



Sulama Amaçlı Hazne Kapasitesinin Belirlenmesinde Çeşitli Yöntemlerin Karşılaştırılması

Mohammad.T. SATTARI¹

Farzin SALMASI¹

Fazlı ÖZTÜRK²

Geliş Tarihi: 16.05.2007

Öz: Genel olarak sulama, su temini ve drenaj projelerinin gerçekleştirilmesi için büyük yatırımlara gerek duyulmaktadır. Finans kaynakların yetersizliğinden su temini için yapılması planlanan hazne kapasitesinin belirlenmesinde optimizasyon tekniklerini kullanmak zorunlu olmaktadır. Hazne kapasitesinin belirlenmesinde; Ripple yöntemi ve Ardışık Pik Analizleri olarak tanımlanan klasik yöntemler problemin bütün etkin parametrelerini ve boyutlarını dikkate almamaktadır. Böyle durumlarda hazne kapasitesi gereğinden çok büyük olarak hesaplanabilir. Bu çalışmada, Doğu Azerbaycan'da (İran'ın kuzey batısında) bulunan sulama amaçlı Yalkız Ağac barajının kapasitesi; klasik ve optimizasyon yöntemleriyle belirlenmiştir. Sonuçlara göre hazne kapasitesi Ripple yöntemi ile 13.1 hm³, Ardışık Pik Analizleri yöntemi ile 6.86 hm³ ve Doğrusal Olmayan Optimizasyon yöntemi ile 6.19 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj işletmesi, Ripple yöntemi, Ardışık Pik Analizi yöntemi, Doğrusal olmayan optimizasyon yöntemi

Comparison of Different Methods Used in Determination of Irrigation Reservoir Capacity

Abstract: Usually development of dams and irrigation-drainage projects requires high investment cost. Because of financial limitations, consideration of optimization techniques for determination of reservoir capacity is clear. Determination of reservoir capacity by classical methods such as mass curve (Ripple method) and sequent peak algorithm, don't consider all effective parameters in problem. In these methods reservoir capacity may be estimated with a higher than that of optimization methods. In this research comparison between classical and modern methods for calculating one dam capacity in East Azerbaijan named Yalgiz Agac has been done. Results showed that the dam capacity with Ripple method (mass curve) will be 13.1 hm³, with sequent peak algorithm will be 6.86 hm³ and with non-linear optimization will be 6.19 hm³.

Key Words: Reservoir management, Ripple method (mass curve), sequent peak, non-linear optimization

Giriş

Yağışlardaki ve dolayısı ile su kaynaklarındaki düzensizlik nedeniyle kurak ve yarı-kurak alanlarda sulama amacıyla su depolama yapılarının yapılması zorunludur. Böyle bir iklime sahip İran'da da yağışların zaman ve konum açısından düzgün dağılmaması, su kaynaklarının kısıtlılığı ve önemi rezervuarların kapasitesinin hesaplamasında yeni yöntemlere başvuruyu gerektirmektedir. Su sektörü yöneticileri, su ve parasal kaynaklarda mevcut olan kısıtlılığın ve hazne hacminin inşaat maliyetine olan doğrudan etkisi nedeni ile yeni yöntemlerden faydalanmaya artık daha çok özen göstermektedirler. Düzgün yönetim ve işletme politikasının eksikliğinden dolayı yapılmış

yatırımlar boşa harcanmakta ve çevreyi olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda matematiksel modellerle optimum kapasite ve işletme kurallarını belirlemeye karşı artan ilgi bu konudaki bilimsel çalışmalara hız kazandırmıştır. Ravikumar ve Venugopal (1998), Güney Hindistan'da bulunan sulama amaçlı rezervuar sistemleri için matematiksel dinamik optimizasyon modeli hazırlamışlardır. Jain ve ark. (1998), 4 rezervuar, 3 kontrol çevirme yapısı olan Sabramati sulama sistemi için optimizasyon ve simülasyon modeli kurmuşlardır. Hajilal ve ark. (1998), Hindistan'da 15 günlük periyotları dikkate alarak sulama amaçlı hazneden çekilen suyu optimize

¹ Tabriz Üniv. Ziraat Fak. Su Mühendisliği Bölümü-Tabriz, İran

² Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü-Ankara-Türkiye

etmişlerdir. Getachew ve ark. (1999), ABD'de doğrusal işletme kurallarından yararlanarak yeraltı ve sulama amaçlı rezervuar ortak sistemine optimizasyon ve simülasyon modeli yazmışlardır. Hindistan'da Srinivasan ve ark. (1999), tamsayı doğrusal programla kritik dönemlerde hazne işletme parametrelerinin optimum değerlerini belirlemişlerdir. Amit Sinha ve ark. (1999), batı Hindistan'da çok amaçlı rezervuar sisteminde doğrusal olmayan optimizasyon programı ile çeşitli amaçları dikkate alarak optimum aktif kapasiteyi belirlemişlerdir. Needham ve ark. (2000), ABD'nin Iowa ve Des Moines nehirlerinde taşkın kontrolü için doğrusal programlamadan yararlanmışlardır. Hugo (2002), ABD'nin Kuzey Kaliforniya eyaletinde haznenin iklim ve hidrolojik değişkenlerini (yağış ve buharlaşmayı) dikkate alarak doğrusal programlama ile optimum kapasiteyi ve talepleri karşılayacak çıktılarının optimum değerlerini hesaplamışlardır. Montaseri ve ark. (2002), Ardışık Pik Analizleri ve İran'la İngiltere verilerinden yararlanarak çok amaçlı çok rezervuarlı sistemlerde depo-çekim ilişkilerini ve ondan elde edilen faydaları belirlemişlerdir. Ming-Yen ve ark. (2003), Tayvan'da bulunan çok amaçlı çok rezervuarlı sistemde tamsayı doğrusal programlama yardımı ile optimum işletme kurallarını belirlemişlerdir. Sunita ve ark. (2005), Hindistan'da Subernarekha nehri üzerinde bulunan 7 küçük ve büyük rezervuarlı havzada su tüketicileri arasında doğrusal programlama ile optimum paylaşımı yapmışlardır. Hossein ve ark. (2006), İran'da tamsayı doğrusal programlama yöntemi ile kentsel su dağıtım sisteminin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Reis ve ark. (2006), İngiltere'de genetik algoritma ve doğrusal programlama karışımı ile işletme kararını optimum periyotlar içinde hesaplamışlardır.

Çalışmanın amacı, sulama amacıyla yapılacak su depolama yapılarının hazne kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan klasik yöntemlerden Ripple ve Ardışık Pik Analizleri ile yeni yöntemlerden Doğrusal Olmayan Optimizasyon yönteminin karşılaştırılmasıdır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma alanın tanıtılması: Yalkız Ağaç Barajı, Yalkız Ağaç Nehri üzerinde ve Hüseyin Dizce Bey ile Yalkız Ağaç köylerinin tarım alanlarını sulama amacı ile planlanmıştır. Haznenin toplam kapasitesi, etüt çalışmaları sırasında Çizelge 1'de verilen verilere dayalı hesaplamalarda 7.2 hm^3 olarak belirlenmiştir. Bölgede bulunan Merend meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre yıllık ortalama sıcaklık $11.1 \text{ }^\circ\text{C}$, yıllık nispi nem % 64,1 ve yıllık donlu gün sayısı 117 dir. Baraj yerinde Yalkız Ağaç Nehri üzerinde akım gözlem istasyonu olmadığı için mansap tarafında

bulunan Deryan akım gözlem istasyonu verilerinden (1970-2001 yılları arasındaki 32 yıllık) yararlanarak yıllık akım ve sediment miktarları tahmin edilmiştir. Havza alanı 56.5 km^2 ve 50 yıllık işletme süresi için ölü hacim 3.1 hm^3 tahmin edilmiştir. Etüt çalışmalarından elde edilen bu sonuçlardan yararlanarak hazne kapasitesi hesaplanmıştır (Anonymous 2004). Etüt çalışmalarından elde edilen bazı bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.

Yöntem

Ripple yöntemi: Hazne kapasitesinin hesaplanmasında ilk çalışmalardan biri 1883 yılında Ripple tarafından yapılmıştır (Loucks et al. 1981). Birikimli eğri analizi adı ile tanımlanan bu yöntem zaten grafiksel bir yöntemdir. Ripple yönteminde, ölçülen veya türetilen akım değerlerine ait $[0, T]$ zaman aralığından faydalanılır. Birikimli akım değerleri zamana bağlı olarak işaretlenir. Hazneden alınacak debi (R_t) doğrusu birikimli akıma teğet olarak çizilir. İki doğru arasında maksimum mesafe istenilecek sabit talebe karşılık geldiğinden dolayı aktif hacim olarak kabul edilir. Eğer yıllık ortalama çıktılar yıllık ortalama girdilerden fazla olursa hazne her bir kapasite ile istenilen talebi karşılayamaz. Bu grafik yöntemi R_t lerin bütün t periyotlarında aynı olduğu zaman kolayca anlaşılabilir. Dolayısı ile alınacak su miktarı sabit olduğu zamanlarda uygulanabilir. Aksi halde toplam akım değerleri ve toplam alınacak su değerleri arasındaki maksimum uzunluk aktif kapasiteye denk gelecektir.

Ardışık Pik Analizi Yöntemi: Thomas 1963 yılında Ardışık Pik Analizi yöntemini önermiştir. Bu yöntemde $[0, T]$ aralığında girdi ile çıktılar arasındaki farkların toplamı hesaplanır ve işletme zamanına bağlı olarak grafik olarak çizilir. Birinci tepe nokta ile ondan sonraki düşük nokta arasında olan düşey mesafe aktif hacim olarak kabul edilir. Bu iki yöntem talebin sabit ve belirli olduğu zamanlar da kullanılabilen klasik yöntemlerdir.

Deterministik doğrusal olmayan yöntem: Baraj sayısının ve amaçların birden fazla olduğu yerlerde ve diğer bazı hidrolojik parametreler hazne sistemine girdi ve çıktı gibi katıldığından klasik yöntemlerle en uygun kapasiteyi belirlemek zordur. Dolayısıyla kullanılabilecek optimizasyon teknikleri ile etkili olabilecek bütün hidrolojik parametreler modele dahil edilir ve uygun çözüme ulaşmaya olanak sağlar. Su kaynakları yönetiminde genel olarak optimizasyon çalışmalarında amaç fonksiyonları ve kısıtlar, karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu olarak dikkate alınır. Birçok karar problemlerinde, bu tür doğrusal fonksiyonların kullanımı uygundur. Optimizasyon problemlerinin diğer tipleri, karar değişkenlerinin fonksiyonları ve kısıtları içerir. Bu tipteki problemler

Çizelge 1. Yalkız ağaç haznesinin girdi ve çıktıları

Ay	Açık su yüzeyinden ortalama buharlaşma miktarı (mm)	Ortalama yağış miktarı (mm)	Su talebi (m ³)	Mansaba bırakılan su (m ³)	Sızma (m ³)	%75 olasılıkla akım değerleri (hm ³)
Ekim	85.5	18.5	306 900	206 400	27 500	0.206
Kasım	42.6	24.4	0	25 000	27 500	0.482
Aralık	16.3	18.2	0	12 000	27 500	0.353
Ocak	2.3	16.9	0	12 000	46 000	0.318
Şubat	2.1	15.5	0	12 000	46 000	0.37
Mart	16.5	20.9	0	25 000	46 000	0.619
Nisan	43.7	38.1	148 500	774 058	73 000	2.116
Mayıs	113	48	450 450	774 058	73 000	2.502
Haziran	152	32.4	851 040	774 058	73 000	0.886
Temmuz	202.6	16.4	1 093 950	344 000	37 000	0.344
Ağustos	211.6	11.5	836 550	180 600	37 000	0.181
Eylül	173.6	7.2	569 250	223 600	37 000	0.224
Toplam	1061.8	268	4 256 640	3 362 774	550 500	8.601

doğrusal olmayan programlama (NLP) problemleri olarak adlandırılır. Bir NLP probleminin formüle edilme işlemi nerdeyse bir doğrusal programlama (LP) probleminin formüle edilmesi ile aynıdır. Her iki durumda da programlayıcı uygun karar değişkenlerini belirlemeli ve bu değişkenleri kullanarak uygun amaç fonksiyonları ve kısıtları formüle etmelidir. NLP problemlerinin hazırlanması ve çözülmesi LP problemleri ile benzerdir. Bununla birlikte NLP problemlerinin çözümündeki matematiksel işlemler farklıdır.

Bu çalışmada NLP modeli GAMS bilgisayar programı ortamında çözülmüştür. Yalkız Ağaç barajına ait olan hacim-alan diyagramı da diğer hacim-alan diyagramları gibi doğrusal olmadığı için doğrusal bir formata dönüştürülmelidir. Diyagram doğrusal olmadığı zamanlar kurulacak optimizasyon modeli doğrusal olmayan programlama NLP yöntemi ile de çözülebilir. Çalışmada Yalkız Ağaç barajında hacim-alan diyagramı Excel programı ortamında doğrusal olmayan bir denklem haline çevrilmiştir. Genel olarak hazne hacmi ST ile alan (A) arasındaki denklem aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$A = A_0 + \alpha \times ST + \beta ST^2 \quad (1)$$

Yalkız Ağaç rezervuarında hacim-alan arasında olan ilişki aşağıda verilmiştir.

$$A = 47416 + 0.0866 \times ST + (-2E - 09)ST^2$$

$$R^2 = 0.9777 \quad (2)$$

Eşitlikte; A: alan, ST: depolanan hacmi, A_0, α, β ise denklemin parametrelerini ifade etmektedir. Rezervuar hacminin bulunmasında en çok kullanılan ilişki aşağıda verilen su bütçesi ilişkisidir (Larry W.M and Y.K, Tung, 1992).

$$ST_{t+1} = ST_t + QF_t + PP_t - R_t - EV_t - SP_t - Spill_t \quad (3)$$

$$t = 1, 2, \dots, 12$$

İlişkide; ST_t: t dönemi başlangıcında depolanan su miktarı, QF_t: t döneminde % 75 olasılıkla barağa giren su miktarı, PP_t: t döneminde hazne göl yüzeyine düşen yağmur miktarı, R_t: mansaptaki su talebi, EV_t: göl yüzeyinden buharlaşan su miktarı, SP_t: barajın temel ve gövdesinden sızan su miktarı ve Spill_t rezervuardan savaklanan su miktarıdır. Kullanılan modelde amaç fonksiyonu, haznede aktif kapasitesinin (K_a) minimum olmasıdır.

$$\text{Amaç Fonksiyonu : Min } K_a \quad (4)$$

Barajda depolanan su miktarı hiç zaman barajın tüm hacminden fazla ve ölü hacimden az olamayacağından aşağıdaki ilişkiler yazılabilir.

$$ST_t \leq (K_a + K_d) \quad (5)$$

$$ST_t \geq K_d \quad (6)$$

İlişkilerde; K_d: rezervuarın ölü hacmini göstermektedir (3.1x10⁶m³). Baraj yönetimi yıl-içi olduğu için ST₁ = ST₁₃ dir. Göl yüzeyine düşen yağış ve gölden

buharlaşan su miktarı hazne alanı ve depolanan su miktarına bağlı olarak onun bir fonksiyonudur. Dolayısı ile kurulan optimizasyon modelinde EV_t ve PP_t denklemleri doğrusal olmayan bir denklemdir (Larry W.M and Y.K, Tung, 1992).

$$EV_t = e_t \left[A_0 + \alpha \left(\frac{ST_t + ST_{t+1}}{2} \right) + \beta \left(\frac{ST_t + ST_{t+1}}{2} \right)^2 \right] \quad (7)$$

$$PP_t = p_t \left[A_0 + \alpha \left(\frac{ST_t + ST_{t+1}}{2} \right) + \beta \left(\frac{ST_t + ST_{t+1}}{2} \right)^2 \right] \quad (8)$$

Eşitliklerde: e_t ve p_t deterministik olarak varsayılan ortalama buharlaşma ve yağmur değerlerini göstermektedir. Kurulan modelde QF, SP ve R önceden belirlenmiş hacimlerdir. Model çözüldükten sonra belirsiz olan karar değişkenleri ST, EV, Spill, PP ve hazne kapasitesi hesaplanmıştır.

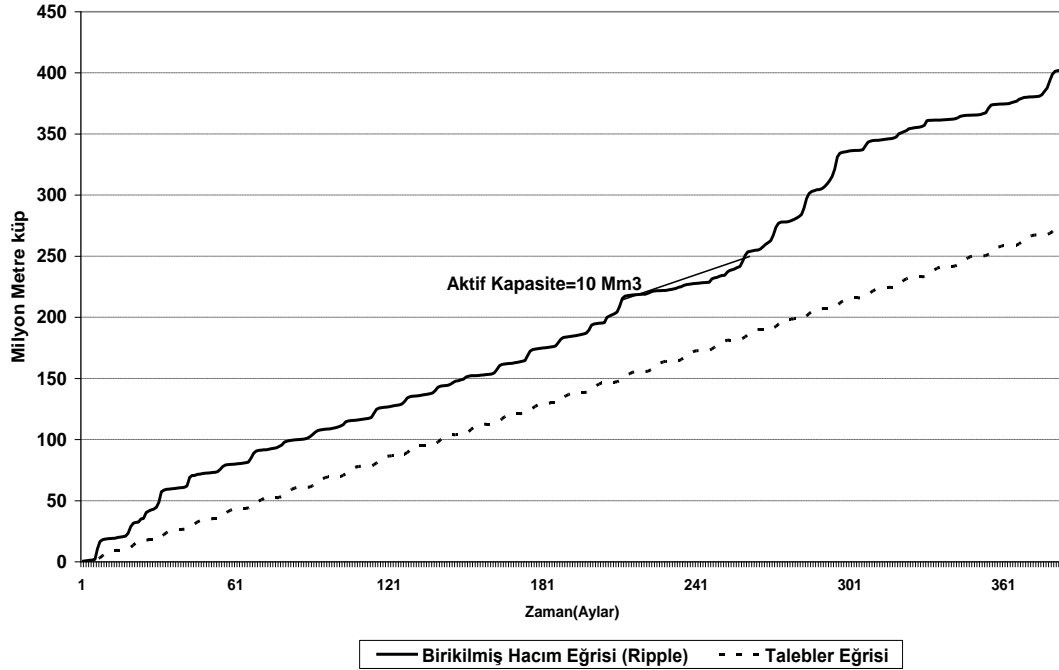
Bulgular ve Tartışma

Ripple yöntemi: Çizelge 1'de verilen değerlerden yararlanarak, % 75 olasılıkla birikimli akım verilerinin değişimi çizilmiştir. Öte yandan birikimli toplam talep miktarlarının (sulama suyu talebi, mansaba bırakılan su, sızma ve buharlaşma miktarları) zamana bağlı değişimi Şekil 1'de verilmiştir.

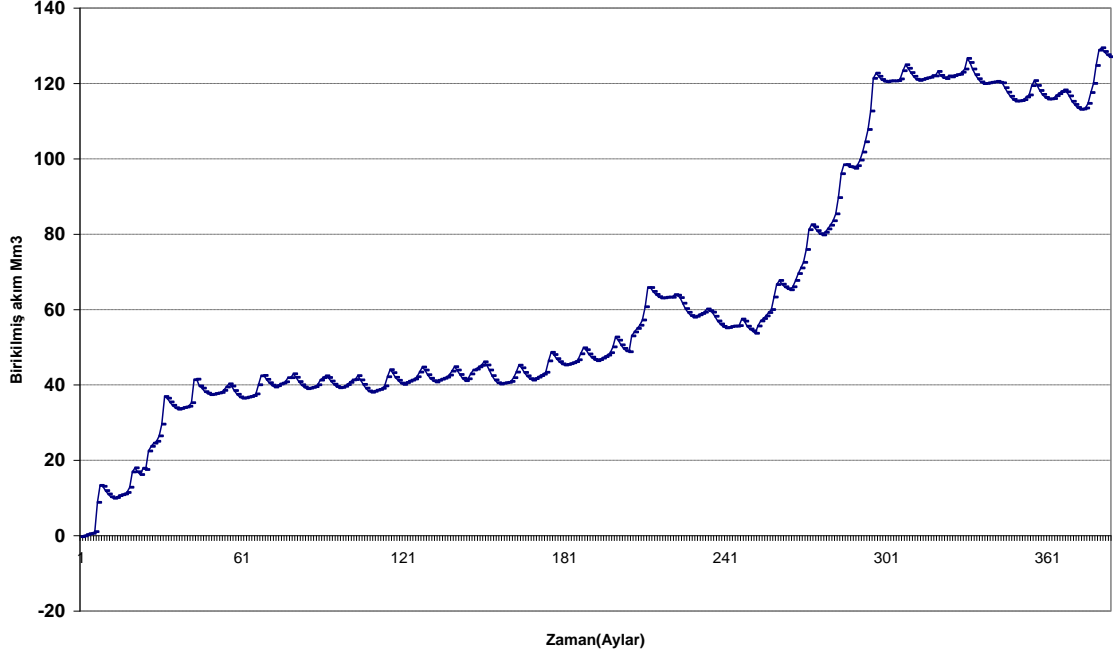
Şekil 1'den görüldüğü gibi aktif kapasite 10 hm^3 ve ölü hacim dikkate alındığı zaman toplam kapasite 13.1 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu değer etüt ve hidrolojik çalışmalarla önceden tasarlanan değerden (Anonymous 2004) % 82 daha fazla olmuştur.

Ardışık pik analizleri: Bu yöntemde girdi ile çıktılar arasındaki farkların toplamı hesaplanarak değişimi grafik olarak çizilmiştir. Birinci tepe nokta ile ondan sonraki düşük nokta arasında olan düşey mesafe arasında 3.73 hm^3 aktif hacim olarak hesaplanmıştır. Ölü hacim değerini bu miktara eklediğimizde toplam hazne hacmi 6.86 hm^3 olarak belirlenmiştir. Bu yöntemden elde edilen değer etüt çalışmalarında hesaplanan kapasiteden 0.34 hm^3 daha az olmaktadır. Diğer bir deyişle tasarlanmış kapasitenin % 95'ine karşılık gelmektedir. (Şekil 2)

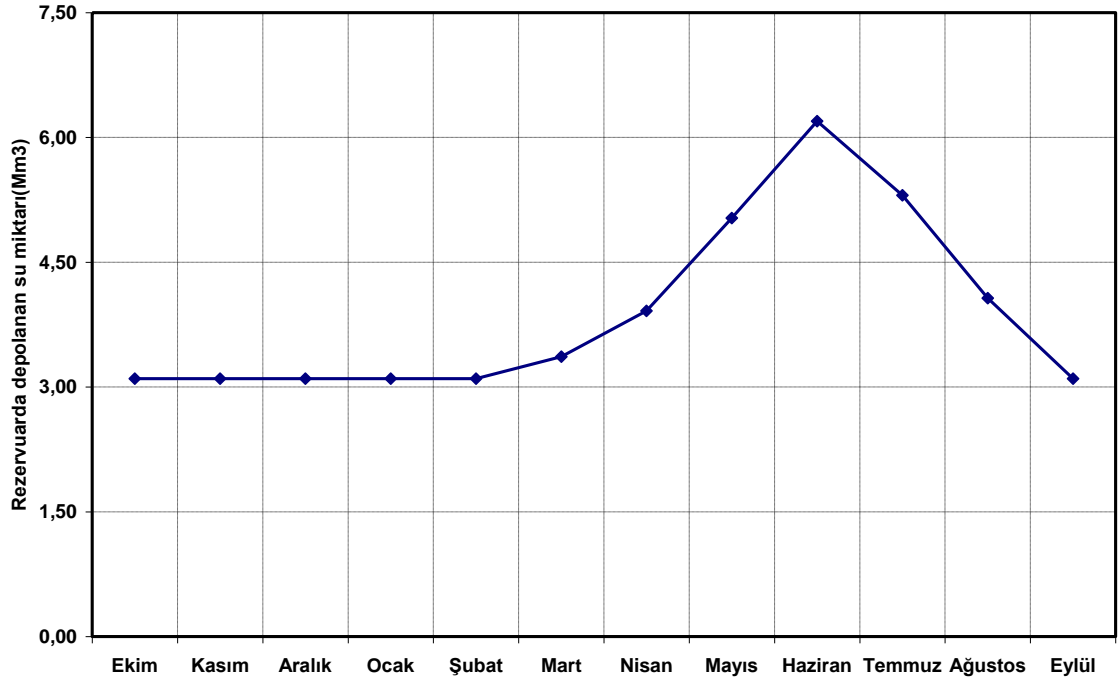
Deterministik doğrusal olmayan programın geliştirilmesi: Rezervuarın aktif kapasitesi, %75 olasılık bir akımı dikkate aldığı anda 3.10 hm^3 hesaplanmıştır. Ölü hacimle birlikte toplam hazne kapasitesi 6.20 hm^3 olacaktır. Bu hacim bütün talepleri karşılayabilecek olup etüt çalışmalarında bulunan hacme göre yaklaşık %16 daha küçük olmaktadır. Bu hacimden azalma 1.88 metrelik baraj yüksekliğine karşılık gelmektedir. Elde edilen sonuçlarla aylık işletme kuralı (işletme grafiği) Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Birikimli akım ve talep miktarlarının değişimi (Ripple yöntemi)



Şekil 2. Ardışık pik analizleri eğrisi



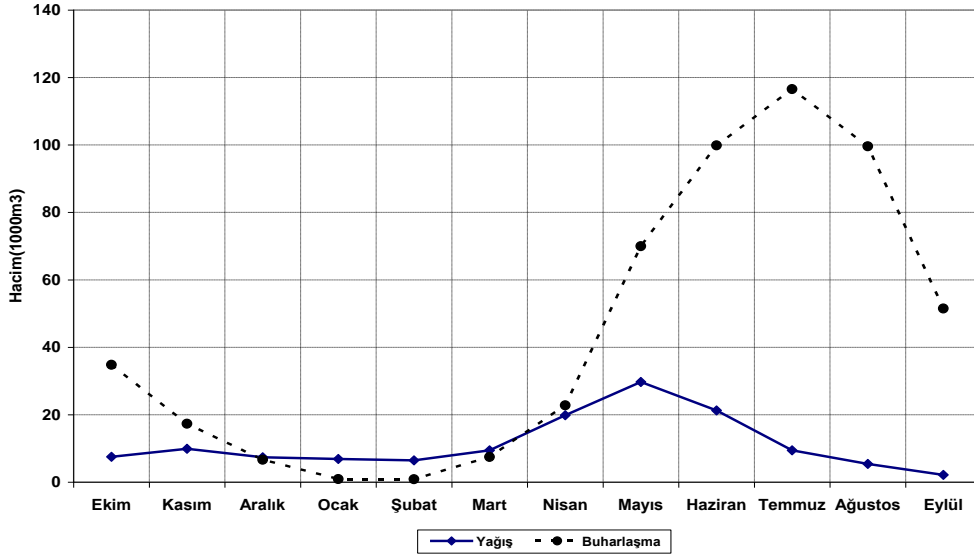
Şekil 3. Yalkız ağaç rezervuarının aylık işletme grafiği

Şekil 3'ten görüldüğü gibi kış ve ilkbahar aylarında biriktirilen su yaz aylarında tarımsal alanların sulanması için kullanılmaktadır. Bu grafik aynı zamanda taleplerin hangi aylarda daha fazla olduğunu da göstermektedir.

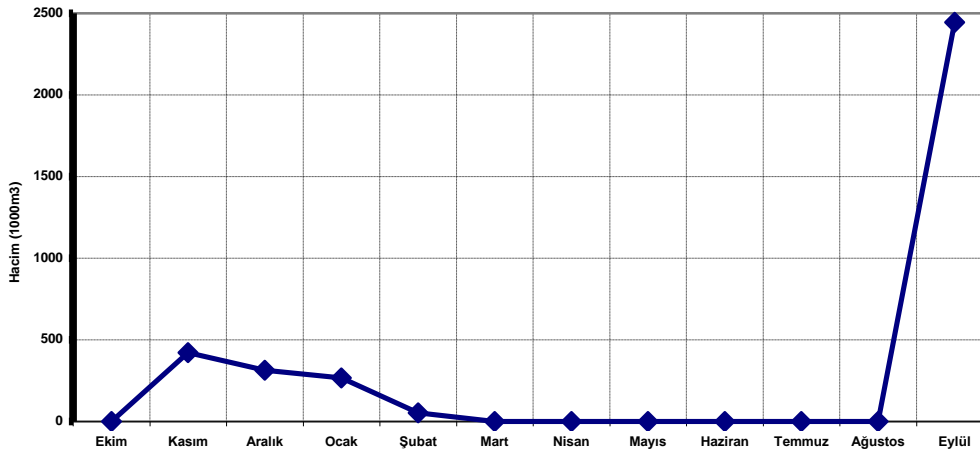
Göl yüzeyinden buharlaşan su miktarı haznede olan önemli su kayıplarından birisidir. Özellikle yaz aylarında su yüzeyinin alan olarak geniş olması ve hava sıcaklığının yüksek olması su kayıplarının da fazla olmasına neden olur. Hazneden buharlaşan su miktarı; hava sıcaklığı, göl yüzey alanı ve depolanan suyun doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Öte yandan hazne girdilerinden olan göl yüzeyine düşen yağış miktarı da, kış ve bahar aylarında çok ve yaz

aylarında ise az olmaktadır. Bu parametrelerin yıl içinde değişimi Şekil 4'de görülmektedir.

Şekil 4'ten görüldüğü gibi güz ve kış aylarında buharlaşma çok azdır. Yaz aylarında sıcaklığın, hazne alanının ve depolanan suyun fazla olmasından dolayı buharlaşmada fazla olmaktadır. Yalkız Ağaç rezervuarı yıl içi bir rezervuar olup kısa bir zaman dilimi içinde olan su kısıtlamalarını karşılamak için kullanılır. Bu rezervuarların kapasitesi küçük olup yıl içinde bir kaç kez dolup boşalabilir. Dolayısı ile bu rezervuardan savaklanan su miktarı kurulmuş modelin 5 numaralı denklemden yola çıkarak hesaplanmış ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Rezervuar göl yüzeyine aylık yağın yağış ve buharlaşan su miktarı



Şekil 5. Dolusavaktan savaklanan su miktarı

Kaynaklar

- Amit, K. Sinha, B. V. Rao and C. H. Bischof. 1999. Nonlinear optimization model for screening multipurpose reservoir system, *Journal of water resources planning and management*, 125 (4): 229-233.
- Anonymous, 2004. Hydrological report of Yalkız Agac Reservoir. Ashnab Consulting Engineers.
- Getachew, B. Peralta and C. Richard. 1999. Simulation/Optimization modeling for water resources management, *Journal of water resources planning and management*, 125 (3): 154-161.
- Hajilal M.S., N. H. Rao and P. B. S. Sarma. 1998. Real time operation of reservoir based canal irrigation systems, *Journal of Agricultural Water Management* No. 38 (2): 103-122.
- Hosseini, M. V., Samani and A. Mottaghi. 2006. Optimization of Water Distribution Networks using Integer Linear Programming. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132 (5): 501-509.
- Hugo, A. 2002. Reservoir designs and operation with variable lake hydrology, *Journal of Water Resources Planning and Management* 128 (6): 399-405.
- Jain, K. S., M. K. Goel and P. K. Agarwal. 1998. Reservoir operation studies of Sabramati system, India, *Journal of water resources planning and management* 124 (1): 31-38.
- Larry, W. M. and Y. K. Tung. 1992. *Hydro systems engineering and management*, McGraw-Hill Inc.
- Loucks, D. P., J. R. Stedinger and D. A. Halth. 1981. *Water resource systems planning and analysis*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Ming-Yen Tu, Nien-Sheng Hsu and William W.-G. Yeh. 2003. Optimization of reservoir management and operation with hedging rules, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129 (2): 86-97.
- Montaseri, M. and A. Adeloye. 2002. Effects of integrated planning on capacity-yield-performance functions, *Journal of Water Resources Planning and Management* 128 (6): 456-461.
- Needham, J. T., D. W. Watkins, J. R. Lund and S. K. Nanda. 2000. Linear programming for flood control the Iowa and Des Moines Rivers, *Journal of Water Resources Planning and Management* 126 (3): 118-127.
- Ravikumar, V and K. Venugopal. 1998. Optimal operation of South Indian irrigation systems, *Journal of water resources planning and management* 124 (5): 264-271.
- Reis, L. F. R, F. T. Bessler, G. A. Walters and D. Savic. 2006. Water supply reservoir operation by combined genetic algorithm – linear programming (GA-LP) approach, *J. of Water Resources Management* 20 (2): 227-255.
- Srinivasan, K., S. Engrg and Nagarajukumar. 1999. Mixed-Integer programming model for reservoir performance optimization, *Journal of water resources planning and management* 125 (5): 298-301.
- Sunita Devi, D. K. Srivastava and C. Mohan. 2005. Optimal water allocation for the Transboundary Subernarekha River, India, *Journal of Water Resources Planning and Management* vol. 4: 253-269.
- Thomas, H. A. and R. P. Burden. 1963. *Operation researches in water quality management*, Harvard University, Cambridge, M A. www.gams.com.

İletişim adresi :

Fazlı ÖZTÜRK
Ankara Üniv. Ziraat Fak.
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü-Ankara
Tel: 0-312-596 12 23
E-posta: fozturk27@agri.ankara.edu.tr