



KRİTİK DÖNEM YÖNTEMLERİ İLE HAZNE HACMİNİN BELİRLENMESİ
(DETERMINATION OF RESERVOIR CAPACITY WITH CRITICAL PERIOD
METHODS)

Erkan HALDEN*, Sevinç ÖZKUL**

ÖZET/ABSTRACT

Bir akarsudan çevrilmesi gereken su, doğal akış miktarını aştığında, artan talep ancak başka bir su kaynağından (yani yeraltısuyu) ya da yüzeysel bir biriktirme haznesinden sağlanabilir. Çoğu durumda da uygun çözüm, tek bir haznenin oluşturulması ve artan ihtiyaca bağlı olarak yeni haznelerin ilave edilmesidir. 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 $25.42 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ hacimli bir baraj projesi nedeniyle, Yiğitler alt havzası uygulama alanı olarak seçilmiş ve tek biriktirme haznesi için kapasite-verim-risk ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, Gediz havzası Yiğitler çayı üzerinde bulunan EİE-Yiğitler (525) akım gözlem istasyonunda gözlenmiş 19 yıllık (1976–1994) aylık ve yıllık ortalama akım verileri kullanılarak, eklenik akımlar, eklenik farklar, ardışık tepeler, minimum akım, Alexander, Dincer, Gould Gamma ve aylık su bütçesi yöntemleri ile hazne kapasitesi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Yiğitler Barajının planlanan hazne kapasitesi ile karşılaştırılarak irdelenmiştir.

When the required diversion rate from a river exceeds the natural flow rate, the excess demand can only be met from an alternative supply (e.g. 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 such factors as the magnitude and the variability of the river flows, the size of the demand, and the degree of reliability of this demand being met.

A large number of procedures have been proposed to estimate storage requirements. In the presented study, reservoir capacity-yield-reliability relationships are investigated for a single reservoir by using monthly and annual mean flow data of EIE-Yiğitler (525) streamgauging station on Yiğitler Creek in Gediz Basin. This data is observed for a period of 19 years between 1976 and 1994. The reason why the Yiğitler sub-basin has been selected is that there is a dam project with a capacity of $25.42 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ planned by DSİ. The required reservoir capacity is estimated by using mass curve, residual mass curve, minimum flow, Alexander, Dincer, Gould's Gamma, and behaviour analysis methods, and the obtained results are compared with the planned reservoir capacity of Yiğitler Dam.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Düşük akım hidrolojisi, Kritik dönem, Hazne kapasitesi-Verim-Risk ilişkisi, Yiğitler çayı
Low flow hydrology, Critical period, Reservoir capacity-Yield-Reliability relationships, Yiğitler creek

* Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Ens., İnciraltı, İZMİR

** Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl., Tınaztepe Kampüsü, Buca, İZMİR

1. GİRİŞ

Göller, hazneler ve akarsularda depolanan su, dünyadaki kullanılabilir suyun %1'inin yarısından daha az olmasına karşın, kolay erişilebilirliği ve yenilenebilirliği bu kaynağı insanoğlunun ihtiyaçlarının karşılanmasında en önemli kaynaklardan birisi haline getirmektedir. Eğer akarsu rejimleri zamana bağlı olarak değişmeseydi, bu yüzeysel su kaynaklarının yönetimi son derece kolay olur ve yalnızca mevcut suyun rekabet halindeki çeşitli ihtiyaçlar arasında paylaşımı ile ilgili kararlar verilmesi gerekirdi. Oysa gerçekte, akarsu rejimleri değişken yapıdadır ve değişkenlikleri dünyanın çoğu bölgesinde son derece fazladır. Bu nedenle, su kaynakları planlanması son derece karmaşık hale gelmektedir.

Su kaynakları gelişiminin ilk kademesi, düşük miktarlardaki ihtiyacın doğrudan akarsuyun doğal akışından karşılanmasıdır. Akarsudan sağlanması gereken su miktarının akarsuyun minimum akımından daha büyük olması halinde, aradaki farkın bir haznedeki karşılanması gerekir. Başlangıçta tek bir haznenin oluşturulması ve talepteki artışa bağlı olarak zaman içerisinde gerekirse diğer haznelerin sisteme ilave edilmesi çoğu kez uygun bir çözüm olmaktadır.

2. HAZNE HACMİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Su kaynakları planlamasında, çok sayıda baraj yeri seçeneğinin, gerek topoğrafya, jeolojik yapı ve inşaa gereksinimleri, gerekse hidrolojik açıdan araştırılması gerekir. Bu tür çalışmalarda, hidrolojik açıdan bir ön değerlendirme yapabilmek ve hazne hacmi ile verim arasındaki ilişkiyi tahmin edebilmek için çabuk sonuç elde edilebilen ve oldukça basit yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu amaçla kullanılacak yöntemler “*ön tasarım*” yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemlerde genellikle ihtiyaçların zamanla değişiminin sabit kabul edilmesi, buharlaşma ve sedimantasyon kayıplarının ihmal edilmesi, ihtiyacın karşılanamaması riskinin ve akımlardaki mevsimselliğin göz önüne alınmaması gibi basitleştirici kabuller yapılmaktadır. Ön tasarım yöntemlerinde, uygulamayı kolaylaştırmak amacıyla yapılan söz konusu kabuller sonuçların hassasiyetini azalmaktadır.

Ön tasarım yöntemleri kullanılarak uygun olmayan baraj yeri seçenekleri elendikten sonra, geriye kalan az sayıdaki seçeneğin bir “*kesin tasarım*” yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi gerekir. Bu yöntemler, genellikle hazne hacmini etkileyebilecek faktörlerin tümünü ya da çoğunu dikkate almaları nedeniyle daha karmaşıktır. Bu yöntemlerde, akım özellikleri, talepteki mevsimsel değişimler, suyun kısıtlı verilmesi olasılığı, buharlaşmanın etkileri ve ihtiyacın karşılanamama olasılığı gerçekçi olarak ele alınmaktadır.

Akarsudan belirli bir ihtiyacı karşılamak üzere oluşturulması gereken hazne hacmi; gelen akımın miktarı ve değişkenliğine, elde edilmek istenen su miktarına ve bu ihtiyacın karşılanmasındaki güvenilirlik derecesine bağlıdır. Literatürde hazne hacminin tahminine yönelik çok sayıda yöntem önerilmektedir.

Yukarıda amaca bağlı olarak iki gruba ayrılan bu yöntemler, teorik olarak üç kısma ayrılmasına karşın, bu gruplar 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) 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. Bu noktada, belirli bir dağılımın uygunluğunun

öngörüldüğü ve riskin de ifade edilebildiği Alexander, Dinçer, Gould Gamma gibi yöntemler uygulama alanı bulmaktadır (McMahon ve Mein, 1986).

“Moran hazne teorisi”ni temel alan yöntemler ikinci grupta yer almaktadır. “Olasılık Matrisi yöntemleri”, bu grubun önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Ön tasarım aşamasında kullanılacak Mc Mahon tarafından geliştirilen ampirik denklem ve Hardison tarafından çeşitli dağılımlar için geliştirilen abaklar yardımıyla hazne hacminin tayini bu grubun örnekleri arasında sayılabilir. Gould tarafından modifiye edilen olasılık matris yöntemi ise son tasarım aşamasında kullanılacak etkin bir yöntem olarak göze çarpmaktadır (McMahon ve Mein, 1986).

Üçüncü grup ise “sentetik veri kullanımını temel alan yöntemler”den 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.

Çalışmada, pratikte daha yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle, yukarıda belirtilen yöntem gruplarından yalnızca kritik dönem yaklaşımlarının uygulaması gerçekleştirilmiştir.

3. UYGULAMA HAVZASI

Türkiye’nin batısında Yiğitler ve Armutlu kasabalarının yakınında yer alan Yiğitler çayı Gediz nehrinin en büyük kolu olan Nif çayının bir parçasıdır. Bölgedeki yıllık net buharlaşma miktarı 630.5 mm olup, yıllık ortalama yağış ise 1078 mm mertebesindedir. EİE tarafından işletilen ve 64 km²’lik bir yağış alanına sahip olan 525 nolu Yiğitler akım gözlem istasyonuna ait 1976-1994 yılları arasında gözlenmiş akım verilerinin temel istatistiksel özellikleri Çizelge 1’de verilmektedir (EİE, 1976-1994).

Çizelge 1. Yiğitler akım gözlem istasyonunun 1976-1994 yılları arasında 19 yıl süre ile gözlenmiş akım verilerinin temel istatistiksel özellikleri

İstatistiksel Özellikler	Aylık		Yıllık		Toplam Akış Hacmi (10 ⁶ m ³)
	Ortalama Akım (m ³ /sn)	Ortalama Akış Hacmi (10 ⁶ m ³)	Ortalama Akım (m ³ /sn)	Ortalama Akış Hacmi (10 ⁶ m ³)	
Ortalama (μ)	0.80	2.08	0.80	2.08	24.99
Standart Sapma (σ)	1.08	2.79	0.44	1.14	13.61
Çarpıklık Katsayısı (C _s)	4,25		1.48		
Değişkenlik Katsayısı (C _v)	1.34		0.55		
Otokorelasyon Katsayısı (r ₁)	0,44		0.43		

Yiğitler istasyonunda gözlenmiş yıllık verilerin χ^2 (Ki-kare) testiyle yapılan dağılım sınavında, %5 anlamlılık seviyesinde, Normal ve Gamma(3) dağılımlarının uygun olduğu belirlenmiştir.

DSİ tarafından havzada içme ve sulama suyu temini amacıyla 98 m yüksekliğinde, 25,42.10⁶ m³ aktif hazne hacmine sahip bir kaya dolgu baraj yapılması planlanmaktadır. Sağlanacak 15,62.10⁶ m³/yıl miktarındaki su, Kemalpaşa Organize Sanayi Bölgesinin kullanma ve 1325 ha’lık alanın sulama suyu ihtiyacını karşılamak üzere eşit olarak dağıtılacaktır. Yiğitler barajının minimum su seviyesi 219 m, bu seviyeye karşılık gelen

minimum hacim ise $1,1.10^6 \text{ m}^3$ 'tür. Hazne düzenleme oranı, baraj alanının topoğrafik özellikleri ve civarındaki işlenebilir tarım arazileri nedeniyle, % 63 olarak alınmıştır (DSİ, 1994).

Çalışmada, daha önce de belirtildiği gibi, literatürde yer alan ön ve kesin tasarım aşamasında kullanılan kritik dönem yöntemleri yardımıyla gerekli depolama hacminin belirlenmesi ve Yiğitler barajının planlanan hazne hacminin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, yöntemlerin uygulanmasında barajın planlama kriterleri esas alınmıştır. Ayrıca, yöntemler farklı düzenleme oranları ve ihtiyacı karşılayamama olasılıkları için uygulanarak bu faktörlerin belirlenecek hazne hacmine etkileri araştırılmıştır.

4. HAZNE HACMİNİN BELİRLENMESİ

4.1. Ön Tasarım Yöntemleri

4.1.1. Eklenik Akımlar (Rippl) Yöntemi

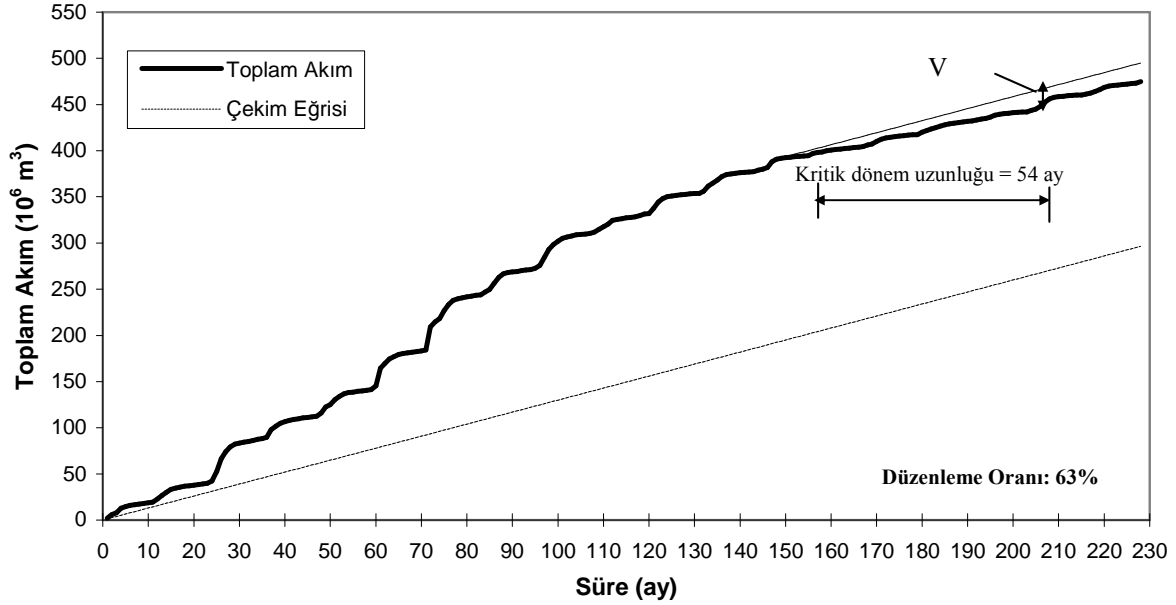
Ampirik yöntemler arasında en eskisi ve en çok kullanılanı toplam debi çizgisine dayanan Rippl yöntemidir. Aylık (veya yıllık) akımları kullanarak toplam debi çizgisi çizilir. Yöntemde tam veya kısmi düzenleme yapılabilir. Belli bir çekimi sürekli olarak sağlamak için gerekli hazne kapasitesini belirlerken toplam debi çizgisine düzenleme oranına karşı gelen eğimde teğetler çizilir. Çizgiye yukarıdan değen bir teğet haznenin dolu olduğu bir noktayı gösterir. Böyle bir noktadaki teğetle daha sonraki bir anda çizgiye aşağıdan değen bir teğet arasındaki düşey uzaklık gerekli hazne kapasitesini verir. Toplam debi çizgisi boyunca bu şekilde birden fazla teğet çifti varsa bu çiftlerin arasındaki düşey uzaklıkların en büyüğü, gözlem süresindeki kritik kurak dönemi aşmak için gerekli kapasite ve yatay ekseninde belirlenen süre ise kritik dönem uzunluğudur. Yöntemdeki kabuller, haznenin kritik dönemin başında dolu olduğu, ihtiyaçların üniform olarak karşılandığı ve gelecekte mevcut verilerle gözlenenenden daha büyük bir kurak dönemin yaşanmayacağıdır. Buharlaşma kayıplarının dikkate alınmaması, belirlenen hazne hacminin mevcut veri uzunluğuyla orantılı olarak artması ve belirlenen hacmin ihtiyacı karşılayamama olasılığının belirlenememesi yöntemin en büyük sakıncalarıdır. Avantajları ise, yöntemin basit ve anlaşılır olması, gözlenen akım değerleri aynen kullanıldığından mevsimsellik, içsel bağımlılık gibi akım özelliklerinin göz önünde bulundurulmasıdır (Bayazıt, 1997; McMahan ve Mein, 1986).

Yiğitler istasyonuna ait 19 yıl süreli aylık akış hacimleri kullanılarak %63 düzenleme oranı $(2,08.10^6 \times 0,63 = 1,31.10^6 \text{ m}^3/\text{ay})$ için elde edilen eklenik akım ve çekim eğrileri Şekil 1'de sunulmaktadır. Buradan gerekli hazne kapasitesi $20,4.10^6 \text{ m}^3$, kritik dönem uzunluğu ise 54 ay olarak belirlenmiştir. %75 düzenleme oranı için ise gerekli hazne kapasitesi $34,8.10^6 \text{ m}^3$, kritik dönem uzunluğu ise 56 aydır. Haznenin toplam süre içerisinde bir kez yetersiz kalma olasılığı, N toplam veri uzunluğu olmak üzere, $P=0,6/(N+0,2)$ bağıntısından %3 olarak hesaplanabilir.

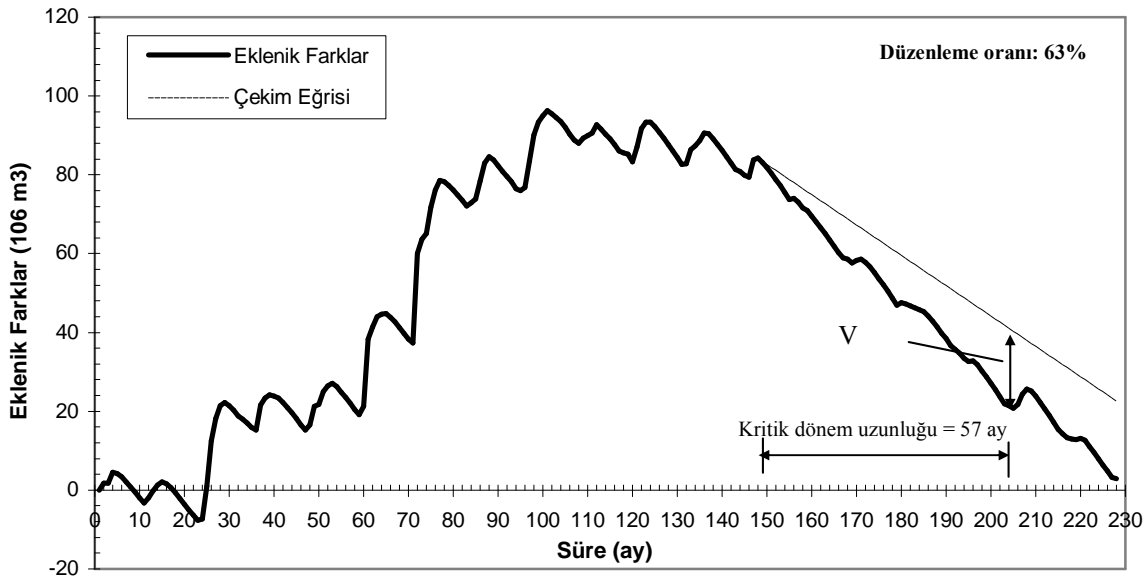
4.1.2. Eklenik Farklar Yöntemi

Eklenik farklar yöntemi, Rippl yönteminin biraz daha karışık versiyonudur ancak grafik ölçek olarak daha uygundur. Her bir akım verisinden ve çekim değerinden ortalama akımlar çıkartılarak farklar elde edilir. Daha sonra bu farkların eklenik değerleri çizilir. Çekim ve eklenik fark eğrisi arasındaki en büyük ölçüm, hazne hacmini vermektedir (Bayazıt, 1997; McMahan ve Mein, 1986).

Yiğitler istasyonu aylık akım verileri için eklenik fark ve çekim ($1,31 \cdot 10^6 - 2,08 \cdot 10^6 = -0,77 \cdot 10^6$ m³/ay) eğrileri Şekil 2’de sunulmaktadır. Hazne hacmi % 63 düzenleme oranı için $19,6 \cdot 10^6$ m³, % 75 düzenleme oranı için ise $33,6 \cdot 10^6$ m³ olarak belirlenmiştir. Her iki düzenleme oranında da kritik dönem uzunluğu 57 ay, haznenin yetersiz kalma olasılığı % 3’tür.



Şekil 1. Eklenik akımlar yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi



Şekil 2. Eklenik farklar yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi

4.1.3. Ardışık Tepeler Yöntemi

Ardışık tepeler algoritması Thomas tarafından geliştirilmiştir (Thomas ve Burden, 1963). Yöntem, genel anlamda eklenik akımlar yönteminin analitik çözümü olarak tanımlanabilir. Temel farklılık, orijinal veri dizisinin ardışık olarak iki kez eklenerek işlemlerin yapılmasıdır. Özellikle mevcut gözlemlerin akımların azaldığı (kurak) bir dönemde sona ermesi halinde,

daha uzun bir kurak dönemde bile ihtiyacı güvenle karşılayabilecek, klasik eklenik hacimler yöntemiyle belirlenenden daha büyük bir hacim saptanabilmektedir.

Yöntemin uygulanmasında, öncelikle eklenik akım-çekim farkları hesaplanmaktadır. En büyük ilk değer (H1) ile bundan sonra gelen daha büyük ikinci değer (H2) ve bu ikisinin arasındaki bölgede yer alan en küçük değerler (T1) işaretlenmektedir. (H1-T1) farkı bir hacim olarak not edilmektedir. İşleme tüm veriler tamamlanıncaya kadar bu şekilde devam edilmekte ve (H-T) farklarının en büyüğü gerekli hazne hacmi olarak alınmaktadır.

Sunulan çalışmada, Yiğitler istasyonundaki aylık 19 yıl süreli (1976-1994) akım verileri dikkate alınarak ardışık tepeler yöntemi ile, biriktirme hazne hacmi kapasitesi % 63 ve % 75 düzenleme oranları için sırasıyla $20,16.10^6 \text{ m}^3$ ve $40,35.10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bu hacimdeki bir haznenin yetersiz kalma olasılığı %3'tür.

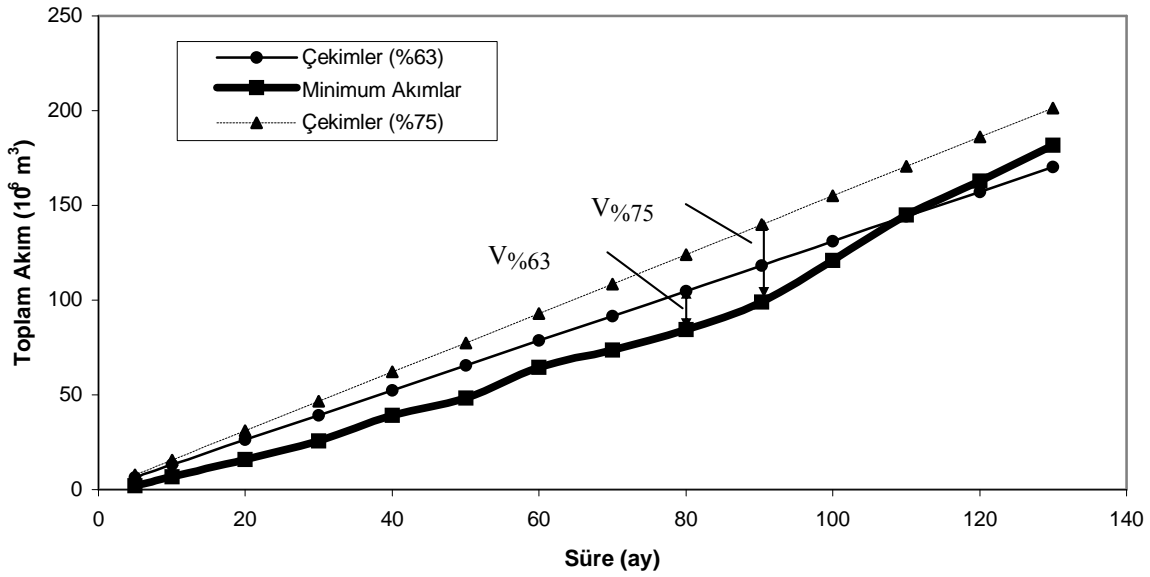
4.1.4. Minimum Akımlar Yöntemi

Minimum akımlar yöntemi ile yıllar arası düzenleme yapmak için gerekli kapasiteyi belirlerken önce akım gözlemlerinden en küçük 5, 10, 20, ... aylık toplam akımlar bulunur. Bulunan değerler zaman ekseninde sırasıyla 5, 10, 20, aya karşı gelecek şekilde noktalanarak minimum akımlar (kuraklık) eğrisi elde edilir. Bu doğru ile çekim eğrisi arasındaki en büyük düşey uzaklık hazne kapasitesi olarak belirlenir (Bayazıt, 1997; McMahon ve Mein, 1986).

Yiğitler istasyonu verileriyle önce 5, 10, 20, ..., 100 aylık sürelerdeki toplam minimum akımlar belirlenmiş; sabit aylık çekim miktarı % 63 ve % 75 düzenleme oranı için $1,31.10^6 \text{ m}^3$ ve $1,56.10^6 \text{ m}^3$ olarak alınmış; hesaplamalar Çizelge 2 ve Şekil 3'te sunulmuştur. Minimum akım yöntemine göre gerekli hazne hacmi kapasitesi, % 63 ve % 75 düzenleme oranları için sırasıyla, $20,50.10^6 \text{ m}^3$ ve $40,35.10^6 \text{ m}^3$; kritik dönem uzunluğu 80 ay ve 90 ay olarak belirlenmiştir. Haznenin yetersiz kalma olasılığı ise % 3'tür.

Çizelge 2. Minimum akımların hesaplanması

Süre (ay)	Minimum Akımlar (10^6 m^3)	Çekimler (%63) (10^6 m^3)	Hazne Kapasitesi (10^6 m^3)	Çekimler (%75) (10^6 m^3)	Hazne Kapasitesi (10^6 m^3)
5	1,91	6,55	4,64	7,75	5,84
10	6,64	13,10	6,46	15,50	8,86
20	15,81	26,20	10,39	31,00	15,19
30	25,82	39,30	13,48	46,50	20,68
40	39,22	52,40	13,18	62,00	22,78
50	48,18	65,50	17,32	77,50	29,32
60	64,45	78,60	14,15	93,00	28,55
70	73,64	91,70	18,06	108,50	34,86
80	84,30	104,80	20,50	124,00	39,70
90	99,15	117,90	18,75	139,50	40,35
100	120,97	131,00	10,03	155,00	34,03
110	144,86	144,10	-0,76	170,50	25,64



Şekil 3. Minimum akımlar yöntemi ile hazne kapasitesinin belirlenmesi

4.1.5. Alexander Yöntemi

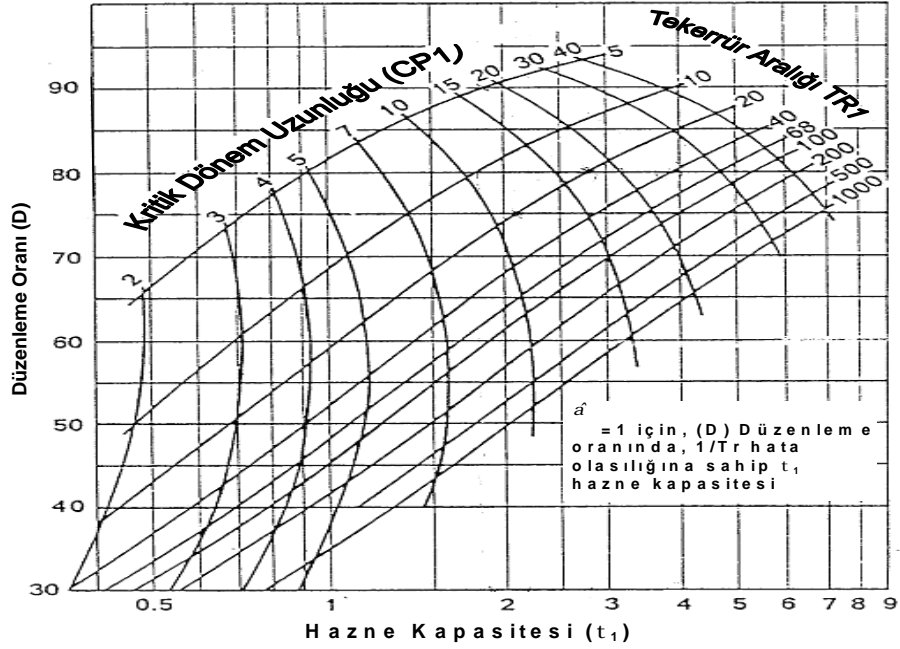
Alexander yöntemi, minimum akım yaklaşımının farklı bir uygulamasıdır. Yıllık akımların kullanıldığı yöntemde, akımların bağımsız ve Gamma dağılımlı olduğu kabulü yapılmaktadır. Boyutlandırmada, farklı tekerrür aralıkları, kritik dönem uzunlukları ve düzenleme oranları için elde edilmiş eğrilerin yer aldığı abaktan yararlanılmaktadır (Alexander, 1962). Yıllık akımların Gamma dağılımı parametreleri (a , şekil; b , ölçek parametresi) hesaplanmakta, belirli bir tekerrür süresi (T_r) ve düzenleme oranı (D) için Şekil 4'te verilen abaktan kritik dönem uzunluğu (CP_1) ve hazne kapasitesi (τ_1) belirlenmektedir. Abak $a=1$ değeri için oluşturulduğundan, daha sonra bulunan değerler,

$$\text{Hazne Kapasitesi } C = t_1 / \hat{a} * m \quad (1)$$

$$\text{Kritik dönem uzunluğu } CP = CP_1 / \hat{a} \quad (2)$$

bağıntıları yardımıyla düzeltilmektedir. Yöntemin uygulanması basit ve hızlıdır. Gamma dağılımlı ($C_s \approx 2C_v$) veriler kullanılması halinde, ilk tasarım hesaplamaları için yeterli güvenilirlikte sonuçlar vermektedir (McMahon ve Mein, 1986).

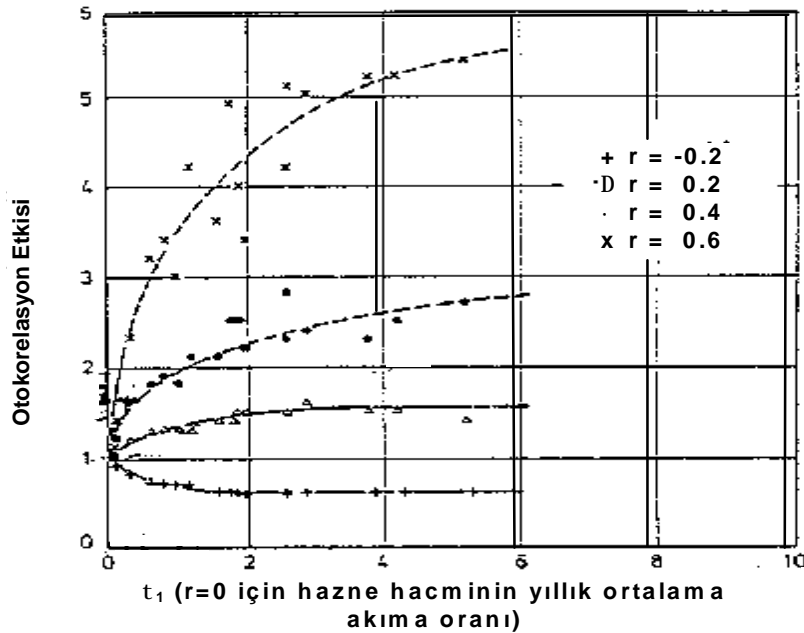
Yığıtler istasyonu yıllık toplam akım verilerinin χ^2 (Ki kare) testi ile Gamma dağılımlı olduğu belirlenmiş ve \hat{a} (Gamma dağılımı şekil parametresi)=4,22 olarak hesaplanmıştır. Çeşitli düzenleme oranları ve tekerrürler için hesaplanan değerler Çizelge 3'de verilmiştir. Örneğin, $D = \%63$ düzenleme oranı için $T_r=33$ yıl ($p=\%3$) tekerrürlü hazne hacmini belirlemek üzere Şekil 4'den $CP_1=6$ yıl ve $\tau_1=1.4$ değerleri elde edilmiştir. Bulunan değerler $\hat{a}=1$ içindir. \hat{a} , Gamma dağılımı şekil parametresi ve içsel bağımlılık etkisi için düzeltme yapılarak, hazne kapasitesi $10,63 \cdot 10^6 \text{ m}^3$; kritik dönem uzunluğu 16 ay olarak bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil 4. Alexander'in hazne kapasitesi-düzenleme oranı-olasılık abağı (McMahon ve Mein, 1986)

Çizelge 3. Alexander yöntemi ile çeşitli düzenleme oranları ve tekerrür süreleri için belirlenen hazne hacimleri ve kritik dönem uzunlukları

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılayamama Olasılığı (%)	Tekerrür Süresi (Tr) (yıl)	t ₁	Hesaplanan Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)	İşsel Bağımlılık Etkisi Katsayısı	Gerekli Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)	CP ₁ (yıl)	Kritik Dönem Uzunluğu (ay)
63	5	20	1,2	6,38	1,61	9,12	5	13
	3	33,3	1,4	7,44	1,43	10,63	6	16
75	5	20	2,1	11,16	1,65	18,41	12	30
	3	33,3	2,6	13,82	1,67	23,08	14	36



Şekil 5. % 70 düzenleme oranı için yıllık dizilerdeki işsel bağımlılığın hazne kapasitesine etkisi

4.1.6. Dinçer Yöntemi

Dinçer yöntemi Alexander yöntemiyle benzerdir. Aralarındaki fark, yıllık akımların normal dağılımlı kabul edilmesidir. Hazne kapasitesi ve kritik dönem uzunlukları sırasıyla;

$$C = m(z_p^2 / 4(1-D)) C_v^2 \quad (3)$$

$$CP = (z_p^2 / 4(1-D)^2) C_v^2 \quad (4)$$

bağıntılarından hesaplanır. Burada C, hazne kapasitesini; C_v , değişkenlik katsayısını; z_p , % p olasılıklı standardize normal değişkeni; D, düzenleme oranını ve μ , ortalama akımı ifade etmektedir (McMahon ve Mein, 1986).

Yiğitler istasyonu yıllık akım verileri ($\mu=24,99.10^6 \text{ m}^3$, $C_v=0,55$) ile çeşitli düzenleme oranları ve tekerrürler için hesaplanan değerler Çizelge 4'de verilmiştir. Hesaplanan hacimler içsel bağımlılık etkisi için Şekil 5'e göre düzeltilmiştir. %63 düzenleme oranı için, $p=3$ olasılıklı biriktirme haznesi hacmi $33,58.10^6 \text{ m}^3$ ve kritik dönem uzunluğu 23 ay olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. Dinçer yöntemi ile çeşitli düzenleme oranları ve tekerrür süreleri için belirlenen hazne hacimleri ve kritik dönem uzunlukları

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılama Olasılığı (%)	z_p	Hesaplanan Hazne Hacmi (10^6 m^3)	İçsel Bağımlılık Etkisi Katsayısı	Gerekli Hazne Hacmi (10^6 m^3)	Kritik Dönem Uzunluğu (ay)
63	5	1,64	13,24	1,83	24,22	17
	3	1,88	17,40	1,93	33,58	23
75	5	1,64	19,59	1,80	35,26	37
	3	1,88	25,75	1,93	49,69	49

4.1.7. Gould'un Gamma Yöntemi

Gould'un Gamma yöntemi, Alexander ve Dinçer yöntemlerinin birlikte uygulaması şeklinde tanımlanabilir. Normal dağılımın parametreleri daha kolay hesaplanabilmekte, buna karşın, gamma dağılımı yıllık verilere daha iyi uymaktadır (Gould, 1964). Hesaplamalarda normal dağılım parametreleri kullanılmakta, daha sonra hazne hacmi, Gamma dağılımına uygunluğu sağlamak üzere;

$$t = (z_p^2 / (4(1-D)) - d) C_v^2 \quad C = m t \quad (5)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Burada C, hazne kapasitesini; C_v , değişkenlik katsayısını; z_p , p% olasılıklı standardize normal değişkeni; D, düzenleme oranını; μ , ortalama akımı ifade etmektedir. d, Gould tarafından önerilen düzeltme faktörü olup, Çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 5. Gould tarafından verilen düzeltme faktörü

P, altında kalma olasılığı (%)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
D	1.5	1.1	0.9	0.8	0.6

Gould'un Gamma Yöntemi ile, Yiğitler istasyonu yıllık akım verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da verilmektedir. %63 düzenleme oranı için $p=0,3$ olasılıklı biriktirme haznesi hacmi $16,58.10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6. Gould'un Gamma yöntemi ile çeşitli düzenleme oranları ve tekrür süreleri için belirlenen hazne hacimleri ve kritik dönem uzunlukları

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılama Olasılığı (%)	Z_p	d	t	Hesaplanan Hazne Hacmi (10^6 m^3)	İçsel Bağımlılık Etkisi Katsayısı	Gerekli Hazne Hacmi (10^6 m^3)
63	5	1,64	0,6	0,35	8,74	1,38	12,06
	3	1,88	0,9	0,43	10,84	1,53	16,58
75	5	1,64	0,6	0,6	15	1,65	24,75
	3	1,88	0,9	0,77	19,19	1,81	34,73

4.2. Kesin Tasarım Yöntemleri

4.2.1. Aylık Su Bütçesi Yöntemi

Aylık su bütçesi metodunda, haznenin başlangıçta tam dolu olduğu kabulü yapılarak belirli bir hazne hacmi (C) seçilir. Hazne hacmi $0 \leq Z_{t+1} \leq C$ arasında kalacak şekilde (sonlu hazne hacmi kabulüyle) kütlenin korunumu prensibi uygulanarak, her ay sonundaki hacim;

$$Z_{t+1} = Z_t + Q_t - D_t - \Delta E_t - L_t \quad (6)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada, Z_{t+1} , t zaman periyodunun sonundaki depolama hacmini; Z_t , t zaman periyodunun başındaki depolama hacmini; Q_t , t zaman periyodu süresince giren akımları; D_t , t zaman periyodu süresindeki kullanımları; ΔE_t , t zaman periyodu süresince gerçekleşen net buharlaşma kaybını, L_t , diğer kayıpları ve C, aktif depolama hacmini temsil etmektedir.

Hazne hacminin 0'a düştüğü ay sayısı toplam veri sayısına bölünerek haznenin boş kalma olasılığı hesaplanır. Öngörülen olasılık değeri elde edilinceye kadar, başlangıçta seçilen hazne hacmi değiştirilerek işlemlere devam edilir. Mevcut veri dizisi süresince haznenin yalnızca bir kez boş kalması olasılığı için bulunan hazne hacmi, eklenik akımlar yöntemi kullanarak bulunan hacimle aynı olacaktır (Bayazit, 1997; McMahon ve Mein, 1986).

Bu çalışmada aylık su bütçesi yöntemi iki farklı şekilde uygulanmıştır.

Birinci Uygulama: Aylık su bütçesi çalışması, elde edilen sonuçların eklenik akımlar, eklenik farklar, ardışık tepeler, minimum akımlar gibi ön tasarım aşamasında kullanılan yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için, buharlaşma kayıpları ihmal edilerek ve ihtiyaçlar da aylık $1,3.10^6 \text{ m}^3$ ($0,65.10^6 \text{ m}^3$ sulama, $0,65.10^6 \text{ m}^3$ kullanma suyu) sabit değer alınarak uygulanmıştır.

İkinci Uygulama: Yiğitler barajının planlanan hacminin irdelenebilmesi amacıyla, baraj planlama kriterleri esas alınmıştır. Proje bölgesindeki aylık ortalama buharlaşma değerleri bölgede yer alan 4 meteoroloji istasyonunun verilerinden yararlanarak elde edilmiştir. Proje raporunda belirtildiği şekilde, kullanma suyu ihtiyacı aylık üniform (toplam $7,81.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$), sulama suyu ihtiyacı ise sulama mevsimindeki aylar (Nisan-Eylül) içerisinde değişken (toplam $7,81.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) olmak üzere dikkate alınmıştır. Yöntemin uygulanmasında Yiğitler Barajı için düşünülen %63 değerindeki düzenleme oranı kullanılmış ve ihtiyacı

karşılayamama olasılığı %3 olarak dikkate alınmıştır. Aylık su bütçesi yönteminin ikinci tür uygulamasında kullanılan veriler Çizelge 7’de özetlenmiştir.

Ayrıca, hazne kapasitesi-verim-risk arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek üzere, çeşitli düzenleme oranları ve riskler gözönüne alınarak gerekli hazne hacimleri belirlenmiştir.

Yöntemin Yiğitler istasyonu aylık akım verileri kullanılarak yapılan birinci uygulamasında (buh.=0, sabit aylık çekim) elde edilen sonuçlar Çizelge 8’de, buharlaşma kayıpları ve değişken su kullanımları dikkate alınan ikinci uygulamasına ait sonuçlar ise Çizelge 9’da görülmektedir. Çizelge 9’a göre, %63 düzenleme oranı için, ihtiyacı karşılayamama olasılığı %3 olan gerekli hazne hacmi 22.10^6 m^3 tür. Düzenleme oranı %75 olarak alındığında ise gerekli hazne hacmi 42.10^6 m^3 olmaktadır. Her iki düzenleme oranı için, ihtiyacı karşılayamama olasılığı %5’e artırıldığında gerekli hazne hacimleri sırasıyla, 18.10^6 m^3 ve 36.10^6 m^3 ’e düşmektedir.

Düzenleme oranları ve ihtiyacı karşılayamama olasılıklarının çeşitli kombinasyonları için aylık su bütçesi yönteminin uygulanması ile elde edilen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisini gösteren eğriler Şekil 6’da görülmektedir. Bu eğriler, belirli bir düzenleme oranı için, öngörülen bir ihtiyacı karşılayamama olasılığına sahip hazne hacminin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, belirli bir risk ve düzenleme oranı gözönüne alınarak planlanmış bir haznede, ihtiyacın zaman içinde artması halinde, mevcut hazne hacminin o dönemdeki ihtiyacı karşılayamama olasılığının belirlenmesinde de bu eğrilerden yararlanılabilmektedir.

Çizelge 7. Aylık su bütçesi yönteminin ikinci uygulamasında kullanılan ihtiyaç ve buharlaşmalar

Aylar	Düzenleme Oranı:% 63			Düzenleme Oranı:% 75		
	Sulama 10^6 m^3	Endüstriyel 10^6 m^3	Buharlaşma 10^6 m^3	Sulama 10^6 m^3	Endüstriyel 10^6 m^3	Buharlaşma 10^6 m^3
Ocak	0	0,65	0	0	0,78	0
Şubat	0	0,65	0	0	0,78	0
Mart	0	0,65	0	0	0,78	0
Nisan	0,03	0,65	0	0,04	0,78	0
Mayıs	0,36	0,65	0,04	0,43	0,78	0,04
Haziran	1,76	0,65	0,09	2,11	0,78	0,09
Temmuz	2,34	0,65	0,11	2,81	0,78	0,11
Ağustos	2,16	0,65	0,11	2,59	0,78	0,11
Eylül	1,1	0,65	0,07	1,32	0,78	0,07
Ekim	0,05	0,65	0	0,07	0,78	0
Kasım	0	0,65	0	0	0,78	0
Aralık	0	0,65	0	0	0,78	0

Daha önce de belirtildiği gibi, aylık su bütçesi yönteminde haznenin başlangıçta dolu olduğu kabul edilmektedir. Ancak, özellikle düşük akımların veri dizisinin ilk yıllarında gözlenmesi durumunda, bu kabul belirlenecek hazne hacmini ya da diğer bir deyişle belirli bir hacmin ihtiyacı karşılayamama olasılığını önemli derecede etkilemektedir (McMahon ve Mein, 1986). Bu nedenle, yapılan çalışmada haznenin başlangıçtaki doluluk durumunun hazne hacmine etkisi de araştırılmış, hazne başlangıçta boş kabul edilerek tekrarlanan hesaplamalarda hazne hacminin değişmediği görülmüştür. Veri dizisinin gidiş grafikleri incelendiğinde, düşük akımların veri dizisinin sonlarına doğru (yaklaşık olarak 1988 yılından sonraki dönemde) oluştuğu belirlenmiştir ve bu da hesaplamalardan elde edilen bulguyu desteklemektedir. Özetle, belirlenen hazne hacminin (veya belirli bir hacmin ihtiyacı karşılayamama olasılığının) başlangıç şartlarından etkilenmediği söylenebilir.

Çizelge 8. Aylık su bütçesi yönteminin birinci uygulamasına (buh.=0, sabit aylık çekim) ait % 63 ve % 75 düzenleme oranlarına göre hazne hacimleri ve riskler

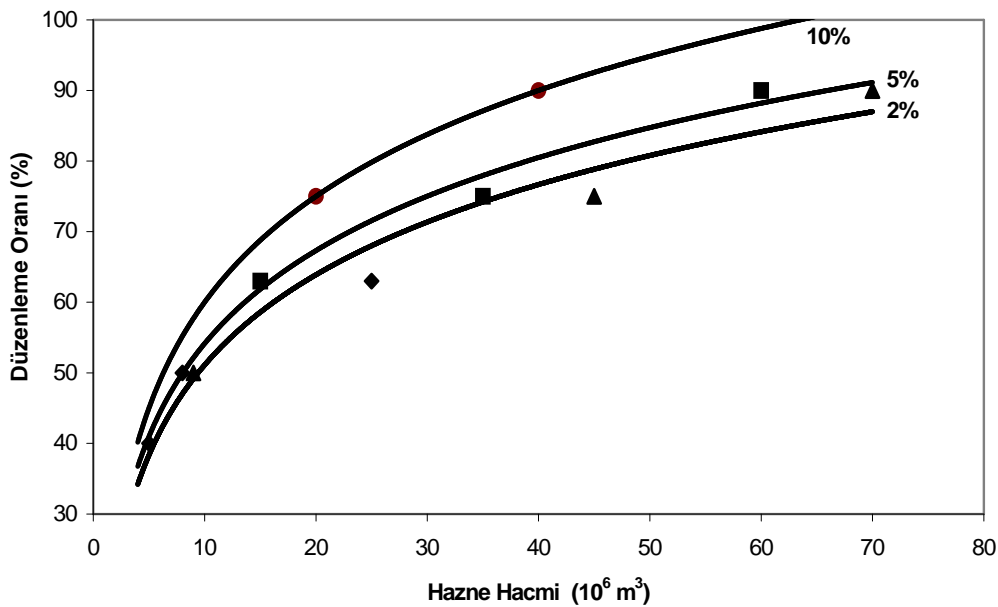
Düzenleme Oranı: %63			Düzenleme Oranı: %75		
Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)	Haznenin Boş Olduğu Ayların Sayısı	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)	Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)	Haznenin Boş Olduğu Ayların Sayısı	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)
10	17	7,50	25,42 ^(*)	21	9,20
13	13	5,70	30	15	6,60
14	12	5,30	31	14	6,10
15	9	3,90	33	12	5,30
18	3	1,32	35	8	3,50
25,42 ^(*)	0	0,00			

(*)Yiğitler Barajının planlanan hazne hacmidir.

Çizelge 9. Aylık su bütçesi yönteminin ikinci tür uygulamasına (buharlaşma kayıpları ve değişken su kullanımları) ait % 63 ve % 75 düzenleme oranlarına göre hazne hacimleri ve riskler

Düzenleme Oranı: %63			Düzenleme Oranı: %75		
Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)	Haznenin Boş Olduğu Ayların Sayısı	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)	Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)	Haznenin Boş Olduğu Ayların Sayısı	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)
5	63	27,60	10	37	16,23
10	20	8,77	15	26	11,40
15	15	6,50	20	24	10,52
18	11	4,80	25,42 ^(*)	20	9,00
20	8	3,50	30	17	7,45
22	7	3,10	36	11	4,82
24	6	2,60	40	10	4,38
25,42 ^(*)	3	1,30	42	6	2,63

(*)Yiğitler Barajının planlanan hazne hacmidir.



Şekil 6. Aylık Su Bütçesi yöntemiyle belirlenen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hazne tasarım yöntemleriyle bulunan değerler özet olarak Çizelge 10'da verilmiştir. Sunulan bu çizelgeden, yöntem seçiminin belirlenecek hazne hacmi üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Uygulanan yöntemlerin değerlendirilmesi sonucunda şu yorumları yapmak mümkündür:

Planlanan Yiğitler baraj hacmi, kritik dönem yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilen hacimlerin tümünden daha fazladır. Kesin tasarım yöntemi olarak uygulanan aylık su bütçesi (ikinci uygulama) ile bulunan hacim, planlanan hacimden % 15 daha azdır ve ihtiyacı karşılayamama olasılığı % 3'tür. $25,42.10^6$ m³'lük planlama hacmi ise % 1.3 değerinde bir ihtiyacı karşılayamama olasılığına sahiptir. Diğer bir deyişle, haznenin toplam gözlem süresindeki boş kalacağı ay sayıları sırasıyla, 22.10^6 m³ için 7 ve $25,42.10^6$ m³ için ise 3 tür. Dolayısıyla, aylık su bütçesi hacmi ile Yiğitler Barajı'nın planlama hacmi karşılaştırıldığında, barajın çok daha küçük bir risk gözönüne alınarak boyutlandırıldığı söylenebilir.

Ön tasarım aşamasında kullanılacak yöntemlerin sonuçları ile kesin tasarım aşamasında kullanılan aylık su bütçesi yöntemi (birinci uygulama) sonuçlarının karşılaştırılması halinde ise şu yorumları yapmak mümkündür:

- Hazne hacminin zamanla olan değişimini veren eklenik akımlar, eklenik farklar, ardışık tepeler ve minimum akımlar yöntemi gibi kritik dönem yaklaşımlarında, depolama hacmi ile risk arasında bir ilişki kurulamamaktadır. Ayrıca, kullanılan veri dizisinin uzunluğu arttıkça, belirlenen hazne hacmi de büyümektedir. Buharlaşma 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) göz önüne alındığında, bu yöntemlerle daha doğru tahminler yapılabilmekte ve hazne hacmi ile risk ilişkisi tanımlanabilmektedir. Ancak yıllık dizilerin 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 biraraya getiren Gould'un Gamma Yöntemi ile, özellikle yıllar arası düzenleme yapan büyük haznelerin hacim tahminleri oldukça iyi yapılabilmektedir.

Özetle, uzun süreli kritik dönemler (büyük depolamalar) için, veri dizisinin dağılımına uygun olarak seçilecek Alexander, Dinçer veya Gould'un Gamma Yöntemi ön tasarım aşamasında kullanılacak en iyi yöntemler olarak görünmektedir.

Kritik dönem yaklaşımlarından Aylık Su Bütçesi yönteminde, buharlaşma 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 etkilemektedir. Kesikli veri dizileriyle çalışmada sorunlarla karşılaşmaktadır.

Çizelge 10. Yiğitler istasyonu için farklı yöntemlerle bulunan hazne hacimleri

Yöntemler	Veri Türü	Düzenleme Oranı: % 63				Düzenleme Oranı: % 75				
		İhtiyacı Karş. Olasılığı	Hazne Kapasitesi	Kritik Dönem Uzunluğu	Düzeltilmiş Hazne Kapasitesi	İhtiyacı Karş. Olasılığı	Hazne Kapasitesi	Kritik Dönem Uzunluğu	Düzeltilmiş Hazne Kapasitesi	
		P %	C 10 ⁶ m ³	CP Ay	C 10 ⁶ m ³	P %	C 10 ⁶ m ³	CP ay	C 10 ⁶ m ³	
Ön Tasarım Yöntemleri	Eklenik Akımlar Yöntemi	Aylık	3	20,4	54			34,8	56	
	Eklenik Farklar Yöntemi	Aylık	3	19,6	57			33,6	57	
	Minimum Akımlar Yöntemi	aylık	3	20,5	80			40,35	90	
	Ardışık Tepeler Yöntemi	aylık	3	20,16			3	40,35		
	Alexander Yöntemi	yıllık	3	7,44	16	10,63	3	13,82	36	23,08
			5	6,38	13	9,12	5	11,16	30	18,41
	Dincer Yöntemi	yıllık	3	17,4	23	33,58	3	25,75	49	49,49
5			13,24	18	24,22	5	19,59	38	35,26	
Gould'un Gamma Yöntemi	yıllık	3	10,84	-	16,58	3	19,19	-	34,73	
		5	8,74	-	12,06	5	15,00	-	24,75	
Kesin T. Y. Aylık Su Bütçesi Yöntemi	1. Uyg.*	aylık	3	15			3	35		
			5	13			5	33		
	2. Uyg.**	aylık	3	22			3	42		
			5	18			5	36		

* Buh=0, sabit çekim

** Proje kriterleri

Yöntemin basitliği ve uygulama kolaylığı düşünüldüğünde Aylık Su Bütçesi yöntemi oldukça avantajlı görülmektedir. Bu nedenle, hazne hacminin çok sayıdaki sentetik veri dizileri kullanılarak belirlenmesi ve bu hacmin, orijinal veri dizisi ile çeşitli başlangıç şartları için denenmesi kaydıyla, Aylık Su Bütçesi yönteminin de kesin tasarım aşamasında güvenle kullanılabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Alexander G.N. (1962): "The Use Of The Gamma Distribution İn Estimating Regulated Output From Storages", Civil Engineering Transactions, The Institution of Engineers, Australia, 4, 29-34.
- Bayazıt M. (1997): "Biriktirme Haznelerinin Tasarımı ve İşletilmesi", İ.T.Ü. yayınları.
- DSİ (1994): "Yiğitler Barajı Fizibilite Raporu", DSİ II. Bölge Müdürlüğü, İzmir.
- EİE (1976-1994): "Su Yılları Akım Neticeleri", Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- McMahon T.A., Mein R.G. (1986): "River and Reservoir Yield", Elseiver.
- Thomas H.A., Burden R.P. (1963): "Operations Research in Water Quality Management", Harvard Water Resources Group.