

# Ani Taşkın Modellemesi İçin Hidrolojik Parametrelerin Çıkarılması

Mehmet Aksoy<sup>1</sup>, Yusuf Ulupınar<sup>2</sup>, Ali İhsan Akbaş<sup>3</sup>, Ayhan Sayın<sup>4</sup>, Serhan Köse<sup>5</sup>, Ekrem Gülsoy<sup>6</sup>

**Anahtar Kelimeler:** Ani taşkın erken uyarı, yüzey akış eşik, artık yağış, enine kesit, SYM

**Özet:** Ani taşkın erken uyarı sisteminin model kavramı tepe debisine yol açan artık yağış, alt havza alanları, alt havzaların kanal özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan yapay (sentetik) birim hidrografların hesaplanması üzerinedir. Alt havzalar arasındaki debi-havza alanı ve kanal eğimi-enine kesit alanı ( $Q=aAb$ ) gibi hidrolojik ilişkilerin çıkartılması için bu çalışmada on metrelik Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri kullanılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Bu çalışma, Karadeniz ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi'nin daha verimli çalışması gayesiyle Türkiye alt havzalarında hidrolojik parametrelerin çıkartılmasına yönelik olarak uzman bir öğretim üyesinin danışmanlığında MGM Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü çalışanları tarafından yapılmıştır. Ani taşkın erken uyarı sisteminin model esaslı tepe debisine yol açan artık yağış, alt havza alanları, alt havzaların kanal özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan yapay (sentetik) birim hidrografların hesaplanması üzerinedir.

Devlet Su İşleri'nin (DSİ) belirlediği yirmi beş akarsu havzası için on ikişer adet alt havza oluşturulup bu alt havzaların morfolojik özellikleri, bu morfolojik özelliklerinin birbirleriyle ve debi-yağış ile olan ilişkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Alt havzalar arasındaki debi-havza alanı ve kanal eğimi-enine kesit alanı ( $Q=aA^b$ ) gibi hidrolojik ilişkilerin çıkartılması için bu çalışmada on metrelik Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri kullanılmıştır. ArcGIS ve Matlab ile yapılan işlemleri anlatmak için örnek olarak alanı 24100 km<sup>2</sup> olan Marmara Havzası seçilmiş ve yalnızca Marmara Havzası'nda seçilen alt havzalar ile ilgili çıkartılan grafikler gösterilmiştir. Bununla beraber diğer akarsu havzaları için çıkartılan denklemler ve parametreler de tablolar halinde çalışma içerisinde verilmiştir.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı'ndan temin edilen on metrelik SYM (DEM) verileri ArcGIS programının bir eklentisi olan ArcHydro Tools 9 altında çeşitli işlemlerde kullanılarak, her bir akarsu havzası için drenaj ağı ve drenaj çıkış noktaları ile alt havzalar çıkartılmıştır.

<sup>1</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, [mehmetaksoy@mgm.gov.tr](mailto:mehmetaksoy@mgm.gov.tr)

<sup>2</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, [yulupinar@mgm.gov.tr](mailto:yulupinar@mgm.gov.tr)

<sup>3</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, [aiakbas@mgm.gov.tr](mailto:aiakbas@mgm.gov.tr)

<sup>4</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, [asayin@mgm.gov.tr](mailto:asayin@mgm.gov.tr)

<sup>5</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Teknisyen, [skose@mgm.gov.tr](mailto:skose@mgm.gov.tr)

<sup>6</sup> Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Mühendis, [egulsoy@mgm.gov.tr](mailto:egulsoy@mgm.gov.tr)

Her bir akarsu havzası için rastgele seçilen on iki alt havza için yine ArcGIS programı kullanılarak koordinat, kesit eğimi, alan, en uzun mecrâ kolu, havzanın ağırlık merkezinden havzanın çıkışına kadar olan mecrâ uzunluğu ve alt havzanın çıkışında seçilen enine kesitin sayısal değerleri bir Excel dosyasına kaydedilmiştir.

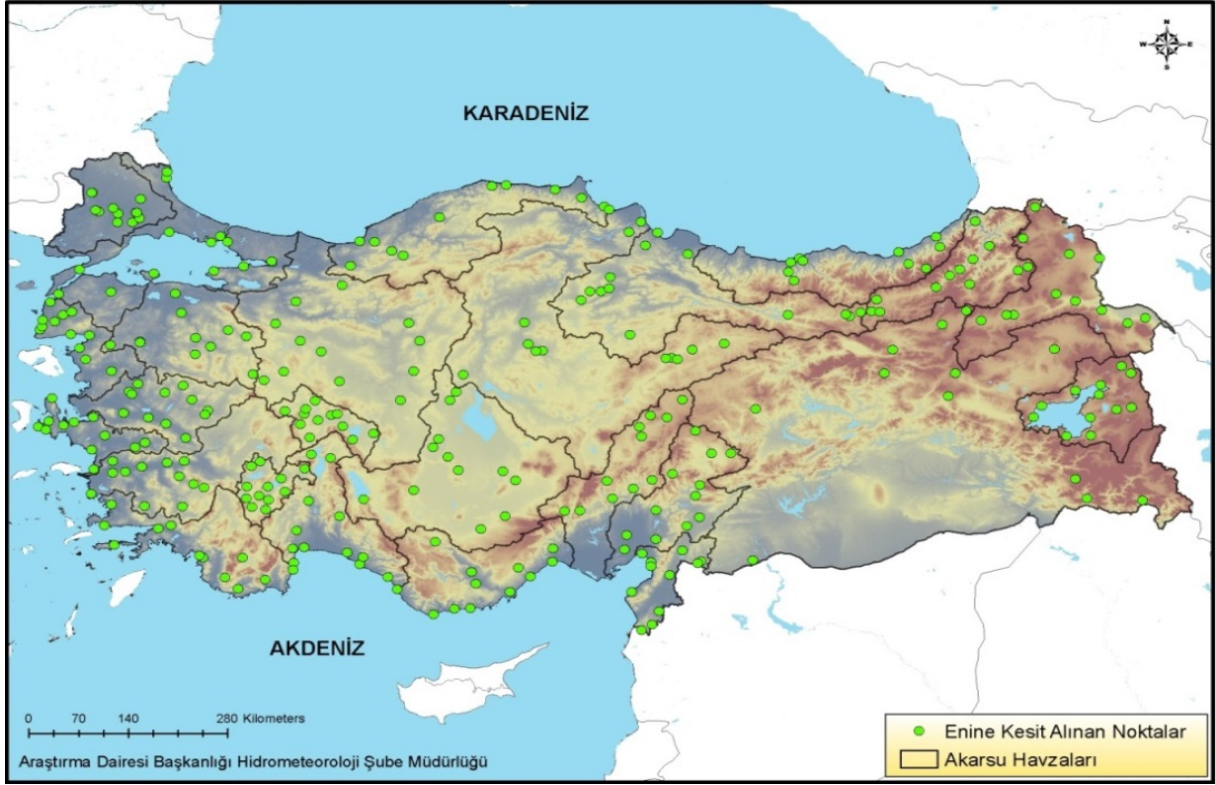
Toplam sayısı üç yüz olan bu Excel dosyaları daha sonra Matlab programında kullanılabilmesi için her biri aynı formatta oluşturulmuştur. Alt havzalar için elde edilen bu morfolojik değerler ve sayısal enine kesit verileri kullanılarak, debi-seviye arasındaki ilişkiyi belirlemek için Matlab programının altında Manning formülünü kullanan ıslak çevre, hidrolik yarıçap ve kesit alanı gibi büyüklükleri hesaplayan bir yazılım hazırlanmıştır. Snyder (1938) yöntemini esas alan bu yazılım sayesinde her bir alt havza için anahtar eğrisi (debi-seviye), anahtar eğrisi parametreleri (a ve b), kesit eşik genişliği (m), su derinliği (m), tepe debisi zamanı (saat), tepe debisi ( $m^3/sn$ ), eşik debisi ( $m^3/sn$ ), artık yağış süresi (saat) ve yağış şiddeti (mm/saat) değerleri hesaplanmıştır. Yirmi beş akarsu havzası için; mecrâ uzunluğu-alan, taşkın debisi-alan, taşkın debisi-mecrâ eğimi, yağış şiddeti-taşkın debisi, mecrâ derinliği-alan, mecrâ eğimi-alan ve mecrâ genişliği-alan arasındaki ikili ilişkileri belirlemek için daha önce hesaplanan morfolojik verileri kullanan denklemler çıkartılmıştır. Tepe debisi-kesit alanı-kesit eğimi arasındaki üçlü ilişkiyi belirten denklemler Matlab programının altında Snyder yöntemini esas alan ikinci bir yazılım vasıtası ile ayrıca aralarındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla a, b ve c katsayıları her bir akarsu havzası için hesaplanmıştır. Yirmi beş akarsu havzası altında belirlenen on ikişer alt havzanın her biri için birim hidrografların çıkartılması gayesiyle Matlab programının altında üçüncü bir yazılım yazılmıştır. Burada Soil Conservation Service (SCS) tarafından elde edilmiş ve dünyanın çeşitli bölgelerinde başarı ile kullanılmış olan yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem için gerekli olan tepe debisi ve tepe zamanı değerleri daha önceki yazılımlarda hesaplanan değerlerdir.

ArcGIS ve Matlab programlarının beraber bir çok aşamada kullanılıp değerlendirildiği bu çalışmada yağış şiddeti hesabı için kullanılan iki yıllık yağış tekerrür değerleri dışında hiçbir ölçüm değeri kullanılmamış olup yalnızca on metrelik SYM (DEM) verileri, Manning formülü, Snyder ve SCS yöntemleri kullanılarak Türkiye’de bulunan yirmi beş akarsu havzasındaki alt havzalar için morfolojik büyüklüklerin birbiriyle ve debi-yağış ile olan ilişkileri çıkartılmaya çalışılmıştır. Böylece, Karadeniz ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi altında taşkın tahmini yapmak için hesaplanan artık yağış değerlerinin Türkiye’yi daha iyi temsil etmesi amaçlanmıştır.

## 2. YÖNTEM

DSİ’nin belirlediği yirmi beş akarsu havzası için rastgele on ikişer adet alt havza seçilip bu alt havzalara göre morfolojik özellikler, bu morfolojik özelliklerinin birbiriyle ve debi-yağış ile olan ilişkilerini betimleyen denklemler çıkartılmaya çalışılmıştır. Bunun için öncelikle ArcGIS yazılımı yardımıyla alt havzalar ve drenaj ağı çıkartıldı, seçilen alt havzaların çıkışlarında drenaj çizgisine dik bir kesme çekilerek kesitin yapısı ve sayısal değerleri elde edilmiştir (Maidment, 2002). Elde edilen enine kesitin sayısal verileri, alt havza alanı, en uzun mecrâ kolu ve havzanın ağırlık merkezinden havzanın çıkışına kadar olan mecrâ uzunluğu gibi değerler Matlab programı altında Manning formülü, Snyder ve SCS yöntemlerini esas alan yazılımlar kullanılarak hidrolojik parametreler ve denklemler çıkartılmıştır. Şekil 1’de rastgele seçilen bu alt havzaların çıkışında alınan enine kesit noktaları gösterilmiştir.

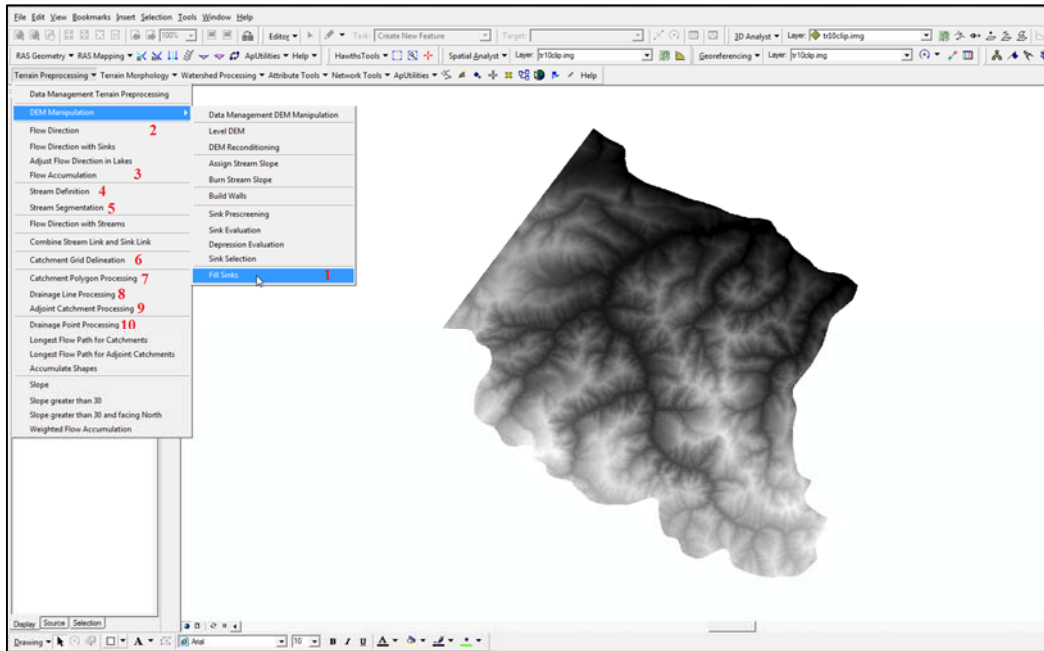
Alt havzaların rastgele ve her havzada eşit sayıda seçilmesi nedeniyle noktalar dağınık bir görünüm sergilemektedir. Akarçay Havzası gibi küçük havzalarda çok fazla enine kesit alınmış, Fırat-Dicle gibi büyük havzalarda ise az enine kesit alınmış gibi görünmesinin sebebi her havza için eşit sayıda enine kesit alınmasından dolayıdır.



Şekil 1. Akarsu Havzalarında Enine Kesit Alınan Noktalar

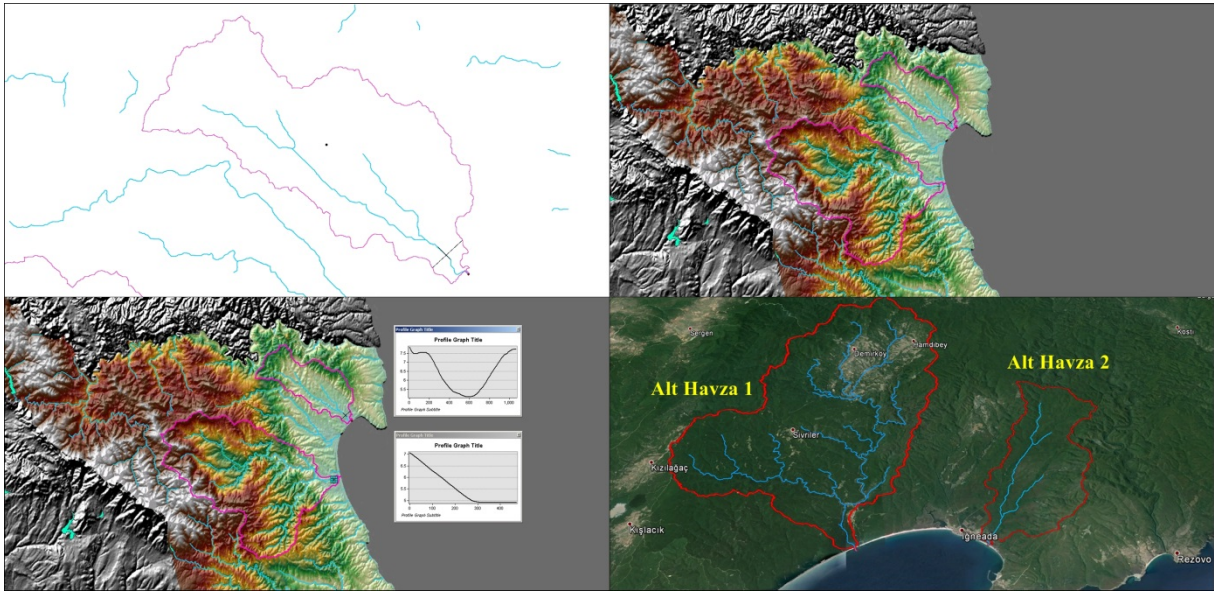
## 2.1. Alt Havzaların ve Morfolojik Değerlerinin Belirlenmesi

Enine kesit alınabilmesi için öncelikle alt havzaları belirleme gereği vardır, bunun için 10 metrelik SYM (DEM) verileri ArcGIS programının bir eklentisi olan ArcHydro Tools 9 altında Şekil 2’de gösterilen sıra takip edilerek, her bir akarsu havzası için drenaj ağı ve drenaj çıkış noktaları ile alt havzalar çıkartılmıştır. Şekil 2’de de görüldüğü gibi akarsu havzasının tüm SYM (DEM) verisi ile çalışmak her zaman mümkün olmadığı için daha küçük parçalara ayırma yolu seçildi (Ayhan vd., 2012).



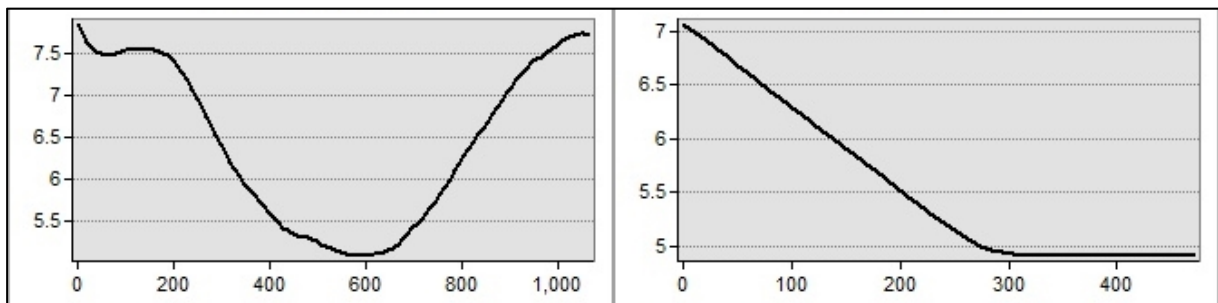
Şekil 2. ArcHydro9 ile Yapılan Uygulamalar

Şekil 3’de gösterilmeye çalışıldığı gibi alt havza, drenaj ağı, en uzun mekra kolu havzanın ağırlık merkezi, havzanın ağırlık merkezinden çıkışına kadar olan mekra uzunluğu gibi değerler çıkartılmıştır. Havzanın çıkışına yakın bir nokta seçilip, drenaj koluna dik bir kesme çekildi ve bu kesitin şekli çıkartılmış daha sonra enine kesite dik bir kesme atılarak da eğim belirlendi ve bu kesitlerin sayısal değerleri kaydedilmiştir. Eğim olarak yalnızca kesitin üzerinde çıkartılan eğimle yetinilmeyip havzanın mambadan mansaba kadar olan ve ağırlık merkezinden mansaba kadar olan eğimleri de çıkartılıp kaydedilmiştir. Çıkartılmış olan alt havzalara ve drenaj ağına bakmak için bunlar Google Earth üzerine atılarak kontrol edilmiştir. Şekil 3’ün sağ alt kısmında görünen alt havzalar Marmara Havzası için çıkartılan on iki alt havzanın ilk ikisidir.



Şekil 3. ArcGIS ile Enine Kesit Alınması ve Alt Havzaların Google Earth Üzerinde Kontrolü

Şekil 4’te görülen enine kesit ve eğim profili Marmara Havzası için seçilen ilk alt havzaya aittir, bu profillerin sayısal değerleri de daha sonra Matlab programında kullanılmak için kaydedilmiştir. Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi yirmi beş akarsu havzası için toplamda altı yüz adet profil ve verisi elde edilmiştir.

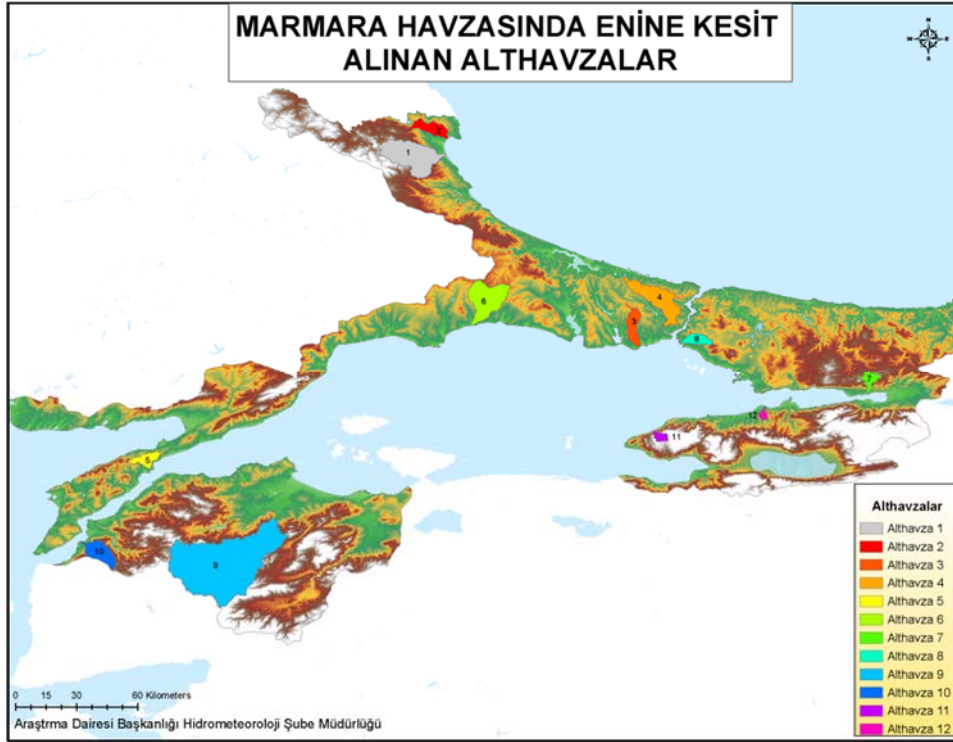


Şekil 4. Alt Havza\_1’den Alınan Enine Kesit ve Eğim Profili

Marmara Havzası içinde seçilen on iki alt havza Şekil 5’te görülebilmektedir. Seçilen alt havzalar her ne kadar rastgele olsalar da, hidrolojik parametrelerin akarsu havzasını daha iyi temsil edebilmesi amacıyla, alt havzalar olabildiğince homojen seçilmiştir. Haritadan da anlaşılabilceği gibi havza büyüklükleri farklılıklar göstermektedir, bu seçimdeki amaç da



yine akarsu havzasını temsil edebilme kapasitesini arttırmaktır, diğer akarsu havzaları için de yine bu hususlara dikkat edilmiştir. Marmara Havzası içerisinde seçilen alt havzalardan en büyüğü (alt havza 9) 978 km<sup>2</sup> en küçüğü (alt havza 11) ise 12 km<sup>2</sup>'dir.



Şekil 5. Marmara Havzasında Seçilen 12 Alt Havza

Çizelge 1. Marmara Havzası İçin Morfolojik Büyüklükler

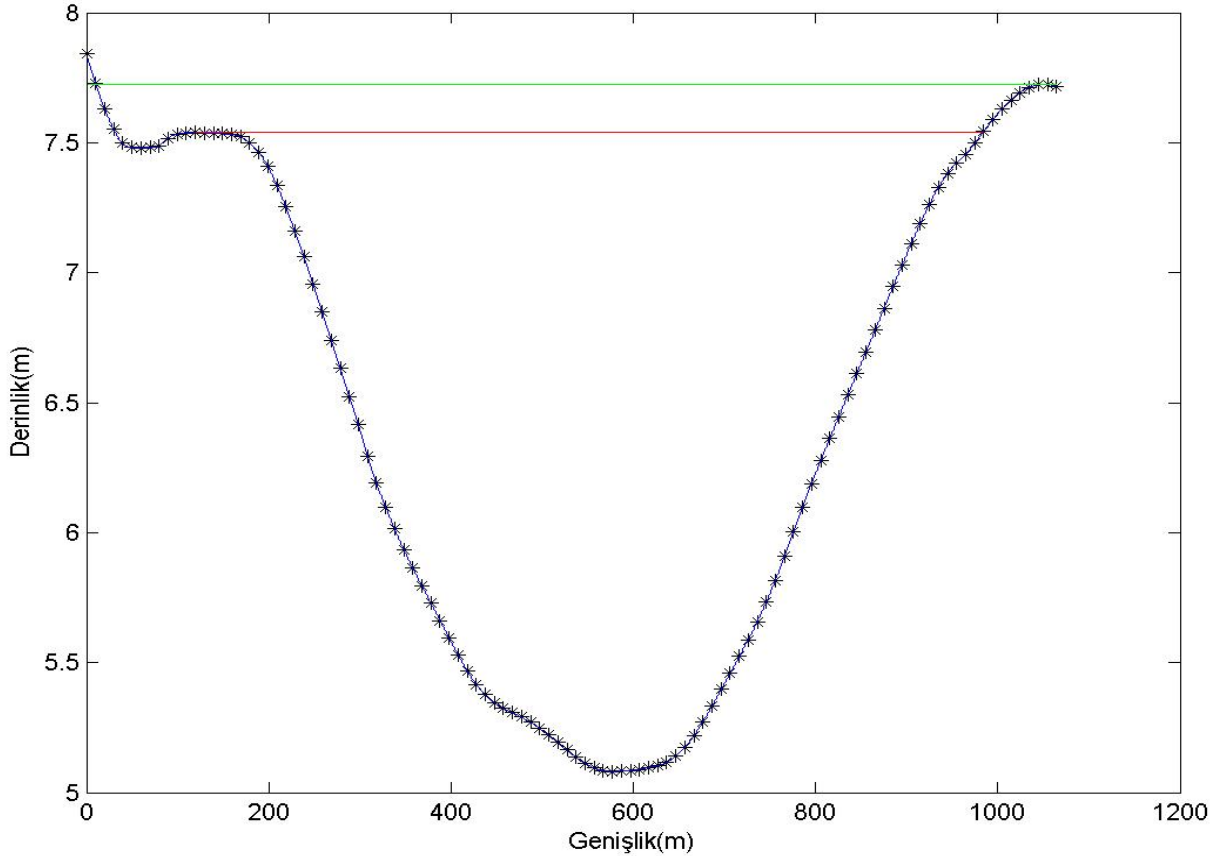
Alt Havza No	A <sub>x</sub>	A <sub>y</sub>	B <sub>x</sub>	B <sub>y</sub>	Kesit Eğimi	Alan(m <sup>2</sup> )	Esas Mecra Uzunluğu (m)	Esas Mecra Eğimi	Merkez Mecra Uzunluğu (m)	Merkez Mecra Eğimi
1	27.979	41.809	27.978	41.818	0.0046	259,418,400	39,514	0.0187	21,689	0.0097
2	27.981	41.89	27.995	41.901	0.0035	65,572,300	17,991	0.0133	9,865	0.0030
3	28.977	41.068	28.961	41.078	0.0053	181,291,500	34,394	0.0656	20,171	0.0422
4	28.825	40.978	28.845	40.989	0.0033	68,868,600	23,567	0.0093	9,865	0.0025
5	28.115	41.069	28.105	41.065	0.0003	198,119,500	28,803	0.0088	15,584	0.0056
6	26.686	40.454	26.667	40.447	0.0061	49,617,800	13,908	0.0232	6,869	0.0046
7	29.101	41.001	29.097	41.004	0.0443	45,381,100	16,977	0.0221	7,566	0.0052
8	29.86	40.771	29.854	40.774	0.0097	39,339,000	17,272	0.0290	9,366	0.0217
9	27.239	40.192	27.231	40.196	0.0035	977,917,400	73,370	0.0135	37,306	0.0015
10	26.385	40.097	26.381	40.093	0.0043	93,211,900	25,674	0.0210	10,839	0.0069
11	29.398	40.681	29.389	40.686	0.0049	12,431,200	10,572	0.0203	5,454	0.0053
12	28.909	40.591	29.907	40.59	0.0350	20,185,600	11,376	0.0671	6,669	0.0780

Çizelge 1'de görünen ve ArcGIS kullanılarak elde edilen morfolojik büyüklükler Marmara Havzası için seçilen on iki alt havzaya aittir. Bu çizelgedeki (A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>) ve (B<sub>x</sub>, B<sub>y</sub>) esas mecra uzunluğu boyunca alınan kesitin sağ ve sol tarafındaki iki noktanın enlem ve boylam

değerlerini göstermektedir. Diğer kolonlar kendisini açıklamaktadır. Daha sonraki aşamada bu büyüklükler Matlab programı içerisinde yazılan yazılımlar ile kullanılmıştır.

## 2.2. MATLAB Programı ile Hidrolojik Parametrelerin Bulunması

Çizelge 1'deki gibi elde edilen morfolojik değerler, Matlab programında kullanılarak; kesitin eşik genişliği, tepe debisi zamanı, tepe debisi, eşik debisi, artık yağış süresi, kesitin derinliği, su seviyesi, kesit genişliği, artık yağış hacmi ve yağış şiddeti değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Aşağıdaki kesit Matlab programında yazılan yazılımın çıktılarındandır ve bunun gibi toplamda üç yüz kesit profili ve seviyesi çıkartılmıştır.



Şekil 6. Marmara Havzası Alt Havza\_1'in Enine Kesiti

Kesitin sayısal değerlerini kullanarak debi-seviye arasındaki ilişkiyi bulmak için yine yazılım yardımıyla anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Eşik seviyesinin şekildeki gibi yazılım tarafından belirlenmesi sonrasında kesitin en düşük talveg noktasından başlayarak ardışık olarak eşik seviyesine varıncaya kadar alınan değişik su seviyelerinde ıslak çevre, hidrolik yarıçap, kesit alanı büyüklükleri hesaplanarak, bu değerlerler Çizelge 1'de verilen kesit eğimini de göz önünde tutulması ile Manning formülünden debiler hesaplanır (Şen, 2008). Manning katsayısı pratiklik açısından tüm hesaplamalar için sabit olarak 0.018 alınmıştır. Hidroloik yarıçap kesitdeki ıslak alanın ıslak çevreye bölümüdür, alan ise kesitin alanıdır.

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A \quad (1)$$

n : Manning katsayısı      R: Hidrolik yarıçap      S: Eğim      A: Alan

Yazılım kesitteki debi-seviye ikili ilişkisini, anahtar eğrisi parametreleri olan a ve b katsayılarını, eşik genişliği, eşik su derinliği, eşik debisi, bu debinin ortaya çıkaracağı artık yağış yüksekliği ve şiddeti ile tepe debisi ve zamanını Snyder yöntemine göre çıkarmaktadır.

Hidrografın tepe debisine varması için gerekli olan zaman,  $t_p$ , yüzey şekil büyüklüklerden esas meca, L, ve ağırlık merkezinden havzanın çıkışına kadar olan meca uzunluğu,  $L_c$ , uzunluklarının göz önünde tutulması ile Snyder (1938) tarafından verilen tecrübeye dayalı formül ile saat cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_p = 0.75 * C_t (L L_c)^{0.3} \quad (2)$$

Burada, L ve  $L_c$  değerleri daha önce ArcGIS ile yapılan işlemlerde hesaplanmıştı. Burada  $C_t$  zaman faktörü 1.5 olarak alınmıştır.

Hidrografi meydana getiren artık yağışın süresi,  $t_r$ , tepe debisi zamanının 5.5'te biri olarak tecrübeye dayalı şekilde verilmiştir,

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \quad (3)$$

Tepe debisi,  $Q_p$  hesabı için debi sabiti  $C_p$  0.45 alınıp, A havza alanı ( $km^2$ ) olmak üzere ve tepe debisi  $m^3/sn$  olarak hesaplanmıştır.

$$Q_p = 2.75 C_p \frac{A}{t_p} \quad (4)$$

Bu hesaplamalardan sonra artık havza alanından gelecek yağışın ortaya çıkaracağı debi hesaplanmıştır. Bu debinin ortaya çıkaracağı artık yağış yüksekliğinin, Y, hesaplanması için Snyder birim hidrografının artık yağış yüksekliği 1 cm = 10 mm olarak kabul edilirse doğru orantılılık söz konusu olduğundan,

$$Y = 10 \frac{Q_{KesitMax}}{Q_p} \quad (5)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Yukarıda belirtilen formülasyonlar ile hazırlanan yazılım sayesinde her bir akarsu havzası için hesaplamalar yapıldı, Çizelge 2 ve Çizelge 3'de örneğimiz olan Marmara Havzası için on iki alt havzada elde edilen sonuçlar gösterilmiştir ve ayrıca Şekil 7'de de Marmara Havzası'nda seçilen birinci alt havzanın anahtar eğrisi, yazılım sayesinde çıkartılan anahtar eğrilerine örnek olarak gösterilmiştir.

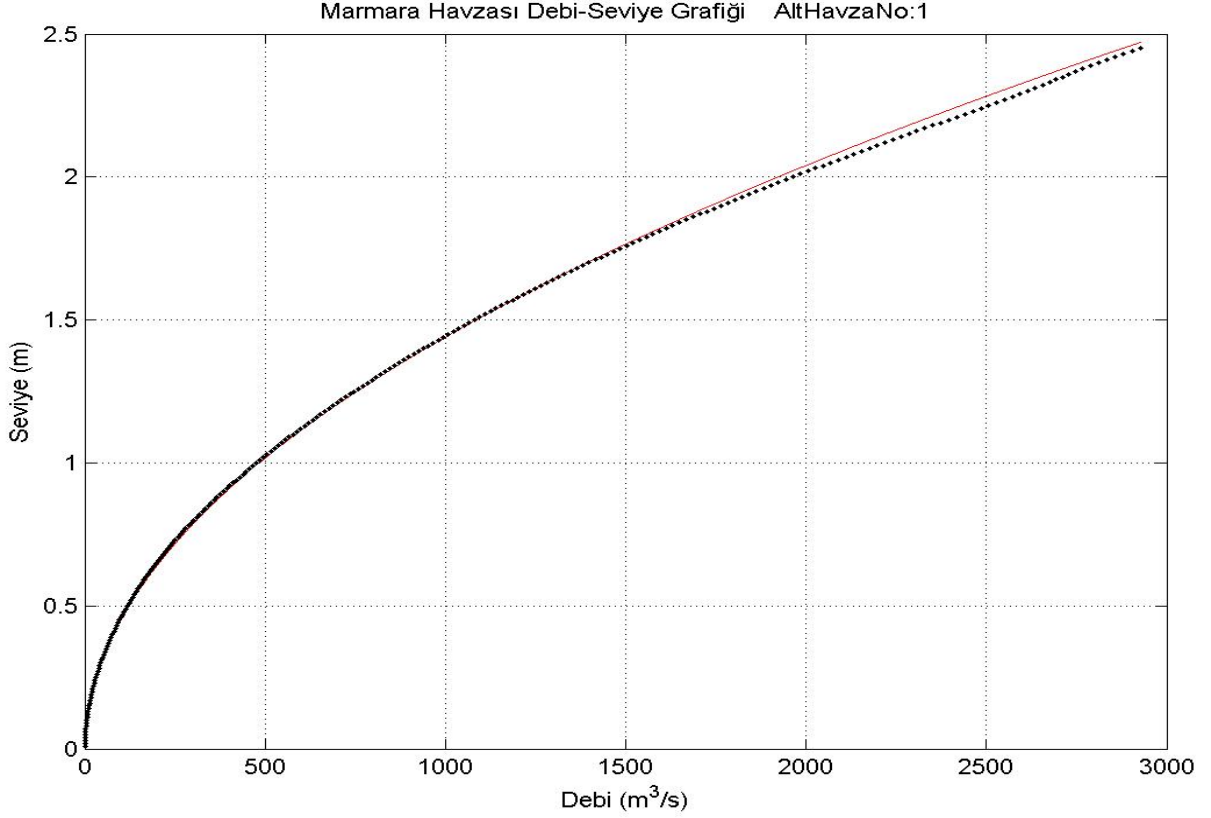
**Çizelge 2. Marmara Havzası İçin Yapılan Hesaplamalar\_1**

No	Anahtar Eğrisi Parametresi-a	Anahtar Eğrisi Parametresi-b	Kesit Eşik Genişliği (m)	Tepe Debisi Zamanı (saat)	Tepe Debisi (m <sup>3</sup> /sn)	Esik Debisi (m <sup>3</sup> /sn)	Artık Yağış Süresi (saat)	Derinlik (m)
1	0.0445	0.5032	863.40	8.53	37.63	2927.45	1.55	2.457
2	0.0559	0.4158	122.74	5.32	15.25	11865.93	0.97	0.144
3	0.0285	0.5336	14.22	8.01	28.02	5409.15	1.46	0.018
4	0.0837	0.4957	131.26	5.77	14.77	10.02	1.05	0.284
5	0.1677	0.5004	164.07	7.03	34.89	78.06	1.28	1.632
6	0.0919	0.4563	1479.79	4.42	13.90	2381.05	0.80	41.048
7	0.0483	0.5350	10.47	4.83	11.63	2115.39	0.88	0.034
8	0.0930	0.4923	569.98	5.17	9.41	1174.93	0.94	43.160
9	0.0435	0.5463	11.40	12.09	100.12	2436.09	2.20	0.002
10	0.0755	0.4798	493.44	6.09	18.95	1627.60	1.11	2.551
11	0.0339	0.5502	13.43	3.80	4.05	1043.64	0.69	0.004
12	0.0850	0.4820	184.91	4.12	6.06	1625.59	0.75	4.935

**Çizelge 3. Marmara Havzası İçin Yapılan Hesaplamalar\_2**

Alt Havza No	Snyder Debisi Su Seviyesi (m)	Su Seviyesi Kesit Genişliği (m)	Akış Katsayısı	Artık Yağış Hacmi (m <sup>3</sup> )	Yağış Şiddeti (mm/sa)
1	0.27	243.37	0.41	53,644,543	22.2
2	0.17	357.71	0.41	13,559,547	35.6
3	0.14	214.35	0.41	37,488,859	23.7
4	0.28	125.42	0.41	14,241,182	32.9
5	0.73	90.49	0.41	40,968,683	27.0
6	0.31	69.66	0.41	10,260,352	42.9
7	0.16	40.38	0.41	9,384,255	39.3
8	0.28	40.89	0.41	8,134,823	36.6
9	0.54	137.51	0.41	202,221,324	15.7
10	0.31	115.13	0.41	19,275,078	31.1
11	0.07	113.19	0.41	2,570,620	49.9
12	0.2	22.76	0.41	4,174,135	46.0





**Şekil 7. Marmara Havzası Alt Havza\_1'in Anahtar Eğrisi**

ArcGIS kullanılarak elde edilen yer şekil büyüklükleri ve Matlab kullanarak hesaplanan değerler arasında ikili ilişkiler kurularak hidrolojik parametreler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu ikili ilişkiler normal (doğrusal), yarı-logaritmik (üssel, yani eksponansiyel) veya çifte-logaritmik (kuvvet fonksiyonu) şekillerden birisine daha yatkın görülmektedir. Bunların genel formülasyonları ise sırası ile

$$y = a \pm bx \quad (6)$$

$$y = ae^{\pm bx} \quad (\log y = \log a \pm bx) \quad (7)$$

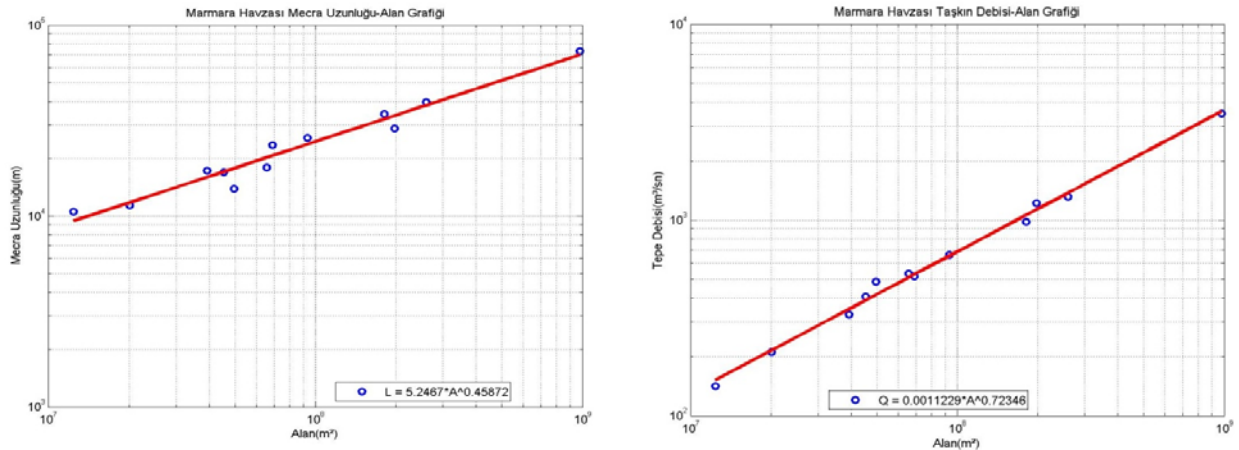
$$y = ax^{\pm b} \quad (\log y = \log a \pm b \log x) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Eldeki üç yüz (25x12) adet alt havza verisinden her bir akarsu havzası için uygun ikili ilişki denklemi (regresyon) parametreleri (a ve b) hesaplandıktan sonra istenilen alt havzanın alan değerini kullanarak diğer değerlere ulaşmak mümkün olacaktır. Karadeniz ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi bünyesinde bulunan on iki bine yakın alt havza için sadece alan değerinin bilinmesi ile gerekli olan büyüklükler Çizelge 4'den çıkarılan denklemlerden yararlanılarak (en sonunda özellikle artık yağış yüksekliği veya şiddeti) elde edilebilir.

**Çizelge 4. Bulunan Hidrolojik Parametrelere (a ve b) Göre İkili İlişki Denklemleri**

Havza Adı	Esas Mecra Uzunluğu - Havza Alanı	Mecra Genişliği - Havza Alanı	Mecra Derinliği - Havza Alanı	Mecra Eğimi - Havza Alanı	Tepe Debisi - Havza Alanı	Tepe Debisi - Mecra Eğimi	Yağış Şiddeti - Tepe Debisi
Akarçay	$L = 104.24A^{0.282}$	$G = 18.82A^{0.169}$	$D = 36.76 \times 10^8 A^{-1.224}$	$S = 0.20A^{-0.091}$	$Q = 7.78 \times 10^{-5} A^{0.86}$	$Q = 106.6S^{-0.16}$	$Y = 72.837Q^{-0.126}$
Antalya	$L = 127.49A^{0.277}$	$G = 18.906A^{0.271}$	$D = 1.97 A^{-0.053}$	$S = 0.009A^{0.096}$	$Q = 0.00015A^{0.85}$	$Q = 558.8S^{0.087}$	$Y = 75.091Q^{-0.126}$
Aras	$L = 16.768A^{0.393}$	$G = 96.9 \times 10^6 A^{0.696}$	$D = 25.36 \times 10 A^{-0.053}$	$S = 01.529A^{0.567}$	$Q = 0.0003A^{0.77}$	$Q = 670.1S^{0.18}$	$Y = 110.527Q^{-0.040}$
Asi	$L = 1084.9A^{0.176}$	$G = 0.0087A^{0.512}$	$D = 2.44 \times 10^{-7} A^{-824}$	$S = 0.296A^{-0.116}$	$Q = 7.018 \times 10^{-5} A^{0.89}$	$Q = 806.2S^{0.097}$	$Y = 366.02Q^{-0.325}$
Batı Akdeniz	$L = 5.637A^{0.451}$	$G = 0.0009A^{0.71}$	$D = 5.79 \times 10^{-13} A^{1.662}$	$S = 0.0264A^{0.051}$	$Q = 0.0017A^{0.72}$	$Q = 1033.S^{0.15}$	$Y = 361.60Q^{-0.384}$
Batı Karadeniz	$L = 2.632A^{0.491}$	$G = 13.9 \times 10^5 A^{-0.52}$	$D = 55.95 \times 10^{16} A^{-2.173}$	$S = 2.888A^{-0.218}$	$Q = 0.0015A^{0.71}$	$Q = 104.9S^{0.69}$	$Y = 262.73Q^{-0.165}$
Burdur	$L = 35.772A^{0.346}$	$G = 1.054A^{0.309}$	$D = 6.330A^{1.123}$	$S = 10.091A^{-0.301}$	$Q = 0.00015A^{0.82}$	$Q = 65.21S^{0.51}$	$Y = 184.99Q^{-0.181}$
Büyük Menderes	$L = 0.777A^{0.565}$	$G = 42.7 \times 10^3 A^{-0.279}$	$D = 22.11 \times 10^8 A^{-0.993}$	$S = 1.509A^{-0.190}$	$Q = 0.0049A^{0.63}$	$Q = 160.8S^{0.32}$	$Y = 71.308Q^{-0.189}$
Ceyhan	$L = 52.147A^{0.348}$	$G = 39.2 \times 10^6 A^{-0.627}$	$D = 39.75 \times 10^4 A^{-0.646}$	$S = 0.0526A^{-0.047}$	$Q = 0.00049A^{0.76}$	$Q = 1173S^{-0.05}$	$Y = 200.395Q^{-0.365}$
Çoruh	$L = 2.921A^{0.480}$	$G = 63.2 \times 10^4 A^{-0.446}$	$D = 51.52 \times 10^7 A^{-0.972}$	$S = 15.53A^{-0.298}$	$Q = 0.0011A^{0.72}$	$Q = 91S^{-0.77}$	$Y = 99.781Q^{-0.279}$
Doğu Akdeniz	$L = 11.961A^{0.414}$	$G = 25.2 \times 10^3 A^{-0.28}$	$D = 0.0022A^{0.412}$	$S = 15.53A^{-0.298}$	$Q = 0.00072A^{0.75}$	$Q = 44.4S^{-0.82}$	$Y = 629.06Q^{-0.439}$
Doğu Karadeniz	$L = 1.761A^{0.516}$	$G = 12.4 \times 10^4 A^{-0.359}$	$D = 19.35 \times 10^7 A^{-0.881}$	$S = 10.925A^{-0.272}$	$Q = 0.0027A^{0.68}$	$Q = 18.29S^{-1.46}$	$Y = 74.046Q^{-0.249}$
Fırat-Dicle	$L = 8.356A^{0.433}$	$G = 23.5 \times 10^{19} A^{-2.25}$	$D = 82.23 \times 10^{23} A^{-2.991}$	$S = 0.00034A^{-0.259}$	$Q = 0.00089A^{0.71}$	$Q = 600.3S^{0.12}$	$Y = 74.14Q^{-0.031}$
Gediz	$L = 4094.53A^{0.11}$	$G = 1.79 \times 10^{-5} A^{-0.85}$	$D = 1.102 \times 10^{-12} A^{1.460}$	$S = 0.666A^{-0.167}$	$Q = 2.59 \times 10^{-5} A^{0.92}$	$Q = 555.3S^{0.102}$	$Y = 367.29Q^{-0.348}$
Kızılırmak	$L = 8.325A^{0.431}$	$G = 19.9 \times 10^6 A^{-0.65}$	$D = 19.47 \times 10^{13} A^{1.762}$	$S = 1.222A^{-0.203}$	$Q = 0.0006A^{0.73}$	$Q = 0.651S^{-1.82}$	$Y = 175.38Q^{-0.164}$
Konya Kapalı	$L = 45.972A^{0.330}$	$G = 10.5 \times 10^5 A^{-0.436}$	$D = 50.09 \times 10^9 A^{-1.288}$	$S = 2.12 \times 10^{-9} A^{0.896}$	$Q = 0.00015A^{0.81}$	$Q = 1016.6S^{0.29}$	$Y = 228.92Q^{-0.240}$
Kuzey Ege	$L = 7.123A^{0.443}$	$G = 4.8 \times 10^{-7} A^{1.091}$	$D = 2.285 \times 10^{-14} A^{1.689}$	$S = 0.118A^{0.079}$	$Q = 0.00058A^{0.76}$	$Q = 368.8S^{-0.19}$	$Y = 751.502Q^{-0.368}$
Küçük Menderes	$L = 2.872A^{0.486}$	$G = 44.5 \times 10^7 A^{0.826}$	$D = 39.17 \times 10^{12} A^{-1.746}$	$S = 0.00058A^{0.274}$	$Q = 0.0018A^{0.71}$	$Q = 98.4S^{-0.47}$	$Y = 346.81Q^{-0.373}$
Marmara	$L = 5.246A^{0.458}$	$G = 15.6 \times 10^9 A^{-0.144}$	$D = 97.36 \times 10^3 A^{-0.679}$	$S = 0.501A^{-0.174}$	$Q = 0.0011A^{0.72}$	$Q = 304.1S^{-0.093}$	$Y = 1928.42Q^{-0.487}$
Meriç	$L = 0.633A^{0.585}$	$G = 59.3 \times 10^3 A^{-0.351}$	$D = 11.75 \times 10^6 A^{-0.837}$	$S = 0.0227A^{-0.063}$	$Q = 0.0036A^{0.65}$	$Q = 2412S^{0.37}$	$Y = 99.41Q^{-0.127}$
Sakarya	$L = 172.97A^{0.265}$	$G = 73.1 \times 10^2 A^{-0.205}$	$D = 75.17 \times 10^{11} A^{-1.576}$	$S = 1.34 \times 10^{-6} A^{0.517}$	$Q = 6.82 \times 10^{-5} A^{0.86}$	$Q = 1435.7S^{0.06}$	$Y = 152.51Q^{-0.338}$
Seyhan	$L = 10.184A^{0.431}$	$G = 0.829A^{0.231}$	$D = 2.00 \times 10^{-9} A^{1.154}$	$S = 0.00084A^{0.165}$	$Q = 0.0008A^{0.73}$	$Q = 87.9S^{-0.66}$	$Y = 102.35Q^{-0.168}$
Susurluk	$L = 39.758A^{0.341}$	$G = 11.9 \times 10^4 A^{-0.400}$	$D = 1.869A^{0.085}$	$S = 2.685A^{-0.234}$	$Q = 0.0001A^{0.85}$	$Q = 29.69S^{0.78}$	$Y = 119.64Q^{-0.246}$
Van Gölü	$L = 50.245A^{0.33}$	$G = 1.89 \times 10^{-5} A^{-0.89}$	$D = 1.30 \times 10^{-6} A^{0.754}$	$S = 110.96A^{-0.424}$	$Q = 0.00018A^{0.79}$	$Q = 1.02S^{-1.77}$	$Y = 314.40Q^{-0.360}$
Yeşilirmak	$L = 4.33A^{0.464}$	$G = 74.4 \times 10^4 A^{-0.448}$	$D = 23.06 \times 10^8 A^{-0.970}$	$S = 28.64A^{-0.372}$	$Q = 0.00018A^{0.79}$	$Q = 106.6S^{-0.16}$	$Y = 72.837Q^{-0.126}$

Şekil 8’de Marmara Havzası için bulunan; mecrâ derinliği-havza alanı, mecrâ eğimi-havza alanı, mecrâ genişliği-havza alanı, mecrâ uzunluğu-havza alanı, tepe debisi-havza alanı, tepe debisi-mecrâ eğimi ve yağış şiddeti-tepe debisi ikili ilişkilerini belirten grafikler görülmektedir. Matlab’da oluşturulan yazılım sayesinde üretilen bu grafikler her akarsu havzası için üretilmiş olup denklemleri grafik üzerinde yazmaktadır.



Şekil 8. Marmara Havzası İçin Bulunan İkili İlişkilerin Dağılımı

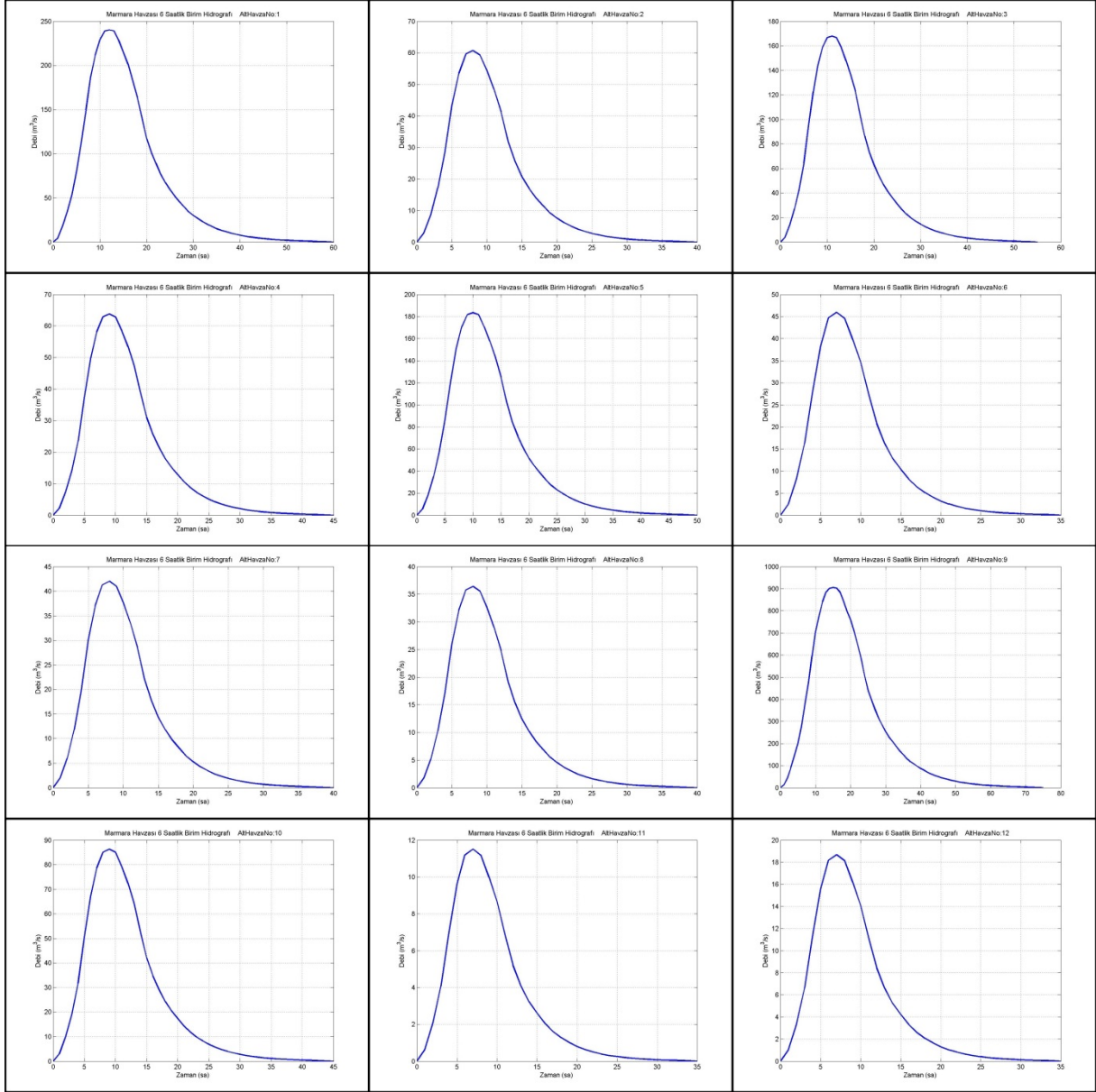
Çizelge 4’de belirtilen taşkın debisi-havza alanı gibi ikili ilişkilerin yanı sıra her akarsu havzasındaki alt havzalar için tepe debisini bulmak amacıyla kesit alanı ve kesit eğimini kullanan üçlü ilişkilerin kuvvet fonksiyonu şeklinde olan bir denklem çıkarılmıştır. Bu denklem aşağıdaki ifade edildiği gibi;  $Q_p$ , tepe debisi,  $A$ , kesit alanı ve  $S$  kesit eğimi olacak şekildedir.

$$Q_p = aA^b S^c \quad (9)$$

Burada  $a$ ,  $b$  ve  $c$  hidrolojik parametreleri her akarsu havzası için hesaplanıp Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Tepe Debisi-Kesit Alanı-Kesit Eğimi İlişkisini Veren Hidrolojik Parametreler

Havza Adı	a	b	c
Akarçay	$7.417 \times 10^{-5}$	0.7831	0.196
Antalya	$2.435 \times 10^{-27}$	1.359	-8.339
Aras	$6.566 \times 10^{-4}$	-0.1087	1.1369
Asi	$9.110 \times 10^{-13}$	1.5215	-0.6176
Batı Akdeniz	$1.7527 \times 10^5$	-0.1415	1.2076
Batı Karadeniz	$2.424 \times 10^{-14}$	1.9687	$1.096 \times 10^{-4}$
Burdur	$2.649 \times 10^5$	1.3857	8.2022
Büyük Menderes	$1.989 \times 10^{-11}$	1.3958	-1.1912
Ceyhan	$3.039 \times 10^{-7}$	1.0072	-0.0313
Çoruh	$1.526 \times 10^{-6}$	0.8905	0.2346
Doğu Akdeniz	$1.938 \times 10^{-8}$	1.2604	0.1887
Doğu Karadeniz	0.1307	0.4535	0.6013
Fırat-Dicle	$1.695 \times 10^{-10}$	1.2018	-1.0947
Gediz	$6.262 \times 10^{-5}$	1.1808	1.787
Kızılırmak	$2.635 \times 10^{-42}$	0.9264	-17.0316
Konya Kapalı	$2.211 \times 10^{-10}$	1.2855	-0.5636
Kuzey Ege	$1.086 \times 10^{-4}$	1.4133	-0.7911
Küçük Menderes	$1.78 \times 10^{-10}$	1.37958	-0.231
Marmara	$2.934 \times 10^{-12}$	1.2274	-1.441
Meriç	$2.752 \times 10^{-7}$	0.9445	-0.3839
Sakarya	$1.980 \times 10^{-35}$	3.1495	-6.0486
Seyhan	$1.602 \times 10^{-10}$	1.3263	-0.3351
Susurluk	0.0222	1.3404	3.7995
Van Gölü	0.0551	0.6068	0.9316
Yeşilirmak	$8.329 \times 10^3$	1.5562	7.0585



**Şekil 9. Marmara Havzası İçin Oluşturulan Birim Hidrograflar**

Matlab programında yapılan yazılımlar sayesinde bulunan hidrolojik parametrelerden sonra üçüncü bir yazılım ile her bir akarsu havzasında alt havzalar için birim hidrograflar çizdirilmiştir. Şekil 9’da ise Marmara Havzası için oluşturulan alt havzalardan çıkartılan birim hidrograflar örnek olarak gösterilmiştir.

Birim hidrograf (BH) tanım olarak 1 cm yüksekliğindeki ve t zamanında etkili olan bir artı yağışın tüm havza alanı üzerine eşit yükseklikte yayılı olması durumunda, aniden akışa geçmesi ile su toplama havzasının çıkış noktasında ortaya çıkacak olan debinin zamanla değişimini gösteren grafikdir.

En doğru BH’lar bir havzanın çıkış noktasında kayıt edilmiş olan bir hidrografın ölçülmüş bir anahtar eğrisinin bulunması durumunda elde edilebilir. Ancak, Karadeniz ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi için çok sayıda kontrol kesiti bulunduğu ve on iki bine yakın alt havza olarak bulunması nedeniyle bu pratik olarak mümkün değildir.

Bu sebeple yapay (sentetik) BH'ların çıkarılarak kullanılması ön görülmüştür. Pratik çalışmalarda bu yapay BH'ların elde edilmesinde uluslararası kabul görmüş olan bir yapay boyutsuz BH ordinatlarının kullanılması yoluna gidilir.

Bir havzanın istenen bir kesitinde ortaya çıkabilecek BH'ın elde edilmesi için öncelikle yapay olarak oradaki en büyük debi (tepe debisi) ve bu debiye ulaşmak için gerekli zaman (tepe zamanı) bulunmalıdır. Bunlar  $t_p$  ve  $Q_p$  olarak Denklem (2) ve (4)'e göre hesap edilmiş ve Çizelge 2'de örnek olarak verilmiştir.

Boyutsuz BH için  $t/t_p$  ile  $Q/Q_p$  boyutsuz zaman ve debi oranlarının bir şekilde elde edilmesi gereklidir. Burada Soil Conservation Service (SCS) tarafından elde edilmiş ve dünyanın çeşitli bölgelerinde başarı ile kullanılmış olan yöntem uygulanmıştır. Bu boyutsuz BH'ın ordinatları Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 6. Boyutsuz Birim Hidrograf Ordinatlari**

$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$
0	0	3.1	0.423
0.1	0.2349	3.5	0.3269
0.2	0.4273	3.9	0.2494
0.3	0.5829	4	0.2327
0.4	0.7068	4.5	0.1631
0.6	0.8768	5	0.1129
0.7	0.9303	5.5	0.0774
1.1	1	6	0.0526
1.2	0.9921	6.5	0.0356
1.5	0.9329	7	0.0239
1.8	0.8423	8	0.0106
2.1	0.7393	9	0.0047
2.4	0.6358	11	0.0008
2.5	0.6023	14	0
2.7	0.5382		

Bu çalışmada esas alınan Snyder yöntemine göre elde edilen  $t_p$  ve  $Q_p$  değerlerinin Çizelge 6 ile işleme tâbi tutulması sonucu istenilen kesitlerdeki BH'lar çıkarılabilmektedir (Şen, 2008). Şekil 9'da sadece Marmara Havzasında elde edilmiş olan on iki kesit için birim hidrograflar verilmiştir, bununla beraber diğer akarsu havzaları için de BH'lar oluşturulmuştur.

### 3. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) ve Hidrolojik Araştırma Merkezi (HRC) kuruluşlarının birlikte uygulamaya koyduğu Karadeniz ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi'nin Türkiye şartlarına daha uyumlu hale getirilebilmesi için sistemin esasını teşkil eden değişik yüzey şekil (jeomorfolojik) büyüklüklerin yerel olarak elde edilmesi ve hidrolojik parametrelerin elde edilmesi amacıyla yapılan bu çalışma, yaklaşık 8 aylık bir süreçte uzman bir öğretim üyesi danışmanlığında MGM Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü'nde yapılan çalışmalar sonucunda oluşmuştur.



Türkiye'deki yirmi beş akarsu havzasının her birinde on ikişer tane kontrol kesiti ve bu kesitlerin üst tarafındaki su toplama alt havzalarının jeomorfolojik büyüklükleri ayrı ayrı Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) çıkarılarak gerekli ikili ve üçlü ilişki denklem ve parametreleri hesaplanmıştır.

Seçilen havzaların enine kesit örnekleme yapıldıktan sonra alt havzalar için kesit taşkın eşik seviyeleri ve buna sebebiyet verecek yağış şiddetleri ile birim hidrograf (BH) hesaplamalarında yerli verilerin kullanılması için her bir alt havzada gerekli olan jeomorfolojik parametreler bilgisayar ortamında geliştirilen yerli yazılımlar sayesinde elde edilmiştir.

Bu çalışma sırasında Matlab üzerinde oluşturulan yazılımlar sayesinde, Türkiye'de bulunan yirmi beş akarsu havzası için hidrolojik parametreler ve birim hidrograflar çıkartılmıştır. Ortaya konulan yazılımlara yalnızca enine kesit ve alt havza morfolojik büyüklüklerin girilmesi durumunda hidrolojik parametreler ve birim hidrograflar oluşturulabilir. Yani enine kesit verisinin yalnızca Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) kullanılarak bulunmasına gerek yoktur, eğer elimizde ölçülmüş gerçek kesit değerlerimiz olursa bu yazılım çok daha gerçekçi ürünler üretecektir. Ölçülmüş gerçek kesit verileriyle çalıştırılan yazılım ile üretilen hidrolojik parametreler sayesinde, Karadeniz ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi için taşkın tahmini amacıyla üretilen artık yağış ürününün hesaplanması daha doğru olacaktır. Çok daha doğru hesaplanmış artık yağış değerleri sayesinde ani taşkın tahminleri çok daha doğru yapılabilecektir. Ülkemizde ve dünyada her yıl yüzlerce insanın ölümüne, yaralanmasına ve maddi kayıplara neden olan ani taşkınların önceden öngörülmesi ve önlem alınması çok daha kolay bir hale gelebilecektir.

## **KAYNAKLAR**

- [1] Anderson, E. A., (1973). "National Weather Service River Forecast System — Snow accumulation and ablation model. Silver Spring", MD: NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO-17, NOAA, NWS-Office of Hydrologic Development.
- [2] Ayhan, N. G., Seyrek, K., Sargın, A. H., (2012). "Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Hidroloji Uygulamaları", DSİ.
- [3] Carpenter T. M, Sperflage J. A, Georgakakos K.P, Sweeney T, Fread D.L., (1999). "National Threshold Runoff Estimation Utilizing GIS in Support of Operational Flash Flood Warning Systems", Journal of Hydrology.
- [4] Carpenter, Theresa M., Georgakakos Konstantine P., (2004). "Impacts of Parametric and Radar Rainfall Uncertainty on the Ensemble Streamflow Simulations of a Distributed Hydrologic Model", Journal of Hydrology.
- [5] Carpenter, Theresa M., Georgakakos Konstantine P., (2006). "Continuous Streamflow Simulation with the HRCDHM Distributed Hydrologic Model", Journal of Hydrology.
- [6] Georgakakos Konstantine P., (1987). "Realtime Flash Flood Predictions", Journal of Geophysical Research
- [7] Georgakakos Konstantine P., (2002). "Hydrometeorological Models for Realtime Rainfall and Flow Forecasting", Water Resources Publications.
- [8] Georgakakos Konstantine P., Seob Dong-Jun, Guptac Hoshin, Schaake John, Butts Michael B., (2004). "Towards the Characterization of Streamflow Simulation Uncertainty Through Multimodel Ensembles", Journal of Hydrology.

- [9] Georgakakos Konstantine P., (2005). “Analytical results for operational flash flood guidance”, Journal of Hydrology.
- [10] Jonkman, S.N., (2005). “Global perspectives on loss of human life caused by floods”, Natural Hazards 34.
- [11] Maidment, D.R., (2002). “ArcHydro GIS for Water Resources”, ESRI, California.
- [12] Şen, Z., (2008). “İklim Değişikliği İçerikli Taşkın Âfet ve Modern Hesaplama Yöntemleri”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [13] Shamir Eylon, Lee Byong-Ju, Bao Deg-Hyo, M.ASCE and Georgakakos Konstantine P., (2010). “Flood Forecasting in Regulated Basins Using the Ensemble Extended Kalman Filter with the Storage Function Method”, Journal of Hydrologic Engineering.
- [14] Snyder, F. F., (1938). “Synthetic Unit Hydrographs”. Trans. AGU 19, 447-454.
- [15] Villarini Gabriel, Krajewski Witold F., Ntelekos Alexandros A, Georgakakos Konstantine P, Smith James A., (2010). “Towards Probabilistic Forecasting of Flash Floods: The Combined Effects of Uncertainty in Radar-rainfall and Flash Flood Guidance”, Journal of Hydrology.