



Tarımsal Alanlarda Sulamanın Enerji Üretimi Üzerine Etkisi

Mücahit OPAN¹ Temel TEMİZ¹ Adnan ÖNER¹ Eyüp DUMLU²

Geliş Tarihi: 10.03.2009

Kabul Tarihi: 27.10.2009

Öz: Bu çalışmada, çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi için sulama suyu miktarının parametrik değişken olarak göz önüne alındığı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model iki aşamalıdır. Modelin ilk aşamasında, kurak dönemin aylık ortalama akımları kullanılarak, güvenilir güç değerleri enbüyüklenmiştir. İkinci aşamada ise, modelde parametrik kısıt olarak enbüyüklenmiş güvenilir güç değerleri yerleştirilerek ve aylık ortalama akımlar kullanılarak sistemin toplam enerjisinin enbüyüklenmesi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon tekniği olarak ardışık yaklaşımlı dinamik programlama (DPSA) kullanılmıştır. Model Munzur Nehri Havzası'nda bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar hem enerji üretimi faydası hem sulama suyu faydası hem de toplam fayda bakımından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, sistemin toplam faydasının enbüyük olduğu yerde, sulama suyu miktarı 60×10^6 m³ olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su kaynakları sistemi, sulama, enerji üretimi, parametrik değişken yaklaşımı, ardışık yaklaşım, dinamik programlama

Effect of Irrigation on Energy Production in Agricultural Areas

Abstract: In this study, an optimization model, taken into consideration to the irrigation water as parametric variable, is developed for a water resources system with multi-objective and multiple reservoirs. This model has two stages. In the first stage of the model, the maximized firm power values are maximized by using monthly mean inflow data of the drought period. In the second stage, the maximization of the total energy of the system is realized by locating firm power values as parametric constant and by using data of the monthly average inflow in the model. A dynamic programming with successive approximations is used as optimization technique. The model is applied to a water resources system with multiple reservoirs and multi-objective in the Munzur River Basin, Turkey. Results obtained are evaluated to the energy production, irrigation water and total benefits. As a result, the irrigation water has obtained as 60×10^6 m³ where the total benefit of the system is maximized.

Key Words: Water resources system, irrigation, energy production, parametric variable approach, dynamic programming, successive approximations

Giriş

Tarımsal alanlarda bulunan çok amaçlı barajlardan oluşan sistemlerde sulama için baraj etrafında bulunan sulama alanları enerji üretimini olumsuz yönde etkileyecek duruma gelebilir. Bu durumu irdeleyebilmek için sulama alanlarının büyüklüğünün, mevsimsel sulama ihtiyacının, ürün yelpazesinin, enbüyük faydayı sağlayacak ürünlerin ve bu ürünlerin fayda değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgiler elde edildikten sonra, enerji üretimi amaçlı uzun süreli optimal işletme modeli geliştirilip bu model içinde sulama miktarının faydası irdelenerek bu faydanın enerji üretimi üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Labadie (2004), çok barajlı sistemlerde enerji optimizasyonu ve taşkın kontrolü gibi amaçların

gerçekleştirilmesi için yapılan çalışmalar üzerine dikkatleri çekmiştir. Güvel (1997), Sert ve ark. (1982, 1983), Yakowitz (1982), Yeh (1985) ve Yurtal (1993), enerji optimizasyonu ile ilgili çalışmalarında, enerji üretiminin doğrusal olmaması nedeniyle, doğrusal olmayan optimizasyon (doğrusal olmayan programlama ve dinamik programlama gibi) ve simülasyon tekniklerini kullanmışlardır. Needham (2003), taşkın kontrolü ve sulama gibi amaçlar için doğrusal ve doğrusal olmayan programlama tekniklerini ve simülasyonu kullanmıştır. Shim ve ark. (2002), DPSA' yı Kore' de, Han Havzası'nda, gerçek-zamanlı taşkın kontrol işletmeleri için uygulamışlardır. Son olarak, Yi ve ark. (2003), DPSA' yı, Aşağı Colorado Nehir Baraj Sistemi'nde saatlik optimal hidro - güç birimlerinin

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

²Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Koçaş İşletmeleri, Aksaray, Türkiye

planlanmasına yardımcı olması amacıyla uygulanmıştır.

Bu çalışmanın amacı tarımsal alanlarda bulunan çok barajlı sistemde sulamanın enerji üretimi üzerine etkilerini araştırmaktır. Bunun için sulama suyunun parametrik değişken olarak kullanıldığı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu modelin ilk aşamasında, kurak dönemin aylık ortalama akımları kullanılarak, güvenilir güç değerleri enbüyüklenmiştir. İkinci aşamada ise, modelde güvenilir güç değerleri parametrik kısıt olarak yerleştirilerek ve aylık ortalama akımlar kullanılarak sistemin toplam enerjisi enbüyüklenmiştir. Bu aşamalardan ilkinde aylık minimum işletme seviyeleri, ikincisinde ise aylık normal işletme seviyeleri elde edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Sistem: Munzur Nehri Havzası'nda Munzur Nehri ana kolu üzerinde ardışık şekilde bulunan çok barajlı bir su kaynakları sistemi uygulama amaçlı olarak seçilmiştir. Bu sisteme ait barajlardan Y. Konaktepe, Kaletepe, Uzunçayır Barajları enerji amaçlı ve

biriktirmeli; Gülyayla ve Tunceli Barajları ise enerji amaçlı ve biriktirmesiz (nehir santrali) olarak planlanmıştır. Çizelge 1'de, bu barajlara ait veriler (nehir santrali olan barajlarda maksimum ve minimum işletme seviyeleri aynıdır, çünkü gelen su miktarı biriktirilmeden sabit bir düşüden düşürülmektedir), Çizelge 2'de, biriktirmeli barajlara ait hacim yükseklik ilişkileri ve Çizelge 3'de ise, biriktirmeli barajlara ait 1973-2000 yılları arasında gözlenmiş aylık buharlaşma verilerinden elde edilen aylık ortalama buharlaşma değerleri verilmiştir. Şekil 1'de kritik döneme (kurak) ait aylık akımlar gösterilmiştir. Bu kritik akım verileri uzun süreli optimal işletme modelinde kullanılarak ve sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek güvenilir güç değerleri enbüyüklenirken aylık minimum işletme seviyeleri elde edilecektir. Şekil 2'de 1973-2000 yılları arasında gözlenmiş 27 yıllık akım verilerinden elde edilen aylık ortalama akımlar verilmiştir. Bu aylık ortalama akım verileri uzun süreli optimal işletme modelinde kullanılarak, sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek ve enbüyüklenmiş güvenilir güç değerleri modele parametrik kısıt olarak yerleştirilip toplam enerji enbüyüklenirken aylık normal işletme seviyeleri elde edilecektir.

Çizelge 1. Munzur Nehri Havzası'nda bulunan barajlara ait veriler, [Temiz (2008)]

Barajlar	Y. Konaktepe	Gülyayla	Kaletepe	Tunceli	Uzunçayır
Yağış Alanı (km ²)	1086	1151	1586	1630	3335
Kurulu Güç (MW)	105	50	53	21	117
Baraj Yüksekliği (m)	110	25	65	25	58
Maksimum İşletme Seviyesi (m)	1240	1070	990	925	900
Minimum işletme seviyesi (m)	1170	1070	960.3	925	873.8
Maksimum Hacim (10 ⁶ m ³)	456	6	47.5	5	303
Minimum Hacim (10 ⁶ m ³)	20	6	10	5	40
Kuyruksuyu kotu (m)	1070	990	925	900	840
Enerji Üretim Kapasitesi (10 ⁶ m ³)	200	200	250	260	500

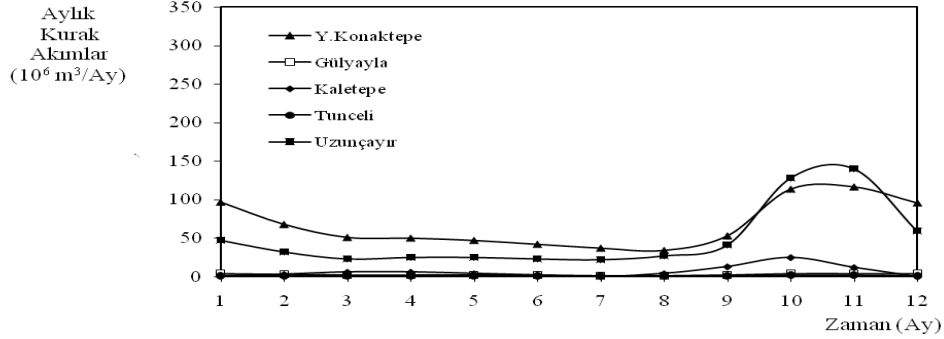
Çizelge 2. Barajlarda hacim yükseklik ilişkisi ($h=a.S^b+c$, h (m), S (10⁶ m³)), [Temiz (2008)]

Barajlar	Y. Konaktepe	Gülyayla	Kaletepe	Tunceli	Uzunçayır
A	17.624	17.624	13.440	13.440	11.110
B	0.3005	0.3005	0.4134	0.4134	0.2850
C	60	55	0	0	2

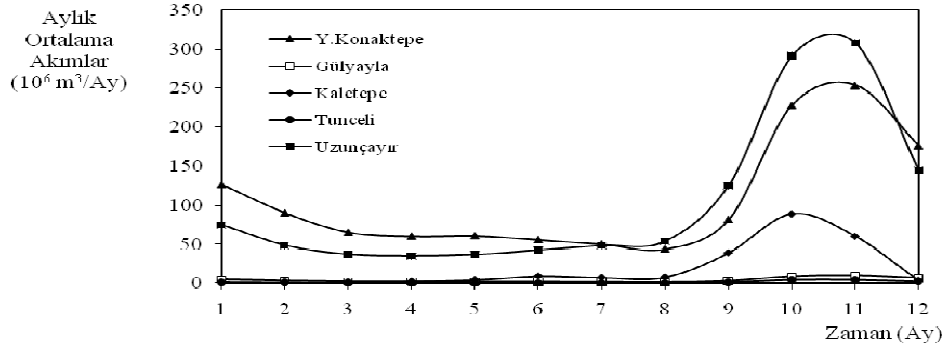
(h:Yükseklik, S:Hacim, a, b ve c : Hacim-yükseklik ilişki parametreleri)

Çizelge 3. Biriktirmeli barajlardaki buharlaşma değerleri (mm/ay), [Temiz (2008)]

Barajlar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Y.												
Konaktepe	0	0	0	0	107.92	177.85	211.16	196.04	112.23	21.98	0	0
Kaletepe	0	0	0	0	107.92	177.85	211.16	196.04	112.23	21.98	0	0
Uzunçayır	0	0	0	0	41.49	171.50	232.45	231.98	141.86	8.18	0	0

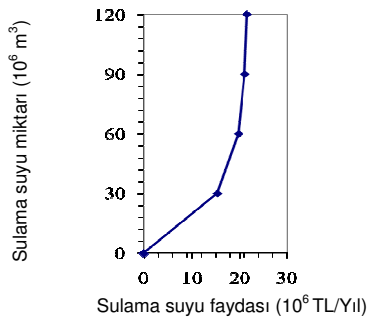


Şekil 1. Barajlara kritik dönemde havzasından gelen aylık kurak akımlar, [Temiz (2008)]



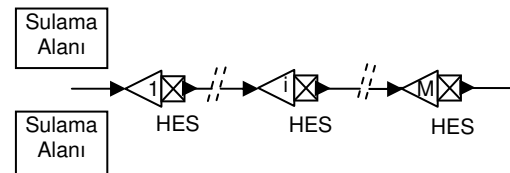
Şekil 2. Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar, [Temiz (2008)]

Sert ve ark.(2007), Munzur Nehir Havzası' ndaki Yukarı Konaktepe Barajı' nın etrafında bulunan tarımsal alanlarda birim sulama alanına düşen enbüyük faydaya sahip ürünleri (domates, salatalık, biber ve patlıcan) belirledikten sonra, bu ürünlerin sulama suyu miktarına karşılık oluşan toplam parasal net fayda değerlerini elde etmişlerdir. Buradan, Şekil 3' de gösterildiği gibi, Yukarı Konaktepe Barajı için sulama suyu miktarına karşılık sulama suyu faydasının değişimini önermişlerdir.



Şekil 3. Yukarı Konaktepe Barajı'nda sulama suyu miktarına karşılık sulama suyu değişimi

Sistemin matematiksel modeli: Bir akarsu üzerindeki çok sayıda baraj ve hidroelektrik santral(HES), çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi olarak tanımlanabilir. Şekil 4' de, sulama alanı olan çok barajlı bir su kaynakları sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Burada, ilk baraj etrafında sulama alanları bulunduğu öngörülmüştür. Bu sistem içinde bulunan herhangi bir i-barajının t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenler, Şekil 5' de gösterildiği gibidir. Burada, i=1,2,...,M: Baraj sayısını, t=1,2,...,KM: Ay/gün/saat olarak işletme zamanını göstermektedir.



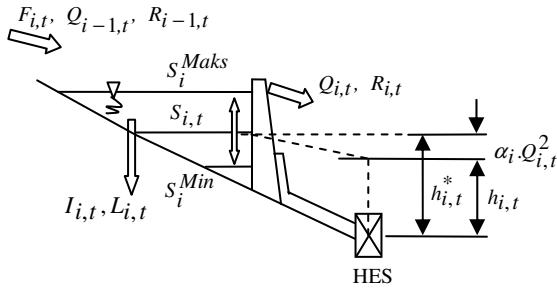
Şekil 4. Çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü

Bu sisteme ait herhangi bir i-barajı için t-zamandaki su dengesi ilişkisi;

$$\frac{dS}{dt} = X_{i,t} - Y_{i,t} \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, $X_{i,t}$: Baraja giren akımları, $Y_{i,t}$: Barajdan çıkan akımları ve $\frac{dS}{dt}$: Barajda depolanan su miktarının zamanla değişimi olarak tanımlanmıştır. Ayırık zaman dilimi için su dengesi ilişkisi aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (2)$$



Şekil 5. Herhangi bir barajın işletilmesi ile ilgili değişkenler

Buradan,

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = X_{i,t} - Y_{i,t} \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Burada, sisteme giren ve çıkan su miktarı,

$$X_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} \quad (4)$$

$$Y_{i,t} = Q_{i,t} + R_{i,t} + L_{i,t} + I_{i,t} \quad (5)$$

şeklinde olup, burada, $S_{i,t}$: Barajda depolanan su miktarı, $F_{i,t}$: Barajın havzasından gelen akım miktarı, $Q_{i,t}$: Barajdan enerji üretimi için bırakılan akım miktarı, $R_{i,t}$: Barajda dolu savaktan bırakılan akım miktarı, $I_{i,t}$: Barajda sulamaya ayrılan akım miktarı ve $L_{i,t}$: Barajdaki buharlaşma ve diğer kayıplar olarak tanımlanabilir. Eğer $\Delta t = 1$ birim zaman olarak ele alındığında, su dengesi ilişkisi,

$$\Delta S_i = S_{i,t+1} - S_{i,t} \quad (6)$$

ile buradan,

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - L_{i,t} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilebilir. Çok barajlı bir su kaynakları sisteminde her bir baraj için depolanan su miktarları, baraj maksimum ve minimum hacimleri ile sınırlanmış olmaktadır. Buna göre her bir barajda depolanan su miktarı

$$S_i^{Min} \leq S_{i,t} \leq S_i^{Maks} \quad (8)$$

arasında olmakta, burada S_i^{Min} : Barajda depolanan minimum su miktarını ve S_i^{Maks} : Barajda depolanan maksimum su miktarını göstermektedir. Barajdan bırakılacak akımlar enerji üretim kapasitesine ve dolu savak kapasitesine bağlı olarak sınırlanabilir. Buna göre barajdan bırakılan akımlar,

$$0 \leq Q_{i,t} \leq Q_i^{Maks} \quad (9)$$

$$0 \leq R_{i,t} \leq R_i^{Maks} \quad (10)$$

olmaktadır. Burada, Q_i^{Maks} : Barajdan enerji üretimi için bırakılabilecek maksimum su miktarını ve R_i^{Maks} : Barajda dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarını göstermektedir. Diğer taraftan, barajlardan bırakılan toplam akıma alt ve üst sınırlar tanımlanabilir. O zaman,

$$W_{i,t} \leq (Q_{i,t} + R_{i,t}) \leq W_i^{Maks} \quad (11)$$

arasında olup, burada, $W_{i,t}$: Barajda akarsu yatağına bırakılması gereken kuraklık ve kirlilik kontrolü için minimum su miktarı ve W_i^{Maks} : Barajda akarsu yatağına bırakılabilecek taşkın kontrolü için maksimum su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Baraj etrafında bulunan tarımsal alanlarda yapılacak sulama için ayrılan sulama suyu miktarı değerleri minimum ve maksimum sulama suyu miktarları arasında değişmektedir. Yani,

$$I_{i,t}^{Min} \leq I_{i,t} \leq I_{i,t}^{Maks} \quad (12)$$

şeklinde. Burada, $I_{i,t}^{Min}$: Barajdan sulamaya ayrılacak minimum sulama suyu miktarını ve $I_{i,t}^{Maks}$: Barajdan sulamaya ayrılacak maksimum sulama suyu miktarını göstermektedir.

Her bir barajda enerji üretimi için bırakılan akımdan elde edilen gücün hidroelektrik santral kurulu gücünü aşmaması gerekmektedir. Yani, ortalama güç,

$$P_{i,t} = k_i \cdot Q_{i,t} \cdot h_{i,t} \quad (13)$$

olup, $P_{i,t} \leq P_{k_i}$, olmalıdır. Burada, P_{k_i} : Barajda kurulu güç, k_i : Enerji üretim katsayısı ve $h_{i,t}$: Ortalama net düşüdü. Barajlardaki ortalama su yüksekliği ise,

$$h_{i,t}^* = h \left(\frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2} \right) \quad (14)$$

şeklinde (ortalama depolanmış su miktarının bir fonksiyonu olarak) elde edilmektedir. Cebri boru veya taşıma tünelineki sürtünme kayıpları dikkate alındığında,

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - (h_f)_{i,t} \quad (16)$$

olmakta ve buradan

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - \alpha_i \cdot Q_{i,t}^2 \cdot l_i \quad (17)$$

yazılmaktadır. Burada, $h_{i,t}^*$: Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce barajdaki ortalama su yüksekliği, $(h_f)_{i,t}$: Baraja ait cebri borudaki sürtünmeden dolayı yük kaybı, α_i : Barajda tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağlı bir katsayı ve l_i : Baraja ait cebri boru uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Burada, barajdaki $h_{i,t}$ yüksekliğine karşılık gelen depolama yüzey alanı belirlenip, bu değer buharlaşma yüksekliği ile çarpılarak buharlaşma miktarı belirlenebilir.

Enerji üretimi amaçlı uzun süreli planlama için optimizasyon modeli: Çok amaçlı çok barajlı su kaynakları sisteminde uzun süreli planlama modelinde, zaman adımları olarak aylar kullanılmaktadır. Sistemin verilen $10^7 \text{ m}^3/\text{Ay}$ boyutu için, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA) modeli ile aylık kurak

dönem akımları kullanılarak ve sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek güvenilir güç değerleri enbüyükleyecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) belirlenmektedir. Buradan elde

edilen güvenilir güç değerleri modelde parametrik kısıt olarak kullanılıp, sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek ve aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Nor}$) bulunmaktadır. Bu durumda amaç fonksiyonu,

iki aşamalı olup;

1. aşama, kurak dönemin aylık akımları ile güvenilir gücün enbüyüklenmesi,

$$Maks \left(\min \sum_{i=1}^M P_{i,t} \right) \quad (18)$$

2. aşama, aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin enbüyüklenmesi,

$$Maks \sum_{t=1}^{KM} \left[\left(\sum_{i=1}^M P_{i,t} - P_G \right) \cdot p_s + P_G \cdot p_G \right] \quad (19)$$

($Max \sum_{t=1}^{KM} \sum_{i=1}^M P_{i,t}$ ile eşdeğer)

$$\sum_{i=1}^M P_{i,t} \geq P_G \quad (20)$$

şeklinde. Burada, P_G : Enbüyüklenmiş güvenilir gücü (parametrik kısıt), p_G : Güvenilir enerji birim fiyatını, p_s : Sekonder enerji birim fiyatını göstermektedir. Güvenilir güç (P_G), kurak dönemin aylık akımları kullanılarak belirlenmekte ve aylık ortalama akımlara göre sekonder enerjinin enbüyüklenmesi ile toplam enerjinin enbüyüklenmesi sağlanmış olmaktadır. Burada kullanılan enerji birim fiyatlarının sonuç üzerinde bir etkisi olmamakla birlikte, sadece toplam enerji faydasının değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Yapısal denklemler, Denklem 7' de ifade edilen her bir baraj ve dönem için yazılan su dengesi ilişkisi şeklindedir. Sistemdeki kısıtlar ise, Denklem 8' de gösterilen her bir baraja ait işletme seviyesinin maksimum ve minimum değerleri ile Denklem 9 ve 10' da gösterilen enerji üretimi için barajdan bırakılan ve dolusavaktan savaklanan akımların maksimum değerleri olarak tanımlanmaktadır.

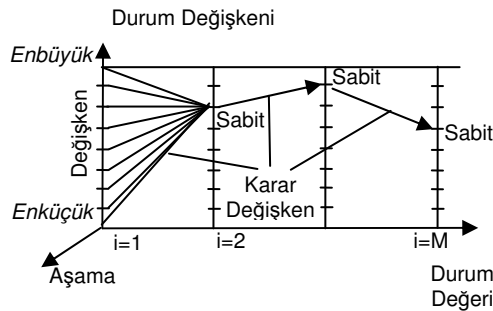
Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA): DPSA optimizasyon tekniğini kullanmanın amacı, çok karar değişkenli bir dinamik programlama (DP) problemini, her birinde tek bir karar değişkeni olan DP'ye ait alt problemlere ayırmak ve böylece karar değişkenlerini teker teker ele alarak ana problemi çözmektir. Bu tekniğin avantajı, çok boyutlu bir dinamik programlama problemini bir dizi tek boyutlu probleme indirgeyerek, hem hesaplama zamanını hem de bilgisayar bellek gereksinimlerini (DP' de bilgisayar zamanı ve bellek gereksinimi üssel bir artış göstermektedir) azaltmaktır.

En iyi çözümün bulunabilmesi için başlangıç çözümünün dikkatli seçilmesi ve birden fazla başlangıç çözümü denenerek sonuçların karşılaştırılması gerekebilir. Opan (2007), DPSA' da, herhangi bir aşama için durum, durum değeri ve karar değişkeni için şematik gösterimini veren Şekil 6' yı üretmiştir.

DPSA' da üç değişken tipi vardır. Bunlar:

1. Sistemin davranışını olduğu gibi tanımlayan ve sistemin herhangi bir andaki durumunu gösteren durum değişkeni (barajın işletme seviyesi),
2. Seçilen bir amaca göre sistemin kontrol edilebilir girdileri hakkında karar vermeyi sağlayan karar değişkeni (barajdan enerji üretimi için bırakılan ve dolu savaktan savaklanan su miktarları),
3. Bu kararların verildikleri aralıkları belirleyen aşama değişkeni (işletme zamanı),

şeklinde. Bu değişkenlerin bazı kısıtlara bağlı olarak aldıkları değer takımına politika denmektedir. Bu politikanın sistemin çıktılarını üzerine etkisini belirleyen ölçüt ise, amaç fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır



Şekil 6. DPSA' da herhangi bir aşamasındaki durum değeri ve durum-karar değişkeninin şematik gösterimi

Parametrik değişken yaklaşımı: Çok barajlı sistemlerde barajlar birçok amaca hizmet etmektedir. Ancak optimizasyon teknikleri içerisinde genelde amaç fonksiyonunda tek amacın fayda değeri gözetildiği için, birden fazla amacın fayda değerlerinin amaç fonksiyonunda kullanılması ya hedef programlama optimizasyon tekniği ile ya da herhangi bir optimizasyon tekniği içinde parametrik değişken yaklaşımı kullanarak mümkün olabilir. Parametrik değişkenin herhangi bir optimizasyon tekniğinde kullanılabilmesi

1.Yapısal denklemlerde yer alan parametrik değişkenin alt ve üst sınırları arasında herhangi bir değer atanması,

2.Atanan parametrik değişkeninin değerine karşılık olarak amaç fonksiyonunun ürettiği optimum değer belirlenmesi,

ile gerçekleştirilmektedir. Tek amaç fonksiyonlu optimizasyon tekniklerinde yapısal denklemlerin içerisine istenilen amaçlar doğrultusunda gerektiği kadar parametrik değişken atanabilir. Bu çalışmada, sulama suyu miktarı parametrik değişken olarak kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Munzur Nehri Havzası' nda Y. Konaktepe Barajı etrafında bulunan sulama alanlarının sulanma ayları olarak Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları seçilmiştir. Optimizasyon modelinde verilen kısıtlar altında çözüm üretebilmek için, bu aylarda havzadan gelen akımlar ve aylık sulama ihtiyacı gözetilerek, sulamaya ayrılacak su miktarının her ay eşit olarak yapılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu durum tamamen havzaya bağlı olup, farklı havzalarda farklı sulamalar yapılabilir. Ayrıca, enerji amaçlı olarak tanımlanan sistemi hangi baraj etrafında bulunan sulama alanının etkilediği araştırılmış ve ilk baraj etrafında bulunan sulama alanlarının sistemin diğer barajlarının depolama kapasitelerini olumsuz bir şekilde etkilediği görülmüştür.

Optimizasyon sonucunda, sulama suyu miktarına karşılık güvenilir/sekonder/toplam güç değerleri Çizelge 4' de verildiği gibi elde edilmiştir. Burada, sulama için ayrılan su miktarı artırıldığı zaman, güvenilir/sekonder/toplam güç değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 5'de ise, güvenilir/sekonder/toplam güçlere ait birim fayda değerleri verilmektedir. Bu veriler kullanılarak, Çizelge 6'da, sulama suyu miktarına karşılık, enerji üretimi ve toplam fayda

değerleri elde edilmiştir. Burada, sulama suyu miktarı artırıldığı zaman, sulama suyu faydası artmakta, enerji üretimi faydası azalmakta ve toplam fayda değeri sulama suyu miktarının $60 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğu yerde $168.331 \times 10^6 \text{ TL/Yıl}$ olmakta ve bu sulama değeri için toplam fayda enbüyük değerine ulaşmaktadır.

Toplam fayda değerini en büyük yapan sulama suyu miktarı, optimum sulama suyu miktarı olarak

kabul edilmektedir. Optimum sulama suyu miktarı değerine ait aylık minimum işletme seviyeleri Şekil 7' de ve aylık normal işletme seviyeleri ise, Şekil 8'de gösterilmiştir. Burada, işletme seviyeleri incelendiğinde, büyük işletme hacmine sahip Y. Konaktepe ve Kaletpe Barajları'nın işletme seviyelerinde büyük değişimler yaparak optimizasyon sürecini kontrol ettikleri ve yönettikleri görülmektedir.

Çizelge 4. Sulama suyu miktarına karşılık en büyüklenmiş güvenilir/sekonder/toplam güç değerleri

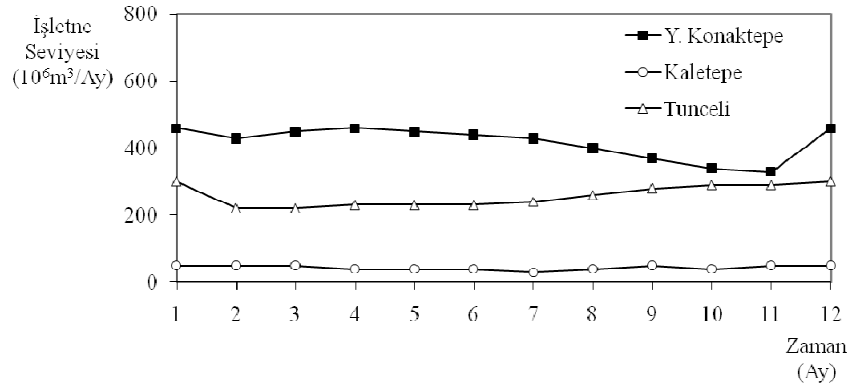
Sulama suyu miktarı $I_{1,t}$ (10^6 m^3)				Enbüyüklenmiş Güvenilir Güç (MW/Yıl)	Toplam Güç (MW/Yıl)	Sekonder Güç (MW/Yıl)
Haziran	Temmuz	Ağustos	Toplam			
0	0	0	0	79.539	138.650	59.111
10	10	10	30	79.625	135.630	56.005
20	20	20	60	79.625	132.530	52.905
30	30	30	90	79.711	129.380	49.669
40	40	40	120	78.221	126.140	47.919

Çizelge 5. Güvenilir/sekonder/toplam güç, enerji ve fayda değerleri

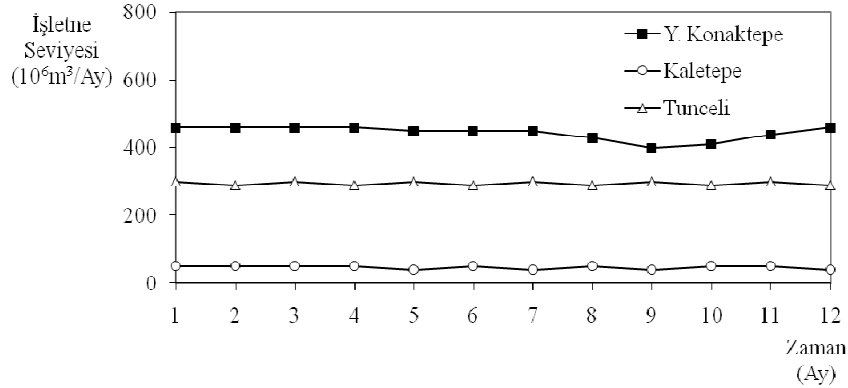
	Güç (MW)	Enerji/Yıl (MW-saat)	Birim Fiyat (TL/kW-saat)	Fayda (10^6 TL/Yıl)
Güvenilir	79.539	696 762	0.14	97.547
Sekonder	59.111	517 812	0.11	56.959
Toplam	162.480	1 214 574	-	154.506

Çizelge 6. Enerji üretimi ve sulama suyu miktarı ile elde edilen toplam fayda değerleri

Sulama miktarı $I_{1,t}$ (10^6 m^3)				Enerji Üretimi (MW-saat/Yıl)	Sulama Suyu Faydası (10^6 TL/Yıl)	Enerji Üretimi Faydası (10^6 TL/Yıl)	Toplam Fayda (10^6 TL/Yıl)
Haziran	Temmuz	Ağustos	Toplam				
0	0	0	0	1 214 574	0	154.506	154.506
10	10	10	30	1 188 119	15.3	151.619	166.919
20	20	20	60	1 160 963	19.7	148.631	*168.331*
30	30	30	90	1 133 369	21.0	145.619	166.619
40	40	40	120	1 104 986	21.5	142.105	163.605



Şekil 7. Barajlarda kurak dönemde optimum sulama suyu miktarı ile oluşan aylık minimum işletme seviyeleri



Şekil 8. Barajlarda optimum sulama suyu miktarı ile oluşan aylık normal işletme seviyeleri

Sonuç

Sulama suyu miktarının parametrik olarak ele alındığı enerji üretiminin enbüyüklenmesi amaçlı olarak geliştirilen uzun süreli optimal işletme modeli Munzur Nehri Havzası'nda bulunan çok barajlı bir su kaynakları sistemine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Yapılan optimal işletme neticesinde, sulama suyu miktarı arttığı zaman, sulama faydası artmakta, enerji üretimi faydası azalmakta ve toplam fayda değeri su miktarının 60×10^6 m³ olduğu yerde 168.331×10^6 TL/Yıl olmakta ve enbüyük değere ulaşmaktadır. Toplam fayda değerini en büyük yapan sulama suyu miktarı optimum sulama suyu miktarı olarak kabul edilmektedir. Optimum sulama suyu miktarına karşılık elde edilen optimal işletme seviyeleri incelendiğinde, en büyük işletme hacmine sahip barajların optimizasyon sürecini kontrol ettiği ve yönettiği görülmüştür.

İleriki zamanlarda yapılacak çalışmalar olarak, optimizasyon modelinde, sulama suyu miktarı için farklı senaryolar kullanılabilir. Bir benzetim modeli üretilerek elde edilen sonuçlar ile optimizasyon modeli karşılaştırılabilir. Ayrıca, diğer barajlar etrafında da sulama alanları tanımlanarak analizler yapılabilir.

Teşekkür

Aramızdan 1 Mayıs 2007 tarihinde ayrılan Mahmut Sert, bu çalışmanın ortaya çıkartılması ve geliştirilmesi üzerine çok büyük katkılarda bulunmuştur. Olmadan bu çalışma asla yapılmazdı. Katkılarından dolayı kendisine çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Güvel Ş. P. 1997. Ceyhan ve Seyhan Havzaları'nın Hec-5 programı ile taşkın kontrolü ve enerji optimizasyonu amaçlı simülasyonu. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adana.
- Labadie J. W. 2004. Optimal operation of multi-reservoir system: State-of-the-art review. *Journal of Water Resources Planning and Management* 130(2): 93-111.
- Needham J. T., D. W. Watkins and J. R. Lund. 2000. Linear programming for flood control in the Iowa and Des Moines Rivers. *Journal of Water Resources Planning and Management* 126(3): 118-127.
- Opan M. 2007. Çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi Kocaeli.
- Sert M., G. Kızıltan, A. İ. Dalgıç, M. Karadeniz, A. U. Ünal ve S. Uşşay. 1982. Bir akarsu üzerindeki bir seri hidroelektrik tesisin optimal boyutlandırma ve işletilmesi: Munzur Suyu Projesi Uygulaması. TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Yöneylem Araştırması Bölümü Gebze/Kocaeli.
- Sert M., M. Öcal, N. Oktay ve M. Ertuğrul. 1983. Sakarya Havzası optimal enerji üretimi projesi. TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Yöneylem Araştırması Bölümü Gebze/Kocaeli.
- Sert M., M. Opan ve T. Temiz. 2007. Multi-objective optimal planning in multiple reservoir systems. *International Congress on River Basin Management* 554-567 Antalya.
- Shim K.-C., D. Fontane and J. W. Labadie. 2002. Spatial decision support system for integrated river basin flood control. *Journal of Water Resources Planning and Management* 128(3): 190-201.

Temiz T. 2008. Çok Barajlı Havzalarda Uzun Süreli Planlama. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli.

Yakowitz S. 1982. Dynamic programming applications in water resources. Water Resources Research 18(3): 673-696.

Yeh, W. 1985. Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review. Water Resources Research 21(12): 1797-1818.

Yi J., J. W. Labadie and S. Stitt. 2003. Dynamic optimal unit commitment and loading in hydropower systems. Journal of Water Resources Planning and Management 129(5): 388-398.

Yurtal R. 1993. Çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırımlı dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası'na uygulanması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adana.

İletişim adresi:

Mücahit OPAN
Kocaeli Üniversitesi, Umutepe Kampüsü, Mühendislik
Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Prof. Dr. Mahmut Sert
Hidrolik Laboratuvarı, İzmit, Kocaeli, Türkiye.
Tel: 0-262-303 30 62
E-posta: opanmucahit@yahoo.com