

GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK ÇOKLU REZERVUARLARIN OPTİMİZASYONU

Onur Hınçal¹, A.Burcu Altan Sakarya², A. Metin Ger³

Özet

Rezervuarların eniyi işletme politikasını belirlemek için optimizasyon tekniklerinin uygulanması, su kaynakları ve işletmesi alanında önemli bir konudur. Evrim teknikleriyle yönetilen genetik algoritmalar bilimin çeşitli alanlarında optimizasyon problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın ana hedefi, çoklu rezervuarların optimizasyonunda genetik algoritmanın uygulanabilirliğinin verimliliğini ve etkinliğini araştırmaktır. Bu maksatla bir bilgisayar kodu geliştirilmiş ve bu kod bilinen global optimuma sahip bir kaynak problem aracılığıyla doğrulanmıştır. Colorado Nehri Depolama Projesinde yer alan üç rezervuar, enerji üretimini en büyük hale getirmek üzere optimize edilmiştir. Aynı zamanda, gerçekleşen ve önsel verilerin harmanını kullanan bir gerçek zamanlı yaklaşım da önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar gerçekleşmiş işletme verileri ile karşılaştırılmış ve genetik algoritmanın etkili, rekabet edebilir olduğu ve diğer geleneksel optimizasyon tekniklerinin yanında alternatif bir teknik olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Giriş

5.000 yıl boyunca, barajlar, suyu ihtiyaç fazlası olduğu zamanlarda depolayarak ve yetersizlik zamanlarında suyu salarak yeterli su kaynağını sağlayıp insanlığa hizmet etmiştir. Bugün, dünyada yetersiz su kaynaklarının yönetimine katkı sağlayan ve yıkıcı seller ve kuraklıkları hafifleten 45.000'in üzerinde baraj vardır. Barajlar, sulamalı tarım, enerji üretimi, evsel ve endüstriyel tedarik ve nehir ulaşımı için talep yapısını karşılamak üzere doğal akışı mevsimsel değişimler ve iklimsel düzensizliklere göre düzenlemektedir. Dünya çapında yapılan büyük baraj ve rezervuar yatırımlarına rağmen, barajların birçoğu hala deneyim, yaklaşık hesaplar veya inşaat sırasında kurulan statik kurallar esas alınarak işletilmektedir. İşletme politikalarındaki küçük iyileştirmeler dahi, birçok tüketici için büyük faydalar sağlayabilir.

Rezervuar işletmesi optimizasyonu, yıllar boyunca geniş araştırmaları üzerine çekmiştir. Su kaynakları sistemlerinin tasarım, planlama ve uygulamasında optimizasyon, daima

¹ Dr. Büyükdere cad. No:38 Mecidiyeköy 34394, İstanbul, Türkiye.

² Doç. Dr. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara, Türkiye.

³ Prof. Dr. T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

yoğun bir araştırma alanı olmuştur. Rezervuar işletmesi problemi, bir karar verme problemi olarak değerlendirilebilir. Bu çalışma, söz konusu rezervuarlarda depolanacak veya salınacak optimal hacimler hakkındaki kararları, yani işletimsel kararları kolaylaştırmak üzere bir işletim modeli oluşturmayı amaçlamaktadır.

Çoklu rezervuar işletme/yönetim planlaması, birçok değişken, hedef ve kararı içinde barındıran karmaşık bir görevdir. Bugüne kadar, optimizasyon yöntemleri hem planlama amaçları hem de gerçek zamanlı işletim için uygulanmıştır. Gerçek zamanlı rezervuar işletmesi, mevcut rezervuar sisteminin optimal işletimi ve oldukça kısa zaman dilimlerinde verilmesi gereken su salınımı kararlarını ele alır.

Rezervuar işletimlerinin optimizasyonu için rezervuar işletim kurallarını tanımlayan birçok yaklaşım geliştirilmiştir ve bu optimizasyon problemine ilişkin birçok fark teknik çalışılmıştır. Rezervuar işletmesi optimizasyon tekniklerinin tarihsel geçmişi aşağıda verilmiştir.

Uzun vade için, rezervuar işletmesi optimizasyonunda dinamik programlama (Bellman, 1957) güçlü bir yaklaşıma sahiptir. Young (1967), dinamik programlama kullanarak münferit rezervuar için optimal işletim kuralları geliştirmiştir. Larson (1968), artımlı dinamik programlamayı kullanarak dört rezervuarlı problemi ele alan bir çalışma sunmuştur. Hall et al. (1969), artımlı dinamik programlamanın farklı bir formunu kullanarak, iki rezervuarlı problemi çalışmıştır. Heidari et al. (1971), artımlı dinamik programlama önerisinden yola çıkarak, kesintili türevsel dinamik programlama adı verilen bir model geliştirmiştir.

Genetik algoritma ilk olarak Holland, J. (1975) tarafından geliştirilmiş, 1960'lar ve 1970'lerde ve son olarak öğrencilerinden biri olan ve doktora tezinde gaz hattı iletiminin kontrolünü içeren zor bir problemi çözebilmiş olan David Goldberg tarafından yayınlanmıştır (Goldberg, 1989). Holland, şema teoremi yoluyla genetik algoritmalar için teorik bir temel geliştirmeye çalışan ilk kişi olmuştur. Genetik algoritmanın önderleri, Goldberg (1989) ve Michalewicz (1992), tatmin edici tanımlar ve genetik algoritma-ya genel bakışı birçok makalede sunmuştur.

Esat ve Hall (1994), genetik algoritmayı dört rezervuarlı probleme uygulamıştır. Bu problemin hedefi, rezervuarlardaki depolama ve salınımlar üzerindeki sınırlamalarla, enerji üretimi ve sulama suyu tedariğinden elde edilen faydaları maksimize etmek olmuştur.

Bu çalışmada, çok rezervuarlı sistem optimizasyonu problemi, karar değişkenleri, hedef işlev ve sınırlamaları içinde barındıracak şekilde formüle edilmiştir. Genetik algoritma ve optimizasyon problemlerindeki uygulamaları üzerinde kapsamlı çalışma sonrasında, söz konusu matematik modeli optimize etmeyi amaçlayan bir genetik algoritma oluşturulmuş ve yapılandırılmıştır. Ardından, yukarıda anılanların içinde bulunduğu ve kullanıldığı bir bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Bilinen bir global optimum çözümü olan dört rezervuarlı problemten yararlanılarak bir doğrulama süreci uygulanmıştır. Önerilen genetik algoritma optimizasyon tekniğinde kullanılan değişkenlerin etkilerini değerlendirmek amacıyla bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu doğrulama aşamasını gerçek zamanlı bir çalışma takip etmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan bir çok rezervuarlı sistem gerçek vaka olarak seçilmiştir. Gerçek zamanlı bir optimizasyon uygulanmış ve bu sistem üzerinde gerçek vaka çalışması yapılmıştır.

Problemin Tanımlanması

Optimal işletme politikasının amacı, suyun sistemde nasıl kullanılacağına belirlenmesidir. Bu çalışmada, fayda, sistemden kazanılan enerji olarak dikkate alınmıştır. Karar değişkenleri, her bir zaman aralığında her bir rezervuardan yapılan su salınımlarıdır. Amaç sistemden azami enerji üretimini sağlayacak salınımların optimum kombinasyonunu bulmaktır. Salınımlar ve depolamalar için üst ve alt limitler bulunmaktadır. Ayrıca, dikkate alınan zaman dilimlerinin sonundaki depolamaların hedef bitiş asgari depolamalarına eşit veya bu depolamalardan daha fazla olması gereklidir. Bu sınırlamalar, problemin kısıtlarını oluşturmaktadır. Problemin bir başka kısıtı, tüm sistem boyunca süreklilik denkleminin sağlanması gerekliliğidir. Genel olarak hedef fonksiyonu tüm zamanlarda tüm rezervuarlarda üretilen toplam enerjinin maksimizasyonu olarak ifade edilmekte ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır,

$$\text{Maksimize } \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (Enerji_{i,t}) \quad (1)$$

burada I , rezervuar sayısı ve T , toplam zaman dilimidir. Denklem (1) aşağıdaki kısıtlara tabidir. Aşağıdaki şekilde tanımlanan süreklilik tüm zamanlarda sağlanmalıdır,

$$S_{i,t+1} = S_{i,t} + I_{i,t} - R_{i,t} \quad i = 1, \dots, I \text{ ve } t = 1, \dots, T \text{ için} \quad (2)$$

burada $S_{i,t}$, $I_{i,t}$ ve $R_{i,t}$ i nci rezervuar için t nci zaman adımında sırasıyla depolama, gelen akım ve salınımdır.

Depolamalar azami depolamaya eşit veya bu değerlerin daha altında ve asgari depolamalara eşit veya bu değerlerin daha üzerinde olacaktır,

$$S_{i,\min} \leq S_{i,t+1} \leq S_{i,\max} \quad i = 1, \dots, I \text{ ve } t = 1, \dots, T \text{ için} \quad (3)$$

Benzer biçimde, salınımlar azami ve asgari salınım değerleri arasında olacaktır,

$$R_{i,\min} \leq R_{i,t} \leq R_{i,\max} \quad i = 1, \dots, I \text{ ve } t = 1, \dots, T \text{ için} \quad (4)$$

Bitiş depolaması, hedef bitiş asgari depolamalarına eşit veya bu değerlerin üzerinde olacaktır,

$$S_{i,T} \geq d_{i,T} \quad i = 1, \dots, I \text{ için} \quad (5)$$

burada $d_{i,T}$ i nci rezervuar için, T nci zaman adımında hedef bitiş depolaması ve T söz konusu problem için bitiş zamanıdır.

Depolamalar Denklem (2)'de verilen süreklilik denklemini kullanılarak hesaplandığı için zaten sağlanmaktadır. Ayrıca, rezervuarlardan yapılacak salınımlar problemin kontrol değişkenleri olduğundan, bu kısıtın ayrıca yazılmasına gerek yoktur. Diğer kısıtlar, hedef fonksiyona ceza fonksiyonu olarak eklenmiştir. Böylelikle, kısıtlı optimizasyon problemi, kısıtsız bir optimizasyon problemi haline almaktadır. Kısıtlı problemin kısıtsız probleme dönüştürülmesinin altında yatan amaç, problemi Genetik Algoritma vasıtasıyla ele alabilmektir. Örneğin $S_{i,t} > S_{i,\max}$ için ceza terimi şöyle tanımlanmıştır,

$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T [c_1 \min(0, (S_{i,\max} - S_{i,t}))^2]$ ve Denklem (1)'e eklenmiştir.

Benzer biçimde, $S_{i,t} < S_{i,\min}$ için,

$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T [c_2 \min(0, (S_{i,\min} - S_{i,t}))^2]$ Denklem (1)'in içine ceza terimi olarak eklenir.

Son olarak, $S_{i,T} < d_{i,T}$ için,

$\sum_{i=1}^I [c_3 \min(0, (d_{i,T} - S_{i,T}))^2]$ Denklem (1)'in içine ceza terimi olarak eklenir.

Burada, azami, asgari depolamalar ve hedef bitiş asgari depolamasından olan sapmalar kısıtlardan sapmaların karesi mertebesinde cezalandırılır. c_1 , c_2 ve c_3 sabittir. Bu sabitler, fayda terimleri mertebesinde olmalarını sağlamak amacıyla ceza terimlerinin ağırlığının bir ayarlayıcısı rolünü üstlenir.

Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma, doğal seleksiyon ve doğal genetik mekaniğine dayalı bir arama algoritmasıdır (Goldberg, 1989). Adının da ifade ettiği üzere, genetik algoritma, doğal evrim ve en iyinin hayatta kalması ilkelerine dayalıdır. Genetik algoritmalarda, problemin aday çözümlerinin popülasyonu kullanılır. Genetik algoritmalar, eşzamanlı olarak problemin birden çok aday çözümünü dikkate alır ve bu çözümler popülasyonunu global optimuma doğru hareket ettirerek ilerler.

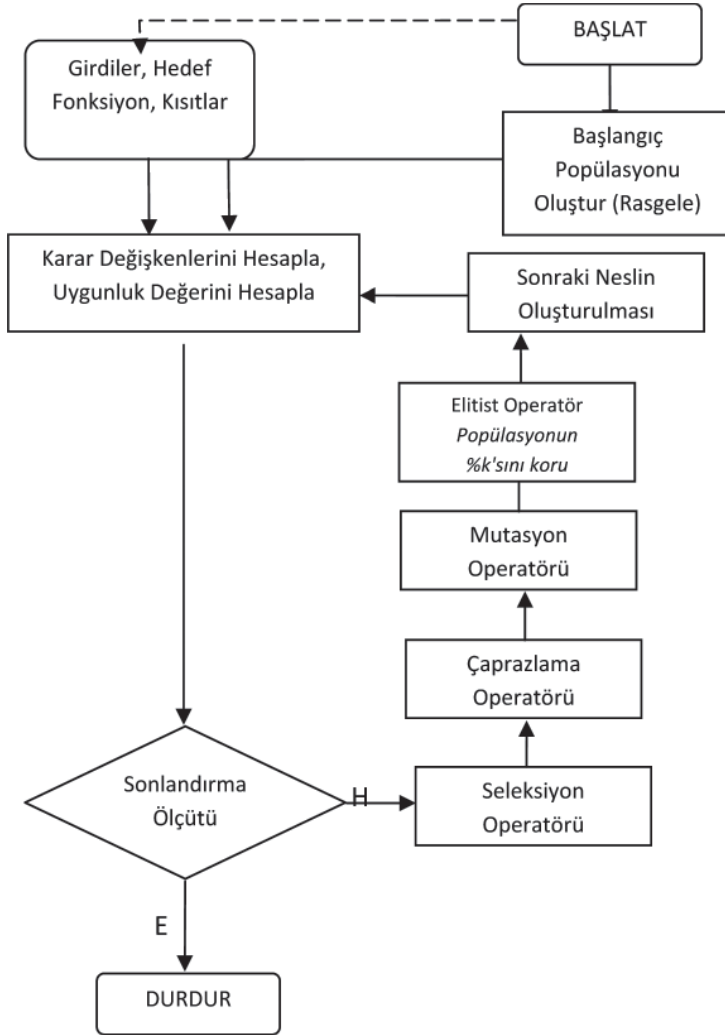
Genetik algoritma, ana nesil süreci döngüsüne sahiptir. Bu döngü, esas olarak nesil sayısı ile yönetilir. Bu döngü içinde, bir başlangıç popülasyonu oluşturulur; her birey sayısal olarak ifade edilebilecek şekilde kodlanır; ardından popülasyonun her bireyine, sonraki nesillerde yaşayıp yaşamayacağını değerlendirmek üzere kullanılacak bir parametre olan bir uygunluk değeri atanır. Sonraki nesilde yaşamaya hak kazanacak bireyin değerlendirilmesi ve seçimi, seleksiyon, çaprazlama ve mutasyon adı verilen genetik operatörler sayesinde gerçekleştirilir.

Algoritma içinde bulunan süreçleri gösteren bir genel genetik algoritma akış çizelgesi Şekil 1'de verilmiştir.

Kodun Doğrulaması

Kodu doğrulamak için, Larson (1968) tarafından formüle edilmiş ve ilk kez çözülmüş olan ve Heidari ve arkadaşları (1971) tarafından detaylandırılmış olan dört rezervuarlı problem kullanılmıştır. Bu problemin bilinen bir global optimum değere sahip olması doğrulama için seçilmesinde etkili olmuştur. Bu problem, genetik algoritmaların bilinen bir global optimum karşısındaki performansının ölçülmesine ve duyarlılık analizi yapılmasına imkan vermektedir.

Dört rezervuarlı problemi doğrulama için uygun bir referans model olarak benimseyerek, önceden belirtilmiş hedef fonksiyon ve kısıtlar çalışılmış ve genetik algoritma ile çok rezervuarlı sistemlerin optimizasyonu için oluşturulmuş bilgisayar kodunun per-



Şekil 1 - Genetik Algoritma Akış Çizelgesi

formansını test etmek için incelenmiştir. Girdi parametrelerindeki değişimin uygunluk değeri üzerindeki etkisini elde etmek üzere duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Çaprazlama ihtimaline karşı duyarlılık analizi sonuçları, azami uygunluk değerindeki değişimin artan nesil sayısı ile önemsiz hale geldiğini göstermektedir. Popülasyon boyutu ve nesil sayısına karşı duyarlılık analizi sonuçları, popülasyon boyutunun azami uygunluk değeri üzerindeki etkisi daha az dikkate değer hale geldiğinde azami uygunluğun arttığını göstermiştir. Son olarak, mutasyon ihtimaline karşı duyarlılık analizi sonuçları, 0.02 ile 0.06 arasındaki mutasyon ihtimali için, mutasyon ihtimalinin azami uygunluk değeri üzerindeki etkisinin önemsiz olduğunu göstermiştir.

Gerçek Zamanlık Yaklaşımın Geliştirilmesi, Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirmesi

Colorado Nehri Depolama Projesindeki (CNDP) Problemin Tanımlanması

Colorado Nehri Depolama Projesi (CNDP) incelenmiş, Blue Mesa, Morrow Point ve Crystal Rezervuarlarında gerçekleşen işletim verileri geliştirilmiş olan optimizasyon kodu vasıtasıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. CNDP'nin genel açıklaması ve bahsi geçen rezervuarlardan oluşan çok rezervuarlı sisteme ilişkin bilgiler Hınçal (2008)'de verilmiştir.

Dört rezervuarlı problemde kullanılan hedef fonksiyon, yalnızca bu problem için özel olarak belirlenen kısıtları içermektedir ve bu nedenle bu hedef fonksiyon herhangi başka bir rezervuara esneklikle uygulanamaz. Bu düşünceden hareketle, başka gerçek vaka problemlerine uygulanabilecek daha genel bir hedef fonksiyonun oluşturulmasına çalışılmıştır. Bu çalışmada Barros ve arkadaşlarının (2003) hedef fonksiyon formülasyonu benimsenmiştir.

$$\text{Maksimize } \sum_t \sum_i (\xi_{i,t} R_{i,t}) \quad (6)$$

burada, $\xi_{i,t}$ MWh.s/m³ cinsinden enerji üretim fonksiyonudur; şöyle ki:

$$\xi_{i,t} = \varepsilon_i \Delta H_{i,t} = \varepsilon_i (HF_{i,t} - HT_{i,t}) \quad (7)$$

burada ε_i MWh.s/m⁴ cinsinden spesifik üretkenliktir. $HF_{i,t}$ rezervuar memba su seviyesi ve $HT_{i,t}$ is kuyruksuyu seviyesidir, her ikisi de m birimine sahiptir.

CNDP'den elde edilen geçmiş verilere ait enerji karşısında $\Delta H_{i,t} R_{i,t}$ değerleri incelenmiş ve sözkonusu olan her bir rezervuar için grafikleri çizilmiştir. Bu verilere uygun olarak çizilen çizginin eğimi, üç rezervuarın spesifik üretkenliklerini göstermektedir. Memba su seviyesi depolama değerinin bir fonksiyonudur ve seviye-alan-kapasite eğrileri aracılığıyla memba su seviyesi, HF ile depolama değerleri, S arasındaki ilişki elde edilmiştir. Ardından, CNDP'deki her bir rezervuar için belirli bir zaman için salma ve depolamanın bir fonksiyonu olarak enerji formülasyonu elde edilmiştir. Ayrıca, tüm zamanlar için rezervuar depolamalarındaki kısıtlar, S_r tüm zamanlar için salmalardaki kısıtlar R_i (m³/s), her zaman dilimi t için her bir rezervuar için süreklilik denklemi ve incelenmiş olan ilk yılın sonundaki hedef asgari depolama değerleri dikkate alınmıştır. Sınır ve başlangıç koşullarını, hedef fonksiyonu, ceza terimlerini ve dolayısıyla uygunluk değeri fonksiyonunu belirleyerek, problemin geri kalan girdilerini duyarlılık analizlerinin sonuçları ışığında tanımlayarak, farklı karşılaştırma yaklaşımları için kod çalıştırılmıştır. Çalışmanın ayrıntıları Hınçal (2008)'de bulunabilir.

Anılan hususlar dahilinde, program optimum değere yakınsama ile sonuçlanan aşağıdaki genetik algoritma parametreleri değerler kümesi ile çalıştırılmıştır: Başlangıç Popülasyonu: 5.000, Nesil Sayısı: 5.000, Çaprazlama Olasılığı: 0,70, Mutasyon Olasılığı: 0,02, Rulet Tekerleği Seleksiyon Operatörü ve BLX- α ($\alpha=0,10$) Çaprazlama Tekniği.

Yaklaşımların Karşılaştırması

CNDP'nin enerji üretimi, konvansiyonel yaklaşım ve gerçek zamanlı yaklaşım kullanılarak genetik algoritma ile elde edilenler ile karşılaştırılmıştır.

Konvansiyonel Yaklaşım

İlk olarak, geliştirilmiş olan kod, 1 yıllık bir zaman dilimi (2005 yılının 12 ayı) dikkate alınarak çalıştırılmıştır. İkinci olarak, 2006 yılı, geliştirilmiş olan kod yardımıyla ayrı ayrı optimize edilmiştir. Mevcut işletme verileri 2005 yılından oniki ayı ve 2006 yılından onbir ayı kapsamaktadır.

Bir başka değerlendirme de, ayrı ayrı incelenmiş 1 yıllık sürelerin her ikisinin de optimizasyonu, bir başka deyişle 2 yıllık zaman dilimi dikkate alınarak optimizasyon olmuştur. Optimizasyon sonrasında elde edilen değerler, gerçekleşmiş işletim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Gerçek Zamanlı Yaklaşım

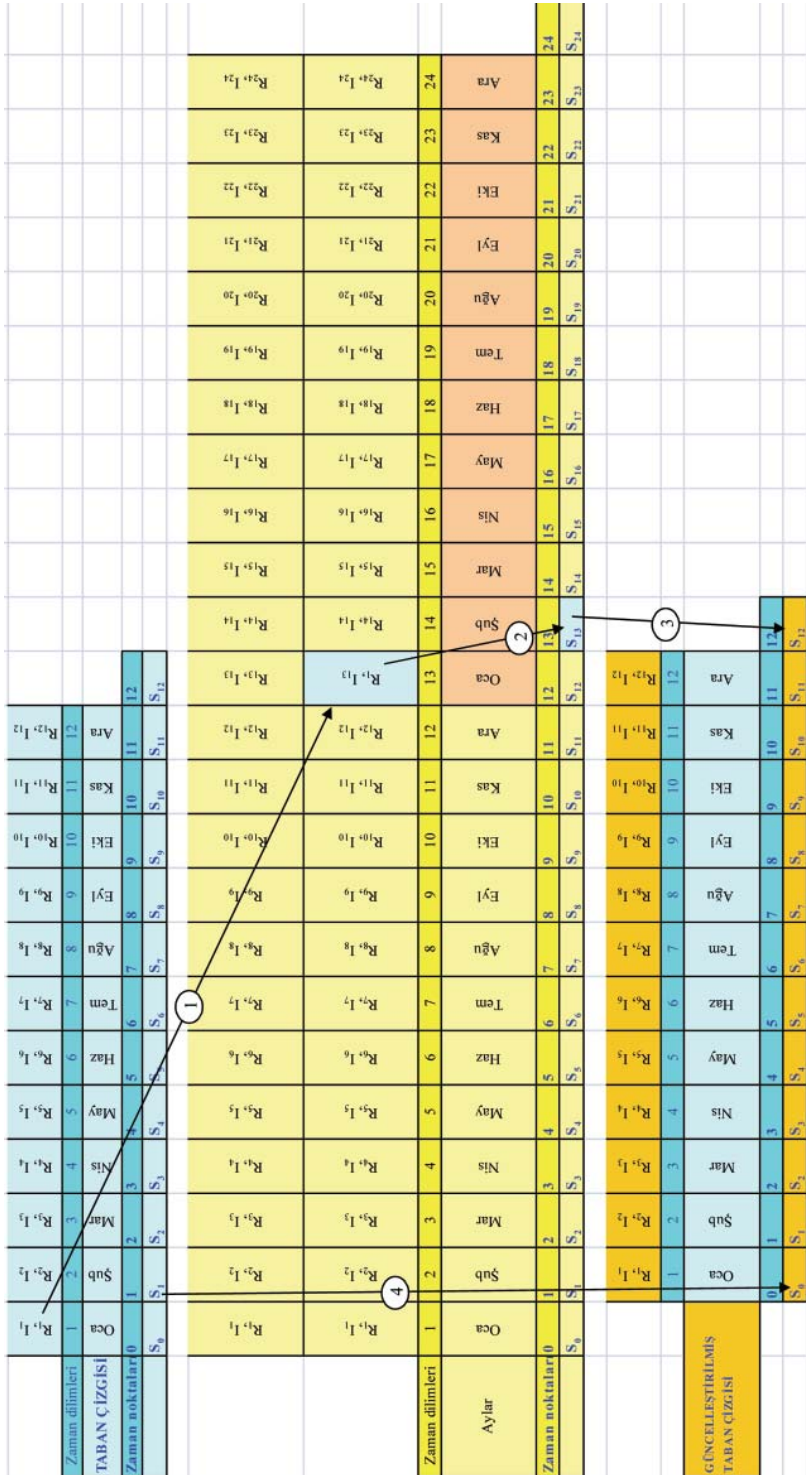
CNDP'de dikkate alınan çok rezervuarlı sistem için son aşamada gerçek zamanlı yaklaşım denenmiştir. Gerçek zamanlı yaklaşımın asıl hedefi, geliştirilmiş kodu kullanarak çok rezervuarlı sistemin enerji maksimizasyonu esasıyla gerçek zamanlı optimizasyonunu sağlamak olmuştur.

İlk olarak, geçmişte gerçekleşmiş işletim verilerinin dikkate alınmasıyla kod kullanılarak 1 yıllık zaman dilimi (2005) optimize edilmiştir. Enerji maksimizasyonu kriterine göre optimize edilen sonuç, incelenmekte olan sisteme ilişkin koşulların tarihsel geçmişini içinde barındıran bir şablon taban çizgisini oluşturmuştur.

Bu şablon taban çizgisi, gelecekteki gerçek zamanlı optimizasyonlar için kullanılmıştır. İkinci yıl (2006), bu yaklaşım kullanılarak optimize edilmiştir. Bu yaklaşımda, optimizasyon her ay yenilenmiştir. Her ayın sonunda, gelen akım değerleri bilinen bir değer haline gelmektedir ve gerçekleşmiş gelen akım değeri, ikinci yılın ilk ayındaki (13. ay) gelen akım değerine eşitlenmiştir. Bu aydaki su salma değeri, taban çizgisinin ilk ayındaki ile eşit olarak varsayılmıştır. Daha sonra, 13. ayın sonundaki depolama değerini elde etmek için süreklilik denklemi uygulanmıştır. 13. ayın sonundaki depolama değeri, kısıtları ihlal etmemesi için kontrol edilmiştir. Kısıtın ihlal edilmesi halinde, 13. aydaki su salma değeri, 13. ayın sonundaki depolama miktarı üst ve alt sınırlar arasında kalacak şekilde ayarlanmıştır. 13. ayın sonundaki depolama miktarı, güncel şablon taban çizgisinin hedef bitiş asgari depolama değeri olarak ayarlanmıştır. Ayrıca, güncel şablon taban çizgisinin başlangıç depolama değeri, şablon taban çizgisinde başlangıç depolamasının sonsalı olan depolama değeriyle değiştirilmiştir. Ardından şablon taban çizgisi kaydırılmıştır ve kod kaydırılmış olan şablon taban çizgisinin girdileriyle çalıştırılmıştır. Bu şablon taban çizgisi, dikkate alınan dönemin sonuna kadar aynı akış mekanizması izlenerek her ay kaydırılmıştır.

Şekil 2'de gösterildiği üzere, yaklaşımın adımlarını gösteren özet bir akış şeması aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 13. zaman dilimindeki gelen akım değerini, bu ayın sonunda bilinen değere eşitleyin.
- 13. zaman dilimindeki su salma değerini, taban çizgisinin 1. ayındaki ile eşit olarak varsayın, (bkz. Şekil 2'deki 1)
- 13. zaman noktasındaki (ikinci yılın Ocak ayının sonu) depolama değerini süreklilik denklemini kullanarak hesaplayın. Depolama değerinin, depolama değerleri üst ve alt sınırları dahilinde olduğunu kontrol edin. Değilse, taban çizgisinin 1. ayın-



daki su salma değerine eşit olarak varsayılan 13. zaman dilimindeki su salma değerini, depolama değeri kısıtları ihlal edilmeyecek şekilde ayarlayın (bkz. Şekil 2'deki 2 ve Denklem 8-12)

$$R_{13} = R_1 \text{ varsayın}$$

$$S_{13} = S_{12} + I_{13} - R_{13} \quad (8)$$

Eğer $S_{13} > S_{\max}$ ise, bu durumda

$$\Delta S = S_{13} - S_{\max} \quad (9)$$

$$R_{13} = R_1 + \Delta S \quad (10)$$

Eğer $S_{13} < S_{\min}$ ise, bu durumda

$$\Delta S = S_{\min} - S_{13} \quad (11)$$

$$R_{13} = R_1 - \Delta S \quad (12)$$

- 13. zaman noktasındaki depolama değerini, güncel şablon taban çizgisinin hedef bitiş asgari depolama değeri olarak ayarlayın (Bkz. Şekil 2'deki 3)
- Güncel şablon taban çizgisinin 0. zaman noktasındaki depolama değerini şablon taban çizgisinin 1. zaman noktasındaki depolama değerine eşitleyin (Bkz. Şekil 2'deki 4)
- Güncellenmiş şablonu kaydırın ve güncellenmiş şablon taban çizgisinin girdilerini dikkate alarak kodu çalıştırın.
- Aynı prosedürü izleyin ve geri kalan aylar için şablonu kaydırın.

Karşılaştırma ve Sonuçlar

Konvansiyonel yaklaşım ve gerçek zamanlı yaklaşım kullanılarak elde edilmiş maksimize edilmiş enerji miktarları ve aynı zamanda gerçekleşmiş işletimsel enerji miktarları Tablo 1 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

CNDP'deki çok rezervuarlı sistemdeki gerçekleşmiş/üretilmiş enerji miktarına doğru iyileştirmeyi ve/veya yaklaşmayı izlemek amacıyla gerçekleşmiş enerji miktarları referans çizgisi olarak dikkate alınmıştır.

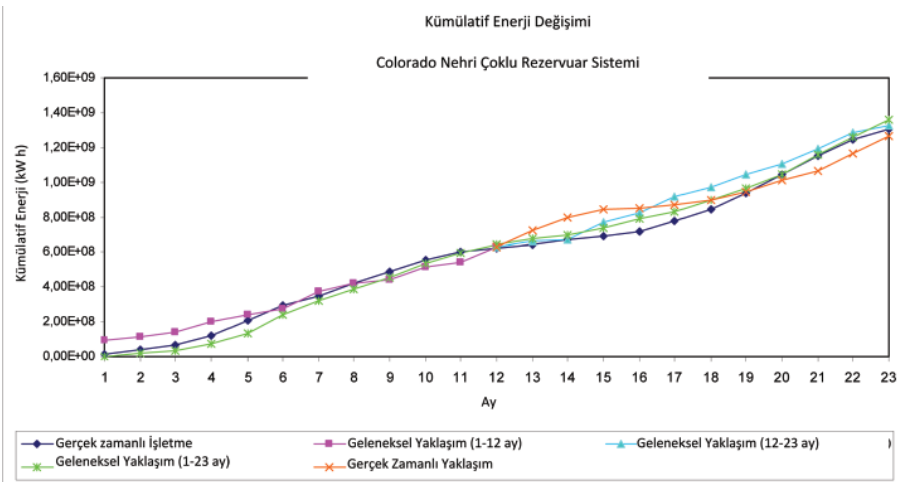
Farklı yaklaşımlar için CNDP'deki çok rezervuarlı sistemin incelenmesinden aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- 1 yıllık bir dönemi, 2005 yılını optimize ederek 627,88 GWh enerji elde edilmiştir, bu da gerçekleşen/üretilen enerji ile elde edilen 620,97 GWh enerji ile karşılaştırıldığında %1,1 iyileştirme göstermektedir,
- Sonraki 1-yıllık-dönem, 2006 yılı optimize edilmiştir ve 694,3 GWh enerji elde edilmiştir, bu da referans (gerçekleşen) enerji üretimiyle karşılaştırıldığında %1,27 iyileştirme anlamına gelmektedir,

- Her iki dönemin de ayrı ayrı incelenmesiyle, 2005 ve 2006 yılı, münferit 2 yıllık zaman dilimi dikkate alınarak optimize edilmiştir. Bu çok rezervuarlı sistemin 2 yıllık zaman dilimi dikkate alınarak optimizasyonu sonrasında elde edilen enerji miktarı 1.356,03 GWh olmuştur, bu da gerçekleşmiş enerjinin %3,8 iyileştirilmesini ifade etmektedir.
- Yukarıda anılan gerçek zamanlı yaklaşım gerçekleştirildiğinde, 2 yıllık zaman diliminde elde edilen enerji 1.267,1 GWh'dir, bu da gerçekleşen/üretilen enerji miktarında %3'lük bir yaklaşım göstermektedir. Konvansiyonel yaklaşımın gelecekteki tümevarımsal bir yaklaşım iken, önerilen gerçek zamanlı yaklaşımın bağılantılı

Tablo 1 - Maksimize edilen enerji miktarlarının karşılaştırması

	Üretilen Toplam Enerji (kWh)			Yüzde (%)
	Yıl 2005	Yıl 2006	Yıl 2005 ve 2006	
Geleneksel Yaklaşımlar				
Yıl 2005	627,880		627,880	
Yıl 2005 ve Yıl 2006, ayrı ayrı	627,880	694,302	1,322,182	101.2
Yıl 2005 ve Yıl 2006, birleşik	644,685	711,341	1,356,026	103.8
Gerçek Zamanlı Yaklaşım	627,880	639,223	1,267,103	97.0
Gerçek İşletme Verileriyle	620,971	685,627	1,306,598	100.0

**Şekil 3** - Konvansiyonel yaklaşım ve gerçek zamanlı yaklaşım kullanılarak elde edilmiş maksimize edilmiş enerji miktarları

ve önemli ölçüde şablon taban çizgisine dayanıyor olduğuna dikkat edilmelidir. Şablon taban çizgisinin uzun bir zaman dilimini içine alarak oluşturulması durumunda, daha iyi sonuçlar vermesi çok muhtemeldir. Gerçekleşen değerler, şablon çizgisini elde etmek üzere kullanılmış olan bir yıl uzunluğundaki verilerin üzerine yansıtılmamış örtük işletimsel bilgi içermektedir.

- Optimizasyon için dikkate alınan zaman dilimi arttıkça, optimize edilen enerji miktarındaki iyileşme de yükselecektir. 2 yıllık zaman diliminin optimizasyonundan elde edilen enerji miktarı, iki ayrı 1 yıllık zaman diliminin optimizasyonu yoluyla elde edilen enerji miktarlarının toplamından %2,6 daha yüksektir.

Sonuç

Konvansiyonel yaklaşımda, geçmişteki veriler bir yıllık ve iki yıllık zaman dilimleri için optimizasyonda kullanılmıştır. İki yıllık zaman dilimi iki farklı vakada dikkate alınmıştır; bunlardan birincisi tek bir zaman diliminde 2 yıllık süre ve ikinci durumda 2 yıllık zaman dilimi iki ayrı 1 yıllık zaman dilimi olarak optimize edilmiştir. Gerçek zamanlı yaklaşımda, geçmiş zaman verileri, sürekli olarak gerçek zamanlı verilere göre güncellenmekte olan bir şablon taban çizgisinin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Beklendiği üzere, sonuçların karşılaştırması konvansiyonel yaklaşım kullanılarak optimize edilen enerji miktarlarının, gerçek işletimde üretilen enerjiden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Diğer yandan, gerçek zamanlı yaklaşımı kullanarak, gerçek işletme verilerine daha yakın bir yaklaşım elde edilmiştir.

Konvansiyonel yaklaşımlar, gerçekleşmiş zaman dilimlerine ait önsel verileri kullanırken, gerçek zamanlı yaklaşımda önsel ve sonsal verilerin kombinasyonu kullanılmaktadır. Önsel veriler, sonsal gerçek zamanlı veriler aracılığıyla güncelleştirilen bir şablon taban çizgisi oluşturmaktadır. Şablon taban çizgisi, geçmişteki verilerden yararlanılarak kurulmuştur. Bu taban çizgisi, dikkate alınan sistemdeki akış rejiminin davranışını yansıtmaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, bu taban çizgisi daha uzun bir zaman dilimine ait veriler üzerine inşa edilerek daha da iyileştirilebilir. Gelecekte yapılacak araştırmalar için, uzun bir dönemi kapsayacak biçimde bu yaklaşıma öğrenme kabiliyeti getirilmesi önerilmektedir. Bu çalışma sonrasında, genetik algoritmaların rezervuar işletmelerine başarılı biçimde uygulanabileceği gösterilmiştir.

Bu çok rezervuarlı projeye uygulanan GA modelinin duyarlılık analizi tarafından önerilen popülasyon boyutu, nesil sayısı, çaprazlama ihtimali ve mutasyon ihtimalinin optimal değerleri kullanılmıştır ve hedef fonksiyonu olarak enerji üretiminin optimize edilmesi kullanılmıştır. Daha sonraki çalışmalar, sulama maksatlı rezervuarlar için sulama taleplerini karşılamak amacıyla salınacak suyun miktarını optimize etmek gibi başka hedef fonksiyonlar içerecek şekilde yönlendirilebilir. Kurulan matematiksel modelde, buharlaşma ve zemine sızıntıdan kaynaklanabilecek su kayıpları hesaba katılmamıştır. Matematiksel modele bu olguların da katılması, bu çalışmadaki iyileştirmelere katkıda bulunabilir.

Kaynakça

Barros, M., Tsai, F., Yang, S.-L., Lopes, J., and Yeh, W. (2003). "Optimization of large-scale hydropower system operations." J. Water Re-sour. Plan. Manage., 129(3), 178-188.

- Bellman, R. (1957). Dynamic programming, Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Esat, V. and Hall, M.J., (1994), "Water resources system optimization using genetic algorithms", Proc. 1st Int. Conf. on Hydroinformatics, Balkema Rotterdam, The Netherlands, 225-231
- Goldberg, D. (1989). Genetic algorithms in search optimization and machine learning, Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Hall, W. A., Harboe, W., Yeh, W. W.-G., and Askew, A. J. (1969). "Optimum firm power output from a two reservoir system by incremental dynamic programming". Water Resour. Ctr. Contrib., University of Calif., 130, 273-282.
- Heidari, M., Chow, V., Kotovic, P., and Meredith, D. (1971). "Discrete differential dynamic programming approach to water resources system optimization." Water Resour. Res, 7(2), 273-282.
- Hınçal, O., (2008), Optimization of Multireservoir Systems by Genetic Algorithm, PhD Dissertation, Middle East Technical University, Ankara
- Holland, J. H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Larson, R. E. (1968) State increment dynamic programming, Elsevier Science, New York
- Michalewicz, Z. (1992). Genetic algorithms + data structures = evolution programs, Springer, New York.
- Young, G. K. (1967). "Finding reservoir operating rules." J. Hydr. Div., ASCE, 93(6), 297-321. APPENDICES