

126842

**BİRİM HİDROGRAF İÇİN
DOĞRUSAL HAZNE SERİSİ MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ayhan OCAK
501001450

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2002

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmetçik BAYAZIT

Diğer Jüri Üyeleri Prof Dr. Beyhan OĞUZ

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

[Handwritten signatures and initials]

MAYIS 2002

126842

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen ve yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmetçik BAYAZIT 'a ,

Maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen başta annem Hatice OCAK ve tüm aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2002

Ayhan OCAK



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve İçeriği	1
2. BİRİM HİDROGRAF TEORİSİ	3
2.1. Doğrusal Sistemler	3
2.2. Birim Hidrograf	5
2.2.1. Birim Hidrografın Elde Edilmesi	6
2.3. Sentetik Birim Hidrograflar	9
2.3.1. Snyder Yöntemi	9
2.3.2. SCS (Soil Conservation Service) Yöntemi	11
2.4. Anlık Birim Hidrograf	13
2.4.1. Anlık Birim Hidrografın Elde Edilmesi	15
2.4.2. Anlık Birim Hidrograf İçin Doğrusal Hazne Serisi Modeli	17
3. BİRİM HİDROGRAF İÇİN DOĞRUSAL HAZNE SERİSİ MODELİ	20
3.1. Doğrusal Hazne Serisi Modelinin Simülasyonu	23
3.1.1. Simülasyon Programının Kullanılması	25
3.1.2. Havzanın Birim Hidrografının Elde Edilmesi	29
3.1.3. Grafiklerin İncelenmesi	30
4. SİMÜLASYON PROGRAMININ UYGULAMALARI	32
4.1. Havza Örnekleri	32
5. SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR	45
EKLER	46
ÖZGEÇMİŞ	72

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BH	: Birim hidrograf
DAT	: Dosya uzantısı
EXE	: Uygulama dosyalarının uzantısı
MS DOS	: Microsoft DOS İşletim Sistemi
SCS	: Soil Conservation Service
U.S	: Amerika Birleşik Devletleri
XLS	: MS Excel dosyalarının uzantısı



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : SCS Boyutsuz Hidrograf Değerleri	12
Tablo 3.1 : a_{nj} katsayıları	23
Tablo 4.1 : Örnek 4.1 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış ve BH Verileri	32
Tablo 4.2 : Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=42, K=1.1)	34
Tablo 4.3 : Örnek 4.2 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış ve BH Verileri	35
Tablo 4.4 : Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=15, K=1.2)	36
Tablo 4.5 : Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Çözümü ile Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=28, K=1.1)	38
Tablo 4.6 : Örnek 4.4 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış ve BH Verileri	39
Tablo 4.7 : Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Çözümü ile Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=2, K=1.7)	40
Tablo 4.8 : Örnek 4.5 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış ve BH Verileri	41
Tablo 4.9 : Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Çözümü ile Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=8, K=1.2)	42
Tablo B.1 : Örnek 4.1 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı	47
Tablo B.2 : Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=40, K=1.1)	48
Tablo B.3 : Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=42, K=1.1)	49
Tablo B.4 : Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=41, K=1.1)	50
Tablo C.1 : Örnek 4.2 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı	54
Tablo C.2 : Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=15, K=1.2)	55
Tablo C.3 : Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=16, K=1.2)	56
Tablo C.4 : Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=18, K=1.2)	57
Tablo D.1 : Örnek 4.3 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı	61
Tablo D.2 : Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=28, K=1.1)	62
Tablo D.3 : Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=26, K=1.1)	62

Tablo D.4 :	Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=25, K=1.1)	63
Tablo E.1 :	Örnek 4.4 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı	65
Tablo E.2 :	Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=7, K=1.2)	66
Tablo F.1 :	Örnek 4.5 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı	68
Tablo F.2 :	Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=5, K=1.2)	69
Tablo F.3 :	Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=7, K=1.2)	69

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : İmpuls Respons Fonksiyonu	3
Şekil 2.2 : İmpuls Respons Fonksiyonu İle Verilen Bir Girdinin Oluşturulacağı Çıktının Belirlenmesi	4
Şekil 2.3 : Akışların Yağışlara ve Birim Hidrografın Ordinatlarna Bağlı Olarak Hesabı	7
Şekil 2.4 : Snyder Sentetik Birim Hidrografi	10
Şekil 2.5 : SCS Üçgen Birim Hidrografi	12
Şekil 2.6 : Anlık Birim Hidrograf Yardımıyla Yağıştan Akışa Geçilmesi Hesabı ve Konvolüsyon İntegrali	14
Şekil 2.7 : S Hidrografının Kullanarak Anlık Birim Hidrografın Hesaplanması	16
Şekil 2.8 : Doğrusal Hazne Serisi Modeli	17
Şekil 3.1 : Birim Hidrograf İçin Doğrusal Hazne Serisi Modeli	20
Şekil 3.2 : Δt Süreli Birim Hidrografın Ordinatlarnın Doğrusal Hazne Serisi Modeli İçin Belirlenmesi	22
Şekil 4.1 : Örnek 4.1 İçin Gözlenen Artık Yağış, Dolaysız Akış ve Birim Hidrograf	33
Şekil 4.2 : Örnek 4.1 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen D.Akışlar ve Birim Hidrografın Karşılaştırılması (n=42, K=1.1)	33
Şekil 4.3 : Örnek 4.2 İçin Gözlenen Artık Yağış ve Dolaysız Akışlar	35
Şekil 4.4 : Örnek 4.2 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen D.Akışlar ve Birim Hidrografın Karşılaştırılması (n=15, K=1.2)	37
Şekil 4.5 : Örnek 4.3 İçin Artık Yağış Hiyetografi ve Dolaysız Akış Hidrograf	37
Şekil 4.6 : Örnek 4.3 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışların Karşılaştırılması (n=28, K=1.1)	38
Şekil 4.7 : Örnek 4.4 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışların Karşılaştırılması ve Birim Hidrograf (n=2, K=1.7)	40
Şekil 4.8 : Örnek 4.5 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışların Karşılaştırılması ve Birim Hidrografi (n=8, K=1.2)	42
Şekil A.1 : Hazne Modeli İçin Hazırlanan Simülasyon Programının Akış Şeması	46

Şekil B.1 :	Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrograf İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması	51
	(n=40, K=1.1)	
Şekil B.2 :	Örnek 4.1'in Simülasyon programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	51
	(n=40, K=1.1)	
Şekil B.3 :	Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması	52
	(n=42, K=1.1)	
Şekil B.4 :	Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	52
	(n=42, K=1.1)	
Şekil B.5 :	Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması	53
	(n=41, K=1.1)	
Şekil B.6 :	Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	53
	(n=41, K=1.1)	
Şekil C.1 :	Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması	58
	(n=15, K=1.2)	
Şekil C.2 :	Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	58
	(n=15, K=1.2)	
Şekil C.3 :	Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması	59
	(n=16, K=1.2)	
Şekil C.4 :	Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	59
	(n=16, K=1.2)	
Şekil C.5 :	Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması	60
	(n=18, K=1.2)	
Şekil C.6 :	Örnek 4.2'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	60
	(n=18, K=1.2)	
Şekil D.1 :	Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	63
	(n=28, K=1.1)	
Şekil D.2 :	Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	64
	(n=26, K=1.1)	
Şekil D.3 :	Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	64
	(n=25, K=1.1)	
Şekil E.1 :	Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması	66
	(n=7, K=1.2)	

Şekil E.2 :	Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi($n=7$, $K=1.2$)	67
Şekil F.1 :	Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=5$, $K=1.2$)	70
Şekil F.2 :	Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi ($n=5$, $K=1.2$)	70
Şekil F.3 :	Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=7$, $K=1.2$)	71
Şekil F.4 :	Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi($n=7$, $K=1.2$)	71

SEMBOL LİSTESİ

A	: Havza alanı
$a_{n,j}$	: Doğrusal hazne serisi denklemi katsayısı
C	: $1/K$
C_1, C_2, C_3	: Denklem katsayıları
C_p, C_t, C_w	: Snyder metodunda kullanılan havza katsayıları
$g(t)$	: Adım respons fonksiyonu
$h(t)$	: Puls respons fonksiyonu
K	: Depolama katsayısı
L	: Çıkış noktası ile havzanın en uzak noktası arasındaki mesafe
L_c	: Çıkış noktası ile havzanın ağırlık merkezi arasındaki akarsu boyunca ölçülen mesafe
m	: Zaman aralığı sayısı
m_1, m_2	: Anlık birim hidrografın $t=0$ 'a göre 1. ve 2. mertebe momentleri
n	: Hazne sayısı
$P_1, P_2, \dots$	: Yağış yüksekliği
$Q_1, Q_2, Q_3, \dots$	: Akış debisi
q_{pR}, q_p	: Havza alanı pik debisi
S	: Depolama hacmi
S_1, S_2	: S hidrografları
t_b	: Hidrografın taban zamanı
T_c	: Toplama zamanı
t_{ilk}, t_{son}	: Zamanın ilk ve son değerleri
t_L	: Artık yağış ile dolaysız akış hidrografının ağırlık merkezleri arasındaki zaman aralığı
T_p	: Hidrografın yükselme zamanı
t_{pc}	: Hesaplanan pik debinin gerçekleştiği zaman
t_{po}	: Gözlenen pik debinin gerçekleştiği zaman
t_{pR}, t_p	: Havza gecikme süresi
$u(t)$	: İmpuls respons fonksiyonu
W_1, W_2	: Optimizasyon için ağırlık katsayıları
W_{50}, W_{75}	: Pik debinin %50 ve %75'ine karşı gelen hidrograf genişlikleri
$x_1, x_2, x_3, \dots$	: Artık yağış
$y_1, y_2, y_3, \dots$	: Dolaysız akış
y_{ic}	: Hesaplanan akış değerleri
y_{io}	: Gözlenen akış değerleri
y_{pc}	: Hesaplanan akışın pik debisi
y_{po}	: Gözlenen akışın pik debisi

BİRİM HİDROGRAF İÇİN DOĞRUSAL HAZNE SERİSİ MODELİ

ÖZET

Bu çalışmada, Nash (1957) tarafından anlık birim hidrograf için önerilmiş olan doğrusal hazne serisi modeli, sonlu süreli (Δt) birim hidrografa uygulanmıştır. Bu model ile bir akarsu havzasında artık yağıştan dolaysız akışa geçişin simülasyonu için bir çalışma yapılmış ve bilgisayar programı oluşturulmuştur. Model genel olarak her birinin depolama katsayısı K olan n adet doğrusal hazneden oluşmakta ve bir önceki hazneden çıkan akış bir sonraki haznenin girdisini oluşturmaktadır. Hazneden çıkan debi (1) denkleminde verildiği şekilde bulunabilir:

$$S=K.y \quad (1)$$

Burada S haznede depolanan hacim, K depolama katsayısı ve y ise çıkan hacimdir. Yine aynı hazne için süreklilik denklemi ise;

$$S_2=S_1+x-y \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada S_1 ve S_2 , Δt zaman aralığının başında ve sonunda haznedeki su hacimleri, x bu zaman aralığında hazneye giren (bir önceki hazneden çıkan) akış, y bu zaman aralığında hazneden çıkan akıştır.

Öncelikle yukarıdaki (1) ve (2) denklemleri kullanılarak havza sisteminin matematik modeli kurulup algoritması oluşturulmuştur. Matematik modelin oluşturulmasının ardından FORTRAN programlama dili kullanılarak simülasyonun bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Simülasyonda ya seçilen n hazne sayısı ve K depolama katsayısı değerleri için oluşacak dolaysız akış hidrografi belirlenir, ya da n ve K değerleri, dolaysız akış hidrografını gözlenen hidrografa en çok yakınlaştıracak şekilde optimize edilir. Havza için bu parametreler bulunurken gözlenen dolaysız akışın da dikkate alınmasıyla modelin kalibrasyonu da yapılmış olur, çünkü parametreler hesaplanan değerlerin gözlenen değerlere yeteri derecede yaklaşması sonucu bulunmaktadır. Bu modelde parametrelerin sadece iki adet olması optimizasyonu kolaylaştırmakta ve hızlı bir şekilde sonuca ulaşmaktadır.

Ayrıca, doğrusal hazne serisi modeli ile Δt süreli birim hidrografın ordinatlarının bulunması için (3) ampirik bağıntısı elde edilmiştir.

$$u_{i,j} = 2.778 \frac{1}{\Delta t} y_{n,j} A \quad (3)$$

Burada Δt saat, havza alanı A , km^2 , yağış cm cinsinden yazılır ve birim hidrografın ordinatı $u_{i,j} \text{ m}^3/\text{s}$ cinsinden bulunur. Burada $y_{n,j}$;

$$y_{n,j} = a_{n,j} \cdot C^n \cdot (1-C)^{j-1} , \quad (C=1/K) \quad (4)$$

denklemleriyle bulunur. $a_{n,j}$ katsayıları $a_{11}=a_{12}=\dots=a_{1j}=1$ ve $a_{11}=a_{21}=\dots=a_{n1}=1$ olan $(n \times j)$ boyutunda katsayılar matrisidir. Bu katsayılar aşağıdaki geçiş denklemleriyle ardışık olarak hesaplanabilir:

$$a_{n,j} = a_{n-1,j} + a_{n,j-1} \quad (5)$$

Çalışma sonucunda önerilen yöntemin geçerliliğinin araştırılması için çeşitli havzalarda gözlenen artık yağış değerleri ile simülasyon yapılmış ve havzada gözlenen akışlarla hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Sonuçların karşılaştırılmasıyla yapılan bu çalışma sonrasında geliştirilen modelin yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği görülmüştür.

LINEAR RESERVOIR MODEL FOR UNIT HYDROGRAPH

SUMMARY

In this study, linear reservoir model that was introduced by Nash (1957) was applied on the finite time unit hydrograph. The conversion of the excess rainfall into the direct runoff in the watershed was simulated using this model and the software was prepared. In this model there are a series of n linear reservoirs with storage constant K , the output of one being the input of the one immediately downstream. The output of the reservoir can be calculated with equation (1):

$$S=K.y \quad (1)$$

S is the storage volume, K is the storage constant and y is the output volume of the reservoir. Another equation for the reservoirs can be written as

$$S_2=S_1+x-y \quad (2)$$

S_1 and S_2 are the volume in the reservoir at the beginning and the end of the Δt time interval. x is the input of the reservoir at that time interval; y is the output of the reservoir at that time interval.

Mathematical model of the watershed was prepared, and then the algorithm was developed for this model. After that, the simulating software was written using FORTRAN programming language.

This simulating software calculates direct runoff hydrograph for number of the reservoirs (n) and storage constant (K) that are chosen by users, or optimizes the n and K values using the observed direct runoff. In this model, it is easy to find solutions quickly because there are only two parameters.

In addition, empirical equation (3) is found for Δt time unit hydrograph using this model.

$$u_{i,j} = 2.778 \frac{1}{\Delta t} y_{n,j} A \quad (3)$$

Δt is in hours, watershed area A is in km^2 , unit hydrograph ordinate $u_{i,j}$ is in m^3/s . $y_{n,j}$ is computed as:

$$y_{n,j}=a_{n,j}.C^n.(1-C)^{j-1} , \quad (C=1/K) \quad (4)$$

$a_{11}=a_{12}=....=a_{1j}=1$ and $a_{11}=a_{21}=....=a_{n1}=1$. Size of the matrix of constants $a_{n,j}$ is (nxj) . $a_{n,j}$ can found by the following equation:

$$a_{n,j}=a_{n-1,j}+a_{n,j-1} \quad (5)$$

In order to check the validity of this model, the software was run with observed data from real watersheds, and the results were compared with observed data. It was found that the linear reservoir model developed in this study gives results that are acceptable.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bir akarsu havzasına düşen yağışın oluşturacağı akışın hesaplanması hidrolojide büyük önem taşıyan bir problemdir. Taşkınların ve kurak dönemlerin incelenmesi için akımların belirlenmesi gerekir. Bunun için akarsu havzasına yağışı akışa çeviren bir sistem olarak bakmak gerekir.

Yağıştan meydana gelen akışın hesabında yaygın olarak, 1932 yılında Sherman tarafından geliştirilen birim hidrograf metodu kullanılır. Birim hidrograf teorisinin temeli, bir havzaya yağış düştükten sonra kayıplardan artakalan suyun akmaya başlayacağı ve akım ölçüm istasyonlarında bir hidrograf oluşturacağı, havzanın şekil, eğim, büyüklük ve akarsu parçalarındaki dallanmaların sabit etkenler olduğu düşünülerek benzer yağışlardan meydana gelen hidrografların birbirine benzeyeceği prensibine dayanır. Havzanın birim hidrografi bulunduktan sonra havza için değişik yağış sürelerine göre birim hidrograf türetilip akış hesabı yapılabilir.

Yapılan havza çalışmalarında birim hidrograf, gözlenen yağış ve akışlara göre bazı kabuller yapıp elde edilir. Bu çalışmalarda, doğrusal olmayan sistemlerin çözümü zor olduğu için havza sisteminin doğrusal olduğu varsayılır. Aslında bu yaklaşım gerçekçi olmamakla birlikte uygun sonuçları verdiği için yeterli olmaktadır (Bayazit, 1998). Yağış olarak artık yağış, akış olarak ta dolaysız akış alınırsa havza sisteminin doğrusal olduğu kabul edilebilir.

Bu çalışmada, Nash (1957) tarafından anlık birim hidrograf için önerilmiş olan doğrusal hazne serisi modeli, sonlu süreli (Δt) birim hidrografa uygulanmıştır. Bu model ile bir akarsu havzasında artık yağıştan dolaysız akışa geçişin simülasyonu için bir çalışma yapılmış ve bilgisayar programı hazırlanmıştır. Yapılan bilgisayar programı, sonuca kısa sürede ulaşmakta ve elle yapılması imkansız olan pek çok sayıda deneme sonunda en uygun çözümü bulabilmektedir.

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin yoğun bir şekilde kullanılması geliştirilen modellerin gerçek durumu daha iyi ve net yansıtmasına olanak vermektedir. Bu sayede zamandan da tasarruf edilmektedir. Çok daha karmaşık, çok parametrelili sistemler modellenip kısa sürelerde çözüme ulaşılmaktadır.

Yapılan bu çalışma aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

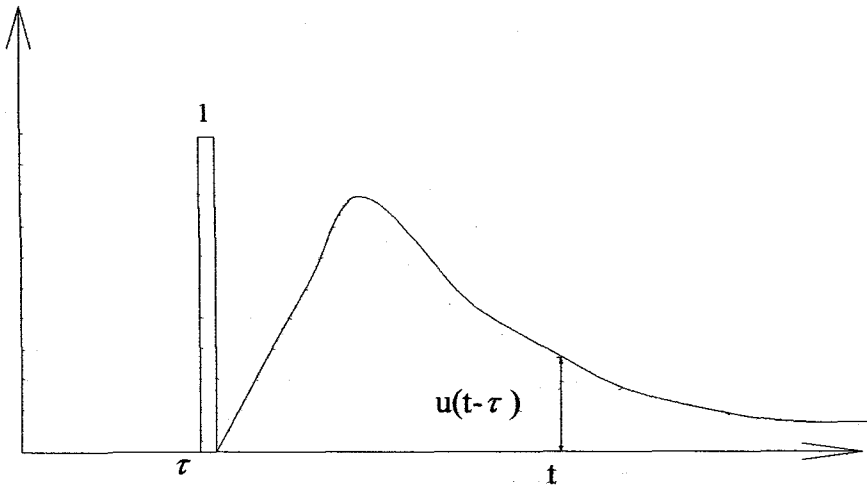
2. Bölümde doğrusal sistemler, birim hidrografın tanımı ve elde edilmesi, sentetik birim hidrograflar (Snyder ve SCS yöntemi), anlık birim hidrografın tanımı, elde edilmesi ve son olarak anlık birim hidrograf için hazne serisi modeli anlatılmıştır.
3. Bölümde, bu çalışmanın asıl amacı olan, bir akarsu havzasında artık yağıştan dolaysız akışa geçişin doğrusal hazne serisi modeli ile simülasyonu için çalışmalar yapılması, bilgisayar programı hazırlanması, bu programının nasıl kullanılacağı ve doğrusal hazne serisi modeli ile Δt süreli birim hidrografın ordinatlarının bulunması için ampirik bağıntının elde edilmesi açıklanmıştır.
4. Bölümde hazırlanan simülasyon programı gerçek havzalara uygulanmış, elde edilen akış değerleri ve birim hidrograf, gerçekte gözlenen akış değerleri ve başka yöntemlerle elde edilen birim hidrograf ile karşılaştırılmıştır.
5. Bölümde sonuçlar ve değerlendirmeler verilmiştir.

2. BİRİM HİDROGRAF TEORİSİ

2.1 Doğrusal Sistemler

Bir havza sisteminde girdi havzaya düşen yağış, çıktı da akış olarak alınırsa sızma gibi kayıpların etkisiyle sistemin dönüşüm fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon olmaz. Yani sistem davranışında süperpozisyon ilkesi kullanılamaz. Örnek verilecek olursa iki yağıştan her birinin akış hidrografları $Q_1(t)$ ve $Q_2(t)$ olsun, bu iki yağışın birlikte oluşturacağı akışın hidrografi $Q_1(t) + Q_2(t)$ olmaz. Bu gibi doğrusal olmayan sistemlerin incelenmesi zor olduğu için, havzaları incelerken yağış olarak artık yağış, akış olarak da dolaysız akış alınarak sistem doğrusal düşünülür. Her ne kadar bu kabul tam olarak doğru olmasa da uygulamalarda yeterli bir yaklaşım olabilmektedir (Bayazit, 1998).

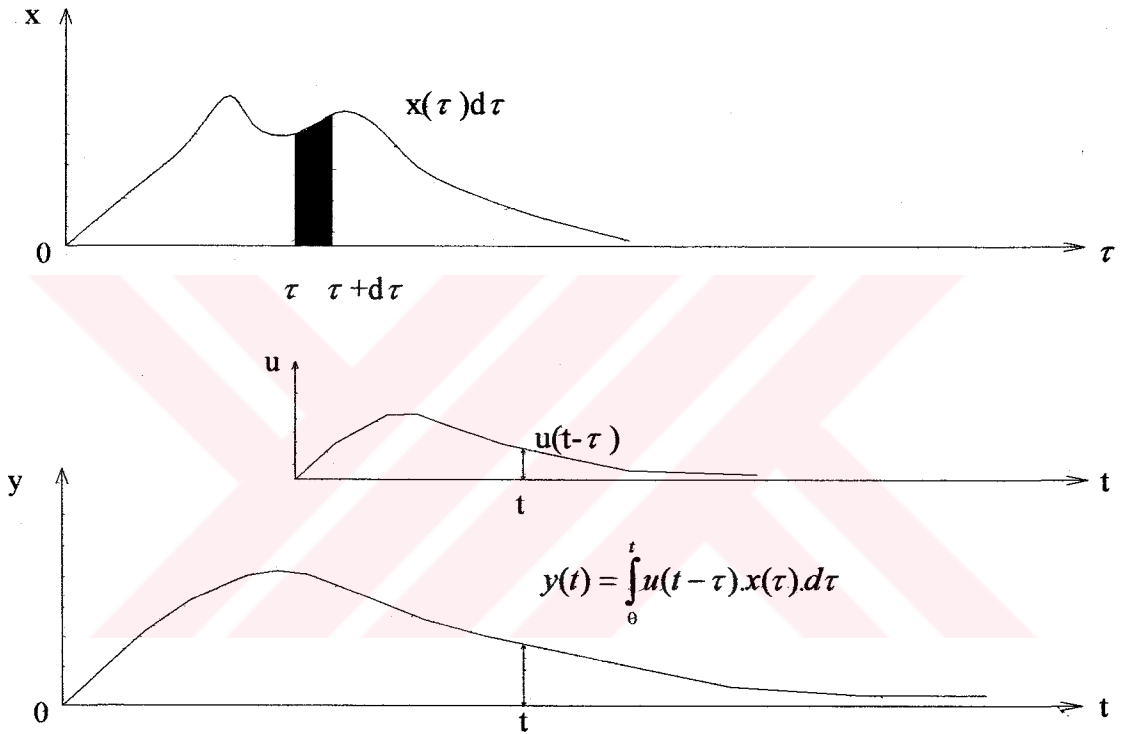
Doğrusal bir sistemin davranışı impuls respons fonksiyonu ile karakterize edilebilir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi herhangi bir τ anında sisteme ani olarak giren birim girdinin t anında oluşturacağı çıktısı $u(t-\tau)$ sistemin impuls respons fonksiyonu adını alır (Chow v. d., 1988) . Şekil 2.1'de görüldüğü gibi τ anında giren girdinin daha önceki çıktılar üzerinde etkisi yoktur.



Şekil 2.1 İmpuls Respons Fonksiyonu

Sistem doğrusal olduğu için $u(t-\tau)$ fonksiyonu biliniyorsa herhangi bir girdinin oluşturacağı çıktı süperpozisyon ilkesine göre bulunabilir. Şekil 2.2'de gösterilen $(\tau, \tau+d\tau)$ aralığındaki $x(\tau)d\tau$ girdisine karşılık gelen çıktı $x(\tau).u(t-\tau).d\tau$ olur. Süperpozisyon ilkesine göre $x(t)$ 'nin oluşturacağı çıktı integrasyonla (2.1) denkleminde bulunur.

$$y(t) = \int_0^t u(t-\tau).x(\tau).d\tau \quad (2.1)$$



Şekil 2.2 İmpuls Respons Fonksiyonu ile Verilen Bir Girdinin Oluşturacağı Çıktının Belirlenmesi

(2.1) denkleminde $x(t)$ artık yağış, $y(t)$ ise dolaysız akış alınırsa doğrusal kabul edilen bu sistem için u impuls respons fonksiyonu anlık birim hidrograf adını alır.

Pratikte yağış hyetografı sürekli değil basamaklı bir çizgi şeklinde olduğu için (2.1) denklemi kullanılmaz. Bu durumda $0 \leq t \leq \Delta t$ aralığında $x(t)=1/\Delta t$, bunun dışında 0 olan bir girdinin oluşturacağı çıktı olarak tanımlanan $h(t)$ puls respons fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyon Δt süreli, sabit şiddette, yüksekliği birim olan artık yağışa karşılık gelir.

$\tau=0$ anından başlayıp sürekli olarak devam eden birim şiddette girdinin oluşturacağı çıktı fonksiyonuna $g(t)$ adım respons fonksiyonu denir ve impuls respons fonksiyonu ile arasındaki ilişki ;

$$g(t) = \int_0^t u(t-\tau) d\tau = \int_0^t u(l) dl \quad (2.2)$$

şeklindedir ve (2.1) denkleminde $x(\tau)=1$ alarak elde edilir. $g(t)$ fonksiyonu $t=0$ anından başlayıp sürekli olarak devam eden sabit şiddetli artık yağışın oluşturacağı dolaysız akış olarak düşünülürse S hidrografi adını alır.

Puls respons fonksiyonundaki $0 \leq t \leq \Delta t$ aralığında $x(t)=1/\Delta t$ olan girdi, $t=0$ da başlayıp sürekli devam eden $1/\Delta t$ girdisi ile $t=\Delta t$ anında başlayıp sürekli olarak devam eden $1/\Delta t$ girdisinin farkına eşit olur. Süperpozisyon ilkesine göre puls respons fonksiyonu için;

$$h(t) = \frac{1}{\Delta t} g(t) - \frac{1}{\Delta t} g(t - \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t-\Delta t}^t u(l) dl \quad (2.3)$$

denklemini yazılabilir. Bu şekilde $h(t)$ puls respons fonksiyonu, $g(t)$ adım respons fonksiyonu ve $u(t)$ impuls respons fonksiyonu arasındaki ilişki belirlenmiş olur. Sistemin girdisi artık yağış, çıktısı dolaysız akış alınırsa (2.3) denkleminde tanımlanan $h(t)$ fonksiyonuna Δt süreli birim hidrograf denir.

2.2 Birim Hidrograf

Birim Hidrograf teorisi 1932 yılında Sherman tarafından geliştirilmiştir. Akarsu havzasına belli bir zaman aralığında (Δt) sabit şiddette düşen, birim yükseklikte (1 cm) artık yağışın oluşturacağı dolaysız akışın hidrografına birim hidrograf adı verilir.

Birim hidrograf yalnızca dolaysız akışlara uygulanabildiğinden, taban akışının toplam akış hidrografından ayrılması gerekir. Kapalı kutu modelleri arasında en basit ve en çok kullanılan birim hidrograf modeli yapılan kabuller altında akarsu havzasının artık yağışı dolaysız akışa dönüştürmesi olayını temsil eder. Birim

hidrograf metodunda kullanılan dolaysız akış hidrografını elde etmek için birçok kabul yapılmıştır. Bu kabuller şu şekilde ifade edilebilir;

1. Artık yağış, yağış süresi boyunca veya belirli bir periyodunda üniform dağılmalıdır.
2. Artık yağış drenaj havzasının tamamına üniform yayılmalıdır.
3. Belirli süreli bir yağışın meydana getirdiği dolaysız akışın süresi, yağış şiddetine bağlı olmayan sabit bir değerdir.
4. Aynı süreli yağışlara ait dolaysız akış hidrograflarının ordinatları, her hidrograf tarafından temsil edilen artık yağışın toplamı (yüksekliği) ile doğru orantılıdır.
5. Bir havzada belli bir süre devam eden yağışın meydana getirdiği akışın hidrografi, havzanın bütün fiziksel karakteristiklerini yansıtır.

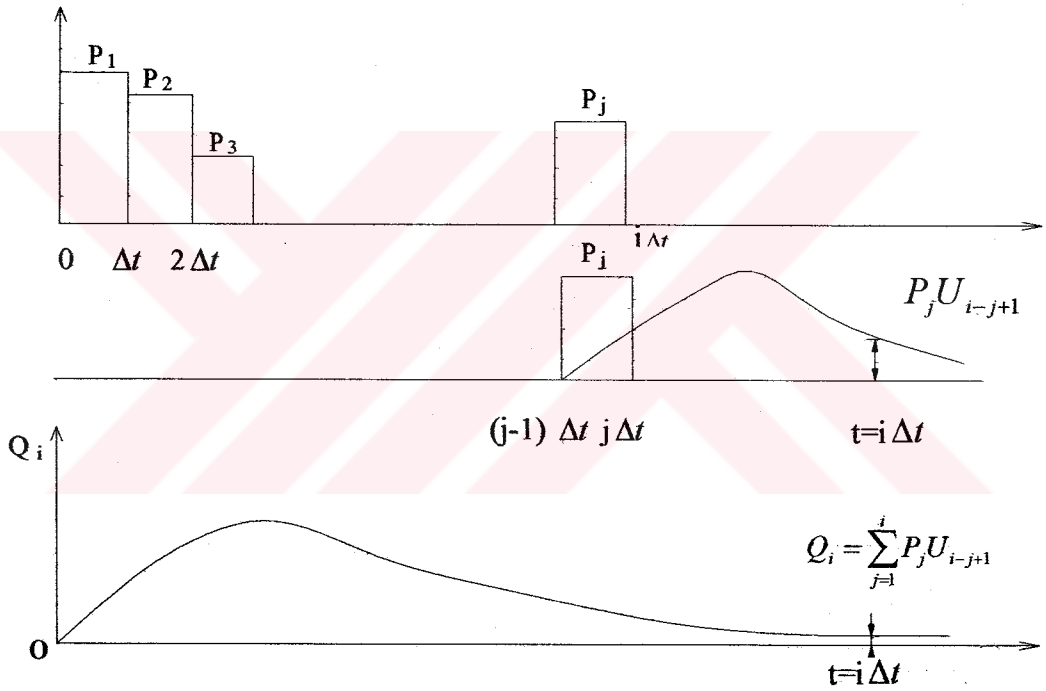
Bu kabuller gerçekte tam olarak doğru değildir. Artık yağışın havzaya dağılımı yağıştan yağışa değişir. Artık yağışın şiddeti arttıkça yüzeysel akışın hızının artmasıyla geçiş süresi kısılacığından dolaysız akışın süresi küçülür. Bir havzanın birim hidrografi havza özelliklerinin mevsimden mevsime değişmesi nedeniyle zaman içinde değişir. Yine de genellikle birim hidrograf modeli pratik uygulamalarda kabul edilebilir. Birim hidrograf modelinin sonuçları 10-1000 km² arasındaki havzalarda yeterli doğrulukta olduğundan bu model çok kullanılmaktadır.

2.2.1 Birim Hidrografın Elde Edilmesi

Birim hidrograf modelindeki kabullere uyan, yani bütün havzaya oldukça üniform şekilde yayılmış, şiddeti sabit veya fazla değişmeyen, diğer yağışlardan yeter derecede ayrılmış bir fırtına yağışının hiyetografi ve oluşan akışın hidrografi biliniyorsa birim hidrograf aşağıdaki şekilde adım adım bulunabilir:

1. Gözlenen hidrografta taban akışı ayrılarak dolaysız akışı elde edilir.
2. Dolaysız akış hidrografının altındaki alanı ölçerek dolaysız akış hacmi ve bunu havza alanına bölerek akış yüksekliği hesaplanır.

3. Artık yağış yüksekliği dolaysız akış yüksekliğine eşit olacağından dolaysız akış hidrografının ordinatlarını dolaysız akış yüksekliğine bölerek (sistem doğrusal kabul edildiğinden) birim hidrografın ordinatları belirlenmiş olur.
4. Elde edilen birim hidrografi oluşturan artık yağışın süresini belirlemek için hiyetograf üzerinde öyle bir yatay çizgi çizilir ki üstünde kalan alan artık yağış yüksekliğine eşit olsun (bu yatay çizginin ordinatı ϕ sızma indisini göstermektedir). Bu yatay çizginin hiyetografla kesişme noktaları arasında kalan zaman aralığı, elde edilmiş olan birim hidrografi oluşturan artık yağışın süresidir (birim hidrograf modelindeki kabule göre bu süre boyunca artık yağış şiddetinin sabit olması istenir).



Şekil 2.3 Akışların Yağışlara ve Birim Hidrografın Ordinatlarna Bağlı Olarak Hesabı

Eğer birden fazla yağışa ait hiyetograf ve hidrograflar var ise ve bunların süreleri birbirinden çok farklı değilse ($\pm\%25$), bu yağışların her birinin yukarıda anlatılan şekilde birim hidrografları elde edilir ve bunların ortalaması alınarak sonuç birim hidrograf bulunabilir. Ortalama alırken öncelikle pik debilerin ortalaması ve pik debilerin görüldüğü zamanların ortalaması hesaplanır ve ortalama birim hidrograf bu şekilde belirlenen noktadan geçecek şekilde çizilir.

Eğer diğerlerinden yeterli derecede ayrılmış bir yağışın hidrografi yoksa, birim hidrografi elde etmek için uzun süreli bir hidrograf kaydı kullanılabilir. Ardışık Δt zaman aralıkları için artık yağış yükseklikleri $P_1, P_2, \dots, j \Delta t$ anlarında görülen dolaysız akışlar $Q_1, Q_2, \dots$ ile gösterilirse (Şekil 2.3), süperpozisyon ilkesi kullanarak:

$$Q_i = \sum_{j=1}^i P_j U_{i-j+1} \quad (2.4)$$

yazılabilir, burada U_k , Δt süreli birim hidrografın $t=k \Delta t$ anındaki ordinatıdır. (2.4) denklemi aşağıda anlatıldığı şekilde bulunur:

1. $t=i \Delta t$ anında görülen Q_i akışına bundan önceki zaman aralıklarında düşen yağışların katkısı vardır.
2. $j \Delta t$ zaman aralığındaki P_j yağışının $t=i \Delta t$ anındaki Q_i akışına katkısı $P_j U_{i-j+1}$ kadardır.
3. $P_j U_{i-j+1}$ çarpımlarının $j=1, \dots, i$ için değerlerini toplayarak (2.4) denklemi ile i anındaki Q_i akışına geçilir.

Eldeki hiyetografta $(0, j \Delta t)$ aralığında J adet yağış yüksekliği, hidrografta ise $t=I \Delta t$ anına kadar ölçülmüş I adet debi bulunuyorsa (2.4) denklem takımında I denklem ve $K=I-J+1$ bilinmeyen (birim hidrografın $k=1, 2, \dots, K$ anlarındaki ordinatları) bulunmaktadır. Denklem sayısı bilinmeyen sayısından büyük olduğundan denklemlerden U_k ($k=1, 2, \dots, K$) bilinmeyenlerini sırayla çözerken bazı güçlüklerle karşılaşılır. Ardışık denklemlerin çözümünde daha önce elde edilmiş olan U_k değerleri kullanıldığından, hataların eklenmesiyle k büyüdükçe, hesaplanan U_k değerlerindeki hatalar da giderek artar. Bunun sonucu olarak düzensiz, hatta negatif değerler ortaya çıkabilir. Bu gibi durumlarda hesaplanan ordinatlara düzgün bir eğri uydurulur. Gözlenen hatalar yapılan kabullerin geçerli olmayışından (sistemin gerçekte tam olarak doğrusal olmayışı, yağışların sabit şiddette ve havzaya üniform dağılmış olmaması) kaynaklanmaktadır.

Uzun süreli bir hiyetograftan birim hidrografi elde etmek için bir birim hidrograf kabul edip bu birim hidrografi kullanarak, verilen hiyetografin oluşturacağı akışları hesaplamak ve bunlarla gözlenmiş akışların arasındaki farkların karelerinin toplamını

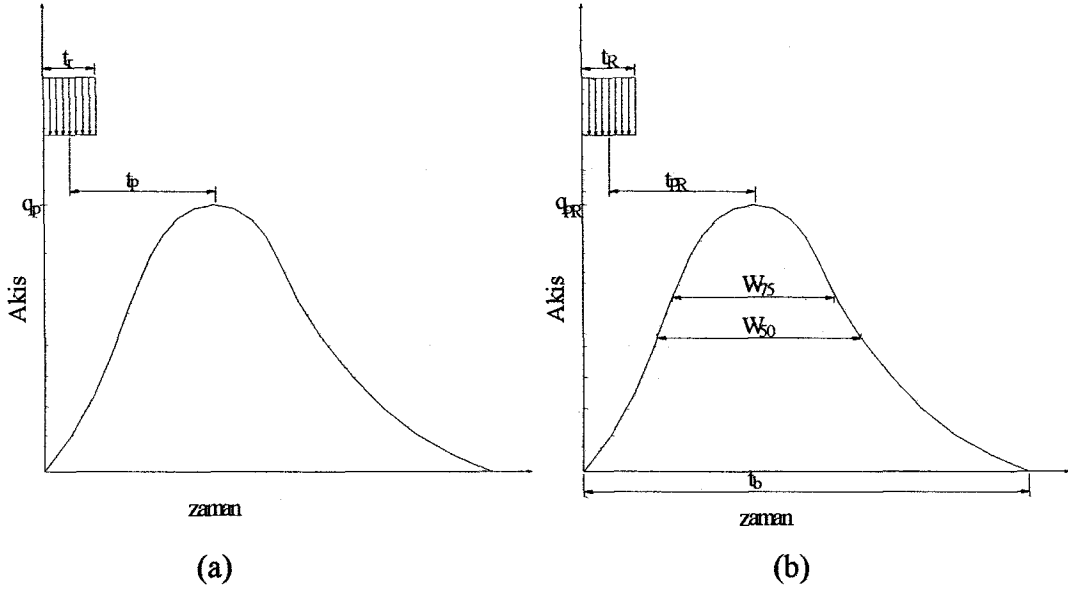
(ya da farkların mutlak değerlerinin toplamı) en küçük yapacak şekilde birim hidrografi düzeltmek yoluna gidilebilir. Elde edilen birim hidrografının altındaki alanın 1 cm artık yağış yüksekliğine karşı gelmesi gerektiğinden bu kontrol yapılmalı ve gerekirse ordinatlar 1 cm yükseklik sağlanacak şekilde düzeltilmelidir.

2.3 Sentetik Birim Hidrograflar

Yağış ve akış kayıtlarının bulunmadığı veya yeterli olmadığı hallerde, o havzanın başka noktalarında veya benzer özellikteki başka havzalarda belirlenmiş olan birim hidrograflardan yararlanılarak ve havzanın fizyografik özellikleri (alan, akarsu uzunluğu.. vb) kullanılarak havza için birim hidrograf elde edilebilir. Elde edilen bu hidrograflara, sentetik birim hidrograf adı verilir. Bu bölümde yaygın olarak kullanılan Snyder Yöntemi (Snyder, 1938) ve SCS Yöntemi (Soil Conservation Service, 1972) anlatılacaktır.

2.3.1 Snyder Yöntemi

Sentetik birim hidrograflar arasında en çok kullanılanlardan bir tanesidir. Snyder 1938 yılında yaptığı çalışmada, A.B.D’de 30-30000 km² büyüklüğündeki çok sayıda havza sonuçlarına dayanarak birim hidrografın bazı karakteristikleri arasında ilişkiyi belirlemiş ve üç parametre ile istenen birim hidrografın elde edilebileceğini göstermiştir. Daha sonra 1959 yılında, U.S Army Corps of Engineers, bu yöntem üzerine çalışmalar yapmış ve Snyder’in belirlediği 3 parametreyi 5’e çıkarmıştır. Bu parametreler; birim havza alanı pik debisi q_{PR} , havza gecikme süresi t_{PR} , hidrografın taban zamanı t_b , pik debinin %50 ve % 75’e karşı gelen birim hidrografın W genişliği olarak belirlenmiştir. Şekil 2.4’de standart birim hidrograf ve istenilen birim hidrograf gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Snyder Sentetik Birim Hidrografi. (a) Standart Birim Hidrograf ($t_p=5,5$)
(b) İstenilen Birim Hidrograf ($t_{pR} \neq 5,5$)

Snyder'e göre:

1. Havzanın gecikme süresi

$$t_p = C_1 \cdot C_t \cdot (L L_c)^{0.3} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada yağış süresi t_p saat cinsindendir. L çıkış noktası ile havzanın en uzak noktası arasındaki mesafe (km), L_c çıkış noktası ile havzanın ağırlık merkezi arasında akarsu boyunca ölçülen uzaklık (km), C_t bir katsayıdır ve havzada yapılan ölçümlerle bulunur. $C_1=0.75$ 'dir.

2. Standart birim hidrografın birim alan pik debisi için

$$q_p = \frac{C_2 \cdot C_p}{t_p} \quad (2.6)$$

bağıntısı geçerlidir. Burada $C_2=2.75$, C_p bir katsayıdır ve havzada yapılan ölçümlerle bulunur. C_p ve C_t ölçülmüş havza verilerinden, L ve L_c ise havza haritalarından bulunabilir. Havzadan çıkarılmış birim hidroraftan yağış süresi t_R (saat), havza gecikme süresi t_p (saat) ve birim alan pik debisi $m^3/s.km^2.cm$ cinsinden yazılır. $t_{pR}=5,5.t_R$ ise $t_R = t_p$, $t_{pR}=t_p$ ve C_t , C_p yukarıdaki bağıntıdan bulunabilir. Eğer t_{pR} t_p 'den çok farklı ise havza gecikme süresi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$t_p = t_{pR} + \frac{t_r - t_R}{4} \quad (2.7)$$

3. Birim havza alanı pik debisi ile bulunması istenen birim hidrograftaki q_{pR} arasında

$$q_{pR} = \frac{q_p \cdot t_p}{t_{pR}} \quad (2.8)$$

bağıntısı geçerlidir.

4. Taban zamanı (saat) için, birim hidrograf altında kalan dolaysız akışın akış yüksekliği 1 cm alınmış ve birim hidrografın şekli üçgen kabul edilerek;

$$t_b = \frac{C_3}{q_{pR}} \quad (2.9)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Burada $C_3=5,56$ dır.

5. Pik debisinin bir fonksiyonu olarak birim hidrografın saat cinsinden genişliği

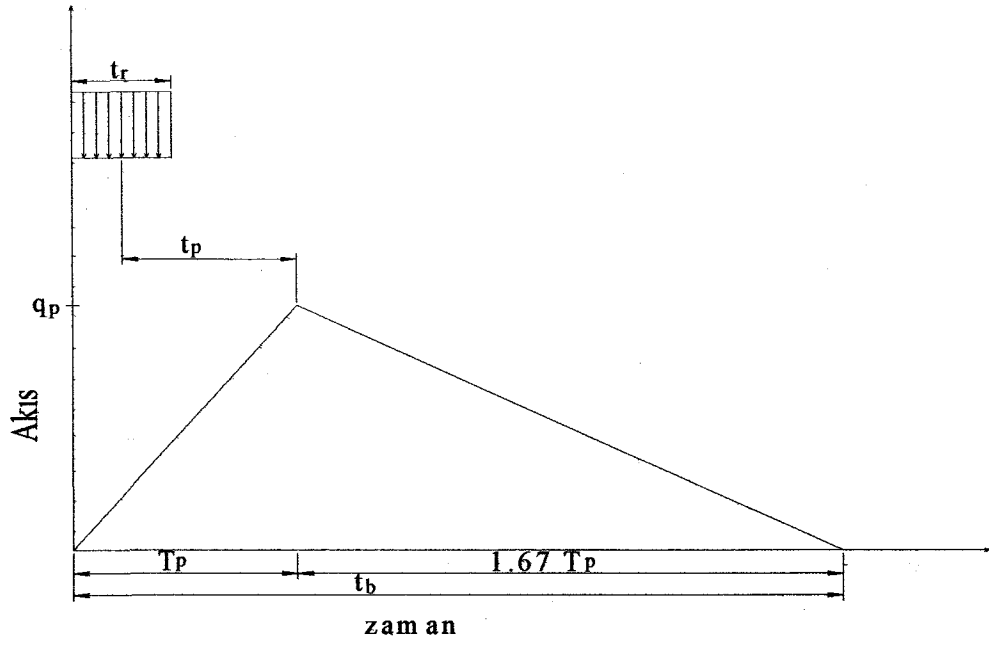
$$W = C_w \cdot q_{pR}^{-1.08} \quad (2.10)$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Burada pik debinin %75'e karşı gelen birim hidrograf genişliği için $C_w=1.22$, %50'sine karşı gelen için $C_w=2.14$ alınması gerekir.

2.3.2 SCS (Soil Conservation Service) Yöntemi

Bu yöntem, ABD Toprak Koruma İşleri (U.S Soil Conservation Service) tarafından çeşitli büyüklükteki ve farklı bölgelerde elde edilen çok sayıda boyutsuz hidrograf alınarak 1957'de geliştirilmiştir.

SCS boyutsuz hidrografi, debileri pik debiye, zamanları ise hidrografın yükselme zamanına oranlanmış bir sentetik birim hidrograftır. Bir havza için pik debi ve artık yağışın gecikme süresi verilirse birim hidrograf bu yöntemle çıkarılabilir. Boyutsuz birim hidrografın değerleri Tablo 2.1 den alınarak sentetik birim hidrograf elde edilebilir.



Şekil 2.5 SCS Üçgen Birim Hidrografi

Tablo 2.1 SCS Boyutsuz Hidrograf Değerleri

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0	0	1.5	0.66
0.1	0.015	1.6	0.56
0.2	0.075	1.8	0.42
0.3	0.16	2.0	0.32
0.4	0.28	2.2	0.24
0.5	0.43	2.4	0.18
0.6	0.60	2.6	0.13
0.7	0.77	2.8	0.098
0.8	0.89	3.0	0.075
0.9	0.97	3.5	0.036
1.0	1.00	4.0	0.018
1.1	0.98	4.5	0.009
1.2	0.92	5.0	0.004
1.3	0.84	sonsuz	0
1.4	0.75		

Yapılan araştırmalar sonucunda SCS boyutsuz hidrografının alçalma süresi, ortalama $1.67.T_p$ olduğu görölmüştür. Birim hidrografın altındaki alan, 1 cm dolaysız akışa eşit olduğundan birim hidrografın üçgen şeklinde olduğu kabul edilirse (şekil 2.5):

$$q_p = \frac{C.A}{T_p} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $C=2.08$ dir. A havzanın alanı (km^2).

Çok sayıda küçük ve büyük havzalarda toplama zamanı T_c için $t_p=0.6.T_c$ bağıntısının geçerli olduğu görölmüştür.

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir. Burada T_p hidrografın yükselme zamanı, t_r artık yağışın süresi, t_p havzanın gecikme süresidir. Bu yöntemin 50 km^2 den daha küçük havzalar için kullanımı daha uygundur.

2.4 Anlık Birim Hidrograf

Eğer artık yağışın süresi sonsuz derecede küçültölürse elde edilecek birim hidrografa anlık birim hidrograf adı verilir. Anlık birim hidrograf havza sisteminin impuls respons fonksiyonudur. Birim hidrograf teorisinin süperpozisyon ilkesi şekil 2.6'da gösterilen $I(\tau)$ artık yağış fonksiyonuna uygulanırsa bu artık yağış hidrografının her bir sonsuz küçük parçası $u(t-\tau)$ $I(\tau)$ 'ye eşit olan bir dolaysız akış hidrografi oluşturur (Singh,1992).

şekil 2.6'da anlık birim hidrograf $u(t-\tau)$ ile gösterilmiş olup, herhangi bir t zamanındaki dolaysız akış hidrografının ordinatı;

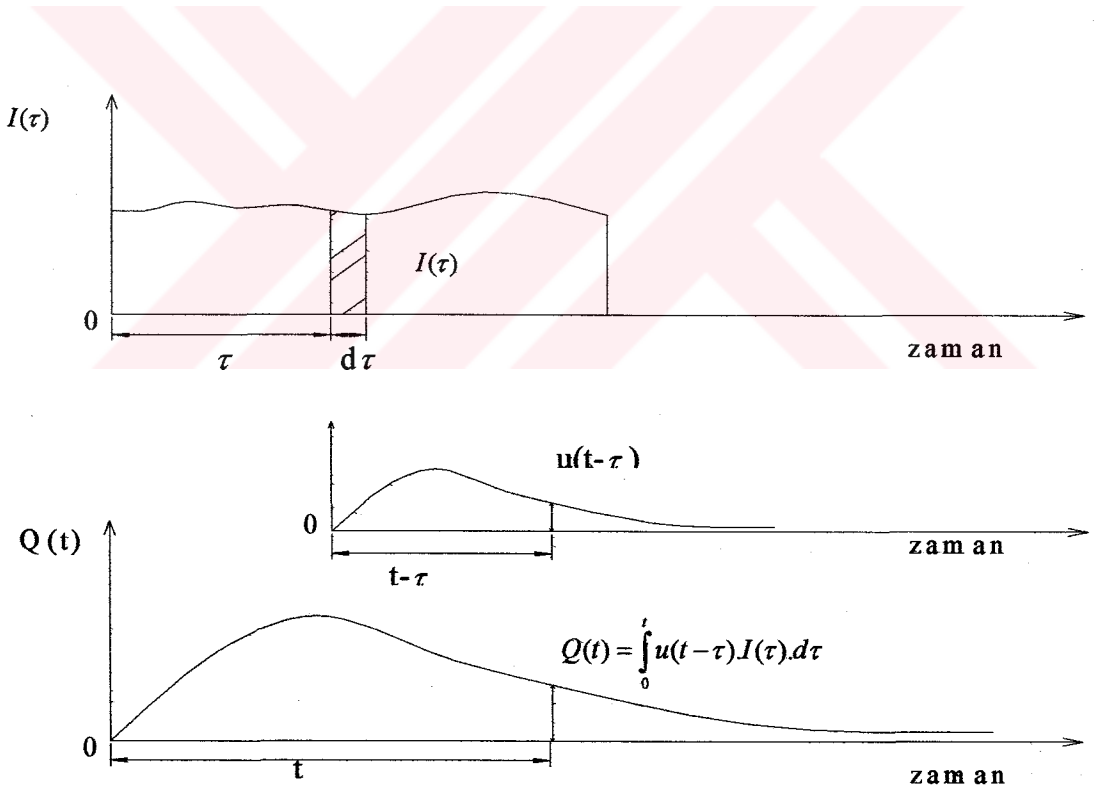
$$Q(t) = \int_0^t u(t-\tau).I(\tau).d\tau \quad (2.13)$$

konvolüsyon integrali ile ifade edilir. $u(t)$ anlık birim hidrografına bu sistemin transfer fonksiyonu da denir.

Anlık birim hidrografın şekli tek pikli bir hidrografa benzer. Eğer konvolüsyon integralindeki yağış ve akış aynı birimlerle ölçülmüşse anlık birim hidrografın ordinatı 1/zaman boyutunda olmalıdır. Anlık birim hidrografın altında kalan alan toplam yağış yüksekliğine eşit olduğundan aşağıdaki ifadeler yazılabilir. Burada t_L gecikme zamanına eşit olup artık yağış ile bu yağıştan oluşan dolaysız akış hidrografının ağırlık merkezleri arasındaki zaman aralığıdır.

$$\int_0^{\infty} u(t).dt = 1 \quad (2.14)$$

$$\int_0^{\infty} u(t).t.dt = t_L \quad (2.15)$$



Şekil 2.6 Anlık Birim Hidrograf Yardımıyla Yağıştan Akışa Geçilmesi ve Konvolüsyon İntegrali

2.4.1 Anlık Birim Hidrografın Elde Edilmesi

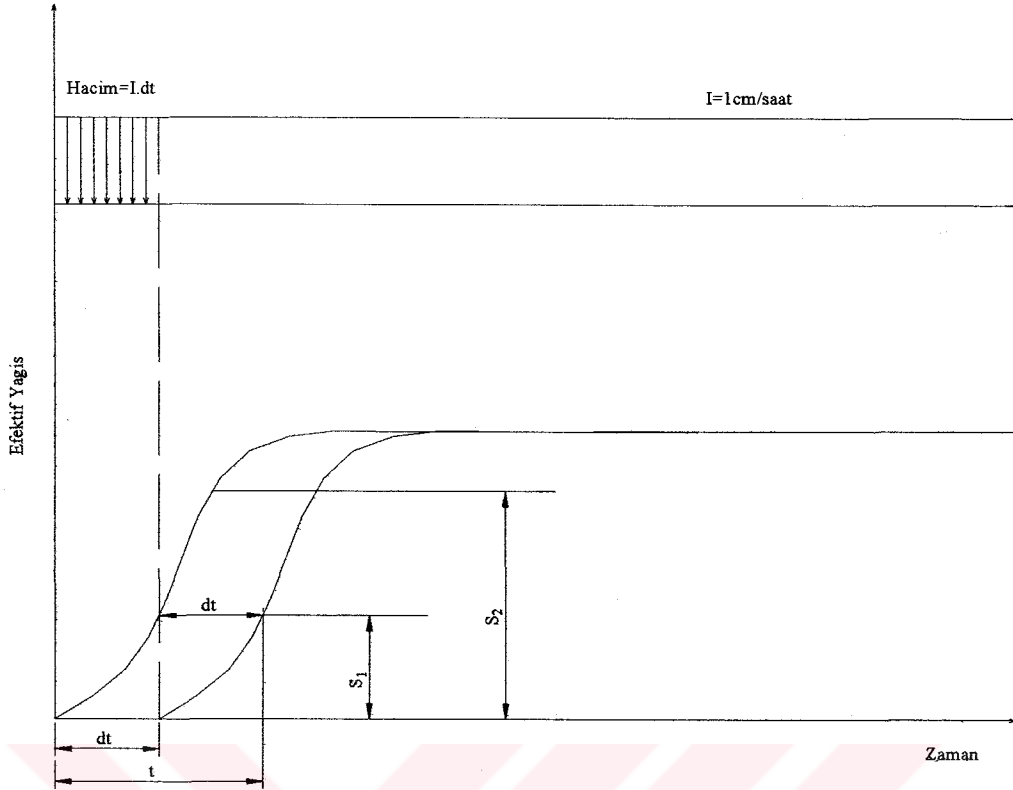
S hidrografi kullanılarak yapılan yaklaşık hesapta, S hidrografının 1 cm/saat şiddeti olan artık yağış, bir başka deyişle 1 saatlik birim hidrograf için hesaplandığı kabul edilir. dt saat süreli birim hidrograf, dt saat sağa kaydırılmış S hidrografının ordinat değerlerini, birbirlerinden çıkararak bulunabilir. t anında bu hidrografın ordinat değerleri S_2-S_1 'dir. $I(t)$, artık yağış şiddeti olarak ifade edilirse hidrografın hacmi $I(t).dt$ olmalıdır. dt süreli birim hidrografın t. anındaki ordinatı $(S_2-S_1)/I(t).dt$ olup $I(t)$ birim şiddette olduğundan bu ifade $(S_2-S_1)/dt$ şeklini alır. Böylece dt sıfıra yaklaşırken (S_2-S_1) sıfıra yaklaşacak, $(S_2-S_1)/dt$ terimi dS/dt 'ye yaklaşacak ve t anında S hidrografının eğimi olacaktır. Bu sebepten $u(t)$ anlık birim hidrografının ordinatı

$$u(t) = \left(\frac{dS}{dt} \right)_{dt \rightarrow 0} \quad (2.16)$$

$$dS = u(t).dt \quad (2.17)$$

ifadeleri ile verilmiştir.

Şekil 2.7'de gösterildiği gibi herhangi bir t anındaki anlık birim hidrografın ordinatı, o andaki S hidrografının (1 saatlik birim hidrograf için belirlenmiş) eğimi olarak alınabilir.



Şekil 2.7 S Hidrografını Kullanarak Anlık Birim Hidrografın Hesaplanması

Bundan başka S hidrografının t_1 ve t_2 anlarındaki S_1 ve S_2 ordinatları arasındaki fark (2.17) formülü integre edilerek bulunabilir.

$$S_2 - S_1 = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot d(t) \cong \frac{1}{2} (u(t_1) + u(t_2)) \cdot (t_2 - t_1) \quad (2.18)$$

$$\frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{1}{2} (u(t_1) + u(t_2)) \quad (2.19)$$

(2.19) denklemini herhangi bir anda S hidrografının S_2 ve S_1 ordinatları arasındaki farkın yaklaşık olarak seçilen zaman aralığında anlık birim hidrograf ordinatları ortalamasına eşit olduğunu gösterir.

Anlık birim hidrografın hesabı için bir başka yöntem ise harmonik analiz yapmaktır. Bu yöntemde dolaysız akış hidrografı, artık yağış hiyetografı ve anlık birim hidrograf üç farklı harmonik seri ile gösterilir. Böylece bu serilerin harmonik katsayıları basit denklemlere bağlanarak anlık birim hidrografın harmonik katsayıları dolaysız akış

hidrografi ve artık yağış hietografından elde edilir. Anlık birim hidrografın ordinatları, bulunan katsayılara bağlı olarak daha sonra hesaplanır (Chow, 1964).

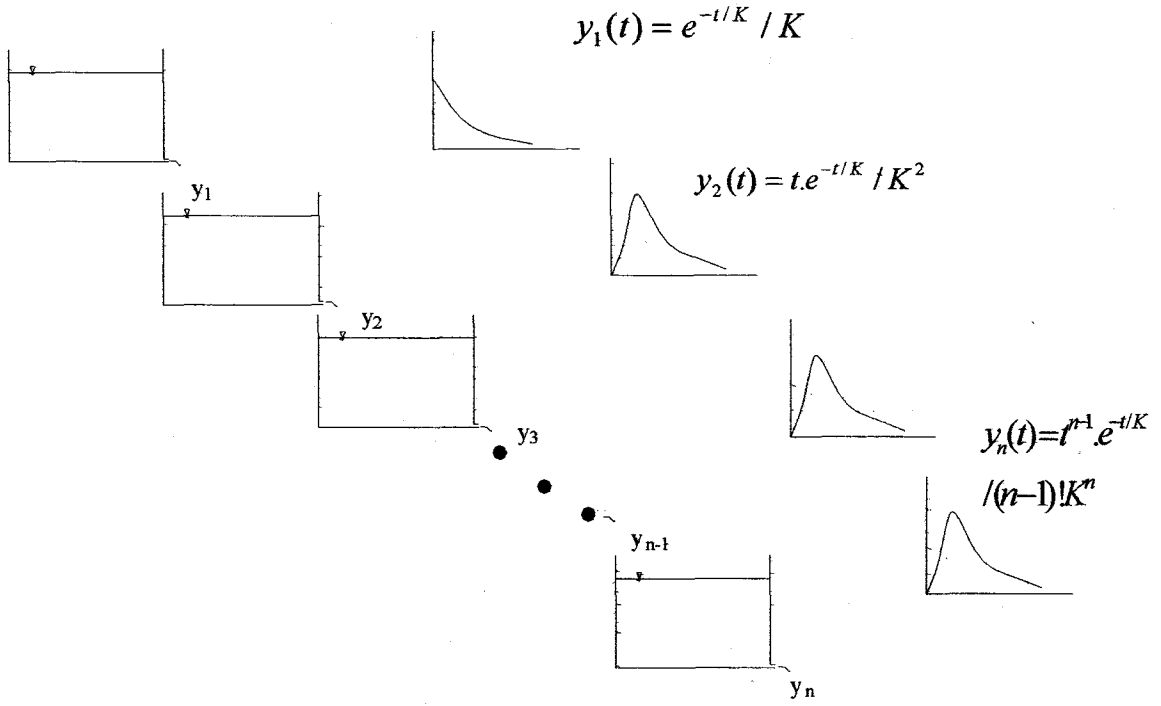
Bayazıt (1999) anlık birim hidrografi bilinen bir havzanın t_0 süreli $U(t)$ birim hidrografının hesabı için aşağıdaki denklemi vermiştir.

$$U(t) = \frac{1}{t_0} \int_{t-t_0}^t u(\tau) d\tau \quad (2.20)$$

$t < t_0$ için alt sınır 0 alınacaktır.

2.4.2 Anlık Birim Hidrograf İçin Doğrusal Hazne Serisi Modeli

Nash (1957), akarsu havzasını doğrusal haznelerden oluşan bir sistem gibi düşünerek anlık birim hidrografın elde edilebileceğini ileri sürmüştür. Şekil 2.8 'de gösterilen sistem, birbirine seri bağlı n adet hazneden oluşmakta ve bir önceki hazneden çıkan akım bir sonraki haznenin giren akımını oluşturmaktadır. Doğrusal bir haznede, depolanmış su hacmi S ile, hazneden çıkan debi y arasında $S=K.y$ şeklinde bir ilişki vardır.



Şekil 2.8 Doğrusal Hazne Serisi Modeli

Doğrusal haznenin impuls respons fonksiyonunu bulmak için $S=K.y$ denkleminin zamana göre türevi alınırsa;

$$\frac{dS}{dt} = K \cdot \frac{dy}{dt} \quad (2.21)$$

Bulunan bu ifade süreklilik denkleminde yerine konulup düzenlenirse

$$x = y + K \cdot \frac{dy}{dt} \quad (2.22)$$

$y(0)=0$ başlangıç koşuluyla çözümü;

$$y(t) = \int_0^t x(\tau) \cdot \frac{1}{K} \cdot e^{-(t-\tau)/K} d\tau \quad (2.23)$$

Bulunan bu denklem (2.1) denklemini ile karşılaştırılırsa doğrusal haznenin impuls respons fonksiyonu aşağıdaki şekilde bulunur:

$$u(t-\tau) = \frac{1}{K} \cdot e^{-(t-\tau)/K} \quad (2.24)$$

1. hazneye 0 anında birim yağış girmesi halinde bulunan bu fonksiyon 1. haznenin çıktısı ve aynı zamanda 2. haznenin girdisi olmaktadır. 2. haznenin çıktısı $x(\tau) = e^{-\tau/K} / K$ alınarak bulunabilir.

$$y_2(t) = \int_0^t \frac{1}{K} \cdot e^{-\tau/K} \cdot \frac{1}{K} \cdot e^{-(t-\tau)/K} d\tau = \frac{t}{K^2} \cdot e^{-t/K} \quad (2.25)$$

Hazne sistemi bu şekilde çözülürse n. haznenin çıktısı:

$$y_n(t) = \frac{1}{(n-1)!K} \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} \cdot e^{-t/K} \quad (2.26)$$

Bu fonksiyon n adet doğrusal hazneden oluşan sistemin anlık birim hidrografıdır. Eğer n tamsayı değilse (2.26) denkleminde (n-1)! yerine $\Gamma(n)$ gamma fonksiyonu alınır.

n ve K parametreleri aşağıdaki şekilde bulunabilir. Anlık birim hidrografın t=0'a göre birinci ve ikinci derece momentleri:

$$m_1 = n \cdot K \quad m_2 = n \cdot (n+1) \cdot K^2 \quad (2.27)$$

m_1 anlık birim hidrografın ağırlık merkezidir ve bu sebeple artık yağış hiyetografinin ağırlık merkezi ile dolaysız akış hidrografının ağırlık merkezi arasındaki süreye eşittir.

$$nK = m_{1R} - m_{1P} \quad (2.28)$$

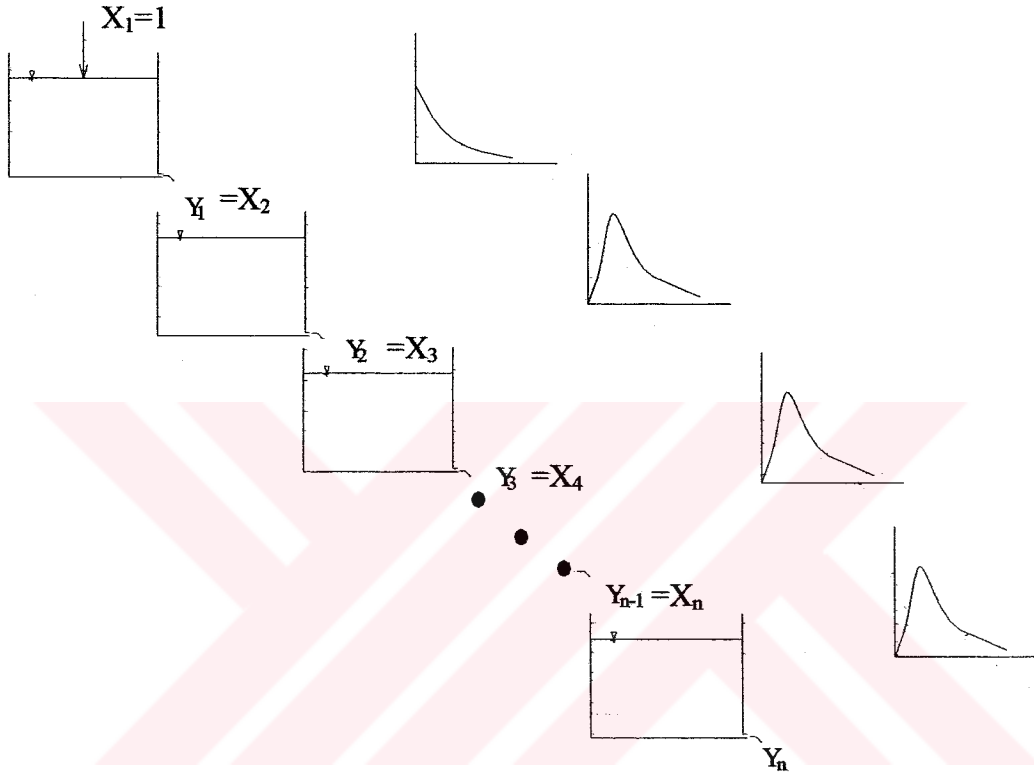
m_{1R} dolaysız akış hidrografının, m_{1P} ise artık yağış hiyetografinin t=0 a göre birinci derece momentleridir.

Ayrıca ikinci derece momentler arasında da aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$n(n+1)K^2 = m_{2R} - m_{2P} - 2nKm_{1P} \quad (2.29)$$

n ve K parametreleri (2.28) ve (2.29) denklemlerinden bulunur.

3. BİRİM HİDROGRAF İÇİN DOĞRUSAL HAZNE SERİSİ MODELİ



Şekil 3.1 Birim Hidrograf İçin Doğrusal Hazne Serisi Modeli

Şekil 3.1’de gösterilen ve bu çalışmanın da asıl konusu olan doğrusal hazne serisi modeli, anlık birim hidrograf için Nash tarafından 1957 yılında geliştirilmiştir. Sistem n adet hazneden oluşmakta ve bir hazneden çıkan akış bir sonraki haznenin girdisini oluşturmaktadır. Doğrusal hazne serisi modelinde, haznede depolanan su hacmi S ile hazneden çıkan su hacmi y arasında aşağıdaki bağıntı geçerlidir:

$$S=K.y \quad (3.1)$$

Burada K haznenin depolama katsayısıdır.

Nash (1957) tarafından anlık birim hidrograf için önerilmiş olan doğrusal hazne serisi modeli bu çalışmada sonlu süreli (Δt süreli) birim hidrografa uygulanmıştır.

Her birinin hazne katsayısı K olan n adet doğrusal hazneden oluşan modelin Δt süreli birim hidrografının ordinatlarını elde etmek için $t = \Delta t$ zaman aralığında ilk hazneye giren birim girdinin haznelerden geçişi izlenir (Şekil 3.2). Burada $C = 1/K$ dır. n 'nin çeşitli değerleri için çeşitli $t = j \cdot \Delta t$ ($j = 1, 2, 3, \dots$) zaman aralıklarında hesaplanan çıktılar Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan n . hazneden $j \Delta t$ süresi sonunda çıkan debi (birim hidrografın ordinatı);

$$y_{n,j} = a_{n,j} \cdot C^n \cdot (1-C)^{j-1} \quad (3.2)$$

denklemleriyle ifade edilmektedir. $a_{n,j}$ katsayıları $a_{11} = a_{12} = \dots = a_{1j} = 1$ ve $a_{11} = a_{21} = \dots = a_{n1} = 1$ olan $(n \times j)$ boyutunda katsayılar matrisidir. Bu katsayılar aşağıdaki geçiş denklemleriyle ardışık olarak hesaplanabilir;

$$a_{n,j} = a_{n-1,j} + a_{n,j-1} \quad (3.3)$$

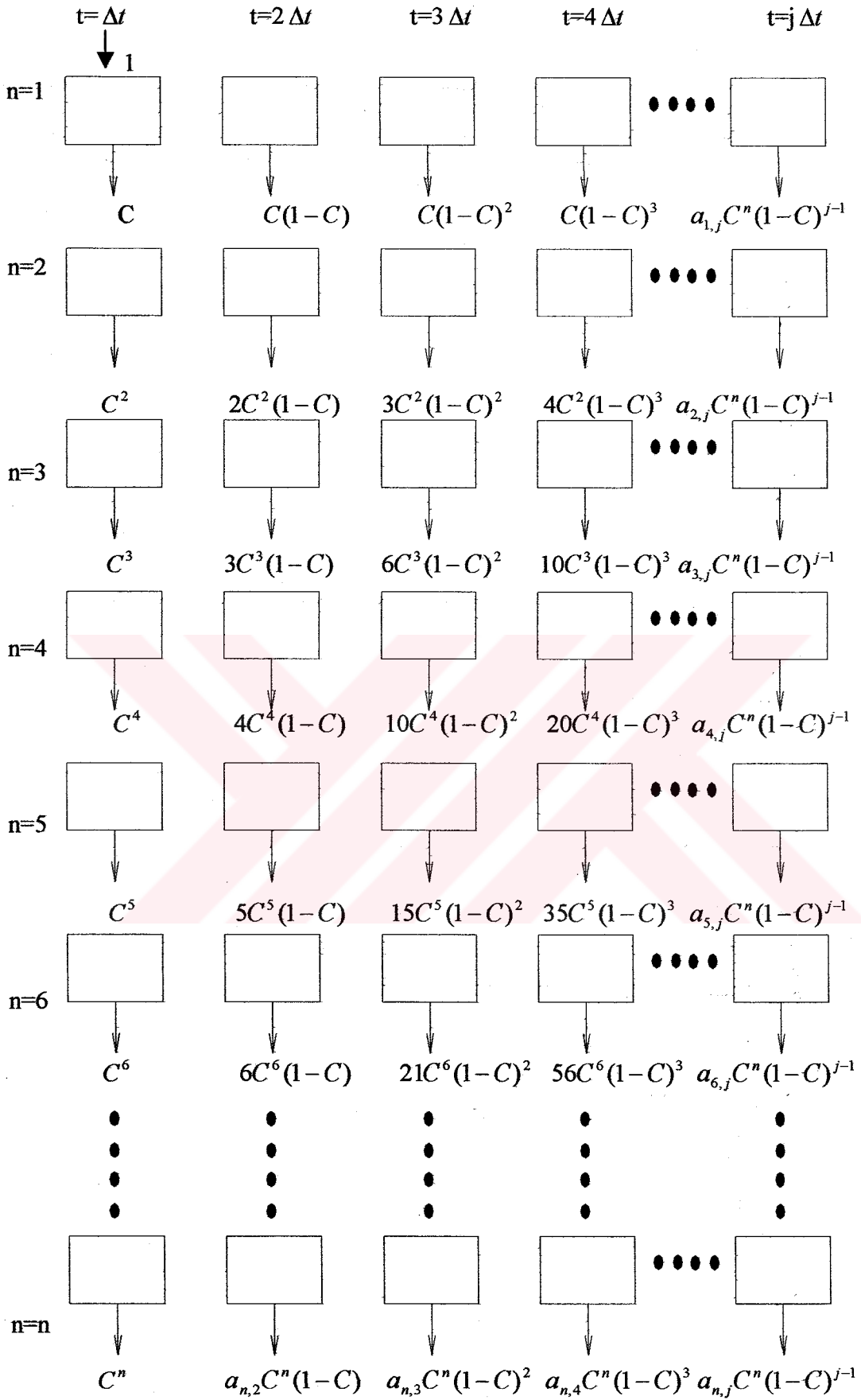
$a_{n,j}$ katsayısı n ve j 'nin çeşitli değerleri için Tablo 3.1'de verilmiştir. n 'nin herhangi bir değeri için birim hidrografın ordinatlarının toplamı 1'e eşittir.

$$\sum_{j=1}^{\infty} y_{n,j} = 1 \quad (3.4)$$

$y_{n,j}$ değerlerinden, m^3/s cinsinden gerçek birim hidrografın $u_{i,j}$ ordinatlarına aşağıdaki denklem yardımıyla geçilebilir:

$$u_{i,j} = 2.778 \frac{1}{\Delta t} y_{n,j} A \quad (3.5)$$

Burada Δt saat, havza alanı A km^2 yazılır ve birim hidrografın ordinatı $u_{n,j}$ m^3/s cinsinden bulunur.



Şekil 3.2 Δt Süreli Birim Hidrografın Ordinatlarnın Doğrusal Hazne Serisi Modeli İçin Belirlenmesi

Tablo 3.1 a_{nj} katsayıları

n_j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	3	6	10	15	21	28	36	45	55
4	1	4	10	20	35	56	84	120	165	220
5	1	5	15	35	70	126	210	330	495	715
6	1	6	21	56	126	252	462	792	1287	2002
7	1	7	28	84	210	462	924	1716	3003	5005
8	1	8	36	120	330	792	1716	3432	6435	11440
9	1	9	45	165	495	1287	3003	6435	12870	24310
10	1	10	55	220	715	2002	5005	11440	24310	48620
11	1	11	66	286	1001	3003	8008	19448	43758	92378
12	1	12	78	364	1365	4368	12376	31824	75582	167960
13	1	13	91	455	1820	6188	18564	50388	125970	293930
14	1	14	105	560	2380	8568	27132	77520	203490	497420
15	1	15	120	680	3060	11628	38760	116280	319770	817190
16	1	16	136	816	3876	15504	54264	170544	490314	1307504
17	1	17	153	969	4845	20349	74613	245157	735471	2042975
18	1	18	171	1140	5985	26334	100947	346104	1081575	3124550
19	1	19	190	1330	7315	33649	134596	480700	1562275	4686825
20	1	20	210	1540	8855	42504	177100	657800	2220075	6906900

3.1 Doğrusal Hazne Serisi Modelinin Simülasyonu

Doğrusal hazne serisi modeli ile bir akarsu havzasında artık yağıştan dolaysız akışa geçişin simülasyonu için bir çalışma yapılmış ve bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Simülasyonda ya seçilen n hazne sayısı ve K depolama katsayısı değerleri için oluşacak dolaysız akış hidrografi belirlenir ya da n ve K değerleri dolaysız akış hidrografını gözlenen hidrografa en çok yaklaştıracak şekilde optimize edilir.

Simülasyon programı hazırlanmadan önce, doğrusal hazne serisi sisteminin matematik modeli oluşturulur. Ardarda sıralanmış haznelardan oluşan hazne serisi sisteminde başlıca 3 adet ana matris oluşturmak mümkündür. Bu matrisler tüm sistemde haznelere giren hacimlerin oluşturduğu giren hacim matrisi (x), haznelerde depolanan hacim matrisi (S) ve son olarak haznelerden çıkan hacimleri gösteren çıkan hacim (y) matrisidir. Hazne programının oluşturulmasından önce bu matrislerin arasında ilişkilerin bilinmesi ve bunların algoritmalarının oluşturulması gerekir. Bu ilişki $S=K.y$ bağıntısı ve süreklilik denkleminden çıkarılabilir.

Denklemden anlaşılağı gibi herhangi bir hazneden çıkan hacim o haznede depolanan hacim ile orantılıdır yani çıkan hacim depolanan hacmin belli bir oranı kadardır. Bu ifade basit bir şekilde ;

$$y=S/K \quad (3.6)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. Burada y çıkan hacmi, S depolanan hacmi, K ise depolama katsayısını gösterir. Diğer bir ilişki ise süreklilik denklemini yazarak elde edilebilir. Bir hazne için süreklilik denklemi;

$$S_2=S_1+x-y \quad (3.7)$$

Burada S_1 ve S_2 , Δt zaman aralığının başında ve sonunda haznedeki su hacimleri, x bu zaman aralığında hazneye giren (bir önceki hazneden çıkan) akış, y bu zaman aralığında hazneden çıkan akışı gösterir.

(3.6) ve (3.7) denklemleri hazırlanacak program algoritmasının temelini oluşturur. Depolanan hacim ile çıkan hacim arasındaki ilişki belirlendikten sonra giren hacim ile depolanan hacim ve çıkan hacim arasında süreklilik ilişkisi kurulması halinde y ve S_2 bilinmeyenleri için iki denklem elde edilmiş olacaktır. İlk zaman aralığında birinci hazneye giren hacim yani yağış bellidir ve bu başlangıç şartını oluşturur. Ayrıca başlangıçta tüm hazneler boştur. Başlangıç anında birinci hazneye giren hacim bu haznede depolanan hacme eşittir. Çünkü başlangıçta hazne boştur ve giren hacmin hepsi burada depolanır. Bu ifadeden $t=\Delta t$ için $S_1=x$ yazılabilir.

Bu şekilde hazne serisi sisteminde giren, depolanan ve çıkan hacimler arasında ilişki kurulduktan sonra hazne serisi sisteminin çözümüne başlanır. $t=\Delta t$ için birinci haznede depolanan hacim bellidir ve bu hacmin belli bir oranı hazneden çıkan hacmi oluşturur. (3.6) denklemi ile hazneden çıkan hacim bulunabilir. Bu hazneden çıkan hacim diğer haznenin de giren hacmini oluşturur (Nash,1957). Bu şekilde ardışık olarak her bir hazneye giren, depolanan ve çıkan hacimler bulunur. Δt zaman aralığında n . hazneden çıkan hacim bu süre sonundaki akışa geçen hacmi gösterir yani bu süre için aranan sonucu (dolaysız akış) verir. Aynı şekilde $2\Delta t$ süresine geçildiğinde eğer bu sürenin başında giren hacim (artık yağış) varsa ilk hazneye giren hacim olarak katılır. Yine bu haznede depolanan hacim ise Δt zamanında

haznede kalan hacim ile varsa $2\Delta t$ süresinde gelen hacim kadardır. Çıkan hacim yine (3.6) denklemi ile bulunabilir. Hazne serisi sistemi bu şekilde $j\Delta t$ süresi sonuna kadar ardışık olarak çözülür ve her bir zaman aralığının sonunda n . hazneden çıkan hacimler o süre sonundaki dolaysız akışı oluşturur.

Tüm bu anlatılanlar ışığında bilgisayar programının hazırlanması için sistemin algoritması oluşturularak Ek.A' da verilmiş olan akış diyagramı çizilmiştir. Bu akış diyagramı bilgisayar programının çözüm için izlediği yolu gösterir .

Bilgisayar programının algoritmasının ve akış diyagramının oluşturulmasının ardından program FORTRAN programlama dilinde yazılmıştır. Yapılan bilgisayar programının adı Hazne.Exe'dir. Program ve kodu Ek.G' de verilmiştir.

Hiyetograf ve hidrograflar, Microsoft Excel ile yapılmış olan yardımcı bir program sayesinde incelenebilmekte ve çıktısı alınabilmektedir. Grafik programının adı Grafik.xls 'dir ve Ek.G' de verilmiştir.

3.1.1 Simülasyon Programının Kullanılması

Hazırlanan bilgisayar programı Hazne.Exe adı altında MS DOS tabanlı bir programdır. Program çalıştırılmadan önce, bilgisayarda bir dizin oluşturulur. Daha sonra Hazne.Exe ve Grafik.xls dosyaları oluşturulan bu dizine kopyalanır. Kopyalama işleminden sonra program çalıştırılmaya hazır hale getirilmiş olur.

Bir problemin program tarafından simülasyonu için kullanıcı tarafından, gerekli olan bazı verilerin programa girilmesi gerekir. Gerekli olan veriler girildikten sonra program analizleri yapıp sonuca ulaşır ve bunu ekrana veya dosyaya aktarır. Programın çalıştırılmasının ardından gerekli olan verilerin programa girilmesi ve programın kullanılması adım adım aşağıda gösterilmiştir.

1. Program çalıştırıldıktan sonra yağışlar için kullanılmak istenilen ölçü birimi sorulur. Yapılan bilgisayar programı 3 tür birim kullanabilmektedir, bunlar;

- a) Yağış cm., zaman saat cinsinden
- b) Yağış m^3/s , zaman saat cinsinden
- c) Yağış cm, zaman dakika cinsinden

Eğer yağış cm cinsinden girilmek istenirse program havza alanını da ister.

Yukarıdaki işlemler, kullanıcı programı ilk kez kurduğunda yapılacaktır. Birinci kez yapıldıktan sonra program tanımlanmış yolu otomatik olarak kendisi bulur.

Hazne serisi modeli için hazırlanan programın icrasının ardından Grafik.xls programı çalıştırılmalıdır. Grafik programı aynı dizin içinde bir önceki program tarafından oluşturulan birim.dat ve grafik.dat dosyalarını okuyup grafikleri çizer. Birim hidrograf grafiği hariç diğer grafikler bar şeklinde olup birim hidrograf grafiği çizgi şeklindedir.

Grafik.xls programının çalıştırılmasından sonra karşımıza çıkan ana menüden;

- a) Artık yağış hiyetografi
- b) Ölçülen akış hidrografi
- c) Hesaplanan akış hidrografi
- d) Akış hidrograflarının karşılaştırılması
- e) Birim hidrograf

arasından istenilen seçenek seçilip grafik incelenebilir. Unutulmaması gereken diğer nokta ise program tarafından kullanılan tüm yağışlar artık yağış, tüm akışlar ise dolaysız akıştır.

program birim hidrograf için gerekli sonuçları bulur ve aynı dizinde Birim.dat adı altında dosyalar.

Eğer n ve K çifti optimizasyon ile bulunmuş ise program optimizasyon sonunda birim hidrografın hesaplanıp hesaplanmayacağını sorar, istendiği takdirde birim hidrograf bu aşamada bulunabilir (Birim olarak başlangıçta m^3/s -saat seçilmiş ise havza alanı kullanıcıdan istenir).

n ve K değerleri bulunduktan sonra birim hidrografın ordinatları Tablo 3.1'den alınan $a_{n,j}$ katsayıları ile (3.5) denkleminde de hesaplanabilir.

3.1.3 Grafiklerin İncelenmesi

Yağış hyetografi, akış hidrographları ve birim hidrograph çizilmesi için Microsoft Excel ile Grafik.xls programı oluşturulmuştur.

Öncelikle Grafik.xls programı Hazne.exe programı için hazırlanmış olan dizine kopyalanmalıdır. Programın ilk çalıştırılmasında kullanıcı tarafından programa dosya yollarının tanımlanması gerekir. Bu tanımlama aşağıdaki şekilde yapılır:

1. Grafik.xls programı çalıştırılır.
2. Grafik menüsünde bulunan Data seçeneği tıklanır
3. Açılan data sayfasında görülen kırmızı kutu seçilir. Mouse ile sağ tıktıldıktan sonra açılan menüden “metin alma düzeni” seçilir (her ikisi için ayrı ayrı) .
4. Ekrana gelen diyalog kutusunda dosya adı olarak, grafik dataları için grafik.dat, birim hidrograph dataları için de birim.dat yazıldığından emin olunur.
5. Eğer dosya adı yanlış ise veya yazmıyorsa her bir seçenek için yukarıdaki dosya adları yazılır.
6. Diyalog penceresinin üst kısımda bulunan “Bak” kısmından programlar için oluşturulan dizin seçilir ve “Al” tuşuna basılıp data dosyası için yol tanımlanmış olur.

13. Bu adımda bulunan değerlerin dosyaya kayıt ediliş edilmeyeceğı sorulur. İstenildiğı taktirde kullanıcı, hesaplanan değerleri kaydedebilir. Değerlerin dosyaya aktarılması istenirse program, sonuçları Sonuc1.dat veya Sonuc2.dat adı altında aynı dizinde dosyalar.

14. Eğer optimizasyon yapılmış ise, son olarak optimizasyon ile bulunmuş n ve K değerleri için Δt süreli birim hidrografın hesaplanıp hesaplanmayacağı sorulur. Birim hidrograf bu aşamada hesaplatılabilir.

15. Sonuc1.dat dosyası, optimizasyon yapılmamışsa hesapların aktarıldığı dosyadır. Bu dosyanın içeriğinde havza için tanımlanan veriler, hesaplanan akış değerleri (m^3/s) ve ayrıca her bir hazneye giren, depolanan ve çıkan hacimler yazdırılır.

16. Sonuc2.dat dosyası ise optimizasyon yapılmış ise hesapların aktarıldığı dosyadır ve içerisinde havza için tanımlanan veriler, hesap sonucu bulunan optimum çözüm ve optimizasyon kriterleri yazdırılır.

17. Ayrıca program tarafından kullanıcının inisiyatifi dışında iki dosya daha oluşturulur. Bu dosyalar Birim.dat ve Grafik.dat dosyalarıdır. Bunlar grafik çizimine esas oluşturacak yani grafik programının ihtiyaç duyduğu dosyalardır.

18. Tüm bunlar yapıldıktan sonra program otomatik olarak kendini sonlandırır. Bu aşamadan sonra hiyetograf ve hidrografların çizdirilebilmesi için Grafik.xls programı çalıştırılır.

3.1.2 Havzanın Birim Hidrografının Elde Edilmesi

Birim hidrograf, seçilen ya da program tarafından optimum çözüm için bulunan n ve K çifti için tekrar simülasyonla bulunur. Ancak bu sefer birim hidrografın tanımından anlaşılacağı üzere yağış olarak sadece ilk zaman aralığında 1 cm yüksekliğinde yağış girilir. Bunun için birim seçme menüsünden yağış için cm, zaman için saat seçilir.

Gözlenen akış değerleri için sıfır yazılabilir, çünkü gözlenen akış değerleri birim hidrograf elde edilmesi aşamasında kullanılmaz. Tüm veriler girildikten sonra

$$e'_1 = \left(\frac{y_{po} - y_{pc}}{y_{po}} \right)^2 \quad (3.11)$$

burada y_{po} gözlenen pik debiyi, y_{pc} ise programın bulduğu pik debiyi gösterir.

Daha sonra her bir n ve K çifti için hesaplanan pik debilerin gerçekleştiği zamanlar ile gözlenen pik debinin gerçekleştiği zaman arasında (3.12) denklemi uygulanır.

$$e'_2 = \left(\frac{t_{po} - t_{pc}}{t_{po}} \right)^2 \quad (3.12)$$

burada t_{po} gözlenen pik debinin gerçekleştiği zaman, t_{pc} ise hesaplanan pik debinin gerçekleştiği zamandır.

10. Program e_1 ve e_2 ya da e'_1 ve e'_2 değerlerini her bir n ve K çifti için bulur ve saklar. Daha sonra W_1 , W_2 ağırlık katsayılarını kullanarak (3.13) denkleminde verildiği şekilde e veya e' değerlerini hesaplar.

$$e = W_1.e_1 + W_2.e_2 \quad \text{veya} \quad e' = W_1.e'_1 + W_2.e'_2 \quad (3.13)$$

Her bir n ve K çifti için bulunan e veya e' değerleri içinde minimum olan değer optimum çözümü gösterir.

11. Bu adım programın gerekli hesapları yapıp bulduğu dolaysız akışları (m^3/s) ekrana aktardığı adımdır. Eğer optimizasyon yapılmıyorsa verilen n ve K çifti için hesaplanan dolaysız akışlar ekrana yansır. Eğer optimizasyon yapılmışsa optimum çözüm ile belirlenen n ve K çifti için hesaplanan dolaysız akışlar ekrana yansır, ayrıca bu kısımda eğer optimizasyon sonunda, hesaplanan pik debi gözlenen pik debi ile aynı zamanda gerçekleşmemiş ise kullanıcı uyarılır ve hesaplanan ve gözlenen pik debilerin hangi zamanlarda oluştuğu yazılır.

12. Eğer optimizasyon yapılması istenmemiş ise bu aşamada kullanıcıya n ve K değerlerinin değiştirilip değiştirilmeyeceği sorulur, istenirse yeni n ve K değerleri için hesap yaptırılabilir. Eğer optimizasyon yapılması istenmişse bu durumda tekrar optimizasyon yapıp yapılmayacağı sorulur, istendiği takdirde başka bir kritere göre ya da başka ağırlıklara göre tekrar optimizasyon yapılabilir.

Kullanıcı yapılacak optimizasyon türünü seçtikten sonra kendisinden ağırlık katsayıları istenir. Ağırlık katsayıları, eğer tüm debiler ile pik debi için optimizasyon yapılacaksa, tüm değerlere göre W_1 , pik debilere göre W_2 ; eğer pik debi ile pik zamanı için optimizasyon yapılacaksa pik debiye göre W_1 , pik zamanına göre W_2 şeklinde programda tanımlanmıştır ve kullanıcı tarafından istenilen değer verilebilir.

Burada unutulmaması gereken nokta, ağırlık katsayıları kullanıcının karşılaştırmada hangi kriterlere ne kadar önem verdiğini göstermek için tanımlanmıştır ve bu yüzden herhangi bir sayı kısıtlaması yoktur. Örneğin kullanıcı tüm debiler ile pik debi için optimizasyon yapmak istiyor ve W_1 için 0.1, W_2 için 0.9 değeri vermiş ise program optimizasyon yaparken hesaplanan pik debinin ölçülen pik debi değerine yakın olmasının kullanıcı için daha önemli olduğunu anlar. Bir başka deyişle kullanıcı için pik debi diğer debilerden 9 kat daha önemlidir.

8. Ağırlık katsayıları verildikten sonra program eğer tüm debiler ile pik debi için optimizasyon yapacak ise her bir n ve K çifti için bulduğu sonuçları gerçek akışla karşılaştırır. Her bir n ve K çifti için bulduğu akış değerleri y_{ic} ile gözlenen akışlar y_{io} arasında (3.9) denklemini uygular.

$$e_1 = \sum_{i=1}^m \left(\frac{y_{io} - y_{ic}}{y_{io}} \right)^2 \quad (3.9)$$

burada y_{io} gözlenen akış değerleri, y_{ic} ise programın bulduğu akış değerlerini gösterir.

Pik debilere göre yapılan karşılaştırmada ise her bir n ve K çifti için bulunan pik debi gözlenen akışın pik debisi ile karşılaştırılır, bu karşılaştırma (3.10) denklemine göre yapılır.

$$e_2 = \left(\frac{y_{po} - y_{pc}}{y_{po}} \right)^2 \quad (3.10)$$

Burada y_{po} gözlenen akışın pik debisi, y_{pc} ise bulunan akışın pik debisini gösterir.

9. Eğer optimizasyon pik debiler ile pik debilerin meydana geldiği zamana göre yapılacaksa, öncelikle her bir n ve k çifti için pik debi ve bunların meydana geldiği zaman bulunur. Hesaplanan pik debi ile gözlenen pik debi arasında (3.11) denklemi uygulanır;

2. Bu adımda, simülasyona başlanıldığı zaman t_{ilk} , simülasyonun bittiği zaman t_{son} ve zaman artım süresi (Δt) istenir. İlk, son zamanı ve Δt yi girdikten sonra program zaman aralığı sayısını (m) kendisi aşağıdaki şekilde hesaplar.

$$m = \frac{t_{son} - t_{ilk}}{\Delta t} \quad (3.8)$$

3. Daha sonra havzada her bir zaman aralığında ölçülmüş dolaysız akışlar (m^3/s) istenir. Program bu veriyi optimizasyon yaparken kullanır. Yedinci adımda optimizasyon detaylı olarak anlatılacaktır.

4. Havzada ölçülen akışlar girildikten sonra program optimizasyon yapıp yapılmayacağını kullanıcıya sorar. Eğer en uygun çözümün, program tarafından bulunması isteniyorsa optimizasyon programa yaptırılabilir. Kullanıcı isteğini evet (E) veya hayır (H) şeklinde programa girer.

5. Bu adım doğrusal hazne serisi modelinin ana parametrelerinin istendiği adımdır. Program hazne sayısını (n) ve depolama katsayısını (K) ister. Eğer bir önceki adımda optimizasyon yapılması istenmiş ise program tarafından hazne sayısı (n) ve depolama katsayısı (K) için başlangıç ve son değerlerinin girilmesi istenir. Program, bundan sonra başlangıç değerinden itibaren hazne sayısını 1'er, depolama katsayısını ise 0.1'er artırarak bulunan her bir n ve K çifti için sonuçlar bulur ve gerçek akış değerleri ile karşılaştırır. Program, bu karşılaştırmayı yaparken 7. adımda anlatılacak olan ağırlık katsayılarını dikkate alır.

6. Bu adımda havzada gözlenen artık yağış değerleri istenir. Yağışlar kullanıcı tarafından birinci adımda seçilen birimler cinsinden girilir.

7. Eğer optimizasyon yapılması istenmiş ise bu adımda optimizasyon menüsü ekrana gelir ve kullanıcıdan tüm debiler ve pik debi için mi yoksa pik debi ile pik zamanı için mi optimizasyon yaptırılacağı sorulur. Program iki şekilde optimizasyon yapar. Bunlardan ilki, hesaplanan tüm debileri ve pik debiyi, gözlenen debilerle ve pik debi ile verilen ağırlık katsayılarını dikkate alarak karşılaştırır. İkincişi ise hesaplanan pik debi ve bunun meydana geldiği an ile gözlenen pik debi ve anını verilen ağırlık katsayılarını dikkate alarak karşılaştırır.

4. SİMÜLASYON PROGRAMININ UYGULAMALARI

Bu bölümde, hazırlanan simülasyon programı ile gerçek havza verileri kullanılarak elde edilen dolaysız akışlar ve birim hidrograf, gözlenen dolaysız akışlar ve başka yöntemlerle elde edilen birim hidrografla karşılaştırılacaktır. Hidrograf ve hietograflar ise hazırlanan grafik programı ile elde edilecektir.

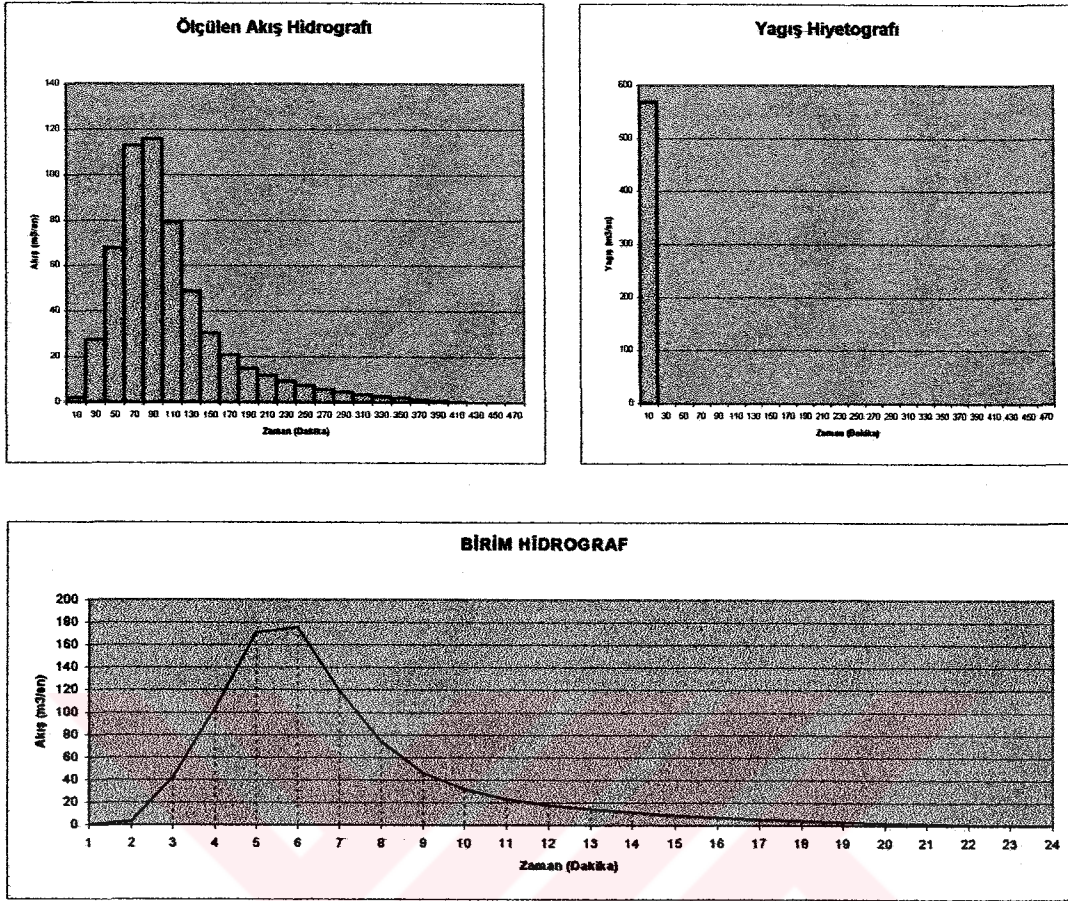
Bu amaçla 5 adet örnek havza seçilip sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1. Havza Örnekleri

Örnek 4.1 Havza alanı 103.34 km² olan bir havzada yapılan ölçümlerde elde edilen artık yağış, dolaysız akış ve BH verileri Tablo 4.1’de verilmiştir (Singh, 1993).

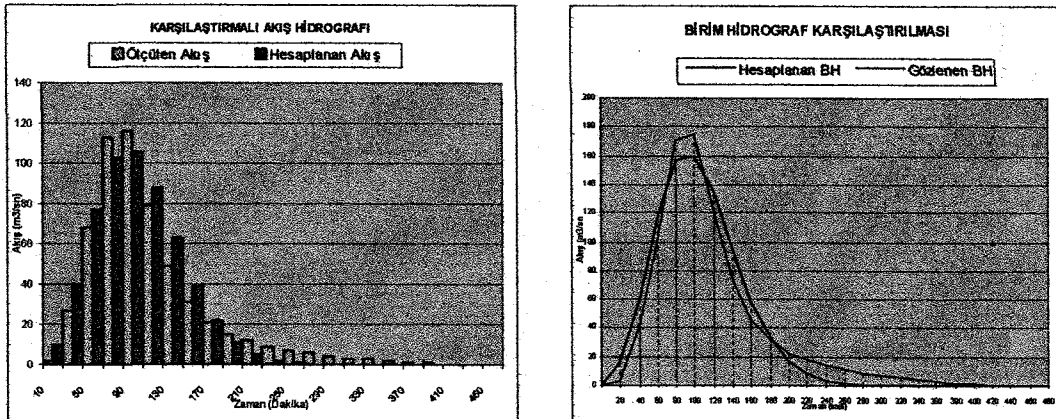
Tablo 4.1 Örnek 4.1 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış ve BH Verileri

Zaman	Artık Yağış	Dolaysız Akış	BH	Zaman	Artık Yağış	Dolaysız Akış	BH
Saat	cm	m3/s	(m3/s)	Saat	cm	m3/s	(m3/s)
07:40 - 08:00	0.66	1.98	3	- 12:00		7.36	11.15
- 08:20		27.34	41.42	- 12:20		5.52	8.36
- 08:40		67.78	102.69	- 12:40		4.39	6.65
- 09:00		112.92	171.09	- 01:00		3.4	5.15
- 09:20		115.75	175.37	- 01:20		2.55	3.86
- 09:40		79.1	119.85	- 01:40		1.84	2.79
- 10:00		48.82	73.97	- 02:00		1.27	1.93
- 10:20		30.56	46.31	- 02:20		0.57	0.86
- 10:40		20.94	31.73	- 02:40		0.28	0.43
- 11:00		14.86	22.51	- 03:00		0	0
- 11:20		11.74	17.79				
- 11:40		9.34	14.15				



Şekil 4.1 Örnek 4.1 İçin Gözlenen Artık Yağış, Dolaysız Akış ve Birim Hidrograf

Havza verileri simülasyon programı ile değişik optimizasyon kriterlerine göre çözülmüştür. Şekil 4.2 ve Tablo 4.2’de optimizasyon sonucu bulunan $n=42$, $K=1.1$ için sonuçlar gösterilmiştir. Örneğin değişik kriterlere göre bulunan sonuçları ve diğer tüm grafikler Ek-B’ de verilmiştir.



Şekil 4.2 Örnek 4.1 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Eldé Edilen Dolaysız Akışlar ve Birim Hidrografa Karşılaştırılması ($n=42$, $K=1.1$)

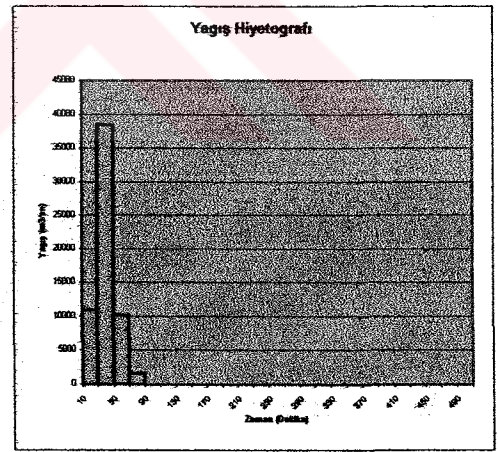
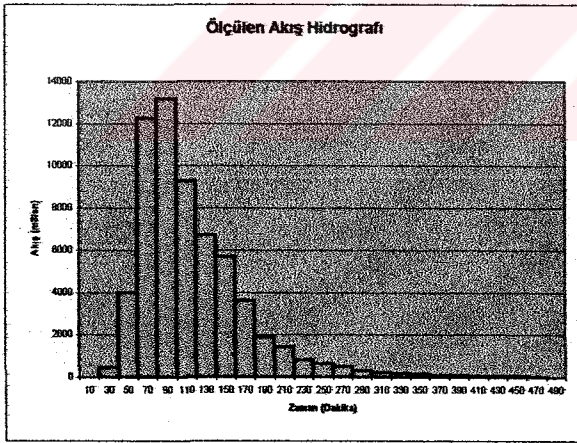
Tablo 4.2 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=42, K=1.1)

Sonuclar		
Optimum Akis		
Hazne Sayisi n= 42 k Katsayisi k= 1.10		
t(dakika)	Y(m3/s)	BH(m3/s)
.0	10.38	15.73
20.0	39.63	60.04
40.0	77.45	117.35
60.0	103.27	156.47
80.0	105.62	160.03
100.0	88.34	133.84
120.0	62.91	95.31
140.0	39.21	59.41
160.0	21.83	33.08
180.0	11.03	16.71
200.0	5.11	7.75
220.0	2.20	3.33
240.0	.88	1.34
260.0	.33	.50
280.0	.12	.18
300.0	.04	.06
320.0	.01	.02
340.0	.00	.01
360.0	.00	.00
380.0	.00	.00
400.0	.00	.00
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= 1.00 W2= .00		

Örnek 4.2 Texas’da bulunan Riesel (Waco) havzasında kaydedilen artık yağış, dolaysız akış ve Collins metoduna göre bulunan BH verileri Tablo 4.3’de verilmiştir. Havza alanı 2343 km²’dir (Singh, 1993).

Tablo 4.3 Örnek 4.2 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış ve BH Verileri

Zaman	Artık Yağış	Dolaysız Akış	BH	Zaman	Artık Yağış	Dolaysız Akış	BH
Dakika	cm	m3/s	(m3/s)	Saat	cm	m3/s	(m3/s)
20	0.562	0	677	240		638	78
40	1.968	456	4706	280		508	65
60	0.526	3990	4595	300		299	59
80	0.083	12275	2714	320		215	46
100		13166	1926	340		189	26
120		9268	1926	360		137	26
140		6717	1119	380		91	20
160		5682	423	400		78	20
180		3632	508	420		65	20
200		1881	208	440		59	0
220		1445	195	460		46	78
240		820	176	480		39	65



Şekil 4.3 Örnek 4.2 İçin Gözlenen Artık Yağış ve Dolaysız Akışlar

Havza verileri simülasyon programı ile değişik optimizasyon kriterlerine göre çözülmüştür. Şekil 4.4 ve Tablo 4.4’de optimizasyon sonucunda bulunan n=15, K=1.2 için sonuçlar verilmiştir. Örneğin başka kriterlere göre bulunan sonuçları ve diğer tüm grafikler Ek-C’ de verilmiştir.

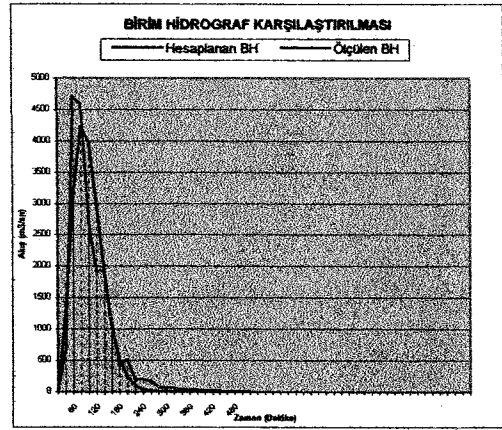
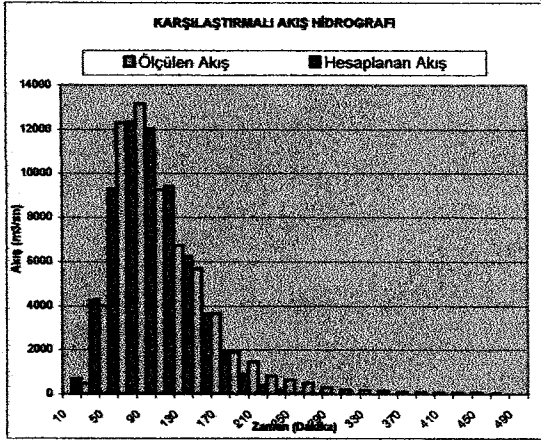
Tablo 4.4 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=15, K=1.2)

Sonuclar		

Optimum Akis		

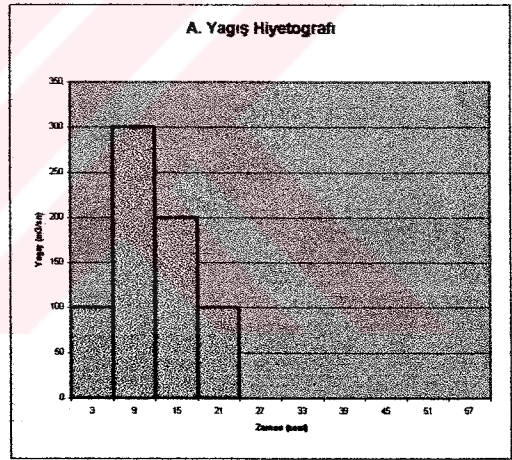
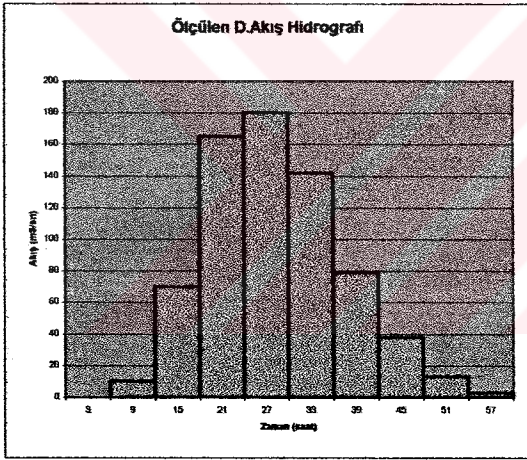
Hazne Sayisi n= 15		
k Katsayisi k= 1.20		
t (dakika)	Y(m3/s)	BH(m3/s)

.0	712.21	1267.28
20.0	4274.53	3168.20
40.0	9275.63	4224.26
60.0	12327.15	3989.58
80.0	12018.03	2992.19
100.0	9402.78	1895.05
120.0	6226.17	1052.81
140.0	3612.91	526.40
160.0	1882.62	241.27
180.0	896.84	102.76
200.0	395.94	41.11
220.0	163.72	15.57
240.0	63.95	5.62
260.0	23.76	1.95
280.0	8.44	.65
300.0	2.88	.21
320.0	.95	.07
340.0	.30	.02
360.0	.09	.01
380.0	.03	.00
400.0	.01	.00
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
460.0	.00	.00
480.0	.00	.00
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır		
Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00		



Şekil 4.4 Örnek 4.2 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışlar ve Birim Hidrografın Karşılaştırılması ($n=15$, $K=1.2$)

Örnek 4.3 Bir havzada ölçülen artık yağış hietografi ve dolaysız akış hidrografi 6 saatlik zaman birimleriyle (m^3/s) cinsinden Şekil 4.5'de verilmiştir (Chow v.d.,1988).

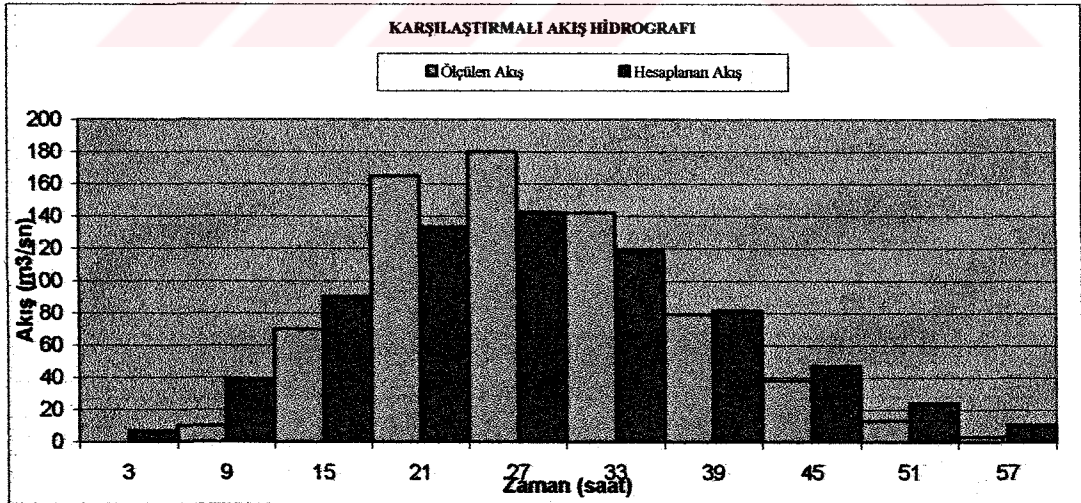


Şekil 4.5 Örnek 4.3 İçin Artık Yağış Hietografi ve Dolaysız Akış Hidrograf

Havza verileri simülasyon programı ile değişik optimizasyon kriterlerine göre çözülmüştür. Tablo 4.5 ve Şekil 4.6 'da optimizasyon sonucunda bulunan $n=28$, $K=1.1$ için sonuçlar verilmiştir. Örneğin başka kriterlere göre bulunan sonuçları ve diğer tüm grafikler Ek-D' de verilmiştir

Tablo 4.5 Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Çözümü ile Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=28, K=1.1)

Sonuclar	
Optimum Akis	
Hazne Sayisi n= 28 k Katsayisi k= 1.10	
t(saat)	Y(m3/s)
.0	6.93
6.0	38.45
12.0	90.09
18.0	133.19
24.0	142.54
30.0	118.95
36.0	81.30
42.0	47.16
48.0	23.85
54.0	10.72
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= 1.00 W2= .00	



Şekil 4.6 Örnek 4.3 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışların Karşılaştırılması (n=28, K=1.1)

Örnek 4.4 Havza alanı 51.54 km² olan bir havzada yapılan ölçümlerde elde edilen artık yağışlar ve dolaysız akışlar Tablo 4.6’de verilmiştir (Schulz, 1989).

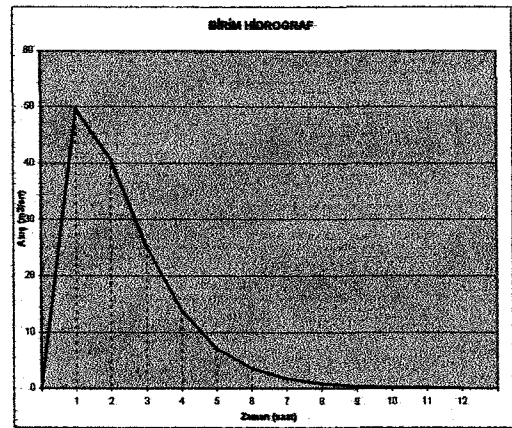
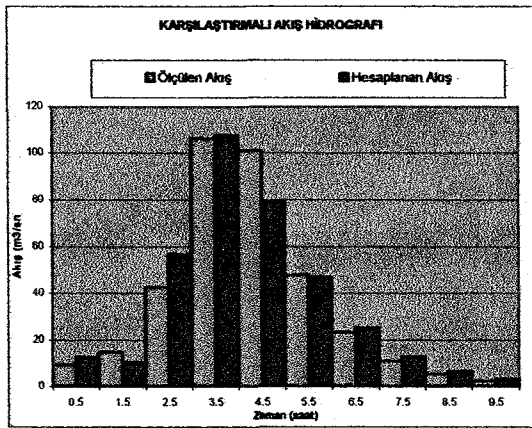
Tablo 4.6 Örnek 4.4 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış Verileri

Zaman	Artık Yağış	Dolaysız Akış
Saat	cm	m3/s
1	0.254	9.00
2	0	14.52
3	1.016	42.68
4	1.27	106.38
5		101.06
6		47.91
7		23.26
8		10.84
9		5.18
10		2.15
11		0.76
12		

Havza verileri simülasyon programı ile değişik optimizasyon kriterlerine göre çözülmüştür. Tablo 4.7 ve Şekil 4.7’de optimizasyon sonucunda bulunan n=2, K=1.7 için sonuçlar verilmiştir. Örneğin başka kriterlere göre bulunan sonuçları ve diğer tüm grafikler Ek-E’ de verilmiştir

Tablo 4.7 Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Çözümü ile Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=2, K=1.7)

Sonuclar		
Optimum Akis		
Hazne Sayisi n= 2 k Katsayisi k= 1.70		
t(saatt)	Y(m3/s)	BH(m3/s)
.0	12.58	49.54
1.0	10.36	40.80
2.0	56.73	25.20
3.0	107.88	13.83
4.0	79.22	7.12
5.0	46.95	3.52
6.0	25.23	1.69
7.0	12.82	.80
8.0	6.28	.37
9.0	3.00	.17
10.0	1.40	.08
11.0	.65	.03
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00		



Şekil 4.7 Örnek 4.4 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışların Karşılaştırılması ve Birim Hidrograf (n=2, K=1.7)

Örnek 4.5 Havza alanı 130.80 km² olan bir havzada yapılan ölçümlerde elde edilen artık yağışlar ve dolaysız akışlar Tablo 4.8’de verilmiştir (Schulz, 1989).

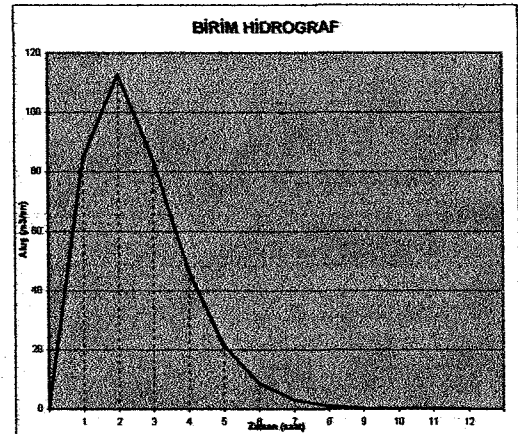
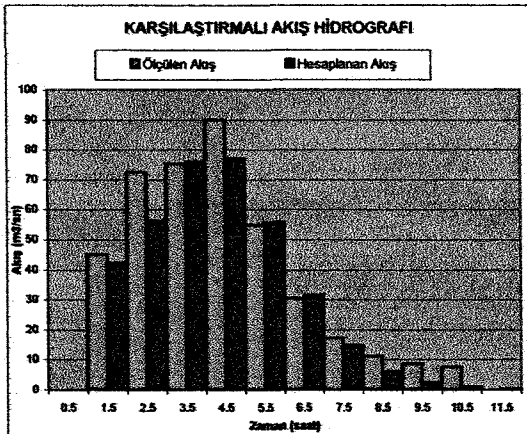
Tablo 4.8 Örnek 4.5 İçin Gözlenen Artık Yağış , Dolaysız Akış Verileri

Zaman	Artık Yağış	Dolaysız Akış
Saat	cm	m3/s
1	0	0
2	.5	45
3	0	72.6
4	.4	75.4
5	.1	89.6
6	0	55
7		30.4
8		17.1
9		11.1
10		8.6
11		7.5
12		.1

Havza verileri simülasyon programı ile değişik optimizasyon kriterlerine göre çözülmüştür. Tablo 4.9 ve Şekil 4.8 ‘de optimizasyon sonucunda bulunan n=8, K=1.2 için sonuçlar verilmiştir. Örneğin başka kriterlere göre bulunan çözümleri Ek-F’ de verilmiştir.

Tablo 4.9 Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Çözümü ile Elde Edilen Sonuçların Çıktısı (n=8, K=1.2)

Sonuclar		
Optimum Akis		
Hazne Sayisi n= 8 k Katsayisi k= 1.20		
t (saat)	Y (m3/s)	BH (m3/s)
.0	.00	84.50
1.0	42.25	112.67
2.0	56.33	84.50
3.0	76.05	46.94
4.0	76.99	21.52
5.0	55.82	8.61
6.0	31.53	3.11
7.0	14.85	1.04
8.0	6.11	.32
9.0	2.27	.10
10.0	.77	.03
11.0	.25	.01
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= 1.00 W2= .00		



Şekil 4.8 Örnek 4.5 İçin Gözlenen ve Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışların Karşılaştırılması ve Birim Hidrografı (n=8, K=1.2)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmayla, Nash (1957) tarafından anlık birim hidrograf için önerilmiş olan doğrusal hazne serisi modeli, sonlu süreli (Δt) birim hidrografa uygulanmıştır. Bu model ile ifade edilen birim hidrografın ordinatlarını hazne sayısına ve depolama katsayısına bağlı olarak veren denklemler elde edilmiştir. Bir akarsu havzasında bu modeli kullanarak artık yağıştan dolaysız akışa geçişin simülasyonu için bir bilgisayar programı hazırlanmış ve hazırlanan program gerçek verilerle çalıştırılmıştır. Daha sonra sonuçlar, yine bu havzalarda gözlenen dolaysız akış değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada değişik kaynaklarda beş adet havza ele alınmış ve program, gerçek verilerle çalıştırılmıştır. Program sonunda elde edilen dolaysız akışlar gerçek dolaysız akışlarla karşılaştırılmış ve birim hidrograflar ise havza için diğer yöntemlerle elde edilen birim hidrograflarla karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalar sonucunda simülasyon programı ile elde edilen sonuçların gözlenen değerlere yeteri doğrulukta yakın olduğu görülmüştür. Bu yüzden hazırlanan simülasyon programını kullanarak bir akarsu havzasında gözlenen değerler ile birim hidrograf yeterli doğrulukta elde edilebilmektedir.

Hazırlanan simülasyon programı ile kullanıcı:

1. Üç farklı birim sistemi kullanabilmekte,
2. Hazne sayısı n , depolama katsayısı K değerlerini kendi girebilmekte ve değiştirebilmekte,
3. Hazne sayısını ve depolama katsayısını optimizasyon yaptırmak suretiyle, programa buldurabilmekte,
4. Değişik kriterlere göre istenildiği kadar optimizasyon yaptırabilmekte,
5. Kullanılan bilgisayarın kapasitesine bağlı olarak istenilen sayıda n ve K değeri arasında optimizasyon yaptırabilmekte,

6. Havza için birim hidrografi ve dolaysız akışları elde edebilmekte,
7. Tüm hiyetograf, hidrograf ve birim hidrografları inceleyebilmekte ve karşılaştırmalar yaptırabilmektedir.

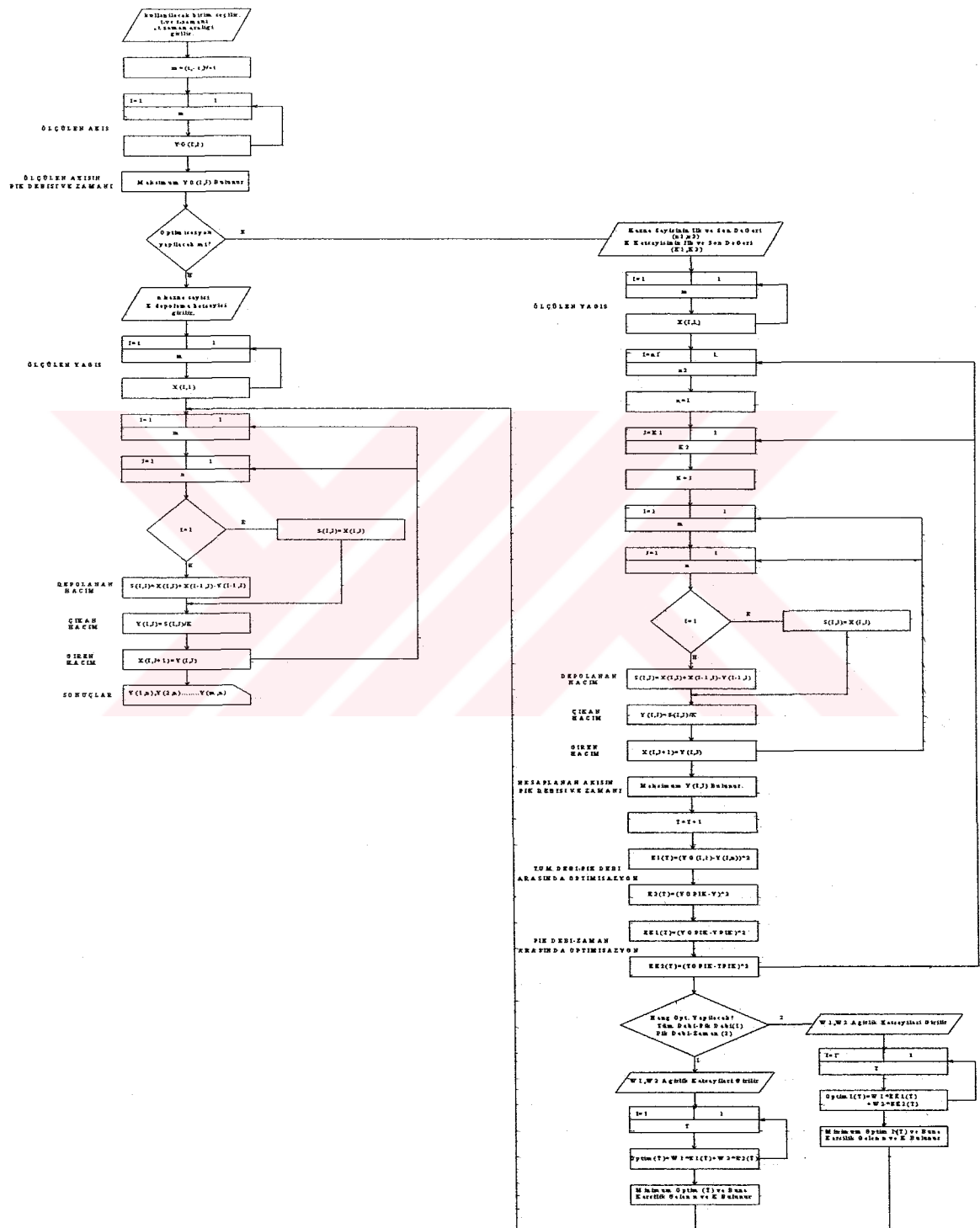
Bu program, artık yağış ve dolaysız akışı verilen tüm havzalarda, değişik kriterlere göre problemi kısa sürede çözebilmekte ve sonuç hidrografları gösterilmektedir.

Ayrıca bu program optimizasyonla sonuçları bulurken kendi oto kalibrasyonunu da yapmaktadır. Çünkü optimum değerleri, gözlenen değerlere yakınlığı ile kıyaslamakta ve sonuç olarak gözlenen değerlere, kullanıcının belirttiği kriterlere göre en uygun sonucu kısa sürede vermektedir.



KAYNAKLAR

- Bayazıt, M.,** 1998. Hidrolojik Modeller, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Bayazıt, M.,** 1999. Hidroloji, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Bras, R. L.,** 1990. Hydrology An Introduction To Hydrologic Science, Addison-Wesley Publishing Company, New York
- Butler, S. S.,** 1957. Engineers Hydrology, Prentice-Hall, New Jersey
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. V.,** 1988. Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York
- Chow, V. T,** 1964. Handbook Of Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York
- Işık, A. Y.,** 2001. 1253 Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzasına Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maidment, D. R.,** 1993. Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, New York
- Nash, S. E.,** 1957. The Form Of The Instantaneous Unit Hydrograph, IASH Publication, 3, 45
- Schulz, E. F.,** 1989. Problems in Applied Hydrology, Water Resources Publications, Colorado
- Sherman, L. K.,** 1932. Stream flow From Rainfall By The Unit Graph Method, Engineering News Record, 108, 501-505
- Singh, V. P.,** 1993. Elementary Hydrology, Prentice Hall, New Jersey
- Sneyder, F. F.,** 1938, Synthetic Unit-Graphs, Transactions American Geophysical Union, 19, 447-454
- Uysal, M., Uysal, A.,** 1998. Fortran 90, Beta, İstanbul

EK-A

Şekil A.1 Hazne Modeli İçin Hazırlanan Simülasyon Programının Akış Şeması

EK-B

Tablo B.1 Örnek 4.1 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı

BİRİM HIDROGRAF İCİN HAZNE SERİSİ MODELİ		

Veriler		
t (Dakika)	A.Yağış (Cm)	Ölçülen D.Akis (m3/s)
.0	.66	1.98
20.0	.00	27.34
40.0	.00	67.78
60.0	.00	112.92
80.0	.00	115.75
100.0	.00	79.10
120.0	.00	48.82
140.0	.00	30.56
160.0	.00	20.94
180.0	.00	14.86
200.0	.00	11.74
220.0	.00	9.34
240.0	.00	7.36
260.0	.00	5.52
280.0	.00	4.39
300.0	.00	3.40
320.0	.00	2.55
340.0	.00	1.84
360.0	.00	1.27
380.0	.00	.57
400.0	.00	.28
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
Havza Alanı.....: 103.34Km2		
Hazne Sayısı Başlangıç Değeri...: 2		
Hazne Sayısı Bitis Degeri.....: 100		
k Katsayısı Başlangıç Degeri....: 1.10		
k Katsayısı Bitis Degeri.....: 80.00		

Tablo B.2 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=40, K=1.1)

Sonuclar		

Optimum Akis		

Hazne Sayisi n= 40		
k Katsayisi k= 1.10		
t(Dakika)	Y(m3/s)	BH(m3/s)

.0	12.56	19.03
20.0	45.67	69.19
40.0	85.10	128.95
60.0	108.31	164.11
80.0	105.85	160.38
100.0	84.68	128.31
120.0	57.74	87.48
140.0	34.49	52.26
160.0	18.42	27.91
180.0	8.93	13.53
200.0	3.98	6.03
220.0	1.64	2.49
240.0	.64	.96
260.0	.23	.35
280.0	.08	.12
300.0	.03	.04
320.0	.01	.01
340.0	.00	.00
360.0	.00	.00
380.0	.00	.00
400.0	.00	.00
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
Optimizasyon Tum Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır		
Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00		

Tablo B.3 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=42, K=1.1)

Sonuclar		

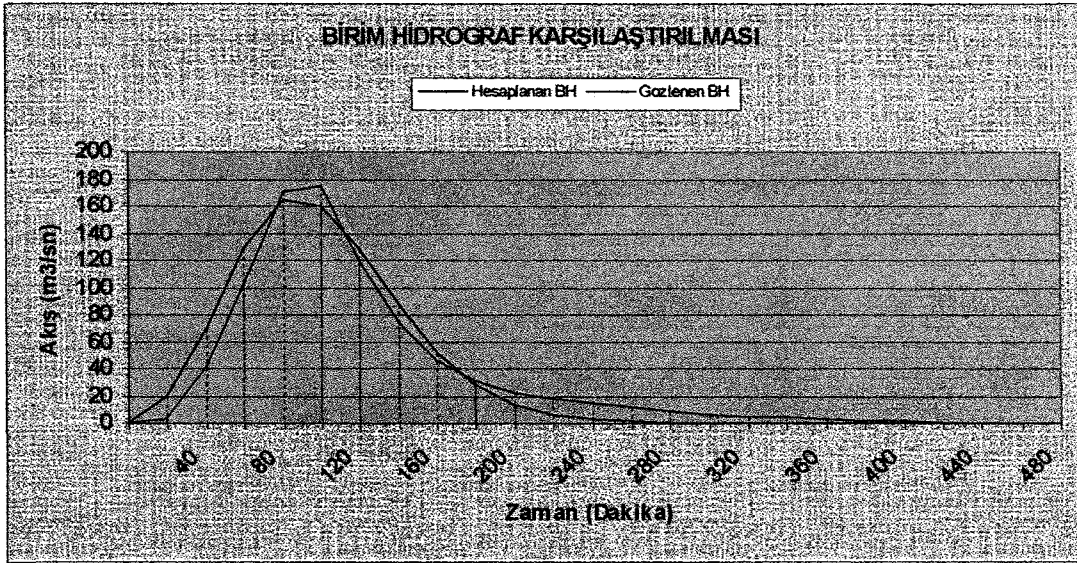
Optimum Akis		

Hazne Sayisi n= 42		
k Katsayisi k= 1.10		
t (Dakika)	Y (m3/s)	BH (m3/s)

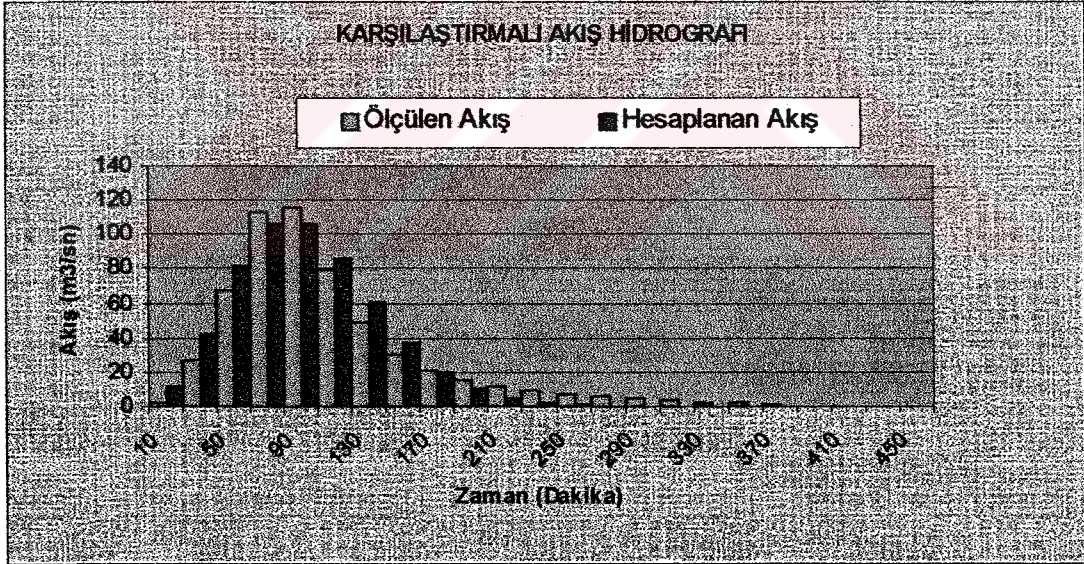
.0	10.38	15.73
20.0	39.63	60.04
40.0	77.45	117.35
60.0	103.27	156.47
80.0	105.62	160.03
100.0	88.34	133.84
120.0	62.91	95.31
140.0	39.21	59.41
160.0	21.83	33.08
180.0	11.03	16.71
200.0	5.11	7.75
220.0	2.20	3.33
240.0	.88	1.34
260.0	.33	.50
280.0	.12	.18
300.0	.04	.06
320.0	.01	.02
340.0	.00	.01
360.0	.00	.00
380.0	.00	.00
400.0	.00	.00
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır		
Ağırlık Katsayıları W1= .50 W2= .50		

Tablo B.4 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=41, K=1.1)

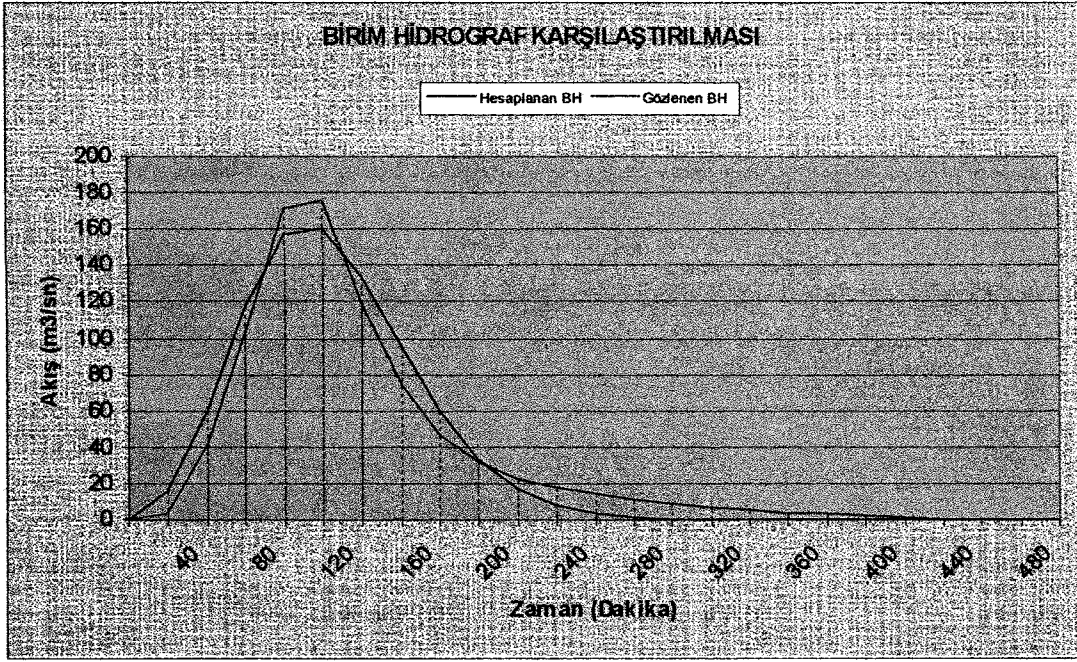
Sonuclar		
Optimum Akis		
Hazne Sayisi n= 41 k Katsayisi k= 1.10		
t (Dakika)	Y (m3/s)	BH (m3/s)
.0	11.42	17.30
20.0	42.55	64.47
40.0	81.24	123.08
60.0	105.85	160.38
80.0	105.85	160.38
100.0	86.61	131.22
120.0	60.36	91.46
140.0	36.84	55.83
160.0	20.10	30.45
180.0	9.95	15.07
200.0	4.52	6.85
220.0	1.91	2.89
240.0	.75	1.14
260.0	.28	.42
280.0	.10	.15
300.0	.03	.05
320.0	.01	.02
340.0	.00	.00
360.0	.00	.00
380.0	.00	.00
400.0	.00	.00
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
Optimizasyon Pik Debi ve Pik Zamanı İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00		



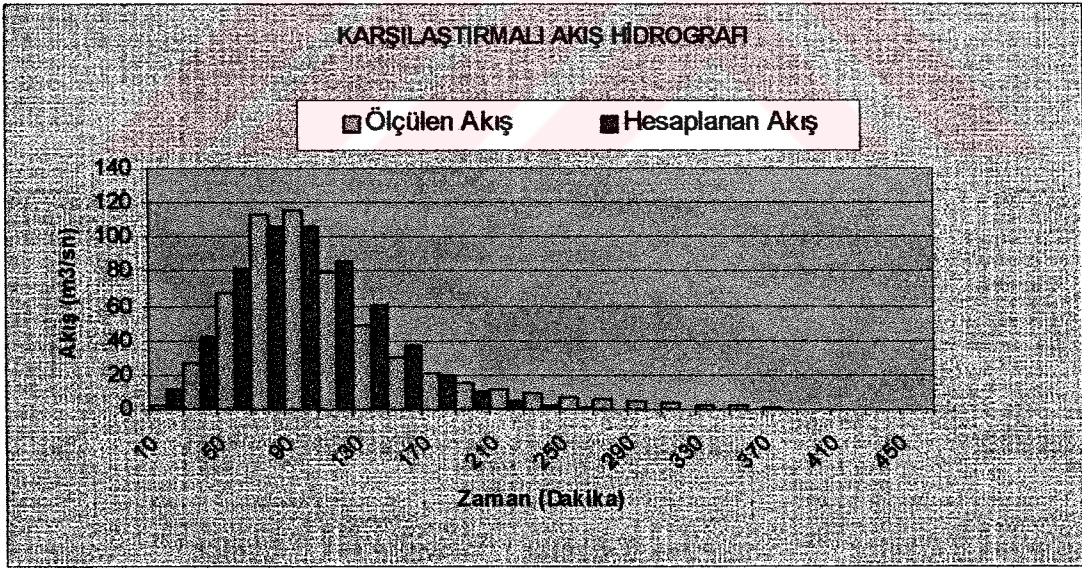
Şekil B.1 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması ($n=40$, $K=1.1$)



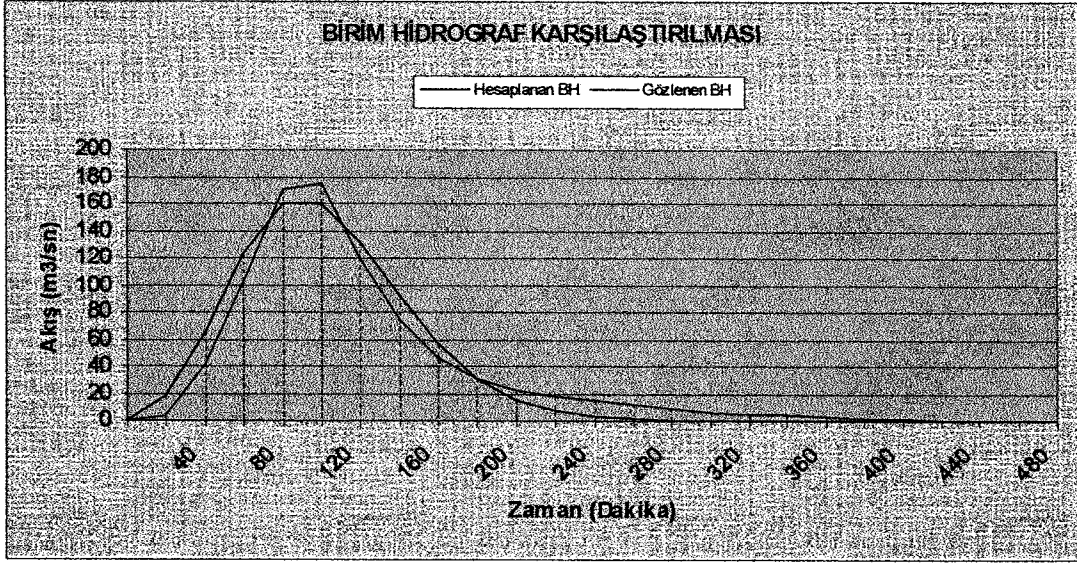
Şekil B.2 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=40$, $K=1.1$)



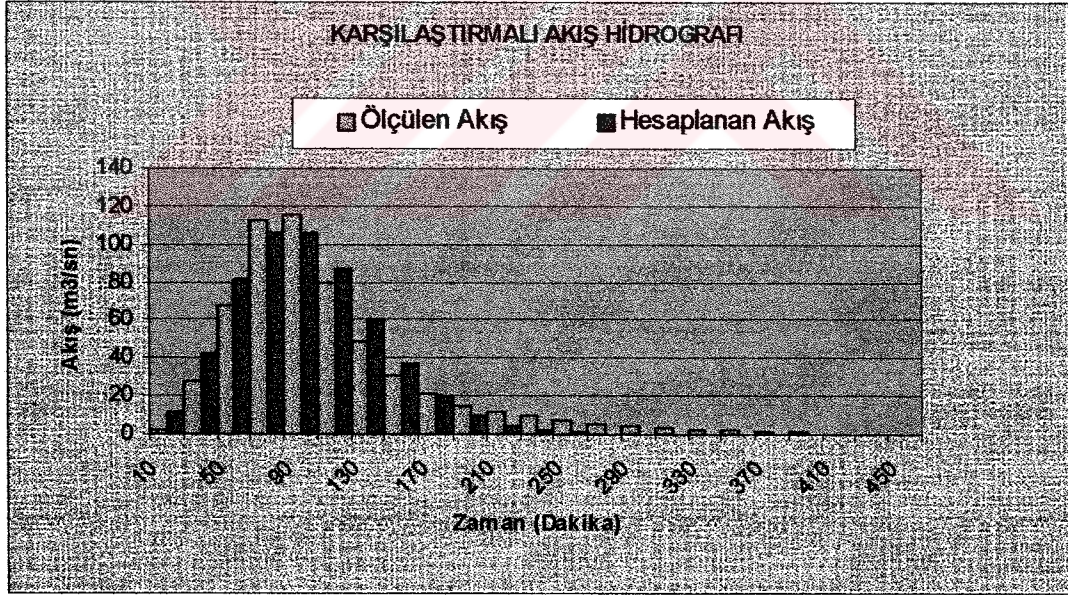
Şekil B.3 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması ($n=42$, $K=1.1$)



Şekil B.4 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=42$, $K=1.1$)



Şekil B.5 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması (n=41, K=1.1)



Şekil B.6 Örnek 4.1'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması (n=41, K=1.1)

EK-C

Tablo C.1 Örnek 4.2 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı

BIRIM HIDROGRAF ICIN HAZNE SERISI MODELİ		

Veriler		
t (Dakika)	Yagış (Cm)	Olculen Akis (m3/s)
.0	.56	.00
20.0	1.97	456.00
40.0	.53	3990.00
60.0	.08	12275.00
80.0	.00	13166.00
100.0	.00	9268.00
120.0	.00	6717.00
140.0	.00	5682.00
160.0	.00	3632.00
180.0	.00	1881.00
200.0	.00	1445.00
220.0	.00	820.00
240.0	.00	638.00
260.0	.00	508.00
280.0	.00	299.00
300.0	.00	215.00
320.0	.00	189.00
340.0	.00	137.00
360.0	.00	91.00
380.0	.00	78.00
400.0	.00	65.00
420.0	.00	59.00
440.0	.00	46.00
460.0	.00	39.00
480.0	.00	.00
Havza Alanı.....:		2343.00Km2
Hazne Sayısı Baslangıc Degeri...:		3
Hazne Sayısı Bitis Degeri.....:		50
k Katsayısı Baslangıc Degeri....:		1.20
k Katsayısı Bitis Degeri.....:		40.00

Tablo C.2 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=15, K=1.2)

Sonuclar		

- Optimum Akis -		

Hazne Sayisi n= 15		
k Katsayisi k= 1.20		
t (Dakika)	Y (m3/s)	BH (m3/s)

.0	712.21	1267.28
20.0	4274.53	3168.20
40.0	9275.63	4224.26
60.0	12327.15	3989.58
80.0	12018.03	2992.19
100.0	9402.78	1895.05
120.0	6226.17	1052.81
140.0	3612.91	526.40
160.0	1882.62	241.27
180.0	896.84	102.76
200.0	395.94	41.11
220.0	163.72	15.57
240.0	63.95	5.62
260.0	23.76	1.95
280.0	8.44	.65
300.0	2.88	.21
320.0	.95	.07
340.0	.30	.02
360.0	.09	.01
380.0	.03	.00
400.0	.01	.00
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
460.0	.00	.00
480.0	.00	.00
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır		
Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00		

Tablo C.3 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=16, K=1.2)

Sonuclar		
Optimum Akis		
Hazne Sayisi n= 16 k Katsayisi k= 1.20		
t (Dakika)	Y (m3/s)	BH (m3/s)
.0	593.51	1056.07
20.0	3661.03	2816.18
40.0	8339.87	3989.58
60.0	11662.60	3989.58
80.0	11958.79	3158.42
100.0	9828.78	2105.61
120.0	6826.60	1228.27
140.0	4148.53	643.38
160.0	2260.27	308.29
180.0	1124.08	137.02
200.0	517.29	57.09
220.0	222.65	22.49
240.0	90.40	8.43
260.0	34.87	3.03
280.0	12.85	1.05
300.0	4.55	.35
320.0	1.55	.11
340.0	.51	.04
360.0	.16	.01
380.0	.05	.00
400.0	.02	.00
420.0	.00	.00
440.0	.00	.00
460.0	.00	.00
480.0	.00	.00
Optimizasyon Pik Debi ve Pik Zamanı İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00		

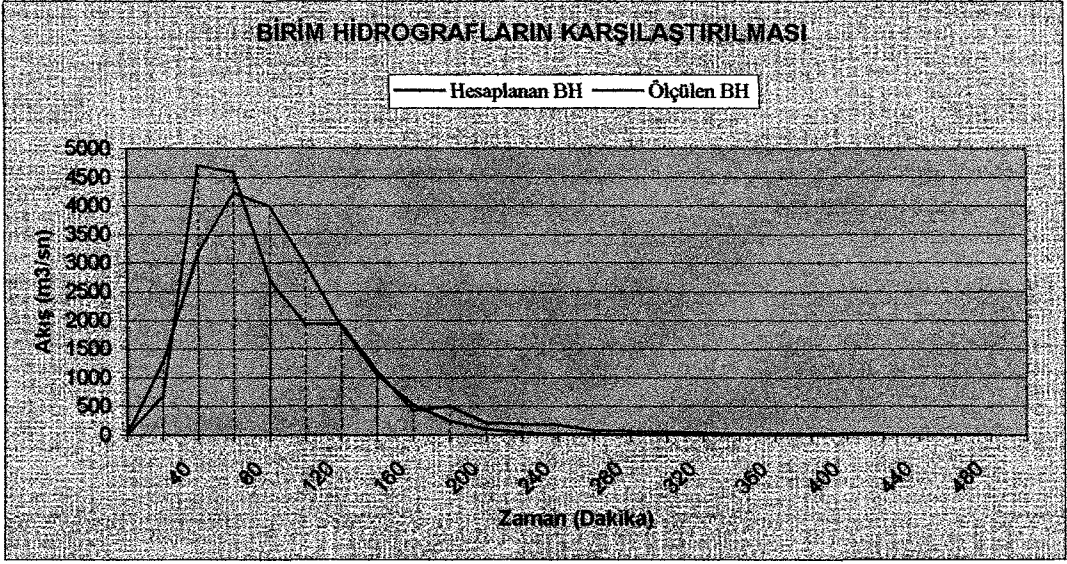
Tablo C.4 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=18, K=1.2)

Sonuclar		

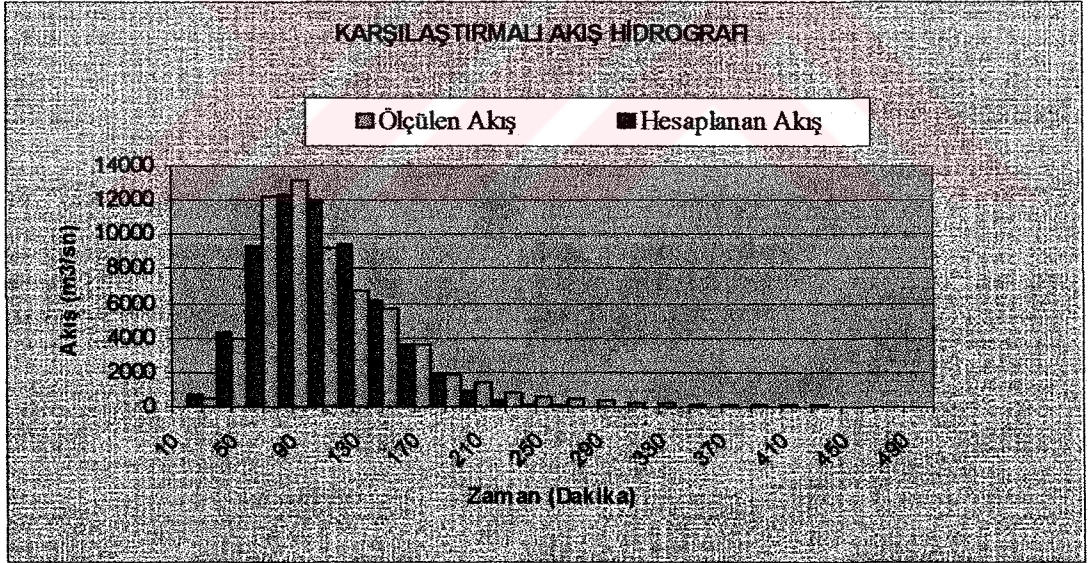
Optimum Akis		

Hazne Sayisi n= 18		
k Katsayisi k= 1.20		
t(Dakika)	Y(m3/s)	BH(m3/s)

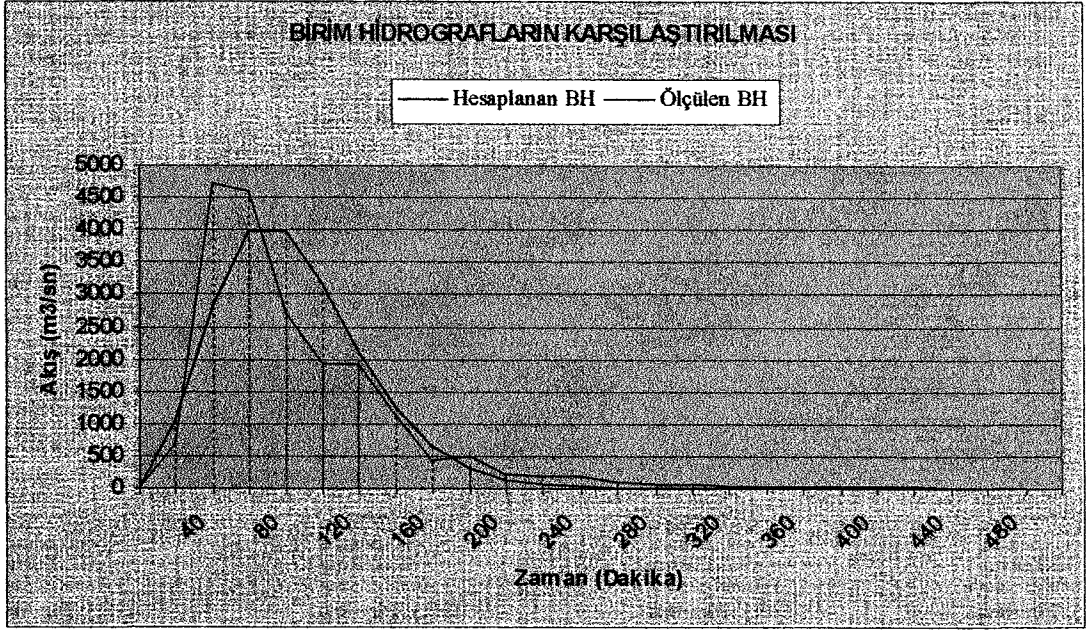
.0	412.16	733.38
20.0	2679.77	2200.14
40.0	6673.38	3483.55
60.0	10249.05	3870.61
80.0	11535.70	3386.79
100.0	10386.08	2483.64
120.0	7882.29	1586.77
140.0	5219.85	906.73
160.0	3090.63	472.25
180.0	1665.83	227.38
200.0	828.66	102.32
220.0	384.57	43.41
240.0	167.95	17.48
260.0	69.51	6.72
280.0	27.43	2.48
300.0	10.37	.88
320.0	3.77	.30
340.0	1.32	.10
360.0	.45	.03
380.0	.15	.01
400.0	.05	.00
420.0	.01	.00
440.0	.00	.00
460.0	.00	.00
480.0	.00	.00
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır		
Ağırlık Katsayıları W1= .50 W2= .50		



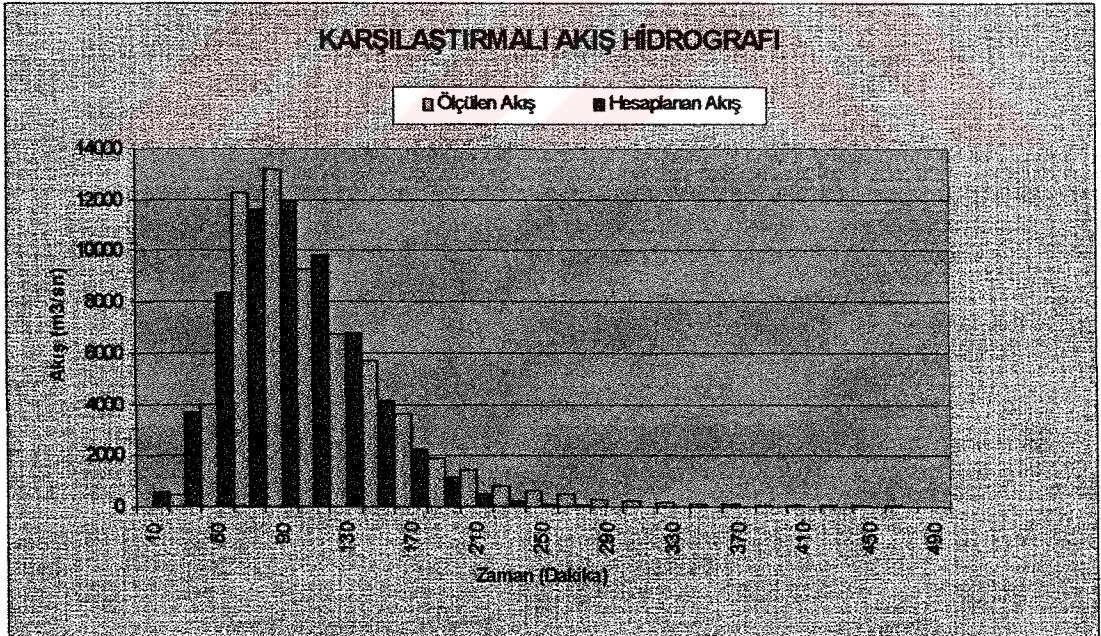
Şekil C.1 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması ($n=15$, $K=1.2$)



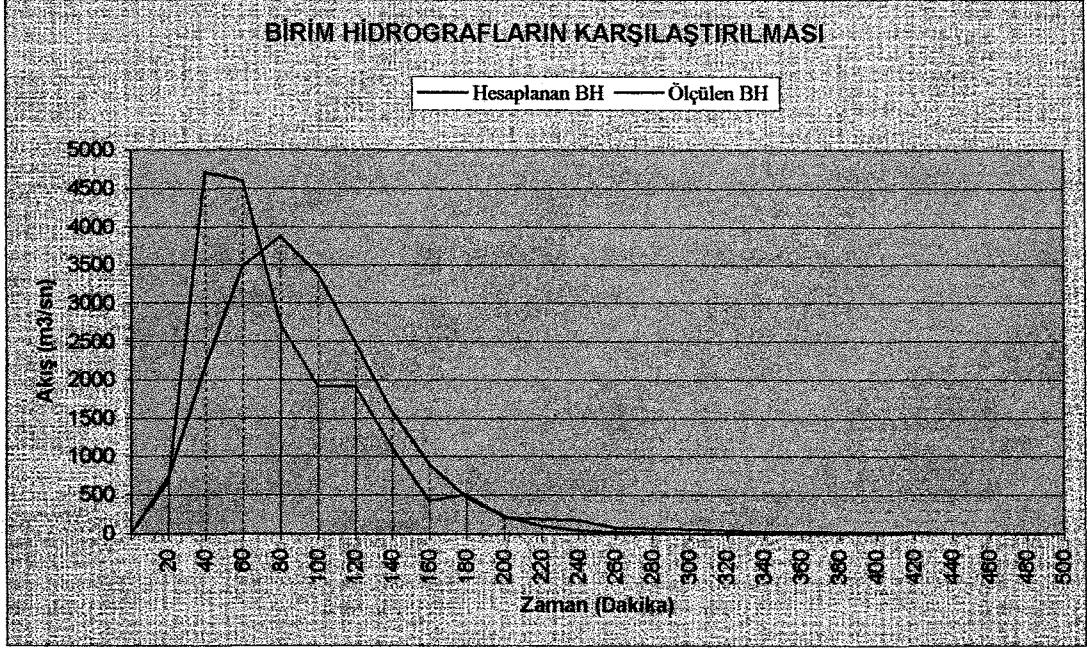
Şekil C.2 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=15$, $K=1.2$)



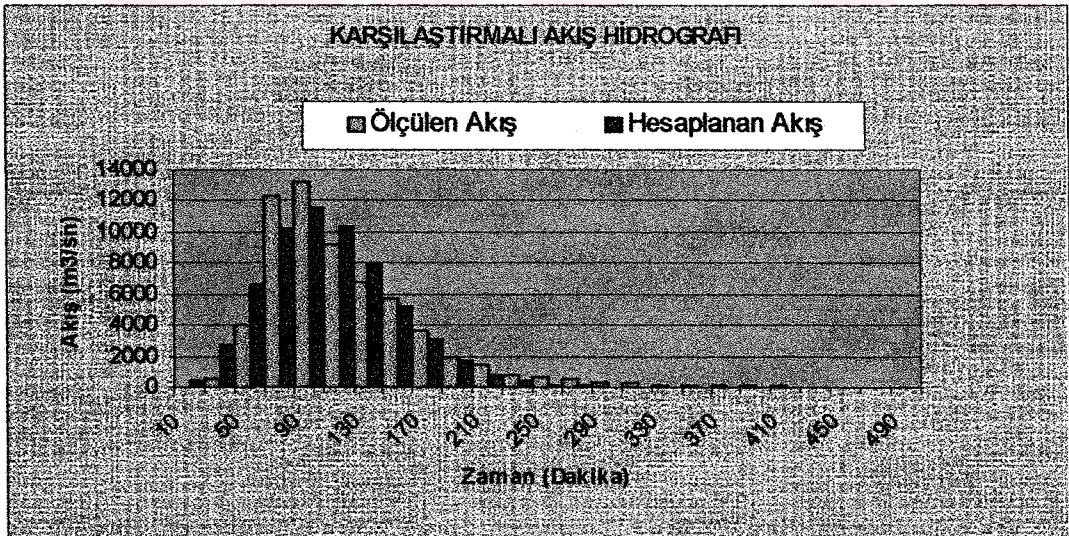
Şekil C.3 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografın Karşılaştırılması ($n=16$, $K=1.2$)



Şekil C.4 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=16$, $K=1.2$)



Şekil C.5 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi İle Gözlenen Birim Hidrografi Karşılaştırılması (n=18, K=1.2)



Şekil C.6 Örnek 4.2'nin Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akış İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması (n=18, K=1.2)

EK-D

Tablo D.1 Örnek 4.3 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı

BİRİM HIDROGRAF İCİN HAZNE SERİSİ MODELİ		

Veriler		
t(Saat)	Yagiş (m3/s)	Olculen Akis (m3/s)
.0	100.00	.00
6.0	300.00	10.00
12.0	200.00	70.00
18.0	100.00	165.00
24.0	.00	180.00
30.0	.00	142.00
36.0	.00	79.00
42.0	.00	38.00
48.0	.00	13.00
54.0	.00	3.00
Havza Alanı.....:		.00Km2
Hazne Sayısı Baslangıc Degeri...:		2
Hazne Sayısı Bitis Degeri.....:		50
k Katsayısı Baslangıc Degeri....:		1.10
k Katsayısı Bitis Degeri.....:		30.00

Tablo D.2 Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=28, K=1.1)

Sonuclar	

-	Optimum Akis

Hazne Sayisi n= 28 k Katsayisi k= 1.10	
t(saati)	Y(m3/s)

.0	6.93
6.0	38.45
12.0	90.09
18.0	133.19
24.0	142.54
30.0	118.95
36.0	81.30
42.0	47.16
48.0	23.85
54.0	10.72
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= 1.00 W2= .00	

Tablo D.3 Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=26, K=1.1)

Sonuclar	

-	Optimum Akis

Hazne Sayisi n= 26 k Katsayisi k= 1.10	
t(saati)	Y(m3/s)

.0	8.39
6.0	45.00
12.0	100.62
18.0	141.73
24.0	144.08
30.0	113.90
36.0	73.63
42.0	40.37
48.0	19.29
54.0	8.20
Optimizasyon Pik Debi ve Pik Zamanı İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00	

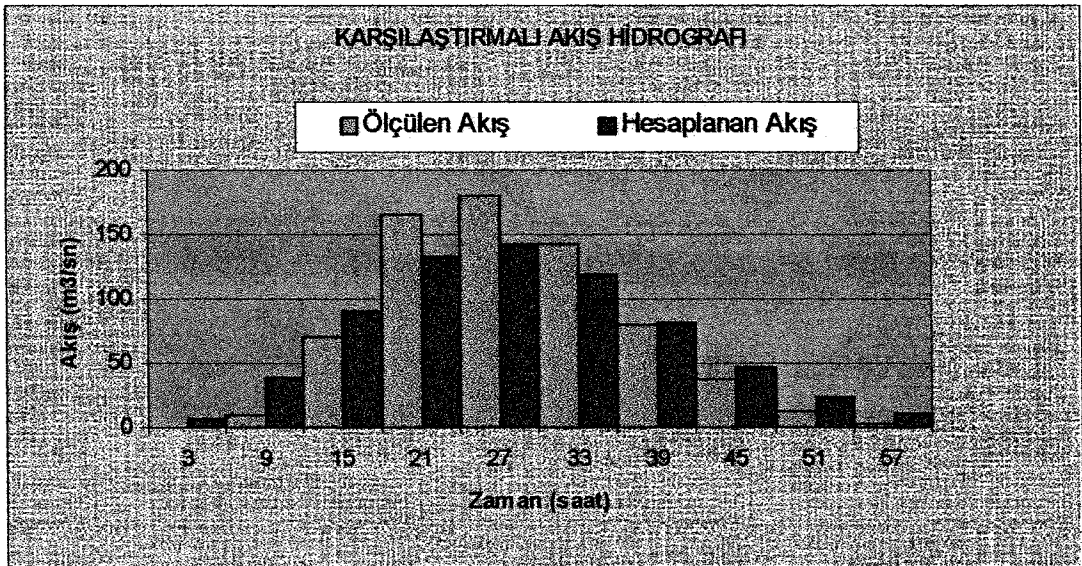
Tablo D.4 Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=25, K=1.1)

Sonuclar	

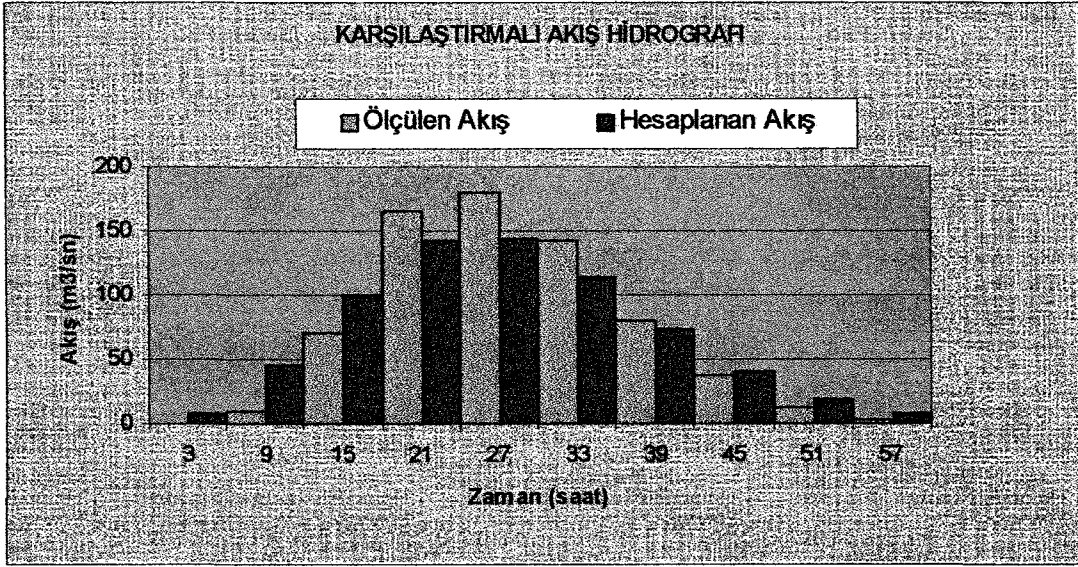
Optimum Akis	

Hazne Sayisi n= 25	
k Katsayisi k= 1.10	
t (saat)	Y (m3/s)

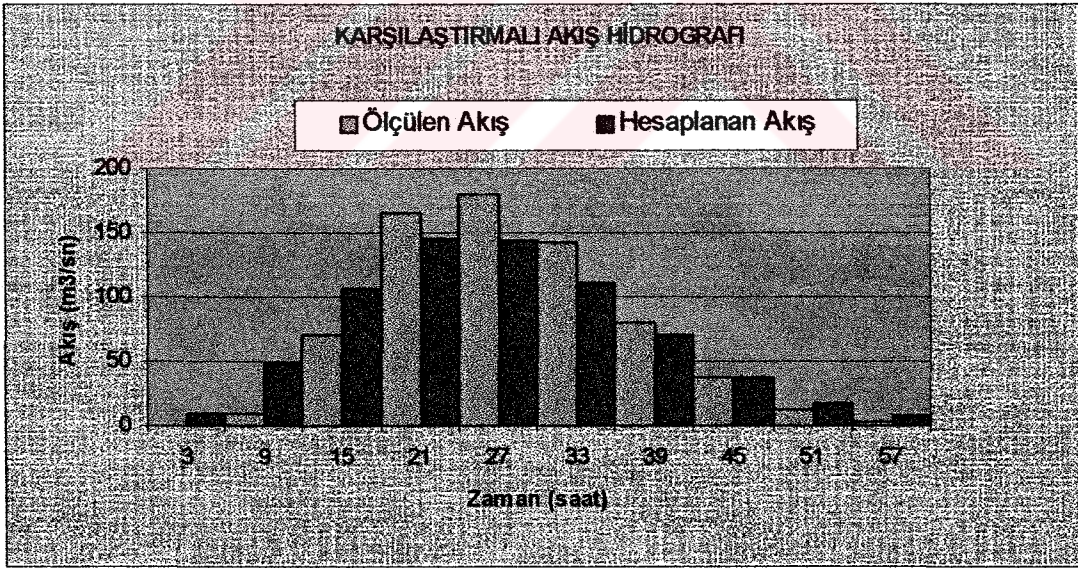
.0	9.23
6.0	48.67
12.0	106.18
18.0	145.84
24.0	144.31
30.0	110.88
36.0	69.61
42.0	37.04
48.0	17.18
54.0	7.09
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır	
Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00	



Şekil D.1 Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması (n=28, K=1.1)



Şekil D.2 Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması (n=26, K=1.1)



Şekil D.3 Örnek 4.3'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması (n=25, K=1.1)

EK-E

Tablo E.1 Örnek 4.4 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı

BİRİM HİDROGRAF İCİN HAZNE SERİSİ MODELİ		

Veriler		
t(Saat)	Yagış (Cm)	Olculen Akis (m3/s)
.0	.25	9.00
1.0	.00	14.52
2.0	1.02	42.68
3.0	1.27	106.38
4.0	.00	101.06
5.0	.00	47.91
6.0	.00	23.26
7.0	.00	10.84
8.0	.00	5.18
9.0	.00	2.15
Havza Alanı.....:		51.54Km2
Hazne Sayısı Baslangıc Degeri...:		2
Hazne Sayısı Bitis Degeri.....:		60
k Katsayısı Baslangıc Degeri....:		1.20
k Katsayısı Bitis Degeri.....:		50.00

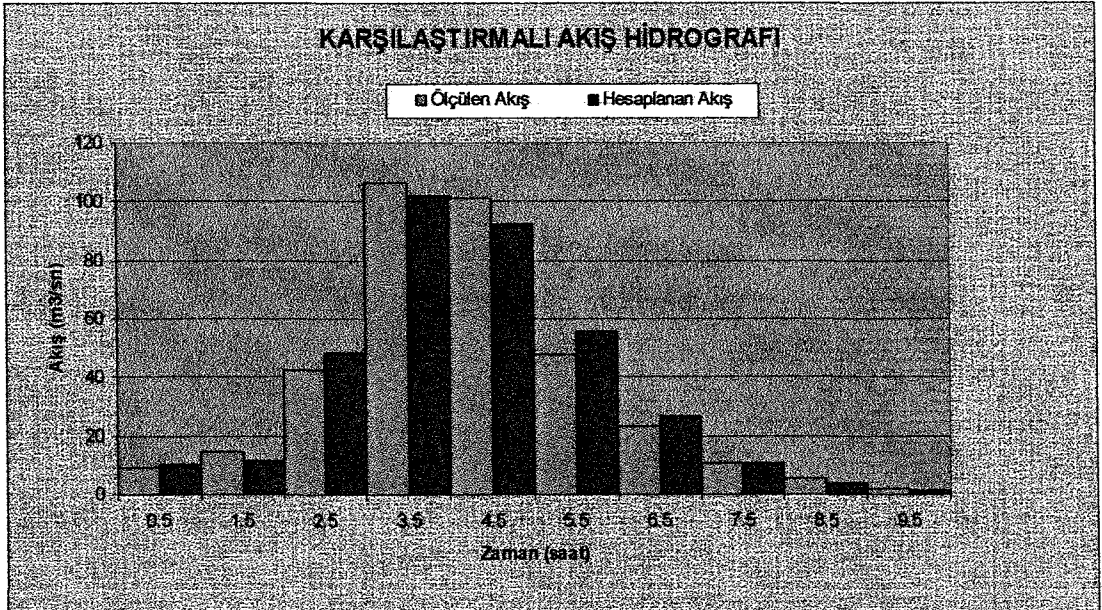
Tablo E.2 Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=7, K=1.2)

Sonuclar		

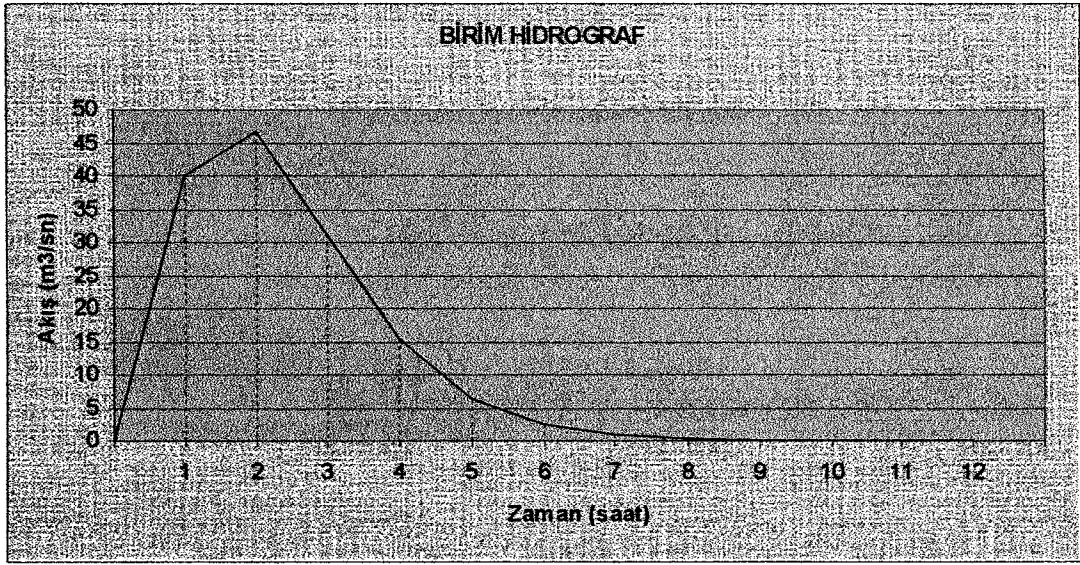
Optimum Akis		

Hazne Sayisi n= 7 k Katsayisi k= 1.20		
t(saatt)	Y(m3/s)	BH(m3/s)

.0	10.15	39.96
1.0	11.84	46.61
2.0	48.49	31.08
3.0	102.05	15.54
4.0	92.42	6.47
5.0	55.86	2.37
6.0	26.51	.79
7.0	10.70	.24
8.0	3.84	.07
9.0	1.26	.02
10.0	.38	.01
11.0	.11	.00
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır Ağırlık Katsayıları W1= 1.00 W2= .00		



Şekil E.1 Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması (n=7, K=1.2)



Şekil E.2 Örnek 4.4'ün Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografı
($n=7$, $K=1.2$)

EK-F**Tablo F.1 Örnek 4.5 İçin Simülasyon Programının Genel Veri Çıktısı**

BİRİM HIDROGRAF İCİN HAZNE SERİSİ MODELİ		

Veriler		
t(Saat)	Yagiş (Cm)	Olculen Akis (m3/s)
.0	.00	.00
1.0	.50	45.00
2.0	.00	72.60
3.0	.40	75.40
4.0	.10	89.90
5.0	.00	55.00
6.0	.00	30.40
7.0	.00	17.10
8.0	.00	11.10
9.0	.00	8.60
10.0	.00	7.50
11.0	.00	.10
Havza Alanı.....:		130.80Km2
Hazne Sayısı Baslangıc Degeri...:		2
Hazne Sayısı Bitis Degeri.....:		90
k Katsayısı Baslangıc Degeri....:		1.20
k Katsayısı Bitis Degeri.....:		70.00

Tablo F.2 Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=5, K=1.2)

Sonuclar		

-	Optimum Akis	-

Hazne Sayisi n= 5		
k Katsayisi k= 1.20		
t (saat)	Y (m3/s)	BH (m3/s)

.0	.00	146.02
1.0	73.01	121.68
2.0	60.84	60.84
3.0	88.83	23.66
4.0	75.10	7.89
5.0	40.45	2.37
6.0	16.73	.66
7.0	5.85	.17
8.0	1.82	.04
9.0	.52	.01
10.0	.14	.00
11.0	.04	.00
Optimizasyon Pik Debi ve Pik Zamanı İçin Yapılmıştır		
Ağırlık Katsayıları W1= 1.00 W2= .00		

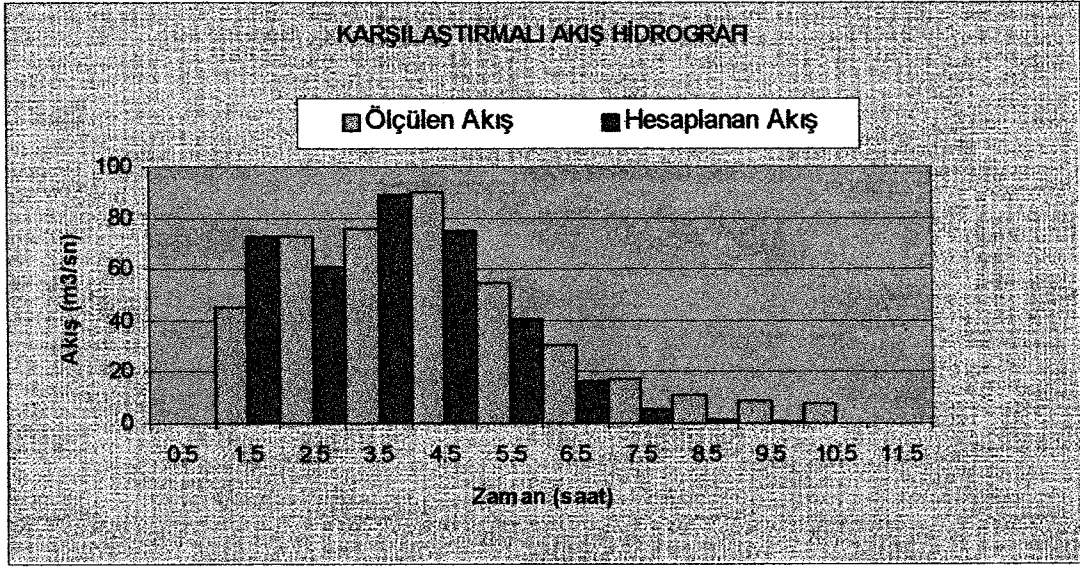
Tablo F.3 Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Sonuçların Çıktısı
(n=7, K=1.2)

Sonuclar		

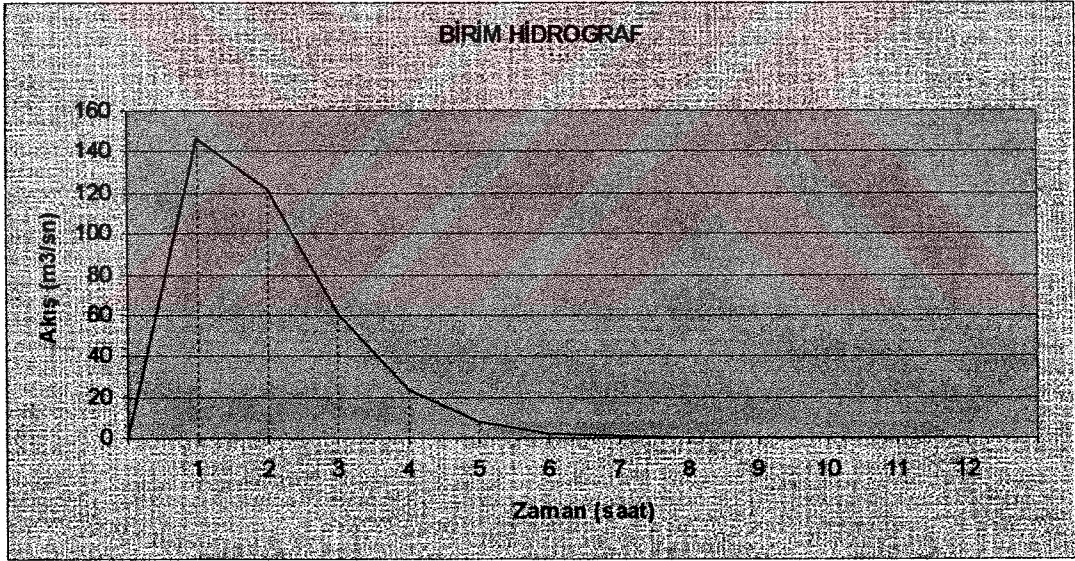
-	Optimum Akis	-

Hazne Sayisi n= 7		
k Katsayisi k= 1.20		
t (saat)	Y (m3/s)	BH (m3/s)

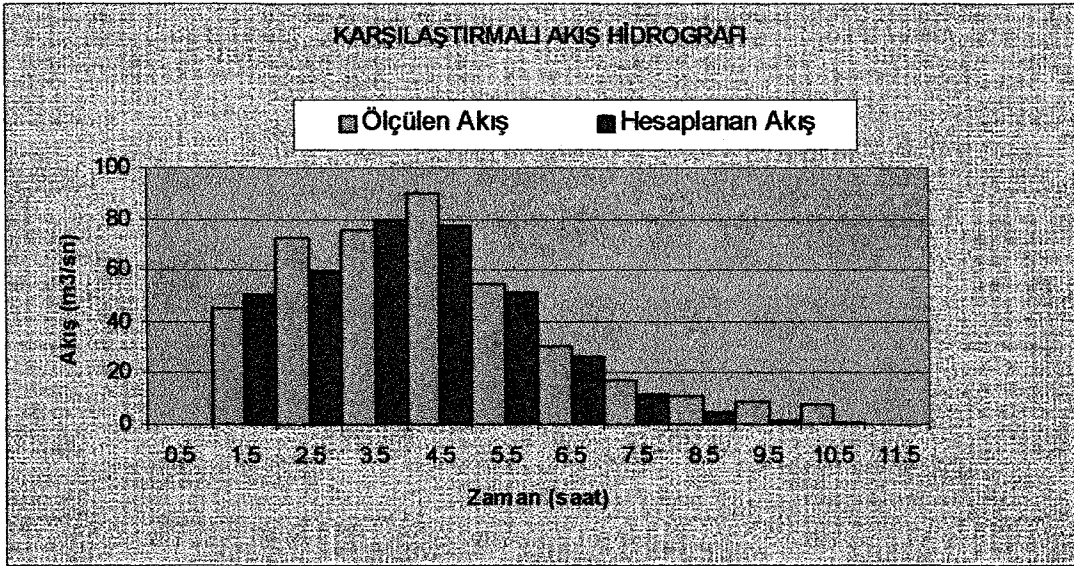
.0	.00	101.40
1.0	50.70	118.30
2.0	59.15	78.87
3.0	79.99	39.43
4.0	77.18	16.43
5.0	51.59	6.02
6.0	26.67	2.01
7.0	11.52	.62
8.0	4.36	.18
9.0	1.50	.05
10.0	.47	.01
11.0	.14	.00
Optimizasyon Tüm Debiler ve Pik Debi İçin Yapılmıştır		
Ağırlık Katsayıları W1= .00 W2= 1.00		



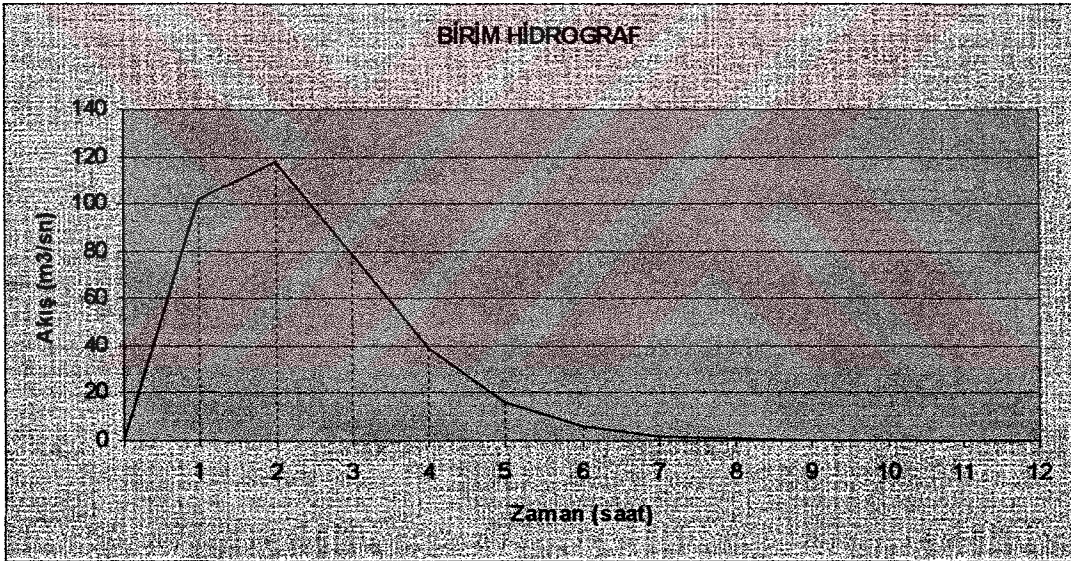
Şekil F.1 Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=5$, $K=1.2$)



Şekil F.2 Örnek 4.5 'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi ($n=5$, $K=1.2$)



Şekil F.3 Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Dolaysız Akışı İle Gözlenen Dolaysız Akışın Karşılaştırılması ($n=7$, $K=1.2$)



Şekil F.4 Örnek 4.5'in Simülasyon Programıyla Elde Edilen Birim Hidrografi ($n=7$, $K=1.2$)

ÖZGEÇMİŞ

Ayhan Ocak, 1978 yılında Ordu'nun Gürgentepe ilçesinde doğdu. 1984 yılında ilkokula Ağızlar Kırantam İlkokulunda başladı. İlkokulun ardından orta ve lise tahsilini Gürgentepe Lisesinde 1995 yılında lise birincisi olarak tamamladı. Aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 1999 yılında fakülte ve bölüm birincisi olarak Yıldız Teknik Üniversitesinden mezun oldu. Daha sonra Kanada'da bulunan International Language Institute'de 6 ay süreli dil eğitimi aldı. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı.

