

## SAKARYA NEHRİ ÜZERİNDEKİ HİDROLİK YAPILARIN NEHİR AKIMI REJİMİNE OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emrah DOĞAN\*, Gökmen ÇERİBAŞI, Uğur AKKAYA, Gökhan DERE, M. Emre YURDAKUL

Geliş Tarihi/ Received: 11.12.2015, Kabul tarihi/Accepted: 28.01.2016

### Özet

Barajlar, üzerine inşa edildikleri akarsuların Hidrolojik, Morfolojik ve Sediment Taşıma Kapasitesi gibi karakteristik özelliklerinde zaman içinde önemli ölçüde değişiklikler meydana getirmektedirler. Bu çalışmada, Orta Sakarya Havzasında Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice Barajlarının ve Pamukova Hidroelektrik Santrali (HES) ve Regülatörünün inşa edilmesinden sonra Aşağı Sakarya Nehrinde meydana gelen hidrolik değişimler araştırılmıştır. Her bir barajın tam kapasite işletmeye alınmasından önce ve sonraki durumlar için nehirdeki akımların değişimi ayrı ayrı incelenmiştir. Aşağı Sakarya Nehri üzerindeki Doğançay ve Botbaşı istasyonlarına ait değerler her bir baraj ve regülatörün işletmeye alındığı tarihlerin öncesi ve sonrası akım değişimleri grafikler halinde gösterilmektedir. Ayrıca, her iki istasyona ait maksimum anlık feyezan akımları kullanılarak gelmesi muhtemel taşkınlardaki değişimler incelenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde; Nehirde taşkın pik debileri düşerken, nehir rejiminin düzenlendiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Sakarya Nehri, Nehir Akımı, Debi Süreklilik Çizgisi, Hidrolik Yapılar

## INVESTIGATION OF HYDRAULIC STRUCTURES IMPACTS ON SAKARYA RIVER TO RIVER FLOW REGIME

### Abstract

Dams on the rivers they were built give rise to significant changes over time in characteristics such as capacity of Hydrological, morphological and sediment transport. In this study, after being built Sarıyar, Yenice and Gokcekaya demand hydroelectric power plant (hepp) and (weir)in the middle Sakarya Basin, the hydraulic changes occurring in the (lower Sakarya River), were investigated. For the cases before and after operating the full capacity of each dam, changes the flow of the river are examined one by one. The values of Botbaşı and Dogancay on the lower Sakarya river and the current changes of each dam before and after the date of receipt of operating are shown in graphs. In addition, possible changes of flood are studied using maximum instant flood belonging both stations. When the results were analyzed; It has been shown to regulate the river regime while decreasing peak river discharge on the river.

**Key Words:** Sakarya River, River Flow, Flow Continuity Line, Hydraulic Structures

\* Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 54187, Sakarya, Türkiye  
E-posta: emrahd@sakarya.edu.tr

## 1. Giriş

Bazı hidrolik faktörlerin değişmesi sonucunda, alüvyal nehirlerin tabanında ve yan şevlerinde değişimler meydana gelir. Bu değişimler doğal olarak veya insani etkilerle; ani, yavaş ve uzun vadede olabilir. Nehrin herhangi bir noktasında yapılan yersel bir müdahale o noktanın hem memba hem de mansabında etkiler meydana getirecektir [1-3]. Aşağı Sakarya Nehrinin son 50 yılda morfolojik, hidrolojik ve hidrolik karakteristiklerinde değişimler meydana gelmiştir. Bunların nedenleri; havzada yapılan barajlar, regülatörler, seddeler ve kum alımı gibi faaliyetlerdir [1,2].

Barajların inşalarından sonra, nehrin mansabındaki hidrolojik ve katı madde özelliklerinde bazı değişimlerin olduğu bilinmektedir. Öyle ki, barajlardan sonra nehirdeki debinin pik değerleri düşer, minimum değerleri artar ve böylece nehrin rejimi düzenlenir. Bunun yanında, barajlar gelen katı maddeyi tutarlar ve mansaba temiz su bırakırlar. Böylece katı madde taşıma kapasitesi artan nehir, yakın ve uzak mansaptaki nehir yatağında oyulmalara neden olur. Başka bir deyişle, gelen katı madde rezervuarda tutulmakta ve baraj mansabına ulaşmamakta ve böylece mansap kesiminde taşınan katı madde gelen katı maddeden büyük olduğu için nehir mansabında oyulmalar meydana gelmektedir [3-6].

Literatürde daha önce bu konuda yapılan çalışmalar ise;

- Benedek ve Hock (1980) yaptıkları çalışmada Avrupa'nın ikinci büyük nehri olan Tuna'da su kirliliği kontrolü çalışmaları gerçekleştirmişler, nehir havzasını inceleyerek gözlem ağını değerlendirmişler, baraj sistemlerinin nehre olan etkilerini değerlendirmişlerdir [7].
- Kara (1996) İstanbul Üniversitesi Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak Kurtboğazi Barajı Yağış Havzasının Hidrolojik Yönden Değerlendirmesi çalışmasını yapmıştır. Havzada hidrolojik yönden değerlendirme yapmış aynı zamanda geleceğe yönelik alınması gereken tedbirler sunmuştur [8].
- Parlak vd. (2007) Kurtboğazi Barajı havzasında CBS kullanılarak yukarı havza erozyon ve rusubat kontrol çalışmalarında kullanılmak üzere erozyon risk haritası oluşturmuş, bu yöntemlerin uygulanması ile ileriye yönelik yukarı havza erozyon ve rusubat kontrolü çalışmalarında yeni bir bakış açısı oluşturmaya çalışmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, havzada erozyon riskinin çok düşük olduğu sonucuna varmışlardır [9].
- Yılmaz vd. (2012) Ayancık Çayı sularını kullanarak enerji üretmeyi amaçlayan hidroelektrik santrali inşası sırasında doğal ortama yapılan müdahalelerin sonuçlarının tartışılmasını hedeflemiştir [10].

Bu çalışmada, Aşağı Sakarya Nehri üzerinde bulunan Doğantepe ve Botbaşı Akım Gözlem İstasyonlarından (AGİ) rasat edilen Yıllık Maksimum Anlık Feyezan Akımları (MAFA) kullanılarak elde edilen veriler ile Sakarya Nehri üzerindeki Hidrolik Yapıların tekerrürlü taşkın debilerine dönemsel etkisi ve AGİ istasyonlarında bulunan köprü en kesitlerin yeterlilik durumunun irdelenmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem

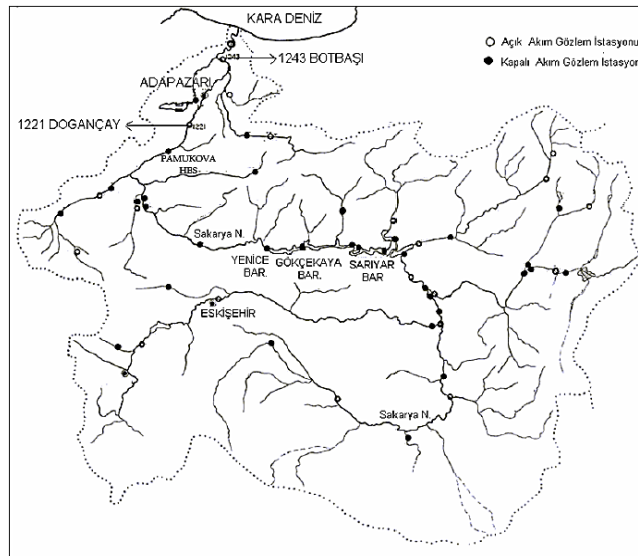
### 2.1. Çalışma Alanı

Sakarya Nehri, Kızılırmak ve Fırat nehirlerinden sonra Türkiye'nin üçüncü en uzun, Kuzeybatı Anadolu'nun ise en büyük akarsuyudur. Eskişehir'in Çifteler ilçe merkezinin 3 km. Güney doğusundan doğan ve daha sonra birçok küçük derelerle beslenen Sakarya Nehri ülkemizin önemli akarsularındandır. Uzunluğu 810 km, genişliği 60-150 m. arasındadır [11-15]. Sakarya Nehrinin tüm drenaj alanı 56 bin km<sup>2</sup> olup, Türkiye'nin toplam alanının yaklaşık 1/13'ünü oluşturmaktadır. Önceleri taşkınlarla etrafına zarar veren nehrin, son kırk yılda üzerinde yapılan barajlarla bu zararları ortadan kaldırılmıştır. Sakarya Nehri Havzası, Yukarı, Orta ve Aşağı olarak üç kısma ayrılmıştır. Nehrin Karadeniz'e döküldüğü yer olan Yenimahalle (Nehir Ağzı) ile akım gözlem istasyonunun bulunduğu Doğançay'a kadar olan kısmı Aşağı Sakarya Nehri olarak adlandırılmaktadır. Aşağı Sakarya Nehrinde debi ölçümleri Karadeniz'den itibaren 42. km'de Botbaşı ve 110. km'de Doğançay AGİ'de yapılmaktadır.

Nehirdeki akım değişimlerini incelemek için Doğançay ve Botbaşı Akım Gözlem İstasyonlarından alınan veriler kullanılmaktadır [14,15]. Botbaşı istasyonunun bulunduğu yerde en kesit değiştiğinden istasyon 2000 yılında kapatılmıştır. Bundan dolayı 2000 ve sonrası için akım verileri olmadığından analizler 2000 yılına kadar yapılmaktadır. Sakarya Nehri üzerine inşa edilen barajların özellikleri Tablo 1'de verilmektedir. Sakarya Nehri üzerinde inşa edilen barajlar Şekil 1'de verilen planda şematik olarak gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Sakarya Nehri Üzerindeki Barajların Genel Özellikleri [13-15].

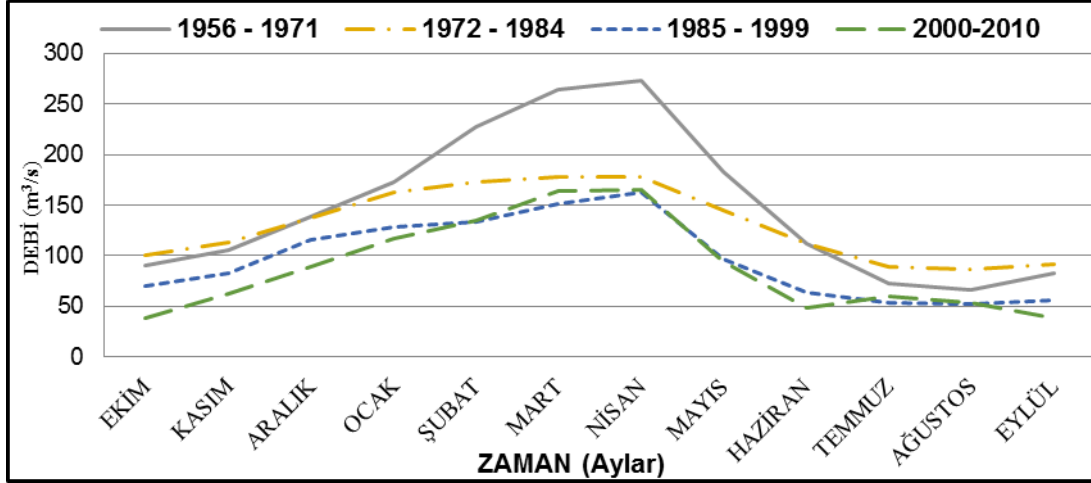
Barajlar	Baraj tipi	Gövde Yüksekliği (m)	Su kotu (m)	Kret kotu (m)	Rezervuar alanı (m <sup>2</sup> )	Rezervuar hacmi (m <sup>3</sup> )
Sarıyar	Beton ağırlıklı	90	475	480	90.20x10 <sup>6</sup>	1900x10 <sup>6</sup>
Gökçekaya	Beton kemer	115	388	392	20x10 <sup>6</sup>	910 x10 <sup>6</sup>
Yenice	Toprak dolgu	41	273,10	276,10	3,64x10 <sup>3</sup>	57,60 x10 <sup>6</sup>



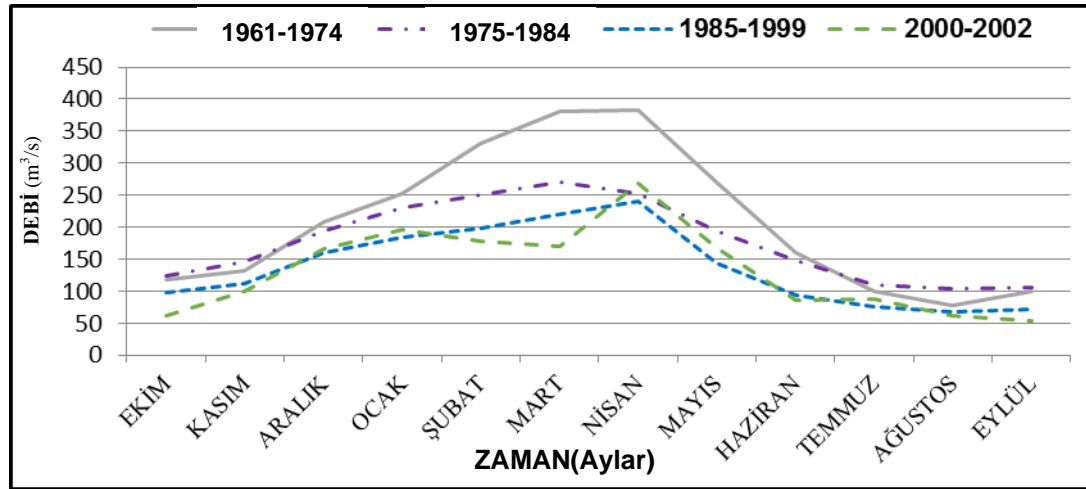
**Şekil 1.** Sakarya Nehri Havzası [13].

### 3. Akım Değişimlerinin Değerlendirilmesi

Sarıyar Barajının tam kapasite ile 1956 yılında, Gökçekaya Barajının 1974 yılında, Pamukova Regülatörü ve HES' in 1985 yılında ve Yenice Barajının 1999 yılında tam kapasite ile işletmeye alınması esas alınarak, AGİ'lerde ölçülen veriler 1956-1974 yılları arası, 1975-1984 yılları arası, 1985-1999 yılları arası ve 2000 ve sonrası ayrı ayrı ele alınarak değerlendirilmiştir. Bu yapılan değerlendirmeler neticesinde aylık ortalama akım değerleri Doğançay AGİ için Şekil 2'de, Botbaşı AGİ için Şekil 3'de gösterilmiştir [15,16].



Şekil 2. Doğançay AGİ'de Aylık Ortalama Akımların Değişimi.



Şekil 3. Botbaşı AGİ'de Aylık Ortalama Akımların Değişimi.

Doğançay ve Botbaşı AGİ'de gözlenen Maksimum Anlık Feyezan (taşkın) Akımları (MAFA) kullanılarak gelmesi muhtemel 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkınlar hesap edilmiştir. Doğançay ve Botbaşı için; 1974 ve öncesi, 1975-1984 arası, 1985-1999 arası, 2000 ve sonrası tüm MAFA değerleri ayrı ayrı değerlendirilerek gelmesi muhtemel 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkınlar 3 parametrelili dağılımlar için L-momentleri diyagramına göre optimum metotlar ile hesaplanarak Tablo 2'de verilmiştir.

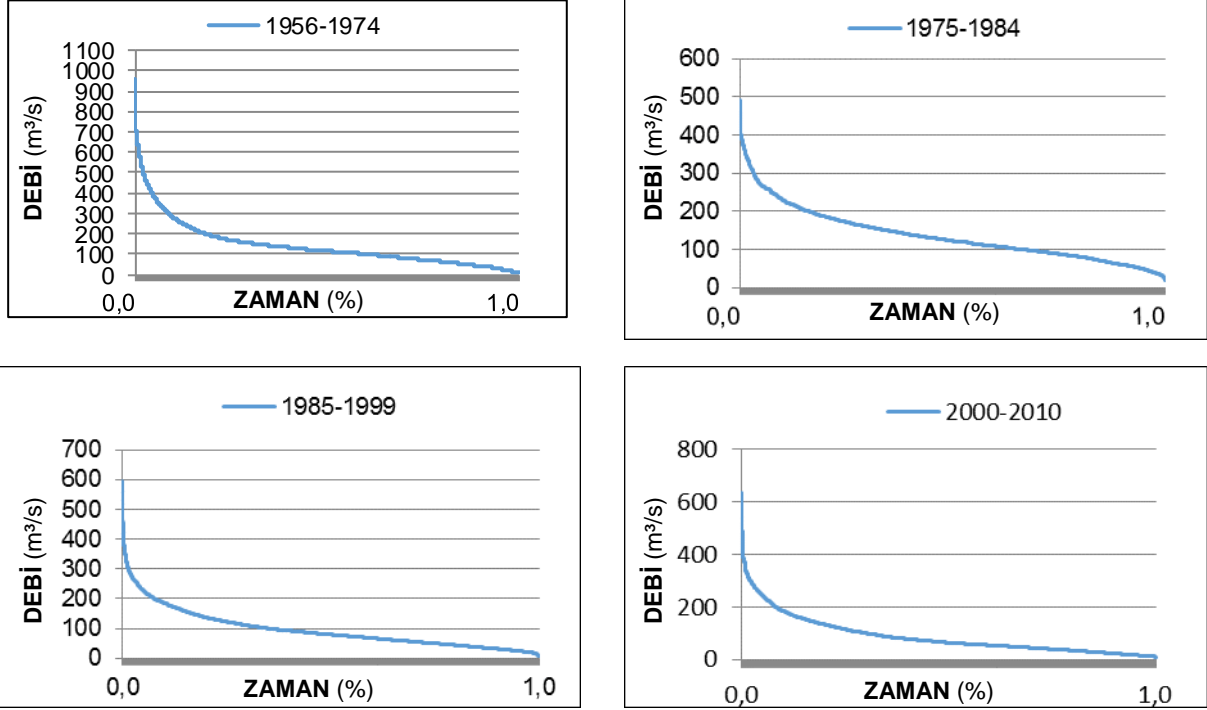
**Tablo 2.** Sakarya Nehrine Ait Farklı Dönemlerdeki Taşkın Tekerrür Debileri.

Taşkın Tekerrür Aralıkları (yıl)	1974 ve Öncesi (m <sup>3</sup> /s)		1975-1984 (m <sup>3</sup> /s)		1985-1999 (m <sup>3</sup> /s)		2000 ve Sonrası (m <sup>3</sup> /s)	
	Doğançay	Botbaşı	Doğançay	Botbaşı	Doğançay	Botbaşı	Doğançay	Botbaşı
25	1.074,64	1.064,9	604,11	837,54	621,05	790,42	740,31	-
50	1.218,86	1.187,0	659,42	902,65	683,84	866,18	827,12	-
100	1.362,01	1.308,2	714,31	963,56	746,16	941,39	909,97	-
500	1.692,81	1.588,4	841,18	1.091,1	890,18	1.115,2	1.087,95	-

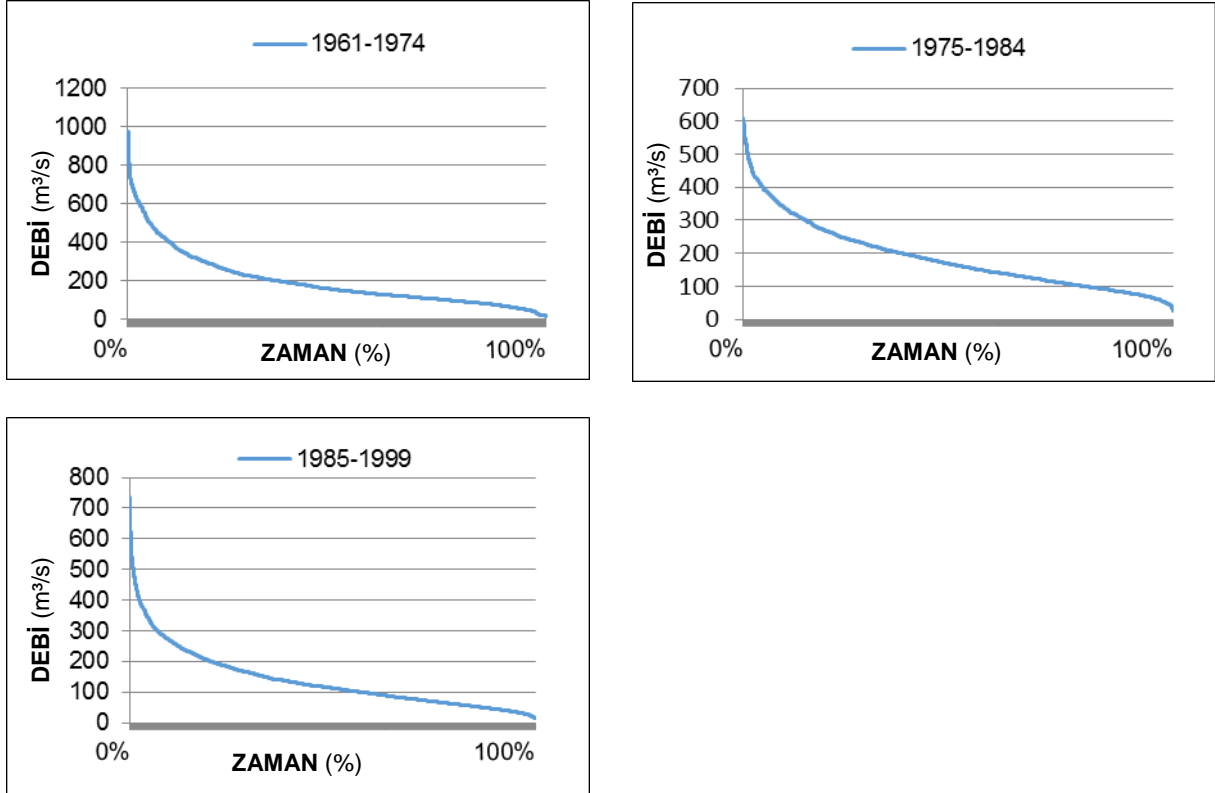
Doğançay'da 100 yılda gelmesi muhtemel taşkınlar Gökçekaya barajının işletmeye alındığı tarih olan 1974 yılı ve öncesi ve 1975-1984 arası yıllarda olmak üzere sırasıyla 1.362,01 m<sup>3</sup>/s ve 714,31 m<sup>3</sup>/s olarak elde edilmiştir. Bu da barajın inşasından sonra olası taşkınlarda % 48'lik bir azalma olduğu anlamına gelmektedir. 500 yılda gelmesi muhtemel taşkında ise 1974 yılı ve öncesi ve 1975-1984 arası yıllarda olmak üzere sırasıyla 1.692,81 m<sup>3</sup>/s'den 841,18 m<sup>3</sup>/s'ye düşerek % 50'lik bir düşüş göstermiştir.

Botbaşı'nda ise, 100 yılda gelmesi muhtemel taşkınlar Gökçekaya barajının işletmeye alındığı tarih olan 1974 yılı ve öncesi ve 1975-1984 arası yıllarda olmak üzere sırasıyla 1.308,24 m<sup>3</sup>/s ve 963,56 m<sup>3</sup>/s olarak elde edilmektedir. Bu da barajın inşasından sonra olası taşkınlarda % 26'lık bir azalma olduğu anlamına gelmektedir. 500 yılda gelmesi muhtemel taşkında ise 1974 yılı ve öncesi ve 1975-1984 arası yıllarda olmak üzere sırasıyla 1.588,39 m<sup>3</sup>/s'den 1.091,07 m<sup>3</sup>/s'ye inerek % 31'lik bir düşüş göstermiştir.

Sakarya Nehri üzerindeki hidrolik yapıların işletmeye alındığı tarihler referans alınarak ayrı ayrı dönemlerde oluşturulan debi süreklilik çizgileri Doğançay ve Botbaşı İstasyonlarından elde edilen Maksimum Anlık Feyezan Akımları (MAFA) değerleri kullanılarak sırası ile Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Doğançay AGİ’de debi süreklilik çizgilerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5. Botbaşı AGİ’de debi süreklilik çizgilerinin yıllara göre değişimi.

### 3.1. Debi Süreklilik Çizgilerinde Oluşan Değişimlerin Analizi

Doğançay'da Gökçekaya Barajından önce (1974 ve öncesi) maksimum ve minimum akımlar sırası ile 272,00 m<sup>3</sup>/s ve 65,77 m<sup>3</sup>/s'dir. Gökçekaya Barajından sonra ise (1975-1984 yılları arası) ise sırası ile 178,43 m<sup>3</sup>/s ve 86,25 m<sup>3</sup>/s'dir. Botbaşı'nda ise Gökçekaya Barajından önce maksimum ve minimum akımlar sırası ile 383,46 m<sup>3</sup>/s ve 68,29 m<sup>3</sup>/s'dir. Gökçekaya Barajından sonra ise sırası ile 273,83 m<sup>3</sup>/s ve 104,52 m<sup>3</sup>/s'dir. Bu sonuçlar, Gökçekaya barajının yapılmasından sonra her iki istasyonda da yağışlı aylara ait pik debilerin nicelik olarak azaldığını, kurak aylara ait minimum seviyelerin ise arttığını göstermektedir.

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} A$$

(1)

Burada, **Q**; Debi (m<sup>3</sup>/s), **n**; Manning Pürüzlülük Katsayısı, **R**; Hidrolik Yarıçap (m), **J**; Eğim, **A**; Enkesit Alanı (m<sup>2</sup>) olarak ifade etmektedir [17-20]. Tablo 3'de Ferizli ve Doğançay Köprülerinin taşıma kapasitelerini göstermektedir.

**Tablo 3.** Ferizli ve Doğançay Köprülerinin taşıma kapasiteleri.

Yeri	A(m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	n	1/n	J	Q (m <sup>3</sup> /s)
Ferizli Köprüsü	686,48	94,630	7,2544	0,03	33,333	0,0003	1485,255
Doğançay Köprüsü	573,05	103,14	5,5561	0,03	33,333	0,0016	2396,868

### 4. Sonuçlar

Barajlar, üzerine inşa edildikleri akarsuların Hidrolojik, Morfolojik ve Sediment Taşıma Kapasitesi gibi karakteristik özelliklerinde zaman içinde önemli ölçüde değişiklikler meydana getirmektedirler. Bu değişiklikleri incelemek ve çıkan sonuçların olumlu ya da olumsuz yönlerini görmek için bu çalışmada, Orta Sakarya Havzasında Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice Barajlarının ve Pamukova HES ve Regülatörünün inşaa edilmesinden sonra Aşağı Sakarya Nehrinde meydana gelen hidrolik değişimler araştırılmıştır.

1975'ten önce Doğançay'da en düşük ortalama Ağustos ayında 65,77 m<sup>3</sup>/s ve en yüksek ortalama Nisan ayında 272,00 m<sup>3</sup>/s'dir. 1975'ten sonra ise en düşük ortalama Ağustos'ta 86,25 m<sup>3</sup>/s ve en yüksek ortalama Nisan'da 178,43 m<sup>3</sup>/s'dir. 1975'ten önce Botbaşı'nda en düşük ortalama Ağustos ayında 68,29 m<sup>3</sup>/s ve en yüksek ortalama Nisan ayında 383,46 m<sup>3</sup>/s'dir. 1975'ten sonra ise en düşük ortalama Ağustos'ta 104,52 m<sup>3</sup>/s ve en yüksek ortalama Mart'ta 273,83 m<sup>3</sup>/s'dir.

Şekil 2 ve Şekil 3'de 1975-1984 ve 1985-1999 eğrileri incelendiğinde iki eğri arasındaki kurak aylardaki farkın Pamukova Regülatörü ve HES'in sulamaya ayırdığı debiden kaynaklandığı görülmüştür. Nitekim Pamukova Regülatörü ve HES'in işletme debisi 30 m<sup>3</sup>/s'dir. Yağışlı aylardaki farkın ise nehir üzerine inşaa edilen barajların suyu depolamasından kaynaklandığı görülmüştür. Barajların işletmeye açılmasından sonra olası taşkınlarda Doğançay'da %48-50 ve Botbaşı'nda ise %26-31 arasında bir azalma olduğu görülmüştür. Her iki istasyonda görüldüğü üzere Gökçekaya Barajı'ndan sonra ortalama akım değerleri düzenlenmiştir. Genel olarak pik değerler düşmekte ve minimum değerler

yükselmiştir. Botbaşı mansapta olmasına karşın 25, 50, 100 ve 500 yıl tekerrürlü pik değerlerin tümünün Doğançay'da büyük olması beklenirken küçük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, Sakarya Nehri Doğançay'dan sonra alüvyal ve ova bir alandan geçerek Karadeniz'e dökülmekte olmasıdır. Hem nehir yatağının daha geniş olması hem de gelen taşkın debilerinin bir kısmının etrafa (ovaya) yayılması, Botbaşı'na kadar pik debilerin sönmülmesine neden olmuştur.

## 5. Kaynaklar

- [1] Simons, D.B. and Senturk, F., Sediment Transport Technology, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 1992.
- [2] Schuman, A.S., and Winkley, R.B., The Variability of Large Alluvial Rivers, ASCE, New York, 1994.
- [3] Işık, S., Şaşal, M. ve Doğan, E., Sakarya Nehrinde Barajların Mansap Etkilerinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, 2005.
- [4] Komura, S. and Simons, D.B., River-Bed Degradation below Dams, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 93, pp. 1-14, 1967.
- [5] Stevens, MA., Simons, D. B., and Schumm, S.A., Man-Induced Changes of Middle Mississippi River, J. of the Waterways Harbors and Coastal Engineering, ASCE, Vol. 101, pp. 119-133, 1975.
- [6] Özbek, T. ve Özcan, Ç., Akarsularda Katı Madde, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 2001.
- [7] Benedek, P. and Hook, B., Water Pollution Control on the River Danube, River Pollution Control, pp. 77, England, 1980.
- [8] Kara, G., Kurtboğazı Barajı Yağış Havzasının Hidrolojik Yönden Değerlendirilmesi, Yüksek Müh. Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-11 s., 1996.
- [9]
- [10] Parlak, M., Dinçsoy, Y. ve Seyrek, K., Determination of Erosion Risk According to Corine Methodology (A Case Study: Kurtboğazı Dam), International Congress River Basin Management, DSI, Vol. 1, pp. 844-846, Antalya, 2007.
- [11] Yılmaz, C., Uzun, A., Zeybek, H.İ. ve Kaya, M., Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinin Coğrafi Ortam Üzerine Etkilerine Bir Örnek: Ayancık Hes, e-Journal of New World Sciences Academy, NWSA-Nature Sciences, Vol. 7, pp. 50-67, 2012.
- [12] Ceribasi, G., Dogan, E. and Sonmez, O., Evaluation of Sakarya River Streamflow and Sediment Transport with Rainfall Using Trend Analysis, Journal of Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 22, pp. 846-852, 2013.
- [13] Ceribasi, G. ve Dogan E., Trend Analizi Yöntemi Kullanılarak Batı Ve Doğu Karadeniz İle Sakarya Havzası Akım Miktarlarının Değerlendirilmesi, Suleyman Demirel University (SDU) International Journal of Technologic Science, Vol. 7, pp. 1-12, 2015.
- [14] <http://www.eie.gov.tr>
- [15] Işık, S., Şaşal, M. ve Doğan, E., Sakarya Nehrinde Katı Madde ve Akım Değişimlerinin İncelenmesi Raporu, Sakarya Üniversitesi, 2005.
- [16] EİE, Aylık Ortalama Akımlar (1935-2000), 2003.
- [17] DSİ, Türkiye Akarsu Havzaları Maksimum Anlık Feyezan Akımlar Frekans Analizi, Ankara, 1994.
- [18] Bayazıt, M. ve Önöz, B., Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, Ankara, 2008.
- [19] Metcalf and Eddy., Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater, McGraw Hill Inc., New York, 1981.



- [20] Haestad Methods, Computer Applications in Hydraulic Engineering, Haestad Methods Inc., 2002.
- [21] Rabah, F., Sewer Hydraulics Lecture Notes, The Islamic University of Gaza, Dept. of Civil Engineering.