



**KARABÜK BULAK HAVZASINDA EN UYGUN
SENTETİK BİRİM HİDROGRAF YÖNTEMİNİN
BELİRLENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

Sayed Abdul Matin HASHEMI

**Tez Danışmanları
Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Törehan BABACAN**

**KARABÜK BULAK HAVZASINDA EN UYGUN SENTETİK BİRİM
HİDROGRAF YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ**

Sayed Abdul Matin HASHEMI

Tez Danışmanları

Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Törehan BABACAN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Temmuz 2023

Sayed Abdul Matin HASHEMI tarafından hazırlanan “KARABÜK BULAK HAVZASINDA EN UYGUN SENTETİK BİRİM HİDROGRAF YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/07/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Ertuğrul ESMERAY (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ercan GEMİCİ (BARÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Sayed Abdul Matin HASHEMI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARABÜK BULAK HAVZASINDA EN UYGUN SENTETİK BİRİM HİDROGRAF YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Sayed Abdul Matin HASHEMI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Törehan BABACAN

Temmuz 2023, 74 sayfa

Bu çalışma, Snyder, SCS, DSİ Sentetik, Mockus, Nakayasu ve Gama sentetik birim hidrograf metotları ile Karabük Bulak havzasının birim hidrografını elde etmeyi ve en uygun sentetik metodun tespitini amaçlamıştır. Elde edilen sentetik birim hidrografların doğruluğu, havzada 10-11 Ağu. 2021 tarihlerinde meydana gelen sağanak yağışın kaydı ve bu yağışın oluşturduğu akış görüntüleri kullanılarak kontrol edilmiştir. Havza çıkışında farklı zamanlarda gerçekleştirilen seviye ve debi ölçümleriyle seviye-debi regresyon ilişkisi kurulmuştur. Bu regresyon denklemi kullanılarak, resimlerde elde edilen seviyelere karşılık gelen debi değerleri tahmin edilmiştir. Ancak, yapılan tahminin yüksek akım seviyelerinde doğru sonuçlar vermediği anlaşılmıştır. Bu nedenle, akış görüntüleri kullanılarak Manning denklemi yardımıyla oluşan akış debileri hesaplanmıştır. Ayrıca, her bir sentetik yöntem için bu yağış kayıtları kullanılarak beklenen akış hidrografları oluşturulmuş ve Manning

denklemlerinden elde edilen akış değerleriyle karşılaştırılarak sentetik yöntemler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, DSİ sentetik ve Mockus yöntemi en az farkla debi tahmininde bulunmuştur. Gözlenmiş olan pike ulaşma süresinin sentetik metotlarla yeterli doğrulukta tahmin edilemediği ancak beklenen pike ulaşma süresini, sentetik metotların daha kısa vermesi sebebiyle oluşabilecek taşkınlarda daha ihtiyatlı tahmin yapılmasına olanak verdiği görülmüştür. Elde edilen havzanın birim hidrografı, hidrolojik tasarımında su akışı ve taşkın risklerinin değerlendirilmesi, taşkın tahminlerinin yapılması, su kaynaklarının yönetimi, afet önleme çalışmalarında erken uyarı sistemleri ve hidrolojik süreçlerin analiz edilmesi gibi alanlarda katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler : Sentetik birim hidrograf, Snyder, SCS, DSİ sentetik, Nakayasu, Mockus, Gama, Bulak havzası.

Bilim Kodu : 91106

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OBTAINING THE UNIT HYDROGRAPH OF KARABUK BULAK STREAM

Sayed Abdul Matin HASHEMI

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisors:

Assist. Prof. Dr. Fatih SAKA

Assist. Prof. Dr. Hasan Törehan BABACAN

Temmuz 2023, 74 pages

This study aims to determine the optimal synthetic unit hydrograph method for the Karabük Bulak Basin. The Snyder, SCS, DSİ Synthetic, Mockus, Nakayasu, and Gamma methods were utilized for this purpose. The accuracy of the obtained synthetic unit hydrographs was verified by comparing them with rainfall records and flow images from a heavy rainfall event that occurred on August 10-11, 2021, in the basin. A stage-discharge relationship was established at the basin outlet through level and discharge measurements conducted at different times. Using this regression equation, discharge values corresponding to the obtained levels in the images were estimated. However, it was observed that the predictions did not yield accurate results at high flow levels. Hence, flow discharges resulting from the Manning equation were calculated using flow images. Additionally, expected flow hydrographs were generated for each synthetic method using the rainfall records, and a comparison was made among the synthetic methods by comparing the flow values obtained from the

Manning equations. The comparison revealed that the DSI Synthetic and Mockus methods provided the closest estimations of discharge, albeit with a small margin. Although the time to reach the observed peak was not accurately predicted by the synthetic methods, the fact that the synthetic methods yielded shorter expected peak arrival times allows for more cautious estimations in potential flood events. The obtained unit hydrograph of the basin is expected to contribute to various areas such as hydrological design for assessing water flow and flood risks, flood prediction, water resources management, early warning systems for disaster prevention, and analysis of hydrological processes.

Key Word : Synthetic unit hydrograph, Snyder, SCS, DSI synthetic, Nakayasu, Mockus, Gama, stage-discharge relationship, Bulak Basin.

Science Code : 91106

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi sürecimde, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA'nın benim hidrolik alanındaki ilgimi besleyen katkılarına içtenlikle şükranlarımı sunarım. Tez hazırlama aşamasında sağladığı bilgi, tavsiye ve rehberlik, çalışmamın daha verimli olmasına yardımcı olmuştur.

Ayrıca, araştırmam sırasında desteğini esirgmeden çalışmalarına önemli katkılarda bulunan Dr. Öğr. Üyesi Hasan Törehan BABACAN'a da şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bu yüksek lisans tezi, üniversitemizin Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından KBÜBAP-22-YL-090 proje numarası ile desteklenmiştir.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca gerek maddi gerek manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme içtenlikle teşekkür ederim. Onların sevgi dolu desteği, bu zorlu süreci başarıyla tamamlamamda büyük bir motivasyon kaynağı olmuştur.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1. HİDROLOJİK ÇEVİRİM.....	3
2.2. YAĞIŞ VE AKIŞ	4
2.3. AKARSU HAVZALARI	5
2.3.1. Havza Karakteristikleri.....	6
2.3.1.1. Havzanın Büyüklüğü	7
2.3.1.2. Havzanın Şekli	8
2.3.1.3. Havzanın Eğimi	9
2.3.1.4. Havzanın Jeolojik Yapısı	10
2.3.1.5. Havzanın Yüzey Örtüsü.....	11
2.3.1.6. Ana Kanalın Uzunluğu ve Eğimi.....	11
2.3.1.7. Akarsu Ağ Derecesi	12
2.3.1.8. Drenaj Frekansı ve Yoğunluğu	13
BÖLÜM 3	14

	<u>Sayfa</u>
HİDROGRAF	14
3.1. HİDROGRAFİN ELEMANLARI	14
3.1.1. Yükselme (Kabarma) Eğrisi	15
3.1.2. Tepe Kısmı.....	15
3.1.3. Alçalma (Çekilme) Eğrisi	15
3.2. AKARSU HAVZALARININ BİR SİSTEM OLARAK İNCELENMESİ....	16
3.2.1. Parametrik (çok bileşenli) Havza Modelleri.....	16
3.2.2. Kapalı Kutu (Kara Kutu) Havza modelleri.....	17
3.3. BİRİM HİDROGRAFLAR	17
3.3.1. Birim Hidrografın Uygulanamayacağı Durumlar:.....	19
3.3.2. Birim Hidrografın Elde Edilmesi.....	19
3.3.3. Farklı Süreli Birim Hidrograflar	21
3.3.3.4. Kaydırma Metodu	21
3.3.3.5. S – Eğrisi Metodu	22
3.3.4. Taban Akışı ve Dolaysız Akışın Ayrıştırılması.....	23
3.4. SENTETİK BİRİM HİDROGRAFLAR	24
3.4.1. Snyder Sentetik Birim Hidrograf Metodu	25
3.4.2. SCS Sentetik Birim Hidrograf Metodu.....	28
3.4.3. DSİ Sentetik Birim Hidrograf Metodu	31
3.4.4. Mockus Sentetik Birim Hidrograf Metodu.....	32
3.4.5. Gama Sentetik Birim Hidrograf Metodu	33
3.4.6. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Metodu	34
BÖLÜM 4	37
ARAŞTIRMA VE BULGULAR	37
4.1. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ BİLGİLER	37
4.1.1. Bölgenin Coğrafik Konumu ve Topoğrafyası	37
4.1.2. Bölgenin İklim Özellikleri.....	38
4.2. BULGULAR	39
4.2.1. Havza Karakteristikleri.....	39
4.2.2. Sentetik Metotlar ile Karabük Bulak Deresi Havzasının Birim Hidrograf Hesabı.....	42

Sayfa

4.2.2.1. Snyder Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı	42
4.2.2.2. DSİ Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı:	45
4.2.2.3. Mockus Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı....	47
4.2.2.4. Nakayasu Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı.	49
4.2.2.5. SCS Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı	52
4.2.2.6. Gama Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı:	54
4.2.3. Yağış Kaydından Bulak Havzasının Akış Hidrografının Sentetik Birim Hidrograf Metotları Kullanılarak Elde Edilmesi Ve Gözlenen Seviyeler İle Kıyaslanması	57
BÖLÜM 5	66
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Hidrolojik çevrim (Su döngüsü) [7].....	3
Şekil 2.2. Türkiye akarsu havzaları haritası [18].	5
Şekil 2.3. Havza şeklinin hidrografa etkisi [20].....	8
Şekil 2.4. Havza ve alan – yükseklik eğrisi [20].....	10
Şekil 2.5. Stahler metodu	12
Şekil 3.1. Hidrografın şekli ve elemanları [20].....	14
Şekil 3.2. Birim hidrografın elde edilmesi [4].	20
Şekil 3.3. Kaydırma metodu [20].....	21
Şekil 3.4. S – eğrisi	22
Şekil 3.5. Taban akışın dolaysız akıştan ayırma teknikleri [40].	23
Şekil 3.6. Snyder sentetik birim hidrografın şekli [20].....	26
Şekil 3.7. Üçgen birim hidrograf [20].....	28
Şekil 3.8. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf [22].....	35
Şekil 4.1. Karabük ilinin Türkiye’deki konumu ve Bulak havzasının Karabük ilindeki konumu	38
Şekil 4.2. Havzanın minimum ve maksimum yükseklik değerleri	39
Şekil 4.3. Havzanın ağırlık merkezi ve havzanın çıkış noktasına olan uzaklığı	40
Şekil 4.4. Havzadaki ana kanal boy kesidi.....	41
Şekil 4.5. Bulak deresi havzasının Snyder metodu ile çizilmiş birim hidrografı.....	45
Şekil 4.6. Bulak havzasının DSİ metodu ile elde edilen birim hidrografı	47
Şekil 4.7. Bulak deresi havzasının Mockus metodu ile çizilmiş birim hidrografı	49
Şekil 4.8. Bulak deresi havzasının Nakayasu metodu ile çizilmiş birim hidrografı ..	52
Şekil 4.9. SCS sentetik birim hidrograf metoduyla havzanın birim hidrografı	54
Şekil 4.10. Gama sentetik birim hidrograf metoduyla havzanın elde edilen birim hidrografı.....	56
Şekil 4.11. Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilen 10-11 Ağustos yağış kaydı.....	57
Şekil 4.12. Snyder sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografı.....	58

Sayfa

Şekil 4.13. Nakayasu sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi.....	59
Şekil 4.14. Mockus sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi.....	59
Şekil 4.15. DSİ sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi.....	60
Şekil 4.16. SCS sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi.....	60
Şekil 4.17. Gama sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi.....	61
Şekil 4.18. Sağanağın başlangıcından 14 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi...	61
Şekil 4.19. Sağanağın başlangıcından 38 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi...	62
Şekil 4.20. Sağanağın başlangıcından 41 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi...	62
Şekil 4.21. Sağanağın başlangıcından 43 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi...	62
Şekil 4.22. Sağanağın başlangıcından 60 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi...	63
Şekil 4.23. Seviye-debi arasında kurulan üstel (doğrusal olmayan) ilişki	63
Şekil 4.24. Manning denklemi ve SBH metotları ile tahmin edilen pik debi değerleri ve aralarındaki mutlak hata değerleri	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Türkiye'nin akarsu havzalarına ait genel bilgiler.	5
Çizelge 3.1. Sentetik birim hidrograf yöntemlerinin kullanım şartları [31,36].	24
Çizelge 3.2. Toprak gruplarının tarifi [20].	29
Çizelge 3.3. arazi kullanımına göre eğri numaraları [20].	30
Çizelge 4.1. Karabük Bulak Deresi havzasına ait belirlenen sayısal değerler	41
Çizelge 4.2. Boyutsuz Birim Hidrograf Koordinatları [65].	44
Çizelge 4.3. DSİ sentetik metodunda gerekli olan havza parametreleri	45
Çizelge 4.4. Mockus sentetik metodunda gerekli olan havza parametreleri.....	48
Çizelge 4.5. Nakayasu sentetik metodunun çözümünde gerekli olan havza parametreleri	50
Çizelge 4.6. CSC sentetik metodu için gerekli olan havza parametreleri	52
Çizelge 4.7. Gama Sentetik birim hidrograf metodunda gerekli olan havza parametreleri	54
Çizelge 4.8. seviye-debi ilişkisi denkleminde elde edilen debi değerleri	64
Çizelge 4.9. Manning denklemi ile yapılan hesaplama ve elde edilen debi değerleri	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: havza alanı
L	: ana akarsu uzunluğu
L_c	: havzanın ağırlık merkezinden havza çıkışına kadarki olan uzunluk
h_a	: 1mm yağış yüksekliği
CN	: eğri numarası
S	: potansiyel maksimum tutma
S_h	: harmonik eğim
S_o	: aritmetik ortalama eğim
E	: harmonik eğime bağlı birimsiz bir katsayı
C_t	: havza katsayısı
C_p	: havza katsayısı
C	: yağış katsayısı
K	: havza katsayısı
K_1	: depolama katsayısı
H_c	: havza karakteristiklerine bağlı katsayı
t_r	: etkili yağış süresi
t_L	: gecikme süresi
$t_{0,30}$: pik debinin %30'una kadar azalması için gerekli zamanı
t_p	: yükselme süresi/ pike ulaşma süresi
t_f	: hidrografın alçalma süresi
t_c	: konsantrasyon süresi
t_b	: taban süresi
q_p	: birim debi
Q_p	: debi
N	: Manning sürtünme katsayısı
W_{50}	: pik debi değerinin %50'ine karşılık gelen hidrografın genişliği

- W_{75} : pik debi değerinin %75'ine karşılık gelen hidrografın genişliği
 V_b : birim hacim
 V : akış hacmi
 SF : kaynak fakt6r6
 SN : kaynak frekansı
 JN : eklem numarasını
 SIM : simetri fakt6r6
 D : drenaj ağ yoğunluğunu
 WF : genişlik fakt6r6
 SBH : Sentetik Birim Hidrografı
 $AGİ$: Akım G6zlem İstasyonu
 MGM : Meteoroloji Genel M6d6rl6ę6

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanoğlu başta olmak üzere bütün canlı varlıklar, hayatlarını sürdürebilmek için suya ihtiyaç duymaktadırlar. Öyle ki insan vücudunun yaklaşık üçte ikisini su oluşturmaktadır [1]. Su, insanların sadece biyolojik devamlılığının sürdürülmesi için gerekli bir kaynak olmakla kalmayıp, medeniyetlerin ortaya çıkışında, gelişmelerinde ve kalkınmalarında önemli bir yere sahip olmuştur [2]. Su, neredeyse bütün medeniyetlerde ve inançlarda kutsal bir varlık olarak görülmüş ve asırlar boyu insanlığın ve kâinatın temizliğine hizmet eden bir araç olmuştur [3,4]. Su, bir başlangıç maddesi olarak görüldüğü gibi bazen de bir felakete dönüşebilen yok edici bir unsur haline gelebilmektedir [5].

Dünyada su, üç farklı biçimiyle sürekli hareket halinde olup birbirini izleyen bir dönüşüm içerisinde. Su, okyanuslar ve diğer su yüzeylerinden atmosfere ulaştığı gibi su, yine yağış olarak tekrar yeryüzüne dönmektedir. Bu dönüşüm su döngüsü veya hidrolojik çevrim olarak tanımlanmaktadır[4].

Yağış olayının havza içerisinde uzun sürmesi veya şiddetli olması durumlarda, akarsu kanallarının kapasitesini aşarak taşkınları meydana getirebilmektedir. Burada akarsuların kenarlarında plansız yerleşim yerleri, binalar ve buna benzer yapıların mevcudiyeti durumunda can ve mal kayıpları kaçınılmaz olmaktadır. Halbuki taşkınlara, yağışlara bağlı gayet doğal, yeryüzünün ihtiyaç duyduğu ve beraberinde birçok fayda getiren doğal bir olaydır. Toprak veriminin artması, sucul hayvanların göç etmesi, akarsu ve derelerin rejiminin yenilenmesi gibi gerçekleşen olaylar taşkınlarla mümkün hale gelebilmektedir. Fakat insan kaynaklı yanlış arazi kullanımı ve buna benzer yanlış uygulamalar sonucunda taşkınlara bir afete dönüşerek insan, hayvan ve bitkilerin zarar görmesine sebep olmaktadır [4,6]. Taşkının afete dönüşmesini önlemek ve vereceği zararları minimize edebilmek amacıyla taşkın

seddeleri, sel kapanları, taşkın kanalları, baraj ve taşkın sularının yerleşim yerlerine girişini engellemeye yönelik çeşitli yapılar yapılmaktadır. Ancak gerek bu yapıların tasarım ve planlaması gerekse de havzanın potansiyel taşkın büyüklüğünü öngörebilmek için havzanın yağış – akış ilişkisini ve havzanın birim hidrografının bilinmesi zaruridir.

Bu tez çalışması Karabük ilinde yer alan Bulak havzasının birim hidrografını elde etmeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda literatürde çalışmalarca kullanılması tavsiye edilen bazı sentetik birim hidrograf metotları incelenmiş ve aralarında Snyder, SCS, Mockus, DSİ sentetik, Nakayasu ve Gama metotları seçilerek her bir metotla Bulak Havzasının birim hidrografı elde edilmiştir. Elde edilen sentetik birim hidrografların doğruluğu, havzada 10-11 Ağu. 2021 tarihlerinde meydana gelen sağanak yağışın verileri ve bu yağışın oluşturduğu akışın görüntüleri kullanılarak kontrol edilmiştir. Akış görüntüleri kullanılarak Manning denklemi yardımıyla oluşan akış debileri hesaplanmıştır. Ayrıca, her bir sentetik yöntem için bu yağış kayıtları kullanılarak beklenen akış hidrografları oluşturulmuş ve Manning denkleminde elde edilen akış değerleriyle karşılaştırılarak sentetik yöntemler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada dikkate alınan sentetik birim hidrograf metotları arasında en doğru tahminde bulunan Mockus ve DSİ Sentetik yöntemleri olmuştur.

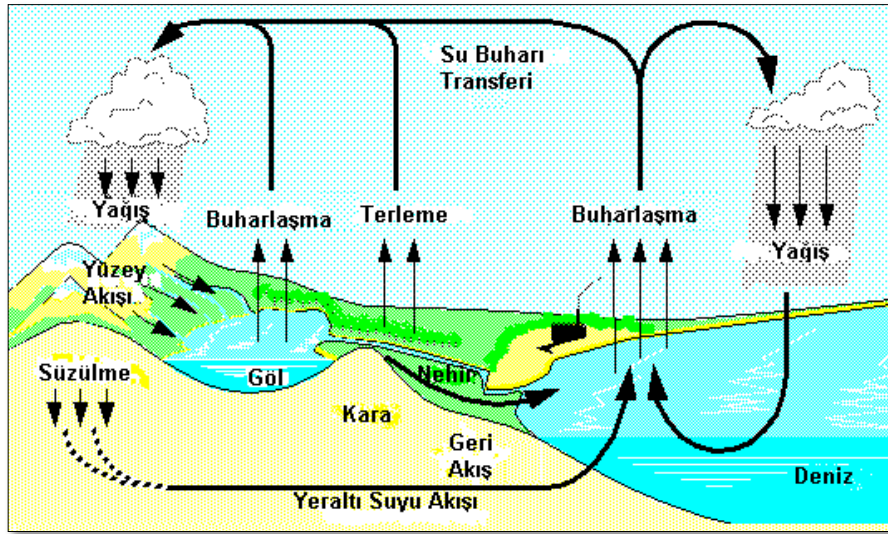
Bu yüksek lisans tezi beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm girişi ihtiva ederken, ikinci bölümde hidrolojik çevrim, yağış-akış, havza ve havza karakteristikleri ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölüm hidrograf, birim hidrograf, sentetik birim hidrograf metotları ve ilgili konularda detaylı bilgileri kapsarken dördüncü bölüm çalışma alanı ile ilgili bilgiler ve bulguları içinde bulundurmaktadır. Beşinci bölümde ise sonuçlar ve tartışma yer almaktadır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. HİDROLOJİK ÇEVİRİM

Su molekülleri kâinata katı, sıvı ve gaz olmak üzere maddenin üç farklı halde birbirini izleyen bir dönüşüm içerisinde olup, işleyişinde en ufak bir aksaklık olmadan yeryüzünde muntazam bir ilahi düzen ve sistem içerisinde görevini devam ettirmektedir [4]. Su moleküllerinin sürekli maddenin bu üç halinde birbirini izleyişi ve dönüşümü hidrolojide “su döngüsü” veya “hidrolojik çevrim” olarak isimlendirilmektedir. (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Hidrolojik çevrim (Su döngüsü) [7].

Hidrolojik döngünün bir başlangıç noktası yoktur. Fakat okyanuslar bir başlangıç noktası baz alınarak bu karmaşık döngü özetlenebilmektedir [8].

Enerjinin ana kaynağı olan güneşin etkisiyle su, yeryüzündeki su yüzeylerinden (deniz, okyanus, akarsu, göl vb.) ısınarak sıvı halinden gaz haline dönüşerek rüzgârın

etkisiyle atmosfere doğru yükselmektedir [9]. Gaz haline dönüşen bu su molekülleri atmosferde soğuk hava tabakasına ulaştığında yoğunlaşarak küçük su damlacıklarına dönüşmektedir [4]. Burada aslında gaz fazından sıvı fazına bir geçişten söz edilebilir [10]. Havada gördüğümüz bulutlar aslında bu küçük su damlacıklarının bir araya gelmesiyle meydana gelmekte olup, rüzgârın esmesiyle de bir yerden başka bir yere taşınmaktadırlar [11]. Bulutların yeterli ağırlığa ulaşması ve hava sıcaklığının çok düşmemesi durumunda, bulut olarak görünen bu su damlacıkları yeryüzüne yağmur şeklinde yağabilirken, hava sıcaklığının yeteri kadar düşük olması durumunda ise yağış, kar veya dolu şeklinde yağabilmektedir. Yeryüzüne yağış olarak geri dönen bu su miktarının küçük bir kısmı daha yüzeye ulaşmadan bitkilerin üstünde kalıp bir süre sonra tekrar atmosfere dönmektedir. Yağışın bir kısmı topraktaki boşlukları doldururken bir kısmı ise yeraltı suyuna karışmaktadır. Yağışın geri kalanı ise toprağı doygun hale getirdikten sonra yeraltı suyuna karışmış sular ile gölleri ve akarsuları beslemektedir [12]. Su döngüsünde havzaların pozisyonu ise, yağış olarak yeryüzüne yağın suları toplayıp belirli su yollarına aktarımını sağlayan bir sistem olmalarıdır [13]. Denizlerden ve okyanuslardan buharlaşmış olan sular böylece yeryüzüne geri dönerek bir kısmı yeryüzünü tazelerken bir kısmı yine denizlere ve okyanuslara kavuşarak adeta miracını tamamlamaktadır.

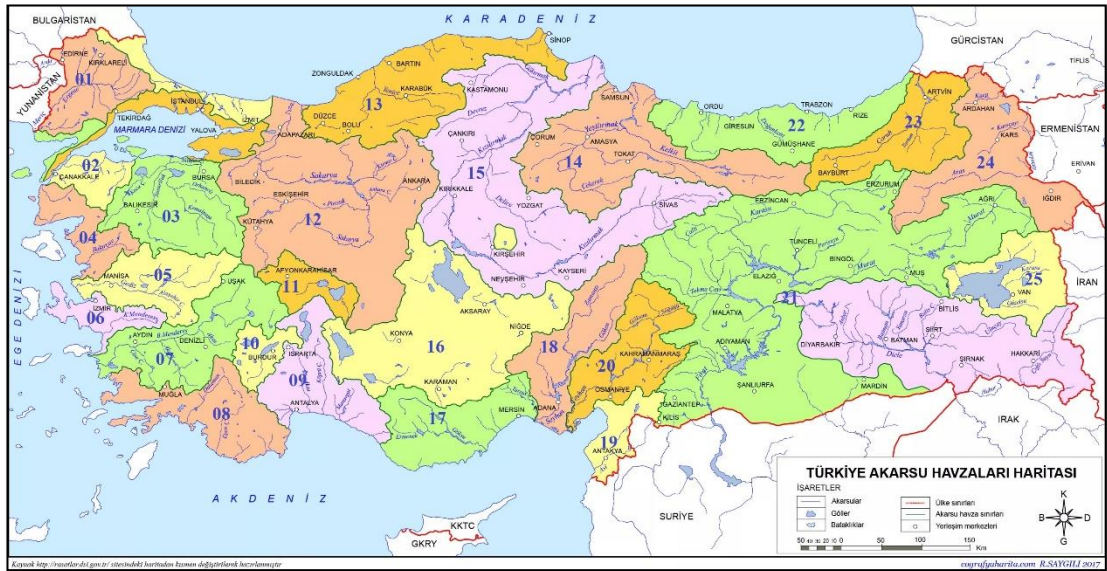
2.2. YAĞIŞ VE AKIŞ

Atmosferden yeryüzüne katı veya sıvı bir biçimde yağın sulara yağış, bu yağışların yeryüzünde deniz veya göllere doğru oluşturduğu hareketine veya akımına ise akış denilmektedir [14]. Hidroloji ve su kaynakları mühendisliğindeki birçok problemin çözümünde özellikle taşkın hidrolojisi, sulama, baraj, bağlama ve sedde gibi su yapılarının işletmesinde ve projelendirilmesinde belli yağışların oluşturacağı akış miktarının tahminine ihtiyaç duyulmaktadır [14,15]. Herhangi bir yerde yağış – akış ilişkisi üzerine veya akım tahmini üzerine bilimsel bir araştırma yapılacak ise öncelikle o yerin bulunduğu havzayı tespit etmek ve o havzanın özelliklerinin iyi araştırılması ve bilinmesi gerekmektedir.

2.3. AKARSU HAVZALARI

Havza, akışını bir akarsu üzerinde alınan, bir çıkış noktasına ulaştırılan alan (yüzey) olarak tanımlanmaktadır [16]. Havzalar, drenaj alanı, su toplama alanı veya akarsu havzası olarak da isimlendirilmektedirler. Havzalar, topladıkları suyu denize veya okyanusa ulaştırıyorsa (örneğin Kızılırmak, Fırat) açık havza, denize veya okyanusa ulaştırmıyorsa (örneğin Van Gölü) kapalı havza olarak tanımlanmaktadır [17].

Türkiye toplamda 25 büyük ölçekli akarsu havzasına bölünmüş olup bu havzaların yıllık ortalama akışı 186 milyar m³'tür. Türkiye'de yer alan bu 25 akarsu havzası ile ilgili genel bilgiler Şekil 2.2'de ve Çizelge 2.1'de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Türkiye akarsu havzaları haritası [18].

Çizelge 2.1. Türkiye'nin akarsu havzalarına ait genel bilgiler.

No	Nehir havzası adı	Yağış alanı		Yıllık ortalama akış		Ortalama yıllık verim
		Km ²	%	Km ³	%	
1	Meriç-Ergene Havzası	14,560	1,90	1,33	0,70	2,90
2	Marmara Havzası	24,100	3,10	8,33	4,50	11,00
3	Susurluk Havzası	22,399	2,90	5,43	2,90	7,20

4	Kuzey Ege Havzası	10,003	1,30	2,09	1,10	7,40
5	Gediz Havzası	18,000	2,30	1,95	1,10	3,60
6	Küçük Menderes Havzası	6,907	0,90	1,19	0,60	5,30
7	Büyük Menderes Havzası	24,976	3,20	3,03	1,60	3,90
8	Batı Akdeniz Havzası	20,953	2,70	8,93	4,80	12,40
9	Antalya Havzası	19,577	2,50	11,06	5,90	24,20
10	Burdur Gölü Havzası	6,374	0,80	0,50	0,30	1,80
11	Akarçay Havzası	7,605	1,00	0,49	0,30	1,90
12	Sakarya Havzası	58,160	7,50	6,40	3,40	3,60
13	Batı Karadeniz Havzası	29,598	3,80	9,93	5,30	10,60
14	Yeşilırmak Havzası	36,114	4,60	5,80	3,10	5,10
15	Kızılırmak Havzası	78,180	10,00	6,48	3,50	2,60
16	Konya Kapalı Havzası	53,850	6,90	4,52	2,40	2,50
17	Doğu Akdeniz Havzası	22,048	2,80	11,07	6,00	15,60
18	Seyhan Havzası	20,450	2,60	8,01	4,30	12,30
19	Asi Havzası	7,796	1,00	1,17	0,60	3,40
20	Ceyhan Havzası	21,982	2,80	7,18	3,90	10,70
21	Fırat-Dicle Havzası	184,918	23,70	52,94	28,50	8,30
22	Doğu Karadeniz Havzası	24,077	3,10	14,90	8,00	19,50
23	Çoruh Havzası	19,872	2,60	6,30	3,40	10,10
24	Aras Havzası	27,548	3,50	4,63	2,50	5,30
25	Van Gölü Havzası	19,405	2,50	2,39	1,30	5,00
Toplam		779,452	100	186,05	100	

2.3.1. Havza Karakteristikleri

Akarsu havzalarında yağış – akış ile ilgili yapılacak bir çalışmada havza ve havzayı belirleyen karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir, çünkü havzaya düşen yağışı bir süre sonra akışa çevirip çıkış noktasına ulaştırması havza ve havza karakteristiklerine bağlıdır [19]. Havza karakteristikleri, havzanın jeomorfolojik özellikleri ile havzanın hidrolojik özellikleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Havza alanı, şekli ve eğimi gibi zamanla değişmeyen veya çok uzun sürelerde değiştikleri için sabit kabul edilen karakteristikler havzanın jeomorfolojik karakteristikleri olarak tanımlanmaktadır. Havzanın bitki örtüsü, süzülme kapasitesi ve toprak durumu gibi zamanla değişen, özellikle mevsimden mevsime değişen karakteristikler havzanın hidrolojik karakteristikleri olarak tanımlanmaktadır [20].

Yağış – akış ilişkisini yakından ilgilendiren bazı havza karakteristiklerinden bu bölümde söz edilmiştir.

2.3.1.1. Havzanın Büyüklüğü

Akarsu havzaları, bir ayak izi kadar küçük veya Atlantik Okyanusu'na girdiği Chesapeake Körfezi'ne akan nehirlerle su akıtan tüm araziye kapsayacak kadar büyük olabilir [21]. Havza alanı, topoğrafik harita üzerinde, akarsular yer çekimiyle hareket ederken o alan içerisinde kalacak şekilde en yüksek noktalardan geçilerek kolaylıkla bulunabilmektedir. Havzaları birbirinden ayıran ve havza sınırını belirleyen çizgi “su ayırım çizgisi” olarak isimlendirilmektedir. Bu çizgi içerisinde kalan alan “drenaj alanı” veya “havza alanı” olarak adlandırılmaktadır.

Havza alanının küçük veya büyük olması havzadaki yağış – akış ilişkisine birbirinden farklı etkileri olabilmektedir. Drenaj alanı küçüldükçe birim alanda gelen maksimum debi büyümekte ve akışın yıl içerisindeki dağılışı büyük havzaya göre düzensiz olmaktadır. Drenaj alanının büyük olması durumunda havzanın getireceği taşkın debisi ile hacmi ve daha sonra tanımlanacak olan geçiş süresi de büyük olmaktadır.

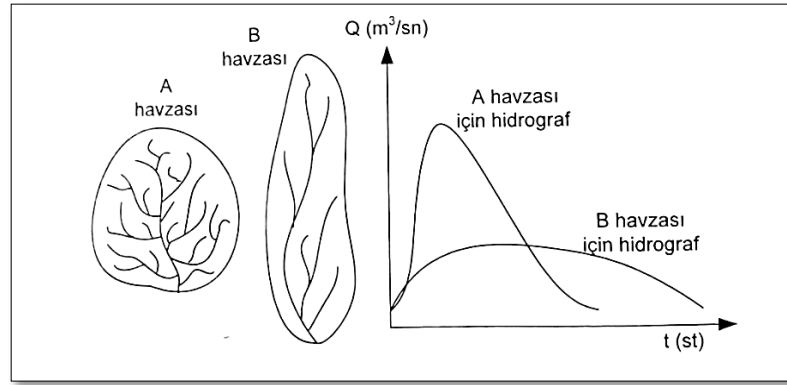
Havza alanı büyüklüğe göre genellikle aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

1. Havza alanı 5km^2 'den küçük ise küçük havza,
2. $5\text{km}^2 - 100\text{km}^2$ arasında ise orta havza,
3. $100\text{km}^2 - 1000\text{km}^2$ arasında ise büyük havza ve
4. 1000km^2 'den büyük ise çok büyük havza olarak tanımlanmaktadır [22,23].

2.3.1.2. Havzanın Şekli

Havzanın şekli özellikle o havzanın yüzey akışlarını, taşkın olaylarını ve bunların zamansal ve mekânsal dağılımlarını etkileyen doğal kaynaklı faktörler arasındadır. Eşit alana sahip biri yuvarlak diğeri uzun iki havza, eşit yağışa maruz kalsa da havzaların davranışları farklı olur. Yuvarlak havzada pik debi yüksek olurken uzun havzanın pik debisi daha düşük ve hidrografın şekli daha yayvan olur [24].

Şekil 0.0'de uzun ve yuvarlak havzaların hidrografa olan etkisi daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 2.3. Havza şeklinin hidrografa etkisi [20].

Havza şeklini belirlemek için farklı boyutsuz büyüklükler kullanılmaktadır. Bu büyüklükler aşağıda açıklanmıştır.

1. **Biçim Katsayısı:** Havza alanının (A) akarsuyun talveg (akarsu yatağının en derin noktalarını birleştiren çizgi) (L) uzunluğuna oranı olarak ifade edilmektedir. Bu değer yüksek ise havzanın şekli dar ve uzun bir biçim alır. Genellikle büyük havzaların da biçim katsayısı büyük olur. Biçim katsayısının formülü Eşitlik 2.1'da gösterilmiştir [23].

$$\frac{L^2}{A} \quad (2.1)$$

2. **Gravelius Katsayısı:** Bu katsayı büyüdükçe havzanın şekli daireden uzaklaşır. Bu katsayı Eşitlik 2.2 ile elde edilmektedir. Eşitlikte yer alan P, Havzanın çevre uzunluğunu ve A ise havzanın alanını ifade eder.

$$\frac{P}{2\sqrt{\pi \times A}} \quad (2.2)$$

3. **Schumm Katsayısı:** Bu katsayı 0.6 ile 1 arasında değişir ve dağlık alanlarda küçük değer alır. Bu katsayı Eşitlik 2.3'te gösterilen denklemden elde edilmektedir. Eşitlikte yer alan L, akarsuyun uzunluğunu ifade eder.

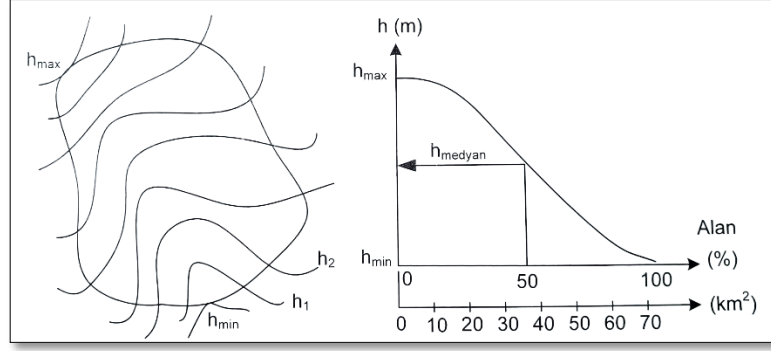
$$\frac{2\sqrt{\frac{A}{P}}}{L} \quad (2.3)$$

4. Bir havzanın çevre uzunluğu ile alanı aynı daire olan bir diğer havzaya oranı da ayrıca havzanın şeklini ifade eder [19].

2.3.1.3. Havzanın Eğimi

Havza eğiminin yağış – akış ilişkisine ve hidrografa olan etkisi büyüktür. Genel olarak havzanın yukarı veya su toplama bölgelerinde eğim yüksek, aşağı doğru gittikçe eğim düşmektedir [23]. Havza eğiminin yüksek olduğu durumda geçiş süresi kısa, taşkın riski yüksek ve akışın yıl içerisindeki dağılımı düzensiz olmaktadır [25,26], ayrıca sızma miktarı da daha düşüktür [23].

Havzanın eğimi, topoğrafik haritalar üzerinde alan yükselti eğrisinden hesaplanabilmektedir. Bu eğri, topoğrafik haritadan eşyüksekti eğrileri üzerinde kalan alanları ölçüp bu alanları yüksekliklere karşı çizerek bulunmaktadır. Bu eğri, havzanın düz veya eğimli olduğunu gösterdiği gibi belli eş yükselti eğrisi üzerinde kalan alanı veya yüzdesini de göstermektedir. Şekil 0.4'da sunulan örnekte görüldüğü gibi bu eğride %50 alana karşı gelen yükseklik havzanın orta yüksekliğini veya havzanın medyan yüksekliğini ifade etmektedir [20].



Şekil 2.4. Havza ve alan – yükseklik eğrisi [20].

Şekilde görülen eğrilerin yükseklik farkı birbirine eşittir, bu yükseklikler arasındaki fark rölief olarak isimlendirilmektedir. Havza sınırında gözlenen havzanın en yüksek noktası ile çıkış noktasında gözlenen havzanın en alçak noktası arasındaki fark maksimum havza röliefi olarak isimlendirilmektedir. Alan yükselti eğrisinde %90 – %95’e karşı gelen yükseklik havzanın en düşük kotu, %5 – %10’a karşı gelen yükseklik ise havzanın en yüksek kotu olarak ta bazen dikkate alınabilmektedir. Havzanın ortalama eğimi Eşitlik 2.4’de gösterilen formül ile bulunabilmektedir.

$$S_{havza} = \frac{N \times \Sigma M}{A} \quad (2.4)$$

Eşitlikte yer alan S_{havza} , havzanın ortalama eğimini, N eşyüksekti eğrileri arasındaki fark (rölief), ΣM eşyüksekti eğrilerinin toplamını ve A ise havza alanını ifade etmektedir [20].

2.3.1.4. Havzanın Jeolojik Yapısı

Bitki örtüsünün az veya hiç olmadığı havzalarda, zemin yapısının geçirgenlik özelliğine, yağış – akış ilişkisine ve meydana gelecek taşkınlara etkisi önemli faktör haline gelmektedir. Genel olarak çatlaklı, kırık, faylı ve metamorfik kayaların hâkim olduğu geçirgenlik özelliği yüksek olan zeminlerde yağışın akışa geçmesi son derece az olmaktadır. Bu tür jeolojik özelliklerine sahip zeminler yağışları kısa zamanda emerek daha derinlere veya oradan komşu havzalara taşıyabilmektedir [25,26].

2.3.1.5. Havzanın Yüzey Örtüsü

Havzanın yüzey örtüsü değişik şekillerde olabilir, yüzeyi kum, kil veya beton ile kaplı olabildiği gibi bitki ile de kaplı olabilmektedir. Bu özellikler havzada sızma miktarını ve yağış – akış ilişkisini önemli derecede etkilemektedir.

Bitki ile kaplı havza yüzeylerinde yağışın bir miktarı bitkiler üzerinde kalır, yağışın bu kayıp miktarı akışa geçmeden bitki yapraklarından buharlaşarak tekrar atmosfere geçmektedir. Tutma olarak adlandırılan bu kayıp miktar bitki ile kaplı havza yüzeylerinde artmaktadır. Ayrıca ormanlık alanlar veya bitki örtülü yüzeyler akış hızını düşürmektedir. Akış hızının düşük olması suyun yüzeyde daha uzun süre kalmasına ve dolayısıyla süzülme miktarının yükselmesine sebep olabilmektedir.

Havzada kentleşme yüzdesinin yüksek olduğu durumda (beton ve asfalt ile kaplı yüzeyler), yağışın akışa geçmesi çok hızlı olmaktadır. Havzada toprak yüzeyinin az olduğu bu gibi yüzeylerde süzülme miktarı da tabii olarak düşük olmaktadır.

Havza yüzeyinde kum ve benzeri gözenekli maddelerin yüzdesi yüksekse süzülme miktarı yüksek olmaktadır. Süzülme miktarı yağış – akış ilişkisinde önemli bir etkidir. Süzülme miktarındaki azalış, yüzey akışında artışa neden olabilmekte ve dolayısıyla da hidrografta gözlenen debinin daha yüksek olmasına sebep olabilmektedir. Ancak süzülme miktarındaki artış, yüzey akışlarının azalmasına sebep olabilmekte ve dolayısıyla da hidrografta gözlenen debinin de düşük olmasına yol açabilmektedir [19,20,23].

2.3.1.6. Ana Kanalın Uzunluğu ve Eğimi

Drenaj alanının ana kol uzunluğu ve eğimi, yüzey akış hızı ve taşkın hareketi bakımından önemlidir. Ana kanal, drenaj havzasının en yüksek ve çıkıştan en uzak noktalarından başlayıp havza çıkışına kadar uzanır ve ana drenaj hattını oluşturmaktadır. Ana kanalın eğimi, özellikle akışın hızını belirleyen en etkin faktördür, akışın hızı da geçiş süresini ve dolayısıyla hidrografın şeklini etkilemektedir. Ana kanal eğiminin yüksek olması, akış hızının yüksek, geçiş süresinin

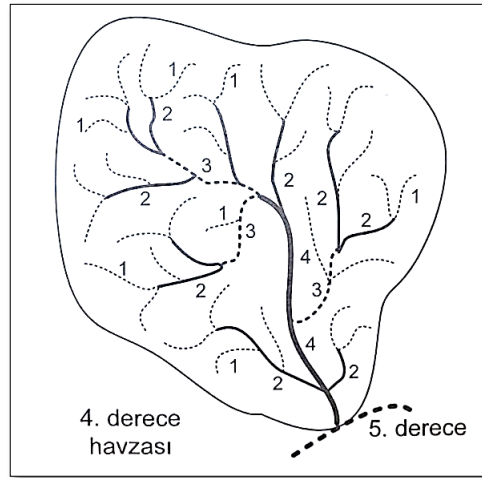
kısa, sızma miktarının düşük, akışın yıl içerisindeki dağılımı düzensiz ve birim alandan gelen maksimum debinin yüksek olmasına sebep olabilmektedir [19,22,23]. Ana kanalın eğimi eşitlik 2.5'te görülen formül ile bulunabilmektedir.

$$S = \frac{H_h - H_0}{L} \quad (2.5)$$

Burada S, ana kanalın eğimini, Hh en uzak noktadaki kot, H0 çıkış noktasındaki kot ve L de ana kanal uzunluğunu ifade etmektedir.

2.3.1.7. Akarsu Ağ Derecesi

Bir akarsuyun sabit veya geçici bütün kollarının meydana getirdiği şebekeye akarsu ağı denilmektedir. Akarsu kollarını derecelendirerek veya mertebelenirerek şebekeler incelenmektedir. Literatürde bu derecelendirme işlemi farklı şekillerde yapılmaktadır. Burada Stahler derecelendirme metodundan kısaca bahsedilmiştir. Stahler metodunda Şekil 0.5'te görüldüğü gibi bir akarsuyun en dışındaki ağları 1. Derece kol olarak kabul edilirken, iki tane 1. Derece kol birleşince 2. Derece kolu ve iki tane 2. Derece kol birleşince 3. Derece kolu meydana getirmektedir. Stahler metodunda akarsu ağlarının derecelendirilmesi bu şekilde kendisiyle aynı dereceden bir kol ile birleşerek bir üst dereceyi meydana getirmektedir.



Şekil 2.5. Stahler metodu

2.3.1.8. Drenaj Frekansı ve Yoğunluğu

Birim alanda düşen akarsuyun kol sayısı, drenaj frekansı, toplam akarsu ağ uzunluğu ise drenaj yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Drenaj frekansının fazla olması durumunda, havza sağanağa karşı hızlı tepki vererek çıkışta hızlı ve yüksek pike neden olmakta, Ayrıca havzada sızma kapasitesinin de artmasına sebep olabilmektedir. Drenaj frekansı eşitlik 2.6'da gösterilen formül ile elde edilmektedir [23].

$$D_f = \frac{N_s}{A} \quad (2.6)$$

Formülde yer alan D_f drenaj frekansını, N_s toplam akarsu ağ sayısını ve A ise drenaj alanını ifade etmektedir.

Drenaj yoğunluğu, drenaj alanındaki toplam akarsu uzunluğunun drenaj alanına oranından elde edilmektedir. Elde edilen değer 0,5 – 2,5 km/km² arasında değişmektedir [19]. Bu değer küçük olması, yüzey akış hızının yavaş, geçiş süresinin uzun ve hidrografın daha küçük bir pik değere sahip olduğu anlamına gelebilmektedir.

Burada akış hızının yavaş olması ayrıca sızma miktarının yüksek olmasına da yol açabilir [23,27]. Drenaj yoğunluğunun formülü eşitlik 2.7'da görülmektedir

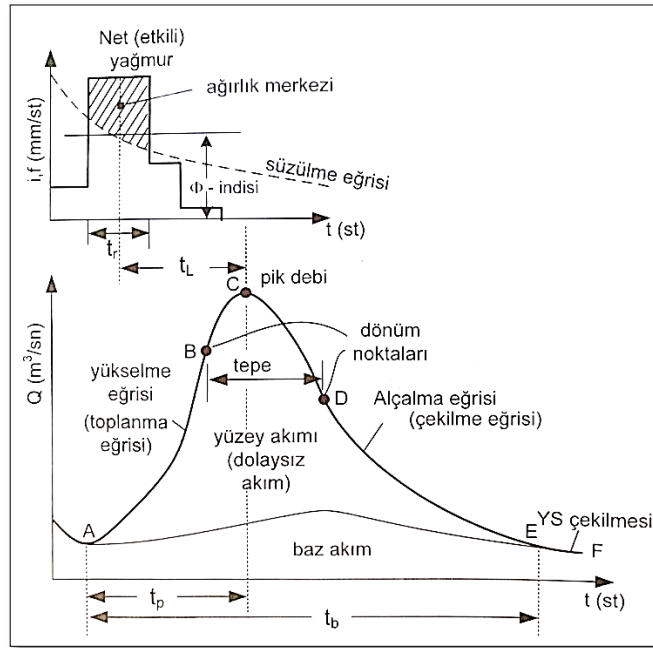
$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad (2.7)$$

Eşitlikte yer alan D_d drenaj yoğunluğunu, L_T drenaj alanındaki toplam akarsu uzunluğunu ve A ise drenaj alanını temsil etmektedir.

BÖLÜM 3

HİDROGRAF

Hidrograf, bir akarsuyun belirli bir kesitinden geçen debinin zamana bağlı olarak çizilen grafiğine hidrograf adı verilmektedir [28,29]. Debi, genellikle Q ile ifade edilmekte ve birimi m^3/sn olarak dikkate alınmaktadır. Küçük derelerde ise lt/sn olarak da dikkate alınabilmektedir [28]. Şekil 3.1'de hidrografın şekli ve elemanları ayrıntıları ile görülmektedir.



Şekil 3.1. Hidrografın şekli ve elemanları [20].

3.1. HİDROGRAFIN ELEMANLARI

Hidrograflar ekseriyetle simetrik olmayan bir çan eğrisi şekline sahiptir ve üç parçadan meydana gelmektedir. Bu parçalar yükselme (kabarma veya toplanma) eğrisi, tepe kısmı ve alçalma (Çekilme) eğrisinden ibarettir [20,30].

3.1.1. Yükselme (Kabarma) Eğrisi

Şekil 3.1’de görülen A noktasından B noktasına kadarki eğri hidrografın yükselme (toplanma) eğrisidir. Başka bir deyişle yükselme eğrisi, başlangıçta debinin zamanla artış gösterdiği eğri olarak ifade edilebilmektedir. Bu eğrinin dikliği havza karakteristiklerine ve yağış şiddetine bağlıdır. Yağış şiddeti yüksek veya eğimi yüksek veyahut drenajı iyi olan bir havzada yükselme eğrisi dik olur. Öte yandan yağış hızı az veya havza eğimi az veyahut süzülme ve zemin geçirimsizliği yüksek ise yükselme eğrisi daha alçak bir hal almaktadır [20,30].

3.1.2. Tepe Kısmı

Şekil 3.1’de görülen iki dönüm noktası (B – D) arasında yer alan eğri tepe kısmıdır ve yağışın meydana getirdiği akışın yüksek olduğu kısımdır. Tepe kısmı yağış süresine bağlı olarak kısa veya uzun süre devam edebilir. Bu süre içerisinde ulaşılan en yüksek debiyeye pik debi veya maksimum debi denir [20,30].

3.1.3. Alçalma (Çekilme) Eğrisi

Şekil 2.1’de görülen ikinci dönüm (D) noktasından E noktasına kadar eğri alçalma eğrisidir ve havza depolamasına bağlıdır. Havza depolamasından kasıt yeraltı suyu ve yüzeysel birikintiler gibi depolamalardır. Yağış karakteristiği veya sağanak yağışın bu eğriye herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Grafiğin sonunda görülen E – F noktası yeraltı suyu depolamasının bir fonksiyonu olduğundan baz akım çekilme eğrisi veya yeraltı suyu çekilme eğrisi olarak ifade edilmektedir [20,30].

Şekil 3.1’de ayrıca yağış hiyetografi görülmektedir. Bu hiyetograf hidrograf grafiklerinin sol üst kısmında yer almakta ve yağış karakteri ile ilgili bilgi sunmaktadır. Yağış hiyetograflarında etkili yağışın (t_r) ağırlık merkezinden hidrografın tepe noktasına kadarki zamana gecikme zamanı denir ve t_L ile ifade edilmektedir. Gecikme zamanının süresi yağışın zamanda ve alanda dağılımına bağlı olarak uzar veya kısalır.

Hidrografların başlangıç noktasından pik noktasına kadarki süreye pik süresi veya pike ulaşma süresi adı verilmektedir ve t_p ile ifade edilir. Hidrografın başlangıcından (A noktası) bitimine (E noktası) kadar olan süreye ise taban süresi adı verilmektedir ve t_b ile ifade edilmektedir [20].

Hidrografın başlamasından önce de akarsuda var olan bir akış vardır. Bu akış taban akışı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi yağışın veya varsa kar erimesinin sebep olduğu akış ise dolaysız akış olarak tanımlanmaktadır. Birim hidrograflarının türetilmesi için bu iki akışın birbirinden ayırmak gerek [20].

3.2. AKARSU HAVZALARININ BİR SİSTEM OLARAK İNCELENMESİ

Akarsu havzaları üzerine düşen yağış tabii olarak akışa geçmektedir. Buradan akarsu havzası girdisinin yağış ve çıktısının akış olduğunu düşünerekten akarsu havzasını bir sistem olarak kabul edebiliriz. Burada amaç, akarsu havzasının sistemine giren yağış yardımıyla sistemden çıktı olarak akışın debisini tahmin etmektir. Her havzada yeterince yapılmış akım gözlemi bulunmayabilir. Dolayısıyla akım gözlemi eksik havzalarda bu tahminlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Akarsu havzalarında yağış ile akış arasındaki ilişkinin çok karmaşık olduğu bilinmektedir bu sebeple bazı kabuller yaparak bu sistem basitleştirmeye çalışılmıştır ve sistemin bir matematik modeli kurulmuştur [31].

3.2.1. Parametrik (çok bileşenli) Havza Modelleri

Parametrik veya diğer adıyla çok bileşenli havza modellerinde yağışın akışa dönüşmesi olayında meydana gelen sızma, buharlaşma, tutma, yüzeysel akış ve yeraltı akışı gibi parametreler fiziksel açıdan ayrıntılı olarak incelenir ve analiz edilir. Ayrıca analiz sırasında bu bileşenlerin aralarındaki ilişkiler belirlenir [31].

3.2.2. Kapalı Kutu (Kara Kutu) Havza modelleri

Kapalı kutu havza modellerinde yağışın akışa dönüşmesi olayında meydana gelen diğer hidrolojik olayların (buharlaşma, tutma, yüzeysel akışı yeraltı akışı vd.) incelenmesinden vazgeçilip sadece yağış ile akış arasındaki ilişki dikkate alınmaktadır. Kapalı kutu havza modelleri parametrik havza modelleri kadar hassas olmamakla beraber basit ve pratik oldukları sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar [14].

3.3. BİRİM HİDROGRAFLAR

Akarsu havza modelinin pratikte kurulması ve parametrelerin belirlenmesi çok zor olduğundan çoğu zaman kapalı kutu modeller kullanılmaktadır. Burada zorluk yağışı akışa dönüştüren havzanın lineer olmayışıdır. Lineer olmayışından kasıt havzada $i_1(t)$ şiddetindeki yağışın oluşturacağı debi $Q_1(t)$, $i_2(t)$ şiddetindeki yağışın oluşturacağı debi $Q_2(t)$ olduğu düşünülürse, $i_1(t) + i_2(t)$ yağışının meydana getireceği akış her zaman için $Q_1(t) + Q_2(t)$ 'ye eşit olmamaktadır. Bu gibi sistemler nonlineer sistemler olarak da bilinmektedir ve lineer sistemlere göre incelenmeleri çok güçtür [19,32].

Birim hidrografi teorisi bazı kabuller yaparak bu sistemi lineer hale getirmektedir. Birim hidrografi teorisi, yağışın akışa dönüşmesi sırasında meydana gelen kayıpları (sızma, buharlaşma, yeraltı akışı vd.) dikkate almayıp artık yağışın veya etkili yağışın oluşturacağı dolaysız akışı dikkate almaktadır. Bu teori ilk olarak 1932 yılında Sherman tarafından ortaya atılmıştır. Akarsu havzasına belli bir zaman süresince sabit bir şiddette düşen, birim yükseklikte (1 cm, 1 inç, 1 mm) artık yağışın meydana getireceği dolaysız akışın hidrografi birim hidrograf olarak tanımlanmaktadır [29,33–36]. Tanımda söz edilen su derinliği süzülmeden sonra yüzeyde kalan su derinliğidir ve etkili yağış adını alır.

Söz edildiği gibi bu teoride etkili yağış ile yüzey akım arasında ilişki araştırılmaktadır dolayısıyla yüzey akımının bulunabilmesi için toplam akımdan yeraltısuyu akımı çıkarılmalıdır, toplam yağıştan ise süzülme gibi diğer bütün kayıplar çıkarılmalı ve etkili kısım elde edilmelidir.

Birim hidrograf teorisinin dayandığı beş kabul [37] aşağıda sıralanıp açıklanmıştır:

1. Etkili yağış bütün havzaya düzgün (üniform) bir şekilde dağılmıştır.

Havzanın her noktasının aynı yağışı aldığı bu kabulün geçerli olabilmesi için havza alanının küçük olması önemlidir. Yağışın alanda değişimi hidrograf şeklinde büyük değişimlere sebep olabilmektedir dolayısıyla birim hidrograf teorisi küçük havzalarda uygulanmalıdır. Havza alanı için limit değer, bölgenin iklim karakterine ve istenilen hassaslığa bağlı olarak genellikle 5000 km^2 'den büyük alana sahip havzalar için birim hidrograf teorisi kullanılmamalıdır. 5000 km^2 'den büyük alana sahip havzalar alt havzaya bölünüp her biri için ayrı birim hidrograf bulunulması tavsiye edilmektedir.

2. Etkili yağış belli bir süre boyunca sabit şiddette yağmıştır.

Yağış süresi uzadıkça yağış şiddetinde değişimler meydana gelir ve bu değişimler hidrografın şeklinde değişimlere sebep olmaktadır. Dolayısıyla birim hidrograf analizlerinde nispeten kısa süreli yağışlar dikkate alınmaktadır ve bu teoride yağış şiddeti sabit kabul edilir.

3. Etkili yağışın meydana getirdiği dolaysız akışın taban genişliği yağış şiddetine bağlı olmayan sabit bir değerdir.

Bu kabul aslında gerçekte doğru değildir, çünkü yağış süresi arttıkça yağış şiddetinde değişimler meydana geldiği gibi hidrografın taban genişliğinde de değişimler meydana gelir (yağış şiddeti arttığında geçiş süresi kısalmır ve bu durum hidrografın taban genişliğinin azalmasına sebep olmaktadır).

4. Süreleri aynı olan yağışların ve bunların meydana getirdiği dolaysız akışların hidrograflarının ordinatları, her birinin etkili yağış yüksekliği ile orantılıdır.

5. Birim hidrograf zamandan bağımsız olarak bir havza için tek ve sabittir.

Bilindiği üzere havzanın toprak özellikleri ve bitki örtüsü mevsimden mevsime değişmektedir. Havzaya düşen bir yağışın meydana getirdiği dolaysız akışın hidrografi o havzanın bütün fiziksel özelliklerini yansıttığından da daha önce bahsedilmişti. Havzanın fiziksel özelliklerinin değiştiği durumda hidrografın şeklinde de değişikliklerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu kabul aslında gerçek dışı olsa da işleri kolaylaştırmak için yapılmaktadır ve zamandan bağımsızlık prensibi olarak da bilinmektedir [19,20,23,34].

3.3.1. Birim Hidrografın Uygulanamayacağı Durumlar:

Birim hidrograf teorisindeki kabuller göz önünde bulundurulduğunda, etkili yağış süresinin birim hidrografın taban süresinden uzun olduğu durumda birim hidrograf teorisinin uygulanamayacağı anlaşılmaktadır. Buna ek olarak kar erimesinden kaynaklı akışta da uygulanmamalıdır. Birim hidrografın uygulanmadığı bir diğer durum ise havza alanının büyük olmasıdır, bu durumda havza alt havzalara ayrılarak her biri için ayrı birim hidrografi hesaplanmalıdır [31,38].

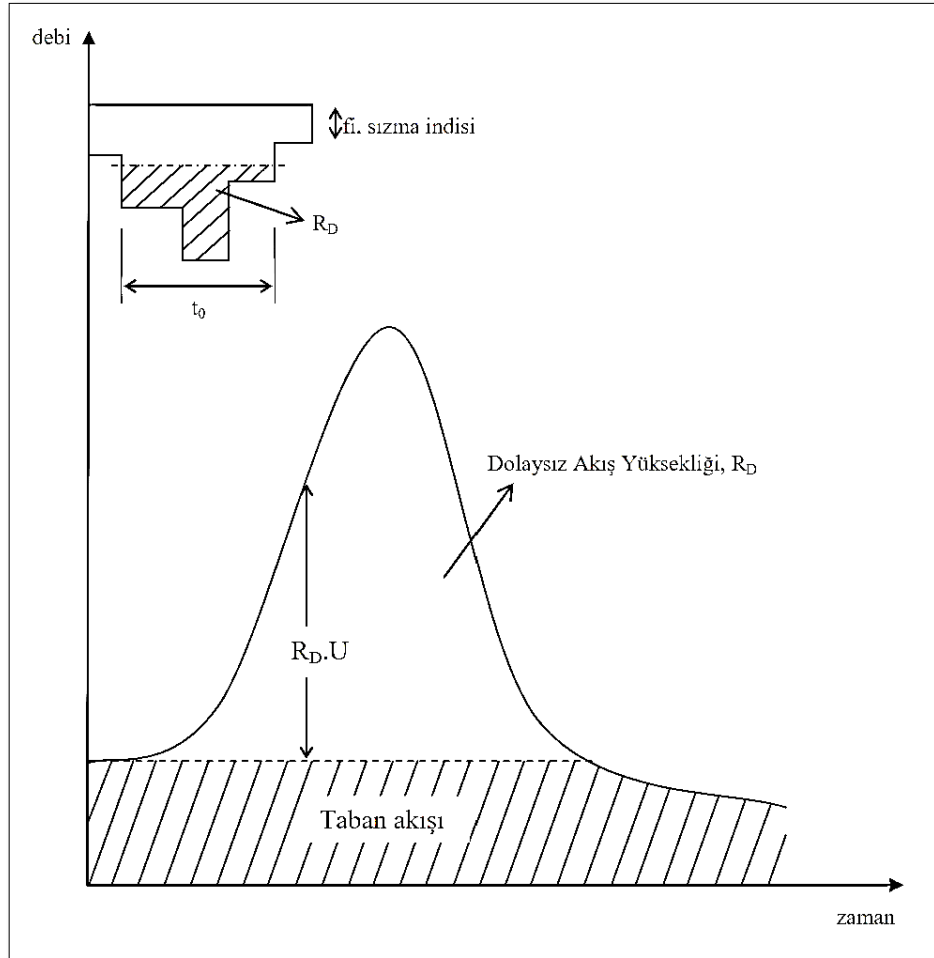
3.3.2. Birim Hidrografın Elde Edilmesi

Bir havzanın birim hidrografi, o havzaya belli sürede sabit şiddetle yağmış ve havzaya üniform bir şekilde dağılmış bir yağışın sebep olduğu akışın hidrografından bulunabilir. Büyük alana sahip havzalarda sabit şiddetle havzaya üniform bir şekilde dağılmış bir yağışa rastlanmak aslında mümkün değildir, dolayısıyla böyle durumlarda havza, alt havzalara bölünerek her biri için ayrı birim hidrografi bulunmalıdır.

Birim hidrografın havzayı tam olarak temsil etmesi için havzaya ait çok sayıda tek pikli hidrografların bulunması gerekmektedir. Bu amaçla şöyle bir uygulama yapılmaktadır.

1. Birim hidrograf teorisindeki kabuller göz önüne bulundurularak (havzaya düzgün bir şekilde dağılmış, şiddeti sabit veya fazla değişmeyen ve diğer yağışlardan yeterince ayrılmış) tek pikli yağışlar arasında 1 cm'den fazla artık yağış derinliğine sahip olanlar seçilerek hiyetografları çizilir [20,22,32].

2. Gözlenen akış kayıtlarından faydalanarak debilerin hidrografları çizilir. Çizilen hidrograflarda taban akışı ayrılarak dolaysız akış hidrografları elde edilir (Şekil 3.2).
3. Elde edilen dolaysız akış hidrografların altındaki kalan alanlar hesaplanarak dolaysız akışların hacimleri elde edilir. Elde edilen dolaysız akış hacimleri, havza alanına bölünerek dolaysız akış yüksekliği bulunur.
4. Dolaysız akış hidrografının koordinatları, elde edilen dolaysız akış yüksekliklerine bölerek hidrografların ordinatları saptanır.
5. Her bir fırtına için ϕ -sızma indisi bulunup etkili yağışın süresi elde edilir [4,20,22,32].



Şekil 3.2. Birim hidrografın elde edilmesi [4].

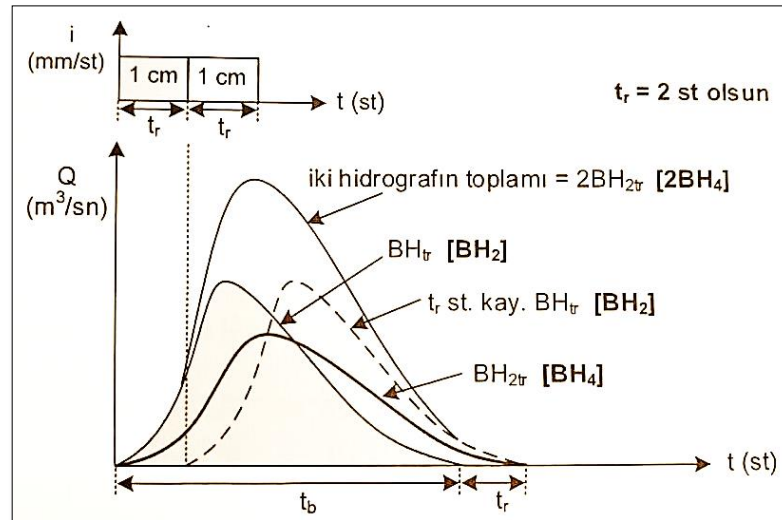
3.3.3. Farklı Süreli Birim Hidrograflar

Bir havzanın belli süreli örneğin 2 saatlik birim hidrografi biliniyor ise ve o havza için farklı süreli örneğin 5 saatlik birim hidrografi istenirse, bu durumda belli süreli bilinen hidrograf kullanarak o havza için farklı süreli birim hidrograflar elde edilebilmektedir. Bu amaçla Kaydırma ve S-Eğrisi metotları sıkça kullanılan metotlardır [31].

3.3.3.4. Kaydırma Metodu

Süreleri birbirinin tam katı olan birim hidrograflar, Kaydırma metoduyla birbirinden elde edilebilmektedir [39].

Bir havzaya aynı karakterlere sahip iki fırtınanın arka arkaya meydana geldiğini kabul edilirse. Sağanakların şiddeti sabit, etkili yağış süreleri 2 saat ve meydana getirdikleri su derinliği de 1 cm olsun. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi bu fırtınaların birim hidrografları BH_2 'leri meydana getirmektedir. Şekilden anlaşıldığı üzere birinci fırtına sıfır zamanında başlarken ikinci fırtına, birincisinden 2 saat sonra başlamaktadır. Bu iki birim hidrografın toplamı şekilde görülen $2BH_4$ olan birim hidrografi meydana getirmektedir.

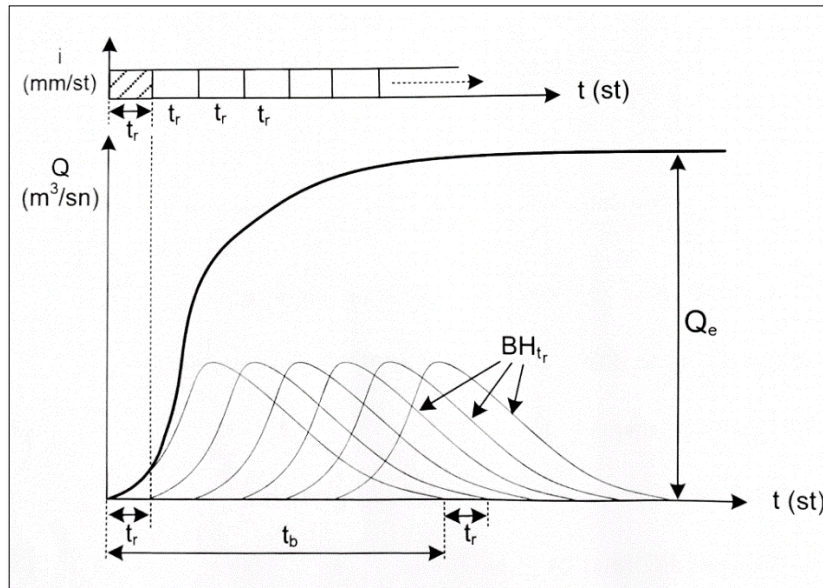


Şekil 3.3. Kaydırma metodu [20].

Burada bu iki birim hidrografın toplamı olan $2BH_4$ 'ün ordinatı ikiye bölünürse elde edilen birim hidrograf BH_4 'tür (su derinliği 1 cm ve etkili yağış süresi 4 saat olan birim hidrograf). Elde edilen BH_4 'ün taban süresi BH_2 'den 2 saat daha uzun olduğu Şekil 0.0'den anlaşılmaktadır. Her iki birim hidrograf da aynı havzada ve 1 cm su derinliğindeki etkili yağıştan meydana geldiğinden, her iki birim hidrografın altındaki alan birbirine eşittir. BH_4 'ün taban süresi daha uzun olduğundan, pik debisinin daha düşük olması gerekmektedir. Buradan etkili yağış süresi arttıkça meydana gelen birim hidrografın pik debisi daha düşük ve taban süresinin daha yüksek değerler alacağı sonucuna da varılmaktadır [20].

3.3.3.5. S – Eğrisi Metodu

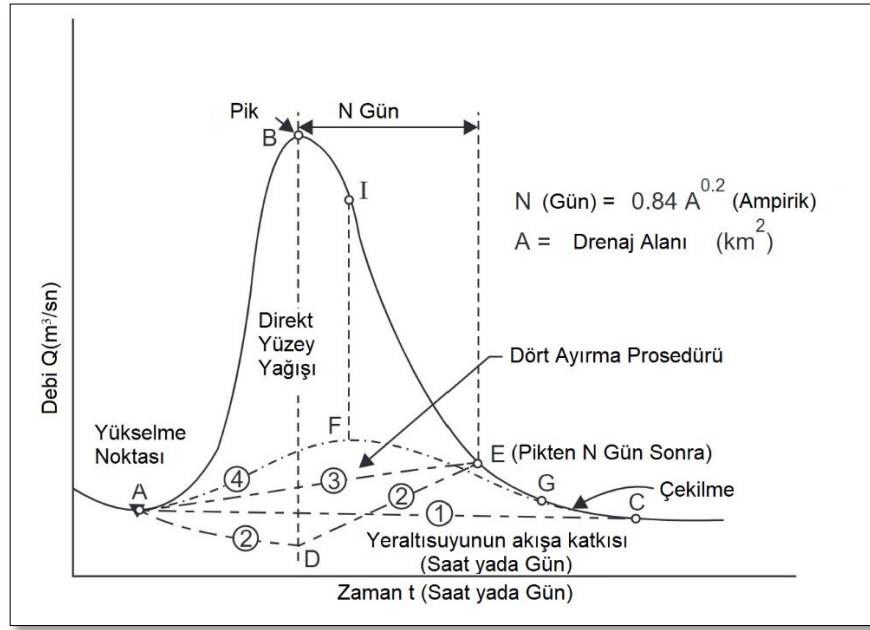
Bu metod, farklı sürelerde oluşan birim hidrografları elde etmek için kullanılmaktadır. Bir havza için S-eğrisi, sabit bir hızda sürekli olarak devam eden etkili bir yağışın hidrografı olarak tanımlanmaktadır. S-eğrisi, hayali bir hidrograf olmasına rağmen hidrograf analizi çalışmalarında oldukça faydalı olduğu literatürde belirtilmiştir. S – eğrisi, belli bir $1/t_r$ yağış hızı için t_r sürekli birim hidrografların her biri t_r saat kaydırarak sonsuz tanesinin eklenmesiyle Şekil 3.4'teki gibi elde edilebilmektedir [20,40].



Şekil 3.4. S – eğrisi

3.3.4. Taban Akışı ve Dolaysız Akışın Ayırıştırılması

Birim hidrograf teorisi, artık yağışın oluşturduğu dolaysız akış hidrografı olduğundan dolaysız akışın taban akıştan ayrılması birim hidrografın türetilmesi için gerekli bir uygulamadır. Taban akışın dolaysız akıştan ayrılmasında Şekil 3.5'te görülen dört yöntem kullanılmaktadır [22,40].



Şekil 3.5. Taban akışın dolaysız akıştan ayırma teknikleri [40].

1. Şekilde görülen yükselme noktasından (A) Çekilme eğrisinin sonuna doğru (C) düz bir çizgi çizerek basit bir şekilde ayırıştırma yapılmaktadır. Fakat bu ayırıştırma tekniği yaklaşık bir sonuç verdiği için sadece ön tahminlerde kullanılmaktadır.

2. Bu yöntemde hidrografın pik noktasından (B) aşağıya doğru (D) düz bir çizgi çizilir. Ardından fırtınadan N gün sonraki (E) noktası belirlenir. Daha sonra yükselme noktası olan A'dan D noktasına ve D noktasından belirlenen E noktasına düz bir çizgi çizilerek ayırıştırma yapılabilir. E noktası belirlenirken gün sayısını elde etmek için kullanılan N'nin formülü Şekil 0.0'de görülmektedir.

3. Bu teknikte de önce, yukarıda söz edilen E noktası belirlenir. Ardından yükselme noktasından (A) E noktasına düz bir çizgi çizilerek ayırıştırma yapılmaktadır.

4. Bu teknikte, hidrograf pikinden sonra akışın yön değiştirdiği nokta olarak da bilinen I noktasından aşağıya doğru F noktasına kadar düz bir çizgi çizilir. Ardından alçalma eğrisinin tekrar yön değiştirdiği G noktası seçilerek yükselen bir AFG eğrisi çizilmektedir.

3.4. SENTETİK BİRİM HİDROGRAFLAR

Bir havzanın birim hidrografını elde etmek için o havzaya ait ölçülmüş yağış ve akış verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bazı havzalarda bu veriler hiç kaydedilmemekte veya kaydederken ölçüm cihazlarında bir arıza sebebiyle verilerde eksiklikler olabilmektedir. Bununla birlikte bazen sağanak çok karışık olabilir ve hidrograf parçalarına ayırıp analiz yapmak mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda birim hidrograf teorisi kullanılamaz ve benzer havzalardaki geçmiş gözlem ve tecrübelerle dayanarak o havzanın hidrografının sentetik olarak bulunması gerekmektedir [24,31].

Sentetik birim hidrografların elde edilmesinde Snyder metodu, Mockus metodu, DSİ sentetik metodu, Mc Math metodu ve SCS metodu sıkça kullanılan metotlar arasındadır [41].

Bu metotlar havza karakteristiklerine örneğin drenaj alanı ve toplanma zamanına göre havzaya uygun olanı seçilir. Çizelge 3.1’de bu şartlar sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Sentetik birim hidrograf yöntemlerinin kullanım şartları [31,36].

Tasarım Metodu	Drenaj Alanı (km ²)	Toplanma Zamanı (T _p) Yükselme Zamanı (T _c)
DSİ Sentetik	A < 1000 km ²	T _p > 2 saat
Mockus	1 < A < 10 km ²	T _c < 30 saat
Snyder	A > 1000 km ²	---
Rasyonel Metot	A < 1 km ²	---

Literatürde sentetik birim hidrograflar genelde üç grupta sınıflandırılmaktadır. [22,30,33,34]:

1. Havza karakteristiklerini hidrograf karakteristikleri (pik akış oranı, taban süre vs.) ile ilişkilendirenler örneğin Snyder ve Gray yöntemleri gibi.
2. Boyutsuz bir birim hidrografa dayalı olanlar örneğin SCS yöntemi gibi.
3. Havza depolama modellerine dayalı olanlar örneğin Clark yöntemi gibi.

Bu bölümde sentetik birim hidrograf metotları arasında günümüzde sıkça kullanmakta olan Snyder, SCS, Wu, Gray, Nakayasu, Gama, Mokus ve DSİ sentetik yöntemlerinden kısaca bahsedilmiştir.

3.4.1. Snyder Sentetik Birim Hidrograf Metodu

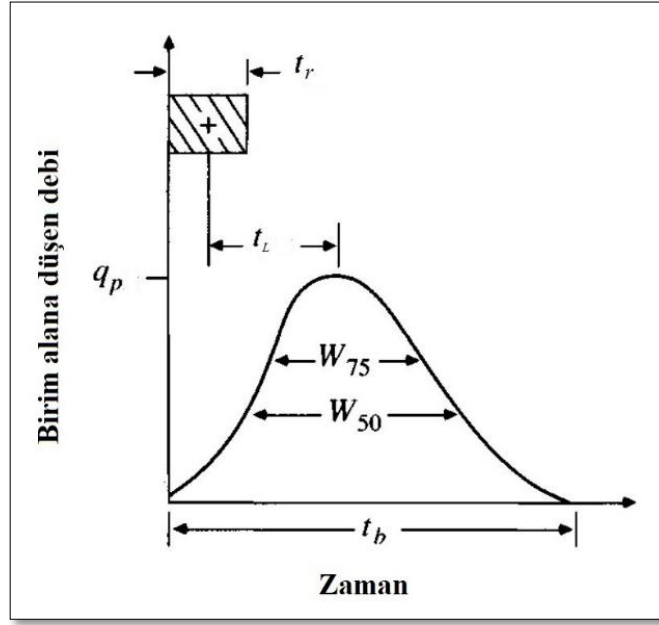
1938 yılında Franklin F. Snyder tarafından yapılan çalışma akarsu havzalarının şekli, topoğrafyası, ana kanal eğimi, akış yoğunluğu ve kanal depolaması gibi havza karakteristikleri hidrografın şeklini etkilediği fikrini ortaya koymuştur. Önermiş olduğu bu fikre dayanarak akarsu havzasının şekli, alanı ve diğer karakteristiklerin bir katsayı ile ortalamalarını almaya dayalı bir sentetik birim hidrograf adı verilen ampirik birim hidrograf formülünü ortaya koymuştur [22,30,42,43]. Literatürde bu metot Snyder sentetik birim hidrograf metodu olarak bilinmektedir.

Geçmişe yönelik yağış – akış ölçümü bulunmayan akarsu havzalarda uygulanan ilk birim hidrograf yöntemi olan Snyder metodu, günümüzde hala en yaygın kullanılan sentetik birim hidrograf metotlarından [22,30]. Uluslararası literatüründe Snyder metodu, her havzanın tek bir hidrografı olduğu yaklaşımına dayandığını belirtilmiştir [44].

Snyder metodu ile bir havzanın birim hidrografı elde etmek istendiğinde o havzaya benzer karakteristiklere sahip ve birim hidrografının bilinmesi gerekmektedir. Snyder metodu, birim hidrografı istenen havza için birim hidrografın gecikme süresi (t_L), taban süresini (t_b), pik debisini (Q_p) ve bununla birlikte birim hidrografın çizimini

kolaylaştırmak amacıyla pik debisinin %50 ve %75'ine karşılık gelen hidrografın genişliklerini elde etmemize yardımcı olmaktadır [34,42,45].

Snyder Amerika Birleşik Devletleri'nde Appalaş dağlarının bulunduğu yüksek bölgelerde alanları 26 ile 26000 km² arasında değişen havzaların birim hidrograflarını inceleyerek standart bir birim hidrograf tarif etmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Snyder sentetik birim hidrografın şekli [20].

Şekil 3.5'te görülen t_L gecikme zamanını (saat), t_r etkili yağış süresini (saat), q_p pik debi değerini (m³/sn/mm) ifade etmektedir.

Snyder sentetik metodu ile hidrografın gecikme süresi (t_L) Eşitlik 3.1'deki formül ile elde edilmektedir [43,46].

$$t_L = 0,75 \times C_t \times (L \times L_c)^{0,3} \quad (3.1)$$

Burada L, havza sınırına kadar ana kanal uzunluğu (km), L_c havzanın ağırlık merkezinden havza çıkışına kadarki olan uzunluk olup birimi ise km'dir. C_t ise bir zamanlama katsayısı olup 1,8 – 2,2 arasında değer almaktadır [43].

Hidrografın etkili yağış süresi olan t_r 'nin formülü Eşitlik 3.2'de verilmiştir.

$$t_r = \frac{t_L}{5,5} \quad (3.2)$$

Hidrografın başlangıcından pik noktasına kadarki olan süre hidrografın yükselme süresi t_p olarak tanımlanır ve formülü Eşitlik 3.3'te verilmiştir.

$$t_p = \left(\frac{t_r}{2}\right) + t_L \quad (3.3)$$

Bu metotta hidrografın pik debisi (Q_p) ($m^3/sn/mm$) Eşitlik 3.4'te verilen formül ile elde edilmektedir [47].

$$Q_p = \alpha \frac{C_p \times A}{t_L} \quad (3.4)$$

Burada α , dönüştürme sabitidir (SI birimleri için 0,275, CU birimleri için 640) [47]. C_p ise hidrografın bir pik katsayısı olup zemin cinsine göre seçilmekte [31] ve 0,59 – 0,69 arasında değer almaktadır [43].

Hidrografın taban süresini (T_b) hesaplamak için $T_b = 5 \times \left[\left(\frac{t_L}{11}\right) + t_L\right]$ eşitliği kullanılmaktadır [48].

Ayrıca bu metoda mahsus hidrografın çizimini kolaylaştırmak için pik debinin %50 ve %75'ine karşılık gelen hidrografın genişliklerini elde etmek için Eşitlik 3.5 ve 3.6'daki formüller kullanılmaktadır [47].

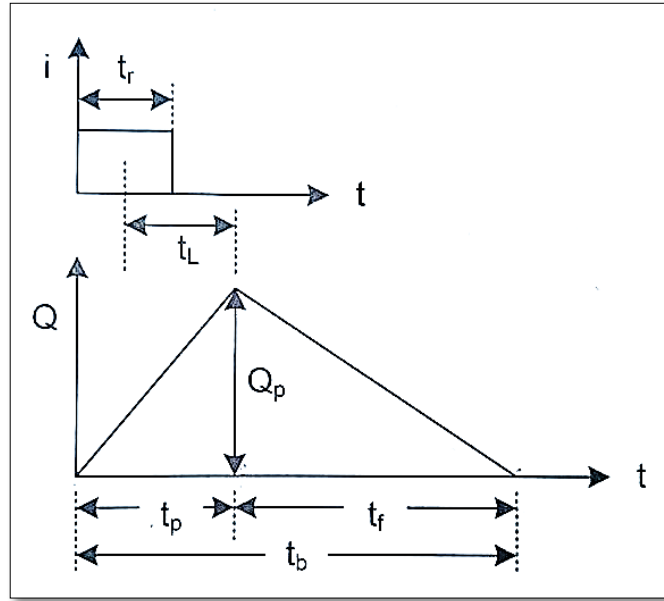
$$W_{50} = \alpha_{50} \times \left(\frac{Q_p}{A}\right)^{-1,075} \quad (3.5)$$

$$W_{75} = \alpha_{75} \times \left(\frac{Q_p}{A}\right)^{-1,075} \quad (3.6)$$

Bu formüllerde $\alpha_{50} = 0,18$ ve $\alpha_{75} = 0,18$ olarak dikkate alınmaktadır.

3.4.2. SCS Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Amerikan Toprak Muhafaza Servisi (şu anda Natural Resources Conservation Services – NRCS olarak bilinir) tarafından geliştirilen SCS Metodu [49], farklı bölgeler ve farklı alanlara sahip havzalardan çok sayıda hidrograf elde edilerek onlardan basit bir üçgen şekline sahip birimsiz bir hidrograf çıkarılmıştır [20]. Bu birimsiz üçgen Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Üçgen birim hidrograf [20].

Şekilden anlaşılacağı üzere hidrografın pik noktasına kadarki olan süre t_p ile gösterilir ve birimi saattir. t_f ise hidrografın pik noktasından hidrografın bitimine kadarki olan süreyi ifade eder ve birimi saattir. Tabii olarak bu iki sürenin toplamı ile hidrografın taban süresi de elde edilebilmektedir.

SCS metodunda işlem hidrografın geçiş süresinin (konsantrasyon süresi) elde edilmesiyle başlanır. Geçiş süresinin (T_c) formülü Eşitlik 3.7’de görülmektedir.

$$T_c = 0,066 \times \left(\frac{L^2}{S_0}\right)^{0,385} (\text{saat}) \quad (3.7)$$

Burada L, havzanın ana kanal uzunluğu (km) olup S₀ ise kanalın eğimini ifade etmektedir.

Hidrografın gecikme süresi (t_L) ve etkili yağış süresi (t_r) sırasıyla Eşitlik 3.8 – 3.9'daki formüller ile elde edilir.

$$t_L = 0,6 \times T_c \text{ (saat)} \quad (3.8)$$

$$t_r = 0,133 \times T_c \text{ (saat)} \quad (3.9)$$

Formülde yer alan S, potansiyel maksimum tutmayı ifade eder ve Eşitlik 3.8'deki formül ile elde edilmektedir.

Pike ulaşma süresi (t_p) yine saat cinsinden Eşitlik 3.10'daki gibi hesaplanır.

$$t_p = \left(\frac{t_r}{2}\right) + t_L \quad (3.10)$$

Havzanın potansiyel maksimum tutma durumu S ile ifade edilir. S, havzanın hidrolojik özellikleri ve toprak üzerindeki bitki örtüsü vs. ile ilgilidir. S'nin formülü Eşitlik 3.11'de sunulmuştur.

$$S = \left(\frac{25400}{CN}\right) - 254 \text{ (mm)} \quad (3.11)$$

Burada CN 0 – 100 arasında değer alan havzanın eğri numarasıdır (Curve Number). CN havzanın toprak sınıflandırılması ve yüzey örtüsünün bir fonksiyonudur. Toprak gruplarının tarif edildiği toprak sınıflandırılması Çizelge 3.2'de sunulmuştur. Farklı yüzey örtüsüne sahip havzalar için CN değerinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 3.3 kullanılmaktadır.

Çizelge 3.2. Toprak gruplarının tarifi [20].

Grup A	<i>En düşük akım potansiyeli:</i> Derin kum, derin lös, topraklanmış silt
Grup B	<i>Oldukça düşük akım potansiyeli:</i> Sığ lös, kumlu lem

Grup C	<i>Oldukça yüksek akım potansiyeli:</i> killi lem, sığ kumlu lem, organik maddesi az toprak ve genelde kili bol toprak
Grup D	<i>En fazla akım potansiyeli:</i> Islanınca önemli ölçüde şişen topraklar, ağır plastik kil ve bazı tuzlu topraklar

Çizelge 3.3. arazi kullanımına göre eğri numaraları [20].

Arazi kullanım tarifı	Hidrolojik toprak grubu			
	A	B	C	D
İşlenmiş arazi: koruma muamelesi yapılmamış	72	81	88	91
Koruma muamelesi yapılmış	62	71	78	81
Otlak: Kötü durumda	68	79	86	89
İyi durumda	39	61	74	80
Mera: iyi durumda	30	58	71	78
Baltalık ve orman: Seyrek bitki, zayıf örtü	45	66	77	83
Malçsız iyi örtü	25	55	70	77
Açıklık alanlar, kırlar, parklar, mezarlıklar, vb.				
İyi durumda: alanın %75'inden fazlası otlakla kaplı	39	61	74	80
Orta durumda: alanın %50 - %75'i otlakla kaplı	49	69	79	84
Ticaret ve iş alanları (%85 geçirimsiz)	89	92	94	95
Endüstriyel bölge (%72 geçirimsiz)	81	88	91	93
Yerleşim birimleri				
Ortalama arazi büyüklüğü				
ortalama % geçirimsiz				
1/8 acre veya küçük	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Kaplamalı otopark, çatılar, araba yolları	98	98	98	98
Sokaklar ve yollar:				
Kaplamalı ve yağmur suyu drenajlı	98	98	98	98
Çakıl	76	85	89	91
Toprak	72	82	87	89

İşlemin bu aşamasında hidrografın pik debisi (q_p) Eşitlik 3.12'deki gibi hesaplanabilmektedir.

$$Q_p = \frac{0,2083 \times A}{t_p} (m^3/sn/mm) \quad (3.12)$$

Burada A havzanın alanı olup km cinsinden girilmelidir [26].

3.4.3. DSİ Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Bu metot daha önce bahsedildiği gibi 1000 km²'ye kadar alana sahip havzalarda uygulanmaktadır. Alanı 1000 km²'den büyük havzalarda uygulanması durumunda havza alanı bölünerek her biri için ayrı birim hidrografı bulunmalıdır [31,50,51]. Ayrıca bu metotta kullanılan birim hidrograflar 2 saatlik yağış değerlerine göre elde edildiğinden birim hidrografın yükselme süresinin (T_p) de 2 saatten az olmamalıdır [31].

DSİ sentetik birim hidrograf metodunda kullanılan formüller Eşitlik 3.13 – 3.17'da sunulmuştur.

$$E = \frac{L \times L_c}{\sqrt{S_h}} \quad (3.13)$$

$$q_p = \frac{414}{A^{0,225} \times E^{0,16}} \quad (3.14)$$

$$Q_p = q_p \times A \times 10^{-3} \quad (3.15)$$

$$V_b = A \times h_a \times 10^3 \quad (3.16)$$

$$t_b = 3,65 \times \frac{V_b}{Q_p} \quad (3.17)$$

Burada E, harmonik eğime bağlı birimsiz bir katsayıdır. S_h ana kanalın harmonik eğimini (%), q_p birim debi (lt/sn/km²/mm), Q_p hidrografın pik debisini (m³/sn/mm),

V_b hidrografın toplam su hacmini (m^3) ve t_b ise hidrografın taban hacmini ifade etmektedir [31].

3.4.4. Mockus Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Mockus metodu da yukarıda söz edilen diğer metotlar gibi yağış – akış verisi bulunmayan havzaların birim hidrografının elde edilmesinde sıkça kullanılan bir diğer sentetik birim hidrograf metodudur. Metodun hesap kolaylığı ve hidrografın üçgen biçimde olması dolayısıyla hidrograf çiziminin basitçe çizilmesi, metodun yaygın bir şekilde kullanılmasına sebep olmaktadır [31,52–55].

Metodun uygulanabilirliği ile ilgili literatüre bakıldığında [51,56] numaralı kaynaklar havza alanı $1000km^2$ 'den küçük olan havzalarda, [31,36] numaralı kaynaklar ise $10km^2$ 'den küçük olan havzalarda metodun uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca Mockus metodunun uygulanabilmesi için toplanma süresinin de 30 saatten az olması gerektiği literatürde vurgulanmaktadır [31,33,36,50,51,53–55].

Mockus metodunda, Snyderde olduğu gibi çözümünde bazı havza katsayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu katsayılardan biri iklim parametresi (K) ve diğeri H_c 'dir. H_c , iklim parametresi olan K'ya bağlı olup 1 – 2 arasında değer almaktadır. K ise benzer iklim karakterine sahip ve birim hidrografi bilinen başka bir havzadan belirlenebilmektedir. Ancak benzer karakteristiklere sahip bir havzanın yokluğu sebebiyle bu katsayının belirlenemediği durumlarda K katsayısı 0,208 olarak dikkate alınabilmektedir [31,54]. Mockus sentetik birim hidrograf metodunda ihtiyaç duyulan formüller Eşitlik 3.18 – 3.22'de sunulmuştur.

$$t_c = 0,00032 \times \left(\frac{L^{0,77}}{S_0^{0,385}} \right) \quad (3.18)$$

$$t_r = 2 \times t_c^{1/2} \quad (3.19)$$

$$t_p = 0,5 \times t_r + 0,6 \times t_c \quad (3.20)$$

$$t_f = H_c \times t_p \quad (3.21)$$

$$Q_p = K \times A \times \frac{h_a}{t_p} \quad (3.22)$$

Burada t_c , hidrografın konsantrasyon süresini (saat), t_r etkili yağış süresini (saat), t_p pike ulaşma süresini, t_f hidrografın alçalma süresini ve Q_p ise hidrografın pik debisini ($m^3/sn/mm$) ifade etmektedir. Ayrıca pik debi formülünde yer alan h_a yağış yüksekliği olup 1 mm olarak formüllerde dikkate alınmaktadır.

3.4.5. Gama Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Gama sentetik birim hidrograf metodu diğer sentetik metotlara göre birim hidrografı istenen havzanın daha fazla havza ve akarsu karakteristiklerine ihtiyaç duymaktadır. Hidrografın çizimi için gerekli olan pik debi değeri, yükselme süresi vd. parametrelerin hesabına geçmeden önce havzanın Kaynak faktörü (SF), kaynak frekansı (SN), eklem numarası (JN), drenaj ağ yoğunluğu (D), genişlik faktörü (WF) ve havzanın simetri faktörü (SIM) elde edilmelidir. Bu parametrelerin elde edilebilmesi için gerekli formüller Eşitlik 3.23 – 3.29’de sunulmuştur.

$$SF = \frac{1. \text{derece toplam akarsu uzunluğu}}{\text{toplam akarsu ağ uzunluğu}} \quad (3.23)$$

$$SN = \frac{1. \text{derece toplam akarsu sayısı}}{\text{toplam akarsu ağ sayısı}} \quad (3.24)$$

$$JN = 1. \text{derece toplam akarsu sayısı} - 1 \quad (3.25)$$

$$D = \frac{\text{Toplam akarsu ağ uzunluğu}}{\text{Havza alanı}} \quad (3.26)$$

$$WF = \frac{\text{havza çıkışından \%75 uzaklığındaki havza genişliği}}{\text{havza çıkışından \%25 uzaklığındaki havza genişliği}} \quad (3.27)$$

$$RUA = \frac{\text{havzanın memba kısmındaki alan}}{\text{Havza alanı}} \quad (3.28)$$

$$SIM = WF \times RUA \quad (3.29)$$

Havzaya ait bu bilgiler elde edildikten sonra hidrografın pike ulaşma süresi (t_p), pik debi değeri (Q_p) ve hidrografın taban süresi (t_b) sırasıyla Eşitlik 3.30 – 3.32’te sunulan formüller ile elde edilir [57].

$$t_p = 0,43 \left(\frac{L}{100 \times SF} \right)^3 + 1,0665 \times SIM + 1,2775 \quad (3.30)$$

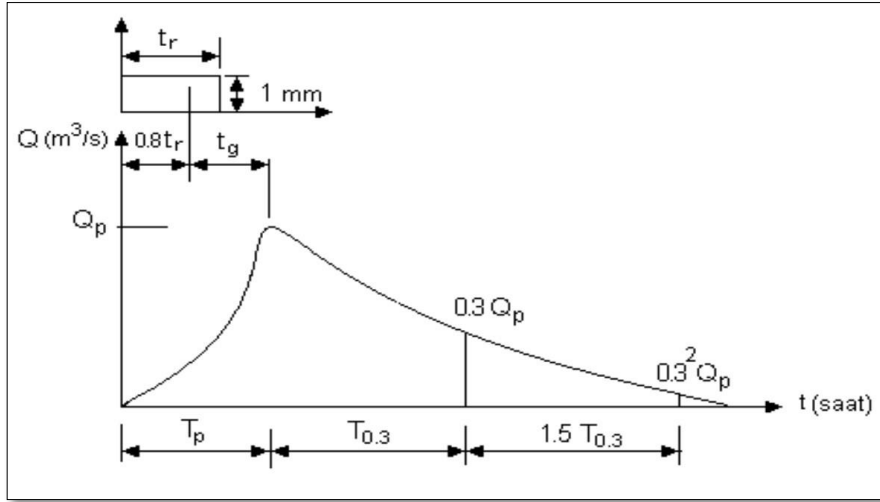
$$q_p = 0,1836 \times A^{0,5886} \times t_p^{-0,4008} \times JN^{0,2381} \quad (3.31)$$

$$t_b = 27,4132 \times t_p^{0,145} \times s_0^{-0,0986} \times SN^{0,7344} \times RUA^{0,2574} \quad (3.32)$$

3.4.6. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Metodu

1940’lı yıllarda Dr. Nakayasu tarafından Japonya’daki birçok nehir üzerine yapılan çalışma sonucu ortaya konulmuş sentetik birim hidrograf metotlarından biridir [58–61]. Dr. Nakayasu’nun ortaya koyduğu bu metotta hesaplamalar yapılırken, diğer sentetik birim hidrograf metotlarından farklı olarak, havzaya ait katsayıların gerekli olmamasıdır. Bu metotta havzanın alanı ve uzunluk gibi kolaylıkla elde edilebilen havza karakteristikleri ile hesapların yapılması bu metodun diğer sentetik birim hidrograf metotlarına kıyasla hesap kolaylığı avantajını beraberinde getirmektedir. Fakat Nakayasu sentetik birim hidrograf metodunun uzak doğu ülkelerinde sıkça kullanılmasına rağmen Türkiye ve Avrupa ülkelerinde kullanılmasının çok nadir olduğu literatürde zikredilmektedir [22].

Dr. Nakayasu’nun tarif ettiği sentetik birim hidrograf Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf [22].

Bu metodun uygulanabilmesi için bazı katsayıların belirlenmesi gerekmektedir. Bu katsayılardan biri α diğeri ise yağış katsayısı olan C 'dir. α katsayısı 1,5 – 3 arasında değer almaktadır [62]. Yağış katsayısı olan C ise literatürdeki çalışmalarda 1 olarak dikkate alınmıştır [22,59,61].

Bu metotta hidrografın gecikme süresi olan t_L 'nin hesaplanması için ana kanalın uzunluğuna bağlı farklı formüller kullanılmaktadır.

Eğer havzanın ana kol uzunluğu 15 km'den büyük ise:

$$t_L = 0,4 + 0,058 \times L \quad (3.33)$$

Eğer havzanın ana kol uzunluğu 15 km'den küçük ise:

$$t_L = 0,21 \times L^{0,7} \quad (3.34)$$

Hidrografın gecikme süresi elde edildikten sonra hidrografın çizimi için gerekli olan diğer parametreler Eşitlik 3.35 – 3.38'ta sunulan formüller ile hesaplanmaktadır.

$$t_r = 0,75 \times t_L \quad (3.35)$$

$$t_p = t_L + 0,8 \times t_r \quad (3.36)$$

$$t_{0,3} = \alpha \times t_L \quad (3.37)$$

$$Q_p = \frac{C \times A \times h_a}{3,6 \times (0,3 \times t_p + t_{0,3})} \quad (3.38)$$

Formüllerde yer alan t_r etkili yağış süresini (saat), t_p pike ulaşma süresi (saat), $t_{0,3}$ pik debinin %30'una kadar azalması için gerekli zamanı ve Q_p ise hidrografın pik debisini ifade etmektedir [59,61].

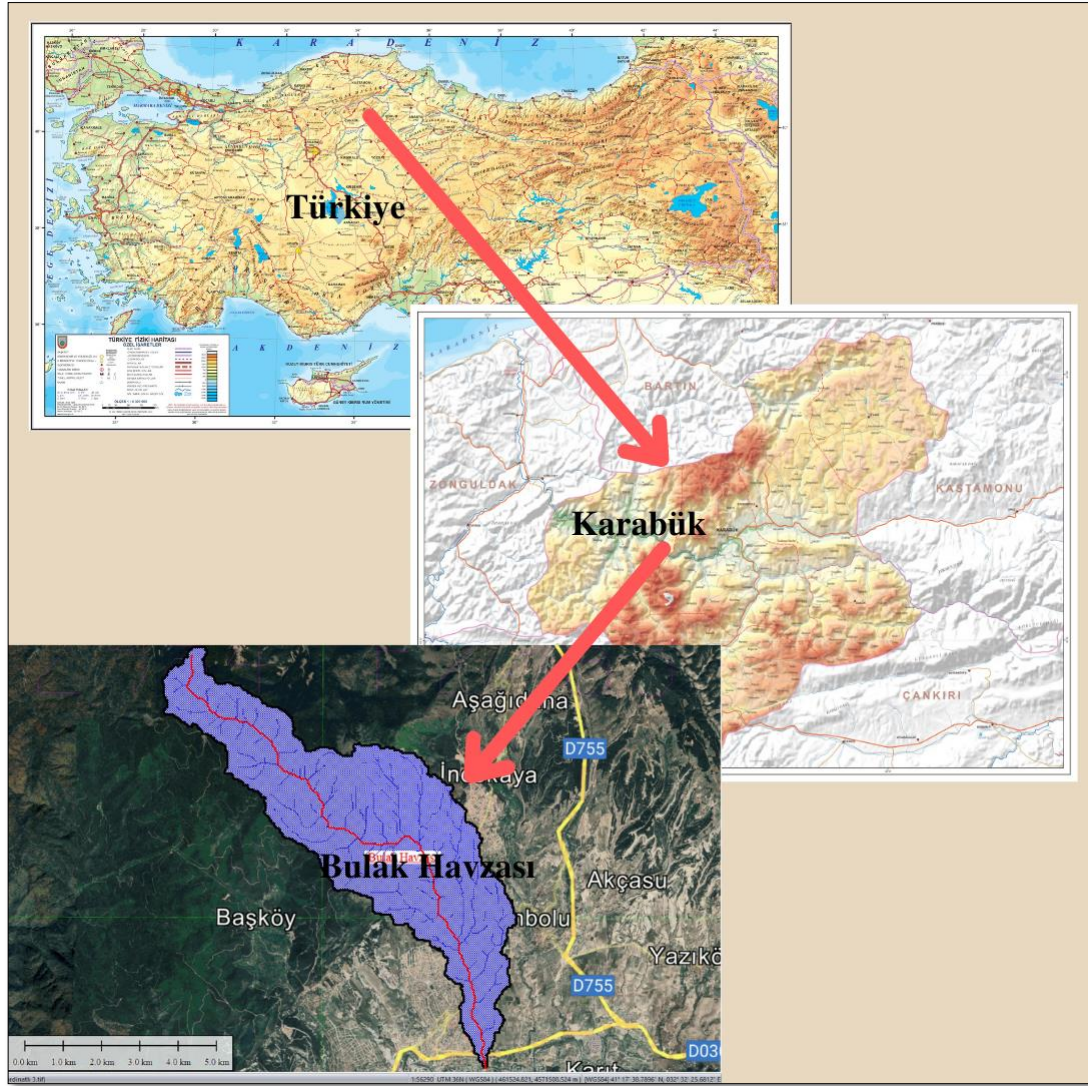
BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ BİLGİLER

4.1.1. Bölgenin Coğrafik Konumu ve Topoğrafyası

Bu tezin çalışma alanı Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Karabük ili içerisinde bulunan Bulak Deresi Havzasıdır. İlin kuzeyinde Bartın, kuzeydoğu ve doğusunda Kastamonu, güneydoğusunda Çankırı, güneybatısında Bolu ve batısında ise Zonguldak yer almaktadır. 1/25000 ölçekli topoğrafik haritasında ise havza, Zonguldak F29-a3, F29-a4, F29-d1 ve F29-d2 paftalarında bulunmaktadır. Ayrıca Karabük ili, deniz seviyesinden ortalama olarak 270 metre yüksekliğinde bulunup vadi ve platolardan oluşmaktadır [63]. Karabük ilinin Türkiye'deki konumu ve Bulak havzasının Karabük ilindeki konumu Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Karabük ilinin Türkiye’deki konumu ve Bulak havzasının Karabük ilindeki konumu

4.1.2. Bölgenin İklim Özellikleri

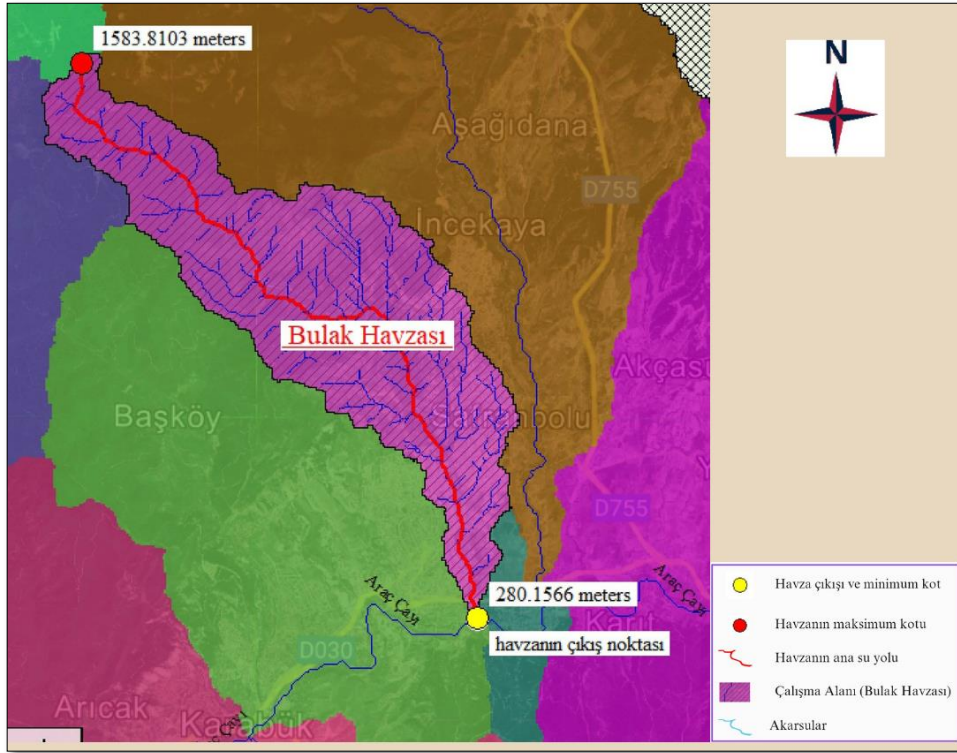
Karabük ili kısmen Karadeniz iklim özelliklerini göstermektedir. Karadeniz Bölgesinin yıllık ortalama hava sıcaklığı 13,15 °C iken Karabük ilinde bu rakam 13,2 °C ve yılın en sıcak ayı olan temmuz ayında Karadeniz bölgesinde ortalama hava sıcaklığı 23,24 °C iken Karabük’te bu rakam 23,1 °C civarındadır. Karabük’te en soğuk ay Ocak olup ayın ortalama hava sıcaklığı 2,6 °C’tır. İlde şimdiye kadar ölçülen en yüksek hava sıcaklığı 43 °C iken en düşük hava sıcaklığı -14,2 °C olarak ölçülmüştür [63,64].

Çalışma alanı olan Karabük'te, Doğu Karadeniz Bölgesi gibi en fazla yağış son baharda ve az yağış ilk baharda görülmektedir. Fakat Doğu Karadenize kıyasla yağış miktarı neredeyse yarı yarıya daha düşüktür [64]. Karabük ili, Karadeniz iklim özelliklerine sahip olduğundan her mevsimde yağış olsa da Temmuz ve Ağustos aylarında kurak bir dönem geçirmektedir. İlin yıllık ortalama yağış miktarı 487,7 mm olup hâkim rüzgâr yönü güneybatıdır ve yıllık ortalama rüzgâr hızı ise 0,8 m/sn'dir [63].

4.2. BULGULAR

4.2.1. Havza Karakteristikleri

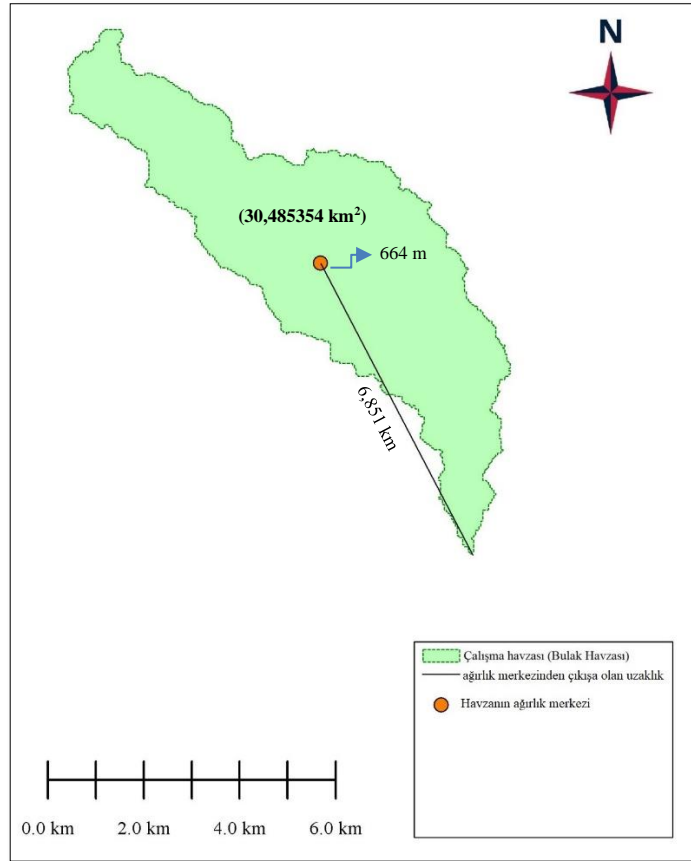
Havza alanı, eğimi, yükseklikleri ve diğer karakteristikler Global Mapper uzantısı kullanılarak elde edilmiştir. Bulak havzasına ait maksimum, minimum ve ortalama yükseklikleri sırasıyla 1583,81 m, 280,16 m ve 651,82 m olarak belirlenmiş olup bu yükseklikler Şekil 4.2'de görülmektedir.



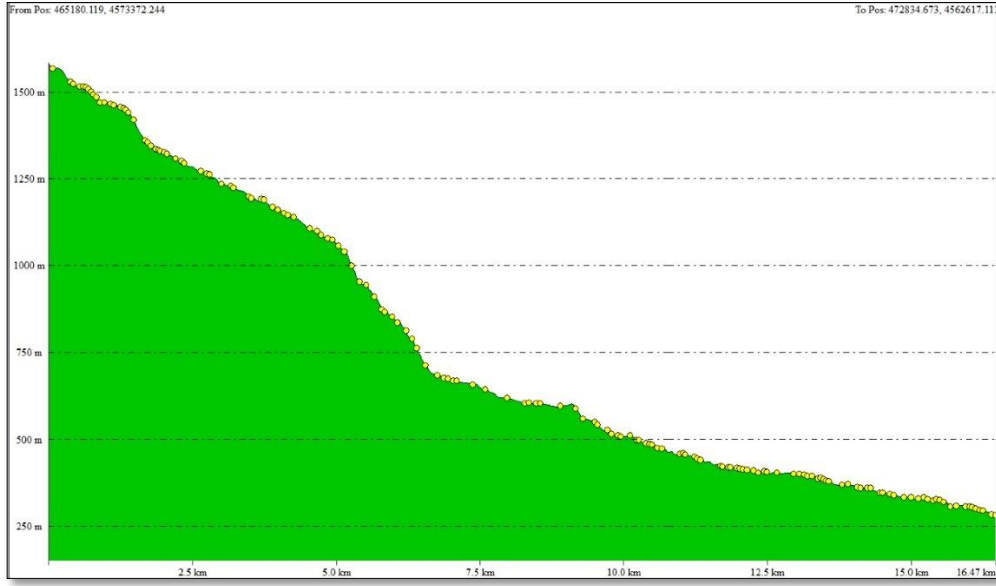
Şekil 4.2. Havzanın minimum ve maksimum yükseklik değerleri

Şekilde kırmızı ile çizilen çizgi, havzanın ana su yoludur ve uzunluğu Global Mapper uzantısıyla 16,508 km olarak belirlenmiştir.

Havzanın ağırlık merkezi ve ağırlık merkezinden havzanın çıkış noktasına kadar olan uzaklık yine Global Mapper uzantısıyla elde edilmiştir. Havzanın ağırlık merkezi deniz seviyesinden 664 m yüksekliğinde yer almakta ve havzanın çıkış noktasına olan uzaklığı ise 6,851 km olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.3'te havzanın ağırlık merkezi ve havza çıkışına olan uzaklığı görülmektedir. Şekil 4.4'te ise havzanın ana su yolunun boy kesiti sunulmuştur.



Şekil 4.3. Havzanın ağırlık merkezi ve havzanın çıkış noktasına olan uzaklığı



Şekil 4.4. Havzadaki ana kanal boy kesidi

Çalışma alanı olan Karabük Bulak deresi havzasının havza parametreleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Karabük Bulak Deresi havzasına ait belirlenen sayısal değerler

No	Parametreler	Sembol	Değer	Birim
1	Havzanın Alanı	A	30,485354	km ²
2	Ana kanal uzunluğu	L	16,389	km
3	Havza ağırlık merkezinden çıkışa olan uzunluk	Lc	6,851	km
4	Havzanın maksimum yüksekliği	-	1583,81	m
5	Havzanın minimum yüksekliği	-	280,16	m
6	Ana kanalın harmonik eğimi	So	1,501863	%
7	Toplam akarsu ağ uzunluğu	-	88,327	km
8	1. derece akarsu ağları	-	121	adet
9	1. derece akarsu ağların toplam uzunluğu	-	47,575	km
10	Toplam akarsu ağ sayısı	-	190	adet
11	Havza çıkışından içine doğru %25 uzaklığındaki havza genişliği	-	1,609	km
12	Havza çıkışından içine doğru %75 uzaklığındaki havza genişliği	-	1,624	km

4.2.2. Sentetik Metotlar ile Karabük Bulak Deresi Havzasının Birim Hidrograf Hesabı

Sentetik metotlarla Karabük Bulak Deresi Havzasının birim hidrograf hesabı Snyder, DSİ, SCS, Mokus, Nakayasu ve Gama metotları için yapılmıştır.

Hesaplamalarda gerekli olan ana kanalın Eğim hesabı, uç değerlerden (en yüksek kota sahip sayılı kanal yükseklikleri) etkilenmemesi için ana kanalın eğimi harmonik olarak hesaplanmış ve kullanılan bu 6 metot için harmonik eğim dikkate alınmıştır.

4.2.2.1. Snyder Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı

Snyder metodunu uygulamak için C_t ve C_p katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu katsayılardan 3.4.1 nolu başlıkta kısaca bahsedilmiş ve nasıl elde edildiği ile ilgili kaynaklar sunulmuştur.

Bu çalışmada, C_t ve C_p katsayıları havzanın toplam su hacmine göre ayarlanmış olup, $C_p = 0,683$ ve $C_t = 1,8$ 'e olarak belirlenmiştir.

Bu metodun uygulanabilmesi için gerekli olan havza parametreleri; $A = 30,485354$ km², $L = 16,389$ km, $L_c = 6,851$ km, $C_p = 0,683$, $C_t = 1,8$, $h_a = 1$ mm olarak dikkate alınmıştır.

Snyder metodu ile hidrografın gecikme süresi (t_L) Eşitlik 4.1 – 4.2'deki gibi hesaplanmıştır.

$$t_L = 0,75 \times C_t(L \times L_c)^{0,3} \quad (4.1)$$

$$t_L = 0,75 \times 1,8(16,389 \times 6,851)^{0,3} = 5,564 \text{ (Saat)} \quad (4.2)$$

Daha sonra etkili yağış süresi (t_r) Eşitlik 4.3 – 4.4'teki formüller ile hesaplanmıştır;

$$t_r = \frac{t_L}{5,5} \quad (4.3)$$

$$t_r = \frac{5,564}{5,5} = 1,012 \text{ (saat)} \quad (4.4)$$

Havza için 1 saatlik birim hidrografi istendiğinden ve etkili yağış süresi (t_r) = 1 saate yakın olduğundan $t_R = t_r$, $q_{pR} = q_p$ ve $t_{LR} = t_L$ şeklinde dikkate alınarak işleme devam edilmiştir.

t_L ve t_r hesaplandıktan sonra hidrografın yükselme süresi (t_p) Eşitlik 4.5 – 4.6'teki formüller yardımıyla elde edilmiştir.

$$t_p = \left(\frac{t_r}{2}\right) + t_L \quad (4.5)$$

$$t_p = \left(\frac{1,012}{2}\right) + 5,564 = 6,07 \text{ (saat)} \quad (4.6)$$

İşlemin bu aşamasında birim alana düşen pik debi değeri (Q_p) ($m^3/sn/mm$) Eşitlik 4.7 – 4.8'teki gibi hesaplanmıştır.

$$Q_p = \alpha \frac{C_p \times A}{t_L} \quad (4.7)$$

$$Q_p = 0,275 \frac{0,683 \times 30,485}{5,564} = 1,029 \text{ (m3/sn/mm)} \quad (4.8)$$

Burada α , dönüştürme sabitidir (SI birimleri için 0,275, CU birimleri için 640) [47]. Hidrografın taban süresini (T_b) hesaplamak için Eşitlik 4.9 – 4.10'daki formüller kullanılmıştır [48].

$$T_b = 5\left[\left(\frac{t_L}{11}\right) + t_L\right] \quad (4.9)$$

$$T_b = 5 \left[\left(\frac{t_L}{11} \right) + t_L \right] = 5 \left[\left(\frac{5,564}{11} \right) + 5,564 \right] = 30,352 \text{ (saat)} \quad (4.10)$$

Hidrografın çizimini kolaylaştırmak amacıyla pik debi değerinin %50 ve %75'ine karşılık gelen hidrografın genişlikleri Eşitlik 4.11 – 4.12'teki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{50} = \alpha_{50} \left(\frac{q_p}{A} \right)^{-1,075} = 0,18 \left(\frac{1,029}{30,485} \right)^{-1,075} = 6,876 \text{ (saat)} \quad (4.11)$$

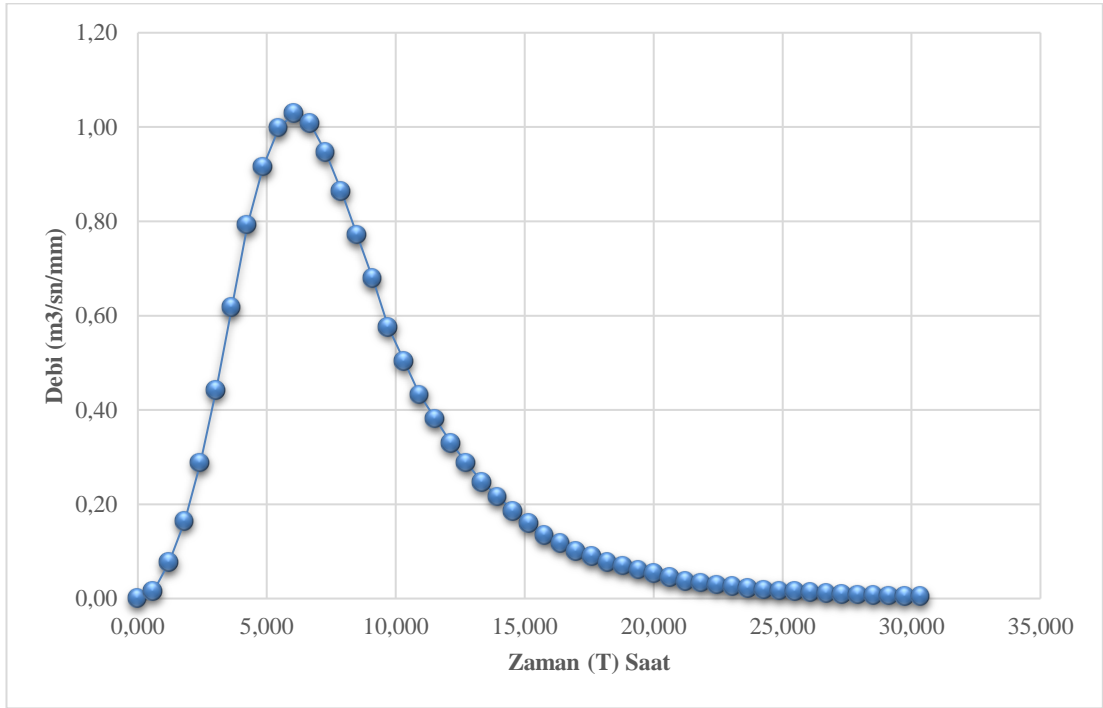
$$W_{75} = \alpha_{75} \left(\frac{q_p}{A} \right)^{-1,075} = 0,1 \left(\frac{1,029}{30,485} \right)^{-1,075} = 3,82 \text{ (saat)} \quad (4.12)$$

Snyder metodunun boyutsuz birim hidrograf koordinatları Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Bu koordinatlar kullanılarak birim hidrograf çizilmiş ve hidrografın altında kalan alan ile bulunan hacim değeri, havzaya düşen birim yağışın oluşturacağı dolaysız akış hacmi ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Boyutsuz Birim Hidrograf Koordinatları [65].

T/ t _p	Q/ Q _p	T/ t _p	Q/ Q _p
0	0	1,4	0,75
0,1	0,02	1,5	0,66
0,2	0,08	1,6	0,56
0,3	0,16	1,8	0,42
0,4	0,28	2	0,32
0,5	0,43	2,2	0,24
0,6	0,6	2,4	0,18
0,7	0,77	2,6	0,13
0,8	0,89	2,8	0,1
0,9	0,97	3	0,08
1	1	3,5	0,04
1,1	0,98	4	0,02
1,2	0,92	4,5	0,01
1,3	0,84	5	0

Karabük Bulak deresi birim hidrografının Snyder metoduyla birim hidrografının çizimi için yapılan hesaplamalar sonucunda Gecikme süresi $t_L = 5,564$ (saat), etkili yağış süresi $t_r = 1,012$ (saat), yükselme süresi $t_p = 6,07$ (saat), $Q_p = 1,029$ ($m^3/sn/mm$), $w_{50} = 6,876$ (saat), $w_{75} = 3,82$ (saat), $C_t = 1,8$ ve $C_p = 0,683$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda Snyder metoduyla havzanın birim hidrografi Şekil 4.5'teki gibi çizilmiştir.



Şekil 4.5. Bulak deresi havzasının Snyder metodu ile çizilmiş birim hidrografı.

4.2.2.2. DSİ Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı:

DSİ metodunda kullanılmak üzere havza parametreleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. DSİ sentetik metodunda gerekli olan havza parametreleri

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Havzanın Alanı	A	30,4854	km ²
Ana kanal uzunluğu	L	16,389	km

Havza ağırlık merkezinden çıkışa olan uzunluk	L _c	6,851	km
Harmonik eğim	S _h	0,01502	-
Yağış yüksekliği	h _a	1	mm

Daha önce zikredildiği gibi havzanın eğimi, diğer havza parametreleri gibi Global Mapper programı kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca ana kanal eğimlerdeki uç değerler yanıltıcı sonuçlara sebebiyet vermesin diye harmonik eğim hesabı kullanılmıştır.

DSİ Sentetik metodunu, birim debi formülünde kullanılmak üzere harmonik eğime bağlı birimsiz bir katsayı olan E'yi (Eşitlik 4.13) hesaplayarak hidrograf çözümüne başlanılmıştır;

$$E = \frac{L \times L_c}{\sqrt{S_h}} = \frac{16,389 \times 6,851}{0,122550518} = 916,20 \quad (4.13)$$

Ardından birim debi (q_p) (lt/sn/km²/mm) ve pik debi (Q_p) (m³/sn/mm) değerleri Eşitlik 14 – 15'teki gibi hesaplanmıştır.

$$q_p = \frac{414}{A^{0,225} \times E^{0,16}} = \frac{414}{30,4854^{0,225} \times 916,20^{0,16}} = 64,44 \text{ (lt/sn/km}^2\text{/n)} \quad (4.14)$$

$$Q_p = q_p \times A \times 10^{-3} = 64,44 \times 30,485354 \times 10^{-3} = 1,96 \text{ (m}^3\text{/sn/mm)} \quad (4.15)$$

Hidrografın birim hacmi (V_b, m³), Taban süresi (T_b) ve yükselme süresi (t_p) sırasıyla Eşitlik 4.16 – 4.18'de sunulan formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

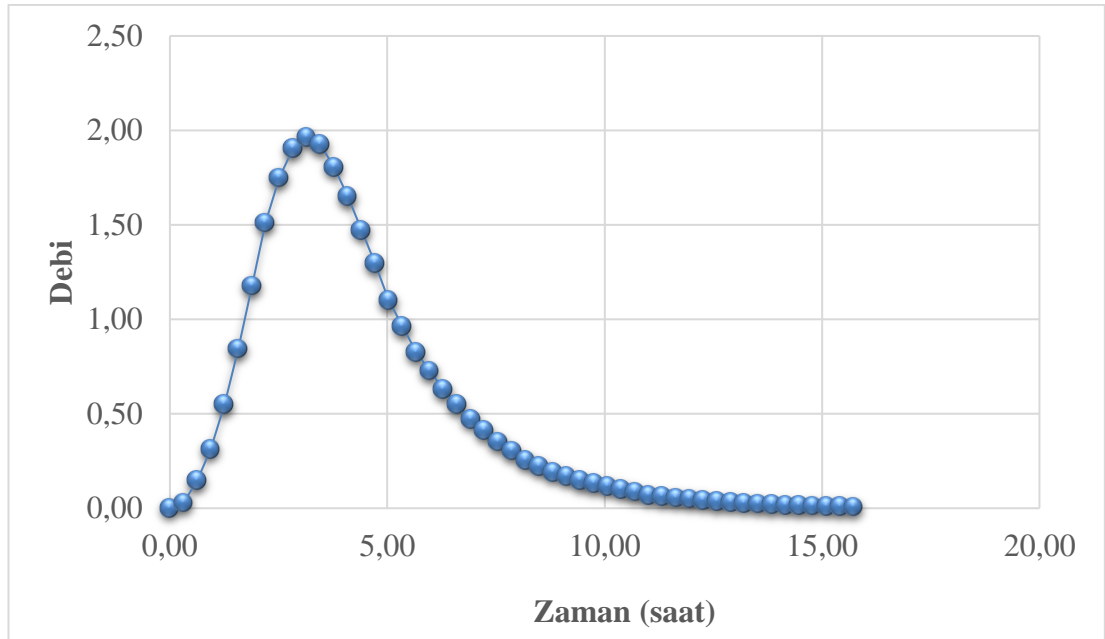
$$V_b = A \times h_a \times 10^3 = 30,485354 \times 1 \times 10^3 = 30485,35 \text{ m}^3 \quad (4.16)$$

$$t_b = 3,65 \times \frac{V_b}{Q_p} = 3,65 \times \frac{30485,35}{1,96} = 56641,10 \text{ (saniye)} \approx 15,73 \text{ (saat)} \quad (4.17)$$

$$t_p = \frac{t_b}{5} = \frac{15,73}{5} = 3,15 \text{ (saat)} \quad (4.18)$$

DSİ sentetik metodunun boyutsuz birim hidrograf koordinatları Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Bu koordinatlar kullanılarak birim hidrograf çizilmiş ve hidrografın altında kalan alan ile bulunan hacim değeri, havzaya düşen birim yağışın oluşturacağı dolaysız akış hacmi ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

Karabük Bulak deresi birim hidrografının DSİ sentetik metoduyla birim hidrografının çizimi için yapılan hesaplamalar sonucunda, yükselme süresi $t_p = 3,15$ (saat), $Q_p = 1,96$ ($m^3/sn/mm$) ve $T_b = 15,73$ (saat) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda DSİ sentetik metoduyla havzanın birim hidrografi Şekil 4.6’daki gibi çizilmiştir.



Şekil 4.6. Bulak havzasının DSİ metodu ile elde edilen birim hidrografı

4.2.2.3. Mockus Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı

Mockus sentetik metodunda kullanılmak üzere havza karakteristiklerine bağlı olan K ve Hc katsayıları sırasıyla 0.205 ve 1,67 olarak dikkate alınmıştır. K, hidrograf yokluğu gibi hesaplanamadığı hallerde 0,208 olarak dikkate alınır [31,54]. Ancak

burada hidrografın altındaki toplam su hacmini sağlayacak şekilde kontrol edilerek ayarlanmıştır. Diğer havza parametreleri Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4.4. Mockus sentetik metodunda gerekli olan havza parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Havza Alanı (A)	30,485354	Km ²
Ana Kanal Uzunluğu (L)	16389	m
Havza ağırlık merkezinden çıkışa olan uzunluk (Lc)	6,851	km
Ana kanalın ortalama Eğimi (So)	0,01501863	-
Havzanın kot farkı, Yükseklik (h)	1,304	km
Yağış yüksekliği (ha)	1	mm
İklim parametresi (K)	0,205	-
Havza karakteristiklerine bağlı katsayı (Hc)	1,67	-

Mockus metodu ile hidrografın konsantrasyon süresi (t_c , saat) Eşitlik 4.19'daki gibi hesaplanmıştır;

$$t_c = 0,00032 \times \left(\frac{L^{0,77}}{S_o^{0,385}} \right) = 0,00032 \times \left(\frac{16389^{0,77}}{0,01501863^{0,385}} \right) = 2,834 \text{ (saat)} \quad (4.19)$$

Ardından etkili yağış süresi (t_r , saat), pike ulaşma süresi (t_p , saat) ve hidrografın alçalma süresi (t_f , saat) ve istenen debi değeri sırasıyla Eşitlik 4.20 – 4.23'teki formüllerden yola çıkarak elde edilmiştir.

$$t_r = 2 \times t_c^{1/2} = 2 \times 2,834^{1/2} = 3,367 \text{ (saat)} \quad (4.20)$$

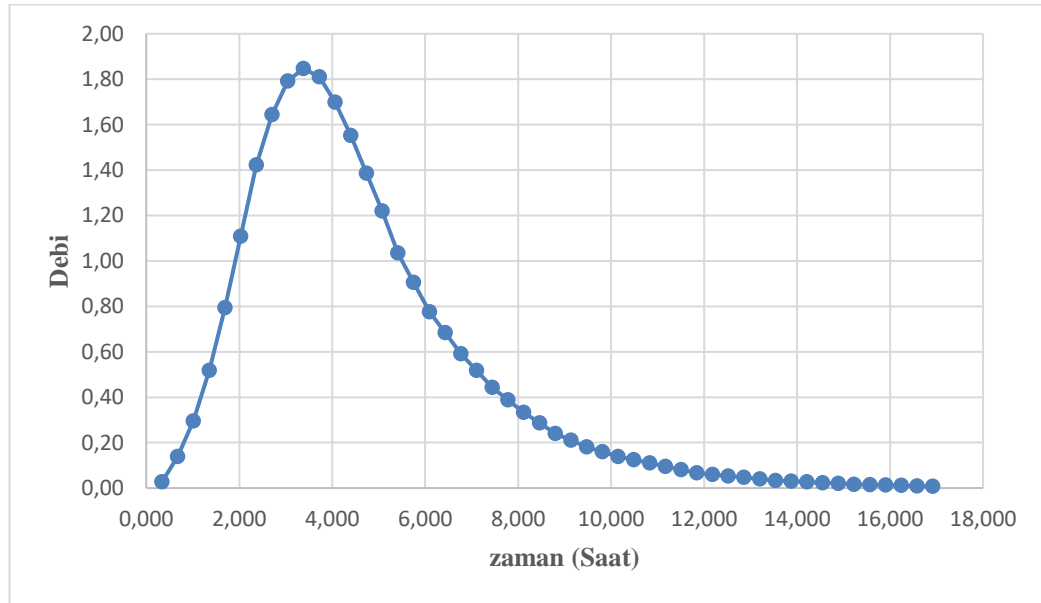
$$t_p = 0,5 \times t_r + 0,6 \times t_c = 0,5 \times 3,367 + 0,6 \times 2,834 = 3,384 \text{ (saat)} \quad (4.21)$$

$$t_f = H_c \times t_p = 5,6506 \text{ (saat)} \quad (4.22)$$

$$Q_p = K \times A \times \frac{h_a}{t_p} = 0,205 \times 30,485354 \times \frac{1}{3,384} = 1,847 \text{ (m}^3\text{/sn/mm)} \quad (4.23)$$

Mockus sentetik metodunun boyutsuz birim hidrograf koordinatları Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Bu koordinatlar kullanılarak birim hidrograf çizilmiş ve hidrografın altında kalan alan ile bulunan hacim değeri, havzaya düşen birim yağışın oluşturacağı dolaysız akış hacmi ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

Karabük Bulak deresi birim hidrografının Mockus sentetik metoduyla birim hidrografının çizimi için yapılan hesaplamalar sonucunda, yükselme süresi $t_p = 3,3836$ (saat), $t_r = 5,6506$ (saat), $Q_p = 1,847$ (m³/sn/mm) ve etkili yağış süresi $t_r = 3,367$ (saat) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda Mockus sentetik metoduyla havzanın birim hidrografi Şekil 4.7’deki gibi çizilmiştir.



Şekil 4.7. Bulak deresi havzasının Mockus metodu ile çizilmiş birim hidrografi

4.2.2.4. Nakayasu Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı

Nakayasu sentetik birim hidrograf metodunda gerekli olan α katsayısı, 1,5 – 3 arasında değer almaktadır [62]. Yağış katsayısı olan $C = 1$ olarak dikkate alınmıştır [22,59,66]. Bu çalışmada α , hidrografın toplam su hacmini sağlayacak şekilde 1,70’e

ayarlanmıştır. Hidrografın çizimi için gerekli olan diğer havza parametreleri Çizelge 4.5'te görülmektedir.

Çizelge 4.5. Nakayasu sentetik metodunun çözümünde gerekli olan havza parametreleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Havza Alan	A	30,49	Km ²
Ana Kanal Uzunluğu	L	16,39	km
Havza ağırlık merkezinden çıkışa olan uzunluk	Lc	6,85	km
Havza katsayısı	α	1,70	-
Yağış katsayısı	C	1,00	-
Birim yağış	ha	1,00	mm
Ardışık dolaysız akış ordnatları arasındaki zaman aralığı	t	1,00	Saat

Nakayasu sentetik birim hidrograf metodunu hidrografın gecikme süresini (t_L , saat) hesaplayarak başlanmıştır.

Hidrografın gecikme süresi hesaplanırken, havzanın ana kanal uzunluğuna bağlı olarak farklı formüller kullanılmaktadır. Çalışma havzasının ana kanalı 15 km'den uzun olduğundan gecikme süresi (t_L) Eşitlik 4.24'teki gibi elde edilmektedir;

$$t_L = 0,4 + 0,058 \times L = 0,4 + 0,058 \times 16,39 = 1,35 \text{ (saat)} \quad (4.24)$$

Ardından etkili yağış süresi (t_r) ve pike ulaşma süresi (t_p) Eşitlik 4.25 – 4.26'daki gibi hesaplanmıştır.

$$t_r = 0,75 \times t_L = 0,75 \times 1,35 = 1,01 \text{ (saat)} \quad (4.25)$$

$$t_p = t_L + 0,8 \times t_r = 1,35 + 0,8 \times 1,01 = 2,16 \text{ (saat)} \quad (4.26)$$

Hidrografın pik değerinin (Q_p) elde edilebilmesi için önce pik debinin %30'una kadar azalması için gerekli zaman aralığı olan ($t_{0,3}$) hesaplanmalı. $t_{0,3}$ ve Q_p değerleri Eşitlik 4.27 ve 4.28'deki gibi hesaplanmıştır.

$$t_{0,3} = \alpha \times t_L = 1,70 \times 1,35 = 2,30 \text{ (saat)} \quad (4.27)$$

$$Q_p = \frac{C \times A \times h_a}{3,6(0,3t_p + t_{0,3})} = \frac{1 \times 30,49 \times 1}{3,6(0,3 \times 2,16 + 2,30)} = 2,88 \text{ (m}^3/\text{sn)} \quad (4.28)$$

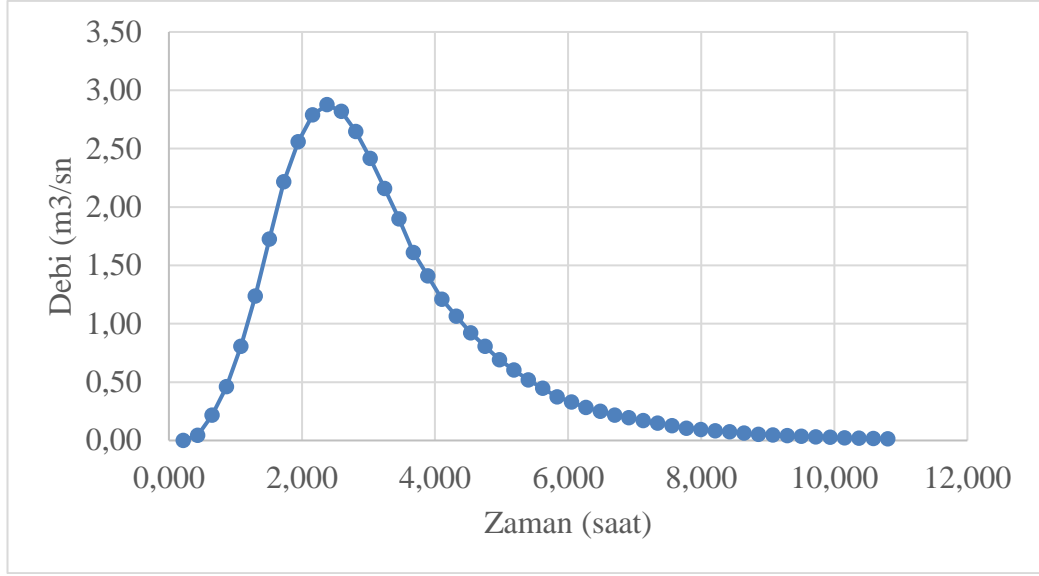
Hidrografın pik debi değeri elde edildiğine göre hidrografın yükseliş eğrisinin debisi (Q_a) ardından hidrografın taban süresi (t_b) Eşitlik 4.29 – 4.30'daki gibi hesaplanabilmektedir.

$$Q_a = Q_p \times \left(\frac{t}{t_p}\right)^{2,4} = 2,88 \times \left(\frac{1}{2,16}\right)^{2,4} = 0,45 \quad (4.29)$$

$$t_b = t_p + t_{0,3} + 1,5 \times t_{0,3} = 2,16 + 2,30 + 1,5 \times 2,30 = 7,90 \text{ (saat)} \quad (4.30)$$

Dr. Nakayasu sentetik metodunun boyutsuz birim hidrograf koordinatları Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Bu koordinatlar kullanılarak birim hidrograf çizilmiş ve hidrografın altında kalan alan ile bulunan hacim değeri, havzaya düşen birim yağışın oluşturacağı dolaysız akış hacmi ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

Karabük Bulak deresi birim hidrografının Dr. Nakayasu sentetik metoduyla birim hidrografının çizimi için yapılan hesaplamalar sonucunda, yükselme süresi $t_p = 2,16$ (saat), $t_L = 1,35$ (saat), $Q_p = 2,88$ (m^3/sn) ve etkili yağış süresi $t_r = 1,01$ (saat), $t_b = 7,90$ (saat) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda Nakayasu sentetik birim hidrograf metoduyla havzanın birim hidrografı Şekil 4.8'deki gibi çizilmiştir.



Şekil 4.8. Bulak deresi havzasının Nakayasu metodu ile çizilmiş birim hidrografı

4.2.2.5. SCS Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı

SCS sentetik birim hidrograf metodunun uygulanabilmesi için CN katsayısının belirlenmesi gerekmektedir. CN, havzanın toprak sınıflandırması ve yüzey örtüsünün bir fonksiyonu olup 0 – 100 arasında değer almaktadır [20]. CN katsayısı ile ilgili 3.4.2. bölümde daha fazla bilgi sunulmuştur. Bu çalışmada CN katsayısı, bölgenin toprak sınıfı ve arazi kullanımını dikkate alınarak 74 olarak belirlenmiştir.

Bu metodun uygulanabilmesi için gerekli havza parametreleri Çizelge 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.6. CSC sentetik metodu için gerekli olan havza parametreleri

Parametre	Veri	Birim
Havza Alanı (A)	30,485	km ²
Ana Kanal Uzunluğu (L)	16,389	km
Ana kanalın ortalama Eğimi (So)	0,01501863	
Eğri numarası CN	74	-

SCS metodunun çözümü Potansiyel maksimum tutma (S) değerini Eşitlik 4.31'deki gibi hesaplayarak başlanılmıştır.

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 = \left(\frac{25400}{74} \right) - 254 = 89,24 \text{ (mm)} \quad (4.31)$$

Ardından Eşitlik 4.32 – 4.36'da sırasıyla konsantrasyon süresi (t_c), etkili yağış süresi (t_r) gecikme süresi (t_L), Pike ulaşma süresi (t_p) ve pik debi değeri (Q_p) elde edilmiştir.

$$T_c = 0,066 \times \left(\frac{L^2}{S_0} \right)^{0,385} = 0,066 \times \left(\frac{16389^2}{0,01501863} \right)^{0,385} = 2,86 \text{ (saat)} \quad (4.32)$$

$$t_r = 0,133 \times T_c = 0,133 \times 2,86 = 0,38 \text{ (saat)} \quad (4.33)$$

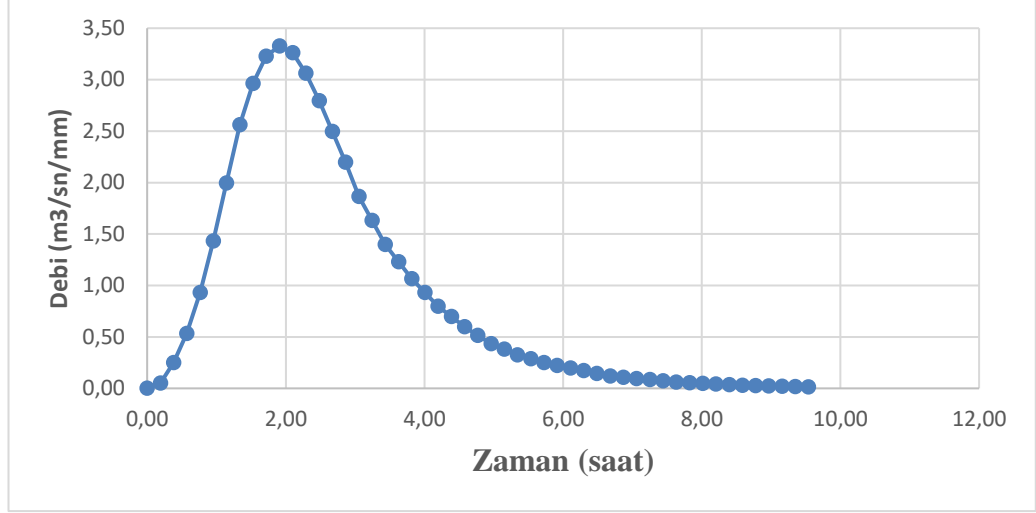
$$t_L = 0,6 \times T_c = 0,6 \times 2,86 = 1,72 \text{ (saat)} \quad (4.34)$$

$$t_p = \left(\frac{t_r}{2} \right) + t_L = \left(\frac{0,38}{2} \right) + 1,72 = 1,91 \text{ (saat)} \quad (4.35)$$

$$q_p = \frac{0,2083 \times A}{t_p} = \frac{0,2083 \times 30,485}{1,91} = 3,33 \text{ (m}^3\text{/sn/mm)} \quad (4.36)$$

SCS sentetik metodunun boyutsuz birim hidrograf koordinatları Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Bu koordinatlar kullanılarak birim hidrograf çizilmiş ve hidrografın altında kalan alan ile bulunan hacim değeri, havzaya düşen birim yağışın oluşturacağı dolaysız akış hacmi ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

Karabük Bulak deresi birim hidrografının SCS sentetik metoduyla birim hidrografının çizimi için yapılan hesaplamalar sonucunda, $t_p = 1,91$ (saat), $t_L = 1,72$ (saat), $Q_p = 3,33$ ($m^3/sn/mm$) $t_c = 2,86$ (saat), $t_r = 0,38$ (saat) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda SCS sentetik birim hidrograf metoduyla havzanın birim hidrografi Şekil 4.9'daki gibi çizilmiştir.



Şekil 4.9. SCS sentetik birim hidrograf metoduyla havzanın birim hidrografı

4.2.2.6. Gama Sentetik Metodu ile Havzanın Birim Hidrograf Hesabı:

Gama sentetik birim hidrograf metodu diğer metotlara göre daha fazla havza ve akarsu karakteristiklerine ve bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Çalışma havzası ve akarsuyuna ait karakteristikler Global Mapper programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu metot için gerekli havza parametreleri Çizelge 4.7’de listelenmiştir.

Çizelge 4.7. Gama Sentetik birim hidrograf metodunda gerekli olan havza parametreleri

Parametre	Veri	Birim
Ana kol uzunluğu	16,389	km
Toplam akarsu ağ uzunluğu	88,327	km
1. derece akarsu toplam sayısı	121	Adet
1. derece akarsu toplam uzunluğu	47,575	km
Havza alanı	30,485	Km ²
Toplam akarsu ağ sayısı	190	Adet
Havza çıkışından %25 uzaklıkta havza genişliği	1,609	km
Havza çıkışından %75 uzaklıkta havza genişliği	1,624	km
Havzanın memba kısmındaki alan	13,110116	km ²
Ana kanalın ortalama eğimi (S ₀)	0,0150186	-

Gama metoduyla pike ulaşma süresi, pik debi ve taban süresi hesaplamak istendiğinde öncelikle havzanın Kaynak faktörü (SF), kaynak frekansı (SN), eklem numarası (JN), drenaj ağ yoğunluğu (D), genişlik faktörü (WF) ve simteri faktörü (SIM) elde edilmelidir. Bu parametrelerin hesabında kullanılan formüller ve çözümler Eşitlik 4.37 – 4.43'te sunulmuştur.

$$SF = \frac{1. \text{ derece toplam akarsu uzunluğu}}{\text{toplam akarsu ağ uzunluğu}} = \frac{47,575}{88,327} = 0,5386 \quad (4.37)$$

$$SN = \frac{1. \text{ derece toplam akarsu sayısı}}{\text{toplam akarsu ağ sayısı}} = \frac{121}{190} = 0,6368 \quad (4.38)$$

$$JN = 1. \text{ derece toplam akarsu sayısı} - 1 = 121 - 1 = 120 \quad (4.39)$$

$$D = \frac{\text{Toplam akarsu ağ uzunluğu}}{\text{Havza alanı}} = \frac{88,327}{30,485} = 2,897 \text{ km/km}^2 \quad (4.40)$$

$$WF = \frac{\text{havza çıkışından \%75 uzaklığındaki havza genişliği}}{\text{havza çıkışından \%25 uzaklığındaki havza genişliği}} = \frac{1,624}{1,609} = 1,009 \quad (4.41)$$

$$RUA = \frac{\text{havzanın memba kısmındaki alan}}{\text{Havza alanı}} = \frac{13,11}{30,485} = 0,43 \quad (4.42)$$

$$SIM = WF \times RUA = 1,009 \times 0,43 = 0,434 \quad (4.43)$$

İşlemin bu aşamasında pike ulaşma süresi (t_p), pik debi değeri (q_p) ve hidrografın taban süresi (t_b) Eşitlik 4.46 – 4.51'deki gibi elde edilmiştir.

$$t_p = 0,43 \left(\frac{L}{100 \times SF} \right)^3 + 1,0665 \times SIM + 1,2775 \quad (4.44)$$

$$t_p = 0,43 \left(\frac{16,389}{100 \times 0,5386} \right)^3 + 1,0665 \times 0,434 + 1,2775 = 1,75 \text{ (saat)} \quad (4.45)$$

$$q_p = 0,1836 \times A^{0,5886} \times t_p^{-0,4008} \times JN^{0,2381} \quad (4.46)$$

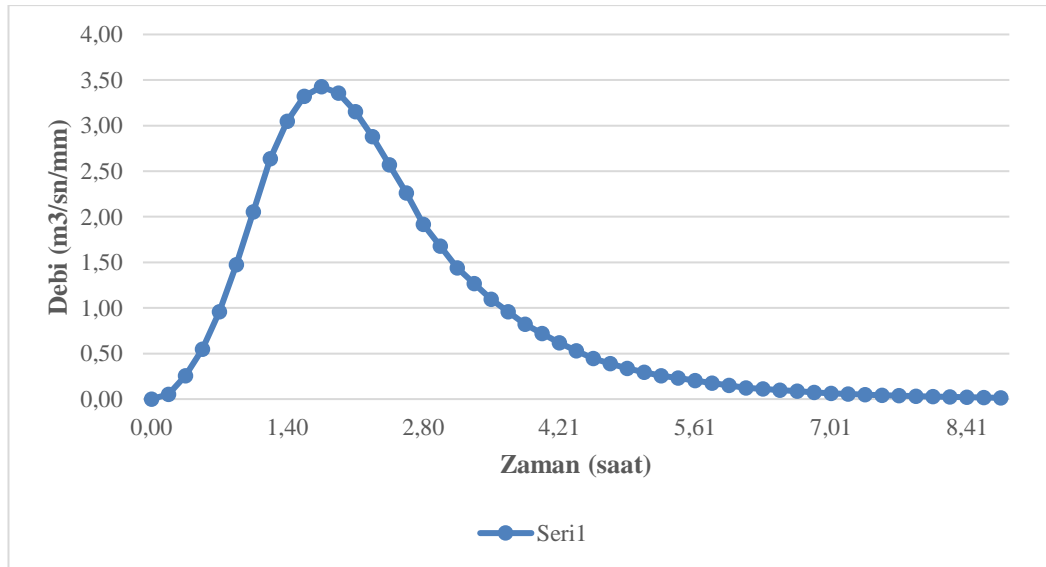
$$q_p = 0,1836 \times 30,485^{0,5886} \times 1,75^{-0,4008} \times 120^{0,2381} = 3,426 \text{ (m}^3/\text{sn)} \quad (4.47)$$

$$t_b = 27,4132 \times t_p^{0,145} \times s_0^{-0,0986} \times SN^{0,7344} \times RUA^{0,2574} \quad (4.48)$$

$$t_b = 27,4132 \times 1,75^{0,145} \times 0,0150186^{-0,0986} \times 0,6368^{0,7344} \times 0,43^{0,2574} = 10,52 \text{ (saat)} \quad (4.49)$$

SCS sentetik metodunun boyutsuz birim hidrograf koordinatları Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Bu koordinatlar kullanılarak birim hidrograf çizilmiş ve hidrografın altında kalan alan ile bulunan hacim değeri, havzaya düşen birim yağışın oluşturacağı dolaysız akış hacmi ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır.

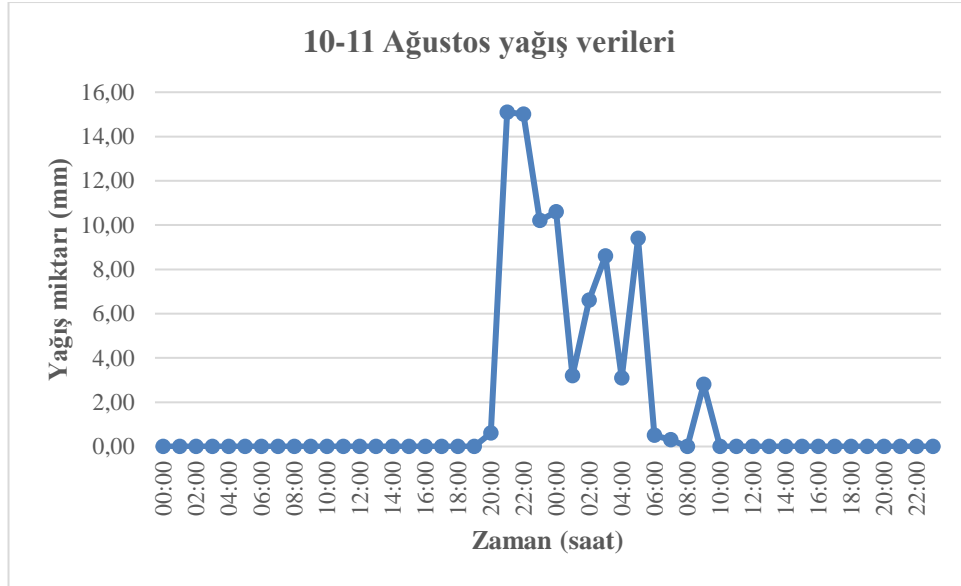
Karabük Bulak deresi birim hidrografının Gama sentetik metoduyla birim hidrografının çizimi için yapılan hesaplamalar sonucunda, $t_p = 1,75$ (saat), $Q_p = 3,426$ (m^3/sn), $t_b = 10,52$ (saat) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda Gama sentetik birim hidrograf metoduyla havzanın birim hidrografi Şekil 4.10'daki gibi çizilmiştir.



Şekil 4.10. Gama sentetik birim hidrograf metoduyla havzanın elde edilen birim hidrografi

4.2.3. Yağış Kaydından Bulak Havzasının Akış Hidrografının Sentetik Birim Hidrograf Metotları Kullanılarak Elde Edilmesi Ve Gözlenen Seviyeler İle Kıyaslanması

Akış hidrografının elde edilmesinde kullanılan yağış kaydı, 10 Ağustos 2021 ile 11 Ağustos 2021 tarihleri arasında meydana gelen sağanağa aittir. Sağanağın kaydı, Karabük Kapullu (İstasyon No: 17077) istasyonu tarafından alınmış ve yağış kaydı Karabük Meteoroloji Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. İki günlük bu sağanak yağışın kaydı grafik haline getirilerek Şekil 4.11'de sunulmuştur.



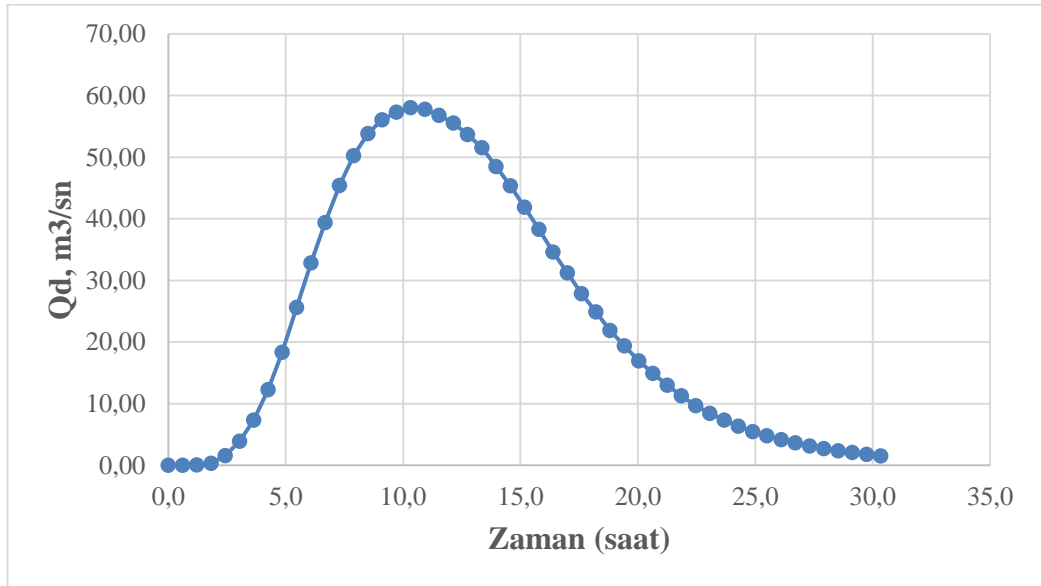
Şekil 4.11. Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilen 10-11 Ağustos yağış kaydı

Elde edilen bu yağış kaydına göre, sağanağın 10 Ağustos akşamı saat 20:00'de başladığı ve 11 Ağustos sabahı saat 09:00'da sona erdiği görülmektedir. Havzanın akış hidrografının sentetik birim hidrograf metotları kullanılarak elde edilmesi sırasında bu 14 saatlik yağış miktarı dikkate alınmıştır.

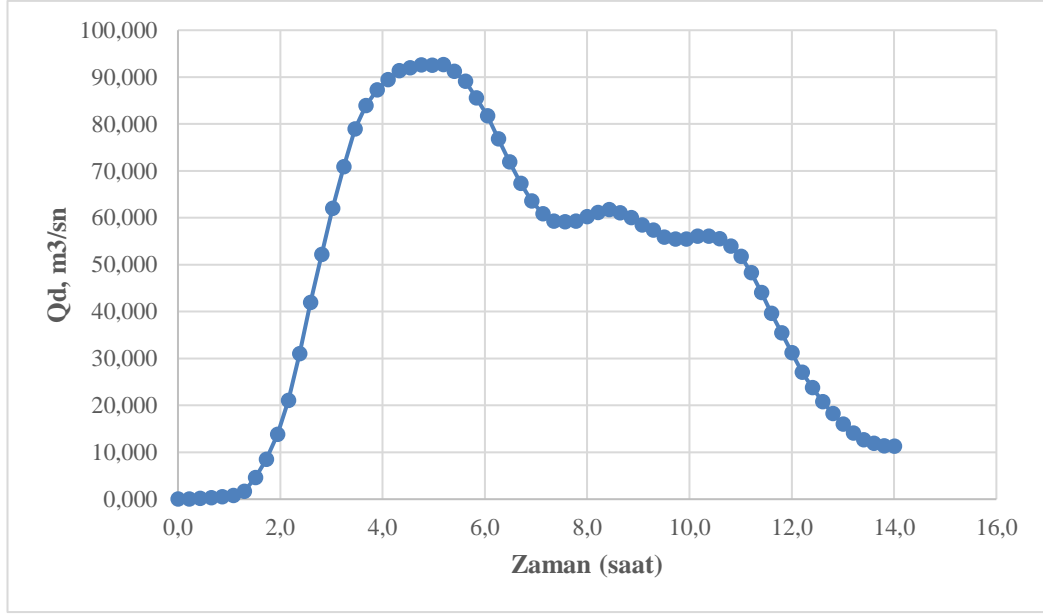
Sentetik birim hidrograf metotları kullanılarak havzanın akış hidrografı aşağıdaki şekilde elde edilmiştir;

Daha önce elde edilmiş (bölüm 4.2.2’de) sentetik birim hidrografların etkili yağış süreleri ile yağış değerlerinin aynı zaman aralığına sahip olmasına dikkat edilmiştir. Her bir yağış değeri ile birim hidrograf debileri çarpılarak ve gerekli öteleme yapıldıktan sonra diğer saat aralığındaki yağış değerlerine geçilerek tüm kayıt için değerler elde edilip süperpoze yapılmış ve dolaysız hidrograf debi değerleri elde edilmiştir.

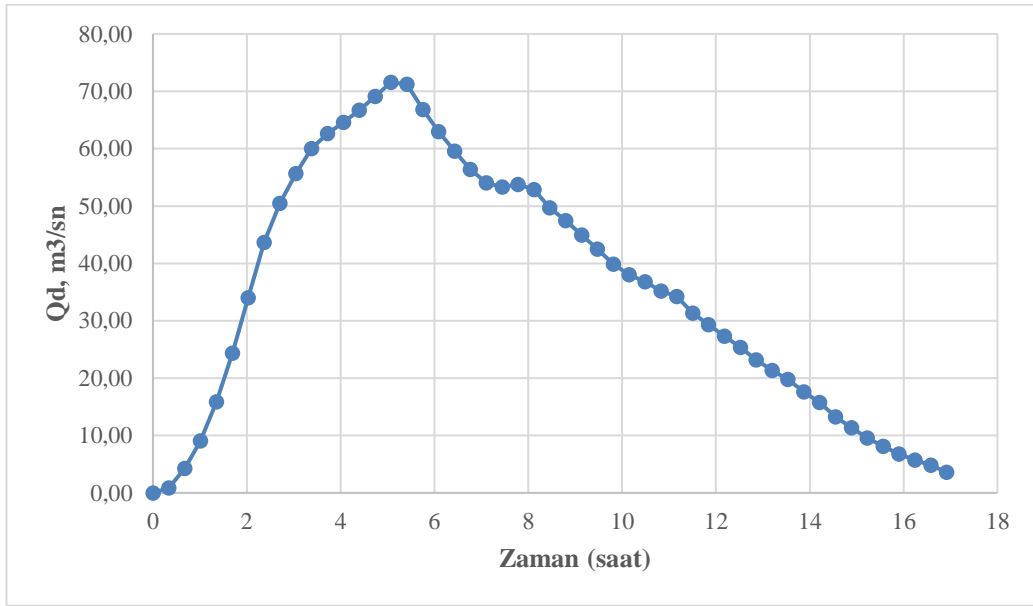
Dolaysız akış hidrografının hesaplanmasında, DSİ sentetik metodu en az 2 saatlik yağış verisine ihtiyaç duymaktadır. Benzer şekilde, Mockus sentetik birim hidrograf metodunda etkili yağış süresi 3 saat olarak 4.2.2.3’te hesaplanmış idi. Bu nedenle, temin edilen yağış kaydı, DSİ metodu için 2 saatlik ve Mockus metodu için 3 saatlik veriye dönüştürülmüş ve ardından dolaysız akış hidrografları hesaplanmıştır. Sadece Gama metodunda literatürde etkili yağış süresinin formülü görülmediğinden bir saat olarak alınmıştır. Her bir sentetik birim hidrograf metodu için Q_d hesabı yapıldıktan sonra dolaysız akış hidrografları çizilmiştir. Çizilen bu hidrograflar Şekil 4.12 – 4.17’de sunulmuştur.



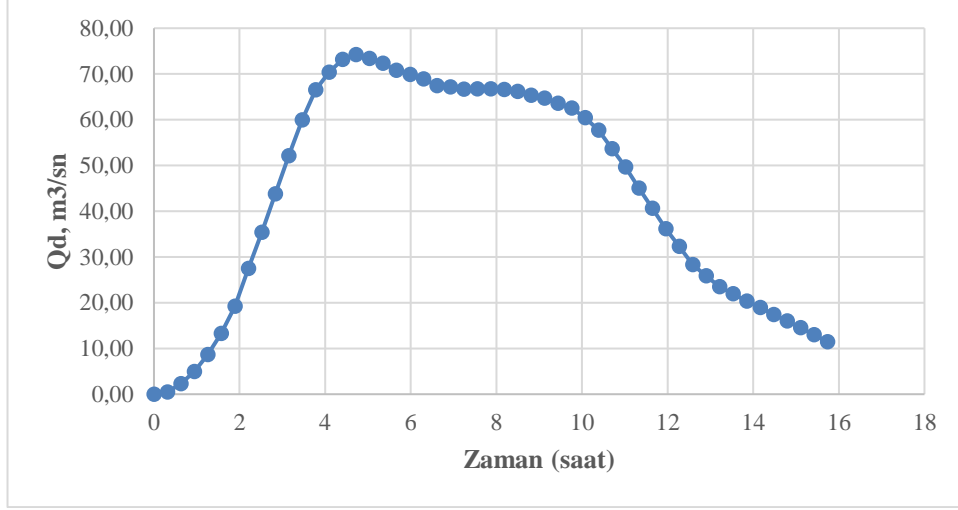
Şekil 4.12. Snyder sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografı



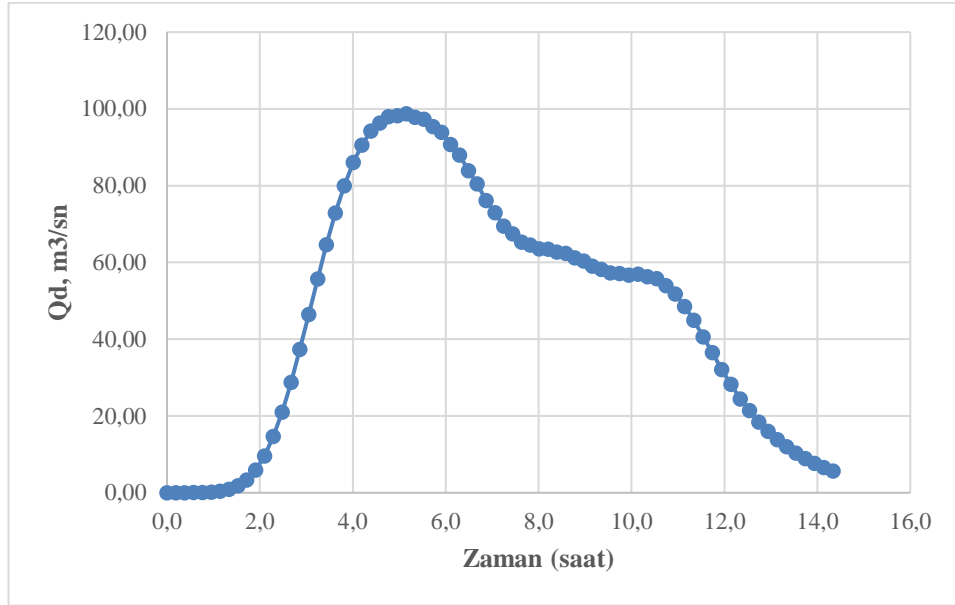
Şekil 4.13. Nakayasu sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi



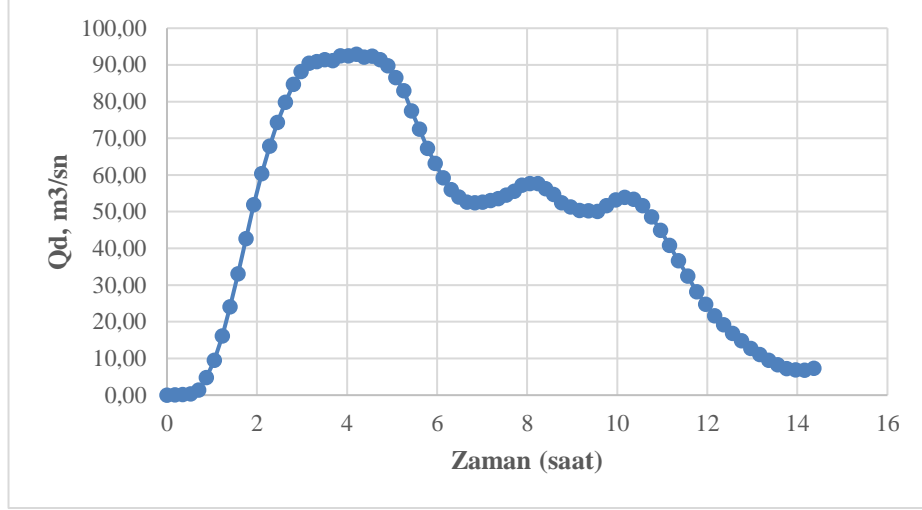
Şekil 4.14. Mockus sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi



Şekil 4.15. DSİ sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi



Şekil 4.16. SCS sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografi



Şekil 4.17. Gama sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanan dolaysız akış hidrografı

11 – 12 Ağustos tarihindeki yağışın oluşturduğu akış miktarının belli zamanlarda görüntüleri elimizde bulunmaktadır. Bu görüntüler Şekil 4.18 – 4.22’de sunulmuştur.



Şekil 4.18. Sağanağın başlangıcından 14 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi



Şekil 4.19. Sağanağın başlangıcından 38 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi



Şekil 4.20. Sağanağın başlangıcından 41 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi

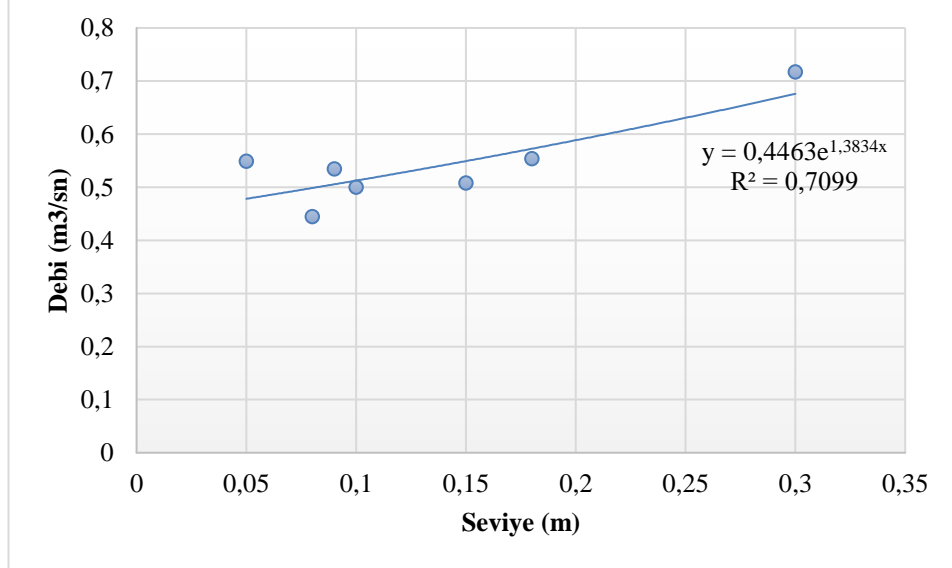


Şekil 4.21. Sağanağın başlangıcından 43 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi



Şekil 4.22. Sağanağın başlangıcından 60 saat sonra kesitte gözlenmiş su seviyesi

Elimizde bulunan bu akış gözlemlerinden, resimlerdeki seviyelerin hangi debiye karşılık geldiğini belirlemek amacıyla farklı zamanlarda seviye ve debi ölçümleri alınmıştır. Ardından alınan seviye-debi ölçümleri arasında üstel bir ilişki kurulmuştur. Kurulan bu ilişki Şekil 4.23'te sunulmuştur.



Şekil 4.23. Seviye-debi arasında kurulan üstel (doğrusal olmayan) ilişki

Alınan seviye ölçümleri kurulmuş olan seviye-debi ilişkisi denklemine girilerek debiler tahmin edilmiştir. Bu debi tahminleri Çizelge 4.8'da sunulmuştur.

Çizelge 4.8. seviye-debi ilişkisi denkleminde elde edilen debi değerleri

Tarih	Saat	Sağandıktan geçen süre (Saat)	Seviye (x) (m)	Debi (R2) (m ³ /sn)
10.Ağu	20:00	0	0,4	0,776
11.Ağu	10:30	14	1,2	2,347
12.Ağu	01:00	29	2	7,100
	10:30	38	0,7	1,175
	13:30	41	0,8	1,350
	15:30	43	0,6	1,024
13.Ağu	09:00	60	0,4	0,776
	20:00	72	0,4	0,776

Seviye ve debi arasında eğrisel bir ilişki olduğundan üstel bir ilişki kurulmuştur. Ancak, bu yaklaşımın doğru sonuçlar vermesi için su seviyelerinin daha yüksek olduğu seviyelerde de ölçümler alınması gerekmektedir. Bu çalışmada alınan seviye ölçümlerinin en yüksekği 0,3 metre olduğundan, yüksek seviyelerdeki debiyi tahmin etmede yetersiz olmaktadır. Şekil 4.22’de gözlenen seviye için ölçüm değerleri, çalışmada ele alınan ve daha hızlı akan akım özelliklerine uygun olmaması sebebiyle, oluşan debi Manning denklemi ile hesaplanarak bulunmuştur. Elimizdeki görsellerde oluşan akış hızına uygun olarak Manning katsayısı (n) 0,014 olarak tercih edilmiştir [67]. Manning denklemi Eşitlik 4.50’de sunulmuş ve bu denklem ile tahmin edilen debi değerleri Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

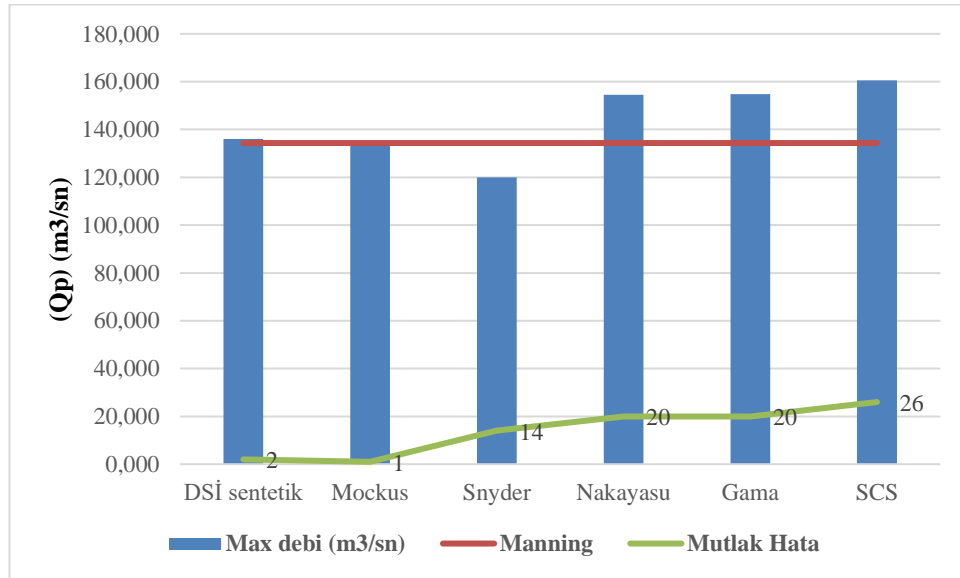
$$Q_p = \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A_k \quad (4.49)$$

Eşitlikte görülen n, manning sürtünme katsayısını, R hidrolik yarıçapını (m), S, kanalın ortalama eğimini, A ıslak alanı, P ıslak çevreyi, b kanalın taban uzunluğunu, Ak kesit alanı ve h akış yüksekliğini ifade etmektedir.

Çizelge 4.9. Manning denklemi ile yapılan hesaplama ve elde edilen debi değerleri

Tarih	Saat	Sağandıktan geçen süre (saat)	(A)	(P)	(R)	Seviye (x)	(Q)
10.Ağu	20:00	0	2,8	7,8	0,359	0,4	61,900
11.Ağu	10:30	14	8,4	9,4	0,894	1,2	113,697
12.Ağu	01:00	29	14	11	1,273	2	143,926
	10:30	38	4,9	8,4	0,583	0,7	85,558
	13:30	41	5,6	8,6	0,651	0,8	92,068
	15:30	43	4,2	8,2	0,512	0,6	78,452
13.Ağu	09:00	60	2,8	7,8	0,359	0,4	61,900
	20:00	72	2,8	7,8	0,359	0,4	61,900

Çalışmanın bu aşamasında, 10-11 Ağustos tarihlerinde meydana gelen sağandı yağışın oluşturduğu akış ve bu akışın kaydedilmiş görüntülerinden yararlanarak, Manning denklemi kullanılarak hesaplanan debiler ile sentetik yöntemler kullanılarak elde edilen akış hidrografları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırmada pik debi değerleri esas alınmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 4.24'te sunulmuştur.



Şekil 4.24. Manning denklemi ve SBH metodları ile tahmin edilen pik debi değerleri ve aralarındaki mutlak hata değerleri

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Karabük Bulak havzasının birim hidrografını Snyder, Mockus, SCS, DSİ Sentetik, Nakayasu ve Gama metotları ile elde edilerek en uygun olanının tespitini amaçlamıştır. Ancak çalışma bölgesinde bir AGİ olmaması sebebiyle daha önce gerçekleşmiş yüksek bir yağıştaki akış değerleri elde edilememiştir. Bu sebeple, amaca ulaşmak için, havzaya 2021.08.10 – 2021.08.11 tarihleri arasında meydana gelen bir sağanak yağışın sebep olduğu akıştaki değişim görüntüleri yardımıyla tahmin yapılmıştır. Dolayısıyla Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden bu yağış kaydı temin edilmiştir. Bu görüntülerdeki seviyelerin hangi debiye karşılık geldiğini belirlemek amacıyla farklı zamanlarda seviye ve debi ölçümleri alınarak seviye-debi regresyon ilişkisi kurulmuştur. Kurulan seviye-debi ilişkisi denklemi ile, resimlerde elde edilmiş seviyelere karşılık gelen debiler tahmin edilmiştir. Ancak aldığımız seviye ölçümlerinde en yüksek su seviyesinin 0,3 m olması ve tezde kullanılan akışın hız değerlerinin normal akıştan çok daha yüksek olacağı düşünüldüğünden Manning denklemi ile debi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. 10 – 11 Ağustos tarihindeki yağış kayıtları her bir sentetik metoda girilerek oluşması beklenen akış hidrografları bulunmuştur ve Manning denkleminde elde edilen akış değerleri ile kıyaslanarak sentetik metotlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırma sonucunda Şekil 4.24'te görüldüğü gibi 10-11 Ağustos tarihinde meydana gelen sağanağın oluşturmuş olduğu akış miktarını en az farkla Mockus ve DSİ sentetik birim hidrograf metotlarının tahmin ettiği gözlenmiştir. Ardından sırasıyla Snyder, Nakayasu, Gama ve son olarak SCS sentetik birim hidrograf metodu olmuştur.

Sentetik birim hidrograf metotları ile elde edilen pik debi ve pike ulaşma sürelerinin hidrografa aktarma sürecinde gerekli olan boyutsuz birim hidrograf koordinat

değerleri, havzaya gelen su hacmini sağlayacak şekilde olmasıyla kontrol edilmiştir. Literatürde bu koordinat değerlerinin bütün sentetik metotlar için ulaşılabilir konumda olması veya geliştirilmesi gelecekteki çalışmalarda daha doğru sonuçlar elde edebilmek adına önemlidir.

Birim hidrografların pike ulaşma süreleri, yağışla elde edilecek hidrografların sürelerini direkt etkilemektedir. Dolayısıyla bu değerlerin gerçek havzalarda gözlenmesiyle birim hidrograf modellerinin güncellenmesi önerilmektedir.

Etkili yağış süresi, kaydedilen yağış ile aynı alınmış ve sızma gibi kayıplar olmadan hidrograf tahmini yapılmıştır. Özellikle büyük havzalarda bu gibi etkiler göz önüne alınarak ileride farklı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Nishikawa, H., Yoh, K., Enomoto, H., Ishii, N., Iwata, Y., Nakano, C., Takata, R., Nishimura, T., Aizawa, N., Sakai, Y., Ikeda, N., Hasegawa, K., Takashima, T., Iijima, H., & Nishiguchi, S. "Extracellular water to total body water ratio in viral liver diseases: A study using bioimpedance analysis", *Nutrients.*, 10 (8): 1072-1083 (2018).
2. Doğan, C., Arıcan, M., & Erartsın, Ö., "İçme ve kullanma suyu üzerine bir inceleme: Yeşilce Örneği", *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences.*, 8 (1): 11-18 (2022).
3. Erten Bilgic, D., & Abdulhamid Hosny, E., "Din ve inançlarda suyun önemi ve mimariye yansımaları: El Hamra sarayı örneği", *Türk ve İslam Dünyası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6 (20): 59-76 (2019).
4. Üçüncü, Z., "Kırkkale Karadere ve Hodar Derelerinin taşkın pik debilerinin hesaplanması ve HEC-RAS programında bir boyutlu modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kırkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırkkale, 1-150 (2018).
5. Tunç, G., "Yunus Emre'nin şiirlerinde su metaforu", *Folklor Akademi Dergisi*, 5 (2): 474-482 (2022).
6. Kerim, A., & Süme, V., "Taşkınlar, taşkın koruma ve kontrol yapıları; Rize ilinde örnek çalışmalar", *Türk Hidrolik Dergisi*, 3 (1): 1-13 (2019).
7. İnternet: Khan Academy Türkçe, "Su Döngüsü", https://www.youtube.com/watch?v=nye-n7C9Yk&ab_channel=KhanAcademyTurkce (2023).
8. İnternet: Uzman Grup Çevre, "Su Döngüsü (Su Çevrim) Nedir?", <https://www.uzmangrupcevre.com.tr/cevredetay/995> (2022).
9. İnternet: Water Science School, "Su Döngüsü, The Water Cycle Turkish", <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/su-dongusu-water-cycle-turkish> (2022).
10. Ayvacı, H. Ş., & Muradoğlu, B., "Fen bilgisi öğretmen adaylarının yoğunlaşma ve yoğunlaşma kavramlarına yönelik görüşlerinin belirlenmesi", *Yüzüncü Yıl Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18 (2): 56-80 (2021).
11. Goldsmith, K. J. A. and Pittard, J. M., "A comparison of shock-cloud and wind-cloud interactions: the longer survival of clouds in winds", *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 470 (2): 2427–2438 (2017).

12. Fleisher, P., “Vapor, rain, and snow the science of clouds and precipitation”, *Learner Publication Company*, Minneapolis, 1–48 (2011).
13. Balasubramanian, A. and Nagaraju, D., “The hydrologic cycle”, *University of Mysore Centre for Advanced Studies in Earth Science*, Mysore (2015).
14. Ulukaya, O., “Yağış-akış bağlantıları ve yapay zeka teknikleri ile modellenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-90 (2011).
15. Gümüş, V., Soydan, N. G., Şimşek, O., Aköz, M. S., and Kırkgöz, M. S., “Yağış-akış ilişkisinin belirlenmesinde farklı yapay sinir ağı yöntemlerinin karşılaştırılması”, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture*, 28 (1): 37–49 (2013).
16. Zaifoğlu, H., “Fırat akarsu havzası için topoğrafik ve hidrometeorolojik veriye dayanan taban akışı ayırma modeli”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-64 (2013).
17. Orman ve Su İşleri Bakanlığı., “Ulusal Havza Yönetimi Stratejisi 2014-2023 (1. Ed.)”, *Orman ve Su İşleri Bakanlığı*, Ankara, 1-45 (2014).
18. Internet: Coğrafya Haritaları, “Türkiye Sular Coğrafyası Haritalar”, http://cografyaharita.com/turkiye_hidrografya_haritalari.html (2023).
19. Bayazit, M., “Hidroloji”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1-200 (2013).
20. Usul, N., “Mühendislik Hidrolojisi”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.*, Ankara, 1–408 (2008).
21. Internet: water science school, “Watersheds and Drainage Basins”, <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/watersheds-and-drainage-basins> (2022).
22. Aydın, M., “Türkiye havzaları için nakayasu sentetik birim hidrograf metodunun geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 1-127 (2016).
23. Şen, Z., “Flood Modeling, Prediction, and Mitigation”, *Springer International Publishing*, İstanbul, 1-419 (2016).
24. Beden, N., “Cevizdere havzasının sayısal modelleme sistemlerine dayalı taşkın analizi ve taşkın zararlarının değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, 1-149 (2019).
25. Akdeniz, S., “Batı Akdeniz bölgesi akarsularında sentetik birim hidrograf metotlarının uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-122 (1998).

26. Aslan, B., "S.C.S Sentetik birim hidrograf yönetiminin Türkiye şartlarında uygulanabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-83 (1997).
27. Utlu, M. and Özdemir, H., "The role of basin morphometric features in flood output: a case study of the Biga river basin", *Journal Of Geography*, 36: 49–62 (2018).
28. Bantchina, B. B., "Nilüfer baraj havzası için sentetik birim hidrograf ve havza parametrelerinin belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 1-55 (2018).
29. Nuri Balov, M., "Akış hidrografı tahmin modelleri", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-59 (2014).
30. Börü, H., "Türkiye havzaları için Snyder sentetik birim hidrograf metodu parametre değerlerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 1-49 (2019).
31. Tanrıverdi, O., "Sentetik birim hidrograf metotlarının karşılaştırılması ve Trabzon Değirmendere havzası örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-64 (2021).
32. Ocak, A., "Birim hidrograf için doğrusal hazne serisi modeli", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-44 (2002).
33. Günal, A. Y., "Study on synthetic and unit hydrographs by using GIS and artificial intelligence techniques", Ph.D. Thesis, *Gaziantep University Institute of Science*, Gaziantep, 1-107 (2015).
34. Chow, V. Te, Maidment, D. R., and Mays, L. W., "Applied Hydrology", *McGraw-Hill*, Texas, 14–17 (1988).
35. Sherman, L. R. K., "The relation of hydrographs of runoff to size and character of drainage-basins", *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 13 (1): 332–339 (1932).
36. Semerci, A., Tayfur, G., and Pulat, H. F., "Obtaining of the unit hydrograph by selecting appropriate flood prediction method for designing Filyos river levees", *Icontrends*, 46-56 (2020).
37. Bakanoğulları, F. and Günay, S., "Kırklareli Vize deresi Havzası birim hidrograf elemanlarının belirlenmesi", *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4 (2): 7–13 (2011).
38. Bahşi, L., "Birim hidrografın olasılık yoğun fonksiyonu olarak değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-51 (2015).

39. Almedeij, J. and Esen, I. I., “Water Resources Engineering”, *Kuwait University*, Kuwait, (2011).
40. Raghunath, H. M., “Hydrology: Principles, Analysis, and Design”, 3. Ed., *New Age International*, New Dehli, 1-449 (2006).
41. Chandra Khanal, P., “Development of regional synthetic unit hydrograph for Texas watersheds”, Master’s Thesis, *Lamar University Institute of Science*, Beaumont, 1-253 (2004).
42. Jena, S. K. and Tiwari, K. N., “Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds”, *Journal Of Hydrology*, 319 (1–4): 1–14 (2006).
43. Snyder, F. F., “Synthetic unit-graphs”, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 19 (1): 447–454 (1938).
44. Singh, P. K., Bhunya, P. K., Mishra, S. K., and Chaube, U. C., “An extended hybrid model for synthetic unit hydrograph derivation”, *Journal Of Hydrology*, 336: 347–360 (2007).
45. Melesse, A. M. and Graham, W. D., “Storm runoff prediction based on a spatially distributed travel time method Utilizing Remote Sensing and GIS”, *JAWRA Journal Of The American Water Resources Association*, 40 (4): 863–879 (2004).
46. Wahab Salami, A., Bilewu, S. O., Biliyamin Ibitoye, A., and Ayanshola, A. M., “Runoff hydrographs using Snyder and SCS synthetic unit hydrograph methods: A case study of selected rivers in south west Nigeria”, *Yadda. Icm. Edu. Pl*, 18 (1): 25–34 (2017).
47. İnternet: Innovyze, “Snyder Unit Hydrograph Model”, https://help2.innovyze.com/infoworksicm/Content/HTML/ICM_ILCM/Snyder_Unit_Hydrograph_Model.htm (2021).
48. Kalgonda Patil, S. and Bhagwat, T. N., “A review of synthetic hydrograph methods for design storm”, *International Research Journal Of Engineering And Technology*, 6 (11): 2413–2418 (2019).
49. Dikici, M. and Kazezyılmaz-Alhan, C. M., “Alibeyköy havzası için farklı hidrolojik modelleme yöntemleri ile taşkın debilerinin belirlenmesi”, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9 (2): 919–928 (2018).
50. Gevrek, İ. and İrvem, A., “Antakya’da taşkına neden olan yan derelerde hidrograf analizi ile taşkın tahmini Estimation of flood using hydrograph analysis of creeks causing of floods in Antakya”, *Mustafa Kemal University Journal Of Agricultural Sciences*, 26 (3): 2667–7733 (2021).

51. Demir, V. and Ülke Keskin, A., “Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellenmesi (Samsun, Mert Irmağı örneği)”, *Geomatik*, 7 (2): 149–162 (2022).
52. Kumanlıoğlu, A. A. and Ersoy, S. B., “Akım gözlemi olmayan havzalarda taşkın akımlarının belirlenmesi: Kızıldere Havzası”, *Journal Of Science And Engineering*, 20 (60): 890–904 (2018).
53. Yıldırım, İ., “Geyve Karaçay deresi taşkın yayılım haritalarının oluşturulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-55 (2020).
54. Doğu, A., “Kırıkkale Çoruhözü deresinin taşkın pik debilerinin hesaplanması ve bir boyutlu modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 1-92 (2016).
55. Doğu, A. and Yıldız, O., “One dimensional flood flow modelling in the Kırıkkale Çoruhözü Stream”, *Uluslararası Mühendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi*, 11 (2): 748–758 (2019).
56. Eroğlu, V. and Özkaldı, A., “1. Barajlar Kongresi: Taşkınlar Hidrolojisi Tasarım Rehberi”, Ankara, 1-59 (2012).
57. Pradipta, A. G. and Nurhady, S., “The representative synthetic unit hydrograph in Juana watershed”, *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 355 (1): 012023 (2019).
58. Arafat, Y., Tunas, I. G., Amaliah, T., and Amiruddin, A., “Hydrograph study of Palu river watershed”, *MATEC Web of Conferences*, 331: 1-8 (2020).
59. Safarina, A. B., Salim, H. T., Hadihardaja, I. K., and Syahril, M. B., “Clusterization of synthetic unit hydrograph methods based on watershed characteristics”, *International Journal Of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 11 (6): 76–85 (2011).
60. Safarina, A. B., “Modified Nakayasu synthetic unit hydrograph method for meso scale ungauge watersheds”, *International Journal Of Engineering Research And Applications*, 2 (4): 649–654 (2012).
61. Priyantoro, D. and Montarich Limantara, L., “Conformity evaluation of synthetic unit hydrograph (case study at upstream Brantas sub watershed, East Java Province of Indonesia)”, *Journal Of Water And Land Development*, (35): 173–183 (2017).
62. Krisnayanti, D. S., Bolla, M. E., Kasjono, J. K., and Wangge, M. J. M., “The analysis of alpha parameter on Nakayasu synthetic unit hydrograph in Timor Island watersheds”, *2nd International Conference on Green Civil and Environmental Engineering (GCEE 2019) 669*, Kupang, 1-9 (2019).

63. Topuksak, Ş., “Menfezlerin projelendirilmesinde taşkın debisi saptama yöntemlerinin irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 1-84 (2021).
64. İnternet: İklim. Gen. Tr., “Karadeniz İklimi Türleri ve Özellikleri”, <https://www.iklim.gen.tr/karadeniz-iklimi.html> (2022).
65. Ramírez, J. A., “Prediction and modeling of flood hydrology and hydraulics”, **Chapter 11 Of Inland Flood Hazards: Human, Riparian And Aquatic Communities Eds. Ellen Wohl; Cambridge University Press.**, 1–52 (2000).
66. Priyantoro, D. and Limantara, L. M., “Conformity evaluation of synthetic unit hydrograph (case study at upstream Brantas sub watershed, East Java Province of Indonesia)”, **Journal Of Water And Land Development**, (35): 173–183 (2017).
67. Çengel, Y. A., Cimbala, J. M. and Engin, T., “Akışkanlar Mekaniği: Temeller ve Uygulamalar”, **Güven Basımevi**, İstanbul, 1-911 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Sayed Abdul Matin HASHEMI, ilkokul ve ortaokul eğitimini Afganistan'ın Celalabat şehrinde tamamladı. 2014 yılında Islah Lisesi'nden başarıyla mezun oldu. Türkçe dil eğitimini 2016 yılında İstanbul'da Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi'nde tamamladıktan sonra 2017 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2021 yılında lisans eğitimini başarıyla tamamladıktan sonra Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programıyla eğitimine devam etmektedir.

Yüksek lisans eğitimi sırasında "4th International Symposium on Civil Engineering and Earth Sciences Applications (IEACES2023)" adlı sempozyumda "Baraj Rezervuarında Biriken Sedimentler ve Uzaklaştırma Yöntemleri" ve "Baraj Rezervuarlarında Gölge Topu ve Yüzer Güneş Panelinin Kullanılabilirliği" başlıklarıyla iki bildiri yayınlamıştır.