



**NİLÜFER BARAJ HAVZASI İÇİN SENTETİK BİRİM
HİDROGRAF VE HAVZA PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Béré Benjamin BANTCHINA



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NİLÜFER BARAJ HAVZASI İÇİN SENTETİK BİRİM HİDROGRAF VE
HAVZA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Béré Benjamin BANTCHINA

Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2018

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Béré Benjamin BANTCHINA tarafından hazırlanan “Nilüfer Baraj Havzası için Sentetik Birim Hidrograf ve Havza Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU

Başkan : Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU

Bursa Uludağ Üniversitesi

Ziraat Fakültesi,

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Şerife Tülin AKKAYA ASLAN

Bursa Uludağ Üniversitesi

Ziraat Fakültesi,

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ünal KIZIL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Ziraat Fakültesi,

Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

03./07/2018

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

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

beyan ederim.

03/07/2018



Béré Benjamin BANTCHINA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NİLÜFER BARAJ HAVZASI İÇİN SENTETİK BİRİM HİDROGRAF VE HAVZA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Béré Benjamin BANTCHINA

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU

Su havzaları üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda en zorlayıcı unsurlardan birisi, havzaya ilişkin verilerin temin edilmesidir. Temininde güçlük çekilen verilerin en önemlileri, yağış ve akım değerleridir. Havzayı temsil edecek yağış gözlem istasyonlarından, istenilen aralıkta ve sürede yağış gözlemleri yapılmış olması, çok değerli veri setini oluşturmaktadır. Bunun yanında, havzada akım gözlem istasyonlarından yapılacak ölçümlerin de istenilen aralıkta ve sürede olmasına gereksinim duyulmaktadır. Türkiye’de her havzada bu verilerin ölçümü mümkün olmayabilir. Bu durumda, havza çalışmalarında bu ölçüm değerlerinin hepsine gereksinim duymayan sentetik yöntemler hidrolojide kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın yürütüldüğü, Nilüfer Barajı havzasında akım gözlem değerleri saatlik olarak ölçülmekte ancak havzada DSİ tarafından gerçekleştirilen yağış ölçüm değerleri günlük toplam olarak kayıt edilmektedir. Yağışın günlük toplam şeklinde ölçülmesi nedeniyle, saatlik yağış şiddetini veren hiyetograf elde edilememektedir. Bu çalışmanın amacı, Nilüfer Baraj havzası karakteristiklerini bulmaktır. Veri yetersizliği nedeniyle, sentetik birim hidrograf yöntemleri kullanılmıştır. Sentetik birim hidrograf oluşturmasında kullandığımız yöntemler, DSİ sentetik, Mockus ve Snyder yöntemleridir. Çalışma sonunda bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidroloji, sentetik birim hidrograf, su havzası

2018, viii + 61 Sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF WATERSHED PARAMETERS AND SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH FOR NİLÜFER DAM WATERSHED

Béré Benjamin BANTCHINA

Bursa Uludağ University

Graduate School of Naturel and Applied Sciences

Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU

In a watershed study, one of the most challenging aspects is to provide watershed data. The most important of these data are precipitation and current values. The rainfall observation stations, which will represent the basin, constitute a very valuable dataset, where rainfall observations have been made within the desired interval and time. Also, it is necessary that the measurements to be made from the water flow monitoring stations of the watershed are in the desired range and duration. In Turkey, these data may not be measured in each watershed. In this case, the synthetic methods that do not require all of these measurement values are used to determine basic characteristics.

For this study, current observational values are measured hourly in the Nilüfer Dam basin, but rainfall values in the watershed rainfall station are measured as total values on the daily basis. Since precipitations are measured as the daily total, the hourly precipitations intensity may not be obtained. For this purpose, synthetic hydrograph methods have been used in the study to find the characteristics of the Nilüfer Dam watershed. DSİ synthetic, Mockus and Snyder methods are used in the formation of hydrographs. At the end of the study, the results obtained with these methods were evaluated and compared.

Key Words: Hydrology, synthetic unit hydrograph, watershed

2018, viii + 61 Pages.

TEŞEKKÜR

Bütün çalışmalarında, tez konusu seçiminde, değerli bilgi, tecrübeleri ve katkılarıyla beni yönlendiren ve yol gösteren, gerekli araştırma ve geliştirme çabalarında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Kemal Sulhi GÜNDOĞDU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bölümümüzün değerli tüm öğretim üye ve elemanlarına, her türlü yardım için en içten teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca bana her zaman yanımda olan bu uzun ve yorucu süreçte bana güvenmekten vazgeçmeyen ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli Aileme teşekkür ediyorum.

Béré Benjamin BANTCHINA

03/07/2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Hidrograf	3
2.2. Hidrografın Elemanları.....	4
2.3. Birim Hidrograf	5
2.4. Birim Hidrograf Elde Edilişi	8
2.4.1. Gözlemlerden birim hidrograf elde edilmesi.....	8
2.4.2. Farklı süreli birim hidrograflar	8
2.4.3. Anlık birim hidrograf	10
2.4.4. Sentetik birim hidrografların elde edilmesi.....	11
2.4.5. Sentetik birim hidrograf elde edilmişinde kullanılan yöntemler	11
2.6. Birim Hidrograf Üzerine Bazı Çalışmalar.....	12
2.7. Havza Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal.....	17
3.1.1. Araştırma alanının yeri ve konumu.....	17
3.1.2. İklim özellikleri.....	18
3.1.3. Bitki örtüsü	18
3.1.4. Arazi kullanımı	19
3.1.5. Toprak kaynakları	19
3.1.6. Çalışmada kullanılan veriler	20
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi desteği ile havza karakteristiklerinin belirlenmesi	20
3.2.2. DSİ Sentetik metodu	26
3.2.3. Mockus metodu.....	27
3.2.4. Snyder metodu	29

4. BULGULAR	31
4.1. Nilüfer Baraj Havzası Karakteristikleri.....	31
4.1.1. Çukurları doldurma (Fill Sinks).....	32
4.1.2. Akım yönü belirleme (Flow Direction).....	33
4.1.3. Kümülatif akım hesaplama (Flow Accumulation).....	34
4.1.4. Nehir tanımlama (Stream Definition)	35
4.1.5. Nehir bölümlenme (Stream Segmentation)	35
4.1.6. Su toplama alanı oluşturma (Catchment Grid Delineation)	36
4.1.7. Su toplama alanını poligonlama (Catchment Polygon Processing).....	37
4.1.8. Bitişik su toplama alanı belirleme (Adjoint Polygon Processing).....	38
4.1.9. Drenaj çizgilerini belirleme (Drainage Line Processing).....	39
4.1.10. Havza işleme (Watershed Processing)	40
4.2. DSİ Sentetik Metodu ile Birim Hidrografının Elde Edilmesi	43
4.3. Mockus Metodu ile Birim Hidrografının Elde Edilmesi.....	48
4.4. Snyder Metodu ile Birim Hidrografının Elde Edilmesi	51
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

cm	Santimetre
ha	Hektar
km	Kilometre
km ²	Kilometrekare
lt	Litre
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
sa	Saat
sn	Saniye

Kısaltmalar

Açıklama

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
BH	Birim Hidrograf
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CN	Curve Number
DEM	Digital Elevation Model
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
HEC-GeoHMS	Hydrologic Engineering Center-Geospatial Hydrologic Modeling System
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
SCS	Soil Conservation Service
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tekil hidrograf ve hiyetograf.....	3
Şekil 2.2. Hidrograf elemanları	4
Şekil 2.3. Birim hidrograf grafiği	6
Şekil 2.4. Kaydırma metodu (URL 2).....	9
Şekil 2.5. S-Hidrografi grafiği (URL 3).....	10
Şekil 3.1. Araştırma alanının yeri ve konumu	17
Şekil 3.2. Nilüfer Baraj havzasında arazi kullanımını durumu	19
Şekil 3.3. Boşlukların doldurulması	21
Şekil 3.4. Su akış yönü.....	22
Şekil 3.5. Akım yönlerini gösteren sayılar ve yönleri	22
Şekil 3.6. Su akım yönünü ifade eden sayılar ve yönleri.....	23
Şekil 3.7. Kümülatif akım yönü.....	24
Şekil 4.1. Nilüfer Baraj havzası sayısal yükseklik modeli.....	31
Şekil 4.2. Çukurları doldurma	32
Şekil 4.3. Su akış yönü.....	33
Şekil 4.4. Kümülatif akım değerleri şeması	34
Şekil 4.5. Nehir kolları.....	35
Şekil 4.6. Akış yolu seviyelendirme (bölümlendirme)	36
Şekil 4.7. Su toplama alanlarının oluşturulması.....	37
Şekil 4.8. Su toplama alanını poligonlama.....	38
Şekil 4.9. Bitişik su toplama alanları	39
Şekil 4.10. Drenaj çizgileri ile su toplama alan sınırları.....	40
Şekil 4.11. Havza işleme	41
Şekil 4.12. Nilüfer Baraj havzası karakteristikleri.....	42
Şekil 4.13. SCS boyutsuz birim hidrograf için yüzey akış grafiği	44
Şekil 4.14. Nilüfer Baraj havzası için DSİ sentetik metodu ile elde edilmiş birim hidrograf.....	48
Şekil 4.15. Nilüfer Baraj havzası için Mockus metodu ile elde edilmiş birim hidrograf.....	50
Şekil 4.16. Verime göre birim hidrograf genişliği.....	52
Şekil 4.17. Nilüfer Baraj havzası için Snyder metodu ile elde edilmiş birim hidrograf.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Değişik birim hidrograf yöntemlerinde kullanım kriterleri	12
Çizelge 3.1. Bursa İli uzun yıllık iklim parametreleri (1926-2016)	18
Çizelge 4.1. Nilüfer Baraj havzasına bağlı sayısal değerler.....	42
Çizelge 4.2. Harmonik eğim hesabı.....	43
Çizelge 4.3. DSİ sentetik metot boyutsuz birim hidrograf koordinatları.....	46
Çizelge 4.4. DSİ sentetik metotla hesaplanmış birim hidrograf koordinatları.....	47
Çizelge 4.5. Zemine bağlı katsayılar	51



1. GİRİŞ

Yaşam için vazgeçilmez bir doğal kaynak olan su, sosyo-ekonomik kalkınmanın ve sağlıklı ekosistemlerin korunmasının anahtarıdır. Artan nüfus ile birlikte, tarım ve endüstri sektörünün yeraltı ve yüzey sularına olan talepleri ve su kaynakları üzerinde baskıları artmaktadır. Su kaynaklarının planlanması ve yönetimi bu nedenle önem kazanmaktadır. Son yıllarda, iyi su yönetiminin sağlanması için entegre havza yönetimi konusunda çalışmalar artmaktadır. Entegre su havzası yönetimi kapsamında, su temini, su kalitesi kontrolü, niceliksel su ile ilgili risk yönetimi, sediment kontrolü, biyoçeşitliliğin korunması ve rekreasyon faaliyetleri ele alınmaktadır.

Yeryüzündeki nüfus artışına bağlı olarak yerleşim yerlerinin, endüstriyel tesislerin artışı ve bununla birlikte doğaya olan müdahalelerin artışıyla, küresel iklim değişikliğinin de etkisiyle taşkınlar insanoğlu için her geçen gün daha büyük bir risk haline gelmektedir (Dilley 2005). Genellikle, taşkınlar dünya üzerindeki çoğu ülkenin en çok karşı karşıya kaldığı ve en çok hasara sebep olan doğal afetlerdir. Sel, akarsuyun yatağından taşarak, tarımsal arazilere, yerleşim yerlerine, çeşitli tesislere ve canlılara zarar verecek akış büyüklüğüne ulaşmış şeklidir (Uşkay ve Aksu 2002).

Taşkın alanlarının ve bu alanlardaki taşkına maruz kalacak bölgelerin hassas olarak tahmin edilmesi taşkın zararlarını en aza indirebilmek açısından hayati bir konudur. Türkiye’de, Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre taşkınların tüm hidrometeorolojik afetler içerisindeki oranı 1967-1987 yılları arasında %33 dolaylarında iken, 1998-2008 yılları arasındaki oranı %14 dolaylarına kadar gerilemiştir. Uzun süreli aşırı ve şiddetli yağışlardan sonra özellikle fazla eğimli ve geçirimsiz topraklarda taşkın olayı meydana gelmektedir (DMİ 2016).

Gerekli tedbirlerin alınabilmesi için havzalarda uzun süreli yağış ve akım ölçümlerinin yapılması, havza yağış akım ilişkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bazı havzalarda, değerlendirme için yeterli veri temin edilememektedir. Bu durumda, sentetik birim hidrograf yöntemleri kullanılarak değerlendirilmenin yapılması sağlanmaktadır.

Bu alışmada, Bursa Nilüfer Baraj havzası için sentetik birim hidrograf ve coğrafi bilgi sistemi teknikleri kullanılarak havza parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle Nilüfer Baraj havza sınırını belirlemek için ArcGIS coğrafi bilgi sistemi yazılımı ve ArcHydro eklentisi kullanılmıştır.

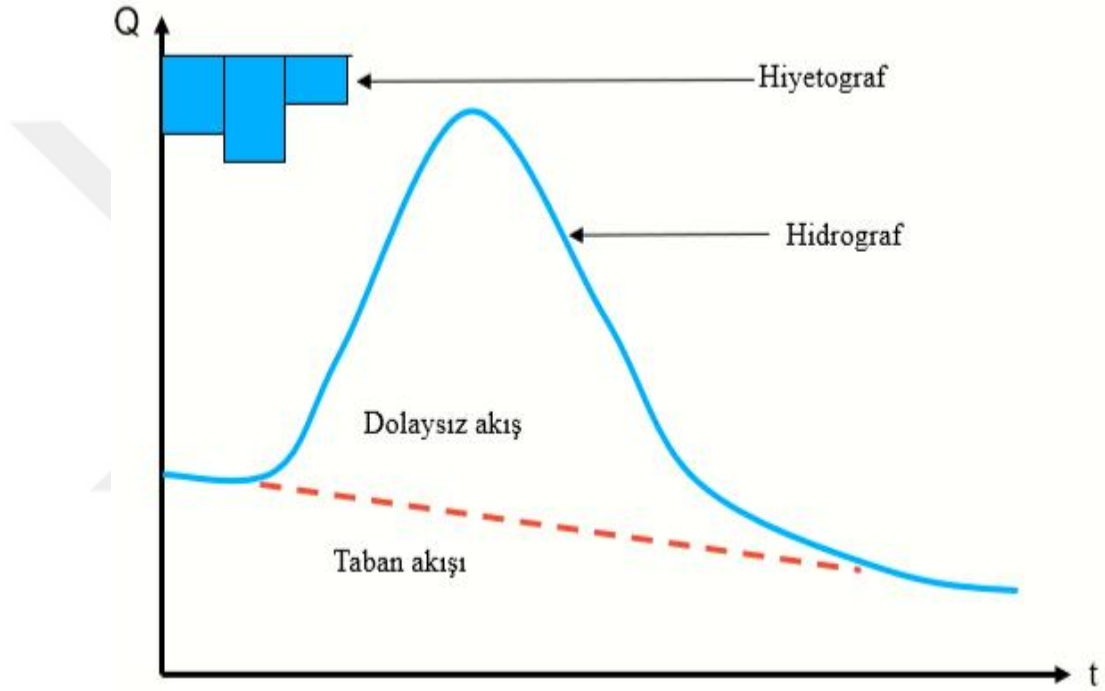
Çalışmada, DSİ sentetik, Mockus ve Snyder sentetik yöntemleri uygulanmıştır. Birim hidrograf elemanları olarak, toplanma süresi, birim hidrograf pik debisi, birim hidrografın taban süresi gibi parametreler belirlenmiştir. Çalışma sonunda bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hidrograf

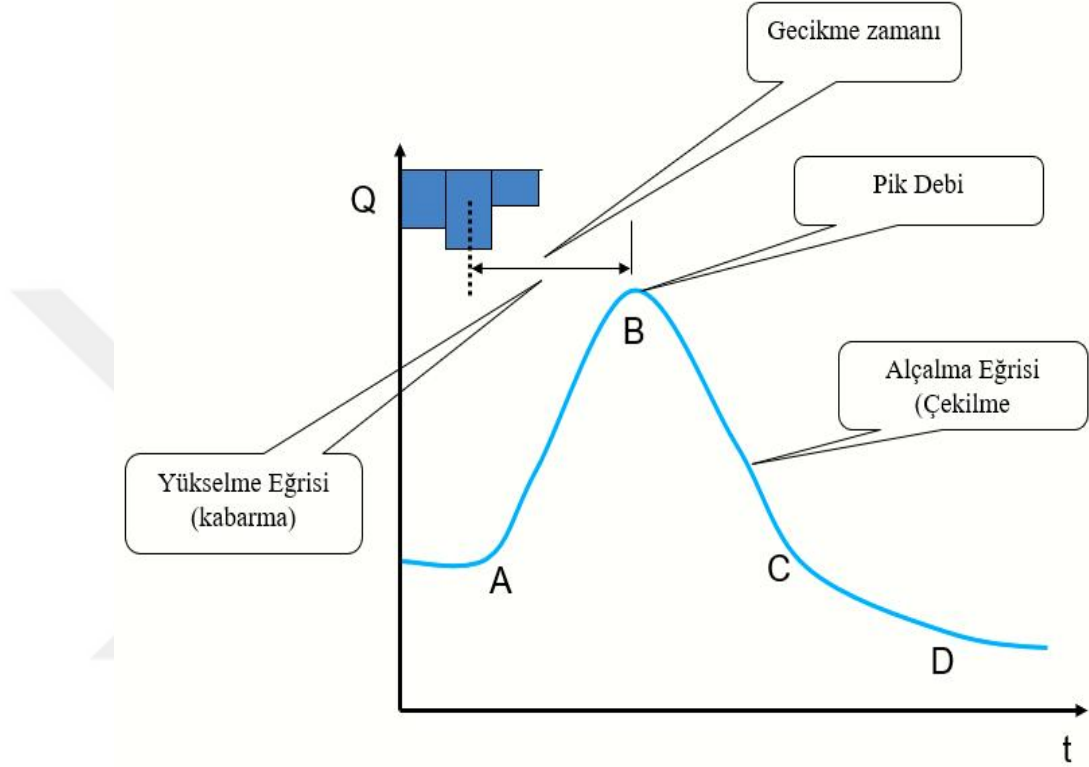
Bir akarsuyun belli bir kesitinden geçen debinin zamanın bir fonksiyonu olarak çizilen grafiğe hidrograf denir (Şekil 2.1). Genelde, hidrograf analizlerinde debi birimi m^3/sn dir; kuk dereler için ise bu birim lt/sn olabilir.



Şekil 2.1. Tekil hidrograf ve hiyetograf

2.2. Hidrografın Elemanları

Tipik bir hidrograf simetrik olmayan bir çan şeklindedir ve üç parçadan meydana gelir. Bu parçalara yükselme eğrisi, tepe ve alçalma eğrisi adları verilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Hidrograf elemanları

a. Yükselme eğrisi

Yükselme eğrisi debinin yükselmeye başladığı A noktasından başlar ve AB eğrisi boyunca zamanla debi artar (Şekil 2.2). Bu kısma havza özelliklerinin ve sağanağın karakterinin etkisi vardır. Havzada drenaj iyi, eğim fazla ise veya yağış şiddeti fazla ise yükselme eğrisi dik olur. Diğer taraftan yağış hızı az, süzülme hızı fazla veya havza eğimi az ise debi çok yavaş yükselir (Usul 2008).

b. Tepe noktası

Tepe kısmında meydana gelen en yüksek debiye pik debi veya maksimum debi denir. Yağış şiddetinin (birim zaman aralığında toplanan yağış miktarı) en az geçiş süresine eşit bir zaman boyunca değişmemesi halinde debi belli bir süre sonra sabit bir değerde kalmaktadır.

c. Alçalma eğrisi (Çekilme)

Tepe noktası ile hiyetografin ağırlık merkezi arasındaki zaman aralığına gecikme zamanı denir. Alçalma eğrisinin BD eğrisi boyunca, yeraltı suyu, yüzeyaltı suyu ve yüzeysel biriktirme gibi değişik depolamalardan su çekilmesine bağlıdır. Bu kısmın yüzeyden gelen BD bölümüne yüzey akım çekilme eğrisi denir ve tamamen havza yüzeyindeki depolamanın bir fonksiyonudur, sağanağın karakteriyle hiçbir ilişki yoktur (Usul 2008).

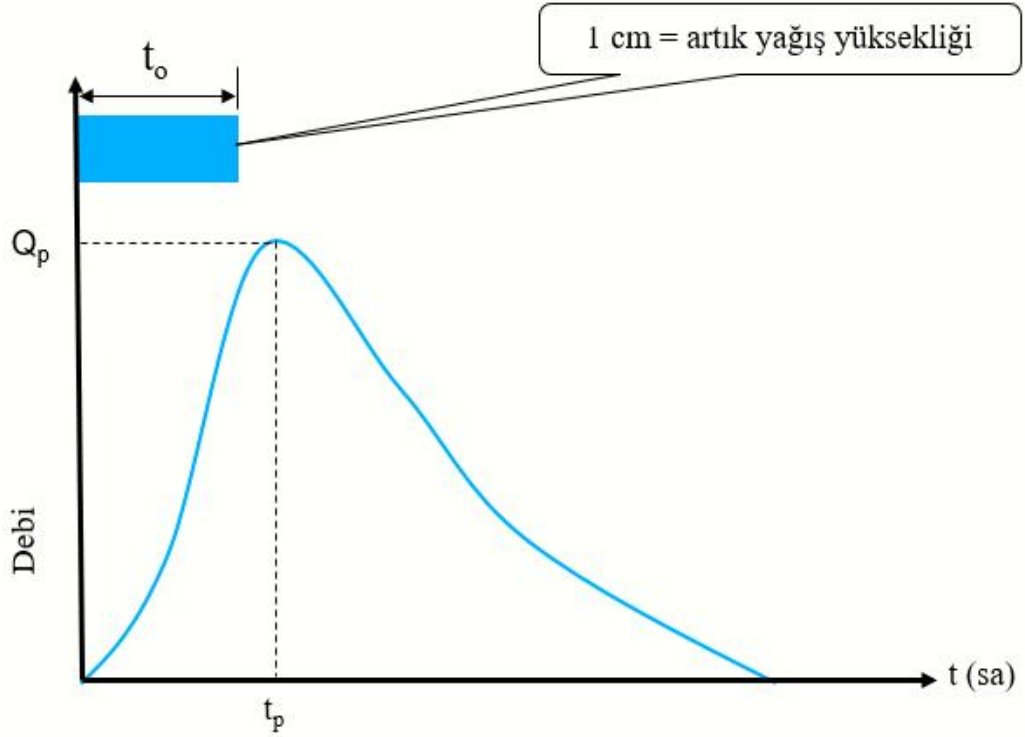
d. Gecikme zamanı

Yağış histogramında etkili yağış kısmının ağırlık merkezi ile pik debi arasındaki zamana gecikme zamanı t_L denir ve yağışın alanda ve zamanda dağılımına bağlıdır. Hidrografın başlamasından pik debinin oluşmasına kadar olan zaman pik zamanı veya pik erme zamanı t_p , yüzey akımın başlamasından bitimine kadar olan süreye de taban süresi t_b denir. Etkili yağışın süresi ise t_r ile ifade edilir (Usul 2008).

2.3. Birim Hidrograf

İlk kez Sherman (1932) tarafından birim hidrograf kavramı ortaya koyulmuştur. Birim hidrograf (BH), bir drenaj alanında belirli bir süre devam eden ve birim yükseklikte akış meydana getiren bir yağış fazlası (Yağış-kayıp)'nın meydana getirdiği hidroraftır. Birim hidrograf kurallarına göre, bir drenaj alanı üzerinde aynı süre devam eden iki yağış fazlasından biri diğerinin (n) katı ise, oluşan hidrografın ordinatları da diğerinin (n) katıdır. Böylece, aynı akış süresine ait çeşitli taşkın hidrografları etüt edilerek,

drenaj alanı birim hidrografı elde edilebildiği gibi: bilinen birim hidrograf yardımı ile belli bir yağıştan meydana gelecek taşkın hidrografı da çizilebilir (Özdemir 1978).



Şekil 2.3. Birim hidrograf grafiği

Birim hidrograf teorisinde Sherman (1932) tarafından ortaya koyulan beş kabul vardır:

1- Etkili yağış belli bir zaman süresince düzgün dağılmıştır.

Bir sağanak boyunca yağış şiddetinde meydana gelen büyük değişiklikler bu sağanaktan doğan hidrografın şeklini de çok fazla değiştirdikleri için, birim hidrograf teorisi düzgün şiddetli yağış kabulüne dayanır. Diğer taraftan yağış süresi uzadıkça da yağış şiddetinde değişimler görülür. Bundan dolayı birim hidrograf analizi yaparken kısa süreli yağışlar ele alınmalıdır.

2- Etkili yağış bütün havzaya düzgün olarak dağılmıştır.

Burada da havzanın küçük olması önemlidir; aksi halde havzanın her noktasının aynı yağış aldığı kabulü geçerli olmaz. Dolayısıyla birim hidrograf teorisi küçük havzalara

uygulanmalıdır ki yağışın alanda değişimi hidrograf şeklinde büyük değişimler meydana getirmesin. Genel olarak 500 km²'den daha büyük alanlar için birim hidrograf kullanılmamalıdır. Büyük havzalar alt havzalara bölünüp her biri için ayrı birim hidrograf bulunmalıdır.

3- Yüzeysel akımın taban süresi belli süreli yağışlar için sabittir.

Taban süresi baz akımı ayırma metoduna göre değişir, dolayısıyla bir havzanın sağanaklarının analizinde belli bir metod kullanılmalıdır. Genellikle yüzeysel akımı yüzeyaltı akımla birleştirilmezse taban süresi kısa, aksi takdirde uzundur.

4- Belli süreli bir sağanağın meydana getirdiği yüzey akım hidrografının ordinatları toplam yüzey akım miktarı veya sağanağın etkili kısmının derinliği ile doğru orantılıdır.

Bu kabul birim hidrograf teorisinin en önemli kabulüdür. Bu kabule, doğrusallık, oranlılık veya eklenebilirlik prensibi adları da verilir. Farklı süreli birim hidrograflar ve karmaşık sağanakların meydana getirdikleri toplam hidrograflar ancak bu prensip sayesinde bulunabilir, zira bu kabul hidrografların toplanabilmesini veya katsayılarla çarpılmasını mümkün kılar.

5-Birim hidrograf bir havza için tekdir.

Bu kabule göre belli süreli bir sağanak için havzanın birim hidrografı zamandan bağımsız olarak sabittir. Bu kabule zamandan bağımsızlık prensibi de denilir. Bu kabul en zayıf ve güç gerçekleşecek bir kabuldür. Daha önce de belirtildiği gibi bir havza için belli bir yağışın meydana getirdiği akımın birim hidrografı o havzanın birleşik bütün karakterlerini yansıtır. Ancak havzanın toprak özellikleri ve bitki örtüsü gibi bazı karakteristikleri en azından mevsimlerle değişmemesi beklenemez. Dolayısıyla hidrografın her zaman için aynı kalması mümkün değildir ve bu kabul sadece işleri kolaylaştırmak amacıyla yapılmaktadır (Usul 2008). Bu kabullerin tartışılmasından sonra özet olarak, birim hidrograf teorisi hidrolojik sistemin doğrusal ve zamandan bağımsız olduğunu gösterir (Dooge 1973).

2.4. Birim Hidrograf Elde EdiliŖi

2.4.1. Gözlemlerden birim hidrograf elde edilmesi

Gözlemlerden birim hidrograf elde edilebilmek için yaėıŖ ve akım rasatlarının mevcut olması gerekir. Bunun için aŖaėıdaki Ŗartlar gereklidir:

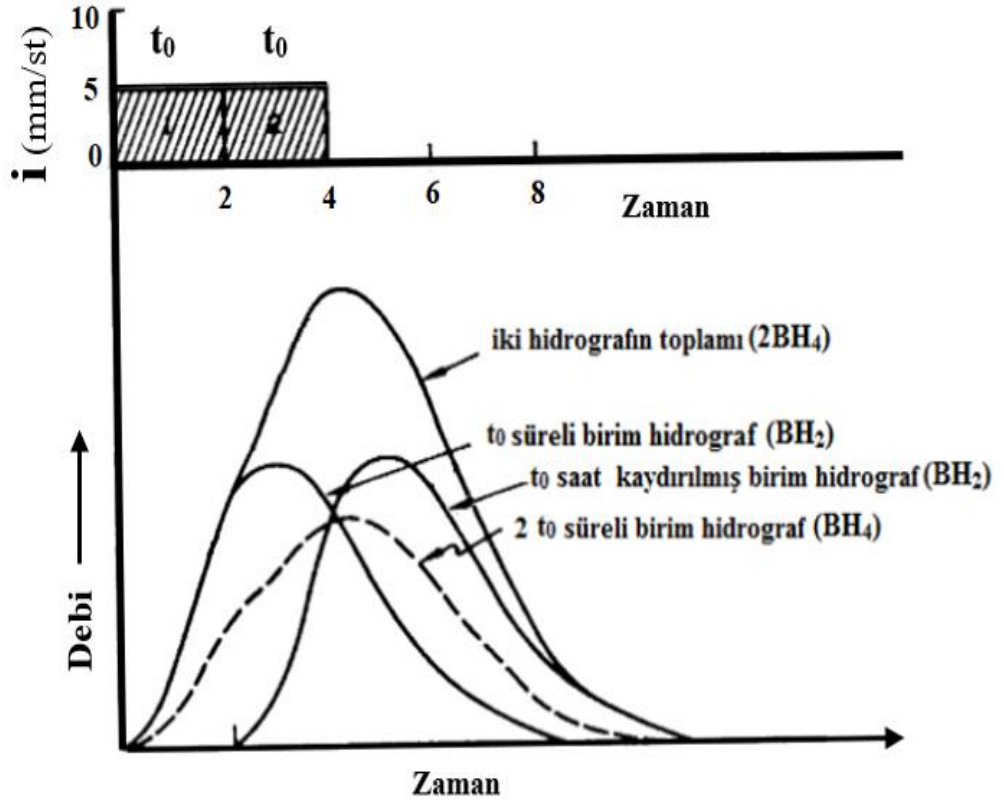
- BH çıkartılacak olan drenaj alanı mansabında, limnigrafla donatılmıŖ ve gözlemlerine güvenilebilir bir akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmalıdır,
- Drenaj alanı içerisindeki yaėıŖ istasyonlarının sıklık durumu ve plviyograf adedi yeterli olmalıdır,
- Drenaj alanı 5000 km²'den büyük olmamalıdır.

2.4.2. Farklı süreli birim hidrograflar

Havzaların belli bir süreli bir birim hidrografından istendiğinde, farklı süreli birim hidrograflar oluŖturulabilir. Bu iŖlemler için kaydırma ve S-eğrisi metotları kullanılabilir (Usul 2008).

a. Kaydırma metodu

Bir havzada $t_r = 2$ saat süreli 1 cm etkili olan sabit Ŗiddetli bir sağanak meydana geldiği kabul edilirse, bu sağanağın yarattığı birim hidrograf BH_2 'dir ve Ŗekil 2.4'de grldği gibi sıfır zamanında baŖlar. Bu sağanağın bitiminde tamamen aynı karakterde bir sağanak daha meydana gelse, o da bir BH_2 meydana getirir. Sadece ikinci BH_2 birinciden 2 saat sonra baŖlar. Bu iki birim hidrograf ordinatlarının toplam 2 cm su derinliği olan 4 saat süren bir sağanağın (arka arkaya meydana gelen iki sağanak bloğunun toplamı) hidrografını verir, dolayısıyla $2BH_4$ 'tür (Usul 2008).

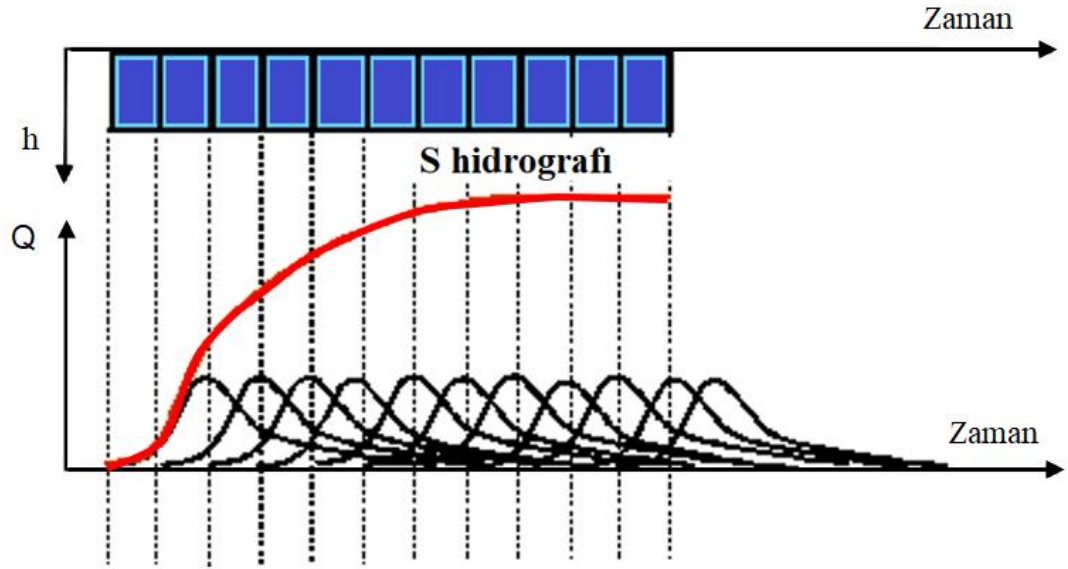


Şekil 2.4. Kaydırma metodu (URL 2)

Bir denklem şeklinde ifade edilirse; $BH_{t_0} + (t_0 \text{ saat kaydırılmış}) BH_{t_0} = 2BH_{2t_0}$

b. S- Eğrisi metodu

Herhangi bir birim hidrografın katı şeklinde olmayan birim hidrograf elde edilmesinde S-eğrisi yöntemi kullanılabilir. Belli bir havza için S-eğrisi, sabit hızlı ve sonsuza kadar devam eden bir etkili yağışın hidrografını tarif eder. Belli bir $1/t_r$ yağış hızı için S-eğrisi, t_r süreli birim hidrografların her biri t_r saat kaydırılarak sonsuz tanesinin eklenmesiyle elde edilir (Şekil 2.5). Tahmin edilebileceği gibi S-eğrisi hayali bir hidrograftır, ancak hidrograf analizi çalışmaları için çok faydalıdır (Usul 2008).



Şekil 2.5. S-Hidrografi grafiği (URL 3)

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi S-eğrisi belli bir süre sonra sabit bir değere ulaşan bir eklenik eğri şeklindedir. Sabit değere ulaştığı zaman havzanın toplanma süresi, havzanın tamamının yağışa cevap verip çıkıştaki akıma katkı verdiği t_c zamanına, tekabül eder. Bu andan itibaren havza dengededir ve ne kadar etkili yağış giriyorsa ona eşit miktarda akım havzayı terketmektedir.

2.4.3. Anlık birim hidrograf

Ani veya anlık birim hidrograf (ABH), birim hidrograf süresinin (etkili yağış süresinin) sifıra yaklaşmasıyla elde edilen limit durumdaki birim hidroraftır.

$$\lim_{t_r \rightarrow 0} BHt \rightarrow ABH \quad (2.1)$$

Başka bir deyişle ABH bir havzaya sıfır zamanda düşen birim derinlikte bir yağıştan meydana gelen hidroraftır.

Anlık birim hidrograf S-eğrisinden bulunabilir. S-eğrisi tekniği ile çok kısa süreli bir birim hidrograf bulunmasına benzeşim yapıldığında, ABH ordinatlarının S-eğrisinin eğiminin bir fonksiyonu olduğu anlaşılır.

$$ABH = t_r \frac{ds_{tr}}{dt} \quad (2.2)$$

Anlık birim hidrograf etkili yağış süresine bağımlı olmadığından birim hidroraftan daha kullanışlıdır. Aynı zamanda ABH, bir havzanın alan, şekil, eğim, toprak karakteristikleri ve bitki örtüsü gibi bütün özelliklerinin grafik bir gösterilişi olarak kabul edilebilir (Usul 2008).

2.4.4. Sentetik birim hidrografların elde edilmesi

Birim hidrograf teorisi oldukça kolay ve basit olduğu halde BH'nin bulunabilmesi için yağış verilerine ve bunlara tekabül eden akım verilerine ihtiyaç vardır. Birçok yerde akım ve yağış verilerini toplayan organizasyonlar farklıdır, dolayısıyla aynı sağınağa ait veri bulunmayabilir. Başka bir durumda, sağınak sırasında yağış ölçen aletler çalışmayabilir. Bazen sağınak öyle karışık olabilir ki hidrograf parçalarına ayrılıp analiz yapılmaz. Bu durumlarda birim hidrograf teorisi kullanılamaz ve benzer havzalardaki geçmiş gözlem ve tecrübelerle dayanarak bu havzanın hidrografının sentetik olarak bulunması gerekir (Usul 2008).

2.4.5. Sentetik birim hidrograf elde edilmesinde kullanılan yöntemler

Pik debi (Qp), 4 farklı yöntem ile hesaplanabilir. Havza alanları için drenaj alanı büyüklüğüne, toplanma ve yükselme sürelerine göre farklı hidrograflar kullanılabilir. Bu yöntemler ve tasarım kriterleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Rasyonel yöntem; havzadaki su toplanma süresine eşit sürede üniform yağış olduğu kabul edilir. Bu nedenle genellikle 1 km²'den küçük havzalar için kullanılır.

Havza içerisinde yağış değerleri değişkendir. Drenaj alanı, toplanma ve yükselme zamanına göre Mockus, Snyder ve DSİ sentetik yöntemlerine göre pik debi hesabı yapılabilir.

Çizelge 2.1. Değişik birim hidrograf yöntemlerinde kullanım kriterleri

Drenaj Alanı (km ²)	Tasarım Metodu	Toplanma ve Yükselme Zamanı
<1	Rasyonel Metot	Yok
1-10	Mockus	Tc < 30 sa.
10-1000	DSİ – Sentetik (SCS) Metodu	Tp > 2 sa
>1000	Snyder Metodu	Yok

BH grafiği, seçilen yöntemle göre değişiklik gösterebilir. Bazı yöntemlerde (örneğin, DSİ Sentetik) grafik, çan eğrisi şeklinde oluşurken bazı yöntemlerde (örneğin, Mockus) üçgen birim hidrografı oluşur.

2.6. Birim Hidrograf Üzerine Bazı Çalışmalar

Soykan (1972) yapmış olduğu çalışmada, Ankara Beytepe havzası için 0,1 saatlik birim hidrograf elemanlarını hesaplanmıştır. Havza alanı 3,10 km² ile pik debi $Q_p = 956$ L/s, $T_p = 0,5$ saat ve $T_b = 4,5$ saat olarak saptamıştır. Çalışma kapsamında, havza ve birim hidrograf karakteristiklerine bağlı elde edilmiş katsayılar $C_t = 0,263$ ve $C_p = 0,56$ olarak elde etmiştir.

Oğuz ve Balçın (2002), yapmış oldukları çalışmada Tokat-Zile-Akdoğan deresi havzasında 1987-2001 yıllarını kapsayan on beş yıllık dönemde Snyder ve Mockus yöntemleri kullanarak sentetik birim hidrografları belirlemiştir. Araştırma sonunda, birim hidrograf elemanlarını $Q_p = 1565$ L/sn; $T_p = 1,46$ saat; $T_b = 3,54$ saat ve havzaya ait katsayıları $C_t = 0,32$; $C_p = 0,993$ (Snyder metodu); $K = 0,320$ ve $H = 0,854$ (Mockus metodu) olarak saptamışlardır.

Sönmez ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada İstanbul İlinde seçilen 8 adet derenin taşkın debilerini hesaplanmışlardır. Taşkın debisi hesaplamalarında Snyder, Kirpich, Mockus ve SCS yöntemlerini kullanmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar sonunda Snyder yönteminin diğer yöntemlere göre daha büyük debi değerleri verdiği görülmüştür. Snyder yöntemi, Kirpich yöntemine göre %48-%55, Mockus yöntemine göre %88-%170 ve SCS yöntemine göre de %400 civarında daha büyük sonuçlar vermiştir.

Sule ve Alabi (2013), çalışmalarında Nijerya'nın Kwara Eyaletinde Awun Nehir havzası için birim hidrograf üretmek amacıyla Snyder, SCS ve Gray gibi sentetik birim hidrograf metotlarını kullanmışlardır. Bu metotlarda pik süreleri boyunca (16 saat ile 63 saat arasında değişmektedir), hidrograf pik debisi 100,15 ile 318,65 m³/sn arasında değişim göstermiştir. Çalışmada kullandıkları metotlara göre farklı sonuçlar elde etmişlerdir. Snyder ve SCS birim hidrograf metotlarının, birim hidrografın üretimi aşamasında bariz özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Alkan (2016) yürüttüğü çalışmada, küçük su havzaları hidrolojik modeli WinTr-55'in Bursa ili bazı sulama gölet havzalarına uygulanabilirliği araştırmıştır. Araştırmada DSİ sentetik, Rasyonel ve Mockus metotları ile bulunan taşkın debi değerleriyle WinTR-55 modelinin uygulanmasıyla bulunan taşkın debi sonuçlarını karşılaştırarak modelin gölet havzalarına uygulanabilirliği araştırılmıştır. Araştırmada incelenen on yedi havza içerisinde Kestel Ağlaşan-Kayacık Kızılcıklidere ve Gemlik Küçükkuşla gölet havzaları dışındaki on beş havzada WinTR-55 modelinin biraz daha büyük pik debiler tahminlemeye eğilimli olduğu görülmüştür.

2.7. Havza Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı

Coğrafi nesnelere içeren tüm sektörlerde, coğrafi bilgi sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Havza çalışmalarında, havza sınırlarının belirlenmesi, havza karakteristiklerinin belirlenmesi, havzaların görselleştirilmesi ve havza ile ilgili analizlerin yapılmasında coğrafi bilgi sistemleri kullanılmaktadır. Bu amaçla var olan coğrafi bilgi sistemi yazılımları ile çalışacak amaca yönelik eklentiler hazırlanmaktadır.

ArcHydro eklentisi ArcGIS yazılımında çalışmak için dizayn edilmiş bir eklentidir (Anonim 2011).

Korkmaz (2011) coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) hidrolojide uygulamasını göstermek amacıyla Bursa Nilüfer Çayı Havzasını ele alıp hidrolojik modelini oluşturarak yapmış olduğu çalışmada Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) veritabanı yardımıyla, sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanarak havzanın drenaj alanlarını incelemiştir.

Şeker ve ark. (2009), orta ve büyük ölçekteki bir havzanın geçmişteki ve günümüzdeki çevresel karakteristiklerinin belirlenmesinin CBS desteğiyle nasıl gerçekleştirileceğinin bir örneğini oluşturmak amacıyla Melen Havzasını CBS ve uzaktan algılama (UA) teknikleri yardımıyla incelemiştir. Bu kapsamda havza alanına ilişkin arazi kullanım dağılımı, idari sınırlar, havza sınırları, toprak, su, alt havzalar havzanın akarsu ve drenaj ağı, sayısal arazi modeli haritaları oluşturulmuştur.

Akkaya Aslan (2005) çalışmasında, CBS olanakları ile havza alanı, çevre uzunluğu, maksimum, minimum ve ortalama yükseklikleri, yöney, ortalama eğim, ana su yolu eğimi, ağırlık merkezinin ana su yolundaki izdüşümünden havza çıkışına kadar olan uzaklık ve drenaj yoğunluğu gibi havza karakteristiklerini Bursa Karacabey-İnkaya gölet havzası için belirlemiştir.

Maji ve ark. (2005), Hindistan-Arunachal Pradesh eyaletinin toprak bilgi sistemini belirlemeyi amaçladıkları çalışmada, 1/250 000 ölçekli topografik paftaları CBS yazılımı yardımıyla sayısallaştırmışlardır. Arazi çalışmalarında, açılan her toprak profili için toprak örneklerinin çeşitli morfolojik ve fizyografya ile olan ilişkileri yanında, bunların kimyasal özellikleri analiz edilmiş ve belirlenen toprak özellikleri haritalanmış ve sınıflandırılmıştır. Çalışma kapsamında eğim haritası, arazi kullanımı ve toprak kaynağı bilgilerini içeren tematik haritalar oluşturmuşlardır.

Yüksel (2001), Kahramanmaraş Ayvalı Barajı yağış havzasında arazi kullanma şekilleri, toprakların fiziksel özellikleri ve havzanın hidrolojik-fizyografik karakteristiklerini belirlemiştir. Elde ettiği bulguları coğrafi bilgi sistemleri ve WEPP (Water Erosion

Prediction Project) ortamında değerlendirmiş, havzadaki sediment verimini, yüzeysel akış durumunu ortaya çıkarmış ve buna dayanarak bir havza planlaması modeli oluşturmuştur.

Erenbilge (1996), Denizli Çürüksu havzasının hidrolojik yapısını CBS kullanarak ortaya çıkarmayı ve havza üzerine bir hidrolojik modelin uygulanmasını amaçladığı bir yağış-akış modelini kullanmıştır. Çürüksu Nehrinin 1972 km²'lik drenaj alanında, havzanın hidrolojik yapısının oluşumunu etkileyen parametreler analiz edilmiş, CBS yardımı ile elde edilen bilgiler ve CBS dışı yazılımlar ile birlikte kullanılarak modele uygulanmış, gözlenen ve hesaplanan akımlar arasında %72'lik korelasyon bulunmuştur.

Akyürek (1995), hidrolojik çalışmalarda, toprak cinsi ve kullanımı, bitki örtüsü, jeolojik durum ve iklim gibi özelliklerin yersel değişimlerinin büyük önemi olduğunu bildirmiştir. CBS ortamında Güvenç ve Uğrak havzalarının karakteristik özelliklerini yansıtan hidrolojik parametrelerini tahminlemeye çalışmış, havza parametrelerini daha önce elde edilen değerlerle karşılaştırılmış, CBS'nin hidrolojik parametrelerin elde edilmesinde kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarını tartışmıştır.

Robinson ve ark. (1995), araştırmalarında, bir havzayı şekillendiren drenaj ağı ve eğiminin, yağış-akış üzerinde meydana getireceği etkiyi araştırmışlardır. Havzaların yağış-akış ilişkilerinde, havza jeomorfolojisinin, drenaj ağı ve topografyasının önemli parametreler olduğunu ve her farklı havza için belli rollere sahip olduklarını saptamışlardır.

Rinaldo ve ark. (1995), çalışmalarında bir nehir havzasının şeklini tanımlayan geometrik faktörlerin etkilerini araştırmışlardır. Bunlardan havza şekil faktörünün hidrolojik tepki için çok önemli bir karakter olduğunu tespit etmişlerdir. Zira havza çıkış noktasından belli uzaklıktaki akışın, çıkış noktasına ulaşması o havzanın şekli ile çok yakından ilişkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Stuebe ve Johnston (1990), yağıştan kaynaklanan yüzey akışını 6 havzada CBS yardımıyla ve CBS yardımı olmaksızın klasik yöntemle SCS metoduna göre

hesaplanmışlardır. CBS kullanılarak yapılan modelleme aşamalarının hepsinde havza sınırlarının, yüzey akış yönü ve yolu, yükseklik, toprak özellikleri ve arazi örtüsü kullanılmıştır. Havza sınırlarında %0,4-%37,6; yüzey akış tahmininde %0,9-%32,8 kadar farklılık saptamışlardır. İki yöntemin karşılaştırılmasında düz arazilerde CBS yardımını, klasik yöntem yerine kabul edilebilir bir alternatif olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada, Nilüfer baraj havzası için sentetik birim hidrograf ve coğrafi bilgi sistemi desteği ile havza parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

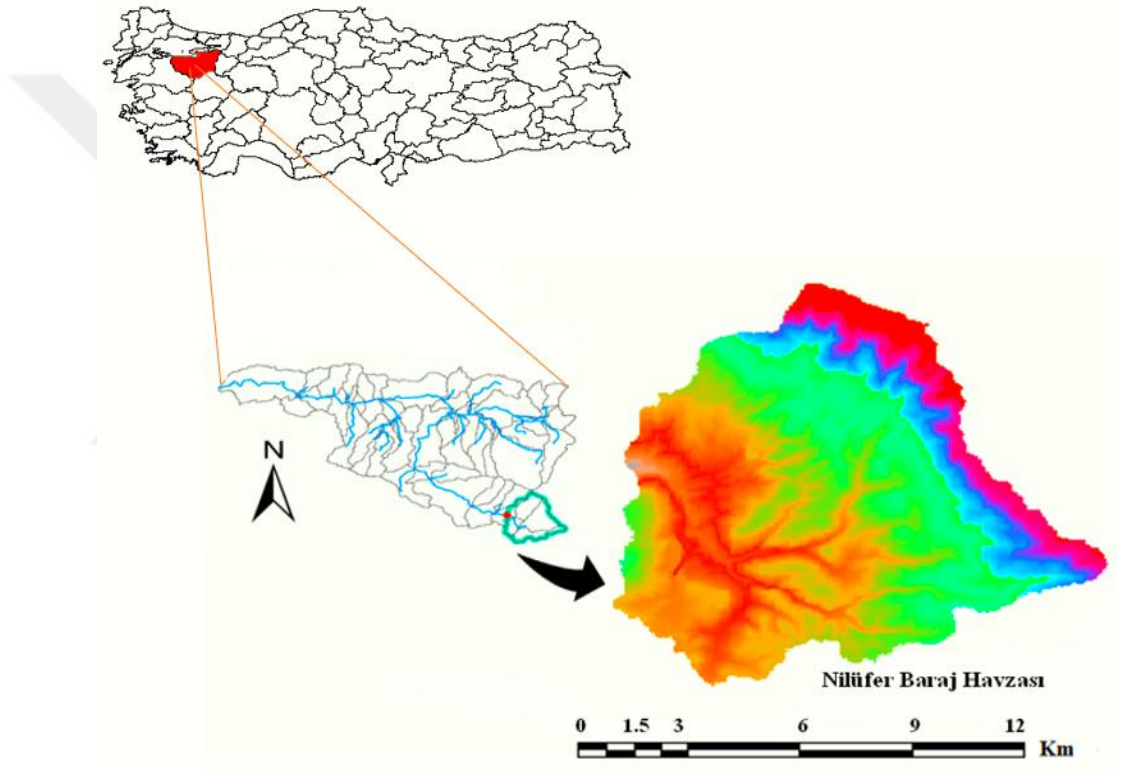


3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma alanının yeri ve konumu

Araştırma alanı olan Nilüfer Baraj havzası, Marmara Bölgesinin Güney'inde Nilüfer Çayı içerisinde yer almaktadır. Nilüfer Baraj havza uzunluğu 17,88 km'yi bulmaktadır.



Şekil 3.1. Araştırma alanının yeri ve konumu

Nilüfer Barajı, Nilüfer Çayı üzerinde 1995 yılında temeli atılmıştır ve Ağustos 2007'de faaliyete geçmiştir. Barajın yıllık su kapasitesi 60 milyon m³'tür (Anonim 2018).

3.1.2. İklim özellikleri

Çalışma alanının iklimi, Akdeniz ikliminin Marmara geçiş tipi özelliklerini taşımaktadır. Yöre, Marmara Denizi' ne yakın olmakla beraber Uludağ, deniz etkisinin içerilere kadar sokulmasını önler. Yağışlar daha çok ilkbahar ve kış mevsimlerinde görülür. Kışın yağış genellikle kar şeklindedir. Yıl içinde en soğuk ay şubat, en sıcak ay ise temmuz ayıdır. Hâkim rüzgâr yönü kuzeydir (Anonim 2018). Aşağıdaki Çizelge 3.1'de Bursa İli uzun yıllık iklim karakteristikleri sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Bursa İli uzun yıllık iklim parametreleri (1926-2016) (Anonim 2018)

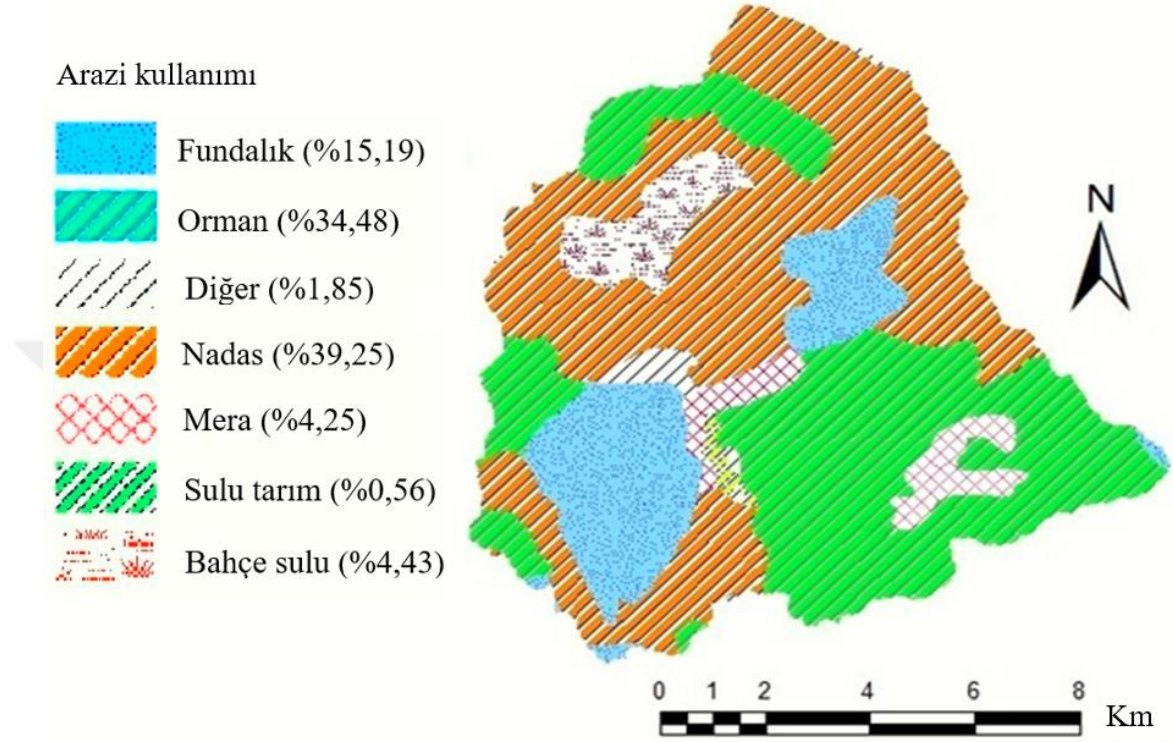
Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	5,3	6,1	8,3	12,9	17,6	22	24,5	24,2	20,1	15,4	10,9	7,3	14,6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9,4	10,7	13,7	18,9	23,8	28,3	30,8	31	27,2	22	16,6	11,5	20,3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1,7	2,1	3,5	7,2	11,3	14,8	17,1	17,1	13,6	10,1	6,4	3,5	9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,5	3,3	4,2	5,5	7,5	10,6	10,5	10,1	8,6	5,4	4,1	2,6	74,9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14,5	13,3	12,2	11,2	8,7	5,8	2,9	2,8	5	9	11,1	14,2	110,7
Aylık Toplam Yağış Mikt. Ortalaması (mm)	89,1	76,7	70,1	63	49,2	33,3	21,6	16,6	42	66,8	78,4	100,7	707,5
En Yüksek Sıcaklık (°C)	23,8	26,9	32,5	36,2	38,2	41,3	43,8	42,6	40,1	37,3	34	27,3	43,8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-20,5	-25,7	-10,5	-4,2	0,8	4	8,3	7,6	3,3	-1	-8,4	-17,9	-25,7

3.1.3. Bitki örtüsü

Rakıma bağlı olarak çalışma alanında, Uludağ göknarı, yabani kavak, kestane, ardıç ve gürgen gibi ağaç türlerine rastlanmakta olup yayvan yapraklı meşe/akmeşe ağaçları da boldur. Bölgede, mera ve çayır arazileri de bulunmaktadır (Anonim 2018).

3.1.4. Arazi kullanımı

Nilüfer Baraj havzasına ait arazi kullanımı bilgileri Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Nilüfer Baraj havzasında arazi kullanımı durumu

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi Nilüfer Baraj havza arazilerden %39,25’i nadas arazilerdir, %34,48’i orman olarak kullanılabilir arazilerdir, %15,19’u fundalık arazilerdir. %4,43’ü bahçe sulu, %4,25’i mera, %0,56’ı sulu tarım ve %1,85’i diğer olarak sınıflandırılmıştır (Anonim 1995, Bantchina ve ark. 2017).

3.1.5. Toprak kaynakları

Havza arazilerinin çoğunluğunu arızalı orman arazileri teşkil etmektedir. Bazı bölümleri düz bazı bölümleri dalgalı bir araziye sahiptir. Arazinin hemen hemen tamamı dağlık olmasına rağmen genel olarak kültürel tarıma elverişlidir. Havzada hâkim olan toprak tipi “kahverengi orman toprağı” olup fazla miktarda kireç içermektedir. Kil oranı düşük olduğundan kolay işlenebilen arazilerdir. Toprakta %30 kireç, %19 fosfor ve %2

oranında organik madde bulunduğu ve toprağın asidik derecesinin pH 7,70 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca akarsu kenarlarındaki alanlarda alüvyal topraklar bulunmakta olup derinlikleri fazladır (Anonim 2018).

3.1.6. Çalışmada kullanılan veriler

Çalışma kapsamında sayısal ve sayısal olmayan veriler kullanılmıştır. Bursa ili sayısal yükseklik modeli, BUSKİ Coğrafi Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığından temin edilmiştir. Sayısal yükseklik modeli 30 m × 30 m piksel boyutuna sahiptir. Meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

Havza parametrelerinin belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcMap ver 10.2 ile bunun üzerinde çalışan ArcHydro eklentisi kullanılmıştır. Araştırmada, sentetik birim hidrograf yöntemi olarak DSİ sentetik, Mockus ve Snyder yöntemleri kullanılmıştır.

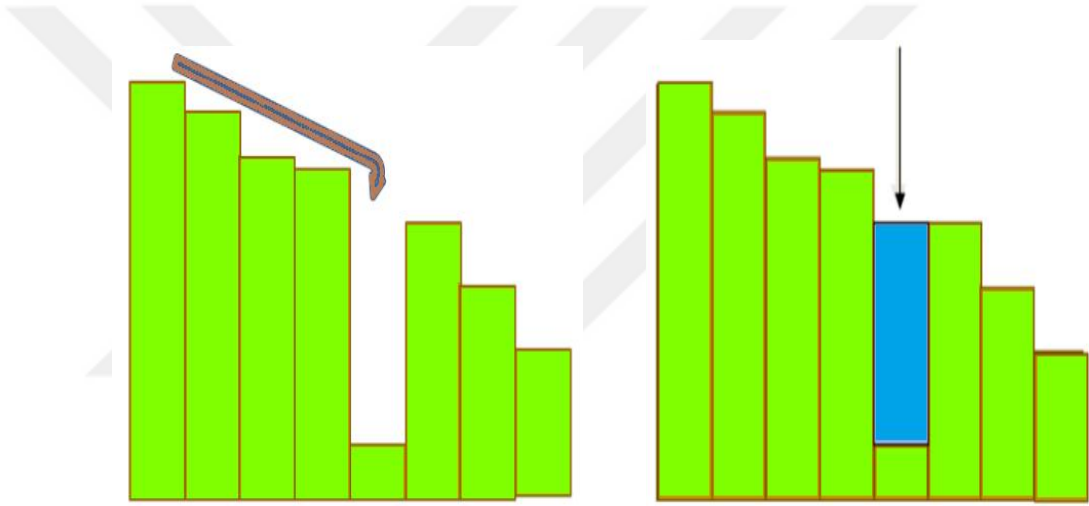
3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi desteği ile havza karakteristiklerinin belirlenmesi

Nilüfer Baraj havza sınırlarının belirlemede, ArcMap coğrafi bilgi sistemi yazılımı üzerinde çalışan ArcHydro eklentisi kullanılmıştır. Veri olarak materyal bölümünde belirtilen, Bursa'nın tümünü kapsayan Nilüfer havzası sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Nilüfer Barajı havzasına ilişkin parametreler, Nilüfer havzası sayısal yükseklik modelinden aşağıdaki yöntemlerle elde edilmiştir.

a) Çukurları doldurma (Fill Sinks)

Sayısal yükseklik modelleri piksellerden oluşmaktadır. Her piksel bir yükseklik değeri içermektedir. Bazen sayısal yükseklik modelleri, SYM'nin hazırlanmasında kullanılan yöntemlerden ve yükseklik değerlerinden kaynaklanan hatalar içerebilmektedirler. Örneğin tamamen düz bir alanda, alandaki yükseklikleri ifade eden piksellerin değerleri

birbirine oldukça yakın olmasına karşın, alanın ortasında bir pikselin değeri çok düşük olabilmektedir. Hatalı yükseklik değerine sahip olan piksel değerinin düzeltilmesi işlemi "Fill Sinks" seçeneği ile gerçekleştirilmiştir. Bir hücrenin etrafında, kendisinden daha yüksek kota sahip olan hücreler varsa, suyun akım yönü düşük kotlu hücreye doğru olacaktır. Bu nedenle, hatalı olan bu çukurların doldurulması gerekmektedir. Aksi takdirde, yüzey akışı oluşmayacaktır. Kullanılan bu fonksiyon ile çukurların doldurulması işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır (Şekil 3.3). Çıktı dosyası olarak, "Fil" isimli dosya ön tanımlı olarak oluşmaktadır. İstenirse bu isim değiştirilebilir. Bu dosya grid (piksel) hücrelerinden oluşan bir dosyadır. Bu dosyadaki pikseller, SYM ile aynı piksel boyutuna sahip olacaktır.

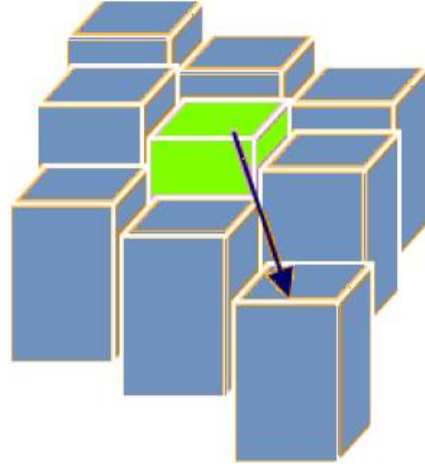


Şekil 3.3. Boşlukların doldurulması

b) Akım yönü belirleme (Flow Direction)

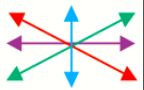
Bu aşamada, boşlukları doldurulmuş "Fil" dosyası kullanılarak su akış yönü hesaplanmaktadır. Her pikselin etrafından bulunan 8 pikselin değerine göre akış yönü tespit edilmektedir (Şekil 3.4).

77	66	59
63	54	47
68	65	32



Şekil 3.4. Su akış yönü

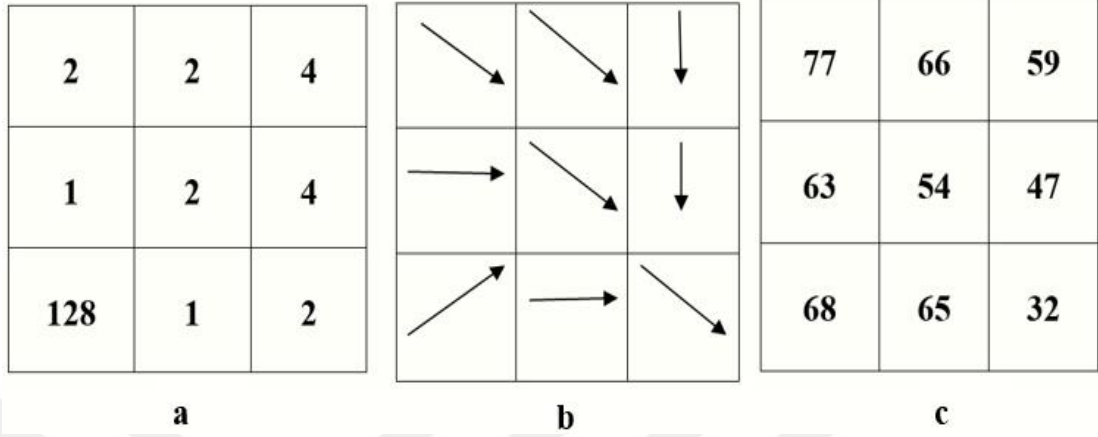
Suyun akım yönü olarak, 4 tane ana, 4 tane ara olmak üzere toplam "8" yönlü akım modeli kullanılmaktadır. Hücrenin değerine bağlı olarak, komşu hücreler arasında yükseklik değeri fazla olan hücreden az olana doğru akım gerçekleşmektedir. Bu işlem grid dosyasındaki tüm hücreler için gerçekleştirilerek su akım yönleri belirlenmektedir. Su akım yönleri her hücrede, şekille değil sayısal değerle ifade edilmektedir. Örnek olarak Şekil 3.5'te yönleri ifade edilen sayılar verilmiştir. Akım yönünün kuzeye doğru olması durumunda, yönü ifade eden sayı 64, batıya doğru olması durumu 16, kuzeydoğu yönünde olması durumu 128 sayısı ile ifade edilmektedir. Buradaki sayılar, bilgisayarın çalıştığı 2'li sisteme uygun olarak belirlenmektedir, yani 2'nin katları şeklindedir.

32	64	128
16		1
8	4	2

KB	Kuzey	KD
Batı		Doğu
GB	Güney	GD

Şekil 3.5. Akım yönlerini gösteren sayılar ve yönleri

Şekil 3.6 a'da hücrelerdeki su akış yönlerini ifade eden sayılar, Şekil 3.6 b'de su akım yönleri ve Şekil 3.6 c'de ise bu hücrelerin yükseklik değerleri görülmektedir.

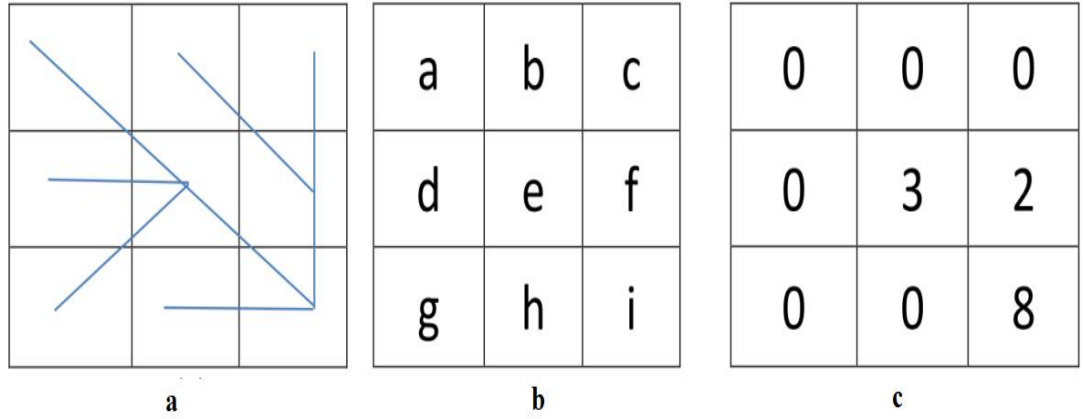


Şekil 3.6. Su akım yönünü ifade eden sayılar ve yönleri

Bu aşamada girdi dosyası "Fil", çıktı dosyası ismi ise "Fdr" olarak ön tanımlı olarak gelecektir. İstenirse bu isimler değiştirilebilir.

c) Kümülatif akım hesaplama (Flow Accumulation)

Havza en yüksek noktasından başlayarak, havza su verimine etki eden hücre sayıları toplanarak bulunur. Şekil 3.7 a'da görülen su akım ağı için kümülatif akım, Şekil 3.7 c'de verilmiştir. Su akımının başladığı hücrelere başka bir alandan su akımı olmadığından sıfır değeri atanır. Şekil 3.7 b'de görüldüğü gibi, a, b, c, d, g ve h hücrelerine sıfır değeri atanmıştır. Kümülatif akım değeri 3 olan e hücrelerine, a, d ve g hücrelerinden akım gelmektedir. Toplam 3 hücreden akım geldiğinden, kümülatif akım değeri 3 olmuştur. Kümülatif akım değeri 2 olan f hücrelerine, b ve c hücrelerinden akım geldiğinden 2 değerini almıştır. Kümülatif akım değeri 8 olan i hücrelerine, toplam 8 hücreden akım toplanarak geldiğinden 8 değerini almıştır. Su toplama alanı ve nehir kolları böylece belirlenmiş olmaktadır.



Şekil 3.7. Kümülatif akım yönü

Burada girdi dosyası olarak "Fdr", çıktı dosyası olarak "Fac" ismi ön tanımlı olarak gelmektedir. "Fac" grid dosyasında, su toplama ağı üzerindeki herhangi bir hücrenin kümülatif akım değeri, bu hücreye hizmet eden, su akımı gerçekleştiren toplam hücre sayısını içermektedir. Bu hücrenin alt havzasının alanını belirlemek için, kümülatif akım değeri ile hücrenin ifade ettiği alan çarpılarak bulunur. Hücre boyutu $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ ise kümülatif akım değeri ile 900 m^2 çarpılarak su toplama alanı bulunur.

d) Nehir tanımlama (Stream Definition)

Grid dosyası olarak "Fac", çıktı dosyası olarak "Str" ismi ön tanımlı olarak gelecektir. "Fac" dosyasında belirli değere ulaşmış olan hücreler nehri ifade edecek şekilde işaretlenecektir. Bu amaçla eşik değer ekranda görüntülenmekte, istenirse değiştirilebilmektedir. Eşik değerler, piksel sayısı ve aynı zamanda alan olarak ekranda gösterilmekte, herhangi birinde değişiklik yapıldığında diğeri otomatik olarak hesaplanıp ekranda güncellenmektedir. Ön tanımlı olarak toplam drenaj alanının %1'i eşik değer olarak kullanılmaktadır. Bu değer hem hücre sayısı olarak hem de alan olarak görüntülenmektedir. Yani toplam alanın %1'inden küçük su toplama alanına sahip kümülatif akım değerleri dikkate alınmayacaktır. Böylece ana akım ağları işleme alınmış olacaktır. Nehir ağının belirlenmesinde küçük akımlar dikkate alınmayacaktır. Eşik değer ne kadar küçük seçilirse o kadar fazla su toplama alanına karşılık gelmektedir. Eşik değerinin üstünde kümülatif akım değerine sahip hücrelere 1 değeri atanarak "Str" dosyası oluşturulur. Bu dosya su akım ağlarını ifade etmektedir.

e) Nehir bölümlenme (Stream Segmentation)

Bu adım, nehir tanımlama grid dosyasındaki akım ağlarını bölümlere ayırır. Nehir bölümleri veya bağlantıları, birbirini takip eden birleşme noktalarını, bir birleşme ve çıkış bölümünü ya da bir birleşme ve drenaj bölümünü birleştiren akım bölümleridir. Nehir tanımlama ve akım yönü dosyası girdi dosyası olarak tanımlanır, "StrLnk" dosyası çıktı dosyası olarak tanımlanır. Oluşan dosyada nehir tanımlama dosyasındaki nehir kolları, en yüksek kottan başlayarak numaralandırılacaktır.

f) Su toplama alanı oluşturma (Catchment Grid Delineation)

Bu fonksiyon, her nehir bölümüne ait su toplama havzasını belirlemek için kullanılmaktadır. Oluşan her havzayı oluşturan grid değerleri, nehir bölümlenmede elde edilen bölüm numaraları ile aynı olacaktır. Burada her nehir bölümü ile bu bölümün alt havzası aynı sayısal nehir bölüm sayısına sahip olacaktır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için, su akış yönü ve nehir bölümlenme dosyaları girdi olarak, "Cat" dosyası ise çıktı olarak ön tanımlanmaktadır.

Bu aşamadan itibaren gerçekleştirilecek 3 fonksiyon, oluşturulan raster dosyalarını vektör formatına çevirmek için çalıştırılacaktır. Bu fonksiyonlar, su toplama alanını poligonlama, drenaj çizgilerini belirleme ve bitişik su toplama alanlarını belirleme fonksiyonlarıdır.

g) Su toplama alanını poligonlama (Catchment Polygon Processing)

Bu fonksiyon önceki bölümde elde edilen su toplama alanını ifade eden grid dosyasını ("Cat"), "Catchment" isimli poligon özellikli vektör dosyasına aktaracaktır. Oluşan dosyada her alt havzanın alanı, çevre uzunluğu bilgilerine kolaylıkla ulaşılacaktır.

h) Drenaj çizgilerini belirleme (Drainage Line Processing)

Bu fonksiyon, nehir bölümlenmede elde edilen "StrLnk" dosyası ile akım yönü dosyası "Fdr" kullanılarak çalıştırılmaktadır. Sonuç olarak, "DrainageLine" isimli bir dosya oluşacaktır. Oluşan dosya, nehir bölümlenmede elde edilen her nehir bölümünün çizgi özellikli vektör formatına dönüştürülmüş hali olacaktır.

i) Bitişik su toplama alanı belirleme (Adjoint Catchment Processing)

Bu fonksiyon "Catchment" ve "DrainageLine" dosyasını kullanarak akım yönünde birbirleri ile ilişkili olan su toplama alanlarını bir araya getirir. Çıktı dosyası olarak "AdjointCatchment" isimli poligon özellikli vektör dosyası oluşur. Sonuçta tüm havzayı tek bir poligon ile ifade eden dosya elde edilmiş olacaktır.

j) Drenaj noktası belirleme (Drainage Point Processing)

Bu aşamada, önceki aşamada elde edilen su toplam havzası kullanılarak, drenaj noktaları belirlenir. Flow Accumulation Grid, Catchment Grid ve Catchment girdi dosyalarıdır. "Drainage Point" ise çıktı dosyasıdır. İşlemin başarı ile tamamlanmasından sonra point (nokta) özellikteki vektör veri "Drainage Point" katmanı haritaya eklenir.

3.2.2. DSİ Sentetik metodu

DSİ sentetik yönteminde, yağış alanı 1000 km²'ye kadar olan akarsu havzalarında 1 mm akış üreten 2 saat süreli yağışların meydana getirdiği havza verimi kullanılarak birim hidrograf değerleri hesaplanır. DSİ sentetik yöntemle birim hidrograf hesaplanması için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır (Özdemir 1978).

$$S = \left(\frac{10}{\sum \frac{1}{\sqrt{S_i}}} \right)^2 \quad (3.1)$$

$$E = \frac{L.Lc}{\sqrt{S}} \quad (3.2)$$

$$Qp = A.qv.10^{-3} \quad (3.3)$$

$$T = 3,65(V_b/Qp) \quad (3.4)$$

$$Tp = \frac{T}{5} \quad (3.5)$$

$$V_b = A.ha.10^3 \quad (3.6)$$

Burada: Qp , sentetik birim hidrograf pik debisi ($m^3/sn/mm$); T , hidrograf devam süresi (sn); Tp , hidrografın yükselme zamanı (saat); qv , akış verimliliği ($lt/sn/km^2/mm$) = 1 mm'lik akış için verim; V_b , birim hacim (m^3); S , ana su yolu harmonik eğimi; ha , 1 mm akış yüksekliği; A , havza alanı (km^2); L , ana su yolu uzunluğu (m); Lc , havza ağırlık merkezinin proje kesitine uzaklığı (km)'ni ifade etmektedir.

3.2.3. Mockus metodu

Mockus metodu, maksimum 30 saat olan toplanma süresine sahip havzalarda kullanılabilir. Toplanma süresi daha fazla olan havzalarda, büyük havza alt havzalara ayrılır. Alt havzaların her biri için oluşturulan hidrograflar kullanılarak büyük havzaya ilişkin hidrograf elde edilebilir. Mockus yöntemi, işlemlerin ve çizilen üçgen hidrografta çalışmanın kolay olması nedeniyle tercih edilmektedir. Üçgen hidrograflar, rezervuarlarda ve akarsu yataklarında ötelemelerde de eğrisel hidrograflar kadar hassas neticeler vermektedir. İstendiğinde, üçgen hidrograflar eğrisel hidrograflara dönüştürülebilmektedir.

Yağışın değişkenliği nedeniyle hesaplanacak taşkınlarla alınacak ΔD birim sağanak süresinin seçilmesi önemlidir. ΔD birim sağanak süresinin seçiminde genelde kriter $\Delta D \leq Tc/5$ dir. İlk 6 saatlik proje sağanak süresi için ΔD , çoğunlukla 1 saattir. Tc nin 3 saatten az olduğu halinde pratik olarak $\frac{1}{2}$ saat alınmaktadır. Tc nin 10 ile 15 saat olması

halinde $\Delta D = 2$ saat, 15 saatten 30 saate kadar alınması halinde ise, ΔD nin 3 saat alınması tavsiye edilmektedir. Mockus Yöntemi ile sentetik birim hidrograflar hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılır (Özdemir 1978).

$$T_c = 0,00032 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (3.7)$$

$$D = 2\sqrt{T_c} \quad (3.8)$$

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0,6T_c \quad (3.9)$$

$$T_r = H \cdot T_p \quad (3.10)$$

$$T_b = T_p + T_r \quad (3.11)$$

$$Q_p = \frac{K \cdot A \cdot h_a}{T_p} \quad (3.12)$$

$$K = \frac{Q_p \cdot T_p}{A} \quad (3.13)$$

$$H = (2 \times 0,278 - K) / K \quad (3.14)$$

Burada: T_c , yağışın toplanma zamanı (saat); Q_p , sentetik birim hidrograf pik debisi ($m^3/sn/mm$); T_p , hidrografın yükselme zamanı (saat); T_r , birim hidrografın çekilme süresi (saat); T_b , birim hidrografın taban süresi (saat); h_a , yıllık birim ortalama yağış (mm); D , birim sağanak süresi (saat); A , havza alanı (km^2); L , ana su yolu uzunluğu (m); S , ana su yolu harmonik eğimi ifade etmektedir. K ve H havza özelliklerine bağlı katsayılarıdır.

3.2.4. Snyder metodu

Sentetik birim hidrograf bulma yöntemlerinden biri Snyder (1938) tarafından geliştirilmiştir. Snyder metodu 25-25000 km²'ye kadar olan drenaj alanlarına uygulanabilmekte, daha büyük alanlarda tali havzalara bölünerek hesap yapılmaktadır. Snyder birim hidrografı tarif etmek üzere üç parametre (taban süresi, pik debisi ve havza gecikmesi) kullanmıştır. Hidrografın şekline etki ettiğini kabul ettiği havza karakteristikleri; alan, şekil, topoğrafya, kanal eğimi, akarsu yoğunluğu ve kanal depolaması gibi karakteristiklerdir.

Snyder ABD'de Appalaş dağlarının bulunduğu yüksek yerlerde alanları 26 ile 26000 km² arasında değişen havzaların birim hidrograflarını incelemiş ve standart bir birim hidrograf tarif etmiştir.

Snyder, bu standart birim hidrograf için etkili yağış süresi t_r ile havza gecikmesi t_p arasında şu ilişkiyi bulmuştur.

$$Tr = \frac{Tp}{5,5} \quad (3.15)$$

Bu standart birim hidrograf için havza kayması şöyle verilmiştir.

$$Tp = Ct(L.Lc)^{0,30} \quad (3.16)$$

Burada L (km) havza sınırına kadar ana kanal uzunluğu, Lc (km) havza çıkışından havzanın ağırlık merkezine ana kanal boyunca ölçülen mesafe ve C_t de hidrolojik olarak benzer bir havzadan bulunan bir havza katsayısıdır.

$$qv = 276 \frac{Cp}{Tp} \quad (3.17)$$

Burada: qv , verim ($lt/sn/km^2/mm$); C_p de başka bir havza parametresidir; C_t gibi hidrolojik olarak benzer bir havzadan bulunur.

Standart birim hidrografın birim alana göre pik debisi, Q_p ($m^3/sn/mm$) şöyledir:

$$Q_p = A.qv.ha.10^{-3} \quad (3.18)$$

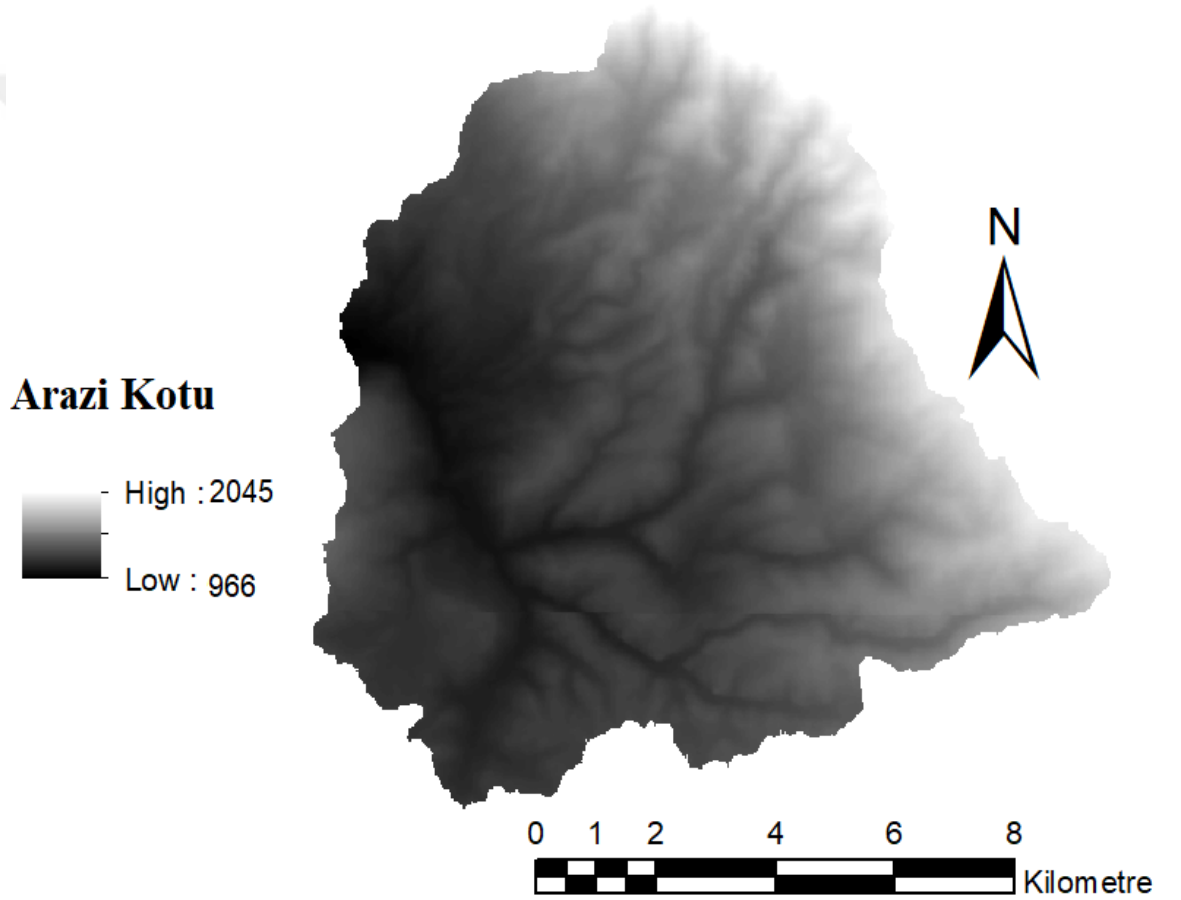
Hidrograf süresi T (gün):

$$T = 3 + \frac{3.T_p}{24} \quad (3.19)$$

4. BULGULAR

4.1. Nilüfer Baraj Havzası Karakteristikleri

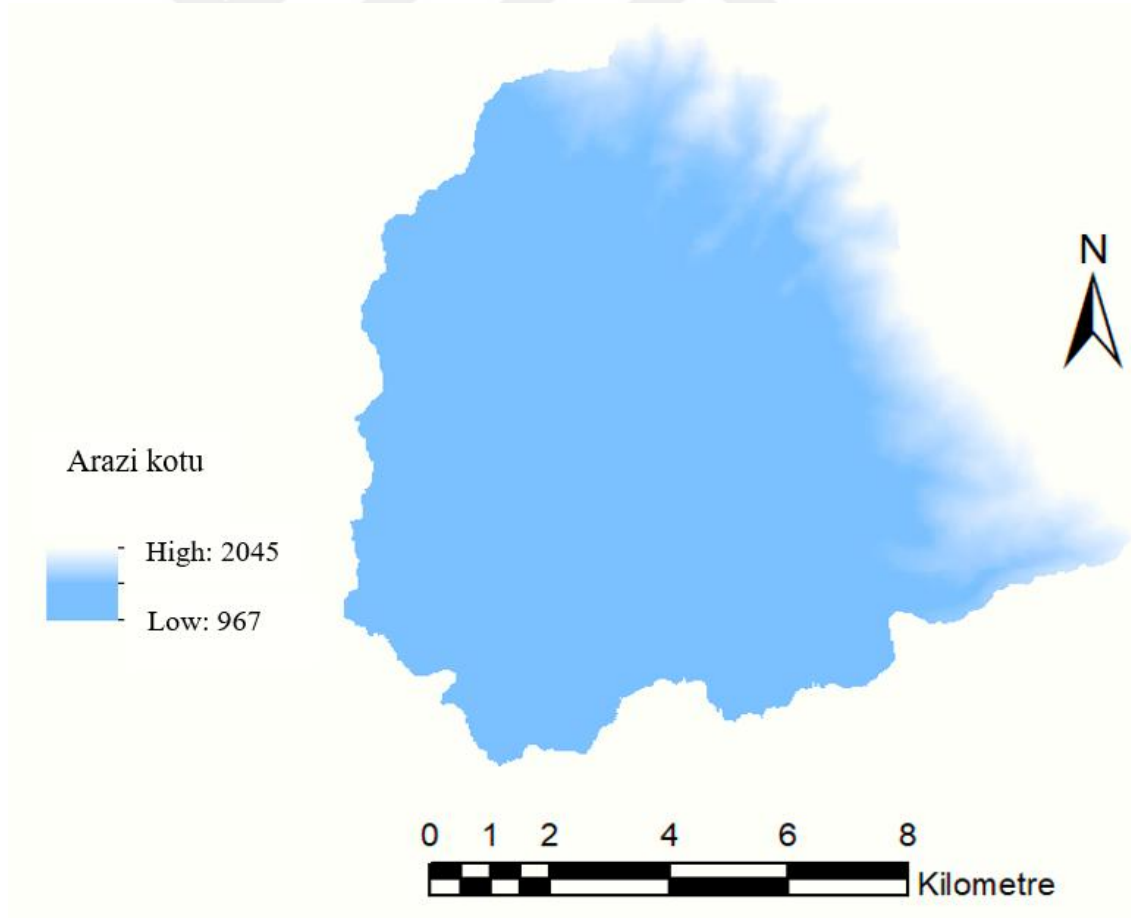
Bursa'nın tümünü kapsayan Nilüfer havzası sayısal yükseklik modeli kullanılarak, Nilüfer Baraj havzası alanı, karakteristikleri belirlenmiştir. Nilüfer Baraj havzasında, en düşük yükseklik değeri 966 m ve maksimum yükseklik değeri 2045 m, havza ortalama yüksekliği ise 1362,07 m olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Nilüfer Baraj havzası sayısal yükseklik modeli

4.1.1. ukurları doldurma (Fill Sinks)

Sayısal yükseklik modellerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden kaynaklanan genel arazi kotu ile uyumsuz, çukuru ifade eden pikseller olabilmektedir. Modelin çalışabilmesi bu çukur noktalarının kotunun, komşu piksellerin kot değerine yükseltilmesi gerekmektedir. Şekil 4.1 görüleceği gibi, Nilüfer Barajı havzasının en düşük kotu 966 m'dir. ukurları doldurma işlemi ile etrafı daha yüksek kota sahip olan hücrelerle çevrilmiş, az sayıda pikselin değerinin artırılması ve komşu hücrelerle eşit hale getirilme işlemi yapılmıştır. Bunun sonucunda oluşan dosyada, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi minimum kot değeri 967 m olarak elde edilmiştir. Genelde az sayıda olan, çukur hücre değerleri doldurma işlemine tabi tutulmakta, komşu hücrelerden en düşük kota sahip olan değerle eşleştirilmektedir. Böylece, programın çalışmasını etkileyecek olan, yanlış su akım yönü belirlenmesinin önüne geçilmiş olmaktadır.

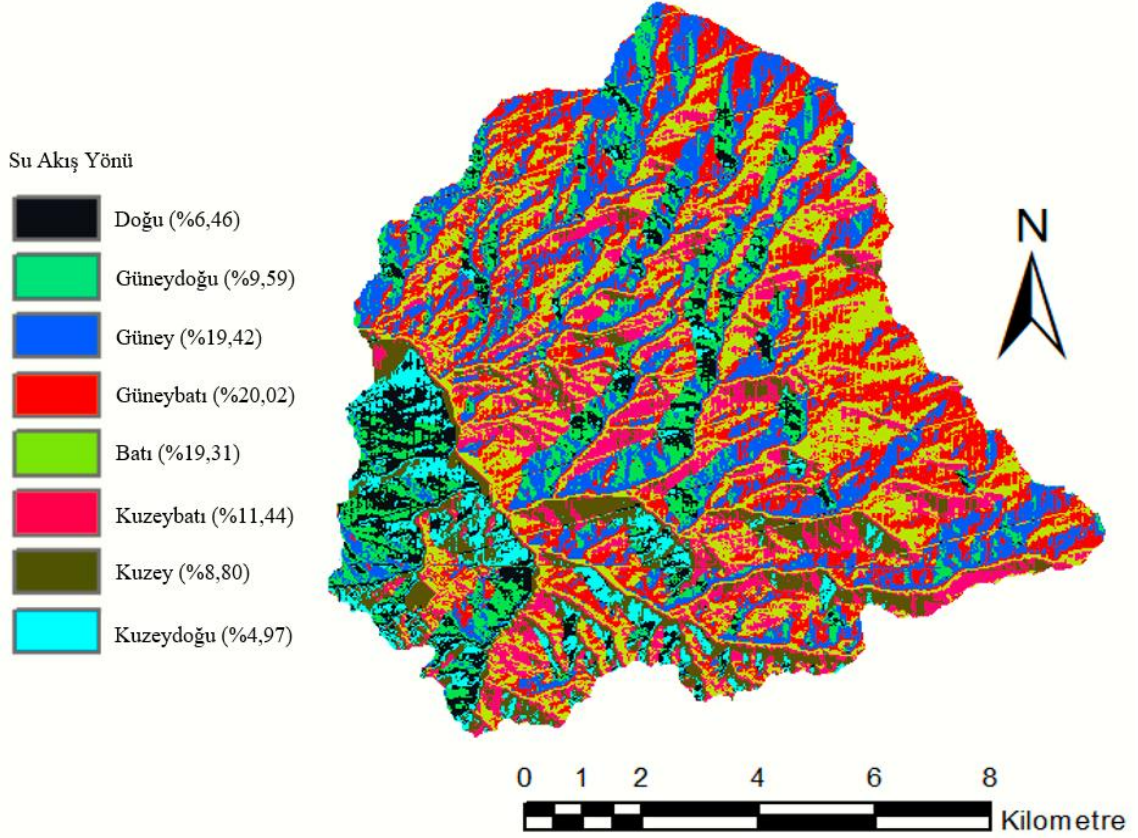


Şekil 4.2. ukurları doldurma

4.1.2. Akım yönü belirleme (Flow Direction)

Akım yönü belirleme işlemi, arazideki eğime bağlı olarak suyun yeryüzüne ulaştıktan sonra izledikleri yolları saptamak için gerçekleştirilir. Bu işlemin sonucunda elde ettiğimiz harita Şekil 4.3'te verilmiştir. Harita lejantında 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 değerleri su akım yönünü ifade etmektedir. Bu sayıların hangi yönleri ifade ettiği, yöntem bölümünde verilmiştir.

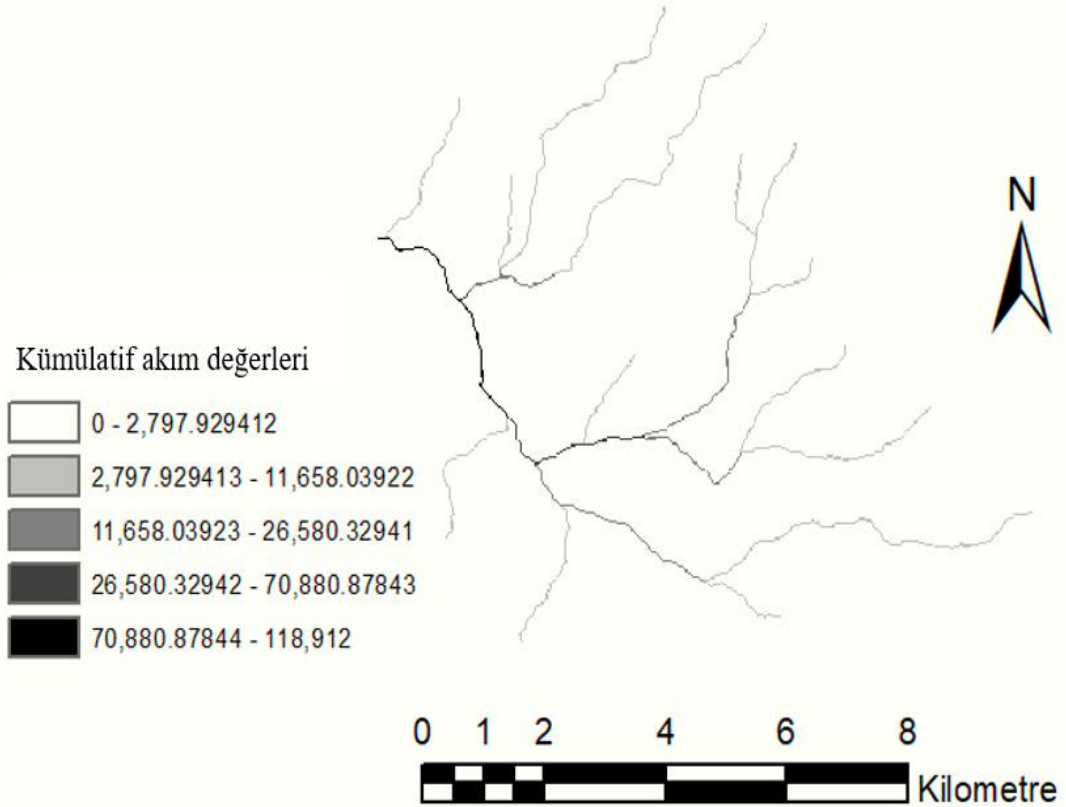
Şekilde, her renk grubu komşu hücrelerle aynı değere sahip alanları göstermektedir. Şekil 4.3'te görüleceği gibi havzada su akış yönü en fazla güney batı, güney yönlerindedir.



Şekil 4.3. Su akış yönü

4.1.3. Kümülatif akım hesaplama (Flow Accumulation)

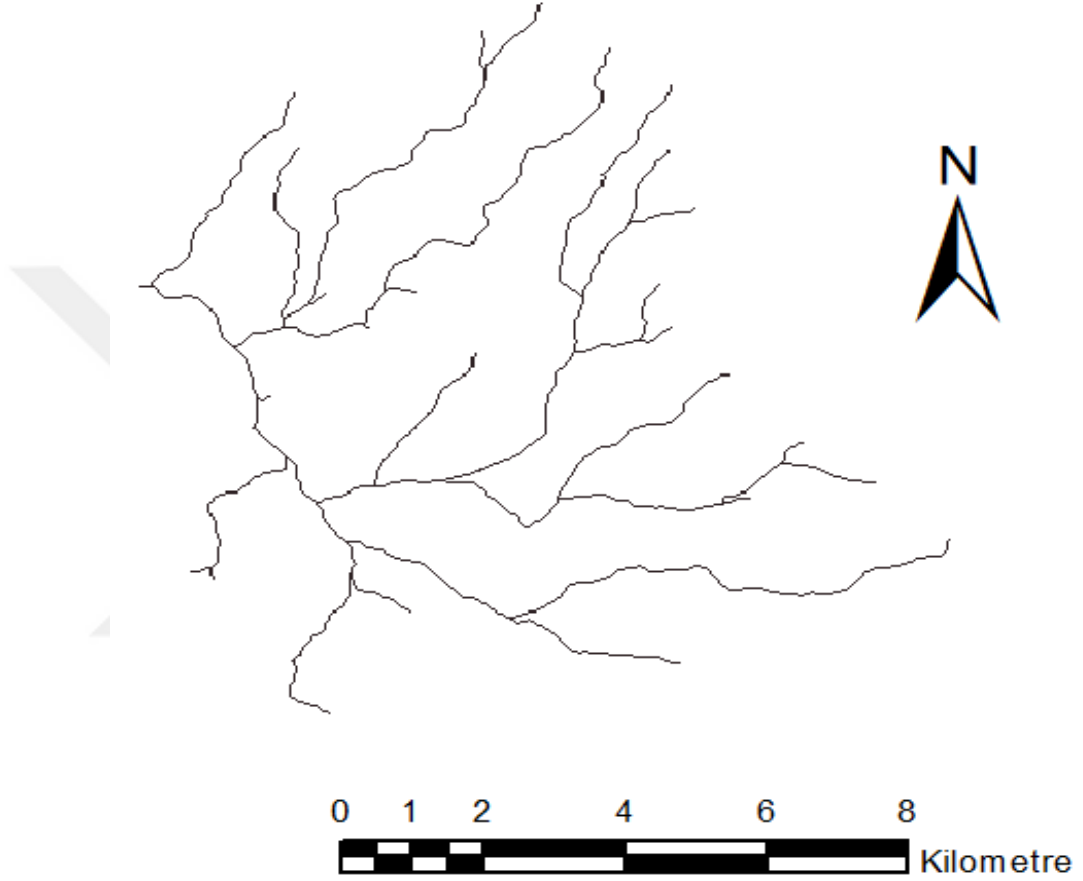
Şekil 4.4’de dere yatakları olabilecek yönler belirtilmiştir. Bu, yağmur yağdıktan sonra arazide suyun birikmeye müsait olduğu hatlar olarak da algılanabilir. Buradaki amaç ilk olarak raster olan veriyi vektör olan ve işlenebilir veri formatına dönüştürmektir. Lejant bölümünde görülen değerler, havzanın en yüksek noktasından başlayarak en düşük noktasına kadar olacak akım toplamını ifade etmektedir. Düşük değerler havzanın memba bölümünü, en yüksek değer ise mansap bölümünü ifade etmektedir. Havzanın en düşük noktasında yani havza çıkış noktasında kümülatif akım değeri maksimum olmaktadır. Çünkü yukarıdan itibaren gelen akış kolları birleşerek daha yüksek debiye sahip akım yollarını, çayları, nehirleri oluşturabilmektedir.



Şekil 4.4. Kümülatif akım değerleri şeması

4.1.4. Nehir tanımlama (Stream Definition)

Havzada oluşan belli bir eşik değerini geçen tüm akış yolları birleştirilerek nehir tanımlama işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.5)



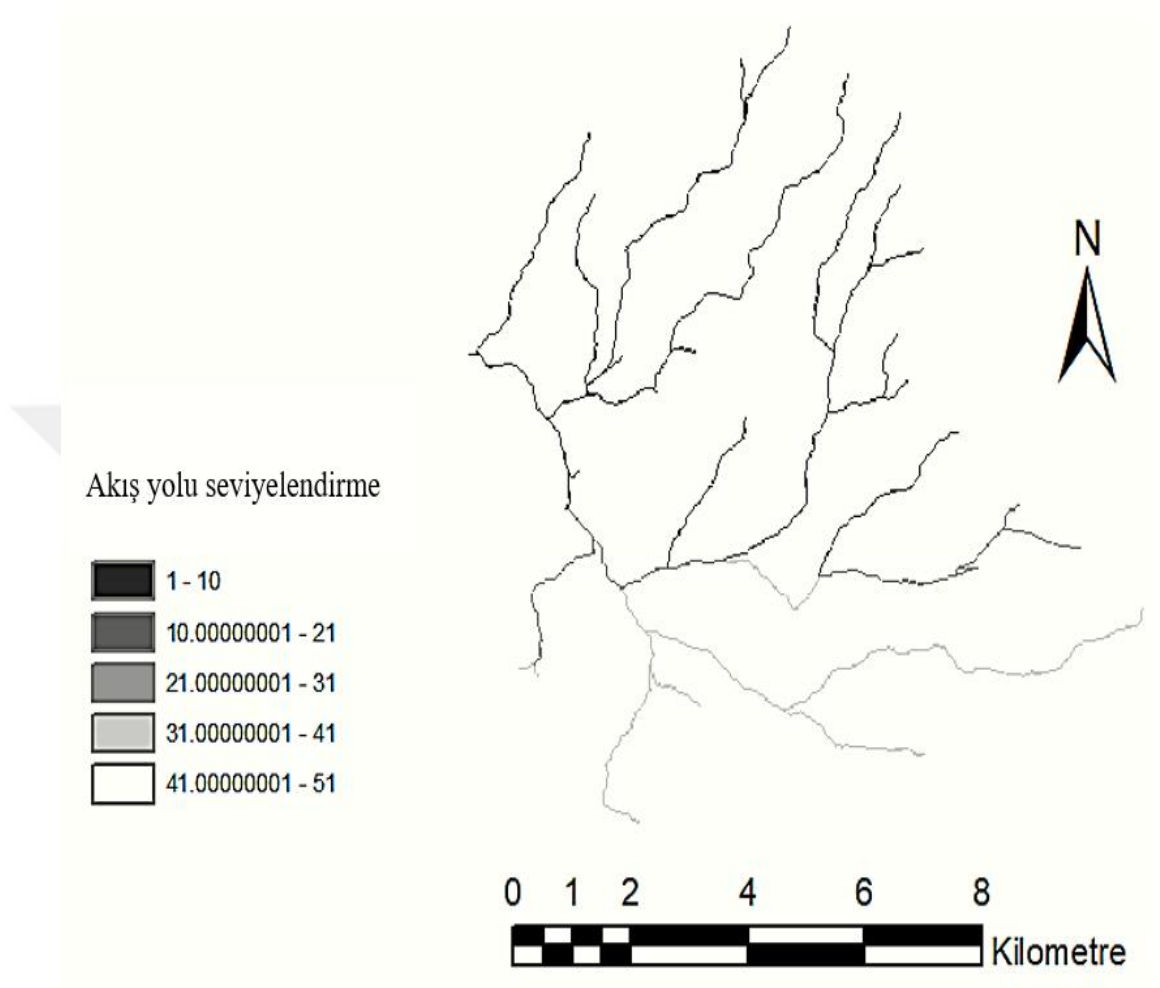
Şekil 4.5. Nehir kolları

4.1.5. Nehir bölümlenme (Stream Segmentation)

Nehir bölümlenme işleminde, bireysel akış yollarına arazinin en yüksek kotundan itibaren numara verilmektedir.

Örneğin iki akış kolu birleşerek yeni bir akış bölümünü oluşturmaktadır. Birleşen akış kolları 1 olarak adlandırılırken, oluşan yeni akış kolu 2 olarak tanımlanacaktır. Su akış

yolları birleşerek yeni akış yolunu oluşturmaktadır. Her yeni oluşan akış kolunda, sayı değeri bir artacaktır.

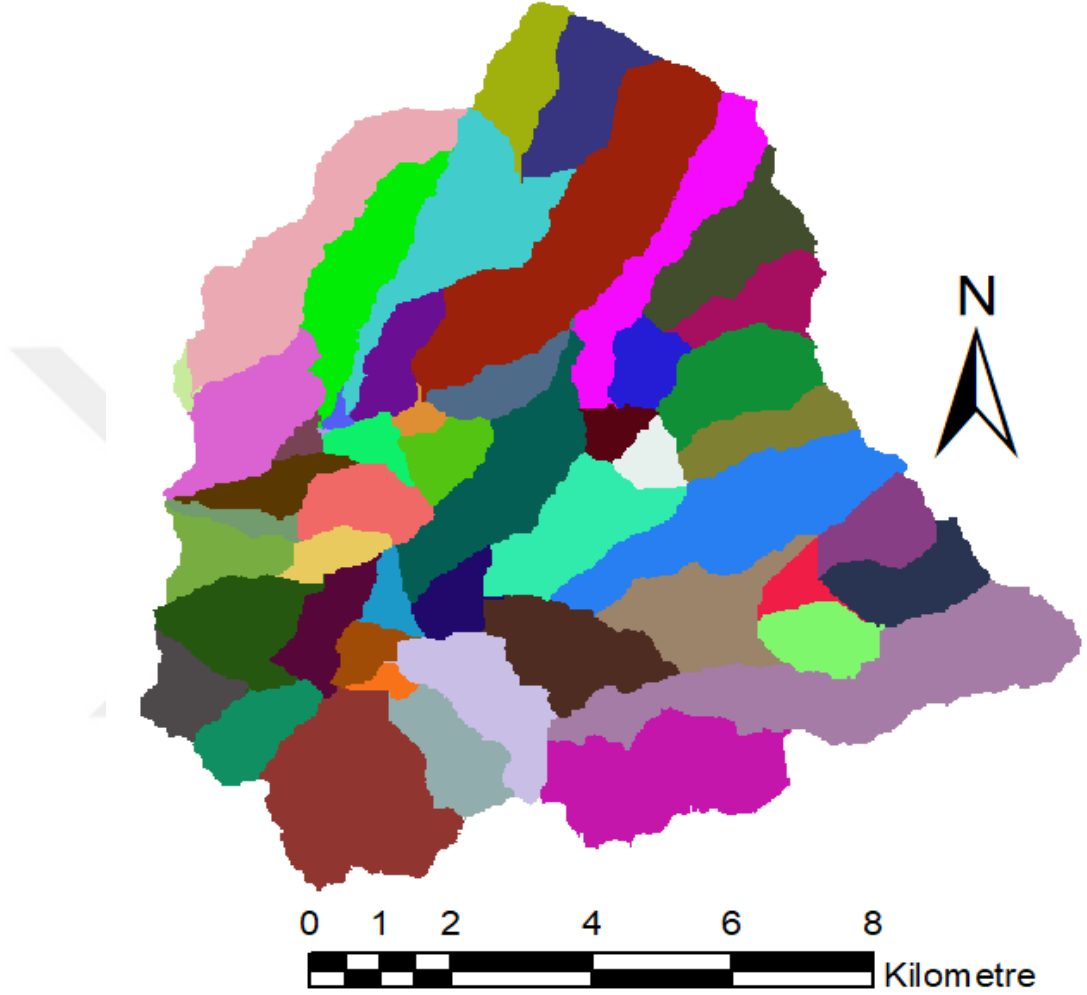


Şekil 4.6. Akış yolu seviyelendirme (bölümlendirme)

4.1.6. Su toplama alanı oluşturma (Catchment Grid Delineation)

Su toplama alanlarının oluşturulması işlemi, önceki seçenekte gerçekleştirilen nehir bölümlene ya da seviyelendirme işlemiyle elde edilen her akış yolunu oluşturan alt havzaların belirlenmesi işlemidir. Oluşan alt havzaların birleşmesiyle büyük su havzası elde edilebilmektedir (Şekil 4.7).

Şekilde 51 tane alt havza bulunmaktadır. Bazı alt havzalar büyük olduğundan kolaylıkla görülebilmekte, bazıları oldukça küçük olduğundan şekil büyütüldüğünde görülebilmektedir. Oluşan harita piksellerden oluşmakta, raster özellikli dosyadır.

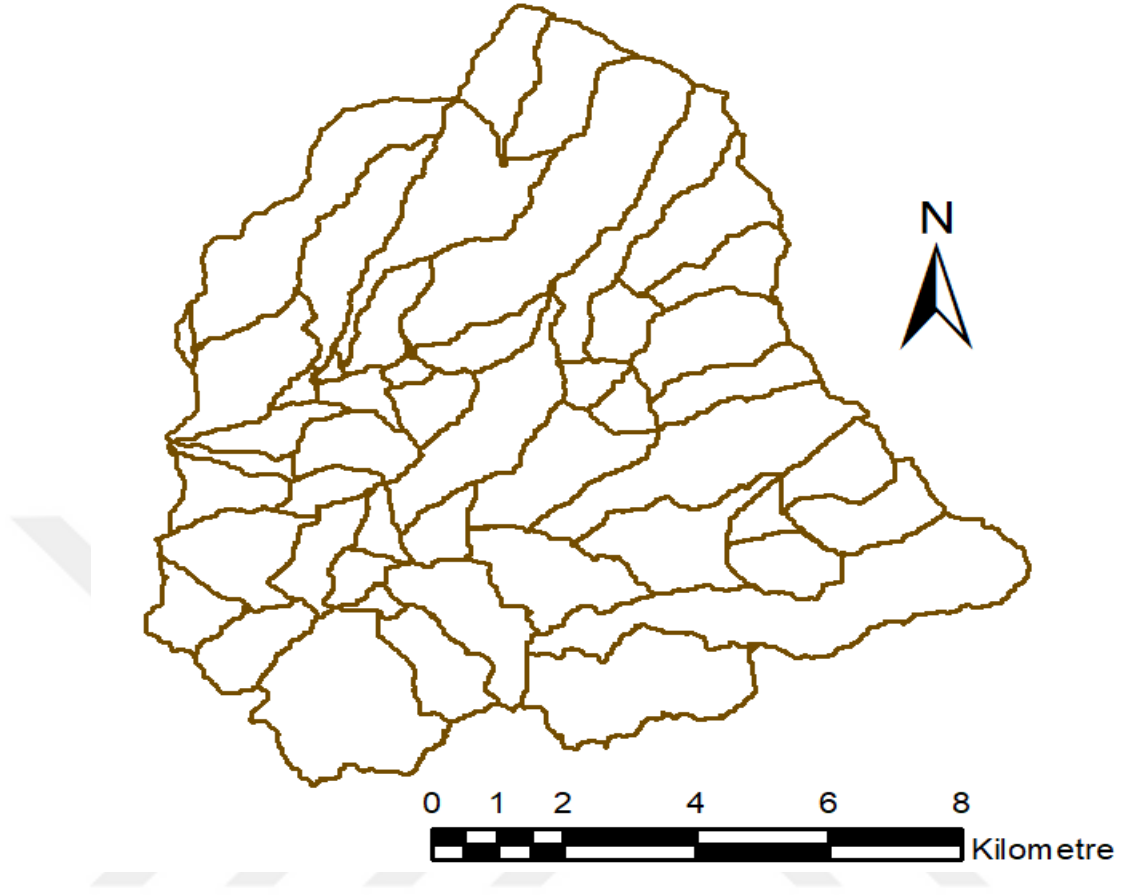


Şekil 4.7. Su toplama alanlarının oluşturulması

4.1.7. Su toplama alanını poligonlama (Catchment Polygon Processing)

Su toplama alanını poligonlama işlemi, alt su havzalarının poligon olarak gösterilme işlemidir (Şekil 4.8). Oluşan her poligonun, alan ve çevre uzunluğu değerleri bu dosyanın öznitelik tablosunda listelenmektedir.

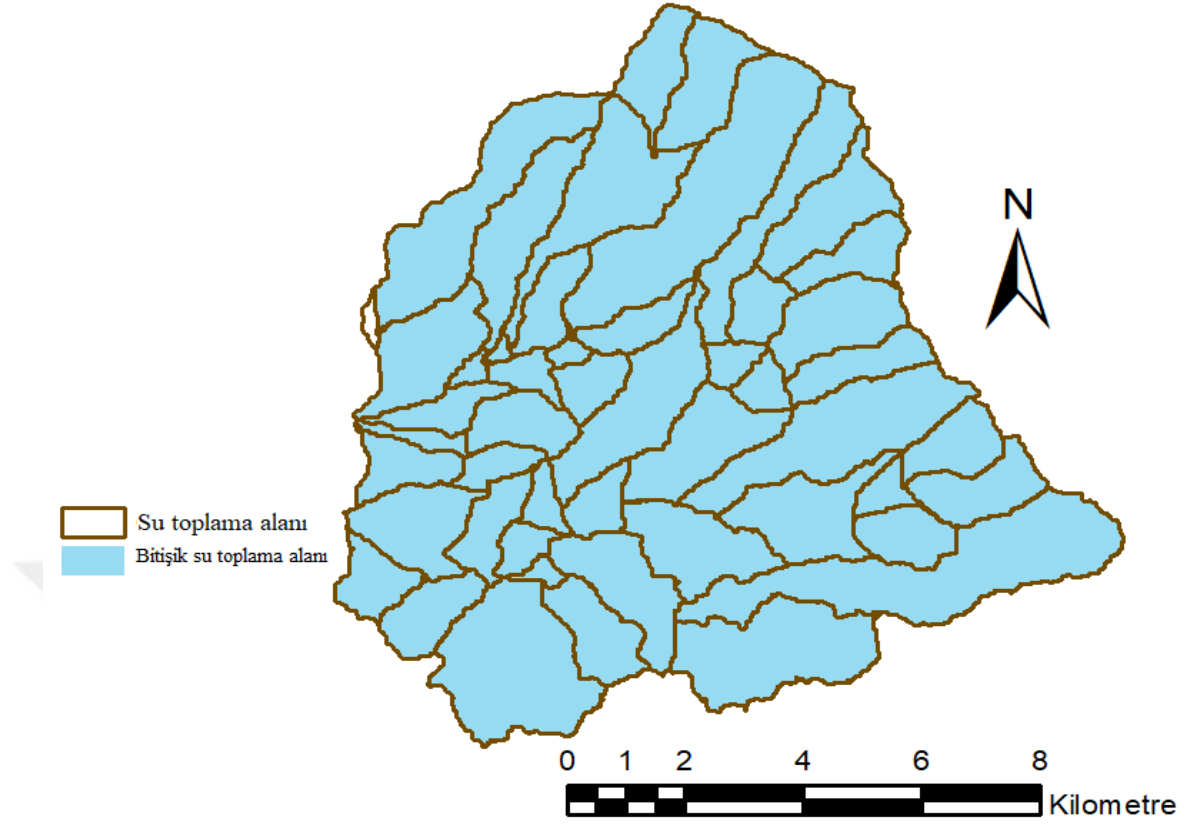
Tabloda oluşan değerlere göre minimum alt havza alanı 1,08 ha, maksimum havza alanı 766,8 ha'dır. Havza çevre uzunluğu ise 62520 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Su toplama alanını poligonlama

4.1.8. Bitişik su toplama alanı belirleme (Adjoint Polygon Processing)

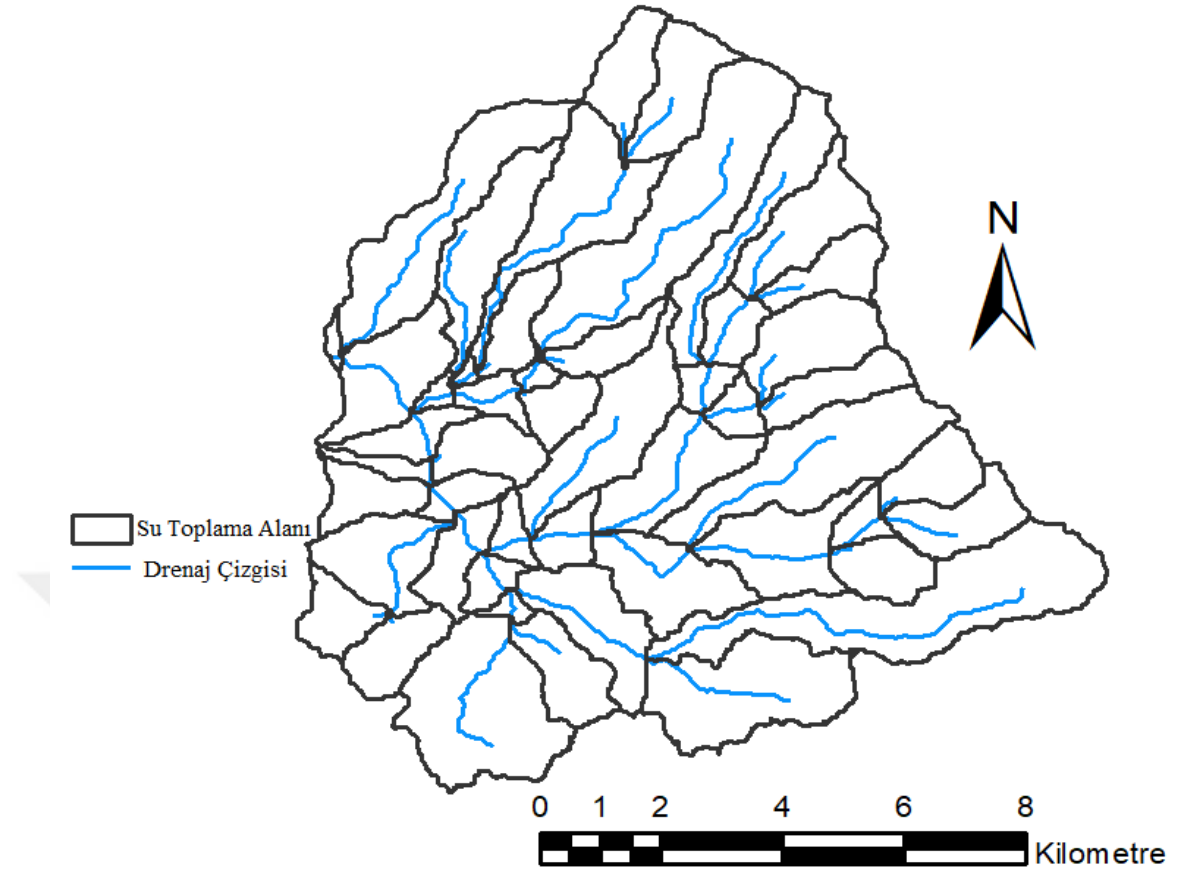
Burada, “Catchment” katmanı kullanarak akım yönünde birbirleri ile ilişkili su toplama alanları bir araya getirir (Şekil 4.9). Şekilde görüldüğü gibi birbiri ile bağlantısı olan tüm alt havzalar birleştirilerek ana havza alanı belirlenir. Ana havzadaki tüm alanlar aynı renk ile verilmiştir.



Şekil 4.9. Bitişik su toplama alanları

4.1.9. Drenaj çizgilerini belirleme (Drainage Line Processing)

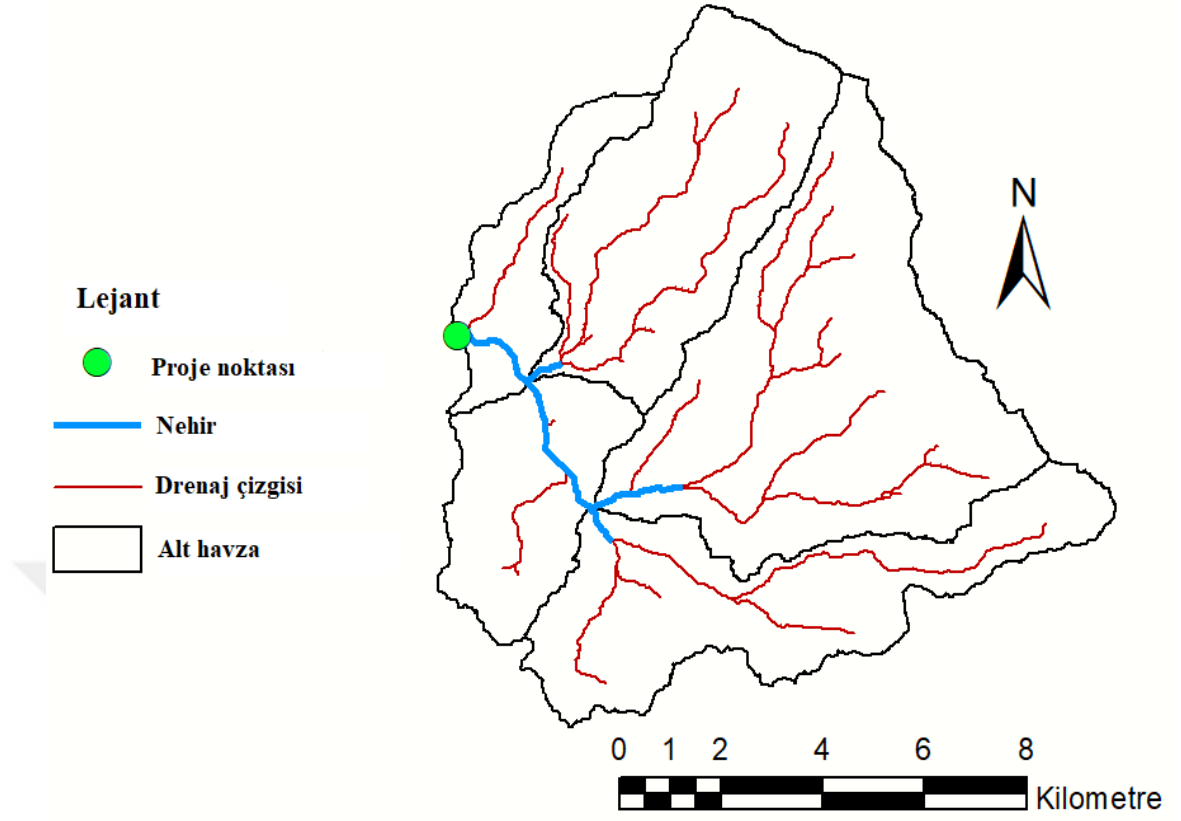
Şekil 4.10'da alt havzaların oluşturulan sınırlarına bağlı olarak drenaj noktaları ve drenaj hatları çizilmiştir. Bu drenaj hatları nehir hatlarıdır. Drenaj noktaları her farklı nehir hattının başlangıç noktasını belirtir. Drenaj hatları incelendiğinde alt su havzalarının ortasından geçtiği her alt havza için bir drenaj hattının olduğu ve her hat için bir drenaj noktasının olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10. Drenaj çizgileri ile su toplama alan sınırları

4.1.10. Havza işleme (Watershed Processing)

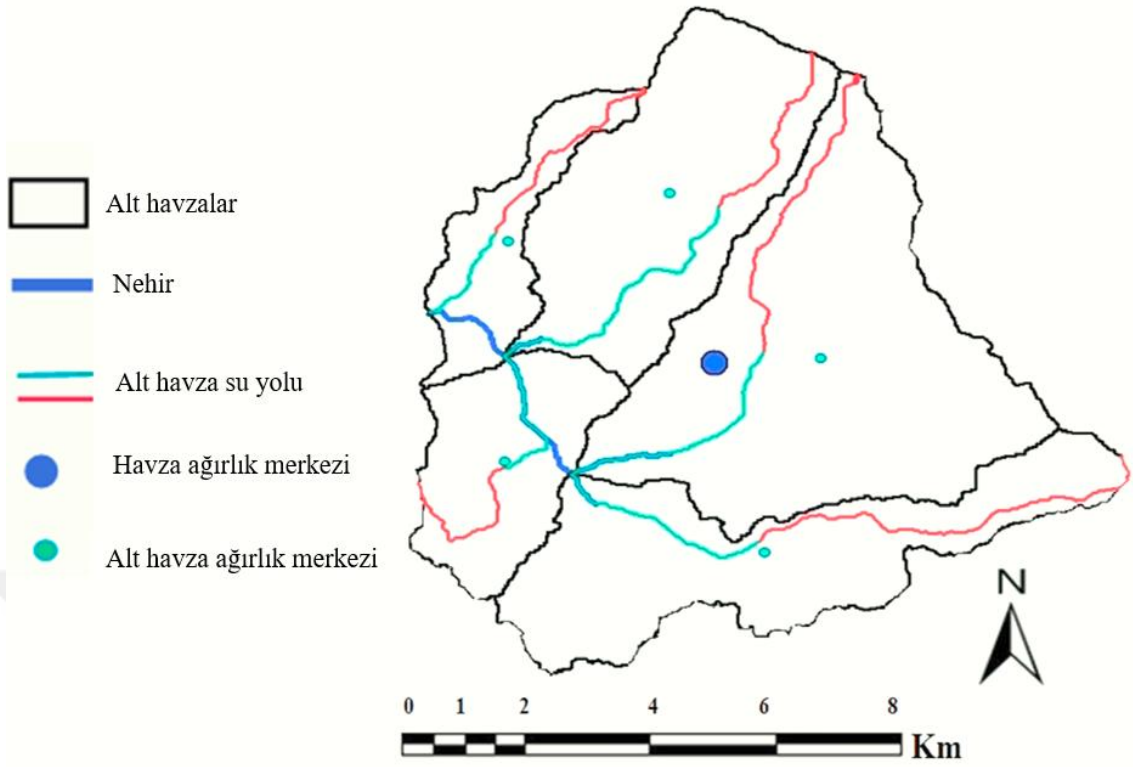
Bu aşamada, havzada çalışma kolaylaştırmak için HEC-GeoHMS eklentisi kullanarak havzanın bazı alt havzaları birleştirilmiştir. Şekil 4.11’de gösterildiği gibi, işlem sonunda, nehir bölümlere göre, 51 alt havzadan 5 üst havza elde edilmiştir. Drenaj (proje) noktası havza çıkışında belirlenmiştir. Burada, tabloda oluşan değerlere göre minimum alt havza alanı 809,64 ha; maksimum havza alanı ise 3909,51 ha’dır.



Şekil 4.11. Havza işleme

Havza karakteristiklerini belirlemek için gerçekleştirilen tüm aşamalardan sonra, su akım yönleri, alt havza sınırları, su akım çizgileri, havza ve alt havzalar ağırlık merkezleri ve ana havza sınırları belirlenmiştir (Şekil 4.12). Oluşan her dosya poligon, çizgi veya raster formatında olmasına bağlı olarak öznitelik tablosunda farklı bilgiler içerebilmektedir. Haritadaki nesnelerin bazı özellikleri, öznitelik tablosunda otomatik olarak oluşmaktadır.

Örneğin tüm havzayı gösteren poligon özellikli haritasının öznitelik tablosunda, havza alanı ve çevre uzunluğu bilgisi bulunmaktadır. Öznitelik tablosunda, Nilüfer Barajı havzasının alanı (A) 107,35 km², çevre uzunluğu ise 62520 m olarak oluşmuştur. Çalışmamızda bu alan ve çevre uzunluğu değeri kullanılacaktır. Havza alanındaki ana su yolu uzunluğu (L) 17875,9 m olarak hesaplanmıştır. Havza ağırlık merkezinin proje kesitine uzaklığı (Lc) ise 6964,66 m bulunmuştur. Elde edilen Nilüfer Baraj havzası karakteristikleri aşağıda Çizelge 4.1’de özet olarak sunulmuştur.



Şekil 4.12. Nilüfer Baraj havzası karakteristikleri

Çizelge 4.1. Nilüfer Baraj havzasına bağlı sayısal değerler

Havza Karakteristikleri	Belirlenen sonuçlar
Havza Alanı (km ²)	A = 107,35
Havza çevre uzunluğu (m)	13101,3
Havza minimum yüksekliği (m)	966
Havza maksimum yüksekliği (m)	2045
Havza ortalama yüksekliği (m)	1362,07
Havza yöneyi	Güneybatı, Güney
Ana su yolu uzunluğu (m)	L = 17875,9
Havza ağırlık merkezinin proje kesitine uzaklığı (m)	Lc = 6964,66

4.2. DSİ Sentetik Metodu ile Birim Hidrografının Elde Edilmesi

DSİ sentetik metodu ile birim hidrografın bulunmasında, gerçekleştirilen işlemler bu bölümde verilmiştir. Öncelikle havzanın harmonik eğimi bulunmuştur. Harmonik eğimin bulunmasında, havzanın en uzun su akış yolu uzunluğu değerine gereksinim duyulmaktadır.

Havzanın en uzun akış yolu CBS programı ile önceki bölümde açıklandığı gibi bulunmuştur. En uzun akış yolunun başlangıcındaki ve bitimindeki kotlar (yükseklikler) alınmıştır. Bu kotlar sırası ile 2045 ve 966 m'dir. Havza en uzun su akış yolu 10 eşit parçaya bölünmüştür. Havzanın başlangıcından itibaren elde edilen yükseklik değerleri sırasıyla, 2045, 1635, 1432, 1315, 1206, 1107, 1062, 996, 971 ve 966 m olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.2'nin 3'üncü sütununda, bu değerler arasındaki fark hesaplanmıştır. Dördüncü sütunda ise, en uzun su yolunun 10 eşit parçaya bölündüğünde elde edilen değerler verilmiştir.

Çizelge 4.2. Harmonik eğim hesabı

h2	h1	Δh	$I = \frac{L}{10}$	$S_i = \frac{\Delta h}{I}$	$\sqrt{S_i}$	$1/\sqrt{S_i}$
2045	1635	410	1787,59	0,022936	0,151446	6,602996176
1635	1432	203	1787,59	0,011356	0,106565	9,383944072
1432	1315	117	1787,59	0,006545	0,080901	12,36078664
1315	1206	109	1787,59	0,006098	0,078096	12,80475312
1206	1107	99	1787,59	0,005538	0,074417	13,43778975
1107	1062	45	1787,59	0,002517	0,050169	19,93262772
1062	996	66	1787,59	0,003692	0,060762	16,45765446
996	971	25	1787,59	0,001399	0,037403	26,73582333
971	966	5	1787,59	0,000280	0,016733	59,76214666
966	891	75	1787,59	0,004196	0,064777	15,43757815
Toplam			17875,9			192,9161001

$$A = 107,35 \text{ km}^2 \quad L = 17,8759 \text{ km} \quad L_c = 6,96466 \text{ km}$$

Harmonik eğim, aşağıdaki formülde değerler yerine konularak hesaplanmıştır. Bu formülde, $\sum \frac{1}{\sqrt{S_i}}$ değeri Çizelge 4.2'de son sütunda bulunmuştur. Değerler yerine yazılarak harmonik eğim yaklaşık olarak 0,0027 bulunmuştur.

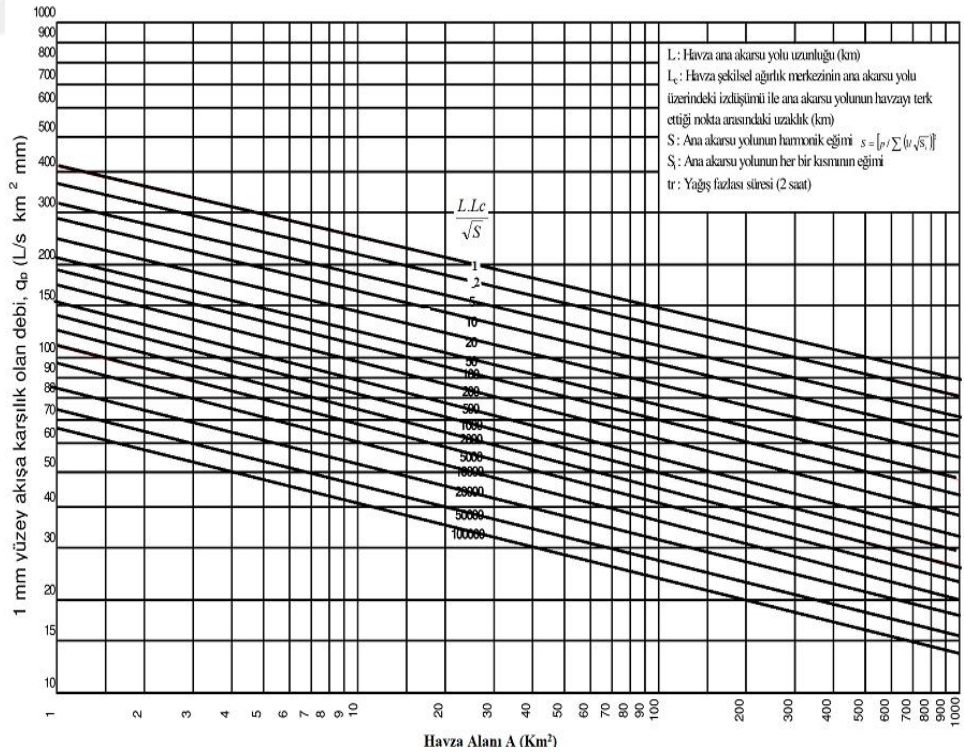
$$S = (10 / 192,916)^2 = 0,002686971$$

$$S = 0,0027 \text{ (birimsiz)}$$

DSİ sentetik metoduna göre aşağıdaki formüle göre eğri numarası bulunmaktadır. Bu formülde, L değeri 17,8759 km, Lc değeri 6,96466 km dir.

$$E = (17,8759 \times 6,96466) / \sqrt{0,0027} = 2401,80$$

$$E = 2401,8$$



Şekil 4.13. SCS boyutsuz birim hidrograf için yüzey akış grafiği (Özdemir 1978)

Şekil 4.13'te havza alanı, x ekseninde işaretlenir, bu noktadan y eksenine paralel olarak yukarı doğru çıkılarak 2410,80 eğri değerinin yeri bulunur. Bulunan noktadan sola doğru y eksenini kestiği nokta bulunarak, buradaki değer okunur. Bu değer qv değeridir, burada $qv = 41 \text{ lt/sn/km}^2/\text{mm}$ olarak bulunmuştur. Aşağıdaki formülde qv değeri yerine yazılarak pik debi bulunur.

$$Q_p = A \cdot qv \cdot 10^{-3} = 107,35 \times 41 \times 10^{-3} = 4,40 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$$

$$\mathbf{Q_p = 4,40 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}}$$

Birim hacim V_b , $h_a = 1 \text{ mm}$ akış için, $V_b = A \cdot h_a \cdot 10^3 = 107,35 \times 1 \times 10^3 = 107350 \text{ m}^3$

$$\mathbf{V_b = 107350 \text{ m}^3}$$

Hidrograf devam süresi $T = 3,65(V_b/Q_p) = 3,65(107350 / 4,4) = 89051,7 \text{ sn} \cong 25 \text{ saat}$

$$\mathbf{T = 25 \text{ saat}}$$

Hidrografın yükselme zamanı $T_p = \frac{T}{5} = \frac{25}{5} = 5 \text{ saat}$

$$\mathbf{T_p = 5 \text{ saat}}$$

DSİ sentetik metot da proje sağanak süresinin 2 saatin katlarından biri olarak alınması halinde T ve T/T_p nin tam sayı olmasının gerekmesi nedeniyle, birim hidrograf yerine, ikişer saat süreli her bir artım akışa ait eğim (Q)'ların (Çizelge 4.3)'ten yararlanılarak çizilecek hidrograf süperpozisi yapılmaktadır.

Çizelge 4.3. DSİ sentetik metot boyutsuz birim hidrograf koordinatları

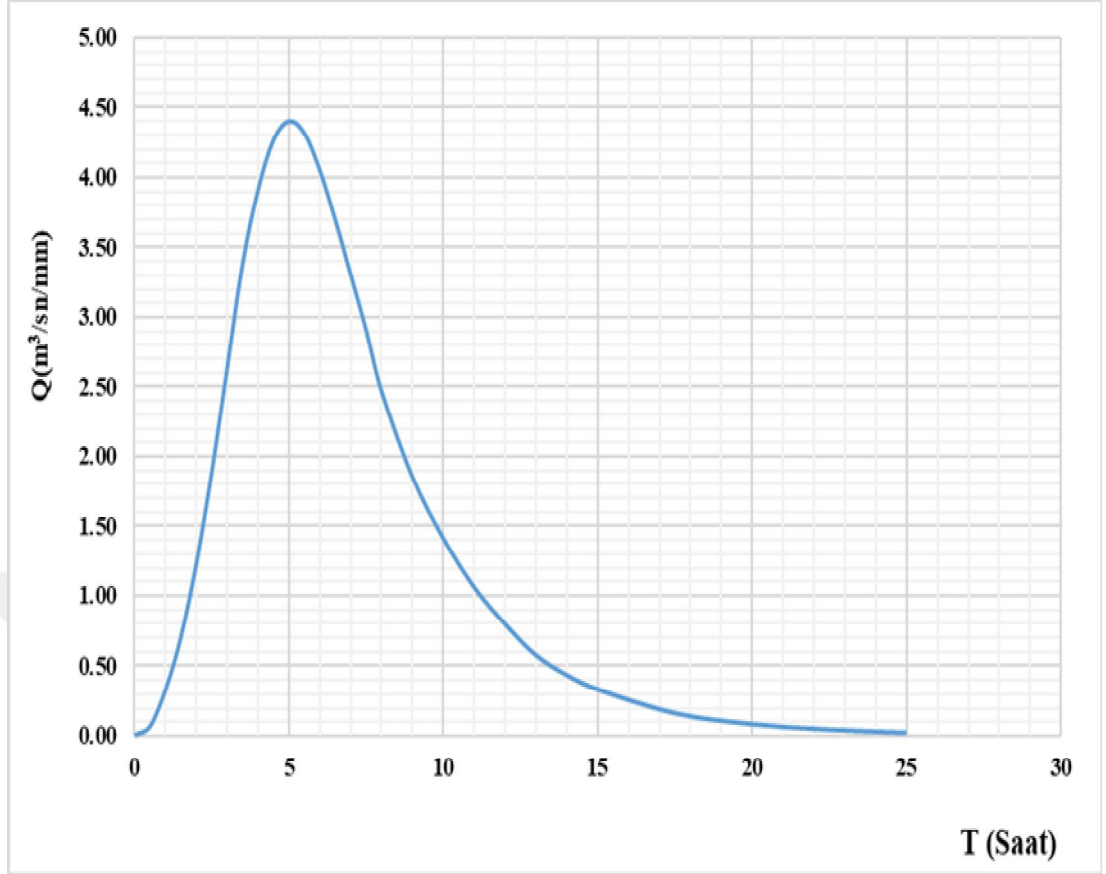
T/T_p	Q/Q_p
0	0
0,1	0,015
0,2	0,075
0,3	0,16
0,4	0,28
0,5	0,43
0,6	0,6
0,7	0,77
0,8	0,89
0,9	0,97
1	1
1,1	0,98
1,2	0,92
1,3	0,84
1,4	0,75
1,5	0,66
1,6	0,56
1,8	0,42
2	0,32
2,2	0,24
2,4	0,18
2,6	0,13
2,8	0,098
3	0,075
3,5	0,036
4	0,018
4,5	0,009
5	0,004

Ancak, bu yol uzun proje sağanak süreleri için fazla zaman aldığından, çok kere sonuçların birim hidrograf kullanılarak elde edilmesi daha kolay olmaktadır. Nilüfer baraj havzası alanı birim hidrografı (Çizelge 4.3)'teki boyutsuz hidrograf koordinatlarından (T/T_p) nin (T_p = 5 saat) ile, (Q/Q_p) nin ise Q_p = 4,40 m³/sn çarpılıp (Çizelge 4.4)'deki Q ve t değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin x ve y koordinat sisteminde işaretlenmesi ile hidrograf elde edilmiştir (Şekil 4.3).

Çizelge 4.4. DSİ sentetik metotla hesaplanmış birim hidrograf koordinatları

t	Q
0	0,00
0,5	0,07
1	0,33
1,5	0,70
2	1,23
2,5	1,89
3	2,64
3,5	3,39
4	3,92
4,5	4,27
5	4,40
5,5	4,31
6	4,05
6,5	3,70
7	3,30
7,5	2,90
8	2,46
9	1,85
10	1,41
11	1,06
12	0,79
13	0,57
14	0,43
15	0,33
17,5	0,08
20	0,08
22,5	0,04
25	0,02

T ve T/Tp nin tam sayı olmaması halinde dahi, birim hidrograf kullanarak hesaplanıp çizilecek hidrograflarda önemli bir farka sebebiyet verilmeyecektir.



Şekil 4.14. Nilüfer Baraj havzası için DSİ sentetik metodu ile elde edilmiş birim hidrograf

Şekilde görüldüğü gibi, DSİ sentetik yöntemi ile elde edilen Nilüfer Baraj havzasına ait 2 saat süreli birim hidroftır. Birim hidrograf elemanları pik debisi $Q_p = 4,40 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$, hidrografın yükselme zamanı $T_p = 5$ saat olarak bulunmuştur.

4.3. Mockus Metodu ile Birim Hidrografının Elde Edilmesi

Harmonik eğimi bulmak için, DSİ sentetik metodu ile aynı yöntem kullanılmaktadır. Çizelge 4.2'den, kot farkı $= 2045 - 891 = 1154 \text{ m}$ olarak bulunur.

$$A = 107,35 \text{ km}^2; L = 17,8759 \text{ km}$$

$$S = 0,0027; h_a = 1 \text{ mm}$$

$$K = 0,208; H = 1,67$$

Suların toplanma zamanı, $T_c = 0,00032(17,8759)^{0,77} / (0,0027)^{0,385} = 5,88$

$T_c = 5,88$ saattir

Taşkını meydana getiren yağış süresi: $D = 2\sqrt{5,88} = 4,85$

$D = 4,85$ saattir

Pike erme zamanı $T_p = \sqrt{5,88} + 0,6\sqrt{5,88} = 5,95$

$T_p = 5,95$ saattir

Hidrografın çekilme eğrisinin süresi, $T_r = 1,67 \times 5,95 = 9,94$

$T_r = 9,94$ saattir

Hidrografın taban süresi, $T_b = 5,95 + 9,94 = 15,89$

$T_b = 15,89$ saattir

Birim Hidrograf piki, $Q_p = 0,208 \times 107,35 \times 1/5,95 = 3,75$

$Q_p = 3,75 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm.dir}$

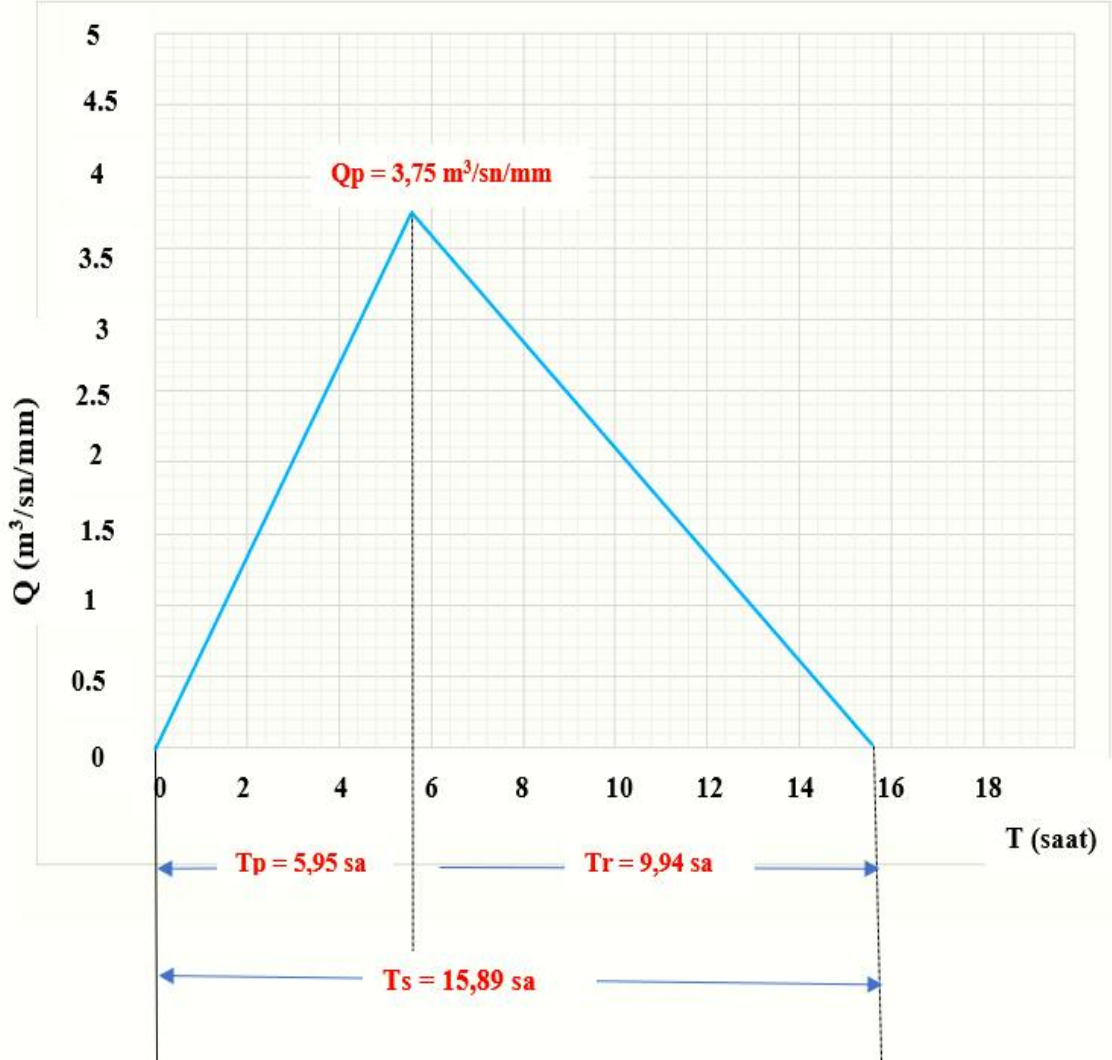
$K = (3,75 \times 9,95) / 107,35 = 0,347$

$K = 0,347$

$H = (2 \times 0,278 - K) / K = (2 \times 0,278 - 0,35) / 0,35 = 0,602$

$H = 0,602$

Elde edilen veriler, Nilüfer Baraj havzasına ait birim hidrograf elemanlarıdır. Bu değerlere göre birim hidrograf aşağıda şekil 4.15'te görüldüğü gibi çizilmiştir.



Şekil 4.15. Nilüfer Baraj havzası için Mockus metodu ile elde edilmiş birim hidrograf

Mockus yöntemine göre, birim hidrograf pik debisi $Q_p = 3,75 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$, hidrografın yükselme zamanı $T_p = 5,95$ saat ve birim hidrografın taban süresi $T_b = 15,89$ saattir. Nilüfer Baraj havzasına ait katsayılar $K = 0,347$ ve $H = 0,602$ olarak hesaplanmıştır.

4.4. Snyder Metodu ile Birim Hidrografının Elde Edilmesi

Burada Ct ve Cp katsayıları zemin cinsine göre değişmektedir.

Çizelge 4.5. Zemine bağlı katsayılar

Zemin Cinsi	Ct	Cp
Kumlu	1,65	0,56
Balçık	1,50	0,63
Killi veya kayalık	1,35	0,69

Çalışmada, Nilüfer Baraj havzası toprak özelliklerine göre, kumlu ve kayalık özelliklerdeki zemine bağlı katsayıların ortalaması kullanılmıştır.

$$Ct = (1,65 + 1,35) / 2 = 1,5 \quad \mathbf{Ct = 1,5}$$

$$Cp = (0,56 + 0,69) / 2 = 0,63 \quad \mathbf{Cp = 0,63}$$

Formül metrik sisteme göre yazılacağından Ct değeri 0,752 katsayısı ile düzeltilecektir.

$$Tp = 0,752 \times 1,5 (17,88 \times 6,96)^{0,3}$$

$$\mathbf{Tp = 4,8 saattir}$$

$$qv = 276 \times (0,63/4,8) = 36,225 \text{ lt/sn/km}^2/\text{mm}$$

$$\mathbf{qv = 362,25 \text{ lt/sn/km}^2/\text{cm}}$$

$$Tr = 4,8/5,5 = 0,87 \cong 1 \text{ sa.}$$

$$\mathbf{Tr = 1 saattir}$$

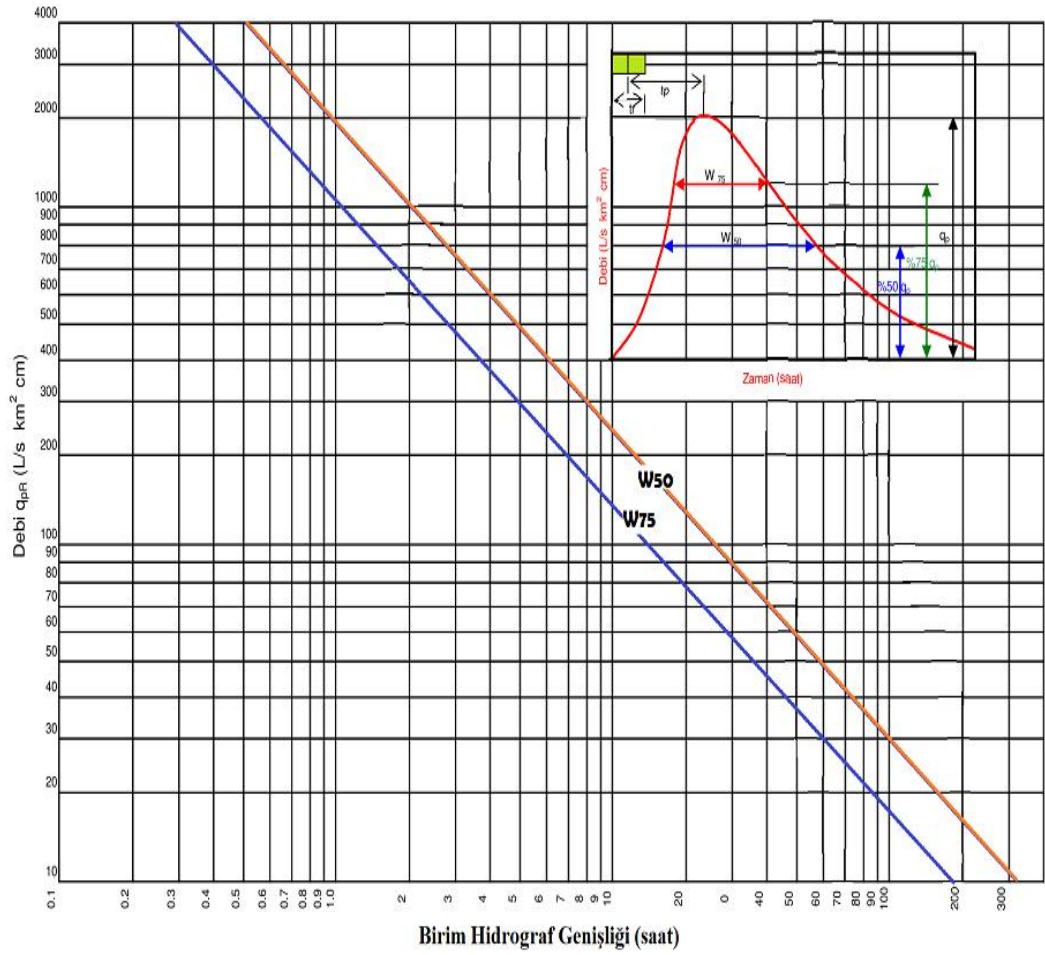
$$Q_p = 107,35 \times 36,23 \times 1 \times 10^{-3} = 3,89$$

$$Q_p = 3,89 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$$

$$T = 2 + (3 \times 4,8 / 24) = 3,6$$

$$T = 3,6 \text{ gün}$$

Hidrografın elde edilmesi için qv verim değeri yardımı ile gerçekleştirilmiştir. $0,75 Q_p$ 'ye tekabül eden T_{w75} ve $0,50 Q_p$ 'ye tekabül eden T_{w50} ; Hidrograf genişliğini gösteren değerler Şekil 4.16'dan tespit edilir.



Şekil 4.16. Verime göre birim hidrograf genişliği (Özdemir 1978)

$qv = 362,25 \text{ lt/sn/km}^2/\text{cm}$ için Şekil 4.16'dan:

$$0,75Q_p = 0,75 \times 3,89 = 2,92 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm.de } W_{75} = 3,8 \text{ saat}$$

$$0,50Q_p = 0,50 \times 3,89 = 1,95 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm.de } W_{50} = 6,8 \text{ saat okunmuştur.}$$

W_{75} ve W_{50} değerlerinin, 1/3ü hidrografın yükselme tarafında, 2/3ü alçalma tarafında alınmıştır.

$$T_{w50} = 6,8 \text{ saat}$$

$$1/3 T_{w50} = 2,27$$

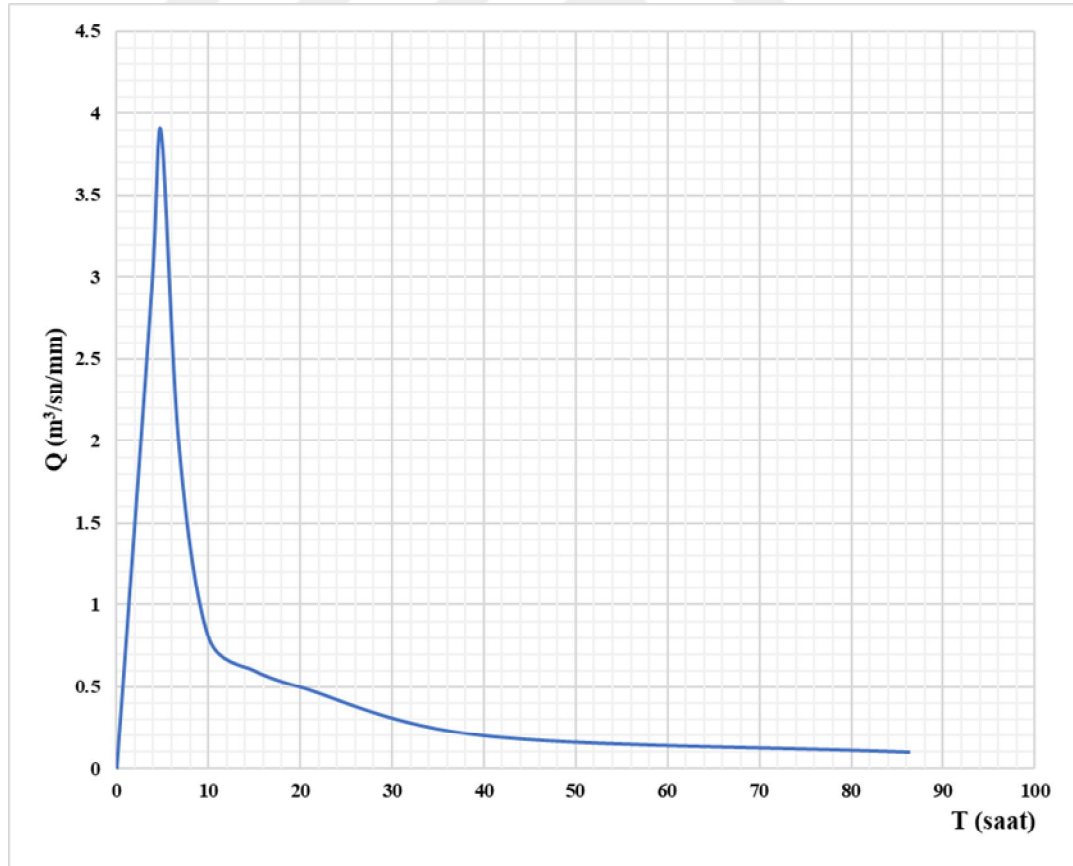
$$2/3 T_{w50} = 4,53$$

$$T_{w75} = 3,8 \text{ saat}$$

$$1/3 T_{w75} = 1,27$$

$$2/3 T_{w75} = 2,53$$

Birim hidrograf hacmi (V_b) $ha = 1 \text{ mm}$ için $V_b = A.ha/10^3 = 107,35 \times 1 \times 10^3 = 107350 \text{ m}^3$ 'tür. Birim hidrograf, aşağıdaki değerlerden yararlanarak Şekil 4.6'da görüldüğü gibi çizilmiştir: $T_p = 4,8 \text{ saat}$; $T_s = 86,4 \text{ saat}$; $T_r = 1 \text{ saat}$; $Q_p = 3,89 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$; $W_{75} = 3,8 \text{ saat}$; $W_{50} = 6,8 \text{ saat}$; $V_p = 107350 \text{ m}^3$



Şekil 4.17. Nilüfer Baraj havzası için Snyder metodu ile elde edilmiş birim hidrograf

Snyder yöntemine göre Nilüfer Baraj havzası için, birim hidrograf elemanlarını birim hidrograf pik debisi $Q_p = 3,89 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$, pik debisi $T_p = 4,8$ saat; havza ve birim hidrograf karakteristiklerine bağlı katsayılarını $C_t = 1,5$; $C_p = 0,63$ olarak bulunmuştur.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Nilüfer Baraj havzasının parametrelerinin ve havza için sentetik birim hidrograflar belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, coğrafi bilgi sistemleri ve sentetik birim hidrograf yöntemleri kullanılmıştır.

Coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri kullanarak Nilüfer Baraj havzasının parametreleri elde edilmiştir. Nilüfer Baraj havzası 107,35 km² alanı olan bir havzadır. Havza çevre uzunluğu 62520 m olup, maksimum yükseklik değeri 2045 m iken minimum yükseklik değeri 966 m'dir. Havza ana su yolu uzunluğu 17875,9 m; havza ağırlık merkezinin proje kesitine uzaklığı 6964,66 m'dir.

Elde edilen bu havza karakteristikleriyle sentetik birim hidrograflar oluşturulmuştur. DSİ Sentetik, Mockus ve Snyder yöntemleriyle 2 saat süreli ortalama birim hidrografının pik debisi (Qp), pike erişme debisi (Tp), taban süresi (Tb) hesaplanmış ve bu yöntemlere ait bazı katsayılar elde edilmiştir.

DSİ Sentetik yöntemi ile elde edilen Nilüfer Baraj Havzasına ait 2 saat süreli birim hidrograftır. Birim hidrograf elemanları pik debisi $Q_p = 4,40 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$, hidrografın yükselme zamanı $T_p = 5$ saat olarak bulunmuştur.

Mockus yöntemine göre, birim hidrograf pik debisi $Q_p = 3,75 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$, hidrografın yükselme zamanı $T_p = 5,95$ saat, birim hidrografın taban süresi $T_b = 15,89$ saattir. Bu yönteminde kullanılan havza özelliklerine bağlı katsayılar araştırma havzası için $K = 0,347$ ve $H = 0,602$ olarak bulunmuştur.

Snyder yöntemine göre Nilüfer Baraj havzası için, birim hidrograf elemanlarını birim hidrograf pik debisi $Q_p = 3,89 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$, hidrografın yükselme zamanı $T_p = 4,8$ saat; havza ve birim hidrograf karakteristiklerine bağlı katsayılarını $C_t = 1,5$, $C_p = 0,63$ olarak bulunmuştur.

Bu üç yöntem için, elde edilmiş birim hidrografların pik debiler arasında küçük bir fark olduğu görülmektedir. En yüksek debi DSİ Sentetik yöntemi ile elde edilmiş ($Q_p = 4,40 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$) ve en küçük ise Mockus yöntem ile elde edilmiştir ($Q_p = 3,75 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{mm}$). En uzun hidrografın yükselme zamanı Mockus yöntemi ile elde edilmiş ($T_p = 5,95$ saat) ve en kısa süre ise Snyder yöntemi ile elde edilmiştir ($T_p = 4,8$ saat).

Elde edilen sonuç, Sönmez ve ark. (2012) tarafından bulunan sonuçlarla uyumludur. Snyder yönteminde, C_t ve C_p katsayıları zemine bağlı, Mockus yönteminde K ve H katsayıları havza özelliğine bağlı katsayılardır. Bu katsayıların bulunması için, ön çalışmaların yapılmasına gereksinim duyulmaktadır. DSİ yöntemi ise bu katsayılara gereksinim duymamakta, bu nedenle daha kolay yöntem tercih edilebilmektedir.

Sentetik birim hidrograf yöntemleri, benzer havzalara ilişkin hidrografların hazırlanmasında kullanılabilir. Ancak havzaya ilişkin gerçek akım gözlem ve iklim değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlara göre farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Ancak ölçülmüş verilerin olmadığı havzalarda birim hidrografların oluşturulmasında sentetik yöntemlerin kullanımı zorunlu olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akyürek, V. 1995.** Havza parametrelerinin tahmininde CBS kullanımı. Türkiye ikinci Arc/Info ve Erdas kullanıcıları grubu toplantısı, İstanbul.
- Alkan, Ç. 2016.** Küçük su havzaları hidrolojik modeli Wintr-55'in Bursa İli bazı sulama gölet havzalarına uygulanabilirliğinin araştırması. *Yüksek Lisans Tezi*, U.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Anonim, 1995.** Bursa İli Arazi Varlığı, T.C. Başbakanlık, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, İl Rapor No. 16, Ankara.
- Anonim, 2011.** Arc Hydro Geoprocessing Tools -Tutorial, Version 2.0 - October 2011
- Anonim, 2014.** Kalkınma Bakanlığı, 2014b, "2015 yıllı yatırım programı, genel ekonomik hedefler ve yatırımlar", Kalkınma Bakanlık, 2014c, "Onuncu Kalkınma Planı, 2014-2018", Ankara.
- Anonim, 2018.** Keles' in Coğrafi Yapısı. <http://www.keles.bel.tr/cografı/> (Erişim tarihi: 19.01.2018).
- Anonymous, 2005.** ArcHydro Tools-Tutorial. Version 1.1, ESRI 380 Redlands, New York.
- Aslan Akkaya, Ş.T. 2005.** CBS Olanakları ile Bazı Havza Özelliklerinin Belirlenmesi, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (2): 128-134.
- Bantchina, B.B., Mucan, U., Gündoğdu, K.S., 2017.** "Bursa İli Arazi Varlığının Coğrafi Bilgi Sistemi ile Analizi", 5. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, Kırklareli, S. 65-74, 12-15 Eylül 2017.
- Balov, M.N. 2014.** Akış Hidrografi Tahmin Modelleri. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik ve Su Kaynakları bölümü, İstanbul.
- Bayazıt, M. 1999.** İTÜ İnşaat Fakültesi, Matbaası, İstanbul.
- Bhunya, P.K., Ghosh, N.C., Mishra, S.K., Ojha, C.S.P., Berndtsson, R. 2003.** Hybrid Model for Derivation of Synthetic Unit Hydrograph. *Journal Hydraulic Engineering*, 10(6): 458-467.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mayis, L.W. 1988.** Applied Hydrology, McGraw-Hill, Singapore.

- Çelebi, D. 1988.** Ankara-Beytepe Yöresindeki Bazı Havzaların yağış Karakteristikleri, Köy Hizmetleri, Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Genel Yayın No: 155, Rapor seri No: 74, Ankara.
- Dilley, M. 2005.** Natural disaster hotspots: A global risk analysis, Vol.5, World Bank publications, Washington, DC.
- Dooge, J.C.I., 1973.** Linear Theory of Hydrologic Systems, *Agr. Res. Ser. Tech. Bull.* No. 1468, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C.
- DMİ, 2016.** Doğal Afetler. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/doğal-afetler.aspx?s=taskinlar> (Erişim tarihi: 09.12.2015).
- Elginöz, N. 2013.** Ders Notları, İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrograf Analizi.
- Erenbilge, T. 1996.** CBS kullanılarak Denizli-Çürüksu havzasının hidrolojik modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 124s., Ankara.
- Hocaoğlu, Ş. 1991.** Edremit ovası ve çevresinin jeomorfolojik ve uygulamalı jeomorfolojik etüdü. *Doktora Tezi*, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış, İstanbul.
- Jain, S.K., Singh, V.P., Bhunya, P.K. 2006.** Development of optimal and Physically Realizable unit hydrograph. *J. Hydraulic Engineering*, (11): 612-616.
- Karnieli, A. 1991.** Stepwise Overlay Approach for Utilizing a GIS with a Soil Moisture Accounting Model. *ITC Journal*, (1): 11-18.
- Korkmaz, S. 2001.** Hidrolojide CBS uygulamaları: Nilüfer Çayı havzası. TMMOB CBS kongresi 2011, Antalya.
- Maji, A.K., Nayak, D.C., Krishna, N.D.R., Srinivas Kamble K, C.V., Obi Reddy, G.P., Özgüven, M., Sekin, S., Gürbüz, N., Şekeroğlu, F., Ayanoglu, S., Erken. 2005.** TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi 3-7 Ocak 2005, Milli Kütüphane, Ankara.
- Oğuz, İ., Balçın, M. 2002.** Tokat-Zile-Akdoğan deresi havzası yağış ve akım karakteristikleri, *Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yıllığı-2002.* (121): 64-78, Ankara.
- Özdemir, H. 1978.** Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi DSİ, Ankara.

- Prasad, T.D., Gupta, R., Prakash, S. 1999.** Determination of optimal loss rate parameters and unit hydrograph. *J. Hydraulic Engineering*, 4(1): 83-87.
- Rahmanlar, T.S. 2015.** Entegre havza yönetiminde kara destek sistemi olarak CBS, *Uzmanlık Tezi*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Rinaldo, A., Vogel, G.K., Rigon, R., Rodriguez, I. 1995.** Can one gauge the shape of a basin? *Water Resources Research*, 31(4): 1119-1127.
- Robinson, J.S., Sivapalan, M., Snell, J.D. 1995.** On the relative roles of hillslope processes, channel routing and network geomorphology in the hydrologic response of natural catchments. *Water Resources Research*, 31(12): 3089-3101.
- Salami, A.W., Bilewu, S.O., Ayanshola, A.M., Oritola, S.F. 2009.** Evaluation of synthetic unit hydrograph methods for the development of design storm hydrographs for river in South-West Nigeria, *Journal of American Science*, 5(4): 23-32.
- Sherman, L.K. 1932.** Streamflow from rainfall by the unit graph method. *Eng. News Rec.*, (108): 501-505.
- Shih, S.F. 1990.** Satellite data and geographical information system for rainfall estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116 (3): 319-331.
- Snyder, F.F. 1938.** Synthetic unit graphs. *Trans. Am. Geophys. Union*, (19): 447-454.
- Soykan, İ. 1972.** Ankara Beytepe su toplama havzası birim hidrografının çıkarılması ve bunun benzer havzalarda uygulama imkanları üzerinde bir araştırma, Merkez Toprak Su Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Genel Yayın No:17, Teknik Yayın No: 14, 1972, Ankara.
- Stuebe, M.M., Johnston, D.M. 1990.** Runoff volume Estimation using GIS techniques. *Water Resources Bulletin*, 26 (4): 611-620.
- Sule, B.F., Alabi, S.A. 2013.** Application of synthetic unit hydrograph methods to construct storm hydrographs, *Academic Journals, International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 5(11): 639-647.
- Şeker, D.Z., Tanık, A., Öztürk, D. 2009.** Coğrafi Bilgi Sistemlerinin havza yönetim çalışmalarında uygulanmaması. TMMOB CBS Kongresi, 2-6 Kasım 2009, İzmir.
- Usul, N. 2008.** Mühendislik Hidrolojisi, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.Ş., Ankara, 418 ss.
- Uşıkay, S., Aksu, S. 2002.** Ülkemizde taşkınlar, nedenleri, zararları ve alınması gereken önlemler, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 420-421-422/2002/4-5-6.

Wilkerson, J.L., Merwade, V.M. 2010. Determination of unit hydrograph parameters for Indiana Watersheds, Joint Transportation Research Program, Final Report.

Yılmaz, A. 1991. Uygulamalı havza hidrolojisi. Köy Hizmetleri Konya Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Genel Yayın No: 143, Teknik Yayın No: 26, Konya.

Yüceil, K., Gönenç, İ.E. 2006. Kırsal yayılı kaynaklar için modelleme destek sistemi ve yerel uygulaması, *İTÜ Mühendislik Dergisi* (2): 161-174, Şubat 2006, İstanbul.

Yüksel, A. 2001. K. Maraş ayvalı barajı yağış havzasının coğrafi bilgi sistemleri ortamında havza amenajmanı bakımından planlaması üzerinde araştırmalar. *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Béré Benjamin BANTCHINA

Doğum Yeri ve Tarihi : Benin/1990

Yabancı Dili : Fransızca, İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Collège d'Enseignement Général1-Natitingou, 2010, Benin

Lisans : University of Parakou, Ziraat Fak., Ziraat Müh., 2014, Benin

Yüksek Lisans : B.U.Ü./F.B.E Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 2016-2018

İletişim (e-posta) : ben.bantchina@gmail.com

Yayımları :

Bantchina, B.B., Mucan, U., Gündoğdu, K.S. 2017. Bursa İli Arazi Varlığının Coğrafi Bilgi Sistemi ile Analizi, 5. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, s65-74, Kırklareli.

Gündoğdu, K.S., Bantchina, B.B. 2018. Landsat Uydu Görüntülerinden NDVI Değerlerinin Parsel Bazlı Değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Çiftlik Arazisi Örneği, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Yayın No: ZFDBSM2018-11.