

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1253 SOHU DERESİ FINDIKLI ARAŞTIRMA
HAVZASINA JEOMORFOLOJİK ANLIK BİRİM
HİDROGRAF UYGULAMALARI**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Müh. Arif Yusuf IŞIK
(501991345)**

104011

104011

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Temmuz 2001**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Beyhan OĞUZ

Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Bihrat ÖNÖZ (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Esin ÇEVİK (Y.T.Ü.)

B. Oğuz
Doç. Dr. Bihrat ÖNÖZ
Doç. Dr. Esin ÇEVİK

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Tez çalışmam da sabrını ve ilgisini benden esirgemedi yol gösteren hocam Prof. Dr. Beyhan Oğuz'a teşekkür ederim.

Yardımları ve dostluğuyla her zaman yanımda olan İnşaat Yüksek Mühendisi Bora Acun'a ve maddi ve manevi destekleri için sevgili aileme teşekkür ederim.

Haziran 2001

Arif Yusuf IŞIK



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOLLER LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı	1
2. BİRİM HİDROGRAF ANALİZİ	5
2.1 Birim Hidrograf Teorisi	5
2.2 Anlık Birim Hidrograf	7
2.2.1 Anlık Birim Hidrograf Tanımı	7
2.2.2 Anlık Birim Hidrografın Belirlenmesi	9
2.3 Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf	11
2.3.1 Akarsu Ağlarının Jeomorfolojik Özellikleri	11
2.3.2 Genelleştirilmiş R-V Teorisi	14
2.3.3 Lineer Öteleme Jeomorfolojik Birim Hidrograf	18
2.3.4 Difüzyon Ötelemesi Kullanılarak Jeomorfolojik Birim Hidrografın Elde Edilmesi	19
3. SOHU DERESİ-FINDIKLI ARAŞTIRMA HAVZASI	22
3.1 Giriş	22
3.2 Havzanın Tanımı	22
3.3 Havzanın Jeomorfolojik Özellikleri	23
3.4 Havzanın Hidrolojik Özellikleri	28
3.5 Havzanın Diğer Özellikleri	31

4. JEOMORFOLOJİK BİRİM HİDROGRAF UYGULAMALARI	32
4.1 Giriş	32
4.2 Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf Uygulamaları	32
4.2.1 Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımının Havzaya Uygulanması	32
4.2.2 Lineer Öteleme Yaklaşımının Havzaya Uygulanması	40
4.2.3. Difüzyon Ötelemesi Yaklaşımının Havzaya Uygulanması	44
4.3 Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograftan, Birim Hidrografın Elde Edilmesi	51
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	56



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 :Ana Akarsu Parçaları için Dallanma ve Akış Uzunluğu Oranlarının Bulunması.....	26
Tablo 3.2 :Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçaları için Dallanma ve Akış Uzunluğu Oranlarının Bulunması.....	28
Tablo 3.3 :Alt Havzaların Jeomorfolojik ve Hidrolojik Büyüklükleri.....	28
Tablo 4.1 :Ana Akarsu Parçalarındaki Farklı Mertebe Durumlarının Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları.....	36
Tablo 4.2 :Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçalarının Eklenmesiyle Oluşan Konfigürasyon Olası Geçiş Yolları, Kanal Birleşme Olasılıkları, Geçiş Yolu Olasılıkları.....	38
Tablo 4.3 :Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçalarındaki Farklı Strahler Mertebe Durumlarının Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları.....	39
Tablo 4.4 :Fındıklı Akım Gözlem İstasyon Kesiti için Verilen Eşel İlişkileri.....	41
Tablo 4.5 :λ Seviyesindeki Linklerin Sayısı $N(\lambda)$ ve Ana Akarsu Parçaları ve Kuruyan Akarsu Parçaları Eklendikten Sonra Akarsu Ağının Tutulma Zamanlarının Olasılıkları.....	42
Tablo 4.6 :Fındıklı Akım Gözlem İstasyon Kesitindeki Hidrolik Parametre Değerleri.....	44

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 :Birim Hidrograf Kullanılarak Yağıştan Akışa Geçilmesi.....	6
Şekil 2.2 :Anlık Birim Hidrografın Hesabı ve Konvolüsyon İntegrali.....	8
Şekil 2.3 :S Hidrografı Kullanılarak Anlık Birim Hidrografın Hesaplanması.....	10
Şekil 2.4 :Büyükliği Beş, Mertebesi Üç Olan Farazi Bir Akarsu Ağının Strahler Mertebelendirme Yöntemi ile Gösterimi.....	12
Şekil 2.5 :Genişlik Fonksiyonu.....	14
Şekil 3.1 :Ana Akarsu Parçalarının Uzunlukları ve Dallanmalar.....	26
Şekil 3.2 :Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçaları Eklendiğinde Akarsu Ağının Uzunlukları ve Dallanmalar.....	27
Şekil 3.3 :Fındıklı Akım Gözlem İstasyonu Anahtar Eğrisi.....	28
Şekil 3.4 :Sohu Deresi Fındıklı Havzasının Topografik Haritası.....	29
Şekil 3.5 :Sohu Deresi Fındıklı Havzasının Hidrolojik Haritası.....	30
Şekil 4.1 :Ana Akarsu Parçalarının Strahler Yöntemi ile Mertebelendirilmesi.....	33
Şekil 4.2 :Ana Akarsu Parçaları için Akarsu Ağının Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun $u(t)$ Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımı ile Elde Edilen Sonuçları.....	36
Şekil 4.3 :Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçalarının Eklenmesiyle Oluşan Akarsu Ağı Konfigürasyonu için Strahler Yöntemi ile Mertebelendirilmesi.....	37
Şekil 4.4 :Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçaları Eklendiğinde Oluşan Konfigürasyon için Akarsu Ağının Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun $u(t)$ Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilen Sonuçları.....	40
Şekil 4.5 :Ana Akarsu Parçalar için Lineer Öteleme Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografı.....	43

Şekil 4.6 :Kuruyan Akarsu Parçaları Eklendikten Sonra Oluşan Akarsu Ağının Lineer Öteleme Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografi.....	43
Şekil 4.7 :Ana Akarsu Parçaları için Genişlik Fonksiyonu.....	45
Şekil 4.8 :Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Parçaları için Genişlik Fonksiyonu.....	46
Şekil 4.9 :Ana Akarsu Parçaları için Difüzyon Ötelenmesi Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilmiş Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografi.....	47
Şekil 4.10 :Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Ağı için Difüzyon Ötelenmesi Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilmiş Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografi.....	47
Şekil 4.11 :Ana Akarsu Parçalarından Oluşan Akarsu Ağı için Difüzyon Ötelenmesi Yöntemiyle Elde Edilen Boyutsuz Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf.....	49
Şekil 4.12 :Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Ağı için Difüzyon Ötelenmesi Yöntemiyle Elde Edilen Boyutsuz Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf.....	49
Şekil 4.13 :Ana Akarsu Parçalarından Oluşan Akarsu Ağı için Genelleştirilmiş R-V, Lineer Öteleme ve Difüzyon Ötelemesi Yaklaşımları Sonucu Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografların Birlikte Gösterimi.....	50
Şekil 4.14 :Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Ağı için Genelleştirilmiş R-V, Lineer Öteleme ve Difüzyon Ötelemesi Yaklaşımları Sonucu Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografların Birlikte Gösterimi.....	50
Şekil 4.15 :Ana Akarsu Parçalardan için Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımı Yardımıyla Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograftan, Birim Hidrografa Geçilmesi.....	51

SEMBOL LİSTESİ

A	: Havzanın alanı
A_c	: Havzanın çevre uzunluğuna eşit çevreye sahip dairenin alanı
c_i	: Akarsu parçasının durumu
F	: Froude sayısı
F_{xk}	: Bir parçacığın harcadığı rasgele zaman olan T_{xk} 'nin eklenik dağılım fonksiyonu
f_{xk}	: Bir parçacığın harcadığı rasgele zaman olan T_{xk} 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu
$f_B(t)$	: Havzanın tutulma zamanının olasılık yoğunluk fonksiyonu
h	: Havza yükseltisi
h^*	: Boyutsuz hidrolojik davranış
$h(\lambda, t, \beta)$	: β, λ, t bağlı olarak hidrolojik davranış
I	: Yağış şiddeti
i	: Akarsu parçasının mertebesi
k	: Bir parçacığın uğrayacağı geçiş yolları sayısı
L	: Ana suyolu uzunluğu
L_B	: Havza uzunluğu
L_{ort}	: i . mertebeli ortalama akarsu parçası uzunluğu
L_{ji}	: i mertebeli j . linkin uzunluğu
M	: Havzanın büyüklüğü
N_i	: i . mertebeli akarsu parçası sayısı
$N(\lambda)$	: Genişlik fonksiyonu
P	: Havzanın çevresi
$p(s)$	: Geçiş olasılığı
P_{xixj}	: x_i durumundan x_j durumundaki bir linke boşalan linklerin sayısı toplamının x_i durumundaki linklerin sayısına oranı
$Q(t)$	: t anında havzadan çıkan akış
R_B	: Dallanma oranı
R_L	: Akarsu parçasının uzunluk oranı
r_i	: i . mertebedeki yüzey bölgesinin durumu
S	: Olası geçiş yolu uzayı
$S_B(t)$	: t anında havzada depolanmış su potansiyeli
S	: Ana suyolu eğimi
S_a	: Havza uzunluğuna ve genişliğine bağlı şekil indisi
S_b	: Ana suyoluna bağlı şekil indisi
S_{Havza}	: Havzanın eğimi
s_i	: i . mertebedeki olası geçiş yolu
T_B	: Havzanın tutulma zamanı
T_s	: s geçiş yolu boyunca harcanan zaman
T_{xk}	: x_k durumundaki bir akarsu parçası boyunca parçacığın harcadığı rasgele zaman

t^*	: Boyutsuz zaman
t	: Zaman
t_L	: Anlık birim hidrografın gecikme zamanı
t_0	: Yağış süresi
$U(t)$	: Birim hidrograf
$u(t)$	: Anlık birim hidrograf
$u^*(t)$	: Boyutsuz anlık birim hidrograf
V	: Akarsu ağındaki sabit hız
$v_B(t)$	: t anında havzaya giren akışı
v_0	: 0 başlangıç anında havzaya enjekte edilen n sayıdaki su parçacıklarının hacmi
x_k	: i. mertebedeki yüzeysel toplama bölgesinin ve akarsu parçalarının durumu
W_B	: Havza genişliği
Π_{r_i}	: r_i durumundaki havza parçasının başlangıç olasılığı
Φ	: Gösterge fonksiyonu
β_1	: Dalga yayılma hızı
β_2	: Difüzyon katsayısı
Ω	: Akarsu ağının mertebesi
λ	: Havza çıkışından uzaklık
λ^*	: Boyutsuz uzaklık
τ	: Sonsuz küçük zaman

1253 SOHU DERESİ-FINDIKLI ARAŞTIRMA HAVZASINA JEOMORFOLOJİK ANLIK BİRİM HİDROGRAF UYGULAMALARI

ÖZET

İnsanoğlu yaşam alanı olarak yüzyıllardır akarsuları çevrelerini seçmiş ve yapılarını bu alanlar çevresine inşa etmiştir. Ancak insanoğlu, bu yerleşim alanları çevresindeki akarsularda zaman zaman meydana gelen taşkınlarla yüz yüze kalmıştır. Taşkınların zararlarından korunmak için yapılan barajları, yağmur toplama sistemlerini, sel koruma projelerini gerçekleştirebilmek için muhtemel maksimum taşkın debisinin bilinmesi gerekir. Eskinden beri, maksimum taşkın debisinin tayininde bazı ampirik formüller kullanılmakta ise de, yeterli doğrulukta sonuçlar alınamamıştır. Bu yüzyılın başlarında, yağış akış ilişkileri kullanılarak elde edilen Birim Hidrograf teorisi, akarsulardaki akış miktarının zamanla değişimini gösteren hidrografın şekilleri hakkında ön tahminler yapılması amacıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Yüzyılın ikinci çeyreğinden itibaren akarsu havzalarının jeomorfolojik yasalar ile hidrolojik davranışları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucu geliştirilen jeomorfolojik anlık birim hidrograf yaklaşımlarında, akarsu havzasının jeomorfolojik karakteristikleri, topolojik konfigürasyonu ve ortalama hidrolik parametreleri kullanılarak havza çıkışındaki hidrolojik davranışlar elde edilmiştir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde akarsu havzaları üzerinde yeterli ölçümler bulunmamaktadır. Bu yeterli ölçümlerin elde edilmesi için incelenen havza üzerine yağış-akış ölçümlerini yapabilecek istasyonlar kurulmalı, kurulan bu istasyonlardan elde edilecek rasatlar düzenli ve yeterli uzunlukta olmalıdır. Gelişmekte olan ülkemizde akarsu havzalarının incelenmesi için gereken bu yağış-akış ölçümlerinin elde etmesi hem zaman kaybına hem de ekonomik sıkıntılara neden olmaktadır. Bu nedenle dünya hidroloji literatüründe kullanılmakta olan ve birim hidrografın havzanın jeomorfolojik karakteristiklerini, topolojik konfigürasyonunu ve ortalama hidrolik parametreleri kullanılarak elde edilen jeomorfolojik anlık birim hidrograf

yaklaşımlarının Türkiye'deki akarsu havzalarına uygulanması daha da önem kazanmaktadır.

Jeomorfolojik anlık birim hidrograf yaklaşımlarını bir akarsu havzası üzerine uygulamak yapmak amacıyla EİE İdaresi Genel Müdürlüğü Hidrolik Etütler Dairesi Küçük Sular ve Araştırma Havzaları Şubesi Müdürlüğü tarafından benzer havzalarda modeller geliştirilmesi için detaylı jeomorfolojik ve hidrolojik çalışmaları yapılmış olan 1253 Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzası kullanılmıştır.

İncelenen Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzasının ana kollar ve yaz aylarında kuruyan kolları eklendikten sonraki iki farklı akarsu ağı konfigürasyonu için jeomorfolojik anlık birim hidrograf uygulaması sonucu havza çıkışında oluşturacağı hidrolojik davranışlar ayrı ayrı incelenmiştir. Havzanın hidrolik parametreleri hesabı için havza çıkışında bulunan Fındıklı Akım Gözlem İstasyonunda kaydedilen değerlerin ortalaması alınmış ve bu değerlerin tüm havza boyunca değişmediği kabul edilmiştir. Bu kabullerden yararlanarak ikinci bölüm teorik olarak verilmiş Genelleştirilmiş Rodriguez_Iturbe-Valdes (R-V) yaklaşımı, Lineer Öteleme yaklaşımı ve Difüzyon Ötelemesi yaklaşımları yardımıyla jeomorfolojik anlık birim hidrograf uygulamaları yapılmış, havza çıkışındaki hidrolojik davranışları hakkında çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Genelleştirilmiş R-V yaklaşımında öncelikle akarsu ağı konfigürasyonları üzerine rasgele enjekte edilmiş anlık ve üniform bir yağışın havza çıkışına ulaşmadan önce takip ettiği yüzey toplanma bölgelerinde ve akarsu parçalarında harcadığı zamanı (tutulma zamanı), yağışı oluşturan parçacıkların olası geçiş yolları kullanılarak belirlemektir. İncelenen havzanın tutulma zamanı olasılık yoğunluk fonksiyonu (jeomorfolojik birim hidrografi) bulunan geçiş yolu olasılık değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Lineer Öteleme yaklaşımında da yağışın havza çıkışına varış zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonunu, akarsu ağının havza çıkışından itibaren linklerinin havza boyunca dağılımı kullanılarak bulunmuştur. Difüzyon Ötelemesi yaklaşımında ise Troutman ve Karlinger tarafından akışın havza çıkışına ötelenmesinin difüzyon ötelemesi olduğu kabulü ile elde ettikleri geniş ve dikdörtgen bir kanaldaki tek boyutlu akışın havza çıkışındaki hidrolojik davranışını veren formüller kullanılmıştır.

Bu çalışma üç farklı yaklaşım ile yapılan jeomorfolojik anlık birim hidrograf uygulamaları neticeleri, her ne kadar birbirleriyle uyum sağlamamış ise de bu yaklaşımların ifadesindeki kabullerden kaynaklanmaktadır.

Ayrıca jeomorfolojik anlık birim hidrografın uygulandığı havzanın küçük olması nedeniyle havza çıkışında oluşacak hidrolojik davranış üzerinde etkili olduğu görülmüştür.



GEOMORPHOLOGIC INSTANTANEOUS UNIT HYDROGRAPH APPLICATIONS ON 1253 SOHU STREAM-FINDIKLI RESEARCH BASIN

SUMMARY

From the early ages, mankind tended to live close to the water flowing areas and settled his civilization around these fertile lands. However, the streams near this settlement areas occasionally overflowed. In order to build dams, rain collecting systems and overflow protection projects that were made for preventing the damages of overflow, we ought to know the probable overflow discharges. Although, from the early ages some empirical formulae were used, they were not so accurate. The Unit Hydrograph Theory that is obtained from the rainfall-runoff relation at the beginning of this century is used to estimate the shapes of the hydrograph that indicates the change of flow of a stream with respect to time.

From the second half of the century, some research were made in order to find the relations between the geomorphological laws and hydrologic responses. Hydrologic responses at the outlet of the basin can be found by using the geomorphological characteristics and topological configuration of the basin with geomorphologic instantaneous unit hydrograph approach that is developed from the results of these research.

There are not sufficient measurements on stream basins at developing countries like Turkey. In order to get enough data, stations, that can make rainfall-runflow measurements, must be installed on the examined basin and the data which will be obtained from these stations must be regular and sufficient. In our country, there were some economical and time-dependent difficulties on obtaining the data of rainfall-runoff measurements of the inspected basin. For this reason, its getting more importance to apply the geomorphologic instantaneous unit hydrograph on stream

basins, that can be obtained by using the geomorphological characteristics and average hydraulic parameters of basin on streams in Turkey.

In order to apply the geomorphologic instantaneous unit hydrograph on a stream basin, 1253 Sohu Stream-Fındıklı Research Basin was used. The basin has been observed by EİE in of geomorphological and hydrological, details for developing a model for similar basins.

The hydrologic response at the outlet of the basin has been investigated for two different channel network configurations; first, only for main streams then for main streams and dried branches together. For the calculation of the hydrologic parameters of the basin, the averages of the data recorded at Fındıklı Flow Observation Station at the outlet of the basin have been used and it has been assumed that these data remain unchanged through the basin. By using these assumptions, some applications have been made with the help of theoretically given Generalized R-V Approach, Linear Routing Approach and Diffusion Routing Approach and various results have been obtained about hydrologic response at the outlet of the basin for a uniform and instantaneous rainfall, randomly injected on channel network configurations;

*In Generalized R-V Approach; it is aimed to find the time spent on stream (holding time) and on overland collection regions, with the help of the probable path of particles before the rainfall reaches to the outlet of the basin. The probability density function (geomorphologic instantaneous unit hydrograph) of the inspected basin has been calculated by the path probability parameters found before.

*In Linear Routing Approach; the probability density functions of arrival time of the rainfall to the outlet of the basin have been found by using the distribution of the links through basin.

*In Diffusion Routing Approach; Troutman and Karlinger have used the formulae of hydrologic response at the outlet of the basin for one dimensional flow in wide and rectangular channels that is obtained by assumption of the routing of the flow to the outlet of basin is diffusion routing.

The results of the application of geomorphologic instantaneous unit hydrograph for three different approaches differs, because the assumptions for each approach differs also.

And it has also been obtained that the smallness of the basin on which the geomorphologic instantaneous unit hydrograph applied, affects hydrologic response at the outlet of the basin.



1.GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde akarsu havzalarının incelenmesi için gereken yeterli ölçümlerin elde edilmesi hem zaman kaybına hem de ekonomik sıkıntılara neden olmaktadır. Bu nedenle dünya hidroloji literatüründe kullanılmakta olan ve birim hidrografın havzanın jeomorfolojik karakteristikleri, topolojik konfigürasyonu ve ortalama hidrolik parametrelerinin kullanılarak elde edilmesi ilkesine dayanan jeomorfolojik anlık birim hidrograf yaklaşımlarının Türkiye'deki akarsu havzalarına uygulanması daha da önem kazanmaktadır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Drenaj havzası içindeki bir noktadaki suyun havza çıkışına olan hareketi oldukça karmaşık bir süreçtir. Akışın büyüklüğü birçok değişkenin fonksiyonu olup bu büyüklüğü belirlemek için öncelikle akış fonksiyonu tanımlanmalı, daha sonra bu akış fonksiyonunun değişkenlerinin (yağış, toprak özellikleri vb.) belirlenmesine çalışılmalıdır. Bu ilkelere yola çıkan kompleks yağış-akış modelleri yerine, ortalama hidrolik parametreleri ve havzanın jeomorfolojik özellikleri kullanılarak, havzaya üniform etkiyen anlık ve birim miktardaki yağışın havza çıkışında oluşturduğu hidrolojik davranışı belirleyen jeomorfolojik anlık birim hidrograf yaklaşımları geliştirilmiştir.

Akarsu ağlarının jeomorfolojisi üzerine ilk çalışmalar Horton tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda akarsu ağları barındırdıkları akarsu parçalarının kaynaklarından havza çıkışına kadar birleşim biçimlerine göre mertebelenirerek sınıflandırılmışlardır. Strahler, Horton'un çalışmalarını geliştirerek, kaynak sayısı, akarsu ağındaki düğüm noktaları ve ağın dallanma sistemine dayanan bir mertebelenirme yöntemi oluşturmuştur. Strahler mertebelenirme yöntemi olarak

da bilinen bu yöntem ile bir havzanın linklerinin birbirleriyle bağlantıları değil, uzunluk, şekil ve konumlarıyla karşılaştırmaları gösterilmiştir. Drenaj alanları ve akarsu alanları incelemeleri Schumm (1979) tarafından yapılmış ve akarsu ağının dallanma oranı R_B , uzunluk oranı R_L , ve alan oranı R_A çeşitli havzalarda gözlenmiş ve sınırlandırılmaları yapılmıştır.

Akarsu ağının hidrolojik davranışı ile jeomorfolojik yasalar arasındaki ilişkiler detaylı açıklamasını ilk kez Smart (1972) tarafından yayımlanmıştır. Rodrigez-Iturbe ve Valdez (1979) ilk olarak bir havzanın temel karakteristiklerinin bir fonksiyonu olan anlık birim hidrograf modelini geliştirilmiştir. Tutulma zamanlarının üstel dağıldığı bu yaklaşımda, havzadaki akarsu parçalarını Strahler mertebelendirme yöntemine göre düzenleyip, havzaya anlık ve üniform yağış parçacıklarının etkidiği kabul edilmiştir. Bir parçacığın havza çıkışına ulaşana kadar geçen sürenin (tutulma zamanının) olasılık yoğunluk fonksiyonu bulunmaya çalışılmıştır. Akarsu ağı içindeki yağış parçacıklarının hareketi, dallanma oranı (R_B) gibi yalnız bir değişkene bağlı olarak, geçiş olasılıklarının bir Markov zinciri şeklinde tanımlanmıştır. Markov zincirinin başlangıç koşulları; alan oranı (R_A) ve dallanma oranının (R_B) bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Gupta ve diğ. (1980), havzaya etkiyen anlık ve üniform yağış parçacıklarının olası geçiş yollarını belirlenerek, bu geçiş yollarının olasılıklarını jeomorfolojik karakteristikler yardımıyla hesaplamıştır. Daha sonra i mertebeli bir linkten $i+1$ mertebeli bir linke geçmeden önceki tutulma zamanının olasılık yoğunluk fonksiyonu belirlenmiştir. Bütün linklerin olasılık yoğunluk fonksiyonları konvolüsyon yaklaşımı kullanılarak geçiş yollarının olasılık yoğunluk fonksiyonu bulunmuştur. Sonuçta bulunan geçiş yolu, olasılık dağılım fonksiyonları karşılığı olan geçiş yolu olasılığı ile çarpılıp tüm olası geçiş yolları için toplanırsa, anlık birim hidrografın değerini veren havzanın tutulma zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonları bulunmuş olur.

Gupta ve Waymire (1983) alternatif bir yaklaşımla akarsu ağının tüm noktalarında anlık ve üniform olarak enjekte edilmiş yağış parçacıklarının havza çıkışına ötelenmesi sırasındaki varış zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonlarını araştırmışlardır. Bu öteleme genelde lineer olduğundan bu metoda Lineer Öteleme jeomorfolojik anlık birim hidrograf denmiştir. Bu metodun en basit tanımı, parçacıkların V sabit hızı ile saf ötelenmesidir. Akarsu ağının mertebesinin bu

yaklaşımında bir rol oynamayıp, “genişlik fonksiyonu” benzeri bir yaklaşımla havza çıkışından belirli bir mesafedeki linklerin toplam link sayısına oranının, havza çıkışındaki hidrolojik davranışı vereceği prensibi göz önüne alınmıştır. Ayrıca sabit hızdaki saf öteleme göz önüne alındığında havzanın genişlik fonksiyonunun anlık birim hidrografa benzeyebileceği ileri sürülmüştür.

Troutman ve Karlinger (1985) drenaj havzasının temel karakteristikleri; ortalama hidrolik parametreleri ve havza karakteristiklerini kullanarak havza çıkışındaki hidrolojik davranışı elde etmeye çalışmışlardır. Lineer öteleme yöntemlerinden, difüzyon ve genel lineer öteleme kullanılarak, geniş ve dikdörtgen kanallar için tek boyutlu ötelenen akışın havza çıkışındaki hidrolojik davranış denklemi elde edilmiştir. Ayrıca çok sayıda birinci mertebede akarsuya sahip havzalarda anlık birim hidrografın asimptotik ifadesi temel havza karakteristiklerine bağlı olarak bulunmuştur. Oğuz (1994), Troutman ve Karlinger araştırmasındaki difüzyon ötelemesiyle verilen ve havza çıkışından λ uzaklıkta anlık ve üniform bir yağış girişinin havza çıkışında oluşturacağı davranışın denklem ifadesini boyutsuzlaştırmış ve difüzyon ötelemesini genişlik fonksiyonu olarak kullanıp boyutsuz anlık birim hidrograf elde etmiştir.

Bu çalışmada EİE İdaresi tarafından daha önce jeomorfolojik ve hidrolojik etütleri yapılmış olan Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzasına yukarıda anlatılan üç farklı jeomorfolojik anlık birim hidrograf yaklaşımı uygulanmıştır. Çalışmada izlenen adımlar şöyle sıralanabilir:

- Veri toplanması: EİE İdaresi Genel Müdürlüğü Hidrolik Etütler Dairesi Küçük Sular ve Araştırma Havzaları Şubesi Müdürlüğü tarafından yayımlanan “1253 Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzası Çalışma Raporu” kullanılarak havzanın genel jeomorfolojik yapısı belirlenmiştir. Havza boyunca sabit kabul edilecek hidrolik parametreler, Fındıklı Akım Gözlem İstasyonunu kesitindeki eşel seviye ilişkileri kullanılarak elde edilmiştir. Havzanın 1/100000 ve 1/25000 ölçekli haritalarından akarsu parçalarının uzunlukları ana parçaları ve yaz aylarında kuruyan parçaları eklendikten sonraki iki farklı akarsu ağı konfigürasyonu için hesaplanmış ve bu iki akarsu ağı konfigürasyonu için genişlik fonksiyonları belirlenmiştir.

- Jeomorfolojik anlık birim hidrograf yaklaşımı uygulanması: Genelleştirilmiş R-V yaklaşımı, Lineer Öteleme yaklaşımı ve Difüzyon Ötelemesi yaklaşımları, ana akarsu parçaları ve yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendikten sonraki iki farklı akarsu ağı konfigürasyonu için ayrı ayrı hesaplanmıştır.



2.BİRİM HİDROGRAF ANALİZİ

2.1 Birim Hidrograf Teorisi

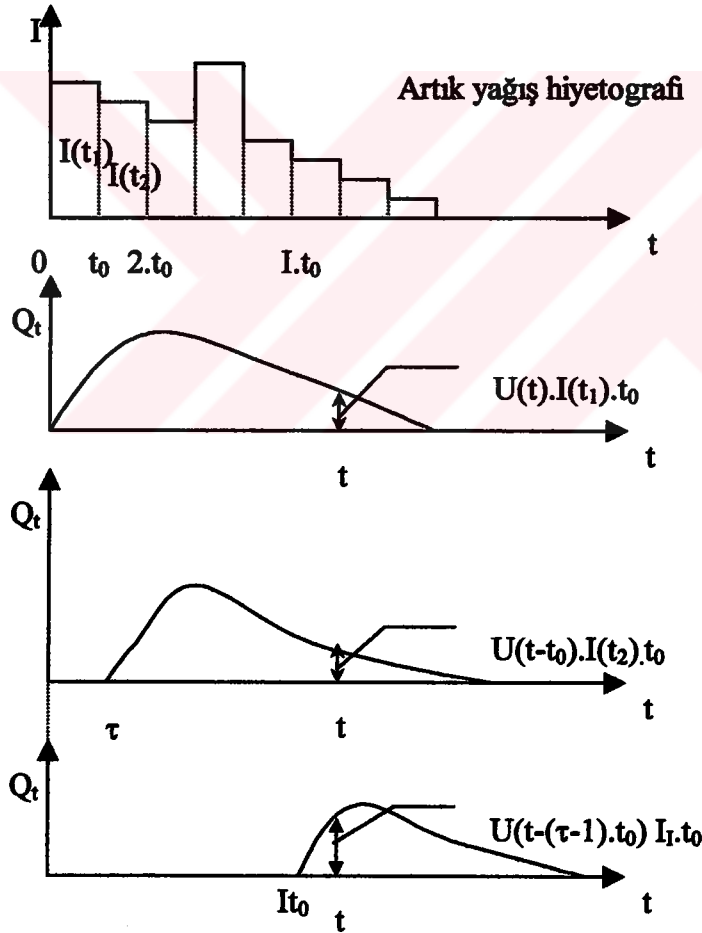
Bir akarsu parçasının herhangi bir noktasındaki akışın hidrografi; o noktadaki akış miktarın (debinin) zamanla değişimini gösteren bir grafikdir. Grafikte debi düşey ekseninde, zaman yatay ekseninde işaretlenir. Zaman birimi saniye, dakika, saat veya gün olarak akışın süresine bağlı olarak belirlenir. Debi genellikle m^3/s olarak gösterilir. Belirli bir yağış için elde edilmiş hidrograf drenaj havzasının tüm fiziksel karakteristiklerini yansıttığı gibi aynı zamanda yağış karakteristiklerini de yansıtır.

Yağış ve akış dağılımları arasındaki bağlantılar ilk olarak Folse tarafından izlenmiştir. Bu çalışmalar, Sherman tarafından geliştirilen Birim Hidrograf teorisine kaynaklık etmiştir. Birim hidrograf teorisinin temeli bir havzaya yağış düştükten sonra, kayıplardan artakalan suyun akmaya başlayacağı ve akım ölçüm istasyonlarında bir hidrograf doğuracağı böylece havzanın şekil, eğim, büyüklük ve akarsu parçalarındaki dallanmaların sabit etkenler olduğu düşünülerek benzer yağışlardan meydana gelen hidrografların birine benzeyeceği prensibine dayanır.

Bugün hidrolojide sıkça kullanılan birim hidrograf teorisi, belirli bir sürede havzaya üniform bir şekilde düşen birim yükseklikteki (1 cm) artık (efektif) yağışın meydana getireceği dolaysız (direkt) akışın hidrografi olarak tanımlanabilir.

Birim hidrograf yalnızca dolaysız akışlara uygulanabildiğinden, taban akışının toplam akış hidrografından ayrılması gerekir. Birim hidrograf metodunda kullanılan dolaysız akış hidrografını elde etmek için birçok kabul yapılır. Bu kabuller şöyle ifade edilmiştir;

- Artık yağış, yağış süresi boyunca veya belirli bir zaman periyodunda üniform dağılmalıdır. (Anlık birim hidrograf teorisi kullanıldığında bu kabullün sağlanmasına gerek yoktur.)
- Artık yağış drenaj havzasının bütününe üniform dağılmalıdır.
- Belirli süreli bir artık yağışın meydana getirdiği dolaysız akışın süresi, yağış şiddetine bağlı olmayan sabit bir değerdir.
- Aynı süreli yağışlara ait dolaysız akış hidrograflarının ordinatları, her hidrograf tarafından temsil edilen artık yağışın toplamı ile doğru orantılıdır.
- Bir havzada belli bir süre devam eden yağışın meydana getirdiği akışın hidrografi, havzanın bütün fiziksel karakteristiklerini yansıtır.



Şekil 2.1 Birim Hidrograf Kullanılarak Yağıştan Akışa Geçilmesi (Bayazıt, 1999)

Birim hidrograf teorisi için yapılan bu kabuller, birim hidrografın matematiksel ifadesini de kolaylaştırmıştır. Şekil 2.1’de bir drenaj havzasındaki, birim hidrografın t zamandaki t_0 süreli ordinatı $U(t_0, t)$ ile gösterilirse ve bu havzaya etkiyen artık yağışın, n sayıda ve t_0 süreli farklı $I(t)$ şiddetine sahip dolaysız akış hiyetograflarından meydana geldiği kabul edilmiştir. Kabullerde anlatılan dolaysız akış hidrograflarının eşit oranlarla süperpoze edilebileceği prensibine dayanarak herhangi t anında hidrografın ordinatı (2.1) denklemiyle ifade edilebilir.

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n U[t - (I(t_0) - 1)t_0]. I(t)t_0 \quad (2.1)$$

2.2 Anlık Birim Hidrograf

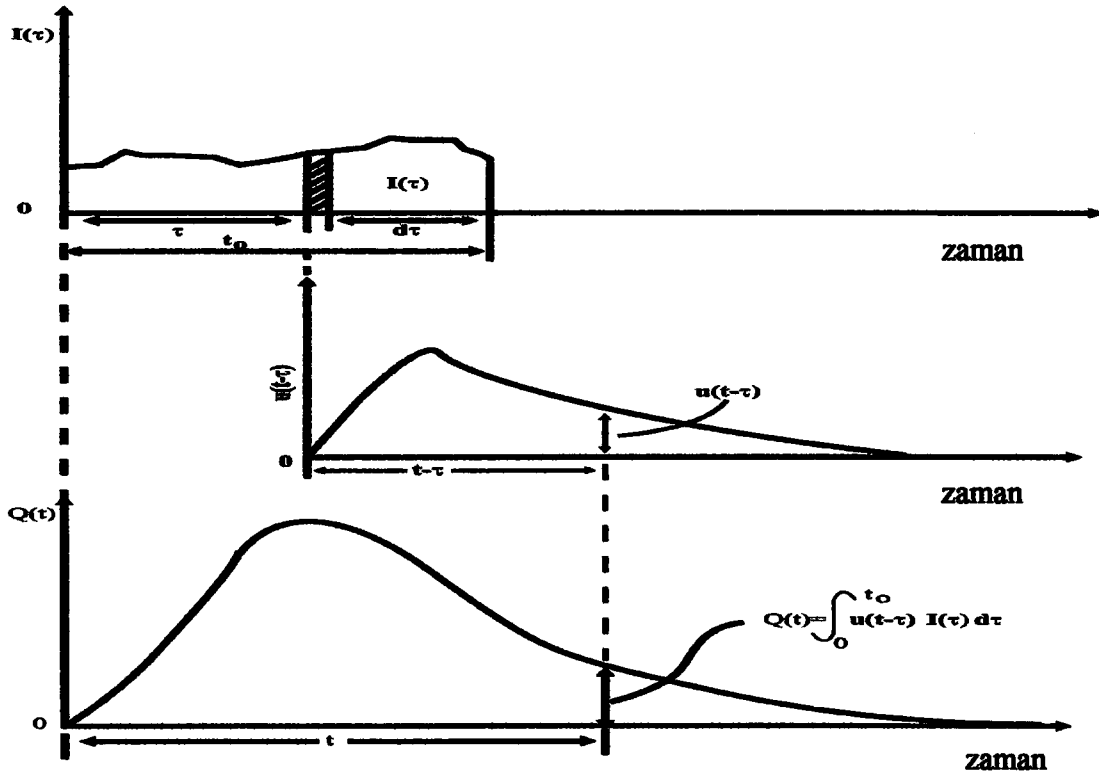
2.2.1 Anlık Birim Hidrograf Tanımı

Artık yağışın süresinin sonsuz derecede küçültülmesi durumunda elde edilecek birim hidrografa anlık (enstantane) birim hidrograf $u(t)$ denir. Birim hidrograf teorisinin süperpozisyon prensibi, eğer Şekil 2.2’de gösterilmiş olan t_0 süreli $I(\tau)$ artık yağış fonksiyonuna uygulanırsa bu artık yağış hiyetograflarının her bir sonsuz küçük parçası, sonucu $I(\tau)$ eşit olan bir dolaysız akış hidrografi oluşturur (Singh, 1993).

Şekilde anlık birim hidrograf $u(t-\tau)$ ile gösterilmiş olup, herhangi bir t zamanındaki dolaysız akış hidrografının ordinatı;

$$Q(t) = \int_0^t u(t-\tau).I(\tau).d\tau \quad (2.2)$$

“konvolüsyon integrali” (Duhamel integrali) ile ifade edilebilir. $u(t)$ anlık birim hidrografına bu sistemin transfer fonksiyonu da denir.



Şekil 2.2 Anlık Birim Hidrografın Hesabı ve Konvolüsyon İntegrali

Anlık birim hidrografın şekli tek pikli bir hidrografa benzer. Eğer konvolüsyon integralindeki yağış ve akış aynı birimlerde ölçülmüş ise anlık birim hidrografın ordinatı $1/\text{zaman}$ boyutunda olmalıdır. Anlık birim hidrografın altında kalan alan toplam yağış yüksekliğine eşit olduğundan (2.3) ve (2.4) ifadeleri yazılabilir. Burada t_L gecikme zamanına eşit olup artık yağış ile bu yağıştan oluşan dolaysız akış hidrografının ağırlık merkezleri arasındaki zaman aralığıdır.

$$\int_0^{\infty} u(t) \cdot d(t) = 1 \quad (2.3)$$

$$\int_0^{\infty} u(t) \cdot t \cdot dt = t_L \quad (2.4)$$

2.2.2 Anlık Birim Hidrografın Belirlenmesi

Anlık birim hidrografi, verilen artık yağış hyetografları ve dolaysız akış hidrograflarından elde etmenin çeşitli metotları vardır. 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 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 yeni hidrografın hacmi $I(t).dt$ olmalıdır. dt süreli birim hidrograf t'inci andaki ordinatları $(S_2-S_1)/I(t)$ dt ise $I(t)$ birim şiddette olduğundan bu ifade $(S_2-S_1)/dt$ şeklini alır. Böylece dt sıfıra yaklaşırken (S_2-S_1) sıfıra yaklaşacak ancak $(S_2-S_1)/dt$ terimi dS/dt 'ye yaklaşacak ve aynı t'inci zamanda S hidrografın eğimi olacaktır. Bu sebepten $u(t)$ anlık birim hidrografının ordinatı;

$$u(t) = \left(\frac{dS}{dt} \right)_{dt \rightarrow 0} \quad (2.5)$$

$$dS = u(t).dt \quad (2.6)$$

ifadeleri ile verilmiştir.

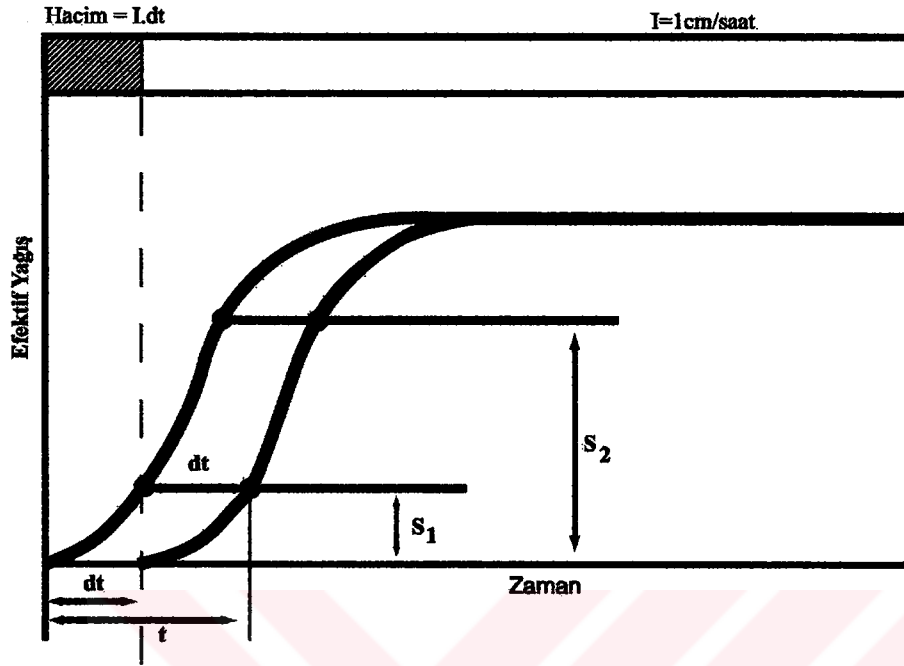
Bu ifadelerden, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi herhangi bir t anındaki anlık birim hidrografın ordinatı, o andaki S hidrografının (1 saatlik birim hidrograf için belirlenmiş) eğimi olarak alınabilir.

Bundan başka t_2-t_1 bir zaman aralığına ayrılmış S_2 ve S_1 gibi iki S hidrografi ordinatları arasındaki fark (2.6) formülü ile integre edilerek bulunabilir.

$$S_2 - S_1 = \int_{t_1}^{t_2} u(t).dt \cong \frac{1}{2}(u(t_1) + u(t_2))(t_2 - t_1) \quad (2.7)$$

$$\frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{1}{2}(u(t_1) + u(t_2)) \quad (2.8)$$

(2.8) denklemi herhangi bir andaki iki S hidrograf eğrisinin arasındaki farkın yaklaşık olarak seçilen zaman aralığında anlık birim hidrograf ordinatlarının ortalamasına eşit olduğunu gösterir.



Şekil 2.3 S Hidrografi Kullanılarak Anlık Birim Hidrografın Hesaplanması

Anlık birim hidrografın hesabı için bir başka yöntem de harmonik analiz yapmaktır. Bu yöntemde dolaysız akış hidrografi, artık yağış hiyetografı ve anlık birim hidrografi, 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 hiyetografından elde edilir. Anlık birim hidrografın ordinatları, bulunan katsayılarla ilgili olarak daha sonra hesaplanır (V. T. Chow, 1964).

Bayazit (1999) anlık birim hidrografi bilinen bir havzanın t_0 süreli $U(t)$ birim hidrografının hesabı için (2.9) denklemini vermiştir.

$$U(t) = \frac{1}{t_0} \int_{t-t_0}^t h(\tau) d\tau \quad t < t_0 \quad t - t_0 = 0 \quad (2.9)$$

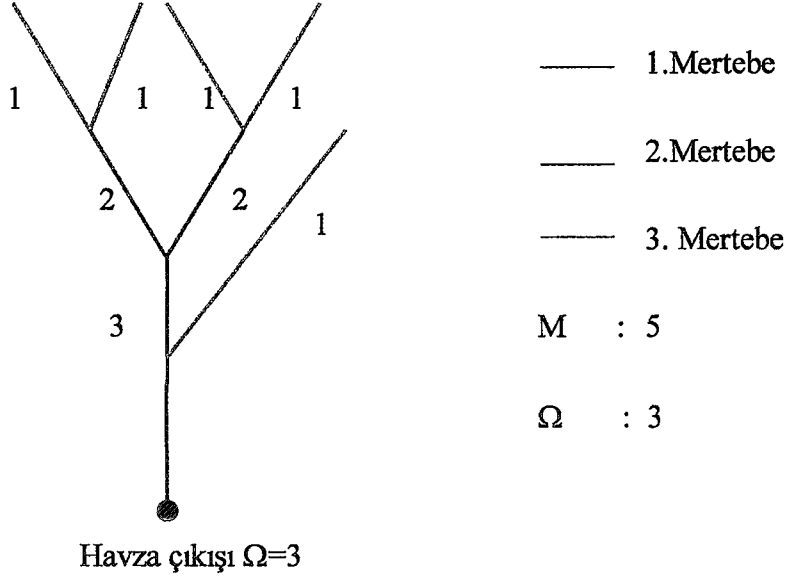
2.3 Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf

2.3.1 Akarsu Ağlarının Jeomorfolojik Özellikleri

Bir havzadaki akarsular tekil çizgiler olarak düzenlenir ise sonuçta çıkan diyagram “akarsu ağı” (channel network) olarak adlandırılır. Akarsu ağlarında, akış yönüne ters yöndeki en uzak nokta “kaynak” (source), akış yönündeki en uzak nokta “havza çıkışı” (outlet) olarak adlandırılır. Bir akarsu ağındaki kaynak sayısı o akarsu ağının “büyüklüğünü” (magnitude) (M) verir. Havza çıkışından, akış yönüne ters yönde dallanarak havza üzerine düşen yağışı toplayan ve kaynakta son bulan akarsu kollarının her birine “akarsu parçası” (stream) denir. Yağışın havza çıkışına kadar izledikleri akarsu parçaları “geçiş yolu” (path) (s) olarak adlandırılır. Dış link, akış yönündeki ilk düğüm noktası ile kaynak arasındaki akarsu ağı parçalarıdır; iç link ise ardışık düğüm noktası veya havza çıkışı ile akış yönünün tersindeki ilk düğüm noktası arasındaki akarsu ağı parçasıdır. İki akarsu parçasının birleşip tek bir parça oluşturduğu noktaya “düğüm noktası” (junction) denir. Bir düğüm noktasına birden fazla akarsu parçası birleşemez; böyle durumlar daha detaylı harita çalışmalarıyla giderilmelidir.

Akarsu ağlarının sınıflandırılması üzerine ilk çalışma Horton akarsu parçalarını mertebelendirmesiyle başlamıştır. Strahler, Horton’un bu mertebelendirme yöntemini geliştirmiştir. Şekil 2.4’de gösterilen Strahler’in mertebelendirme yöntemi şu şekilde tanımlanabilir;

- Bir kaynaktan meydana gelen akarsu parçaları birinci mertebededir.
- i mertebe iki link birleştiğinde, i+1 mertebe bir link oluşur.
- Farklı mertebeli iki link birleşirse, akarsu parçasının akış yönündeki parçası birleşen bu iki linkten yüksek mertebeli olanın mertebesindedir.



Şekil 2.4 Büyüklüğü Beş, Mertebesi Üç Olan Farazi Bir Akarsu Ağının Strahler Mertebelendirme Yöntemi ile Gösterimi

Akarsu ağının mertebesi Ω , ağın çıkışındaki en yüksek mertebeli akarsu parçasının mertebesinde. N_i ($i=1,2,\dots,\Omega$) i. mertebedeki akarsu parçası sayısı ise ve L_{ji} ($j=1,2,\dots,N$) ($i=1,2,\dots,\Omega$) i. mertebeli j. linkinin uzunluğunu gösterdiğinde, i. mertebe ortalama akarsu parçası uzunluğu L_{orti} ;

$$L_{orti} = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} L_{ji} \quad i = 1, 2, \dots, \Omega \quad (2.10)$$

Bu ifadeler kullanılarak Horton'nun drenaj yasaları;

$$\frac{N_{i-1}}{N_i} \cong R_B \quad (2.11)$$

$$\frac{L_{orti}}{L_{ort(i-1)}} \cong R_L \quad (2.12)$$

R_B 'ye Horton dallanma (çatallanma) oranı denir. Değeri 3 ile 5 arasındadır. R_L ise akım uzunluğu oranı olarak bilinir ve değeri 1.5 ile 3 arasında değişir (Smart, 1972).

i. mertebedeki bir akarsu parçasının “durumu” (state) bulunduğu mertebedeki bütün Strahler akarsu parçalarının bir birleşimi gibi tanımlanabilir. Akarsu parçasının durumu c_i ile ve ağın mertebesi Ω ile gösterilirse, i , 1 ile Ω arasındaki herhangi değerleri alabilir. Ω mertebeli bir havza için, $2^{\Omega-1}$ adet olası geçiş yolu vardır. Örneğin $\Omega=3$ için geçiş yolu uzayı $S=(s_1, s_2, s_3, s_4)$ aşağıdaki gibi oluşur.

geçiş yolu s_1 $c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3 \rightarrow$ havza çıkışı

geçiş yolu s_2 $c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow$ havza çıkışı

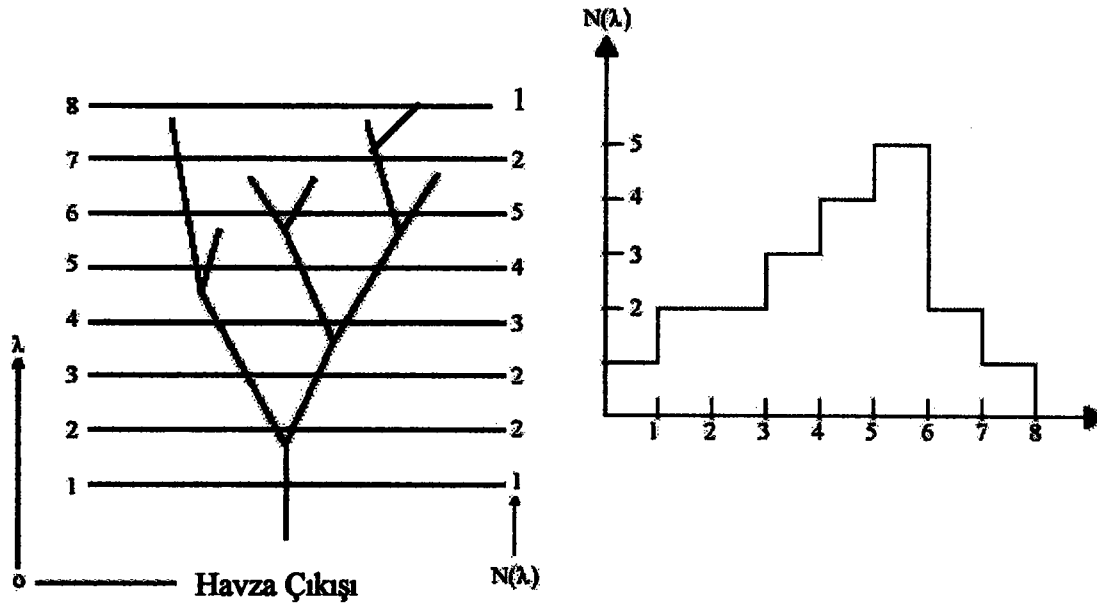
geçiş yolu s_3 $c_2 \rightarrow c_3 \rightarrow$ havza çıkışı

geçiş yolu s_4 $c_3 \rightarrow$ havza çıkışı

(Gupta ve diğ., 1980)

Bir akarsu ağının “topolojik karakteristikleri” ; kaynak sayısı, akarsu ağındaki düğüm noktaları ve ağın dallanma sistemidir. Linklerin uzunlukları akarsu ağının topolojik karakteristikliği olarak ifade edilemez. Eşit sayıda kaynak sayısı, link sayısı, düğüm noktası ve birinci mertebe akarsu parçalarına sahip topolojik olarak karşılaştırılabilir (Smart, 1972).

Genişlik fonksiyonu (width function), $N(\lambda)$, akarsu ağı boyunca havza çıkışından akış yönünün tersi doğrultuda ardışık λ mesafelerinden geçen farazi çizgilerin kestiği link sayısıdır. λ değeri havza çıkışından olan uzaklığı belirtir. Bu kavram zaman-alan diyagramlarına benzemekte, fakat belirlenmesi akarsu ağındaki link uzunlukları biliniyorsa çok daha kolay olmaktadır. λ aralığı ne kadar dar alınırsa dallanmadan kaynaklanan havza karakteristikleri o kadar iyi ifade edilmiş olur.



Şekil 2.5 Genişlik Fonksiyonu

2.3.2 Genelleştirilmiş R-V Teorisi

İnfiltrasyon veya evapotranspirasyon kayıplarından etkilenmediği farz edilen bir B havzası göz önüne alındığında, $t > 0$ anında $S_B(t)$ havzanın içindeki depolanmış su potansiyelini, $Q_B(t)$ çıkan akışı, $v_B(t)$ giren akışı gösterir ise $t > 0$ anında bu havzanın süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\frac{dS_B(t)}{dt} = -Q_B(t) + v_B(t) \quad (2.13)$$

v_0 , 0 başlangıç zamanında, kuru halde bulunan B havzası üzerine n sayıda birbiriyle etkileşmeyen su parçacığının anlık ve üniform olarak enjekte edilmesinden oluşan suyun hacmini ve T_B^k da, $1 < k < n$, 0 anındaki enjeksiyondan sonra havzada bulunan k . parçacık için rasgele bir anı belirtir ise yalnız t zamanını aşan T_B^k tutulma zamanlarına sahip parçacıklar havzanın depolaması $S_B(t)$ 'ye katkıda bulunurlar.

$$S_B(t) = \frac{v_0}{n} \sum_{k=1}^n \Phi_{(t,\infty)}(T_B^k) \quad (2.14)$$

$$\Phi_{(t,\infty)}(T_B^k) = 0 \dots \text{eğer} \dots T_B^k < t \quad (2.14.a)$$

$$\Phi_{(t,\infty)}(T_B^k) = 1 \dots \text{eğer} \dots T_B^k > t \quad (2.14.b)$$

n büyük sayı olduğundan ve T_B gibi, T_B^k de bağımsız ve aynı dağıldığından büyük sayılar yasasına göre (Feller 1971);

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Phi_{(t,\infty)}(T_B^k) = E[\Phi_{(t,\infty)}(T_B)] = P(T_B > t) \quad (2.15)$$

$E[\]$ beklenen değeri göstermektedir. (2.15) denklemi (2.14) denkleminin içine konulup ifadenin diferansiyeli alınırsa;

$$\frac{dS_B(t)}{dt} = -v_0 f_B(t) \quad (2.16)$$

$f_B(t)$, T_B havza tutulma zamanının olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade eder. Eğer (2.13) denklemini anlık birim yağış için uygulanıp (2.16) denklemindeki v_0 değeri tek bir ifade olarak yazılır ise, (2.13) ve (2.16) denklemlerinin karşılaştırılmasından $f_B(t)$, bütün $t > 0$ zamanların da havza çıkışındaki debi $Q_B(t)$ değerine eşit olur. Anlık birim yağıştan meydana gelen akışın ifadesi $u(t)$ (anlık birim hidrografi) ile gösterilirse; (Gupta ve diğ., 1980)

$$u(t) = f_B(t) \quad (2.17)$$

Anlık birim hidrograf $u(t)$, ile bir parçacığın rasgele tutulma zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonu $f_B(t)$, arasındaki bu ilişkiden yola çıkarak, parçacıkların akarsu ağı içerisindeki hareketleri incelenmiştir. Ω bir havzanın mertebesini, c_i i. mertebedeki bir akarsu parçasının durumunu, r_i ise havzanın i. mertebedeki yüzey

bölgesinin durumunu gösterebilir ($1 \leq i \leq \Omega$). n sayıdaki yağış parçacıkları birbirleri ile etkileşmediği için yalnız birinin davranışını incelemek yeterlidir. r_i bölgesinde bulunan parçacık akarsu ağı içerisindeki hareketini aşağıdaki kurallara göre yapar.

- r_i durumunun tek olası geçiş biçimi $r_i \rightarrow c_i$ $1 \leq i \leq \Omega$
- c_i durumunun tek olası geçiş biçimi $c_i \rightarrow c_j$ $j > i$ $i=1,2,\dots,\Omega$
- $c_{\Omega+1}$ durumu havzanın çıkışıdır.

Bu kurallar havza çıkışına kadar bir parçacığın takip ettiği s geçiş yollarının bir toplamı olan S geçiş yolu uzayı ile tanımlanır. Ω mertebeli bir havza için $2^{\Omega-1}$ olası geçiş yolu vardır. Bir parçacık bu olası yolların herhangi birindeki hareketi sırasında, o geçiş yolunu oluşturan her bir $s = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ $s \in S$, $\{x_1, x_2, \dots, x_k\} \in \{c_1, c_2, \dots, c_{\Omega}, r_1, r_2, \dots, r_{\Omega}\}$ durumunda belirli miktar zaman harcar. Burada k parçacığın izleyeceği geçiş yollarının sayısıdır. x_k durumundaki bir akarsu parçasındaki yağış parçacığının harcadığı rasgele zaman T_{xk} ile gösterilir ise ; T_s , s geçiş yolu boyunca geçen zaman olarak ifade edilir.

$$T_s = T_{x1} + T_{x2} + \dots + T_{xk} \quad (2.18)$$

T_{xk} 'in olasılık yoğunluk fonksiyonu f_{xk} , eklenik dağılım fonksiyonu F_{xk} ile gösterilirse, T_B bir parçacığın havza çıkışına ulaşana kadar harcayacağı zaman;

$$T_B = \sum_{s \in S} \Phi_s T_s \quad (2.19)$$

Φ_s , eğer parçacık s yolunu takip eder ise $\Phi_s=1$ aksi halde $\Phi_s=0$ olan “gösterme” fonksiyonudur.

Belli mertebedeki akarsu ağları için şu özellikler tanımlanabilir.

- Π_{ri} , r_i alanlı havza parçasının toplam havza alanına oranıdır. Eşit link boylarına ve drenaj havzalarına sahip akarsu havzalarında bu oran i . mertebe link sayısının, toplam link sayısına oranı olarak alınabilir (Gupta ve Waymire, 1983).

- $p_{c_i c_j}$, c_i durumundan herhangi c_j durumuna dökülen linklerin sayısının, toplam c_i durumundaki linklere oranıdır.
- $p_{c_{\Omega}, c_{\Omega+1}} = 1$
- $p_{r_i c_i} = 1$

$s = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ ve $x_k \in \{c_1, c_2, \dots, c_{\Omega}, r_1, r_2, \dots, r_{\Omega}\}$ şeklindeki $s \in S$ geçiş yolu için geçiş yolu olasılığı (2.20) denklemiyle aşağıdaki gibi bulunur.

$$p(s) = \prod_{x_1} p_{x_1 x_2} \dots p_{x_{k-1}, x_k} \quad (2.20)$$

Gupta ve diğ. (1980) bir parçacığın havza çıkışına ulaşması için gerekli zamanı (2.19) formülüne bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$P(T_B \leq t) = \sum_{s \in S} P(T_s \leq t) p(s) \quad (2.21)$$

$$= \sum F_{x_1} * F_{x_2} * \dots * F_{x_k}(t) \cdot p(s) \quad (2.22)$$

Konvolüsyon işlemi “*” ile gösterilmiştir. (2.22) denkleminin her iki tarafının t 'ye göre diferansiyeli anlık birim hidrografın ifadesini verir.

$$u(t) = \sum f_{x_1} * f_{x_2} * \dots * f_{x_k}(t) \cdot p(s) \quad s = (x_1 \dots x_k) \quad (2.23)$$

(2.23) denklemi sürekli zamana bağlı yağış girdisi $I(\tau)$, ($\tau > 0$) ve küçük bir zaman aralığı ($\tau + d\tau$, τ) $d\tau > 0$ ile ifade edilirse, $I(\tau) \cdot d\tau$ bu küçük zaman aralığında havzaya enjekte edilmiş olan parçacıkların sayısıdır. τ zamanında enjekte edilmiş parçacıkların, $t > \tau$ gibi bir zaman sonunda havza çıkışına ulaşan parçacıklara oranı;

$$f_B(t - \tau) \cdot I(\tau) \cdot du = u(t - \tau) \cdot I(\tau) \cdot d\tau \quad (2.24)$$

Parçacıkların birbirlerinden bağımsız hareket ettiklerinden ve t anındaki toplam akış 0 ile t zaman aralığında enjekte edilmiş tüm parçacıkların iştirakini içerdiğinden;

$$Q_B(t) = \int_0^t u(t-\tau)I(\tau)d\tau \quad (2.25)$$

(2.25) denklemi yağış akışa çeviren genel konvolüsyon denklemdir.

2.3.3 Lineer Öteleme Jeomorfolojik Birim Hidrograf

Gupta ve Waymire (1983), Gupta ve diğ. (1980)'nın Genelleştirmiş R-V yaklaşımında kullandığı yalnızca Strahler mertebelenendirme yöntemi ile ele alınmış akarsu parçalarının, ağın tutulma zamanı olasılık yoğunluk fonksiyonunu yeteri kadar yansıtmadığı düşüncesiyle akarsu ağının çıkışından itibaren akış yönüne ters yönde artan link sayılarının dağılımını kullanarak, akarsu ağına anlık ve üniform olarak enjekte edilmiş parçacıkların havza çıkışına varış zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonunu elde etmeye çalışmışlardır. Yağış parçacıklarının havza çıkışına lineer ötelendiği kabulü yapıldığından bu metot Lineer Öteleme jeomorfolojik birim hidrograf olarak adlandırılır.

Akarsu ağlarının ana su yolu uzunluğu veya çap olarak da bilinen L “sınır seviyesi” havza çıkışından başlayarak akış yönüne ters yönde ardışık λ uzunluğundaki m seviyeye ayrılırsa, lineer ötelemenin en basit hali sabit V hızlı saf nakil için parçacıklar enjekte edildiklerinden $\lambda / V(=1)$ birim zaman sonunda m+1 seviyesinden m seviyesine geçecektir. m=0 havza çıkışını gösterir ise m seviyesine enjekte edilmiş parçacıklar m zaman birim yol alacaktır.

Havza çıkışından itibaren sınır seviyeye kadar her bir ardışık λ mesafesindeki linklerin sayısını $N(\lambda)$ ile gösterilir ise akarsu ağındaki tüm noktalara anlık ve üniform etkiyen yağış parçacıklarının havza çıkışına varış zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonunu;

$$P(T_B = \lambda) = \frac{N(\lambda)}{2M-1} \quad (2.26)$$

denklemleri ile verir. Bu yaklaşımda akarsu ağının mertebesi kullanılmaz. Lineer Öteleme jeomorfolojik birim hidrograf sonuçları genişlik fonksiyonu ile benzerlik gösterir.

2.3.4 Difüzyon Ötelemesi Kullanılarak Jeomorfolojik Birim Hidrografın Elde Edilmesi

Bir havzaya düşen karmaşık yağış örneklerinden meydana gelen akışın bir bütün olarak düşünülüp havza çıkışında hidrolojik tepkilerinin hesabında çeşitli konvolüsyon teknikleri kullanılır. Lineer öteleme yöntemi akarsu ağı boyunca akışın ötelemesinde kullanılır. Lineer öteleme metodlarında, havza karakteristiklerinin, ve hidrolik parametrelerin bilinmesi gerekir. Ancak bu karakteristiklerin ve parametrelerin akarsu ağı boyunca değişimlerinin bilinmesi güç olduğundan, havzanın temel birkaç karakteristiği ve hidrolik parametreleri sabit olarak alınmaktadır.

Troutman ve Karlinger (1985) difüzyon ötelemesi kullanarak sürtünme etkilerinin Chezy yasalarına uyduğu kabulü ile geniş ve dikdörtgen bir kanalda tek boyutlu ötelenen akışın davranışını şöyle ifade etmişlerdir.

$$h(\lambda, t, \beta) = \lambda \cdot (4\pi \cdot \beta \cdot t^3)^{-1/2} \cdot \exp\left[-(4\beta \cdot t)^{-1}(\beta_1 t - \lambda)^2\right] \quad (2.27)$$

$$\beta_1 = 1.5V \quad (\text{dalga yayılma hızı, kinematik dalga hızı}) \quad (2.27.a)$$

$$\beta_2 = (2SB)^{-1}q(1 - F^2) \quad (\text{difüzyon katsayısı}) \quad (2.27.b)$$

F Froude sayısını, V akarsu ağındaki hızı, B genişliği, q debiyi, S eğimi, y ise derinliği ifade eder. Lineer öteleme uygulanırken dengede olmayan koşullar altında bütün hidrolik özelliklerin dengeli durumdaki değerlerine göre çok küçük miktarda saptığı kabulü yapılmaktadır. Dolayısıyla β_1 ve β_2 parametreleri bir akarsu ağı için sabit alınabilmektedir. Troutman ve Karlinger (1985) bu parametreleri tüm akarsu ağı boyunca sabit olarak almışlardır.

Herhangi λ mesafesinde anlık bir yağış girdisine maruz kalan bir akarsu ağının, havza çıkışındaki hidrolojik davranışı (2.27) denklemiyle gösterilmiştir. Bu denklem λ mesafesinden hareket eden bir yağış parçacığının havza çıkışına varış zamanının olasılık yoğunluk fonksiyonudur.

Bu olasılık yoğunluk fonksiyonu tek bir akarsu parçasının hidrolojik davranışını verir. Akarsu ağındaki dallanma nedeniyle ortaya çıkan farklı akarsu parçalarındaki farklı λ uzunluklarına enjekte edilen anlık ve üniform yağışın belirli t zamanları sonunda havza çıkışında oluşturacakları hidrolojik davranışlarının süperpozisyonu anlık birim hidrografi oluşturur. $u(t)$ anlık birim hidrograf ifadesi, $N(\lambda)$ genişlik fonksiyonu olarak gösterilirse bu ifadenin denklemi aşağıdaki gibi bulunur.

$$u(t) = \frac{\sum_{\lambda} h(\lambda, t) \cdot N(\lambda)}{\sum_{\lambda} N(\lambda)} \quad (2.28)$$

Oğuz (1994) difüzyon ötelemesi metodu ile elde edilen birimi (1/zaman) olan hidrolojik davranış fonksiyonunu $h(\lambda, t; \beta)$ boyutsuz hale getirmiştir;

$$h^*(\lambda^*, t^*) = \lambda^* [2\pi(1 - F^2)t^*]^{-1/2} \exp\left[-\frac{(1.5t^* - \lambda^*)^2}{2(1 - F^2)t^*}\right] \quad (2.29)$$

$$h^* = \frac{h}{S.V/y} \quad \text{boyutsuz davranış,} \quad (2.29.a)$$

$$t^* = \frac{t}{y/S.V} \quad \text{boyutsuz zaman,} \quad (2.29.b)$$

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{y/S} \quad \text{boyutsuz uzaklıktır.} \quad (2.29.c)$$

Boyutsuz anlık birim hidrograf ordinatı (2.30) denklemiyle elde edilmiştir.

$$u(t)^* = \frac{\sum_{\lambda^*} h^*(\lambda^*, t^*) N(\lambda)}{\sum_{\lambda^*} N(\lambda)} \quad (2.30)$$



3. SOHU DERESİ-FINDIKLI ARAŞTIRMA HAVZASI

3.1 Giriş

Türkiye’de çok sayıda bulunan 50-200 km² küçük akarsu havzalarındaki detaylı hidrolojik çalışmaların olmamasını göz önüne alarak benzer havzalardan temsili havzalarda araştırmalar yürüterek, elde edilen sonuçları detaylı çalışmaları yapılmamış benzer havzalara aktarabilmek için modeller geliştirilmektedir. Bu amaçla, EİE İdaresi Genel Müdürlüğü Hidrolik Etütler Dairesi Küçük Sular ve Araştırma Havzaları Şubesi Müdürlüğü Ankara-Güvem nahiyesi Sohu Deresi havzasında 1990 yılından itibaren 1253 No’lu Fındıklı Akım Gözlem İstasyonunu kurarak akım ölçümlerine başlanmıştır. Sohu Deresi meteorolojik rasatlarına üç tanesi de havza dışında olmak üzere dört istasyonda ölçülen meteorolojik değerler ve ayrıca Güvem’de bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait istasyondan alınan veriler değerlendirilerek akım gözlem sonuçları ile birlikte “1253 Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzası Çalışma Raporu” (1997,1999) yayımlanmıştır. Hem havza alanının küçük olması hem de çalışma raporunda havzanın detaylı jeomorfolojik ve hidrolojik özellikleri verildiğinden jeomorfolojik anlık birim hidrograf uygulamaları için uygun olduğu düşünülmüştür.

3.2 Havzanın Tanımı

1253 Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzası, Ankara Kızılcahamam İlçesi Güvem Nahiyesinin yaklaşık 2 km Kuzey doğusundaki Sohu Deresi yağış alanıdır. Sohu Deresi Sakarya Nehrinin 5. mertebeden bir akarsu parçası üzerindedir. Havza çıkışında Fındıklı Akım Gözlem İstasyonu yeri 40° 36’ 06” K ve 32° 39’ 59” D koordinatlarındadır. Havza civarına 4 adet Meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonların yerleri;

Hıdırlar : 40° 39' 36" K - 32° 39' 57" D

Bozcaarmut : 40° 41' 36" K - 32° 48' 40" D

Salm : 40° 38' 31" K - 32° 41' 54" D

Eğirlibaş : 40° 34' 53" K - 32° 47' 10" D

3.3 Havzanın Jeomorfolojik Özellikleri

- Havza alanı A : 134 km² dir.
- Çevre uzunluğu P : 59.3 km dir.
- Havza uzunluğu L_B : 18.5 km dir.
- Akarsu uzunluğu:
 - ana akarsu parçaları için L : 18.5 km olup,
 - yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendiğinde L : 21.2 km dir.
- Toplam su yolları uzunluğu:
 - ana akarsu parçaları için ΣL : 42.53 km olup,
 - yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendiğinde ΣL : 162.9 km dir.
- Havza genişliği W_B : 7.24 km dir.
- Havza maksimum yükseltisi h_{max} : 2034 m dir.
- Havza minimum yükseltisi h_{min} : 1098 m dir.
- Ana su yolu maksimum yükseltisi h_{smax} : 1835 m dir.

- Ana suyu minimum yükseltisi $h_{s_{min}}$: 1098 m dir.

- Havza ortalama yükseltisi:

küçük havzalar için (alanı 50-200 km² olan havzalar)

$$h_{ort} = [(h_{max} - h_{min}) * 0.435] / (\log h_{max} - \log h_{min}) \quad (3.1)$$

h_{ort} : 1521 m dir.

- Havza ortalama eğimi :

$$S_{Havza} = (E * K) / A \quad (3.2)$$

$$= (50 * 858450) / 134 * 10^6$$

S_{Havza} : 0.32 dir.

E: İki tesviye eğrisi arasındaki kot farkı.

K: Toplam tesviye eğrisi uzunluğu. (Çalışma Raporu, 1997)

A: Havza alanı.

- Ana suyu eğimi :

Ana suyunun (21.2 km) %85'ine karşı gelen kot h_{85} = 1562, %10'una karşılık gelen kot h_{10} = 1123 m olarak alınır (Çalışma Raporu, 1997). Bu değerler (3.3) denklemde yerine konursa;

$$S = (h_{85} - h_{10}) / L * 0.75 \quad (3.3)$$

$$= (1562 - 1123) / 21200 * 0.75$$

S : 0.0276 dir.

- Havza yönü : Akış yönü doğrultusu

Kuzeydoğu – Güneybatı (NE – SW) dir.

- Havza şekil indisleri :

Havza uzunluğuna ve genişliğine bağlı şekil indisi;

$$S_a = L_B / W_B \quad (3.4)$$

$$= 18.5 / 7.24$$

$$S_a : 2.56 \text{ dir.}$$

- Ana suyoluna bağlı şekil indisi :

$$S_b = L^2 / A \quad (3.5)$$

$$= (21.2)^2 / 134$$

$$S_b : 3.35 \text{ dir.}$$

- Havza dairesellik oranı :

$$D = A / A_c \quad (3.6)$$

$$A_c = P^2 / 4\pi \quad (3.6.a)$$

$$A_c = (59.3)^2 / 4\pi = 279.8$$

$$D = 134 / 279.8$$

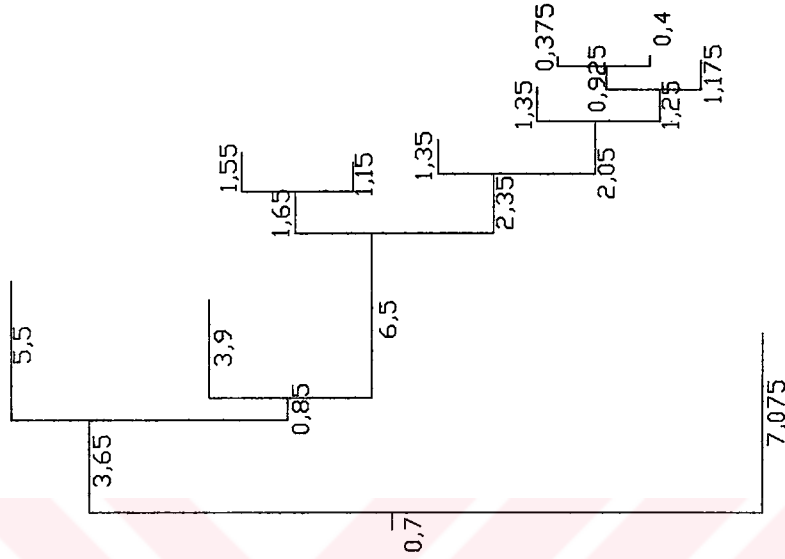
$$D : 0.48 \text{ dir.}$$

A_c :Havzanın çevre uzunluğuna eşit çevreye sahip dairenin alanı.

- Akarsu dallanma ve akış uzunluğu oranı :

Akarsu dallanma ve akış uzunluğu oranlarının bulunması için ana akarsu parçaları ve yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmiş olan akarsu ağları çizilmiş ve akarsu parçalarının uzunlukları işaretlenmiştir.

Horton yasalarında belirtilmiş olan akarsu dallanma oranı $R_{Bi} = N_i / N_{i+1}$, akış uzunluğu oranı $R_{Li} = L_{iort} / L_{(i-1)ort}$ formülleri yardımıyla ana akarsu parçaları ve yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları için Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

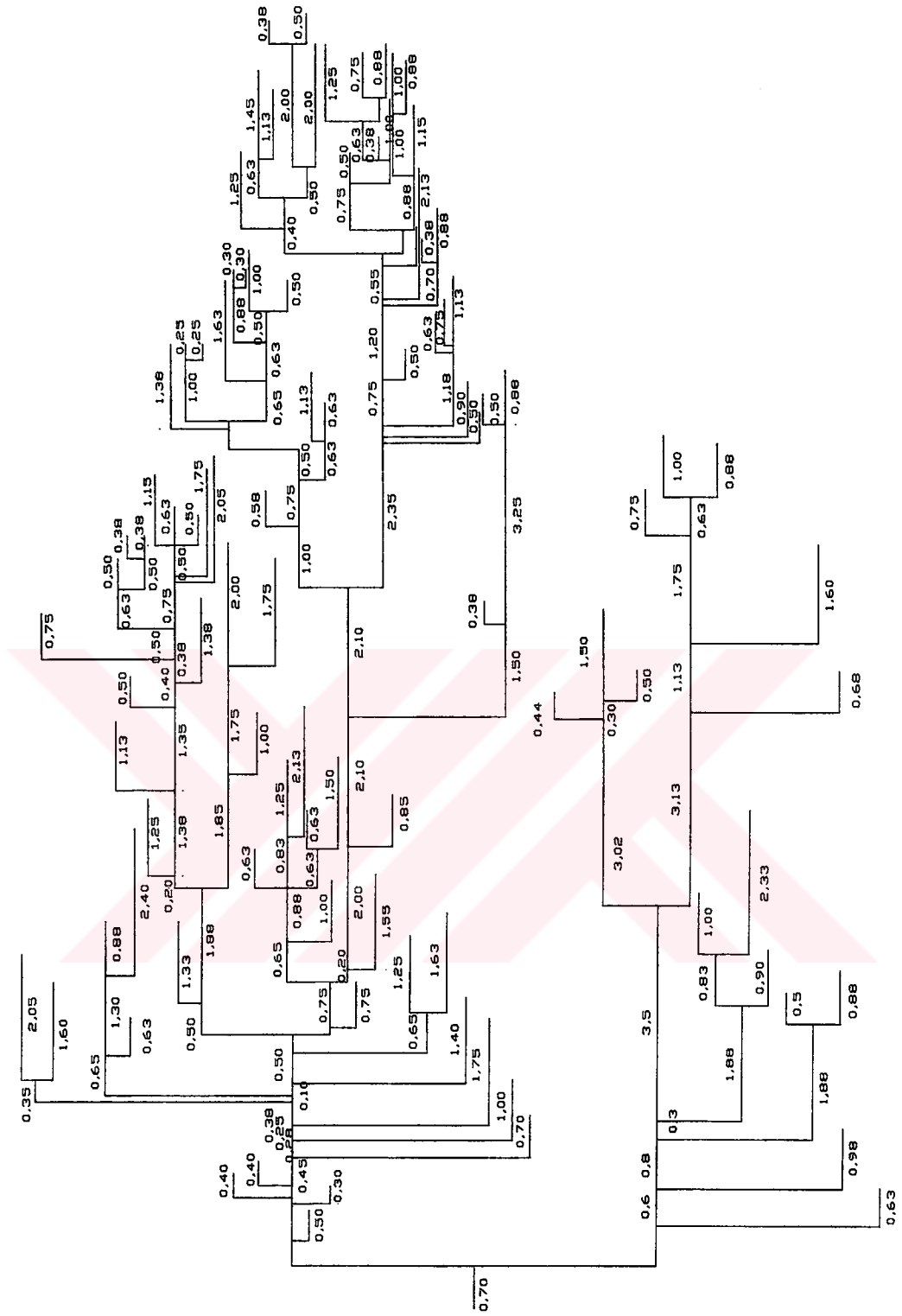


Şekil 3.1 Ana Akarsu Parçalarının Uzunlukları ve Dallanmalar

Tablo 3.1 Ana Akarsu Parçaları için Dallanma ve Akış Uzunluğu Oranlarının Bulunması

Mertebe	Akarsu Parçası Adedi	Uzunluk	$\log N_i$	R_{Bi}	R_{Li}
i	N_i	Km			
1	10	22.38	1	5	-
2	2	8.42	0.301	2	1.88
3	1	11.73	0	-	2.79

Ortalama R_{Bi} , R_{Li} sırası ile 3.5 ve 2.33 değerlerini almaktadır



Şekil 3.2 Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçaları Eklendiğinde Akarsu Ağıının Uzunlukları ve Dallanmaları

Tablo 3.2 Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçaları için Dallanma ve Akış Uzunluğu Oranlarının Bulunması

Mertebe i	Akarsu Parçası Adedi N_i	Uzunluk Km	$\text{Log}N_i$	R_{Bi}	R_{Li}
1	96	93.05	1.982	3.84	
2	25	34.42	1.398	3.125	1.42
3	8	16.07	0.9	4	1.46
4	2	7.68	0.301	2	1.91
5	1	11.71	0		3.05

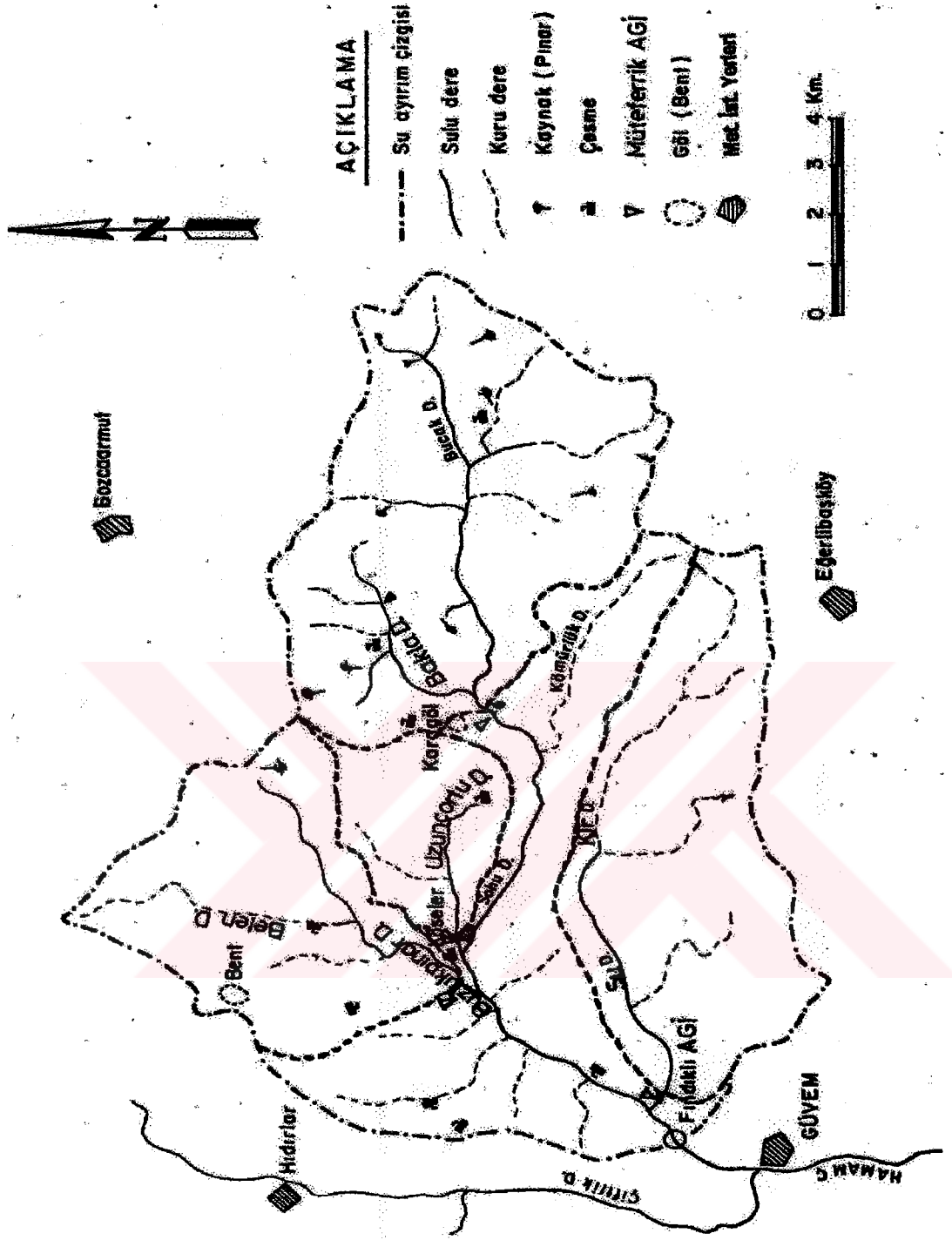
Ortalama R_{Bi} , R_{Li} sırası ile 3.24 ve 1.96 değerlerini almaktadır.

3.4 Havzanın Hidrolojik Özellikleri

İncelenen havzanın ana su yolu uzunluğu 21.2 km olup eğimi 0.0276'dir. Şekil 3.5'de gösterildiği gibi Sohu Deresi Fındıklı Havzası dört adet alt havzaya ayrılmış ve her bir havzanın alanları, yüzde olarak akıma katkıları ve alt ağların mertebeleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Sohu Deresi Fındıklı Havzası topografik haritası Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

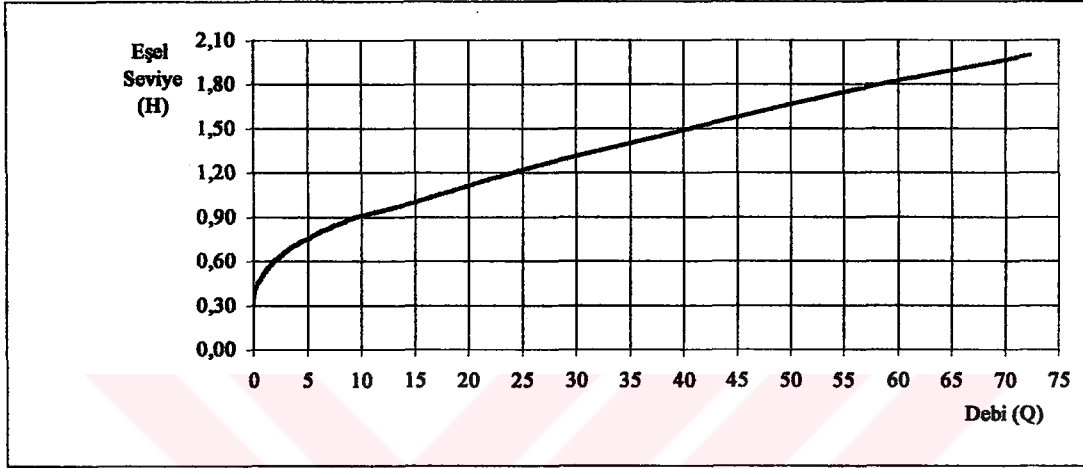
Tablo 3.3 Alt Havzaların Jeomorfolojik ve Hidrolojik Büyüklükleri

Alt havza	Mertebesi (Ω)	Alanı (km^2)	Akıma Katkısı (%)
Su Deresi	3	30.71	29
Buzlupınar Deresi	3	23.69	11.4
Uzunçortu Deresi	3	8.78	2.3
Bakla ve Burçak Deresi	5	39	29
Ara havza	-	31.82	28.3



Şekil 3.5 Sohu Deresi Fındıklı Havzasının Hidrolojik Haritası (Çalışma Raporu, 1997)

Havza çıkışındaki 1098 m kotunda akımları ölçmek amacıyla Fındıklı Akım Gözlem İstasyonu kurulmuştur. Bu istasyonda eşel bulunmaktadır. Şekil 3.3’de gösterilen anahtar eğrisi yardımı ile 1253 No’lu Fındıklı Akım Gözlem İstasyonu kesitinde akımlar bulunmaktadır. Havza ortalama yağışının bulunmasında Aritmetik Ortalama yöntemi ile 466.3 mm/yıl, Thiessen Poligon yöntemi ile 448.7 mm/yıl ve YA (yüzde ağırlıklı) poligon yöntemi ile 467.7 mm/yıl bulunmuştur.



Şekil 3.3 Fındıklı Akım Gözlem İstasyonu Anahtar Eğrisi

3.5 Havzanın Diğer Özellikleri

Havza topraklarının %97’si kireçsiz kahverengi orman toprağı, %32’si ise aluviyal, koluviyal, kahverengi orman toprağıdır.

Havzanın %58’i orman, %18’i mera, %17’si fundalık, %6’sı kuru tarım, %1’i sulhu tarımdır.

Havza suyunun, sulama amaçlı kullanılabilen C2S1 olduğu tespit edilmiştir.

Yıllık sediment miktarı 605.5 ton/yıl, bitki su tüketimi 164 mm/yıl, sızma ise 228.5 mm/yıl dır.

Havza içerisinde geçimini ormancılık ve tarımla sağlayan beş köy ve bu köylere ait altı mahalle vardır.

4. JEOMORFOLOJİK BİRİM HİDROGRAF UYGULAMALARI

4.1 Giriş

Bu çalışmada, seçilen bir akarsu ağı üzerine etkiyen anlık ve üniform yağış girdisinin, havza çıkışında oluşturacağı hidrolojik davranışlar; havzanın temel karakteristiklerini, topolojik konfigürasyonunu ve ortalama hidrolik parametrelerini kullanan jeomorfolojik anlık birim hidrografların yardımıyla elde edilmeye çalışılmıştır.

Seçilen Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzasının ana akarsu parçaları ve yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendikten sonraki oluşan iki farklı konfigürasyonu için havza çıkışında oluşturacağı hidrolojik davranışlar ayrı ayrı incelenmiştir. Havzanın hidrolik parametreleri havza çıkışında bulunan Fındıklı Akım Gözlem İstasyonu değerleri alınmış ve bu değerlerin tüm havza boyunca değişmediği kabul edilmiştir. Bu kabullerden yararlanarak üçüncü bölümde ayrıntılı olarak incelenmiş olan Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzasında, bölüm ikide teorik olarak verilmiş olan Genelleştirilmiş R-V yaklaşımı, Lineer Öteleme yaklaşımı ve Difüzyon Ötelemesi yaklaşımı kullanılarak çeşitli jeomorfolojik anlık birim hidrograf uygulamaları yapılmış, havza çıkışındaki hidrolojik davranışları hakkında çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

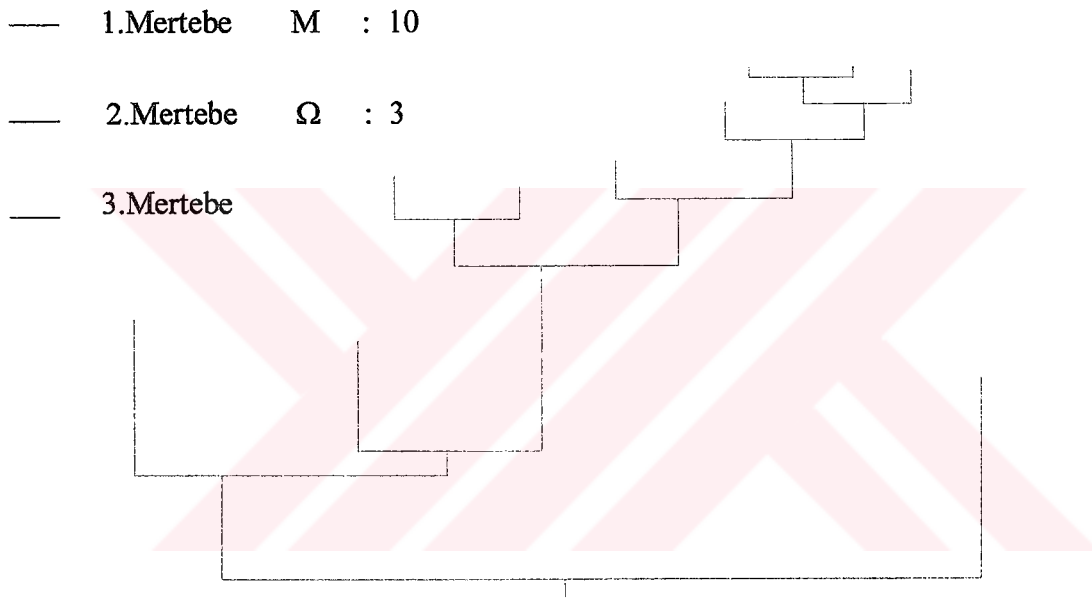
4.2 Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf Uygulamaları

4.2.1 Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımının Havzaya Uygulanması

Bu çalışmanın ana gayesi, Strahler mertebelendirme yöntemi ile mertebelendirilmiş Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzasının ana akarsu parçaları ve yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendikten sonraki oluşan iki farklı akarsu ağı konfigürasyonu üzerine rasgele enjekte edilmiş anlık ve üniform bir yağışın havza çıkışına ulaşmadan önce takip ettiği yüzey toplanma bölgelerinde ve akarsu parçalarında harcadığı zamanı (tutulma zamanını), yağışı oluşturan parçacıkların geçiş

yollarının olasılıkları belirleyerek, incelenen havzanın tutulma zamanı olasılık yoğunluk fonksiyonu (jeomorfolojik anlık birim hidrografi) bulunan geçiş yolu olasılık değerleri yardımıyla belirlemektir.

Bu yaklaşımı öncelikle havzanın ana akarsu parçalardan oluşturduğu konfigürasyonlar için incelenmiştir. şekil 4.1’de yaz aylarında kuruyan akarsu parçalarını ihtiva etmeyen akarsu ağı çizilmiştir. şekilde gösterilmiş olan akarsu ağının maksimum akarsu uzunluğu (L) 18.7 km olup Strahler yöntemi ile mertebelendirildiğinde ağın 3. mertebede (Ω) olduğu görölmüştür. Ayrıca mavi , yeşil, kırmızı renklerle sırasıyla akarsu ağının 1., 2. ve 3. mertebe linkleri gösterilmiştir.



şekil 4.1 Ana Akarsu Parçalarının Strahler Yöntemi ile Mertebelendirilmesi

Akarsu ağına enjekte edilen anlık ve üniform yağışın havza çıkışına kadar izleyeceği x_i durumlarındaki $x_i=(c_1, \dots, c_N, r_1, \dots, r_N)$ olası geçiş yollarının sayısı, akarsu ağının mertebesine bağlı olan $2^{\Omega-1}$ ifadesi kullanılarak 4 olarak bulunmuştur. Bu durumda akarsu ağının içersinde bir parçacığın izleyeceği olası yollar aşağıda gösterilmiştir.

geçiş yolu S_1 $c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3$

geçiş yolu S_2 $c_1 \rightarrow c_3$

geçiş yolu S_3 $c_2 \rightarrow c_3$

geçiş yolu S_4 c_3

Gupta ve Waymire (1983) Genelleştirilmiş R-V yaklaşımı için verdikleri örnekte tüm linkler ve bu linklere ait drenaj alanlarını eşit aldıkları farazi bir havzanın hidrolojik davranışını hesaplamışlardır. Ancak bu çalışmada incelenen akarsu ağındaki link uzunlukları ve drenaj alanları birbirlerinden farklı olduğundan akarsu parçalarının geçiş olasılıkları ve linklerin farklı uzunluklarından kaynaklanan farklı tutulma zamanı olasılık yoğunluk fonksiyonunu daha iyi ifade edebilmek için link uzunlukları, birbirlerine eşit kısımlar ayrılmıştır. Ayrılan bu eşit link kısımlarının sahip oldukları drenaj alanlarının da birbirlerine eşit olduğu kabulü yapılarak başlangıç olasılığı, Π_i , i mertebeli linklere dökülen drenaj alanlarının toplam havza alanına oranı ifadesi yerine, i mertebeli link kısımlarının toplam link kısımlarının oranı olarak alınmıştır. Akarsu ağı, havza çıkışından itibaren akış yönünün tersinde $\lambda = 0.4$ km kısımlara ayrıldığında ana parçalardan oluşan 3. mertebe akarsu ağı içinde 55 adet birinci mertebe, 19 adet ikinci mertebe, 29 adet üçüncü mertebe link kısmı bulunmuştur. Bu durumda başlangıç olasılıkları (initial probabilities) değerleri; $\Pi_1 = 55/103$, $\Pi_2 = 19/103$, $\Pi_3 = 29/103$ şeklinde hesaplanmıştır.

Herhangi x_i durumundaki bir linkte bulunan parçacığın, x_j ($j > i$) durumundaki bir linkle birleşmesi olasılığı p_{x_i, x_j} ile gösterilmiştir. Bu ifade x_i mertebesinden x_j mertebesine dökülen link kısımlarının sayısının, toplam x_i mertebesindeki link kısımlarına oranını gösteren birleşme olasılığını (channel merger probabilities) verir.

Akarsu ağındaki her biri 0.4 km olduğu varsayılan üç farklı mertebedeki link kısımlarında, 55 adet 1. mertebe link kısmının 17 tanesi 2. mertebe bir link kısmına, geri kalan 38 adet link kısmının ise 3. mertebe bir link kısmına dökülmektedir. Bu durumda 1. mertebe akarsu parçalarındaki link kısımlarının birleşme olasılığı $p_{12} = 17/55$, $p_{13} = 38/55$ olduğu bulunmuştur. 19 adet 2. mertebe link kısmının tamamı 3. mertebeye döküldüğünden $p_{23} = 1$ elde edilmiştir.

Geçiş yolu fonksiyonu; $p(s) = \prod_{x_1} p_{x_1 x_2} \dots p_{x_{i-1} x_i}$ denkleminle, incelenen havzanın geçiş yolu olasılıkları (path probabilities) aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\begin{aligned} p(s_1) &= \Pi_1 p_{12} p_{23} \\ &= \frac{55}{103} \times \frac{17}{55} \times 1 = 0.165 \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} p(s_2) &= \Pi_1 p_{13} \\ &= \frac{55}{103} \times \frac{38}{55} = 0.369 \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} p(s_3) &= \Pi_2 p_{23} \\ &= \frac{19}{103} \times 1 = 0.184 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} p(s_4) &= \Pi_3 \\ &= \frac{29}{103} = 0.281 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Havza içerisinde herhangi bir x_i durumundaki akarsu parçacığındaki link kısmında bulunan bir yağış parçacığının, x_j durumundaki link kısmına geçmesi için gereken zamanın olasılık yoğunluk fonksiyonunu $f_i(t)$ ile gösterilmiştir. Tablo 4.1’de bu farklı Strahler mertebe durumlarında bulunan yağış parçacığı için tutulma zamanı olasılık yoğunluk fonksiyonu değerleri gösterilmiştir.

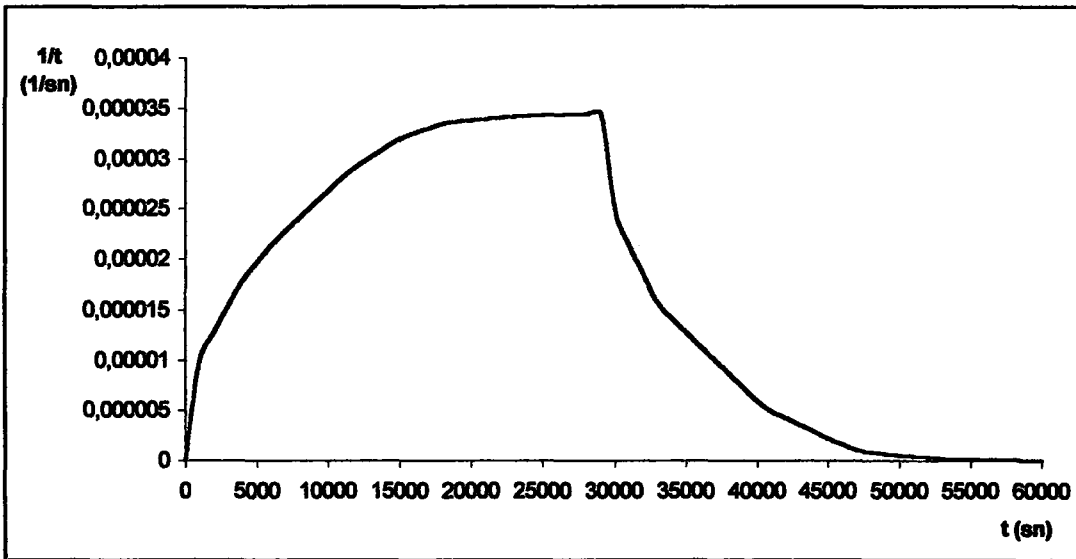
Akarsu ağının tutulma zamanının olasılık yoğunluk fonksiyonu (anlık birim hidrografi),

$$u(t) = \sum_{s \in S} f_{x_1} * f_{x_2} * f_{x_3} \cdot p(s) \quad \text{denkleminle} \quad \text{gösterilmiştir. “*” ile gösterilen}$$

konvolüsyon işlemi bilgisayar hesabıyla yapılmıştır. Şekil 4.2’de bu denkleminin sonucu olan jeomorfolojik birim hidrografi göstermektedir.

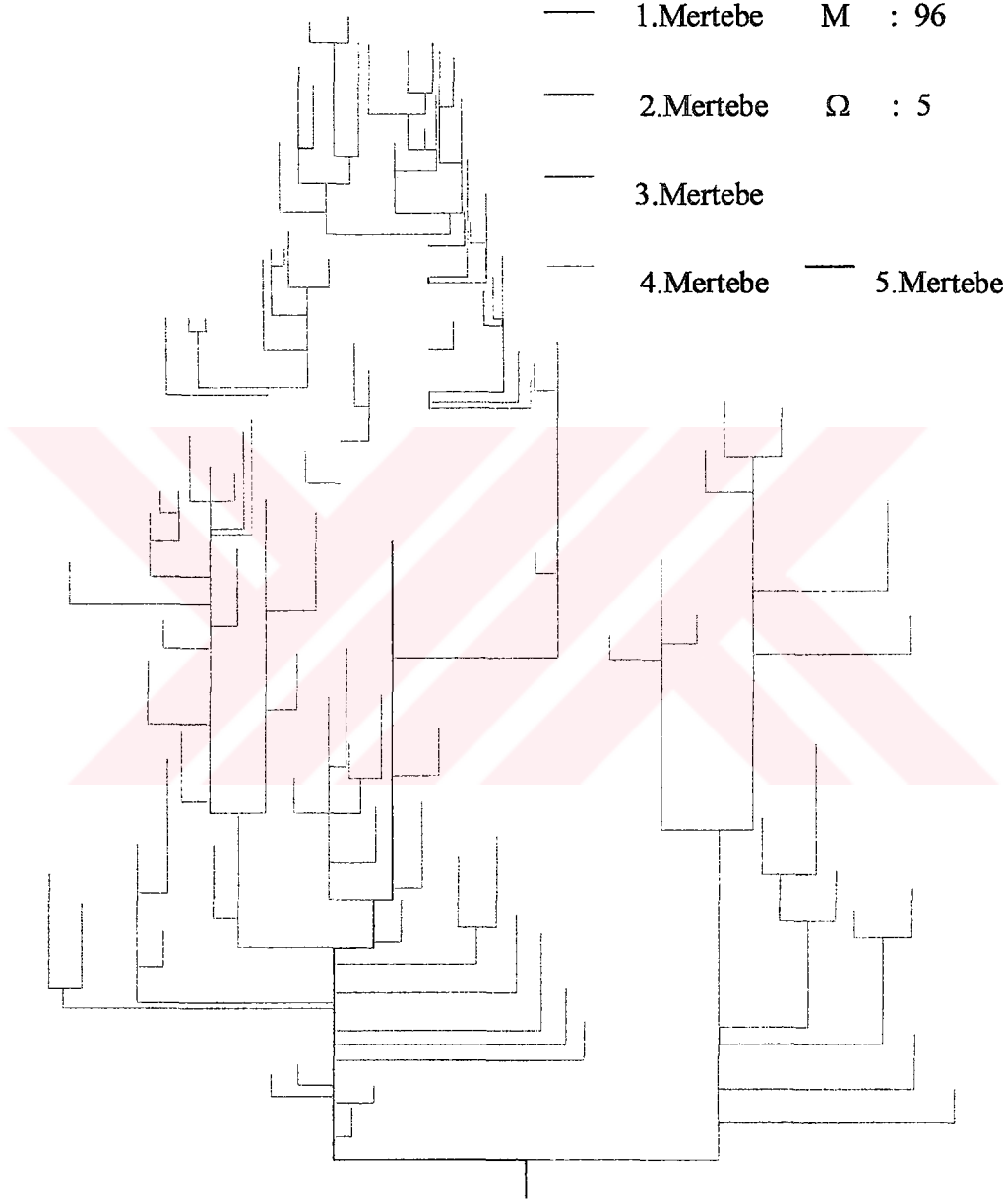
Tablo 4.1.Ana Akarsu Parçalarındaki Farklı Mertebe Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları

Zaman t	Birinci Mertebe Durum $f_1(t)$	İkinci Mertebe Durum $f_2(t)$	Üçüncü Mertebe Durum $f_3(t)$
1	10/55	2/19	1/29
2	8/55	2/19	1/29
3	7/55	2/19	1/29
4	4/55	2/19	1/29
5	3/55	2/19	1/29
6	3/55	1/19	1/29
7	3/55	1/19	1/29
8	3/55	1/19	1/29
9	3/55	1/19	1/29
10	3/55	1/19	1/29
11	2/55	1/19	1/29
12	1/55	1/19	1/29
13	1/55	1/19	1/29
14	1/55	1/19	1/29
15	1/55	0	1/29
16	1/55	0	1/29
17	1/55	0	1/29
18	0	0	1/29
19	0	0	1/29
20	0	0	1/29
21	0	0	1/29
22	0	0	1/29
23	0	0	1/29
24	0	0	1/29
25	0	0	1/29
26	0	0	1/29
27	0	0	1/29
28	0	0	1/29
29	0	0	1/29



Şekil 4.2 Ana Akarsu Parçaları için Akarsu Ağının Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun $u(t)$ Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımı ile Elde Edilen Sonuçları

Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzasının yaz aylarında kuruyan akarsu parçalarıyla çizilmiş akarsu ağı Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Şekilde görülen akarsu ağının, maksimum uzunluğu 21.2 km olup Strahler yöntemi ile mertebelendirildiğinde ağın 5 mertebede (Ω) olduğu görülmüştür. Ayrıca mavi, yeşil, kırmızı, sarı, siyah, renklerle sırasıyla akarsu ağının 1., 2., 3., 4., 5. mertebe linkleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçalarının Eklenmesiyle Oluşan Akarsu Ağı Konfigürasyonu için Strahler Yöntemi ile Mertebelendirilmesi

$2^{\Omega-1}$ ifadesiyle bulunan olası geçiş yolları $S=\{s_1, s_2, \dots, s_{16}\}$, başlangıç olasılıkları, kanal birleşme olasılıkları ve geçiş yolu olasılıkları yukarda ana akarsu parçaları için yapılan hesaba benzer olarak yapılmıştır. Hesap sonuçları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçalarının Eklenmesiyle Oluşan Konfigürasyon Olası Geçiş Yolları, Kanal Birleşme Olasılıkları, Geçiş Yolu Olasılıkları

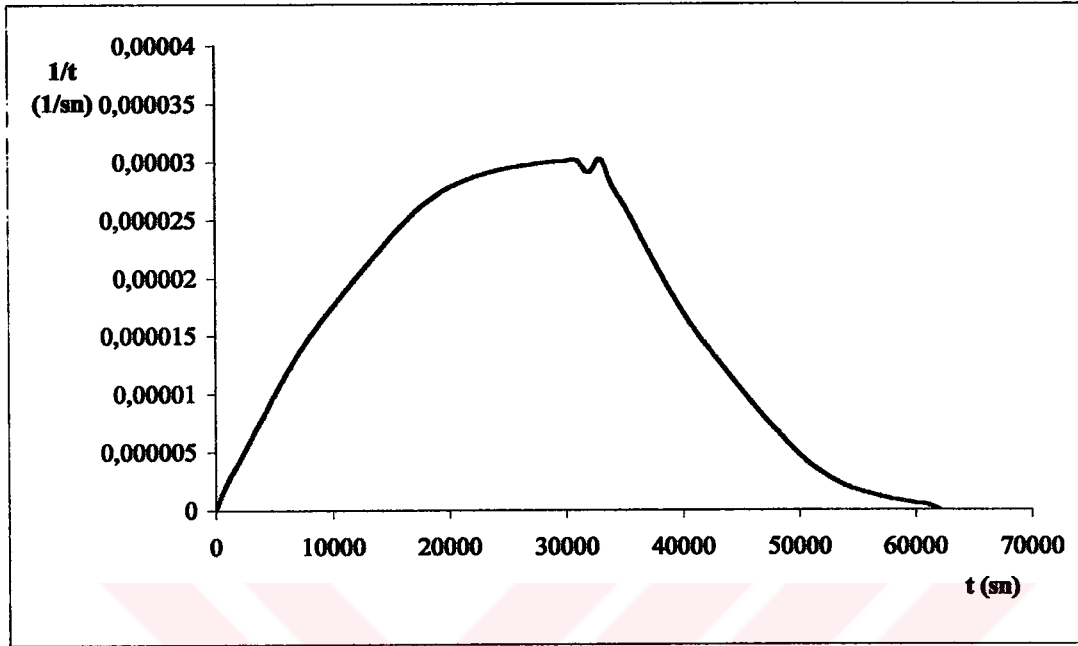
Havza çıkışına kadar bir partikülün takip edeceği olası yollar $s(i)$	Başlangıç olasılıkları $\prod_i$	Kanal birleşme olasılıkları P_{xixj}	Geçiş yolu olasılıkları $p(s_i)$
$s_1: c_1 \quad c_2 \quad c_3 \quad c_4 \quad c_5$	$\prod_1 = 222/425$	$P_{12}=154/222$	$p(s_1)= \prod_1 \quad P_{12} \quad P_{23} \quad P_{34} \quad P_{45} = 0,058$
$s_2: c_1 \quad c_2 \quad c_3 \quad c_5$	$\prod_2 = 105/425$	$P_{13}=32/222$	$p(s_2)= \prod_1 \quad P_{12} \quad P_{23} \quad P_{35} = 0,212$
$s_3: c_1 \quad c_2 \quad c_4 \quad c_5$	$\prod_3 = 43/425$	$P_{12}=12/222$	$p(s_3)= \prod_1 \quad P_{12} \quad P_{24} \quad P_{45} = 0,024$
$s_4: c_1 \quad c_3 \quad c_4 \quad c_5$	$\prod_4 = 22/425$	$P_{15}=24/222$	$p(s_4)= \prod_1 \quad P_{13} \quad P_{34} \quad P_{45} = 0,016$
$s_5: c_2 \quad c_3 \quad c_4 \quad c_5$	$\prod_5 = 33/425$	$P_{23}=78/105$	$p(s_5)= \prod_2 \quad P_{23} \quad P_{34} \quad P_{45} = 0,04$
$s_6: c_1 \quad c_2 \quad c_5$		$P_{24}=7/105$	$p(s_6)= \prod_1 \quad P_{12} \quad P_{25} = 0,069$
$s_7: c_1 \quad c_3 \quad c_5$		$P_{25}=20/105$	$p(s_7)= \prod_1 \quad P_{13} \quad P_{35} = 0,059$
$s_8: c_1 \quad c_4 \quad c_5$		$P_{34}=9/42$	$p(s_8)= \prod_1 \quad P_{14} \quad P_{45} = 0,028$
$s_9: c_2 \quad c_3 \quad c_5$		$P_{35}=33/42$	$p(s_9)= \prod_2 \quad P_{23} \quad P_{35} = 0,144$
$s_{10}: c_2 \quad c_4 \quad c_5$		$P_{45}=1$	$p(s_{10})= \prod_2 \quad P_{24} \quad P_{45} = 0,016$
$s_{11}: c_3 \quad c_4 \quad c_5$			$p(s_{11})= \prod_3 \quad P_{34} \quad P_{45} = 0,022$
$s_{12}: c_1 \quad c_5$			$p(s_{12})= \prod_1 \quad P_{15} = 0,057$
$s_{13}: c_2 \quad c_5$			$p(s_{13})= \prod_2 \quad P_{25} = 0,047$
$s_{14}: c_3 \quad c_5$			$p(s_{14})= \prod_3 \quad P_{35} = 0,078$
$s_{15}: c_4 \quad c_5$			$p(s_{15})= \prod_4 \quad P_{45} = 0,052$
$s_{16}: c_5$			$p(s_{16})= \prod_5 = 0,078$

Havza içerisinde herhangi bir x_i durumundaki bir parçacığın, x_j durumundaki bir link kısmına geçmesi için gereken zamanın olasılık yoğunluk fonksiyonu, $f_i(t)$, Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçalarındaki Farklı Strahler Mertebe Durumlarının Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları

Zaman t	Birinci Mertebe Durum $f_1(t)$	İkinci Mertebe Durum $f_2(t)$	Üçüncü Mertebe Durum $f_3(t)$	Dördüncü Mertebe Durum $f_4(t)$	Beşinci Mertebe Durum $f_5(t)$
1	96/222	25/105	8/43	2/22	1/33
2	66/222	23/105	7/43	2/22	1/33
3	31/222	15/105	3/43	2/22	1/33
4	21/222	11/105	2/43	2/22	1/33
5	6/222	9/105	2/43	2/22	1/33
6	2/222	5/105	2/43	2/22	1/33
7	0	4/105	2/43	1/22	1/33
8	0	4/105	2/43	1/22	1/33
9	0	2/105	2/43	1/22	1/33
10	0	2/105	2/43	1/22	1/33
11	0	2/105	2/43	1/22	1/33
12	0	1/105	2/43	1/22	1/33
13	0	1/105	2/43	1/22	1/33
14	0	1/105	2/43	1/22	1/33
15	0	0	1/43	1/22	1/33
16	0	0	1/43	1/22	1/33
17	0	0	0	1/22	1/33
18	0	0	0	0	1/33
19	0	0	0	0	1/33
20	0	0	0	0	1/33
21	0	0	0	0	1/33
22	0	0	0	0	1/33
23	0	0	0	0	1/33
24	0	0	0	0	1/33
25	0	0	0	0	1/33
26	0	0	0	0	1/33
27	0	0	0	0	1/33
28	0	0	0	0	1/33
29	0	0	0	0	1/33
30	0	0	0	0	1/33
31	0	0	0	0	1/33
32	0	0	0	0	1/33
33	0	0	0	0	1/33

Yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendiğinde oluşan konfigürasyon için akarsu ağının tutulma zamanı olasılık yoğunluk fonksiyonunun $u(t)$ hesabı yapılmıştır. Bu hesap sonucu elde edilen jeomorfolojik birim hidrografi Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Yaz Aylarında Kuruyan Akarsu Parçaları Eklendiğinde Oluşan Konfigürasyon İçin Akarsu Ağının Tutulma Zamanı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun $u(t)$ Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilen Sonuçları

4.2.2 Lineer Öteleme Yaklaşımının Havzaya Uygulaması

Bu çalışmada; Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzasının ana ve kuruyan akarsu parçalar eklendikten sonraki iki değişik akarsu ağı konfigürasyonu için kaynak ve düğüm noktalarına anlık ve üniform etkiyen yağış parçacıklarının havza çıkışına varış zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesi istenmiştir. Akarsu ağı içindeki sabit bir V hızıyla hareket eden parçacığın, bütün linkleri birbirine eşit λ uzunluğunda ise $\lambda / V=1$ birim zaman sonunda $m+1$ seviyesinden m seviyesine geçmiş olacağı, bu nedenle m seviyesindeki bir parçacığın $\lambda=0$ havza çıkışına gelmesi için geçecek sürenin m zaman birimi olduğu ikinci bölümde belirtilmişti. Bu yaklaşımla yola çıkarak akarsu ağında, havza çıkışından λ uzaklıktaki m seviyesindeki linklerin sayısı $N(\lambda)$ ile gösterilirse havza çıkışındaki davranış $P(T_B = \lambda) = \frac{N(\lambda)}{2M-1}$ denklemiyle bulunur.

Bu yaklaşımın uygulanmasında karşılaşılan ilk sorun, akarsu ağı boyunca sabit olduğu varsayılan hızın bulunmasıdır. Sabit akış hızı V , akarsu ağının çıkışında bulunan Fındıklı Akım Gözlem İstasyonunda ölçülen ve bütün akarsu ağı boyunca sabit olduğu kabul edilen ortalama bir q debisi yardımıyla hesaplanmıştır. Fındıklı Akım Gözlem İstasyonunda ölçülmüş $0.46 \text{ m}^3/\text{s}$ debinin tüm havza boyunca sabit alındığı kabul edilmiştir. Üçüncü bölümde verilmiş olan anahtar eğrisi yardımıyla bu debiye karşılık gelen 0.45 cm eşel seviye bulunmuştur. Tablo 4.4’de gösterilen ve Fındıklı Akım Gözlem İstasyonunda Kesiti için Verilen Eşel Seviye-Alan-Derinlik değerlerinden alan eşel seviyeye bağlı olarak 1.18 m^2 olduğu, belirlenen bu alanı debiye bölerek de tüm havza boyunca sabit V hızı yaklaşık olarak 0.4 m/s bulunmuştur.

Tablo 4.4 Fındıklı Akım Gözlem İstasyon Kesiti için Verilen Eşel İlişkileri

Eşel Seviye	Alan	Su Yüzü Genişliği	Islak Çevre	Hidrolik Yarıçap	Ortalama Derinlik
H (m)	A (m^2)	W (m)	P (m)	R (m)	d (m)
0.36	0.53	6.30	7.10	0.075	0.085
0.50	1.61	9.10	9.64	0.167	0.177
1.00	7.86	16.31	17.16	0.458	0.482
1.50	17.69	22.15	23.09	0.766	0.799
2.00	29.95	28.76	29.82	1.004	1.041
2.10	32.83	28.80	29.81	1.101	1.140

Her bir $m+1$ seviyesinden m seviyesine birim zamanda ulaşması için, havza çıkışından itibaren akış yönüne ters alınan ardışık uzunluktaki λ seviyeleri 400’er metre alınmıştır. Böylece $m+1$ seviyesinden m seviyesine ulaşacak olan bir parçacığın harcayacağı zaman $400 / 0.4 = 10^3$ saniye olarak alınmıştır.

$P(T_B)$ ifadesi bir olasılık yoğunluk fonksiyonu ifadesi olup akarsu ağı boyunca ardışık λ değerlerindeki toplamının 1’e eşit olması gerekir. Bu nedenle denklemin sağ tarafındaki eşit uzunluktaki linkler için çıkarılmış $2M-1$ ifadesi yerine toplam değerini 1 yapan $\sum N(\lambda)$ ifadesi kullanılmıştır. Her bir λ seviyesindeki linklerin sayısı $N(\lambda)$ ve ana akarsu parçaları ve kuruyan akarsu parçaları eklendikten sonra akarsu ağının tutulma zamanlarının olasılıkları Tablo 4.5’de gösterilmiştir.

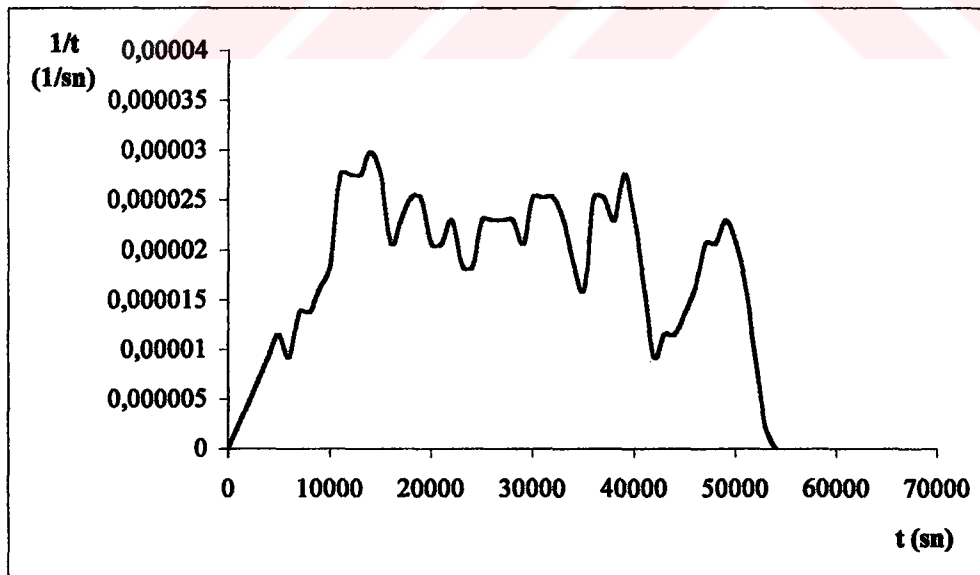
Tablo 4.5 λ Seviyesindeki Linklerin Sayısı $N(\lambda)$ ve Ana Akarsu Parçaları ve Kuruyan

Akarsu Parçaları Eklendikten Sonra Akarsu Ağı'nın Tutulma Zamanlarının Olasılıkları

Zaman	Havza çıkışından uzaklıktaki λ_i seviyesi	Ana kollar da m_i seviyesindeki link sayısı ($N(\lambda_i)$)	$P(T_B) = N(\lambda_i) / \sum_{\lambda=0}^{18400} N(\lambda_i)$	Kuruyan kollar eklendiğinde m_i seviyesindeki link sayısı ($N(\lambda_i)$)	$P(T_B) = N(\lambda_i) / \sum_{\lambda=0}^{21200} N(\lambda_i)$
0	0	0	0,0000	0	0,0000
1000	400	1	0,0094	1	0,0023
2000	800	2	0,0189	2	0,0046
3000	1200	2	0,0189	3	0,0069
4000	1600	2	0,0189	4	0,0092
5000	2000	2	0,0189	5	0,0115
6000	2400	2	0,0189	4	0,0092
7000	2800	2	0,0189	6	0,0138
8000	3200	2	0,0189	6	0,0138
9000	3600	2	0,0189	7	0,0161
10000	4000	3	0,0283	8	0,0183
11000	4400	3	0,0283	12	0,0275
12000	4800	3	0,0283	12	0,0275
13000	5200	3	0,0283	12	0,0275
14000	5600	4	0,0377	13	0,0298
15000	6000	4	0,0377	12	0,0275
16000	6400	4	0,0377	9	0,0206
17000	6800	4	0,0377	10	0,0229
18000	7200	3	0,0283	11	0,0252
19000	7600	3	0,0283	11	0,0252
20000	8000	3	0,0283	9	0,0206
21000	8400	3	0,0283	9	0,0206
22000	8800	3	0,0283	10	0,0229
23000	9200	2	0,0189	8	0,0183
24000	9600	2	0,0189	8	0,0183
25000	10000	1	0,0094	10	0,0229
26000	10400	1	0,0094	10	0,0229
27000	10800	1	0,0094	10	0,0229
28000	11200	1	0,0094	10	0,0229
29000	11600	1	0,0094	9	0,0206
30000	12000	2	0,0189	11	0,0252
31000	12400	2	0,0189	11	0,0252
32000	12800	2	0,0189	11	0,0252
33000	13200	2	0,0189	10	0,0229
34000	13600	3	0,0283	8	0,0183
35000	14000	3	0,0283	7	0,0161
36000	14400	4	0,0377	11	0,0252
37000	14800	3	0,0283	11	0,0252
38000	15200	1	0,0094	10	0,0229
39000	15600	1	0,0094	12	0,0275
40000	16000	1	0,0094	10	0,0229
41000	16400	2	0,0189	7	0,0161
42000	16800	2	0,0189	4	0,0092
43000	17200	2	0,0189	5	0,0115
44000	17600	2	0,0189	5	0,0115
45000	18000	2	0,0189	6	0,0138
46000	18400	3	0,0283	7	0,0161
47000	18800	0	0	9	0,0206
48000	19200	0	0	9	0,0206
49000	19600	0	0	10	0,0229
50000	20000	0	0	9	0,0206
51000	20400	0	0	7	0,0161
52000	20800	0	0	4	0,0092
53000	21200	0	0	1	0,0023

Graph of $1/t$ (1/s) vs t (s) for a 1000 Hz signal. The y-axis ranges from 0 to 0,00004 with increments of 0,000005. The x-axis ranges from 0 to 70000 with increments of 10000. The signal shows a series of peaks and troughs, with the highest peak reaching approximately 0,000038 at $t \approx 15000$ s.

Kuruyan akarsu parçaları eklendikten sonra oluşan akarsu ağının tutulma zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonu Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



43

4.2.3. Difüzyon Ötelemesi Yaklaşımının Havzaya Uygulanması

Bu çalışmada, Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzasının; havza karakteristikleri ve akarsu ağı boyunca sabit olduğu kabul edilen ortalama hidrolik parametreleri kullanılarak Troutman ve Karlinger'in (1985) elde ettiği geniş ve dikdörtgen bir kanaldaki tek boyutlu akışın havza çıkışındaki hidrolojik davranışını veren (4.1.) denklemi kullanılacaktır.

$$h(\lambda, t, \beta) = \lambda \cdot (4\pi\beta_2 t^3)^{-1/2} \exp\left[-(4\beta_2 t)^{-1}(\beta_1 t - \lambda)^2\right] \quad (4.1)$$

$$\beta_1 = 1.5V \quad (4.1.a)$$

$$\beta_2 = (2SB)^{-1} q(1 - F^2) \quad (4.1.b)$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy}} \quad (4.1.c)$$

(4.1) denklemindeki hidrolik parametrelerin değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

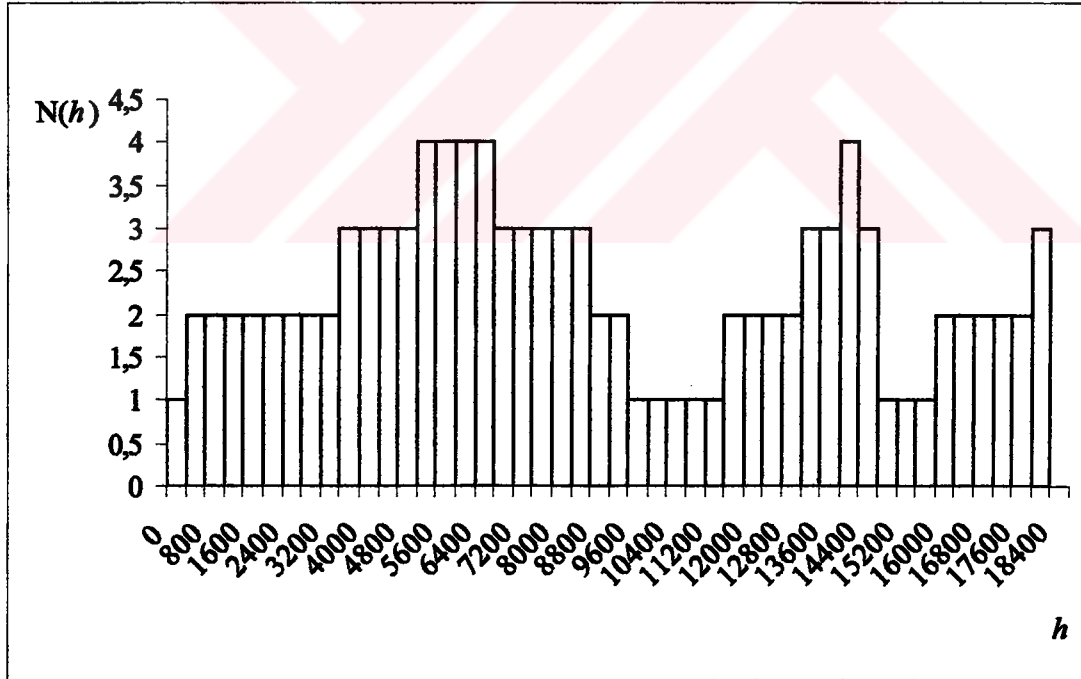
Tablo 4.6 Fındıklı Akım Gözlem İstasyon Kesitindeki Hidrolik Parametre Değerleri

Hidrolik Parametreler	Sembol	Birim	Değer
Eğim	S	-	0.0276
Debi	q	m ³ /s	0.46
Hız	V	m ² /s	0.4
Alan	A	m ²	1.18
Derinlik	y	m	0.148
Genişlik	B	m	7.95

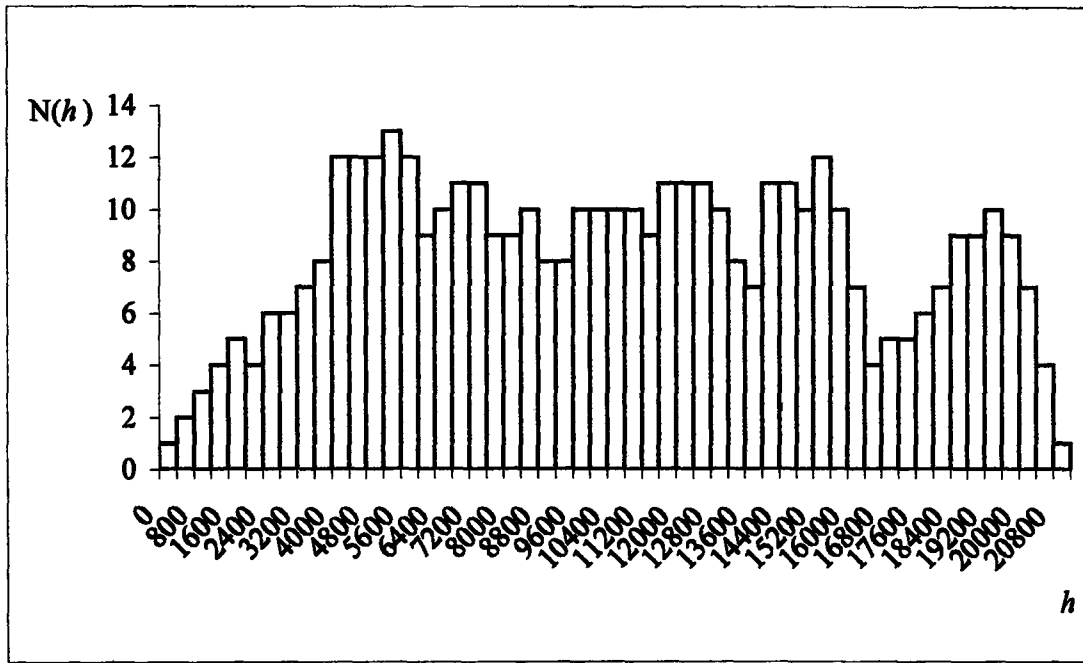
Yukarıdaki verilmiş olan akarsu ağına ait hidrolik parametre değerlerin bulunuşu bölüm 4.2.2’de anlatılmıştır. Bu hidrolik parametre değerlerinin havza boyunca sabit olduğu kabul edilecektir.

$\beta_1 = 0.585 \text{ m/s}$, $\beta_2 = 0.983 \text{ m}^2/\text{s}$ parametre değerlerine sahip (4.1) denklemi sadece bir akarsu parçasının çeşitli λ ve t değerlerinde havza çıkışındaki hidrolojik davranışlarını vermektedir. Akarsu ağındaki ana akarsu parçaları ve kuruyan akarsu parçaları eklendiğinde oluşan dallanmalar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Şekil 4.1’de gösterilmiş olan 18.7 km maksimum akarsu uzunluğuna sahip ana akarsu parçalardan oluşan akarsu ağının, havza çıkışından λ , $\lambda \in \{400, 800, \dots, 18400\}$, uzaklıktaki linklerin sayısını ($N(\lambda)$) Şekil 4.7’deki genişlik fonksiyonu ile gösterilmiştir. Şekil 4.2’de gösterilmiş 21.2 km maksimum akarsu uzunluğuna sahip kuruyan akarsu parçaları da ihtiva eden akarsu ağının, havza çıkışından λ , $\lambda \in \{400, 800, \dots, 21200\}$, uzaklıktaki linklerin sayısını ($N(\lambda)$) Şekil 4.8’deki genişlik fonksiyonu ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Ana Akarsu Parçaları için Genişlik Fonksiyonu

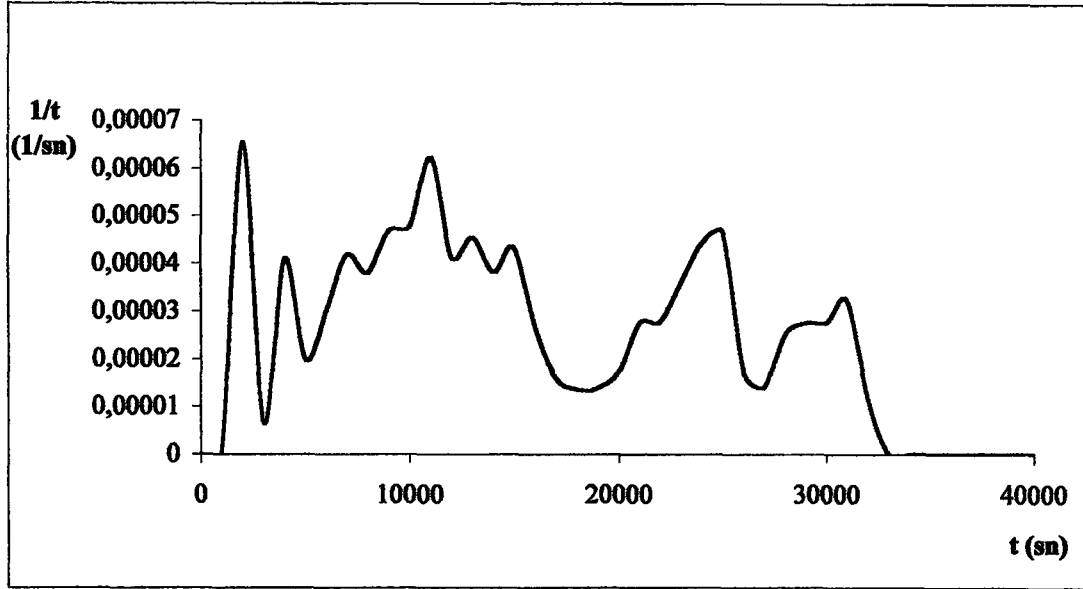


Şekil 4.8 Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Parçaları için Genişlik Fonksiyonu

Ana akarsu parçaları ve kuruyan akarsu parçalarını ihtiva eden akarsu ağlarındaki dallanmaların etkileri, havza çıkışındaki etki-tepki fonksiyonuyla beraber aşağıdaki (4.2) denklemle Difüzyon Ötelemesi yaklaşımıyla jeomorfolojik anlık birim hidrograf hesaplanmıştır.

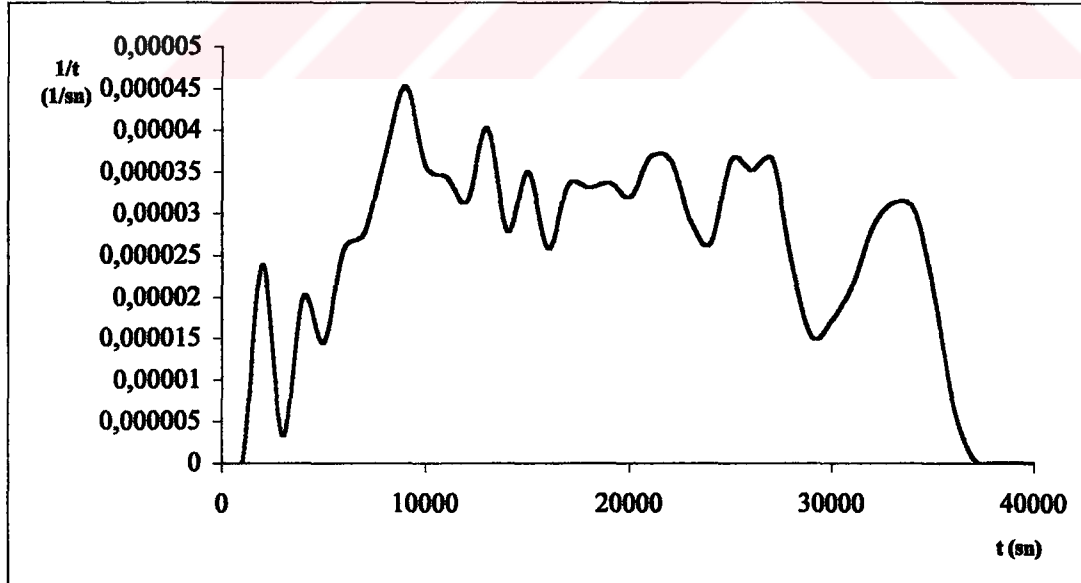
$$u(t) = \frac{\sum_{\lambda} h(\lambda, t) \cdot N(\lambda)}{\sum_{\lambda} N(\lambda)} \quad (4.2)$$

Ana akarsu parçaları için (4.2.) denkleminin hesabı yapılmış ve $u(t)$ jeomorfolojik anlık birim hidrograf Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Ana Akarsu Parçaları için Difüzyon Ötelemesi Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilmiş Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografi

Kuruyan akarsu parçaları ihtiva eden akarsu ağı için (4.2) denklemini kullanılmış ve $u(t)$ jeomorfolojik anlık birim hidrografi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

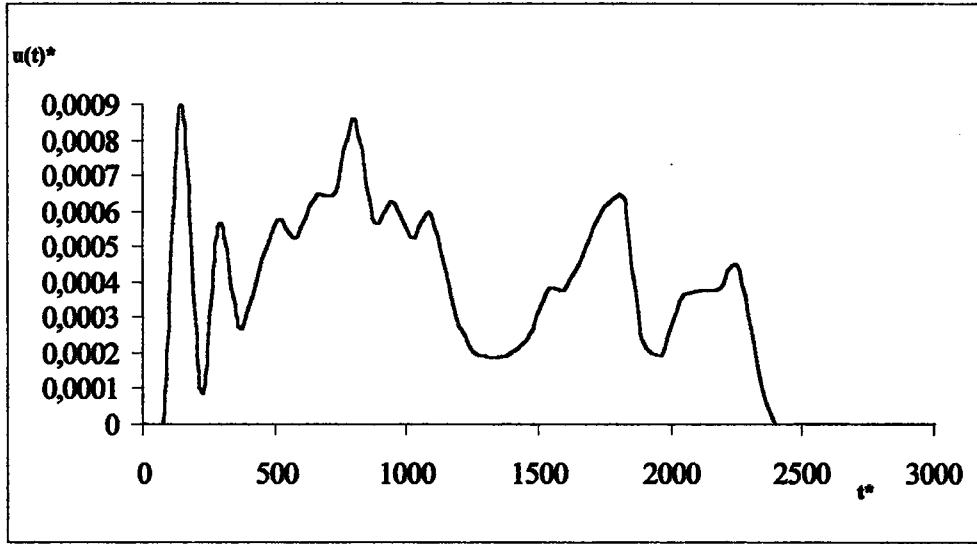


Şekil 4.10 Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Ağı için Difüzyon Ötelemesi Yaklaşımı Kullanılarak Elde Edilmiş Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografi

Boyutsuz zaman t^* , boyutsuz uzaklık λ^* ve boyutsuz hidrolojik tepki h^* ifadelerinde kullanılan hidrolik parametreler bölüm 4.2.2'de bulunmuştur. (4.3) denklemiyle elde edilen boyutsuz etki-tepki fonksiyonları boyutlu yaklaşımdakine benzer şekilde genişlik fonksiyonlarıyla birlikte ifade edilirse $u(t)^*$ boyutsuz jeomorfolojik birim hidrograf bulunmuş olur.

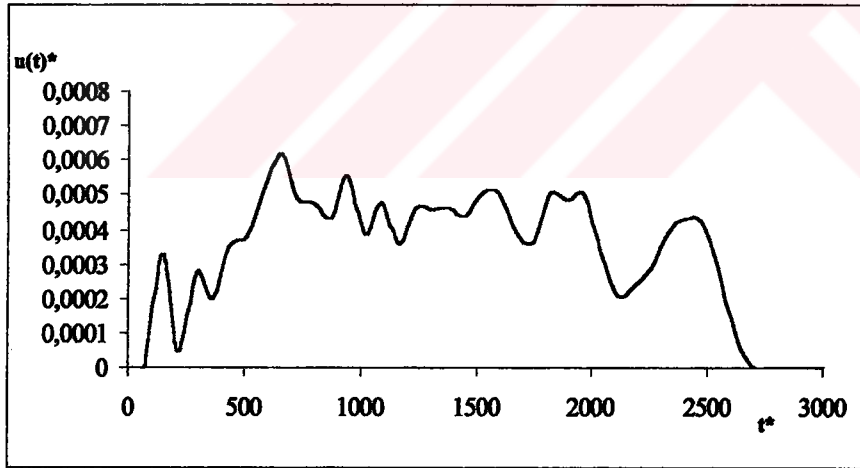
$$u(t)^* = \frac{\sum_{\lambda^*} h(\lambda^*, t^*) \cdot N(\lambda^*)}{\sum_{\lambda^*} N(\lambda^*)} \quad (4.4)$$

Ana akarsu parçaları için hesaplar (4.4) formülü kullanılarak yapılmış ve $u(t)^*$ boyutsuz anlık birim hidrografi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



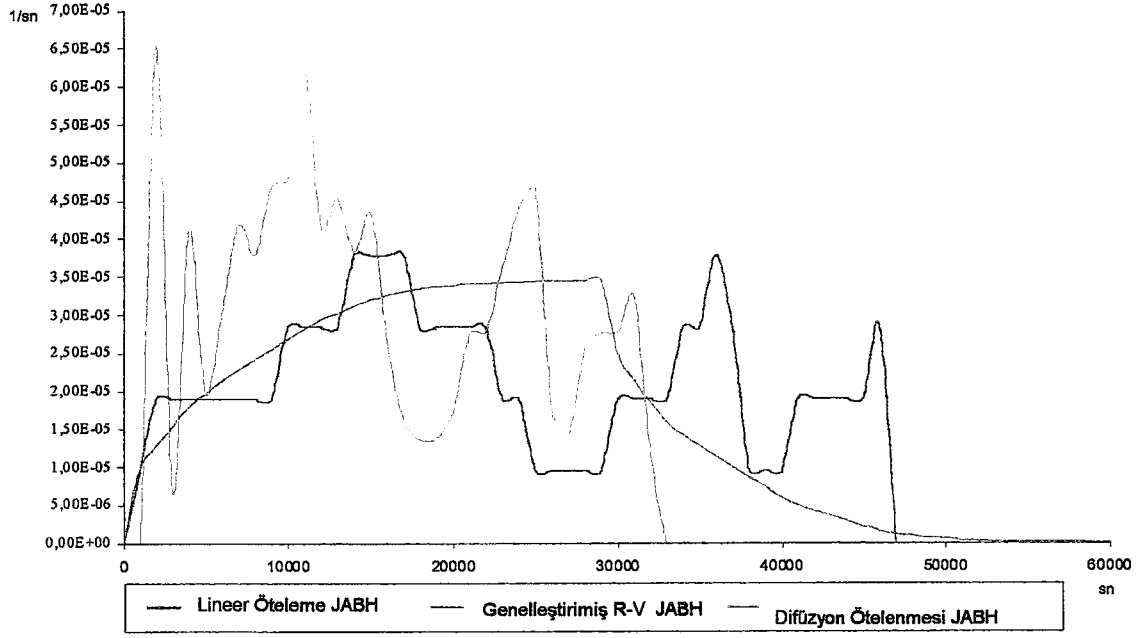
Şekil 4.11 Ana Akarsu Parçalarından Oluşan Akarsu Ağı için Difüzyon Ötelemesi Yöntemiyle Elde Edilen Boyutsuz Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf

Kuruyan akarsu parçaları ihtiva eden akarsu ağı için boyutsuz anlık birim hidrograf hesaplar (4.4) formülü kullanılarak yapılmış ve $u^*(t)$ boyutsuz anlık birim hidrografi da Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

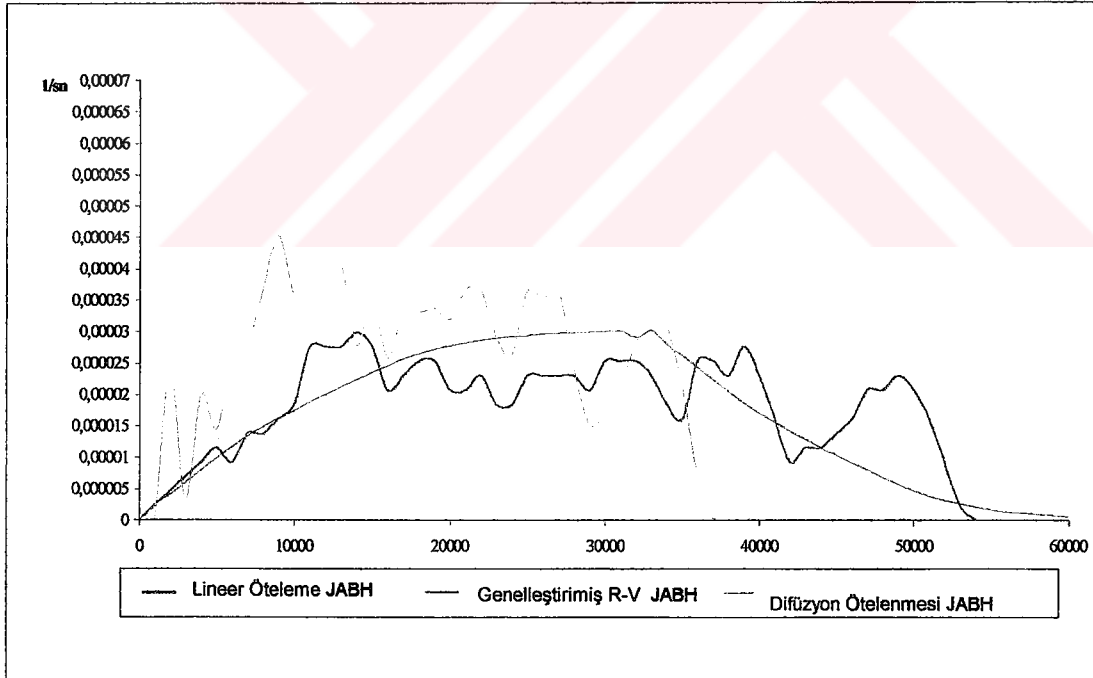


Şekil 4.12 Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Ağı için Difüzyon Ötelemesi Yöntemiyle Elde Edilen Boyutsuz Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograf

Uygulanan Genelleştirilmiş R-V, Lineer Öteleme ve Difüzyon Ötelemesi yaklaşımlarının sonucu elde edilen jeomorfolojik anlık birim hidrograflar akarsu ağının iki farklı konfigürasyonu için Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’da toplu olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Ana Akarsu Parçalarından Oluşan Akarsu Ağı için Genelleştirilmiş R-V, Lineer Öteleme ve Difüzyon Ötelenmesi Yaklaşımları Sonucu Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografların Birlikte Gösterimi



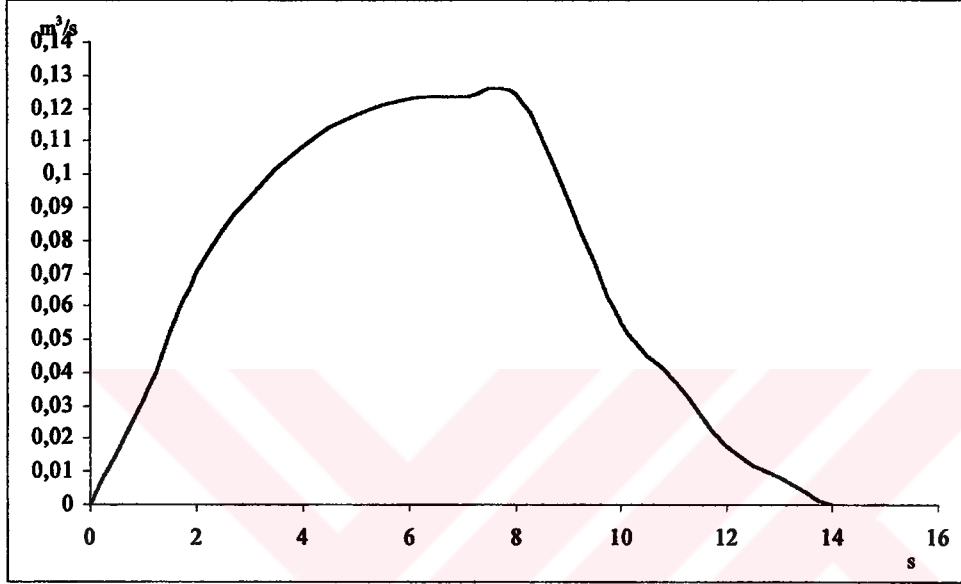
Şekil 4.14 Kuruyan Akarsu Parçaları İhtiva Eden Akarsu Ağı için Genelleştirilmiş R-V, Lineer Öteleme ve Difüzyon Ötelenmesi Yaklaşımları Sonucu Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrografların Birlikte Gösterimi

4.3 Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograftan Birim Hidrografın Elde Edilmesi

Ana akarsu parçaları için Genelleştirilmiş R-V yaklaşımı yardımıyla ana akarsu parçaları için bulunan ve Şekil 4.2’de gösterilen jeomorfolojik anlık birim

hidrografın $U(t) = \frac{1}{t_0} \int_{t_0}^t h(\tau) d\tau$ denklemini kullanılarak elde edilen 1 saatlik U(t)

birim hidrograf Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Ana Akarsu Parçalardan için Genelleştirilmiş R-V Yaklaşımı Yardımıyla Elde Edilen Jeomorfolojik Anlık Birim Hidrograftan, Birim Hidrografa Geçilmesi

5. SONUÇLAR

Sohu Deresi-Fındıklı Araştırma Havzasında yapılan çalışmalarda akarsu ağının dallanma oranı R_B ; ana akarsu parçaları için 3.5, yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendiğinde 3.24 bulunmuştur. Akarsu ağının uzunluk oranı R_L ; ana akarsu parçaları için 2.33, yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendiğinde 1.96 bulunmuştur. Bu değerlerinin Horton yasalarında verilmiş olan $3 < R_B < 5$ ve $1.5 < R_L < 3.5$ sınırları içinde kaldığı belirlenmiştir.

Ana akarsu parçaları ve yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklendiğinde oluşan iki farklı akarsu ağı konfigürasyonu üzerine enjekte edilmiş anlık ve üniform yağışın havza çıkışında oluşturacağı hidrolojik davranışı, havzanın temel jeomorfolojik karakteristiklerini ve ortalama hidrolik parametrelerini kullanan Genelleştirilmiş R-V yaklaşımı, Lineer Öteleme yaklaşımı ve Difüzyon Ötelemesi yaklaşımları yardımıyla çeşitli jeomorfolojik anlık birim hidrograflar bulunmuştur. Bulunan bu jeomorfolojik anlık birim hidrografların her üçü iki farklı akarsu ağı konfigürasyonu için Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de ayrı ayrı gösterilmiştir.

Ana akarsu parçaları için uygulanan Difüzyon Ötelemesi ve Lineer Öteleme yaklaşımlarında alçalma ve yükselme eğrileri belirli bir t zamanı ötelenmesi olmasına rağmen benzerlik arz etmektedir. Bu benzerlik havzanın link sayılarının dağılımının her iki yaklaşımda da etkin olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Şekillerdeki ani yükselme ve alçalmaların nedeni havza alanının küçüklüğü ve akışa katkısı olan yaz aylarında kuruyan akarsu parçaları eklenmediğinden, akarsu ağı üzerine etkiyen yağışın havza çıkışındaki tepkisini daha kısa sürede ve daha çok miktarda vermesidir.

Genelleştirilmiş R-V yaklaşımı kullanılarak elde edilmiş jeomorfolojik anlık birim hidrograf her ne kadar tek pikli bir anlık birim hidrografa daha çok benzese de, akarsu ağındaki link sayılarının dağılımının etkisinin katılmaması nedeniyle yükselme eğrisinde Lineer Öteleme yaklaşımları kullanılarak elde edilmiş jeomorfolojik anlık birim hidrografla gösterdiği uyum havza çıkışından akış yönünde

artan dallanma nedeniyle bozulmuştur. Bu da , yalnız Strahler mertebelendirme yöntemi ile mertebelendirilmiş akarsu parçalarının tutulma zamanlarından hesaplanan tutulma zamanları olasılık yoğunluk fonksiyonunun, havzanın tutulma zamanını yeteri derecede ifade etmediğini göstermektedir. Genelleştirilmiş R-V yaklaşımında kullanılan başlangıç koşulları için yapılan kabuller yaklaşımın sonuçları üzerinde azda olsa etkisi olduğu düşünülmektedir.

Difüzyon Ötelemesi yaklaşımında, Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzası boyunca ana su eğiminin 0.0276 gibi yüksek bir değer olması, bununla birlikte hidrolik parametrelerin havza çıkışındaki Fındıklı Akım Gözlem İstasyonunda ölçülen ortalama debiye bağlı olarak havza boyunca sabit alınması yaklaşımlar arasındaki farklılığa sebep olmuştur.

Yaz aylarında kuruyan akarsu parçalarının eklenmesiyle oluşan konfigürasyona uygulanan Genelleştirilmiş R-V yaklaşımı, Lineer Öteleme yaklaşımı ve Difüzyon Ötelemesi yaklaşımlarının sonuçları yukarıda anlatılan ana akarsu parçaları için elde edilmiş jeomorfolojik anlık birim hidrograf sonuçlarına benzemektedir. Ancak akarsu ağındaki kaynak sayısının artması nedeniyle linklerin ve düğüm noktalarının artması, dallanmanın artması, akarsu ağının mertebesinin artması, akarsu parçalarının uzunluğunun artması sonucu anlık ve üniform enjekte edilmiş yağışın havza çıkışına varış zamanı uzamıştır. Varış zamanındaki bu uzama bir başka deyişle tutulma zamanlarının artması sonucu, uygulanan üç farklı yaklaşımdan elde edilen jeomorfolojik anlık birim hidrograf değerleri birbirine yaklaşmış ve süreleri uzamıştır. Ancak havzanın küçüklüğünden ve link boylarının kısıklığından kaynaklanan ani yükselme alçalmalar devam etmiştir.

Kirshen ve Bras (1983) ve Oğuz (1999) çalışmalarında belirttikleri gibi jeomorfolojik anlık birim hidrografın pik değerleri ile kaynak sayısı ters orantılıdır. Kaynak sayısındaki artış pik değerleri düşürmektedir. Ayrıca Genelleştirilmiş R-V yaklaşımlarında görüldüğü gibi pik zamanı kaynak sayısı artıkça artmaktadır. Ancak Lineer Öteleme yaklaşımı ve Difüzyon Ötelemesi yaklaşımlarda bu bağlantı gözlenmemiştir.

KAYNAKLAR

- Bayazıt, M., 1999. Hidroloji, İ.T.Ü, İstanbul.
- Bras, R.L. ve Kirshen, D.M., 1983. The linear channel and its effect on the geomorphologic IUH, *Journal of Hydrology*, 65, 175-208
- Chow, V.T., 1964. Handbook of Applied Hyrology, McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Feller, W., 1971. An Introduction to Probability Theory and Its Applications, vol. 2, John Wiley, Newyork
- Gupta, V.K., Waymire, E. ve Wang, C.T., 1980. A Representation of an Instantaneous Unit Hydrograph of Geomorphology, *Water Resources Research*, 16, 855-862
- Gupta, V.K. ve Waymire, E., 1983. On the formulation of an analytical approach to hydrolojic response and similarity at the basin scale, *Journal of Hydrology*, 65, 95-123
- Harita Genel Komutanlığı, 1987. *Türkiye topografik haritası*, Ölçek 1:100.000, Pafta Bolu G29, Harita Genel Komutanlığı, Ankara
- Harita Umum Müdürlüğü, 1958. *Türkiye topografik haritası*, Ölçek 1:25.000, Paftalar: Bolu G29-c1-c4-d2-d3, Harita Genel Komutanlığı, Ankara
- Mermer, H., 1997-1999. 1253 Sohu Deresi Fındıklı Araştırma Havzası, EİE İdaresi Çalışma Raporu, Ankara, Türkiye
- Oğuz, B., 1994. An approach to derivation of the instantaneous unit hydrographs of a topologically random channel network, Procs of NATO ASI Defence from Flood and Floodplain Management, 235-240

- Oğuz, B.**, 1999. Mean instantaneous unit hydrographs of random channel network,
Turkish Journal of Engineer and Environmental Sciences
- Rodriguez-Iturbe, I. ve Valdez, J.B.**, 1979. The geomorphologic structure of
hydrologic response, *Water Resources Research*, **15**, 1409-1420
- Schumm, S.A.**, 1979. Evolution of drainage systems and slopes in badland a Perth
Amboy, *Geo. Society of Amer. Bul.*, **67**, 597-646
- Singh, P.V.**, 1992. Elemantary Hydrology, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Smart, J.S.**, 1972. Channel network, *Advances in Hydroscience*, **8**, 305-346
- Troutman, B.M. ve Karlinger, M.R.**, 1985. Unit hydrograph approximations
assuming linear flow through topologically random channel networks,
Water Resources Research, **21**, 743-754

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Adana’da doğan Arif Yusuf IŞIK, ilköğrenimini Van İrfan Baştuğ İlkokulu, ortaöğrenimini ve lise öğrenimini Ankara Atatürk Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. 1999 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Su Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

