

Moran Olasılık Matris Yöntemiyle Hazne Tasarımı: Yenidere Barajı Örneği

Ü. G. BACANLI¹, A. C. KOÇ²

¹⁻² Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. Kınıklı Yerleşkesi, DENİZLİ.

Özet : Akarsudan çevrilmesi gereken su, doğal akım miktarını aştığı zaman artan talep yüzeysel bir biriktirme haznesi ya da yeraltısuyu gibi başka bir su kaynağından sağlanabilir. Birçok durumda en uygun çözüm tek bir haznenin oluşturulmasıdır. Ancak ihtiyacın artması durumunda yeni hazneler ilave edilebilir. Bir akarsudan belirli bir ihtiyacı karşılamak üzere gerekli depolama hacmi, akımların büyüklüğüne ve değişkenliğine, ihtiyaca ve bu ihtiyacın karşılanmasındaki güvenilirlik derecesine bağlıdır. Biriktirme hazneleri tasarımında çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada, DSİ tarafından planlanan 55 10⁶ m³ hacimli bir baraj projesi nedeniyle, Yenidere alt havzası uygulama alanı olarak seçilmiş ve tek biriktirme haznesi için kapasite-verim-risk ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, Büyük Menderes havzasında Yenidere çayı üzerinde bulunan EİE-Yenidere (7-83) akım gözlem istasyonunda gözlenmiş yıllık ortalama akım verileri kullanılarak, Moran olasılık matris yöntemi ile hazne kapasitesi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Yenidere Barajının planlanan hazne kapasitesi ile karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşük akım hidrolojisi, Kritik dönem, Moran olasılık matris yöntemi, Hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisi, Yenidere Barajı

Storage Reservoir Design With Moran Probability Matrix Method: Case Study of Yenidere Dam

Abstract : When the required diversion rate from a river exceeds the natural flow rate, the excess demand can only be met from an alternative supply such as groundwater or from surface storage. In most instances, the appropriate response is the construction of a single reservoir, followed later by additional reservoirs as the demand continues to grow. The storage required on a river to meet a specific demand depends primarily on factors such as the magnitude and variability of the river flows, the size of demand, and the degree of reliability of this demand to be met.

A large number of procedures have been proposed to estimate storage capacity. In the present study, reservoir capacity-yield-reliability relationships are investigated for a single reservoir. The reason why the Yenidere sub-basin has been selected is that there is a dam project with a capacity of 55 10⁶ m³ planned by DSİ. For this aim, annual mean flow data of EİE-Yenidere (7-83) streamgauge station on Yenidere Creek in Büyük Menderes Basin are used. The required reservoir capacity is estimated by using Moran probability matrix method, and the obtained results are compared with the planned reservoir capacity of Yenidere Dam.

Keywords: Low flow hydrology, Critical period, Moran probability matrix method, Reservoir capacity-yield-reliability relationships, Yenidere Dam.

Giriş

Biriktirme hazneleri, akarsuyun getirdiği zamana bağlı olarak sürekli değişen akım ile akımın kullanılmak istendiği (enerji üretimi, sulama, akarsu ulaşımı gibi) amaçlar için gerekli su miktarı arasındaki dengesizliği belirli ölçüde gidermek için tasarlanır. Hidrolojik açıdan, belirli bir ihtiyacı karşılamak için akarsudan elde edilmesi gereken depolama hacmi; gelen akımın miktarı ve değişkenliğine, amaca (elde edilmek istenen su miktarına) ve bu ihtiyacın karşılanmasındaki güvenilirlik derecesine bağlıdır.

Hazne hacminin belirlenmesinde farklı kullanılmasıyla birlikte bu yöntemler arasındaki ayırım çok belirgin değildir. Birinci grupta yer alan *kritik dönem yöntemleri*, giriş akımlarının ihtiyacı karşılamaması durumunda, gerekli depolama hacminin belirlenmesi amacıyla gözlenmiş ardışık akımların kullanıldığı yöntemlerdir. Ön tasarım aşamasında kullanılan ve klasik bir yöntem olan eklenik akımların (Rippl diyagramı) yanı sıra, eklenik farklar, minimum akımlar ve ardışık tepeler yöntemleri ile son tasarım aşamasında yine yaygın olarak kullanılan aylık

su bütçesi yöntemi bu gruba örnek olarak verilebilir. Ancak, bu yöntemlerde öngörülen hazne hacminin ihtiyacı karşılamada taşıdığı riski tanımlamak mümkün değildir. Belirli bir dağılımın uygunluğunun öngörüldüğü ve riskin de ifade edilebildiği Alexander, Dinçer, Gould Gamma gibi yöntemler özellikle risk tanımlanmak istendiğinde yaygın uygulama alanı bulmaktadır [15].

İkinci grupta *Moran hazne teorisini* temel alan yöntemler yer almakta olup, bu grubun önemli bir kısmını *Olasılık Matrisi yöntemleri* oluşturmaktadır. Ön tasarım aşamasında Mc Mahon tarafından geliştirilen ampirik denklem ve çeşitli dağılımlar için Hardison tarafından geliştirilen abaklar yardımıyla hazne hacminin tayini bu grubun örnekleri arasında sayılabilir. Son tasarım aşamasında ise Gould tarafından geliştirilen olasılık matris yöntemi kullanılmaktadır [15].

Üçüncü grup ise *sentetik veri kullanımını temel alan yöntemlerden* oluşmaktadır. Gould'un geliştirdiği abaklar, bu grubun ön tasarım aşamasında kullanılacak en kayda değer örneğidir. Monte Carlo yöntemleri olarak tanımlanan

sentetik seri üretimi, hazne hacminin belirlenmesinde tek başına kullanılan bir araç olmayıp, daha çok haznenin çeşitli durumlar için sınanmasına olanak tanıyan benzetim çalışmalarında, diğer yöntemler ile birlikte kullanım alanı bulmaktadır.

Biriktirme haznelerinin kapasite tasarımında kullanılan farklı yöntemlerin birbirlerine göre üstün ve/veya eksik yönleri vardır [2]. Hazne kapasite tasarımında sentetik veriler kullanıldığı gibi, kapasite-risk-verim gibi biriktirme haznesinin karakteristikleri arasındaki ilişkiler doğrudan doğruya kullanılabilir [5, 16].

Hazne kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan farklı yöntemlerden bazıları kısa bir hesap sonunda yaklaşık bir sonuç verirler, bazı yöntemlerde ise daha uzun işlemler sonunda doğruya daha yakın bir sonuca varılabilir. Sunulan bu çalışmada kullanılan *Moran Olasılık Matris Yöntemi* ise pratikte çok kullanılmamaktadır. Bunun başlıca nedeni ise belirli kabuller yapılmazsa diğer yöntemlere göre daha karmaşık olmasıdır. Ancak bu yöntem uygulamada çok iyi sonuçlar vermektedir [15].

Hazne hacminin zamanla olan değişimini veren minimum akımlar yöntemi gibi kritik dönem yaklaşımlarında, depolama hacmi ile risk arasında bir ilişki kurulamamaktadır. Ayrıca, kullanılan veri dizisinin uzunluğuna bağlı olarak, belirlenen hazne hacmi oldukça değişmektedir. Buharlaştırma kayıplarının dikkate alınmaması, haznenin başlangıçta dolu kabul edilmesi gibi nedenlerle, bu yöntemlerle genellikle gerekenden büyük hacimler tahmin edilmektedir.

Düşük akım dizilerinin belirli bir dağılıma uygunluğunu öngören diğer kritik dönem yöntemleri (Alexander, Dinçer ve Gould'un Gamma yöntemleri [15]) kullanıldığında daha güvenilir tahminler yapmak ve hazne hacmi ile risk ilişkisi tanımlayabilmek mümkündür. Ancak, yıllık dizilerinin toplamlarının genellikle Gamma dağılımına daha uygun olması nedeniyle, normal dağılım kabulünün yapıldığı Dinçer yöntemi yerine Alexander ve Gould'un Gamma Yönteminin uygulanmasının daha yerinde olacağı söylenebilir. Bu üç yaklaşımdan, Alexander yöntemi ile, yıllık veri kullanılarak mevsimsel değişimler göz ardı edildiğinden, özellikle kısa süreli kritik dönemler için gerekenden daha küçük hacimler tahmin edilmekte, Dinçer yöntemi ile, yıllık veri dizisinin normal dağılımlı olmaması halinde, hazne hacmi gerekenden daha büyük tahmin edilmekte; ancak uzun süreli kritik dönemlerde ve büyük düzenleme oranlarında, hazne hacmi tahminleri oldukça makul değerler almaktadır. Normal dağılımın uygulama kolaylığı ile Gamma dağılımının yıllık veri dizilerine daha uygun olması gerçeğini bir araya getiren Gould'un Gamma Yöntemi ile özellikle yıllar arası düzenleme yapan büyük haznelerin hacim tahminleri etkin biçimde yapılabilmektedir [15].

Kritik dönem yaklaşımlarından Aylık Su Bütçesi yönteminde, buharlaştırma ve tüm diğer kayıplar ile ihtiyaçların aylık veya mevsimsel değişimi dikkate alınabildiği gibi, kısıtlı su verme gibi çeşitli işletme koşulları da rahatlıkla uygulanabilmektedir. Dolayısıyla, yöntem son tasarım aşamasında güvenle kullanılacak bir yaklaşım olarak görülmektedir. Ancak, özellikle veri dizisinin ilk dönemlerinde düşük akımların oluşması

durumunda, haznenin başlangıçta dolu olduğu kabulü, hesaplanan riski (veya haznenin verimini) önemli ölçüde etkilemekte; ayrıca, kesikli veri dizileriyle çalışmada sorunlarla karşılaşmaktadır.

Su kaynakları sistemlerinin ihtiyaçlarına göre en kritik zaman periyodu olarak tanımlanan kritik periyot, haznelerin planlama, tasarım ve işletiminde [1, 16]; biriktirme haznesi işletim kuralları da hazne hacmi tayininde son derece önem taşır [17]. Biriktirme haznesi kapasitesi tasarımında, hazne kritik periyodun başlangıcında dolu kabul edilirse, kritik periyodun sonunda tamamen boş olacaktır. Biriktirme haznesi kapasitesi, kabul edilen risk seviyesinde ihtiyacı karşılar. Eğer risksiz işletim tasarlanmışsa; o zaman ideal biriktirme haznesi kavramı yer alır. İdeal biriktirme haznesi ne suyun dışarı savaklandığı, ne de kuruduğu hazne hacmidir [3].

Moran Olasılık Matris Yönteminin diğer bazı yöntemlere göre en önemli avantajı kapasite-verim-risk ilişkisi kurulabilmesidir. Böylece farklı hacimlerin ihtiyacı karşılayamama olasılıklarını da belirlenebilmektedir. Diğer önemli avantajı ise kesikli veriyle de çalışılabilmesidir. Ayrıca Moran yöntemi dönüşüm matrisi kararlı hale geldiğinde elde edilen olasılıklar, haznenin başlangıç doluluk oranından bağımsız durumu yansıtmaktadır. Bu yöntemle işletme aşamasında da belirli bir olasılıkla farklı dönemler için hazne hacmi tayin edebilme avantajına sahiptir. Sonuç olarak diğer yöntemlere göre kesin tasarım aşamasında kullanılacak en güvenilir yöntemlerden biri Moran Olasılık Matris Yöntemi olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca Aylık Su Bütçesi yöntemi de Moran Olasılık Matris Yöntemine göre basit ve uygulaması kolay olması bakımından avantajlıdır. Ancak Moran Olasılık Matris Yöntemi diğer yöntemlere göre daha karmaşıktır.

Sunulan çalışmada, uygulamada pek fazla kullanılmayan Moran olasılık matris yöntemi ile gerekli depolama hacminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tek biriktirme haznesi için kapasite-verim-risk ilişkisi araştırılmıştır. Bunun için daha önce Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından boyutlandırılmış ve yapım aşamasında olan Yenidere Barajı ele alınmıştır. Moran olasılık matris yöntemiyle farklı düzenleme oranları ve risklerde hazne hacmi hesaplanmış ve kapasite-verim-risk eğrileri elde edilmiştir.

Moran olasılık matris yönteminde literatürde yapılan bazı değişikliklerde mevcuttur. Bunlardan bazı örnekler şunlardır. Jarvis (1964) Moran yöntemini Batı Avustralya'da Ord nehri için kullanmıştır [11]. Yıllık akımların bağımsız olduğunu kabul etmiştir. Jarvis yaptığı bu çalışmada Moran tarafından uygulanmış sabit çekimden farklı olarak daha karmaşık ve gerçekçi çekim kuralı uygulamıştır. Moran 1955 de mevsimsel akımlara göre kesikli model uyarlamıştır. Geçiş matrisleri, her bir mevsim için hazırlanmıştır [14]. Lloyd, Lloyd ve Odeom (1964) de benzer yaklaşımı uyarlamışlardır [12, 13]. Haris (1965) İngiltere'de bir havza için uygulamış ve Moran'ın mevsimsel metodunun örneğini vermiştir. Sulak ve kurak mevsimler için geçiş matrisleri hazırlamıştır [10]. Dearlove ve Haris (1965), Moran'ın mevsimsel metoduyla Lloyd'un yaklaşımının birleşimiyle çok uygun bir teknik geliştirdi [7]. Doran (1975) bu çalışmayı dahada genişletti [8]. Venetis (1969); Roesner ve Yevjevich (1966) sentetik veri kullanarak geçiş matrislerini geliştirmişlerdir [18, 19].

Moran Olasılık Matris Yöntemi

Yıllık akımların kullanıldığı Moran olasılık matris yönteminde, akım, çekim ve hazne hacmi bir temel birim cinsinden ifade edilmektedir. Bu yöntem gerekli hazne kapasitesini doğrudan doğruya vermez. Ancak seçilen bir kapasite değeri için belirlenen limit olasılık dağılımından bulunan haznenin boş kalma olasılığına (risk) dayanarak gerekli kapasite deneme yoluyla bulunabilir. Gelen akımların histogramı çizilmekte; çekimin sabit olduğu kabul edilerek, haznenin dönem sonundaki hacmi süreklilik denklemiyle ifade edilebilir. Haznenin dönem sonundaki hacmi,

$$Z_{t+1}^* = Z_t^* + X_t^* - D^* \quad 0 \leq Z_{t+1}^* \leq C^* \quad (1)$$

formülünden saptanabilmektedir. Burada; Z_t^* haznenin başlangıçtaki durumu, Z_{t+1}^* haznenin dönem sonundaki durumu, C^* hazne kapasitesi, X_t^* giren akım, D^* sabit çekim miktarıdır. * ise birim hacimde seçilmiş terimlerde ifade edilmiş birimleri göstermektedir. (1) denklemiyle, döneme belirli bir hacimle başlayıp, dönem sonunda herhangi bir hacim oluşması için hazneye girmesi gereken akım belirlenmekte ve akım histogramından yararlanarak geçiş matrisinde kullanılacak olasılık değeri bulunmaktadır. Şekil 1’ de görüldüğü gibi geçiş matrisinin her bir elemanı (1) denklemi kullanılarak haznenin son durumu, girdi ve başlangıç durumlarının her birinin birleşimi için saptanabilir. Bu hazne hacmi durumları, başlangıç durumu fonksiyonu gibi belirli durumda bitme olasılığını gösteren geçiş matrisi olarak ifade edilir. Geçiş matrisi verilen bir durumdan herhangi bir duruma geçiş olasılıklarını verir. (0,0) elemanı haznenin başlangıçta boş başlayıp, bitişte boş olma olasılığını göstermektedir. Geçiş matrisinin diğer elemanları da aynı yolla bulunur [15].

Bitiş Durumu (Z_{t+1})	Başlangıç Durumu (Z_t)			
	Boş	Dolu
Boş	(0,0)	...		
.				
.				
Dolu				
Σ	1	1	1

Şekil 1: Matris 1(Geçiş Matrisi)

Pratikte hazne hacmi birçok durum veya katmanlara bölünür. Hazne hacmi C^* nin genel durumu göz önüne alırsa, C^*+1 bölgeye sahiptir. P_0 , akımın sıfır olma olasılığını; P_1 , akımın 1 birim olma olasılığını; P_N akımın N birim olma olasılığını verir. Haznedeki su hacmi için $M+1$ adet durum göz önüne alınırsa, hazne kapasitesi M eşit parçaya bölünmüş olur. Farklı katmanlara bölünmüş geçiş matrisinin kolonları Şekil 2’ de görülmektedir.

	Başlangıç Durumu (Z_t)	
	0	k
Bitiş Durumu (Z_{t+1})	0	$\sum_{i=0}^M P_i$
	.	$\sum_{i=0}^{M-k} P_i$
	.	$M \geq k$
j	P_{M+j}	P_{M-k+j}
	$0 < j < C^*$	$0 < M-k+j < C^*$
C^*	$\sum_{i=C^*+M}^N q_i$	$\sum_{i=M-k+C^*}^N q_i$
	$N \geq C^* + M$	$N \geq M - k + C^*$

Şekil 2: Matris 2

Haznedeki su hacminin kararlı durumdaki olasılık dağılımını belirlemek için üç yol vardır.

a) P (herhangi bir başlangıç durumuyla) bileşenin olasılık vektörü kararlı duruma ulaşıncaya dek geçiş matrisiyle çarpılır.

$$\underline{P}_{t+1} = [T] * \underline{P}_t \quad (2)$$

b) Kararlı durumu buluncaya kadar geçiş matrisinin üssü alınır.

$$[T]^a \quad (3)$$

Burada T: geçiş matrisi, a: kararlı hal matrisine eşit olan sonucunu bulmak için üs dür.

c) Üçüncü yöntem ise (2) denklemiyle ifade edilen denklemler grubunun çözümüdür.

Haznedeki su hacminin, geçiş olasılık matrisinin belirlenmesi hazneye ardışık zaman aralıklarında giren akımların birbirinden bağımsız olduklarının kabul edilmesi halinde kolaydır. Bu kabul zaman aralığının yıl olarak seçilmesi halinde geçerlidir. Ancak zaman aralığı mevsim, ay ya da daha kısa bir süre olursa hazneye ardışık anlarda giren akımlar arasında kuvvetli bir iç bağımlılık bulunacaktır. İç bağımlılığın göz önüne alınması oldukça zordur. Ayrıca bu durumda her bir ay (mevsim, ...) için ayrı bir geçiş olasılık matrisi ortaya çıkar.

Moran olasılık matris yönteminin sınırları ise şunlardır:

- Girdiler bağımsız olarak kabul edilir. Bu kabul aylık zaman periyodu için geçerli değildir. Yıllık akımlar birçok akarsu için bağımsızdır.
- Genel kural olarak mevsimsellik, mevsimsel veri kullanılmadıkça hesaplarda dikkate alınmaz.
- Daha önce tanımlandığı gibi yöntem sabit çekim kabul eder. Fakat değişen çekimler, zamandan bağımsız ve depolanmış su hacmine bağımlı oldukça dikkate alınabilir.
- Karmaşık problemlerin çözümünde bilgisayar gereklidir.
- Eğer hazne hacmi veya belirli boş kalma olasılığı için saptanacaksa iteratif çözüm gereklidir.

Moran olasılık matris yönteminin avantajları ise şunlardır:

- i) Hesaplanmış hazne hacmi tahminleri başlangıç durumlarından bağımsızdır. Bu kritik periyot tekniklerinin tersinedir ve matris metodunun avantajlarından biridir.
- ii) Sürekli olmayan kayıtlar kullanılabilir. Yıllık akımlar bağımsız olarak kabul edildiği zaman, akımların ardışıklığı önemsizdir.
- iii) Hazne hacmi durumunun olasılığının tahminleri ya kararlı durum ya da başlangıç koşullarının zamana bağlı fonksiyonu olarak hesaplanabilir [15].

Uygulama

Kullanılan Veriler

Yenidere çayı Denizli ili sınırları içinde Büyük Menderes nehrinin kolu olan Akçay' a ulaşır. Yenidere barajı ve sulama alanının bölge ve Türkiye'deki yeri Şekil 3' te verilmiştir. Toplam uzunluğu 55 km' dir. Proje alanında EİE tarafından işletilen (7-48) Bören deresi Akyar, (7-78) Yenidere Sofular akım gözlem istasyonları vardır. Yenidere' nin kolu olan Bören deresi Akyar (7-48) istasyonu (1969-1978) yılları arasında çalıştırılmış ve 1979 da kapatılmıştır. Yenidere üzerindeki (7-78) akım gözlem istasyonu 1979 yılında kurulmuş, iki yıl çalışmıştır. Daha sonra membaya taşınmış ve (7-83) olarak istasyon numarası değişmiştir. Bu değişme 1980-1985 periyodunu içermektedir [6, 16].

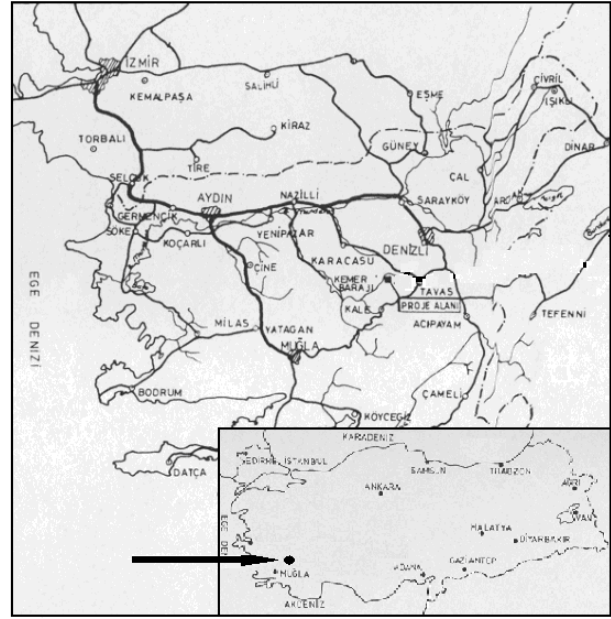
Yenidere Barajı aylık akımları (7-83) nolu akım gözlem istasyonunun aylık akım değerleridir. 1980-1985 yıllarını kapsayan bu değerlerin uzun süreye uzatılması için, Kemer Barajı' nın uzun süreli aylık giriş akımlarıyla lineer ve logaritmik korelasyonlar araştırılmıştır. Yenidere Baraj yeri aylık akımları, Kemer Barajı giriş akımlarına göre, 0.94 lineer korelasyon katsayısıyla;

$$Q_{(Yenidere)} = 0.1014 * Q_{(Kemer Barajı)} + 1.68 \quad (4)$$

denklemlerle 1950 yılına kadar uzatılmıştır. Şekil 4' te Yenidere Baraj yeri aylık proje akımları görülmektedir [16]. Yenidere Barajı giriş akım verilerinin 35 yıl süreli (1950-1984) istatistiksel özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

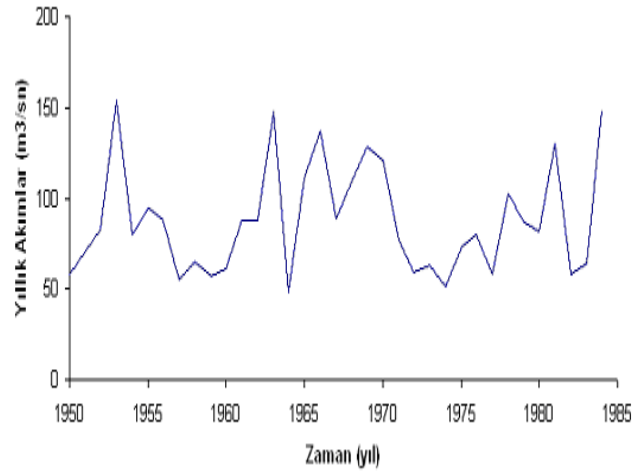
Çizelge 1: Yenidere Barajı giriş akım verilerinin 35 yıl süreli (1950-1984) istatistiksel özellikleri

İstatistik	Yıllık	
	Ort. Akım (m ³ /sn)	Ort. Akış Hacmi (10 ⁶ m ³ /y)
Ortalama (\bar{X})	2.78	87.79
Standart Sapma (S_x)	0.98	30.63
Değişkenlik Katsayısı (C_v)	0.35	
Çarpıklık Katsayısı (C_s)	0.78	
Şivrilik Katsayısı (C_k)	-0.41	
İçsel bağımlılık Katsayısı (r_1)	0.06	



Şekil 3: Yenidere Barajı ve sulama projesinin bölge ve Türkiye'deki yeri

Yenidere Baraj yeri giriş akım verilerinin χ^2 (Ki-kare) testiyle yapılan dağılım sınavında %5 anlamlılık seviyesinde, Lognormal ve Gamma (2) dağılımlarına uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4: Yenidere Çayı Yenidere baraj yeri girişi 35 yıl süreli (1950-1984) yıllık akım verileri.

DSİ tarafından havzada sulama suyu temini amacıyla $55 \cdot 10^6$ m³ aktif hazne hacmine sahip baraj yapılması planlanmıştır. Buradan 13 000 ha' lık alanın sulanması planlanmaktadır. Yenidere Barajı minimum göl hacmi 10 hm³, bu hacme karşı gelen göl seviyesi 866 m' dir. Yenidere barajında taşkın kontrolü yapılmayacağından, taşkın kontrol hacmi ayrılmamıştır. Hazne düzenleme oranı, baraj alanının topoğrafik özellikleri ve civardaki işlenebilir tarım arazileri nedeniyle, % 72 olarak alınmıştır [6].

Biriktirme Haznesi Hacminin Belirlenmesi

Moran olasılık matris yöntemi ile Yenidere istasyonu yıllık akım verileri kullanılarak, farklı düzenleme oranları için çeşitli hacimler denenmiştir. Farklı hazne hacimleri

için geçiş matrisleri ve kararlı hal matrisleri elde edilmiştir. Bu çalışmada geçiş matrisi hesaplanırken Excel kullanılmış ve kararlı hal matrisi çözümü de MATLAB programıyla gerçekleştirilmiştir.

Geçiş matrisinde örneğin (0,0) matris elemanı, haznenin boş başlayıp boş bitme olasılığıdır. Haznenin başlangıçta boş olması durumunda, hazneden çekim ve girdi akımları dikkate alınarak haznenin sonuçta da boş kalması olasılığı 0.32 olarak hesaplanmıştır. Geçiş matrisinin diğer elemanları da $0 \leq Z_{t+1}^* \leq C^*$ sınır koşulları dikkate alınarak, birim cinsinden hazne hacmi, çekim ve giren akımlar dikkate alınarak her bir başlangıç koşulu ve farklı durumda bitme olasılıkları hesaplanmıştır.

Yenidere Barajının planlanan hacminin irdelenmesi amacıyla, baraj planlama kriterleri ele alınmıştır. Yenidere barajı için düşünülen %72 değerindeki düzenleme oranı kullanılmıştır. %72 düzenleme oranına ve $55 \cdot 10^6$ m³ hazne hacmine göre geçiş ve kararlı hal matrisi aşağıdaki şekilde elde edilmiştir. Bu düzenleme oranı ve hazne hacmine göre haznenin ihtiyacı karşılamama olasılığı 0 dir.

Çeşitli başlangıç ve dönem sonundaki durumlar (boş, yarı dolu, tam dolu) için geçiş matrisi bu şekilde tamamlanır. Kararlı durum matrisini elde etmek için (3) denklemine göre geçiş matrisinin üssü (yaklaşık 10 kez; a=10) alınmaktadır.

	BOŞ	YARI DOLU	DOLU
BOŞ	0.32	0	0
YARI DOLU	0.44	0.64	0.32
DOLU	0.24	0.36	0.68

Elde edilen olasılık değerlerini başlangıç şartlarından bağımsız hale getirmek üzere yapılan bu işleme kararlı hale ulaşıncaya (olasılık matrisindeki değerler sabitleninceye) kadar devam edilmektedir.

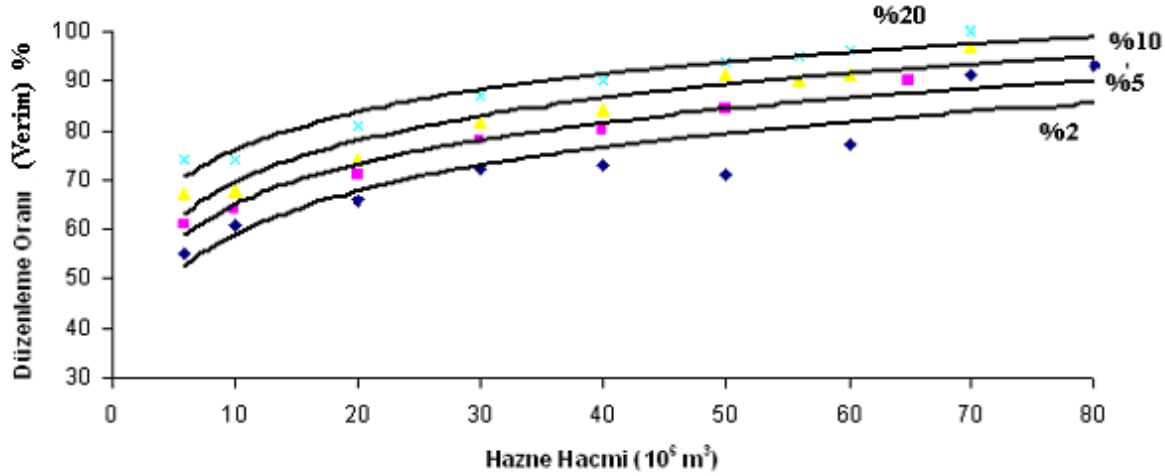
	BOŞ	YARI DOLU	DOLU
BOŞ	0	0	0
YARI DOLU	0.4706	0.4706	0.4706
DOLU	0.5294	0.5294	0.5294

Yenidere barajının planlanan hacmi ve düzenleme oranına göre Moran olasılık matris yöntemiyle de hazne hacmine göre haznenin ihtiyacı karşılamama olasılığı 0 elde edilmiştir.

Ayrıca, hazne kapasitesi-verim-risk arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek üzere, çeşitli düzenleme oranları ve riskler göz önüne alınarak gerekli hazne hacimleri belirlenmiştir. Yenidere barajı verileri kullanılarak Şekil 5 de Moran olasılık matris yöntemiyle belirlenen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisi görülmektedir. Şekil üzerinde %2–5–10–20 risk eğrileri çizilmiştir.

Farklı hazne hacimleri, düzenleme oranları ve ihtiyacı karşılamama olasılıklarının çeşitli kombinasyonları için Moran olasılık matris yönteminin uygulanması ile elde edilen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisini gösteren eğriler Şekil 5’de görülmektedir. Bu eğriler, belirli bir düzenleme oranı için, öngörülen bir ihtiyacı karşılamama olasılığına sahip hazne hacminin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca belirli bir risk ve düzenleme oranı göz önüne alınarak planlanmış bir haznede, ihtiyacın zaman içinde artması halinde, mevcut hazne hacminin o dönemdeki ihtiyacı karşılamama olasılığının belirlenmesinde de bu eğrilerden yararlanılabilmektedir.

Yenidere Barajının planlanan hazne hacmi $55 \cdot 10^6$ m³ ve %72 düzenleme oranıdır. Bu düzenleme oranı ve hazne hacmine göre haznenin ihtiyacı karşılamama olasılığı 0 dir. Moran olasılık matris yönteminin uygulanması ile de elde edilen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisini gösteren eğrilerden (Şekil 5’de görüldüğü gibi) planlanan hazne hacmi $55 \cdot 10^6$ m³ ve %72 düzenleme oranında ihtiyacı karşılamama olasılığı %0 dir. Eğer planlanan hazne hacmi $55 \cdot 10^6$ m³ sabit tutarsak ihtiyacı karşılamama olasılığı arttıkça (%2,%5, ... ,%20) Şekil 5 den de görüldüğü gibi düzenleme oranı da artmaktadır. Örneğin Şekil 5 deki hazne hacmi-düzenleme oranı-risk ilişkisiyle planlanan hazne hacmi $55 \cdot 10^6$ m³ ve %2 riske karşılık gelen %79 düzenleme oranını kolayca saptayabiliriz. Ayrıca Şekil 5 deki hazne hacmi-düzenleme oranı-risk ilişkisi bir kez belirlendikten sonra belirli bir risk ve düzenleme oranında haznede, ihtiyacın zaman içinde artması halinde, mevcut hazne hacminin o dönemdeki ihtiyacı karşılamama olasılığının belirlenmesinde de bu eğrilerden yararlanılabilmektedir.



Şekil 5: Moran Matris Yöntemiyle belirlenen hazne hacmi-düzenleme oranı (verim)-risk ilişkisi

Sonuç ve Öneriler

Sunulan çalışmada uygulaması gerçekleştirilen Moran Olasılık Matrisi Yönteminin diğer yöntemlere göre daha önce de bahsedildiği gibi üstün ve eksik yönleri mevcuttur. Moran Olasılık Matris Yöntemi, Aylık Su Bütçesi yönteminin sahip olduğu tüm avantajları taşımanın ötesinde, kesikli veri ile de çalışılmasına olanak tanımakta ve daha da önemlisi dönüşüm matrisi kararlı hale getirildiğinde elde edilen olasılıklar, haznenin başlangıçtaki doluluk oranından bağımsız durumunu yansıtmaktadır. Ayrıca, işletme aşamasında çeşitli dönemler için (bir yıl sonra, iki yıl sonra vb.) belirli bir olasılıkla hazne hacmini tahmin etmek de mümkün olmaktadır.

Moran Olasılık Matrisi Yöntemiyle hazne hacmi hesabı uygulamada sonuca en yakın hesaplayan yöntemlerden biridir.

Hazne tasarımında önemli bir nokta ise kabul edilecek riskin seçilmesidir. Kabul edilebilecek risk değeri haznenin amacına bağlıdır. Şehirlere su temininde %1-2; sulama, ulaşım ve düşük akımların kontrolünde risk %5-10 olabilir. Yıllar arası düzenlemede güvenilirlik yıl içi düzenlemeye göre daha yüksek olmalıdır. Sunulan çalışmada projede alınan hazne hacminin risk değeri %0 dır.

Hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisini gösteren eğrilerle, belirli bir risk ve düzenleme oranı göz önüne alınarak planlanmış bir haznede, ihtiyacın zaman içinde artması halinde, mevcut hazne hacminin o dönemdeki ihtiyacı karşılayamama olasılığının belirlenmesinde bu eğriler son derece yarar sağlamaktadır.

DSİ tarafından Yenidere Barajı $55 \cdot 10^6$ m³ hazne hacmi, %72 düzenleme oranı ve ihtiyacı karşılayamama olasılığı %0 olarak planlanmıştır. Sunulan çalışmada Moran olasılık matris yönteminin uygulanması ile elde edilen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisini gösteren eğrilerden de (Şekil 5'de görüldüğü gibi) planlanan hazne hacmi

$55 \cdot 10^6$ m³ ve %72 düzenleme oranında ihtiyacı karşılayamama olasılığı %0 dır. Moran olasılık matris yöntemi planlanan değerleri yakalamıştır.

Moran Olasılık Matris yöntemi günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle uygulaması daha kolay hale gelmiştir. Hazne hacmi hesaplarında yıllık veriler kullanılarak Moran Olasılık Matris yöntemi daha doğru sonuçlar verdiği için son tasarım aşamasında daha fazla tercih edilmelidir.

Kaynaklar

- (1) Aksoy, H.; 2001. Storage Capacity for River Reservoirs by Wavelet-Based Generation of Sequent-Peak Algorithm. *Water Resources Management* **15**: 423-437.
- (2) Bacanlı, Ü.; Özkul, S., Baran, T.; 2003. Dicle Havzası Botan Çayı Örneğinde Farklı Yöntemlerle Biriktirme Haznelerinin Tasarımı. İzmir, *I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, 389 – 401.
- (3) Bayazıt, M.; 1982. Ideal reservoir capacity as a function of yield and risk. *Journal of Hydrology*, **58**: 1-9.
- (4) Bayazıt, M.; 1997. “Biriktirme Haznelerinin Tasarımı ve İşletilmesi” İ.T.Ü. 200 s.
- (5) Bayazıt, M., Bulu, A.; 1991. Generalized probability distribution of reservoir capacity. *Journal of Hydrology*, **126**: 195-205.
- (6) DSİ (1987). Tavas Projesi Planlama Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, XXI. Bölge Müdürlüğü, ydın.
- (7) Dearlove, R.E. and Haris, R.A., 1965. Probability of emptiness III. In Proc. Reservoir Yield Symposium. (Water Resources Association).
- (8) Doron, D. G., 1975. An Efficient transition definition for discrete state reservoir analysis: The divided interval technique. *Water Resources Research*, **11(6)**: 867-873.

- (9) EİE (2003): Su Yılları Akım Neticeleri (1938-2000), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- (10) Haris, R. A., 1965. Probability of reservoir yield failure using Moran's steady state probability method and Gould's probability routing method. *Journal of the Institution of Water Engineers*, **19**: 302.
- (11) Jarvis, C.L., 1964. Application of Moran's theory of dams to the Ord River Project. *Journal of Hydrology*, **2**: 232.
- (12) Lloyd, E. H., 1963. A probability theory of reservoirs with serially correlated inputs. *Journal of Hydrology*, **1(2)**: 99-128.
- (13) Lloyd, E. H. and Odoom, S., 1964. Probability theory of reservoirs with seasonal input. *Journal of Hydrology*, **2**: 1.
- (14) Moran, P.A.P., 1955. A probability theory of dam and storage systems: modifications of the release rules. *Australian Journal of Applied Science*, **6**: 117.
- (15) McMahan, T. A.; Mein, R.G.; 1986. "River and Reservoir Yield", Elsevier, 367 pp.
- (16) Oğuz, B.; Bayazıt, M., 1991. Statistical properties of the critical period. *Journal of Hydrology*, **126**: 183–194.
- (17) Rao, Z.; Moore, I. N.; O'Connell, P. E. and Jamieson, D. G.; 2001. An Interactive Management System for Operational Control of Kirazdere Reservoir (Turkey). *Water Resources Management*, **15**: 223-234.
- (18) Roesner, L.A. and Yevjevich, V.M., 1966. Mathematical models for time series of monthly precipitation and monthly runoff. *Hydrology Paper 15*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- (19) Venetis, C., 1969. A stochastic model of monthly storage. *Water Resources Research*, **5(3)**: 729.