

SCS CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir)

Application of SCS CN rainfall-runoff modeling using GIS and remote sensing: A case study of Havran river basin (Balıkesir)

Hasan Özdemir*

İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul

Öz: Hidrolojik çalışmalarda, yağmurlar, kar erimeleri ve kaynaklarla ortaya çıkan toplam akımların veya maksimum akımların bilinmesinin büyük önemi vardır. Günümüzde yüzeysel akış ve kaynaklarla beslenen akarsulara ait akım verileri akım gözlem istasyonlarından elde edilebilmektedir. Fakat bu veriler, gözlem istasyonlarına sahip olmayan havzalardaki akarsular için temin edilememektedir. Bu amaçla Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileriyle yağış-akış çalışmaları gün geçtikçe artış göstermektedir. Çalışmada yağış-akış modeli olarak USDA (United States Department of Agriculture) tarafından geliştirilen SCS (Soil Conservation Service) Curve Number metodu kullanılmıştır. Bu metod için gerekli olan parametrelerden arazi kullanımı/örtüsü verisi Spot XS (2005) uydu görüntüsünden, hidrolojik toprak grupları (HTG) verisi sahaya ait 1:25000 ölçekli toprak verilerinden üretilmiş olup, veriler ILWIS 3.3 CBS yazılımında değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan yağış verileri, Edremit ve Burhaniye meteoroloji istasyonlarının 1975-2003 yılları arası günlük yağış verilerinden temin edilmiştir. Sonuç olarak modelle elde edilen akım verileriyle yağış değerleri ve havzadaki tek akım ölçüm istasyonuna ait akım verileri karşılaştırılmış olup aralarındaki korelasyonlar yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: SCS CN, Yağış-Akış Modeli, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama, Havran Çayı Havzası

Abstract: Determination of direct runoff and peak discharge which occur from rainfall, snowmelt and natural resources is very important in hydrological applications. To measure the discharge which feeds from surface runoff and natural resources, gauge stations have been used. Although to get the discharge data in river which it does not have gauge station on, is very difficult, Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing arise as efficient tools in rainfall-runoff analysis to estimate direct runoff and peak discharge. Soil Conservation Service-Curve Number (SCS CN) method, which was developed by United States Department of Agriculture (USDA), is one of the methods in rainfall-runoff modeling. This method was applied to three sub basins in Havran River basin. Landuse/landcover, hydrological soil groups (HSG) and daily rainfall data which were produced Spot XS (2005) satellite image, digital soil data (1:25000) and the data of Edremit, Burhaniye meteorological stations between 1975 and 2003 respectively, have been used as input data in SCS-CN method for runoff and peak discharge estimation. Finally, good correlation was found between rainfall and runoff volume for the ungauged sub basins and also peak discharge of the gauged and ungauged rivers were compared.

Keywords: SCS CN, Rainfall-Runoff Modeling, Geographical Information Systems, Remote Sensing, Havran River Basin

* İletişim Yazarı: H. Özdemir, e-posta: ozdemirh@istanbul.edu.tr

1. Giriş

Akarsulara ait akım verileri, üzerlerinde bulunan akarsu gözlem istasyonlarından elde edilmektedir. Bu veriler, akarsuyun akımında yıl içinde meydana gelen değişimlerin sayısal olarak anlamamızda yardımcı olur. Ayrıca akarsuların yıl içindeki maksimum akım değerleri, taşkın sıklık analizlerinde önemli bir parametre olup, taşkın çalışmalarında da kullanılmaktadır. Ölçümü yapılamayan akarsuların akım verileri ise bir takım modellerle sağlanabilmektedir. Yağış-akış modeli olarak adlandırılan bu modellerden biri olan SCS CN (Curve Number) (SCS, 1956, 1964, 1972, 1993), ampirik bir model olup, yağış sonrası sızmayla kayba uğrayan suların fazlasının hesaplanması olarak adlandırılır ve küçük havzalarda ortaya çıkan su hacimlerinin tahmininde kullanılmaktadır (Mockus, 1949; McCuen, 1982; Yu, 1998; Mishra ve Singh, 1999). SCS CN metodu, havzanın özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiş curve number (eğri no) değerleri ve 5 gün önceki yağış verilerinden direkt olarak akışa geçen yüzeysel suların hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Jain ve diğ., 2006).

Uzaktan algılama teknolojileri, yağış-akış çalışmalarında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Uzaktan algılamanın akım hesaplamalarındaki rolü genel olarak model için gerekli olan verilerin oluşturulması şeklindedir (Nayak ve Jaiswal, 2003). Uydu görüntülerinden havzalara ait arazi kullanımı/örtüsü, toprak, bitki örtüsü, drenaj özellikleri vb. gibi konulardaki verilerin tematik olarak elde edilmesi mümkündür. Uydu görüntülerinden elde edilen ve diğer kaynaklardan toplanan veriler, CBS veri tabanı içinde geometrik düzeltmeleri yapıldıktan sonra depolanabilmektedir. Daha sonra bu veriler, istenen çalışmalarda düzenleme, yeni veri girişi ve analizle kullanıma hazır hale getirilmektedir.

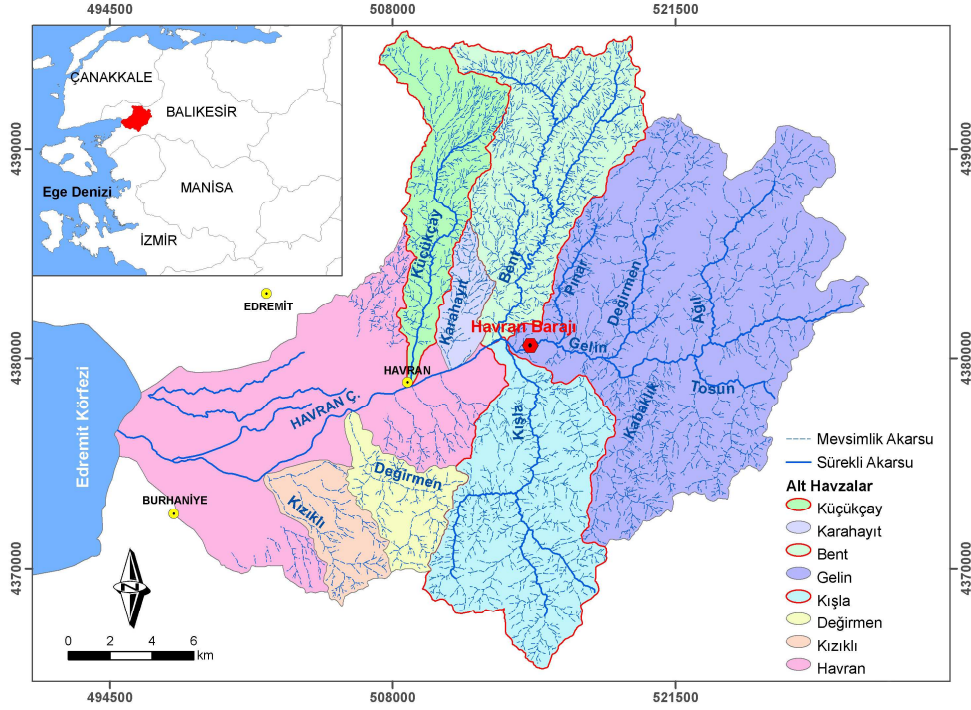
Çalışmada, yağış-akış modeli Havran Çayı havzasındaki Bent, Kışla ve Küçükçay Dereleri alt havzalarına uygulanmıştır. Havza içinde sadece ana kol olan Havran Çayı'nın yukarı çığırındaki Gelin Deresi üzerinde Elektrik İşleri Etüt Daire Başkanlığı'na ait (EİE) 408 nolu Akarsu Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmaktadır. Bu akım gözlem istasyonundan sonra, ana kola katılan Bent, Kışla ve Küçükçay Dereleri gibi su toplama havzası büyük olan yan kolların üzerinde akım gözlem istasyonları mevcut değildir. Havran Çayı'nda meydana gelen ve gelebilecek taşkınların anlaşılması açısından bu derelerdeki akım ve maksimum akım verilerinin yağış-akış modeli kullanılarak elde edilmesi hedeflenmektedir. Bundan dolayı çalışmanın amacı, CBS ve UA verilerini kullanarak Bent, Kışla ve Küçükçay Derelerine ait taşkınlar açısından önemli olan maksimum akım verilerinin SCS CN yağış-akış modeliyle ortaya koymaktır.

2. Çalışma Alanı

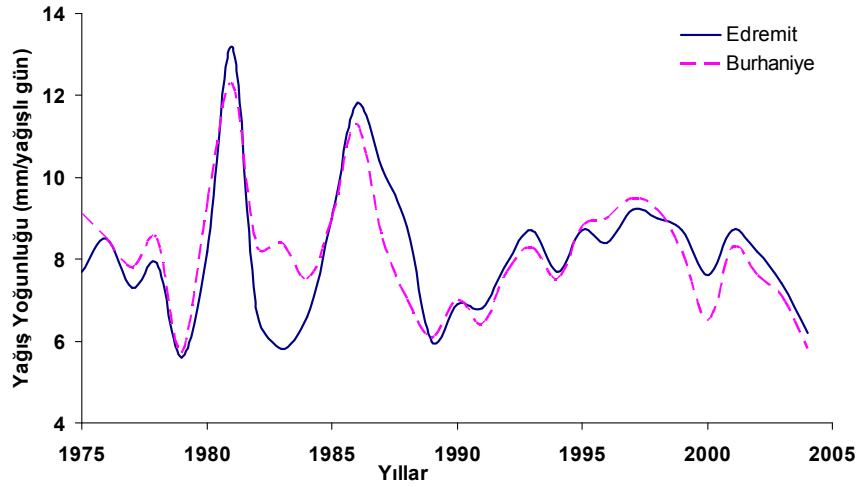
Çalışma alanı, Balıkesir ili sınırları içinde yaklaşık 26° 55' 30" - 27° 22' 30" Doğu meridyenleriyle 39° 25' 30" - 39° 43' 30" Kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. 570 km² alana sahip Havran Çayı havzasında yükselti aralığı 0 ile 1290 m. arasında değişmektedir (Şekil 1).

Paleozoik'ten Kuaterner'e kadarki zaman aralığında çeşitli litolojik birimlerin bulunduğu çalışma alanında, Alt ve Orta Miosen yaşlı andezit ve tüfler sahanın büyük bir bölümünü kapsar. Mesozoik birimler olan Alt Trias meta kumtaşı ve meta gravoklar, Üst Jura yaşlı kireçtaşları, kuzey kesimde Üst Oligosen-Alt Miosen yaşlı granadioritler ve Kuaterner alüvyonları sahada geniş yayılışa sahip diğer litolojik birimlerdir.

İklim özellikleri bakımından Akdeniz iklim özelliklerinin görüldüğü sahada, yıllık toplam yağışlar 665 mm. civarındadır. Saha genel olarak Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında yağışları alır. Çalışma alanı yakınındaki Edremit ve Burhaniye meteoroloji istasyonlarına ait yağış verileri değerlendirildiğinde son 30 yıl içinde yağış yoğunluğunda bir azalma olduğu görülmektedir (Şekil 2). Yağış yoğunluğu en fazla 1981 yılında artmış olup bunu 1986 yılı takip eder. Daha sonra kısmen dalgalanmalar olsa da genel olarak yağış yoğunluklarında bir azalmadan bahsetmek mümkündür (Şekil 2). Sahada en sıcak ay Temmuz ayı olurken en soğuk ay ise Şubat ayıdır.



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyonu ve alt havzalar



Şekil 2. Saha çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarının yağış yoğunluğu

Çalışma alanı içindeki doğal bitki örüsünü genellikle kızılçam (*Pinus brutia*), karaçamlardan (*Pinus nigra*) oluşan orman formasyonu, maki toplulukları ve kısmen de palamut meşesi (*Q. İthaburensis subsp. macrolepis*), saçlı meşe (*Q. cerris*), tüylü meşe (*Q. pubescens*), mazı meşesi (*Q. infectoria*) türlerinin oluşturduğu meşe çalılıkları meydana getirir.

Ana kol olan Havran Çayı genel olarak batı-doğu uzantılı bir akışa sahip olup, kuzeyden ve güneyden birçok yan kolları bünyesinde toplar. Bunlardan Küçükçay, Karahayıt, Bent, Pınar, Değirmen ve Ağıl Dereleri Havran Çayı'na kuzeyden katılan kollarıdır. Tosun, Kabaklık, Kışla, Değirmen ve Kızıklı Dereleri ise güneyden katılır. Çalışmada her bir derenin havzası alt havza olarak değerlendirilmiştir. Fakat Havran Çayı yukarı kısmında Gelin Deresi olarak adlandırılan akarsuya

Pınar, Değirmen, Ağıl, Tosun ve Kabaklık Derelerinin dökülmesi ve Gelin Deresi üzerinde, İnboğazi mevkiinde, Havran Barajı inşaatının olmasından dolayı bütün bu alt dereler Gelin Deresi alt havzası içinde değerlendirilmiştir (Şekil 1). Gelin Deresi üzerinde EİE'ye bağlı 408 nolu AGİ bulunurken, Gelin Deresinden sonra ana kola katılan Bent, Kışla ve Küçükçay Dereleri üzerinde akım gözlem istasyonları mevcut değildir.

Havran Çayı üzerinde çeşitli tarihlerde taşkınlar meydana gelmiştir. Bunlar; 1528, 1904, 1958, 1964, 1968, 1980 ve 1981 taşkınlarıdır (Yetkin, 1957; Akdağ, 1975; DSİ, 1988; Özdemir; 1998). Bu taşkınlardan 1981 taşkını 25 Aralık tarihinde meydana gelmiş olup sahadaki tahribatı bakımından en fazla etkiye sahip taşkındır. Bu taşkında 1 kişi hayatını kaybetmiş, Havran köprüsü yıkılmış, yüzlerce hayvan ve 6485 hektar tarım alanı taşkından zarar görmüştür. Meydana gelen taşkınlardan Havran yerleşmesi ve ovadaki tarım alanlarını korumak ve aynı zamanda tarım alanlarına sulama suyu sağlamak amacıyla, Havran Barajı inşaatı çalışmalarına 1995 yılında başlanmış olup tamamlanma aşamasına gelmiştir.

3. Veri ve SCS CN Yağış-Akış Modelinin Uygulanması

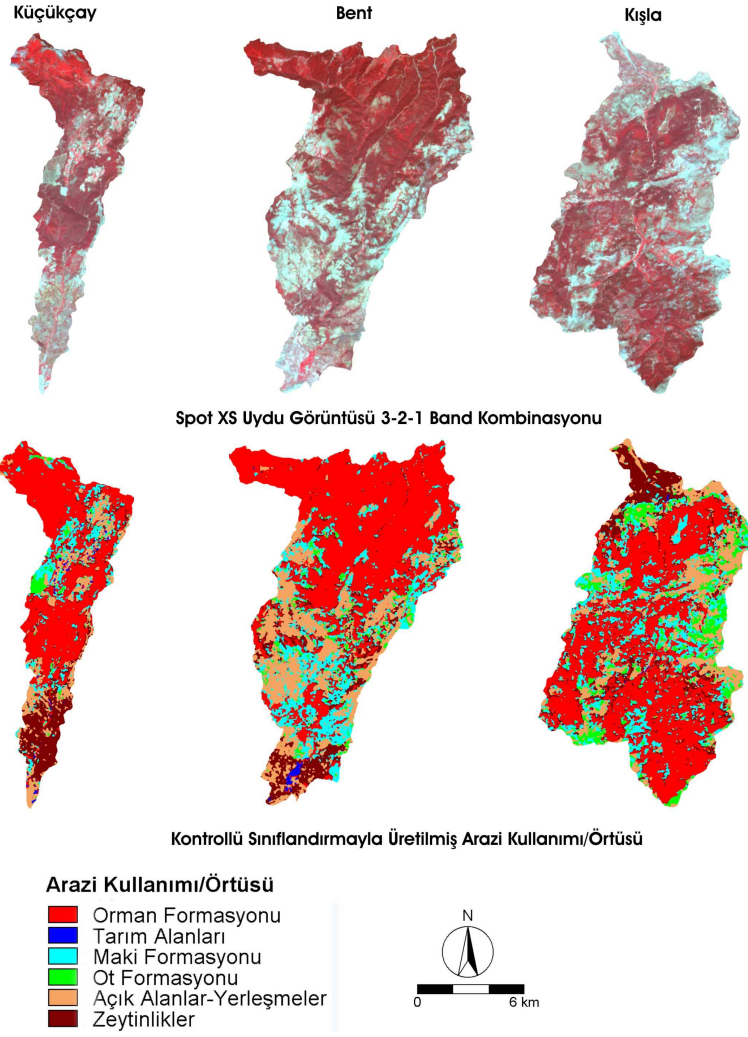
SCS CN modeli, dünya genelinde küçük alt havzaların yağış-akış modellerinde kullanılan yaygın bir modeldir (Beven, 2001; Das ve Paul, 2006). Bu model için kullanılan veriler;

- Arazi kullanımı/örtüsü
- Hidrolojik toprak grupları (HTG)
- Günlük yağış verileri (1975-2003)
- Önceki nem içeriği (AMC, Antecedent Moisture Conditions)

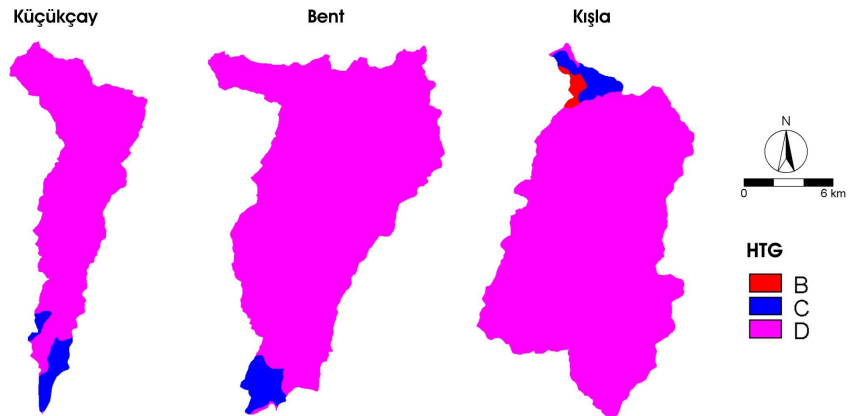
Yağış-akış modeli yapılacak üç alt havzaya ait arazi kullanımı/örtüsü verisi Ağustos 2005 tarihli Spot XS uydu görüntüsünden temin edilmiştir. Spot XS uydu görüntüsü öncelikle Erdas 8.7 yazılımı kullanılarak geometrik olarak düzeltilmiş, daha sonra Maksimum Olabilirlik karar kuralıyla Kontrollü (Supervised) sınıflandırmaya tabi tutulmuştur (Şekil 3). Sınıflamanın saha içinde 500 adet düzensiz olarak belirlenen noktalarla yapılan doğruluk belirlenmesinde %86'lık bir değer elde edilmiştir (Özdemir, 2007). Bu değer, sınıflamanın doğruluğunu ispatlamaktadır. Belirlenen alt havzalara ait güncel arazi kullanım özellikleri 20x20 m piksel veri yapısıyla ILWIS 3.3 CBS yazılımına aktarılmıştır.

Hidrolojik toprak grupları (HTG), Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 1:25000 ölçekli sayısal toprak verisi ve bunlara ait özellikleri ile hidrolojik içeriklerine bağlı olarak oluşturulmuştur. A, B, C ve D gruplarından oluşan topraklarda, A grubunu düşük akım potansiyeline sahip özellikteki topraklar, D grubunu yüksek akım potansiyeline sahip topraklar oluşturur. Ara değerler olan B, A grup topraklara, C ise D grup topraklara yakın özellikler gösterirler (USDA, 1985; Wanielista ve diğ., 1997; IIRS, 2005, Özdemir, 2007). Bu özelliklere bağlı olarak sahaya ait HTG haritası hazırlanmıştır (Şekil 4). Vektör formatta olan HTG verisi 20x20 m pikseli raster formata dönüştürülmüştür.

Günlük yağış verisi olarak, alt havzalar içinde meteoroloji istasyonu olmamasından dolayı, Bent ve Küçükçay Deresi alt havzaları için Edremit, Kışla Deresi alt havzası için Burhaniye meteoroloji istasyonlarının 1975-2003 yılları arasındaki günlük yağış verileri kullanılmıştır. Alt havzaların konumları, istasyon tercihinde belirleyici etmen olmuştur. Yağış-akış analizinde, alt havzaların baz aldığı meteoroloji istasyonlarının yağış değerleri aynen kullanılmamış olup, Schreiber formülüne göre yağış tahminleri yapılarak kullanılmıştır. Bilindiği üzere Schreiber formülünde yağışın yükselti farkına bağlı olarak her 100 m. de 54 mm. artış gösterdiği varsayılmaktadır (Dönmez, 1990). Alt havzalar için yükselti değeri olarak ortalama yükseklikleri kullanılmıştır.



Şekil 3. Alt havzalara ait arazi kullanımı/örtüsü verisi



Şekil 4. Alt havzalara ait HTG verisi

AMC değeri olan önceki nem içeriği, 5 gün önceki yağış verilerine bağlı olarak belirlenmiş olup bunun için üç temel kategori ortaya konmuştur (Hjelmfelt, 1982). Bu kategoriler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. AMC için belirlenen kategoriler

AMC-Sınıflar	AMC (mm)	İçerik
I	<35	Kuru toprak, fakat çok kurak şartlar içermez
II	35-52.5	Geçiş- orta koşullar
III	>52.5	Doymuş toprak, aşırı yağış

SCS akış modeli, yağış ve havzaya ait katsayıya bağlı olarak oluşturulmuş ampirik bir formülle akışa geçen su miktarının hesaplanmasıdır. Havza katsayısı CN (Curve Number) ile isimlendirilir ve bu veri arazi örtüsü ve toprak özelliğine bağlı olarak potansiyel akımı gösterir. SCS akış modeli için kullanılan formül (SCS, 1964, 1972);

$$Q = \frac{(P - la)^2}{\{(P - la) + S\}}$$

şeklindedir. Formülde yer alan;

Q= Akış (mm).

P= Yağış (mm).

S= Toprak tarafından tutulan sudur (mm).

la değeri için genel olarak kullanılan $la = 0.2S$ yerine konduğunda ortaya çıkan yeni formül, $P \geq 0.2S$ durumunda;

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

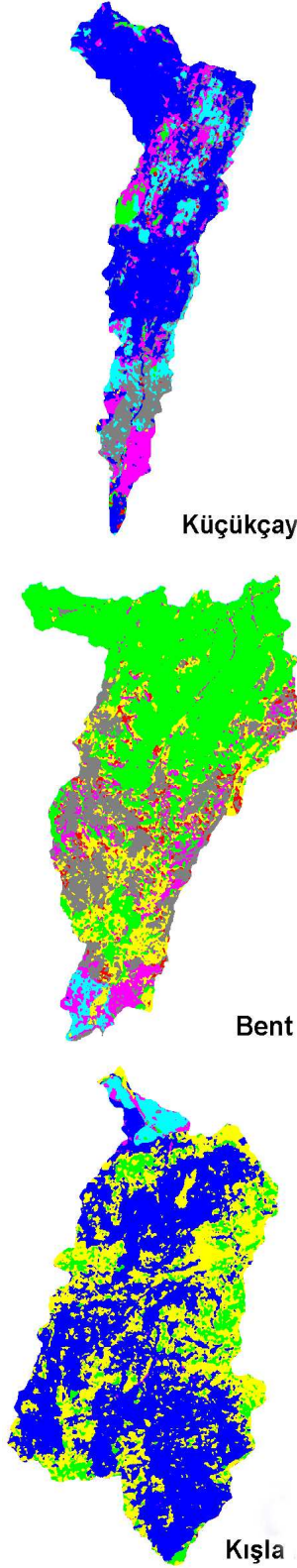
şeklindedir. Toprak tarafından tutulan su olan S değeri ise;

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

formülünden elde edilir. Formüldeki CN (Curve Number) değeri, havzada yer alan hidrolojik toprak grupları, arazi kullanımı/örtüsü ve AMC değerlerinin bir fonksiyonudur (Johnson, 1998). CN değerleri için Spot XS uydu görüntüsünden üretilen arazi kullanımı/örtüsü ile hidrolojik toprak grupları verilerine ILWIS 3.3 CBS yazılımı içinde yer alan Cross fonksiyonu uygulanmıştır (Şekil 5, 6). Cross özelliği aynı koordinat ve piksel değerlerine sahip iki farklı verinin çakıştırılarak tek bir haritada toplanmasıdır. Böylece arazi kullanımı ve hidrolojik toprak gruplarına göre hazırlanan standart tablodan (SCS, 1985; Chow ve diğ., 1988) CN değerleri CBS veri tabanına işlenmiştir (Şekil 6; Çizelge 2).

Veri 1				Veri 2				Cross Harita			
B	B	C	D	S	S	S	S	BS	BS	CS	DS
A	A	C	D	R	R	S	S	AR	AR	CS	DS
A	A	C	C	T	R	S	T	AT	AR	CS	CT
B	C	D	A	T	R	T	T	BT	CR	DT	AT

Şekil 5. Cross fonksiyonuna ait örneklem



CN Hesaplama

#	kucuk_lu	HSG	NPix	Area	CN	sumNpix	CNII	CNtot
1 * C	Orman Formasyonu	C	202	80800	70.0	108424	0.13	79.01
1 * D	Orman Formasyonu	D	58818	23527200	77.0	108424	41.77	79.01
3 * C	Tarim Alanlari	C	184	73600	88.0	108424	0.15	79.01
3 * D	Tarim Alanlari	D	757	302800	91.0	108424	0.64	79.01
5 * C	Maki Formasyonu	C	206	82400	77.0	108424	0.15	79.01
5 * D	Maki Formasyonu	D	12165	4866000	83.0	108424	9.31	79.01
6 * C	Ot Formasyonu	C	37	14800	74.0	108424	0.03	79.01
6 * D	Ot Formasyonu	D	3060	1224000	80.0	108424	2.26	79.01
7 * C	Acik Alanlar-Yerlesmeler	C	2174	869800	80.0	108424	1.60	79.01
7 * D	Acik Alanlar-Yerlesmeler	D	13921	5568400	85.0	108424	10.91	79.01
8 * C	Zeytinlikler	C	4514	1805600	73.0	108424	3.04	79.01
8 * D	Zeytinlikler	D	12386	4954400	79.0	108424	9.02	79.01
Min			37	14800	70.0	108424	0.03	79.01
Max			58818	23527200	91.0	108424	41.77	79.01
Avg			9035	3614133	79.8	108424	6.58	79.01
Std			16543	6617071	6.2	0	11.79	0.00
Sum			108424	43369600	957.0	1301088	79.01	948.12



0 6 km

#	bent_lu	HSG	NPix	Area	CN	sumNpix	CNII	CNtot
1 * C	Orman	C	186	74400	70.0	183824	0.07	79.72
1 * D	Orman	D	94054	37621600	77.0	183824	39.40	79.72
3 * C	Tarim	C	700	280000	88.0	183824	0.34	79.72
3 * D	Tarim	D	89	35600	91.0	183824	0.04	79.72
5 * C	Maki	C	2	800	77.0	183824	0.00	79.72
5 * D	Maki	D	27503	11001200	83.0	183824	12.42	79.72
6 * C	Ot	C	12	4800	74.0	183824	0.00	79.72
6 * D	Ot	D	5472	2188800	80.0	183824	2.38	79.72
7 * C	Yerlesim-acik	C	2390	956000	80.0	183824	1.04	79.72
7 * D	Yerlesim-acik	D	35999	14399600	85.0	183824	16.65	79.72
8 * C	Zeytinlik	C	3126	1250400	73.0	183824	1.24	79.72
8 * D	Zeytinlik	D	14291	5716400	79.0	183824	6.14	79.72
Min			1	400	70.0	183824	0.00	79.72
Max			94054	37621600	91.0	183824	39.40	79.72
Avg			11564	4625600	79.8	183824	6.64	79.72
Std			24508	9803296	6.2	0	11.68	0.00
Sum			185024	74009600	957.0	2205888	79.72	956.64

#	kisla_lu	HSG	NPix	Area	CN	sumNpix	CNII	CNtot
1 * C	Orman	C	16	6400	70.0	207144	0.01	79.39
1 * D	Orman	D	96505	38602000	77.0	207144	35.87	79.39
3 * D	Tarim	D	255	102000	91.0	207144	0.11	79.39
5 * B	Maki	B	2	800	66.0	207144	0.00	79.39
5 * C	Maki	C	119	47600	77.0	207144	0.04	79.39
5 * D	Maki	D	33168	13267200	83.0	207144	13.29	79.39
6 * C	Ot	C	47	18800	74.0	207144	0.02	79.39
6 * D	Ot	D	17901	7160400	80.0	207144	6.91	79.39
7 * B	Acik-yerlesim	B	181	72400	70.0	207144	0.06	79.39
7 * C	Acik-yerlesim	C	917	366800	80.0	207144	0.35	79.39
7 * D	Acik-yerlesim	D	31612	12644800	85.0	207144	12.97	79.39
8 * B	Zeytinlik	B	1916	766400	60.0	207144	0.55	79.39
8 * C	Zeytinlik	C	4488	1795200	73.0	207144	1.58	79.39
8 * D	Zeytinlik	D	20017	8006800	79.0	207144	7.63	79.39
Min			2	800	60.0	207144	0.00	79.39
Max			96505	38602000	91.0	207144	35.87	79.39
Avg			14796	5918400	76.1	207144	5.67	79.39
Std			26448	10579307	8.0	0	9.96	0.00
Sum			207144	82857600	1065.0	2900016	79.39	1111.46

Şekil 6. Cross fonksiyonu ile üretilen sonuç haritalar ve CN değerlerinin hesaplanması

CBS veri tabanında CN değerleri ve cross fonksiyonu ile üretilen haritada alansal veriler mevcut olduğundan, değişik AMC sınıflarına göre ortaya çıkan alt havzalara ait CN değerleri bazı formüllerle hesaplanmıştır. Bunlardan AMC II sınıfına göre CN II değeri;

$$CNII = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

formülünden elde edilmiştir (Şekil 6). Bu formülde;

CN II = Havzaya ait CN II değeri.

CN_i = Her bir arazi kullanımı/örtüsü ve hidrolojik toprak grubuna ait CN değeridir. Bu değerler Çizelge 2’de verilmiştir.

A_i = Her bir arazi kullanımı/örtüsü ve hidrolojik toprak grubunun alanıdır.

Çizelge 2. SCS modelde kullanılan CN değerleri (Chow ve diğ., 1988)

Arazi Kullanımı/Örtüsü	Hidrolojik Toprak Grupları			
	A	B	C	D
Orman Formasyonu	30	55	70	77
Tarım Alanları	72	81	88	91
Maki Formasyonu	45	66	77	83
Ot Formasyonu	39	61	74	80
Açık Alanlar - Yerleşmeler	54	70	80	85
Zeytinlikler	36	60	73	79

CN II’nin dışından AMC I ve AMC III sınıflarına göre ortaya çıkan CN I ve CN III değerleri de aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır (Sobhani, 1975; Hawkins ve diğ., 1985).

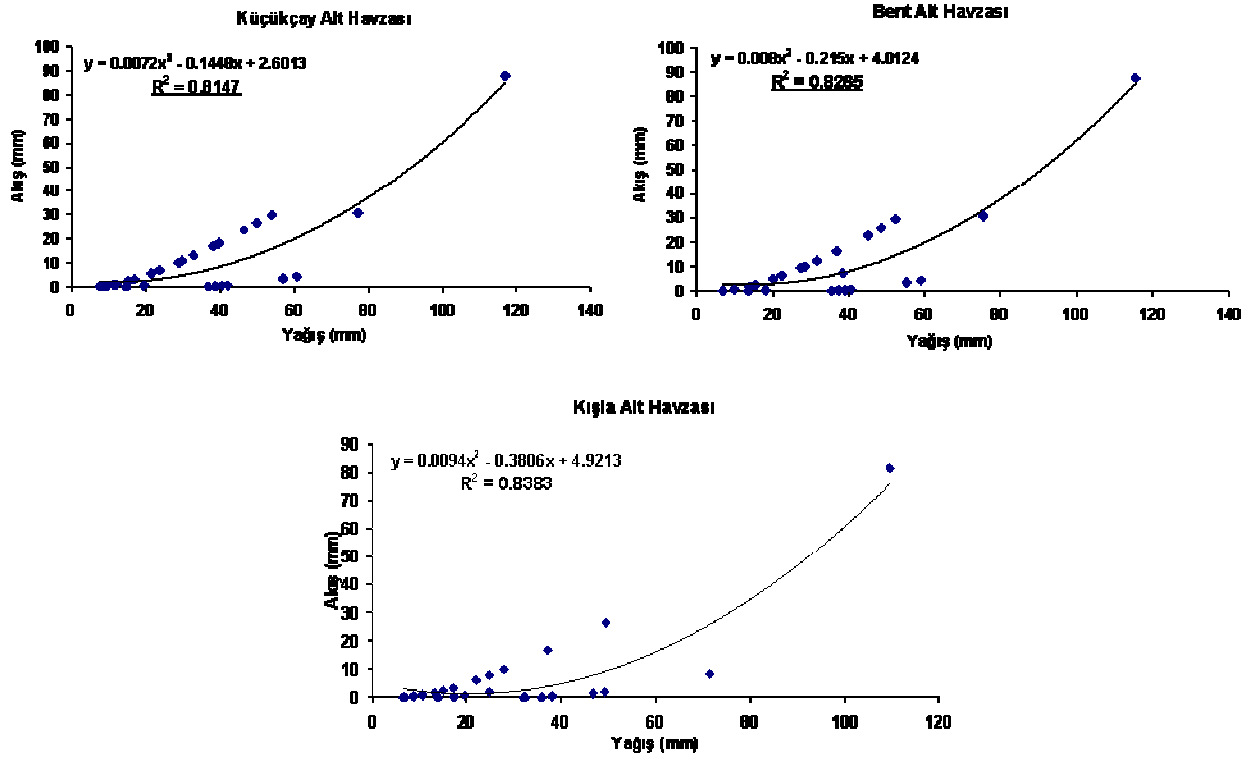
$$CNI = \frac{(4.2 * CNII)}{(10 - 0.058 * CNII)} \quad CNIII = \frac{(23 * CNII)}{(10 + 0.13 * CNII)}$$

Buna göre Küçükçay, Bent ve Kışla Dereleri alt havzalarının değişik AMC sınıflarına göre hesaplanmış olan CN değerleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Havzaların değişik şartlara ait CN değerleri

Alt Havzalar	CNI	CNII	CNIII
Küçükçay	61.25	79.01	89.65
Bent	62.28	79.72	90.04
Kışla	61.80	79.39	89.86

Alt havzalar için günlük veriler bazında yağış değerleri (P), AMC, CN ve S değerleri Excel tablosunda hesaplanmıştır. Böylece, üzerinde akım ölçüm istasyonu olmayan Küçükçay, Bent ve Kışla Dereleri alt havzalarının yağışlarına ait akış miktarları bulunmuştur. Yağış-akış arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla, yağışların son 30 yıllık süre içinde en fazla olduğu 1981 yılına ait değerleri incelendiğinde pozitif korelasyonlar ortaya çıkmıştır. Alt havzalar için elde edilen R² değerleri 0.8’in üzerindedir (Şekil 7).



Şekil 7. SCS CN metoduna göre alt havzalara ait 1981 yılı yağış-akış ilişkileri

4. Maksimum Akımın Hesaplanması

Yağış-akış analizleriyle ortaya çıkan değerlerin kullanılmasıyla bir takım hidrolojik çalışmalar yapılabilir. Özellikle meydana gelen taşkınların tekrarlama sıklıklarının analizlerinde, akarsuların yıl içindeki maksimum akımları kullanılmaktadır. Böylelikle akarsular için farklı tekrarlama sıklıklarına göre taşkın modelleri üretilebilmektedir. Havran Çayı üzerinde meydana gelebilecek taşkınların anlaşılması bakımından, yağış-akış analizleriyle üretilen akım verilerinden maksimum akımların hesaplanması konusu da bu çalışmada ele alınmıştır.

Akım miktarını belirlemenin ampirik formüllerinden birisi SCS Dimensionless Unit Hydrograph metodudur. Bu metodun uygulanabilmesi için maksimum akıma ulaşma zamanı ve maksimum akım tahmini yapılır. Bu metod, aşırı yağışların süresini akım toplanma zamanının 0.133 katından az veya eşit olması ve yağış süresinin aşırı yağışların süresinin 0.2 katından az olması esaslarına dayanır. Bu koşulların uygun olduğu alt havzalarda yıllık maksimum akım verilerini bulmak için metotta kullanılan

$$Q_{peak} = 2.8 \frac{RO * A}{t_{peak}}$$

formülü SCS CN metoduyla üretilen akış verilerine uygulanmıştır (Schwab ve diğ., 1993; ITC, 2006). Formülde yer alan; RO= Akış miktarı (cm), A= Havza alanı (km²) ve t_{peak}= Maksimum akım zamanıdır (saat). Maksimum akımın hesaplanmasında alt havzalar için gerekli olan bazı sayısal veriler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Alt havzalara ait bazı sayısal veriler

Alt Havza	Alan (km ²)	Ana Akarsu Uzunluğu (km)	Min. Yükseklik (m)	Maks. Yükseklik (m)
Küçükçay	43.4	19.8	35	1290
Bent	73.7	23.1	60	1260
Kışla	82.8	19.1	60	1110
Gelin	190.6	22.2	70	984

Maksimum akımının hesaplanmasında kullanılacak formüldeki t_{peak} (saat) değerini bulmak için;

$$t_{peak} = \frac{D}{2} + t_{lag}$$

formülü kullanılmıştır. Formülde; D= Aşırı yağış süresi (saat) olup,

$$D = 0.133 * t_{lag} / 0.6$$

formülüyle hesaplanmıştır. t_{lag} ise gecikme zamanı (saat) olup,

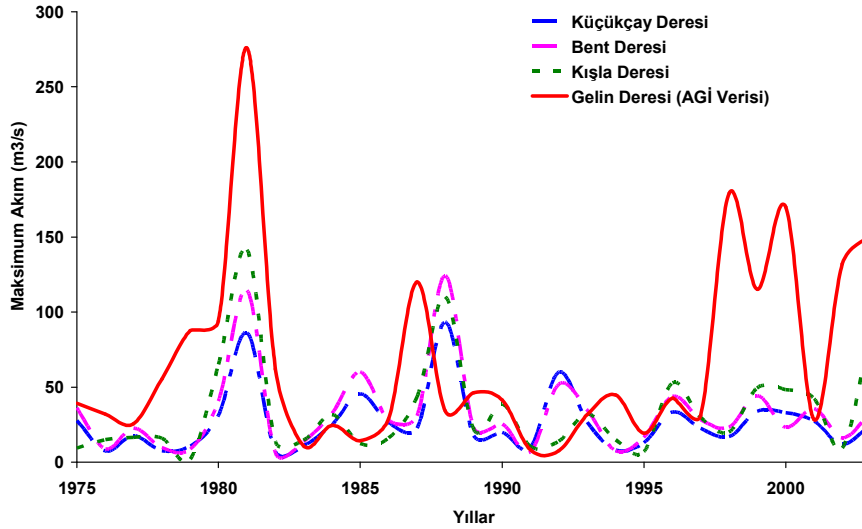
$$t_{lag} = 0.6 * t_c$$

formülüyle hesaplanmıştır. Formülde yer alan t_c ise akım toplanma zamanı (saat) olup Kirpich formülü olan,

$$t_c = 0.0195 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

kullanılmıştır. Formülde yer alan; L= Ana akarsu uzunluğu (m), S= Mesafe ağırlıklı kanal eğimi (m/m) dir.

Bütün bu hesaplamalar üç alt havzanın 1975-2003 yılları arasında SCS CN metoduyla üretilmiş akım miktarlarına uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar, sahadaki AGİ verileriyle karşılaştırılmış olup Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Alt havzalara ait maksimum akım grafiği

Küçükçay, Bent ve Kışla Derelerine ait maksimum akım verileriyle AGİ'nin olduğu Gelin Deresinin 1975-2003 yılları arası maksimum akım verileri genel olarak dağılıfta benzerlikler göstermektedir. Fakat bazı yıllarda gerek pik zamanları gerekse miktarları bakımından farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bunda, Havran Çayı havzasının hemen her yerine aynı miktarda yağışın düşmemesi, havzaların alansal büyüklükleri ve arazi kullanımı/örtüsü gibi nedenlerin etkisi büyüktür. Bu özellikler yanında, yılların birçoğunda aynı miktarda akım verilerinin elde edilmesi, Gelin Deresi alt havzasının alansal büyüklüğüne rağmen diğer üç alt havzada ortaya çıkan akım miktarlarının dikkate değer olduğu anlaşılmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Akım gözlem istasyonu olmayan akarsuların havzalarında yağış-akış analizleriyle ortaya çıkacak akım değerleri hakkında tahmini değerler elde edilebilmektedir. Bu analizlerde, Uzaktan Algılama önemli bir veri kaynağı olurken, CBS, verilerin işlenmesi, depolanmasında ve özellikle SCS CN metodunun uygulanmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Yağış-akış modelinin uygulandığı Havran Çayı havzasındaki Küçükçay, Bent ve Kışla Dereleri alt havzalarının alanları, Gelin Deresi alt havzasından küçük olmasına rağmen analizle elde edilen maksimum akım verileri, Gelin Deresi akım verilerine yakınlık göstermektedir. Bu da alt havzaların saha ve çevresi için yapılacak hidrolojik ve hidrolik çalışmalarda önemini ispatlamaktadır. Alt havzalar için elde edilen akım değerlerinin tahmini, ampirik olarak uygulanan formüllerle hesaplanmış olsa da, ana kol üzerinde meydana gelebilecek taşkınların incelenmesi açısından bu değerlerin elde edilmesi son derece önemlidir. Havran yerleşmesi ve ovası için taşkınlardan korunma amaçlı yapılan baraj, meydana gelebilecek taşkınların büyüklüğünü azaltsa da incelenen üç alt havzadan gelebilecek akım miktarlarından dolayı tamamen engelleyemeyecektir. Bundan dolayı üç alt havzada, doğal akış dengesini bozmadan birtakım önlemlerin alınması kaçınılmazdır. Ayrıca SCS CN metodunda AMC değerleri için belirlenmiş olan sınıflar ve bunlara ait yağış değerleri bölgeden bölgeye değişiklik gösterebileceğinden, çalışılan bölgenin toprak nemliliğini belirleyen yağış miktarlarının sınır olarak kullanılması, daha tutarlı sonuçların elde edilmesine neden olacaktır. Bunun yanında çalışmada, yağış-akış analizlerinde sadece günlük yağış verileri kullanılmış olup, yağışların yanında kar erimeleri ve kaynaklarla akıma dahil olan su miktarları dikkate alınmamıştır. Yağışların yanında bu değerlerin de dikkate alınması daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Teşekkür: Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimince desteklenmiştir. Proje No: T-583/17032005

Referanslar

- Akdağ, M. (1975) *Türk Halkının Dirlik ve Düzenlik Kavgası (Celali İsyamları)*, Ankara.
- Beven, K.J. (2001) *Rainfall-Runoff Modelling*, John Wiley & Sons, LTD, England.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.R. (1988) *Applied Hydrology*, McGraw- Hill Inc., New York.
- Das, S., and Paul, P.K. (2006) "Selection of site for small hydel using GIS in the Himalayan region of India", *Journal of Spatial Hydrology*, Vol. 6, No.1.
- Dönmez, Y. (1990) *Umumi Klimatoloji ve İklim Çalışmaları*, İ.Ü. Edebiyat Fakültesi Yayın.3248, İstanbul.
- DSİ. (1988) *Edremit-Havran Projesi Planlama Raporu*, DSİ XXV. Bölge Müdürlüğü, Balıkesir.
- Hjelmfelt, A.T. (1982) "Closure to empirical investigation of the curve number technique", *J. Hydraul. Div. ASCE* 108(4), 614-616.
- IIRS (Indian Institute of Remote Sensing), (2005) *RS and GIS Applications in Water Resources*, Lectures Notes, Dehradun, India.
- ITC, (2006) "Determination of peak runoff", www.itc.nl/ilwis/applications/application11.asp
- Jain, M.K., Mishra, S.K., and Singh, V.P. (2006) "Evaluation of AMC-dependent SCS-CN-based models using watershed characteristics", *Water Resources Management*, 20: 531-552.
- Johnson, R.R. (1998) "An investigation of curve number applicability to the watersheds in excess of 2500 cectares (250 km²)", *Jornal of Environmental Hydrology*, Volume 6.

- McCuen, R.H. (1982) *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Mishra, S.K., and Singh, V.,P. (1999) "Another look at SCS-CN method". *Journal of Hydrological Engineering*, ASCE 4: 257-264.
- Mockus, V. (1949) *Estimation of Total (and Peak Rates of) Surface Runoff for Individual Storms*. Exhibits A, Appendix B, Interim Survey Report, Grand (Neosho) River Watershed. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Nayak, T.R., and Jaiswal, R.K. (2003) "Rainfall-Runoff modelling using satellite data and GIS for Bebas river in Madhya Pradesh", *IE (I) Journal-CV*, Volume 83: 47-50.
- Özdemir, H. (2007) *Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi*, Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özdemir, Z. (1998) *Körfezdeki Zümrüt Havran*, Meltem Ofset, İzmir.
- Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., and Freveret, R.K. (1993) *Soil and Water Conservation Engineering*, J. Wiley and Sons, NewYork, 507 pp.
- SCS, (1956), (1964), (1972), (1985), (1993) *Hydrology – National Engineering Handbook*, Supplement A, Section 4, Chapter 10, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C.
- USDA, (1985) *National Engineering Handbook*, Section 4: Hydrology. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. (1997) *Hydrology: Water Quantity and Quality Control*, John Wiley & Sons, Ltd.
- Yetkin, G. (1957) *Kuruluşundan Bugüne Kadar Edremit'te Olup Bitenler*, Balıkesir.
- Yu, B. (1998) "Theoretical justification of SCS method for runoff estimation", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 124: 306-309.