

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE HAVZALARI İÇİN NAKAYASU SENTETİK BİRİM
HİDROGRAF METODUNUN GELİŞTİRİLMESİ

Mahsum AYDIN

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Aralık 2016

TEŐEKKÖR

Doktora çalışmalarım süresi boyunca bilgi, deneyim ve sabrını esirgemeyerek beni sürekli destekleyen, danışman hocam Prof. Dr. Tamer BAĞATUR'a en içten dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda tez çalışmam boyunca benden yardım ve desteklerini esirgemeyen ve benimle birlikte sabreden eşime, çocuklarıma, anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Mahsum AYDIN

KISALTMA VE SİMGELER

A	: Drenaj alanı
a_i	: İki ardışık sınır arasındaki alan
a_p	: Tepe akışına katkıda bulunan etkin alan (km^2)
BFO	: Taban akışının ordinatları
β_0, β_1	: Tahmin parametreleri
C	: Yağış katsayısı
CN	: Boyutsuz akış eğrisi numarası
C_p	: Pik katsayısı
C_t	: Zamanlama katsayısı
D	: Drenaj alanı ile eşdeğer daire alanı çapı
D_c	: Havza alanı ile aynı alana sahip olan dairenin çevresi
D_d	: Drenaj yoğunluğu
D_f	: Drenaj frekansı
DRO	: Dolaysız akışın ordinatları,
Δt	: Süre değişimi
Δt_0	: Orijinal birim hidrografın süresi
D_w	: Havzanın çevre uzunluğu
e	: Doğal logaritmanın tabanı
ε	: Hata terimi
$\bar{E}$	: Havzanın ortalama yüksekliği
E_f	: En uzak noktadaki kot
e_i	: Alt alanın ortalama yüksekliği
E.İ.E.İ.	: Enerji İşleri Etüt İdaresi
E_0	: Çıkış noktası

γ	: Ölçek parametresi
$\Gamma(q)$	: q'nun gama dağılımı
h_a	: 100 yıllık taşkına sebep olan yağış yüksekliği (cm)
$(IUHO)_t$	: Herhangi bir t zamanındaki enstantane birim hidrografın ordinatı
L	: Ana akım uzunluğu
λ_t	: Gözlemlenemeyen zaman etkisi
L_b	: Maksimum havza uzunluğu
L_C	: Sentroid uzunluğu
L_{ca}	: Havzanın orta noktası ile çıkış noktası arasındaki mesafe (km)
L_T	: Akarsu kanalının toplam uzunluğu
M	: Yağış değerlerinin sayısı
μ_i	: Bireysel etki
N	: Kanal sayısı
N_s	: Bir drenaj alanındaki tüm akarsuların sayısı
O	: Havzadan çıkış
O_t	: Depodan çıkan akım
P	: Toplam yağış
P_{net}	: Net yağış ya da dolaysız akış,
P_R	: Minimum yükseliş dönemi
P_R/γ'	: Depolama faktörü
q	: Şekil parametresi
Q_a	: Yükseliş eğrisi debisi
Q_d	: İniş eğrisi debisi
QD	: Doğrudan akış

$Q(\Delta t, t)$	: Δt süreli yeni birim hidrograf
Q_i	: Dolaysız akış,
Q_n	: Boyutsuz birim hidrograf debisi
Q_p	: Havzanın birim alanı için pik debi (cfs)
q_{pR}	: Havza alanı birimi başına düşen pik debisi
Q_t	: Herhangi bir t zamanındaki debi
Q_{t/P_R}	: Verilen herhangi bir t/P_R değerinde $0.25 P_R$ 'deki yüzdelik akış
R_A	: Alan yasası
R_e	: Uzama oranı
R_L	: Akarsu uzunluğu yasası
R_m	: Etkili yağış,
R_N	: Çatallanma oranı
R_0	: Birim yağış
S	: Ana kanal eğimi
S.B.H.	: Sentetik Birim Hidrograf
S_c	: Ortalama kanal eğimi
S_f	: Drenaj havzasının şekil faktörü
SR	: Potansiyel maksimum tutma
$S_{(t)}$	: S eğrisi
$S_{(t-\Delta t)}$	: Δt kadar kaydırılan S eğrisi
t	: Ardışık dolaysız akış ordinatları arasındaki zaman aralığı,
T	: Taban genişliği
t_b	: Baz zaman
T_C	: Havzanın yoğunlaşma zamanı
t_e	: Taşkına sebep olan efektif yağış süresi
t_f	: Taşkın hidrografı için esas olan yağış süresi

t_g	: Gecikme zamanı
t_{lr}	: Ortalama zaman
T_n	: Boyutsuz zaman
t_p	: Pik zamanı
t_{pR}	: Havza gecikmesi
t_r	: Artık yağış süresi (saat)
TRO	: Toplam akışın ordinatları,
$T_{0.3}$	: Pik debinin %30 una kadar azalması için gerekli zaman
U_i	: Birim hidrografın ordinatları,
W	: (Zaman birimlerinde) Pik debinin %50 ve %75'inde birim hidrografın genişlikleri
x	: Bağımsız değişken
y	: Bağımlı değişken
Y	: Havzanın yüzde eğimi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR.....	I
KISALTMA VE SİMGELER	II
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
ÇİZELGE LİSTESİ	XI
ŞEKİL LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. AKARSU HAVZA ÖZELLİKLERİ.....	15
3.1. Drenaj Alanı	15
3.2. Ana Kanal Eğimi	15
3.3. Akarsuyun Mertebesi.....	16
3.4. Drenaj Frekansı	16
3.5. Drenaj Yoğunluğu	17
3.6. Drenaj Havzasının Şekli	18
3.7. Çatallanma Oranı.....	19
3.8. Uzama Oranı.....	19
3.9. Sentroid Uzunluğu	20
3.10. Yükseklik Özellikleri.....	20
4. HİDROGRAFLAR.....	23
4.1. Hidrograflarla ilgili Temel Kavramlar.....	23
4.2. Hidrografların Elemanları.....	23
4.3. Hidrografın Ayırıştırılması	25

4.4. Etkili Yağış (Net Yağış).....	26
4.5. Birim Hidrograflar	28
4.5.1. Birim Hidrografların Elemanları.....	29
4.5.2. Birim Hidrograf Teorisinin Varsayımları	29
4.5.3. Birim Hidrografların Kullanılmasını Sınırlayan Koşullar	29
4.5.4. Birim Hidrografların Türetilmesi.....	30
4.5.5. Birden Fazla Birim Hidrograftan Ortalama Birim Hidrografın Elde Edilmesi.....	31
4.5.6. Birim Hidrograf Süresi Değişikliği (S Eğrisi)	32
4.6. Enstantane Birim Hidrograf	33
5. SENTETİK BİRİM HİDROGRAF YÖNTEMLERİ	35
5.1. Snyder Sentetik Birim Hidrograf Metodu	35
5.2. Clark Sentetik Birim Hidrograf Metodu.....	38
5.3. Mockus Sentetik Birim Hidrograf Metodu.....	40
5.4. SCS Sentetik Birim Hidrograf Metodu.....	41
5.5. Kirpich Sentetik Birim Hidrograf Metodu.....	44
5.6. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Metodu	45
5.7. Gray'ın Sentetik Birim Hidrograf Metodu	46
6. PARAMETRE TAHMİN YÖNTEMLERİ	49
6.1. Regresyon Analizi	49
6.1.1. Lineer Regresyon Analizi	49
6.1.2. Non Lineer Regresyon Analizi	49
6.1.2.1. Tam Logaritmali Modeller (Log-Log Modeller)	50
6.1.2.2. Yarı Logaritmali Modeller (Log-Dog veya Dog-Log Modeller).....	50
6.1.2.3. Ters Modeller (Resiprok Modeller)	50
6.1.2.4. Logaritmali Ters Modeller	50
6.1.2.5. İkinci Derece ve Üçüncü Derece Eğrisel Modeller.....	50
6.2. Panel Veri Analizi.....	51
6.2.1. Havuzlanmış En Küçük Kareler Modeli	51

6.2.2. Sabit Etkiler Modeli	52
6.2.3. Tesadüfî (Rassal) Etkiler Modeli.....	53
7. MATERYAL VE METOD	55
7.1. Materyal	55
7.2. Metod	58
7.2.1. Küçük Ölçekli Havzalar	58
7.2.1.1. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması.....	58
7.2.1.2. Modifiye Edilmiş Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması.....	68
7.2.2. Büyük Ölçekli Havzalar	83
7.2.2.1. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması.....	83
7.2.2.2. Modifiye Edilmiş Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması.....	91
7.2.3. Küçük Ölçekli Havzalarda Nakayasu Yöntemi ile Snyder Yönteminin Karşılaştırılması.....	106
7.2.4. Büyük Ölçekli Havzalarda Nakayasu Yöntemi ile Snyder Yönteminin Karşılaştırılması.....	114
7.2.5. Test Grubu Olarak Seçilen Havzalarda Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder S.B.H. Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	121
8. TARTIŞMA VE SONUÇ	127
9. KAYNAKLAR.....	139
ÖZGEÇMİŞ.....	147

ÖZET

TÜRKİYE HAVZALARI İÇİN NAKAYASU SENTETİK BİRİM HİDROGRAF METODUNUN GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Mahsum AYDIN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2016

Bu çalışmada Nakayasu sentetik birim hidrograf metodunun Türkiye havzalarında kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla 7 adet küçük ölçekli ve 5 adet büyük ölçekli alt havzaya ait gözlenmiş ortalama birim hidrograf verilerinden istifade edilmiştir. Seçilen bu alt havzalara ait birim hidrograf parametreleri Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograf parametreleri gözlenmiş ortalama birim hidrograf parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan parametreler ile gözlenen parametreler arasında büyük farklar olduğu tespit edilmiş ve Nakayasu S.B.H. yönteminin mevcut hali ile Türkiye havzalarında uygulanabilir olmadığı kanaatine varılmıştır. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş ortalama birim hidrograf parametreleri yardımı ile Nakayasu S.B.H. yönteminde verilen eşitlikler Türkiye'deki küçük ve büyük ölçekli havzalar için ayrı ayrı regresyon analizi yardımıyla modifiye edilmiştir. Elde edilen yeni denklemler ile hesaplanan birim hidrograf parametrelerinin Nakayasu S.B.H. yöntemine kıyasla gözlenen birim hidrograf parametrelerine çok daha yakın ve doğru bir şekilde hesaplandığı görülmüştür.

Nakayasu S.B.H. yöntemi incelendiğinde havza katsayısı α 'nın hesabı için herhangi bir eşitlik olmadığı görülmüştür. Bu eksikliği gidermek amacıyla küçük ve büyük ölçekli havzalarda α katsayısının hesabı için ayrı ayrı denklemler geliştirilmiştir. Yine Nakayasu S.B.H. yöntemi incelendiğinde birim hidrograf taban süresi T_b 'nin hesabı için de herhangi bir eşitlik olmadığı görülmüş ve T_b 'nin hesabında kullanılmak üzere küçük ve büyük ölçekli havzalar için ayrı ayrı denklemler geliştirilmiştir.

Sonuç olarak Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler Türkiye havzalarında kullanılabilecek şekilde modifiye edilmiş bunun yanında yöntemin eksik görülen yönleri giderilerek daha iyi bir şekilde uygulanabilir hale getirilmiştir. Elde edilen hesaplama sonuçları incelendiğinde modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yönteminin Türkiye havzalarında kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nakayasu Metodu, Sentetik Birim Hidrograf, Yağış-Akış, Regresyon Analizi

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF NAKAYASU SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH METHOD FOR TURKISH BASINS

Ph. D. THESIS

Mahsum AYDIN

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2016

In this study the usability of Nakayasu synthetic unit hydrograph (S.U.H.) method on Turkey's basins is examined. For this purpose, observed average unit hydrograph data of seven small scale and five large scale sub-basins have been utilized. The unit hydrograph parameters of these selected sub-basins are calculated by Nakayasu S.U.H. method. The unit hydrograph parameters obtained by Nakayasu synthetic unit hydrograph method are compared with observed average unit hydrograph parameters. It has been found that there are big differences between calculated parameters and observed parameters so it has been concluded that the Nakayasu S.U.H. method is not applicable in Turkish basins with its current form. The equations given by the Nakayasu S.U.H. method are modified with the aid of regression analysis for small scale and large scale sub-basins in Turkey separately by using observed average unit hydrograph parameters of selected sub-basins. It is seen that the unit hydrograph parameters calculated by the obtained new equations are calculated accurately and more closely to the observed unit hydrograph parameters when it is compared with Nakayasu S.U.H. method.

When the Nakayasu S.U.H. method is examined it has been seen that there is no equation for the calculation of basin coefficient α . In order to resolve this weakness separate equations for calculation of α coefficient in small and large scale sub-basins have been developed. Again when the Nakayasu S.U.H. method is examined it has been seen that there is no equation for the calculation of the base time of unit hydrograph T_b and separate equations for the small and large scale basins are developed to be used in the calculation of T_b .

Consequently, the equations given by Nakayasu S.U.H. method were modified to be used on Turkish basins besides that the weaknesses of method were eliminated and the method had become better applicable state. When examining results obtained from calculations it is concluded that the modified Nakayasu S.U.H. method can be used on Turkey's basins.

Keywords: Nakayasu Method, Synthetic Unit Hydrograph, Rainfall-Runoff, Regression Analysis

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No:</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 7. 1. Türkiye'deki Akarsu Havzaları ve Karakteristik Değerleri	55
Çizelge 7. 2. Küçük ölçekli havzalar ve gözlenmiş birim hidrograflara ait karakteristik özellikler	58
Çizelge 7. 3. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri	60
Çizelge 7.4. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrograflara ait parametrelerin karşılaştırılması.....	60
Çizelge 7. 5. Modifiye Edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen birim hidrograf parametreleri	70
Çizelge 7. 6. Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş birim hidrograf parametrelerin karşılaştırılması.....	71
Çizelge 7. 7. Büyük ölçekli havzalar ve gözlenmiş birim hidrograflara ait karakteristik özellikler	83
Çizelge 7. 8. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri	84
Çizelge 7.9. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrograflara ait parametrelerin karşılaştırılması.....	84
Çizelge 7. 10. Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri	95
Çizelge 7. 11. Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrograflara ait parametrelerin karşılaştırılması	96
Çizelge 7. 12. Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri.....	106
Çizelge 7. 13. Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrograflara ait parametrelerin karşılaştırılması.....	107
Çizelge 7. 14. Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri.....	114
Çizelge 7. 15. Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrograflara ait parametrelerin karşılaştırılması.....	115
Çizelge 7. 16. Test grubu olarak seçilen havzalar ve gözlenmiş birim hidrograflara ait karakteristik özellikler	121
Çizelge 7. 17. Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri	122
Çizelge 7. 18. Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrograflara ait parametrelerin karşılaştırılması.....	123
Çizelge 8. 1. Küçük ölçekli havzalar için modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. eşitlikleri.....	127
Çizelge 8. 2. Büyük ölçekli havzalar için modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. eşitlikleri.....	131

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Su Çevrimi	1
Şekil 3.1. Topografik harita.....	15
Şekil 3.2. Drenaj mertebesi ve frekansı.....	16
Şekil 3.3. Aynı alana sahip 2 havza ve drenaj frekansı.....	17
Şekil 3.4. Havza şeklinin hidrograf üzerindeki etkisi.....	18
Şekil 3.5. Farklı uzama oranları	20
Şekil 3.6. Sentroid uzunluğu	20
Şekil 3.7. Drenaj alanları arasındaki eşit yükseklik çizgileri ve yükseklik alan grafiği.....	21
Şekil 4.1. Akarsu akış hidrografının bileşenleri	24
Şekil 4.2. Hidrografın Ayrıştırılması.....	25
Şekil 4.3. ϕ İndisi Yöntemi	26
Şekil 4.4. Başlangıçtaki ve sürekli kayıplar.	27
Şekil 4.5. Oransal kayıplar	27
Şekil 4.6. Birim Hidrografın Türetilmesi	28
Şekil 4.7. S eğrisinin türetilmesi.	32
Şekil 4.8. S eğrisinden elde edilen enstantane birim hidrograf	34
Şekil 5.1. Snyder sentetik birim hidrograf yöntemi	37
Şekil 5.2. Clark Birim Hidrografı.....	39
Şekil 5.3. Tipik bir Mockus taşkın hidrografı.	40
Şekil 5.4. SCS sentetik birim hidrografoı	42
Şekil 5.5. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf.....	45
Şekil 7.1. Birim Hidrografoıların gözleendiği havzaların coğrafik konumu.....	57
Şekil 7.2. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrografoılar.....	59
Şekil 7.3. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	61
Şekil 7.4. Konya Seydişehir Glabbera alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	62
Şekil 7.5. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	62
Şekil 7.6. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	63

Şekil 7.7. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	63
Şekil 7.8. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	64
Şekil 7.9. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	64
Şekil 7.10. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait Qp değerleri arasındaki ilişki.....	65
Şekil 7.11. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait Tp değerleri arasındaki ilişki.....	66
Şekil 7.12. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait tg değerleri arasındaki ilişki.....	66
Şekil 7.13. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait α değerleri arasındaki ilişki.....	67
Şekil 7.14. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki.....	67
Şekil 7.15. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki.....	68
Şekil 7.16. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	72
Şekil 7.17. Konya Seydişehir Glabbera alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	72
Şekil 7.18. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	73
Şekil 7.19. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	73
Şekil 7.20. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	74
Şekil 7.21. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	74
Şekil 7.22. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	75
Şekil 7.23. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait Qp değerleri arasındaki ilişki.....	76
Şekil 7.24. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki.....	76
Şekil 7.25. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait tg değerleri arasındaki ilişki.....	77
Şekil 7.26. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait α değerleri arasındaki ilişki.....	77

Şekil 7.27. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki.....	78
Şekil 7.28. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki	78
Şekil 7.29. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	79
Şekil 7.30. Konya Seydişehir Glabbera alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	80
Şekil 7.31. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	80
Şekil 7.32. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	81
Şekil 7.33. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	81
Şekil 7.34. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	82
Şekil 7.35. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	82
Şekil 7.36. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar.....	83
Şekil 7.37. Kayraaktepe alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması... 85	85
Şekil 7. 38. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	86
Şekil 7.39. Hamam alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	86
Şekil 7.40. Kırkyalan alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	87
Şekil 7.41. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	87
Şekil 7.42. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki	88
Şekil 7.43. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki	89
Şekil 7.44. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait t_g değerleri arasındaki ilişki	89
Şekil 7.45. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait α değerleri arasındaki ilişki	90
Şekil 7.46. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki	90
Şekil 7.47. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki	91
Şekil 7.48. Kayraaktepe alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	97
Şekil 7.49. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	97

Şekil 7.50. Hamam alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	98
Şekil 7.51. Kırkyalan alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	98
Şekil 7.52. Himmetli alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	99
Şekil 7.53. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. 'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki	100
Şekil 7.54. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. 'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki	100
Şekil 7.55. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. 'larına ait t_g değerleri arasındaki ilişki	101
Şekil 7. 56. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. 'larına ait α değerleri arasındaki ilişki	101
Şekil 7.57. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. 'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki	102
Şekil 7.58. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. 'larına ait t_b değerleri arasındaki ilişki	102
Şekil 7.59. Kayraktepe alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	103
Şekil 7.60. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	104
Şekil 7.61. Hamam alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	104
Şekil 7.62. Kırkyalan alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	105
Şekil 7.63. Himmetli alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	105
Şekil 7. 64. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	108
Şekil 7. 65. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	108
Şekil 7. 66. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	109

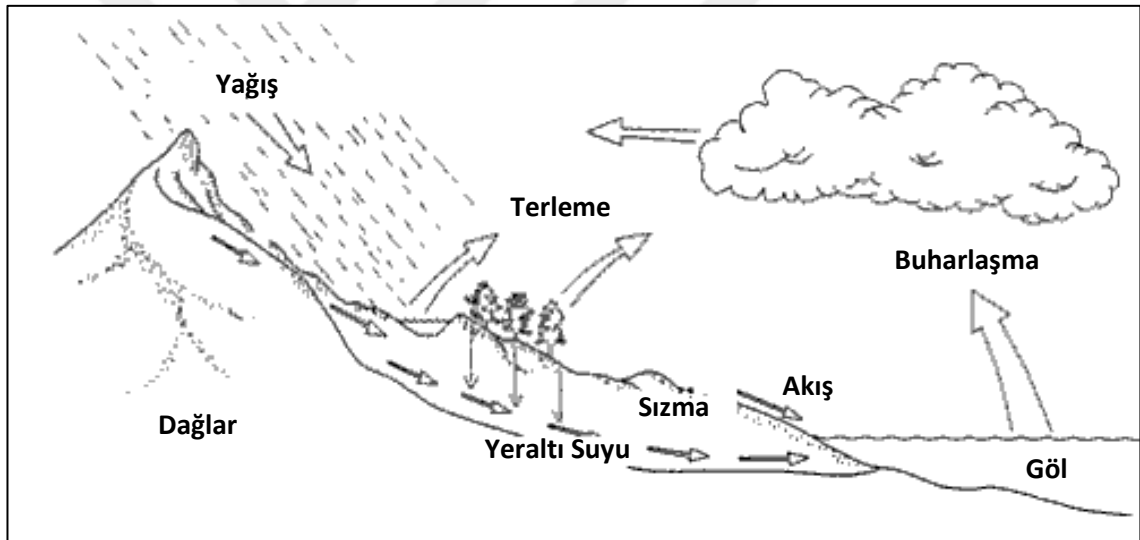
Şekil 7. 67. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	109
Şekil 7. 68. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	110
Şekil 7. 69. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	110
Şekil 7. 70. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	111
Şekil 7. 71. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H. 'larına ait Tp değerleri arasındaki ilişki.....	112
Şekil 7. 72. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H. 'larına ait Qp değerleri arasındaki ilişki.....	112
Şekil 7. 73. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H. 'larına ait Tb değerleri arasındaki ilişki.....	113
Şekil 7. 74. Kayraaktepe alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	116
Şekil 7. 75. Üzümlü alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	116
Şekil 7. 76. Hamam alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	117
Şekil 7. 77. Kırkyalan alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	117
Şekil 7. 78. Himmetli alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu , Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	118
Şekil 7. 79. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H. 'larına ait Tp değerleri arasındaki ilişki.....	119
Şekil 7. 80. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H. 'larına ait Q _p değerleri arasındaki ilişki.....	119
Şekil 7. 81. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H. 'larına ait T _b değerleri arasındaki ilişki.....	120
Şekil 7. 82. Test grubundaki alt havzaların coğrafi konumu.....	122
Şekil 7. 83. Edirne-Merkez-Kumdere alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	124
Şekil 7. 84. Konya-Çiftliközü-Karabalçık alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması	125

Şekil 7. 85. Körtleravşarı alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması.....	125
---	-----



1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varlığının başlangıcından beri su kaynaklarından etkili bir biçimde faydalanma gereksinimi hissedilmiştir. Bu amaç doğrultusunda insanlar tarafından suyun özelliklerinin belirlenmesi, doğada nasıl hareket ettiği ve ne çeşit zararlara sebebiyet verebileceğinin belirlenmesinin yanı sıra bu zararların nasıl minimize edileceği de öğrenilmeye çalışılmıştır. Doğada su sadece sıvı halde değil aynı zamanda katı ve gaz hallerinde de bulunmaktadır ve bu sayede sürekli bir döngü içerisinde. Suyun bu döngüsüne ise hidrolojik çevrim veya su çevrimi adı verilmektedir. Şekil 1.1.'de hidrolojik çevrim sistematığı görülmektedir. Hidrolojik çevrim sayesinde buharlaşan su yağmur şeklinde belirli bir havzaya yağış olarak düşmekte, bu yağış sonucunda bir miktar su topraktan yeraltına doğru sızmakta, bir kısmı bitki örtüsü tarafından tutulmakta, bir kısmı ise yüzeysel akışları meydana getirmektedir.



Şekil 1.1. Su Çevrimi (Chow ve ark. 1988)

Havza ise hidrolojik çevrimde yağış olarak düşen suların toplanıp belirli su yollarına aktarımını sağlayan bir sistem olarak düşünülebilir. Yağış olayı sonucunda havza içerisinde meydana gelen akış olayının insanlara birçok faydasının olması yanında birçok zararı da olabilmektedir. Akış olayından dolayı meydana gelebilecek zararların en önemlilerinden birisi taşkın olayıdır. Taşkın olayında havza içerisinde bulunan yerleşim yerleri ve tarımsal alanların zarar görmesinin yanında can kayıpları da meydana gelebilmektedir. Bu sebeple taşkın olaylarının meydana gelmesini önleyecek mühendislik yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu mühendislik yapıları tasarlanırken

geçmiş kayıtlar kullanılarak boyutlandırma yapılabilmektedir. Ancak her zaman bu kayıtlar mevcut olmayabilir. Bu durumda söz konusu mühendislik yapılarının tasarımı için kullanılacak olan akış hacmi bazı ampirik yöntemler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Taşkın olayına ait pik debinin, pik su seviyesinin veya akış hacminin söz konusu ampirik yöntemler ile belirlenmesi sayesinde köprüler, menfezler, barajlar, bağlamalar vb. gibi su yapıları ile taşkın yönetimi için yapılan tesislerin dizaynı ve tasarımı, taşkınların akarsuyun bulunmuş olduğu bölgeye ne kadar etki edeceği belirlenebilmekte ve tasarlanacak olan bu mühendislik yapıları güvenilir boyutlarda tasarlanabilmektedir.

İşte gerekli olan bu pik debilerin belirlenmesinde kullanılan ampirik yöntemlerden biri de birim hidrograf yöntemidir. Birim hidrograf teorisi ilk kez pik debiler yerine sadece gözlemlenen yağış ve akış verilerinden süperpozisyon kullanarak hidrografları tahmin eden Sherman (1932) tarafından ortaya atıldı. Birim hidrograf, akarsuyun bulunduğu havzaya belirli bir zaman boyunca sabit bir şiddette düşen, birim yükseklikte (1cm) artık yağışın meydana getireceği dolaysız yağışın hidrografı olarak tanımlanmaktadır (Bayazıt 2011). Artık yağış ise depolama ve sızma sonucu kaybolmayan yağıştır.

Birim hidrograflar ölçümleri olan havzalarda kullanılabilmektedir, ölçümlerin olmadığı havzalarda ise pik debilerin belirlenmesi için sentetik birim hidrograflar kullanılmaktadır. Sentetik birim hidrograflarda havzaların yağış ve akış kayıtlarının bulunmamasından dolayı havzalara ait fiziksel özellikler temel alınarak hesaplamalar yapılır. Bu sayede sentetik birim hidrograf modelleri ile pik debi, pik zamanı ve yağış hidrografının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi amaçlanmaktadır.

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan sentetik birim hidrograf yöntemleri Snyder, Mockus, S.C.S gibi yöntemlerdir. Bu yöntemler sayesinde ölçülmüş verileri bulunmayan havzalara ait karakteristik özellikler kullanılarak elde edilen katsayıların yardımı ile hesaplamalar yapılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin zorluğu, uygulanması düşünülen havzaya ait katsayıların belirlenmesinin son derece güç olmasıdır. Bu yüzden ya daha önce yakın bir yerde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen katsayılar kullanılır ya da uzman yardımı alınarak söz konusu havzaya ait katsayıların belirlenmesi yoluna gidilir. Bu çalışmada ele alınan yöntem ise uzak doğu ülkelerinde sıklıkla kullanılan ve

Dr. Nakayasu tarafından 1940'lı yıllarda geliştirilmiş olan Nakayasu sentetik birim hidrograf yöntemidir (Soemarto 1987). Bu yöntem uzak doğu ülkelerinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen Türkiye ve Avrupa ülkeleri için hemen hemen hiç kullanılmamıştır. Nakayasu sentetik birim hidrograf yönteminde hesaplamalar yapılırken havzaya ait alan ve uzunluk gibi herkesin belirleyebileceği özelliklerin kullanılarak hesap yapılması, diğer sentetik birim hidrograf yöntemlerine göre uygulama ve hesaplama kolaylığı avantajlarını da beraberinde getirir.

Bu çalışma ile Nakayasu sentetik birim hidrograf metodunun Türkiye havzalarında kullanılabilirliğinin incelenmesi ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerin yanı sıra bu yöntemin de kullanılabilecek yöntemler arasına dâhil edilmesi amaçlanmıştır.

Nakayasu S.B.H. yönteminin Türkiye havzalarında kullanılabilirliğini incelemek amacıyla 7 adet küçük ölçekli ve 5 adet büyük ölçekli alt havzaya ait gözlenmiş birim hidrograf verilerinden istifade edilmiştir. Seçilen bu alt havzalara ait gözlenmiş ortalama birim hidrograf verileri kullanılmak suretiyle Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler regresyon analizi yardımı ile Türkiye havzalarında kullanılabilecek şekilde yeniden modifiye edilmeye çalışılmıştır. Nakayasu yöntemi ile verilen eşitlikler küçük ölçekli ve büyük ölçekli havzalar için ayrı ayrı modifiye edilmek suretiyle yeni denklemler elde edilmiştir.

Nakayasu yöntemi tüm hatları ile incelenmiş ve bu yöntemin eksik kısımları belirlenmeye çalışılmıştır. Havza katsayısı α 'nın hesabı için Nakayasu S.B.H. yöntemi ile herhangi bir eşitlik önerilmez iken bu çalışmada küçük ve büyük ölçekli havzalarda α 'nın hesabı için kullanılabilecek yeni denklemler elde edilmiştir.

Nakayasu yönteminin bir diğer eksik yönü olarak görülen birim hidrograf taban süresi T_b 'nin hesabı için yine küçük ve büyük ölçekli havzalarda kullanılabilecek yeni denklemler geliştirilmiştir.

Elde edilen modifiye edilmiş denklemler ile, Nakayasu yönteminde görülen eksikliklerin giderilmesi için geliştirilen denklemler sayesinde, Nakayasu S.B.H. yöntemi Türkiye havzalarına ait birim hidrograf parametrelerini büyük bir doğrulukla hesaplayabilir bir şekle getirilmeye çalışılmıştır.

Denklemlerin modifiye edilmesi aşamasında gözlenmiş birim hidrograf parametreleri ile havza karakteristik özellikleri arasındaki ilişkiyi veren denklemler lineer ve non lineer regresyon yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir.

Sentetik birim hidrografalara ait iniş ve çıkış eğrilerinin denklemleri, gözlenmiş birim hidrografalara ait iniş ve çıkış eğrilerinin değerleri kullanılmak suretiyle panel veri analizi yardımı ile belirlenmiştir. Lineer ve non lineer regresyon analizleri ile panel veri analizleri yapılırken Eviews 8.0 paket programından istifade edilmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Birim hidrograf kavramı ilk defa 1932 yılında L. K. Sherman tarafından ileri sürülmüştür. Daha sonra Snyder Amerika'daki Appalachian dağlarındaki havzalar üzerinde çalışmış ve birim hidrografın pik akışı, gecikme zamanı, taban zamanı ve pik akışının %50 ve %75'indeki genişlik gibi karakteristikleri arasındaki ilişkilerin incelenebileceğini ileri sürmüştür. Snyder'ın görüşleri Espey, Altman ve Graves tarafından 1977 yılında geliştirilen havza parametrelerinin bölgeselleştirilmesi görüşü ile genişletilmiştir. Kirpich 1940 yılında iyi belirlenmiş kanal ve dik yamaçlara sahip olan Tennessee'deki yedi kırsal havzanın verilerinden yararlanarak konsantrasyon zamanı formülünü belirlemiştir. Kirpich yöntemi üçgen birim hidrograf yöntemlerinden biridir. Birim hidrograf yöntemine bir diğer önemli katkı da Clark tarafından 1945 yılında yapılmıştır. Clark birim hidrografın saf bir depolama yönlendirme işlemi tarafından izlenen saf bir translasyon yönlendirme işleminin bir kombinasyonunun sonucu olduğunu ileri sürmüştür. 1957 yılında Nash, bir birimlik etkiye karşılık bununla özdeş lineer rezervuar kaskatının tepkisi olan bir gama dağılımı olan bir birim hidrograf denklemi önermiştir. Nash tarafından önerilen yöntem, yalnızca havzayı modellememiştir, aynı zamanda hesaplanan ve gözlenen hidrografların birinci ve ikinci momentlerine dayalı bir ayarlama tekniğidir (Chow ve ark. 1988).

1957 yılında Mockus tarafından geliştirilen sentetik birim hidrograf, genellikle ABD Toprak Koruma Servisi (SCS) standart birim hidrografi olarak anılmaktadır ve en çok bahsedilen sentetik birim hidrograf yöntemidir. Bazı devletler ve yerleşim yerlerinin yönetmeliklerinde hidrolojik tasarım için gerekli olan sentetik birim hidrograf olarak anılmaktadır (Sheridan ve ark. 2002).

Gray tarafından 1961 yılında geliştirilen sentetik birim hidrograf yönteminde, iki parametrelili gama dağılım fonksiyonuna dayanan boyutsuz bir grafik süreciyle sentetik birim hidrograflar türetilmiştir (Bhunya ve ark. 2011).

1972 yılında ABD Tarım Departmanının Toprak Koruma Servisi (SCS), tek bir parametreye (artık yağış hiyetografının kütle merkezi ile birim hidrografın pik noktası arasındaki gecikme zamanına) dayalı bir birim hidrograf modeli önermiştir. Hidrografın şekli önceden hesaplanmış bir ortalama boyutsuz birim hidrograf eğrisi ya da basitçe üçgen boyutsuz birim hidrograf olarak belirtilmektedir (Olivera ve ark. 1996).

1940 yılında Dr. Nakayasu, Japon nehirleri üzerine, yaygın bir şekilde kullanılan ve Nakayasu sentetik birim hidrograf metodu olarak bilinen yöntemi uygulamıştır (Safarina ve ark. 2011).

Ye ve ark. (1994), coğrafi bilgi sistemini kullanarak Kore’de bulunan Mt. Kyeryong Milli Parkı’ndaki ikinci toplu tesis alanı gelişiminin neden olduğu hidrolojik etkileri araştırmışlardır. Çalışmada akış hacmini tahmin etmek için Rasyonel yöntemi ve toprak koruma servisi (SCS) yöntemini kullanmışlardır. Pik zamanı akışı SCS yöntemiyle hesaplanan toplam akış kullanılarak Nakayasu yöntemiyle tahmin edilmiştir. Sonuçta pik zamanındaki akış hacminin, Kapsamlı Plan Raporu’nda (Comprehensive Plan Report) bu çalışmada tahmin edilenden daha çok küçük bir değere sahip olduğu görülmüştür (Ye ve ark. 1994).

Sumaryono ve ark. (2009), Endonezya’nın Batı Java bölgesindeki Guntur Volkanik Dağları arasında yer alan Cipanas nehri üzerinde meydana gelen çamur ve çakıl taşlarından oluşan moloz akımları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Moloz akımını simüle ederken sonlu farklar metoduna dayalı Kanako simülasyon programı kullanılmıştır. Üç durum simüle edilmeye çalışılmıştır:

- i. Moloz önleyici baraj olması veya olmaması durumu
- ii. Moloz önleyici baraj çeşitlerinin etkileri
- iii. Moloz önleyici barajların dolu veya boş olması durumu

Çalışmalarında menba kesitlerine ait moloz akışlarının birim hidrograflarının sağlanması için Nakayasu SBH yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda boyuna moloz önleyici barajlara göre kapalı moloz önleyici barajların daha etkili olduğu görülmüştür. Boş moloz önleyici barajların dolu olanlardan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Sumaryono ve ark. 2009).

Kang ve ark. (2009), kritik fırtına süresi göz önünde bulundurularak drenaj galerilerinin dizaynı için Kore’de bulunan Baran ve Banweol adında iki küçük ölçekli havza üzerinde 35 farklı drenaj galerisi bölgesi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Kritik fırtına süreci, Huff eğrilerinin yanısıra Nakayasu, USDA SCS SN, Clark ve WFR Paddy yöntemleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada iki küçük ölçekli havza üzerinde gözlemlenen 41 adet kayıtlı fırtına olayına ait pik zamanı ve pik debisinin tahmini için birim hidrograf yöntemleri karşılaştırılmıştır. Pik zamanı hesabında en iyi

sonuçları Clark yöntemi, ikinci en iyi sonucu ise Nakayasu yöntemi vermiştir. Pik debinin hesabında ise USDA SCS CN ve Clark yöntemleri en yakın sonuçları verirken Nakayasu yöntemi üçüncü en iyi sonucun elde edildiği yöntem olmuştur. Tüm bu hesaplamalar sonucunda kullanılan birim hidrograf yöntemleri ile hesap edilen pik değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca sentetik birim hidrograf ile hesap edilen tasarım debisi değerlerinin rasyonel metot ile hesaplanan değerlerden daha yüksek çıktığı görülmüştür (Kang ve ark. 2009).

Safarina ve ark. (2009), Citarum, Cimanuk, Ciliwung Progo ve Tawang Rejeni havzası gibi Java'daki çeşitli havzalar için Snyder, SCS, Nakayasu ve Gama I yöntemlerinin geçerliliğini araştırmışlardır. Ölçülen havza karakteristikleri; alan, şekil, eğim ve arazi kullanımıdır. Çalışmada belirli havza karakteristikleri için sentetik yöntemin geçerliliği araştırılmıştır. Bu amaçla, pik debinin, pik zamanının ve taban süresinin belirleme katsayısı (R^2) değerleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda Snyder ve SCS yöntemlerinin belirleme katsayısı (R^2)'nin çalışmadaki hemen hemen tüm havza karakteristikleri için geçerli olduğu görülmüştür. Nakayasu ve Gama I'nin ise Leuwi Daun (Cimanuk nehri), Nanjung (Citarum nehri) ve Tawang Rejeni (Lesti nehri) gibi birkaç havza karakteristiği için geçerli olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni Nakayasu ve Gama I'de çoğu zaman geniş bir taban süresinin meydana gelmesidir. Özellikle Gama I için bu durum küçük pik zamanı oluşmasına neden olmaktadır (Safarina ve ark. 2009)

Safarina ve ark. (2011), çalışmalarında gözlenmiş verilere sahip 31 havzayı, 150 km²'den küçük, 150-550 km² arasında olanlar ve 550 km²'den geniş alana sahip olan havzalar olmak üzere üç gruba ayırarak incelemişlerdir. Nakayasu yöntemiyle hesap edilen pik debilerin güvenilirliği gözlenmiş değerlerle kıyaslanarak test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda Nakayasu yönteminin ilk grup için %31, ikinci grup için %25, üçüncü grup için ise %17 güvenilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla Nakayasu yönteminin küçük ölçekli havzalar için başarısız olma ihtimali %69, orta ölçekli havzalar için %75, büyük ölçekli havzalar için ise %83'tür. Nakayasu taşkın debisinin güvenilirliğinin kötü olması, yöntemin havza karakteristiklerine uygun olması için düzeltilmesi gerektiğini göstermektedir. Çalışmada ayrıca Nakayasu sentetik birim hidrograf taşkın debisi ile havza alanı arasında iyi bir korelasyon olmadığı sonucuna da ulaşılmıştır. (Safarina ve ark. 2011).

Safarina (2012) çalışmasında gözlenmiş verisi olmayan orta ölçekli havzalar için Nakayasu sentetik birim hidrograf metodunu modifiye etmiştir. Bu amaçla Endonezya'nın Java bölgesinde bulunan 20 orta ölçekli havzaya ait GIS haritaları ve gerçek zamanlı yağış verileri kullanılmıştır. Çalışmada Nakayasu sentetik birim hidrograf yöntemiyle hesaplanan parametreler ile gözlenen birim hidrograf parametreleri karşılaştırılarak hataların minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Nakayasu yöntemi ile verilen eşitliklerdeki katsayılar 20 havzanın herbiri için ayrı ayrı belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıların ortalaması, alt ve üst sınırları belirlenmiştir. Belirlenen bu sınırlar içerisinde kullanıcı tarafından seçilecek katsayılar ile hesaplamaların yapılması önerilmiştir. Bu sınırlar içerisinde yapılan hesaplamalar ile birim hidrograf parametreleri ve şekillerinin daha doğru belirlenebileceği belirtilmiştir (Safarina 2012).

Limantara (2012), çalışmasında Nakayasu ve Limantara sentetik birim hidrograf yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada Endonezya Merkez Klimantan'da bulunan Rungun Hulu alt havzası üzerinde uygulama yapılmıştır. Endonezya'nın coğrafik özellikleri ile Nakayasu yönteminin geliştirilmiş olduğu Japonya havzalarının birbirinden farklı coğrafik özelliklere sahip olmasından dolayı, gözlenmiş ortalama birim hidrograf verileri kullanılarak Nakayasu yöntemi ile verilen α parametresi ile t_g (gecikme zamanı) denklemi kalibre edilmiştir. Limantara yöntemi ile verilen t_g (gecikme zamanı) ve Q_p denklemi kalibre edilmek suretiyle gözlenmiş değerlere daha yakın sonuçlar elde edileceği belirtilmiş ve kalibre edilmiş yeni denklemlerin kullanılması tavsiye edilmiştir (Limantara 2012).

Patanduk (2013), Endonezya Güney Sulawesi bölgesindeki Makassar şehrindeki Tello nehrinin tasarım taşkın debisini değerlendirmiştir. Bunun nedeni son yıllarda bu nehrin şehrin Tamalanrea alt bölgesini sular altında bırakmasıdır. Bu çalışmada taşkın debilerinden önceki tasarım taşkın debisi analizi ile sonraki tasarım taşkın debileri analizi arasındaki beklenen oranı bulmak için Tello nehri üzerinde tasarım taşkın debisi analizi yapılmıştır. Bu amaçla Nakayasu sentetik birim hidrograf metodu kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca Gamma I metodu kullanılarak nehrin tasarım taşkın debi planı yeniden analiz edilmiştir. Sonuçta Nakayasu yöntemi ile elde edilen taşkın debisinin büyüklüğünün Gamma I yöntemi ile elde edilen mevcut hesaplamalardan daha küçük olduğu görülmüştür. Ayrıca Nakayasu yönteminin sonuçları otomatik kaydedilmiş nehir

ölçüm verilerine Gamma I yönteminin sonuçlarına göre daha uygun çıkmıştır (Patanduk 2013).

Kurniawan (2013), 2006 yılında Endonezya’da Kaliputih nehrinde aniden ortaya çıkan taşkın felaketini analiz etmiştir. Bu taşkın hidrografını elde ederken Nakayasu yöntemini kullanarak ilgili hidrolojik özellikleri analiz etmiştir. Doğal baraj modeli saha gözlemleri ve ilgili referanslar kullanılarak yorumlanmıştır. Belirli bir aralıktaki parametre değerlerini ve sabit debiyi kullanarak simülasyon yapmış ve modeli kalibre etmiştir. Gözlemler maksimum su yüzey yüksekliğine tamamlanmış ve nehrin mansabına kadar işlenmiştir. Çalışmada taşkın hidrografi oluşturulurken Nakayasu sentetik birim hidrograf yöntemi kullanılarak saatlik yağış dağılımı, akış olmak üzere düzenlenmiştir. Yağış, akış olarak düzenlenirken Nakayasu parametresi, havza alanı olarak Kaliputih Hulu Havzasının karakteristiklerinden elde edilmiştir. Sonuçta Ocak 2006 taşkınının yeniden yapılandırılmasında taşkın izleme sonuçları gerçeğe uygun çıkmıştır (Kurniawan 2013).

Natakusumah ve ark. (2013), kütlenin korunumu ilkelerine dayanan sentetik birim hidrograf hesabı için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. ITB sentetik birim hidrograf hesaplama metodu olarak adlandırdıkları bu yöntem, ITB-1 ve ITB-2 sentetik birim hidrografların geliştirilmesinde uygulamaya konulmuştur. Birim hidrograflar, basit tek bir fonksiyon (ITB-1) veya otomatik ayarlanabilir pik debi faktörleri ile bir araya getirilmiş iki basit fonksiyon (ITB-2) kullanılarak sentezlenmiştir. Küçük ve orta ölçekli havzaların taşkın tasarımı hesabında bu yöntemin bazı uygulamaları sunulmuştur. Bu uygulamalardan bir tanesi Cibatarua nehir havzasının taşkın hidrografının hesabıdır. Bu uygulamada ITB-1 sentetik birim hidrograf için gecikme zamanı Snyder yöntemi, ITB-2 sentetik birim hidrograf için gecikme zamanı ise Nakayasu formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam hidrograflar diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında ITB-1’in sonuçlarının Snyder-Alexeyev’in ve Hidrolojik Modelleme Sistemi’nin (HEC-HMS) sonuçlarına, ITB-2’nin sonuçlarının ise Nakayasu’nun sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür (Natakusumah ve ark. 2013).

Kang ve ark. (2013), kritik fırtına süresi kavramını kullanarak tasarım taşkın debilerini belirlemek için hangi yöntemin daha iyi sonuç vereceğini araştırmışlardır. Çalışmalarındaki tasarım taşkınlarını değerlendirirken yağış dağılım tipi ve yağış

süresine dayanarak şu hidrolojik modelleri kullanmışlardır: Rasyonel yöntem, Nakayasu yöntemi, SCS yöntemi, Clark yöntemi ve WFRpaddy modeli (kırsal alan koşullarını dikkate alan havza taşkın yönlendirme modeli). Genel olarak en yüksek tahmini pik debi SCS (Toprak Koruma Servisi) modelinden elde edilirken, bu modeli sırasıyla WFRP, Clark izlerken en düşük pik debi ise Nakayasu modeli ile elde edilmiştir (Kang ve ark. 2013).

Harahap ve ark. (2014), yağış analizi yoluyla orta, aşağı ve yukarı havza taşkın debisinin indeks değerlerini Endonezya'nın Kuzey Sumatra bölgesindeki Asahan nehir koşullarına uygun bir şekilde elde etmeye çalışmışlardır. Çalışmada nehir etrafında yapılan incelemelerden elde edilen birincil veriler ve ilgili kuruluşlar tarafından verilen periyodik raporlardan alınan ikincil veriler kullanılmıştır. Taşkın debisi hesabı, Rasyonel yöntem ve Nakayasu yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Nakayasu yöntemi ile hesaplanan taşkın pik debileri Rasyonel yöntem ile hesaplanan taşkın debilerinin %10'u ile %20'si arasında kaldığı görülmüştür bu nedenle Rasyonel yöntem ile hesaplanan taşkın pik debileri yalnızca 0.1 ile 0.2 arasında bir sabitle çarpıldığında Nakayasu yöntemiyle hesaplanabileceği belirtilmiştir (Harahap ve ark. 2014).

Faridah ve ark. (2014) Güney Sulawesi bölgesindeki Pappa havzası üzerine Nakayasu sentetik birim hidrograf yöntemiyle maksimum taşkın debi analizi yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre Pappa Havzası'na günlük maksimum 342.15 mm ve minimum 53.75 mm yağış düşmektedir. 5, 10 ve 50 yıllık dönemler için maksimum taşkın debi değerleri sırasıyla 1142.13, 1490.55 ve 2514.14 m³/sn olarak hesaplanmıştır.

Sutrisno (2014) herhangi bir durumdaki taşkın problemini çözmede en etkili ve verimli çözümü bulmak için bir optimizasyon modeli kullanmıştır. Fırtına hidrografını belirlemede Nakayasu sentetik birim hidrograf yöntemini kullanmıştır. Sonuçta en iyi çözümün, sosyoekonomik aktiviteleri bozmada en büyük etkiye sahip olan taşkın önlemede başarılı olan bir alternatifin geliştirilmesi olduğunu belirtmiştir.

Salim ve Eng (2015) Nakayasu sentetik birim hidrograf yöntemini kullanarak Endonezya'da Bedadung Jember havzası üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında;

- i) Model trendleri ve taşkın akış modellerini belirlemeyi,

- ii) Bölgedeki taşkın akışlarının oluşumunu en çok etkileyen faktörleri belirlemeyi
- iii) Çevrelerindeki havzalarda taşkın debi planı hesaplanmasında referans olarak kullanılabilecek yüksek derecede güvenilirliğe sahip nehir uzunluk katsayısını elde etmeyi amaçlamışlardır.

Çeşitli alternatifleri karşılaştırarak, taşkın akışları hesaplama modellerinde özellikle Jember alanında Nakayasu sentetik birim hidrograf yönteminin kullanılabileceği fakat hidrograf katsayısının (α) ve konsantrasyon zamanı katsayısının (T_r) artış ve azalışlarının kullanımında bir ayarlama yapılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır (Salim ve Eng 2015).

Harahap ve ark. (2015), taşkın debisi analizine dayanan taşkın endeksinin belirlenmesi için bir tür hidroloji modeli önermişlerdir. İkincil veriler, ilgili kurumlardan alınan yağış verileri, akış verileri ve arazi kullanımı verileri gibi verileri içermektedir. Bu veriler daha sonra Gumbel ve Log Pearson yöntemleri ile analiz edilmiştir. Ayrıca, çalışmada rasyonel yöntemin, Nakayasu yönteminin ve mansap yüzeyindeki taşkınların hesabının kullanıldığı taşkın debisi hesaplamalarında aynı zamanda HEC-RAS yöntemlerinin bir kombinasyonu kullanılmaktadır. Yaptıkları hesaplamalar sonucunda Nakayasu yöntemi ile elde edilen pik debi oranlarının Rasyonel yöntemle elde edilen pik debi oranlarının %10'u ile %20'si arasında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, taşkın pik debisi Rasyonel yöntemin taşkın pik debi oranı 0.1 ila 0.2 arasında bir sabitle çarpılarak Nakayasu yöntemi ile basit bir şekilde hesaplanabileceği ortaya çıkmaktadır. Çalışmada taşkın indeks değerlerinin havzaya ait maksimum yağış alanlarının bilinmesiyle kolay bir şekilde tahmin edilebileceği belirtilmiştir (Harahap 2015).

Safarina ve Ramli (2015), yaptıkları çalışmalarında Endonezya'da Cimahi nehrinin üst ve orta kesitlerinde nehir pik debisine neden olan ve kolayca elde edilebilen toplam yağışı belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada Nakayasu S.B.H. yöntemi ile havzanın üst ve orta kesitleri için pik debi değerleri, birim hidrograf taban süresi ve pik zamanı belirlenmiştir. Nehir taşkın debileri ise gözlemler ile elde edilen veriler sayesinde nehir üst ve orta kesitleri için belirlenmiştir. Bu taşkın debilerinin hangi yağış yüksekliğinde meydana geldiği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede oluşturulacak olan

taşkın erken uyarı sisteminden yararlanılarak taşkın felaketi minimize edilecek ve böylece trafik sıkışıklığı, maddi hasar ve trafik kazaları gibi kayıplar azaltılabilecektir (Safarina ve Ramli 2015).

Nigussie ve ark. (2015), Türkiye’deki Güvenç mikro-havzasında Snyder, Toprak Koruma Servisi (SCS), Mockus, Nakayasu, Rodriguez-Valdez ve Gupta Waymire sentetik birim hidrograf yöntemlerinin performanslarını araştırmışlardır. Herbir SUH yönteminin gereksinimlerine uygun olarak gerekli verinin oluşturulmasında Havza Yönetim Sistemi (WMS) yazılımı kullanılmıştır. Gözlenmiş birim hidrograf ve sentetik birim hidrograf yöntemleri karşılaştırılırken pik debi ve pik zamanı kullanılmıştır. Çalışmada, SBH’ların türetilmesi için gerekli uygun havza karakteristiklerinin oluşturulmasında internet kaynaklarından elde edilen verilerin kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Sentetik birim hidrografların bileşenleri karşılaştırıldığında SCS yaklaşımının çalışma alanındaki pik debinin simülasyonunda en iyi performansı gösterdiği görülmüştür. Diğer tüm yaklaşımlar pik debiyi olduğundan düşük tahmin etmişlerdir. En düşük tahmin Gupta Waymire yönteminin tahmini olmuştur. Mockus yönteminin, pik zamanını simüle etmek için bulunan tek yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Rodriguez-Valdez ve Gupta Waymire yöntemlerinin küçük havzaların birim hidrograflarını oluşturmada uygun yöntem olmadıkları görülmüştür. Nakayasu yöntemi ile belirlenen pik debi $2.7 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm}$ iken gözlenen pik debi $4.26 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm}$ olarak hesaplanmıştır. Nakayasu yöntemi ile pik zamanı 1.47 saat olarak hesaplanırken gözlenen değer ise 1.1 saat’tir. Birim hidrograf taban süresi ise gözlenen değerlerden oldukça büyük olarak hesap edilmiştir. Ayrıca Nakayasu yönteminin gözlemlenmiş birim hidrografların şeklini simüle etmede diğer yöntemlere göre daha iyi olduğunu da belirtmişlerdir (Nigussie ve ark. 2015).

Susilowati ve ark. (2016), çalışmasında Endonezya’da bulunan Kali Lamong alt havzası için taşkın analizi yapılmıştır. Nakayasu yöntemiyle tasarlanan sentetik taşkın debi hidrografını etkili yağışla çarparak farklı periyotlardaki taşkın hidrografını hesaplamışlardır. Ayrıca Nakayasu yöntemi ile taşkın pik debisi hesaplamaları yapılmıştır. Bu şekilde Kali Lamong havza alanına dökülen taşkın debi miktarı bulunmuştur. Taşkın debisi hesaplamalarında Nakayasu yöntemi dışında taşkın risk simülasyonu (SIMODAS) yöntemini de kullanmışlardır. Bu iki yöntemle yapılan hesaplamalar arasında önemli farklılıklar çıkmıştır. Nakayasu yöntemiyle yapılan taşkın

tahmini sonuçları SIMODAS yöntemiyle yapılan tahmin sonuçlarından oldukça küçük çıkmıştır (Susilowati ve ark. 2016).

Literatürde Nakayasu S.B.H. yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Nakayasu yöntemi ile hesaplanan pik debi, pik zamanı ve taban süresi gibi birim hidrograf parametrelerinin bazı durumlarda iyi sonuçlar verdiği bazı durumlarda ise oldukça farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durumun temel nedeninin hesaplama için kullanılan havzaların farklı coğrafik özelliklere sahip olması olabileceği düşünülmektedir. Bu hesaplamalardaki farklılıkları gidermek amacı ile bazı çalışmalarda havza katsayısı α ve gecikme zamanı t_g denklemleri kalibre edilerek uygun sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Safarina'nın çalışmasında ise Nakayasu yöntemi ile verilen eşitliklerin katsayıları için ayarlama yapmaya çalıştığı görülmektedir. Ancak yapmış olduğu çalışma sadece orta ölçekli havzalara uygulanmıştır ve denklemler için belirlemiş olduğu katsayılar için bir aralık belirtilmiş ve bu aralıktaki değerlerin kullanıcı tarafından seçilmesi amaçlanmıştır. Safarina'nın çalışmasının aksine, Nakayasu yöntemi ile verilen eşitliklerin her havza için denklem katsayılarının ne olacağının ayrı ayrı bulunması yerine tüm havzalar için bir denklem geliştirilmesinin daha uygun ve uygulanabilir olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bazı çalışmalarda Nakayasu yöntemi ile verilen iniş ve çıkış eğrilerinin gözlenen birim hidrografların şeklini simule etmekte oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

Yukarıdaki belirtilen yönler göz önüne alındığında Nakayasu yönteminin uygulanması düşünülen havzalarda uygun sonuç verip vermediğinin incelenmesi oldukça önemli olmaktadır. Uygulanması düşünülen havzalar için yeterli doğrulukta hesap yapmadığı belirlenen Nakayasu eşitliklerinin ise bölgesel olarak düşünülüp seçilen tüm havzalar için ortak bir denklem geliştirilmesinin yöntemi daha uygun ve kolay uygulanabilir hale getireceği düşünülmektedir. Ayrıca havza katsayısı α ve birim hidrograf taban süresinin hesaplamaları için herhangi bir eşitlik olmayışından dolayı bu parametrelerin belirlenmesinde oldukça büyük hatalar ortaya çıkmaktadır. Çalışmamızda, Nakayasu yönteminin bu eksik yönlerinin de giderilmesi için denklemler geliştirmenin uygun olacağı düşünülmüştür. Yine pik debinin hesabı için verilen eşitlikteki C katsayısının ise çoğu çalışmada 1 olarak alındığı görülmüş ve bu katsayının farklı özellikteki havzalar için alacağı değerlerin belirlenmesinin, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına yardımcı olacağı düşünülmüştür.



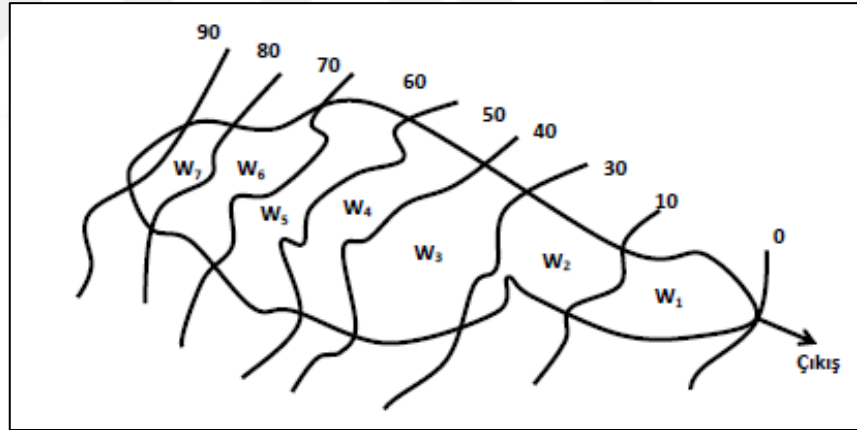
3. AKARSU HAVZA ÖZELLİKLERİ

Havzaların özelliklerinin muhtemel pik debi, pik zamanı, taban zamanı, konsantrasyon zamanı, vs. gibi hidrograf özellikleri ile ilişkilerinin anlaşılabilmesi için havza özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Havzaların jeomorfolojik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

3.1. Drenaj Alanı

En önemli özellik drenaj havzasının yatay alanıdır. Drenaj alanı, şekil 3.1'deki gibi topografik bir haritada su ayırım hattının sınırı çizilerek kolaylıkla hesaplanabilir. Alanda bazı bölgelerdeki artış drenaj havzasının yağış payında artışa neden olur ve aynı şekilde yüzey ve yeraltı suyu payı da artar. Drenaj alanı dört kategoride incelenmektedir:

- i) Alan 1000 km²'den büyükse çok büyük,
- ii) Alan 100 km² ile 1000 km² arasında ise büyük,
- iii) Alan 5 km² ile 100 km² arasında ise orta,
- iv) Alan 5 km²'den küçükse küçük olarak değerlendirilir (Şen 2004).



Şekil 3. 1. Topografik harita (Şen 2004)

Küçük havzalarda büyük havzalara oranla birim alan başına gelen maksimum debi daha büyük olur ve akış daha düzensizdir. Havza alanı büyüdükçe geçiş süresi de büyümektedir (Bayazıt 2011).

3.2. Ana Kanal Eğimi

Pratik mühendislik işlerinde geniş çaplı kullanılan ana kanal eğimi hesabı aşağıdaki gibidir:

$$S = \frac{E_f - E_o}{L} \quad (3.1)$$

Bu formülde;

S = Ana kanal eğimi

E_f = En uzak noktadaki kot

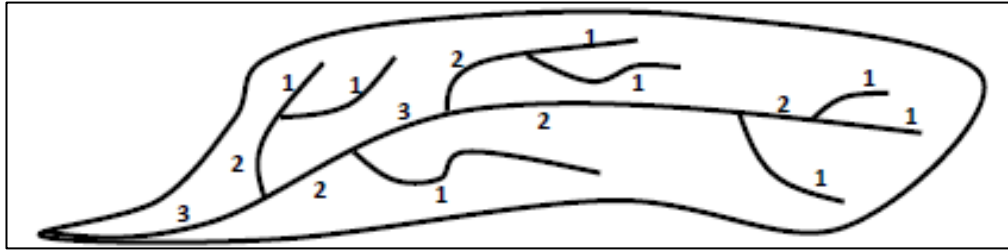
E_o = Çıkış noktası

L = Ana akım uzunluğunu temsil etmektedir.

Eğim ne kadar yüksekse yüzey akışının çıkış noktasına varması o kadar hızlı olur (Şen 2004). Ayrıca eğimin artması, akışın yıl içindeki dağılımının düzensizleşmesine, geçiş süresinin küçülmesine ve birim alandan gelen maksimum debinin artmasına neden olur (Bayazit 2011).

3.3. Akarsuyun Mertebesi

Her havzanın şekil 3.2'deki gibi yan kollardan ve yan kolların da yan kollarından oluşan bir ana kanalı vardır. Horton 1945 yılında akarsu ağı ile ilgili nicel bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında akarsu ağlarını sıralamak için bir sistem geliştirmiş ve farklı sıralardaki akarsuların uzunlukları ile sayılarını ilişkilendiren kurallar ortaya koymuştur. Bu sistemde fark edilebilir en küçük kanallar 1 numara olarak atanmıştır. Bu terminal kanallar yalnızca ıslak hava koşullarında normal akışlara sahiptirler. Aynı sıradaki iki kanal birleştiğinde bir sonraki sıra ortaya çıkar (Şen 2004). Dolayısıyla en küçük kanaldan başlayıp kanalların birleştiği noktalarda bir sıra artırılarak yapılan hesaplama göre havzada hesaplanan en yüksek değer akarsuyun mertebesi olmaktadır (Bayazit 2011).



Şekil 3. 2. Drenaj mertebesi ve frekansı (Şen 2004)

3.4. Drenaj Frekansı

Drenaj havzası içindeki akarsu ve alt-akarsu kanallarının frekansını göstermektedir. Drenaj frekansı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$D_f = \frac{N_s}{A} \quad (3.2)$$

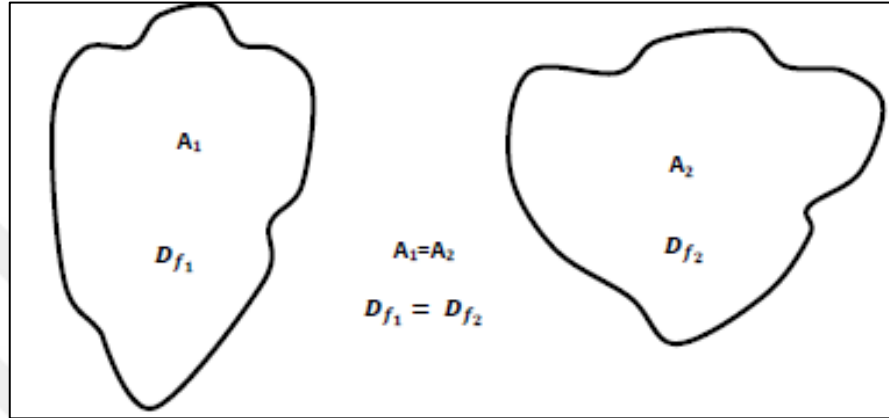
Bu formüldeki;

D_f = Drenaj frekansı

N_s = Bir drenaj alanındaki tüm akarsuların sayısı

A = Drenaj alanını temsil etmektedir.

Drenaj frekansındaki bir artış sızma kapasitesinde bir artışa yol açar. Yüzey akış kanalı kolları drenaj frekansının hesaplanmasında dikkate alınır. Ayrıca drenaj frekansındaki artış, drenaj havzasının sağanak yağışa hızlı tepki vermesine böylece de hidrograf pikinin daha erken oluşmasına ve büyük pik debiye neden olur (Şen 2004).



Şekil 3. 3. Aynı alana sahip 2 havza ve drenaj frekansı (Şen 2004)

3.5. Drenaj Yoğunluğu

Drenaj yoğunluğu; havzadaki akarsuların toplam uzunluğu havza alanına oranlanarak hesaplanabilir (Bayazit 2011):

$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad (3.3)$$

Bu formüldeki;

D_d = Drenaj yoğunluğu

L_T = Akarsu kanalının toplam uzunluğu

A = Drenaj alanını temsil etmektedir (Şen 2004).

Drenaj yoğunluğu 0.5 ile 2.5 km/km² arasında değerler almaktadır (Bayazit 2011). Bir havzanın drenaj yoğunluğu ne kadar küçükse yüzey akışı ve akış o kadar yavaş hareket eder fakat aynı zamanda sızma artar. Bu da pik hidrografta gecikmeye ve küçük pik debiye yol açar (Şen 2004).

3.6. Drenaj Havzasının Şekli

Drenaj havzasının şekli özellikle akış ve taşkın olaylarını ve onların zamansal ve mekânsal dağılımlarını etkilemektedir. Bu amaçla çeşitli araştırmacılar farklı şekil faktörleri önermişlerdir. Bu şekil faktörlerinden bir tanesi, ana akarsu kanal uzunluğunun karesinin havza alanına oranı olarak tanımlanmaktadır:

$$S_{f1} = \frac{L^2}{A} \quad (3.4)$$

Genellikle drenaj alanı arttıkça şekil faktörü de artmaktadır.

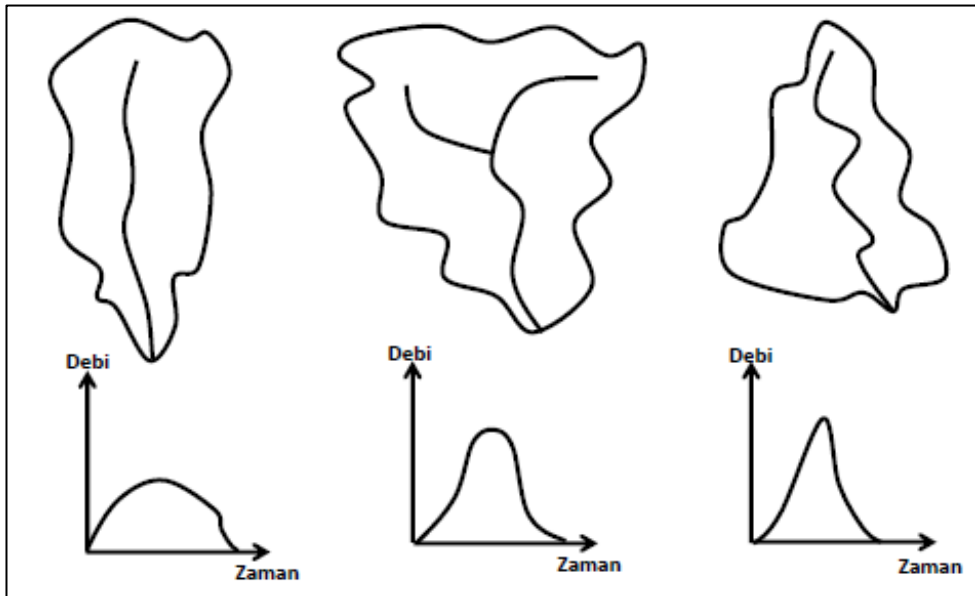
Bir diğer şekil faktörü, drenaj alanı ile eşdeğer daire alanı çapının (D), ana akım uzunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır:

$$S_{f2} = \frac{D}{L} \quad (3.5)$$

Bir diğer şekil faktörü ise havzanın çevre uzunluğunu (D_w) ve havza alanı ile aynı alana sahip olan dairenin çevresini (D_c) dikkate almaktadır. Bu faktör aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$S_{f3} = \frac{D_w}{D_c} \quad (3.6)$$

Bunun anlamı, farklı havzalara düşen aynı hidrograf yağışlarının bile birbirinden farklı olmasının beklenmesidir (Şen 2004).



Şekil 3. 4. Havza şeklinin hidrograf üzerindeki etkisi (Şen 2004)

Havzanın biçimi şekil 3.4.'te de görüldüğü gibi hidrografın şeklini ve pik debisini etkilemektedir (Bayazit 2011). Uzun ve dar havzalara düşen yağışın nispeten düz ve uzun süreli

hidrografları vardır. Geniş havza durumunda ise hidrograf süresi kısalmakta ve pik debi büyümeaktadır (Şen 2004).

3.7. Çatallanma Oranı

Horton 1945 yılında yaptığı çalışmasında çatallanma oranı (R_N), ya da i 'inci sıradaki kanalların sayısının, N_{i+1} sayısına oranının iki ardışık sıradakiler arasında nispeten sabit olduğunu ampirik olarak bulmuştur. Buna Horton'un akarsu sayısı yasası denir ve aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$R_N = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (3.7)$$

Benzer tanımlamalar uzunluklar, alanlar, vb. kavramlar için de yapılabilir. Bu tanımlamalar da akarsu uzunluğu yasası (R_L) ya da alan yasası (R_A) şeklinde aşağıdaki formüllerle ifade edilebilir:

$$R_L = \frac{L_{i+1}}{L_i} \quad \text{ve} \quad R_A = \frac{A_{i+1}}{A_i} \quad (3.8)$$

Tüm bu oranlar ölçekli bir topografya haritasından elde edilebilir. Eğer bu oranlar iki ya da daha fazla sayıdaki farklı havza için birbirine çok yakınsa bunların birbirine benzer olduğu düşünülür (Şen 2004).

3.8. Uzama Oranı

Uzama oranı, Schumm tarafından 1956 yılında yapılan çalışmada, havza ile aynı alana sahip bir dairenin çapının maksimum havza uzunluğuna oranı şeklinde tanımlanmıştır:

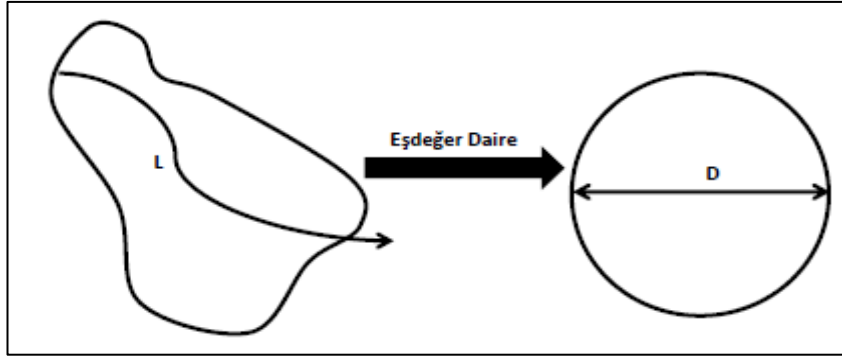
$$R_e = \frac{D_c}{L_b} \quad (3.9)$$

Bu formüldeki;

R_e = uzama oranı

D_c = havza ile aynı alana sahip dairenin çapı

L_b = maksimum havza uzunluğunu temsil etmektedir.

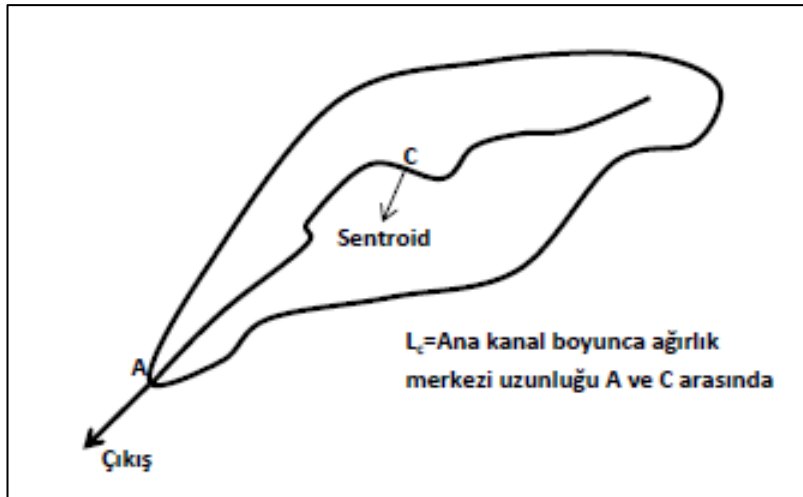


Şekil 3. 5. Farklı uzama oranları (Şen 2004)

Bir drenaj havzasının şekli bir daireye yaklaşırsa uzama oranının değeri 1'e yaklaşır. Oran, çok çeşitli iklimsel ve jeolojik rejimlerde 0.6 ile 1 arasında değerler almaktadır. Bu oran, çok düşük derinlikteki bölgeler için 1'e yaklaşırsa, daha güçlü derinlikteki ve dik zemin eğimine sahip bölgeler için 0.6 ile 0.8 arasında değerler almaktadır (Singh ve ark. 2011).

3.9. Sentroid Uzunluğu

Sentetik hidrograf analizinde önemli bir havza parametresi ana kanal üzerindeki drenaj havza sentroidine en yakın nokta ile çıkış noktası arasındaki mesafedir. Bu mesafe sentroid uzunluğu olarak adlandırılır. Sentroid noktası, havzanın mukavvadan yapılan en az iki farklı noktadaki bir şablonu asılarak belirlenebilir. Her bir asılı noktadan dikey düz çizgiler çizilir ve bu iki düz çizginin kesişimi havza sentroidinin konumunu verir. Bunun ana kanal üzerindeki izdüşümü, kanalın sentroide en yakın noktasını verir (Şen 2004).



Şekil 3. 6. Sentroid uzunluğu (Şen 2004)

3.10. Yükseklik Özellikleri

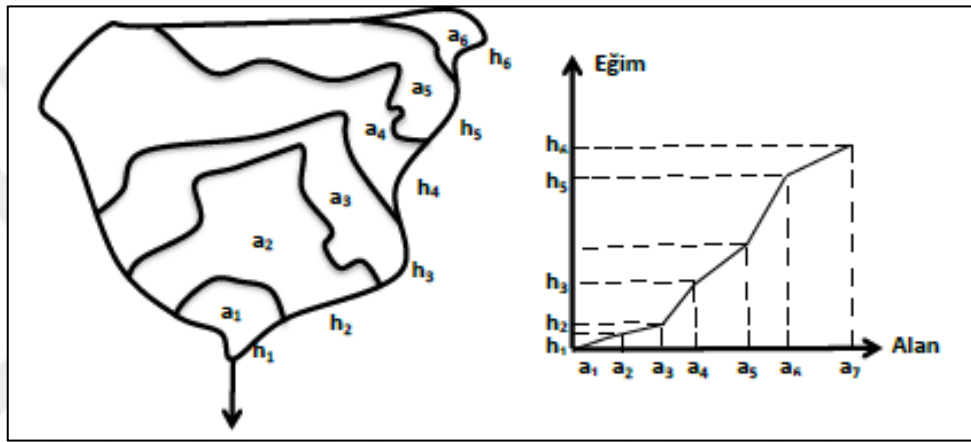
Bir drenaj havzasının yükseklik özelliklerini tam anlamıyla tanımlamak için ardışık eşit yükseklik çizgileri arasındaki alt alanlar hesaplanır. Toplam havza alanının dışındaki her bir alt

alanın yüzdesi hesaplanır. Bu da verilen herhangi bir sınır çizgisinin altındaki alt alanların toplam yüzdesinin hesaplanmasını sağlar. İki ardışık sınır arasındaki alan (a_i) ile bu alt alanın ortalama yüksekliği (e_i) ile gösterilirse havzanın ortalama yüksekliği ($\bar{E}$) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\bar{E} = \left(\frac{a_1}{A}\right) e_1 + \left(\frac{a_2}{A}\right) e_2 + \dots + \left(\frac{a_n}{A}\right) e_n \quad (3.10)$$

ya da

$$\bar{E} = p_1 e_1 + p_2 e_2 + \dots + p_n e_n \quad (3.11)$$



Şekil 3. 7. Drenaj alanları arasındaki eşit yükseklik çizgileri ve yükseklik alan grafiği (Şen 2004)

Bir diğer özellik de drenaj alanının genel ortalama yüksekliğidir. Bu amaçla yükseklik ile bu yüksekliğin üzerindeki alanın yüzdesi arasında bir grafik çizilir. Bu grafikte dikey eksen yükseklik, yatay eksen ise alanın yüzdesi yer alır. Yükseklik arttıkça bu seviyedeki alanın yüzdesi de artar. Buna yükseklik-alan grafiği ya da eğrisel (hypsographical) grafik denir. Bu grafik yüksekliğe bağlı yağış değişiminde kullanılabilir (Şen 2004).



4. HİDROGRAFLAR

Bir akarsu kesitindeki akış miktarının zaman içerisindeki değişimini gösteren grafiğe hidrograf denilmektedir (Bayazıt 2011). Bir havzanın yağışlar karşısında nasıl tepki verdiğini temsil etmektedir.

4.1. Hidrograflarla ilgili Temel Kavramlar

Akarsu akışı: Akarsulardaki yüzey suyudur. Yağmur yeryüzüne düştüğü zaman yerçekimi kanununa göre hareket etmeye başlar. Yağışlar, akarsu akışına dört şekilde etki eder: 1) karadan yüzeysel akış, 2) suyun yana doğru akması (yeraltı akışı), 3) yeraltı suyundan meydana gelen taban akışı, 4) akarsu kanalı üzerinde yağış.

Sızma fazlası akış: Yağış şiddeti zemin yüzey sızma hızından yüksek olduğu zaman yüzeysel akış meydana gelir. Genellikle yüksek yoğunluklu yağış olayları sırasında sızma fazlası akış meydana gelir. Eğer toprak altı sızma hızı toprak üstü sızma hızından düşükse, toprak yüzeyinin altında sızma fazlası akış oluşacak ve bu da yeraltı akışı ile sonuçlanacaktır.

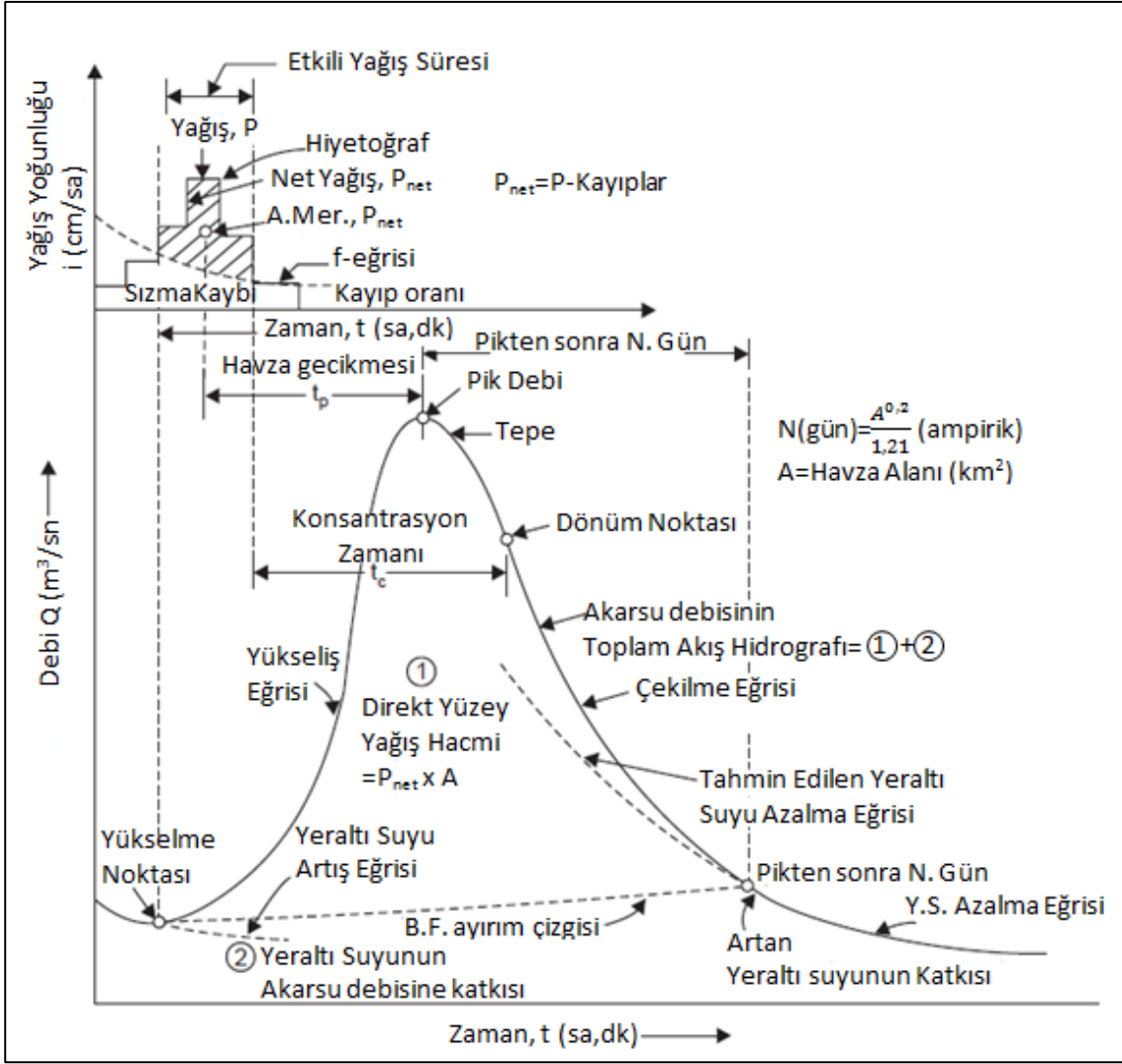
Doygunluk fazlası akış: Yağış şiddeti toprak sızma hızından daha az olduğunda, uzayan yağış toprağı doyuracak ve daha fazla su tutulamayacaktır. Bunun bir sonucu olarak, fazla su topraktan yeraltı suyuna ve akarsu kanallarına salınır.

Doğrudan akış: Karadan yüzeysel akış ve suyun yana doğru akması (yeraltı akışı), yeraltı suyundan daha hızlı yol alır, bundan dolayı bu iki kavram hidrolojide doğrudan akış olarak adlandırılır (Han 2010).

4.2. Hidrografların Elemanları

Bir hidrograf üzerinde üç unsur yer alır: yükseliş eğrisi, tepe noktası ve iniş eğrisi.

Yükseliş Eğrisi (Rising Limb): Şekil 1’de görüldüğü gibi başlangıçta debinin zamanla artış gösterdiği eğri yükseliş eğrisi olarak adlandırılır. Bu eğrinin şekli yağışın özelliklerine ve yağış öncesi şartlara bağlıdır. Yağışın başlangıcından itibaren havzanın yukarı kısımlarından gelen suların katkısı zaman ilerledikçe arttığından bu eğri genellikle yukarı doğru iç bükeydir. Çıkış noktasından uzaklaştıkça yükseliş eğrisinin eğimi artmaktadır (Bayazıt 2011).



Şekil 4. 1. Akarsu akış hidrografının bileşenleri (Raghunath 2006).

Tepe (Pik) Noktası: Yükselme eğrisi üzerinde debinin maksimum değere ulaşarak debi artışının sonlandığı nokta hidrografın tepe noktası olarak adlandırılır. Tepe noktası ile hiyetoğrafın ağırlık merkezi arasındaki zaman aralığı ise gecikme zamanı olarak adlandırılır (Kurt 2007).

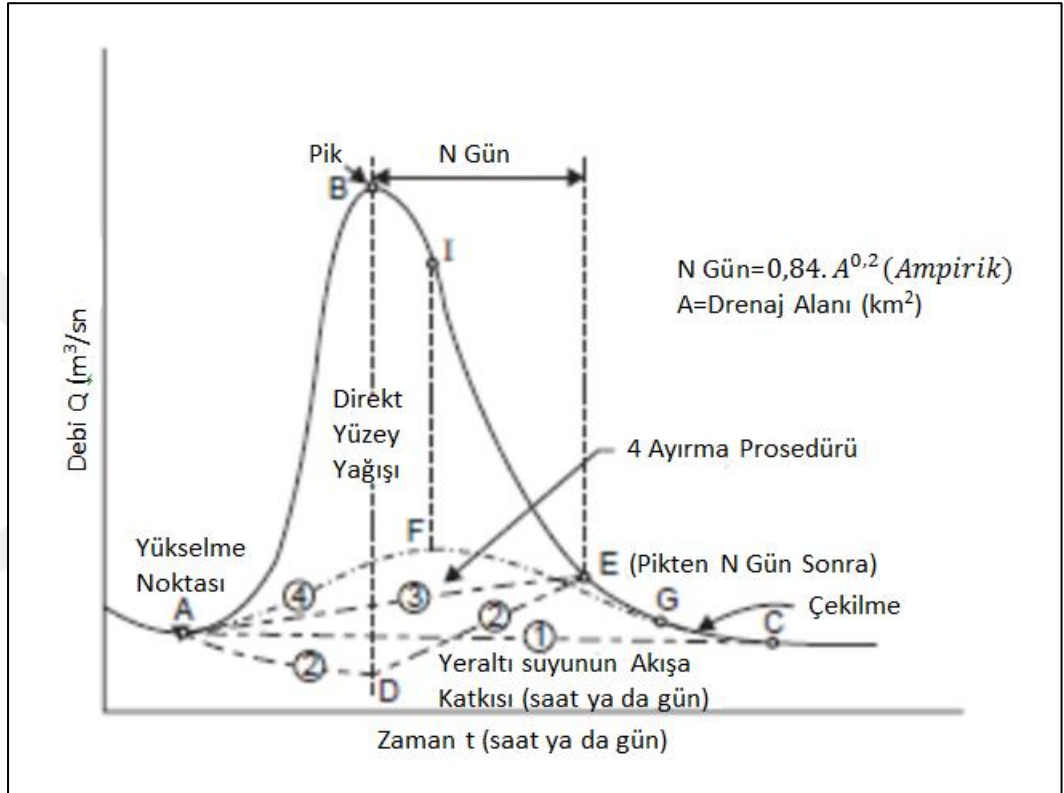
İniş (Çekilme) Eğrisi: Debinin maksimum değerine ulaştıktan sonra zamanla azalmaya başladığı eğri iniş eğrisi olarak adlandırılır. Bu eğrinin şekli havzanın karakterine bağlıdır (Bayazıt 2011).

İniş eğrisinin incelenmesi grafiksel yöntemlerle akımın bileşenlerine ayrılması için hidrograf analizinde; sulama suyu, su temini, hidroelektrik santraller ve atıkların seyreltilmesi projelerinde kullanılan düşük akım değerlerinin tahmininde; düşük akım istatistiklerinin tahmininde kullanılan frekans analizlerinde; havzanın depolama kapasitesinin belirlenmesi

amacıyla yapılan bölgesel düşük akım çalışmalarında kullanılması açısından büyük önem taşır (Tallaksen 1995).

4.3. Hidrografın Ayırıştırılması

Birim hidrografın türetilmesi için, taban akışının toplam akış hidrografından (ölçülen akarsu akışının hidrografından) ayrılması gerekir. Taban akışının ayrılması ile ilgili temel süreçler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. Hidrografın Ayırıştırılması (Raghunath 2006).

i) Yükseliş ve iniş eğrilerinin alt kısımlarına AC teğet çizgisi çizilerek basit bir şekilde ayırıştırma yapılabilir. Fakat bu yöntem yalnızca ön tahminlerde kullanılabilir ve yaklaşık sonuçlar elde edilebilmektedir.

ii) Fırtınanın oluşumundan önceki iniş eğrisini hidrografın tepe noktasının tam altındaki D noktasına kadar uzatıp düz bir DE çizgisi çizerek ayırıştırma yapılabilir. Burada E hidrografta tepe noktasından 10 gün sonraki bir nokta ve $N = 0,83A^{0,2}$ 'dir. Bu formülde A drenaj havzasının alanıdır.

iii) Hidrograf üzerinde yükselmeye başlangıç noktasından, tepe noktasından N gün sonraki E noktasına doğru düz bir AE çizgisi çizerek ayırıştırma yapılabilir.

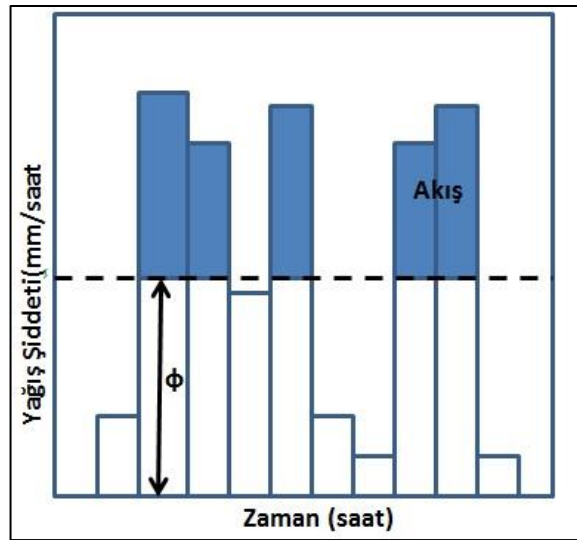
iv) Fırtına sonrası yer altı suyu iniş eğrisini, iniş eğrisinin bükülme noktasının tam altındaki F noktasına doğru yansıtıp, hidrografın yükselmeye başlangıç noktasından öngörülen taban akışının alçaldığı nokta ile birleştirmek üzere gelişigüzel yükselen bir çizgi çizerek ayrıştırma yapılabilir. Yer altı suyu depolama alanı nispeten geniş olduğunda ve kalker arazilerinde olduğu gibi akarsuya oldukça hızlı ulaştığında bu tip ayrıştırma tercih edilir (Raghunath 2006).

4.4. Etkili Yağış (Net Yağış)

Toplam yağışın dolaysız akışa katkısı olan kısmına etkili yağış ya da net yağış denir. Toplam yağış ile etkili yağış arasındaki fark “kayıplar” olarak adlandırılır. Etkili yağışı hesaplamamanın çeşitli yolları vardır. Aşağıda gösterilen su dengesi eşitliği bu yöntemlerin temelini oluşturmaktadır (Han 2010):

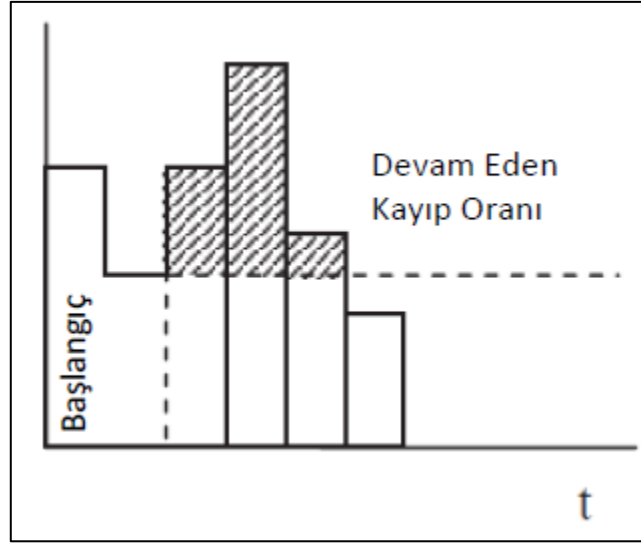
Toplam etkili yağış = Dolaysız akış hacmi

ϕ İndisi Yöntemi: Bu yöntemde yağış kayıpları zaman içerisinde sabit kabul edilmektedir. Yağış hiyetografı üzerinde çizilen kesikli çizgi üzerinde kalan taralı alan toplam yağış yüksekliğine eşittir. Bu çizginin yatay eksene olan uzaklığı ise ϕ indisini vermektedir. Dolayısıyla yağış şiddeti ϕ indisinden büyük olduğu durumlarda ϕ indisinin üstünde kalan kısım akış haline geçecektir (Bayazıt 2011).



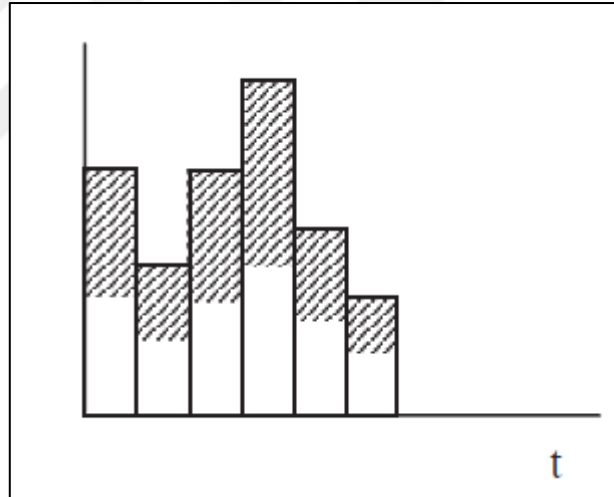
Şekil 4. 3. ϕ İndisi Yöntemi

Başlangıçtaki ve Sürekli Kayıplar: Başlangıçtaki bazı kayıplar, bitki örtüsü ve arazi yüzeyinin depolaması ile önlenmesine dayandırılabilir. Başlangıçtaki kayıplardan sonraki kayıplar sabit hale gelmektedir.



Şekil 4. 4. Başlangıçtaki ve sürekli kayıplar (Han 2010).

Oransal Kayıplar: Toplam yağışlarla aynı oranda buharlaşma, sızma, vb. nedenlerle kayıplar olduğu varsayılmaktadır.

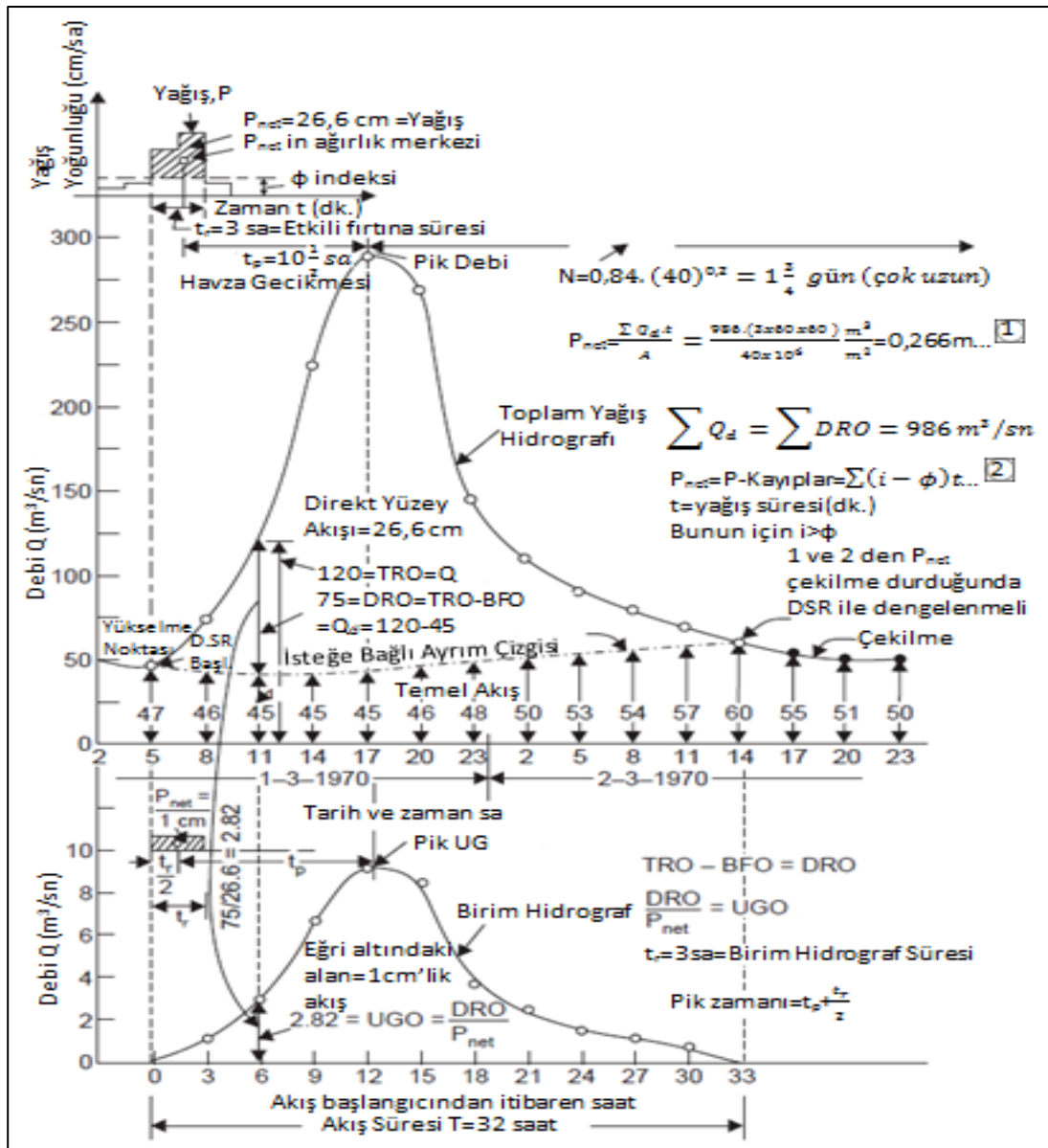


Şekil 4. 5. Oransal kayıplar (Han 2010).

Toprak Nemi Hesaplama Şeması: Yukarıdaki şemaların kullanımlarının kolay olmasına rağmen, gerçek etkili yağış işlemleri için çok fazla basitleştirilmiştir. Ayrıca, yüzey akışı, yeraltı akışı ve taban akışı ile ilgili olan etkili yağış oranlarını temin edememektedir. Bu nedenle son zamanlarda etkili yağış tahminlerinde toprak nemi hesaplama modelleri artan oranlarda kullanılmaktadır. Bu tip modeller bitki örtüsünün bulunduğu üst tabakanın da dâhil olduğu çeşitli toprak katmanlarını içermektedir (Han 2010).

4.5. Birim Hidrograflar

Birim hidrograf kavramı ilk olarak 1932 yılında Sherman tarafından ortaya atılmıştır. Bir havzanın birim hidrografı, drenaj alanı üzerine düzgün yayılı bir şekilde ve bir birim sabit yoğunluklu aşırı yağış hacminden kaynaklanan dolaysız akış hidrografı olarak tanımlanmaktadır. Aşırı ya da etkili yağışın birim hacminin süresi, etkili süre olarak adlandırılır ve belirli bir birim hidrografı tanımlar ve sınıflandırır. Birim hacmin genellikle havza alanı üzerine düzenli bir şekilde dağılan etkili yağışın 1 cm'si ile ilişkili olduğu düşünülür (Ramirez 2000). Gözlenmiş akış hidrografından birim hidrografın türetilmesinin aşamaları şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4. 6. Birim Hidrografın Türetilmesi (Raghunath 2006).

4.5.1. Birim Hidrografların Elemanları

Bir birim hidrograf çeşitli elemanlardan oluşur. Bu elemanlar şu şekilde sıralanabilir.

Taban Genişliği (T_b): Birim hidrografın dolaysız yüzey akışı süresi (bir birim fırtına nedeniyle) taban genişliği olarak adlandırılır.

Birim Fırtına: Şiddeti ne olursa olsun birim zamandaki (birim hidrografın süresi) fırtına birim fırtına olarak adlandırılır.

Birim Dönem: Birim fırtınanın zaman süresi (birim hidrografın süresi) birim dönem olarak adlandırılır.

Pik Zamanı (T_p): Bir birim fırtına merkezinden söz konusu birim hidrografın pik debisine kadar geçen zaman pik zamanı olarak adlandırılır.

Etkili Yağış Süresi (t_r): Aşırı ya da net yağış sonrasında dolaysız yüzey akışının süresi hidrograf analizinde etkili yağış süresi olarak adlandırılır (Raghunath 2006).

4.5.2. Birim Hidrograf Teorisinin Varsayımları

Hidrolojik sistemleri modellemek için birim hidrografları kullanırken bazı temel varsayımlar yapılmaktadır:

- i) Havzalar doğrusal sistemler olarak karşılık verirler. Bu, bir yandan doğrusallık prensibinin geçerli olduğunu ve böylece farklı büyüklüklerdeki etkili yağış yoğunluklarının buna uygun şekilde ölçeklenen havza tepkileri ürettiğini ima etmektedir. Diğer yandan, süperpozisyon ilkesinin geçerli olduğunu ve böylece havzanın karmaşık tepkilerini elde etmek için fırtınanın farklı tepkilerinin üst üste bindirilebileceğini ima etmektedir.
- ii) Etkili yağış yoğunluğu tüm akarsu havzası boyunca düzgün bir şekilde dağılmaktadır.
- iii) Yağış fazlalığı yağış süresince sabit yoğunluktadır.
- iv) Dolaysız akış hidrografının süresi, etkili yağış şiddetinden bağımsızdır ve yalnızca etkili yağış süresine bağlıdır (Ramirez 2000).

4.5.3. Birim Hidrografların Kullanılmasını Sınırlayan Koşullar

Drenaj havzaları üzerine doğal koşullar altında yağış söz konusu iken birim hidrograflar ile ilgili varsayımlar mükemmel bir şekilde gerçekleşmeyebilir. Ancak birim hidrograf analizindeki hidrolojik veriler dikkatli bir şekilde seçildiğinde ve böylece varsayımlar hemen hemen tamamen gerçekleştiğinde, birim hidrograf teorisinden elde edilen sonuçlar tüm pratik amaçlar için geçerli olabilecektir. Teorik olarak birim hidrograf prensibi herhangi bir

büyüklerdeki havzaya uygulanabilir. Ancak uygulamada, birim hidrografın türetilmesindeki temel varsayımı olabildiğince yakından karşılayabilmek için, havza üzerine düzgün bir şekilde dağılan fırtınaları kullanmak ve muntazam bir oranda yağış fazlası üretmek gerekmektedir. Bu tür fırtınalar nadiren geniş alanlar üzerinde görülür. Bu nedenle tutulan su, vadi depolaması ve sızma, yağış değişkenliğinin etkisini minimize etme eğiliminde olmasına rağmen havza büyüklüğü sınırlıdır. Bu sınır genellikle yaklaşık 5000 km² olarak kabul edilir ki bu sınırın üzerine çıkıldığında birim hidrografın güvenilirliği azalmaktadır. Havza alanı limiti aştığında bu havza alt havzalara ayrılmalı ve her bir havza için ayrı ayrı birim hidrograflar geliştirilmelidir. Böylece havza çıkışındaki taşkın debisi, taşkın yönlendirme prosedürleri kullanılarak, alt havza taşkınları birleştirilerek tahmin edilecektir (NPTEL-National 2010).

4.5.4. Birim Hidrografların Türetilmesi

Birim hidrografın türetilmesi sırasında aşağıdaki aşamalar uygulanır:

- i) Havzadaki yağış ölçekleri verileri arasından istenilen süreye sahip bir yağış kaydı seçilerek bu yağış kaydına ait hiyetograf çizilir.
- ii) Gözlenen toplam akış kayıtlarından yararlanılarak toplam debinin hidrografi çizilir. Gözlenen akış hidrografından taban akışı ayrılarak dolaysız akış hidrografi elde edilir.
- iii) Dolaysız akışın toplam hacmi bulunup, havzanın alanına bölünerek dolaysız akış yüksekliği hesap edilir.
- iv) Dolaysız akış değerleri dolaysız akış derinliğine oranlanarak birim hidrografın ordinatı bulunur.
- v) Elde edilen birim hidrografın yağış fazlası süresini hesaplamak için sızma indisi değeri hiyetograf üzerinde yatay olarak çizilir.
- vi) Yağışların süresi ve şiddeti aynı olsa bile, yağışın havza üzerindeki dağılımı, yağış artış düzeni ve drenaj alanının farklılığı gibi sebeplerle farklı birim hidrograflar ortaya çıkabilir. Bir havza için çizilen farklı birim hidrograflar bir araya getirilerek o havza için ortalama bir birim hidrograf elde edilir (Apan 1982).

Birim hidrograf modelinin uygulandığı sırasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$Q_i = \sum_{m=1}^{n \leq M} R_m U_{i-m+1} \quad (4.1)$$

Bu formülde;

R_m = etkili yağış,

U_i birim hidrografın ordinatları,

Q_i dolaysız akış,

M ise yağış değerlerinin sayısını temsil etmektedir (Han 2010).

Bu formül yukarıda birim hidrografın türetilmesinde uygulanan bu aşamalar dikkate alınarak aşağıdaki gibi ayrıştırılabilir:

$$P_{net} = P - Kayıplar \quad (4.2)$$

$$P_{net} = \frac{\sum Q_d^t}{A} \quad Q_d = DRO \quad (4.3)$$

$$TRO - BFO = DRO \quad (4.4)$$

$$\frac{DRO}{P_{net}} = UGO \quad (4.5)$$

Bu formülde;

P = toplam yağış,

P_{net} = net yağış ya da dolaysız akış,

kayıplar = sızma ya da diğer nedenlerle oluşan kayıplar,

A = drenaj havzasının alanı,

$Q_d = DRO$ = dolaysız akışın ordinatları,

TRO = toplam akışın ordinatları,

t = ardışık dolaysız akış ordinatları arasındaki zaman aralığı,

BFO = taban akışının ordinatlarını temsil etmektedir (Raghunath 2006).

4.5.5. Birden Fazla Birim Hidrograftan Ortalama Birim Hidrografın Elde Edilmesi

Bir birim hidrograf oluşturulurken yağış karakteristikleri hidrografın şekli üzerinde etkili olabilmektedir. Bundan dolayı analizlerde tek bir yağıştan elde edilen birim hidrograf kullanılarak bunun havza için karakteristik bir birim hidrograf olarak kabul edilmesi yanlış bir uygulama olacaktır. Bu şekilde tek bir yağıştan elde edilen birim hidrografın kullanılması yerine aynı süreye sahip yağışlardan elde edilen fazla sayıdaki birim hidrograflardan yararlanılarak ortalama bir birim hidrograf oluşturulması daha doğru bir uygulama olacaktır.

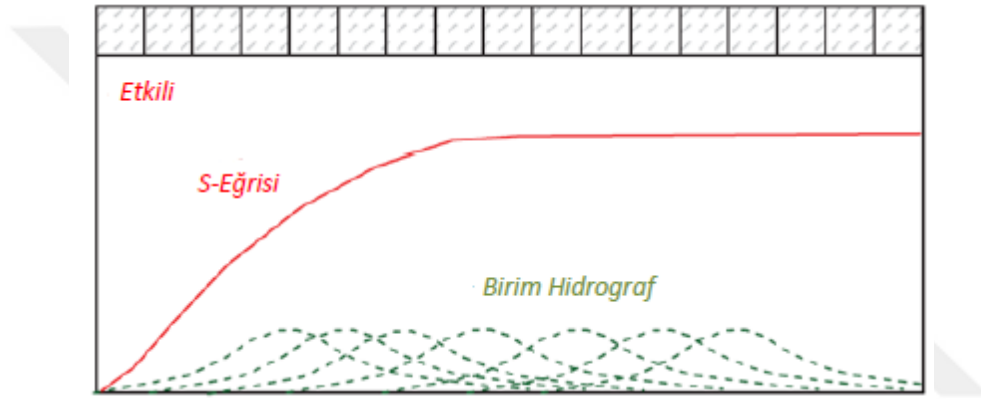
Ortalama birim hidrograf oluşturulurken aynı süreli yağışlardan elde edilen birim hidrograflar zaman eksenini aynı olacak şekilde aynı yere çizilir. Bu birim hidrograflardan ortalama birim hidrograf elde edilir. Çizilen birim hidrografların pik değerleri aynı anda

oluşmuyorsa, birim hidrografların pik değerlerinin ve pik zamanlarının ortalaması alınarak ortalama pik değeri bulunur. Bu değer bulunduktan sonra ortalama birim hidrograf, orijinal birim hidrografların şekline uygun olarak oluşturulur (Apan 1982).

4.5.6. Birim Hidrograf Süresi Değişikliği (S Eğrisi)

Bir birim hidrografın süresini değiştirmeye yarayan ve bu şekilde daha kısa ya da daha uzun süreli birim hidrograf elde etmeye yarayan yöntemle toplam eğri yöntemi ya da kısaca S eğrisi yöntemi adı verilmektedir (Duggal ve Soni 1996).

S eğrisi, sürekli bir yağışın olduğu varsayımı altında bütün birim hidrografların ordinatlarının toplanmasıyla elde edilir.



Şekil 4. 7. S eğrisinin türetilmesi (Han 2010).

Bir birim hidrograftan Δt süreli yeni bir birim hidrograf türetmek için S eğrisinin yeni süreye kaydırılması gerekir. Bu ifadeyi aşağıdaki gibi formülize edebiliriz:

$$Q(\Delta t, t) = \frac{\Delta t_0}{\Delta t} [S_{(t)} - S_{(t-\Delta t)}] \quad (4.6)$$

Bu formülde;

$Q(\Delta t, t)$ = Δt süreli yeni birim hidrograf

Δt_0 = Orijinal birim hidrografın süresi

Δt = yeni süre

$S_{(t)}$ = S eğrisi

$S_{(t-\Delta t)}$ = Δt kadar kaydırılan S eğrisini temsil etmektedir (Han 2010).

4.6. Enstantane Birim Hidrograf

Artık yağış süresinin sonsuz küçülmesi halinde elde edilen birim hidrograf enstantane (anlık) birim hidrograf olarak adlandırılır (Bayazıt 2011). Bu kavram, bir havzanın yağış-akış sürecini teorik olarak incelemede kullanılabilir, çünkü bir havzanın 1 cm'lik artık yağışa sıfır zaman süresi içinde sahip olması mümkün değildir (Şen 2004).

Enstantane birim hidrografın temel avantajı, birim süre problemini ve zaman içerisinde yağışın düzgün dağılımı kısıtlamasını elimine etmesidir. Enstantane birim hidrograf, artık yağış süresinden (t_r) ve yağış özelliklerinden bağımsızdır ve enstantane birim hidrografi yağış-akış ilişkisinin teorik analizi için son derece elverişli yapan havza depolama özelliklerinin (uzunluk, şekil, eğim, depolama katsayısı gibi) bir göstergesidir. Enstantane birim hidrograf, belirli bir havzanın yağmura tepkisinin, yani etki-tepkinin benzersiz bir gösterimidir. Enstantane birim hidrograf, yalnızca birim hidrograf kavramının bir uzantısı olduğundan aynı zamanda doğrusallık ve zamanda değişmezlik ilkeleri üzerine kuruludur (Raghunath 2006).

Enstantane birim hidrografın özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- i) Herhangi bir t zamanı için ordinatlar her zaman pozitifdir.
- ii) Negatif zaman örnekleri için ordinatlar sıfıra eşittir.
- iii) Büyük zaman örnekleri için ordinatlar sıfıra yaklaşır.
- iv) Enstantane birim hidrografın altındaki alan, havza üzerindeki birim artık yağışın derinliğine eşittir.
- v) Enstantane birim hidrografın entegrasyonu, $U(t)tdt$, etkili yağış hyetografi ile dolaysız akış hidrografının ağırlık merkezleri arasındaki zaman aralığı olan gecikme zamanıdır.
- vi) Enstantane birim hidrograftaki pik zamanı enstantane birim hidrografın ağırlık merkezine kadar geçen zamandan her zaman daha azdır (Şen 2004).

Enstantane birim hidrografın elde edilmesinde çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Biz burada bu yöntemlerden yalnızca S hidrografının kullanılmasıyla enstantane birim hidrografın elde edilmesini açıklayacağız. S eğrisinden enstantane birim hidrografın elde edilmesini aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

Herhangi bir t zamanındaki enstantane birim hidrografın ordinatı, t zamanında t_r saatlik artık yağış süresine sahip birim hidrograftan türetilen S eğrisinin eğimi ile t_r artık yağış süresinin çarpımına eşittir. Yani:

$$(IUHO)_t = t_r x \left(\frac{\Delta S}{\Delta t} \right)_t \quad (4.7)$$

Herhangi bir t zamanındaki t_r saatlik artık yağış süresine sahip birim hidrografın ordinatı, $(t-t_r)$ ile t arasındaki enstantane birim hidrografın alanı ile $\frac{1}{t_r}$ 'nin çarpımına eşittir.

Yani:

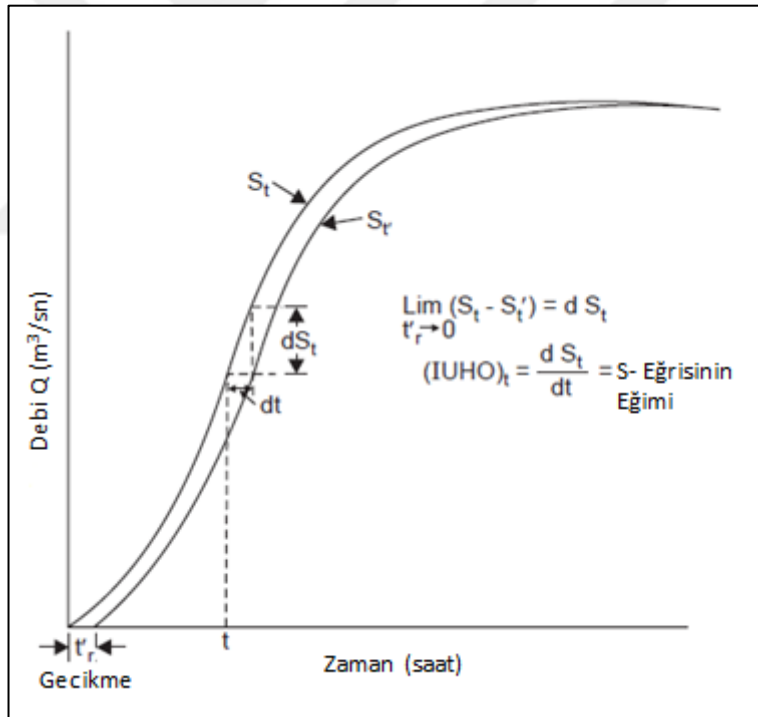
$$u_t = \frac{1}{t_r} \times \Delta A_t \quad (4.8)$$

Enstantane birim hidrografın $(t-t_r)$ ile t arasında doğrusal olduğu varsayılırsa:

$$u_t = (IUHO)_{t-\frac{t_r}{2}} \quad (4.9)$$

Yani t ve $(t-t_r)$ 'de enstantane birim hidrografın ordinatının ortalamasıdır. Bu formül ise yalnızca t_r küçükken ve tepe noktası $(t-t_r)$ 'den t 'ye kadar olan aralıkta bulunmuyorsa iyi sonuç verir (Raghunath 2006).

Aşağıdaki şekilde S hidrografından türetilen enstantane birim hidrograf gösterilmektedir.



Şekil 4. 8. S eğrisinden elde edilen enstantane birim hidrograf (Raghunath 2006)

5. SENTETİK BİRİM HİDROGRAF YÖNTEMLERİ

Bir havza üzerine yağan yağış ve akarsu akışı verilerinden geliştirilen birim hidrograf yalnızca akarsu akışı verilerinin ölçülebildiği akarsu üzerindeki bir noktada ve havzada geçerlidir. Sentetik birim hidrograf prosedürleri aynı havzadaki ya da benzer nitelikteki yakın havzalardaki akarsu üzerindeki diğer yerler için birim hidrograflar geliştirmede kullanılır. Üç tür sentetik birim hidrograf vardır:

- i) Hidrograf karakteristiklerini (pik akışı oranı, taban zaman, vs.) havza karakteristikleri ile ilişkilendirenler (Snyder ve Gray yöntemleri gibi),
- ii) Boyutsuz bir birim hidrografa dayalı olanlar (SCS yöntemi gibi),
- iii) Havza depolama modellerine dayalı olanlar (Clark yöntemi gibi) (Chow ve ark. 1988).

5.1. Snyder Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Türkiye’de ve diğer birçok ülkede, Snyder yöntemi bir sentetik birim hidrograf geliştirmede hala en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, havza karakteristikleri ile ilgili olan ve bölgeden bölgeye büyük farklılıklar gösteren C_t ve C_p katsayılarının tahminini gerektirmektedir. Ayrıca yöntem, birim hidrografın genel şeklini oluşturmada biraz kişisel muhakeme yapmayı gerektirir. Snyder yöntemindeki C_t ve C_p katsayıları, gözlemlenen birim hidrograflardan, yöntemdeki Q_p ve t_1 formüllerinin metrik versiyonları ile hesaplanabilir (Haktanır ve Sezen 1990).

Snyder yöntemi, akarsu akış kayıtları mevcut olan ve olmayan 10 ila 10.000 km²’lik drenaj alanlarının akış özelliklerinin analizini içermektedir. Hiçbir aşama kaydı bulunmayan alanlarda kullanılmak üzere “gecikme”yi belirlemek için bir yöntem verilmiştir. Birim hidrografın tepe hızı gecikmenin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Dağılım grafiği de yine gecikme ile belirlenmiştir. Söz konusu alan için dağılım grafiği ve pik değeri bilindiğinde bir birim grafiğinin çizilebileceği ortaya konmuştur (Snyder 1938).

Snyder 1938 yılında yaptığı çalışmasında su toplama havzasının alanının, havzanın şeklinin, topografyanın, kanal eğiminin, akış yoğunluğunun ve kanal depolamanın hidrografın şeklini etkilediği fikrini önermiştir. Buna dayanarak su toplama havzası alanına, havzanın şekline ve diğer parametrelerin bir katsayı ile ortalamalarını almaya dayalı sentetik birim hidrograf adı verilen ampirik birim hidrograf denklemini önermiştir (Jain ve Sinha 2003).

Snyder, en küçük kareler yöntemini Birleşik Devletlerde birim hidrografların türetilmesinde kullanmıştır. Bu yaklaşımda, en küçük kareler kriteri birim hidrografın kesikli

ordinatlarının optimum değerlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Snyder matris formunda gerekli olan hesaplamaları belirtmiş ve dijital bilgisayar için bir program geliştirmiştir (Dooge 1968).

Snyder yöntemi, her havzanın tek bir hidrografi olduğu yaklaşımına dayalı olarak geliştirilmiştir (Singh ve ark. 2007). Snyder yöntemi geçmişe yönelik ölçümü bulunmayan alanlarda uygulanabilir olan ilk birim hidrograf tekniğidir. Çalışmasında tahmini zirve akım hızı, havza alanı, pik zamanı ve bir depolama katsayısı kullanılarak hesaplanırken; pik zamanı, havza uzunluğundan, çıkıştan havza sentroidine kadar olan mesafeden ve bölgesel bir katsayıdan tahmin edilmektedir. Hidrografın şeklini çizmek için hidrografın genişliği pik debinin %50'si ve %75'i olarak tahmin edilmektedir. Genişlikler genel olarak, üçte biri pikten önce, üçte ikisi pikten sonra yerleşecek şekilde dağıtılmıştır (Jena ve Tiwari 2006).

Snyder sentetik birim hidrografi, Amerika'daki Appalachian dağlık bölgesinde bulunan 20 havza üzerinde yapılmıştır ve boyutları 25 ila 25.000 km² arasında değişmektedir (Salami ve ark. 2009). Snyder, birim hidrografların, üç havza geometrik parametresi ve iki ampirik şekil katsayısı (A , havza alanı; L , hidrolik uzunluk; L_C , sentroid uzunluğu; C_t , zamanlama katsayısı; C_p , pik katsayısı) tarafından tahmin edilebileceği sonucuna ulaşmıştır. Snyder bu parametreler ve katsayılarından sentetik birim hidrografın beş özelliği için eşitlikler geliştirmiştir; havza alanı birimi başına düşen pik debisi ($q_p R$), havza gecikmesi ($t_p R$), taban süresi (T_b) ve (zaman birimlerinde) pik debinin %50 ve %75'inde birim hidrografın genişlikleri (W) (Melesse ve Graham 2004).

Snyder'ın formülasyonunun ampirik katsayıları, benzer drenaj ve depolama kapasitesine sahip havzalar için arazi verileri ile kalibre edilmelidir. Bu, hızlı taşkın eğilimli araziler için gözlemlenen birim hidrografları (örneğin gözlenen akarsu akış ve yağış kayıtlarından elde edilen birim hidrografları) gerektirir. Ulusal hava durumu hizmetleri (NWS), genellikle geniş havzalar için bazı operasyonel mekâna özgü akış tahmin konumları için gözlenen birim hidrograflar belirlemiştir. Küçük ile orta boy arası boyutlardaki akarsular için birkaç gözlenen birim hidrograf vardır ve iki ampirik katsayının değerleri oldukça belirsiz olabilir. Uygulama bölgesinde bunların değerlerini tahmin etmede yerel veri ve bilgiler kullanılmalıdır (Carpenter ve ark. 1999).

Snyder'ın formülasyonlarında kullanılan semboller aşağıdaki gibidir:

t_p = Gecikme zamanı (saat)

t_r = Artık yağış süresi (saat)

t_R = Artık yağış uzunluğu (saat)

T_b = Birim hidrografın taban süresi (gün)

L = Havzanın çıkış noktasından en uzak noktaya kadar ana kanalın uzunluğu (km)

L_{ca} = Havzanın orta noktası ile çıkış noktası arasındaki mesafe (km)

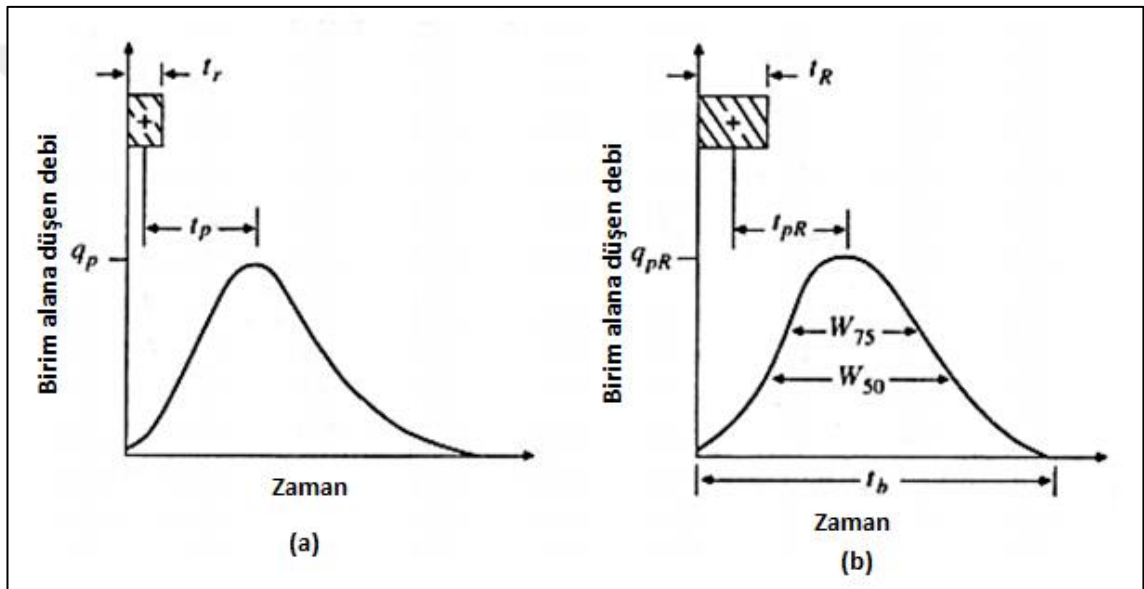
a_p = Tepe akışına katkıda bulunan etkin alan (km^2)

q_p = Havzanın birim alanı için pik debi ($\text{m}^3/\text{s km}^2$)

Q_p = Havzanın birim alanı için pik debi (m^3/s)

A = Drenaj alanı (km^2)

C_t ve C_p = Drenaj havzası özelliklerine ve birimlere bağlı katsayılar



Şekil 5. 1. Snyder sentetik birim hidrograf yöntemi (Chow ve ark. 1988)

(a) Standart birim hidrograf ($t_p = 5.5 t_r$).

(b) Gereken birim hidrograf ($t_{pR} \neq 5.5 t_r$).

Yapılan çalışmaların birçoğunda t_p 'nin $L_{ca}^{(0.6)}$ kadar değiştiği bulunmuştur. Ancak Snyder (1938) ifadeye L değerini de katarak bunun biraz daha açık bir şekilde belirlenebileceğini ileri sürmüştür:

$$t_p = 0.75 C_t (L L_{ca})^{0.3} \quad (5.1)$$

Appalachian dağlık bölgesinde çalışılan alanlarda C_t katsayısının 1.8 ile 2.2 arasında (ortalama 2 olarak alınabilir), C_p katsayısının ise 0.5 ile 0.7 arasında (ortalama 0.6 olarak alınabilir) değiştiğini belirtmiştir (Snyder 1938).

Artık yağış süresi (t_r) ise, 5.1 denklemi ile hesaplanan değerin 5.5'e bölünmesiyle hesaplanabilmektedir. Yukardaki formüller yardımıyla hesaplanan t_p ve t_r 'ye bağlı olarak gecikme zamanı (t_{pR}) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Bayazıt 2011):

$$t_{pR} = t_p + 0.25 (t_0 - t_r) \quad (5.2)$$

Fırtına uzunluğu, akış miktarı ve alanın boyutu elimine edilirse ve depolama etkisi ile havza alanının merkeze uzaklığı gecikme (t_p) ile temsil edilirse q_p , t_p ve C_p arasında basit bir ilişki ortaya çıkmaktadır:

$$q_{pR} = 2.78 \frac{C_p}{t_p} \quad (5.3)$$

$$Q_{pR} = 2.78 C_p A / t_p$$

Birim hidrografın taban süresi ile ilgili olarak da şu eşitlik yazılabilir:

$$T_b = [3+3 (t_p/24)] \quad (5.4)$$

Burada en küçük alanlar için (yaklaşık 10 km²'lik alanlar için) T değeri en az 3 gündür. Bu, bir birim fırtına akış debisinin normal bir zemin suyu kalınlığına yükselmesi ya da gerilemesi için gereken zamandır (Snyder 1938).

Ayrıca birim hidrografın taban süresinin hesabında aşağıdaki formül de kullanılmaktadır:

$$T_b = \frac{5.56}{q_{pR}} \quad (5.5)$$

Küçük ölçekli havzalarda ise T_b 'nin pik debinin görülmesine kadar geçen sürenin 3-5 katı kadar alınması uygun olmaktadır (Bayazıt 2011).

5.2. Clark Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Clark yöntemi, her havzanın tek bir hidrografi olduğu yaklaşımına dayalı olarak geliştirilmiştir (Singh ve ark. 2007).

Clark (1945) birim hidrografın belirlenmesi sırasında nehir havzasının depolama özelliklerini dâhil etmiş ve hidrografın şekline bağlı drenaj alanının şeklinin etkisini göstermiştir (Jain ve Sinha 2003).

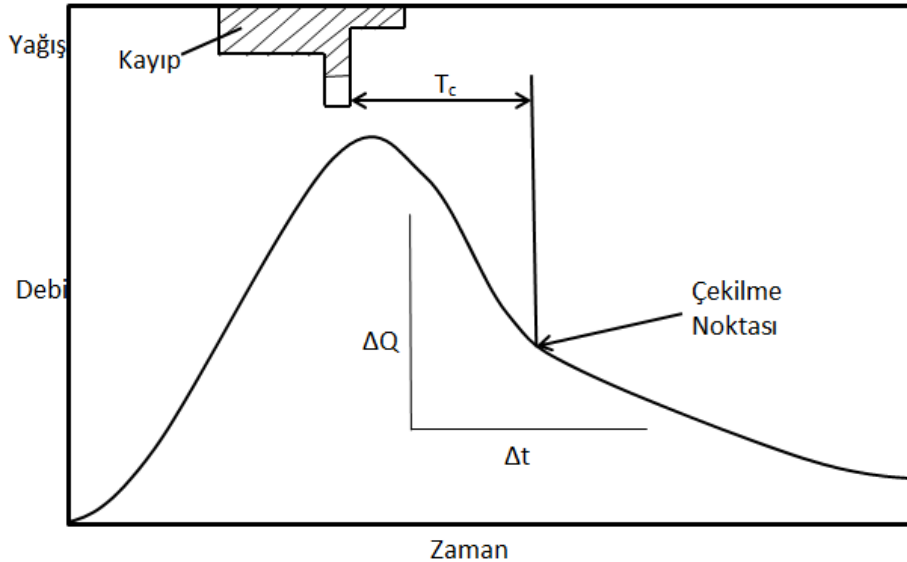
Clark birim hidrograf yönteminde bir havzanın birim hidrografi iki ana sürecin sonucu olarak ifade edilmektedir (Balov 2014).

1- Öteleme: Artık yağışın bulunduğu noktadan boşaltılarak havzanın çıkış noktasına erişmesi.

2- Azalma: Artık yağışın, havza içinde tutulmasıyla debinin azalması.

Clark, havza depolama (R) ve konsantrasyon zamanını (T_C) modellemek için bir parametre dahil ettiği sentetik birim hidrograf modelini geliştirmiştir. Clark sentetik birim hidrograf yöntemi zaman alan eğrisinin kullanımı yoluyla yüzeysel akış çevirimi ve azalma süreçlerini içermektedir. Clark, havza boyunca akış çevriminin, etkili yağışın başlangıcından itibaren zamanın bir fonksiyonu olarak akışı su havzası çıkışına katarak havza alanının bir kısmını ifade eden bir zaman-alan eğrisi tarafından tanımlandığını belirtmiştir. Clark doğrusal bir rezervuarı havzaların depolama etkilerini yansıtacak şekilde kullanmıştır. Clark yöntemi, zamanla ilişkili parametreleri kullanarak jeomorfolojik özellikleri havza tepkisi ile ilişkilendirmeye çalışmıştır (Wilkerson 2009).

Clark havza boyunca akışın değişiminin, havza çıkış akışına katkıda bulunan havza alanı parçalarının, etkili yağışın başlangıcından itibaren zamanın bir fonksiyonu olacak şekilde oluşturulan bir zaman-alan eğrisi ile ifade edilebileceğini belirtmiştir. Zaman-alan eğrisi, havzanın konsantrasyon zamanı (T_C) tarafından zaman içinde sınırlandırılmıştır. Bu nedenle T_C Clark birim hidrograf yönteminin bir hidrograf parametresidir. Clark birim hidrograf yönteminde, T_C etkili yağışın sonundan akış hidrografının durgunluk kolunun bükülme noktasına kadar geçen zamandır. Akış hidrografındaki bükülme noktası, yüzeysel akımın kanal şebekesine akışının sona erdiği zamana tekabül eder ve ölçülen akış, kanal depolama drenajından meydana gelmektedir (Melching ve Marquardt 1997).



Şekil 5. 2. Clark Birim Hidrografı (Bedient 2000)

Clark modelinde suyun depoda zaman içerisindeki değişim hızı (dS/dt), depoya giren ortalama akım (I_t) ile depodan çıkan akımın (O_t) farkı şeklinde hesaplanır (Balov 2014).

$$dS/dt = I_t - O_t \quad (5.6)$$

Akış azalması, depolamanın çıkışa $S = RO$ olarak bağlı olduğu basit doğrusal bir rezervuar ile temsil edilebilir. Burada S = havza depolama; R = havza depolama katsayısı ve O = havzadan çıkıştır. Bu nedenle Clark, sentetik birim hidrografın zaman-alan eğrisi ile orantılı olarak denklemi doğrudan akışın içine yönlendirerek ve doğrusal bir rezervuar boyunca kanala giren akışı yönlendirerek elde edilebileceğini önermiştir (Straub ve ark. 2000).

Bu iki denklemin birlikte çözümü sonucu aşağıdaki denklem elde edilir (Balov 2014):

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1} \quad (5.7)$$

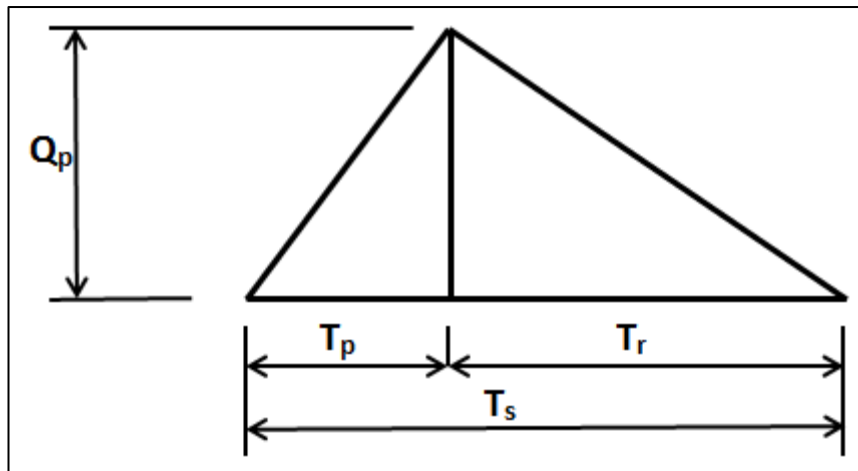
C_A ve C_B öteleme katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_A = \frac{\Delta t}{R + 0.5 \Delta t} \quad (5.8)$$

$$C_B = 1 - C_A \quad (5.9)$$

5.3. Mockus Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Mockus metodu hesabının pratikliği ve üçgen hidrografın çizim kolaylığı bakımından tercih edilmektedir. Mockus metodu toplanma zamanı 30 saate kadar olan drenaj alanları için uygulanmakta, daha büyük alanlarda drenaj alanı tali parçalara ayrılarak her biri için çizilecek hidrograflar geciktirme zamanlarına göre süperpoze edilmektedir (Yüksel ve ark. 1999).



Şekil 5. 3. Tipik bir Mockus taşkın hidrografı (Öztürk 2001).

Boyutsuz birim hidrograf, ABD Toprak Koruma Servisi (USSCS) tarafından geliştirilmiş ve Q_n ile ifade edilmektedir. Aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Q_n = \frac{Q_t}{Q_p} \quad (5.10)$$

Burada Q_t herhangi bir t zamanındaki debi, Q_p ise pik debidir.

Boyutsuz zaman T_n ile ifade edilir. Aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$T_n = \frac{t}{T_p} \quad (5.11)$$

Burada t herhangi bir andaki zaman, T_p ise pik debinin zamanıdır (Younis ve ark. 2014).

Mockus yöntemine göre boyutsuz birim hidrografın pik debisi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir:

$$Q_p = \frac{KA}{T_p} \quad (5.12)$$

Burada Q_p pik debiyi, K bir katsayı, A havza alanını, T_p ise pik debi zamanını ifade etmektedir. T_p aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0.6 \sqrt{T_c} \quad (5.13)$$

Burada T_c konsantrasyon zamanıdır ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$T_c = 0.00032 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (5.14)$$

Burada L ana kanal uzunluğunu S ise eğimi ifade etmektedir (İstanbulluoğlu 2004).

Taşkın meydana getiren yağış süresi (D) aşağıdaki formülle hesaplanır (Bingöl 2006).

$$D = 2\sqrt{T_c} \quad (5.15)$$

5.4. SCS Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Clark ve Snyder yöntemi her havzanın tek bir hidrografı olduğu yaklaşımına dayalı olarak geliştirilirken, SCS yöntemi tüm birim hidrografların bir eğriler ailesine ait olduğu yaklaşımına dayalı olarak geliştirilmiştir (Singh ve ark. 2007).

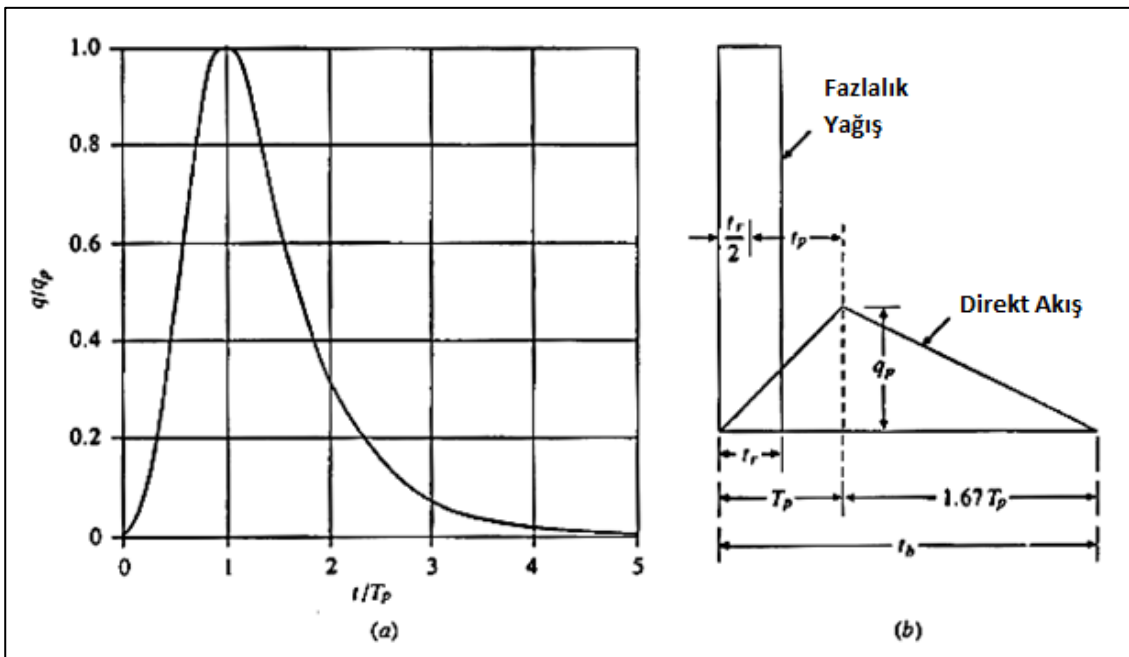
SCS boyutsuz birim hidrografı, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki havzaların ölçülen değerlerinin analizinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Toprak Koruma Servisi (SCS) 1985 yılında Amerika Birleşik Devletleri genelindeki geniş bir yelpazedeki akarsuların birim hidrograflarının ortalamasının alındığı bir araştırma yapmışlardır. Böylece tasarım akış

5. SENTETİK BİRİM HİDROGRAF YÖNTEMLERİ

hidrograflarını hesaplamada oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir kompozit birim hidrograf oluşturmuştur (Wilkerson 2009).

SCS modeli, girdi olarak yağışa ve bir havza katsayısına ihtiyaç duyan ampirik bir denklem yoluyla doğrudan akışı hesaplar. Akış eğri numarası olarak bilinen havza katsayısı, arazi örtüsü toprak kompleksinin akış potansiyelini temsil eder (Sharma ve Singh 1992).

SCS boyutsuz birim hidrograf yönteminde, tüm hidrograf ordinatları anlık debi ile pik debi arasındaki ve zaman ile pik zamanı arasındaki oranlar tarafından belirlenmektedir (Melching ve Marquardt 1997).



Şekil 5. 4. SCS sentetik birim hidrografları (SCS 1972)

- Boyutsuz hidrograf
- Üçgen birim hidrograf

SCS yönteminde taşkın debisi (Q_p) aşağıdaki formüle göre bulunur:

$$Q_p = \frac{0.208 * A * Q_d}{T_p} \quad (5.16)$$

Burada Qd artık yağış yüksekliğini (mm) ifade etmektedir.

Hem pik debi hem pik zamanı için tahmin edilen değerler, SCS'ye uygun olarak boyutsuz hidrograf oranlarına uygulanmış ve birim hidrograf için noktalar belirlenmiştir ve bunlar da birim hidrograf eğrisinin elde edilmesinde kullanılmıştır (Salami ve ark. 2009).

SCS yönteminde yağışa bağlı akış tahmin edilirken aşağıdaki denklemler kullanılır:

$$Q = 0 \quad (P \leq 0.2S) \quad (5.17)$$

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (P > 0.2S) \quad (5.18)$$

Bu formülde Q doğrudan akış, P sağanak yağış, S potansiyel maksimum tutuş miktarıdır. Tutuş parametresi (S), boyutsuz akış eğri numarasına (CN) bağlıdır:

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (5.19)$$

SCS üçgen hidrograf yaklaşımı, pik akışını tahmin etmede bir akış birim hidrograf üçgen yaklaşımı kullanır. Bu şekil bir sentetik hidrograf, hidrografın zaman parametrelerini tahmin etmede drenaj havzası ve fırtına karakteristikleri kullanılarak oluşturulabilir. Üçgen hidrografın temel formülü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_p = \frac{KAQ}{T_p} \quad (5.20)$$

Burada q_p pik akışı, A drenaj havza alanı, Q tahmin edilen akış, T_p pik zamanı ve K bir hidrograf şekli ve birim dönüştürme faktörüdür. K'nın standart tahmini, durgunluğu zirve zamanından 1.67 kat daha büyük bir hidrograf ile açıklanır:

$$T_r = 1.67 T_p \quad (5.21)$$

Burada T_r durgunluk zamanıdır. T_p ise aşağıdaki gibi formülize edilir:

$$T_p = L + \frac{\Delta D}{2} \quad (5.22)$$

Burada L drenaj havza gecikmesi, ΔD ise yağış fazlalığı süresidir. Drenaj havza gecikmesi aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$L = \frac{l^{0.8}(S+1)^{0.7}}{734.8 Y^{0.5}} \quad (5.23)$$

Burada l drenaj havzasının hidrolik uzunluğu, S potansiyel maksimum tutuş, Y ortalama drenaj havzası arazi eğimidir. Yağış fazlalığı süresi (ΔD) aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\Delta D = 0.133 T_c \quad (5.24)$$

T_c konsantrasyon zamanıdır. Konsantrasyon zamanını drenaj havza gecikme parametresi ile ilişkilendiren basit bir teknik şöyledir:

$$T_c = 1.67L \quad (5.25)$$

Belirli bir havza ve yağış fazlalığına uygun hale getirilmiş bir üçgen birim hidrograf göz önüne alındığında bir kompozit fırtına hidrografı, bir fırtına olayı içinde ΔD zaman aralıklarıyla

devralınan bir birim hidrograflar serisi üzerine empoze edilerek geliştirilebilir (Sharma ve Singh 1992).

5.5. Kirpich Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Bir diğer üçgen birim hidrograf yöntemi de Kirpich yöntemidir. Kirpich yönteminde kullanılan formüller aşağıdaki gibidir.

Taşkın hidrografi için esas olan yağış süresi (t_f):

$$t_f = \frac{t_e}{2} + t_p \quad (5.26)$$

Bu denklemde t_e = taşkına sebep olan efektif yağış süresi, t_p = akarsu havzasının ağırlık merkeziyle taşkın hidrografının tepe noktası arasındaki zaman farkını ifade etmektedir.

Taşkına sebep olan efektif yağış süresi (t_e) (saat):

$$t_e = t_r = \frac{t_p}{5,5} \quad (5.27)$$

Bu denklemde yer alan t_r ifadesi ise saat cinsinden birim hidrografa ait sağanak süresidir.

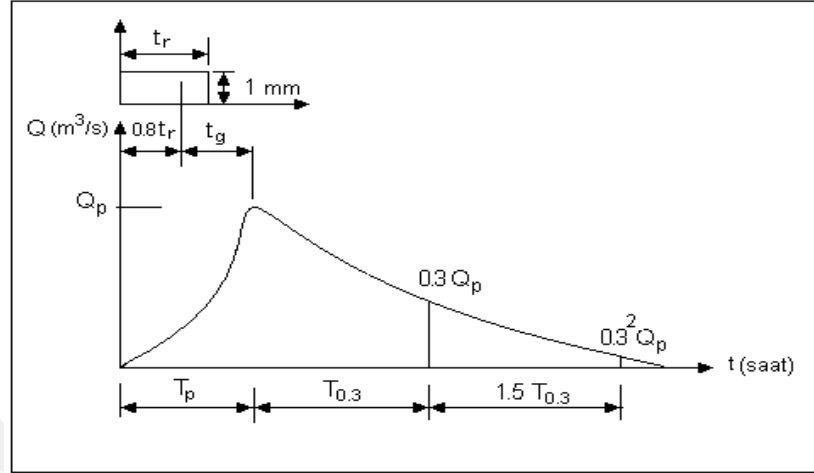
Düzenli bir yağış dağılımı için taşkın pik noktasındaki debi (Q_p):

$$Q_p = k \cdot A \cdot h_a / t_f \quad (5.28)$$

Bu denklemde yer alan $A = \text{km}^2$ cinsinden havza alanı, $h_a = \text{cm}$ cinsinden 100 yıllık taşkına sebep olan yağış yüksekliği, k ise ampirik olarak hesap edilmiş katsayıdır ve 0,208'e eşittir (Sönmez ve ark. 2012).

5.6. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Dr. Nakayasu Japonya'daki nehirler üzerine çeşitli çalışmalar yapmış ve bir sentetik birim hidrograf oluşturmuştur.



Şekil 5. 5. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf

Pik zamanı (T_p), gecikme zamanının (t_g) ve etkili yağış süresinin (t_r) fonksiyonu iken T_p denklemini aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$T_p = t_g + 0.8 t_r \quad (5.29)$$

Nehir uzunluğu (L) 15 km'den fazlaysa;

$$t_g = 0.4 + 0.058 L \quad (5.30)$$

nehir uzunluğu 15 km'den kısaysa aşağıdaki gibidir.

$$t_g = 0.21 L^{0.7} \quad (5.31)$$

Burada pik debinin %30 una kadar azalması için gerekli zaman ($T_{0.3}$):

$$T_{0.3} = \alpha t_g \quad (5.32)$$

formülünden hesaplanabilir.

Normal alanlar için: $\alpha = 2$

Düşük Eğimli alanlar için: $\alpha = 1.5$

Yüksek eğimli alanlar için $\alpha = 3$ 'tür (Safarina 2011).

Safarina ve Ramli 2015 yılında yaptıkları çalışmada ise $\alpha = 0.5$ olarak hesaplamışlardır.

Etkili yağış süresi (t_r) ise:

$$t_r = 0.5 t_g \quad (5.33)$$

formülünden yola çıkılarak hesaplanabilir (Safarina ve Ramli 2015).

Pik debi (Q_p), havza alanının (A), yağış katsayısının (C), birim yağışın (R_0), pik zamanının (T_p), pik debinin %30 una kadar azalması için gerekli zamanın ($T_{0.3}$) fonksiyonudur. Buna göre pik debi formülü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q_p = \frac{C A R}{(3.6 (0.3 T_p + T_{0.3}))} \quad (5.34)$$

Yükseliş eğrisi (Q_a), pik debinin (Q_p), zamanın (t) ve pik zamanının (T_p) fonksiyonudur. Buna göre yükseliş eğrisinin denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \quad (5.35)$$

İniş eğrisi (Q_d) ise, pik debinin (Q_p), zamanın (t), pik zamanının (T_p) ve pik debinin %30 una kadar azalması için gerekli zamanın ($T_{0.3}$) fonksiyonudur. Buna göre iniş eğrisinin denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir (Safarina 2012):

$$Q_d > 0.3Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\frac{t-T_p}{T_{0.3}}} \quad (5.36)$$

$$0.3Q_p > Q_d > 0.3^2 Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\frac{t-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}}} \quad (5.37)$$

$$Q_d < 0.3^2 Q_p \rightarrow Q_d = Q_p \cdot 0.3^{\frac{t-T_p+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}}} \quad (5.38)$$

5.7. Gray'in Sentetik Birim Hidrograf Metodu

Gray'in yönteminde debi, eksik gama dağılımının boyutlandırılması yoluyla elde edilir (Salami ve ark. 2009). Yöntem; ana akım uzunluğu, kanal eğimi, alan, yükseliş zamanı ve benzeri bazı önemli havza karakteristiklerinin belirlenmesini gerektirir. Bu parametreler $\frac{1}{4}$ 'lük aralıklarla yükseliş dönemine eşit zamanlarda birim hidrograf için debi ordinatlarının hesaplanmasına imkân sağlar. Eksik gama dağılımı şöyledir:

$$Q_{t/P_R} = \frac{25Q(\gamma')^q}{\Gamma(q)} \left(e^{-\frac{\gamma' t}{P_R}} \right) \left(\frac{t}{P_R} \right)^{q-1} \quad (5.39)$$

Formüldeki Q_{t/P_R} = verilen herhangi bir t/P_R değerinde $0.25 P_R$ 'deki yüzdelik akışı; q ve γ = sırasıyla şekil ve ölçek parametrelerini, $\Gamma(q) = q$ 'nun gama dağılımını temsil eder ve $q - 1$ 'e eşittir.

Yine formülde e = doğal logaritmanın tabanını, P_R = minimum yükseliş dönemini, t ise minimum zamanı temsil etmektedir.

γ' ile ilgili tanımlamalar aşağıdaki gibidir:

$$\gamma' = \gamma P_R \quad (5.40)$$

$$q = 1 + \gamma' \quad (5.41)$$

P_R ve γ' 'nin değerlerine ulaşmak için havzanın fizyografik özellikleri ile korelasyonlar geliştirilebilir. Depolama faktörü (P_R/γ'), L havzanın km cinsinden ana kanal uzunluğu iken havza parametresi (L/S_c) ile bağlantılıdır. Ortalama kanal eğimi (S_c), haritada akım başlangıcından itibaren ana nehir kanalı boyunca yükselti noktaları çizilerek elde edilir (Sule ve Alabi 2013).

Gray depolama faktörünü (P_R/γ') bir havzanın depolama özelliğinin bir ölçüsü veya suyun belirli bir alana ulaşması için gerekli olan seyahat süresi olarak tanımlamaktadır. Depolama faktörünü bir kuvvet denklemi formunda havza karakteristikleri ile şu şekilde ilişkilendirmiştir:

$$\frac{P_R}{\gamma'} = a \left(\frac{L}{\sqrt{S_M}} \right)^b \quad (5.42)$$

Bu formülde a kuvvet denkleminin katsayısı, b ise üssüdür (Bhunya ve ark. 2011).



6. PARAMETRE TAHMİN YÖNTEMLERİ

Bu bölümde parametre tahmin yöntemlerinden regresyon analizi ve panel veri analizi hakkında bilgiler verilecektir.

6.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla sayıdaki bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ele alır. Bu ilişki lineer (doğrusal) ya da non lineer (doğrusal olmayan) şekilde olabilir. Regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise lineer regresyon, değilse non lineer regresyon olarak adlandırılır.

6.1.1. Lineer Regresyon Analizi

Lineer regresyon analizinde bir bağımlı değişkenle bir tek bağımsız değişken arasındaki ilişki inceleniyorsa basit lineer regresyon modelinden bahsediliyor demektir. Basit lineer regresyon modelinin denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (6.1)$$

Burada y bağımlı değişken, x bağımsız değişken, β_0 ve β_1 tahmin edilecek parametreler ve ε hata terimini temsil etmektedir.

Lineer regresyon analizinde bir bağımlı değişkenle birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişki inceleniyorsa buna da çoklu lineer regresyon modeli denir. Çoklu doğrusal regresyon modelinin denklemi ise şu şekilde yazılabilir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (6.2)$$

Burada y bağımlı değişken, x_i bağımsız değişken, β_i tahmin edilecek parametreler ve ε hata terimini temsil etmektedir.

6.1.2. Non Linear Regresyon Analizi

Değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenirken bazen lineer regresyon analizi yetersiz kalabilmektedir. Bunun nedeni değişkenlerin farklı dağılım göstermeleri ve bu dağılımın lineer denklemlerle belirtilmesinin yetersiz oluşundan kaynaklanmaktadır. Bu durumlarda nonlineer regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkiyi daha iyi temsil eden denklemler elde edilebilmektedir. Başlıca modeller aşağıda anlatılmaktadır (Pazarlıoğlu 2007).

6.1.2.1. Tam Logaritmali Modeller (Log-Log Modeller)

Tam logaritmali modelleri üslü model olarak ya da logaritmik formda aşağıdaki denklemlerdeki gibi gösterebiliriz:

$$y = \beta_0 x^{\beta_1} \cdot \varepsilon \quad (\text{üslü model})$$

$$\log y = \log \beta_0 + \beta_1 \log x + \log \varepsilon \quad (\text{logaritmik gösterim})$$

6.1.2.2. Yarı Logaritmali Modeller (Log-Dog veya Dog-Log Modeller)

Yarı logaritmali modeller bağımlı değişken logaritmik formda, bağımsız değişken doğrusal formda olabileceği gibi (log-dog model); bağımlı değişken doğrusal formda, bağımsız değişken logaritmik formda (dog-log model) olacak şekilde de yazılabilir:

$$\log y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (\text{log-dog model})$$

$$y = \log \beta_0 + \beta_1 \log x + \log \varepsilon \quad (\text{dog-log model})$$

6.1.2.3. Ters Modeller (Resiprok Modeller)

Uygulamada bağımsız değişkenin tersi alınarak bir model oluşturulabilir. Bu şekilde oluşturulan modellere ters modeller ya da resiprok modeller adı verilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{x}\right) + \varepsilon \quad (6.3)$$

6.1.2.4. Logaritmali Ters Modeller

Bağımlı değişken logaritmik formda, bağımsız değişken ise tersi alınmış olarak modele dâhil edildiğinde logaritmali ters modeller (log-ters model) söz konusu olmaktadır:

$$\log y = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{x}\right) + \varepsilon \quad (6.4)$$

6.1.2.5. İkinci Derece ve Üçüncü Derece Eğrisel Modeller

Modelde bağımsız değişkenler ikinci veya üçüncü dereceden de olabilmektedir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon \quad (\text{ikinci dereceli eğrisel model veya parabol}) \quad (6.5)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \varepsilon \quad (\text{üçüncü dereceli eğrisel model}) \quad (6.6)$$

6.2. Panel Veri Analizi

Panel veri analizi, çok sayıdaki kesite ait zaman serileri veya zaman boyutuna ait kesit veriler kullanılarak değişkenler arasındaki ilişkilerin tahmin edilmesine dayanan bir analiz türüdür (Greene 2003).

Panel veri analizi uygulamalarında zaman serileri ile kesit serileri bir arada kullanılarak hem zaman hem de kesit boyutuna sahip veri setleri oluşturulmaktadır. Günümüzde birçok çalışmada bu şekilde oluşturulan veri setleri ile uygulamalar yapılmaktadır.

Panel veri modeli şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_{1it} X_{1it} + \dots + \beta_{kit} X_{kit} + e_{it} \quad ((i = 1, \dots, N), (t = 1, \dots, T)) \quad (6.7)$$

Burada i kesit serilerini, t ise zaman serilerini temsil etmektedir. Y değişkeni kesitten kesite ve bir zaman aralığı ile bir sonraki zaman aralığı arasında farklı değerler alan bağımlı bir değişken olduğunda, kesit boyutu için i, zaman periyodu için t olacak şekilde iki alt indisle ifade edilebilmektedir (Pazarlıoğlu ve Gürler 2007).

Panel veri analizini kullanmanın diğer analizlere göre çeşitli avantajları vardır. Bunlar (Çeviş 2005):

1. Araştırmacıya sadece zaman serisi veya sadece yatay kesit verilerinin kullanılmasından daha fazla veri kullanma olanağı sağlamaktadır. Bu durumda tahminlerdeki serbestlik derecesi artar ve daha etkin tahminler yapılabilir.
2. Gruplar arasındaki heterojenlik etkileri daha iyi kontrol edilebilir.
3. Bağımsız değişkenler arasındaki çoklu bağlantı azalabilir.

Panel veri analizinde yatay kesit veriler ve zaman serisi verileri panel verilere çevrildikten sonraki aşama yatay kesit ve zaman etkilerinin sabit etkiler veya tesadüfi etkiler modeli tarafından açıklanıp açıklanmadığının belirlenmesidir (Alptekin 2012).

Panel veri analizlerinde kullanılan modeller; havuzlanmış en küçük kareler modeli, sabit etkiler modeli ve tesadüfi (rassal) etkiler modelidir.

6.2.1. Havuzlanmış En Küçük Kareler Modeli

Havuzlanmış en küçük kareler yönteminde bütün yatay kesitler için ortak sabit değer tahmin edilmektedir. Bu yöntemde yatay kesitler arasında farklılıklar bulunmadığı varsayılmaktadır. Bu yöntemde her bir yatay kesite ait belirli etkileri yansıtan kukla değişkenler

olmaksızın bütün yatay kesit verileri bir havuzda toplanmakta ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkileri araştırılmaktadır (Yalçın 2005).

Havuzlanmış en küçük kareler modeli, verilerin homojen nitelik taşıdığı durumlarda kullanışlıdır. Modelin eksikliği ise, zamana ve kesite özgü çeşitli etkileri ortaya koyma konusunda kısıtlayıcı olmasıdır (Asteriou ve Hall 2007).

6.2.2. Sabit Etkiler Modeli

Sabit katsayısının her bir yatay kesit ya da zaman için değişim gösterdiği modeller Sabit Etkiler Modeli olarak adlandırılmaktadır (Çetin ve Ecevit 2010).

Yatay kesit birimlerinin herbiri için sabit etkiler modelinde farklı bir sabit değer oluşturulmaktadır. Bu modelde β ile ifade edilen eğim katsayılarının sabit olduğu, fakat sabit katsayıların kesit veya zaman verilerine veya her iki veriye bağlı olarak değişim gösterdiği kabul edilmektedir.

Sabit etkiler modeli tek yönlü ya da çift yönlü sabit etkiler modeli olarak ikiye ayrılmaktadır. Panel veri setinde zamana bağlı bir farklılaşma yokken, birimler arasında fark olduğunda, bu regresyon modeline tek yönlü ve kesite bağlı sabit etkiler modeli adı verilir. Kesite ya da birime bağlı bir farklılaşma yokken, sadece zamanla değişim meydana geliyorsa bu durumda tek yönlü zamana bağlı sabit etkiler modeli olarak adlandırılır. Eğer panel verilerde farklılaşma hem zamana ve hem de kesite bağlı olarak oluşuyorsa bu modellere çift yönlü sabit etkiler modeli denir. Aşağıda tek yönlü ve çift yönlü sabit etkiler modellerinin denklemleri verilmiştir.

Tek Yönlü Sabit Etkiler Modeli:

$$Y_{it} = (a_{it} + \mu_{it}) + \beta_{1it} X_{1it} + \dots + \beta_{kit} X_{kit} + e_{it} \quad (6.8)$$

Çift Yönlü Sabit Etkiler Modeli:

$$Y_{it} = (a_{it} + \mu_{it} + \lambda_{it}) + \beta_{1it} X_{1it} + \dots + \beta_{kit} X_{kit} + e_{it} \quad (6.9)$$

Bu denklemlerde μ_i bireysel etkiyi, λ_t ise modelin gözlemlenemeyen zaman etkisini ifade etmektedir (Özer ve Çiftçi 2009).

Sabit Etkiler Modeli'nin yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, uygulamada bazı eksiklikler ortaya çıkabilmektedir. Bu eksikliklerden birincisi, çok sayıda yatay kesitin sözü konusu olmasının serbestlik derecesi kaybına neden olabilmesidir. Uygulamada karşılaşılan ikinci eksiklik ise, modelin zamana bağlı olarak değişmeyen değişkenler için uygun olmamasıdır (Çetin ve Ecevit 2010).

6.2.3. Tesadüfi (Rassal) Etkiler Modeli

Tesadüfi etkiler modelinde ya yalnızca yatay kesitlere veya hem yatay kesitlere hem de zamana göre meydana gelen değişiklikler, modele hata teriminin bir bileşeni olarak dâhil edilmektedir (Pazarlıoğlu ve Gürler 2007). Tesadüfi etkiler modelinde yatay kesitlerin özellikleri gözlemlenememektedir ve tesadüfi dağılımlı olması nedeniyle bu tesadüfi etkiler hata terimlerinden elde edilebilmektedir (Çetin 2013).

Tesadüfi etkiler modelinde, başlangıç noktası tesadüfi değişken olarak tanımlanmaktadır. Buna göre başlangıç noktaları, β_1 sabit katsayısı ve aritmetik ortalaması sıfır olan u_i tesadüfi değişkeninin toplamından oluşmaktadır (Baltagi 2005).

$$y_{it} = \beta_{1i} + \beta_{2i}X_{2it} + \beta_{3i}X_{3it} + \varepsilon_{it} \quad \beta_{1j} \neq \beta_i + \mu_i \quad (6.10)$$

Sabit etkiler modeli ile tesadüfi etkiler modelinden hangisinin seçileceği genellikle bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken üzerindeki etki arasındaki ilişkiye bağlıdır. Eğer bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken üzerindeki etki arasında ilişki yoksa tesadüfi etkiler tahmincisi tutarlı ve etkindir, sabit etkiler tahmincisi ise tutarlıdır ancak etkin değildir. Bu durumda tesadüfi etkiler modeli tercih edilir. Eğer bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken üzerindeki etki arasında ilişki varsa sabit etkiler tahmincisi tutarlı ve etkindir, tesadüfi etkiler tahmincisi ise tutarlı değildir. Bu durumda sabit etkiler modeli tercih edilir (Baldemir ve Keskiner 2004).



7. MATERYAL VE METOD

7.1. Materyal

Türkiye'nin yüzölçümü toplamı 780.000 km²'dir. Bu yüzölçümü toplamı 26 adet hidrolojik havzaya bölünmüş olup (Çizelge 7.1) bu havzalarda meydana gelen toplam ortalama yıllık akış miktarı 186.5 milyar m³'tür. DSİ verilerine göre bunun yaklaşık üçte biri, ülkenin doğusunda yer alan Fırat ve Dicle havzalarına aittir. Alansal büyüklük olarak bunu Kızılırmak ve Sakarya havzaları izlerken, ortalama yıllık akış miktarı olarak Fırat-Dicle havzasından sonra Doğu Karadeniz, Doğu Akdeniz ve Antalya Havzaları gelmektedir (O.S.İ.B. 2012).

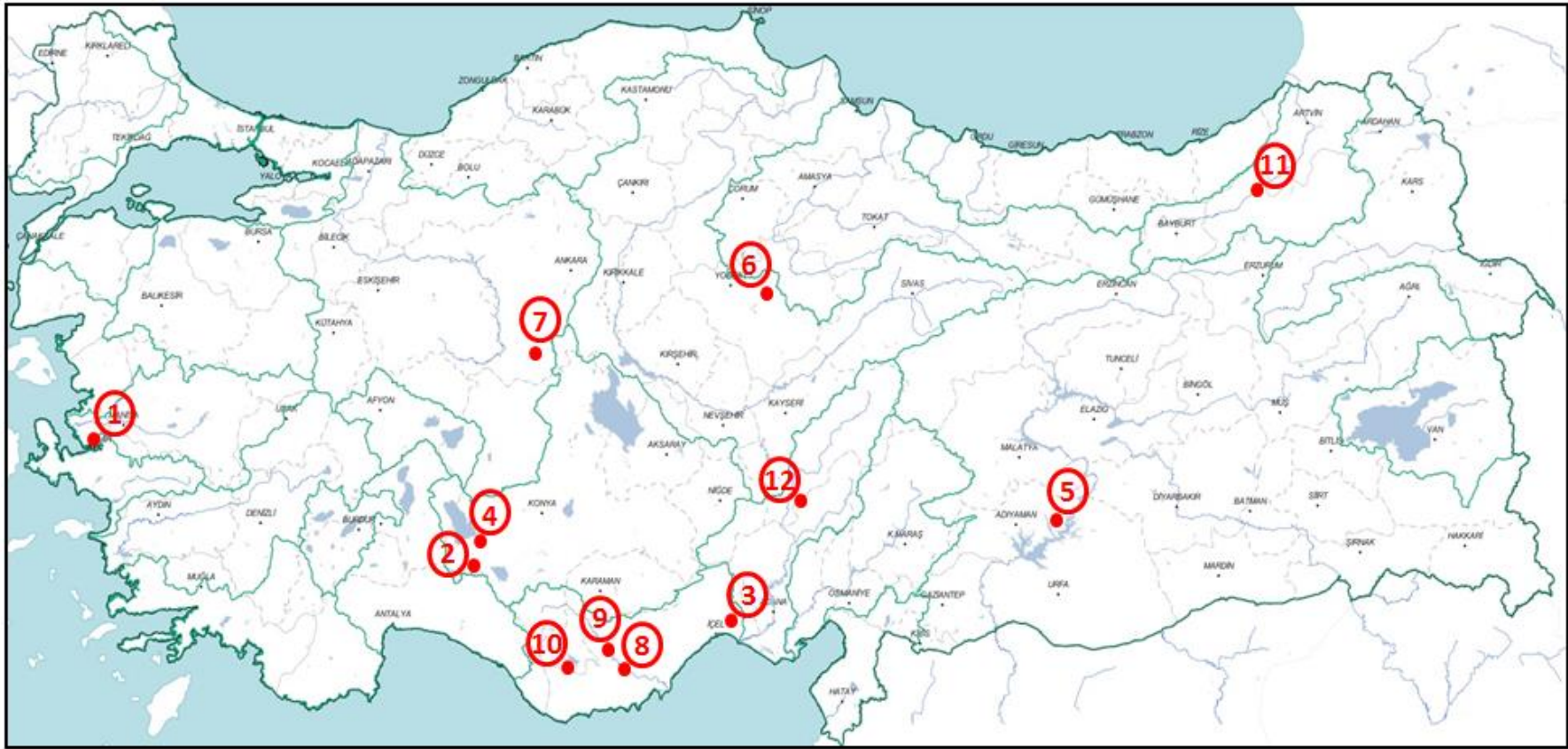
Çizelge 7. 1.Türkiye'deki Akarsu Havzaları ve Karakteristik Değerleri (Erkek ve Ağırlioğlu 2013)

No	Havza Adı	Yüzölçümü (km ²)	Ortalama Yağış (mm/yıl)	Ortalama Akış (10 ⁹ .m ³ /yıl)
1	MERİÇ-ERGENE	14560	640	1.25
2	MARMARA SULARI	24100	766	7.62
3	SUSURLUK	23765	730	5.35
4	KUZEY EGE	9032	730	2.20
5	GEDİZ	17110	639	1.81
6	KÜÇÜK MENDERES	7165	740	1.12
7	BÜYÜK MENDERES	24903	656	2.95
8	BATI AKDENİZ	22615	865	7.76
9	ORTA AKDENİZ	14518	910	11.24
10	BURDUR GÖLÜ	8764	436	0.31
11	AFYON	8377	472	0.45
12	SAKARYA	56504	534	6.03
13	BATI KARADENİZ	29682	803	10.04
14	YEŞİLIRMAK	36129	556	5.54
15	KIZIL IRMAK	78646	459	6.28
16	KONYA	56554	437	3.36
17	DOĞU AKDENİZ	22484	669	12.27
18	SEYHAN	20731	629	7.06
19	ASI	10885	837	1.20
20	CEYHAN	21222	758	7.21
21	FIRAT	120917	582	33.48
22	DOĞU KARADENİZ	24022	1291	14.00
23	ÇORUH	19894	540	6.46
24	ARAS	27548	462	5.54
25	VAN GÖLÜ	15254	507	2.59
26	DİCLE	51489	814	21.81
-	TOPLAM	766870	652.5	186.5

Bu çalışmada materyal olarak Türkiye havzaları üzerinde bulunan alt havzalar üzerinde gözlenmiş olan birim hidrograflar kullanılmıştır. Bunlardan Kayraaktepe,

Hamam, Kırkyalan alt havzaları 17 nolu Doğu Akdeniz havzasında Göksu nehri üzerinde yer almaktadır. Kayraktepe, Hamam ve Kırkyalan alt havzalarında gözlenmiş olan birim hidrograf verileri 1977 yılı Enerji İşleri Etüt İdaresi (E.İ.E.İ.), Göksu Nehri, Kayraktepe Barajı Mühendislik Hidrolojisi Raporundan temin edilmiştir. Üzümlü alt havzası 23 nolu Çoruh Havzasında Çoruh nehri üzerinde yer almaktadır. Üzümlü alt havzasında gözlenmiş birim hidrograf verileri Haziran 1979 tarihli E.İ.E.İ., Çoruh Nehri Üzerinde Tasarlanan Barajların Mühendislik Hidrolojisi Raporundan temin edilmiştir. Himmetli alt havzası 18 nolu Seyhan Havzasında Göksu Nehri üzerinde yer almaktadır. Himmetli alt havzasında gözlenmiş birim hidrograf verileri 1984 tarihli Verbund-Plan, Romconsult, Temelsu Yukarı Seyhan Havzası Master Plan Raporundan temin edilmiştir (Sezen 1988; Haktanır ve Sezen 1990).

İzmir Menemen Ulucak alt havzası 5 nolu Gediz Havzası üzerinde yer almaktadır. Konya Seydişehir Glabbera alt havzası 16 nolu Konya Havzası üzerinde yer almaktadır. Mersin Tarsus Topçu alt havzası 17 nolu Doğu Akdeniz Havzası üzerinde yer almaktadır. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası 16 nolu Konya Havzası üzerinde yer almaktadır. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası 21 nolu Fırat Havzası üzerinde yer almaktadır. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası 15 nolu Kızılırmak Havzası üzerinde yer almaktadır. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası 12 nolu Sakarya Havzası üzerinde yer almaktadır. Bu alt havzalara ait havza özellikleri ve gözlenmiş ortalama birim hidrograflar değerleri; Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü verilerinden temin edilmiştir (Kuşkuvaran ve Canbolat 2001; İstanbulluoğlu ve ark. 2004, 2005; Oğuz ve Balçın 2001; Kaya 2001; Tekeli ve Babayigit 2001; Demiryürek ve ark. 2001). Çalışmamızda kullanılan Türkiye genelindeki alt havzaların coğrafi konumu şekil 7.1’de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Birim Hidrografların gözlemlendiği havzaların coğrafik konumu

1-İzmir-Menemen-Ulucak 2-Konya-Seydişehir-Glabbera 3- Mersin-Tarsus-Topçu 4-Konya-Beyşehir-Karabalçık 5-Adıyaman-Kahta-Harabe 6-Yozgat-Sorgun-İkikara
7-Ankara-Haymana-Çatalkaya 8-Kayraktepe 9-Hamam 10-Kırkyalan 11-Üzümlü 12-Himmetli Alt havzaları

7.2. Metod

Bu çalışmada öncelikle Nakayasu sentetik birim hidrograf (S.B.H.) yönteminde kullanılan eşitlikler yardımı ile gözlenmiş birim hidrograflara ait parametreler sentetik olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametrelerinin yeterli doğrulukta hesaplanamadığı görülmüştür. Bu nedenle Nakayasu S.B.H. yöntemi ile önerilen eşitlikler modifiye edilmek sureti ile Türkiye havzalarında kullanılabilecek şekilde yeniden belirlenmeye çalışılmıştır.

Nakayasu S.B.H. metodunu modifiye edebilmek için kullanılan gözlenmiş birim hidrograflar, ait oldukları alt havzaların alanlarına göre büyük ve küçük ölçekli havzalar olmak üzere iki kısma ayrılarak incelenmiştir. Seçilen bu havzalar için Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler modifiye edilmiş ve Türkiye havzalarında kullanılabilecek denklemler bu havzalar için ayrı ayrı belirlenmeye çalışılmıştır.

7.2.1. Küçük Ölçekli Havzalar

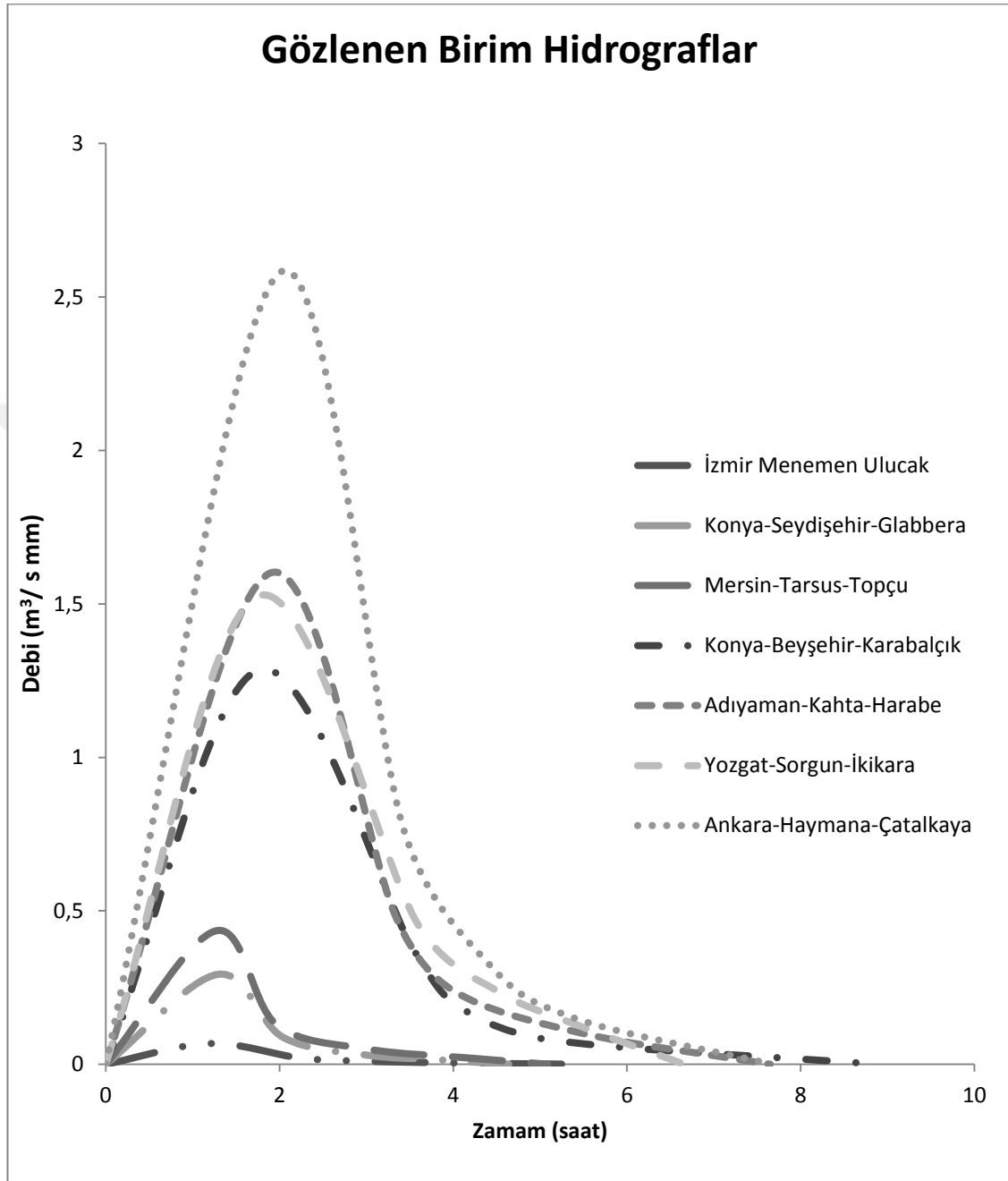
7.2.1.1. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması

Çalışmada kullanılan küçük ölçekli alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve bunlara ait bazı karakteristik özellikler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7. 2. Küçük ölçekli havzalar ve gözlenmiş birim hidrograflara ait karakteristik özellikler

	Havzalar	A (km ²)	L (km)	L _C (km)	Q _p (m ³ /s mm)	t _r (sa)	T _p (sa)	T _b (sa)	T _{0.3} (sa)
1	Izmir-Menemen-Ulucak	0.34	1.30	0.61	0.068	0.69	1.19	5.39	1.04
2	Konya-Seydisehir-Glabbera	1.20	2.00	1.00	0.293	1.00	1.29	4.64	0.75
3	Mersin-Tarsus-Topçu	1.69	2.00	1.00	0.435	1.00	1.27	5.09	0.69
4	Konya-Beyşehir-Karabalçık	10.60	5.00	2.65	1.284	1.00	1.75	8.89	1.77
5	Adıyaman-Kahta-Harabe	11.66	6.00	3.00	1.599	1.00	1.88	7.65	1.46
6	Yozgat-Sorgun-Ikikara	13.00	5.00	2.50	1.525	1.00	1.75	6.66	1.84
7	Ankara-Haymana-Catalkaya	18.70	7.50	3.75	2.579	1.00	2.00	7.67	1.42

Seçilen alt havzalarda gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri kullanılarak çizilen birim hidrograflar şekil 7.2'deki gibidir.



Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler kullanılarak gözlenmiş birim hidrograflara ait parametreler sentetik olarak elde edilmeye çalışılmıştır. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak elde edilen birim hidrograf parametreleri Çizelge 7.3'te gösterilmektedir.

7. MATERYAL VE METOD

Çizelge 7. 3. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri

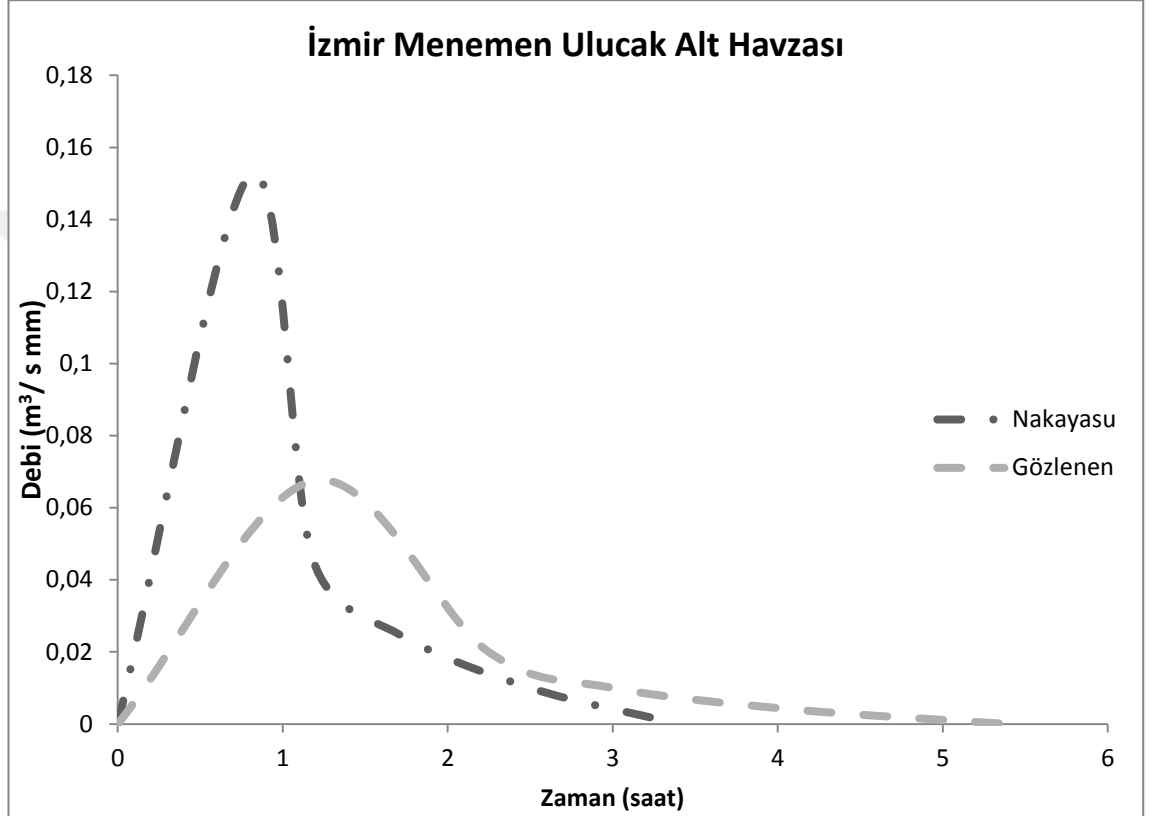
Havzalar		Nakayasu S.B.H. ile tahmin Edilen Parametreler					
		t_g (sa)	T_p (sa)	Q_p (m ³ /s mm)	α	$T_{0.3}$ (sa)	T_b (sa)
1	Izmir-Menemen-Ulucak	0.252	0.804	0.152	1.5	0.379	3.4
2	Konya-Seydisehir-Glabbera	0.341	1.141	0.390	1.5	0.512	5.4
3	Mersin-Tarsus-Topçu	0.341	1.141	0.550	1.5	0.512	5.8
4	Konya-Beysehir-Karabalçık	0.648	1.448	1.702	2.0	1.296	15.6
5	Adiyaman-Kahta-Harabe	0.736	1.536	2.070	1.5	1.104	13.9
6	Yozgat-Sorgun-Ikikara	0.648	1.448	2.087	2.0	1.296	16.0
7	Ankara-Haymana-Catalkaya	0.861	1.661	2.904	1.5	1.291	16.9

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenmiş birim hidrograf parametreleri arasındaki fark Çizelge 7.4'te verilmiştir.

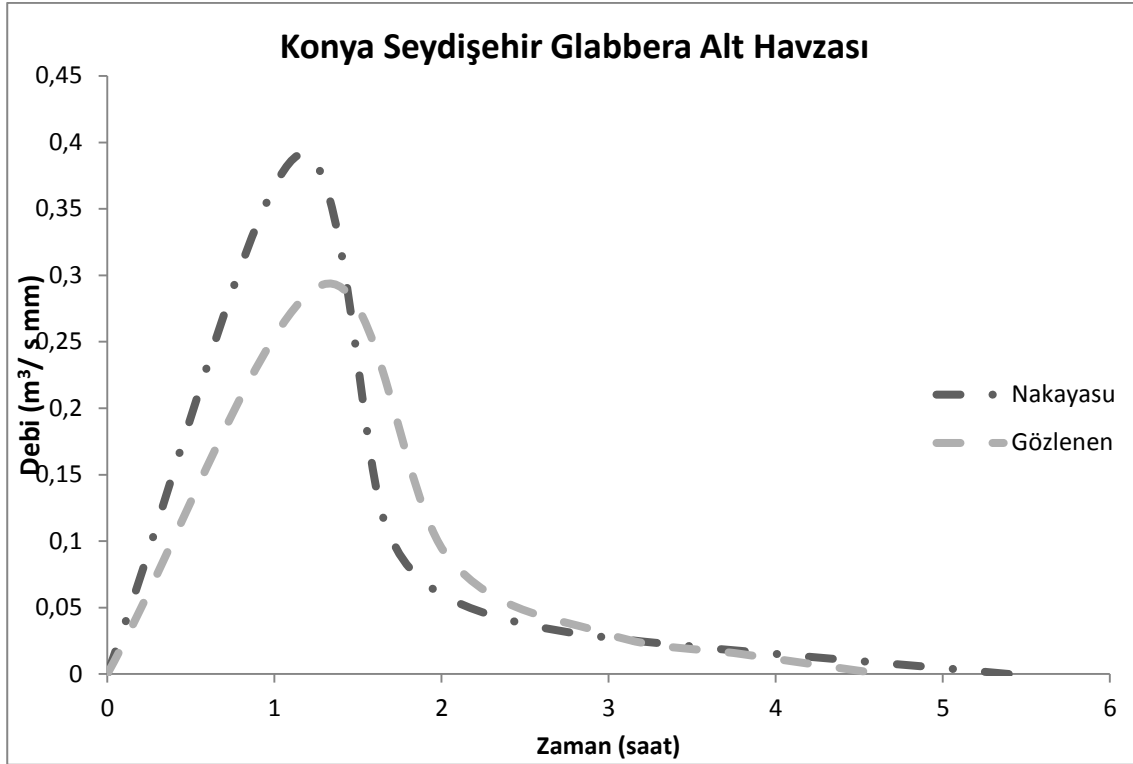
Çizelge 7.4. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrografa ait parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler		Havzalar						
		1	2	3	4	5	6	7
		Ulucak	Glabbera	Topçu	Karabalçık	Harabe	İkikara	Çatalkaya
Q_p	Göz.	0.068	0.293	0.435	1.284	1.599	1.525	2.579
	Nak.	0.152	0.390	0.550	1.702	2.070	2.087	2.904
	Fark	0.084	0.097	0.115	0.418	0.471	0.562	0.325
	Hata%	123.529	33.106	26.437	32.555	29.456	36.852	12.602
T_p	Göz.	1.190	1.290	1.270	1.750	1.880	1.750	2.000
	Nak.	0.804	1.141	1.141	1.448	1.536	1.448	1.661
	Fark	0.386	0.149	0.129	0.302	0.344	0.302	0.339
	Hata%	32.437	11.550	10.157	17.257	18.298	17.257	16.950
t_g	Göz.	0.638	0.490	0.470	0.950	1.080	0.950	1.200
	Nak.	0.252	0.341	0.341	0.648	0.736	0.648	0.861
	Fark	0.386	0.149	0.129	0.302	0.344	0.302	0.339
	Hata%	60.502	30.408	27.447	31.789	31.852	31.789	28.250
α	Göz.	1.630	1.531	1.468	1.863	1.352	1.937	1.183
	Nak.	1.500	1.500	1.500	2.000	1.500	2.000	1.500
	Fark	0.130	0.031	0.032	0.137	0.148	0.063	0.317
	Hata%	7.975	2.025	2.180	7.354	10.947	3.252	26.796
$T_{0.3}$	Göz.	1.040	0.750	0.690	1.770	1.460	1.840	1.420
	Nak.	0.379	0.512	0.512	1.296	1.104	1.296	1.291
	Fark	0.661	0.238	0.178	0.474	0.356	0.544	0.129
	Hata%	63.558	31.733	25.797	26.780	24.384	29.565	9.085
T_b	Göz.	5.390	4.640	5.090	8.890	7.650	6.660	7.670
	Nak.	3.400	5.400	5.800	15.600	13.900	16.000	16.900
	Fark	1.990	0.760	0.710	6.710	6.250	9.340	9.230
	Hata%	36.920	16.379	13.949	75.478	81.699	140.240	120.339
		Q_p = Pik Debi, T_p =Pik zamanı, t_g =gecikme zamanı, α =Havza katsayısı, $T_{0.3}$ =Pik debinin %30'una indiği süre, T_b = birim hidrograf süresi						

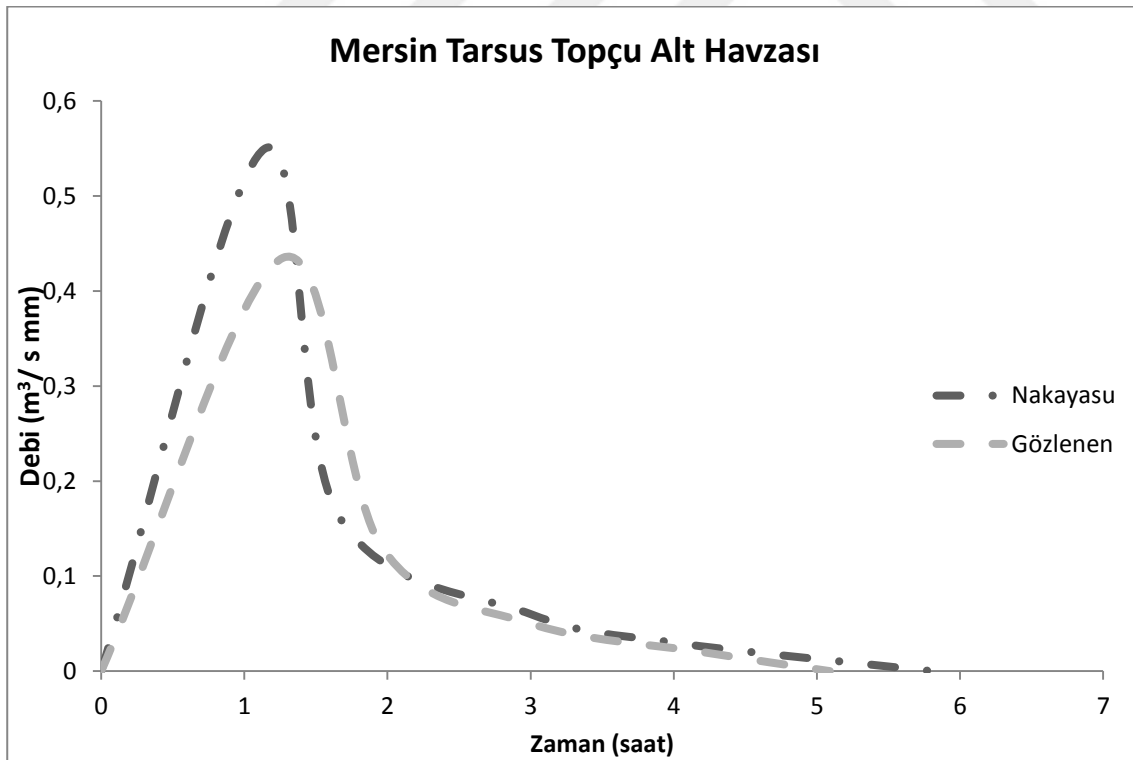
Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograf parametreleri kullanılarak birim hidrograflar sentetik olarak çizilmiştir ve gözlenmiş birim hidrograflarla karşılaştırılmıştır. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograflar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



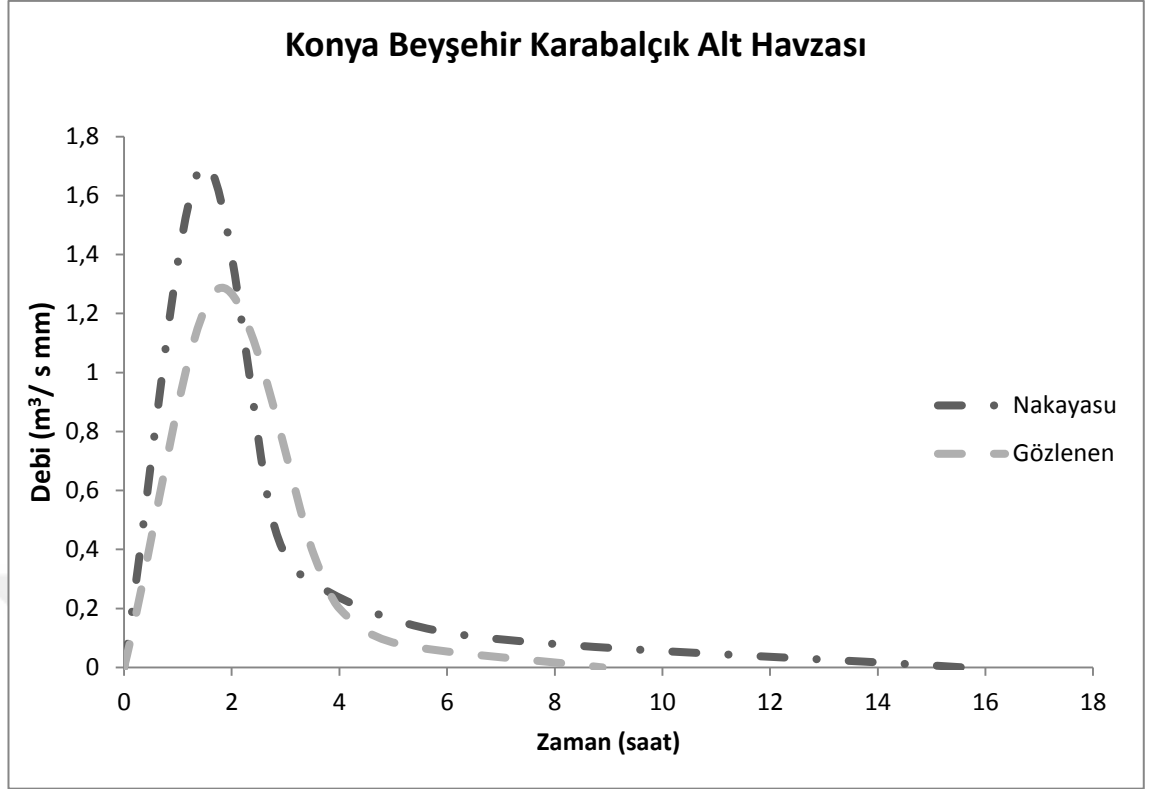
Şekil 7.3. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



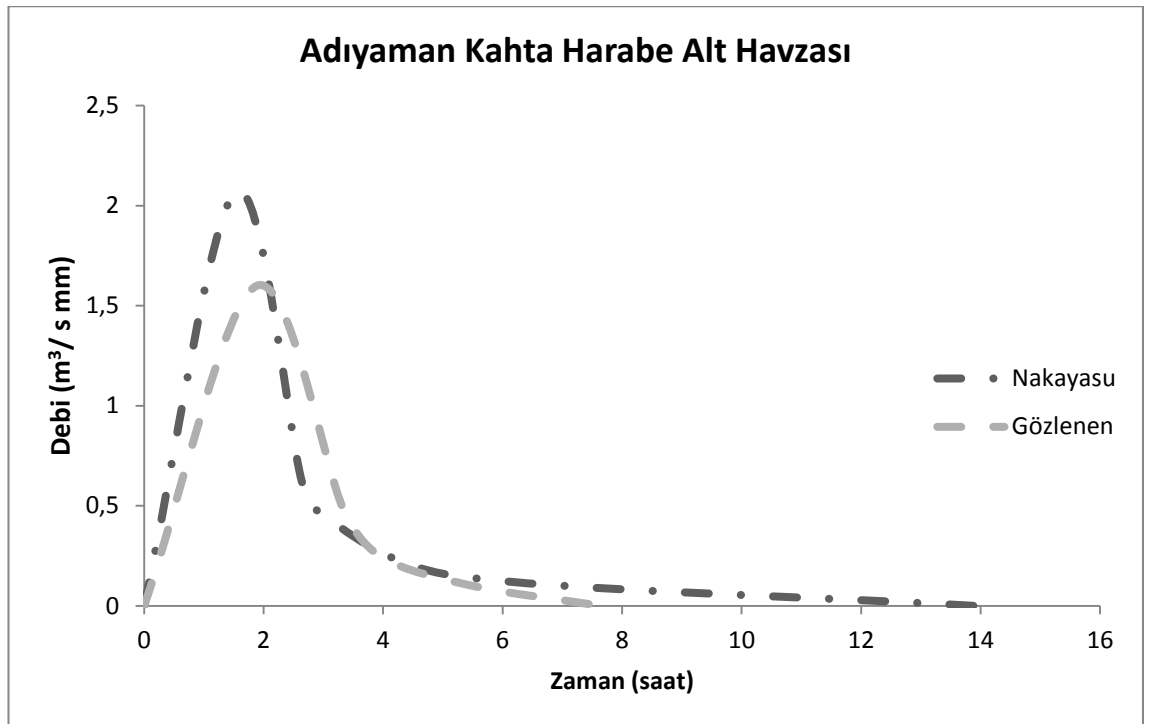
Şekil 7.4. Konya Seydişehir Glabbera alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



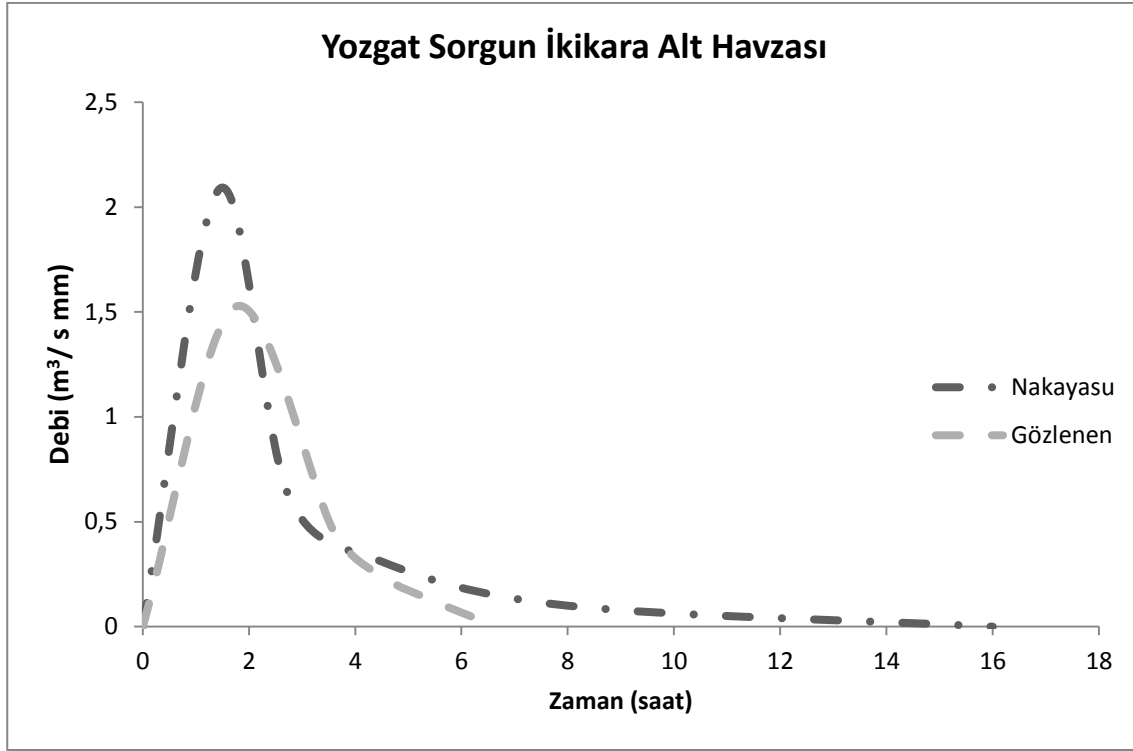
Şekil 7.5. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



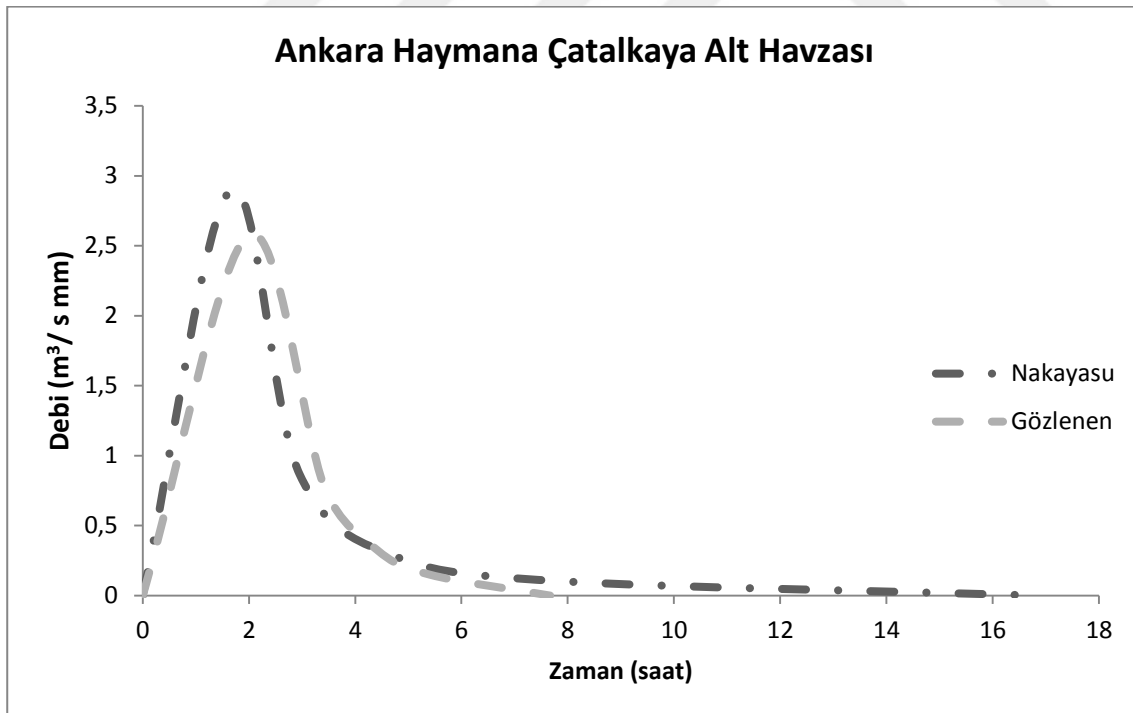
Şekil 7.6. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.7. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

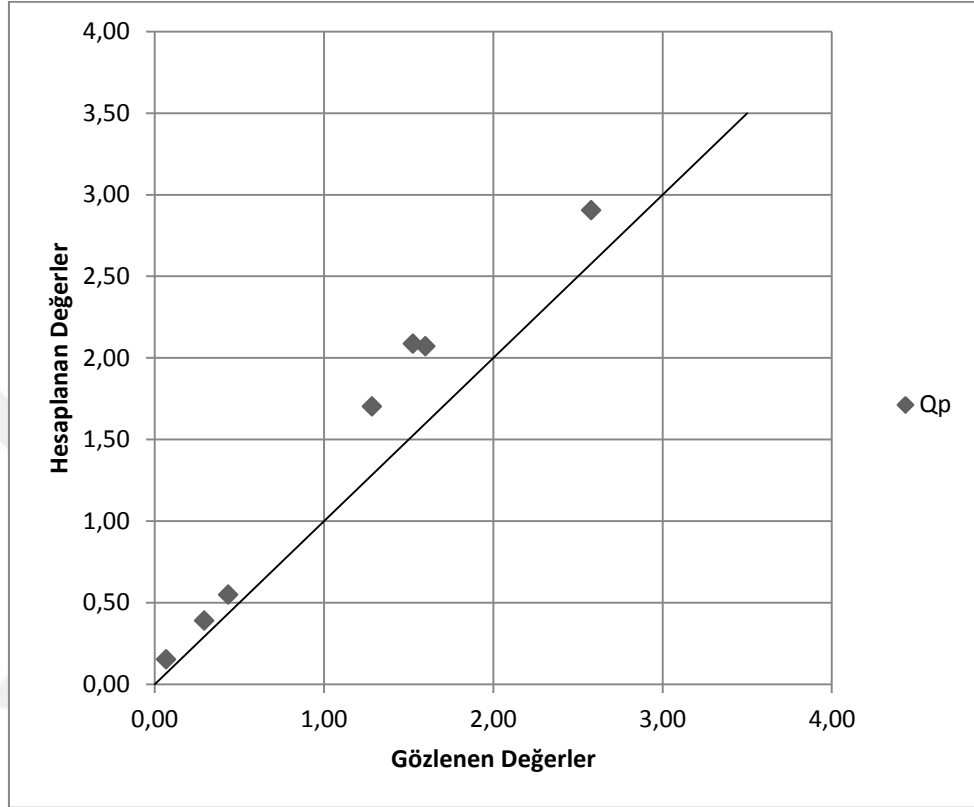


Şekil 7.8. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

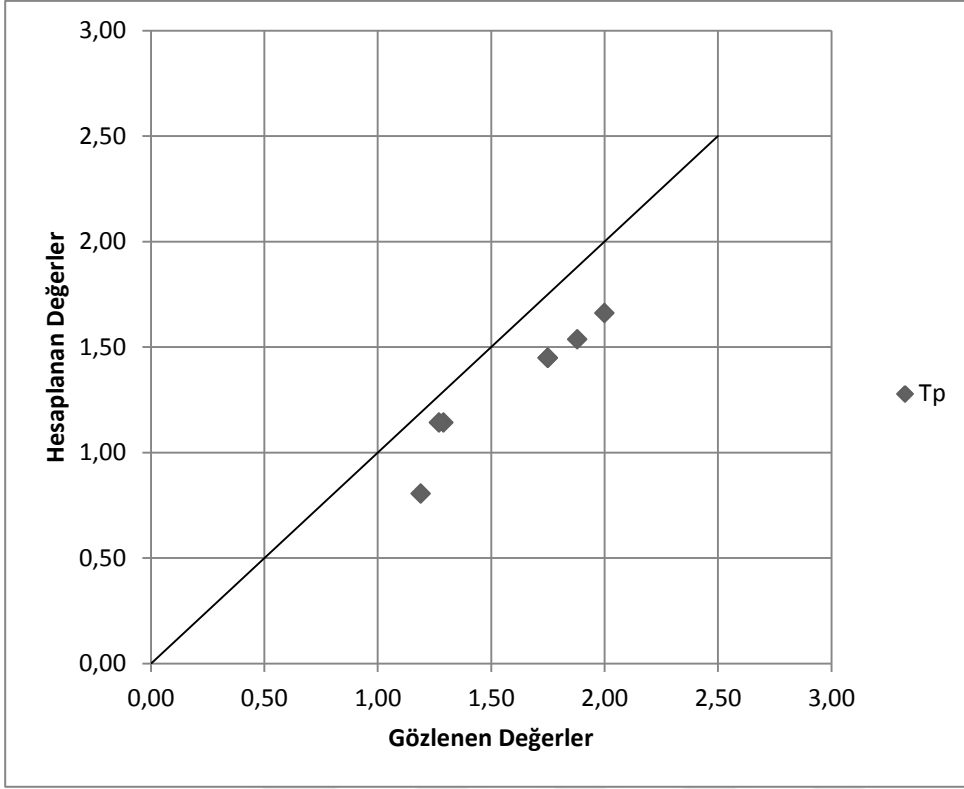


Şekil 7.9. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

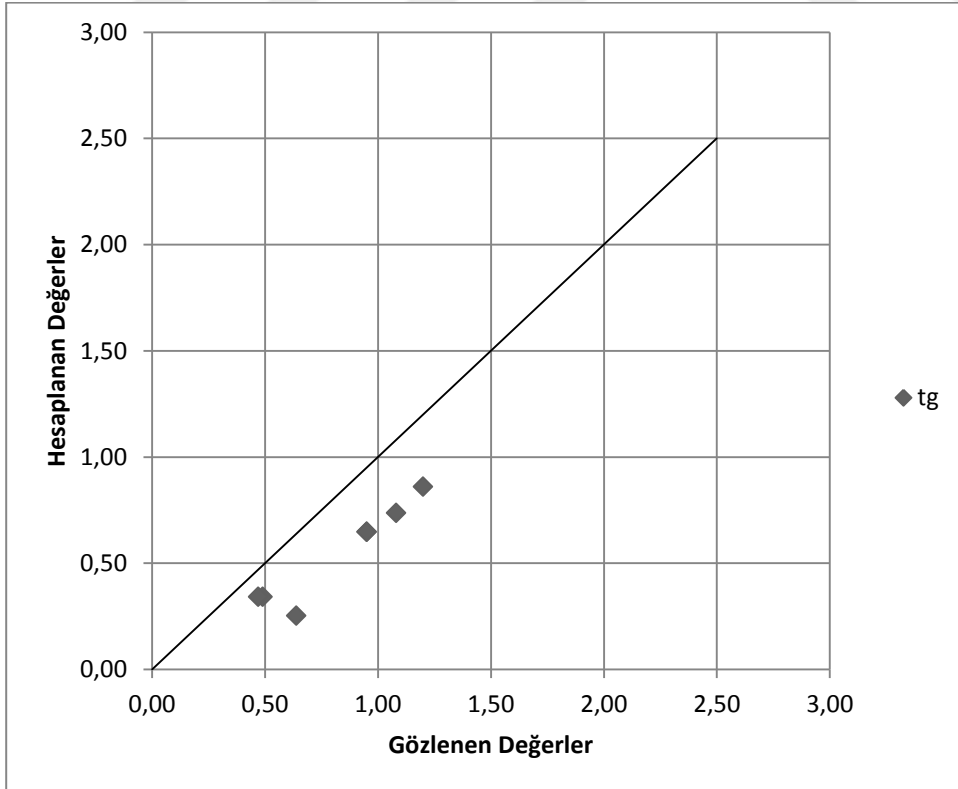
Nakayasu S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak elde edilen birim hidrograf parametreleri ve seçmiş olduğumuz alt havzalara ait gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler her bir birim hidrograf parametresi için aşağıdaki gibidir.



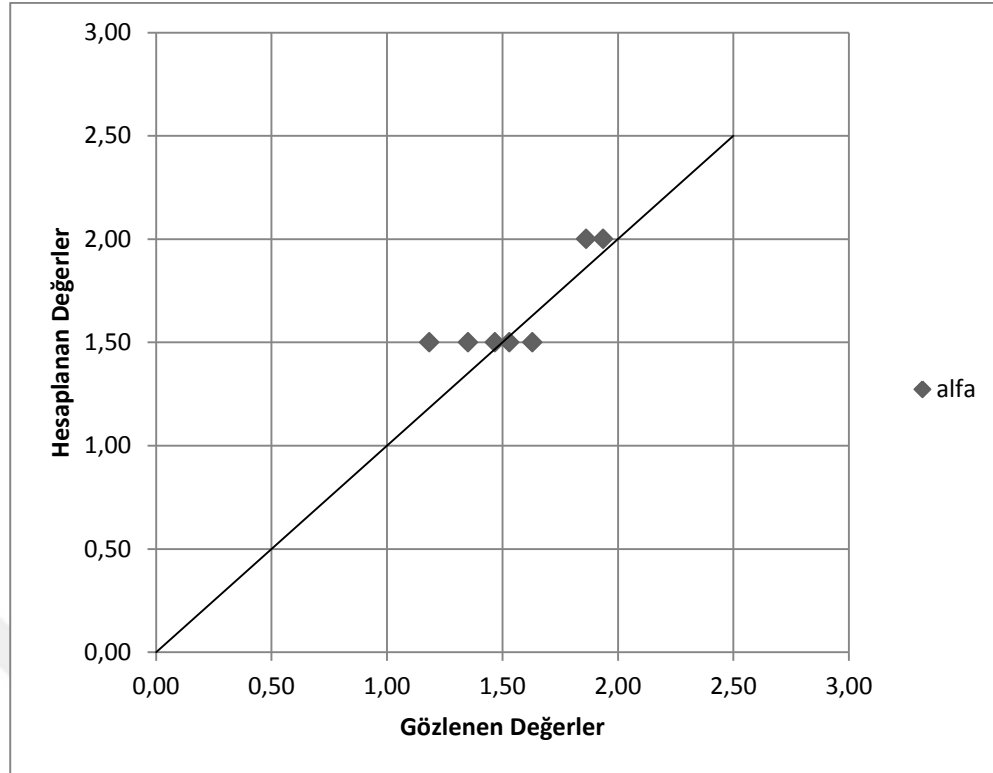
Şekil 7.10. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki



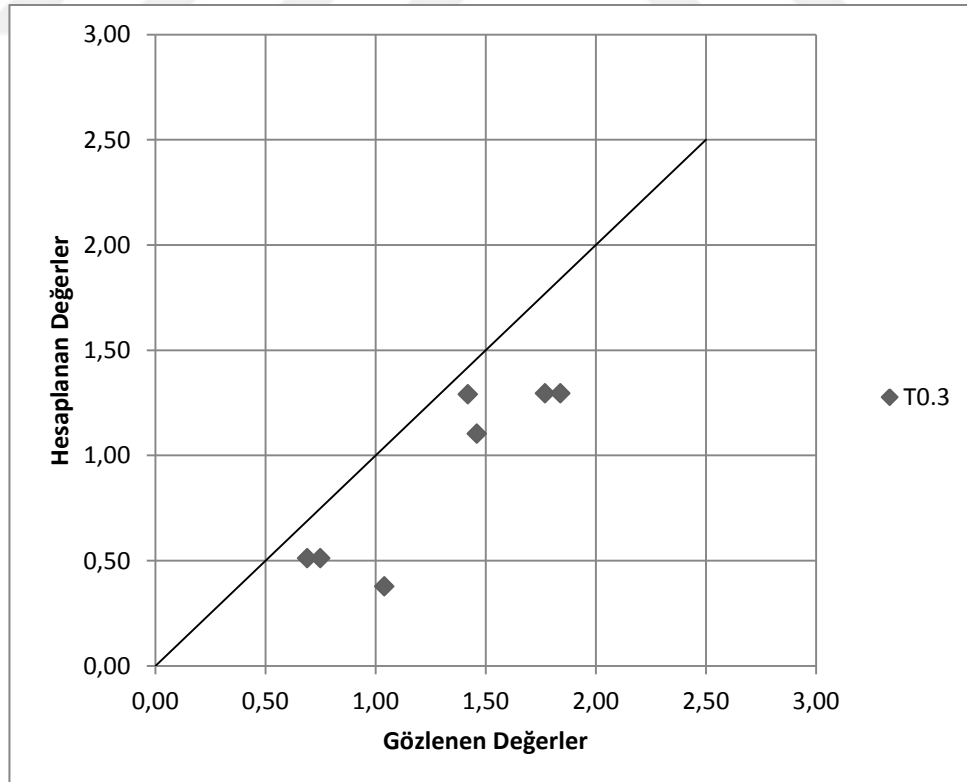
Şekil 7.11. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki



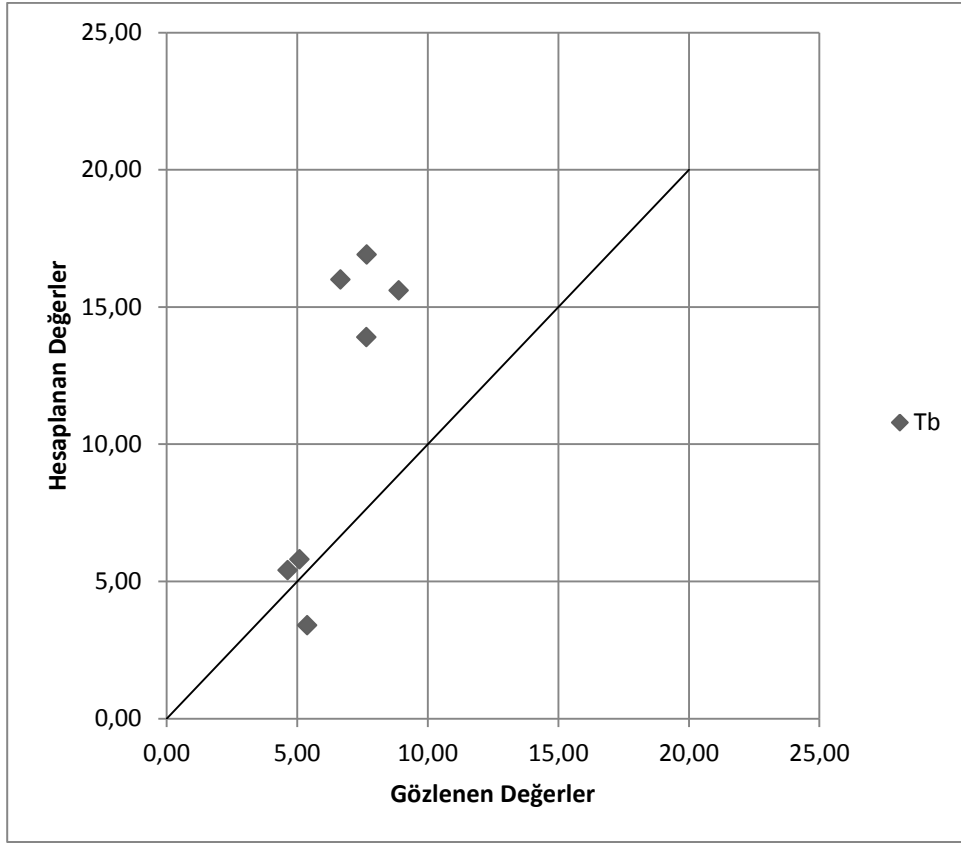
Şekil 7.12. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait t_g değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7.13. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait α değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7.14. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7.15. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki

Yukarıdaki grafiklerden de görüleceği gibi hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenmiş olan birim hidrografa ait parametreler arasında düzgün bir ilişki olmadığı anlaşılmaktadır. Bu yüzden Nakayasu S.B.H. yöntemini Türkiye havzalarında kullanılabilecek şekilde yeniden modifiye ederek düzenlenmesi gerektiği görülmektedir.

7.2.1.2. Modifiye Edilmiş Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması

Seçmiş olduğumuz küçük ölçekli alt havzalara ait birim hidrografa ait parametreler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen parametrelerin arasındaki farkların çok oluşundan dolayı Nakayasu S.B.H. yönteminin olduğu şekli ile Türkiye'deki küçük ölçekli havzalarda kullanılmaya pek elverişli olmadığı görülmüştür. Bu doğrultuda Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen ve birim hidrograf parametrelerinin hesabında kullanılan eşitlikler kullanmış olduğumuz gözlenmiş birim hidrograf parametreleri kullanılmak suretiyle regresyon analizi sonucu Türkiye havzalarında kullanılabilecek formata getirilmeye çalışılmıştır.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile $L < 15$ km olan havzalarda gecikme zamanının (t_g) hesabı için eşitlik 5.31 kullanılmaktadır.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitliğin Türkiye havzalarında kullanılabilmesi için eşitlik 5.31 ile verilen 0.21 katsayısına C_1 ve 0.7 katsayısına ise C_2 denilip aşağıdaki formda yazılabilir.

$$t_g = C_1 L^{C_2} \quad (7.1)$$

Kullanmış olduğumuz alt havzalara ait birim hidrograf parametreleri kullanılmak suretiyle regresyon analizi sonucu C_1 ve C_2 katsayıları sırası ile 0.388 ve 0.552 ve regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.888$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir. Elde edilen bu katsayılar kullanılarak t_g denkleminin son formu aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$t_g = 0.388 L^{0.552} \quad (7.2)$$

Nakayasu S.B.H. yönteminin en büyük eksikliklerinden biri havza katsayısı olarak seçilen α değerlerinin hesabı için herhangi bir eşitlik sunulmamasıdır. Bu yüzden α değerlerinin belirlenmesi, özellikle havzaya ait gözlenmiş birim hidrograf iniş ve çıkış eğrileri olmadan oldukça zor olmaktadır.

Çalışmamızda Nakayasu S.B.H. yönteminin, bu eksikliğini giderebilmek amacı ile havza katsayısı olarak ifade edilen α değerlerinin belirlenmesi için bir eşitlik geliştirilmeye çalışılmıştır. Hesaplanan T_p ve t_g değerleri ile havza uzunluğu L ve havza alanı A değerleri kullanılarak aşağıda belirtilen denklem regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.944$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir.

$$\alpha = -1.933 T_p + 12.279 t_g - 1.485 L + 0.090 A \quad (7.3)$$

Yukarıda belirtilen t_g ve α denklemleri Türkiye havzaları için modifiye edildikten sonra Nakayasu S.B.H. yöntemi ile önerilen ve havzalara ait Q_p değerlerinin hesabı için kullanılan eşitlik 5.34 modifiye ettiğimiz 7.2 ve 7.3 denklemleri yardımıyla hesaplamış olduğumuz birim hidrograf parametreleri kullanılarak Türkiye'deki küçük ölçekli havzalarda kullanılabilecek şekilde modifiye edilmeye çalışılmış ve regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.997$ değerinde bir uyumun iyiliği ile aşağıdaki şekilde hesap edilmiştir.

$$Q_p = \frac{(0.9953 A R_0)}{(3.6 (0.3 T_p + T_{0.3}))} \quad (7.4)$$

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen 5.34 denklemindeki C katsayısı daha önce yapılmış bütün çalışmalarda hep 1 olarak alınmıştır. Yukarıda elde edilen 7.4 eşitliğinden de görüldüğü üzere, C katsayısının 1'den farklı bir sayı olarak alınabileceği görülmektedir.

Nakayasu S.B.H. yönteminin bir diğer eksik özelliği ise birim hidrograf taban süresi T_b 'nin hesabı için herhangi bir eşitlik önerilmemesidir. Bu eksiklikten dolayı iniş eğrisi için verilen eşitlik ile hesaplar yapıp sonucun sıfıra yaklaştığı yere kadar birim hidrograf iniş eğrisi uzatılmakta ve bu şekilde birim hidrografa ait T_b değeri hesaplanmaktadır. Çalışmamızda Nakayasu S.B.H. yönteminin bu eksikliğini gidermek amacı ile T_b birim hidrograf taban süresinin hesabı için sentetik olarak hesaplanan birim hidrograf parametrelerine bağlı olarak bir eşitlik geliştirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen denklem regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.744$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir ve aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$T_b = 2.2 \left(\frac{T_{0.3} + T_p}{t_r} \right)^{1.01} \quad (7.5)$$

Modifiye edilen Nakayasu S.B.H. denklemleri kullanılarak çalışmamızda kullanmış olduğumuz küçük ölçekli havzalara ait birim hidrograf parametreleri sentetik olarak hesap edilmiş olup elde edilen sonuçlar Çizelge 7.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 7. 5. Modifiye Edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen birim hidrograf parametreleri

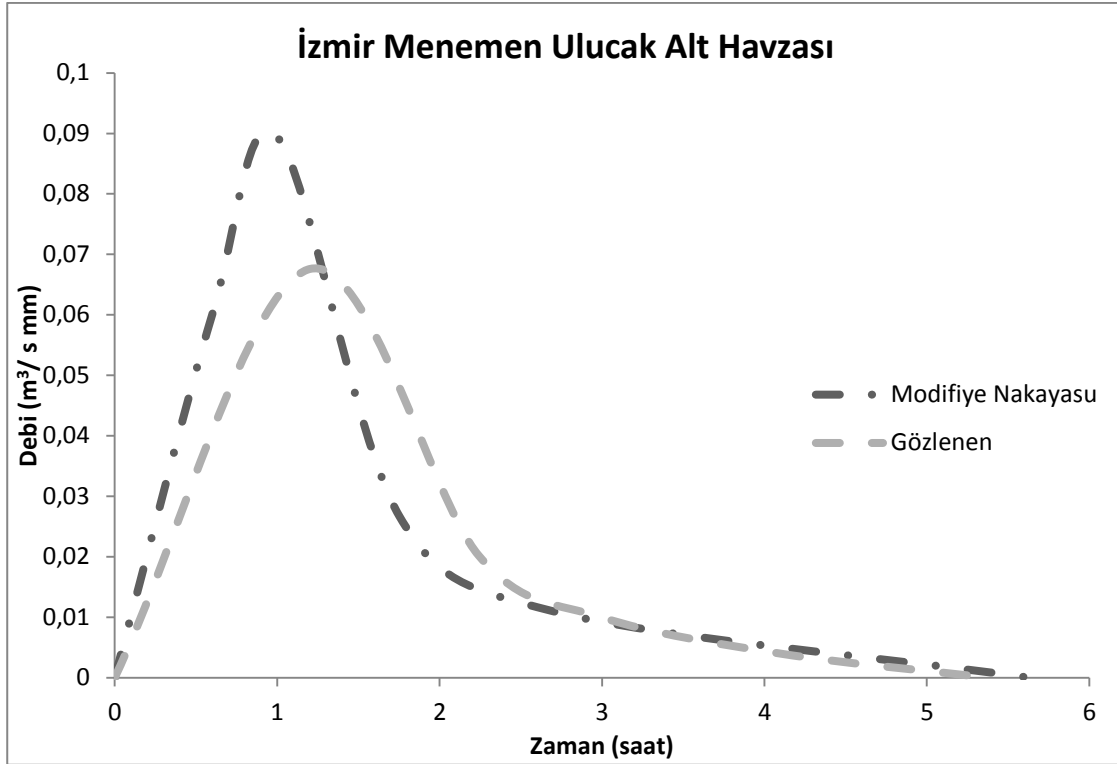
Havzalar		Modifiye Edilmiş Nakayasu S.B.H. ile tahmin Edilen Parametreler					
		t_g (sa)	T_p (sa)	Q_p (m ³ /s mm)	α	$T_{0.3}$ (sa)	T_b (sa)
1	Izmir-Menemen-Ulucak	0.449	1.001	0.089	1.674	0.751	5.639
2	Konya-Seydisehir-Glabbera	0.569	1.369	0.265	1.479	0.842	4.904
3	Mersin-Tarsus-Topçu	0.569	1.369	0.366	1.523	0.867	4.960
4	Konya-Beyşehir-Karabalçık	0.944	1.744	1.350	1.745	1.647	7.557
5	Adıyaman-Kahta-Harabe	1.044	1.844	1.609	1.389	1.451	7.340
6	Yozgat-Sorgun-Ikikara	0.944	1.744	1.514	1.960	1.850	8.014
7	Ankara-Haymana-Catalkaya	1.181	1.981	2.556	1.209	1.428	7.600

Modifiye edilen denklemler yardımı ile sentetik olarak hesap edilen birim hidrograf parametreleri ile seçmiş olduğumuz küçük ölçekli alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograf parametreleri arasındaki farklar Çizelge 7.6’da gösterilmiştir.

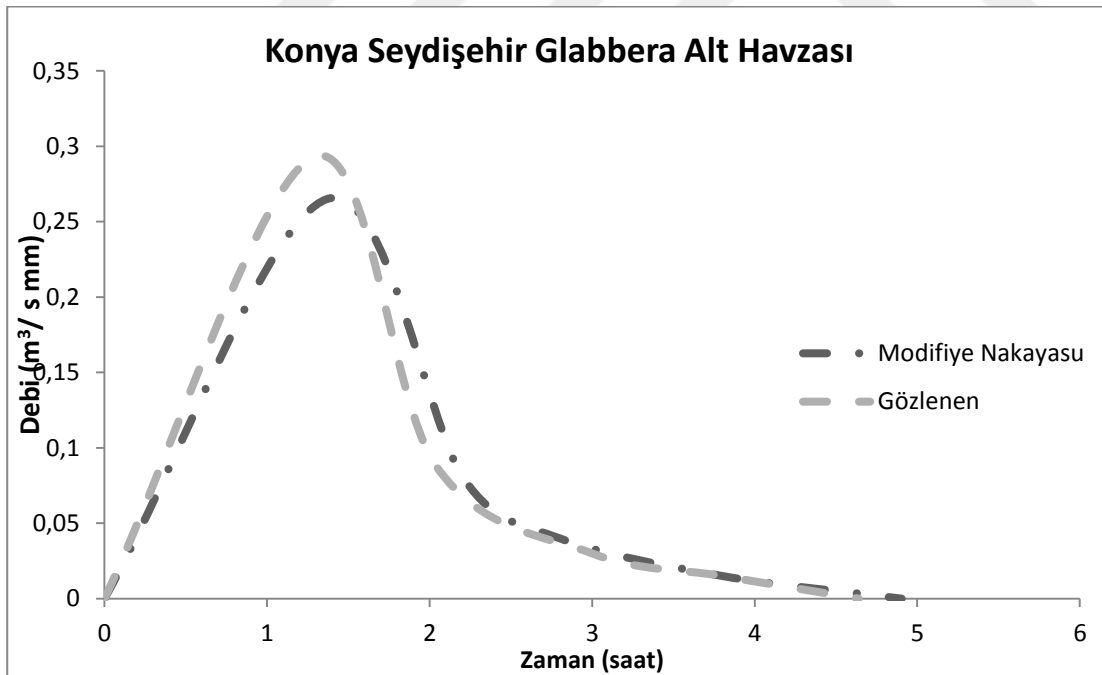
Çizelge 7. 6. Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş birim hidrograf parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler		Havzalar						
		1	2	3	4	5	6	7
		Ulucak	Glabbera	Topçu	Karabalçık	Harabe	İkikara	Çatalkaya
Q_p	Göz.	0.068	0.293	0.435	1.284	1.599	1.525	2.579
	Mod. Nak.	0.089	0.265	0.366	1.350	1.609	1.514	2.556
	Fark	0.021	0.028	0.069	0.066	0.010	0.011	0.023
	Hata%	30.882	9.556	15.862	5.140	0.625	0.721	0.892
T_p	Göz.	1.190	1.290	1.270	1.750	1.880	1.750	2.000
	Mod. Nak.	1.001	1.369	1.369	1.744	1.844	1.744	1.981
	Fark	0.189	0.079	0.099	0.006	0.036	0.006	0.019
	Hata%	15.882	6.124	7.795	0.343	1.915	0.343	0.950
t_g	Göz.	0.638	0.490	0.470	0.950	1.080	0.950	1.200
	Mod. Nak.	0.449	0.569	0.569	0.944	1.044	0.944	1.181
	Fark	0.189	0.079	0.099	0.006	0.036	0.006	0.019
	Hata%	29.624	16.122	21.064	0.632	3.333	0.632	1.583
α	Göz.	1.630	1.531	1.468	1.863	1.352	1.937	1.183
	Mod. Nak.	1.674	1.479	1.523	1.745	1.389	1.960	1.209
	Fark	0.044	0.052	0.055	0.118	0.037	0.023	0.026
	Hata%	2.699	3.396	3.747	6.334	2.737	1.187	2.151
$T_{0.3}$	Göz.	1.040	0.750	0.690	1.770	1.460	1.840	1.420
	Mod. Nak.	0.751	0.842	0.867	1.647	1.451	1.850	1.428
	Fark	0.289	0.092	0.177	0.123	0.009	0.010	0.008
	Hata%	27.788	12.267	25.652	6.949	0.616	0.543	0.563
T_b	Göz.	5.390	4.640	5.090	8.890	7.650	6.660	7.670
	Mod. Nak.	5.639	4.904	4.960	7.557	7.340	8.014	7.600
	Fark	0.249	0.264	0.130	1.333	0.310	1.354	0.070
	Hata%	4.620	5.690	2.554	14.994	4.052	20.330	0.913
Q_p = Pik Debi, T_p =Pik zamanı, t_g =gecikme zamanı, α =Havza katsayısı, $T_{0.3}$ =Pik debinin %30’una indiği süre, T_b = birim hidrograf süresi								

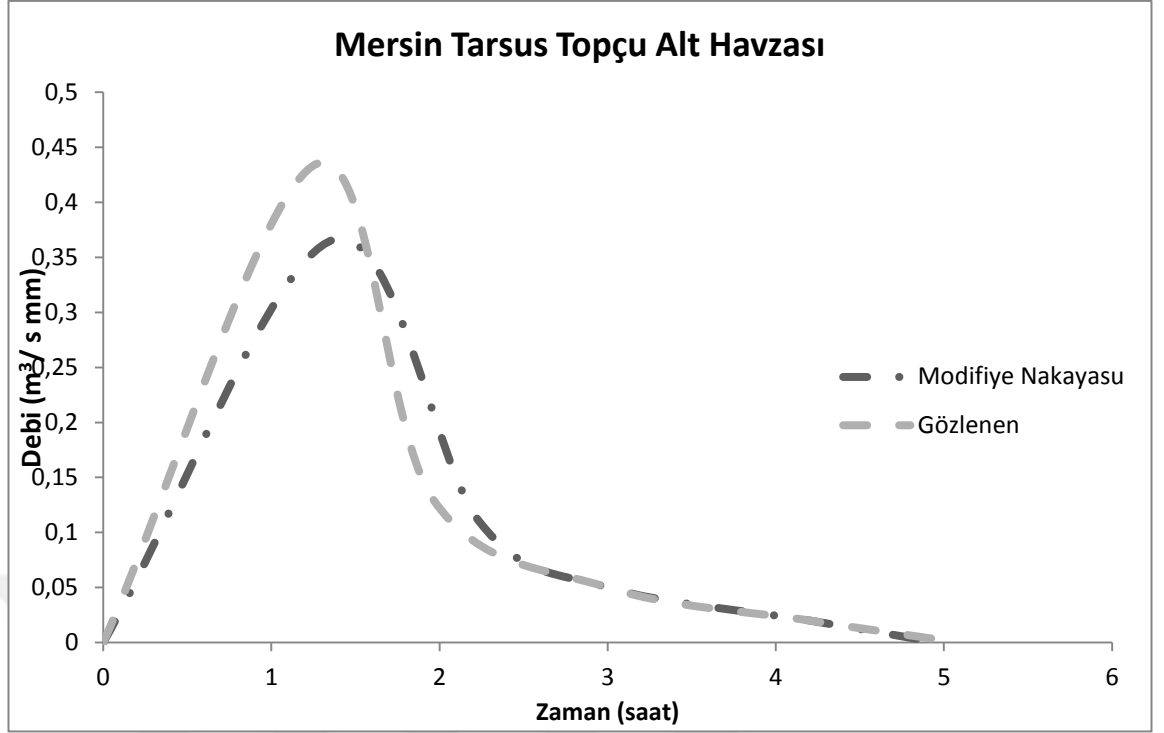
Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograf parametreleri kullanılarak birim hidrograflar sentetik olarak çizilmiştir ve gözlenmiş birim hidrograflarla karşılaştırılmıştır. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograflar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



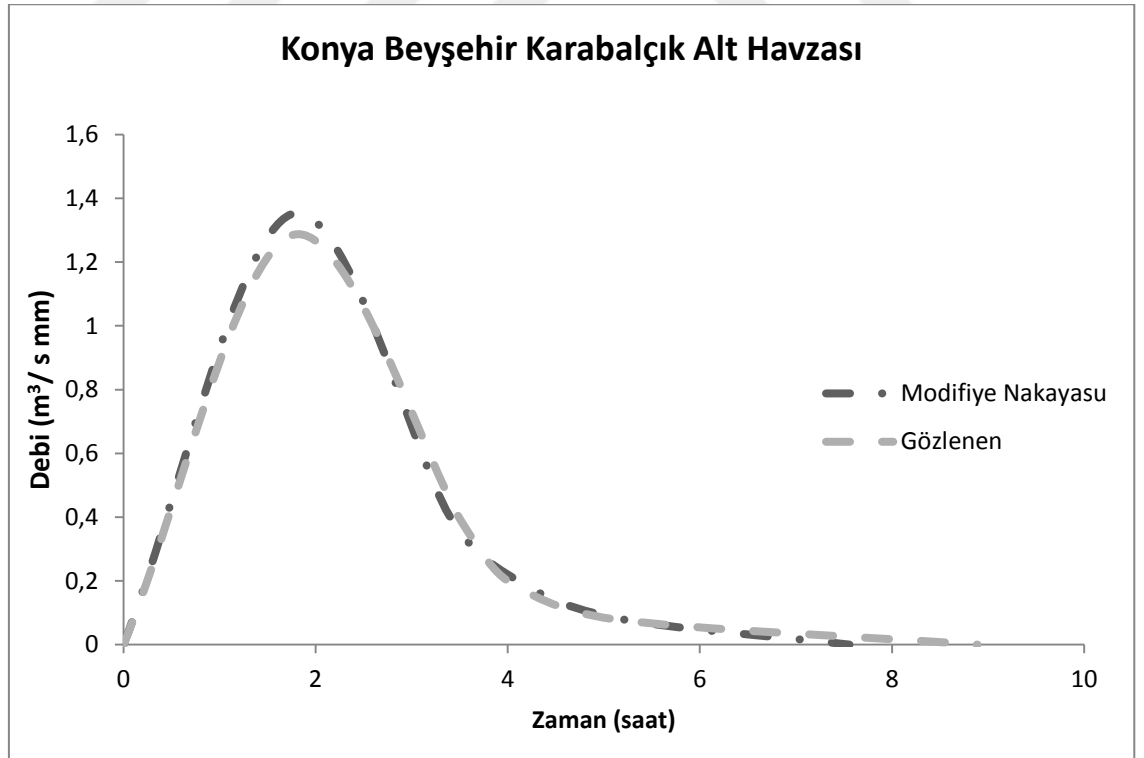
Şekil 7.16. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



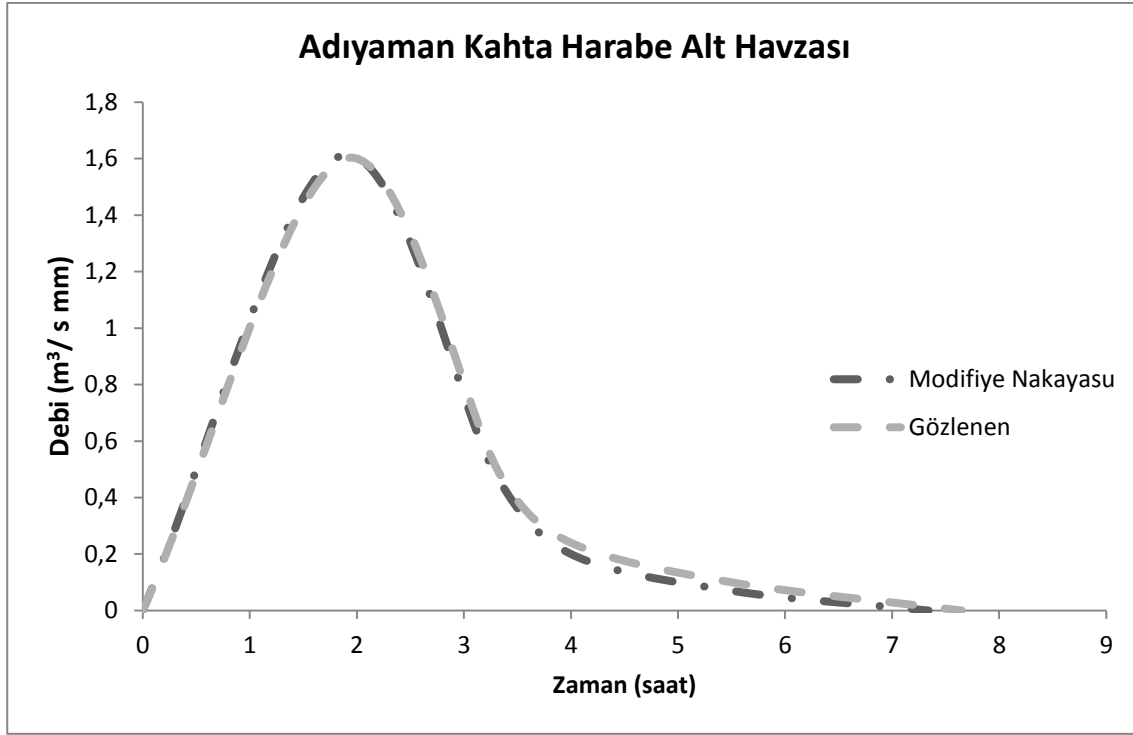
Şekil 7.17. Konya Seydişehir Glabbera alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



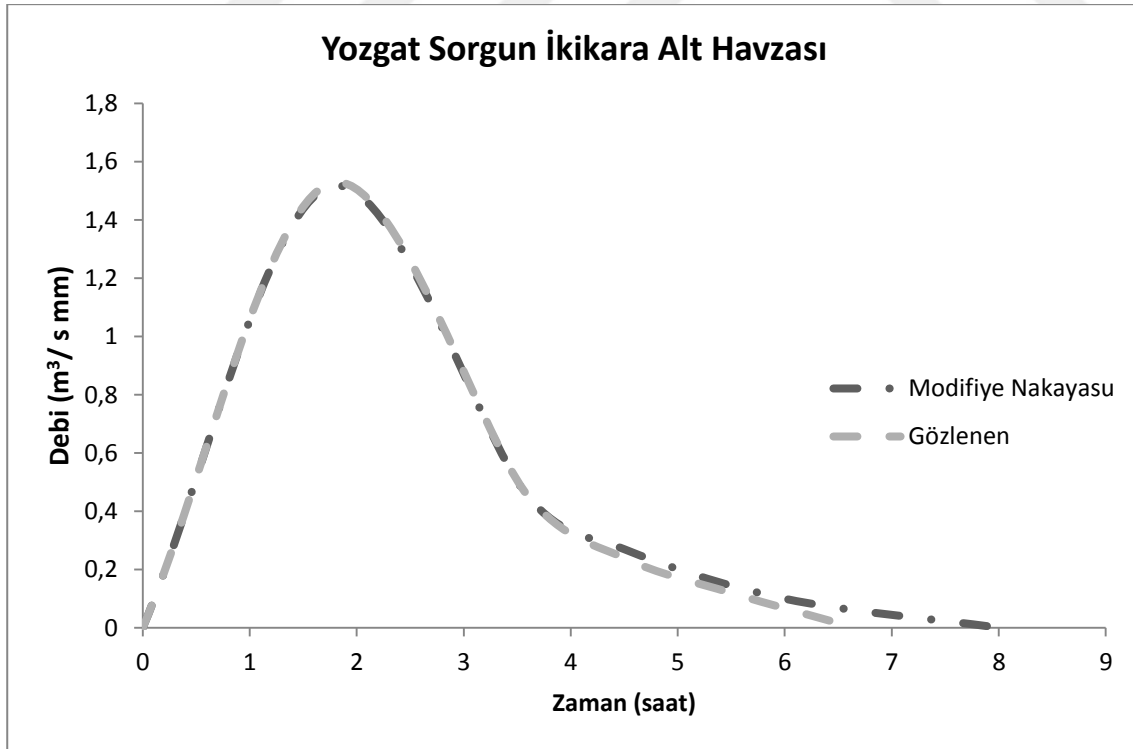
Şekil 7.18. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



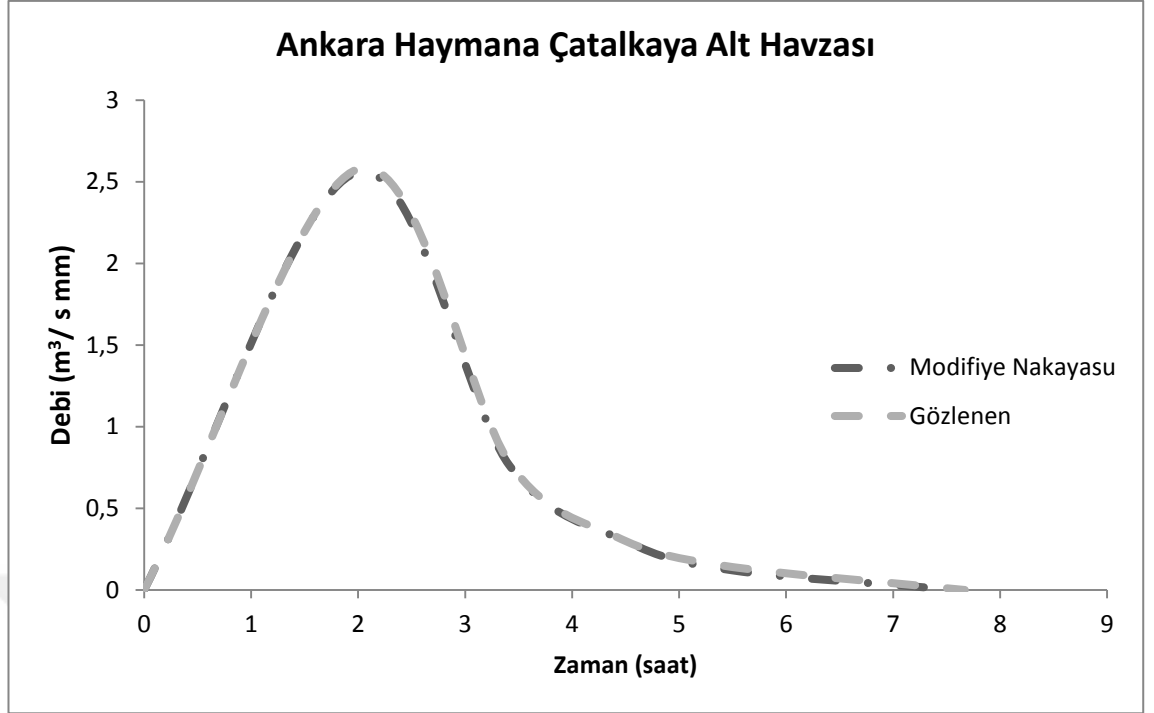
Şekil 7.19. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.20. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

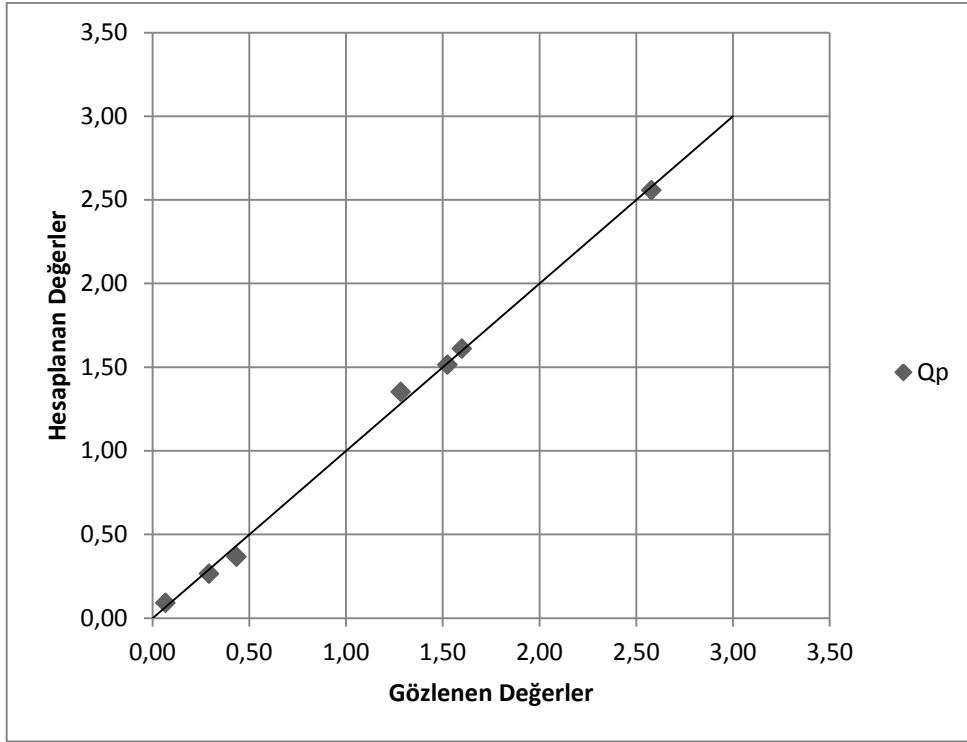


Şekil 7.21. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

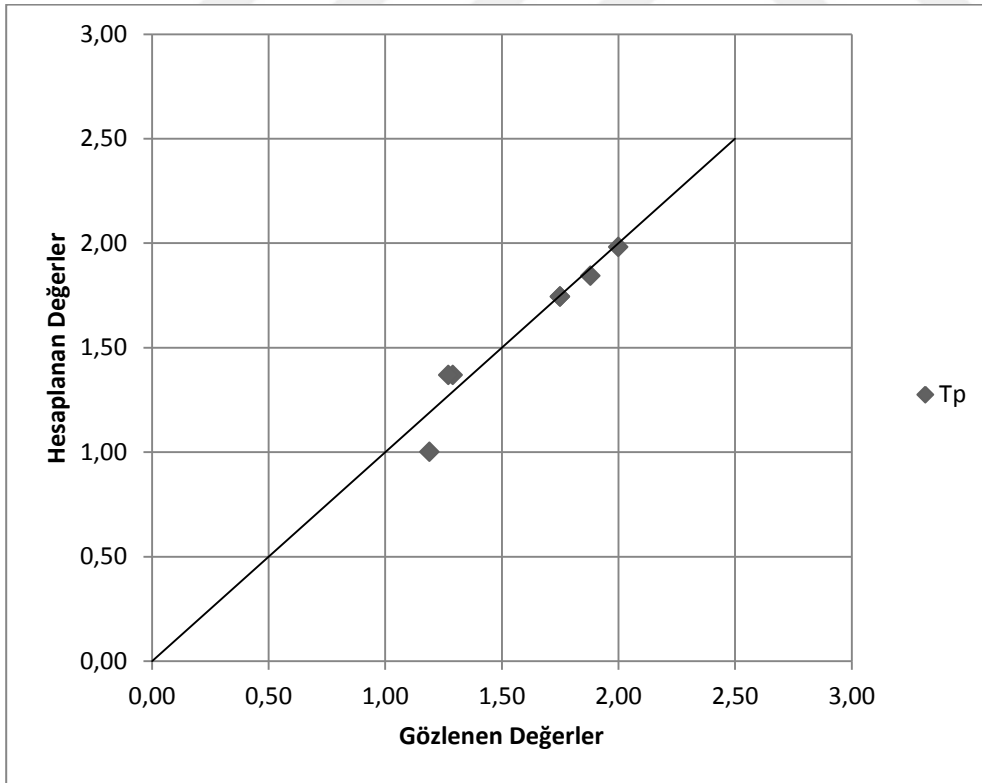


Şekil 7.22. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

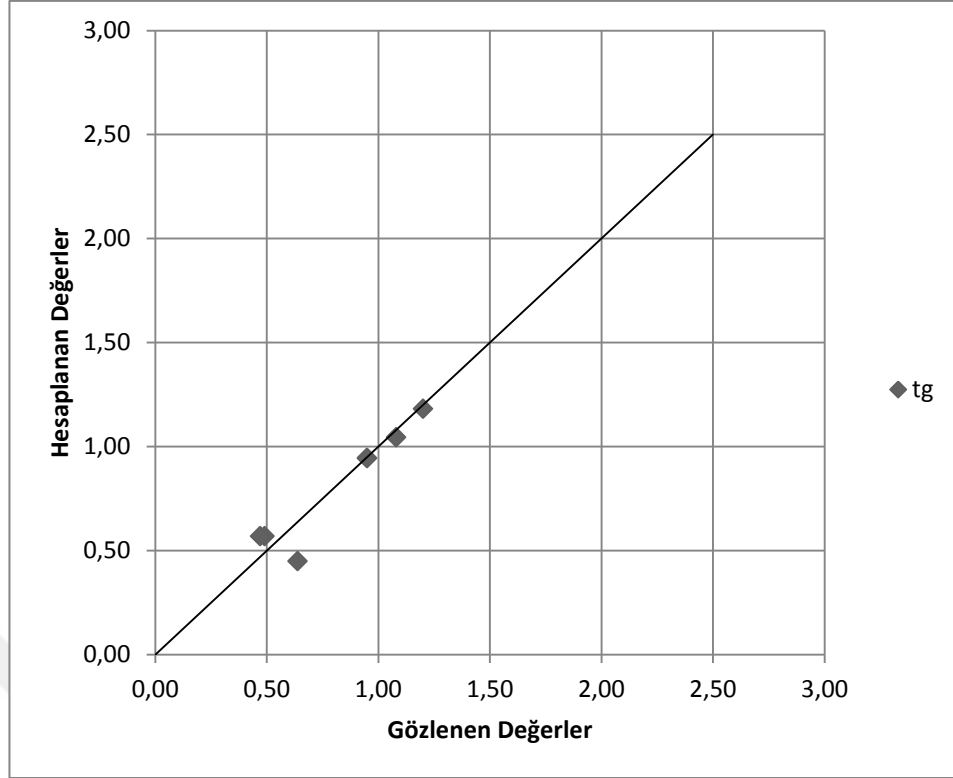
Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak elde edilen birim hidrograf parametreleri ve seçmiş olduğumuz alt havzalara ait gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler her bir birim hidrograf parametresi için aşağıdaki gibidir.



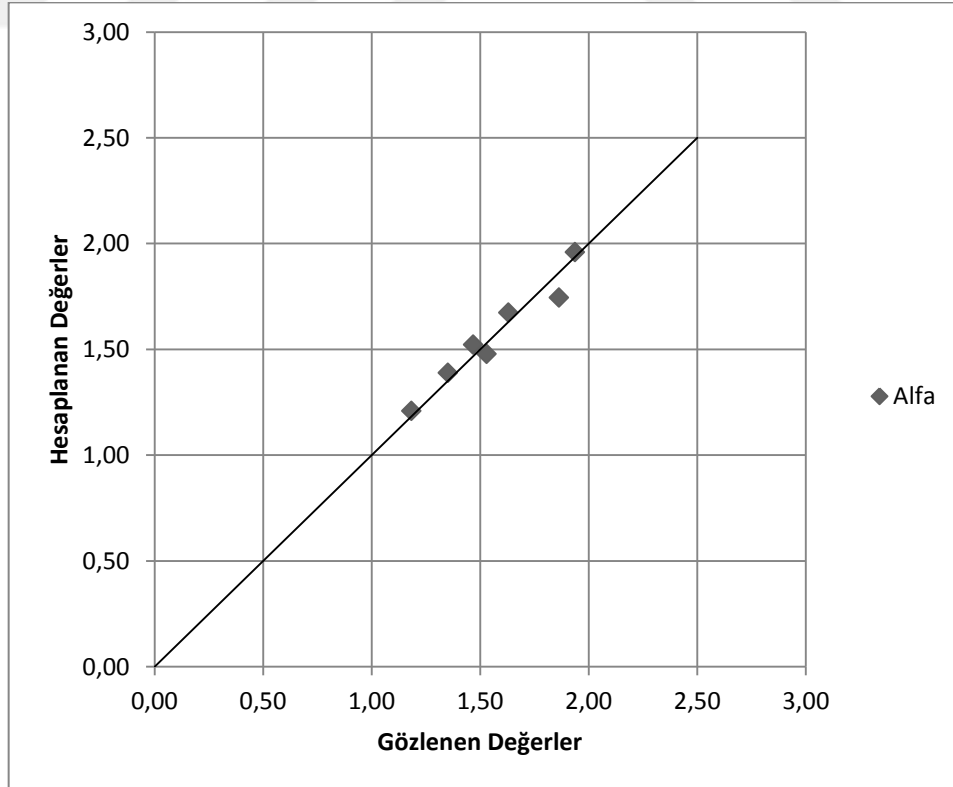
Şekil 7.23. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki



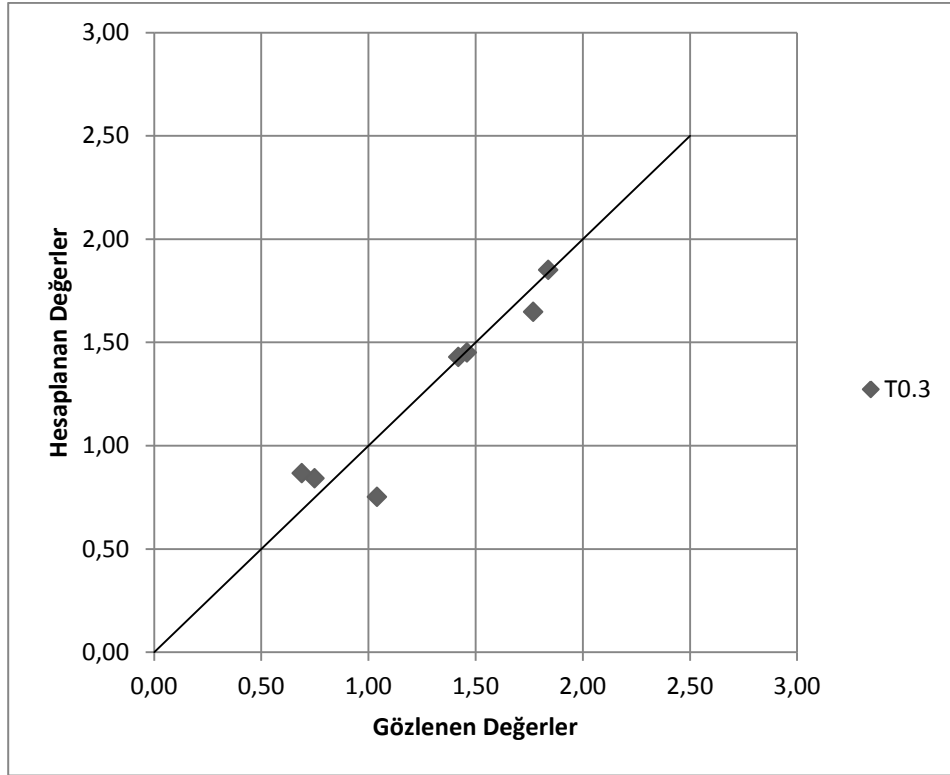
Şekil 7.24. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki



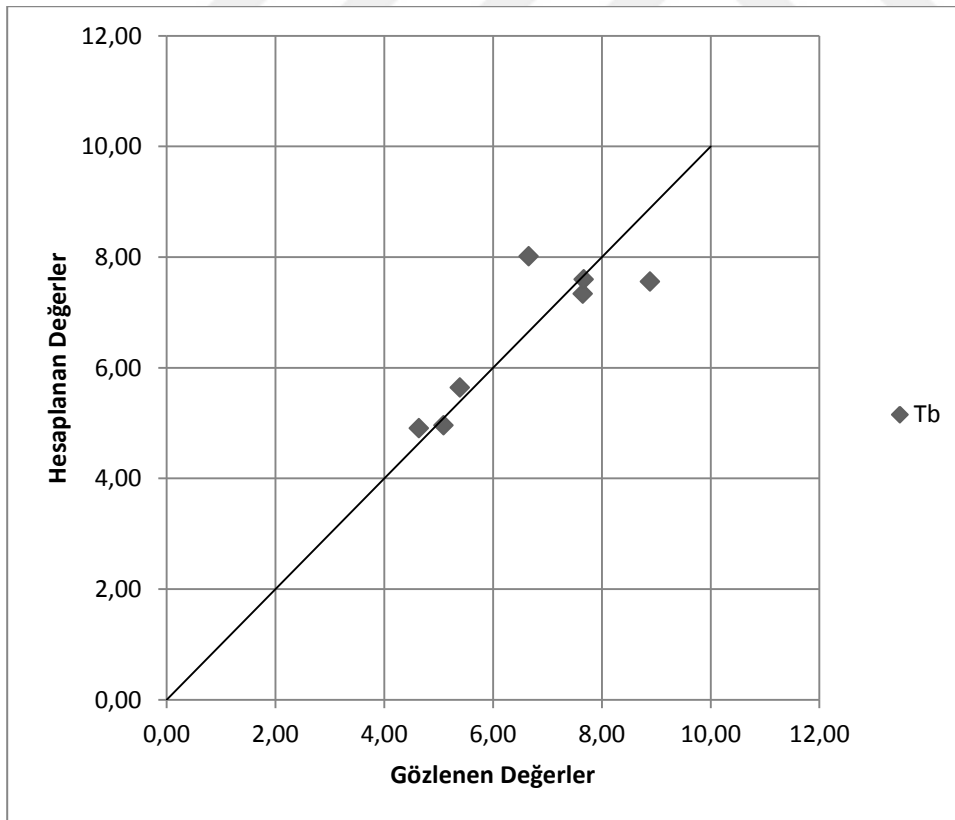
Şekil 7.25. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait tg değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7.26. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait α değerleri arasındaki ilişki



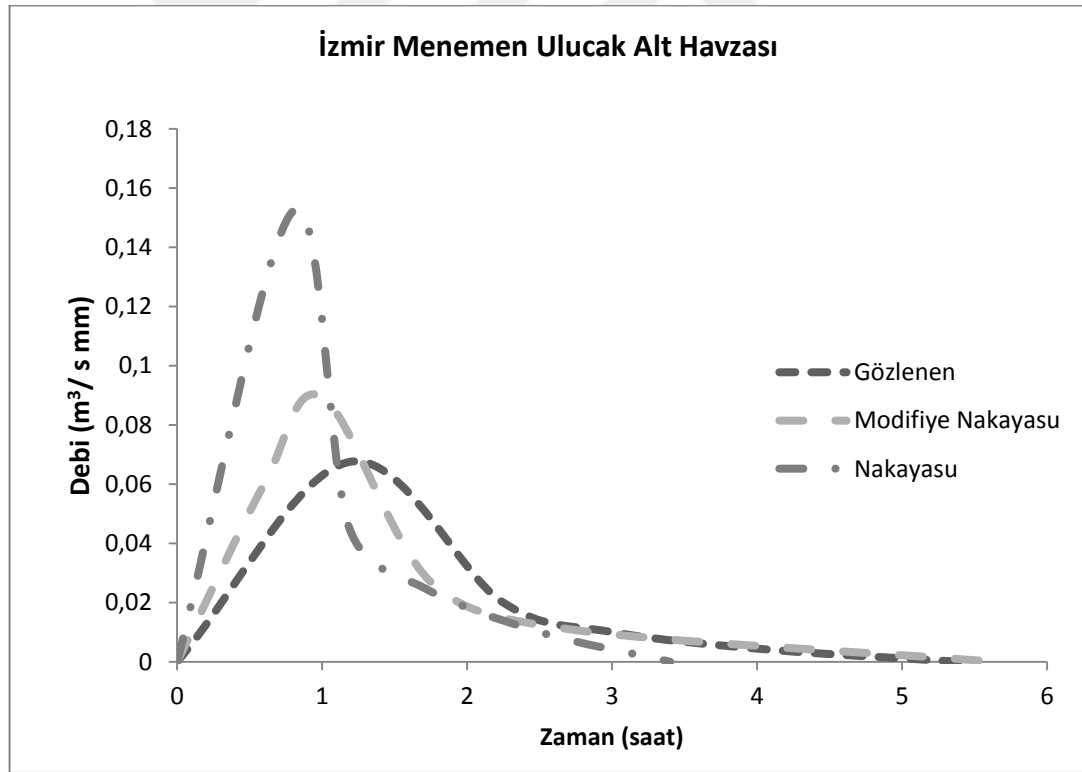
Şekil 7.27. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki



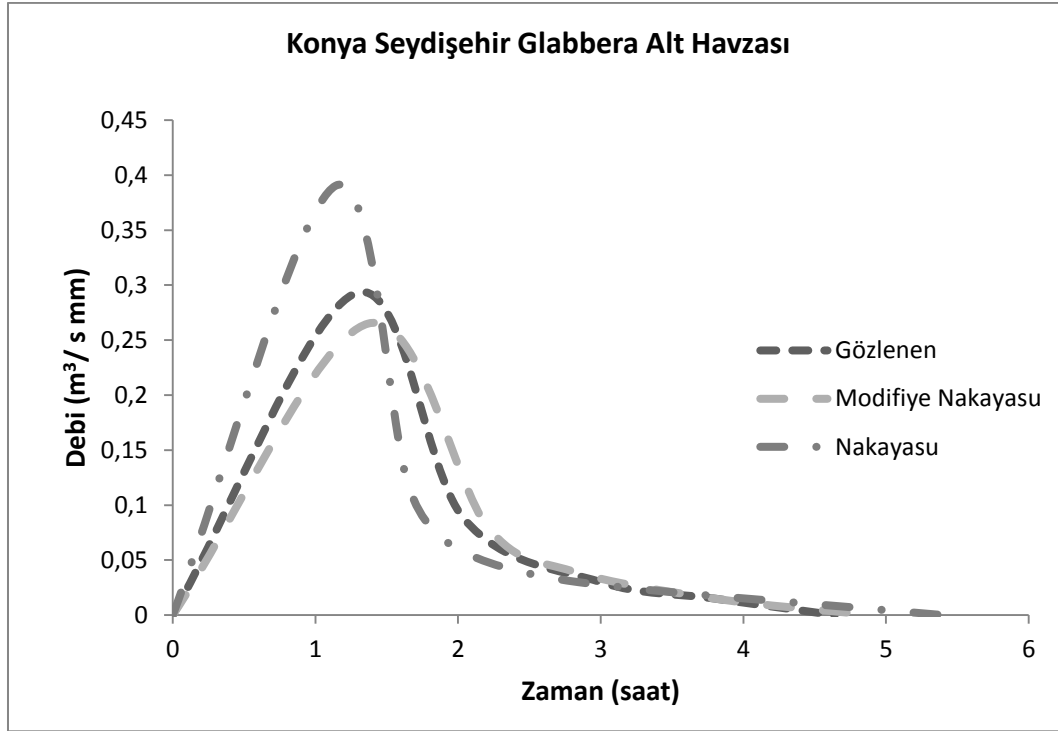
Şekil 7.28. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki

Yukarıdaki grafiklerden de görüleceği gibi Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenmiş olan birim hidrografa ait parametreler arasında Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan parametrelere oranla daha iyi bir ilişki olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Türkiye'deki küçük ölçekli havzalar için modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yönteminin Nakayasu S.B.H. yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve modifiye edilmiş hali ile kullanılmasının gerektiği görülmektedir.

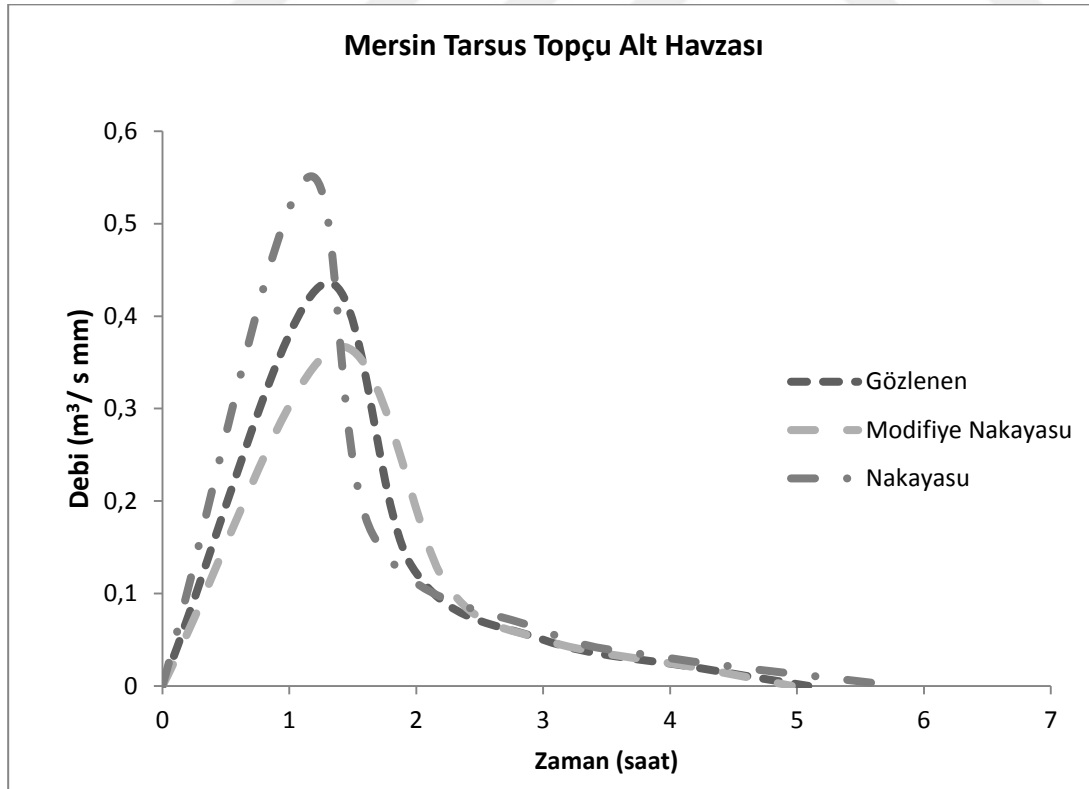
Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi, Nakayasu S.B.H. yöntemi ve gözlenerek elde edilmiş olan birim hidrografların karşılaştırıldığı şekiller aşağıda verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan parametrelerin ve bu parametreler kullanılarak çizilen birim hidrografların gözlenmiş birim hidrograflarla daha iyi örtüştüğü anlaşılmaktadır.



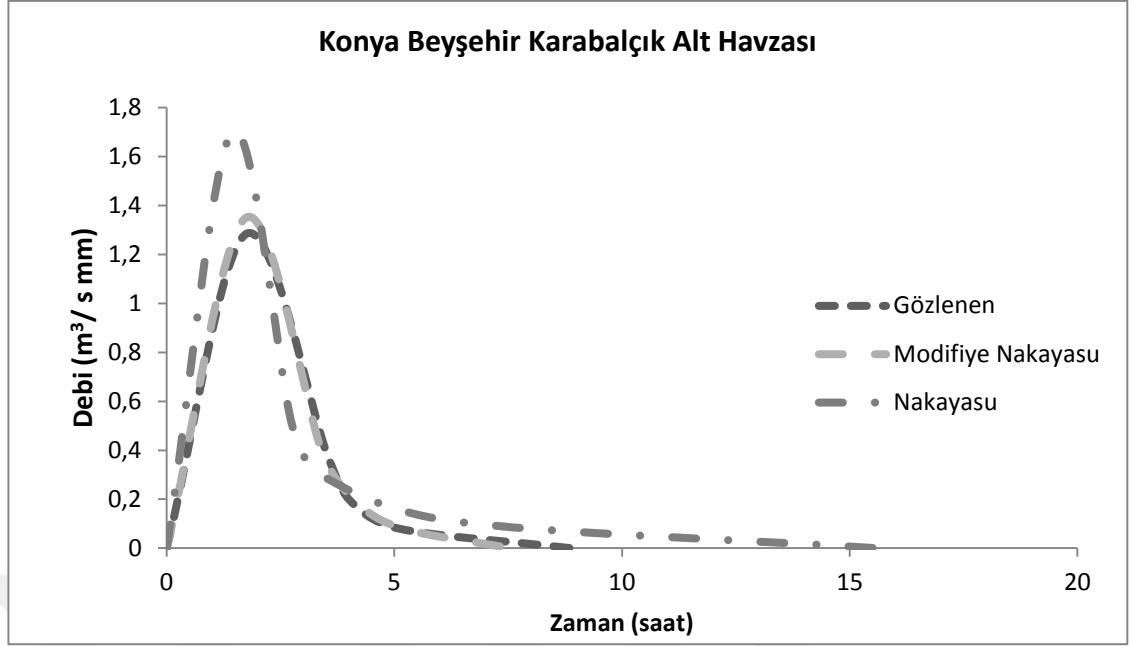
Şekil 7.29. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



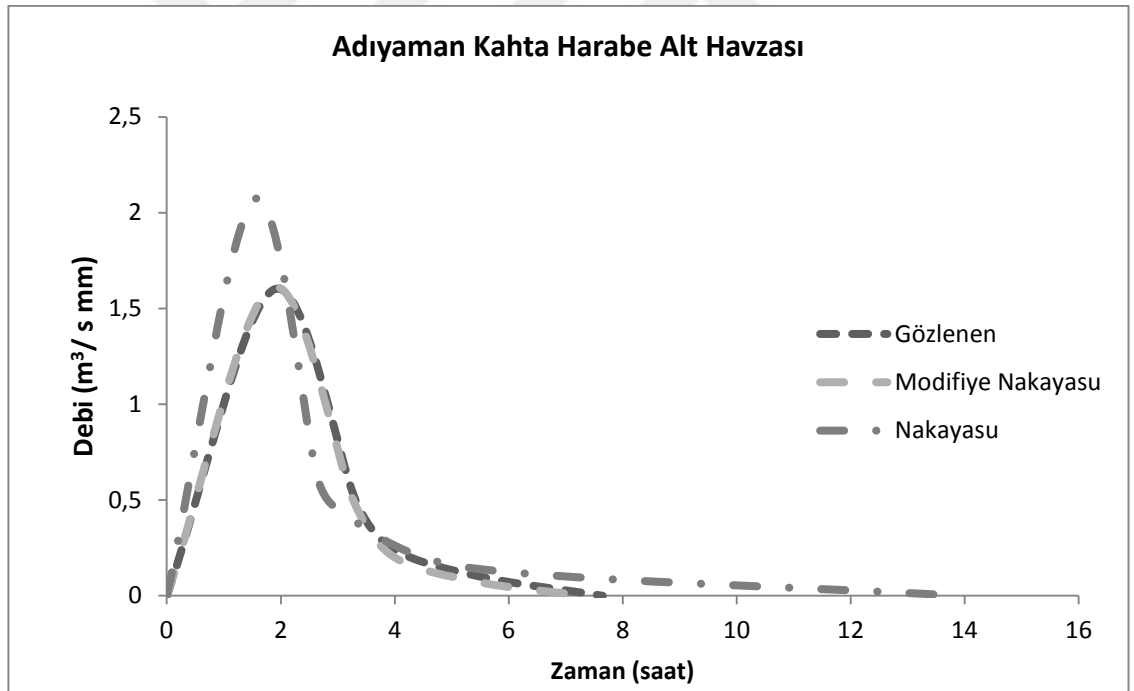
Şekil 7.30. Konya Seydişehir Glabbera alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



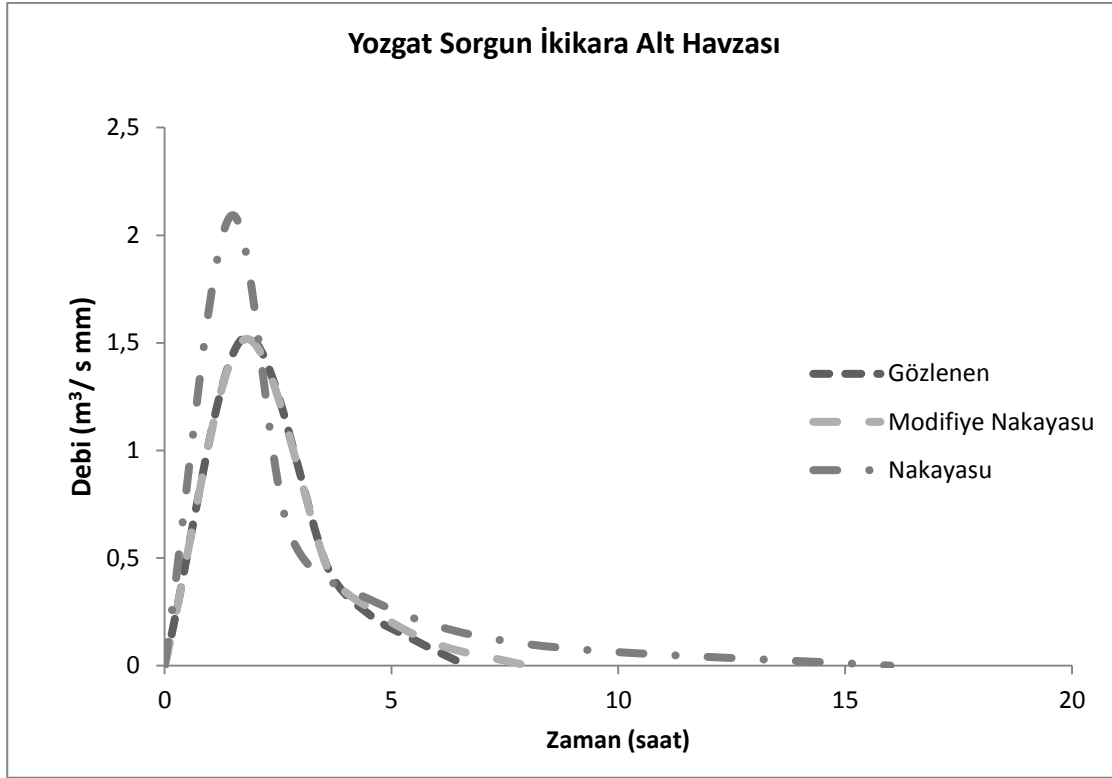
Şekil 7.31. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



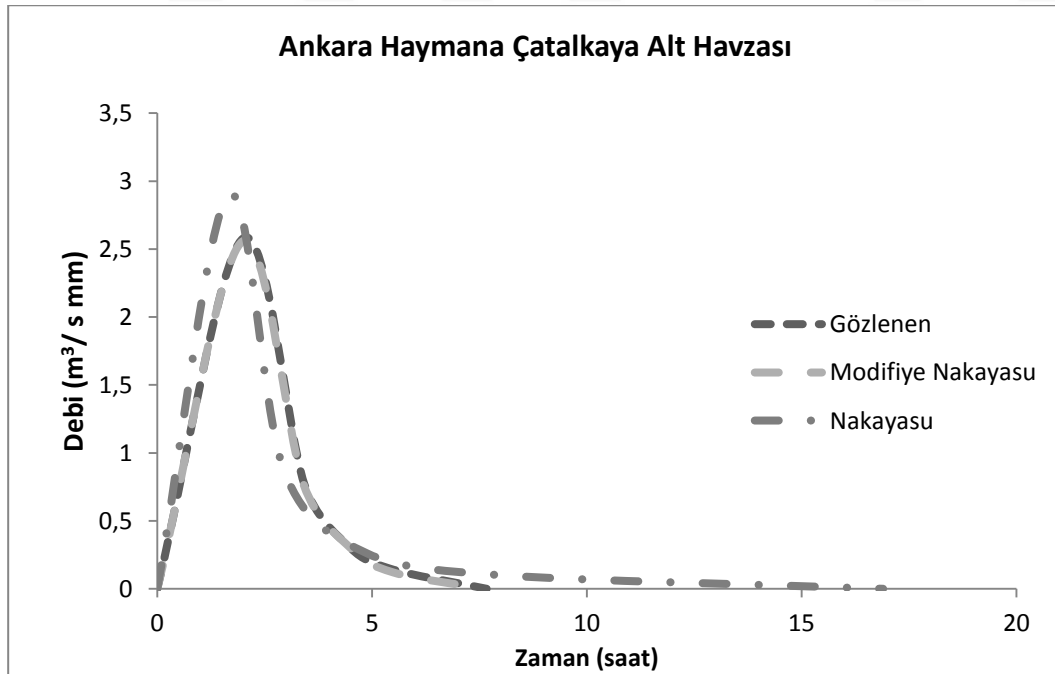
Şekil 7.32. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.33. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.34. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.35. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

7.2.2. Büyük Ölçekli Havzalar

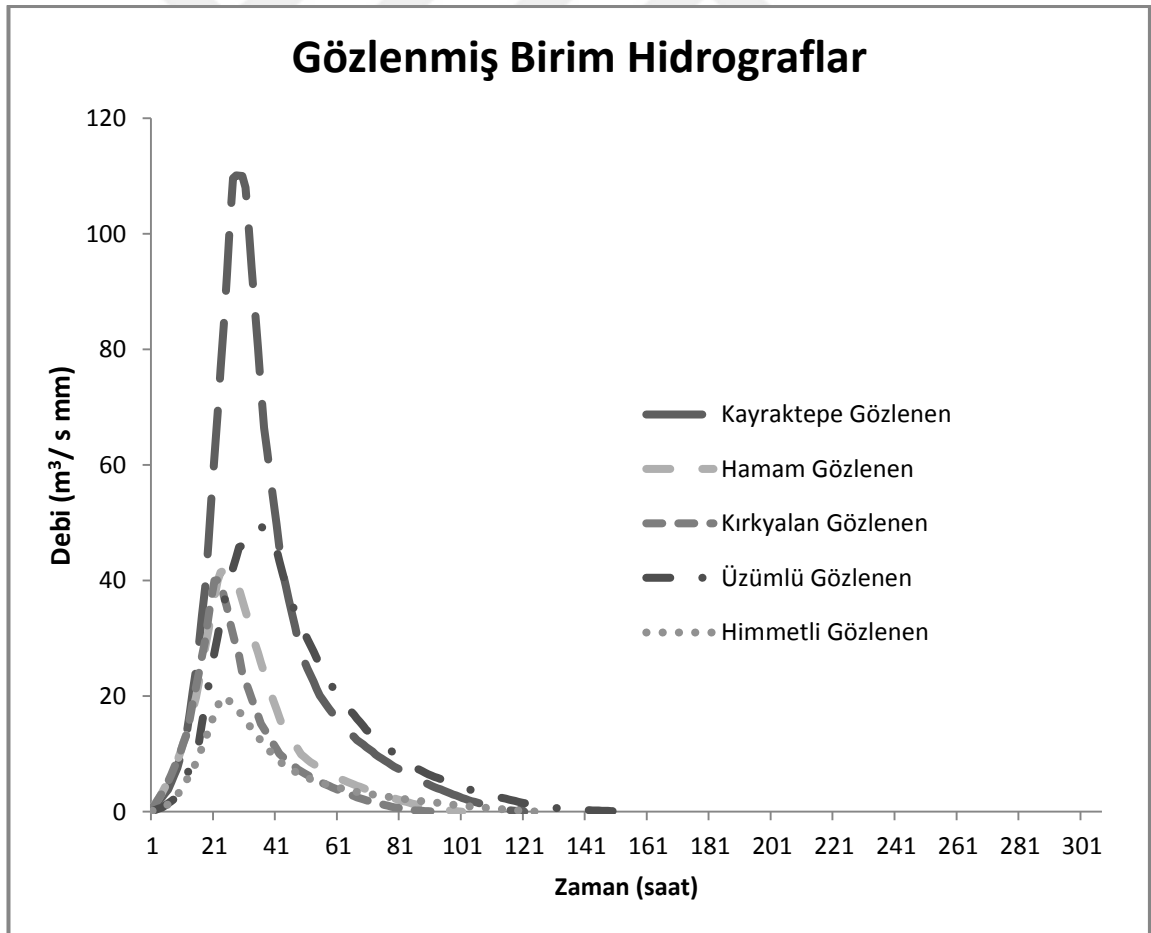
7.2.2.1. Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması

Çalışmamızda kullanılacak olan küçük ölçekli alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve alt havzalara ait bazı karakteristik özellikler Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7. 7. Büyük ölçekli havzalar ve gözlenmiş birim hidrograflara ait karakteristik özellikler

	Havzalar	A (km ²)	L (km)	L _C (km)	Q _p (m ³ /s mm)	t _r (sa)	T _p (sa)	T _b (sa)	T _{0,3} (sa)
1	Kayraktepe	9867	231	116	110.100	8	28	120	17.540
2	Üzümlü	7000	229	96.3	49.600	12	34	152	34.970
3	Hamam	4300	161	70.0	41.700	8	24	100	20.454
4	Kırkyalan	3545	148	57.0	40.100	8	22	93	17.660
5	Himmetli	2148	108	33.5	19.800	12	24	126	26.780

Seçilen alt havzalarda gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri kullanılarak çizilen birim hidrograflar şekil 7.36’daki gibidir.



Şekil 7.36. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar

7. MATERYAL VE METOD

Türkiye havzalarından çalışmamızda kullanmış olduğumuz yukarıda belirtilen büyük ölçekli havzalar seçilmiştir. Bu havzalar için Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler yardımı ile birim hidrograf parametreleri sentetik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Nakayasu S.B.H. parametreleri Çizelge 7.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 7. 8. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri

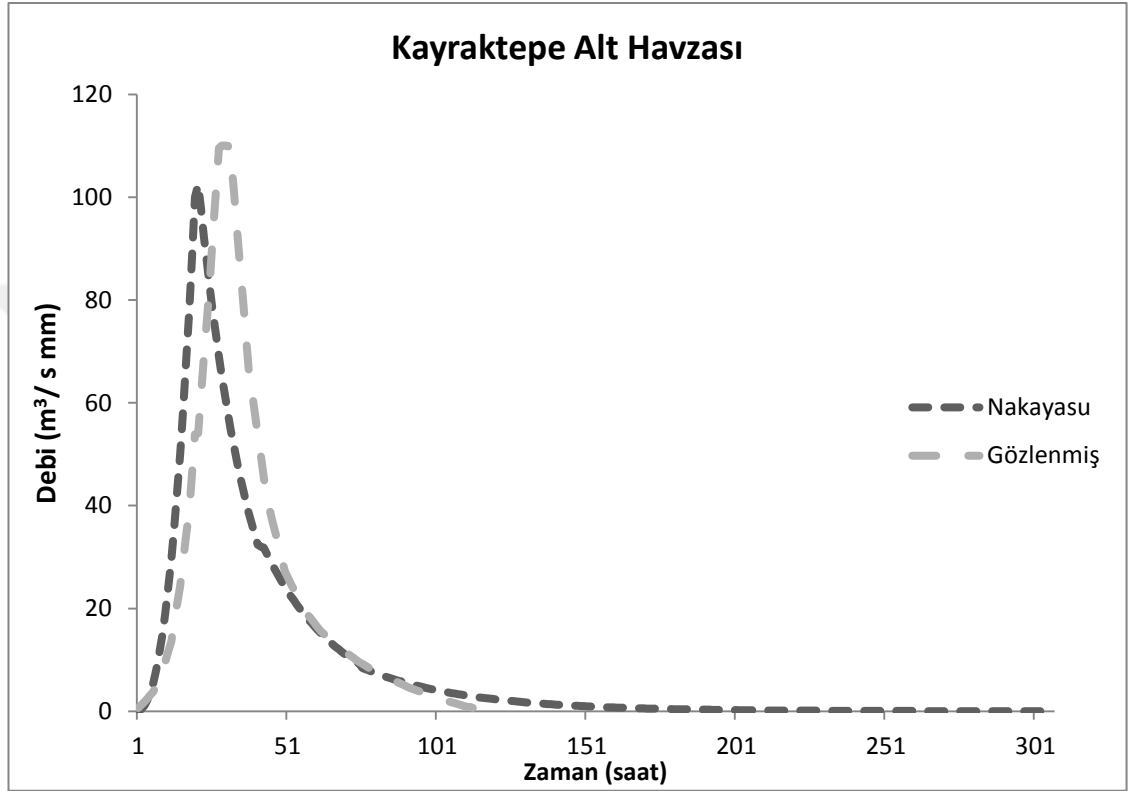
Havzalar		Nakayasu S.B.H. ile tahmin Edilen Parametreler					
		t_g (sa)	T_p (sa)	Q_p (m ³ /s mm)	α	$T_{0.3}$ (sa)	T_b (sa)
1	Kayraktepe	13.748	20.198	102.437	1.5	20.697	306
2	Üzümlü	13.682	23.282	70.688	1.5	20.523	294
3	Hamam	9.738	16.138	61.416	1.5	14.607	204
4	Kırkyalan	8.984	15.384	54.431	1.5	13.476	186
5	Himmetli	6.664	16.264	32.771	2	13.328	175

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenmiş birim hidrograf parametreleri arasındaki fark Çizelge 7.9’da verilmiştir.

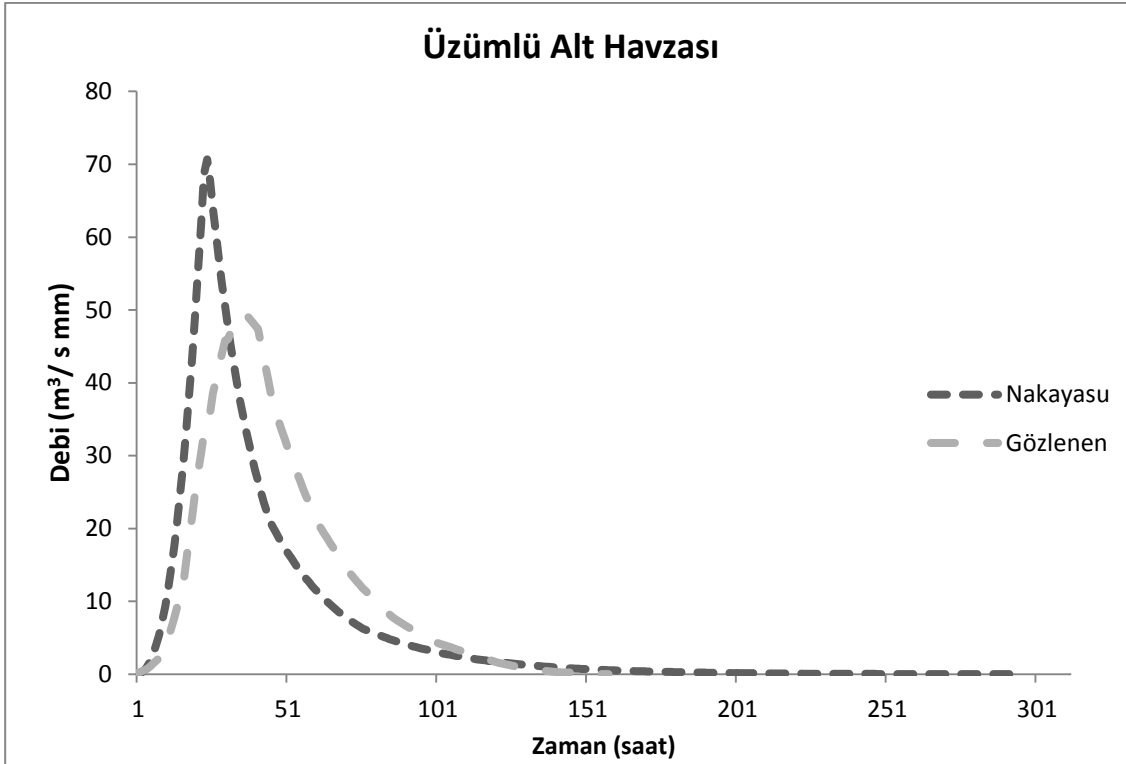
Çizelge 7.9. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrograflara ait parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler		Havzalar				
		1	2	3	4	5
		Kayraktepe	Üzümlü	Hamam	Kırkyalan	Himmetli
Q_p	Göz.	110.100	49.600	41.700	40.100	19.800
	Nak.	102.437	70.688	61.416	54.431	32.771
	Fark	7.663	21.088	19.716	14.331	12.971
	Hata%	6.960	42.516	47.281	35.738	65.510
T_p	Göz.	28	34	24	22	24
	Nak.	20.198	23.282	16.138	15.384	16.264
	Fark	7.802	10.718	7.862	6.616	7.736
	Hata%	27.864	31.524	32.758	30.073	32.233
t_g	Göz.	21.600	24.400	17.600	15.600	14.400
	Nak.	13.798	13.682	9.738	8.984	6.664
	Fark	7.802	10.718	7.862	6.616	7.736
	Hata%	36.120	43.926	44.670	42.410	53.722
α	Göz.	0.812	1.433	1.162	1.132	1.860
	Nak.	1.5	1.5	1.5	1.5	2
	Fark	0.688	0.067	0.338	0.368	0.140
	Hata%	84.729	4.676	29.088	32.509	7.527
$T_{0.3}$	Göz.	17.540	34.970	20.454	17.660	26.780
	Nak.	20.697	20.523	14.607	13.476	13.328
	Fark	3.157	14.447	5.847	4.184	13.452
	Hata%	18.030	41.313	28.586	23.692	50.232
T_b	Göz.	120	152	100	93	126
	Nak.	306	294	204	186	175
	Fark	186	142	104	93	49
	Hata%	155	93.421	104	100	38.889
Q_p = Pik Debi, T_p =Pik zamanı, t_g =gecikme zamanı, α =Havza katsayısı, $T_{0.3}$ =Pik debinin %30’una indiği süre, T_b = birim hidrograf süresi						

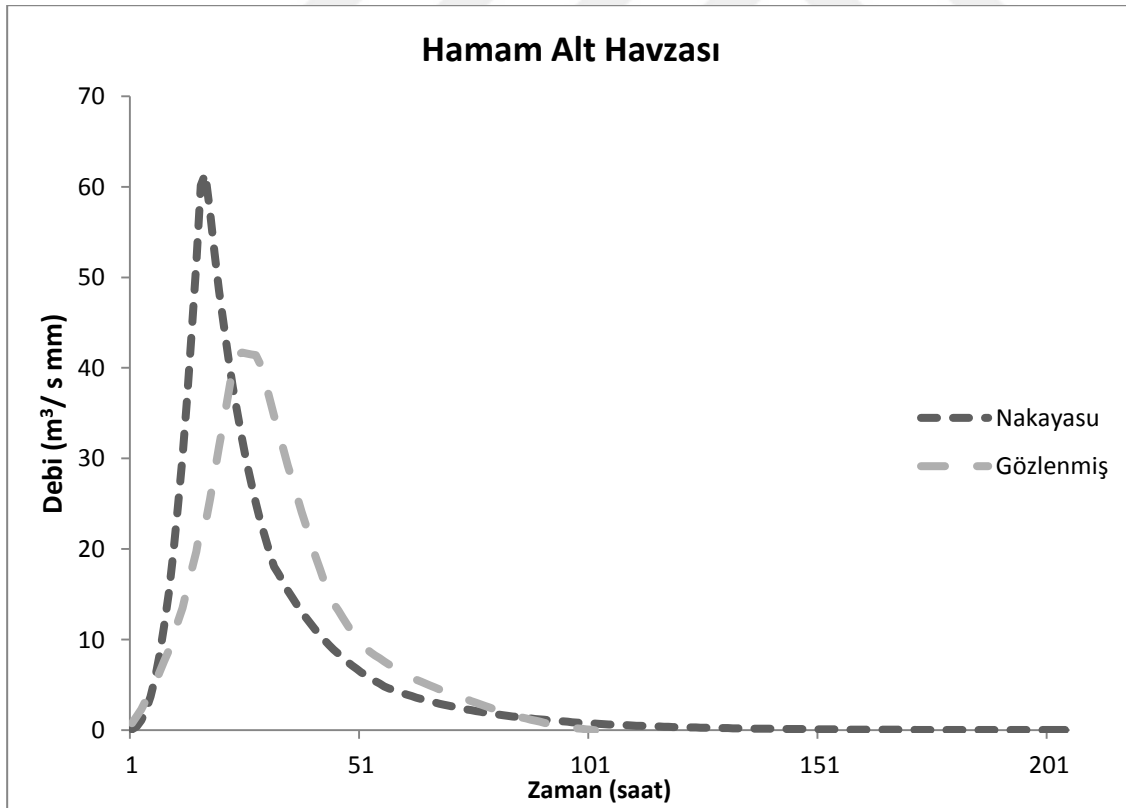
Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograf parametreleri kullanılarak büyük ölçekli havzalara ait birim hidrograflar sentetik olarak çizilmiştir ve gözlenmiş birim hidrograflarla karşılaştırılmıştır. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrografların karşılaştırılması aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



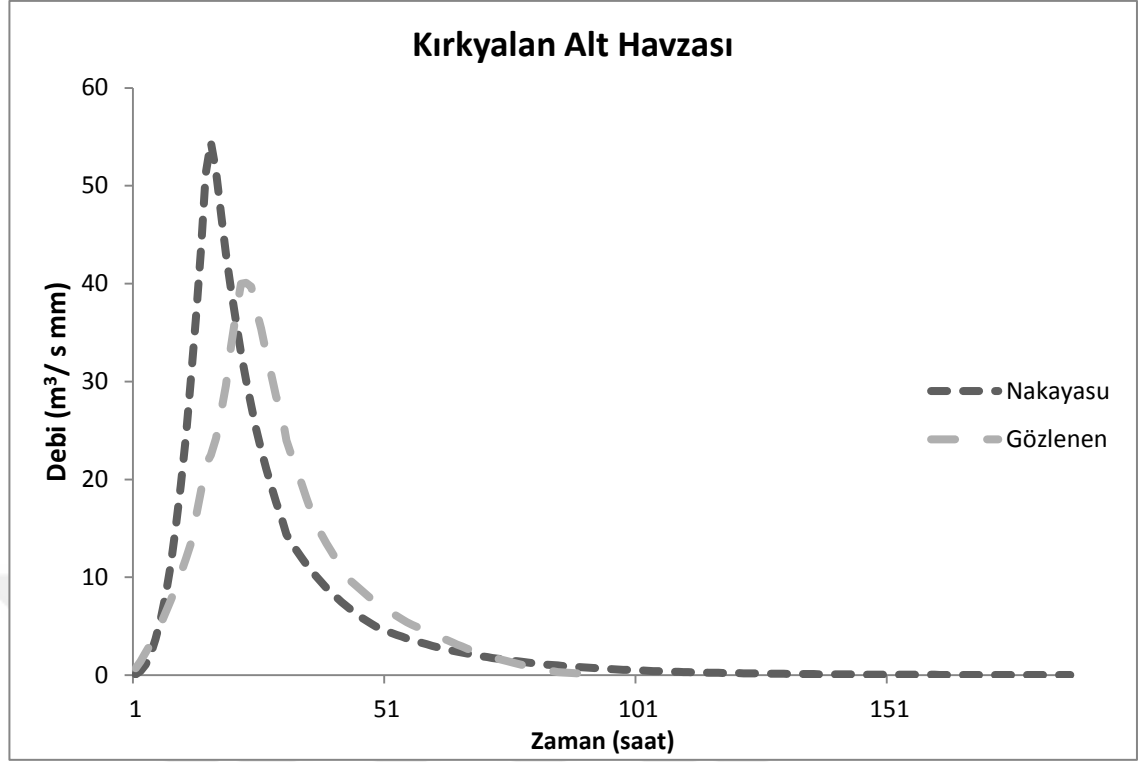
Şekil 7.37. Kayraktepe alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



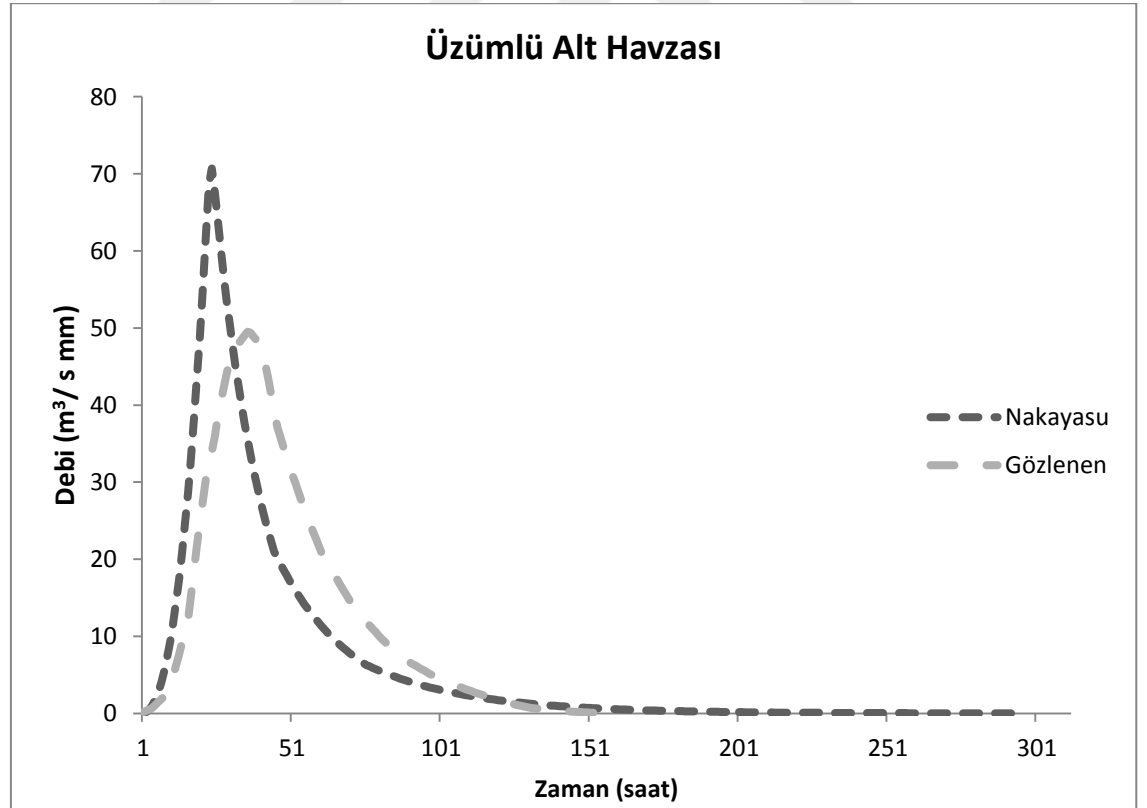
Şekil 7. 38. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.39. Hamam alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

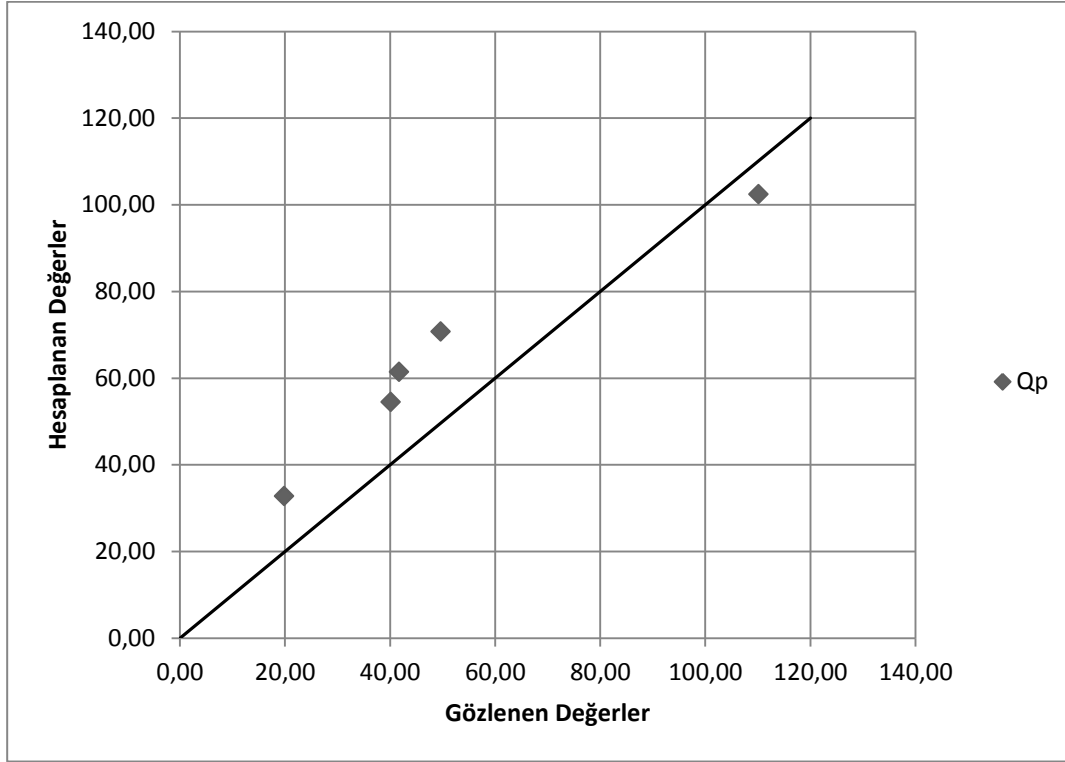


Şekil 7.40. Kırkyalan alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

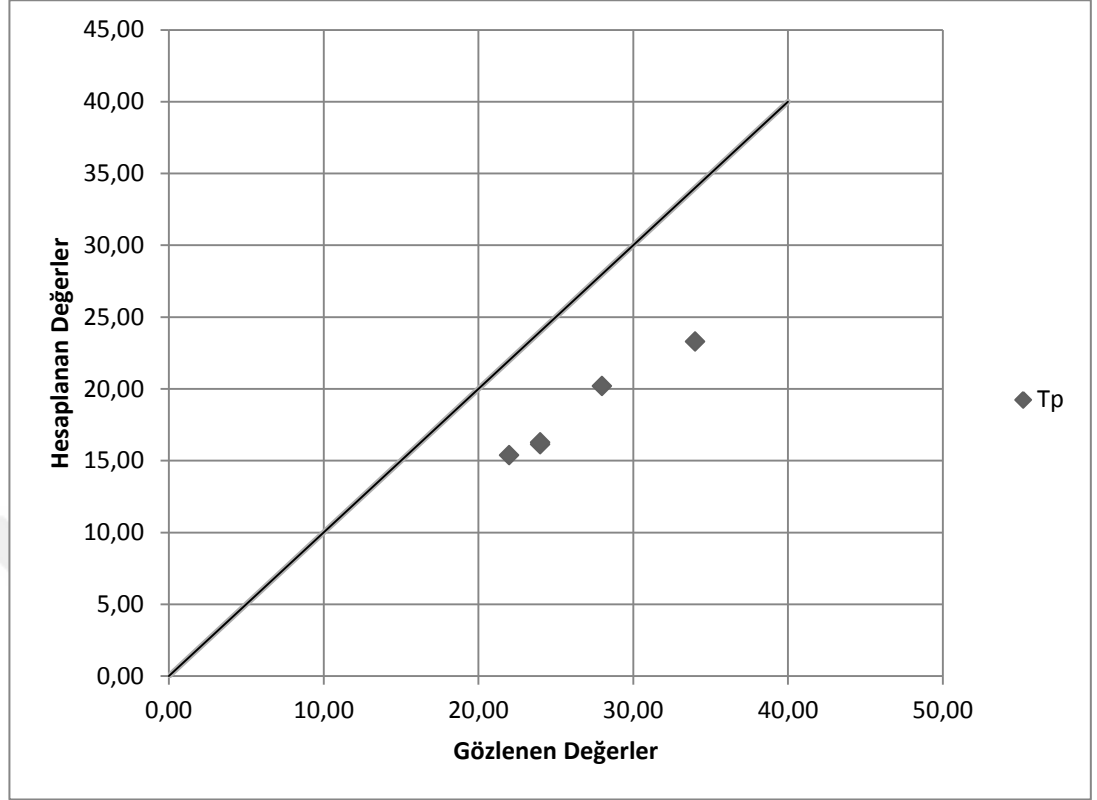


Şekil 7.41. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

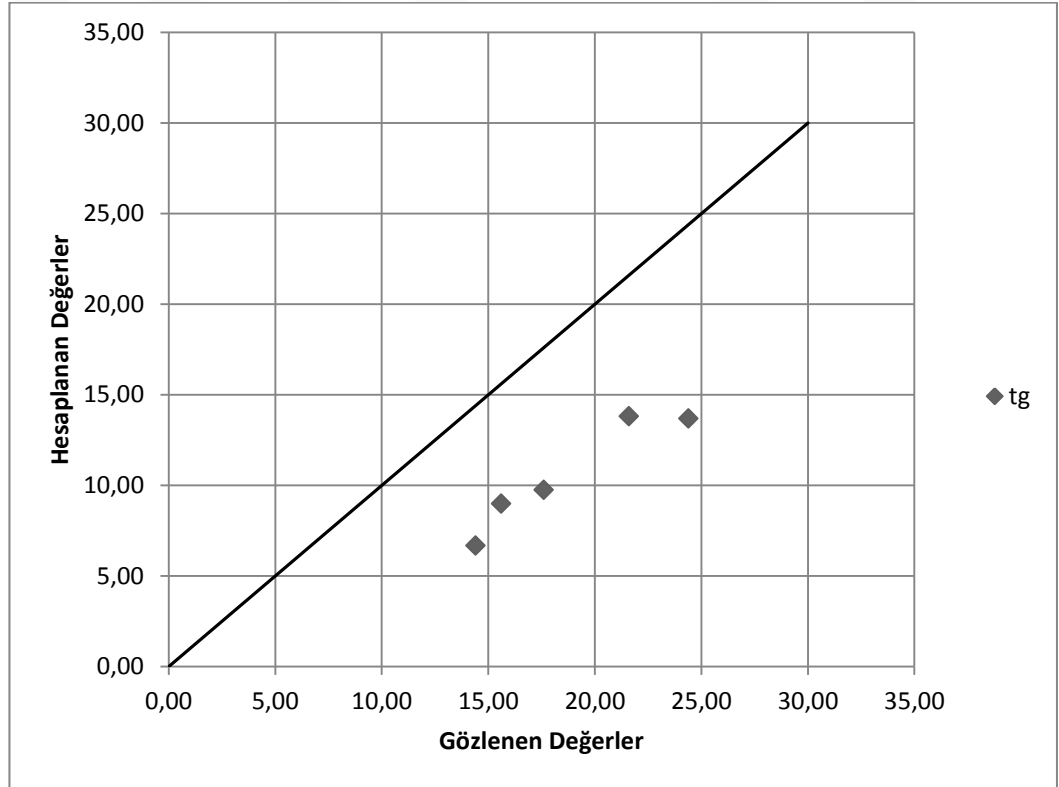
Nakayasu S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak elde edilen birim hidrograf parametreleri ve seçmiş olduğumuz büyük ölçekli alt havzalara ait gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler her bir birim hidrograf parametresi için aşağıdaki gibidir.



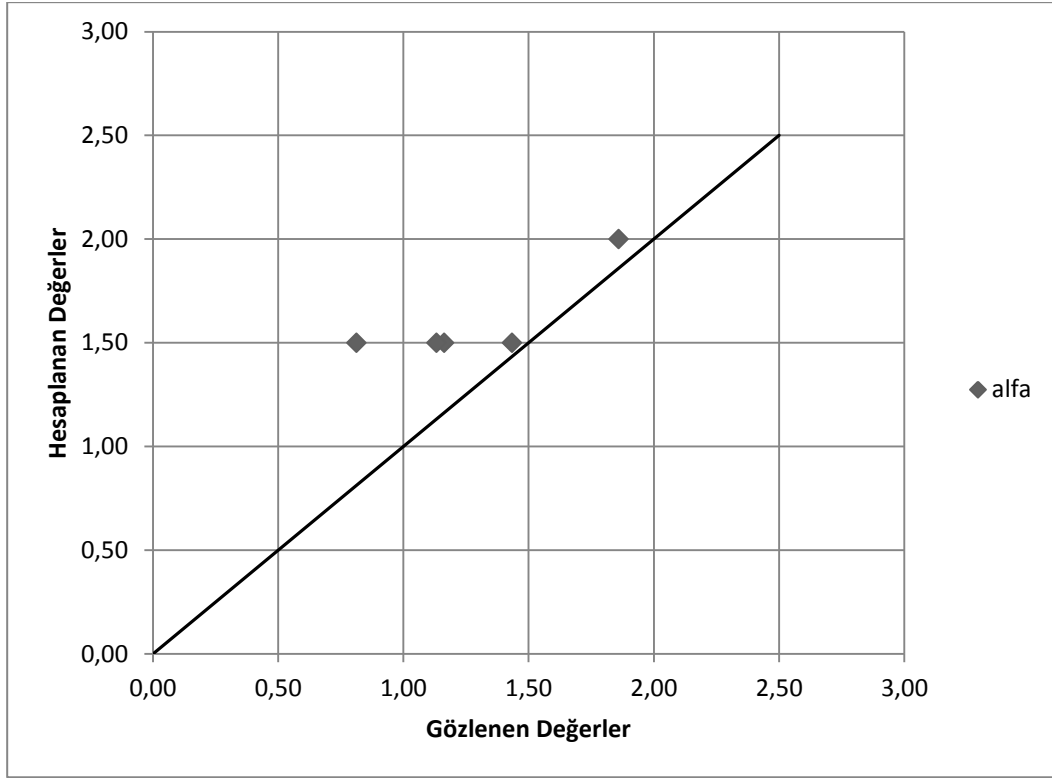
Şekil 7.42. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki



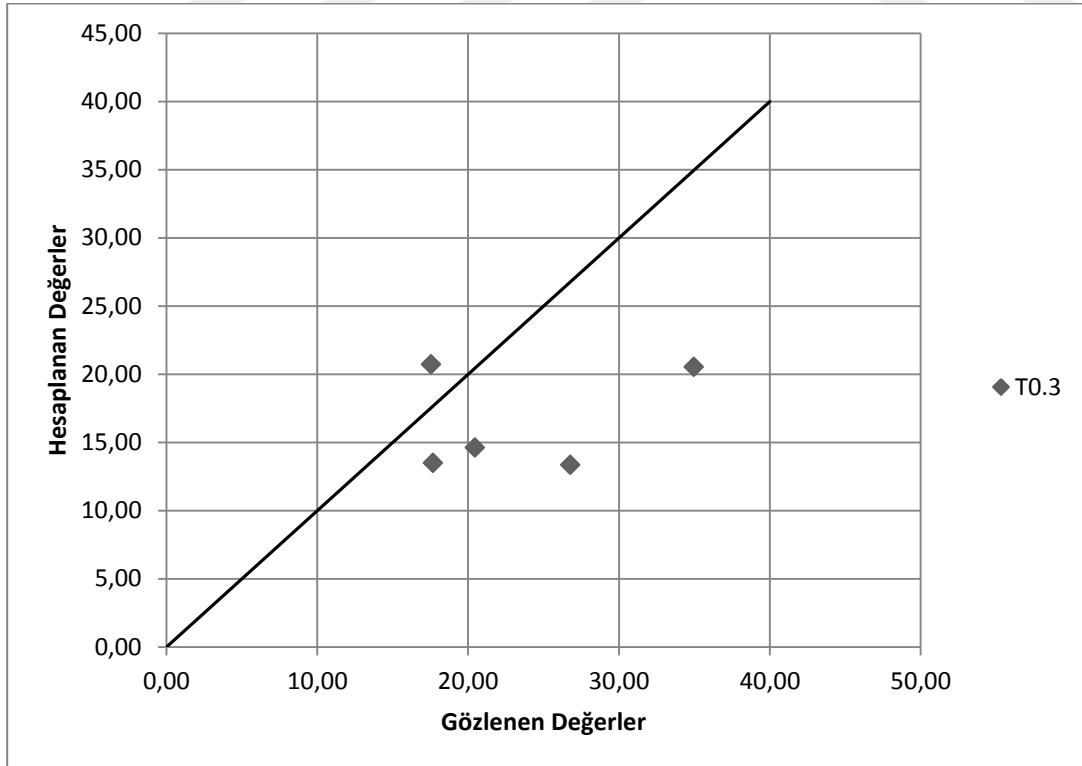
Şekil 7.43. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki



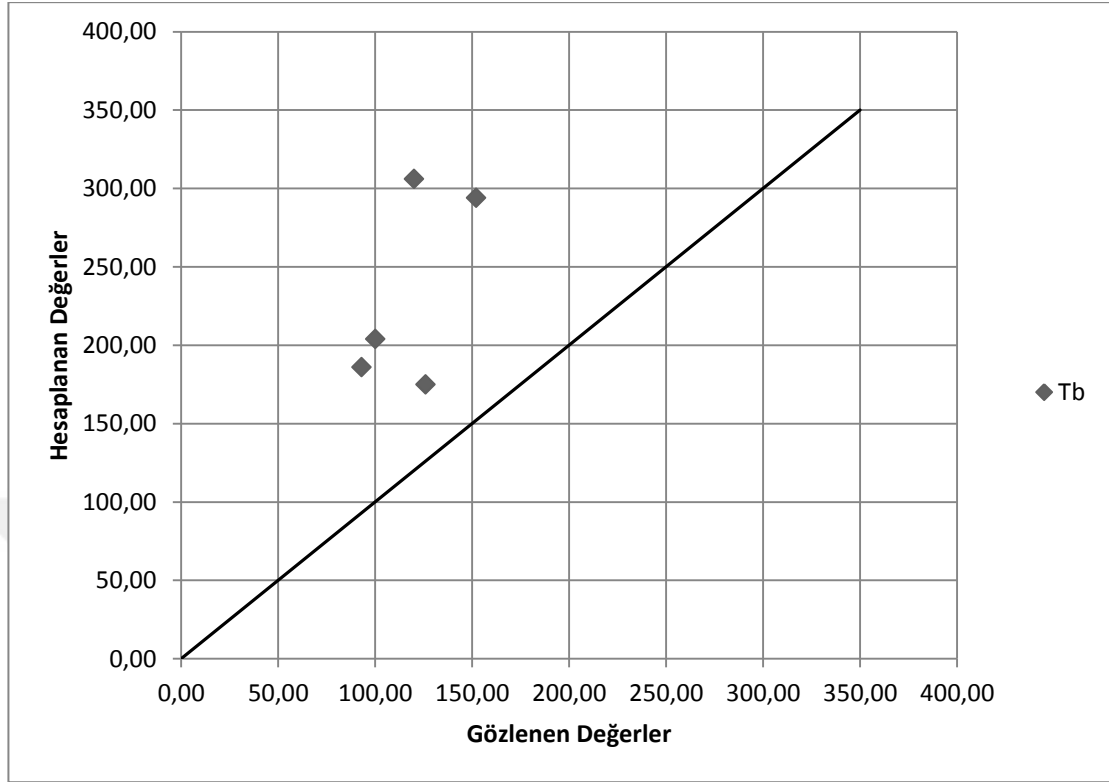
Şekil 7.44. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait t_g değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7.45. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait α değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7.46. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7.47. Gözlenen B.H. ve Nakayasu B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki

Yukarıdaki grafiklerden de görüleceği gibi büyük ölçekli havzalara için sentetik olarak hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenmiş olan birim hidrografa ait parametreler arasında düzgün bir ilişki olmadığı anlaşılmaktadır. Bu yüzden Nakayasu S.B.H. yöntemini Türkiye'deki büyük ölçekli havzalarda kullanılabilecek şekilde yeniden modifiye ederek düzenlenmesi gerektiği görülmektedir.

7.2.2.2. Modifiye Edilmiş Nakayasu Sentetik Birim Hidrograf Yönteminin Uygulanması

Seçmiş olduğumuz büyük ölçekli alt havzaların birim hidrograflarına ait parametreler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen parametrelerin arasındaki farkların çok oluşundan dolayı Nakayasu S.B.H. yönteminin olduğu şekli ile Türkiye'deki büyük ölçekli havzalarda kullanılmaya pek elverişli olmadığı görülmüştür. Bu doğrultuda Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen ve birim hidrograf parametrelerinin hesabında kullanılan eşitlikler kullanmış olduğumuz gözlenmiş birim hidrograf

parametreleri kullanılmak suretiyle regresyon analizi sonucu Türkiye'deki büyük ölçekli havzalarda kullanılabilecek formata getirilmeye çalışılmıştır.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile $L > 15$ km olan havzalarda gecikme zamanının (t_g) hesabı için eşitlik 5.30 kullanılmaktadır.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitliğin Türkiye'deki büyük ölçekli havzalarda kullanılabilmesi için bu eşitlik ile verilen 0.4 katsayısına C_1 ve 0.058 katsayısına ise C_2 denilip aşağıdaki formda yazılabilir.

$$t_g = C_1 + C_2 L \quad (7.6)$$

Kullanmış olduğumuz alt havzalara ait birim hidrograf parametreleri kullanılmak suretiyle regresyon analizi sonucu C_1 ve C_2 katsayıları sırası ile 5.604 ve 0.075 ve regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.913$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir. Elde edilen bu katsayılar kullanılarak t_g denkleminin son formu aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$t_g = 5.604 + 0.075 L \quad (7.7)$$

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile havza katsayısı olarak seçilen α değerlerinin hesabı için herhangi bir eşitlik sunulmamaktadır. Bu yüzden α değerlerinin belirlenmesi için büyük ölçekli havzalarda bir eşitlik geliştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmamızda Nakayasu S.B.H. yönteminin bu eksik olarak görülen kısmını giderebilmek amacı ile havza katsayısı olarak ifade edilen α değerlerinin hesaplanması için geliştirilen denklem regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.992$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir. Elde edilen denklem aşağıdaki şekildedir.

$$\alpha = \frac{(1.47 A^{0.146} t_r^{0.805}) - (0.3 T_p)}{t_g} \quad (7.8)$$

Yukarıda belirtilen t_g ve α denklemleri Türkiye'deki büyük ölçekli havzalar için modifiye edildikten sonra Nakayasu S.B.H. yöntemi ile önerilen ve havzalara ait Q_p değerlerinin hesabı için kullanılan eşitlik 5.34 modifiye ettiğimiz 7.7 ve 7.8 denklemleri yardımıyla hesaplanmış olduğumuz birim hidrograf parametreleri kullanılarak Türkiye'deki büyük ölçekli havzalarda kullanılabilecek şekilde modifiye edilmeye çalışılmış ve regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.963$ değerinde bir uyumun iyiliği ile aşağıdaki şekilde hesap edilmiştir.

$$Q_p = \frac{(1.117 A R_0)}{(3.6 (0.3 T_p + T_{0.3}))} \quad (7.9)$$

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen 5.34 denklemindeki C katsayısı daha önce yapılmış bütün çalışmalarda hep 1 olarak alınmıştır. Küçük ölçekli havzalar ve büyük ölçekli havzalar için elde edilen 7.4 ve 7.9 denklemlerinden de görüldüğü üzere C katsayısının 1'den farklı bir sayı olarak alınabileceği görülmektedir.

Nakayasu S.B.H. yönteminin bir diğer eksik özelliği ise birim hidrograf taban süresi T_b 'nin hesabı için herhangi bir eşitlik önerilmemesidir. Bu eksiklikten dolayı iniş eğrisi için verilen eşitlik ile hesaplar yapıp sonucun sıfıra yaklaştığı yere kadar birim hidrograf iniş eğrisi uzatılmakta ve bu şekilde birim hidrografa ait T_b değeri hesaplanmaktadır. Çalışmamızda Nakayasu S.B.H. yönteminin bu eksikliğini gidermek amacı ile T_b birim hidrograf taban süresinin hesabı için sentetik olarak hesaplanan birim hidrograf parametrelerine bağlı olarak bir eşitlik geliştirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen denklem regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.976$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir ve aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$T_b = 4.062 T_{0.3} + 1.308 t_g \quad (7.10)$$

Nakayasu S.B.H. ile yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen parametreler kullanılarak sentetik olarak çizilen birim hidrograflar ile gözlenmiş birim hidrografların karşılaştırıldığı grafiklere bakıldığında zaman Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen çıkış ve iniş eğrileri denklemleri ile belirlenen iniş ve çıkış eğrileri gözlenmiş birim hidrografların iniş ve çıkış eğrileri ile iyi örtüşmemektedir.

Bu yüzden Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen iniş ve çıkış eğrileri Türkiye'deki büyük ölçekli havzalar için modifiye edilmeye çalışılmıştır.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen çıkış eğrisinin hesabı için eşitlik 5.35 kullanılmaktadır.

Çıkış eğrisi denklemindeki 2.4 katsayısına C_3 diyecek olursak verilen bu eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{C_3} \quad (7.11)$$

Yukarıda yazılan eşitlik gözlenmiş birim hidrografların çıkış eğrisi değerleri kullanılarak regresyon analizine tabi tutulmak istenmiştir. Ancak gözlenmiş birim hidrografların çıkış eğrisi değerleri veri seti gurubu olarak alınacağı için klasik regresyon analizi ile hesaplamalar yapılamamaktadır. Bu nedenle panel veri analizi kullanılmıştır. Panel veri analizi için gözlenmiş birim hidrografların çıkış eğrilerinin aynı zaman dilimi içerisine denk gelen parçalarına ait değerler ile veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setleri kullanılarak panel veri analizi sonucu Türkiye'deki büyük ölçekli havzalar için çıkış eğrisinde C_3 ile belirtilen katsayı 1.999 olarak bulunmuştur ve regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.976$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir. Elde edilen denklem aşağıdaki gibidir.

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{1.999} \quad (7.12)$$

Birim hidrografın iniş eğrisi ise Nakayasu S.B.H. yönteminde 3 bölgeye ayrılmıştır. Ve her bir bölge için bir denklem önerilmiştir. Bu bölgelerden ilki iniş debisinin $Q_p > Q_d > 0.3 Q_p$ aralığında olması durumudur. Bu durum için Nakayasu S.B.H. yönteminde eşitlik 5.36 kullanılarak hesaplama yapılmaktadır.

Bu eşitlikte 0.3 üssü ifadesi olarak verilen $\frac{t-T_p}{T_{0.3}}$ ifadesi bir C_4 katsayısı ile çarpım şeklinde yazılıp gözlenmiş olan birim hidrograflara ait iniş eğrilerinin $Q_p > Q_d > 0.3Q_p$ bölgesindeki değerlerinin aynı zaman dilimine düşen parçaları panel veri analizi kullanılarak denklem modifiye edildiğinde C_4 katsayısı 1.063 olarak hesaplanmıştır. Modifiye edilen denklem için regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.984$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir. Elde edilen yeni denklem aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$Q_d > 0.3Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\frac{t-T_p}{T_{0.3}}} 1.063 \quad (7.13)$$

Nakayasu S.B.H. yönteminde birim hidrografın iniş eğrisi için belirlenen ikinci durum ise $0.3Q_p > Q_d > 0.3Q_p^2$ arasında olması durumudur. Bu durum için Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen 5.37 eşitliği yardımı ile hesaplamalar yapılmaktadır.

Bu eşitlikte 0.3 üssü ifadesi olarak verilen $\frac{t-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}}$ ifadesi bir C_5 katsayısı ile çarpım şeklinde yazılıp gözlenmiş olan birim hidrograflara ait iniş eğrilerinin $0.3Q_p >$

$Q_d > 0.3Q_p^2$ bölgesindeki değerlerinin aynı zaman dilimine düşen parçalarına ait veriler kullanılarak panel veri analizi yardımı ile denklem modifiye edildiğinde C_5 katsayısı 1.183 olarak hesaplanmıştır. Modifiye edilen denklem için regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.954$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir. Elde edilen yeni denklem aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$0.3Q_p > Q_d > 0.3^2Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\frac{t-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}}} 1.183 \quad (7.14)$$

Nakayasu S.B.H. yönteminde birim hidrografın iniş eğrisi için belirlenen üçüncü durum ise $Q_d < 0.3Q_p^2$ olması durumudur. Bu durum için Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen 5.38 eşitliği kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır.

Bu eşitlikte 0.3 üssü ifadesi olarak verilen $\frac{t-T_p+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}}$ ifadesinin bir C_6 katsayısı ile üstünün alındığı şeklinde yazılıp gözlenmiş olan birim hidrografa ait iniş eğrilerinin ise $Q_d < 0.3Q_p^2$ bölgesindeki değerlerinin aynı zaman dilimine düşen parçalarına ait veriler kullanılarak panel veri analizi yardımı ile denklem modifiye edildiğinde C_6 katsayısı 1.222 olarak hesaplanmıştır. Modifiye edilen denklem için regresyon belirleme katsayısı $R^2=0.927$ değerinde bir uyumun iyiliği ile hesap edilmiştir. Elde edilen yeni denklem aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$Q_d < 0.3^2Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\left(\frac{t-T_p+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}}\right) 1.222} \quad (7.15)$$

Modifiye edilen Nakayasu S.B.H. denklemleri kullanılarak çalışmamızda kullanmış olduğumuz büyük ölçekli havzalara ait birim hidrograf parametreleri sentetik olarak hesap edilmiş olup elde edilen sonuçlar Çizelge 7.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 7. 10. Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri

Havzalar		Modifiye Edilmiş Nakayasu S.B.H. ile tahmin Edilen Parametreler					
		t_g (sa)	T_p (sa)	Q_p (m ³ /s mm)	α	$T_{0.3}$ (sa)	T_b (sa)
1	Kayraktepe	22.878	29.278	102.007	0.928	21.233	116.164
2	Üzümlü	22.728	32.328	54.898	1.314	29.870	151.047
3	Hamam	17.643	24.043	50.185	1.098	19.376	101.775
4	Kırkyalan	16.671	23.071	42.556	1.135	18.929	98.686
5	Himmetli	13.680	23.280	20.017	1.924	26.317	124.780

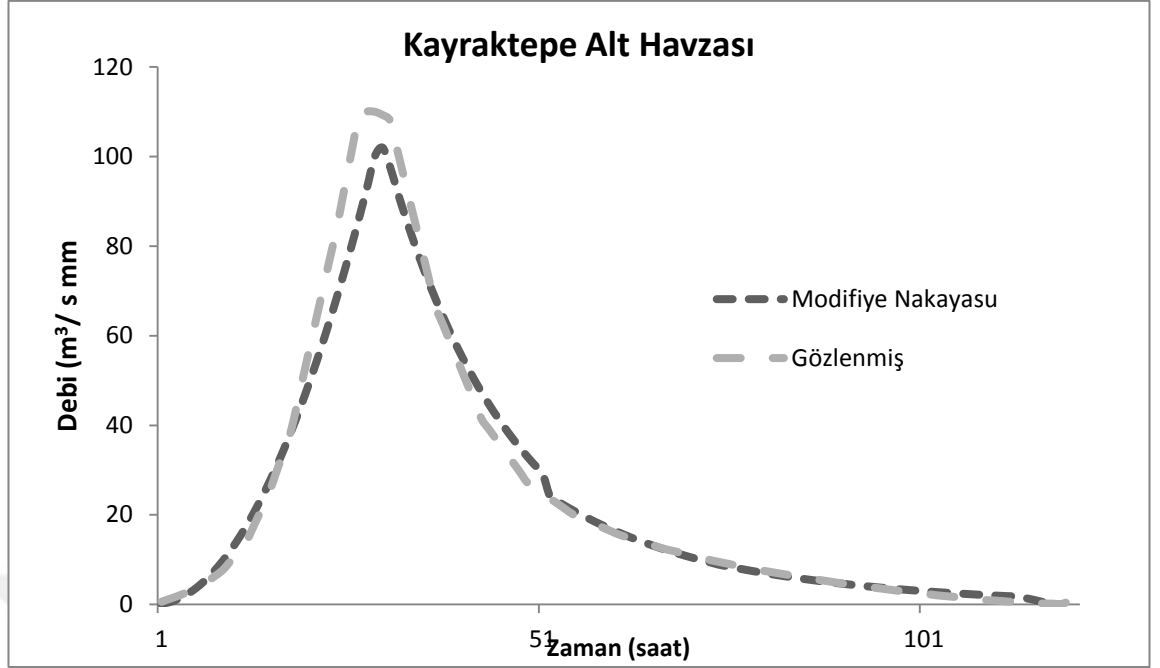
7. MATERYAL VE METOD

Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenmiş birim hidrograf parametreleri arasındaki fark Çizelge 7.11’de verilmiştir.

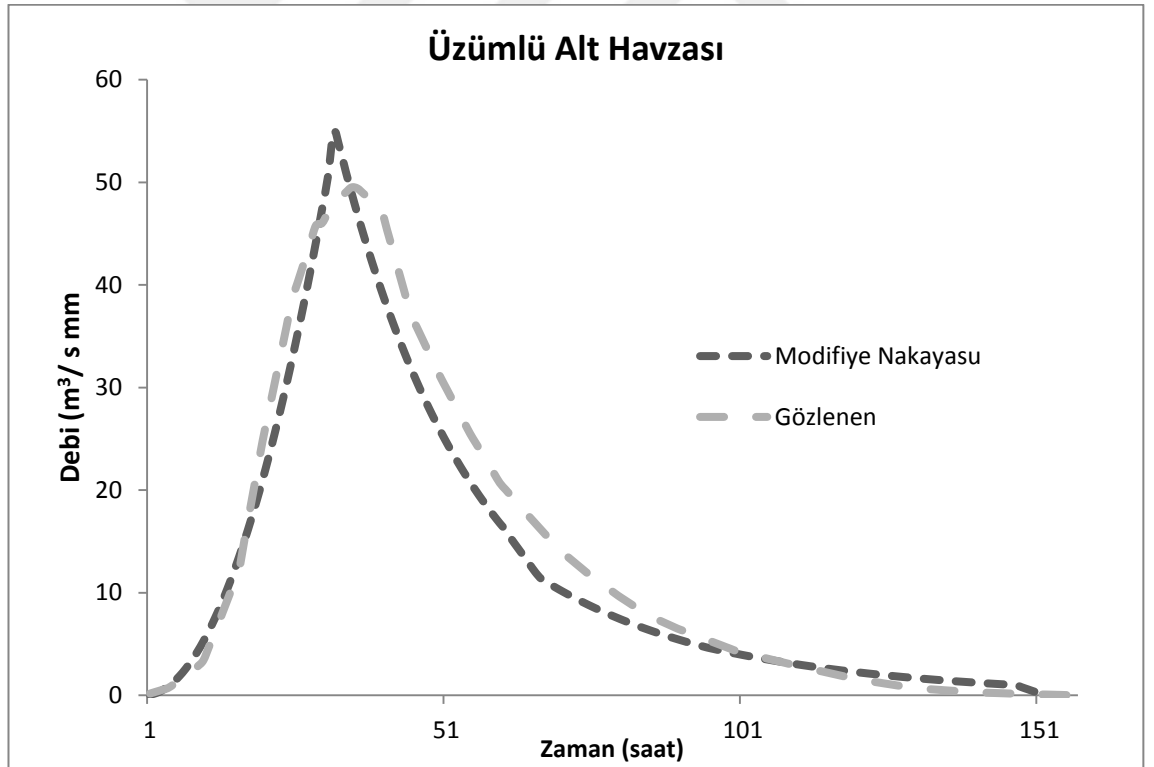
Çizelge 7. 11. Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrogrflara ait parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler		Havzalar				
		1	2	3	4	5
		Kayraktepe	Üzümlü	Hamam	Kırkyalan	Himmetli
Q_p	Göz.	110.100	49.600	41.700	40.100	19.800
	Mod. Nak.	102.007	54.898	50.185	42.556	20.017
	Fark	8.093	5.298	8.485	2.456	0.217
	Hata%	7.351	10.681	20.348	6.125	1.096
T_p	Göz.	28	34	24	22	24
	Mod. Nak.	29.278	32.328	24.043	23.071	23.280
	Fark	1.278	1.672	0.043	1.071	0.720
	Hata%	4.564	4.918	0.179	4.868	3.000
t_g	Göz.	21.600	24.400	17.600	15.600	14.400
	Mod. Nak.	22.878	22.728	17.643	16.671	13.680
	Fark	1.278	1.672	0.043	1.071	0.720
	Hata%	5.917	6.852	0.244	6.865	5.000
α	Göz.	0.812	1.433	1.162	1.132	1.860
	Mod. Nak.	0.928	1.314	1.098	1.135	1.924
	Fark	0.116	0.119	0.064	0.003	0.064
	Hata%	14.286	8.304	5.508	0.265	3.441
$T_{0.3}$	Göz.	17.540	34.970	20.454	17.660	26.780
	Mod. Nak.	21.233	29.870	19.376	18.929	26.317
	Fark	3.693	5.100	1.078	1.269	0.463
	Hata%	21.055	14.584	5.270	7.186	1.729
T_b	Göz.	120	152	100	93	126
	Mod. Nak.	116.164	151.047	101.775	98.686	124.780
	Fark	3.836	0.953	1.775	5.686	1.220
	Hata%	3.197	0.627	1.775	6.114	0.968
	Q_p = Pik Debi, T_p =Pik zamanı, t_g =gecikme zamanı, α =Havza katsayısı, $T_{0.3}$ =Pik debinin %30’una indiği süre, T_b = birim hidrograf süresi					

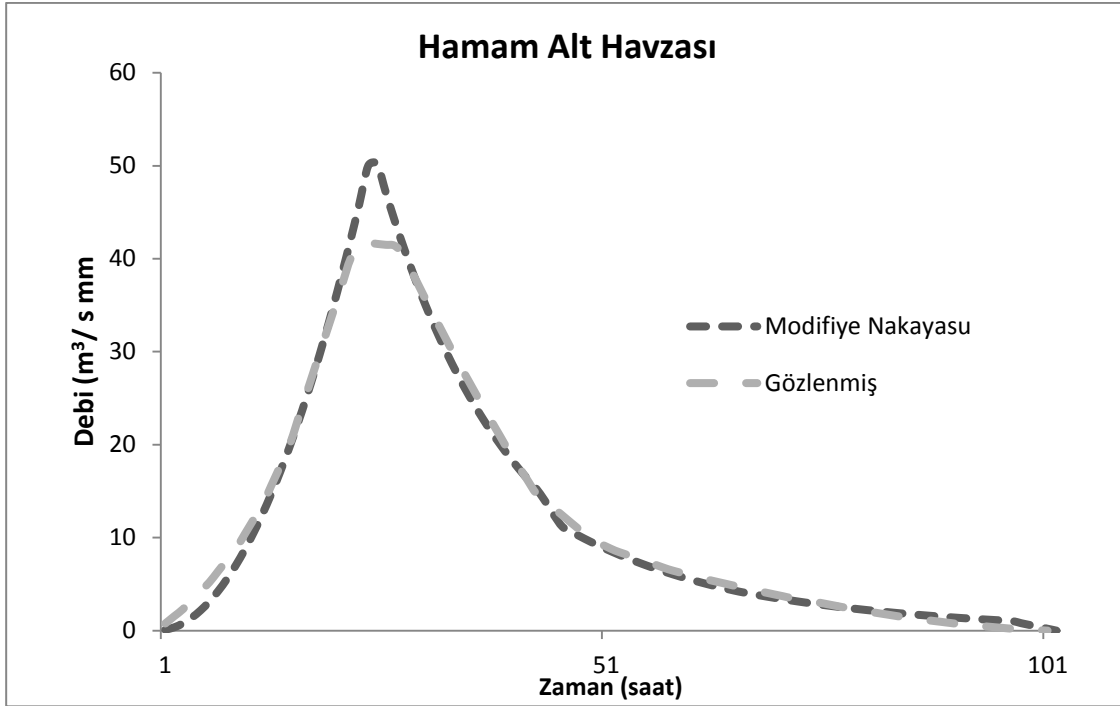
Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograf parametreleri kullanılarak büyük ölçekli havzalara ait birim hidrograflar sentetik olarak çizilmiştir ve gözlenmiş birim hidrograflarla karşılaştırılmıştır. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrografların karşılaştırılması aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



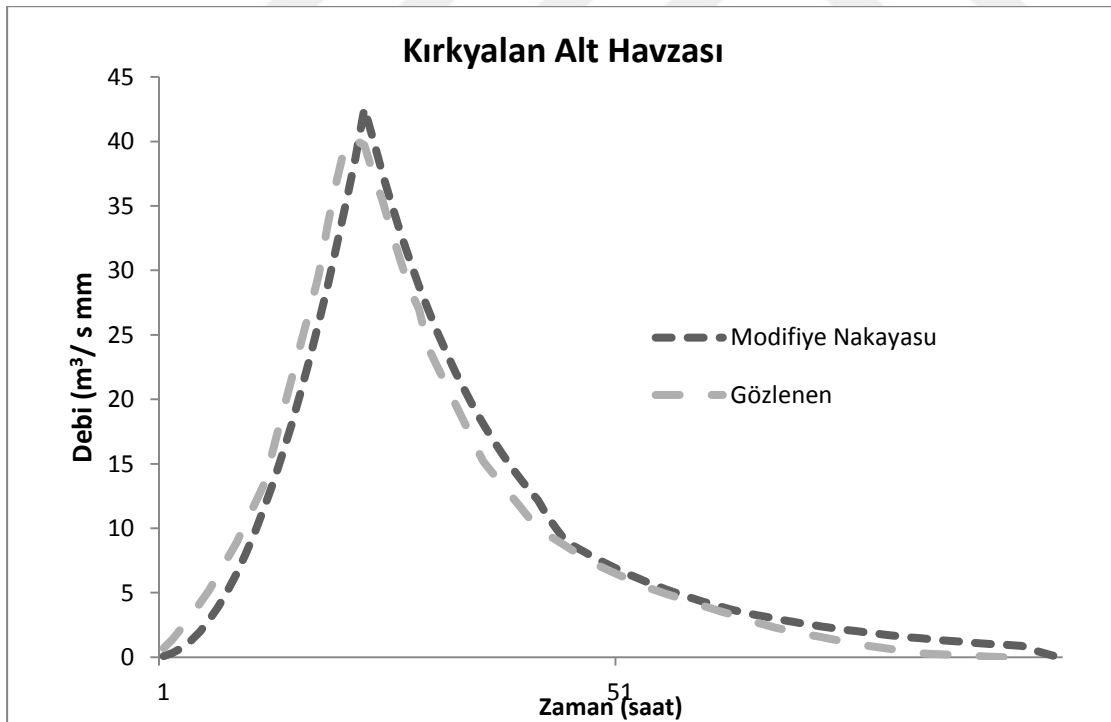
Şekil 7.48. Kayraktepe alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



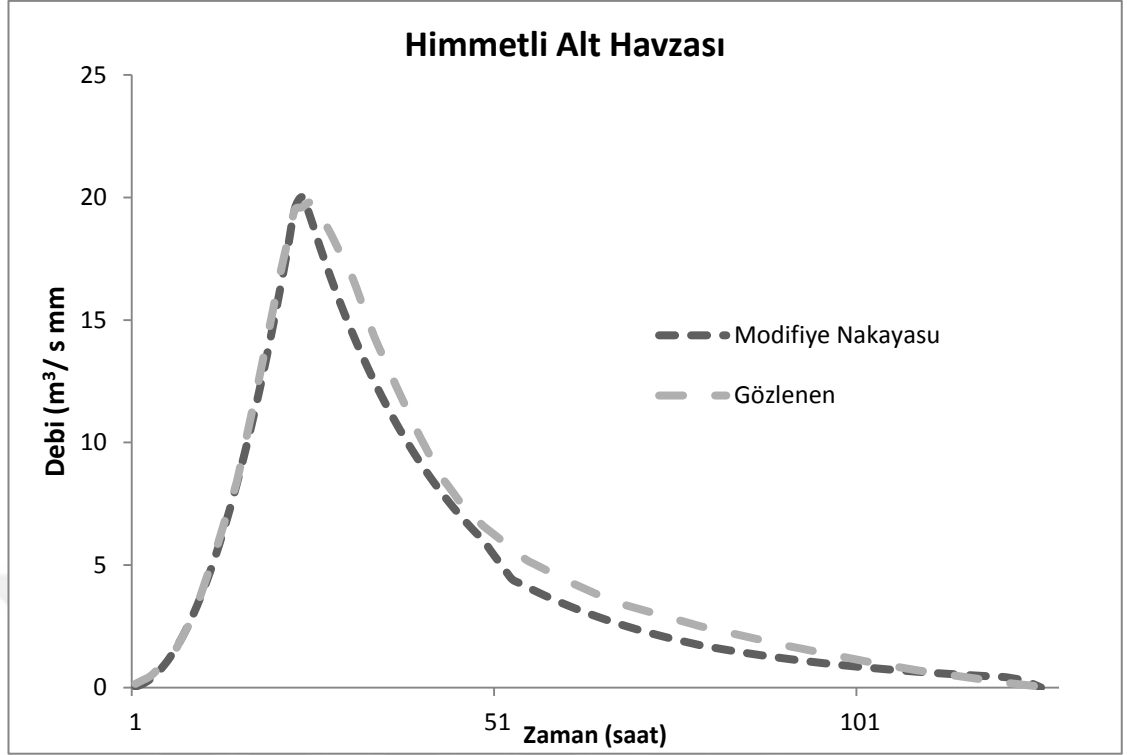
Şekil 7.49. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.50. Hamam alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

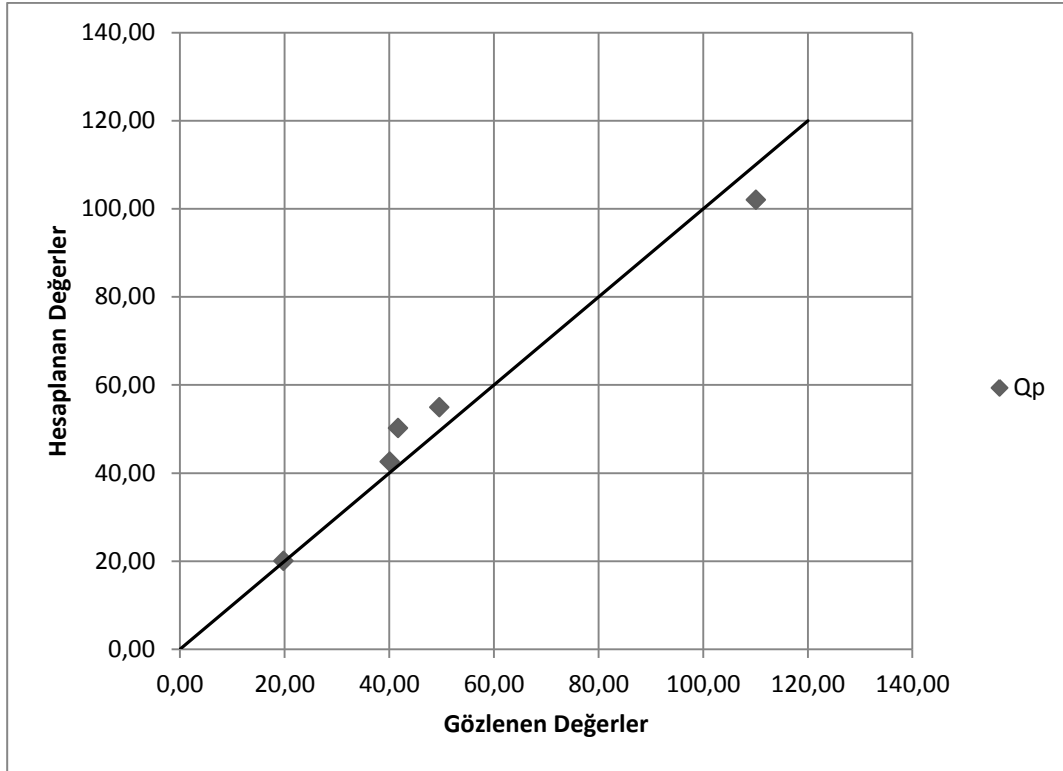


Şekil 7.51. Kırkyalan alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

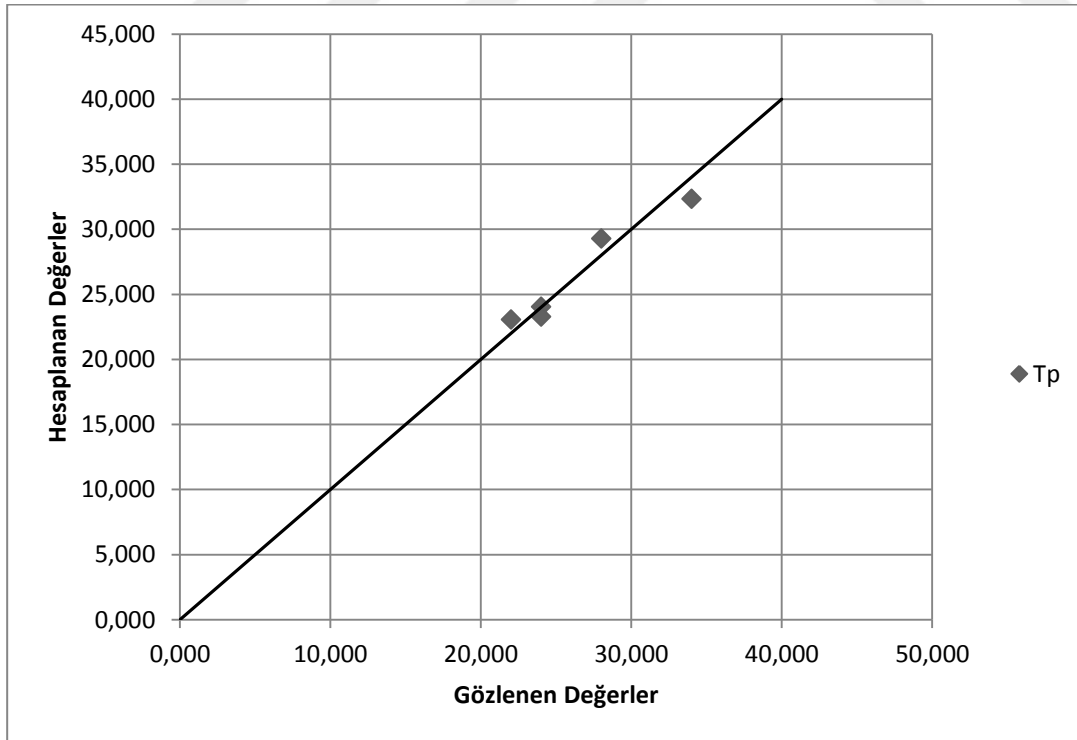


Şekil 7.52. Himmeltili alt havzası gözlenen B.H. ve Modifiye Edilmiş Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

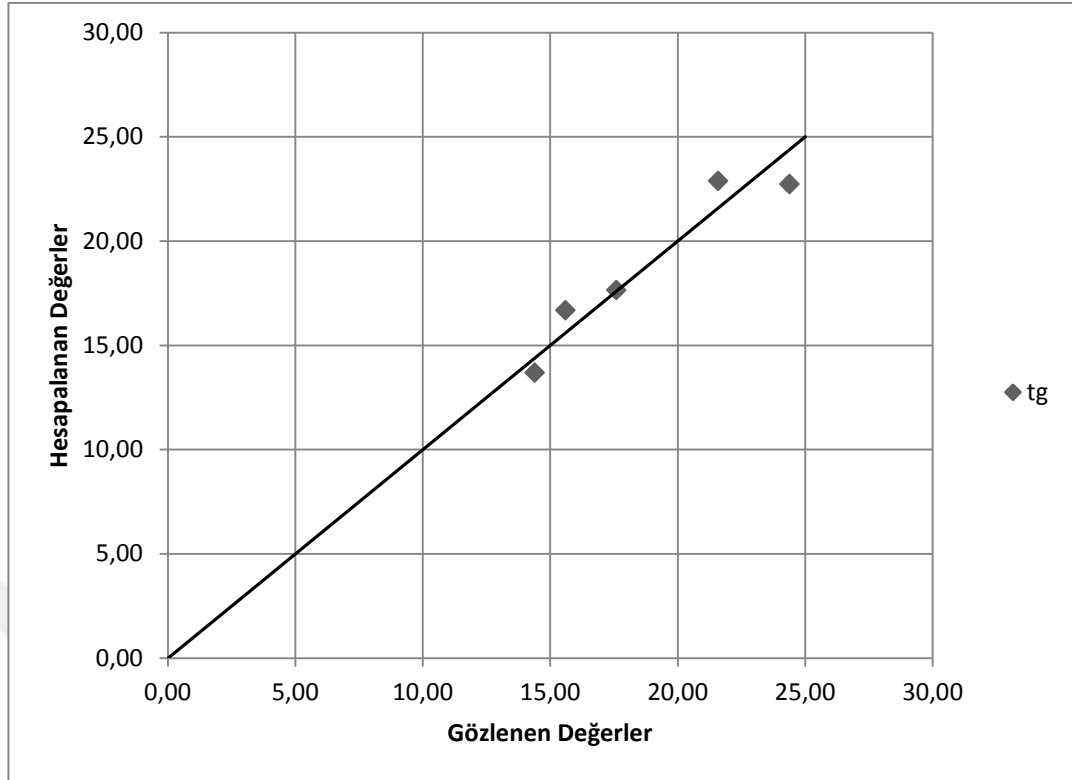
Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak elde edilen birim hidrograf parametreleri ve seçmiş olduğumuz büyük ölçekli alt havzalara ait gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler her bir birim hidrograf parametresi için aşağıdaki gibidir.



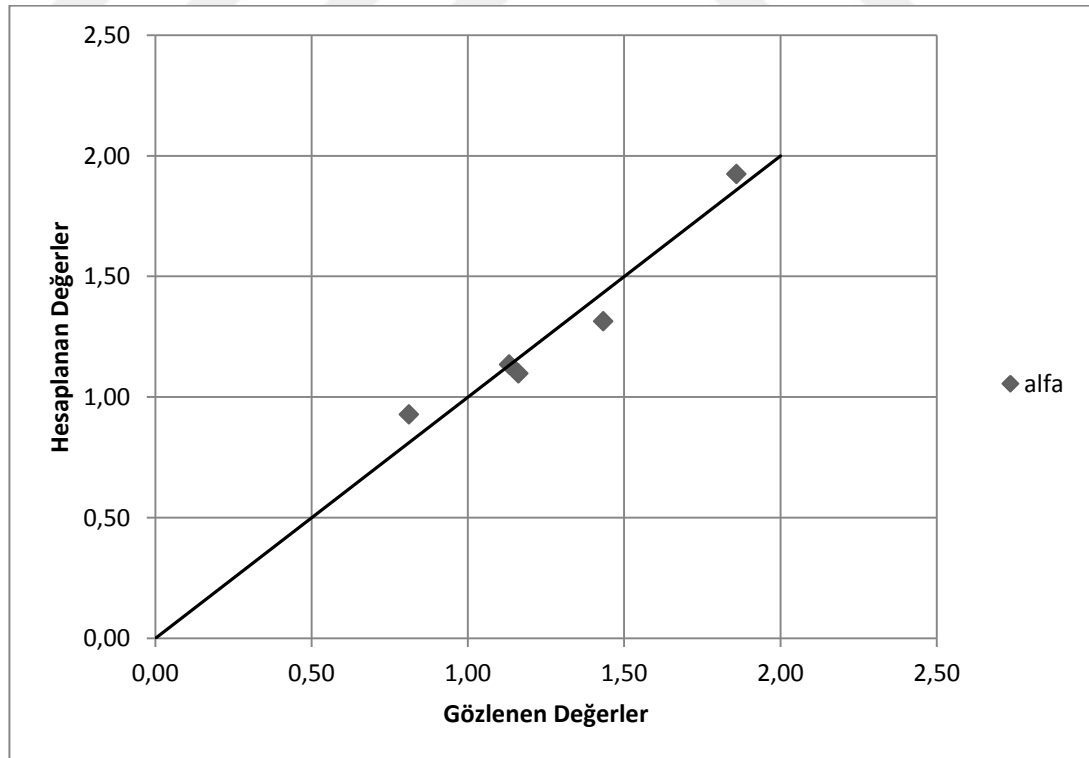
Şekil 7.53. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki



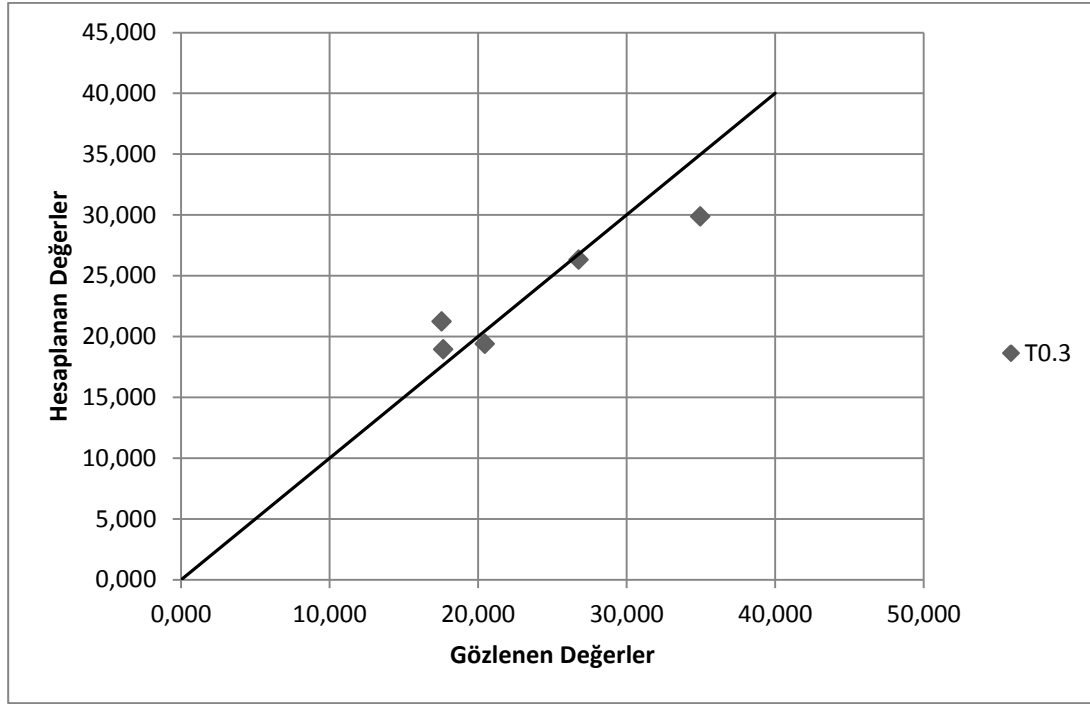
Şekil 7.54. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki



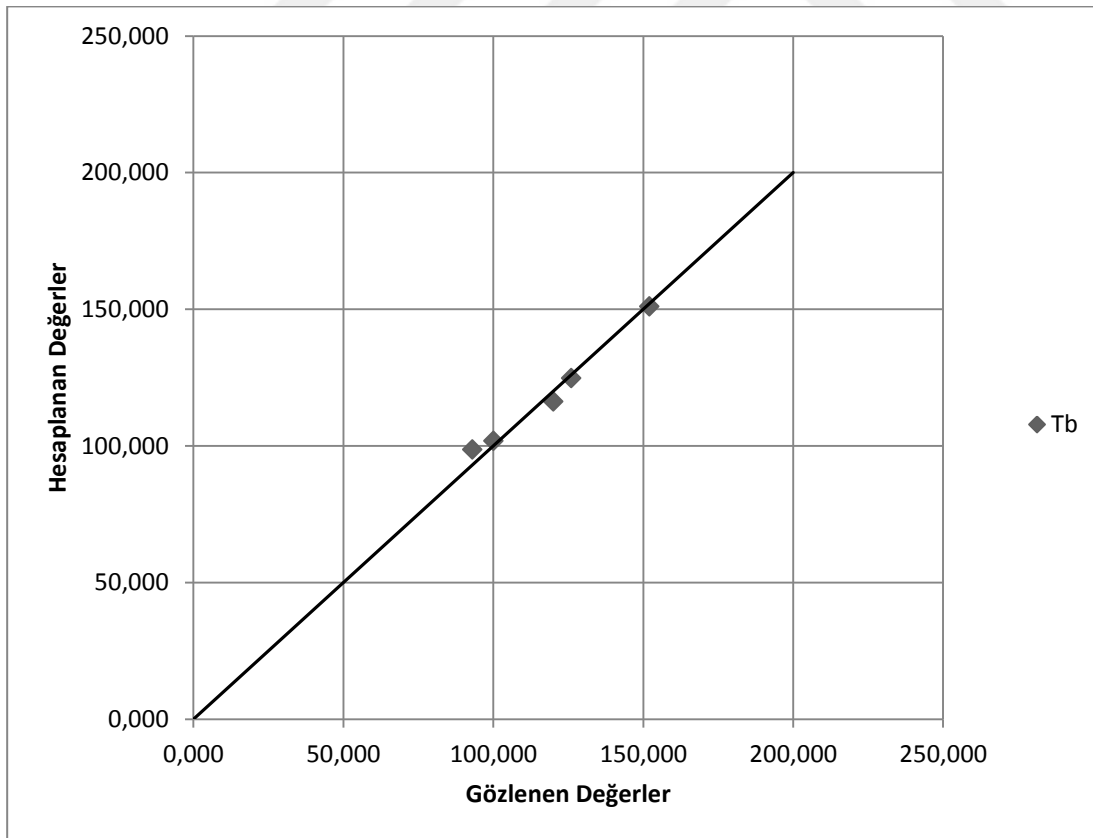
Şekil 7.55. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait tg değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7. 56. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait α değerleri arasındaki ilişki



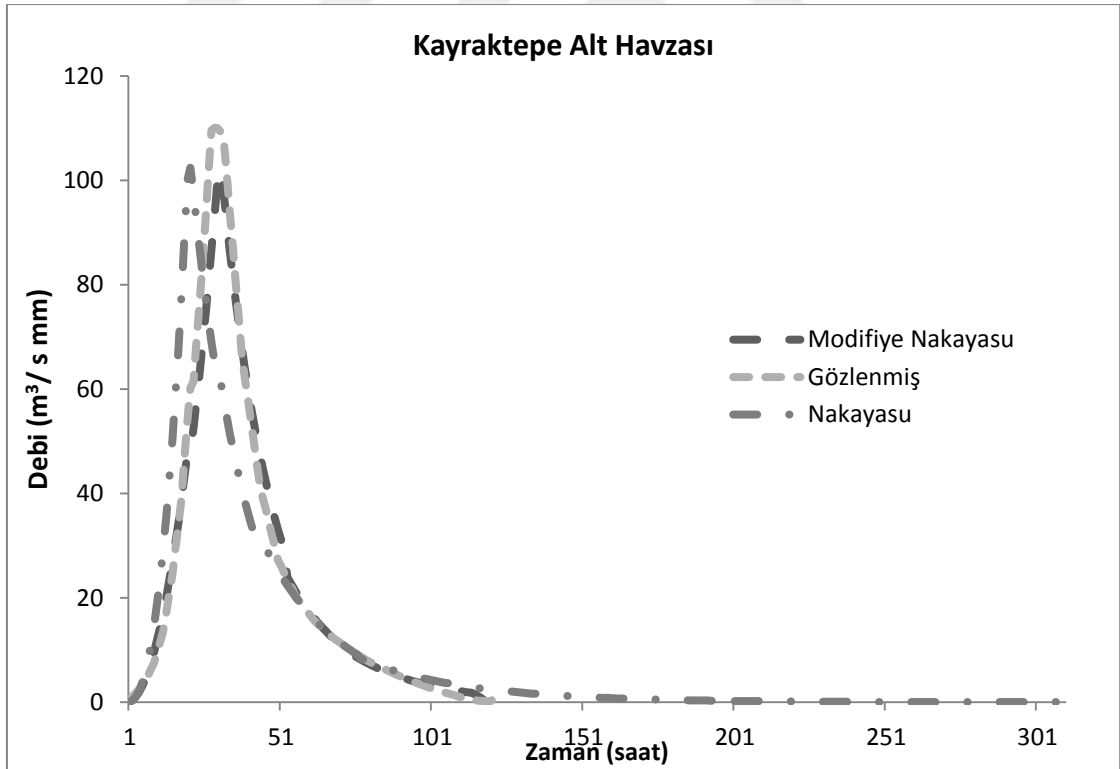
Şekil 7.57. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait $T_{0.3}$ değerleri arasındaki ilişki



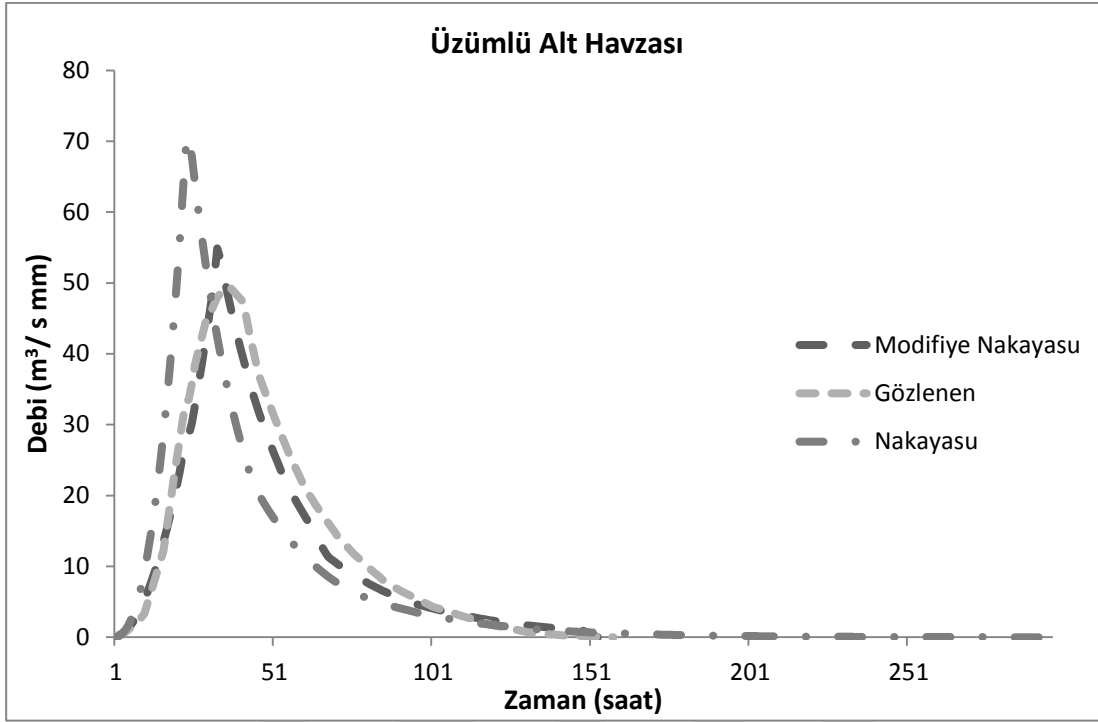
Şekil 7.58. Gözlenen B.H. ve Modifiye edilmiş Nakayasu B.H.'larına ait t_b değerleri arasındaki ilişki

Yukarıdaki grafiklerden de görüleceği gibi Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenmiş olan birim hidrografa ait parametreler arasında Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan parametrelere oranla daha iyi bir ilişki olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Türkiye'deki büyük ölçekli havzalar için modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yönteminin Nakayasu S.B.H. yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve modifiye edilmiş hali ile kullanılmasının gerektiği görülmektedir.

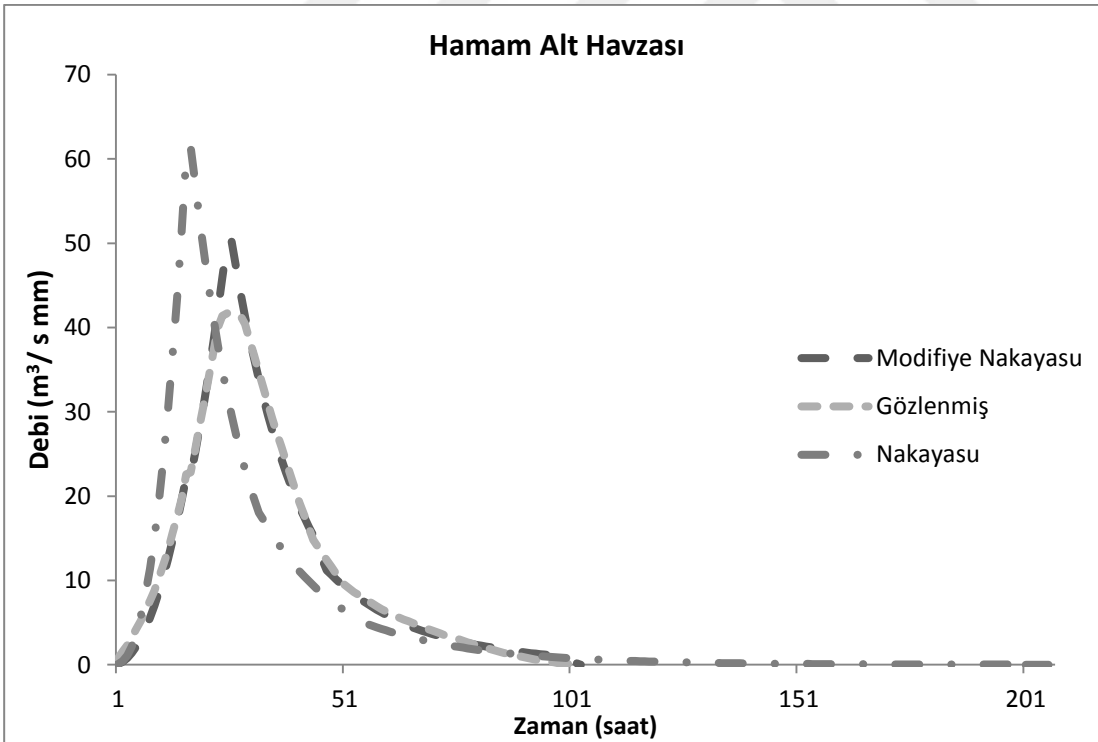
Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi, Nakayasu S.B.H. yöntemi ve gözlenerek elde edilmiş olan birim hidrografların karşılaştırıldığı şekiller aşağıda verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi Türkiye'deki büyük ölçekli havzalar için Modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan parametrelerin ve bu parametreler kullanılarak çizilen birim hidrografların gözlenmiş birim hidrograflarla daha iyi örtüştüğü anlaşılmaktadır.



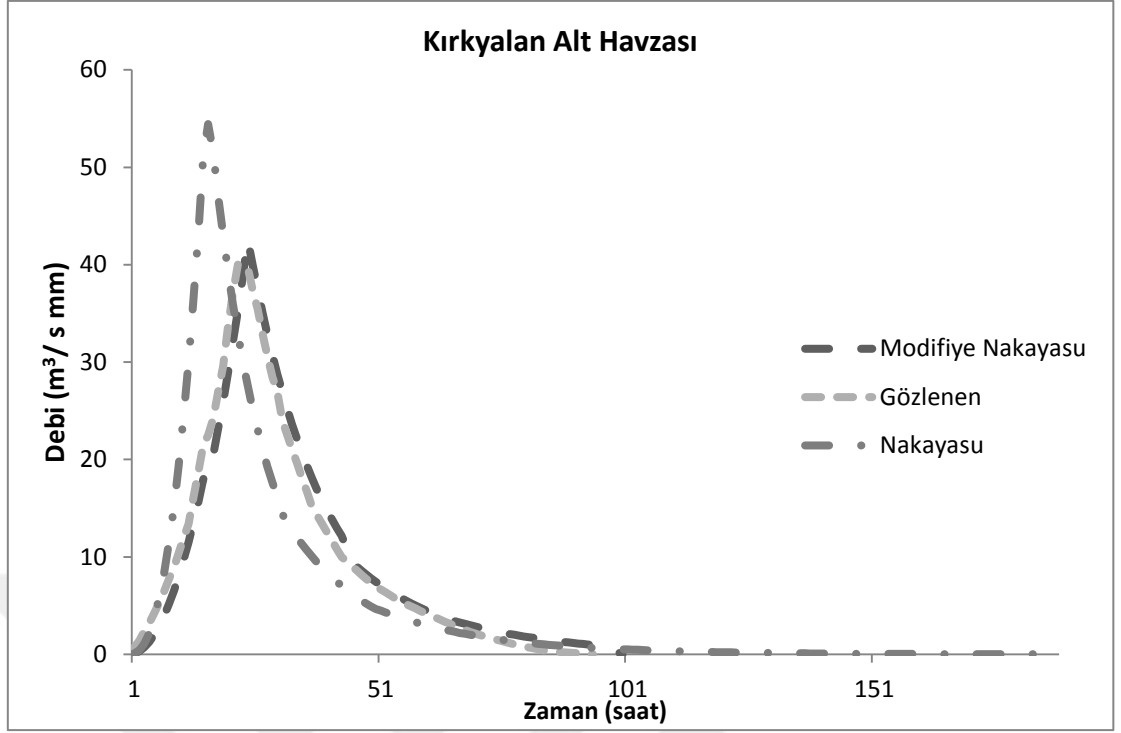
Şekil 7.59. Kayraktepe alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



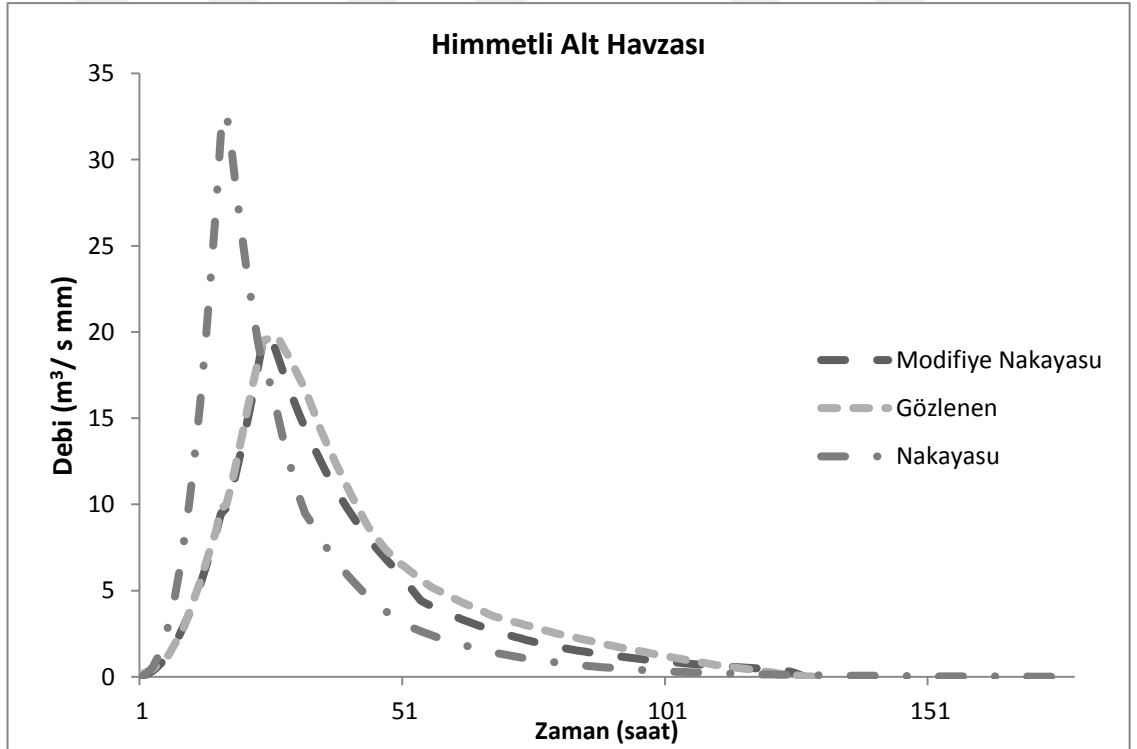
Şekil 7.60. Üzümlü alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.61. Hamam alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.62. Kırkyalan alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7.63. Himmetli alt havzası gözlenen B.H., Modifiye edilmiş Nakayasu B.H. ve Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

7.2.3. Küçük Ölçekli Havzalarda Nakayasu Yöntemi ile Snyder Yönteminin Karşılaştırılması

Önceki bölümde seçilen küçük ölçekli havzalara ait birim hidrograf parametreleri Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile hesap edilmişti. Bu bölümde seçilen havzalara ait birim hidrograf parametreleri Snyder yöntemi ile hesap edilmiş, sonuçlar Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Gözlenen birim hidrografalara ait karakteristik özellikler kullanılarak birim hidrografalara ait Q_p , T_p ve T_b değerleri Snyder yöntemi ile verilen eşitlikler yardımı ile sentetik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler tablodaki gibidir.

Çizelge 7. 12. Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri

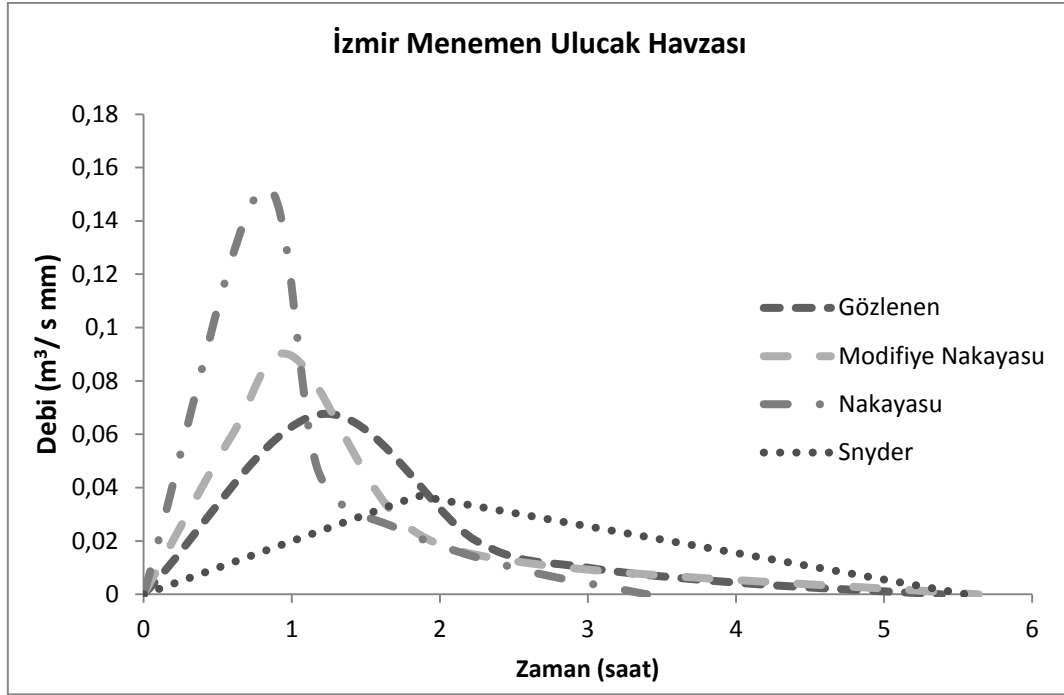
Havzalar		Snyder S.B.H. ile tahmin Edilen Parametreler		
		T_p (sa)	Q_p (m^3/s mm)	T_b (sa)
1	Izmir-Menemen-Ulucak	1.853	0.037	5.559
2	Konya-Seydisehir-Glabbera	2.513	0.098	7.539
3	Mersin-Tarsus-Topçu	2.008	0.185	6.024
4	Konya-Beyşehir-Karabalçık	3.859	0.521	11.577
5	Adıyaman-Kahta-Harabe	4.158	0.526	12.474
6	Yozgat-Sorgun-Ikikara	3.805	0.649	11.415
7	Ankara-Haymana-Catalkaya	4.646	0.744	13.938

Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenen birim hidrograf parametreleri arasındaki farklar ve hata oranları çizelge 7.13’de verilmiştir.

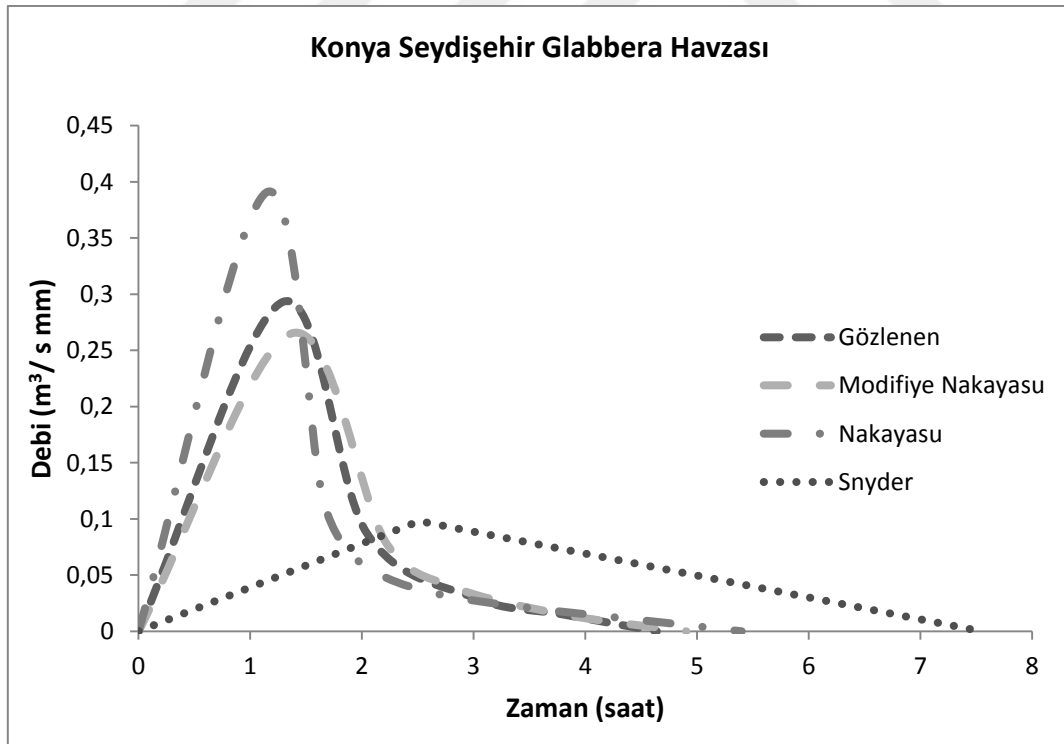
Çizelge 7. 13. Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrografalara ait parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler			Havzalar						
			1	2	3	4	5	6	7
			Ulucak	Glabbera	Topçu	Karabalçık	Harabe	Ikikara	Catalkaya
Q _p	I	Göz.	0.068	0.293	0.435	1.284	1.599	1.525	2.579
		Nak.	0.152	0.390	0.550	1.702	2.070	2.087	2.904
	II	Fark	0.084	0.097	0.115	0.418	0.471	0.562	0.325
		Hata%	123.529	33.106	26.437	32.555	29.456	36.852	12.602
	III	Mod. Nak.	0.089	0.265	0.366	1.350	1.609	1.514	2.556
		Fark	0.021	0.028	0.069	0.066	0.010	0.011	0.023
		Hata%	30.882	9.556	15.862	5.140	0.625	0.721	0.892
	IV	Snyder	0.037	0.098	0.185	0.521	0.526	0.649	0.744
		Fark	0.031	0.195	0.250	0.763	1.073	0.876	1.835
		Hata%	45.588	66.553	57.471	59.424	67.104	57.443	71.152
T _p	I	Göz.	1.190	1.290	1.270	1.750	1.880	1.750	2.000
		Nak.	0.804	1.141	1.141	1.448	1.536	1.448	1.661
	II	Fark	0.386	0.149	0.129	0.302	0.344	0.302	0.339
		Hata%	32.437	11.550	10.157	17.257	18.298	17.257	16.950
	III	Mod. Nak.	1.001	1.369	1.369	1.744	1.844	1.744	1.981
		Fark	0.189	0.079	0.099	0.006	0.036	0.006	0.019
		Hata%	15.882	6.124	7.795	0.343	1.915	0.343	0.950
	IV	Snyder	1.853	2.513	2.008	3.859	4.158	3.805	4.646
		Fark	0.663	1.223	0.738	2.109	2.278	2.055	2.646
		Hata%	55.714	94.806	58.110	120.514	121.170	117.429	132.3
T _b	I	Göz.	5.390	4.640	5.090	8.890	7.650	6.660	7.670
		Nak.	3.400	5.400	5.800	15.600	13.900	16.000	16.900
	II	Fark	1.990	0.760	0.710	6.710	6.250	9.340	9.230
		Hata%	36.920	16.379	13.949	75.478	81.699	140.240	120.339
	III	Mod. Nak.	5.639	4.904	4.960	7.557	7.340	8.014	7.600
		Fark	0.249	0.264	0.130	1.333	0.310	1.354	0.070
		Hata%	4.620	5.690	2.554	14.994	4.052	20.330	0.913
	IV	Snyder	5.559	7.539	6.024	11.577	12.474	11.415	13.938
		Fark	0.169	2.899	0.934	2.687	4.824	4.755	6.268
		Hata%	3.135	59.115	18.350	30.225	63.059	71.396	81.721
			Q _p = Pik Debi, T _p =Pik zamanı, T _b = birim hidrograf süresi						

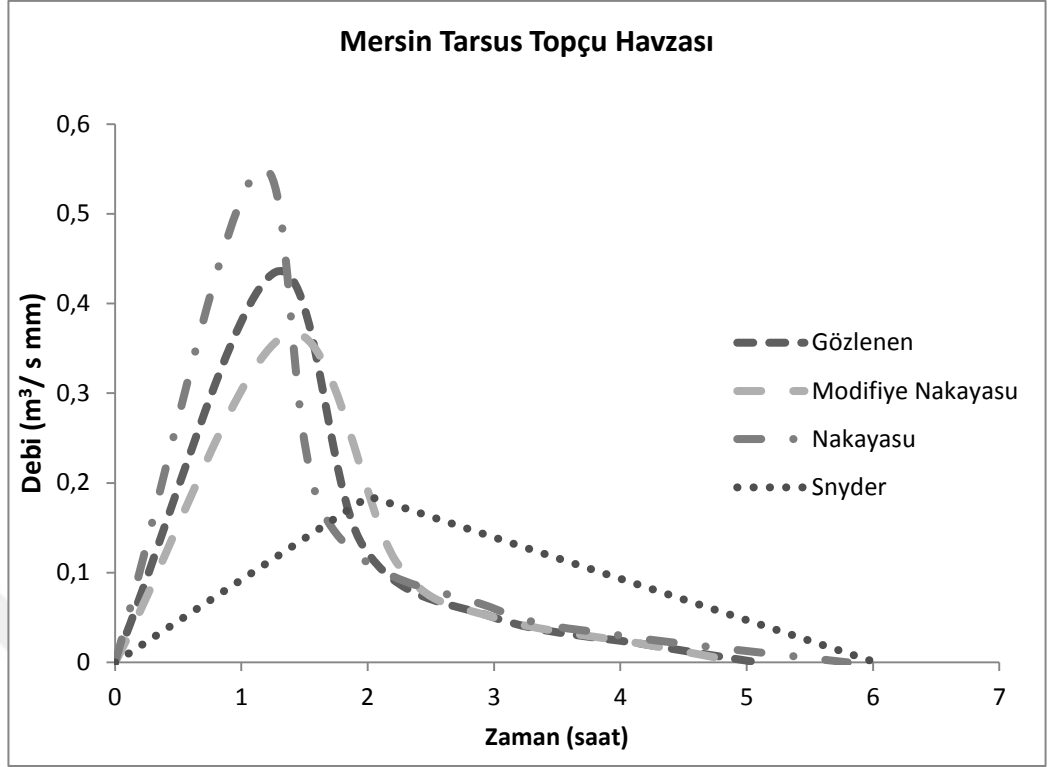
Snyder S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograf parametreleri kullanılarak birim hidrograflar sentetik olarak çizilmiş ve gözlenmiş birim hidrografların yanı sıra Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile elde edilen birim hidrograflar ile karşılaştırılmıştır. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile elde edilen birim hidrograflar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



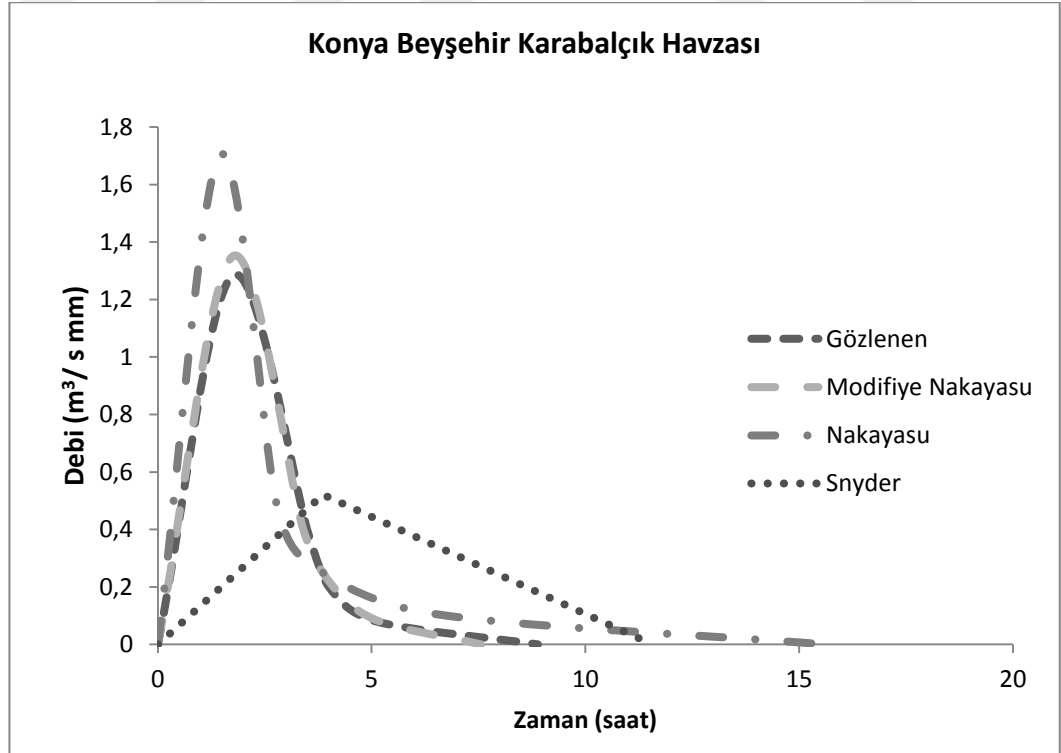
Şekil 7. 64. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



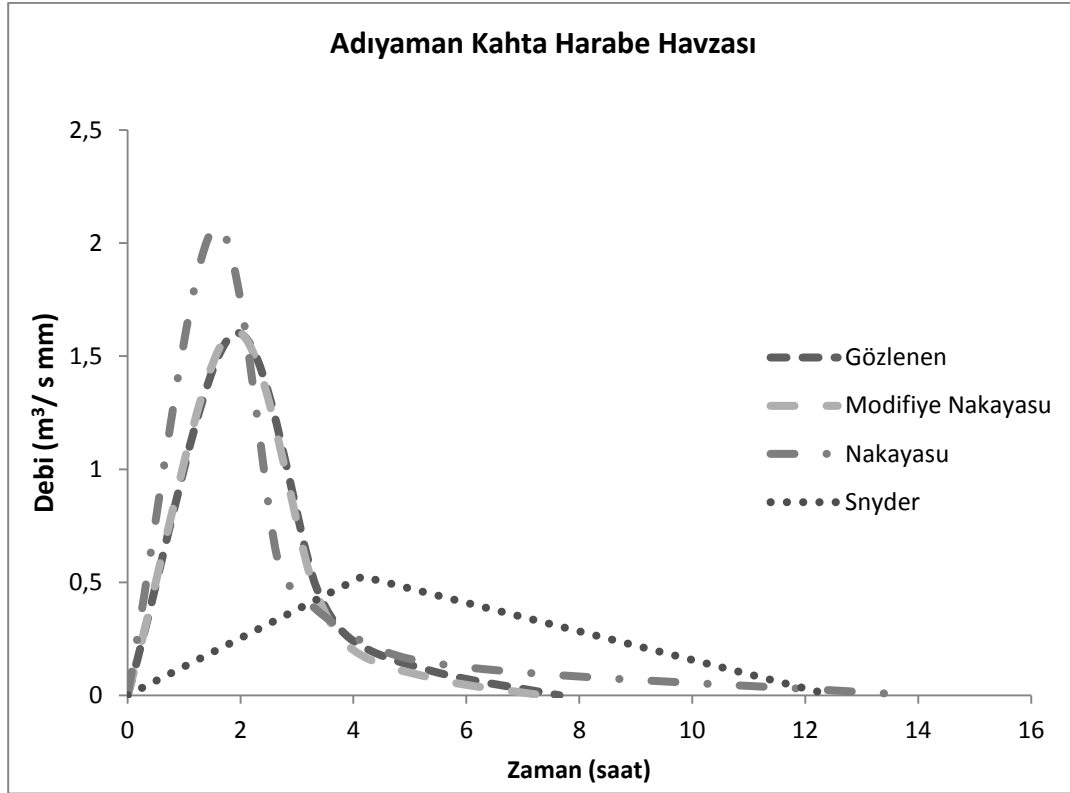
Şekil 7. 65. İzmir Menemen Ulucak alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



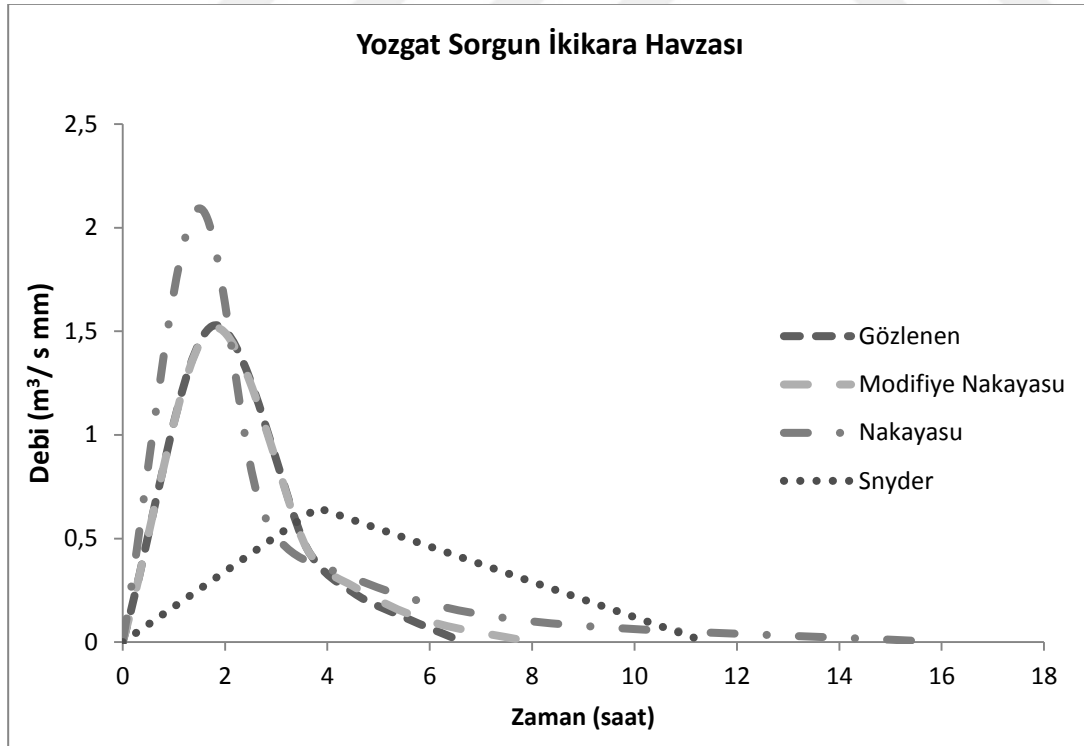
Şekil 7. 66. Mersin Tarsus Topçu alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



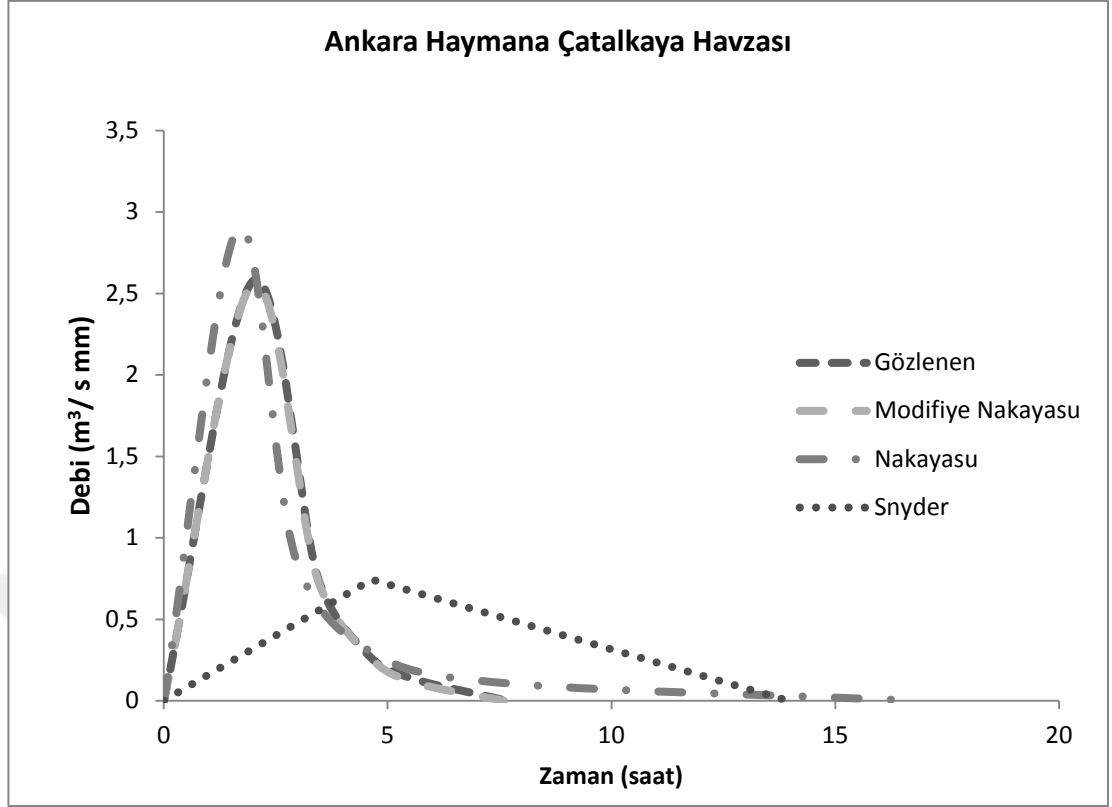
Şekil 7. 67. Konya Beyşehir Karabalçık alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7. 68. Adıyaman Kahta Harabe alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

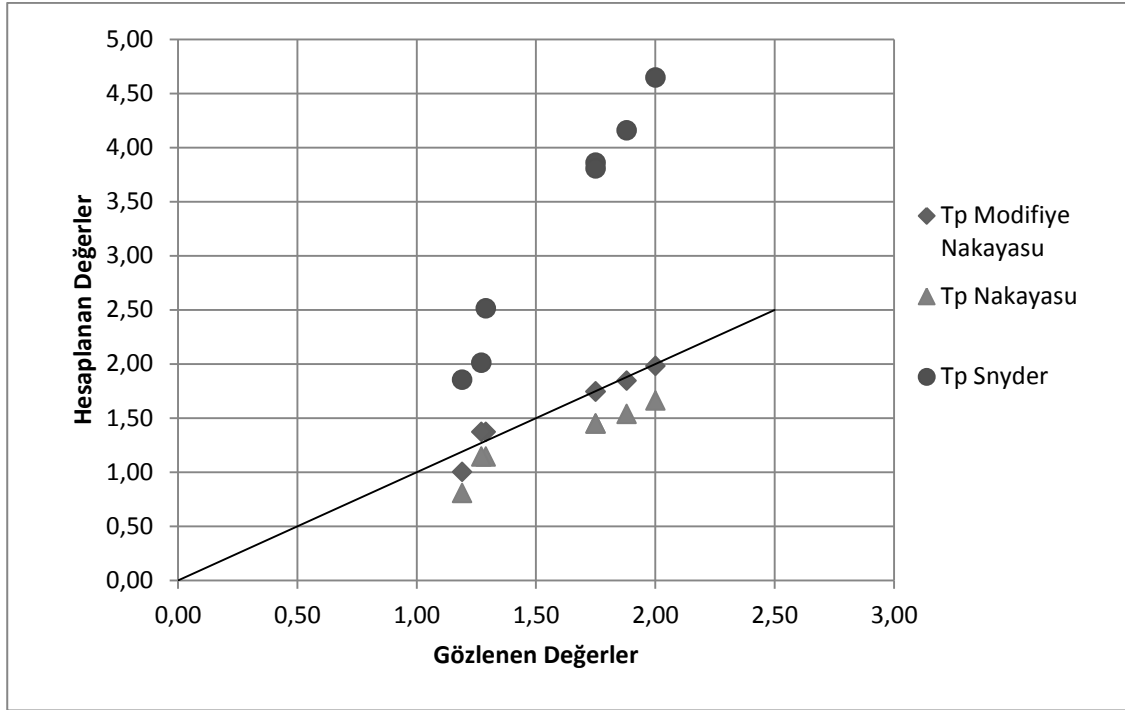


Şekil 7. 69. Yozgat Sorgun İkikara alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

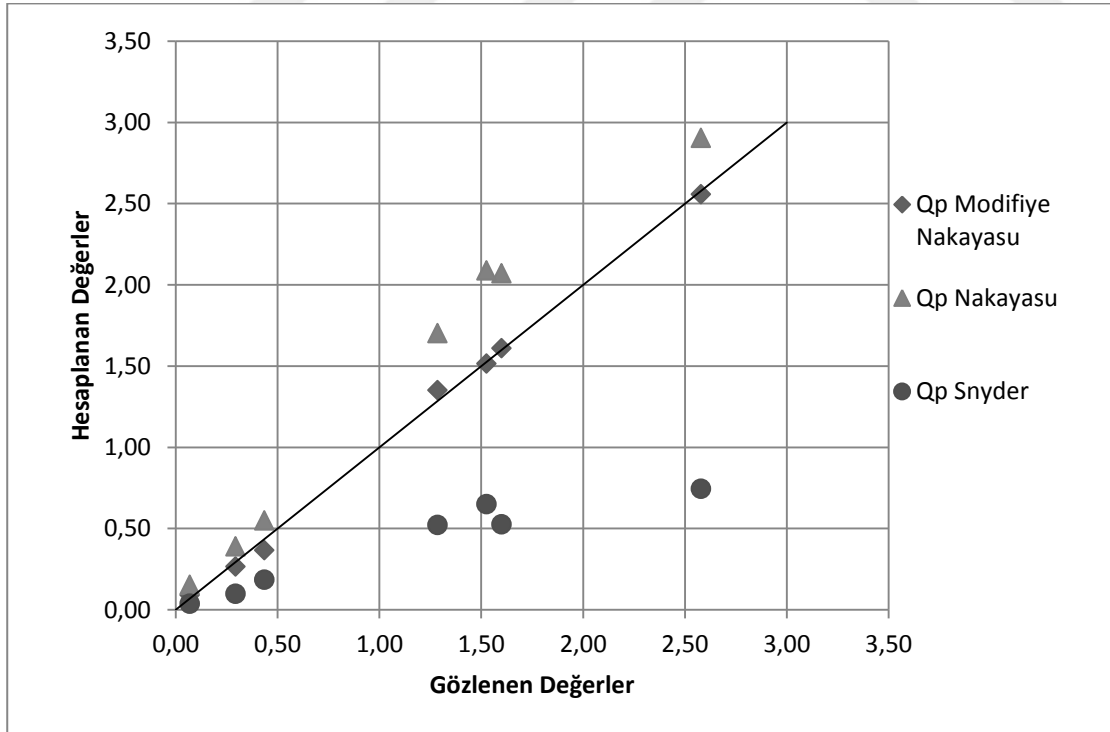


Şekil 7. 70. Ankara Haymana Çatalkaya alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

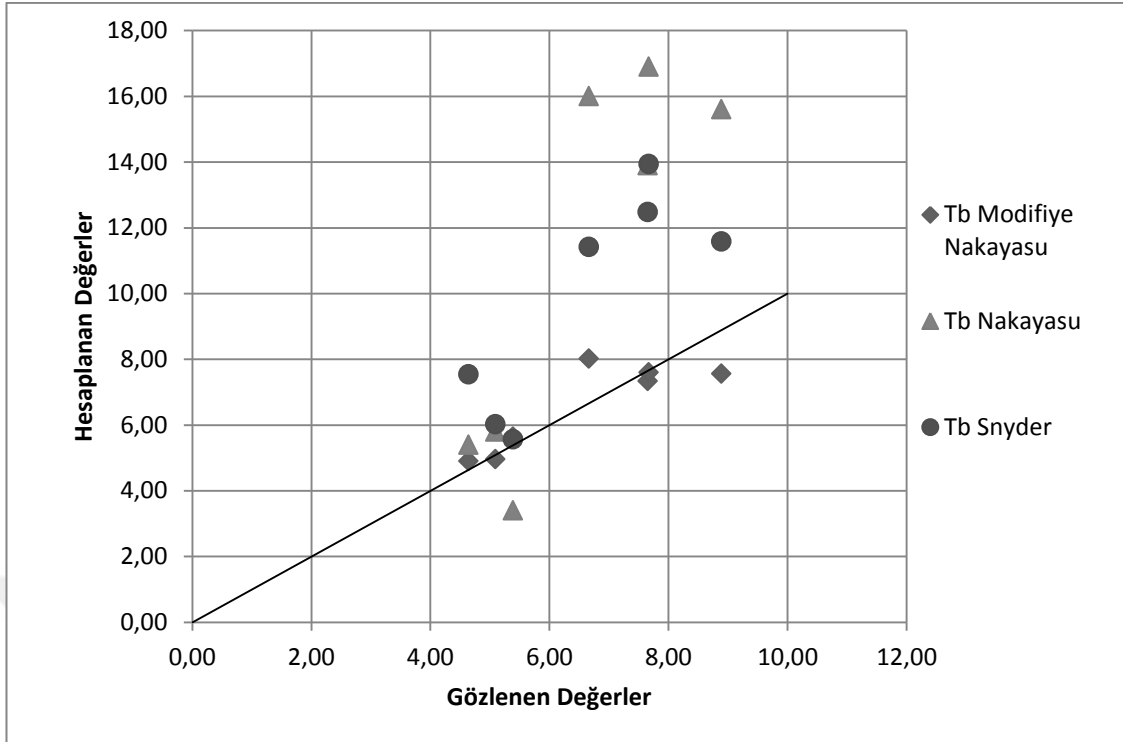
Snyder S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak elde edilen birim hidrograf parametreleri, seçmiş olduğumuz alt havzalara ait gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile hesaplanan birim hidrografların T_p , Q_p ve T_b parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren şekiller aşağıdaki gibidir.



Şekil 7. 71. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7. 72. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H.'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7. 73. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki

Yukarıdaki şekillerden de görüleceği gibi birim hidrograf parametreleri T_p , Q_p ve T_b nin hesabında en iyi sonuçların modifiye Nakayasu yöntemi ile elde edildiği anlaşılmıştır. Snyder yöntemi ile hesaplanan T_p değerlerinin gözlenen değerlerden çok büyük olduğu, hesaplanan Q_p değerlerinin gözlenen değerlerden çok küçük olduğu görülmektedir. T_b değerlerinin hesabında Nakayasu yöntemine kıyasla daha iyi değerler elde edilmiş olsa da modifiye Nakayasu yöntemi ile hesaplanan değerlerin Snyder yöntemiyle hesaplanan değerlerden çok daha iyi olduğu görülmüştür.

7.2.4. Büyük Ölçekli Havzalarda Nakayasu Yöntemi ile Snyder Yönteminin Karşılaştırılması

Önceki bölümde, seçilen büyük ölçekli havzalara ait birim hidrograf parametreleri Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile hesap edilmişti. Bu bölümde seçilen havzalara ait birim hidrograf parametreleri Snyder yöntemi ile hesap edilmiş, sonuçlar Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Gözlenen birim hidrograplara ait karakteristik özellikler kullanılarak birim hidrograplara ait Q_p , T_p ve T_b değerleri Snyder yöntemi ile verilen eşitlikler yardımı ile sentetik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler tablodaki gibidir.

Çizelge 7. 14. Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri

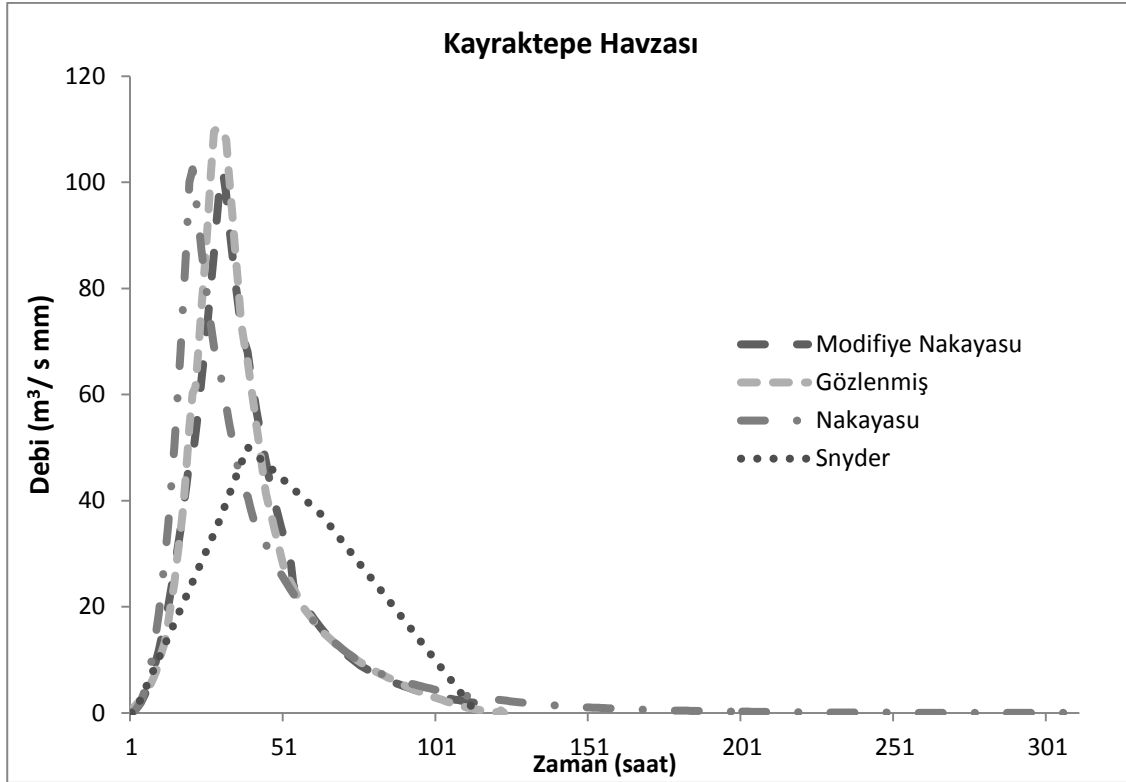
Havzalar		Snyder S.B.H. ile tahmin Edilen Parametreler		
		T_p (sa)	Q_p (m^3/s mm)	T_b (sa)
1	Kayraktepe	36.50	50.10	109.50
2	Üzümlü	37.37	36.36	107.04
3	Hamam	29.522	27.80	86.00
4	Kırkyalan	27.563	24.824	79.40
5	Himmetli	28.177	15.98	74.74

Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri ile gözlenen birim hidrograf parametreleri arasındaki farklar ve hata oranları çizelge 7.15’de verilmiştir.

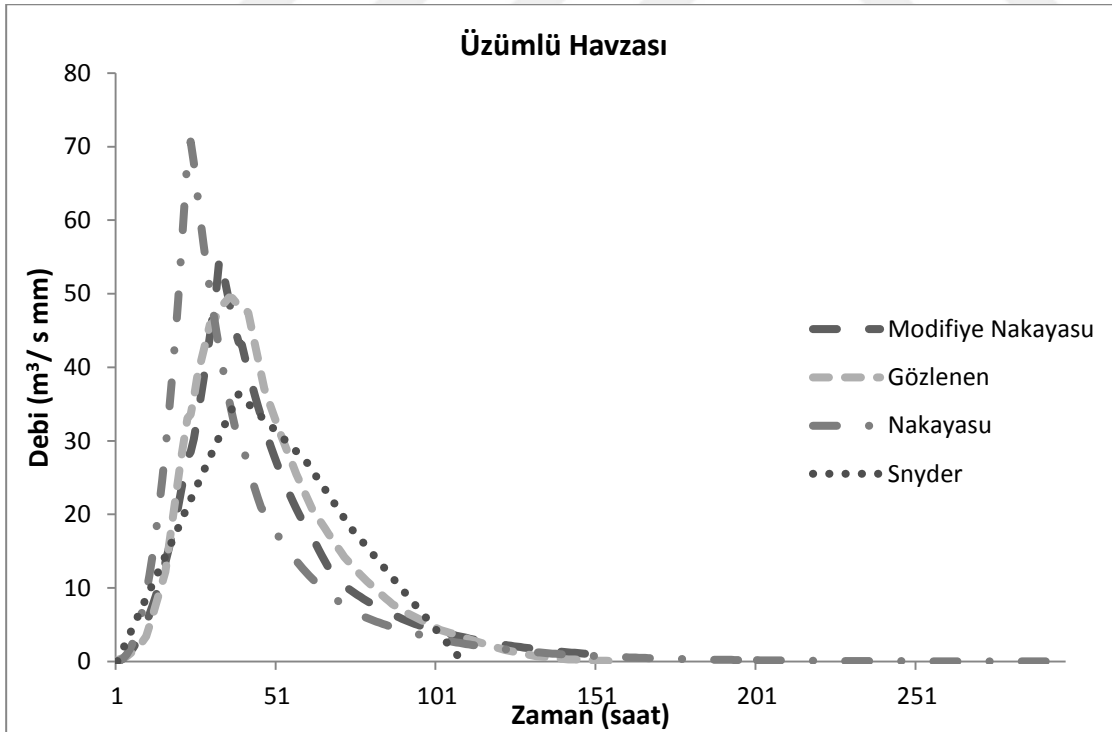
Çizelge 7. 15. Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrografalara ait parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler			Havzalar				
			1	2	3	4	5
			Kayraktepe	Üzümlü	Hamam	Kırkyalan	Himmetli
Q _p	I	Göz.	110.100	49.600	41.700	40.100	19.800
		Nak.	102.437	70.688	61.416	54.431	32.771
	II	Fark	7.663	21.088	19.716	14.331	12.971
		Hata%	6.960	42.516	47.281	35.738	65.510
	III	Mod. Nak.	102.007	54.898	50.185	42.556	20.017
		Fark	8.093	5.298	8.485	2.456	0.217
		Hata%	7.351	10.681	20.348	6.125	1.096
	IV	Snyde r	50.10	36.36	27.80	24.824	15,98
		Fark	60.00	13.24	13.9	15.276	3.82
		Hata%	54.496	26.694	33.333	38.095	19.293
T _p	I	Göz.	28	34	24	22	24
		Nak.	20.198	23.282	16.138	15.384	16.264
	II	Fark	7.802	10.718	7.862	6.616	7.736
		Hata%	27.864	31.524	32.758	30.073	32.233
	III	Mod. Nak.	29.278	32.328	24.043	23.071	23.280
		Fark	1.278	1.672	0.043	1.071	0.720
		Hata%	4.564	4.918	0.179	4.868	3.000
	IV	Snyde r	36.50	37.77	29.522	27.563	28.177
		Fark	8.50	3.77	5.522	5.563	4.177
		Hata%	34.00	11.088	23.008	25.286	17.404
T _b	I	Göz.	120	152	100	93	126
		Nak.	306	294	204	186	175
	II	Fark	186	142	104	93	49
		Hata%	155	93.421	104	100	38.889
	III	Mod. Nak.	116.164	151.047	101.775	98.686	124.780
		Fark	3.836	0.953	1.775	5.686	1.220
		Hata%	3.197	0.627	1.775	6.114	0.968
	IV	Snyde r	109.5	107.04	86	79.4	74.74
		Fark	11.50	44.96	14.00	13.6	51.26
		Hata%	9.583	29.579	14.00	14.624	40.683
		Q _p = Pik Debi, T _p =Pik zamanı, T _b = birim hidrograf süresi					

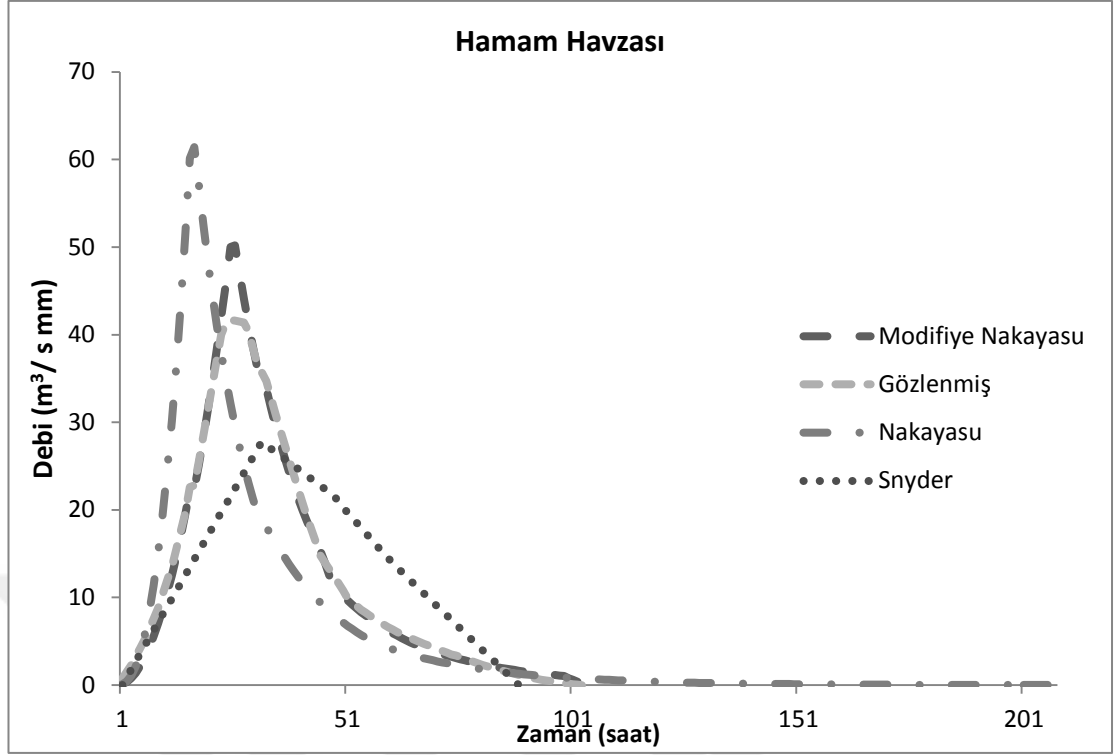
Snyder S.B.H. yöntemi ile elde edilen birim hidrograf parametreleri kullanılarak birim hidrograflar sentetik olarak çizilmiş ve gözlenmiş birim hidrografların yanı sıra Nakayasu ve Modifiye Nakayasu yöntemleri ile elde edilen birim hidrograflar ile karşılaştırılmıştır. Seçilen alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile elde edilen birim hidrograflar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



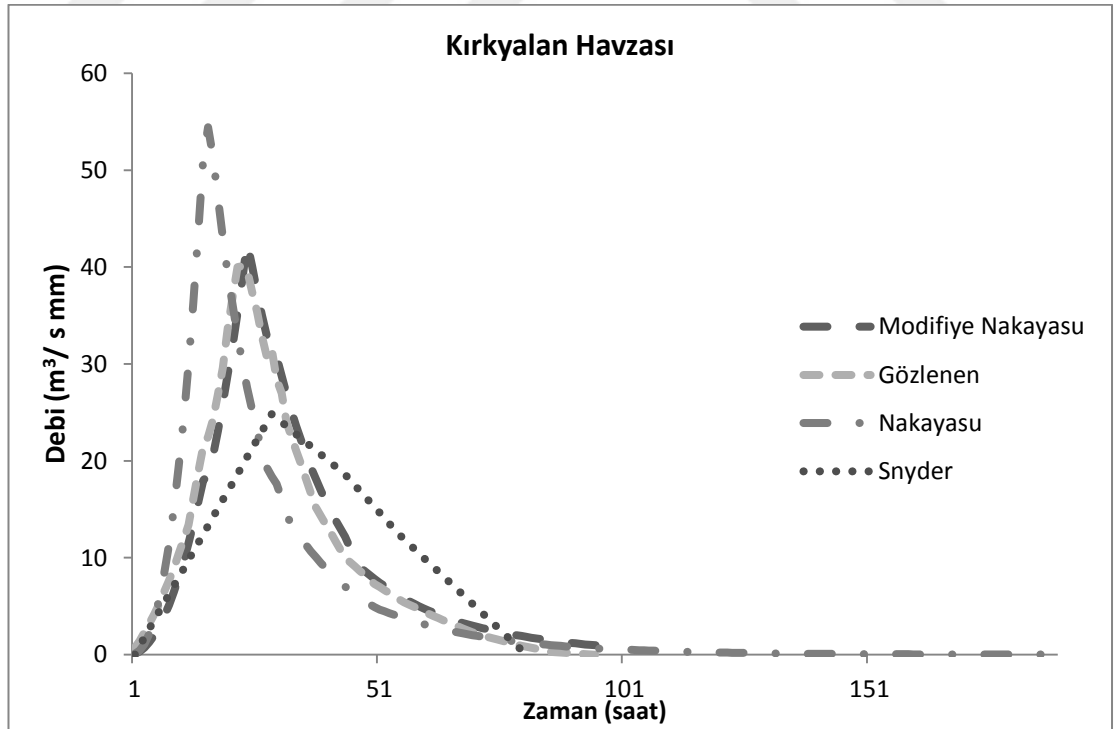
Şekil 7. 74. Kayraktepe alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



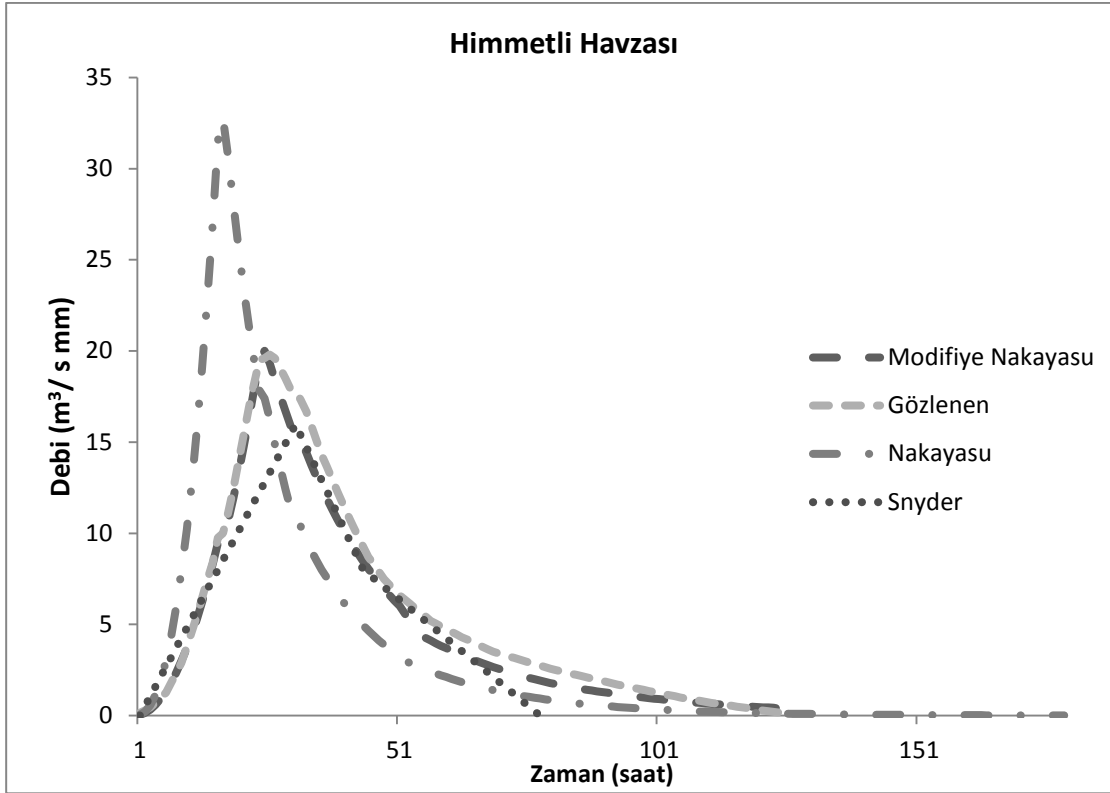
Şekil 7. 75. Üzümlü alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7. 76. Hamam alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

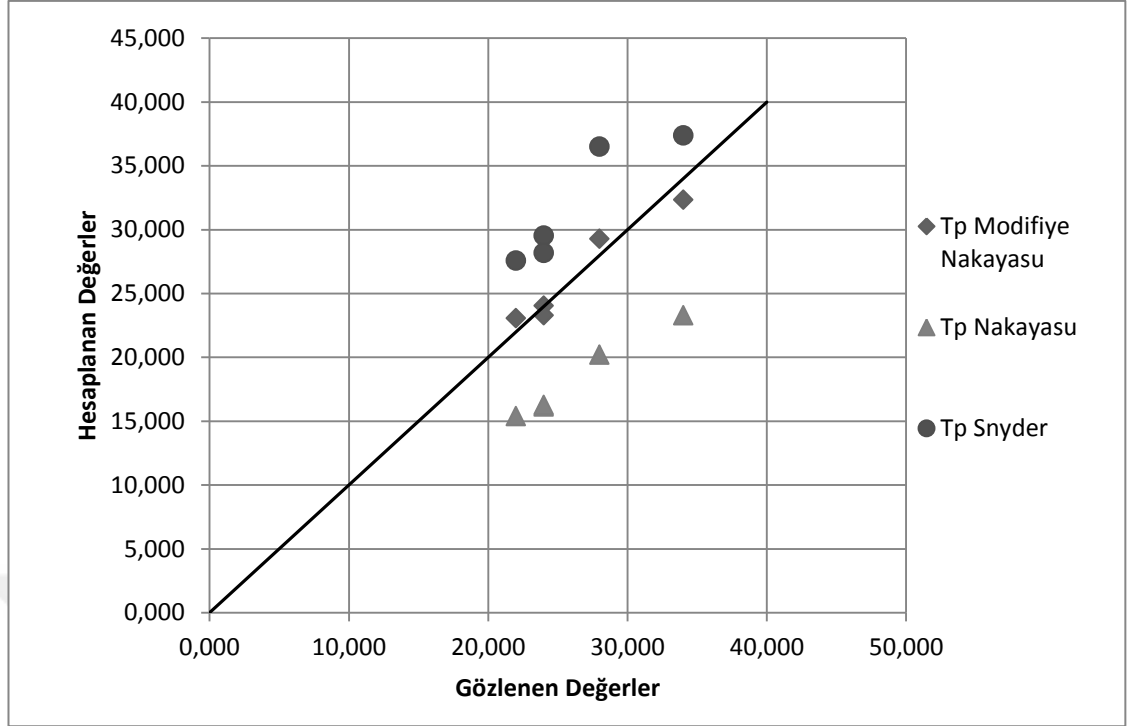


Şekil 7. 77. Kırkyalan alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

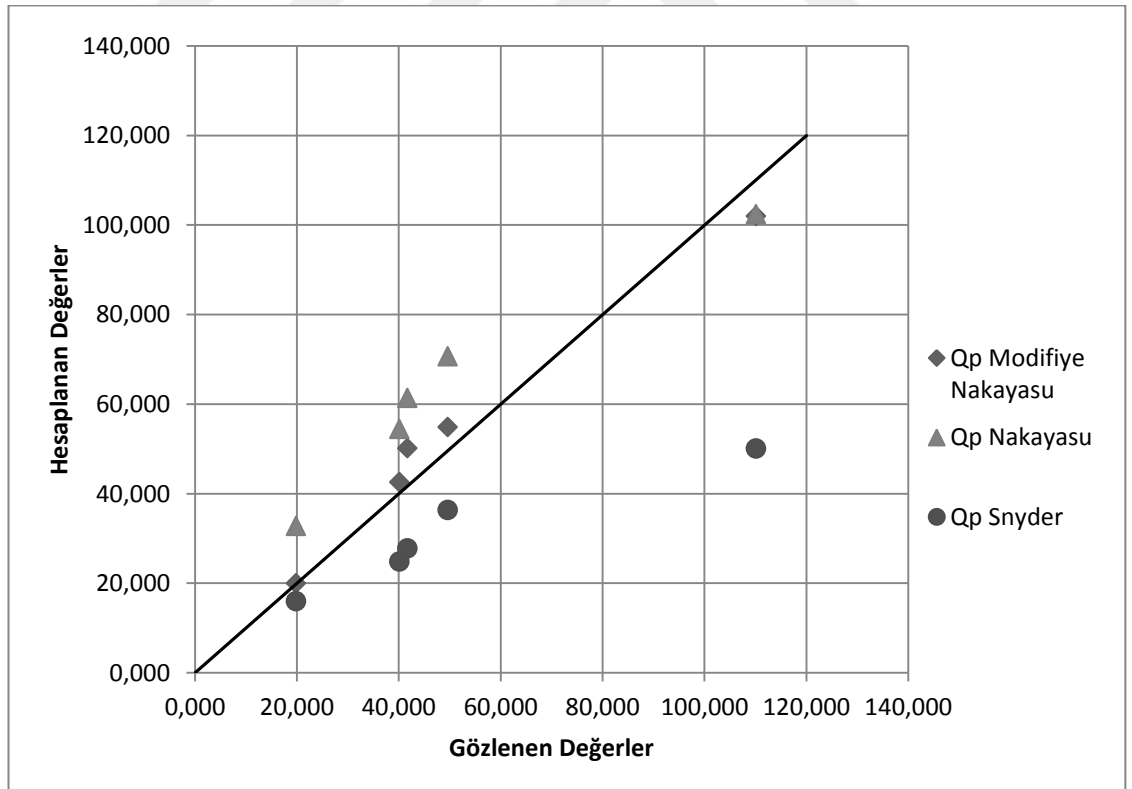


Şekil 7. 78. Himmelte alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modified Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması

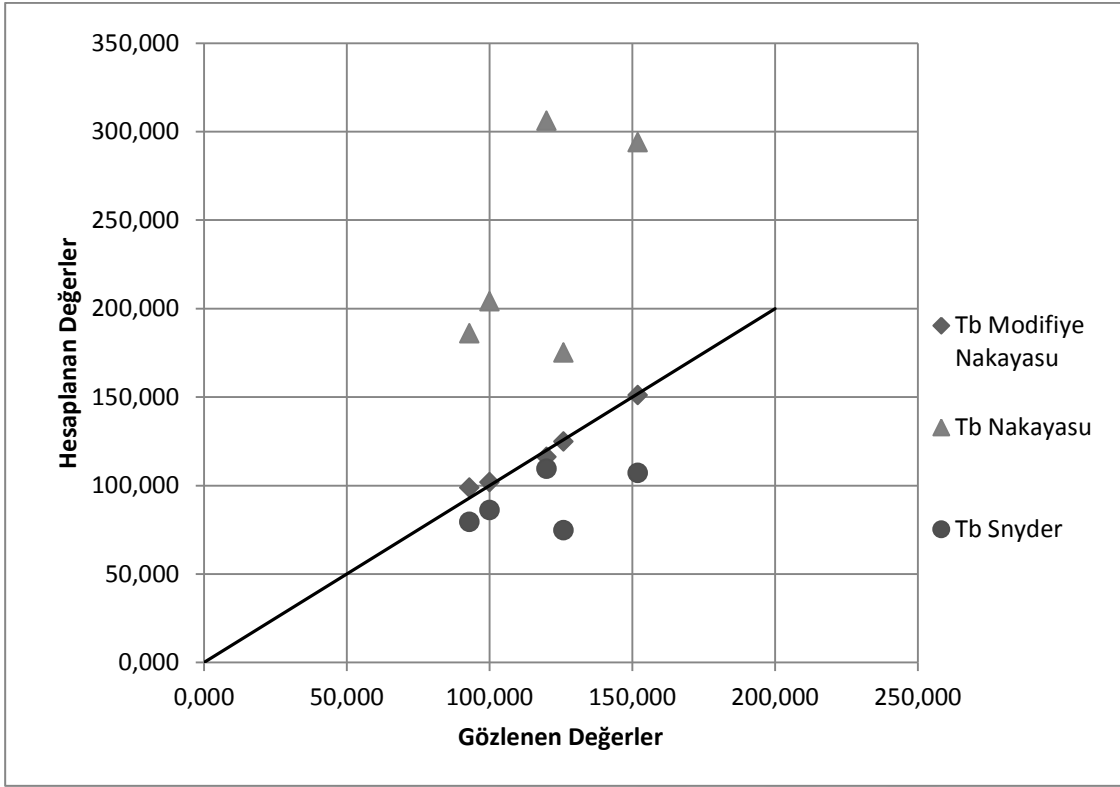
Snyder S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak elde edilen birim hidrograf parametreleri, seçmiş olduğumuz alt havzalara ait gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri, Nakayasu ve Modified Nakayasu yöntemleri ile hesaplanan birim hidrografların T_p , Q_p ve T_b parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren şekiller aşağıdaki gibidir.



Şekil 7. 79. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H.'larına ait T_p değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7. 80. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H.'larına ait Q_p değerleri arasındaki ilişki



Şekil 7. 81. Gözlenen, Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder B.H.'larına ait T_b değerleri arasındaki ilişki

7.2.5. Test Grubu Olarak Seçilen Havzalarda Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder S.B.H. Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada önceki bölümlerde, seçilmiş olan küçük ve büyük ölçekli havzalar için Nakayasu S.B.H. yönteminin birim hidrograf parametrelerinin hesabını yeterli doğrulukta yapamadığı görülmüştü. Bu nedenle Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler küçük ve büyük ölçekli havzalar için ayrı ayrı modifiye edilmek suretiyle Türkiye havzalarında kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır.

Bu bölümde ise regresyon analizleri için seçilmiş olan havzalar dışında modifiye edilmiş olan denklemlerin kontrolü için test grubu olarak 2 adet küçük ölçekli ve 1 adet büyük ölçekli alt havzaya ait G.O.B.H. verisi kullanılarak Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder yöntemleri ile hesaplama yapılmış ve bu yöntemler ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri karşılaştırılarak en uygun sonucun hangi yöntem ile belirlenebildiği gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Küçük ölçekli havzalar için test verisi olarak Konya Çiftliközü Karabalçık alt havzasına ait 1979-1993 yılları arası G.O.B.H. verisi kullanılmıştır. Birim hidrograf verisi Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Konya Çiftliközü Karabalçık deresi havza yağış ve akış karakteristikleri raporundan temin edilmiştir (Yılmaz 1996). Konya Çiftliközü Karabalçık alt havzası 16 nolu Konya havzası üzerinde yer almaktadır.

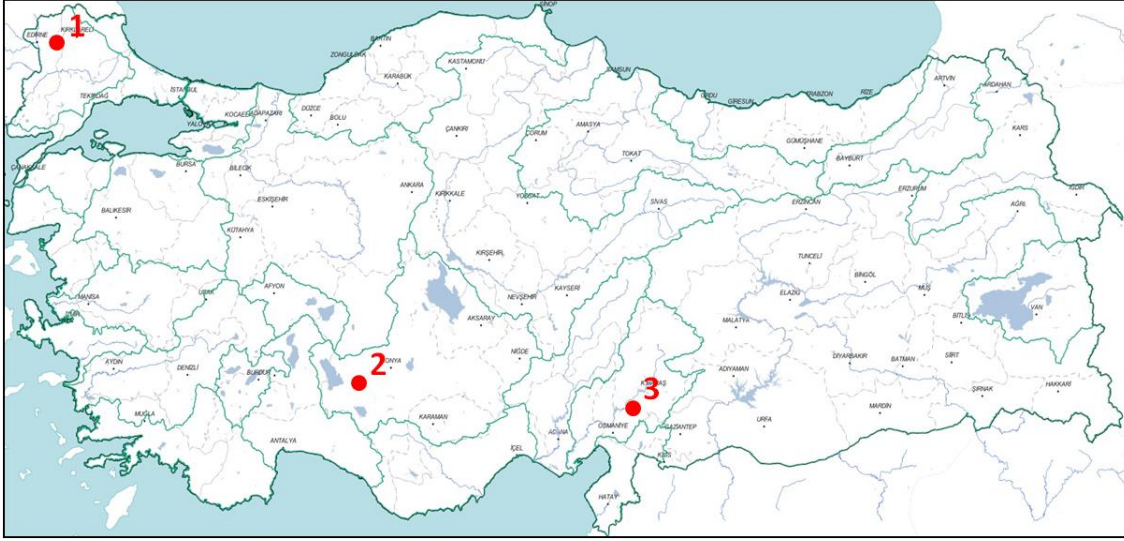
Küçük ölçekli havzalar için bir diğer test verisi Edirne Merkez Kumdere alt havzasına ait 1985-1999 yılları arası G.O.B.H. verisi kullanılmıştır (İstanbuluoğlu 2004). Edirne Merkez Kumdere alt havzası 1 nolu Meriç-Ergene havzası üzerinde yer almaktadır.

Büyük ölçekli havzalar için test verisi olarak Kürtleravşarı alt havzasına ait 1965-1969 yılları arası G.O.B.H. verisi kullanılmıştır. Birim hidrograf verisi E.İ.E.İ. Ceyhan nehri Berke barajı 1976 yılı mühendislik hidrolojisi raporundan temin edilmiştir. Kürtleravşarı alt havzası 20 nolu Ceyhan havzasında Aksu Nehri üzerinde yer almaktadır (Sezen 1988).

Seçilen küçük ve büyük ölçekli alt havzalara ait gözlenmiş birim hidrograflar ve alt havzalara ait bazı karakteristik özellikler çizelge 7.16'da verilmiştir. Seçilen alt havzaların coğrafi konumları ise şekil 7.82'de gösterilmektedir.

Çizelge 7. 16. Test grubu olarak seçilen havzalar ve gözlenmiş birim hidrograflara ait karakteristik özellikler

	Havzalar	A (km ²)	L (km)	L _c (km)	Q _p (m ³ /s mm)	t _r (sa)	T _p (sa)	T _b (sa)	T _{0.3} (sa)
1	Edirne Merkez Kumdere	4.4	3.6	1.9	0.683	0.7	1.4	7.99	1.33
2	Konya Çiftliközü Karabalçık	10.6	5	2.65	1.364	1	1.8	8.79	1.8
3	Kürtleravşarı	3360	123	60	28.7	12	21	120	26



Şekil 7. 82. Test grubundaki alt havzaların coğrafi konumu

1-Edirne-Merkez-Kumdere 2-Konya-Çiftliközü-Karabalçık 3- Kürtleravşarı

Test grubu için seçilen büyük ve küçük ölçekli havzalara ait birim hidrograf parametreleri Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder yöntemleri yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan parametreler çizelge 7.17’de verilmiştir.

Çizelge 7. 17. Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri

Havzalar		S.B.H. Yöntemi	S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan Parametreler		
			T_p (sa)	Q_p (m^3/s mm)	T_b (sa)
1	Edirne-Merkez- Kumdere	Nakayasu	1.845	0.335	9
2	Konya-Çiftliközü-Karabalçık		1.448	1.702	16
3	Kürtleravşarı		17.134	46.186	206
1	Edirne-Merkez- Kumdere	Modifiye Nakayasu	1.347	0.609	9.330
2	Konya-Çiftliközü-Karabalçık		1.743	1.409	7.310
3	Kürtleravşarı		24.430	29.320	134.050
1	Edirne-Merkez- Kumdere	Snyder	3.075	0.266	9.225
2	Konya-Çiftliközü-Karabalçık		3.859	0.521	11.577
3	Kürtleravşarı		29.716	23.377	79.91

Test grubu için seçilen küçük ve büyük ölçekli havzalara ait birim hidrograf parametreleri Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder yöntemleri ile verilen eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır. Sentetik olarak hesaplanan parametreler ile gözlenen parametreler arasındaki farklar ve hata oranları çizelge 7.18’de verilmiştir.

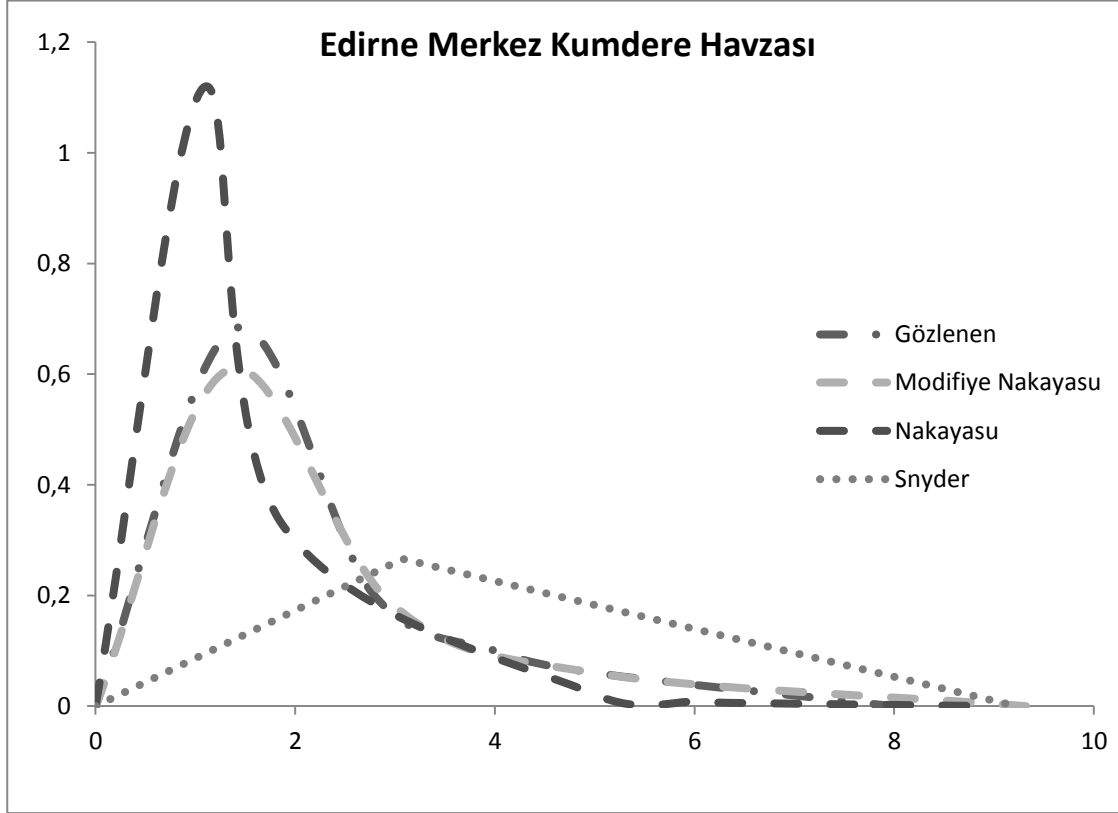
Çizelge 7. 18. Snyder, Nakayasu ve Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan ve Gözlenmiş Birim Hidrografalara ait parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler			Havzalar		
			1	2	3
			Edirne-Merkez-Kumdere	Konya-Çiftliközü-Karabalçık	Kürtleravşarı
Q _p	I	Göz.	0.683	1.364	28.7
		Nak.	0.335	1.702	46.186
	II	Fark	0.348	0.338	17.486
		Hata%	50.952	24.78	60.927
	III	Mod. Nak.	0.609	1.409	29.32
		Fark	0.074	0.045	0.62
		Hata%	10.835	3.299	2.16
	IV	Snyder	0.266	0.521	23.377
		Fark	0.417	0.843	5.323
		Hata%	61.054	61.804	18.547
T _p	I	Göz.	1.40	1.80	21
		Nak.	1.845	1.448	17.134
	II	Fark	0.445	0.352	3.876
		Hata%	31.786	19.556	18.41
	III	Mod. Nak.	1.348	1.743	24.43
		Fark	0.052	0.057	3.43
		Hata%	3.714	3.167	16.333
	IV	Snyder	3.075	3.859	29.716
		Fark	1.670	2.059	8.716
		Hata%	119.643	114.389	41.505
T _b	I	Göz.	7.99	8.79	120
		Nak.	9	16	206
	II	Fark	1.01	7.21	86
		Hata%	12.641	82.025	71.667
	III	Mod. Nak.	9.330	7.31	134.05
		Fark	1.34	1.48	14.05
		Hata%	16.771	16.837	11.708
	IV	Snyder	9.225	11.577	79.91
		Fark	1.235	2.787	40.09
		Hata%	15.457	31.706	33.408
		Q _p = Pik Debi, T _p =Pik zamanı, T _b = birim hidrograf süresi			

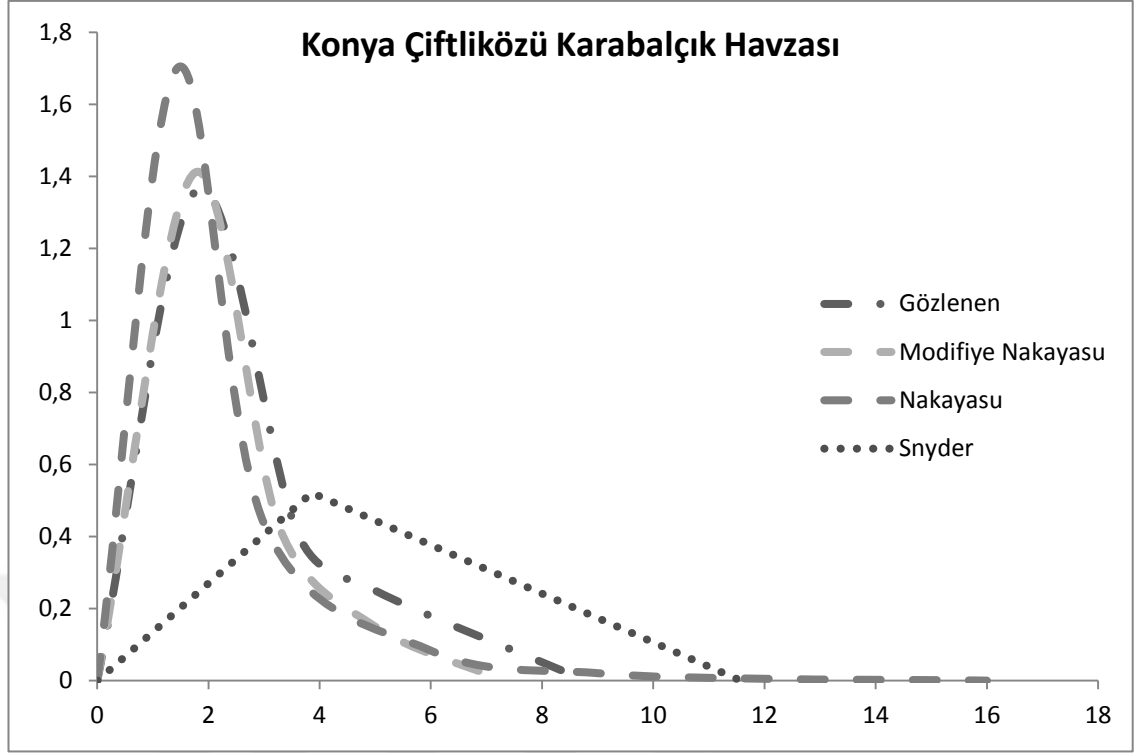
Yukarıdaki tablodan da görüleceği gibi seçilen alt havzalar için Nakayasu, Modifiye Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan birim hidrograf parametreleri incelendiğinde Modifiye Nakayasu yöntemiyle hesaplanan parametrelerin gözlenen birim hidrografalara ait parametrelere en yakın sonuç veren yöntem olduğu görülmektedir. Özellikle pik debilerin ve pik zamanının tahmininde hem Nakayasu yönteminden hem de Snyder yönteminden oldukça başarılı olan Modifiye Nakayasu yöntemi, taban süresi hesabında Edirne Merkez Kumdere alt havzasına ait taban süresini diğer yöntemlerle hemen hemen aynı hata payı ile hesaplarken diğer iki havzaya ait

taban süresi parametrelerini Nakayasu ve Snyder yöntemlerine göre daha doğru bir hata payı ile hesap etmiştir.

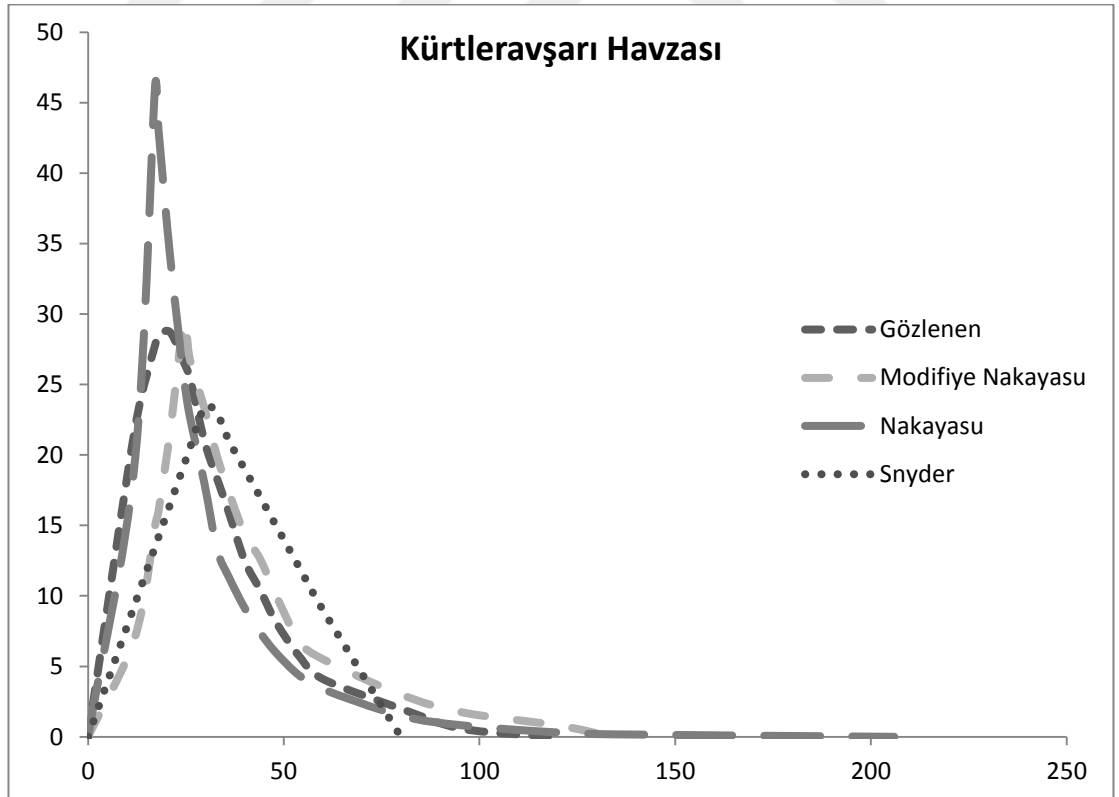
S.B.H. yöntemleri ile hesaplanan parametreler kullanılarak çizilen birim hidrograflar ile G.O.B.H. ların karşılaştırıldığı şekiller aşağıdaki gibidir.



Şekil 7. 83. Edirne-Merkez-Kumdere alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7. 84. Konya-Çiftlikközü-Karabalçık alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



Şekil 7. 85. Kürtleravşarı alt havzası gözlenen ve Snyder, Nakayasu, Modifiye Nakayasu B.H. larının karşılaştırılması



8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Nakayasu S.B.H. yöntemi Uzakdoğu ülkelerinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen Türkiye’de ve diğer Avrupa ülkelerinde kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada Türkiye havzalarında Nakayasu S.B.H. yönteminin kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda küçük ölçekli 7 adet ve büyük ölçekli 5 adet alt havzaya ait gözlenmiş birim hidrograflar kullanılmıştır. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler bu gözlenmiş birim hidrograflara ait parametreler kullanılmak suretiyle tek değişkenli ve çok değişkenli lineer, non-lineer regresyon analizi ve panel veri analizleri yardımıyla modifiye edilmiştir.

Kullanmış olduğumuz birim hidrografların ana kanal uzunluğu dikkate alınarak $L < 15$ km şartını sağlayan havzalar küçük ölçekli havzalar olarak belirlenmiştir. Küçük ölçekli havzalar için Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler seçilen bu küçük ölçekli havzalara ait parametrelerin kullanılması ile modifiye edilmiştir. Modifiye edilmiş olan Nakayasu S.B.H. yöntemi eşitlikleri Türkiye havzalarında kullanılabilecek şekilleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 8. 1. Küçük ölçekli havzalar için modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. eşitlikleri

Modifiye Edilmiş Nakayasu Eşitliği
$t_g = 0.388 L^{0.552}$
$\alpha = -1.933 T_p + 12.279 t_g - 1.485 L + 0.090 A$
$Q_p = \frac{(0.9953 A R_0)}{(3.6 (0.3 T_p + T_{0.3}))}$
$T_b = 2.2 \left(\frac{T_{0.3} + T_p}{t_r} \right)^{1.01}$

Nakayasu yönteminde hesaplamalarda kullanılan α havza katsayısı için herhangi bir hesaplama yöntemi önerilmemektedir. Bu çalışma ile Nakayasu S.B.H. yönteminin bu eksik görülen yönünü giderebilmek için α değerlerinin hesaplanmasında kullanılabilecek bir eşitlik geliştirilmiştir.

Ayrıca yine Nakayasu S.B.H. yöntemi ile sentetik olarak hesaplanan birim hidrografların taban süresinin hesabı için herhangi bir eşitlik önerilmemektedir. Yapmış olduğumuz çalışma sonucunda birim hidrografların taban süresinin hesaplanmasında kullanılabilecek bir denklem elde edilmiş ve Nakayasu S.B.H. yönteminin bu eksik yönü giderilmeye çalışılmıştır.

Bir diğer eksiklik sayılabilecek yanı ise şimdiye kadar yapılmış bütün çalışmalarda Q_p 'nin hesabı için verilen eşitlikteki C katsayısı hep 1 alınmaktaydı. Yapmış olduğumuz çalışma sonucunda Türkiye'deki küçük ölçekli havzalar için bu C katsayısının 1'den farklı bir sayı alınabileceği gösterilmiştir.

Küçük ölçekli havzalar için denklemlerin modifiye edilmesi için seçilen havzalara ait birim hidrograf parametrelerinden Q_p , T_p , T_b , t_g , α ve $T_{0.3}$ parametreleri Modifiye Nakayasu ve Nakayasu yöntemleri ile hesap edilmiştir. Ayrıca Modifiye Nakayasu yönteminin Türkiye'de yaygın olarak kullanılan sentetik yöntemlerden Snyder S.B.H. yöntemi ile karşılaştırılması amacı ile Q_p , T_p , T_b birim hidrograf parametreleri Snyder yöntemi ile de hesap edilmiştir. Hesap edilen birim hidrograf parametreleri ile gözlenen birim hidrograf parametreleri arasındaki hata payları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile birim hidrograf parametreleri hesap edildiğinde gözlenen ve hesap edilen Q_p değerleri arasındaki fark sırasıyla Ulucak için %123.529, Glabbera için, %33.106, Topçu için %26.437, Karabalçık için %32.555, Harabe için % 29.456, İkikara için %36.852, Çatalkaya için %12.602 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile seçilen alt havzalara ait gözlenen ve hesap edilen Q_p değerleri arasındaki fark sırasıyla Ulucak için %45.588, Glabbera için %66.553, Topçu için % 57,471, Karabalçık için %59.424, Harabe için %67.104, İkikara için %57.443 ve Çatalkaya için %71.152 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Modifiye edilmiş Nakayasu denklemi kullanıldığında ise gözlenen ve hesap edilen Q_p değerleri arasındaki fark sırasıyla Ulucak için %30.882, Glabbera için, %9.556, Topçu için %15.862, Karabalçık için %5.140, Harabe için % 0.625, İkikara için %0.721, Çatalkaya için %0.892 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Nakayasu S.B.H. yöntemi, Modifiye Nakayasu ve Snyder yöntemiyle hesaplanan Q_p değerlerinin gözlenen değerlerle olan hata payına bakıldığında modifiye edilmiş denklemle hesap edilen değerlerin gözlenmiş olan değerlere Nakayasu S.B.H. ve Snyder yöntemi ile hesaplanan değerlerden çok daha yakın olduğu görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden T_p için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Ulucak için %32.437, Glabbera için, %11.550, Topçu için %10.157, Karabalçık için %17.257, Harabe için %18.298, İkikara için %17.257, Çatalkaya için %16.950 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile seçilen alt havzalara ait T_p değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırasıyla Ulucak için %55.714, Glabbera için %94.508, Topçu için %58.110, Karabalçık için %120.514, Harabe için %121.170, İkikara için %117.429 ve Çatalkaya için %132.3 oranında bir hatayı ile hesap edilmiştir.

Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırası ile Ulucak için %15.882, Glabbera için, %6.124, Topçu için %7.795, Karabalçık için %0.343, Harabe için %1.915, İkikara için %0.343, Çatalkaya için %0.950 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

T_p birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında yine modifiye edilmiş eşitlik ile Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden T_b için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Ulucak için %36.920, Glabbera için, %16.379, Topçu için %13.949, Karabalçık için %75.478, Harabe için %81.699, İkikara için %140.240, Çatalkaya için %120.339 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile hesap edilen T_b değerleri gözlenmiş değerlere kıyasla sırası ile Ulucak için %3.135, Glabbera için %59.115, Topçu için %18.350, Karabalçık için %30.225, Harabe için %63.059, İkikara için %71.396, Çatalkaya için %81.721 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırası ile Ulucak için %4.620, Glabbera için, %5.690, Topçu için %2.554, Karabalçık için %14.994, Harabe için % 4.052, İkikara için %20.330, Çatalkaya için %0.913 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

T_b birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında Ulucak havzasında Snyder yöntemi ile daha iyi bir değer hesaplanmış olmasına rağmen diğer bütün havzalar için modifiye edilmiş eşitlik ile daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden t_g için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Ulucak için %60.502, Glabbera için, %30.408, Topçu için %27.447, Karabalçık için %31.789, Harabe için % 31.852, İkikara için %31.789, Çatalkaya için %28.250 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırası ile Ulucak için %29.624, Glabbera için, %16.122, Topçu için %21.064, Karabalçık için %0.632, Harabe için % 3.333, İkikara için %0.632, Çatalkaya için %1.583 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. t_g birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında yine modifiye edilmiş eşitlik ile daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden α için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Ulucak için %7.975, Glabbera için, %2.025, Topçu için %2.180, Karabalçık için %7.354, Harabe için % 10.947, İkikara için %3.252, Çatalkaya için %26.796 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırası ile Ulucak için %2.699, Glabbera için, %3.396, Topçu için %3.747, Karabalçık için %6.334, Harabe için % 2.737, İkikara için %1.187, Çatalkaya için %2.151 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. α birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında Glabbera ve Topçu için Nakayasu yöntemiyle hesaplanan sonuçlar daha iyi çıkmıştır, geriye kalan bütün havzalar için modifiye edilmiş eşitlik ile daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden $T_{0.3}$ için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Ulucak için %63.558, Glabbera için, %31.733, Topçu için %25.797, Karabalçık için %26.780, Harabe için % 24.384, İkikara için %29.565, Çatalkaya için %9.085 oranında bir hata payıyla hesap

edilmiştir. Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırası ile Ulucak için %27.788, Glabbera için, %12.267, Topçu için %25.652, Karabalçık için %6.949, Harabe için % 0.616, İkikara için %0.543, Çatalkaya için %0.563 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. $T_{0.3}$ birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında modifiye edilmiş eşitlik ile daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Seçilen gözlenmiş birim hidrografların ait olduğu havzalardan nehir ana kol uzunluğu $L > 15$ km şartını sağlayan havzalar büyük ölçekli havzalar olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu büyük ölçekli havzalarda gözlenmiş olan birim hidrograf parametreleri kullanılarak Nakayasu S.B.H. yöntemi Türkiye'deki büyük ölçekli havzalar için modifiye edilmiştir. Modifiye edilen denklemler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 8. 2. Büyük ölçekli havzalar için modifiye edilmiş Nakayasu S.B.H. eşitlikleri

Modifiye edilmiş Nakayasu Eşitliği
$t_g = 5.604 + 0.075 L$
$\alpha = \frac{(1.47 A^{0.146} t_r^{0.805}) - (0.3 T_p)}{t_g}$
$Q_p = \frac{(1.117 A R_0)}{(3.6 (0.3 T_p + T_{0.3}))}$
$T_b = 4.062 T_{0.3} + 1.308 t_g$
$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{1.999}$
$Q_d > 0.3 Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\frac{t-T_p}{T_{0.3}} 1.063}$
$0.3 Q_p > Q_d > 0.3^2 Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\frac{t-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}} 1.183}$
$Q_d < 0.3^2 Q_p \rightarrow Q_d = Q_p 0.3^{\left(\frac{t-T_p+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}} \right) 1.222}$

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile küçük ölçekli havzalarda olduğu gibi büyük ölçekli havzalarda da birim hidrograf parametrelerin hesabında kullanılan α havza karakteristiği için herhangi bir eşitlik verilmemektedir. Çalışmamızda büyük ölçekli havzalar için bu

α havza katsayısının hesabı için bir eşitlik geliştirilmiş ve Nakayasu S.B.H. yönteminin bu eksikliği giderilmiştir.

Yine aynı şekilde Nakayasu S.B.H. yöntemi ile büyük ölçekli havzalarda sentetik olarak hesaplanan birim hidrografların taban süresinin hesabı için herhangi bir eşitlik sunulmamaktadır. Bu çalışma ile büyük ölçekli havzalarda da birim hidrograf taban süresinin hesabı için bir eşitlik geliştirilmiştir ve Nakayasu S.B.H. yönteminin bu eksikliğide giderilmiştir.

Küçük ölçekli havzalarda olduğu gibi büyük ölçekli havzalarda da Q_p için verilen eşitlikteki C katsayısının yine 1'den farklı bir değer alınabileceği görülmüştür.

Büyük ölçekli havzalar için denklemlerin modifiye edilmesi için seçilen havzalara ait birim hidrograf parametrelerinden Q_p , T_p , T_b , t_g , α ve $T_{0.3}$ parametreleri Modifiye Nakayasu ve Nakayasu yöntemleri ile hesap edilmiştir. Ayrıca Modifiye Nakayasu yönteminin Türkiye'de yaygın olarak kullanılan sentetik yöntemlerden Snyder S.B.H. yöntemi ile karşılaştırılması amacı ile Q_p , T_p , T_b birim hidrograf parametreleri Snyder yöntemi ile de hesap edilmiştir. Hesap edilen birim hidrograf parametreleri ile gözlenen birim hidrograf parametreleri arasındaki hata payları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile birim hidrograf parametreleri hesap edildiğinde gözlenen ve hesap edilen Q_p değerleri arasındaki fark sırasıyla Kayraktepe için %6.960, Üzümlü için, %42.516, Hamam için %47.281, Kırkyalan için %35.738, Himmetli için % 65.110 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan Q_p değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kayraktepe için % 54.496, Üzümlü için %26.694, Hamam için %33.333, Kırkyalan için %38.095 ve Himmetli için %19.293 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Modifiye edilmiş Nakayasu denklemi kullanıldığında ise gözlenen ve hesap edilen Q_p değerleri arasındaki fark sırasıyla Kayraktepe için %7.351, Üzümlü için, %10.681, Hamam için %20.348, Kırkyalan için %6.125, Himmetli için % 1.096 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Q_p birim hidrograf parametresi için yukarıdaki hata payları incelendiğinde Kayraktepe için Nakayasu yöntemiyle hesaplanan sonuçlar daha iyi çıkmıştır, geriye kalan bütün havzalar için modifiye edilmiş eşitlik ile Nakayasu ve Snyder yöntemine kıyasla daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden T_p için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %27.864, Üzümlü için, %31.524, Hamam için %32.758, Kırkyalan için %30.073, Himmetli için % 32.233 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan T_p değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kayraktepe için %34, Üzümlü için %11.088, Hamam için %23.008, Kırkyalan için %25.286 ve Himmetli için %17.404 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranları sırasıyla Kayraktepe için %4.564, Üzümlü için, %4.918, Hamam için %0.179, Kırkyalan için %4.868, Himmetli için % 3.00 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

T_p birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında yine modifiye edilmiş eşitlik ile Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden T_b için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %155.00, Üzümlü için, %93.421, Hamam için %104.00, Kırkyalan için %100.00, Himmetli için % 38.889 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile hesap edilen T_b değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kayraktepe için %9.583, Üzümlü için %29.579, Hamam için %14, Kırkyalan için %14.624 ve Himmetli için %40.683 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %3.197, Üzümlü için, %0.627, Hamam için %1.775, Kırkyalan için %6.114, Himmetli için % 0.968 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir.

T_b birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında yine modifiye edilmiş eşitlikler ile Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden t_g için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %36.120, Üzümlü için, %43.926, Hamam için %44.670, Kırkyalan için %42.410, Himmetli için % 53.722 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %5.917, Üzümlü için, %6.852, Hamam için %0.244, Kırkyalan için %6.865, Himmetli için % 5.00 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. t_g birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında yine modifiye edilmiş eşitlik ile daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden α için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %84.729, Üzümlü için, %4.676, Hamam için %29.088, Kırkyalan için %32.509, Himmetli için % 7.527 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %14.286, Üzümlü için, %8.304, Hamam için %5.508, Kırkyalan için %0.265, Himmetli için % 3.441 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. α birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında Üzümlü için Nakayasu yöntemiyle hesaplanan sonuçlar daha iyi çıkmıştır, geriye kalan bütün havzalar için modifiye edilmiş eşitlik ile daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Birim hidrograf parametrelerinden $T_{0.3}$ için gözlenen değerler ile Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesap edilen arasındaki hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %18.030, Üzümlü için, %41.313, Hamam için %28.586, Kırkyalan için %23.692, Himmetli için % 50.232 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. Modifiye edilmiş Nakayasu eşitliği ile hesap yapıldığında bu hata oranı sırasıyla Kayraktepe için %21.055, Üzümlü için, %14.584, Hamam için %5.270, Kırkyalan için %7.186, Himmetli için % 1.729 oranında bir hata payıyla hesap edilmiştir. $T_{0.3}$ birim hidrograf parametresi için bu hata paylarına bakıldığında Kayraktepe için Nakayasu yöntemiyle hesaplanan sonuçlar daha iyi çıkmıştır, geriye kalan bütün havzalar için modifiye edilmiş eşitlik ile daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Yukarıda seçilen küçük ve büyük ölçekli havzaların haricinde yöntemimizin Türkiye havzalarında kullanılabilirliğinin sınanması amacıyla test grubu verisi olarak Edirne Merkez Kumdere ve Konya Çiftliközü Karabalçık olmak üzere 2 adet küçük

ölçekli ve Kürtleravşarı olmak üzere 1 adet büyük ölçekli alt havzaya ait gözlenmiş ortalama birim hidrograflar seçilmiştir. Bu alt havzalara ait birim hidrograf parametreleri Q_p , T_p , T_b değerleri Modifiye Nakayasu, Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemleri kullanılarak sentetik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile gözlenen değerler kıyaslanarak her üç yönteminde performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Seçilen alt havzalara için Q_p değerleri Modifiye Nakayasu yöntemi ile gözlenen değerlere kıyasla sırasıyla Kumdere için % 10.835, Çiftliközü Karabalçık için %3.299 ve Kürtleravşarı için %2.16 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan Q_p değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kumdere için %50.952, Çiftliközü Karabalçık için %24.78 ve Kürtleravşarı için %60.927 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan Q_p değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kumdere için %61.054, Çiftliközü Karabalçık için %61.804 ve Kürtleravşarı için %18.547 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Sentetik olarak hesap edilen Q_p değerleri incelendiğinde G.O.B.H. değerlerine en yakın sonuçların hem küçük ölçekli havzalarda hem de büyük ölçekli havzada Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Küçük ölçekli havzalarda Snyder yöntemi iyi sonuç vermemiştir, Nakayasu yöntemi Snyder yöntemine kıyasla nispeten daha iyi sonuç vermiştir. Büyük ölçekli havzada ise Snyder yöntemi Nakayasu yöntemine kıyasla daha yakın sonuçlar vermiştir.

Seçilen alt havzalara için T_p değerleri Modifiye Nakayasu yöntemi ile gözlenen değerlere kıyasla sırasıyla Kumdere için % 3.714, Çiftliközü Karabalçık için %3.167 ve Kürtleravşarı için %16.333 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan T_p değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kumdere için %31.786, Çiftliközü Karabalçık için %19.556 ve Kürtleravşarı için %18.410 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan T_p değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kumdere için %119.643, Çiftliközü Karabalçık için %114.389 ve Kürtleravşarı için %41.505 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Sentetik olarak hesaplanan T_b değerleri incelendiğinde Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemi ile elde edilen sonuçların G.O.B.H. değerlerine en yakın sonuçlar olduğu görülmektedir. Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan değerlerin ise Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan değerlere göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Seçilen alt havzalara için T_b değerleri Modifiye Nakayasu yöntemi ile gözlenen değerlere kıyasla sırasıyla Kumdere için % 16.771, Çiftliközü Karabalçık için %16.837 ve Kürtleravşarı için %11.708 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanan T_b değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kumdere için %12.641, Çiftliközü Karabalçık için %82.025 ve Kürtleravşarı için %71.667 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan T_b değerleri gözlenen değerlere kıyasla sırası ile Kumdere için %15.457, Çiftliközü Karabalçık için %31.706 ve Kürtleravşarı için %33.408 oranında bir hata payı ile hesap edilmiştir.

Sentetik olarak hesaplanan T_b değerleri incelendiğinde Kumdere için her üç yöntem ile de yakın sonuçlar hesaplanmıştır ancak en iyi sonuçlar Nakayasu S.B.H. yöntemi ile hesaplanmıştır. Sonraki en iyi değer Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanmıştır. Modifiye Nakayasu yöntemi ile hesaplanan değer ise gözlenmiş değerlere kıyasla en fazla hata payı ile hesaplanan değerler olmuştur.

Çiftliközü Karabalçık ve Kürtleravşarı alt havzaları için hesaplanan değerler incelendiğinde en iyi sonuçların Modifiye Nakayasu yöntemi ile elde edildiği görülmüştür. Bu iki havzada ise Snyder S.B.H. yöntemi ile hesaplanan değerler Nakayasu S.B.H. yöntemine kıyasla daha doğru olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak Türkiye'deki küçük ve büyük ölçekli havzalar için ayrı ayrı Nakayasu S.B.H. yöntemi ile verilen eşitlikler modifiye edilmekle kalınmamış ayrıca Nakayasu S.B.H. yönteminin eksik görülen yönleri de giderilmeye çalışılmıştır. Bu eksikliklerin giderilmesi için yeni denklemler geliştirilmiştir. Elde edilen modifiye denklemler ile hesaplanan küçük ve büyük havzalara ait birim hidrograf parametre değerleri Nakayasu ve Snyder S.B.H. yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde modifiye edilen denklemler yardımıyla hesaplanan parametreler, gözlenen hidrografa ait parametrelerle karşılaştırıldığında kabul edilebilir oranlarda hata payları ile hesaplandığı görülmüştür. Dolayısıyla Nakayasu

S.B.H. yöntemi modifiye edilmiş hali ile Türkiye'deki küçük ve büyük ölçekli havzalarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca Modifiye Nakayasu S.B.H. yönteminin sınanması için seçilen test grubu alt havzalarına ait birim hidrograf parametrelerinin hesabında da yine en iyi sonuçların Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemi ile alındığı görülmüştür. Bunun yanında Modifiye Nakayasu S.B.H. yönteminin birim hidrograflara ait çıkış ve iniş eğrilerini gerçeğe çok yakın şekilde hesaplayabildiği görülmektedir.

Nakayasu S.B.H. denklemleri küçük ve büyük ölçekli havzaların verileri ile modifiye edildiğinden Modifiye Nakayasu S.B.H. yöntemi ile küçük ölçekli havzalarda etkili yağış süresi $t_r=1$ saat olan birim hidrografların hesaplanması için daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Büyük ölçekli havzalarda ise etkili yağış süresi $t_r=8$ ila 12 saat arasında olan birim hidrografların hesabında daha doğru sonuçlar alınabileceği görülmüştür. Bu yüzden bu denklemlerin yukarıda belirtilen t_r değerlerine sahip birim hidrografların hesabında kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülebilir. Dolayısı ile modifiye ederken kullanmış olduğumuz havza karakteristiklerine benzer özellikteki havzalarda hesaplama yapılmasının daha doğru sonuçlar vereceği söylenebilir.



9. KAYNAKLAR

- Alptekin, V. 2012. Benoit hipotezi: Seçilmiş OECD ülkeleri ölçeğinde panel veriler yardımıyla analizi. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10 (2): 204-215.
- Apan, M. 1982. Birim Hidrograf ve Uygulamada Kullanılması. Atatürk Üniversitesi Basımevi, Yayın No: 268, Sayfa: 33. Erzurum.
- Asteriou, D., Hall, S. G. 2007. Applied Econometrics: A Modern Approach Using Eviews and Microfit. Palgrave Macmillan, Sayfa: 528. New York:
- Baldemir, E., Keskiner, A. 2004. Devalüasyon, para, reel gelir değişkenlerinin dış ticaret üzerine etkisinin panel data yöntemiyle Türkiye için incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6 (4): 44-59.
- Balov, M.N. 2014. Akış hidrografi tahmin modelleri. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 83.
- Baltagi, B.H. 2005. Econometric Analysis of Panel Data. John Wiley & Sons, Sayfa: 337. Canada.
- Bayazıt, M. 2011. Hidroloji. Birsan Yayınevi, Sayfa: 220. İstanbul.
- BEDIENT, P.B. 2000. Introduction to surface water hydrology. Erişim: [http://doctorflood.rice.edu/envi518/Handouts/SurfaceWater1.ppt]. Erişim Tarihi: 15.02.2016.
- Bhunya, P.K., Panda, S.N., Goel, M.K. 2011. Synthetic unit hydrograph methods: A critical review. *The Open Hydrology Journal*, 5: 1-8.
- Bingöl, Y. 2006. İstanbul derelerinin mevcut durumu ve taşkın debilerinin hesabı. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 86.
- Carpenter, T.M., Sperflage, J.A., Georgakakos, K.P., Sweeney, T., Fread, D.L. 1999. National threshold runoff estimation utilizing GIS in support of operational flash flood warning systems. *Journal of Hydrology*, 224: 21-44.
- Chow, V.T, Maidment, D.R., Mays, L.W. 1988. Applied Hydrology. Mc Graw Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, Sayfa: 572. Singapore.
- Çetin, R. 2013. Ekonomik özgürlüğün gelir düzeyi üzerindeki etkisinin panel veri analizi yöntemiyle incelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 8 (2): 37- 47.
- Çetin, M., Ecevit E. 2010. Sağlık harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri üzerine bir panel regresyon analizi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 11(2): 166-182.

Çeviş, İ. 2005. Para krizlerine ampirik bir yaklaşım. Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli. 189.

Demiryürek, M., Tongarlak, İ.E., Okur, M. 2001. Seydişehir Tarasçı Glabbera Deresi Havzası Yağış ve Akım Karakteristikleri (Ara Raporu 1985-1999). KHGM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporu, APK Dairesi Başkanlığı Yayınları, Yayın No: 117, Ankara.

Dooge, J.C.I. 1968. The hydrologic cycle as a closed system. **International Association of Scientific Hydrology**, 13 (1): 58-68.

Duggal, K.N., Soni, J.P. 1996. Elements of Water Resources Engineering. New Age International Publishers, Sayfa: 588. India.

Erkek, C., Ağralıoğlu, N. 2013. Su Kaynakları Mühendisliği. Beta Yayınevi, 7. Baskı, Sayfa: 394. İstanbul.

Faridah, S.N., Waris, A., Nurbaya. 2014. Analisis debit banjir maksimum dengan hidrograf satuan sintetis Nakayasu das pappasulawesi selatan. Erişim: [<http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/10941>]. Erişim Tarihi: 26.01.2015.

Greene, W.H. 2003. Econometric Analysis. Prentice Hall, Fifth Edition, Sayfa: 802. New Jersey.

Haktanır, T., Sezen, N. 1990. Suitability of two-parameter gamma and three-parameter beta distributions as synthetic unit hydrographs in Anatolia. **Hydrological Sciences Journal**, 35 (2): 167-184.

Han, D. 2010. Concise Hydrology. Ventus Publishing ApS, Sayfa: 145.

Harahap, R., Tarigan, A.P.M., Nasution, Z. 2014. Assessment of flood index of Asahan River, North Sumatra, Indonesia. **Journal of Civil Engineering Research**, 4 (3A): 245-250.

Harahap, R., Nasution, Z., Rauf, A., Mawengkang, H. 2015. Hydrology model for determination on the flood index based analysis of flood discharge for Asahan River management. **International Research Journal of Engineering and Technology**, 2 (7): 621-627.

Istanbulluoglu, A., Konukcu F., Kocaman I. 2004. Precise determination of Turkish spillway sizes from synthetic unit hydrographs to prevent flood damage. **ACTA Agriculturae Scandinavica Section B. Soil and Plant Science**, 54 (3): 1-8.

Istanbulluoglu, A., Konukcu F., Kocaman I. 2005. Determination of the project parameters for the small earth reservoirs to be built in the sub-basins of thrace region.

International Symposium on Water for Development Worldwide, General Directorate of State Hydraulic Works (DSI), 7-11 Eylül 2005, İstanbul. S, 24-35.

Jena, S.K., Tiwari, K.N. 2006. Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds *Journal of Hydrology*, 319: 1-14.

Kang, M.S., Goo, J.H., Chun, J.A., Her, Y.G., Park, S.W., Yoo, K. 2009. Design of drainage culverts considering critical storm duration. *Bio Systems Engineering*, 104: 425–434.

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

Kaya, S. 2001. Adıyaman Kâhta Harabe Deresi Havzası Yağış ve Akım Karakteristikleri (Ara Raporu 1985-1999). KHGM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporu, APK Dairesi Başkanlığı Yayınları, Yayın No: 117, Ankara.

Kurniawan, Y.T. 2013. Hydraulic simulation of flash flood as triggered by natural dam break. *Civil Engineering Forum*, 22: 1319-1326.

Kurt, İ. 2007. Filtre edilmiş yuvarlatılmış minimumlar taban akışı ayırma yöntemi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 158.

Kuşkuvaran, K., Canbolat, M. 2001. İçel Tarsus Topçu Havzası Yağış ve Akım Karakteristikleri (Ara Raporu 1985-1999). KHGM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporu, APK Dairesi Başkanlığı Yayınları, Yayın No: 117, Ankara.

Limantara, L. M. 2012. Suitable synthetic unit hydrograph at Rungun Hulu Sub-watershed, Centre Kalimantan of Indonesia. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2 (7): 6622-6631.

Melching, C.S., Marquardt, J.S. 1997. Equations for estimating synthetic unit-hydrograph parameter values for small watersheds in Lake Country, Illinois. *U.S. Geological Survey Open-File Report 96-474*: 1-49.

Melesse, A.M., Graham, W.D. 2004. Storm runoff prediction based on a spatially distributed travel time method utilizing remote sensing and GIS. *Journal of the American Water Resources Association*, 40 (4): 863-879.

Natakusumah, D.K., Harlan, D., Hatmoko, W. 2013. A new synthetic unit hydrograph computation method based on the mass conservation principle. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 172: 27-38.

Nigussie, T.A., Yeğen, E.B., Melesse, A.M. 2015. Performance evaluation of synthetic unit hydrograph methods in mediterranean climate. A case study at Guvenc Micro-watershed, Turkey. Editörler; A. Melesse and W. Abtew, Landscape Dynamics, Soils and Hydrological Processes in Varied Climates, 293-315.

NPTEL-National Programme on Technology Enhanced Learning. 2010. Rainfall runoff relationship. Erişim: [http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Water%20Resource%20Engg/pdf/m2l03.pdf]. Erişim Tarihi: 04.03.2016.

Oğuz, İ., Balçın, M. 2001. Yozgat Sorgun İkikara Havzası Yağış ve Akım Karakteristikleri (Ara Raporu 1990-1999). KHGM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporu, APK Dairesi Başkanlığı Yayınları, Yayın No: 117, Ankara.

Olivera, F., Maidment, D.R., Charbeneau, R.J. 1996. Spatially distributed modeling of storm runoff and non-point source pollution using geographic information systems. Erişim: [http://ceprofs.tamu.edu/folivera/UTexas/disstn/header.htm]. Erişim Tarihi: 02. 02. 2016.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı. 2012. Ulusal havza yönetimi stratejisi (2012-2023). Erişim: [www.ormansu.gov.tr/osb/Libraries/Dokümanlar/UHYS.sflb.ashx]. Erişim Tarihi: 11.11.2015.

Özer, M., Çiftçi, N. 2009. Ar-Ge harcamaları ve ihracat ilişkisi: OECD ülkeleri panel veri analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23: 39-49.

Öztürk, A. 2001. Karayolu menfezlerinin hidrolik yönden irdelenmesi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 129.

Patanduk, J. 2013. A study on design-flood discharge of Tello River in Makassar-Indonesia. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 2 (20): 1-6.

Pazarlıoğlu, M.V., Gürler, Ö.K. 2007. Telekomünikasyon yatırımları ve ekonomik büyüme: Panel veri yaklaşımı. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 44 (508): 35-43.

Ramírez, J. A. 2000. Prediction and modeling of flood hydrology and hydraulics. Editör; Ellen Wohl, Inland flood hazards: Human, riparian and aquatic communities, Cambridge University Press, 293-333.

Safarina, A.B. 2011. Reliability of Nakayasu synthetic unit hydrograph flood discharge in various watershed area. Erişim: [http://e-journal.kopertis4.or.id/file/11%20Reliability%20of%20Nakayasu%20Synthetic.pdf]. Erişim Tarihi: 08.09.2015.

Safarina, A.B. 2012. Modified Nakayasu synthetic unit hydrograph method for meso scale ungauge watersheds. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2 (4): 649-654.

Safarina, A.B., Ramli. 2015. Cimahi River benchmarking flood analysis based on threshold of total rainfall. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4 (4): 659-663.

Safarina, A.B., Salim, H.T., Hadihardaja, I.K., Syahril, M.B.K. 2009. Validity analysis of synthetic unit hydrograph methods for accuracy flood discharge estimation. International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries, 2-3 Kasım 2009, ITB Bandung.

Safarina, A.B., Salim, H.T., Hadihardaja, I.K., Syahril, M.B.K. 2011. Clusterization of synthetic unit hydrograph methods based on watershed characteristics. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11 (6): 76-85.

Salami, A.W., Bilewu, S.O., Ayanshola, A.M., Oritola, S.F. 2009. Evaluation of synthetic unit hydrograph methods for the development of design storm hydrographs for rivers in South-West, Nigeria. *Journal of American Science*, 5 (4): 23-32.

Salim, N., Eng, M. 2015. Determining the coefficient of T_r , A and river length (L) of flood runoff model using synthetic unit hydrograph Nakayasu (case study Bedadung Watershed Jember). *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12 (6): 24-31.

Sezen, N. 1988. Gama ve beta olasılık dağılımı yoğunluk fonksiyonlarının birim hidrograf olarak kullanma imkânlarının araştırılması ve bundan yararlanarak Anadolu havzalarında uygun sentetik birim hidrograflar elde edilmesi. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 231.

Sharma, K.D., Singh, S. 1992. Runoff estimation using landsat thematic mapper data and the SCS model. *Hydrological Sciences Journal*, 37 (1): 39-52.

Sheridan, J.M., Merkel, W.H., Bosch, D. 2002. Peak rate factors for Flatland Watersheds. *Applied Engineering in Agriculture*, 18 (1): 65-69.

Singh, P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K., Chaube, U.C. 2007. An extended hybrid model for synthetic unit hydrograph derivation. *Journal of Hydrology*, 336: 347-360.

Singh, V.P., Singh, P., Haritashya, U.K. 2011. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Springer Science & Business Media, Sayfa: 1253.

- Snyder, F.F. 1938. Synthetic unit-graphs. *Transactions, American Geophysics Union*, 19: 447–454.
- Soemarto, C.D. 1987. Engineering Hydrology, Usaha Nasional, Sayfa: 515. Surabaya, Indonesia.
- Sönmez, O., Öztürk, M., Doğan, E. 2012. İstanbul derelerinin taşkın debilerinin tahmini. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (2): 130-135.
- Straub, T.D., Melching, C.S., Kocher, K.E. 2000. Equations for estimating Clark unit-hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois. *US Geological Survey Water Resources Investigations Report 00-4184*: 1-31.
- Sule, B. F., Alabi, S.A. 2013. Application of synthetic unit hydrograph methods to construct storm hydrographs. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 5 (11): 639-647.
- Sumaryono, Nakatani, K., Satofuka, Y., Mizuyama, T. 2009. One-dimensional numerical simulation for sabo dam planning using Kanako (Ver. 1.40): A case study at Cipanas, Guntur Volcanoes, West Java, Indonesia. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 2 (1): 22-32.
- Susilowati, D., Bisri, M., Hidayat, K., Rachmansyah, A. 2016. Flood analysis in Kali Lamong watershed. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 8 (2): 61-73.
- Sutrisno, M. 2014. Optimisation model for problem solving of Bandung urban basin flood using value engineering approach. Erişim: [<http://www.seekdl.org/nm.php?id=2503>]. Erişim Tarihi: 16.03.2015.
- Şen, Z. 2004. Innovative Hydrograph Analysis and Methodologies. Turkish Water Foundation, Sayfa: 240. İstanbul.
- Tallaksen, L.M. 1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165: 349-370.
- Tekeli, İ., Babayigit, H.G. 2001. Ankara Haymana Çatalkaya Deresi Havzası Yağış ve Akım Karakteristikleri (Ara Raporu 1994-1999). KHGM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporu, APK Dairesi Başkanlığı Yayınları, Yayın No: 117, Ankara.
- Vikrant, J., Sinha, R. 2003. Derivation of unit hydrograph from GIUH analysis for a Himalayan River. *Water Resources Management*, 17: 355-375.

Wilkerson, J.L. 2009. Regional regression equations to estimate synthetic unit hydrograph parameters for Indiana. Yüksek lisans tezi, Purdue University, United States. 115.

Yalçın, E. 2005. İktisadi büyüme ve dış krediler: Ampirik bir çalışma. Uzmanlık yeterlilik tezi, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Ankara. 106.

Ye, W.-S., Lee, H.-S., Lee, K.-S. 1994. Application of the GIS in the hydrologic effects caused by the second collective facility area development in Mt. Kyeryong National Park. ***Journal of Environmental Impact Assessment***, 3 (2): 57-67.

Yılmaz, A. 1996. Konya Çiftliközü Karabalçık Deresi Havza Yağış ve Akış Karakteristikleri (Ara Raporu 1979-1993). KHGM Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporu, APK Dairesi Başkanlığı Yayınları, Yayın No: 98, Ankara.

Younis, A.M., Hasan İ.F., Saeed Y.N. 2014. Comparison study of two methods used to estimate surface runoff hydrograph for small basins. ***Journal of Engineering and Development***, 18 (6): 218-232.

Yüksel, Y., Ağaçcıoğlu, H., Coşar, A., Çelikoğlu, Y., Gürer, S. 1999. Haliç ıslah projesinde Kağıthane ve Alibeyköy derelerinin etkisinin incelenmesi. TMMOB İMO II.Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, 18-20 Kasım 1999, Adana. S, 239-252.

