

BARAJ HAZNE İŞLETME ÇALIŞMALARINDA YENİ KRİTERLER

Recep BAKIŞ¹, Mehmet BİLGİN²

ÖZET : Baraj işletme çalışmalarında, barajdan bırakılan suların, mansapta taşkınlara sebep olmaması gerekir. Özellikle barajın mansabında büyük bir havza varsa ve bu havzaya düşen yağışlardan dolayı meydana gelen yüzeysel akış suyu kontrol edilemiyor ise, bu su, barajın mansabında önemli bir taşkın riski meydana getirir. Bu durumda, barajdan verilecek ilave su, taşkın zararlarının artmasına neden olur. Bu makalede, bir barajın mansabındaki kısmi havzadan gelen ve kontrol edilemeyen yağış suyunun taşkın riskleri araştırılmıştır. Bunun için Porsuk Barajı ile Eskişehir arasında kalan ve baraj mansabında yer alan kısmi havzaya yağın yağışlardan elde edilen karar verme matrisi, Porsuk Havzası örnek alınarak incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Baraj, Hazne İşletme Çalışması, Taşkın Riski

NEW CRITERIA IN RESERVOIR OPERATIONS

ABSTRACT : The water discharged from a dam during operation must not cause floods downstream. Especially, if there is a large subcatchment area downstream and if surface runoff water due to rainfall cannot be controlled, there is a considerable risk of flood downstream. Under these circumstances, the additive water coming from the reservoir will cause an increase in the flood damages. In this paper, the flood risks of rainfall water discharge from the subcatchment area which is located in the downstream area of a dam and not completely controlled have been investigated. For this purpose, the decision matrix achieved from the rainfall of subcatchment, which lies between the Porsuk dam and Eskişehir city, was examined by taking the Porsuk subcatchment as a basis.

KEYWORDS: Dam, Reservoir Operation, Flood Risk

^{1,2}Anadolu Üniv.Müh.-Mim.Fak.İnşaat Müh.Böl.,26555 İki Eylül Kampüsü.,ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Akarsuların mevcut su potansiyellerinin zaman içindeki dağılımları, insanlar için gerekli olan su ihtiyaçlarının zaman içindeki dağılımlarına genellikle uymaz. Bu nedenle, akarsu debilerinin bol olduğu, ay, mevsim yada yıllardan (Sulak zamanlardan), suların kıt olduğu, ay, mevsim yada yıllara (kurak zamanlara) suyun aktarılması gerekir [1]. Bilindiği gibi, bunun gerçekleştirilmesi için de bir hazneye ihtiyaç vardır ve yine bilindiği gibi, baraj hazne hacmi planlama çalışmaları esnasında, akarsudan, su ihtiyaçlarının en ekonomik bir şekilde karşılanabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılarak uygun bir hazne hacminin seçimi yapılır.

Belirli bir zaman periyodu boyunca gözlenmiş akarsu debileri, yani $Q=f(t)$ ve yine mahalli ihtiyaçlar, bölgesel ihtiyaçlar ve ulusal ihtiyaçlar yada daha geniş perspektifle uluslararası ihtiyaçlar, belli bir periyot içinde belirlenmiş, yani $Q_i=f(t)$ fonksiyonu belirlenmiş ise, bu iki fonksiyonun, kendilerinin veya türetilmişlerinin karşılaştırılması; planlama ve fizibilite çalışmaları aşamasında yapıldıktan sonra, uygun bulunan bir hazne hacmi inşa edilecek ve buradan su ihtiyaçları temin edilmeye çalışılacaktır [2, 3].

Bazı durumlarda, baraj hacminin yapımından sonra su ihtiyaçlarındaki gelişmeler dikkate alınarak baraj işletme çalışmasının geriye dönük alternatifleri ile birlikte gözden geçirilmesi mümkündür. Porsuk havzası için DSI tarafında gerçekleştirilen böyle bir çalışma ile halihazırda mevcut bir haznedeki (Porsuk Barajından), ihtiyaçları karşılama alternatifleri irdelenmiştir [4]. DSI'nin yaptığı bu çalışmada, $Q=f(t)$ fonksiyonu olarak, geçmiş yıllardaki tarihi akış serisi alınmış, $Q_i=f(t)$ fonksiyonu ise, ileride oluşacak su ihtiyaçlarının alternatifleri düşünülerek tespit edilmiştir. Bu iki fonksiyonun karşılaştırılması ile mevcut haznenin yeterli olup olmadığı irdelenmiştir.

Baraj işletme çalışmalarında, barajdan verilmesi ön görülen sular, baraj mansabındaki akarsu kesitlerinden taşkın yapmadan geçmesi gerekir [5]. Diğer taraftan, barajdan uzaklaştıkça baraj ile göz önüne alınacak herhangi bir nokta arasındaki havzadan gelecek olan ve kontrol edilemeyen yağış suları da, barajdan verilen sularla birlikte, akarsu kesitinde taşkın riskini arttıracaktır.

Bu durumda, barajdan verilen su miktarı, baraj mansabında bulunan bölgelerden gelecek su miktarı ile birleştikten sonra, baraj mansabındaki bölgelerde taşkın meydana

getirme olasılığı var ise, baraj işletme çalışmalarında önemli kararların verilmesi gerekecektir.

Bu makalede, baraj işletme çalışmalarında, karar verme mekanizmalarına etki edecek, mansap yağış matrislerinden elde edilen karar verme matrisi, Porsuk Havzası için incelenecektir.

II. PORSUK HAVZASININ KONUMU VE TAŞKIN RİSKLERİ

İnceleme yapılacak Porsuk Havzası, Porsuk Çayının, Sakarya nehrine katılincaya kadar olan su toplama alanı (drenaj alanı) 11 188 km² dir. Bu havza, Kütahya ve Eskişehir il merkezleri ile pek çok yerleşim merkezini içinde barındıran büyük bir bölgedir. Porsuk havzasının sularını, Porsuk çayı drene eder ve sularını Sakarya Nehrine verir. Porsuk Havzasının sularını kısmen Porsuk Barajı kontrol eder. Eskişehir civarında da, Porsuk Çayına katılan ana kollardan birisi olan Sarısu üzerinde Dodurga barajı vardır. Ayrıca, havzadaki Porsuk çayının kolları üzerinde sel kapanları ve küçük hacimli göletler de inşa edilmiştir. Porsuk Havzasının yıllık ortalama yağış yüksekliği yaklaşık 450 mm [6] ve Eskişehir'in yıllık ortalama yağış yüksekliği ise 371,3 mm'dir [7, 8]. Porsuk Havzasının toplam su potansiyeli 480x10⁶ m³ civarındadır [6]. Toplam yağış suyu miktarı 5000x10⁶ m³ olup, havzanın ortalama yıllık akış katsayısı C=0,10 civarındadır. Şekil 1'de, Porsuk Havzası görülmektedir.

Şekil 1'den de görüleceği gibi, Porsuk Havzasının suları "A" noktasına kadar Porsuk Barajı tarafından kontrol edilebilmektedir. "B" noktası ise, Eskişehir girişine kadar olan Porsuk Havzasıdır. Ana toplayıcı olan Porsuk Çayı üzerindeki, "A-B" noktaları arasında kalan havza alanının, sularını kontrol eden herhangi bir su yapısı (baraj, vs.) yoktur. Ancak, yan kollar üzerinde sel kapanları ve Sarısu üzerinde Dodurga Barajı vardır. "A-B" noktaları arasındaki havza alanının büyük bir kısmından gelen sular, kontrolsüz olarak, ana toplayıcı olan Porsuk Çayı sularına karışmaktadır.

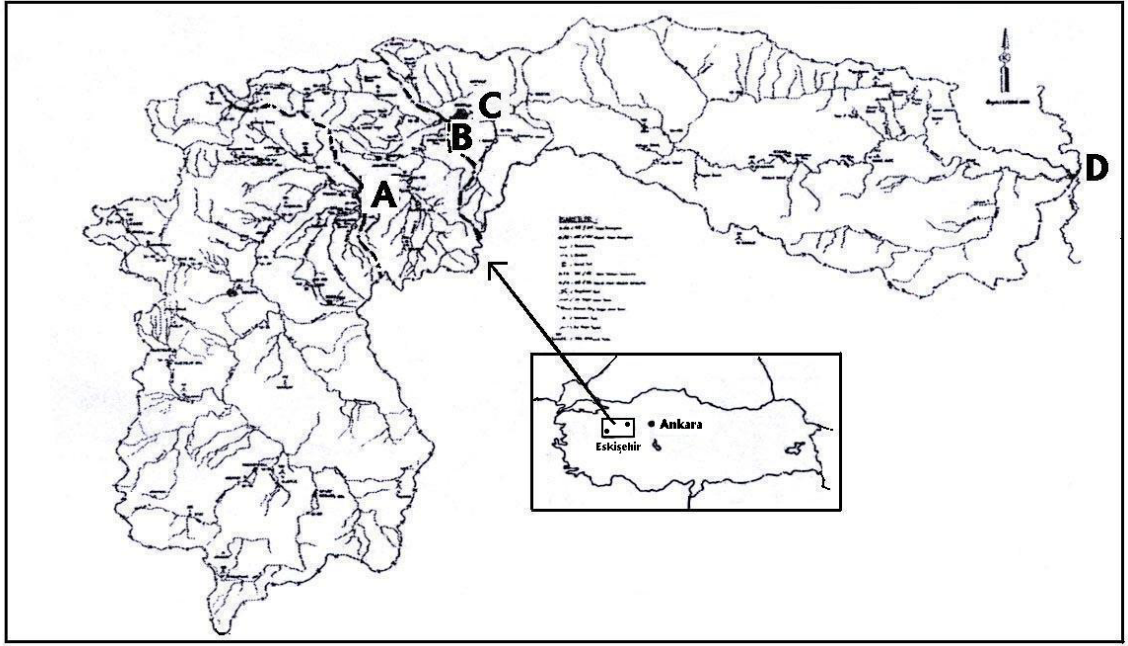
"A" noktasından sonra mansaba gidildikçe (Sakarya Nehrine doğru) kontrol edilemeyen alanlardan gelen su miktarının da artacağı açıktır. Kontrol edilemeyen alanlardan gelen sular, yağışlardan akışa geçen yüzeysel sular ve bir kısım yer altı sularının yüzeye

çıkarak akışa geçen sularından oluşur veya ana toplayıcı civarında yer altı su tablası, akarsu yüzeyinden daha yüksekte ise yer altı suyunun akarsuyu beslemesi ile oluşur.

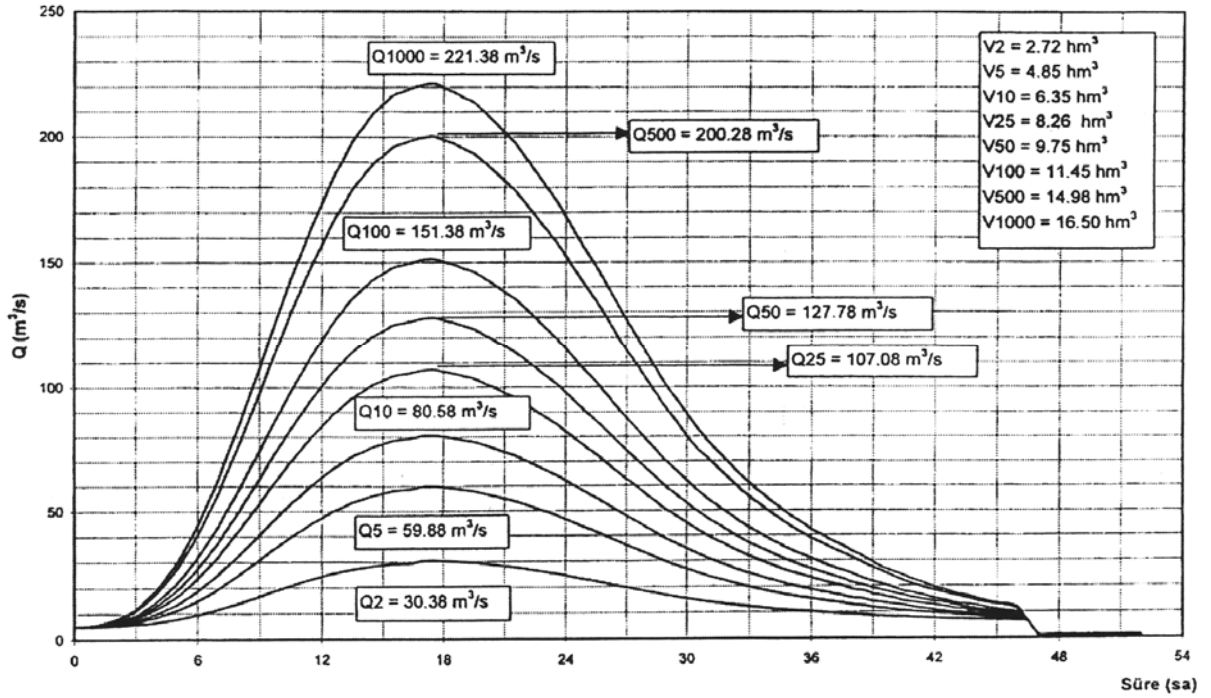
Şekil 2’de, Porsuk Havzasının “A” noktasına kadar olan alanından hiç su gelmediği varsayılarak, “A-B” noktaları arasındaki yağışlardan dolayı kontrol edilemeyen alandan gelebilecek suların taşkın hidrografları verilmiştir. Bu hidrograflar, çeşitli tekerrürlü (yinelenme aralıklı) olup, Eskişehir girişindeki “B” noktası için DSI tarafından hazırlanmıştır [7, 6, 9].

Bu hidrograflar dikkatlice incelenir ise, Eskişehir’in ve mansabındaki yerlerin önemli bir taşkın riski tehdidi altında olduğu görülür. “B” noktasından, Porsuk Çayının Sakarya Nehrine döküldüğü “D” noktasına kadar olan mesafe boyunca, havzada da yağışların olduğu kabul edilirse, “B” noktasındaki taşkın hidrograflarının pik değerleri, yol ve alan boyunca aldığı sularla büyüyerek “D” noktasına ulaşacaktır. Teorik olarak bu düşünce doğru olmakla beraber, Porsuk Çayı en kesitlerinin düzensiz ve çevresinin bitki örtüsü ile kaplı olması, su akıtma kabiliyetini azalttığından, sular kabararak çevrede göllenecektir. Dolayısıyla, taşkın pikleri göllenme büyüklüğüne göre azalarak, mansaba ulaşacaktır. Bu durumda, Porsuk Çayı çevresinde su taşkınlarından önemli miktarda zarar gören alanlar oluşacaktır.

DSİ’nin Porsuk Çayı ıslahı ve Porsuk Çayı yatağı değişikliğinde, Eskişehir civarındaki kesitlerde (Şekildeki “C” noktası civarındaki kesitlerde) proje debisi; $Q_p=45,1 \text{ m}^3/\text{sn}$ alınarak, kesit düzenlemesi yapılmıştır [7]. Bu kesitler, zamanla bitkilerle kaplanmış ve kesit içerisinde büyüyen ağaçlar nedeni ile en kesitlerin debi akıtma kabiliyetleri azalmıştır. Ayrıca, sürüntü maddesi çökelmeleri oluşmuş ve nehir tabanında adacıklar teşekkül ederek en kesitin daha da küçülmesine neden olmuştur. Bütün bunlar, suyun hızının azalmasına neden olmakta ve dolayısıyla kabararak çevreye taşmasına sebep olmaktadır. Böylece bu durum devam ettiği sürece, kesitteki bu engeller nedeni ile, “A-D” arasındaki yağışlardan dolayı su kabaracak ve çevreye taşması kolaylaşacaktır. Bu taşkın zaman ve süresi, özellikle tarımsal taşkın zararlarına önemli olarak etkiyecektir. Taşkınlar, tarım çalışmalarının yoğun olarak yapıldığı Nisan-Mayıs aylarında meydana geliyorsa ve taşkın suları uzun süre bu alanlarda kalıyorsa, buradaki mahsulün hemen hemen %100’nün harap olmasına sebep olacaktır. Mevsim nedeni ile tarlanın tekrar ekime hazırlanması, ekimin yapılması mümkün olmayacağından, tarladan alınacak mahsulün tamamını, o yıl için, yok varsaymak gerekecektir.



Şekil 1. Porsuk Havzasının genel yerleşim planı.



Şekil 2. Ara havza taşkın hidrografi (B noktasına gelen kontrolsüz suların hidrografi olup, A noktasından hiç su gelmediği durumu ifade etmektedir).

Tarımsal taşkın zararlarının en büyük değere ulaşması, Nisan-Mayıs aylarındaki uzun süreli taşkınlardan dolayı olacaktır. Bazen de taşkınlar, tarımsal aktivitelerin en az olduğu zamana rastlar. Bu durumda, tarımsal taşkının zararları da en aza inecektir.

Porsuk Çayının Eskişehir'den sonraki kesitleri, genellikle yeterli olmadığından, Porsuk barajından hiç su verilmese bile, DSI tarafından çizilen taşkın hidrograflarının incelenmesi sonuçlarına göre birkaç yıl tekerrürlü taşkın suları tarım alanlarına taşarak, kısmen zarar verecektir.

Yağışlar sırasında, Porsuk Barajından ilave olarak mansaba su verildiği takdirde, bu su, taşkın hidrografının altında baz akımı şeklinde düşünülürse, taşkın zararlarını arttırıcı bir unsur olacaktır. O halde, baraj işletme çalışmalarında, kontrolsüz alan üzerinde, yağışların olduğu zamanlar, kritik durum hariç, barajdan mümkün olduğunca su bırakılmamalıdır. Bu kararın verilmesinde, işletmeciyeye yardımcı olmak için aşağıda anlatılan karar verme matrisi geliştirilmiştir.

III. PORSUK BARAJININ KONTROLSÜZ BÖLGESİNDE YAĞIŞLARIN İNCELENMESİ

Porsuk Barajının mansap bölgesinde, yağıştan akışa geçen sular, kontrol edilemeyen suları meydana getirir. Dolayısıyla, kontrolsüz olarak yağıştan akışa geçen suların Porsuk Çayındaki debileri, bu alandaki yağış yükseklikleri ve akışa geçen miktarı ile ilgili olacaktır. Çalışmada, bu havza üzerine düşen yağışlar, 17706 nolu, Eskişehir Meteoroloji İstasyonu tarafından ölçülen yağışlarla temsil edilecektir [8]. 17706 nolu ölçüm istasyonuna ait aylık toplam yağışlar Tablo 1'de verilmiştir. 17706 nolu Eskişehir Meteoroloji İstasyonuna ait bu tabloya, yağış matrisi ismini verelim.

Tablo 1'de, yağış matrisinin satırları ($i=1, 2, \dots, 17$), 17 yıllık olup, aylık yağış değerlerini (mm olarak) göstermektedir. Satırların sonlarında 12 ayın toplamı, \sum_i işareti ile gösterilmiş olup, i . yılın toplam yağışını ifade etmektedir.

Daha sonraki sütunlar ise; o yıla ait aylık ortalama yağış yüksekliği (\bar{y}_i), yağışların standart sapmaları (sd_i), varyasyon (değişim) katsayısı (cov_i), çarpıklık katsayısı (as_i) ve korelasyon katsayısı ($r_{i,i+1}$) gibi istatistikler, gösterilmiştir.

Tablo 1’de, her bir yıl için ($i=1, \dots, 17$) satırlar üzerinde yapılan işlemlerle dağılımın istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır. Satırlara ait (j ’ler üzerinde yapılan toplamlar) istatistiksel parametreler, aşağıda verilen formüllerle hesaplanmıştır [10, 11]. Her bir istatistik, küçük harflerle ve i indisi ile ifade edilmiştir.

- a. Aylık yağışların ortalama değeri, dağılımın en anlamlı parametresidir ve (1) denklemini ile hesaplanır.

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{i,j} \quad (1)$$

Burada $y_{i,j}$ gözlenmiş aylık yağış yükseklikleri, $n=12$ örneklerin toplam sayısı ve \bar{y}_i , i . yılın aylık yağış yüksekliği ortalamasıdır.

- b. Aylık yağışların standart sapmaları, dağılımın yayılımını ifade etmek için en çok kullanılan parametre olup, büyük olması rasgele değişkenin ortalama çevresinde daha yaygın olduğunu gösterir ve (2) denklemini ile hesaplanır.

$$sd_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_{i,j} - \bar{y}_i)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Burada, $y_{i,j}$ gözlenmiş aylık yağış yükseklikleri, $n=12$ örneklerin toplam sayısı, \bar{y}_i , i . yılın aylık yağış yüksekliği ortalaması ve sd_i , i . yılın standart sapmasıdır.

Tablo 1. Eskişehir, 17706 nolu ölçüm istasyonuna ait aylık yağışlar (mm olarak) ve yıl içindeki aylık yağışların istatistikleri

Yıllar	Ocak Şubat Mart Nisan Mayıs Haziran Temmuz Ağustos Eylül Ekim Kasım Aralık												Aylık Ort. Yağış					
	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7	j=8	j=9	j=10	j=11	j=12	Σ_i	\bar{y}_i	sd_i	cov_i	as_i	$r_{i,i+1}$
1973 i=1	11,8	39,4	20,6	59,6	29,4	78,3	64,2	17,8	1,6	42,8	45,5	62,2	473,2	39,433	23,771	0,603	0,009	0,101
1974 i=2	13,5	49,2	45,3	50,5	70,8	29,1	0,6	19,5	10,6	27,2	30,1	37,2	383,6	31,967	19,829	0,620	0,330	0,738
1975 i=3	49,3	28,9	41,0	29,0	126,9	32,6	0,2	15,2	1,6	7,5	40,3	42,4	414,9	34,575	33,467	0,968	2,000	0,822
1976 i=4	43,3	24,6	27,2	33,2	87,4	47,3	10,6	3,5	3,8	37,3	17,5	62,4	398,1	33,175	24,719	0,745	0,871	0,211
1977 i=5	32,7	18,0	30,3	61,3	16,8	35,2	7,0	39,7	16,3	38,9	29,8	56,3	382,3	31,858	16,160	0,507	0,408	0,388
1991 i=6	15,2	40,8	23,1	71,3	50,8	26,0	34,0	25,8	11,7	64,5	31,3	35,7	430,2	35,850	18,389	0,513	0,781	0,238
1992 i=7	2,8	5,9	33,9	30,3	14,9	78,8	12,0	11,1	0,0	47,1	38,4	33,7	308,9	25,742	22,735	0,883	1,099	0,010
1993 i=8	22,6	34,7	31,6	12,9	68,8	17,7	0,3	16,7	2,7	1,7	62,8	30,2	302,7	25,225	22,230	0,881	0,935	0,680
1994 i=9	56,3	33,9	19,3	26,5	36,8	6,9	1,8	3,0	3,4	21,4	63,0	25,5	297,8	24,817	20,240	0,816	0,671	0,402
1995 i=10	49,9	7,1	53,5	35,6	32,1	11,1	2,7	3,7	24,6	66,0	29,9	19,9	336,1	28,008	20,631	0,737	0,463	0,359
1996 i=11	25,4	25,5	28,3	30,5	43,3	22,5	22,6	6,3	32,3	37,1	6,1	44,9	324,8	27,067	12,210	0,451	-0,433	0,558
1997 i=12	41,0	10,0	8,0	50,1	40,5	23,9	8,0	23,7	5,2	50,4	17,6	82,8	361,2	30,100	23,458	0,779	0,993	0,275
1998 i=13	28,8	18,8	19,7	53,3	129,7	68,6	6,9	0,0	22,2	33,5	47,2	30,1	458,8	38,233	34,634	0,906	1,815	-0,316
1999 i=14	40,5	78,8	55,5	40,8	0,7	22,4	11,4	11,5	19,6	9,6	25,7	21,1	337,6	28,133	22,245	0,791	1,160	0,223
2000 i=15	28,6	18,7	42,1	125,1	33,1	8,7	15,3	14,7	10,9	27,7	4,7	30,5	360,1	30,008	31,972	1,065	2,739	0,269
2001 i=16	7,0	14,6	23,7	66,8	37,5	0,0	23,9	15,2	6,3	0,2	95,7	108	398,9	33,242	37,046	1,115	1,233	0,4396
2002 i=17	22,2	9,4	24,1	57,4	44,3	11,3	35,1	6,6	45	24,1	25,9	38,6	343,5	28,625	15,701	0,549	0,267	0,0596

6312,7

Not:1978'den 1990 yıllarına kadarki yağışlar, temin edilememiştir.

Yıllık Ortalama yağış 371,3 mm

- c. Değişim (varyasyon) katsayısı, standart sapmayı ortalamaya bölerek elde edilir. Boyutsuz bir parametredir ve (3) denklemi ile ifade edilmiştir.

$$\text{cov}_i = \frac{\text{sd}_i}{\bar{y}_i} \quad (3)$$

- d. Çarpıklık katsayısı, rastgele değişkenlerin çarpıklığını belirlemede önemli bir parametredir ve (4) denklemi ile hesaplanır.

$$\text{as}_i = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{i,j} - \bar{y}_i)^3}{\frac{[(n-1)(n-2)/n]}{\text{sd}_i^3}} \quad (4)$$

Burada, $y_{i,j}$ gözlenmiş aylık yağış yükseklikleri, $n=12$ örneklerin toplam sayısı, \bar{y}_i , i . yılın aylık yağış yüksekliği ortalaması, sd_i , i . yılın standart sapması ve as_i , i . yılın çarpıklık katsayısıdır.

- e. Korelasyon katsayısı, iki rastgele değişken topluluğu arasındaki doğrusal bağımlılığın derecesini ölçen parametredir ve (5) denklemi ile hesaplanır.

$$r_{i,i+1} = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{i,j} - \bar{y}_i)(y_{i+1,j} - \bar{y}_{i+1})}{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (y_{i,j} - \bar{y}_i)^2 \right] \left[\sum_{j=1}^n (y_{i+1,j} - \bar{y}_{i+1})^2 \right]}} \quad (5)$$

Burada, $y_{i,j}$, $y_{i+1,j}$, i . ve $i+1$. yılda gözlenmiş aylık yağış yükseklikleri, $n=12$ örneklerin toplam sayısı, \bar{y}_i, \bar{y}_{i+1} , i . ve $i+1$. yılların yağış yüksekliği ortalaması, $r_{i,i+1}$, i . ve $i+1$. yıllar arasındaki korelasyon katsayısıdır. Boyutsuz olup, mutlak değeri 0 ile 1 arasında değişir. Burada $i=17$ olduğunda, $(i+1)$ değeri için 1. yılın ilgili değerleri alınmıştır.

Tablo 1 'de hesaplanmış olan istatistiksel parametreler incelendiğinde; herhangi bir i . yıldaki standart sapma değerleri (sd_i) büyük çıkmaktadır. Dolayısıyla, standart sapma büyüdükçe, bu değerlerin ortalama çevresindeki dağılımı da büyür. Buna bağlı olarak ta hesaplanan değişim

(varyasyon) katsayısı da (cov_i) büyük değerler almaktadır. Cov_i katsayısı, bazen >1 olmaktadır. Bu ise aylık yağış büyüklüklerinin çok dağınık olduğunu ifade eder. Tablo 1'e göre, çarpıklık katsayısı genel olarak (+) çıkmıştır. Buna göre çarpıklık, sağa yatık bir dağılımı ifade eder. Yıllar arasındaki aylık yağışların birbirleri ile ilişkisini ifade eden korelasyon katsayısı ($r_{i,j+1}$), genel olarak çok zayıf ve hatta bazen ters bağımlı (-) olduğu görülmüştür (Tablo 1).

Yağış matrisinin sütunları ise Tablo 2'de çeşitli yıllardaki ($i=1, \dots, 17$ yıl) aynı aya ait aylık yağış yüksekliklerini göstermektedir. Sütun sayısı, bir yılın aylarını ($j=1, \dots, 12$) ifade etmektedir (Mesela: $j=1$, ocak ayını, $j=5$ Mayıs ayını ifade eder). Sütunların altında, o aya ait toplam yağışlar \sum_j simgesi ile gösterilmiştir. Daha sonraki satırlarda, ortalama aylık yağışlar (\bar{Y}_j), yağışların standart sapmaları (SD_j), varyasyon (Değişim) katsayısı (COV_j), çarpıklık katsayısı (AS_j) ve korelasyon katsayısı ($R_{j,j+1}$) gibi istatistikler yer almaktadır. Bu istatistikler, Tablo 2'deki yağış matrisi sütunları için çıkarılmış olup (i 'ler üzerinde toplamlar yapılarak), büyük harflerle ve j indisi ile ifade edilmiştir.

Tablo 2'deki dağılım parametreleri de benzer şekilde hesaplanır ise;

a. Ortalama değer, (6) denklemi ile hesaplanır.

$$\bar{Y}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{i,j} \quad (6)$$

Burada, $y_{i,j}$ gözlenmiş yağış yükseklikleri, $N=17$ örneklerin toplam sayısı ve \bar{Y}_j , j . ayın aylık yağış yüksekliği ortalamasıdır.

b. Standart sapma, (7) denklemi ile hesaplanır.

$$SD_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{i,j} - \bar{Y}_j)^2}{N-1}} \quad (7)$$

Burada, $y_{i,j}$ gözlenmiş aylık yağış yükseklikleri, $N=17$ örneklerin toplam sayısı, \bar{Y}_j , j . ayın, aylık yağış yüksekliği ortalaması ve SD_j , j . ayın standart sapmasıdır.

Tablo 2. Eskişehir, 17706 nolu ölçüm istasyonuna ait aylık yağışlar (mm olarak) ve yıllara göre aynı aya ait yağışların istatistikleri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Yıllar	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7	j=8	j=9	j=10	j=11	j=12
1973 i=1	11,8	39,4	20,6	59,6	29,4	78,3	64,2	17,8	1,6	42,8	45,5	62,2
1974 i=2	13,5	49,2	45,3	50,5	70,8	29,1	0,6	19,5	10,6	27,2	30,1	37,2
1975 i=3	49,3	28,9	41,0	29,0	126,9	32,6	0,2	15,2	1,6	7,5	4,3	42,4
1976 i=4	43,3	24,6	27,2	33,2	87,4	47,3	10,6	3,5	3,8	37,3	17,5	62,4
1977 i=5	32,7	18,0	30,3	61,3	16,8	35,2	7,0	39,7	16,3	38,9	29,8	56,3
1991 i=6	15,2	40,8	23,1	71,3	50,8	26,0	34,0	25,8	11,7	64,5	31,3	35,7
1992 i=7	2,8	5,9	33,9	30,3	14,9	78,8	12,0	11,1	0,0	47,1	38,4	33,7
1993 i=8	22,6	34,7	31,6	12,9	68,8	17,7	0,3	16,7	2,7	1,7	62,8	30,2
1994 i=9	56,3	33,9	19,3	26,5	36,8	6,9	1,8	3,0	3,4	21,4	63,0	25,5
1995 i=10	49,9	7,1	53,5	35,6	32,1	11,1	2,7	3,7	24,6	66,0	29,9	19,9
1996 i=11	25,4	25,5	28,3	30,5	43,3	22,5	22,6	6,3	32,3	37,1	6,1	44,9
1997 i=12	41,0	10,0	8,0	50,1	40,5	23,9	8,0	23,7	5,2	50,4	17,6	82,8
1998 i=13	28,8	18,8	19,7	53,3	129,7	68,6	6,9	0,0	22,2	33,5	47,2	30,1
1999 i=14	40,5	78,8	55,5	40,8	0,7	22,4	11,4	11,5	19,6	9,6	25,7	21,1
2000 i=15	28,6	18,7	42,1	125,1	33,1	8,7	15,3	14,7	10,9	27,7	4,7	30,5
2001 i=16	7,0	14,6	23,7	66,8	37,5	0,0	23,9	15,2	6,3	0,2	95,7	108,0
2002 i=17	22,2	9,4	24,1	57,4	44,3	11,3	35,1	6,6	44,5	24,1	25,9	38,6
Σ_j	490,9	458,3	527,2	834,2	863,8	520,4	256,6	234,0	217,3	537,0	575,5	761,5
\bar{y}_j	28,876	26,959	31,012	49,071	50,812	30,612	15,094	13,765	12,782	31,588	33,853	44,794
SD_j	15,980	18,455	12,821	25,445	35,998	24,296	16,790	10,032	12,417	19,755	23,789	23,290
COV_j	0,553	0,685	0,413	0,519	0,708	0,794	1,112	0,729	0,971	0,625	0,703	0,520
AS_j	0,085	1,403	0,460	1,603	1,145	1,033	1,778	0,960	1,258	0,047	1,093	1,524
$R_{j,j+1}$	-0,274	0,062	0,371	-0,018	-0,197	0,196	0,273	0,094	-0,261	0,128	-0,346	0,316

Not: 1978'den 1990 yıllarına kadarki yağışlar, temin edilememiştir

- c. Değişim (varyasyon) katsayısı, standart sapmayı ortalamaya bölerek elde edilir. Boyutsuz bir parametredir ve (8) denklemi ile hesaplanır.

$$COV_j = \frac{SD_j}{Y_j} \quad (8)$$

- d. Çarpıklık katsayısı, rastgele değişkenlerin ortalamadan, sağa-sola çarpıklığını belirlemede kullanılan önemli bir katsayıdır ve (9) denklemi ile hesaplanır.

$$AS_j = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{i,j} - \bar{Y}_j)^3}{\left[\frac{(N-1)(N-2)}{N} \right] SD_j^3} \quad (9)$$

Burada, $y_{i,j}$ gözlenmiş aylık yağış yükseklikleri, $N=17$ örneklerin toplam sayısı, \bar{Y}_j , j. ayın, aylık yağış yüksekliği ortalaması, SD_j , j. ayın standart sapması ve AS_j , j. ayın çarpıklık katsayısıdır.

- e. Korelasyon katsayısı, iki rasgele değişken topluluğu arasındaki doğrusal bağımlılığın derecesini ölçen parametredir ve (10) denklemi ile hesaplanır.

$$R_{j,j+1} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{i,j} - \bar{Y}_j)(y_{i,j+1} - \bar{Y}_{j+1})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (y_{i,j} - \bar{Y}_j)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (y_{i,j+1} - \bar{Y}_{j+1})^2 \right]}} \quad (10)$$

Burada, $y_{i,j}$, $y_{i,j+1}$; j. ve j+1. aylarında gözlenmiş aylık yağış yükseklikleri, $N=17$ örneklerin toplam sayısı, \bar{Y}_j , \bar{Y}_{j+1} ; j. ve j+1. aylarında yağış yüksekliği ortalaması, $R_{j,j+1}$, j. ve j+1. aylar arasındaki korelasyon katsayısıdır, boyutsuzdur ve mutlak değeri 0 ile 1 arasında değişir. Burada $j=12$ olduğunda, $j+1$ değeri için 1. ayın ilgili değerleri alınmıştır.

Gerek yıl içinde aylara ait aylık yağışların istatistiklerinin bulunmasında ve gerek yıllara ait aylık yağışların istatistiklerinin bulunmasında örnek sayılarının yeterli olmamasından dolayı, istatistiklerin ihtiyatla kullanılması gerekmektedir.

Tablo 2'deki istatistikler incelendiğinde, aylık standart sapma (SD_j) değerlerinin çok büyük değerler aldığı, dolayısıyla değişim (varyasyon) katsayısının da (COV_j) buna bağlı olarak

büyüdüğü görülmüştür. Bu istatistik parametrelerden de anlaşılacağı gibi, aylık yağışlar ortalama etrafında yığılmamış, tersine geniş bir alana yayılmıştır. Çarpıklık katsayısı genel olarak (+) çıkmıştır. Buna göre çarpıklık, sağa yatık bir dağılımı ifade eder. Aylar arasındaki yağışların birbirleri ile ilişkisini ifade eden korelasyon katsayısı ($R_{i,j+1}$), genel olarak çok zayıf ve hatta bazen ters bağımlı (-) olduğu söylenebilir (Tablo 2).

Yağış matrisinin Porsuk Barajı işletme çalışmalarında, karar vermede, yardımcı bir matris haline dönüştürmek için, satırdaki belli yıla ait ortalama aylık yağışlar: \bar{y}_i ile gösterilirse, sd_i standart sapma olmak üzere; $\left(\bar{y}_i - \frac{sd_i}{2}\right)$ ile $\left(\bar{y}_i + \frac{sd_i}{2}\right)$ arasındaki aylık yağışları, normal yağışlar olarak kabul edelim ve (n) harfi ile gösterelim. Normal yağış olarak kabul edilen bu alanın içine, eğer yağışlar normal dağılıma uyuyor ise, gözlenmiş yağışların %38,3'ü (Normal dağılım altındaki toplam alan 1'dir. %38,3 değeri, normal dağılım fonksiyonu altında, söz konusu sınırlar arasındaki alanı ifade eder. Geriye kalan %61,7 alan parçası ise, söz konusu sınırlar dışında kalan her iki uçtaki alanların toplamını temsil eder) düşecektir [11]. Yaş aylar ve kuru aylar olarak kabul edilen alanlara ise gözlenmiş yağışların %61,7'si düşecektir [8].

$\left(\bar{y}_i + \frac{sd_i}{2}\right)$ 'den daha büyük yağış yüksekliklerini (s) harfi ile gösterelim. Bu harf ile gösterilen aylarda, normalin üzerinde bir yağış olduğu ve yağış bir ayı temsil ettiği anlaşılmalıdır. Benzer bir şekilde, $\left(\bar{y}_i - \frac{sd_i}{2}\right)$ 'den daha az yağış yükseklikleri olan aylarda (k) harfi ile gösterilsin. (k) harfi ile gösterilen senenin o aylarının kurak geçtiği anlaşılmalıdır. Yine sütunlar üzerinde işlem yapılırsa; \bar{Y}_j belli bir ayın ortalama yağış

yüksekliği olmak üzere, standart sapma SD_j ile ifade edilirse; $\left(\bar{Y}_j - \frac{SD_j}{2}\right) \sim \left(\bar{Y}_j + \frac{SD_j}{2}\right)$ arasındaki aylık yağış suyu yükseklikleri, normal yağışlar olduğu kabul edilip, N harfi ile gösterilsin. $\left(\bar{Y}_j + \frac{SD_j}{2}\right)$ 'den daha büyük yağış suyu yükseklikleri de S harfi ile tanımlansın.

Yine benzer olarak, $\left(\bar{Y}_j - \frac{SD_j}{2}\right)$ 'den daha küçük yağış yükseklikleri, K harfi ile ifade edildiğinde, yağış suyu yükseklikleri, yağış matrisinden; (k, n, s) matrisi ve (K, N, S) matrisleri elde edilir.

Bu harfli matrisler, aynı bir matris üzerinde gösterilirse (Tablo 3) elde edilir. Bu matrise, baraj işletme çalışmalarında karar vermeye yardımcı olacağı düşüncesi ile kısaca karar verme

matrisi denilecektir. Eskişehir 17706 nolu Meteoroloji istasyonuna ait yağış matrisinden elde edilen karar matrisi Tablo 3'te verilmiştir.

Bu matrisin baraj işletme çalışmalarında karar verme matrisi olarak değerlendirilmesi, ancak barajdan bırakılan suların, mansap havzasındaki yağışlardan akışa geçen sularla birlikte mansapta taşkın meydana getirme olasılığı olması halinde mümkündür. Yani, mansap havzası akışları, doğrudan yağışlarla ilgili ise, yukarıda söz konusu edilen matris, işletme çalışması yapanlara karar vermede yardımcı olacaktır.

Tablo 3'te verilen matrisin daha kolay kullanımı için, Tablo 4 tanzim edilmiştir. Bu tabloda aylık yağışların az, normal ve çok olmasına göre; yani, Kurak, Normal ve Sulak olması olasılıklarına göre düzenlenmiş ve ortalama % sütununda, o aya ait yağışların az, normal ve çok olma olasılıkları, % olarak belirtilmiştir. İşte bu ortalama %'ler alınarak (Tablo 4'ün son sütunu) aylardaki yağışların Kurak (az), Normal (normal) ve Sulak (çok) olma olasılıkları Tablo 5'te verilmiştir. Böylece karar verme matrisi, karar verme satırına çevrilmiştir. Bu satırdaki Kurak, Normal ve Sulak durumuna göre baraj işletme çalışması yapanlar, barajın mansabında kalan kısmi havzadaki yağışların etkilerini göz önünde bulundurarak, barajdan akarsuya (mansaba) verecekleri debilere karar verebileceklerdir.

Tablo 3. Karar matrisi, (bir yıl içindeki ve yıllara göre bir ay içindeki yağışın k, n, s ve K, N,S durumu)

Yıl	Ay												
		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	EK	K	A
		J=1	J=2	J=3	J=4	J=5	J=6	J=7	J=8	J=9	J=10	J=11	J=12
1973	i=1	k-K	n-S	k-K	s-N	n-K	s-S	s-S	k-N	k-K	n-S	n-N	s-S
1974	i=2	k-K	n-S	n-S	n-N	s-S	n-N	k-K	n-S	k-N	n-N	n-N	n-N
1975	i=3	n-S	n-N	n-S	n-K	s-S	n-N	k-K	k-N	k-K	k-K	n-K	n-N
1976	i=4	n-S	n-N	n-N	n-K	s-S	s-S	k-N	k-K	k-K	n-N	k-K	s-S
1977	i=5	n-N	k-N	n-N	s-N	k-K	n-N	k-N	n-S	k-N	n-N	n-N	s-N
1991	i=6	k-K	n-S	k-K	s-S	s-N	k-N	n-S	k-S	k-N	s-S	n-N	n-N
1992	i=7	k-K	k-K	n-N	n-K	n-K	s-S	k-N	k-N	k-K	s-S	s-N	n-N
1993	i=8	n-N	n-N	n-N	k-K	s-N	n-K	k-K	n-N	k-K	k-K	s-S	n-K
1994	i=9	s-S	n-N	n-K	n-K	s-N	k-K	k-K	k-K	k-K	n-K	s-S	n-K
1995	i=10	s-S	k-K	s-S	n-K	n-K	k-K	k-K	k-K	n-S	s-S	n-N	n-K
1996	i=11	n-N	n-N	n-N	n-K	s-N	n-N	n-N	k-K	n-S	s-N	k-K	s-N
1997	i=12	n-S	k-K	k-K	s-N	n-N	n-N	k-N	n-S	k-K	s-S	k-K	s-S
1998	i=13	n-N	k-N	k-K	n-N	s-S	s-S	k-N	k-K	n-S	n-N	n-S	n-K
1999	i=14	s-S	s-S	s-S	s-N	k-K	n-N	k-N	k-N	n-S	k-K	n-N	n-K
2000	i=15	n-N	n-N	n-S	s-S	n-K	k-K	n-N	n-N	k-N	n-N	k-K	n-K
2001	i=16	k-K	k-K	n-K	s-S	n-N	k-K	n-S	n-N	k-K	k-K	s-S	s-S
2002	i=17	n-N	k-K	n-K	s-N	s-N	k-K	n-S	k-K	s-S	n-N	n-N	s-N

Tablo 4. Her bir ay'a ait yağış durumlarının yüzdeleri (%) ve ortalamaları (% olarak)

Ay	Yağış Durumu		17 yıl içinde görülme sayısı	17 yıldaki görülme yüzdesi (%)	Yağış Durumu	17 yıl içinde görülme sayısı	17 yıldaki görülme yüzdesi (%)	Ortalama (%)
Ocak	Kurak	K	5	30	k	5	30	30
	Normal	N	6	35	n	9	53	44
	Sulak	S	6	35	s	3	17	26
	Toplam		17	100		17	100	100
Şubat	Kurak	K	5	30	k	7	41	35
	Normal	N	8	47	n	9	53	50
	Sulak	S	4	23	s	1	6	15
	Toplam		17	100		17	100	100
Mart	Kurak	K	7	41	k	4	23	32
	Normal	N	5	30	n	11	65	47
	Sulak	S	5	30	s	2	12	21
	Toplam		17	~100		17	100	100
Nisan	Kurak	K	7	41	k	1	6	24
	Normal	N	7	41	n	8	47	44
	Sulak	S	3	17	s	8	47	32
	Toplam		17	~100		17	100	100
Mayıs	Kurak	K	6	35	k	2	11	23
	Normal	N	7	41	n	6	35	38
	Sulak	S	4	24	s	9	53	39
	Toplam		17	100		17	100	100
Haziran	Kurak	K	6	35	k	6	35	35
	Normal	N	7	41	n	7	41	41
	Sulak	S	4	24	s	4	24	24
	Toplam		17	100		17	100	100
Temmuz	Kurak	K	5	29	k	11	65	47
	Normal	N	8	47	n	5	29	38
	Sulak	S	4	24	s	1	6	15
	Toplam		17	100		17	100	100
Ağustos	Kurak	K	6	35	k	11	65	50
	Normal	N	7	41	n	6	35	38
	Sulak	S	4	24	s	0	0	12
	Toplam		17	100		17	100	100
Eylül	Kurak	K	8	47	k	12	70	58
	Normal	N	4	24	n	4	24	24
	Sulak	S	5	29	s	1	6	18

	Toplam		17	100		17	100	100
Ekim	Kurak	K	5	29	k	4	24	27
	Normal	N	7	41	n	8	47	44
	Sulak	S	5	29	s	5	29	29
	Toplam		17	~100		17	100	100
Kasım	Kurak	K	5	29	k	4	23	26
	Normal	N	8	47	n	9	53	50
	Sulak	S	4	24	s	4	23	24
	Toplam		17	100		17	~100	100
Aralık	Kurak	K	6	35	k	0	0	18
	Normal	N	7	41	n	10	59	50
	Sulak	S	4	24	s	7	41	32
	Toplam		17	100		17	100	100

Tablo 5. Karar verme matrisinin, karar verme satırına çevrilmesi

Yağış Durumu	Aylar											
	O (%)	Ş (%)	M (%)	N (%)	M (%)	H (%)	T (%)	A (%)	E (%)	Ek. (%)	K (%)	A (%)
Kurak	30	35	32	24	23	35	47	50	58	27	26	18
Normal	44	50	47	44	38	41	38	38	24	44	50	50
Sulak	26	15	21	32	39	24	15	12	18	29	24	32

IV. SONUÇLAR

Baraj yapımından sonra barajın işletme çalışması, optimum faydayı sağlayacak şekilde tanzim edilmelidir. İşletme çalışmasında, mansaba bırakılan suların mansapta taşkın zararlarına sebep olmaması gerekir. Ayrıca, mansaptaki havza büyüklüğü arttıkça, buradan gelebilecek yüzeysel akış sularının da taşkınlara sebep olabilecekleri göz önünde bulundurulmalıdır. Herhangi bir ayda barajdan verilebilecek suyun, o ayda, mansaptaki yağışların az, normal ve çok olması olasılığına göre tekrar değerlendirilmesi, ve mansaba ona göre su bırakılması taşkın riski yönünden yararlı olacaktır [12, 13].

Bu çalışmada, mansaptaki yağışlar dikkate alınarak, barajın işletme çalışmasına (mansaba su verme miktarlarına) yardımcı olmak üzere, mansaptaki aylık yağışlardan (Tablo 1'den) faydalanarak karar verme matrisi (Tablo 3) ve karar verme satırı (Tablo 5) oluşturulmuştur. Karar verme satırı olarak tanımlanan Tablo 5, incelenir ise, bu aylardaki yağışların olasılıklarına bakarak, Porsuk Barajının mansabındaki yağışlardan dolayı Eskişehir ve

civarında taşkın risklerinin olup olmayacağı anlaşılır. Bu bakımdan Tablo 5, Eskişehir ve civarındaki taşkın risklerini ifade etmektedir. Mesela, Aralık 2001 tarihinde, Eskişehir ve civarında önemli bir taşkın meydana gelmiştir ($Q \cong 88 \text{ m}^3/\text{sn}$) [7]. Oysa bu taşkın esnasında, Porsuk Barajından hiç su verilmemişti ve taşkın zararları büyük değildi. Yine Nisan 2002 tarihinde, büyüklüğü takriben yukarıdaki debi kadar olan bir taşkın esnasında, bu debiye ilave olarak, barajdan da $30 \text{ m}^3/\text{sn}$ debi verilince, bu ilave su nedeniyle taşkından kaynaklanan zararlar artmıştır [7].

Bu satır matrisine (Tablo 5) bakarak, aylardaki yağışların Kurak (az), Normal (normal) ve Sulak (çok) geçme olasılıkları okunabilir. Bu olasılıklara göre, barajdan mansaba suyun mümkün olduğunca bırakılmasına veya suyun tutulmasına karar verilebilir. Olasılık büyüklüklerine göre, Mayıs (%39), Nisan(%32) ve Aralık (%32) ayları, sulak (çok) yani yağışlı geçeceği görüldüğünden, bu aylarda, Porsuk Barajından mansaba mümkün olduğunca su verilmemesi gerektiği görülür. Buna karşılık, yine olasılık büyüklüklerine göre Eylül (%58), Ağustos (%50) ve Temmuz (%47) aylarının kurak geçeceği, dolayısıyla barajdan mansaba su bırakılması, taşkın tehlikesi bakımından bir risk oluşturmayacağı görülür.

Baraj hazneleri işletme çalışmalarında kullanılmak üzere, bu çalışmaya benzer biçimde, her bir barajın mansabında kalan alana ait yağış matrisleri oluşturulabilir. Bu yağış matrislerine göre kurak ve sulak ayların olasılıkları hesaplanarak, baraj işletme çalışmalarında, bu değerlerin göz önünde bulundurulması uygun olacaktır. Olasılık durumlarına göre sulak aylarda, baraj mansabındaki taşkınları önlemek için mümkün olduğunca, mansaba, su verilmemelidir.

KAYNAKLAR

[1] Smakhtin, V.U., “Low flow hydrology: a review”, Journal of Hydrology 240, pp147-186, 2001.

[2] Bilgin, M., “Baraj Hazne Hacminin Bulunması”, Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları-25, Eskişehir, 1979.

[3] Bingöl, M. T., “Barajların Aktif Hazne hacmi bulunmasında, Su İhtiyaçlarının Belirlenmesi ve Bursa Barajlarında Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, 2003.

[4] DSİ, “Porsuk Havzası Su Yönetim Planı Projesi, Nihai Rapor, Cilt 2/3-İşletme Çalışmaları”, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, III Bölge Müdürlüğü (SU/YAPI, tarafından hazırlanmıştır), 2001.

[5] Harvey, A.M., “Channel capacity and adjustment of streams to hydrologic regime”, Journal of Hydrology, Volume 8, Issue 1, pp 82-98, 1996.

[6] Tombul, M. and Gerek A. C., “Flood Protection and Potential Flood Damage Estimates in the Porsuk River in Eskişehir, Turkey”, River symposium 2003, Sixth International River Management Symposium, 2-5 September 2003, Carlton Crest Hotel Brisbane, Queensland, Australia.

[7] Bilgin, M., “Bilirkişi Raporu”, 2002/1622 Esas Nolu Dosyaya ait 18.04.2002 tarihli Porsuk Nehri taşkınlarından zarar gören merkez Hasanbey Köyündeki Çatma Çiftliği Tarlaları Hakkında Olayın Teknik Analizlerini İçeren Bilirkişi Raporu, Eskişehir, 2003.

[8] DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir Bölge Müdürlüğü, 2003.

[9] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, “Türkiye Akarsu Havzaları Maksimum Akımlar Frekans Analizi (MAFA)”, Ankara, 1994.

[10] Bayazıt, M., “Hidrolojide İstatistik Yöntemler”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1981.

[11] Bayazıt, M. ve Oğuz, B., “Mühendisler İçin İstatistik”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1985.

[12] Plate, E.J., “Flood risk and flood management”, Journal of Hydrology 267, pp 2-11, 2002.

[13] Andrade, M.G., Fragoso, M.D and Carneiro, A.F.M., “A stochastic approach to the flood control problem”, Applied Mathematical Modelling 25, 499-511, 2001.