

ÇİNE ÇAYI ÖRNEĞİNDE BİRİKTİRME HAZNELERİNİN TASARIMINDA FARKLI YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ülker Güner BACANLI*, Türkay BARAN**

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı/Denizli

**Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir

Geliş Tarihi : 04.03.2005

ÖZET

Biriktirme hazneleri, akarsuyun getirdiği zamana bağlı olarak sürekli değişen akım ile akımın kullanılacak 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. Biriktirme hazneleri tasarımında çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada, sanal bir biriktirme haznesi için kapasite-verim-risk ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, Büyük Menderes havzası Çine çayı üzerinde bulunan EİE-Kayırlı (701) akım gözlem istasyonunda gözlenmiş 63 yıllık (1938–2000) aylık ve yıllık ortalama akım verileri kullanılarak, minimum akım, Alexander, Dincer, Gould Gama, McMahan, Gould sentetik, aylık su bütçesi, olasılık matris yöntemleri ile hazne kapasitesi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Düşük akım hidrolojisi, Olasılık matrisi, Hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisi

DETERMINATION OF RESERVOIR CAPACITIES FOR ÇİNE CREEK USING DIFFERENT METHODS

ABSTRACT

Reservoirs are designed for decreasing the instability between the flow brought by the river which is variable in time and volume of the water required for the usage purposes of the flow (energy production, irrigation, river transportation, etc.). The storage required on a river to meet a specific demand depends primarily on three factors: 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 imaginary reservoir. For this purpose, monthly and annual mean flow data, observed for a period of 63 years between 1938-2000, of EIE-Kayırlı (701) flow gauging station on Çine Stream in Büyük Menderes Basin are used. The required reservoir capacity is tried to be estimated by using minimum flow, Alexander, Dincer, Gould's Gama, McMahan, Gould's synthetic data, behavior analysis and probability matrix methods and the obtained results are evaluated.

Key Words : Low flow hydrology, Probability matrix, Reservoir capacity-yield-reliability relationships

1. GİRİŞ

Su kaynaklarını geliştirme projelerinde, akarsudaki akımın zaman içindeki değişimini istenen şekilde düzenlenmesini sağlayan biriktirme hazneleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu haznelerin tasarımı (gerekli kapasitelerin belirlenmesi) önemli bir problemdir. Hazne kapasitesi suyun kullanılacağı amaca ve gereksinmelere olduğu kadar akarsuyun getirdiği akımlara ve haznenin işletme şekline de bağlıdır (Bayazıt, 1997).

Su kaynaklarının planlanmasında, farklı baraj yeri seçeneklerinin, gerek topografya, jeolojik yapı ve inşaa gereksinimleri, gerekse hidrolojik açıdan araştırılması gerekir. Bu tür çalışmalarda hidrolojik açıdan bir ön değerlendirme yapabilmek hazne hacmi ile verim arasındaki ilişkiyi tahmin edebilmek için basit, hızlı ve güvenilir sonuç veren yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Hazne hacminin belirlenmesinde kullanılan yöntemler teorik olarak üç kısma ayrılmasına karşın, bu gruplar arasındaki ayrım 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. Belirli bir dağılımın uygunluğunun öngörüldüğü ve riskin de ifade edilebildiği Alexander, Dinçer, Gould Gama gibi yöntemler özellikle risk tanımlanmak istendiğinde yaygın uygulama alanı bulmaktadır (McMahon and Mein, 1986).

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 (McMahon and Mein, 1986).

Üçüncü grup ise sentetik veri kullanımını temel alan yöntemlerden oluşmaktadır. Gould'un geliştirdiği

abaklar, bu grubun ön tasarım aşamasında kullanılabilecek 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 sınımanmasına 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 (Bacanlı ve ark., 2003). Hazne kapasite tasarımında sentetik veriler kullanıldığı gibi (Oğuz ve Bayazıt, 1991), kapasite-risk-verim gibi biriktirme haznesinin karakteristikleri arasındaki ilişkiler doğrudan doğruya kullanılabilir (Bayazıt ve Bulu, 1991).

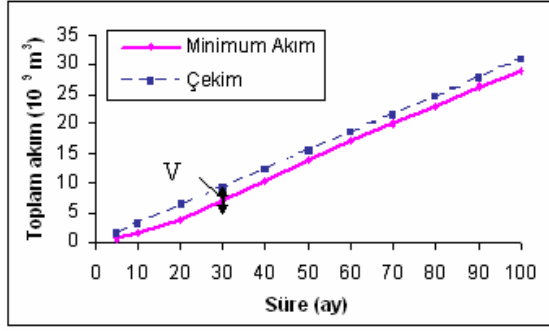
Su kaynakları sistemlerin ihtiyaçlarına göre en kritik zaman periyodu olarak tanımlanan kritik periyot, haznelerin planlama, tasarım ve işletiminde (Oğuz ve Bayazıt, 1991; Aksoy, 2001); biriktirme haznesi işletim kuralları da hazne hacmi tayininde son derece önem taşır (Rao et al., 2001). Biriktirme haznesi kapasitesi tasarımında, hazne kritik periyodun başlangıcında dolu olduğu kabul edilirse, kritik periyodun sonunda tamamen boş olacaktır. Biriktirme haznesi kapasitesi, kabul edilen risk seviyesinde ihtiyacı karşılar. Eğer risksiz işletim tasarlanmıssa, o zaman ideal biriktirme haznesi kavramı yer alır. İdeal biriktirme haznesi ne suyun dışarı savaklandığı, ne de kuruduğu hazne hacmidir (Bayazıt, 1982).

2. BİRİKTİRME HAZNELERİNİN TASARIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

2. 1. Kritik Dönem Yöntemleri

2. 1. 1. Minimum Akımlar Yöntemi

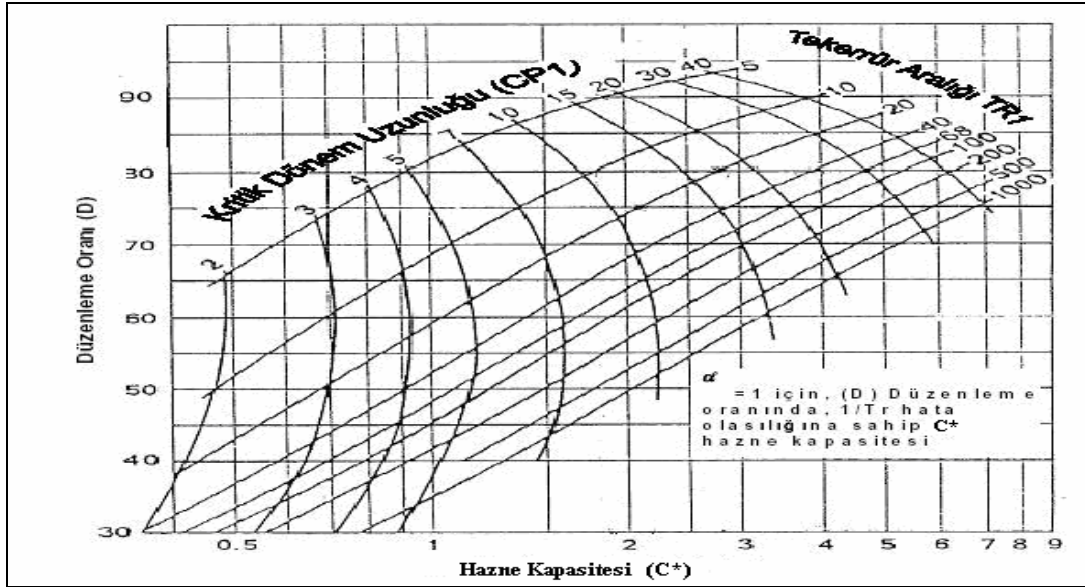
Minimum akımlar yöntemi ile yıllar arası düzenleme yapmak için gerekli kapasiteyi belirlerken önce akım gözlemlerinden en küçük 5, 10, 20, ... aylık toplam akımlar bulunur. Bulunan değerler zaman ekseninde sırasıyla 5, 10, 20, aya karşı gelecek (Şekil 1) şekilde noktalanarak minimum akımlar (kuraklık) eğrisi elde edilir. Bu doğru ile öngörülen çekim eğrisi arasındaki en büyük düşey uzaklık hazne kapasitesi olarak belirlenir (Bayazıt, 1997; McMahon and Mein, 1986).



Şekil 1. Minimum akımlar yöntemi ile hazne kapasitesinin belirlenmesi

2. 1. 2. Alexander Yöntemi

Alexander yöntemi, minimum akım yaklaşımının farklı bir uygulamasıdır. Yıllık akımların kullanıldığı yöntemde, akımların bağımsız ve Gama dağılımlı olduğu kabulü yapılmaktadır. Boyutlandırma, farklı tekerrür aralıkları, kritik dönem uzunlukları ve düzenleme oranları için elde edilmiş eğrilerin yer aldığı abaklardan yararlanılmaktadır. Bu amaçla, Gama dağılımı parametreleri (α , şekil; β , ölçek parametresi) hesaplanmakta, belirli bir tekerrür süresi (T_r) ve düzenleme oranı (D) için Şekil 2’de verilen abaktan; alexander kritik dönem uzunluğu (CP_1) ve boyutsuz hazne kapasitesi (C^*) belirlenmektedir. Abak $\alpha=1$ değeri için oluşturulduğundan, ortalama akım (μ) kullanılarak ;



Şekil 2. Alexander’in hazne kapasitesi-düzenleme oranı-olasılık abağı (McMahon and Mein, 1986)

$$C = (C^* / \alpha) * \mu \quad (1)$$

$$CP = CP_1 / \alpha \quad (2)$$

bağıntıları yardımıyla hazne kapasitesi (C) ve CP kritik dönem uzunluğu hesaplanmaktadır. Yöntemin uygulanması basit ve hızlıdır. Gama dağılımlı ($C_s \approx 2C_v$) veriler kullanılması halinde, ilk tasarım hesaplamaları için yeterli güvenilirlikte sonuçlar vermektedir (McMahon and Mein, 1986).

2. 1. 3. Dinçer Yöntemi

Dinçer yöntemi ile Alexander yöntemi arasındaki temel fark, Dinçer yönteminde yıllık akımların normal dağılımlı kabul edilmesidir. Bu durumda, C : hazne kapasitesi, C_v : değişim katsayısı, z_p : % p

olasılıklı standart normal değişken, D : düzenleme oranı ve μ : ortalama akım olmak üzere hazne kapasitesi ve kritik dönem uzunlukları (McMahon and Mein, 1986).

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

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

bağıntılarından hesaplanabilir.

2. 1. 4. Gould’un Gama Yöntemi

Yöntem, Alexander ve Dinçer yöntemlerinin birlikte uygulaması şeklinde tanımlanabilir. Normal dağılımın parametrelerinin daha kolay hesaplanabilme, yıllık dizilerin Gama dağılımı ile

daha uygun tanımlanabilme özellikleri dikkate alınarak, hesaplamalarda normal dağılım parametreleri kullanılmakta, daha sonra hazne hacmi, Gama dağılımına uygunluğu sağlamak üzere;

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

bağıntısından hesaplanmaktadır. Burada C: hazne kapasitesini, C_v : değişim katsayısını; z_p : p altında kalma olasılığına karşı gelen standart normal değişken değerini; D: düzenleme oranını, μ : yıllık ortalama akımların ortalamasını ifade etmektedir. d, Gould tarafından önerilen düzeltme faktörü olup, Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. 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

2. 1. 5. 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. İfadede, Z_t ve Z_{t+1} zaman

periyodunun başındaki ve sonundaki depolama hacmini, Q_t giren akımları, D_t kullanımları, ΔE_t gerçekleşen net buharlaşma kaybını, L_t diğer kayıpları, C aktif depolama hacmini temsil etmektedir.

Mevcut veri dizisi kullanılarak, haznenin yalnızca bir kez boş kalması olasılığı için bulunan hazne hacmi değeri, eklenik akımlar yöntemi kullanarak bulunan hacimle aynı olup, hazne hacminin sıfıra düştüğü ay sayısı toplam veri sayısına bölünerek haznenin boş kalma olasılığı hesaplanabilir (McMahon and Mein, 1986; Koutsoyiannis, 2004).

2. 2. Moran Hazne Teorisini Temel Alan Olasılık Matrisi Yöntemleri

2. 2. 1. McMahon Yöntemi

McMahon Avustralya’daki 156 akarsu havzasına ait verilerle Gould’un olasılık matrisi yöntemini kullanarak ampirik bir bağıntı geliştirmiştir. Yıllık akımların kullanıldığı ve belirli bir bölge için geliştirilmiş bu yöntemde hazne hacmi;

$$C = (a C_v^b) \mu \quad (7)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Hazne kapasitesi, değişim katsayısının fonksiyonu olarak tanımlanmış olup, C hazne kapasitesini, C_v değişim katsayısını, a ve b ampirik olarak elde edilmiş katsayıları (Tablo 2), μ ortalama yıllık akımı ifade etmektedir (McMahon and Mein, 1986).

Tablo 2. McMahon Yöntemi Hazne Kapasitesi Denklemi Katsayıları

Düzenleme Oranı (%)	Katsayı	Haznenin Boş Kalma Olasılığı (%)		
		2.5	5	10
90	a	7.5	5.07	3.08
	b	1.86	1.81	1.82
70	a	2.51	1.81	1.21
	b	1.83	1.79	1.74
50	a	0.98	0.75	0.51
	b	1.91	1.93	1.83
30	a	0.28	0.22	0.15
	b	1.53	1.49	1.79

2. 3. Sentetik Veri Kullanımını Temel Alan Yöntemler

2. 3. 1. Gould’un Sentetik Veri Yöntemi

Yöntemde, üç parametrelili lognormal dağılıma uyan, her biri 10000 yıllık bağımsız akış değeri içeren, 240

sentetik veri seti oluşturulmuş, bu veriler kullanılarak farklı çekimler (D), farklı olasılıklar (p) ve farklı çarpıklık katsayısı değerleri (C_s) için elde edilen sonuçlar abaklar haline getirilmiştir (Şekil 3). Abaklarda, S standart sapma olmak üzere,

$$k_1 = (\text{ortalama akım} - \text{çekim}) / S \quad (8)$$

$$k_2 = \text{hazne kapasitesi}/S \quad (9)$$

şeklinde tanımlanmakta olup, üç farklı olasılık değerine (% 0.5, % 2 ve % 5) ait eğri bulunmaktadır.

Yıllık akım dizisinin ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı ve otokorelasyon (iç bağımlılık) katsayıları hesaplandıktan sonra, iç bağımlılık durumunda tasarım olasılığı;

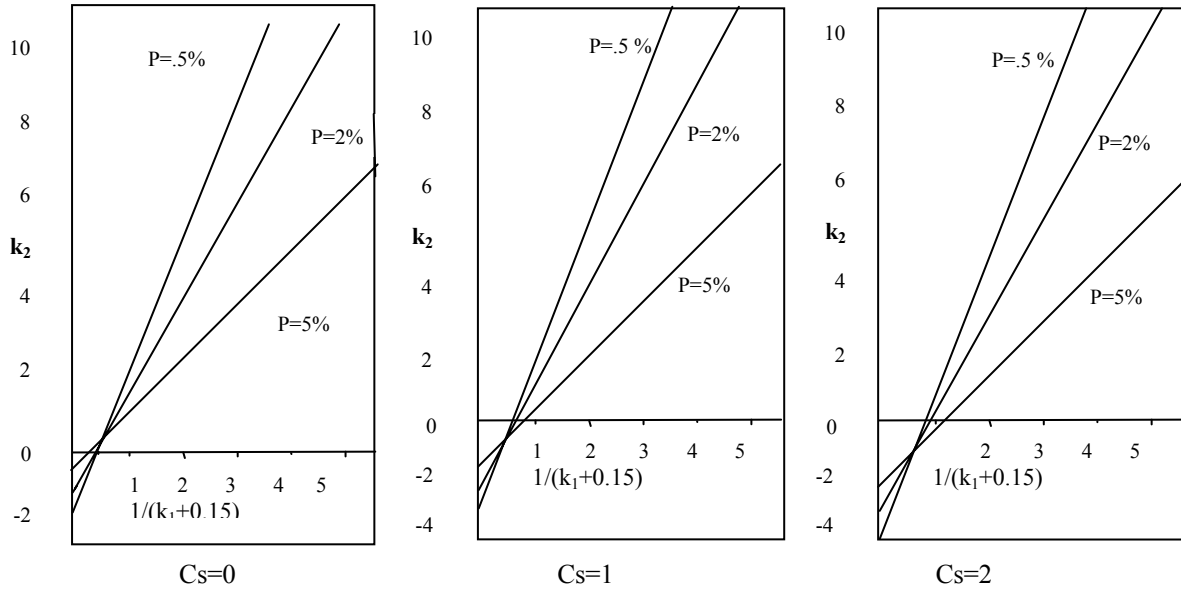
$$p = (p' - 12 \cdot r) / (1.7 r + 1) \quad (10)$$

bağıntısı yardımıyla, r iç bağımlılık katsayısı ve p' olasılık değerine bağlı olarak düzeltilmektedir.

İncelenen veri dizisinin çarpıklık değerine uygun abaktan, öngörülen (iç bağımlılık olması halinde düzeltilmiş) olasılık değeri için, hesaplanan k_1 yardımıyla k_2 okunmakta ve hazne hacmi;

$$C = S k_2 \quad (11)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır (McMahon and Mein, 1986).



Şekil 3. Gould'un sentetik veri yöntemi ile hazne hacmi tayininde kullanılan abaklar

3. UYGULAMA

3. 1. Kullanılan Veriler

Çine Çayı üzerinde Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) tarafından işletilen Kayırlı akım gözlem istasyonu (AGI), ($28^{\circ} 07' 53''$ D - $37^{\circ} 25' 19''$ K) koordinatlarında, 262 m kotundadır (Şekil 4). İstasyonun yağış alanı 948 km^2 olup, uzun dönem yıllık ortalama akımı $6.62 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Kayırlı AGI 1938-2000 yılları arasındaki gözlenmiş olan akım değerleri kullanılabilir durumda olup, aylık ve yıllık akım verilerinin istatistiksel özellikleri Tablo 3'de sunulmuştur (Anon., 2003).

Çalışmada, literatürde yer alan ön ve kesin tasarım aşamasında kullanılan farklı yöntemler yardımıyla gerekli depolama hacminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilecek hazne kapasitelerinin karşılaştırılması temel hedef alındığından, işlemleri basitleştirmek amacıyla

buharlaşma kayıpları dikkate alınmamıştır. Su ihtiyacının aylık olarak değişmediği (sabit) kabul edilmiş ve yöntemler farklı düzenleme oranları ve ihtiyacı karşılayamama olasılıkları için uygulanarak bu faktörlerin belirlenecek hazne hacmine etkileri araştırılmıştır.

3. 2. Biriktirme Haznesi Hacminin Belirlenmesi

3. 2. 1. Minimum Akımlar Yöntemi

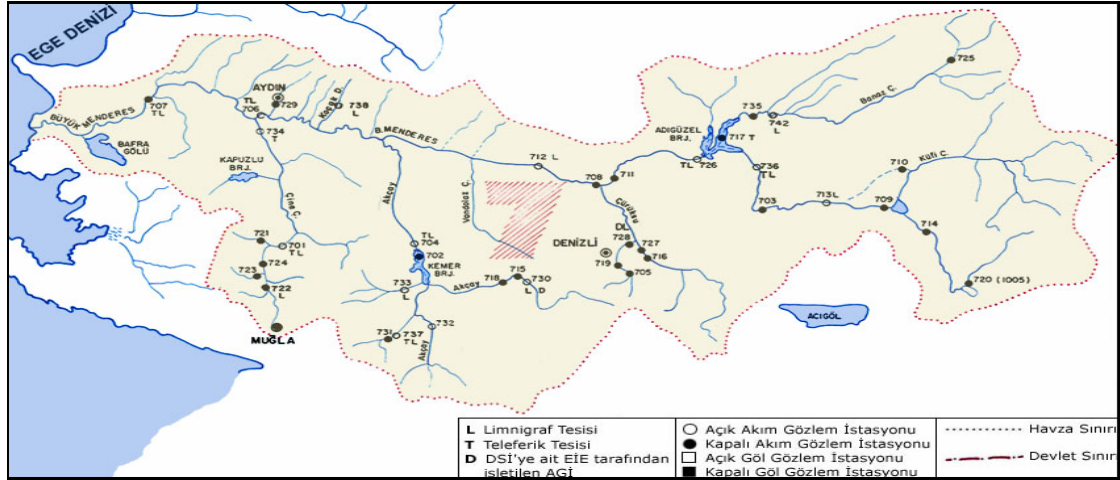
Kayırlı AGI verileriyle önce 5, 10, 20, ..., 100 aylık sürelerdeki toplam minimum akımlar belirlenmiş; sabit aylık çekim miktarı % 60 ve % 80 düzenleme oranı için yapılan hesaplamalar Tablo 4 ve Şekil 5'de sunulmuştur. Minimum akım yöntemine göre % 60 ve % 80 düzenleme oranları için gerekli hazne hacimleri 165.3 ve $367.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, kritik dönem uzunluğu 140 ve 150 ay olmaktadır.

Tablo 3. Kayırlı AGI 63 Yıl Süreli (1938-2000) Aylık ve Yıllık Akım Verilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

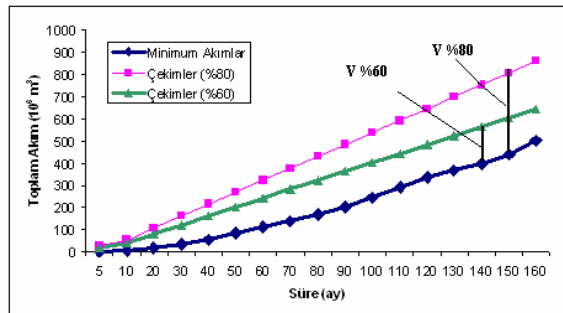
İstatistik		Aylık		Yıllık	
		Ort. Akım (m ³ /sn)	Ort. Akış Hacmi (10 ⁶ m ³ /ay)	Ort. Akım (m ³ /sn)	Ort. Akış Hacmi (10 ⁶ m ³ /y)
Ortalama (\bar{X})		6.62	17.32	6.62	208.8
Standart Sapma (S _s)		7.77	20.22	3.22	101.56
Değişim Katsayısı (C _v)		1.17		0.48	
Çarpıklık Katsayısı (C _s)		2.13		0.08	
Sivrilik Katsayısı (C _k)		7.74		1.75	
İçsel bağımlılık Katsayısı (r ₁)		0.62		0.59	

Tablo 4. Minimum Akımlar Hesap Tablosu

Süre (ay)	Minimum Toplam Akımlar (10 ⁶ m ³)	Çekimler (% 80) (10 ⁶ m ³)	Hazne Kapasitesi (10 ⁶ m ³)	Çekimler (% 60) (10 ⁶ m ³)	Hazne Kapasitesi (10 ⁶ m ³)
5	1.11	26.92	25.81	20.19	19.08
10	7.51	53.84	46.33	40.38	32.87
20	17.87	107.68	89.81	80.76	62.89
30	33.91	161.52	127.61	121.14	87.23
40	55.46	215.35	159.89	161.52	106.05
50	85.84	269.19	183.35	201.90	116.06
60	114.86	323.03	208.17	242.27	127.41
70	139.17	376.87	237.70	282.65	143.48
80	169.00	430.71	261.71	323.03	154.03
90	203.28	484.55	281.27	363.41	160.13
100	244.51	538.39	293.88	403.79	159.28
110	292.62	592.23	299.61	444.17	151.55
120	336.75	646.06	309.32	484.55	147.80
130	367.19	699.90	332.71	524.93	157.73
140	400.01	753.74	353.73	565.31	165.29
150	440.45	807.58	367.13	605.69	165.24
160	502.69	861.42	358.73	646.06	143.38



Şekil 4. Büyük Menderes havzası haritası



Şekil 5. Minimum akımlar yöntemi ile hazne kapasitesinin belirlenmesi

3. 2. 2. Alexander Yöntemi

Kayırlı istasyonu yıllık akım verilerinin Gama dağılımı için şekil parametresi $\alpha = 3.503$ olarak hesaplanmış olup Ki-kare (χ^2) ve Kolmogorov-Smirnov (K-S) testleriyle yapılan sınamalarda, % 5 anlamlılık seviyesinde ($\chi^2=0.005 < \chi^2_{kr}=12.59$) (K-S = 0.1596 < K-S_{kr}=0.181) dağılımın uygun olduğu belirlenmiştir.

D = % 60 düzenleme oranı için T_r = 20 yıl (p = % 5) tekrerrülü hazne hacmini belirlemek üzere Şekil

3'den $CP_1 = 4.2$ ve $C^*=1.1$ değerleri elde edilmiştir. Hazne kapasitesi $24.94 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, kritik dönem uzunluğu 14 ay olarak bulunmuştur. Çeşitli düzenleme oranları ve tekerrürler için hesaplanan değerler Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Alexander Yöntemi ile Çeşitli Düzenleme Oranları ve Tekerrür Süreleri İçin Belirlenen Hazne Hacimleri ve Kritik Dönem Uzunlukları

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)	Z_p	Hesaplanan Hazne Hacmi (10^6 m^3)
60	5	24.94	14
	3	27.21	17
80	5	63.49	60
	3	72.56	68

3. 2. 3. Dinçer Yöntemi

Kayırlı istasyonu gözlenmiş yıllık verilerinin olasılık

Tablo 6. Dinçer Yöntemi ile Çeşitli Düzenleme Oranları ve Tekerrür Süreleri İçin Belirlenen Hazne Hacimleri ve Kritik Dönem Uzunlukları

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)	Z_p	Hesaplanan Hazne Hacmi (10^6 m^3)	Kritik Dönem Uzunluğu (ay)
60	5	1.645	31.59	12
	3	1.882	41.52	16
80	5	1.645	63.19	48
	3	1.882	83.03	62

Tablo 7. Gould'un Gama Yöntemi ile Çeşitli Düzenleme Oranları ve Tekerrür Süreleri İçin Belirlenen Hazne Hacimleri

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)	Z_p	d	τ	Hesaplanan Hazne Hacmi (10^6 m^3)
60	5	1.645	0.6	0.256	20.32
	3	1.882	0.9	0.309	24.6
80	5	1.645	0.6	0.653	51.91
	3	1.882	0.9	0.832	66.12

Tablo 8. Aylık Su Bütçesi Yöntemi ile Çeşitli Düzenleme Oranları ve Tekerrür Süreleri İçin Belirlenen Hazne Hacimleri

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılıyama Olasılığı (%)	Hesaplanan Hazne Hacmi (10^6 m^3)
60	5	65
	3	110
80	5	220
	3	260

Düzenleme oranları ve ihtiyacı karşılamama olasılıklarının çeşitli kombinasyonları için aylık su bütçesi yönteminin uygulanması ile elde edilen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisini gösteren eğriler Şekil 6'da sunulmaktadır. 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

dağılım sınımasında, % 5 anlamlılık seviyesinde ($\chi^2 = 0.3919 < \chi_{kr}^2 = 12.59$) Normal dağılımın uygun kabul edilebileceği belirlenmiş çeşitli düzenleme oranları ve tekerrürler için hesaplanan değerler Tablo 6'da sunulmuştur.

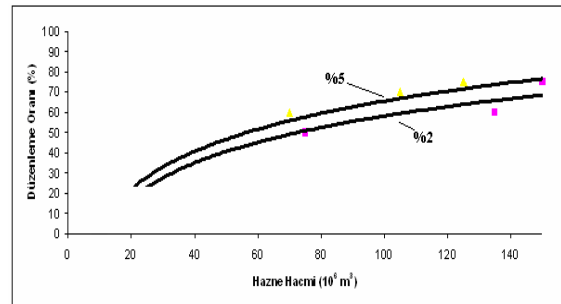
3. 2. 4. Gould'un Gama Yöntemi

Kayırlı istasyonu yıllık akım verileri için, Gould'un Gama Yöntemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

3. 2. 5. Aylık Su Bütçesi Yöntemi

Sunulan çalışmada, işlemleri basitleştirmek ve sonuçların kıyaslanabilirliğini sağlamak amacıyla buharlaşma ve diğer kayıplar ihmal edilmiş ve aylık ihtiyaçlar sabit kabul edilmiştir. Kayırlı istasyonu aylık akım verileri kullanılarak, aylık su bütçesi yöntemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 8'de sunulmaktadır.

planlanmış bir haznede, ihtiyacın zaman içinde artması halinde, mevcut hazne hacminin o dönemdeki ihtiyacı karşılamama olasılığının belirlenmesinde de bu eğrilerden yararlanılabilmektedir.



Şekil 6. Aylık su bütçesi yöntemiyle belirlenen hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisi

2. paragrafta 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 yada diğer bir deyişle belirli bir hacmin ihtiyacı karşılayamama olasılığını önemli derecede etkilemektedir (McMahon and 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. Özetle, belirlenen hazne hacminin (veya belirli bir hacmin ihtiyacı karşılayamama olasılığının) başlangıç şartlarından etkilenmediği söylenebilir.

3. 2. 6. McMahon Yöntemi

McMahon Yöntemi ile Kayırlı istasyonu yıllık akım verileri kullanılarak, çeşitli düzenleme oranları ve tekerrürler için hesaplanan değerler Tablo 9'da sunulmaktadır.

Tablo 9. McMahon Yöntemi ile Çeşitli Düzenleme Oranları ve Tekerrür Süreleri İçin Belirlenen Hazne Hacimleri

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılayamama Olasılığı (%)	Hesaplanan Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)
60	5	34.6
	3	27.2
80	5	74.4
	3	98.7

3. 2. 7. Gould' un Sentetik Veri Yöntemi

Bu yöntem ile Kayırlı istasyonu yıllık akım verileri kullanılarak, çeşitli düzenleme oranları ve tekerrürler için hesaplanan değerler Tablo 10'da sunulmuştur.

Kayırlı istasyonu yıllık ve aylık akım verileri kullanılarak, farklı yöntem ve çeşitli düzenleme oranları ve tekerrürler için belirlenen hazne hacimleri Tablo 11'de özetlenmiştir.

Tablo 10. Gould' un Sentetik Veri Yöntemi ile Çeşitli Düzenleme Oranları ve Tekerrür Süreleri İçin Belirlenen Hazne Hacimleri

Düzenleme Oranı (%)	İhtiyacı Karşılayamama Olasılığı (%)	Hesaplanan Hazne Hacmi (10 ⁶ m ³)
60	5	95.2
	3	97.2
80	5	136.0
	3	252.0

Tablo 11. Kayırlı İstasyonu İçin Farklı Yöntemlerle Bulunan Hazne Hacmi

Yöntemler	Veri türü	% 80 düzenleme oranı		% 60 düzenleme oranı		
		Haznenin yetersiz kalma olasılığı	Hazne Hacmi	Haznenin yetersiz kalma olasılığı	Hazne Hacmi	
		P (%)	C (10 ⁶ m ³)	P (%)	C (10 ⁶ m ³)	
Kritik Dönem Yöntemleri	Minimum Akımlar Yöntemi	aylık	0	371.1	0	165.3
		Alexander Yöntemi	yıllık	3	72.6	3
	5			63.5	5	24.9
	Dinçer Yöntemi	yıllık	3	83.0	3	41.5
			5	63.2	5	31.6
	Gould'un Gama Yöntemi	yıllık	3	66.1	3	24.6
			5	51.9	5	20.3
	Aylık Su Bütçesi Yöntemi	aylık	3	260	3	110
			5	220	5	65
	Olasılık Matrisi Yöntemleri	McMahon Yöntemi	yıllık	3	98.7	3
5				74.4	5	27.2
Sentetik Veri Kullanılan Yöntemler	Gould'un Sentetik Veri Yöntemi	yıllık	3	97.2	3	252.0
			5	95.2	5	136.0

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı yöntemler için elde edilen hazne hacimlerinin bulunduğu Tablo 11'den, yöntem seçiminin belirlenecek hazne hacmi üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Uygulanan yöntemlerin değerlendirilmesi sonucunda şu yorumları yapmak mümkündür:

- a) 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. Buharlaşma kayıplarının dikkate alınmaması, haznenin başlangıçta dolu kabul edilmesi gibi nedenlerle, bu yöntemlerle genellikle gerekenden büyük hacimler tahmin edilmektedir.
- b) Düşük akım dizilerinin belirli bir dağılıma uygunluğunu öngören diğer kritik dönem yöntemleri (Alexander, Dinçer ve Gould'un Gama yöntemleri) kullanıldığında daha güvenilir tahminler yapmak ve hazne hacmi ile risk ilişkisi tanımlayabilmek mümkündür. Ancak, yıllık dizilerin toplamlarının genellikle Gama dağılımına daha uygun olması nedeniyle, normal dağılım kabulünün yapıldığı Dinçer yöntemi yerine Alexander ve Gould'un Gama 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 Gama dağılımının yıllık veri dizilerine daha uygun olması gerçeğini bir araya getiren Gould'un Gama Yöntemi ile, özellikle yıllar arası düzenleme yapan büyük haznelerin hacim tahminleri etkin biçimde yapılabilmektedir.
- c) Uygulamada oldukça iyi sonuçlar verdiği belirtilmesine karşın (McMahon and Mein, 1986), Gould'un olasılık matris yöntemi kullanılarak geliştirilen McMahon'un

ampirik bağıntısının, Avustralya bölgesindeki akarsulara ait verilerinden elde edildiği unutulmamalı ve dikkatle kullanılmalıdır.

- d) Üç parametrelili lognormal dağılımlı sentetik veri dizileri kullanılarak geliştirilen Gould'un Sentetik Veri Yöntemi ile, özellikle kısa süreli kritik dönemlerde hazne hacmi çok küçük tahmin edilmektedir. Ayrıca, zaman serilerinin ve/veya düşük akım dizilerinin dağılımının kabul edilen dağılıma uymaması nedeniyle, düşük düzenleme oranlarında negatif hazne hacimleri elde edilebilmektedir.
- e) Türkiye akarsu havzalarının üçte birinin karstik bölgelerde bulunduğu, mevcut su kaynaklarının önemli bir kısmının bu akarsu havzaları üzerinde bulunduğu dikkate alındığında, özellikle karstik pınar boşalmalarının önem taşıdığı akarsu havzalarında yapılacak planlamalarda taban akışını dikkate alan dağılımların kullanılmasının uygun olacağı görülebilir. Bu nedenle, karstik bölgelerde, taban akışını ve dağılım biçimini değerlendirebilecek üç parametrelili dağılımların kullanılmasının daha uygun sonuçlar verebileceği düşünülebilir.
- f) Uzun süreli kritik dönemler (büyük depolamalar) için, ön tasarım aşamasında kullanılacak en iyi yöntemler olarak Alexander, Dinçer veya Gould'un Gama Yöntemi görülmektedir. Veri dizisinin dağılımına uygun kabullere sahip yöntemin seçilmesi sonuçların güvenilirliğini arttıracaktır.
- g) 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 etkilemekte ayrıca, kesikli veri dizileriyle çalışmada sorunlarla karşılaşmaktadır.
- h) Burada basit bir uygulaması gerçekleştirilen *Olasılık Matrisi Yöntemleri* ise Aylık Su Bütçesi yönteminin sahip olduğu tüm avantajları taşımanın ötesinde, kesikli veri ile de çalışılmasına olanak tanımakta ve daha da önemlisi geçiş 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.

- i) Yöntemin basitliği ve uygulama kolaylığı düşünüldüğünde Aylık Su Bütçesi yöntemi de 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 kullanılabilirliği söylenebilir.

5. KAYNAKLAR

Aksoy, H. 2001. Storage Capacity for River Reservoirs by Wavelet-Based Generation of Sequent-Peak Algorithm. *Water Resources Management* 15: 423-437.

Anonim, 2003. EİE. Akım Neticeleri, (1936-2000) Ankara, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü.

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.

Bayazit, M. 1982. Ideal Reservoir Capacity as a Function of Yield and Risk. *Journal of Hydrology*, 58 : 1-9.

Bayazit, M., Bulu, A. 1991. Generalized Probability Distribution Of Reservoir Capacity. *Journal of Hydrology*, 126: 195-205.

Bayazit, M. 1997. “Biriktirme Haznelerinin Tasarımı ve İşletilmesi” İ.T.Ü. 200 s.

Koutsoyiannis, D. 2004. Reliability Concepts in Reservoir Design. *The Encyclopedia of Water*, 1-17.

McMahon, T. A., Mein, R.G. 1986. “River and Reservoir Yield”, Elsevier, 367 pp.

Oğuz, B., Bayazit, M. 1991. Statistical Properties of the Critical Period. *Journal of Hydrology*, 126: 183-194.

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.