle ki (Öztürk ve Apaydın 1997);

$$Q_p (\text{m}^3/\text{s}) = q_p (\text{m}^3/\text{s}) A (\text{km}^2) R_e (\text{mm}) \quad (2.10)$$

Mockus yöntemindeki konsantrasyon süresi eşitliği şu şekildedir (Çelik 2012):

$$T_c = 0.00032 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (2.11)$$

Eşitlikteki;

T_c = Konsantrasyon süresi (saat)

S = Ana suyunun harmonik eğimi

L = Ana yolu uzunluğudur (metre).

Rasyonel yöntemin çok genel sonuçlar bulduğu, Snyder yönteminin de büyük havzalarda iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. En kullanışlı yöntemin belirlenmesini hedefleyen araştırmacılara, alansal olarak daha büyük havzalarda üstte bahsedilen yöntemleri karşılaştırmaları önerilebilmektedir (Öztürk ve Apaydın 1997).

DSİ sentetik yöntemiyle hesaplanan BH, 2 saat süreli BH olmaktadır. Aşağıdaki eşitlikler yardımıyla pik debi hesaplanabilmektedir (Bakanoğulları 2008);

$$Q_P = A q_P 10^{-3} \quad (2.12)$$

$$q_P = 414 / [A^{0.223} ((L L_c) / (S)^{0.5})^{0.16}] \quad (2.13)$$

$$V = A h a 10^3 \quad (2.14)$$

$$T_b = 3,65 \times V / Q_P$$

(2.15)

$$T_p = T_b / 5 \quad (2.16)$$

Eşitliklerdeki;

A: Havza alanı (km^2)

L: Anasuyolu uzunluğu (km)

L_c : Havza ağırlık merkezinin anasuyolundaki izdüşüm noktasından havza çıkışına kadar olan uzaklık (km)

S: Anasuyolu harmonik eğimi

Q_P : Birim hidrograf pik debisi ($m^3/s/mm$)

q_P : Birim hidrografın birim alana düşen pik debisi ($L/s/km^2$)

ha: 1 mm

V : Akış hacmi (m^3)

T_b : Taban süresi (s)

T_p : Pike erişme süresi (s)

Mockus ve Rasyonel yöntemleriyle ilgili daha önce yapılan bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Öztürk ve ark. (2003b), Konya-Aksaray yolundaki 5, 6, 7 ve 10 nolu dereler ile Malatya-Gölbaşı yolundaki Şaşkaya deresinde Mockus, DSİ sentetik ve Rasyonel yöntemlerini kullanarak on ve yüz yıl tekerrürlü gelebilecek taşkın debileri belirlemiştir. Çalışmaları sonucunda, Mockus yönteminin diğer yöntemlerden daha büyük pik taşkın debisi verdiğini ve en güvenilir yöntemin Mockus yöntemi olduğunu belirtmişlerdir.

Sönmez ve ark. (2012), İstanbul İlindeki sekiz adet derenin taşkın debilerini Snyder, Kırpich, Mockus ve NRCS yöntemleri ile tahminlemiştir. Yaptıkları yöntem karşılaştırmaları sonucunda Snyder yönteminin diğer yöntemlere göre daha büyük pik debiler verdiğini belirtmişlerdir.

Kang ve ark. (2013), toplam kırk bir yağış olayını seçerek Kore'deki Baran ve Banweol havzalarında Rasyonel, NRCS ve Clark yöntemlerini kullanıp pik taşkın debileri tahminlemiştir. En büyük taşkın debisini NRCS modelinin tahminlediğini belirtmişler ve NRCS modelinin kentsel bölgelere daha uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

3.1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Bu tezde materyal olarak Bursa İlindeki bazı gölet havzalarının verileri kullanılmıştır. Havzalara ait veriler, DSİ 1. Bölge Müdürlüğüne bağlı Etüd ve Plan Şube Müdürlüğünden alınmıştır. Bu havzaların fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.1’de gösterilmektedir (Baysal 1995; Biçkici 2010, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2013c, 2014).

3.1.1.1. Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Havzası

Susurluk havzasında yer alan bu alt havza, Kestel İlçesinin kuzeydoğusundaki Ağlaşan ve Kayacık Köyü arazilerinin bir kısmını da içine almaktadır. Bu havzanın alt havzaları; Kızılcıklıdere, Yandere-1 ve Yandere-2 havzalarıdır. Marmara ikliminden karasal iklime geçiş noktasında olan bölgede yazları serin ve az yağışlı, kışları soğuk ve bol yağışlı geçmektedir. Havza civarında DSİ’nin Gölbaşı ve DMİ’nin Bursa meteoroloji istasyonları bulunmaktadır. DSİ’nin Gölbaşı meteoroloji istasyonununun 1963-2010 yılları arasındaki verilerine göre yıllık toplam yağış 624.5 mm’dir (Biçkici 2012b).

3.1.1.2. Gemlik Küçükkuşla Göleti Havzası

Küçükkuşla havzasında denizel iklim egemendir. Havzanın yağış alanını temsil eden yağış istasyonunun DMI'nin Gemlik istasyonu olduğu kabul edilmektedir. Proje taşkınları yağmur ve baz akım katkıları dikkate alınarak belirlenmiştir (Biçkici 2013a).

3.1.1.3. Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere Göleti Havzası

Marmara havzasında Karacabey İlçesi Bayramdere Köyü arazisinde yer alan göletin aks yeri köy içine 6 km uzaklıkta olup kocaderenin bir kolu olan maden dere ile birleşim noktasının 200 m mansabındadır. Havza alanında Marmara iklimi hakimdir. Bahar ve kış ayları yağışlı, yazları kurak ve sıcaktır. Havzanın, iklimini karakterize eden en yakın istasyon 03011 nolu DSİ Karacabey istasyonudur. Havza bölgesinin on dokuz yıllık sıcaklık ortalaması 12.21 °C ve yirmi iki yıllık buharlaşma ortalaması 1341.97 mm'dir (Baysal 1995).

3.1.1.4. Büyükorhan Kocadere Göleti Havzası

İçme ve kullanma suyu amaçlı planlanmış bu gölet, Marmara bölgesi Susurluk havzasında Orhaneli Çayının yan kollarından Sadağ derenin memba kollarından olan Kocadere üzerinde inşa edilmiş olup Büyükorhan ilçesinin Ortakaş ve Kaplıkaya tepe mevki civarındadır. Bu havzanın alt havzaları, Göletyeri ve İçmedere havzalarıdır (Biçkici 2014).

3.1.1.5. Osmangazi Güneybayır Göleti Havzası

Sulama suyu amaçlı planlanmış bu gölet, Marmara bölgesi Susurluk havzasında Osmangazi İlçesinin Güneybayır Köyünün Madenbeleni tepe mevki civarındadır (Biçkici 2013c).

3.1.1.6. İnegöl Çavuşköyü Göleti Havzası

İnegöl İlçesine bağlı Çavuşköyünün sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı planlanan bu gölet, Marmara bölgesi Sakarya havzasında Boğazköy baraj rezervuarlarına karışan Darboğaz Dere üzerinde inşa edilmiştir (Biçkici 2012a).

3.1.1.7. İnegöl Olukman-Tekke Göleti Havzası

İnegöl İlçesindeki Olukman ve Tekke Köylerinin sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı planlanan bu gölet, Marmara bölgesi Sakarya havzasındaki Göksu Çayının yan kollarından olan Kocaçayın membası üzerine inşa edilmiştir. Bu havzanın alt havzaları; Gürgenlikdere, Dalakdere ve Karanlıkdere havzalarıdır (Biçkici 2013b).

3.1.1.8. Yenişehir Fethiye Gürgendere Göleti Havzası

Yenişehir İlçesindeki Fethiye köyünün sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı planlanan bu gölet, Marmara bölgesi Sakarya havzasındaki Sakarya Nehrinin yan kollarından olan Göksu Çayına karışan Bahçecikdere üzerine inşa edilmiştir. Bölgede Marmara Bölgesi iklimi hakim olup kışlar ılık ve yağışlı, yazlar kurak ve sıcaktır. Göletin olduğu alanı etkileyen Gölbaşı bendi meteoroloji istasyonunun 1964-2009 yılları arasındaki kırk iki yıllık verilerin ortalamasına göre yıllık toplam yağış 624.5 mm'dir (Biçkici 2011c).

3.1.1.9. Yenişehir Gökçesu Pınarbaşidere Göleti Havzası

Yenişehir İlçesindeki Gökçesu Köyünün sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı planlanan bu gölet, Marmara bölgesi Sakarya havzasındaki Sakarya Nehrinin yan kollarından olan Göksu Çayının kollarından biri olan Pınarbaşidere üzerine inşa edilmiştir. Bölgede Marmara Bölgesi iklimi hakim olup kışlar ılık ve yağışlı, yazlar kurak ve sıcaktır. Göletin olduğu alanı etkileyen Mahmudiye meteoroloji istasyonunun 1983-2010 yılları arasındaki yirmi sekiz yıllık verilerin ortalamasına göre yıllık toplam yağış 509.3 mm'dir (Biçkici 2011d).

3.1.1.10. Orhaneli Altıntaş Göletyeridere Havzası

Orhaneli İlçesindeki Altıntaş (Sağırlar) Köyünün sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı planlanan bu gölet, Marmara bölgesi Susurluk havzasındaki Mustafakemalpaşa Çayının yan kollarından olan Çakmakçatı deresinin üzerine inşa edilmiştir. Bölge; Marmara ikliminden karasal iklime geçiş bölgesi olup yazları az yağışlı ve serin, kışları yağışlı ve soğuktur. Göletin olduğu alanı etkileyen Büyükorhan Meteoroloji İstasyonunun 1962-2006 yılları arasındaki kırk beş yıllık verilerin ortalamasına göre yıllık toplam yağış 662.2 mm'dir (Biçkici 2011b).

3.1.1.11. Keles Sorgun Örendere Göleti Havzası

Keles İlçesindeki Sorgun Köyünün sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı planlanan bu gölet, Marmara bölgesi Susurluk havzasındaki Orhaneli Çayının yan kollarından olan Örenderenin membasında inşa edilmiştir. Bölge; Marmara ikliminden karasal iklime geçiş bölgesi olup yazları az yağışlı ve serin, kışları yağışlı ve soğuktur. Göletin olduğu alanı etkileyen Keles meteoroloji istasyonunun 1964-2008 yılları arasındaki kırk beş yıllık verilerin ortalamasına göre yıllık toplam yağış 744.5 mm'dir (Biçkici 2010).

3.1.1.12. Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere Havzası

Büyükorhan İlçesindeki Durhasan Köyünün sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı planlanan bu gölet, Marmara bölgesi Susurluk havzasındaki Orhaneli Çayının yan kollarından olan Çayırçatıdere üzerinde inşa edilmiştir. Bölge; Marmara ikliminden karasal iklime geçiş bölgesi olup yazları az yağışlı ve serin, kışları yağışlı ve soğuktur. Göletin olduğu alanı etkileyen Büyükorhan meteoroloji istasyonunun 1962-2006 yılları arasındaki kırk beş yıllık verilerin ortalamasına göre yıllık toplam yağış 662.5 mm'dir (Biçkici 2011a).

3.1.2. WinTR-55 Modelinde Kullanılan Veriler

Havzaların fiziksel özellikleri içerisinde WinTR-55 modelinde ihtiyaç duyulan alan, konsantrasyon süresi ve eğri numarası verileri Çizelge 3.1'de, yağış verilerine K-S testi uygulanarak frekans analizi sonucunda bulunan WinTR-55 modelinin ihtiyaç duyduğu 24 saatlik yağış miktarları (mm) verileri ise Çizelge 3.2'de gösterilmektedir (Baysal 1995; Biçkici 2010, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2013c, 2014).

Çizelge 3.1. Havzaların WinTR-55 modelinde kullanılan fiziksel özellikleri

Havza adı	Havza alanı (km ²)	Havza uzunluğu (km)	Havza harmonik eğimi	Tc (Konsantrasyon süresi), saat	CN (Eğri numarası)
Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Kızılıklıdere	8.6	5.09	0.045	2.757	75
Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yan dere-1	0.94	1.53	0.33	0.389	75

Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yan dere-2	0.67	1.55	0.39	0.362	75
Gemlik Küçükkuşla	14.72	6.26	0.0075	9.157	70
Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere	11.8	5	0.0296	3.546	73

Çizelge 3.1. Havzaların WinTR-55 modelinde kullanılan fiziksel özellikleri (devam)

Büyükorhan Kocadere Göletyeri	3.02	3.446	0.129	1.059	79
Büyükorhan Kocadere Derivasyon (İçmedere)	1.89	2.801	0.111	1.027	77
Osmangazi Güneybayır	4.58	0.426	0.06	0.338	74
İnegöl Çavuşköyü	4.05	3.99	0.044	1.976	80
Olukman-Tekke Gürgenlikdere	0.98	1.06	0.131	0.46	75
Olukman-Tekke Dalakdere	1.08	1.42	0.144	0.539	76
Olukman-Tekke Karanlıkdere	1.75	2.01	0.057	1.099	77
Yenişehir Fethiye Gürgendere	4.52	3.96	0.062	2.09	72
Yenişehir Gökçesu Pınarbaşidere	6.3	4.35	0.06	2.419	70

Orhaneli Altıntaş Göletyeredere	0.63	1.33	0.18	0.498	73
Keles Sorgun Örendere	0.60	0.94	0.34	0.275	73
Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere (Derivasyon Deresi)	0.94	1.28	0.17	0.512	72

Çizelge 3.2. WinTR-55 modeli için gerekli olan havzaların 24 saatlik yağış miktarları (mm)

Havza adı	Tekerrür süresi (yıl)	24 saatlik yağış miktarları (mm)
Kestel Ağlaşan-Kayacık	2	40.27
	5	57.11
	10	68.25
	25	82.34
	50	92.78
	100	103.15
Gemlik Küçükumla	2	41.37
	5	55.75
	10	65.46
	25	77.89
	50	87.26
	100	96.72
Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere	2	52.1
	5	72.9
	10	86.7
	25	104.3
	50	117.5
	100	130.7
Büyükorhan Kocadere	2	47.23
	5	60.07
	10	68.11
	25	77.89

	50	84.92
	100	91.8
Osmangazi Güneybayır	2	66.96
	5	90.67
	10	109.7
	25	138.0
	50	162.5
	100	190.5
İnegöl Çavuşköyü	2	41.17
	5	56.24
	10	66.77
	25	80.71
	50	91.56
	100	102.8

Çizelge 3.2. WinTR-55 modeli için gerekli olan havzaların 24 saatlik yağış miktarları (mm) (devam)

İnegöl Olukman-Tekke	2	41.25
	5	59.35
	10	71.34
	25	86.48
	50	97.72
	100	108.87
Yenişehir Fethiye Gürgendere	2	40.27
	5	57.11
	10	68.25
	25	82.34
	50	92.78
	100	103.15
Yenişehir Gökçesu Pınarbaşidere	2	41.79
	5	60.03
	10	72.11
	25	87.38
	50	98.71
	100	109.95
Orhaneli Altıntaş Göletyeridere	2	47.23
	5	60.07
	10	68.11
	25	77.89
	50	84.92
	100	91.8

Keles Sorgun Örendere	2	41.89
	5	56.52
	10	68.19
	25	85.13
	50	99.26
	100	114.71
Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere	2	47.23
	5	60.07
	10	68.11
	25	77.89
	50	84.92
	100	91.8

3.2. Yöntem

Bu bölümde, tezde kullanılan WinTR-55 modeli ile NRCS-TR 55 yönteminin teorik ve uygulama esasları açıklanmıştır.

3.2.1. WinTR-55 Modeli

WinTR-55 modeli, pik yüzey akış debi miktarının hesaplanmasında NRCS-TR 55 yöntemini temel almaktadır. Aşağıda NRCS-TR 55 yöntemi detaylı olarak açıklanmaktadır.

Küçük kırsal ve kentsel havzalarda pik yüzey akış miktarının belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan NRCS-TR 55 yöntemi, 24 saatlik yağış miktarı verilerinin varlığında ve havzanın alanının 900 ha'dan küçük, ortalama eğiminin de % 0.5'ten büyük olması durumunda sağlıklı bir şekilde kullanılabilir. NRCS-TR 55 tabanlı (yöntemini kullanan) bir bilgisayar simülasyon modeli olan WinTR-55 modeli ise maksimum 10 alt havzası olan ve alanı 6500 hektara kadar olan havzalarda güvenle kullanılabilir. Modelde kullanılan yöntem eşitliği de Eşitlik (3.1)'de gösterilmektedir. Eşitlik (3.8) kullanılmadan önce havzanın T_c 'si hesaplanmalıdır. Modeldeki bu eşitliğin güvenilir sonuçlar verebilmesi için eğri numarası (CN)'nin

kırtan büyük ve T_c 'nin 0.1 ile 10 saat arasında olması gerekmektedir (Öztürk ve ark. 2003a, Huffman ve ark. 2013).

$$q_p = q_u A Q F_p \quad (3.1)$$

Eşitlikteki;

q_p = Pik yüzey akış debisi (m^3/s)

q_u = Birim pik debi (km^2/cm)

A = Havza alanı (km^2)

Q = İstenen tekerrür periyodundaki 24 saatlik yağıştan oluşan yüzey akış derinliği (mm)

F_p = Havzadaki göl ve bataklık oranına göre belirlenen düzeltme faktörü (Çizelge 3.3'den belirlenmektedir.)

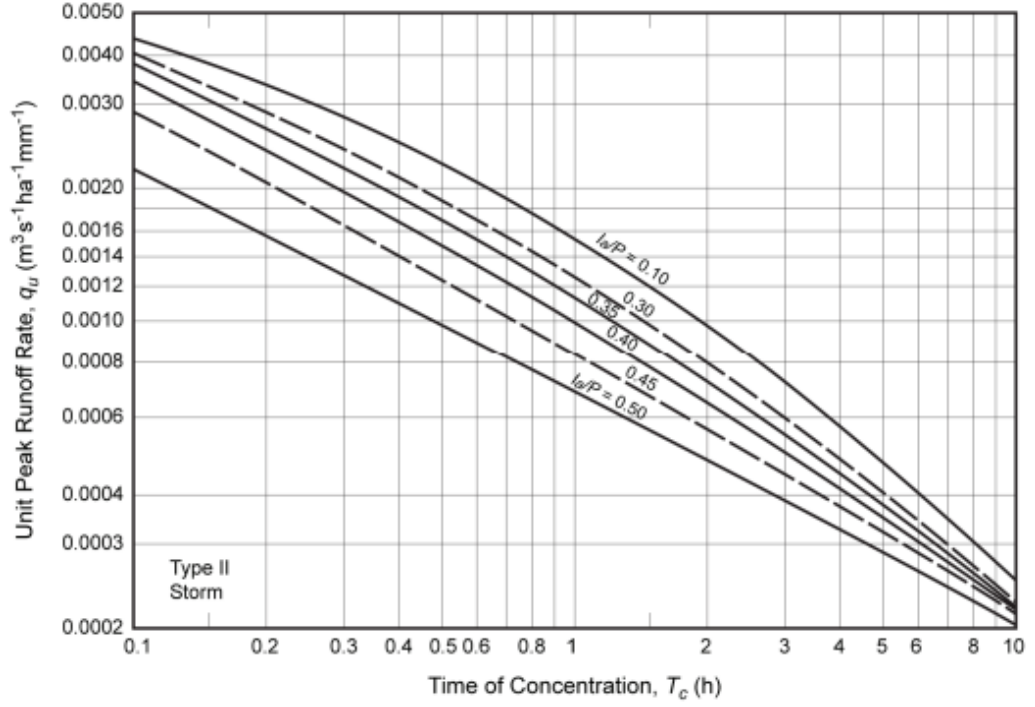
Çizelge 3.3. Düzeltme faktörü, F_p (Huffman ve ark. 2013)

Havzadaki göl ve bataklık alanlarının yüzdesi	F_p
0.0	1
0.2	0.97
1	0.87
3	0.75
5	0.72

Eşitlik (3.1)'de kullanılacak F_p değeri Çizelge 3.1'den belirlenebilmektedir. Eşitlik (3.2)'den T_c hesaplandıktan sonra Şekil 3.1'den T_c ve $\frac{I_a}{P}$ parametreleri kullanılarak birim pik yüzey akış miktarı (q_u) belirlenebilmektedir (Huffman ve ark. 2013).

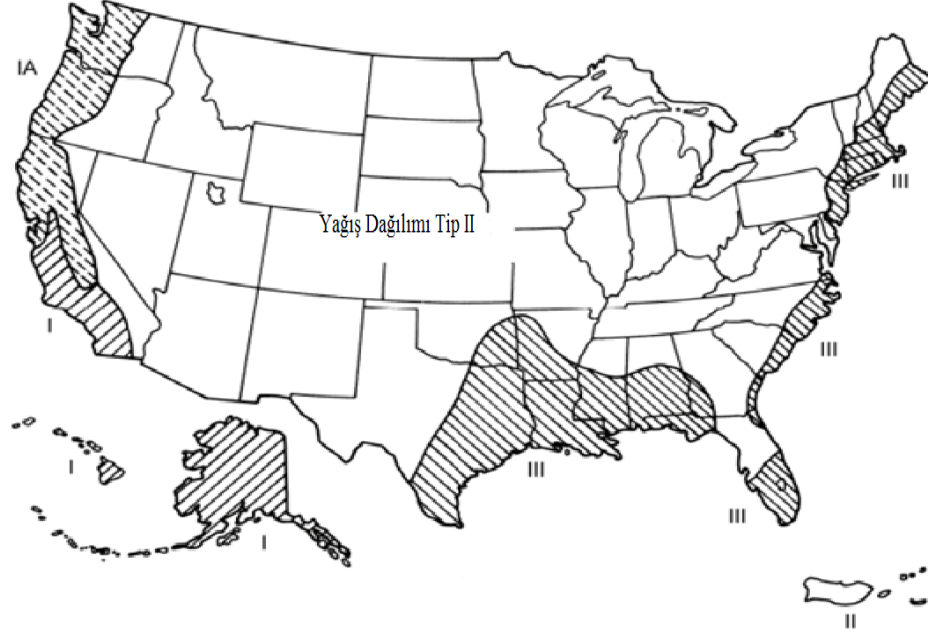
$$T_c = L^{0.8} \left[\frac{(1000 - 9)^{0.7}}{4407(S_g)^{0.5}} \right] \quad (3.2)$$

Eşitlikteki; T_c : Konsantrasyon süresini (saat), L : Havzanın en uzak noktasından havza çıkışına olan en uzun su yolu uzunluğunu (metre), CN : Yüzey akış eğri numarasını, S_g : Ortalama havza eğimini (m/m) ifade etmektedir.



Şekil 3.1. NRCS Tip II yağış dağılımı için birim pik yüzey akış miktarı (Huffman ve ark. 2013)

Yağış dağılım tiplerinden Tip I, Tip IA, Tip II ve Tip III'ten birisi ABD için belirlenmiş Şekil 3.2'de gösterilen coğrafi sınırlar içerisinde kalan bölgelere göre seçilebilmektedir. Bursa'daki gölet havzalarında çalışırken, Türkiye haritasında böyle bölgeler oluşturulmadığı için ortalama bir dağılım tipi olarak önerilebilecek ve ABD'nin büyük bir bölümünde de hakim olan Tip II yağış dağılımı WinTR-55 modeline girilmiştir.



Şekil 3.2. NRCS yağış dağılımları için ABD'deki coğrafi sınırlar (Huffman ve ark. 2013)

WinTR-55 modeli, CN ve Tc'yi hesaplamasının yanında yüzey akış hacmini ve pik debiyi de hesaplamaktadır. Havzanın boyutu, şekli, eğimi, toprağı, arazi kullanımı, jeolojisi, bitki örtüsü durumu ve iklimi gibi havza karakteristikleri, Tc'yi etkilemektedir. Tc'nin hesaplanması için geliştirilen formüllerden bir kısmı akışı; kanal akışı, tabaka akışı v.b kategorilere ayırarak bu bileşenlerin toplamı şeklinde konsantrasyon süresini ifade ederken bir kısmı da tek eşitlikle Tc'yi belirleyebilmektedir. 1940 yılında Kirpich tarafından geliştirilen ve gölet havzaları gibi compact (toplu) havzalarda kullanımı tavsiye edilen eşitlik şöyledir (Wolfe 2006, Huffman ve ark. 2013):

$$T_c = k L^{0.77} s^{-0.385} \quad (3.3)$$

Eşitlikteki; T_c : Konsantrasyon süresi (dakika), k : sabit bir katsayı (Eğer L uzunluğu metre cinsinden ise 0.0195, feet cinsinden ise 0.0078 alınmaktadır), L : En uzun su yolu uzunluğu (metre), s : Ortalama havza eğimini ifade etmektedir.

WinTR-55 modelinde gerekli olan CN değerinin hesaplanabilmesi için toprak grubu sınıfı Çizelge 3.4'e göre belirlenebilmektedir.

Çizelge 3.4. Hidrolojik toprak gruplarının tanımlaması (Huffman ve ark. 2013)

Toprak grubu	Tanımı	Yağış ilerledikçe sızma kapasitesinin erişeceği limit değer, f_c (mm/h)
A	En düşük yüzey akış potansiyeli	8-12
B	Nispeten düşük yüzey akış potansiyeli	4-8
C	Nispeten yüksek yüzey akış potansiyeli	1-4
D	En yüksek yüzey akış potansiyeli	0-1

Aşağıda formülü de verilen NRCS grafiksel yönteminin diğer adı CN yöntemi olarak da bilinmektedir [(Öztürk ve Apaydın 1997); (Huffman ve ark. 2013)].

$$Q = \frac{(I - 0.2S)^2}{I + 0.8S} \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.4) ve (3.5)'deki değişkenler şunlardır;

Q = Yüzey akış miktarı (mm)

I = Sağanak yağış miktarı (mm)

S = Yağış ve akış arasındaki maksimum potansiyel fark (Su tutma potansiyeli) (mm)

$$S = (25400 / CN) - 254 \quad (3.5)$$

CN = Yüzey akış eğri numarası

$$I_a = 0.2 S$$

Başlangıç kısaltması olarak tanımlanan I_a ; gecikme kayıpları, yüzey biriktirmeleri, infiltrasyon v.b. etmenleri içermektedir.

Havza eğim uzunluğu, yüzey akışın başladığı noktadan eğimin yeterince azalıp artık birikmenin başladığı alana kadar olan uzaklık olarak tanımlanabilmektedir (Öztürk ve ark. 2003a).

WinTR-55 ilk olarak Ocak 1975'te ABD Tarım Bakanlığı (USDA)'nın Toprak Koruma Servisi (SCS) tarafından şiddetli yüzey akış miktarının, maksimum tahliye hızının ve su yönetim yapılarında depolama miktarlarının hesaplanması için çıkarılmıştır. TR-55 önce sadece NRCS Tip II yağış dağılımında ve kullanıcı hesaplamalarını gerçekleştirmek için kullanılabilen Eylül 1986'da, NRCS-TR 55 için büyük bir revizyon yapılmıştır. Bu sürüm, üç ek yağış dağılımlarını (Tip I, IA ve III) da içermektedir. WinTR-55 kamu kuruluşları ve özel kurumlar tarafından yaygın olarak kabul görmüş bir modeldir (Roberts ve ark. 2009).

WinTR-55 çalışma grubu, 1998 yılında bilgisayar yazılımını modernize etmek ve teknik olarak gözden geçirmek için kurulmuş ve programda aşağıdaki değişiklikleri yapmıştır (Roberts ve ark. 2009):

- Kaynak kodu Microsoft ® Visual Basic ® 6.0'a yükseltilmiştir.
- Windows ® arayüz ve işlemci olarak geliştirilmiştir.

WinTR-55 modelinin yetenekleri ve kısıtları Çizelge 3.5'deki görülmektedir. Modele Çizelge 3.5'deki sınır değerlerinin dışında bir değer girilmesi durumunda ekrana uyarı penceresi gelmektedir. Çizelge 3.6'dan da görüleceği gibi WinTR-55 modeli, havza topraklarının önceki nem durumunu II nolu sınıfta kabul etmektedir.

Çizelge 3.5. WinTR-55 modelinin yetenekleri ve kısıtları (Roberts ve ark. 2009)

Değişken	Kısıtlar
Minimum alan	0.4047 hektar
Maksimum alan	6500 hektar
Toplam alt alan sayısı	1-10
Beslenme kollarının toplanma zamanı	0.1 saat ≤ Tc ≤ 10 saat
Besleme kolları sayısı	0-10
Besleme kolları tipi	Kanal ya da yapı
Öteleme yöntemi	Muskingum-Cunge
Su yapısı güzergahı	Depolama-yönlendirme
Su yapısı tipi	Boru yada savak

Çizelge 3.5. WinTR-55 modelinin yetenekleri ve kısıtları (Roberts ve ark. 2009) (devam)

Su yapısı temsil büyüklüğü	1-3
Yağış yoğunluğu	Saptanmış ya da kullanıcı tanımlı (0-1270 mm)
Yağış dağılımı	NRCS Type I, IA, II, III, NM60, NM65, NM70, NM75 yada kullanıcı tanımlı
Yağış süresi	24 saat
Boyutsuz birim hidrograf	Maksimum hız faktörü 484 ya da kullanıcı tanımlı
Önceki nem durumu (AMC)	2
CN	40-98
Tabaka akışı uzunluğu	< 30 m

Çizelge 3.6. WinTR-55 modelinde kullanılan önceki nem durumları (AMC) (Huffman ve ark. 2013)

		Sezon içerisinde önceki beş günlük yağış yüksekliği (mm)	
Durum	Tanımı	Kış sezonu	Yetiştirme sezonu
I	Optimum koşullar	<13	<36
II	Ortalama değer	13-28	36-58
III	Kış dönemi ya da ağır yağışlı şartlar	>28	>58

WinTR-55 modelini kullanılırken dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır (Roberts ve ark. 2009):

- Her dosyaya verilen isimlerin ilk sekiz harfinin aynı olmaması gerekmektedir.
- Reach name harf uzunluğu 1-10 karakter arasında olmalıdır.
- Standart yağış dağılımı hücrelere kullanıcı tarafından girilmek istenirse; hücrelere değer girerken 0.0'dan başlanıp 1.0 ile bitirilmelidir. Hiçbir hücre boş bırakılmamalıdır. Her bir hücredeki değer, kendinden bir önceki hücredeki değerden büyük ya da o değere eşit olmalıdır. Hücrelere en fazla beş yüz adet veri değeri girilebilmektedir.
- Boyutsuz birim hidrograf veri tablosu doldurulurken de hiçbir hücrenin boş bırakılmaması istenmektedir. Her bir hücredeki değer 0.0'dan 1.0'a doğru

artmalı sonra tekrar 0.0'a inmelidir. Burada da hücelere en fazla beş yüz adet veri değeri girilebilmektedir.

- Geçirimsiz alanlardaki eğri numarası (CN) değeri 98'dir. Geçirgen alanlarda CN, iyi hidrolojik koşullardaki CN'ye eşit alınır. CN 40 – 98 arasında değerler alır.

WinTR-55 modelindeki minimum veri gereksinimleri; proje tanımlama verileri (kullanıcı, konum, bölge, plan ve ek bilgi), boyutsuz birim hidrograf, sağnak verileri, yağış dağılım verileri ve alt alan bilgileri (alt alan adı, alt alan açıklaması, alt alan çıkış debileri, alanı, ağırlıklı eğri numarası ve toplanma zamanı)'dir (Roberts ve ark. 2009).

WinTR-55 ana penceresi Şekil 3.3'deki; proje tanımlama verileri (kullanıcı, ülke, şehir, proje, alt başlık), boyutsuz birim hidrograf ve alt alan girişi (alt alan ismi, alt alan tanımlaması, çıkışa ulaşan alt alan akışı, havza alanı, ağırlıklı eğri numarası ve konsantrasyon süresi) verilerini içermektedir (Roberts ve ark. 2009).



Şekil 3.3. WinTR- 55 modeli ana penceresi (Roberts ve ark. 2009)

Hidrolojik öteleme; kanal (nehir yatağı) ötelemesi (Muskingum-Cunge yöntemi), rezervuar (depolama) ötelemesi ve hidrolik tabanlı yöntem olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Wheater ve Al-Weshah 2002).

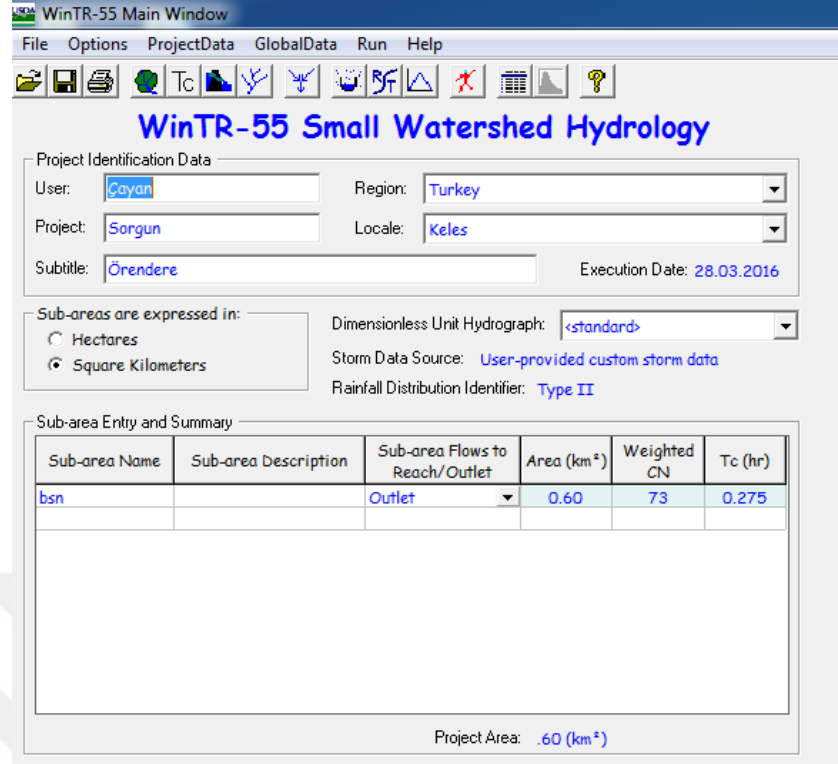
TR-20 modeli; depolama yapıları, arazi kullanımı v.b. gibi havzadaki değişimlerin yüzey akışa olan etkisini değerlendiren anlık bir hidrolojik modeldir. NRCS TR-20 modelinde sel öteleme yöntemi olarak Muskingum–Cunge kullanıldığı için, TR-20 modelinin revize edilmiş hali olan WinTR–55 modeli de Muskingum–Cunge yöntemini ve TR-20'nin hidrolojik hesaplama yöntemlerini kullanmaktadır. Ohio'daki Muskingum akarsu havzasındaki taşkınların kontrolü için 1930'lu yıllarda U.S. Army Corps of Engineers (Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği) tarafından geliştirilen Muskingum modeli en popüler katsayılar modeli olarak bilinmektedir. Hidrolojik bir öteleme tekniği olan Muskingum modelinin temelinde süreklilik denklemi yer almaktadır (Kaya ve Ülke 2012).

Muskingum denklemi Eşitlik 3.6'da verilmiştir.

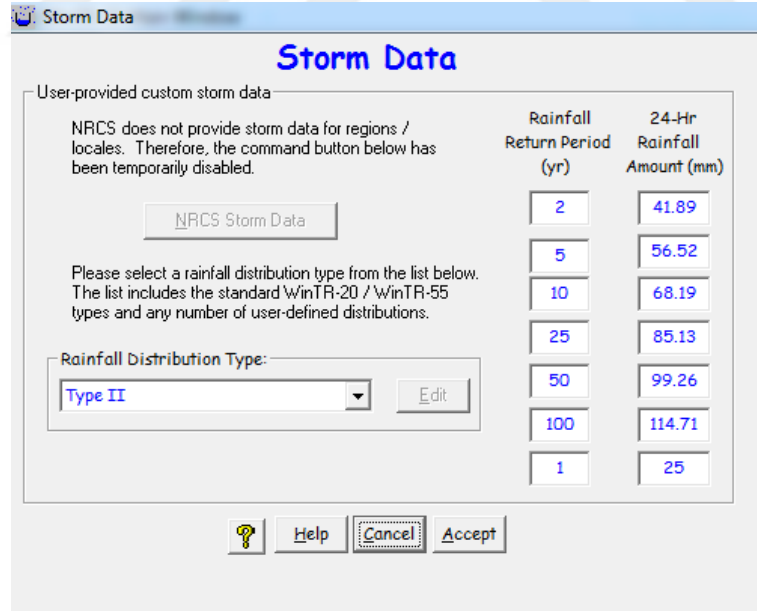
$$Q^{n+1} = C_1 I^{n+1} + C_2 I^n + C_3 Q^n \quad (3.6)$$

Eşitlikte; I^n ve Q^n , (t) zamanındaki giriş ve çıkış akımlarını, I^{n+1} ve Q^{n+1} ise (t+Δt) zamanındaki giriş ve çıkış akımlarını göstermektedir. C'ler ise Muskingum katsayılarıdır. (Kaya ve Ülke 2012)

Örnek olarak; Keles Sorgun Örendere havzasının havza karakteristiklerinin WinTR-55 modeline girildiği pencere Şekil 3.4'te görülmektedir. K-S testi sonucu belirlenmiş çeşitli tekerrür yıllarına ait 24 saatlik yağış yüksekliği değerlerinin WinTR-55 modeline girildiği pencere de Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Keles Sorgun Örendere havzası verilerinin girildiği WinTR-55 modelinin ana penceresi



Şekil 3.5. WinTR-55 modeline Keles Sorgun Örendere havzası yağış verilerinin girildiği pencere

Keles Sorgun Örendere havzası için WinTR-55 modelinin sonuç tablosu olarak da nitelendirilebilecek model çıktısı Şekil 3.6'da, bu sonuç tablosunun modelde grafikleştirilebilmesi de Şekil 3.7'de sunulmaktadır.

File Display

Print Edit WinTR-20 Reports WinTR-55 Reports Help

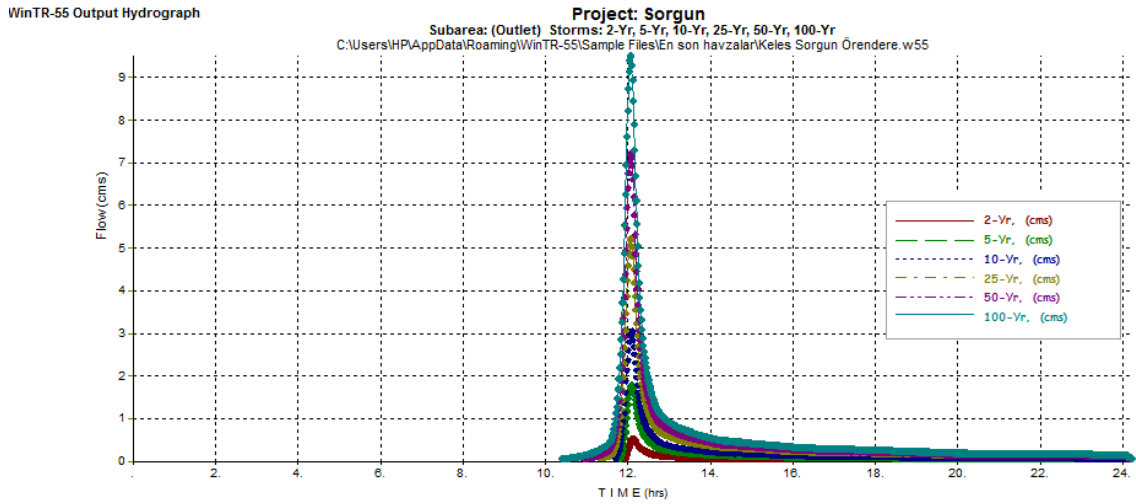
Hydrograph Peak/Peak Time Table

Çayan Sorgun
Örendere
Region: Turkey Locale: Keles

Hydrograph Peak/Peak Time Table

Sub-Area or Reach Identifier	Peak Flow and Peak Time (hr) by Rainfall Return Period					
	2-Yr (cms) (hr)	5-Yr (cms) (hr)	10-Yr (cms) (hr)	25-Yr (cms) (hr)	50-Yr (cms) (hr)	100-Yr (cms) (hr)
SUBAREAS						
ben	0.53 12.13	1.79 12.09	3.07 12.08	5.23 12.07	7.22 12.07	9.52 12.06
REACHES						
OUTLET	0.53	1.79	3.07	5.23	7.22	9.52

Şekil 3.6. Keles Sorgun Örendere havzası için WinTR-55 modelinde çıkması istenen hidrografın tekerrür periyotlarının seçimi sonucu oluşan tablo



Şekil 3.7. Keles Sorgun Örendere havzası için WinTR-55 modelinde hidrograf sonucunu grafik olarak gösterebilmek için istenen tekerrür periyotlarının seçimi sonucu oluşan grafik

3.2.1.1. Eğri Numarası (CN) nın Belirlenmesi

WinTR-55 modelinin kullandığı ağırlıklı eğri numarası eşitliği aşağıda verilmiştir (Roberts ve ark. 2009).

$$CN_w = \frac{\sum(A_x \times CN_x)}{\sum A_x} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7'de;

CN_w = Ağırlıklı eğri numarası,

A_x = Arazi kullanımın alanları,

CN_x = Arazi kullanımın alanlarının eğri numarasıdır.

Arazi kullanım durumuna ve toprak grubuna göre havzadaki alan değerleri Şekil 3.8'de gösterilen hücrelere girilerek ağırlıklı bir eğri numarası değeri belirlenebilmektedir. Eğri numarası değeri modele ağırlıklı olarak hesaplatılmayıp doğrudan ana pencereden de girilebilmektedir.

Land Use Categories			Area (Square Kilometers) for Hydrologic Soil								
<input type="radio"/> Urban Area			<input type="radio"/> Developing Urban			<input checked="" type="radio"/> Cultivated Agriculture		<input type="radio"/> Other Agriculture		<input type="radio"/> Arid Rangeland	
Cover Description	Condition	A	CN	B	CN	C	CN	D	CN		
CULTIVATED AGRICULTURAL LANDS											
Fallow	Bare soil	---	77	86	91	94					
Fallow	Crop residue (CR)	poor	76	85	90	93					
Fallow	Crop residue (CR)	good	74	83	88	90					
Row crop	Straight row (SR)	poor	72	81	88	91					
	Straight row (SR)	good	67	78	85	89					
	SR + Crop residue	poor	71	80	87	90					
	SR + Crop residue	good	64	75	82	85					
	Contoured (C)	poor	70	79	84	88					
	Contoured (C)	good	65	75	82	86					
	C + Crop residue	poor	69	78	83	87					
	C + Crop residue	good	64	74	81	85					
	Cont & terraced(C&T)	poor	66	74	80	82					
	Cont & terraced(C&T)	good	62	71	78	81					
	C&T + Crop residue	poor	65	73	79	81					
	C&T + Crop residue	good	61	70	77	80					
Small grain	Straight row (SR)	poor	65	76	84	88					
	Straight row (SR)	good	63	75	83	87					
	SR + Crop residue	poor	64	75	83	86					
	SR + Crop residue	good	60	72	80	84					
	Contoured (C)	poor	63	74	82	85					

Şekil 3.8. WinTR- 55 modelinde ağırlıklı eğri numarasının belirlenmesi

3.2.1.2. Konsantrasyon Süresi (Tc) nin Belirlenmesi

Taşkın sırasında oluşabilecek akımlar, kısımlara ayrılarak modelde ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. WinTR-55 modelinde konsantrasyon süresinin hesaplanabilmesi için kullanılan eşitlikler şunlardır (Roberts ve ark. 2009);

A) Tabaka akışı için

$$T_t = \frac{0.007 (nL)^{0.8}}{(P_2)^{0.5} S^{0.4}} \quad (3.8)$$

eşitliği kullanılır. Eşitlikteki,

T_t = Tabaka akışı için suyun yolculuk zamanı (saat)

n = Manning pürüzlülük katsayısı (Tabaka akışı için)

L = Akım uzunluğu (ft)

P_2 = 2 yıl tekerrürlü 24 saatlik yağış miktarı (in)

S = Arazi eğimi

B) Yüzeyaltı akımı için

$$V = 16.1345 \sqrt{S} \quad (\text{Kaplamaşız}) \quad (3.9)$$

$$V = 20.3282 \sqrt{S} \quad (\text{Kaplmalı}) \quad (3.10)$$

Eşitliklerdeki;

V = Ortalama hız (ft/s)

S = Su yolu eğimi

C) Kanal akışı için (Manning eşitliği)

$$V = \frac{1.49 r^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}}{n} \quad (3.11)$$

Eşitlikteki;

V= Ortalama hız (ft/s)

r= Hidrolik yarıçap (ft)

S= Kanal eğimi

n = Manning pürüzlülük katsayısı (Açık kanallar için)

B ve C şıklarındaki eşitliklerden hesaplanan V değerleri, $X=V*t$ formülünde yerine koyularak ("X= Kanal uzunluğu"nın da bilinmesi şartıyla) her bir aşamada harcanan t süresi hesaplanabilmektedir. Bu t süreleri toplanarak da Tc değerine ulaşılabilmektedir (Roberts ve ark. 2009).

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi akım tiplerinin uzunlukları, eğimleri ve geçtikleri yüzeylerin pürüzlülük katsayılarına göre Tc'ler hesaplanarak toplam Tc belirlenebilmektedir. Tc değeri modele bu şekilde hesaplatılmayıp doğrudan ana pencereden de girilebilmektedir.

Time of Concentration Details

Sub-area Name: [] [Rename] [Clear] 2-Year Rainfall (mm): 40.27

Flow Type	Length (m)	Slope (m/m)	Surface (Manning's n)	n	Area (m ²)	WP (m)	Velocity (m/s)	Time (hr)
Sheet								
Shallow Concentrated								
Shallow Concentrated								
Channel								
Channel								
Total								

[?] [Help] [Cancel] [Accept]

Şekil 3.9. WinTR- 55 modelinde konsantrasyon süresinin belirlenmesi

3.2.1.3. Yüzey Akış Pik Debisinin Hesaplanması

WinTR-55 modelindeki yüzey akış miktarı, potansiyel maksimum infiltrasyon ve başlangıç tutulması değerlerinin hesaplanmasına ilişkin denklemler sırasıyla Eşitlik 3.12, 3.13 ve 3.14'de verilmiştir (Huffman ve ark. 2013);

$$Q = \frac{[P - 0.2 S]^2}{P + 0.8 S} \quad (3.12)$$

$$S = (25400/CN) - 254 \quad (3.13)$$

$$I_a = 0.2 S \quad (3.14)$$

Yukarıda verilen eşitliklerdeki değişkenler şu şekildedir;

Q = Yüzey akış miktarı (mm)

P = Yağış miktarı (mm)

S = Potansiyel maksimum infiltrasyon (mm)

CN = Yüzey akış eğri numarası

I_a = Başlangıç tutulması (mm) dir.

4. BULGULAR

Bu bölümde Mockus, Rasyonel ve DSİ sentetik gibi farklı pik debi tahminleme yöntemi sonuçlarıyla WinTR-55 sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Farklı tekerrür sürelerinde pik debi belirleyen değişik sentetik yöntemlerin karşılaştırmalı sonuç tablosu Çizelge 4.1’de verilmektedir (Baysal 1995; Biçkici 2010, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2013c, 2014).

Çizelge 4.1. Farklı tekerrür sürelerinde havzalarda çeşitli yöntemlerle tahminlenen pik debi değerleri (m^3/s)

Havza adı		Tekerrür süresi (yıl)	Yöntemler			
			Mockus	DSİ	Rasyonel	WinTR-
Kestel Ağlaşan-Kayacak Göleti	Kızılıklıdere	2	19.57	-	-	2.09
		5	27.75	-	-	6.56
		10	33.16	-	-	10.49
		25	40.01	-	-	16.15
		50	45.08	-	-	20.84
		100	50.12	-	-	25.71
	Yandere-1	2	0.11	-	-	0.82
		5	1.66	-	1.15	2.93
		10	3.53	-	1.55	4.70
		25	6.68	-	2.18	7.21
		50	9.50	-	2.73	9.23
		100	12.64	-	3.55	11.28
	Yandere-2	2	0.08	-	-	0.62
		5	1.30	-	0.82	2.18
		10	2.77	-	1.13	3.49
		25	5.24	-	1.58	5.34
		50	7.44	-	1.98	6.85
		100	9.90	-	2.57	8.38
Gemlik Küçükkumla	2	26.65	1.19	-	0.96	
	5	35.91	3.25	-	2.81	
	10	42.16	5.67	-	4.48	
	25	50.17	9.77	-	7.02	
	50	56.20	13.51	-	9.29	
	100	62.30	17.76	-	11.59	
Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere	2	3.9	3.6	-	4.64	
	5	11.3	10.4	12.8	12.0	
	10	17.6	16.2	18.5	18.11	
	25	26.8	24.7	26.2	26.79	
	50	34.6	31.9	33.8	33.69	

	100	42.7	39.4	44.5	41.13
--	-----	------	------	------	-------

Çizelge 4.1. Farklı tekerrür sürelerinde havzalarda çeşitli yöntemlerle tahminlenen pik debi değerleri (m^3/s) (devam)

Büyükorhan Kocadere Göleti	Kocadere Göletyeri	2	1.7	1.87	-	4.13
		5	3.8	3.85	-	7.68
		10	5.4	5.35	-	10.15
		25	7.5	7.38	-	13.41
		50	9.2	8.96	-	15.79
		100	10.9	10.59	-	18.28
	Kocadere İçmedere (Derivasyon)	2	0.8	1.05	-	2.10
		5	1.9	2.36	-	4.16
		10	2.8	3.38	-	5.64
		25	4.0	4.78	-	7.59
		50	5.0	5.88	-	9.08
		100	6.0	7.03	-	10.55
Osmangazi Güneybayır	2	-	2.47	-	21.83	
	5	5.79	6.54	-	43.9	
	10	10.25	10.77	-	63.56	
	25	18.41	18.22	-	95.01	
	50	26.68	25.56	-	123.52	
	100	37.09	34.63	-	156.96	
İnegöl Çavuşköyü	2	-	1.50	-	2.63	
	5	4.1	3.98	-	5.98	
	10	6.4	6.19	-	8.74	
	25	10.0	9.57	-	12.72	
	50	13.0	12.49	-	15.96	
	100	16.4	15.73	-	19.52	
İnegöl Olukman-Tekke Göleti	Gürgenlikdere	2	0.2	-	-	0.86
		5	1.0	-	-	3.05
		10	1.8	-	-	4.91
		25	3.1	-	-	7.54
		50	4.2	-	-	9.64
		100	5.3	-	-	11.84
	Dalakdere	2	0.1	-	-	1.01
		5	0.9	-	-	3.33
		10	1.7	-	-	5.25
		25	2.9	-	-	7.97
		50	4.0	-	-	10.11
		100	5.2	-	-	12.36
	Karanlıkdere	2	0.3	-	-	1.17
		5	1.6	-	-	3.55
		10	2.7	-	-	5.52
		25	4.6	-	-	8.29
		50	6.1	-	-	10.47

		100	7.8	-	-	12.76
--	--	-----	-----	---	---	-------

Çizelge 4.1. Farklı tekerrür sürelerinde havzalarda çeşitli yöntemlerle tahminlenen pik debi değerleri (m^3/s) (devam)

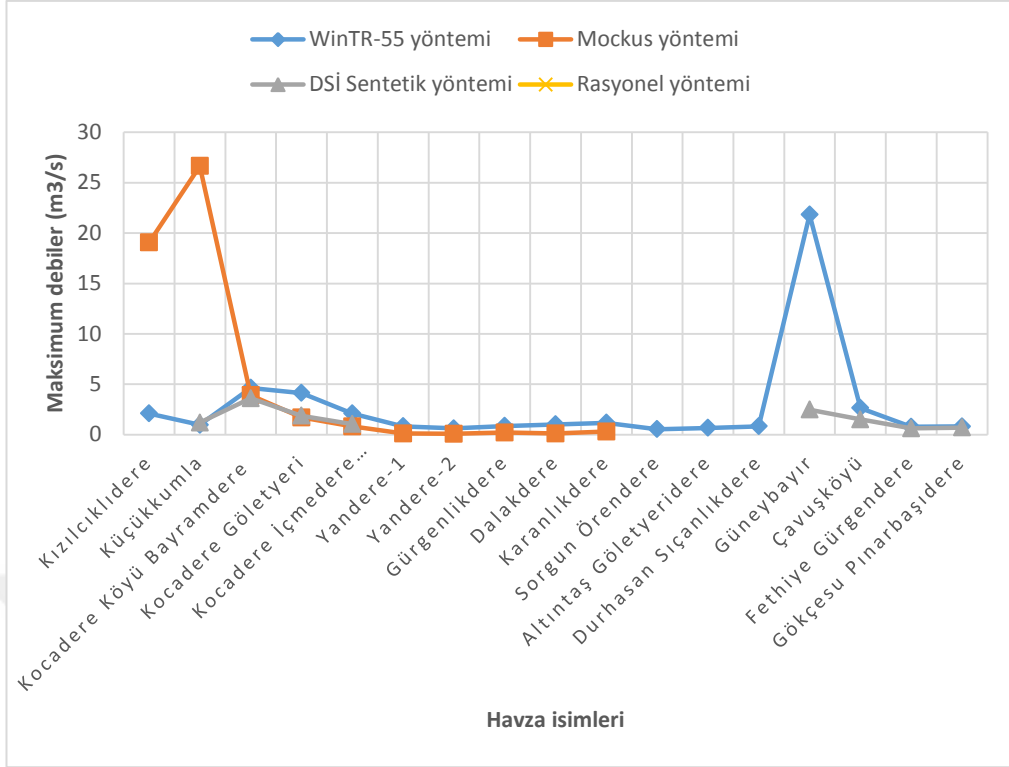
Yenişehir Fethiye Gürgendere	2	-	0.62	-	0.78
	5	1.16	1.54	-	3.09
	10	2.67	2.46	-	5.29
	25	5.31	4.01	-	8.62
	50	7.70	5.28	-	11.38
	100	10.39	6.63	-	14.33
Yenişehir Gökçesu Pınarbaşıdere	2	-	0.70	-	0.81
	5	1.87	1.83	-	3.66
	10	3.88	2.94	-	6.46
	25	7.22	4.94	-	10.77
	50	10.18	6.56	-	14.43
	100	13.45	8.35	-	18.27
Orhaneli Altıntaş Göletyeridere	2	-	-	-	0.66
	5	-	-	0.79	1.57
	10	-	-	1.01	2.27
	25	-	-	1.37	3.21
	50	-	-	1.64	3.92
	100	-	-	1.97	4.66
Keles Sorgun Örendere	2	-	-	-	0.53
	5	0.30	-	1.06	1.79
	10	0.66	-	1.34	3.07
	25	1.39	-	1.82	5.23
	50	2.14	-	2.26	7.22
	100	3.09	-	2.80	9.52
Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere	2	-	-	-	0.82
	5	-	-	0.98	2.06
	10	-	-	1.25	3.03
	25	-	-	1.71	4.36
	50	-	-	2.04	5.38
	100	-	-	2.45	6.44

Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti havzası verilerine göre WinTR-55 modeli, tüm tekerrür aralıklarında Mockus yönteminin tahminlediği pik debi değerlerinden daha düşük sonuçlar vermektedir. WinTR-55 modeli, Yan Dere-1 ve Yan Dere-2 havzalarında, Mockus ve Rasyonel yöntemlerinin tahminlediği pik debi değerlerinin ortasında pik debiler tahminlemektedir. İnegöl Olukman-Tekke Göleti havzasının alt havzaları olan Gürgenlikdere, Dalakdere ve Karanlıkdere havza verilerinin kullanılmasıyla elde edilen

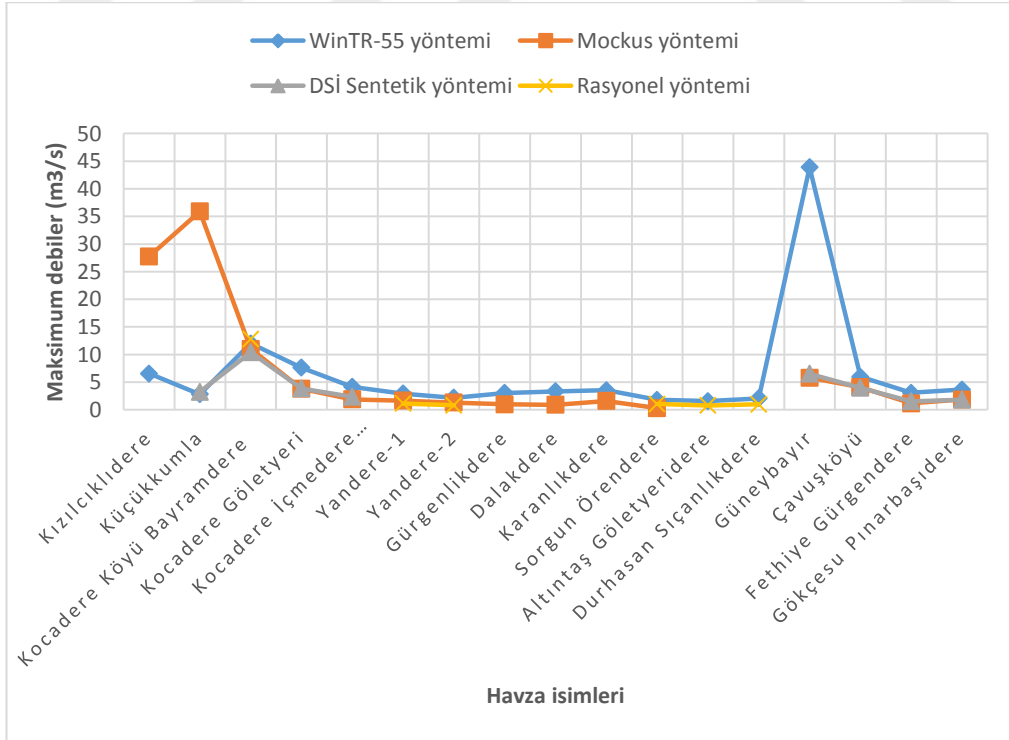
sonuçlara göre, her üç alt havzada da WinTR-55 modeli, tüm tekerrür yıllarında Mockus yönteminden daha yüksek pik debi değerleri tahminlemektedir. Orhaneli Altıntaş Göletyeridere havzasında WinTR-55 modeli tüm tekerrür yıllarında Rasyonel yöntemin ürettiği pik debi sonuçlarından daha yüksek değerler tahminlemektedir. Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere havzasında, WinTR-55 modeli tüm tekerrür yıllarında Rasyonel yöntemin ürettiği pik debi sonuçlarından daha yüksek değerler tahminlemektedir (Çizelge 4.1).

Gemlik Küçükkuşla Göleti havzasında, WinTR-55 modelinin tahminlediği pik debi sonuçları; tüm tekerrür yıllarında D.S.İ sentetik yönteminin ve Mockus yönteminin tahminlediği debi sonuçlarından daha düşük değerler tahminlemektedir. Tüm tekerrür yıllarında Mockus yöntemi en yüksek pik debi sonuçları üretmişken, DSİ sentetik yönteminin tahminlediği debi değerleri diğer iki yöntem sonuçlarının arasında seyretmektedir. Gemlik Küçükkuşla Göleti havzası koşullarında en düşük pik debi değerlerini WinTR-55 yöntemi tahminlemektedir. Tüm tekerrür yıllarındaki en yüksek pik debi değerleri Osmangazi Güneybayır gölet havzası için tahminlenmişken, en düşük pik debi değerlerine ise Orhaneli Altıntaş Göletyeridere havzası verileri kullanıldığında ulaşılmıştır. Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere Gölet havzası verilerine göre sadece 2 yıllık tekerrür sonucunda WinTR-55 modeli en yüksek pik debi değerine ulaşmaktadır. Ayrıca, tüm tekerrür yıllarında dört yöntemde birbirine yakın pik debi değerleri tahminlemesi dikkat çekmektedir (Çizelge 4.1).

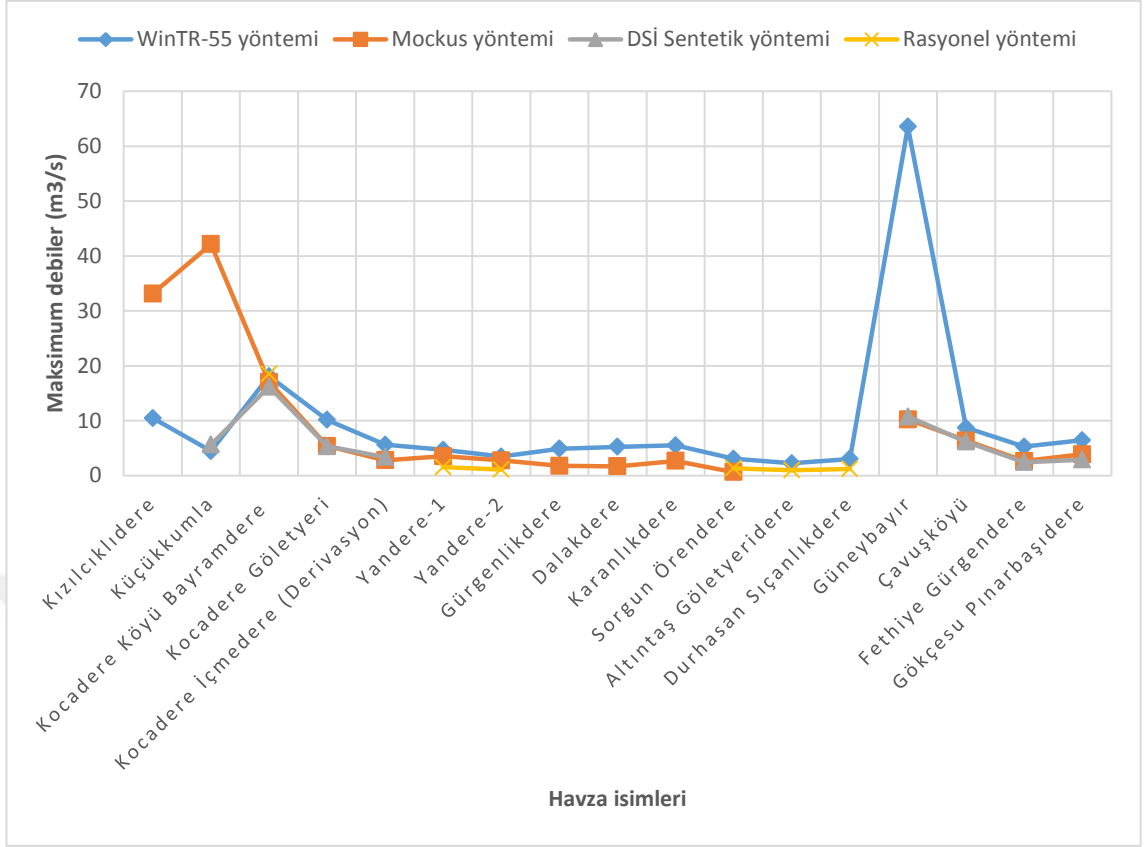
25, 50 ve 100 yıllık büyük tekerrür sürelerindeki sonuçlarla kıyaslandığında; 2, 5 ve 10 yıllık gibi düşük tekerrür sürelerinde WinTR-55 modelinin pik debi sonuçları, diğer sentetik yöntem sonuçlarına daha uzak olabilmektedir. Özellikle Kestel Ağlaşan-Kayalık Kızılcıklıdere, Gemlik Küçükkuşla ve Osmangazi Güneybayır gölet havzalarında yöntemlerin tahminlediği pik debiler arasındaki farklar oldukça büyük olmuştur. Bu şekilde farklı sonuçlar elde edilmesinin başlıca nedenleri, pik debi hesaplama yöntemlerinin farklı parametreler içermesi ve havzaların fiziksel özelliklerinin farklılığı olabilmektedir (Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



Şekil 4.1. Bazı yöntemlerin 2 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması

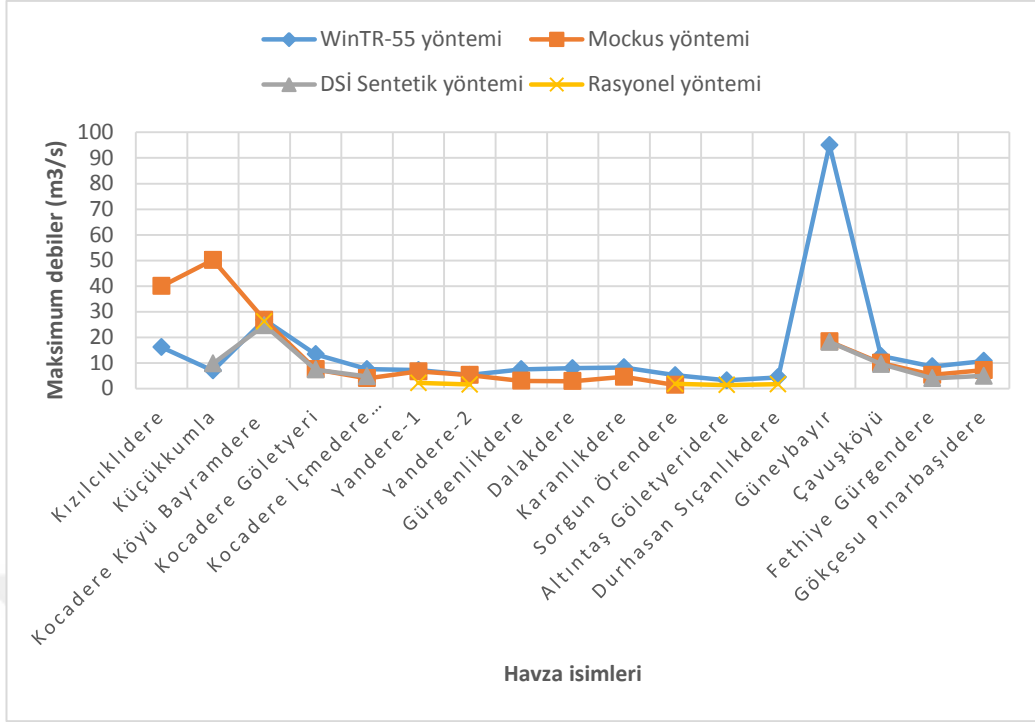


Şekil 4.2. Bazı yöntemlerin 5 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması

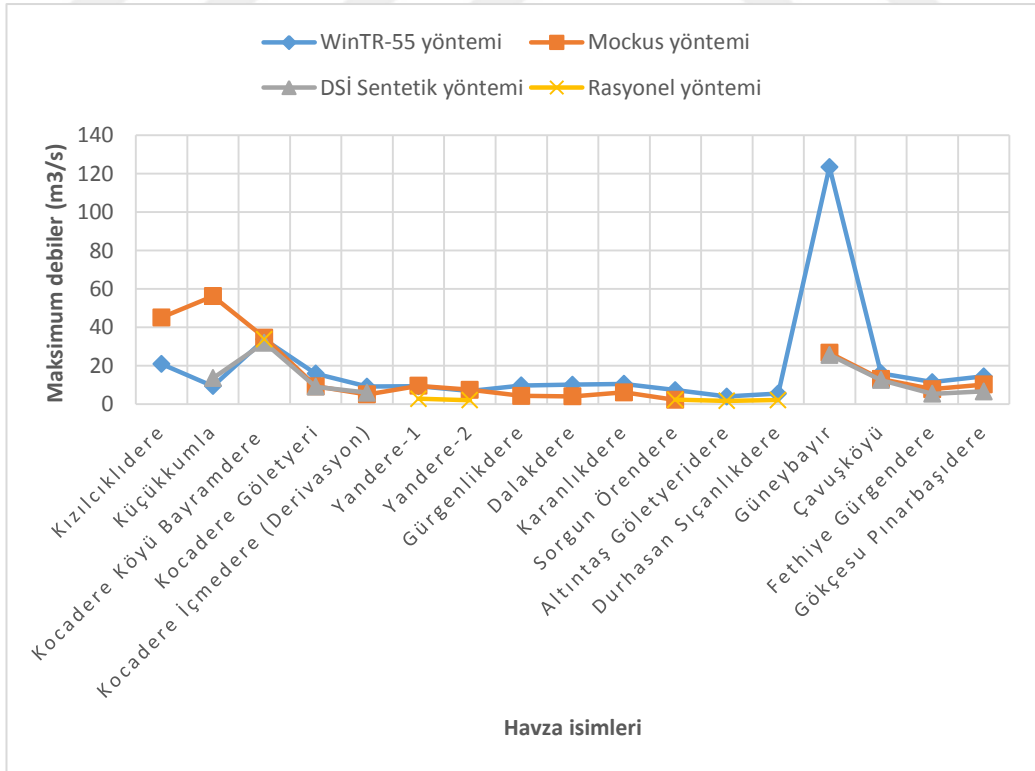


Şekil 4.3. Bazı yöntemlerin 10 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması

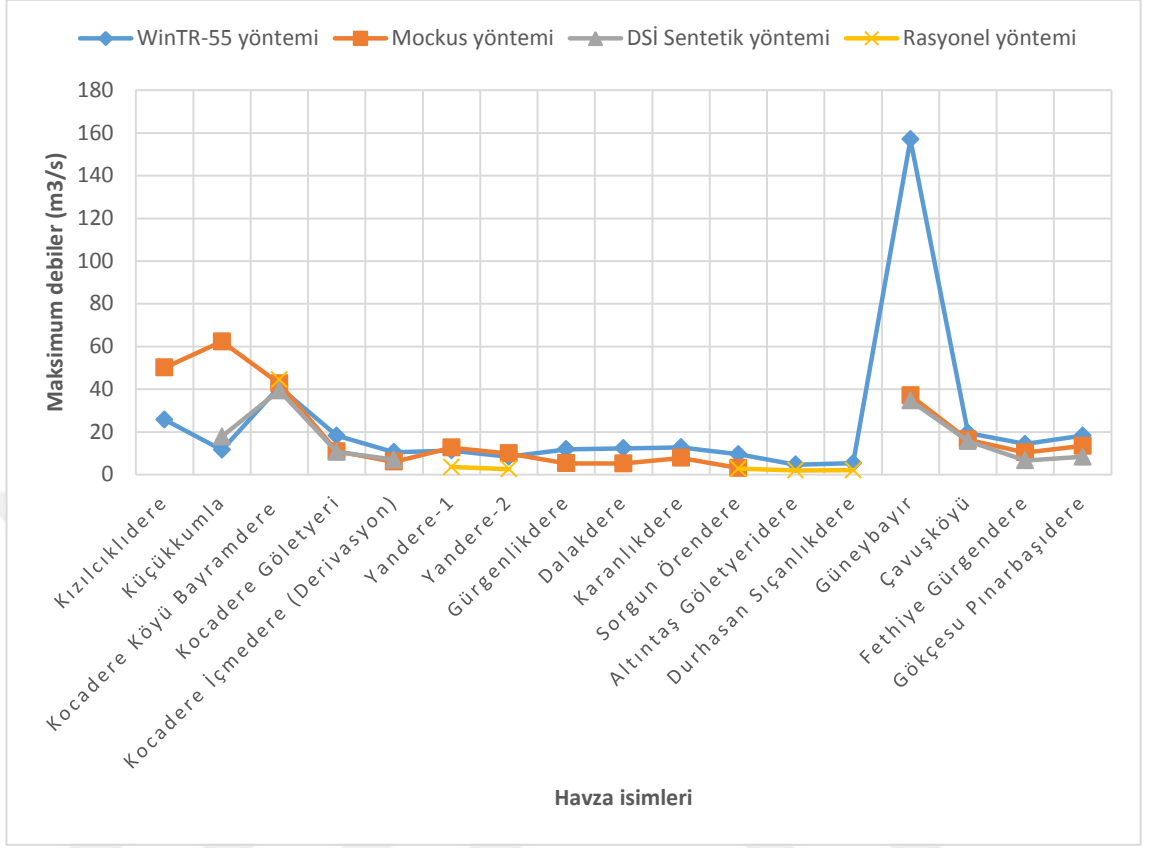
2, 5 ve 10 yıllık küçük tekerrür sürelerindeki sonuçlarla kıyaslandığında; 25, 50 ve 100 yıllık gibi büyük tekerrür sürelerinde WinTR-55 modelinin pik debi sonuçları, diğer sentetik yöntem sonuçlarına daha yakın olabilmektedir. Kestel Ağlaşan-Kayacık Kızılıklıdere, Gemlik Küçükkumla ve Osmangazi Güneybayır gölet havzaları dışındaki havzalarda, pik debi hesaplama yöntemlerinin sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. On yedi havza içerisinde, Kestel Ağlaşan-Kayacık Kızılıklıdere ve Gemlik Küçükkumla gölet havzaları dışındaki on beş havzada, WinTR-55 modelinin daha büyük pik debiler tahminlemeye eğilimli olduğu görülmektedir (Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).



Şekil 4.4. Bazı yöntemlerin 25 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması

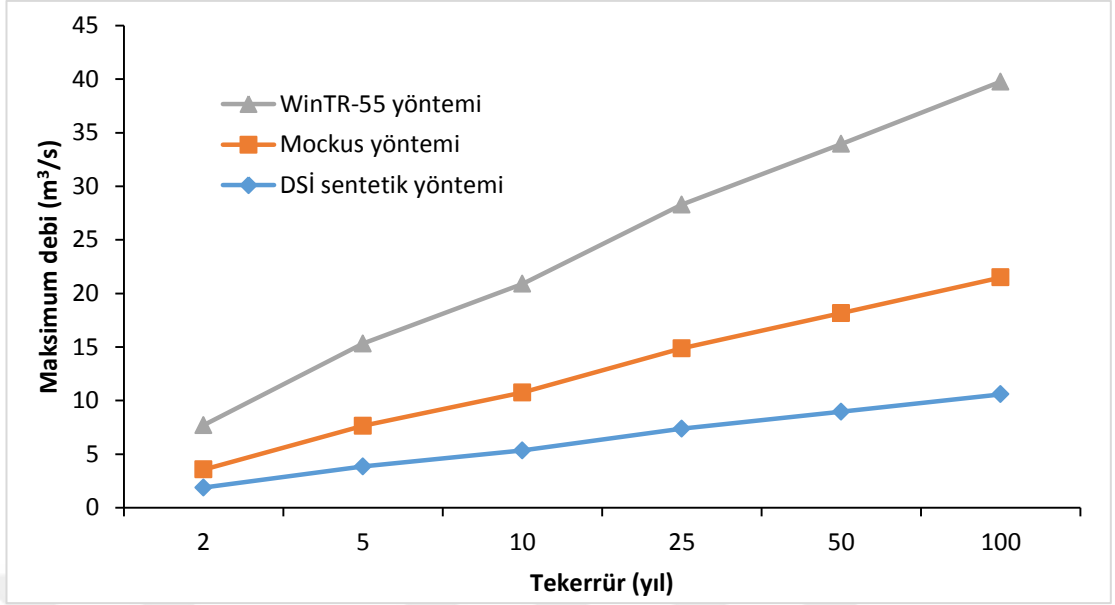


Şekil 4.5. Bazı yöntemlerin 50 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması

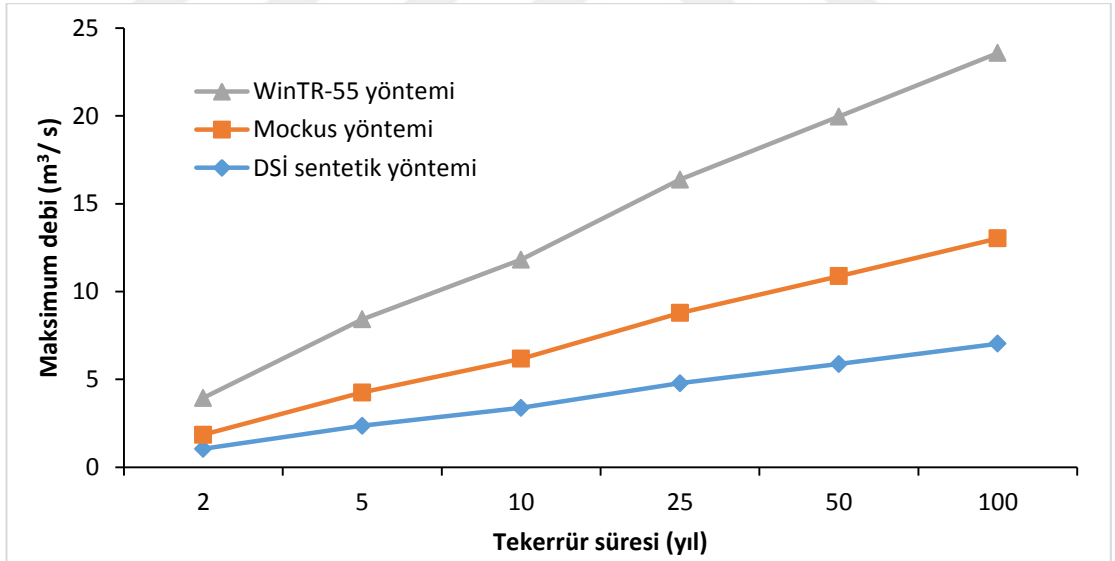


Şekil 4.6. Bazı yöntemlerin 100 yıl tekerrürlü taşkın debilerinin karşılaştırılması

Büyükorhan Kocadere Göletyeri ve İçmedere (Derivasyon) havzalarında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında en yüksek pik debi değerlerine ulaştığı görülmektedir. Tekerrür süresi arttıkça WinTR-55 modeliyle diğer iki yöntem arasındaki pik debi değer farkları da artmaktadır (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).

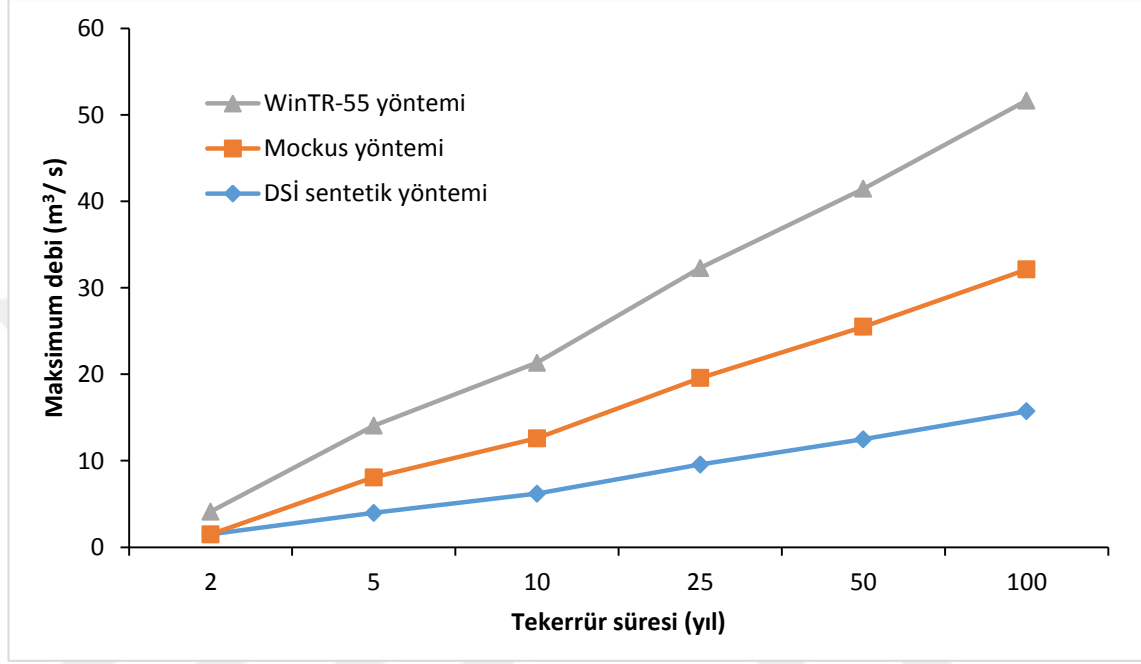


Şekil 4.7. Büyükorhan Kocadere Göletyeri havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği



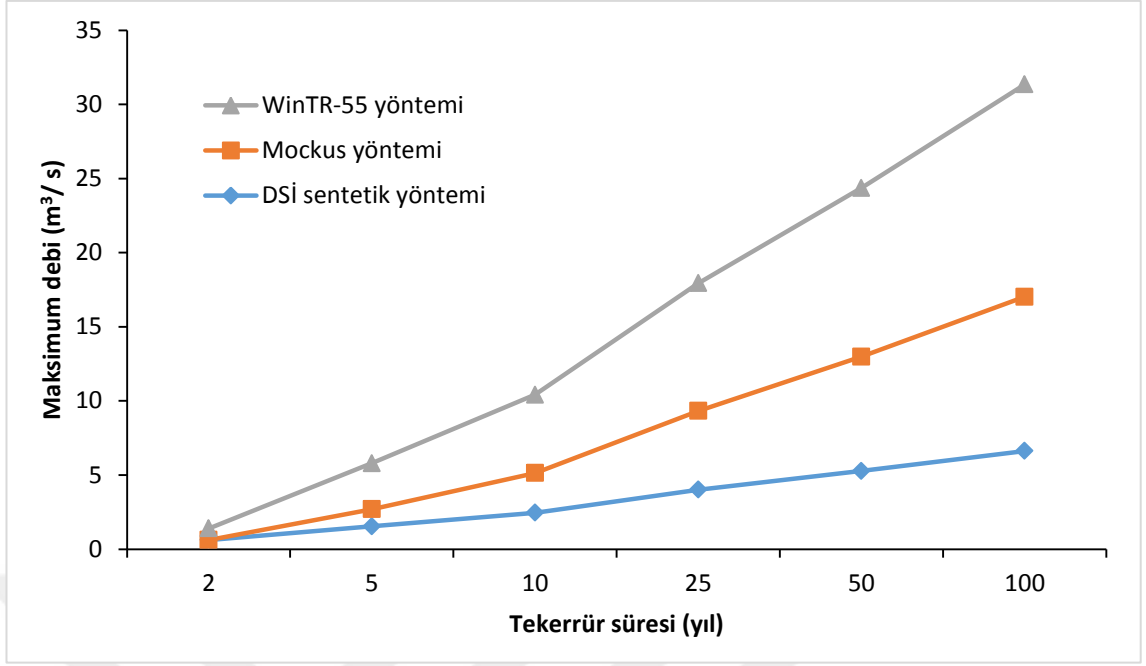
Şekil 4.8. Büyükorhan Kocadere İçmedere (Derivasyon) havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

İnegöl Çavuşköyü Gölet havzasında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında en yüksek pik debi değerlerine ulaştığı görülmektedir. Tekerrür süresi arttıkça WinTR-55 modeliyle diğer iki yöntem arasındaki pik debi değer farkları da artmaktadır (Şekil 4.9).

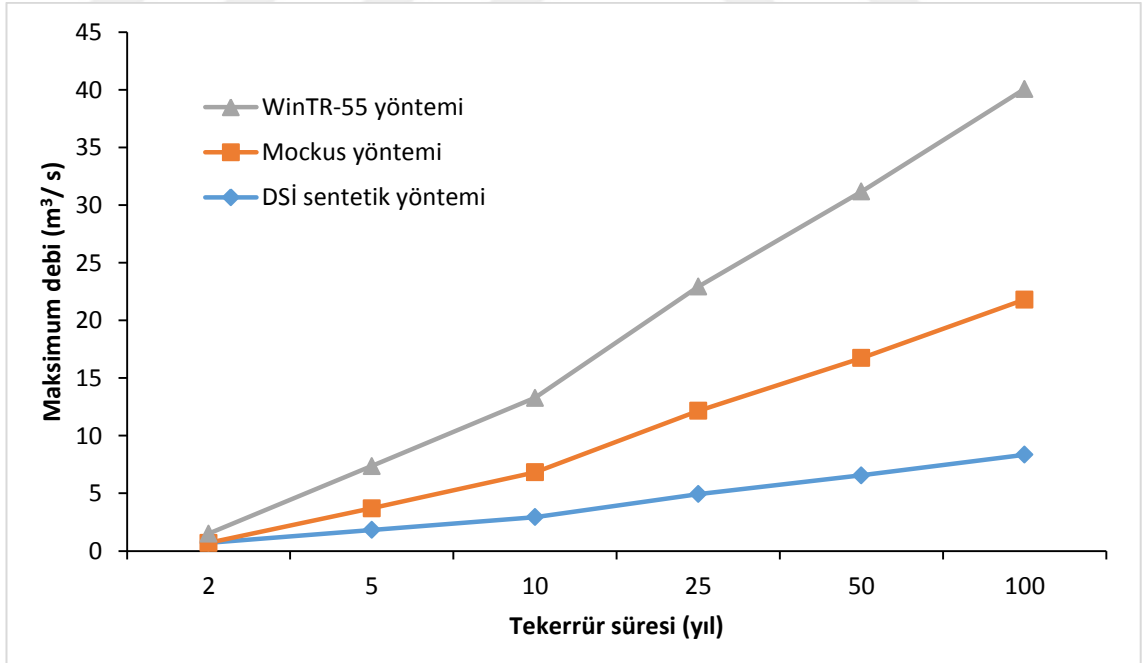


Şekil 4.9. İnegöl Çavuşköyü Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Yenişehir Fethiye Gürgendere Göleti ve Gökçesu Pınarbaşidere havzalarında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında en yüksek pik debi değerlerine ulaştığı görülmektedir. Tekerrür süresi arttıkça WinTR-55 modeliyle diğer iki yöntem arasındaki pik debi değer farkları da artmaktadır (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).

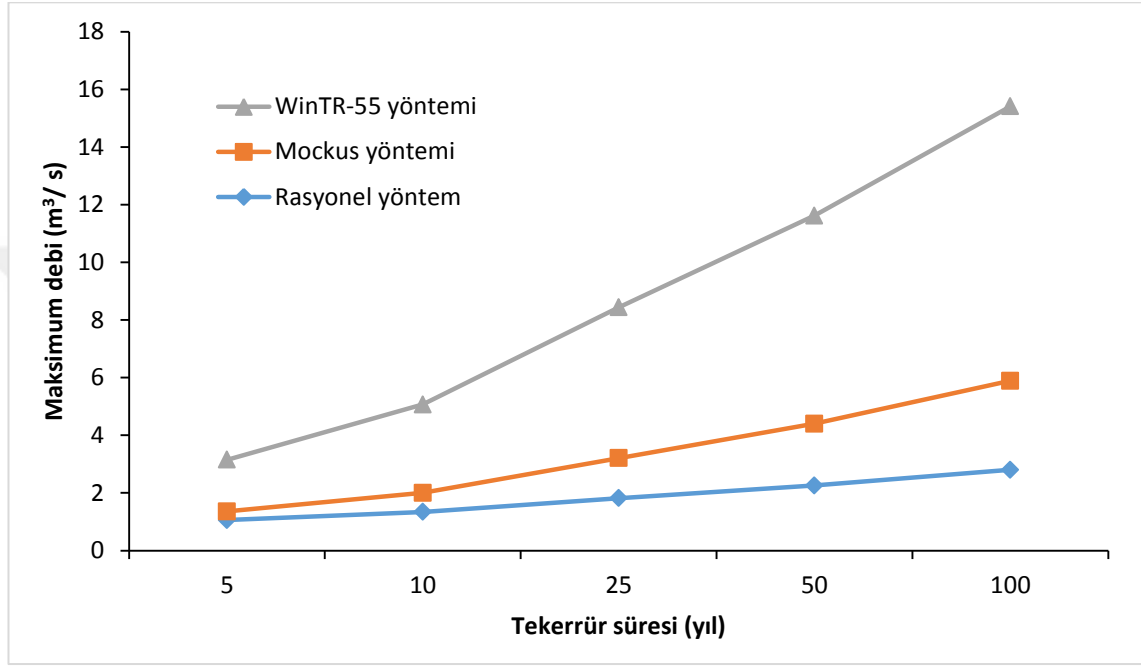


Şekil 4.10. Yenişehir Fethiye Gürgendere Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği



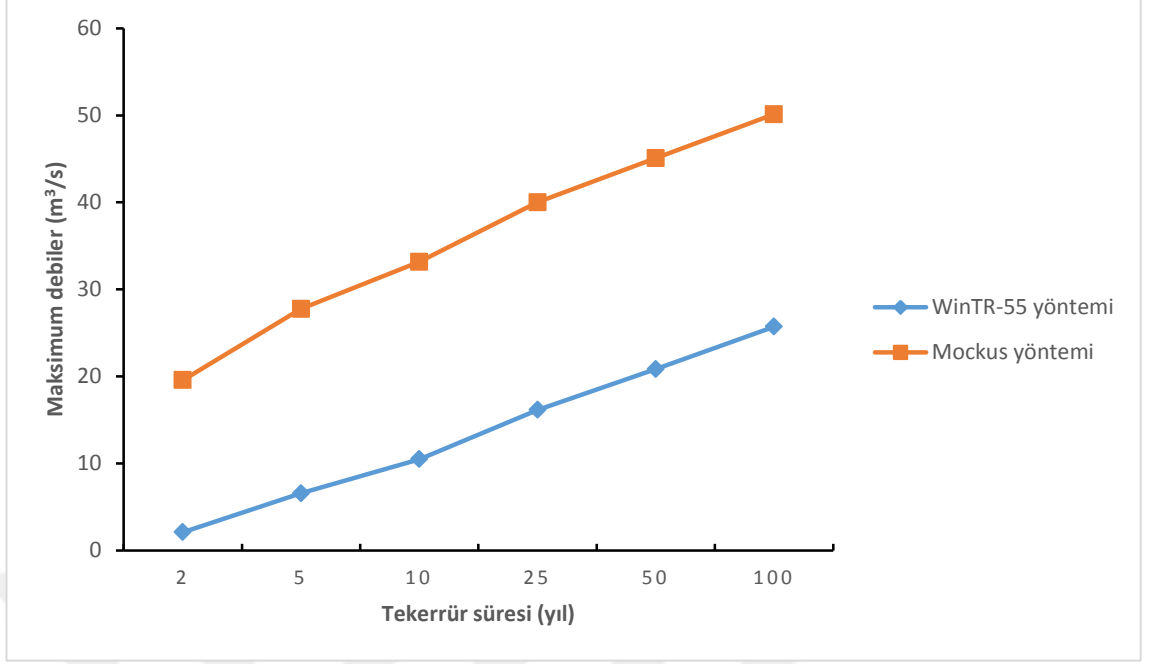
Şekil 4.11. Yenişehir Gökçesu Pınarbaşidere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle D.S.İ sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Keles Sorgun Örendere havzasında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında en yüksek pik debi değerine ulaşırken, Mockus yöntemiyle Rasyonel yöntemin birbirine oldukça yakın sonuçlar ürettiği görülmektedir. Tekerrür süresi arttıkça WinTR-55 modeliyle diğer iki yöntem arasındaki pik debi değer farkları da artmaktadır (Şekil 4.12).



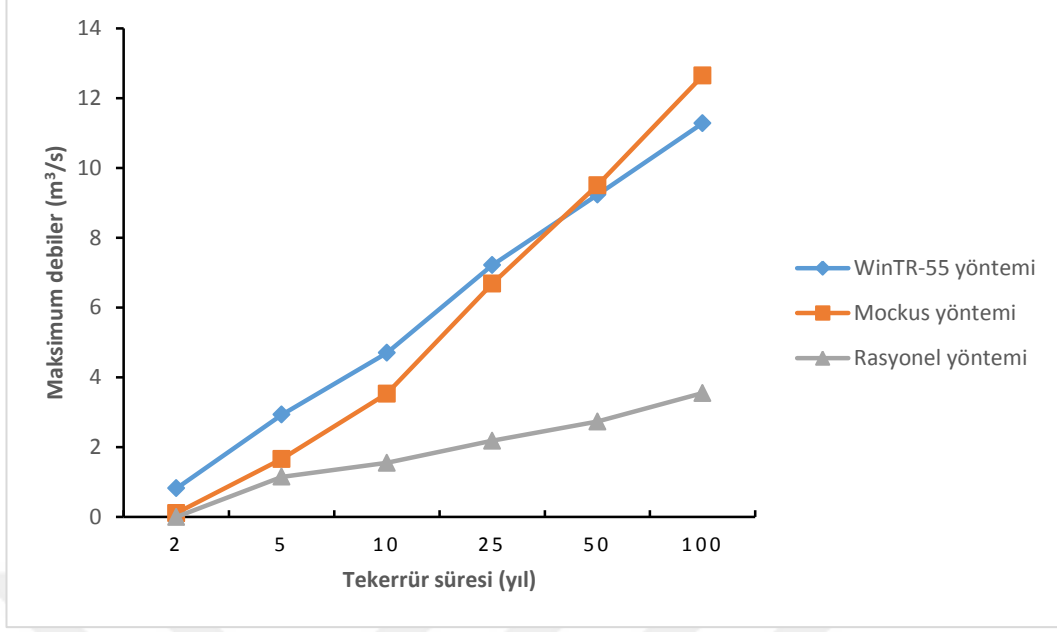
Şekil 4.12. Keles Sorgun Örendere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Kızılcıklıdere havzasında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında Mockus yönteminden daha düşük pik debi değerleri ürettiği görülmektedir (Şekil 4.13).

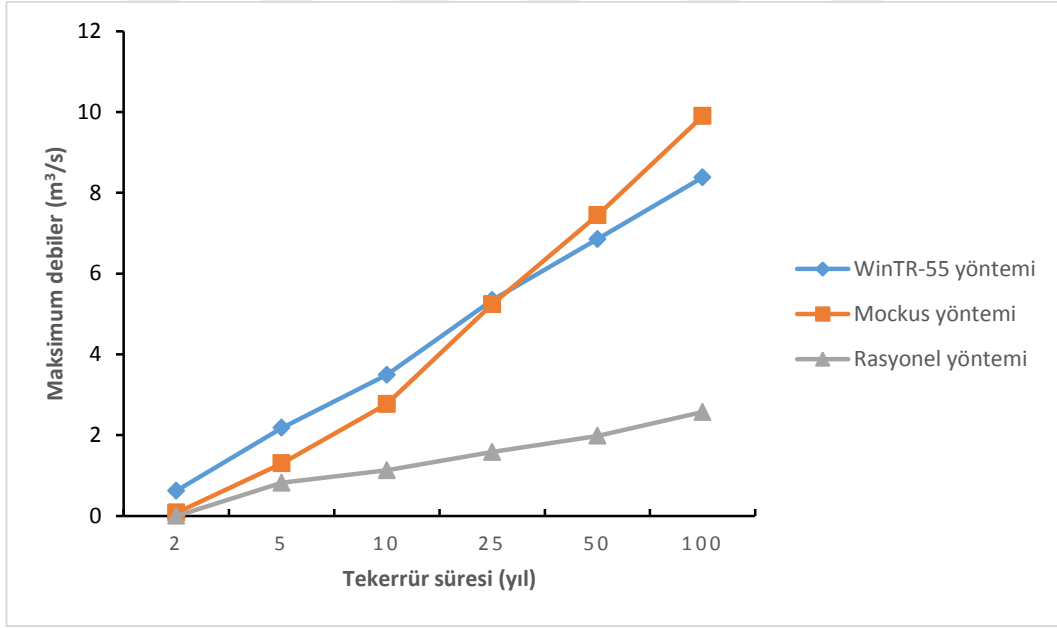


Şekil 4.13. Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Kızılcıklidere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yandere-1 ve Yandere-2 havzalarında, WinTR-55 modelinin düşük tekerrür yıllarında en yüksek pik debi değerleri ürettiği, yüksek tekerrür sürelerinde ise Mockus yöntemi ile Rasyonel yöntemin tahminlediği debi değerleri arasında değerler ürettiği görülmektedir (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).

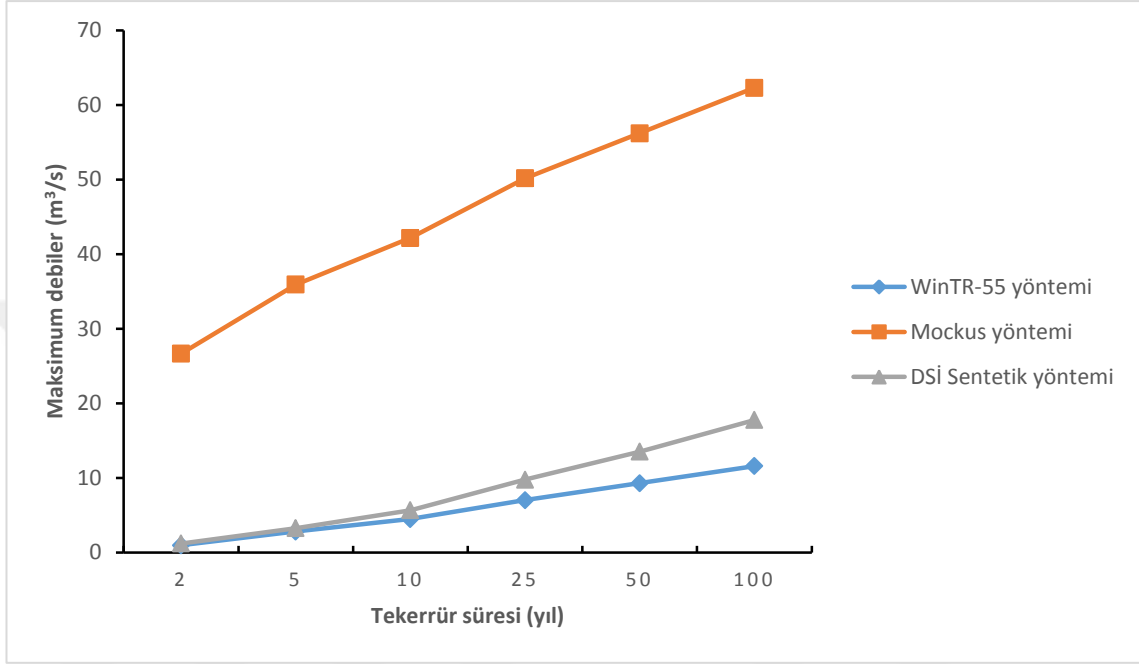


Şekil 4.14. Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yandere-1 havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği



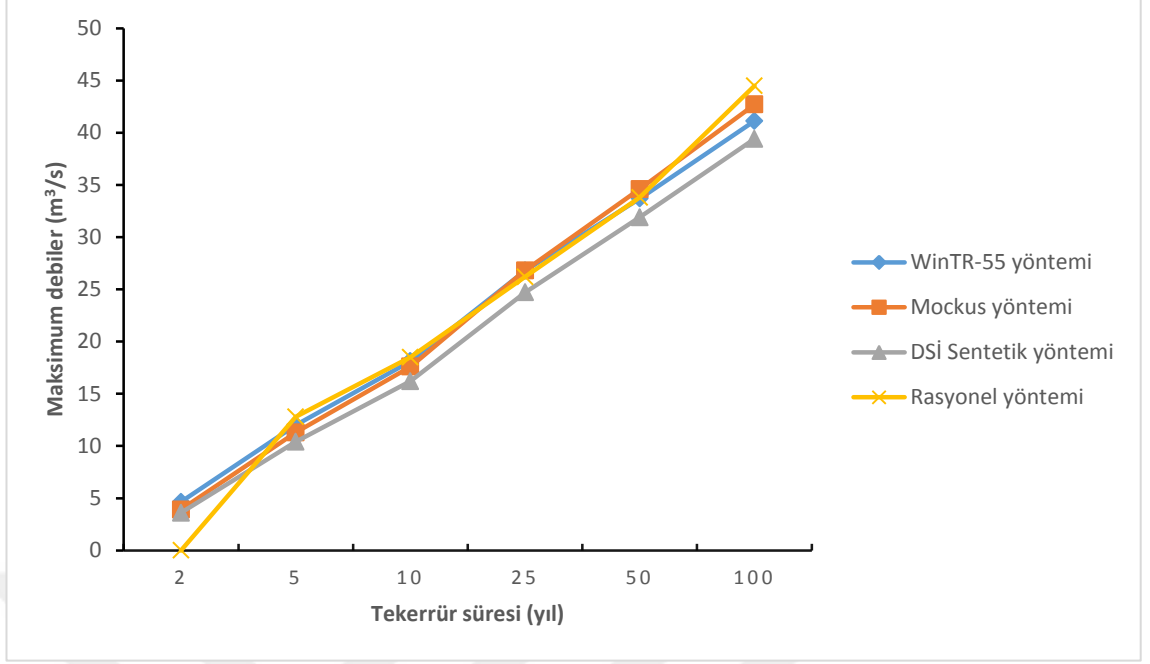
Şekil 4.15. Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yandere-2 havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Gemlik Küçükkuşla Göleti havzasında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında en düşük pik debi değerleri ürettiği ve DSİ Sentetik yöntemiyle ulaşılan sonuçlara oldukça yakın değerlere ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.16).



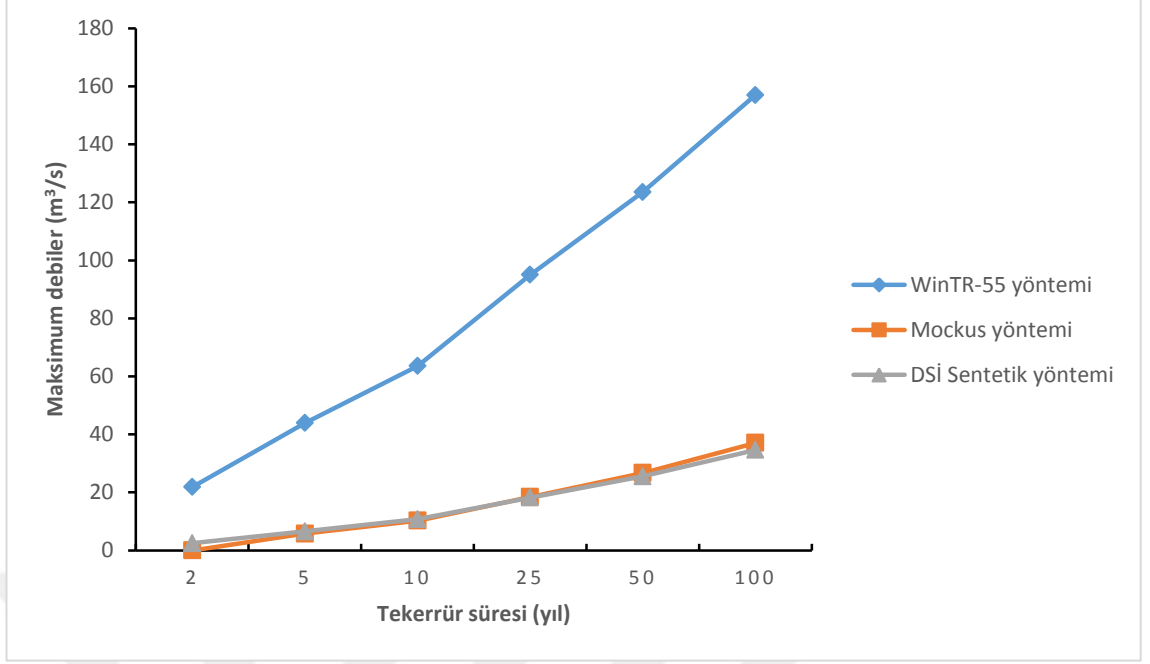
Şekil 4.16. Gemlik Küçükkuşla Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle DSİ Sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere Göleti havzasında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında Mockus, DSİ Sentetik ve Rasyonel yöntemiyle ulaşılan sonuçlara oldukça yakın pik debi değerleri ürettiği görülmektedir (Şekil 4.17).



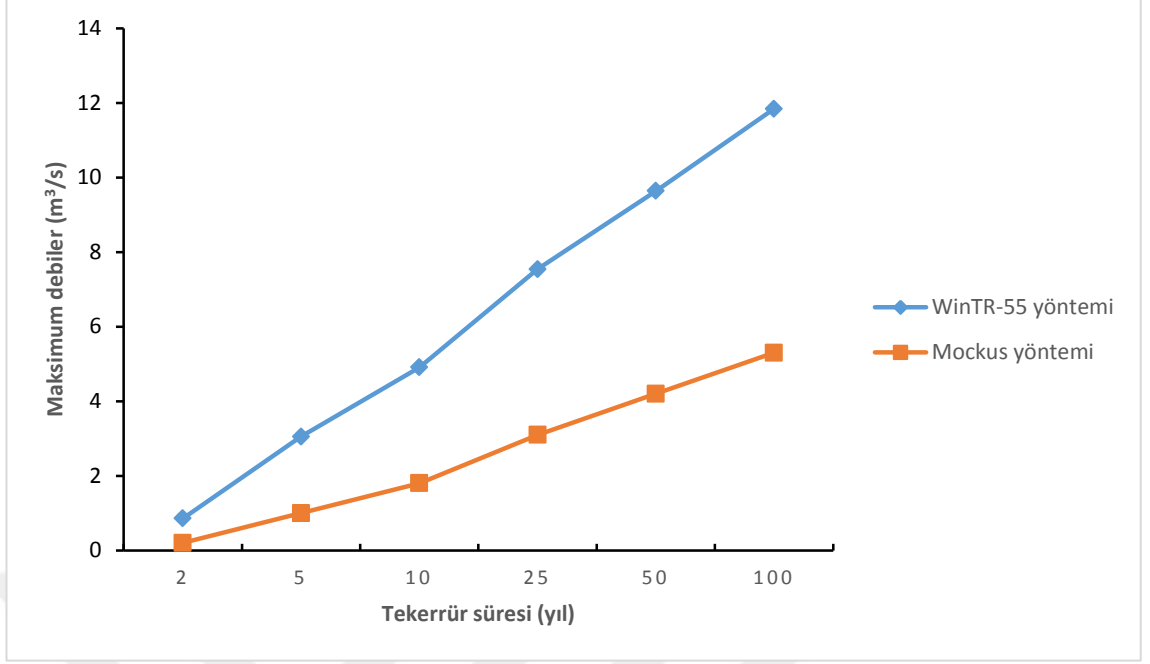
Şekil 4.17. Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle DSİ Sentetik yöntem, Rasyonel yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Osmangazi Güneybayır Göleti havzasında, tüm tekerrür yıllarında Mockus ve DSİ Sentetik yöntemleri birbirlerine oldukça yakın pik debi değerleri üretirken WinTR-55 modelinin bu değerlerden oldukça büyük sonuçlar ürettiği görülmektedir (Şekil 4.18).

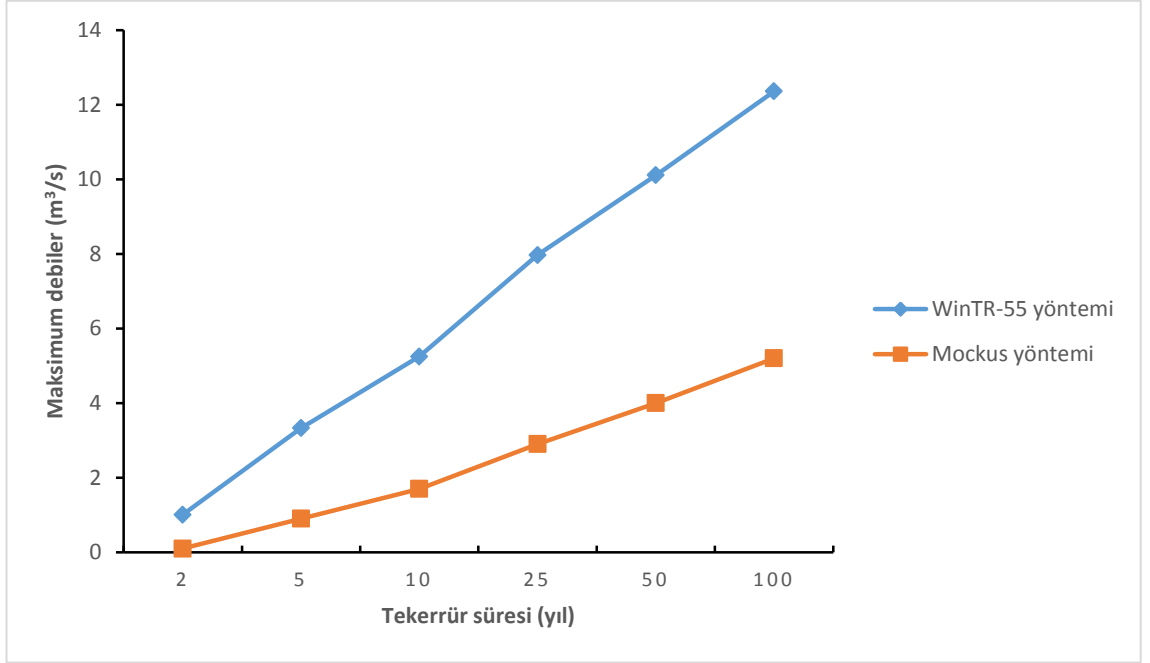


Şekil 4.18. Osmangazi Güneybayır Göleti havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle DSİ Sentetik yöntem ve Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

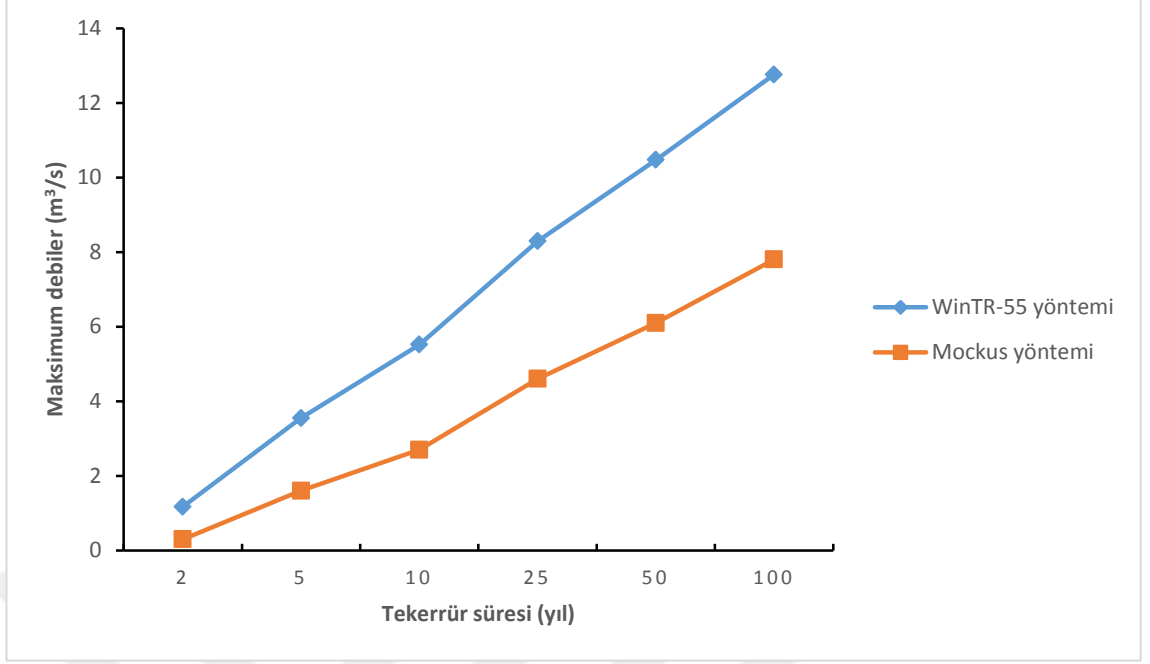
İnegöl Olukman-Tekke Gürgenlikdere, Dalakdere ve Karanlıkdere havzalarında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında Mockus yönteminden daha yüksek pik debi değerleri ürettiği görülmektedir (Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21).



Şekil 4.19. İnegöl Olukman-Tekke Gürgenlikdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

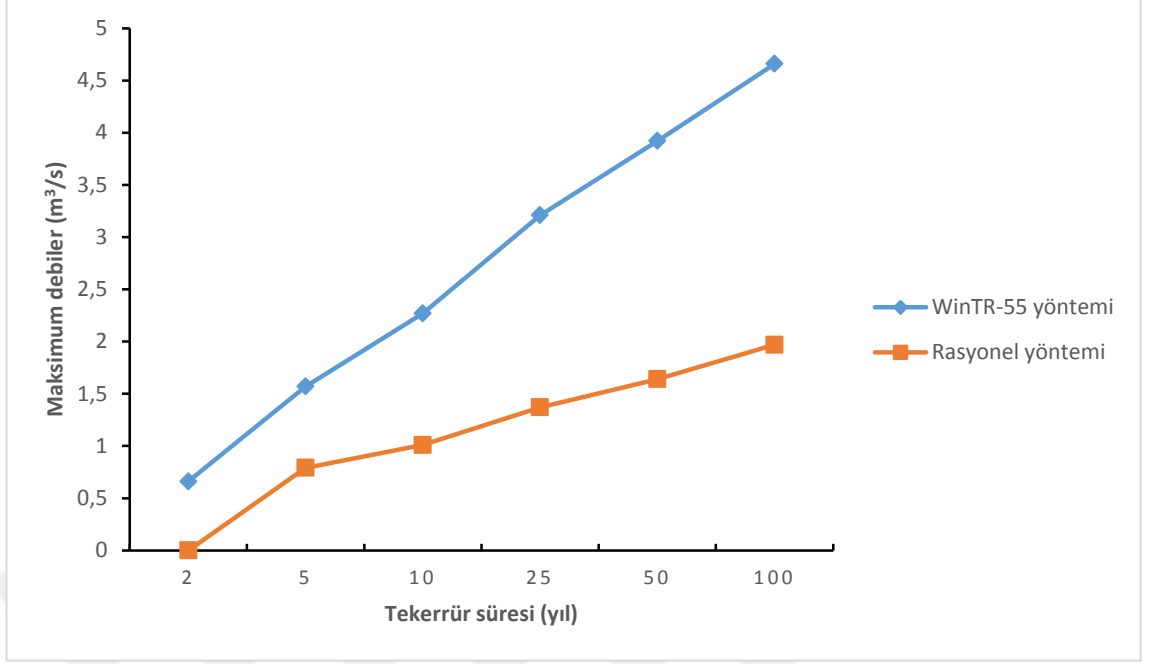


Şekil 4.20. İnegöl Olukman-Tekke Dalakdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

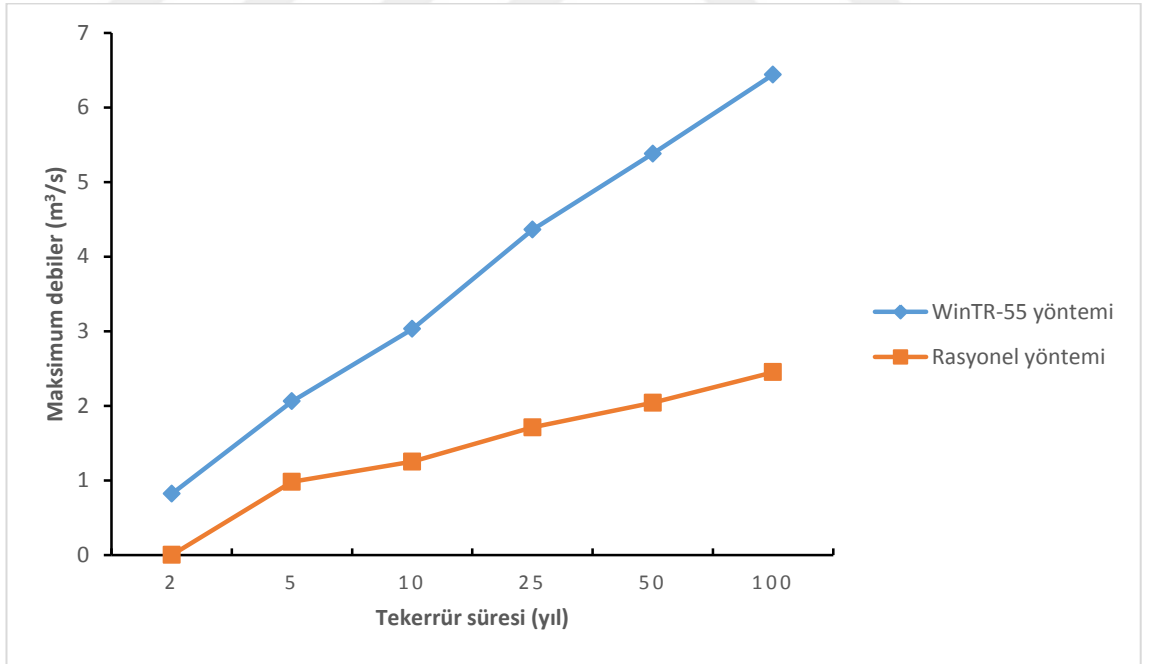


Şekil 4.21. İnegöl Olukman-Tekke Karanlıkdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Mockus yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

Orhaneli Altıntaş Göletyeredere havzasında ve Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere havzasında, WinTR-55 modelinin tüm tekerrür yıllarında Rasyonel yöntemden daha yüksek pik debi değerleri ürettiği sonucuna ulaşılmaktadır. Tekerrür süresi arttıkça yöntemler arasındaki pik debi değerleri farkının da arttığı görülmektedir (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23).



Şekil 4.22. Orhaneli Altıntaş Göletyericidere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği



Şekil 4.23. Büyükorhan Durhasan Sıçanlıkdere havzasında WinTR-55 yöntemiyle modellenen pik debi değerleriyle Rasyonel yöntemi ile hesaplanan debi sonuçlarının karşılaştırma grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

WinTR-55 modelinde havza alanı ve CN değeri arttıkça pik debi değerleri de artmaktadır. Modele girilen 24 saatlik yağış yüksekliği değerleri büyüdükçe pik debi sonuçları da büyümektedir. Aynı şekilde modele girilen BBH nokta değerleri büyüdükçe pik debi sonucu da yine büyümüştür. Modele girilen Tc değeri arttıkça pik debi sonuçları azalmıştır. Sonuç olarak, bulunan pik debi değerleri; modele girilen CN, havza alanı, BBH ve 24 saatlik yağış yüksekliği değerlerinin artışına bağlı olarak yükselirken, Tc değerlerinin artışına bağlı olarak azalmaktadır.

Modelin, yağış şiddeti değerinin sabit olduğu kabulünü yaptığından, kullanıcıların kendi yağış dağılımını oluşturmayıp hazır olan (Tip-II v.b. yağış dağılımı gibi) yağış dağılımları arasından seçim yapmasından, yine kullanıcıların arazinin önceki nem durumunu kendisi tespit etmeyip modelin yaptığı standart AMC tiplerini kullanma zorunluluğundan ve boyutsuz birim hidrografi kendisi belirlemeyip hazır olan BBH seçimi yaptığından diğer yöntemlerin hesapladığı pik debi değerlerinden çok farklı sonuçlara rastlanabilmektedir.

Kestel Ağlaşan-Kayacık Göleti Yan Dere-1 ve Yan Dere-2 havzalarında WinTR-55 modeli, Mockus ve Rasyonel yöntemleri gibi geniş kabul gören yöntemlerin tahminlediği pik debi değerlerinin ortasında pik debiler tahminlemiştir (bkz. Çizelge 4.1).

Gemlik Küçükkumla Göleti havzasında WinTR-55 modelinin tahminlediği pik debi sonuçlarının; tüm tekerrür yıllarında D.S.İ sentetik yöntemi sonuçlarına yakın ve Mockus yönteminin tahminlediği debi sonuçlarından daha düşük değerler alması (bkz. Çizelge 4.1), WinTR-55 modelinin diğer yöntemler gibi kullanımı tercih edilebilecek bir yöntem olduğunu gösterirken, Mockus yönteminin daha yüksek pik debi sonucu bulmaya eğilimli olduğu da dikkat çekmektedir. Mockus yönteminin düşük pik debi değerlerindense yüksek pik debi değerleri bulması, planlama yaparken yetersizliklerle karşılaşılması açısından olumlu bir gelişmedir. Fakat yöntemin bu özelliğinin gölet yapımında maliyeti arttıran bir parametre olduğu da gözardı edilmemelidir.

Tüm yöntemlerin birbirine en yakın sonuçlar ürettiği Karacabey Kocadere Köyü Bayramdere Göleti havzasında DSİ sentetik yönteminin diğer üç yönteme kıyasla hiçbir tekerrür yılında en yüksek pik debi değerine ulaşmadığı (bkz. Çizelge 4.1) görülmektedir.

Büyükorhan Kocadere, İnegöl Çavuşköyü, Yenişehir Fethiye Gürgendere, Yenişehir Gökçesu Pınarbaşidere ve Keles Sorgun Örendere havzalarında tüm tekerrür yıllarındaki en yüksek pik debi değerlerine WinTR-55 modeliyle ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, WinTR-55 modelinin diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek pik debi tahminleme eğiliminde olduğunu göstermektedir (bkz. Çizelge 4.1).

İnegöl Olukman-Tekke havzasının üç alt havzasında da her bir tekerrür yılında WinTR-55 modeli, büyük pik debi belirleme eğiliminde olan Mockus yönteminin tahminlediği sonuçlardan daha yüksek sonuçlar üretmiştir (bkz. Çizelge 4.1).

WinTR-55 model sonuçlarının, diğer yöntemlerle (Mockus, Rasyonel ve DSİ sentetik yöntemi) hesaplanan debilere yakın debi değerleri üretmesinin bir rastlantı olmadığını belirtmek gerekir. Modelin, bazı havzalarda uzak debi değerleri üretmesi de her bir yöntemin farklı konsantrasyon süresi ve pik debi eşitlikleri kullanması ve WinTR-55 modelinin yaptığı kabullere (AMC, yağış dağılımı ve BBH ile ilgili yaptığı kabuller gibi) bağlanabilir. Bir bilgisayar simülasyon modeli olan WinTR-55 ile ampirik eşitliklerden oluşan Mockus, DSİ sentetik ve Rasyonel yöntemlerinin pik debi sonuçlarının karşılaştırılmasına dayanan bu tezde, ampirik eşitliklerde dikkate alınmamış olan yağış dağılımı tipi ve arazinin önceki nem durumu gibi parametrelerin WinTR-55 bilgisayar simülasyon modelinde hesaba katılması nedeniyle diğer ampirik yöntem sonuçlarından çok farklı pik debi sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuç olarak daha çok parametreyi bünyesinde barındırdığı için WinTR-55 modelinden elde edilen pik debi sonuçlarına güvenilmesi gerektiği söylenebilir.

Sönmez ve ark. (2012)'nin oluşturduğu tablolara paralel olarak havza çıkışında oluşan pik debiyi etkileyebilecek faktörler arasında düşünülen havzanın alanı, eğimi ve yağış yüksekliği gibi parametrelerden en etkili olanının yağış yüksekliği olduğu düşünülmektedir. Çünkü; taşkının büyüklüğünün kaynağını birincil derecede doğrudan

yağışlar oluşturmaktadır, havzanın alanı ve eğimi gibi fiziksel özelliklerinin ikincil derecede bir etkiye sahip olup taşkın etkisini artırıcı veya azaltıcı yönden etkilediği değerlendirilmektedir. Havza alanının mı yoksa eğiminin mi taşkın debisini daha çok etkilediği değerlendirilirse; daha geniş alanlardan yağışı toplayacağı için havza alanının büyük olması havza eğiminin etkisinden daha büyük bir etkiye sahip olabileceği yorumu yapılabilir. Toprağın önceki nem durumunun ve toprağın fiziksel özelliklerinin de dikkate alınması durumunda yorum yapmak iyice zorlaşmaktadır.

WinTR-55 modeli, Bursa'daki bazı gölet havzalarında Rasyonel ve DSİ sentetik yöntemleri bulgularına oldukça yakın sonuçlar üretse de genel itibarıyla değerlendirildiğinde diğer pik debi belirleme yöntemlerinin sonuçlarından daha büyük değerler elde etme eğiliminde olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu nedenle, modelin gölet havzalarında kullanılması gölet yapım maliyetlerini arttıracığı düşünülmektedir. İleriki yıllarda küresel iklim değişikliği nedeniyle öngörülemez taşkınların artabileceği düşünüldüğünde, tarım arazilerinin taşkından korunması hususunda garantici bir model olarak değerlendirilen WinTR-55 model sonuçlarına güvenilmesinin daha büyük faydalar sağlayacağı beklenmektedir.

Yöntemlerin kullandıkları formül parametreleri kıyaslandığında en çok parametreye sahip olan yöntem formülasyonuna WinTR-55 modelinin sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle, daha çok değişkeni dikkate alarak gerçeğe daha yakın sonuç çıkarabilme potansiyelinin WinTR-55 modelinde olduğu düşünülmektedir.

WinTR-55 modelinin az kullanılmasının sebebinin, ölçülmüş değerlere yakın sonuç tahminleyememesinden ziyade küçük havzalara yönelik bir model olmasının yanı sıra sadece yüzey akış sonucunu bulmaya yönelik bir model olması olarak düşünülmektedir.

WinTR-55 modelinin kalibrasyonu ve doğrulaması yapılarak model daha kullanışlı hale getirilebilir. Ayrıca modele bir CBS arayüzü eklenebilir. WinTR-55 modeline farklı tekerrür periyotlarındaki 24 saatlik yağış miktarları değerini kendisi hesaplayabilecek bir alt modül eklenebilir. Model, kendi içinde yüzey akış hacmini hesaplayarak yüzey akış pik debisini belirlemektedir, yüzey akış hacim miktarı sonuçlarını da ayrı bir pencerede göstermesi WinTR-55 modeline eklenecek başka bir yenilik olacaktır.

KAYNAKLAR

Abdollahzadeh moradi, Y. 2012. Karun (İran) üst havzası'nda taşkın analizi. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Abhishek, K. 2008. Hydrological modelling using TOPMODEL in Karso watershed. *MSc Thesis*, Indian Institute of Remote Sensing (NRSA) Andhra University, Water resources division, Dehraduan / Hindistan.

Acıman, S. 2008. Determination of runoff coefficient of basins by using geographic information systems. *MSc Thesis*, Graduate school of natural and applied sciences of Middle East Technical University, Geodetic and geographic information technologies, Ankara.

Aksu, N. 2007. Hurman çayı havzasında sedimantasyonun ampirik yöntemlerle tahmini. *Yüksek lisans tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.

Anlı, A. S., Apaydın, H., Yürekli, K. 2008. Samsun ilinde gözlenen ekstrem yağışların gösterge taşkın yöntemi ile bölgeselleştirilmesi, Sel, taşkın ve heyelan konferansları, 24-25 Temmuz 2008, DSİ Genel Müdürlüğü 7. Bölge Müdürlüğü, Samsun.

Anonim, 2004. WinTR-20 user guide. USDA NRCS.

Anonim, 2007. MIKE SHE user manual. DHI, Volume 2, http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/WRS/MIKE_SHE_ReferenceGuide.pdf - (Erişim tarihi:22.12.15)

Anonim, 2014. Taşkınlar hidrolojisi tasarım rehberi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Rehber no: 008 rev.01, Ankara.

Anonim, 2015a. Hidrolojik modeller.

<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12956.pdf> - (Erişim tarihi: 21.12.2015).

Anonim, 2015b. Rainfall runoff modeling for a small urbanizing sub-watershed in the upper Delaware river basin. Alyssa Lynd Shippensburg University,

<https://www.ship.edu/uploadedFiles/Ship/Geo->

[ESS/Graduate/Exams/lynd_answer_140409.pdf](https://www.ship.edu/uploadedFiles/Ship/Geo-ESS/Graduate/Exams/lynd_answer_140409.pdf) - (Erişim tarihi: 22.12.2015)

Anonim, 2015c. Using the WEPP model to predict sediment yield in a sample watershed in Kahramanmaraş region.

http://www2.dsi.gov.tr/english/congress2007/chapter_3/73.pdf - (Erişim tarihi: 22.12.2015)

Apaydın, H., Öztürk, F. 2003a. Hidrolojik modeller, 2. ulusal sulama kongresi, 16-19 Ekim 2003, Pine bay holiday resort kuşadası, Aydın.

Apaydın, H., Öztürk, F. 2003b. Yüzey akış ve sediment modellerinin coğrafi bilgi sistemi yardımıyla uygulanması. *Tarım bilimleri dergisi*, 9 (4): 381-389.

Apaydın, H., Anlı, A. S., Öztürk, A. 2006. The temporal transferability of calibrated parameters of a hydrological model. *J. Elsevier*, 195: 307-317.

Apaydın, H., Öztürk, F. 2010. Performance evaluation of AGNPS model on steep slopes by means of GIS, Water Observation and Information System for Decision Support, 25-29 Mayıs 2010, Ohrid / Macedonia.

Aşık, Ş., Akkuzu, E., Karataş, B. S. 2004. Gediz havzası akarsuları yıllık toplam akımlarına en uygun olasılık dağılım modelinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(3): 177-184.

Bakanoğulları, F. 2008. Damlıca deresi havzası yağış ve akım karakteristikleri, Atatürk Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kırklareli, 110ss.

Bakir, M., Xingnan, Z. 2008. GIS-based hydrological modeling: A comparative study of HEC-HMS and the Xinanjiang model, Twelfth international water technology conference, 2008, Alexandria / Egypt.

Bayazit, M. 2011. Hidroloji, Birsen yayınevi, İstanbul, 220ss.

Baysal, Ö. A. 1995. Kocadere Köyü Bayramdere Göleti Mühendislik Hidrolojisi Raporu. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bursa.

Biçkici, F. 2010. Bursa–Keles–Sorgun göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2011a. Bursa–Büyükorhan–Durhasan göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2011b. Bursa–Orhaneli–Altıntaş göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2011c. Bursa–Yenişehir–Fethiye göleti hidroloji raporu. T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2011d. Bursa–Yenişehir–Gökçesu göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2012a. Bursa–İnegöl–Çavuşköyü göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2012b. Bursa–Kestel–Ağlaşan/Kayacık göleti hidroloji planlama raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2013a. Bursa–Gemlik–Küçükkumla göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2013b. Bursa–İnegöl–Olukman/Tekke göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2013c. Bursa–Osmangazi–Güneybayır göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Biçkici, F. 2014. Bursa–Büyükorhan–Kocadere göleti hidroloji raporu. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa.

Bircan, H., Karagöz, Y., Kasapoğlu, Y. 2003. Ki-kare ve Kolmogorov Smirnov uygunluk testlerinin simulasyon ile elde edilen veriler üzerinde karşılaştırılması. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 4 (1): 69-80.

Bouabid, R., Elalaoui, A. C. 2010. Impact of climate change on water resources in Morocco: The case of Sebou Basin. *Options Mediterraneennes*, <http://om.ciheam.org/om/pdf/a95/00801325.pdf> - (Erişim tarihi: 23.04.2016).

Can, İ., Yerdelen C., Kahya, E. 2008. Çoruh havzasındaki eksik akım verilerinin yapay sinir ağları metodu ile tahmin edilmesi, 5. dünya su forumu Türkiye bölgesel hazırlık toplantıları taşkın, heyelan ve dere yataklarının korunması konferansı, 7-8 Ağustos 2008, DSİ XXII. bölge müdürlüğü, Trabzon.

Cecilio, R. A., Rodriguez, R. G., Baena, L. G. N., Oliveira, F. G., Pruski, F. F., Stephan, A. M., Silva, J. M. A. 2004. Analysis of the RUSLE and WEPP models for a small watershed located in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil, 13. International Soil Conservation Organisation Conference, July 2004, Brisbane.

Çelik, H. E. 2012. Sel kontrolunda hidroloji, ÇEM sel kontrolu semineri, 15-17 Şubat 2012, Afyonkarahisar.

Demissie, M., Akanbi, A. A., Khan, A. 1997. Hydrologic modeling of landscape functions of wetlands. Research report 125 State of Illinois (12-97-100), Illinois.

Dinor, J., Zakaria, N. A., Abdullah, R., Ghani, A. A. 2007. Deforestation effect to the runoff hydrograph at Sungai Padas catchment, 2. International Conference on Managing Rivers in the 21. Century, June 6-8 2007, Sarawak, Malaysia.

Ebrahimpour, M., Balasundram, S. K., Talib, J., Anuar, A. R., Memarian, H. 2011. Accuracy of GeoWEPP in estimating sediment load and runoff from a tropical watershed. *Malaysian Journal of Soil Science*, 15: 25-33.

Esparza, E. S., Granados, A. O., Dominguez, A. C., Plata, J. A. S. M. 2007. Geospatial modeling for a surface hydrology analysis in the west part of the Sierra de Juarez, Chihuahua, Mexico, Session 18 of the UCOWR Conference, 25 July 2007, Southern Illinois University Carbondale, Illinois.

Fitri, A., Hasan, Z. A., Ghani, A. A. 2011. Determining the effectiveness of Harapan Lake as flood retention pond in flood mitigation effort, International Conference on Environmental and Computer Science, Singapore.

Flanagan, D. C., Livingston, S. J. 1995. WEPP user summary. USDA-ARS-MWA, Report no: 11, Version 95.7 user suumary, West Lafayette.

Gajbhiye, S., Mishra, S. K., Pandey, A. 2013. Effects of seasonal/monthly variation on runoff curve number for selected watersheds of Narmada basin. *International journal of environmental sciences*, 3 (6): 2019-2030.

Garday, T., Pugh, A. 2006. A geomorphic evaluation with calibrated hydraulic and hydrologic modeling of the Hop Brook watershed in Massachusetts, 8. Federal Interagency Sedimentation Conference, April 2-6, Reno, USA.

Gürer, İ., Öncü, M. 2011. Yağış akış modellemesi (IHACRES); Konya kapalı havzası, Kozanlı ve Samsam gölleri havzası örneği, II. Su yapıları sempozyumu, 16-18 Eylül 2011, Diyarbakır.

Haan, C. T., Barfield, B. J., Hayes, J. C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic press, San Diego, CA.

Haltaş, İ., Alkan, E. 2013. Türkiyede taşkın tehlike haritalandırma çalışmaları için gerekli veri ve teknik altyapının mevcudiyeti, mahiyeti, yaygınlığı ve erişimi. TÜBİTAK-111Y281 nolu araştırma projesi inceleme değerlendirme raporu, Gaziantep.

Hassan, Z., Shamsudin, S., Harun, S. 2013. Runoff modelling in northern peninsular Malaysia using ANN, April 2013.

Huffman, R. L., Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., Workman, S. R. 2013. Soil and water conservation engineering, American society of agricultural and biological engineers (ASABE), Michigan, 515 ss.

Jamaluddin, A. F., Hasan, Z. A., Ghani, A. A. 2011. The impact of campus development on the flash flood potential: A case study at watershed USM main campus, Pulau Pinang, Malaysia, 3. International conference on managing rivers in the 21. Century: Sustainable solutions for global crisis of flooding, pollution and water scarcity.

Kang, M. S., Goo, J. H., Song, I., Chun, J. A., Her, Y. G., Hwang, S. W., Park, S. W. 2013. Estimating design floods based on the critical storm duration for small watersheds. *Journal of Hydro-environment Research*, 7: 209-218.

Karahan, H., Özkan, E. 2013. Ege bölgesi standart süreli yıllık maksimum yağışları için en uygun dağılımlar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (3): 152-157.

Karaş, E. 2005. Küçükölçekli ve Güvenç havzalarının su ve sediment verimlerine göre sürdürülebilir yönetimi. *Doktora tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Ankara.

Kaya, B., Ülke, A. 2012. Kinematik dalga modelinin DQM ile çözümü ve Sütçüler taşkını örneği. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 374: 5869-5884.

Keskin, F. 2007. Hydrological model study in yuvacık dam basin by using GIS analysis. *Yüksek lisans tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve coğrafi bilgi teknolojileri, Ankara.

Keskiner, A. D. 2008. Farklı olasılıklı yağış ve sıcaklıkların CBS ortamında haritalanmasında uygun yöntem belirlenmesi ve M. Turc yüzey akış haritasının geliştirilmesi: Seyhan havzası örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.

Kırnak, H. 2002. Comparison of erosion and runoff predicted by WEPP and AGNPS models using a geographic information system. *Turk J. Agric for*, 26: 261-268.

Krysanova, V., Wechsung, F., Arnold, J., Srinivasan, R., Williams, J. 2000. SWIM (Soil and Water Integrated Model) user manual. USDA ARS, Version: SWIM-8, Temple/ TX/ USA.

Kumanlıoğlu, A. A., Fıstıkoğlu, O. 2011. Kavramsal bir hidrolojik modele yapay zeka entegrasyonu ve model performanslarının Gediz nehri havzasında irdelenmesi. Devlet Su İşleri, DSİ Teknik bülteni Sayı: 111, Ankara.

Kumanlıoğlu, A., Fıstıkoğlu, O. 2015. Gördes havzası günlük akımların modellenmesi, VIII. Ulusal hidroloji kongresi, 08-10 Ekim 2015, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

Leon, L. F., George, C. 2011. Map Window interface for AGNPS (MWAGNPS). <http://www.waterbase.org/docs/MWAGNPS%20Setup.pdf> - (Erişim tarihi: 03.01.2016).

Maidment, D. R. 2005. Hydrologic information system status report CUAHSI.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., Folly, A.J.V. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide. Silsoe College Cranfield University, Version 3.6, Silsoe / United Kingdom.

Muhammad, J., Khan, G. D. 2015. WinTR-20 application using statistical approaches for long term prediction of peak runoff rates in smaller watersheds of Pakistan. *Hydrology Current Research*, 6 (1).

Nobert, J., Kongo, S. M., Magoma, D., Robert, B., Musabyimana, J. C., Elshamy, M., Elbelasy, M., Yousif, N., Babikir, I. A. A., Haguma, D., Moges, S. A., Ambaye, E. B. 2010. Sediment yield modelling using SWAT in tropical region “Cases of Rugezi, Koka reservoir, Simiyu and Pangani catchment in Rwanda, Ethiopia, Tanzania”, Cairo / Egypt, 33 pp.

Ogunlela, A. O. 2011. Towards God’s own watershed, library and publications committee university of Ilorin, Ilorin / Nigeria, 58 pp.

Oğuz, İ., Yürekli, K., Öztürk, F. 2010. Tokat Uğrak havzası günlük akımlarının modellenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3 (1): 7-11.

Oogathoo, S. 2006. Runoff simulation in the Canagagigue creek watershed using the MIKE SHE model. *MSc Thesis*, Department of bioresource engineering faculty of agricultural and environmental sciences McGill University, Montreal / Canada.

Owens, K. J. 2009. Hydraulic modeling to inform stream maintenance strategies in South Carolina. *MSc Thesis*, Graduate School of Clemson University, Department of Biosystems Engineering.

Öztürk, F., Apaydın, H. 1997. Açık drenaj kanalı proje debisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması, 6. Ulusal Kültürteknik Kongresi, 5-8 Haziran 1997, Bursa.

Öztürk, F., Sönmez, F. K., Yıldırım, Y. E., Bayramın, İ., Apaydın, H., Karış, E. 2003a. Kurukavak deresi havzasında yüzey akış ve sediment miktarının AGNPS modeli ile tahmini. *Tarım bilimleri dergisi*, 9 (3): 344-351.

Öztürk, M., Kaya, N., Aşkan, A. H. 2003b. Menfezlerin projelendirilmesinde kullanılan taşkın hesap metotlarının değerlendirilmesi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 167-171.

Pektaş, A. O. 2012. Büyük havzalarda akış katsayısının hesaplanması. *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Refsgaard, J. C. 2007. Hydrological modelling and river basin management. *PhD Thesis*, Faculty of Natural Science at the University of Copenhagen, Kopenhagen.

Roberts, R., Lea, J., Foreman, L., Moody, H.F., Quan Q.D., Merkel, W., Visser, K., Hoefft, C., McNeill, A., McClung, J., Funderburk, T., Werner, J., Cronshey, R., Woodward, D. 2009. Small Watershed Hydrology Win Tr 55 User Guide. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service Conservation Engineering Division, USA.

Robichaud, P. R., Elliot, W. J., Pierson, F. B., Hall, D. E., Moffet, C. A., Ashmun, L. E. 2007. Erosion Risk Management Tool (ERMiT) user manual (version 2006.01.18). United States Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station, No: general technical report RMRS-GTR-188, 2150 Centre Avenue, Building A Fort Collins.

Ross, M. A., Tara, P. D., Geurink, J. S., Stewart, M. T. 1997. FIPR hydrologic model users manual and technical documentation. University of South Florida center for modeling hydrologic and aquatic systems (USF -CMHAS), Tampa / Florida.

Saf, B., Bacanlı, Ü. G. 2015. Akım gözlem istasyonlarının taşkın ölçümlerinin olasılık dağılımları. <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11137.pdf> - (Erişim tarihi: 22.12.15)

Schroeder, P. R., Dozier, T. S., Sjostrom, J. W., McEnroe, B. M. 1994. The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model. U.S. Army Corps of Engineers - Waterways Experiment Station, Version 3, Cincinnati / Ohio.

Solaimani, K. 2009. Rainfall-runoff prediction based on artificial neural network (A case study: Jarahi watershed). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 5 (6): 856-865.

Sönmez, O., Öztürk, M., Doğan, E. 2012. İstanbul derelerinin taşkın debilerinin tahmini. *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*. 16 (2): 130-135.

Sukwimolseree, T., Kosa, P. 2014. The relationship between land use change and runoff. *World academy of science, engineering and technology international journal of environmental, ecological, geological and geophysical engineering*, 8(6): 421-424.

Sutjiningsih, D., Soeryantono, H., Anggraheni, E. 2015. Estimation of sediment yield in a small urban ungauged watershed based on the Schaffernak approach at Sugutamu watershed, Cılıwung, West Java. *International Journal of Technology*, 5: 809-818.

Şen, Z. 2009. İklim değişikliği içerikli taşkın afet ve modern hesaplama yöntemleri, Su vakfi yayınları, İstanbul, 252 ss.

Şorman, A. Ü. 2004. Bölgesel frekans analizindeki son gelişmeler ve Batı Karadenizde bir uygulama. *İMO Teknik Dergi*, 212: 3155-3169.

Tuna, M. C. 2011. Fırat üniversitesi kampüs alanından geçen Çalgan deresinin yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (1): 107-113.

Usul, N. 2001. Engineering hydrology, ODTÜ geliştirme vakfi yayıncılık ve iletişim A.Ş., Ankara, 404 ss.

Wheater, H., El-Weshah, R. A. 2002. Hydrology of wadi systems. UNESCO, No: 55, Paris.

Wolfe, D. L. 2006. Hydrology manual, Los Angeles county department of public Works, California, 145 pp.

Xu, C. 2002. Hydrologic models, Uppsala, Sweden.

Yavuz, M. 2011. Planlama çalışmalarında su temini ve bitki su ihtiyaçlarının hesaplanması, taşkın hesapları ve işletme çalışmalarının yapılması, Etüd ve plan dairesi başkanlığı planlama semineri, Kasım 2011, Şanlıurfa.

Yener, M. K. 2006. Semi-distributed hydrologic modeling studies in Yuvacık basin. *Yüksek lisans tezi*, Graduate school of natural and applied sciences of Middle East Technical University, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Yılmaz, H., Tombul, M. 2015. Akarçay havzası için entegre su kaynakları yönetiminin belirlenmesinde WEAP (Water Evulation And Planning) modelinin uygulanması, VIII. Ulusal hidroloji kongresi, 08-10 Ekim 2015, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

Yuan, Y., Qaiser, K. 2011. Floodplain modeling in the Kansas river basin using Hydrologic Engineering Center (HEC) models. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), EPA/600/R-11/116, October 2011, Washington.

Yurtal, R. 2015. Akım ölçümleri. Çukurova Üniversitesi, <https://www.google.com.tr/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#safe=active&q=ak%C4%B1m+%C3%B6l%C3%A7%C3%BCmleri+recep+yurtal> - (Erişim tarihi: 21.12.2015).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çayan ALKAN
Doğum Yeri ve Tarihi :BURSA,1990
Yabancı Dili :İNGİLİZCE

Eğitim Durumu:

Lise :YILDIRIM NURİ ERBAK LİSESİ,2007
Lisans :ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, 2013

Çalıştığı Kurumlar ve Yılı:

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi 2014-ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ 2015- ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ

İletişim (e-posta): cayanalkan@uludag.edu.tr

cayan.alkan@bilecik.edu.tr

