

# Akım Ölçümü Alınmayan İki Alt Havzanın Dolaysız Akış Hidrograflarının Anlık Birim Hidrograf Yaklaşımıyla Karşılaştırılması

Hüseyin Akay<sup>1,\*</sup>, Müsteyde Baduna Koçyiğit<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara.

## Özet

Bu çalışmanın amacı akım ölçümü alınmayan, birbirine yakın drenaj alanına ve uzunluk oranına sahip iki alt havzanın çıkış noktasında dolaysız akış hidrograflarını tahmin etmektir. Bunun için Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan Araç Çayı'nın iki komşu alt havzası seçilmiştir. ArcGIS programı yardımıyla alt havzaların drenaj ağı oluşturulmuş ve bazı morfolometrik parametreleri hesaplanmıştır. Nash anlık birim hidrograf yöntemiyle alt havzaların birim hidrografi tahmin edilmiştir. Alt havzaların hidrograflarının eşit durumlarda karşılaştırılabilmesi için aynı eğri numarası ve yağış modeli kullanılarak HEC-HMS hidrolojik modeli yardımıyla analizleri yapılmıştır. Model sonuçlarına göre alt havza 1 ve alt havza 2'de meydana gelen pik debiler sırasıyla 18.71 ve 27.83 m<sup>3</sup>/s olup alt havza 2 pik debisinin alt havza 1 pik debisinden %49 daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, alt havza 2'de pik debiye gelme süresi 5 saatken, alt havza 1'in pik debiye gelme süresi 7 saat olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan hidrograflara göre alt havza 2'nin alt havza 1'e göre ani taşkına daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. İzlenen yöntem alt havzaların anlık taşkın potansiyellerine göre önceliklendirilmesine de olanak sağlar. Akım ölçümü olmayan akarsular üzerinde yapılması planlanan hidrolik yapıların projelendirilmesi sırasında bu yöntem takip edilerek alt havzanın kendi özelliklerini doğrudan kullanarak hidrograf ve pik debi tahmini yapılabilir.

## Anahtar Sözcükler

Nash Anlık Birim Hidrografi, HEC-HMS, Morfolometrik Parametreler, Araç Çayı

## Comparison of Direct Runoff Hydrographs of Two Ungauged Sub-Basins Using Instantaneous Unit Hydrograph Approach

### Abstract

The aim of this study is to estimate the direct runoff hydrographs at the outlets of two ungauged sub-basins which have similar drainage areas and elongation ratios. For the analysis, two neighboring sub-basins of Araç Creek located in the Western Black Sea Basin were selected. Drainage networks of the sub-basins were created via ArcGIS and some morphometric parameters were calculated. Unit hydrographs for two sub-basins were estimated using Nash's instantaneous unit hydrograph method. In order to compare the hydrographs of two sub-basins under similar conditions, hydrologic analysis was performed using the same curve number and precipitation model in HEC-HMS hydrologic model. According to the model results, peak discharges in sub-basin 1 and sub-basin 2 were found to be 18.71 and 27.83 m<sup>3</sup>/s, respectively, and the peak discharge of sub-basin 2 was found to be 49% higher than that of sub-basin 1. Furthermore, time to peak of the sub-basin 2 was estimated as 5 hours while it was 7 hours for the sub-basin 1. According to the calculated hydrographs, it was concluded that sub-basin 2 was more susceptible to flash floods than sub-basin 1. The adopted method also enables prioritization of the sub-basins according to the flash flood potential. During design stage of hydraulic structures located on rivers without flow measurements, hydrograph and peak flow discharges can be estimated by using this method where properties of the sub-basins can directly be used.

### Keywords

Nash's Instantaneous Unit Hydrograph, HEC-HMS, Morphometric Parameters, Araç Creek

### 1. Giriş

Yağışa karşı havzada oluşabilecek akışı ölçmek veya tahmin edebilmek sanat yapılarının ve alt yapı elemanlarının tasarımında ve su kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılabilmesi bakımından önem kazanmaktadır. Geçici dereler üzerinde dahi inşa edilmesi planlanan alt yapı elemanlarının meydana gelmesi muhtemel akışa karşı emniyetli boyutlandırılması üst yapının güvenli bir şekilde hizmet vermeye devam etmesine, ekonomik kayıpları minimize etmesine ve seyahat konforunu olumlu yönden etkilemesine neden olabilmektedir. Akım ölçümü alınmayan havzalarda akışı tahmin etmek için literatürde farklı yöntemler mevcuttur (Baduna Koçyiğit vd. 2017; Akay vd. 2018).

Akım ölçümü alınmayan havzalarda hidrolojik süreçlerin tahmininde kullanılacak parametrelerin belirlenmesi için arazi deneyleri, uzaktan algılama gibi gözlemlerle desteklenmiş temel teoriler ve akım ölçümü alınan havzalar arasında bir benzerlik oranının belirlenmesi gibi yöntemler kullanılmaktadır (Sivapalan vd. 2003). Arazi deneyleri veya deneysel havza gibi yöntemler pahalı bir seçenek olmasına rağmen günümüzde özellikle ABD gibi ülkelerde hidrolojik süreçlerin daha etkili takibi bakımından yaygın olarak kullanılmaktadır (Reshma vd. 2013). Khan vd. (2011) su baskını altında kalan bölgeleri uzaktan algılama yöntemleriyle tespit ederek kullandıkları CREST dağılımlı hidrolojik modelini başarıyla kalibre etmişlerdir. Akım ölçümü alınmayan havzaların hidrolojik süreçlerinin tahmini akım ölçümü alınan komşu alt havzaların hidrolojik parametreleri doğrudan ya da parametreleri havzalar arası benzerlikler kullanılıp bölgeselleştirilerek yapılmaktadır (Sivapalan vd. 2003; Yadav vd. 2007; Piman ve Babel 2013). Yadav vd. (2007) akım ölçümü alınmayan havzaların davranışlarını daha iyi tahmin edebilmek için parametrelerin bölgeselleştirilmesindeki kısıt şartlarını incelemişlerdir. Zhang vd. (2008) akım ölçümü alınmayan havzalarda hidrolojik dizinleri bölgeselleştirip çok amaçlı optimizasyon yöntemi kullanarak akış tahminindeki belirsizliği azaltmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Razavi ve Coulibaly (2013) akımın bölgeselleştirilmesi, model parametrelerinin optimizasyonu, belirsizliği konularında daha önce yapılmış çalışmaları inceleyip bulgularını tartışmışlardır. Ancak, hassas tahminler yapabilmek için akışı bölgeselleştirmek oldukça zor ve çok fazla sayıda belirsizliğe neden olabilmektedir. Ülkemizde yaygın olarak akım ölçümü alınan komşu havza akarsuyu ile genellikle drenaj alanları oranında benzerlik kurularak akış tahmini yapılmaktadır. Hâlbuki komşu havzalar birbirine benzer hidrolojik davranışları göstermeyebilir (Post vd. 1998; Beven 2000). Bu nedenle, havzaların şekil özelliklerinin yanı sıra drenaj ağının özelliklerini de dikkate alarak bazı morfolojik parametreleri kullanan yöntemler de geliştirilmiştir. Diğer taraftan akım ölçümü alınan havzalarda akışın veya hidrolojik süreçlerde kullanılan parametrelerin bölgeselleştirilmesine gerek duymadan doğrudan ilgilenilen havzanın kendi özelliklerini dikkate alarak akış tahmini yapan yaklaşımlar da mevcuttur. Rodriguez-Iturbe ve Valdes (1979) ve Valdes vd. (1979) veri sıkıntısı yaşanan havzalarda havzanın drenaj ağına ait morfolojik parametreleri kullanarak günümüzde de çok yaygın olarak kullanılan anlık birim hidrografi yaklaşımının temelini atmışlardır. Geo-morfolojik anlık birim hidrografi modelinde, anlık birim hidrograf yağışın havza çıkış noktasına kadar seyahat süresini uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak belirlenir (Rodriguez-Iturbe ve Valdes 1979; Valdes vd. 1979; Jain vd. 2000; Quan 2006; Singh 2015; Hosseini vd. 2016). Farklı araştırmacılar tarafından seyahat süresinin belirlenebilmesi için farklı olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmış ve üstel olasılık yoğunluk fonksiyonunun diğerlerine kıyasla daha iyi sonucu verdiği ifade edilmiştir (Hosseini vd. 2016). Aynı zamanda lineer rezervuar yöntemleri de halen yağış akış ilişkisi ve havzanın birim hidrografının tahmininde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Nash 1957; Agirre vd. 2005). Anlık birim hidrografi yaklaşımında havza parametrelerinin belirsizliği ile ilgili bir iyileştirme söz konusu değilken doğrudan ilgilenilen havzanın özelliklerini dikkate alarak akış tahmin etmek parametrelerin bölgeselleştirilmesi çalışmalarına kıyasla daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Anlık birim hidrograf yaklaşımında havzanın ve sahip olduğu drenaj ağının özelliklerine göre birbirine yakın iki drenaj alanına sahip havza aynı yağışı alsa da birbirine yakın hidrograflara sahip olmayabilirler. Ayalew ve Krajewski (2017) Iowa'da aynı drenaj alanına sahip iki farklı havzanın anlık birim hidrograflarını farklı senaryolar için hesaplamışlardır. Sonuçlara göre bölgesel taşkın frekans analizi yaparak drenaj ağının etkisini incelemişler ve belirgin bir farklılık olduğunu gözlemlemişlerdir.

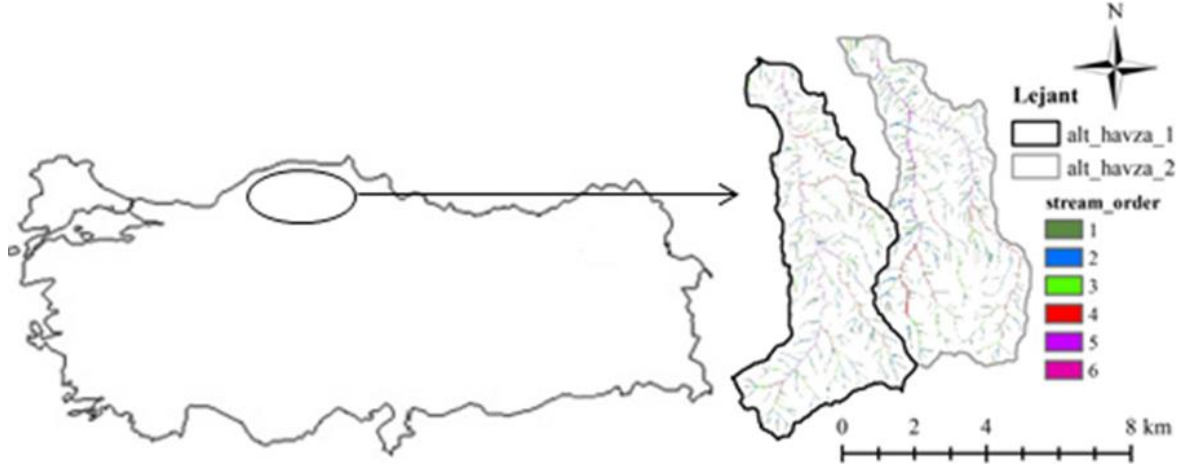
Bu çalışma kapsamında da Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan birbirine yakın drenaj alanına sahip iki alt havzanın geo-morfolojik anlık birim hidrografları hesaplanarak hidrografları arasındaki farklılıklar incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar ArcGIS 10.1 yardımıyla sayısallaştırılarak 10x10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulmuştur. SYM ve akım yönleri ArcHydro araç çubuğu kullanılarak akım toplanma miktarları belirlenmiştir. Havzanın drenaj ağı, havzanın en uzak noktalarından başlamak suretiyle akım toplanma miktarlarının SYM eşik hücre sayısı ya da eşik alan değerlerine göre kullanıcı tarafından belirlenen miktara göre oluşturulabilmektedir. Eşik değerinin büyük alınması durumunda seyrek drenaj ağı, küçük alınması durumunda ise daha sıkı bir drenaj ağı elde edilmektedir. Literatürde yer alan alt havzaların ani taşkın potansiyellerine göre önceliklendirilmesi çalışmalarında akım toplanma miktarının eşik değeri 100 hücre olarak alındığından bu çalışmada da havzanın drenaj ağı 100 eşik hücre değeri kullanılarak belirlenmiştir (Youssef vd. 2011; Gabr ve El-Bastawesy 2015). Alt havzalar, alt havza 1 ve alt havza 2 olarak adlandırılmıştır (Şekil 1). Modeli oluşturulmak üzere HEC-GeoHMS'e aktarılan alt havzaların akarsu uzunlukları, Strahler (1957) yaklaşımına göre mertebeleri belirlenmiştir. Her bir akarsu kolu ayrı öz niteliğe sahip olduğundan derecesi 1'den büyük ve aynı mertebedeki ardışık akarsu kolları manuel olarak birleştirilmiş ve morfolojik büyüklükleri HEC-GeoHMS aşamasında elde edilen sonuçlara göre hesaplanmıştır.

Alt havza 1 ve alt havza 2'nin drenaj alanları birbirine oldukça yakın olup yaklaşık 25.9 km<sup>2</sup>, en uzun akım yolları ise sırasıyla 13.01 ve 13.43 km'dir. En uzun akım yolları da birbirine yakın olduğundan alt havzaların uzunluk oranları sırasıyla 0.44 ve 0.43'tür. HEC-GeoHMS aşamasında her bir alt havza için ayrı ayrı elde edilen her bir mertebedeki drenaj kolu sayısı, ortalama uzunluğu ve ortalama alanları Tablo 1'de verilmiştir. Dallenma oranı (R<sub>b</sub>), akım uzunluk oranı (R<sub>l</sub>) ve akım kollarının mertebelerine göre toplandığı drenaj alan oranı (R<sub>A</sub>) değerleri, Tablo 1'de verilen parametrelerin ağırlıkları dikkate alınarak ağırlıklı ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Dallanma oranı ( $R_b$ ), bir mertebedeki drenaj kollarının sayısının bir mertebeye sonraki drenaj kollarına oranı olup alt havza 1 ve alt havza 2 için sırasıyla 4.65, 4.90'dır (Horton 1945). Akım uzunluk oranı ( $R_l$ ), bir mertebedeki ortalama drenaj kolunun uzunluğunun bir mertebeye önceki ortalama drenaj kolu uzunluğuna oranı olup alt havza 1 ve alt havza 2 için sırasıyla 2.20 ve 2.17'dir. Alan oranı ( $R_A$ ), bir mertebeye drenaj kolunun toplandığı ortalama alanın bir mertebeye önceki drenaj kolunun toplandığı ortalama alana oranı olup alt havza 1 ve alt havza 2 için sırasıyla 2.88 ve 2.74'tür. Hesaplanan morfolojik büyüklüklerden yararlanılarak her bir alt havzanın anlık birim hidrografları hesaplanmıştır. HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılarak alt havzalarda hidrolojik süreçler modellenmiştir.



Şekil 1: Alt havzaların coğrafi konumu, alt havza 1 ve alt havza 2'nin sınırları, drenaj ağı ve mertebeleri

Tablo 1: Alt havza 1 ve alt havza 2'nin drenaj ağı ve drenaj alanlarının detayı

Mertebe	Alt havza 1				Alt havza 2			
	Sayı	Uzunluk (km)	Ortalama uzunluk (km)	Ortalama Alan (km <sup>2</sup> )	Sayı	Uzunluk (km)	Ortalama uzunluk (km)	Ortalama Alan (km <sup>2</sup> )
1	661	76.99	0.12	0.02	671	82.83	0.12	0.02
2	136	36.25	0.27	0.14	137	34.52	0.25	0.14
3	36	16.85	0.47	0.59	26	14.26	0.55	0.80
4	8	9.89	1.24	2.88	7	12.39	1.77	3.32
5	2	5.56	2.78	12.17	2	8.24	4.12	12.51
6	1	6.34	6.34	25.92	1	3.46	3.46	25.93

### 3. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında, drenaj alanı 30000 km<sup>2</sup>, yıllık yağış miktarı 911 mm ve akış hacmi 9.93 km<sup>3</sup> olan Batı Karadeniz Havzası'nda sınırları içerisinde 2812.5 km<sup>2</sup> drenaj alanına sahip Araç Çayı'na ait drenaj alanları birbirine yakın ve yaklaşık olarak 25.9 km<sup>2</sup> olan iki alt havzanın geo-morfolojik anlık birim hidrografları hesaplanmıştır. Araç Çayı, Kastamonu ve Karabük illerinde meydana gelen yağışı toplamaktadır. Karabük il merkezinde Soğanlı Çayı ile birleşerek Yenice Irmağı adını almaktadır. Araç Çayı üzerinde sulama, enerji ve taşkından korunma amaçlı Araç Barajı inşa edilmektedir. Araç Çayı drenaj alanında heyelan olaylarına sıklıkla karşılaşılan bir doğal afet türüdür. Araç Çayı üzerinde kum, çakıl ocakları kurulu olup dereden çakıl çekilmektedir. Arazi yapısı ormanlık ve diktir.

### 4. Nash Anlık Birim Hidrograf Yöntemi

Nash anlık birim hidrograf yöntemi, anlık akımı  $n$  sayıda ve eşit  $k$  depolama katsayısına sahip ardışık rezervuar aracılığıyla öteleyerek tahmin eden bir yöntemdir (Nash 1957). Bu yöntem günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre, bir rezervuarın çıkış değerleri bir sonraki rezervuarın giriş değerleri alınarak aralarındaki süreklilik sağlanmaktadır (Hosseini vd. 2016). Nash (1957) yaklaşımı Eşitlik 1'deki gibi iki parametrelili gamma dağılımını esas almaktadır.

$$u(t) = \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \frac{e^{-t/k}}{k\Gamma} \quad (1)$$

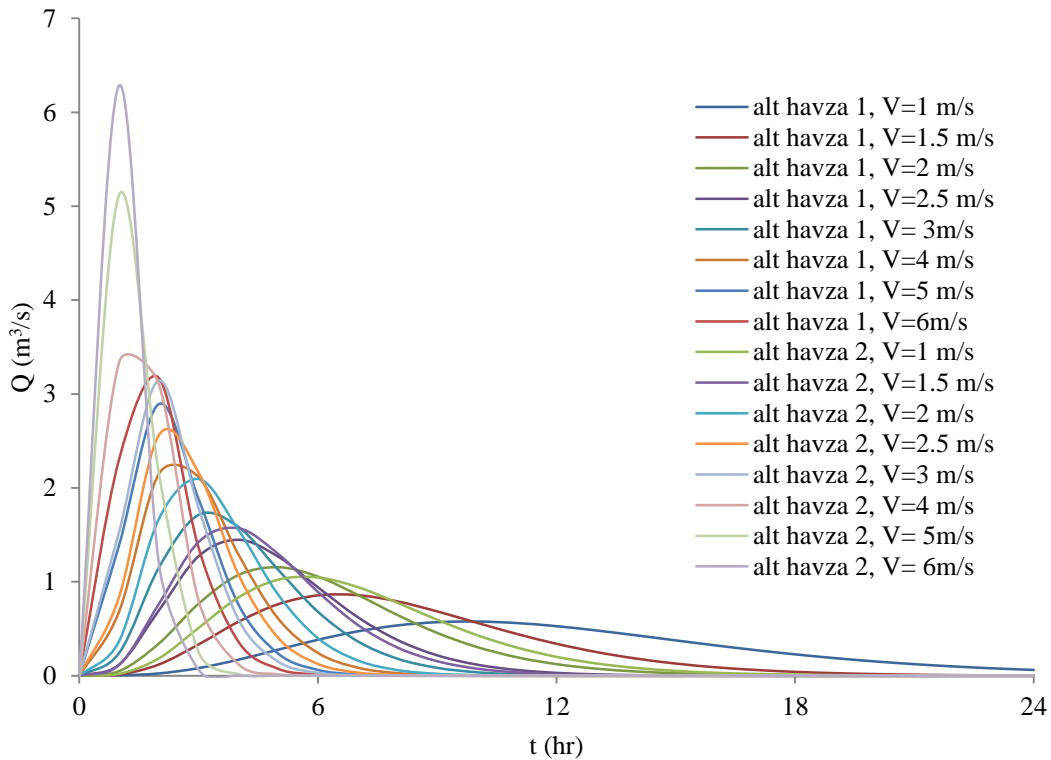
Eşitlik 1’de  $u_t$  t zamanında birim hidrografın ordinat değerlerini (1/saat),  $\Gamma$  gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. Lineer rezervuar sayısı ( $n$ ) ve rezervuarların depolama katsayısı ( $k$ ) değerlerinin belirlenebilmesi için Rosso (1984) tarafından Eşitlik 2 ve 3 önerilmiştir. Eşitlik 1’deki  $\Gamma$  fonksiyonunun çözümü için de Nemes (2010) Eşitlik 4’ü önermiştir. Eşitlik 3’te  $L_Q$  en büyük mertebeye sahip drenaj ağının uzunluğunu (km),  $v$  taşkın sırasında meydana gelen pik hızı (m/sn) ifade etmektedir. Eşitlik 4’te e doğal logaritma sayısını ifade etmektedir.

$$n = 3.29 \left( \frac{R_b}{R_A} \right)^{0.78} R_i^{0.07} \quad (2)$$

$$k = 0.70 \left( \frac{R_A}{R_b R_i} \right)^{0.48} \frac{L_Q}{v} \quad (3)$$

$$\Gamma = \left( \frac{n}{e} \right)^n \sqrt{\frac{2\pi}{n}} \left( 1 + \frac{1}{12n^2 - 0.1} \right)^n \quad (4)$$

Buna göre, bu değerler dikkate alınarak alt havza 1 ve alt havza 2 için  $n$  ve  $k$  değerleri sırasıyla 5.05, 0.97, 5.47 ve 0.51 olarak hesaplanmıştır. Alt havza 1 ve alt havza 2’nin parametreleri kullanılarak farklı taşkın hızlarında 1 mm’lik etkili yağış yüksekliğine göre hesaplanmış birim hidrograflar Şekil 2’de verilmiştir. Hesaplanan birim hidrografların taşkın pik hızına duyarlı olduğu görülmektedir.  $v$  pik debi hızı ile yağış şiddeti arasında ampirik bir ilişki öneren yaklaşımlar mevcuttur (Sahoo vd. 2006). Kumar vd. (2007)  $v$  pik debi hızını akım gözlem istasyonu yakınlarda yapılan saha ölçümlerinde 2.5 m/sn olarak belirlemişlerdir. Batı Karadeniz Havzası’nın farklı alt havzalarında yapılan hidrolik modelleme çalışmalarında havza çıkış noktasında ortalama hızın 2 m/sn civarında olduğu yazarlar tarafından yapılan çalışmalardan görülmüştür. Yukarı havza kısımlarında daha büyük olabilen taşkın hızları (>5 m/sn) havza çıkış noktalarında daha az olabilmektedir. Bu çalışmada da iki komşu alt havza ele alınan çıkış noktalarında Araç Çayı’na bağlandığından havza ortalama eğimine kıyasla yerel olarak daha düşük eğime ve hıza sahip olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle  $v$  taşkın pik hızı bu çalışmada da 2.5 m/sn olarak alınmıştır.



Şekil 2: Alt havza 1 ve alt havza 2'nin farklı taşkın pik hızlarında hesaplanmış birim hidrografları

## 5. Hidrolojik Modelleme

Alt havzalara ait ölçülmüş yağış ve akış verisi bulunmadığından fiktif bir hiyetografa göre akış değerleri iki farklı alt havza için HEC-HMS yarı dağılımlı hidrolojik modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. HEC-HMS, havza sistemlerinin tüm hidrolojik süreçlerinin modellenmesi için geliştirilmiştir. HEC-HMS, alt havzalar için sızma, yağıştan akışa dönüşüm ve baz akım, akarsular için taşkın öteleme prensiplerini dikkate alarak analiz yapar.

Ayrıca, buharlaşma-terleme, kar erimesi, zemin nemi ve yer altı suyu seviyesi gibi parametreleri de dikkate alarak sürekli hidrolojik model yaklaşımıyla hidrolojik süreçleri analiz eder (USACE 2013). Bu çalışmada sızma miktarının belirlenebilmesi için SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number) yöntemi kullanılmıştır. SCS yönteminde etkili yağış ( $P_e$ ) Eş. 5 ile hesaplanmaktadır. Eş. 5'te  $S$  akış başladıktan sonra zeminin maksimum potansiyel nemini ifade etmektedir ve Eş. 6 yardımıyla  $CN$  değerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

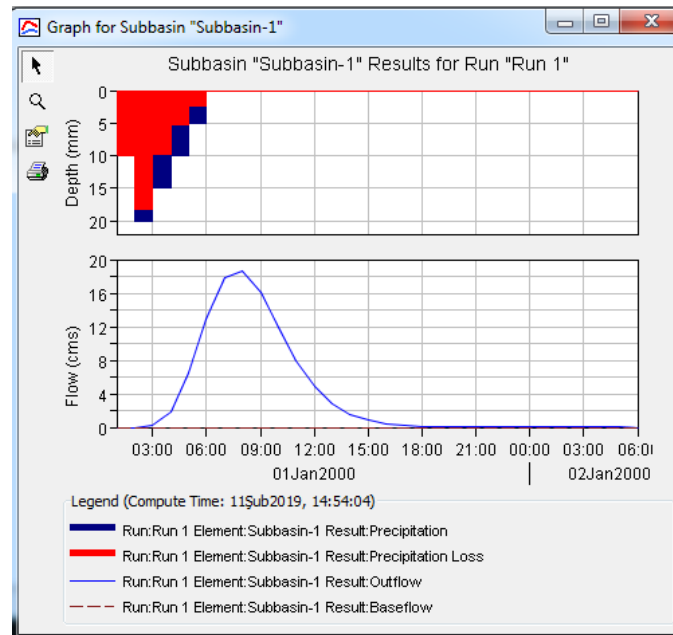
$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (5)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

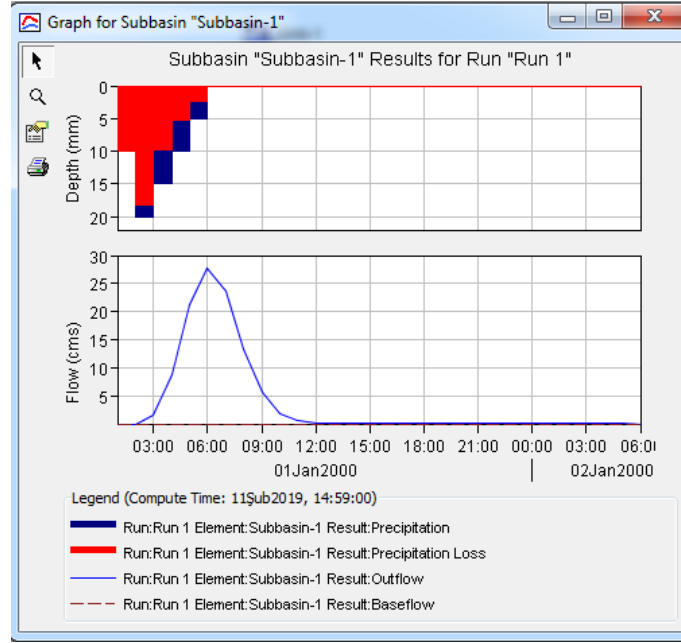
Etkili yağıştan akışa dönüşüm için de Nash yöntemi sonucunda elde edilen birim hidrograf değerleri HEC-HMS'de kullanıcı tarafından belirlenmiş birim hidrograf yöntemi seçilerek akış tahmini yapılmıştır. Yağış nedeniyle meydana gelen akış değerleri tahmin edildiğinden bazı akım parametreleri kullanılmamıştır. Havzanın eğri numarası havzaya ait toprak tipi ve arazi kullanım haritaları kullanılarak belirlenebilmektedir. Çalışma kapsamında bu haritalar kullanılmamış fakat arazi genel olarak orman, mera ve tarım alanlarından oluştuğu bilinmektedir. Batı Karadeniz Havzası'nın toprak yapısının genellikle C ve D tipi hidrolojik toprak grubundan (yağışın büyük bir kısmının akışa geçtiğini gösteren grup) oluşmaktadır (Baduna Koçyiğit vd. 2017; Akay vd. 2018; Akay ve Baduna Koçyiğit 2018). Buna göre alt havzalarda eğri numarası dağılımı arazi kullanımına göre 70 ve 77 arasında değiştiğinden iki komşu alt havza için de  $CN$  değeri 75 olarak alınarak eşit sızma ve etkili yağış miktarına göre analizler yapılmıştır (USDA 1986).

## 6. Bulgular ve Tartışma

Birbirine yakın drenaj alanı ve uzunluk oranlarına sahip iki komşu alt havzanın çıkış noktasında meydana gelen dolaysız akış hidrografları HEC-HMS yarı dağılımlı hidrolojik modeli yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 3, Şekil 4, Tablo 2). Şekil 3'e göre alt havza 1'de  $18.71 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik pik debi 7 saatte meydana gelmiştir. Alt havza 2'de ise  $27.83 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik pik debinin 5 saatte meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4). Buna göre, alt havza 2'nin pik debisi alt havza 1'in pik debisinden %49 daha fazla olup alt havza 2'de pik debinin daha kısa sürede meydana geldiği görülmektedir. Alt havza 2'nin  $R_b$  değeri daha büyük,  $R_A$  ve ana kanal uzunluğu ( $L_Q$ ) değerleri daha küçük,  $R_1$  değerleri ise birbirine yakın olduğundan alt havza 2'nin  $n$  değeri daha büyük,  $n$  ile ters orantılı olan  $k$  değerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Alt havza 2 için  $n$  ve  $k$  değerleri fiziksel olarak düşünüldüğünde, etkili yağışın daha fazla miktarda lineer rezervuara sahip havzadan ( $n$ ) daha kısa sürede ( $k$ ) havzanın çıkış noktasına taşındığı anlamına geldiği söylenebilir. Ayrıca, alt havza 2'nin toplam drenaj ağ uzunluğunun daha fazla olması nedeniyle alt havza 2'nin drenaj yoğunluğu da fazladır. Alt havzaların uzunluk oranı gibi şekil özellikleri de birbirine yakın olduğundan ani taşkın ve zemin erozyonu potansiyeli bakımından alt havza 2'nin dallanma oranı, drenaj yoğunluğu gibi drenaj özelliklerinin baskın olduğu düşünülmektedir. Bu nedenlerle alt havza 2, ani taşkın ve zemin erozyon potansiyeli bakımından alt havza 1'e kıyasla daha fazla riske sahiptir.



Şekil 3: HEC-HMS sonuçlarına göre alt havza 1'e ait yağış ve akış modeli



Şekil 4: HEC-HMS sonuçlarına göre alt havza 2'ye ait yağış ve akış modeli

Tablo 2: Alt havza 1 ve alt havza 2'nin HEC-HMS sonuçlarına göre yağış, sızma ve akış süreç sonuçları

Süre (saat)	Yağış (mm)	Kayıp (mm)	Etkili yağış (mm)	Alt havza 1	Alt havza 2
				Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0	0			0	0
1	10	10	0	0	0
2	20	18.253	1.747	0.21	1.46
3	15	9.759	5.241	1.83	8.86
4	10	5.181	4.819	6.42	21.22
5	5	2.286	2.714	12.85	27.83
6	0	0		17.80	23.75
7				18.71	13.43
8				16.06	5.61
9				11.92	1.90
10				7.94	0.56
11				4.88	0.15
12				2.81	0.04
13				1.54	0.01
14				0.81	0
15				0.41	
16				0.20	
17				0.10	
18				0.05	
19				0.02	
20				0.01	
21				0	

## 7. Sonuçlar

Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan Araç Çayı'na ait birbirine yakın drenaj alanına ve uzunluk oranına sahip iki alt havzanın anlık birim hidrografları Nash (1957) yöntemine göre ArcGIS-ArcHydro ve HEC-GeoHMS yardımıyla belirlenmiştir. İki komşu alt havzada eşit yağış meydana geldiği ve aynı eğri numarasına sahip olduğu varsayıldığında HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılarak dolaysız akış hidrografları hesaplanmıştır. Birbirlerine yakın drenaj alanı ve uzunluk oranındaki havzaların dolaysız akış hidrografları karşılaştırılmıştır. Model sonuçlarına göre alt havza 2'nin pik debisi alt havza 1'in pik debisine kıyasla %49 daha fazla olduğu ve daha kısa sürede pik debiye geldiği görülmüştür. Birbirine yakın uzunluk oranına sahip iki komşu alt havzanın çıkış noktasında meydana gelen akış üzerinde alt havzaların şekil özelliklerinden ziyade drenaj ağının etkili olduğu anlaşılmıştır.

Ülkemizde akım ölçümü alınmayan akarsularda akış tahmini genellikle ölçüm alınan en yakın komşu akarsu ile aralarında basit bir korelasyon kurularak belirlenmektedir. Aynı havza içerisinde akım değerleri de genellikle ölçüm alınan ve alınmayan alt havzaların drenaj alanları oranı dikkate alınarak tahmin edilmektedir. Havzalar arasında bu denli korelasyon kurularak havzanın kendi özelliklerini doğrudan dikkate almadan doğru sonuçları tahmin edebilmek oldukça zordur. Çalışılan alt havzaların bir tanesinde akım ölçümü yapılmış olsaydı alt havzalar birbirine yakın drenaj alanına sahip olduğundan ölçülen akış değerlerinin diğer alt havza için de kullanılması önerilecekti ve bu durumun doğru olmadığı Şekil 3 ve Şekil 4'te ortaya konmuştur.

Akım ölçümü alınmayan havzalarda Nash (1957) yöntemi kullanılarak havzanın anlık birim hidrografi belirlenip HEC-HMS hidrolojik modeli yardımıyla havza çıkış noktalarında pik debi ve pik debiye gelme süreleri tahmin edilebilir. Bu sonuçlara göre alt havzalar ani taşkın ve taban erozyonu potansiyeline göre önceliklendirilebilir ve bu önceliklendirmeye göre de tersip bendi gibi taban erozyonuna karşı önlem yapılarının inşaa edilme sıraları da alt havzalara göre önceliklendirilebilir (Baduna Koçyiğit ve Akay 2018). Alt havza 2'nin ani taşkın ve taban erozyonu potansiyeli, alt havza 1'e kıyasla daha riskli olduğu ve Araç Çayı'na taşınacak katı madde ve sedimentin asgari düzeye çekilmesi bakımından alt havza 2'nin çıkış noktasına tersip bendinin inşaa edilmesi alt havza 1'e göre daha öncelikli olduğu sonucuna varılabilmektedir.

## Teşekkür

Araştırmacılar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde 114M292 no'lu projeye destek verdiği için TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

## Kaynaklar

- Agirre U., Goni M., Lopez J.J., Gimena F.N., (2005), *Application of a unit hydrograph based on subwatershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph*, Catena, 64(2-3), 321-332.
- Akay H., Baduna Koçyiğit M., (2018), *Ölçüm alınmayan bir havzada yağış akış ilişkisinin bir hidrolojik model yardımıyla belirlenmesi: Akçay Havzası örneği*, Proceedings 3th Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi'nin içinde (Emek M., Alimgereyev Z., Ed.), Gaziantep, Türkiye, ss.2154-2159.
- Akay H., Baduna Koçyiğit M., Yanmaz A.M., (2018), *Effect of using multiple stream gauging stations on calibration of hydrologic parameters and estimation of hydrograph of ungauged neighboring basin*, Arabian Journal of Geosciences, 11(11): 282.
- Ayalew T.B., Krajewski W.F., (2017), *Effect of river network geometry on flood frequency: a tale of two watersheds in Iowa*, Journal of Hydrologic Engineering, 22(8), 06017004, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001544.
- Baduna Koçyiğit M., Akay H., Yanmaz A.M., (2017), *Effect of watershed partitioning on hydrologic parameters and estimation of hydrograph of an ungauged basin: a case study in Gokirmak and Kocanaz, Turkey*, Arabian Journal of Geosciences, 10(15): 331.
- Baduna Koçyiğit M., Akay H., (2018), *Estimation of potential flash flood risk in a basin using morphometric parameters: A case study of Akçay Basin*, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(4), 1321-1332.
- Beven K.J., (2000), *Uniqueness of place and process representations in hydrological modeling*, Hydrology and Earth System Sciences, 4(2), 203-213.
- Gabr S., El-Bastawesy M., (2015), *Estimating the flash flood quantitative parameters affecting the oil-fields infrastructure in Ras Sudr, Sinai, Egypt, during the January 2010 event*, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 18(2), 137-149.
- Horton R.E., (1945), *Erosional development of streams and their drainage basins-hydrophysical approach to quantitative morphology*, Bulletin of the Geological Society of America, 56(3), 275-370.
- Hosseini S.M., Mahjouri N., Riahi S., (2016), *Development of a direct geomorphologic IUH model for daily runoff estimation in ungauged watersheds*, Journal of Hydrologic Engineering, 21(6): 05016008, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001333.
- Jain S.K., Singh R.D., Seth, S.M., (2000), *Design flood estimation using GIS supported GIUH approach*, Water Resources Management, 14(5), 369-376.
- Khan S.I., Hong Y., Wang J., Yilmaz K.K., Gourley J.J., Adler R.F., Brakenridge G.R., Policelli F., Habib S., Irwin D., (2011), *Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria Basin: implications for hydrologic prediction in ungauged basin*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49(1), 85-95.
- Kumar R., Chatterjee C., Singh R.D., Lohani A.K., Kumar S., (2007), *Runoff estimation for an ungauged catchment using geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) models*, Hydrological Processes, 21(14), 1829-1840.
- Nash J.E., (1957), *The form of instantaneous unit hydrograph*, International Association of Scientific Hydrology, 45, 114-121.
- Nemes G., (2010), *New asymptotic expansion for the gamma function*, Archiv der Mathematik, 95(2), 161-169.
- Piman T., Babel M.S., (2013), *Prediction of rainfall-runoff in an ungauged basin: case study in the mountainous region of Northern Thailand*, Journal of Hydrologic Engineering, 18(2), 285-296.
- Post D.A., Jones J.A., Grant G.E., (1998), *An improved methodology for predicting the daily hydrologic response of ungauged catchments*, Environmental Modelling & Software, 13(3-4), 395-403.
- Quan N.H., (2006), *Rainfall-runoff modeling in the ungauged Can Le catchment, Saigon river basin*, Doktora tezi, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands.
- Razavi T., Coulibaly P., (2013), *Streamflow prediction in ungauged basins: review of regionalization methods*, Journal of Hydrologic Engineering, 18(8), 958-975.
- Reshma T., Reddy K.V., Prastap D., (2013), *Simulation of event based runoff using HEC-HMS model for an experimental watershed*, International Journal of Hydraulic Engineering, 2(2), 28-33.

- Rodriguez-Iturbe I., Valdes J., (1979), *The geomorphologic structure of hydrologic response*, Water Resources Research, 15(6), 1409–1420.
- Rosso R., (1984), *Nash model relation to Horton order ratios*, Water Resources Research, 20(7), 914–920.
- Sahoo B., Chatterjee C., Raghuwanshi N.S., Singh R., Kumar R., (2006), *Flood estimation by GIUH based Clark and Nash models*, Journal of Hydrologic Engineering, 11(6), 515-525.
- Singh S.K., (2015), *Simple parametric instantaneous unit hydrograph*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 141(5), 04014066, doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000830.
- Sivapalan M., Takeuchi K., Franks S.W., Gupta V.K., Karambiri H., Lakshmi V., Liang X., McDonnell J.J., Mendiondo E.M., O'connell P.E., Oki T., Pomeroy J.W., Schertzer D., Uhlenbrook S., Zehe E., (2003), *IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences*, Hydrological Sciences Journal, 48(6), 857–880.
- Strahler A.N. (1957), *Quantitative analysis of watershed geomorphology*, Transactions American Geophysical Union, 38(6), 913–920.
- USACE, (2013), *Hydrologic modeling system HEC-HMS user's manual*, US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (USACE), [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS\\_Users\\_Manual\\_4.0.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.0.pdf), [Erişim 11 Şubat 2019].
- USDA, (1986), *Urban hydrology for small watersheds*, Technical Release 55 (TR-55) (Second ed.), Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division, 164ss.
- Valdes J.B., Fiallo Y., Rodriguez-Iturbe I., (1979), *A rainfall runoff analysis of the geomorphologic IUH*, Water Resources Research, 15(6), 1421–1434.
- Yadav M., Wagener T., Gupta H., (2007), *Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins*, Advances in Water Resources, 30(2007), 1756-1774.
- Youssef A.M., Pradhan B., Hassan A.M., (2011), *Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, Southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery*, Environmental Earth Sciences, 62(3), 611-623.
- Zhang Z., Wagener T., Reed P., Bhushan R., (2008), *Reducing uncertainty in predictions in ungauged basins by combining hydrologic indices regionalization and multiobjective optimization*, Water Resources Research, 44(12), W00B04: 1-13.