



Doğrusal Olmayan Bir Taşkın Öteleme Modelinin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Kalibrasyonu

Calibration of Nonlinear Flood Routing Model by Differential Evolution Algorithm

Umut Okkan*, Nuray Gedik

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, Balıkesir, Türkiye

Öz

Su kaynakları mühendisliğinde taşkın öteleme hesapları için en sık tercih edilen yöntemlerden biri doğrusal olmayan Muskingum modelidir. Bu çalışmada, mevcut model parametreleri popülasyon tabanlı sezgisel bir optimizasyon algoritması olan diferansiyel gelişim algoritması (DGA) kullanılarak kalibre edilmiştir. Bahsi geçen bu iki yöntemin entegrasyonu 1995 yılında Isparta-Sütçüler'de meydana gelen taşkın olayına ilişkin verilere uygulanmıştır. DGA yöntemi başlangıç çözümüne bağımlı olmaksızın hızlı bir şekilde uygun çözüme ulaştığı için çalışma kapsamında tercih edilmiştir. Modelleme uygulamasından elde edilen bulgular literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Değerlendirmeye göre, hazırlanan modelin çeşitli performans ölçütlerince kinematik dalga modeli ile benzer performans gösterdiği ve bu nedenle oldukça pratik olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DGA, Doğrusal olmayan Muskingum modeli, Sezgisel algoritmalar, Taşkın öteleme

Abstract

The nonlinear Muskingum model is one of the most frequently preferred methods for flood routing computations in water resources engineering. In this study, available model parameters have been calibrated by using differential evolution algorithm (DEA), which is a population based heuristic optimization algorithm. The integration of these two methods mentioned was applied to the data pertaining to a flood phenomenon occurred at Isparta-Sutculer in 1995. DEA was chosen in the study content since it quickly achieves optimal solution without depending on initial solution. The results derived from modeling application were compared with other works existed in literature. According to assessment, it was detected that prepared model showed similar performance with kinematic wave model and therefore it was fairly practical.

Keywords: DEA, Nonlinear Muskingum model, Heuristic algorithms, Flood routing,

1. Giriş

Kanal veya gölden taşan taşkın debisi ani bir şekilde pik değerlere ulaşır ve sonrasında su seviyesi tedrici biçimde azalır. Bir akarsu kesitine giren taşkın dalgasının belli bir mesafe sonundaki değişimi taşkın ötelenmesi ile belirlenmektedir. Söz konusu öteleme kavramı bir akarsu yatağında zaman, mesafe ve kesitin suyu depolama durumlarına bağlı olarak taşkın dalgasına ait büyüklüklerin tahminlenmesi şeklinde tanımlanabilir. Su kaynakları mühendisliğinde taşkın koruma tesislerinin tasarımında taşkın öteleme modellerinden yararlanılması önerilmektedir. Taşkın öteleme problemi, “hidrolik” ve “hidrolojik” olmak üzere

iki farklı yöntem ile ele alınmaktadır. Hidrolik yöntemler kütle ve momentumun korunumu prensibiyle Saint-Venant denklemlerinin kullanımına, hidrolojik yöntemler ise yalnızca kütle korunumu prensibine dayanmaktadır. Dinamik, kinematik ve difüzyon dalga modelleri hidrolik yöntemler sınıfına girmektedir (Keskin ve Ağralıoğlu 1997, Kaya vd. 2010, Kaya ve Ülke 2012, Karahan ve Gürarslan 2012). Ancak taşkın öteleme modellerinin hassasiyet derecesinin artmasıyla seçilen modelin kurulumu zahmetli olabilmektedir. Bu sebepten dolayı verilerin niteliğine, mali kısıtlara ve güvenlik taleplerine bağlı bir taşkın öteleme modelinin seçimi uygun olacaktır (Tung 1985).

Kullanımının kolaylığı bakımından doğrusal Muskingum yöntemi doğal kanal ve nehirlerde kullanılan taşkın öteleme modelleri arasından en çok tercih edilen *hidrolojik* yöntemlerden biridir (Ponce 1979, Ülke 2003). McCarthy

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: umutokkan@balikesir.edu.tr

(1938) tarafından geliştirilen bu yöntem adını ABD'de Ohio eyaletinde bulunan Muskingum Nehri'nde gerçekleştirilen taşkın kontrol çalışmalarından almıştır. Denklem 1 ve Denklem 2'de Muskingum modelinde kullanılan süreklilik ve depolama denklemleri belirtilmektedir.

$$\frac{dS_t}{dt} = I_t - Q_t \quad (1)$$

$$S_t = K[xI_t + (1-x)Q_t] \quad (2)$$

Burada S_t t anındaki depolamayı, I_t ve Q_t sırasıyla t anındaki giriş ve çıkış akımlarını, K nehir kolundaki akış süresiyle ilişkili depolama zaman terimini, x ise 0 ila 0.5 arasında değişiklik gösteren ağırlık faktörünü ifade etmektedir.

Denklem 1 ve Denklem 2'nin çözümünden öteleme denklemine ulaşılmaktadır.

$$Q_t = C_0I_t + C_1I_{t-1} + C_2I_{t-2} \quad (3)$$

Burada C_0 , C_1 ve C_2 katsayıları K , x ve zaman aralığı Δt 'nin fonksiyonları olup aşağıdaki eşitlik yazılabilir (Denklem 4).

$$\sum_{i=0}^2 C_i = 1 \quad (4)$$

Yukarıda bahsedilen doğrusal Muskingum modeli ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Cunge 1969, Gill 1977, 1978, Kaussis 1978, Kulandaiswamy 1966, Strupczewski ve Kundzewicz 1980 a,b, Singh ve McCann 1980, Stephenson 1979). Modelde kalibrasyon geçmiş dönem giriş ve çıkış akım verilerini kullanarak parametrelerin belirlenmesine dayanmaktadır. Doğrusal modeldeki K ve x parametreleri grafik çözüm yöntemi kullanılarak deneme-yanılma yoluyla da elde edilebilmektedir.

Pratikte doğrusal Muskingum modelinin yetersiz kaldığı durumlara rastlanabilmektedir. Bu nedenle, doğrusal modelin formülü Denklem 5'teki gibi doğrusal olmama durumunu hesaba katarak güncellenmiştir.

$$S_t = a [xI_t + (1-x)Q_t]^m \quad (5)$$

Denklemde x , a ve m kalibre edilmesi gereken model parametreleridir. Denklem 5, Denklem 2 ile karşılaştırıldığında daha çok serbestlik derecesine sahip olmakta ve bu sayede depolama ve akım arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi daha iyi temsil edebilmesine rağmen kalibrasyon işlemi daha kompleks bir hal almıştır (Tung 1985).

Hidrolojik süreklilik ve doğrusal olmayan depolama denklemlerine dayanan bu modelin çözümü için çeşitli algoritmalarından faydalanılmaktadır. Bu algoritmalara ait bir literatür özeti Karahan ve Gürarslan (2013) tarafından

sunulmuştur. Sunulan makalede x , a ve m parametrelerinin sezgisel (heuristic) algoritmalarından biri olan Diferansiyel Gelişim (Evrin) Algoritması (DGA) ile kalibre edilmesi konu olarak ele alınmış ve 1995 yılında Aksu Akarsuyu'nun bir kolu olan Sütçüler-Değirmendere'de meydana gelen taşkından elde edilen veriler üzerinden bir uygulama örneği okuyuculara sunulmuştur.

DGA algoritması optimizasyon problemlerinin çözümü amacıyla Storn ve Price (1995) tarafından geliştirilen toplum tabanlı sezgisel bir metottur. Yapısal olarak oldukça basit olmasına rağmen karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkilidir. DGA algoritmasında oluşturulan başlangıç toplumu mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörleri kullanılarak en iyi değerin elde edilmesi amacıyla iterasyonlar boyunca iyileştirilmektedir (Liu vd. 2010).

DGA metodu, yapay sinir ağlarında, görüntü tanımadada, iletişimde, aerodinamik sistemlerde, deprem yerdeğiştirilmesinde, mikroişlemci sentezinde, sensörlü füzyonda, ısı transferinde, sistem dizaynında, kanser tanısında, çizelgeleme problemlerinde, dijital filtre tasarımı da içeren çeşitli uygulamalarda başarıyla uygulanmıştır (Storn 1996, 1999, Rogalsky vd. 2000, Ruzek ve Kvasnicka 2001, Tasgetiren vd. 2004, Joshi ve Sanderson 1999, Babu ve Sastry 1999, Abbass 2002). Diğer sezgisel yöntemler ile karşılaştırmaların yapıldığı bazı çalışmalarda DGA'nın sayısal optimizasyondaki üstünlüğü vurgulanmıştır (Rüttgers 1997, Thomsen 2003, Vesterström ve Thomsen 2004). Başkan ve Ceylan (2014) DGA'yı ulaşım ağı tasarımı problemlerine uygulamışlar ve çözüm üzerindeki etkinliğini incelemişlerdir. Sunulan bu çalışmada da DGA sonuçları sezgisel algoritmalarından biri olan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasından elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Ancak PSO yöntemine ait detaylara çalışmada yer verilmemiştir. PSO yöntemine ait detaylar Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından verilmektedir. Bu makaleye konu olan doğrusal olmayan Muskingum modelinin hesap adımları ve DGA yöntemine ait detaylar aşağıdaki bölümlerde takdim edilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Doğrusal Olmayan Muskingum Modelinin İşleyişi

Doğrusal olmayan Muskingum modeli için türetilen durum değişkeni formülasyonu Denklem 5'te belirtilmiştir. Denklem 5'in tekrar düzenlenmesiyle Denklem 6 aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$Q_t = \left(\frac{1}{1-x}\right) \left(\frac{S_t}{a}\right)^{\frac{1}{m}} - \left(\frac{x}{1-x}\right) I_t \quad (6)$$

Burada Q_t t anındaki çıkış akımının miktarını, S_t t anındaki kanal depolamasını, I_t ise giriş akımının miktarını göstermektedir.

Denklem 6 ve süreklilik denklemi olan Denklem 1' in birleştirilmesi ile depolamanın zamanla değişimi Denklem 7' deki gibi ifade edilebilmektedir.

$$S_t^* = \frac{\Delta S}{\Delta t} = -\left(\frac{1}{1-x}\right)\left(\frac{S_t}{a}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{1}{1-x}\right)I_t \quad (7)$$

Denklemden sistem için belirtilen durum değişkeni kanal depolaması olup girdi akarsu kolunun sonunda memba tarafındaki giriş akımıdır.

Depolamadaki değişim hesaplandıktan sonra, bir sonraki zamanda kanal depolaması değeri Denklem 8'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{t+1} = S_t + S_t^* \cdot \Delta t \quad (8)$$

Yukarıda bahsi geçen doğrusal olmayan Muskingum modelinin çözümü Şekil 1' de gösterilen akış şemasıyla özetlenmiştir. Buna göre x , a ve m parametrelerinin bir optimizasyon algoritması ile belirlenmesinden sonra, giriş hidrografi ve Denklem 5 vasıtasıyla hesaplanan başlangıç depolaması modele girdi olarak sunulmaktadır. Hesap başlangıcındaki çıkış akımı başlangıçtaki giriş akımına eşit alınabilir (Tung 1958, Karahan ve Gürarslan, 2013). Bu aşamadan sonra mevcut zaman diliminde öteleme tamamlanana kadar sırasıyla depolamanın zamana karşı değişiminin, bir sonraki adımdaki depolama miktarının ve çıkış akımının hesaplanması gerekmektedir (Tung 1985, Karahan ve Gürarslan 2013, Barati 2013). Öteleme işlemi tamamlandıktan sonra seçilen bir $F(x)$ fonksiyonu ile uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Çalışmada uygunluk fonksiyonu olarak toplam karesel hata (SSE) seçilmiş (Denklem 9) ve parametrelerin kalibrasyonunda SSE'nin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

$$SSE = \sum_{t=1}^N (Q_{gözlenen,t} - Q_{hesaplanan,t})^2 \quad (9)$$

2.2. Diferansiyel Gelişim (Evrin) Algoritması (DGA)

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA), Storn ve Price (1995) tarafından ortaya atılmış, işleyiş ve içerdiği operatörleri (çaprazlama, mutasyon, seçim operatörleri) bakımından genetik algoritma (GA) ile benzerlik gösteren popülasyon tabanlı sezgisel bir optimizasyon aracıdır. Kullanılan operatörler vasıtasıyla iteratif işleyiş boyunca problemin çözümü iyileştirilmeye çalışılmaktadır. GA'dan farklı olarak DGA'da kromozomların her biri ele alınarak

yeni birey elde etme işlemi rastgele seçilen diğer üç kromozom üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu işleyiş hesap adımlarını kısaltmaya yarımış ve problemin daha kolay kodlanabilmesini mümkün kılmıştır (Keskintürk 2006).

2.2.1. Başlangıç Popülasyonu

DGA'da her bir kromozoma ait gen sayısı D problemde optimize edilmesi istenen parametre sayısına eşit alınmaktadır. DGA'da yeni bireyler elde etmek için üç adet kromozom gerekmekte bu nedenle üçten büyük sayıda kromozom sayısı (N_p) tanımlanmalıdır. Buna göre başlangıç popülasyonu aşağıdaki gibi üretilmektedir (Keskintürk 2006, Karaboğa 2004).

$$x_{j,i,G=0} = x_j^{alt} + rand_j [0, 1](x_j^{üst} - x_j^{alt}), \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_p, \quad j = 1, 2, \dots, D$$

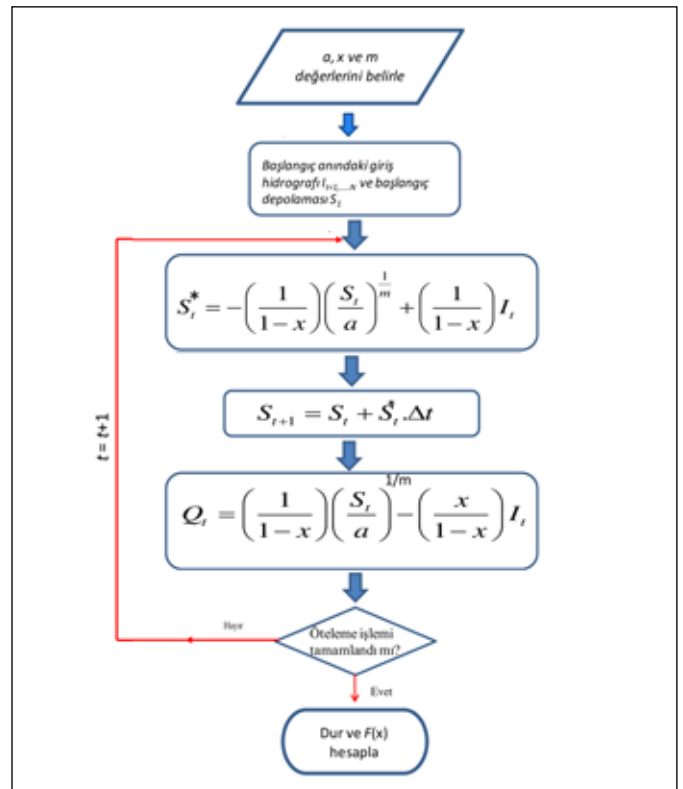
Burada;

$x_{j,i,G}$: G . jenerasyona ait i kromozomunun j . parametresini,

x_j^{alt} : Parametreye ait alt sınır değerini,

$x_j^{üst}$: Parametreye ait üst sınır değerini,

$rand_j [0, 1]$: j parametresi için 0-1 arasında rastgele üretilmiş sayıyı, göstermektedir.



Şekil 1. Doğrusal olmayan Muskingum modelinde hesap adımları.

2.2.2. Mutasyon Operatörü

Bu operatör mevcut kromozomun bazı genleri üzerinde rastgele değişiklikler yapmaya yaramaktadır. Söz konusu değişiklikler ile kromozomun temsil ettiği çözüm noktası, çözüm uzayında hareket etmekte ve bu bakımdan operatör uygun çözüme ulaşılmasına katkı sağlamaktadır (Keskintürk 2006).

DGA'da i . kromozom dışında ve birbirlerinden farklı olan üç adet kromozom 1'den N_p 'ye kadar mevcut olan kromozomlar içinden seçilir. Seçilenlerin ilk ikisinin ($x_{j,r1,G}$ ve $x_{j,r2,G}$) farkı ile fark vektörü oluşturulur. Hesaplanan fark vektörü ölçekleme faktörü F ile çarpılarak ağırlıklandırılmış fark vektörü oluşturulur. Oluşturulan ağırlıklandırılmış fark vektörü ve seçilen üçüncü kromozom ($x_{j,r3,G}$) toplanarak çaprazlama aşamasında kullanılacak kromozom ($n_{j,i,G+1}$) elde edilir.

$$n_{j,i,G+1} = x_{j,r3,G} + F(x_{j,r1,G} - x_{j,r2,G}), \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_p, \quad j = 1, 2, \dots, D$$

2.2.3. Çaprazlama Operatörü

Bu operatörü uygulamadan önce bir çaprazlama oranı (CR) belirlenmektedir. Genler CR olasılıkla mutasyon sonucu elde edilen kromozomdan, (1-CR) olasılıkla mevcut i . kromozomdan seçilir.

Tanımlı her bir gen için 0-1 arasında rastgele sayı üretimi yapıldıktan sonra bu değerlerin CR'den küçük kalanları için gen mutasyona maruz bırakılan $n_{j,i,G+1}$ 'den, aksi durumda olanlar için mevcut kromozomdan seçilmektedir (Keskintürk 2006).

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} n_{j,i,G+1} & \text{rand}[0,1] \leq CR \text{ için} \\ x_{j,i,G} & \text{aksi durumlar için} \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, D \quad (12)$$

Burada $u_{j,i,G+1}$ çaprazlama işlemi sonrası elde edilen genleri temsil etmektedir.

2.2.4. Seçim İşlemi ve Algoritmanın Durdurulması

Yeni jenerasyona geçecek kromozomun tespitinde uygunluk değerlerine bakılır (Keskintürk 2006). Çalışmada uygunluk değeri olarak toplam karesel hata (SSE) seçilmiştir. Karşılaştırılan kromozomlardan SSE değeri daha düşük olan kromozom yeni jenerasyon elemanı olarak atanmaktadır (Denklem 13).

$$x_{i,G+1} = \begin{cases} u_{i,G+1} & \text{SSE}(u_{i,G+1}) \leq \text{SSE}(x_{i,G}) \text{ için} \\ x_{i,G} & \text{aksi durumlar için} \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, N_p \quad (13)$$

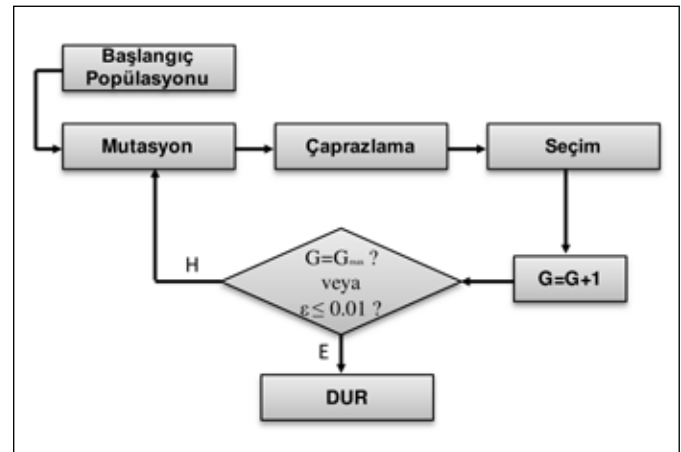
Yukarıda anlatılan işleyiş çalışmada $G=G_{\max}$ olana kadar yani

maksimum iterasyon adedine erişene kadar sürdürülmüştür. İterasyon sayısı arttıkça i . popülasyondaki en büyük SSE ve en küçük SSE değerleri arasındaki farkın (ϵ) oldukça küçük bir mertebeye ($\epsilon \leq 0.01$) de erişmesi istendiğinden işlemlerde bu farkların incelenmesi de gözetilmiştir (Şekil 2).

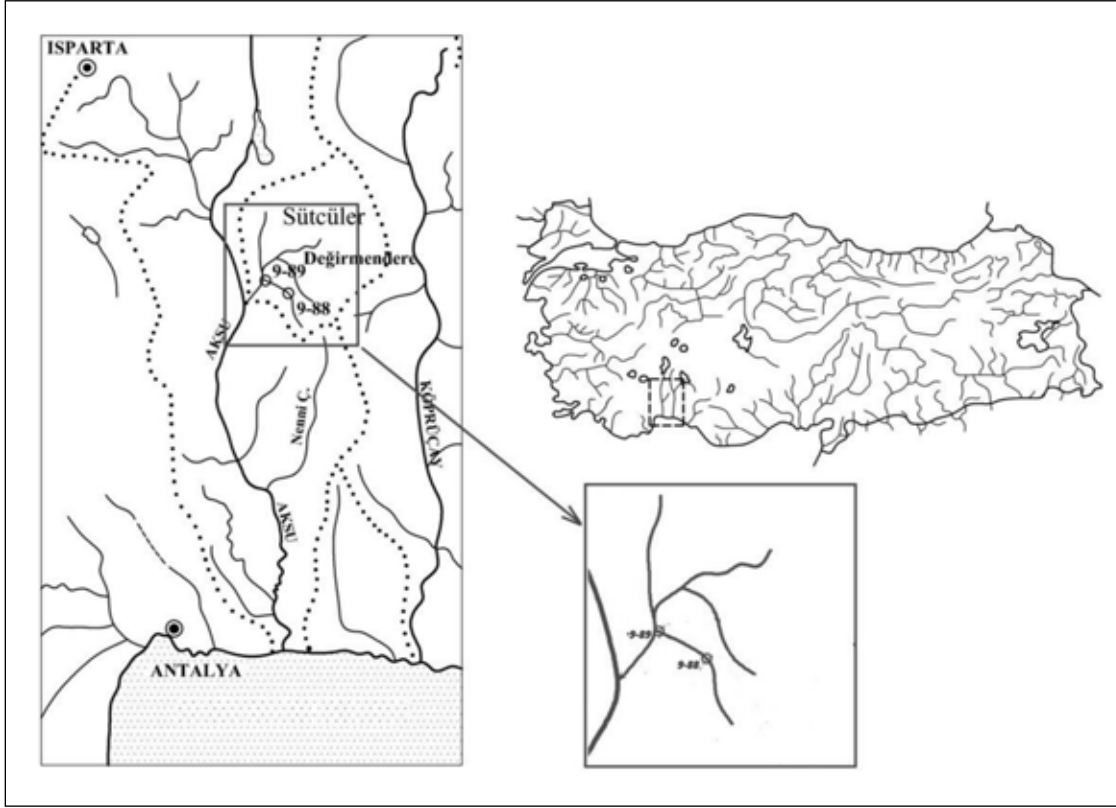
3. Uygulama

Sunulan çalışmada detayları yukarıda anlatılan DGA ve Muskingum modeli entegrasyonu Sütçüler taşkını verilerine uygulanmıştır. Bu taşkın 4 Kasım 1995 günü Isparta iline ait Sütçüler ilçe merkezinde 4 saat süren yağıştan kaynaklanmıştır (Kaya vd. 2012). Taşkın ötelenme hesapları DSİ tarafından işletilen 750 m kotunda yer alan 9-88 ve 320 m kotunda yer alan 9-89 numaralı akım gözlem istasyonları arasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Taşkın gerçeğe yakın zaman taşkın dalgasının yaklaşık 1 saat ötelenmesi sonucu çıkış hidrografi oluşmuştur. Çalışmada 9-88 istasyonu verileri giriş hidrografi olarak kullanılırken, 9-89 istasyonu verileri çıkış hidrografi olarak kullanılmıştır.

Bu taşkın Kaya ve Ülke (2012) ve Kaya vd. (2012) tarafından diferansiyel kuadratur yöntemine dayalı kinematik dalga ve difüzyon dalga yaklaşımları ile önceden ele alınmıştır. Aynı taşkın Karahan ve Gürarlan (2012) tarafından yine kinematik dalga yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Karahan ve Gürarlan (2012) taşkın öteleme hesaplamalarında Crank-Nicolson, MacCormack, Lax-Wendroff ve Saul'yev gibi sonlu fark şemalarını kullanmışlardır. DGA performansını başka bir sezgisel metot ile kıyaslamak için aynı taşkın problemi tarafımızca parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak da çözülmüştür. Yukarıda bahsi geçen bazı çalışmalarda taşkına ait hesaplanılan çıkış hidrografı verildiğinden DGA tabanlı doğrusal olmayan Muskingum



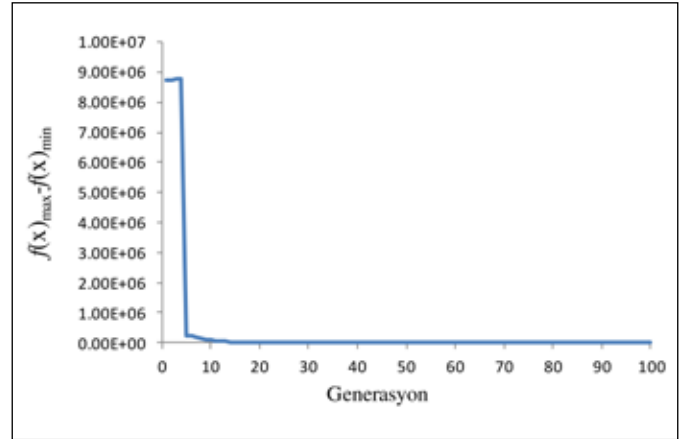
Şekil 2. DGA'nın akış şeması



Şekil 3. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonlarının konumları (Kaya vd. 2012).

modelinden elde edilen çıkış hidrograflarının bu değerler ile karşılaştırılması da yapılmıştır.

Çalışmada DGA ile parametre kalibrasyonuna geçilmeden önce algoritmaya ait başlangıç koşulları oluşturulmuştur. Denklem 9'da belirtilen SSE uygunluk fonksiyonu olarak seçilmiş ve SSE değerinin minimizasyonu esas alınmıştır. Muskingum modeline ait depolama değerinin negatif değer alması durumlarında Karahan ve Gürarlan (2013) penaltı fonksiyonlarının kullanılabilirliğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada ise herhangi bir penaltı fonksiyonu tercih edilmemiş, depolama değerinin negatif değer aldığı herhangi bir t anında depolamanın sıfır olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan Muskingum modelinde kalibre edilmesi gereken parametre sayısı üç olduğu için $D=3$ alınmıştır. Kromozom sayısı (N_p) ve G_{max} problemden probleme değişkenlik göstermekle birlikte bu çalışma için $N_p = 20$, $G_{max}=100$ alınmıştır. Başlangıçta x , a ve m parametrelerinin konumları için rastgele değerler atanmıştır. Ayrıca modeldeki parametrelerin konum değerleri belli kısıtlar dikkate alınarak güncellenmektedir. x parametresi için tanım aralığı $[0.01, 0.99]$ seçilmiş; a ve m parametreleri için ise tanım aralığı $[0.10, 10.0]$ alınmıştır. Algoritmada CR ve F için farklı denemeler yapılarak hesaplanan SSE sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre çizelgede altı



Şekil 4. ϵ değerinin jenerasyonlar boyunca değişimi.

çizili $561.77 \text{ m}^6/\text{s}^2$ SSE değerinin erişildiği kombinasyon ($F=0.4$ ve $CR=0.9$) en uygun sonucu vermiştir. Bu kombinasyonda ϵ değerinin jenerasyonlar boyunca değişimi Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'te görüldüğü üzere algoritma yaklaşık $G=15$ olduğunda yeterli yakınsamayı sağlamıştır. Bundan sonraki iterasyonlarda parametre değerlerindeki değişim oldukça küçük mertebelerde kalmıştır. Netice itibari ile F değerinin 0.4, CR değerinin 0.9 alındığı kombinasyondan

$x = 0.1001$, $a = 1.1260$, $m = 1.0052$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 5'te Sütçüler taşkınına ait gözlenen giriş ve çıkış hidrografi değerleri ve tahmini çıkış hidrografi değerleri verilmiştir. Aynı şekilde sağ tarafta gözlenen ve tahmini çıkış debilerinden elde edilen saçılım diyagramı mevcuttur.

Şekil 5(a)'ya göre hesaplanan çıkış akımları gözlenen akımlar ile uyumlu gözükmemektedir. Gerek alçalma eğrisi gerekse pik değerler yeterli ölçüde yansıtılmıştır. Şekil 5(b)'den tahminlerin $y=x$ doğrusu etrafındaki saçılışlarının gayet düzgün olduğu da görülebilmektedir. Ancak bu aşamada bazı istatistiksel ölçütler de hesaplanarak modelin performansını irdelemek faydalı olacaktır.

Hidrolojik model değerlendirmelerinde, Moriasi vd. (2007), Nash-Sutcliffe (NS) katsayısı, hata kareler ortalamasının karekökünün (RMSE) ölçülmüş akımın standart sapmasına oranı (RSR) ve yanlışlık oranı (PBIAS) gibi ölçütlerin kullanımını önermektedir. Moriasi vd. (2007)'e göre $0.75 < NS \leq 1.0$, $RSR \leq 0.50$ ve $PBIAS < \pm 10\%$ sağlanıyorsa hid-

Çizelge 1. Farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen SSE değerleri

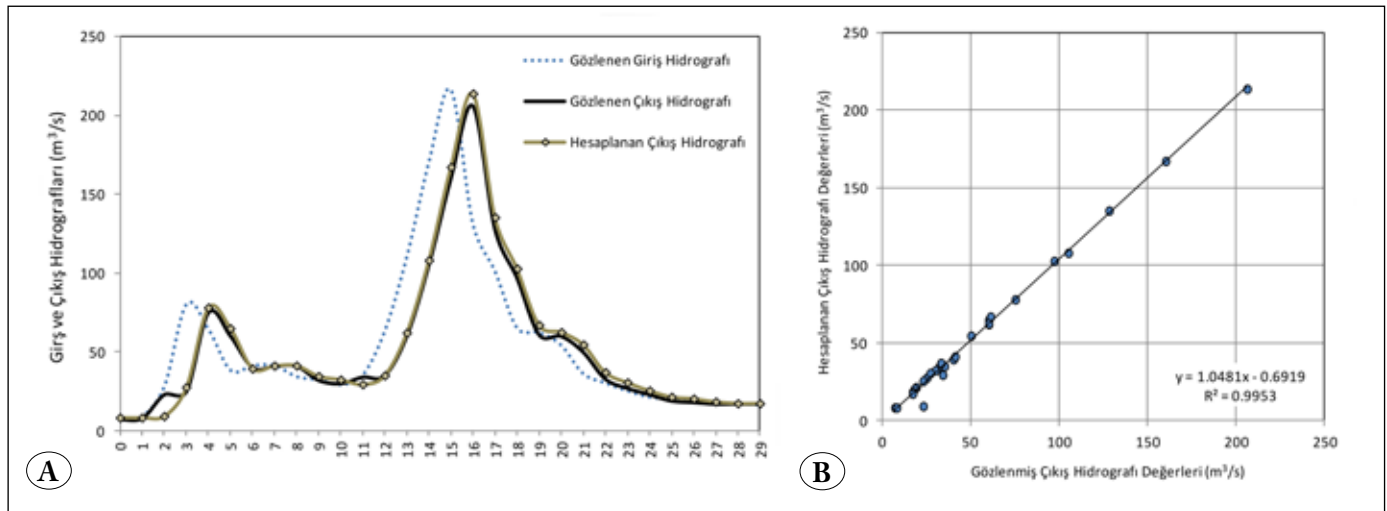
CR	SSE (m^6/s^2)				
	F = 0.40	F = 0.80	F = 0.12	F = 0.16	F = 0.20
0.5	561.81	562.00	770.86	609.09	1047.77
0.6	561.79	563.67	563.01	1801.41	583.58
0.7	561.81	561.78	600.99	1801.41	1282.80
0.8	561.84	562.30	789.08	585.70	702.40
0.9	<u>561.77</u>	561.78	562.26	583.74	567.01

rolojik model performansı çok iyi sınıfına girmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular da bu kategoriye girmektedir. Bahsi geçen performans ölçütlerini içeren hesaplar Çizelge 2'de sunulmaktadır. Burada Karahan ve Gürarslan (2012) tarafından hesaplanan çıkış hidrografi değerlerine ait performans ölçütleri de verilmiştir.

4. Sonuçlar

DGA'nın sürekli parametrelerin söz konusu olduğu problemlerde oldukça başarılı sonuçlar verdiği literatürde belirtilmiştir (Başkan ve Ceylan 2014, Keskinürk 2006). Hazırlanan çalışmada, öncelikle doğrusal olmayan Muskingum modelinin işleyişi verilmiş ve daha sonra modelin parametrelerinin tahminlenmesinde DGA yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Çalışmada bahsi geçen doğrusal olmayan Muskingum modeli birçok yaklaşım ile çözülebilmektedir. Özellikle klasik optimizasyon algoritmalarında, kalibrasyon süresince model parametreleri için farklı başlangıç değerleri seçilerek algoritmanın lokal minimum noktalara takılma ihtimali en aza indirgenebilir (Barati 2013). DGA algoritmasında ise rastgele oluşturulan başlangıç popülasyonu mutasyon, çaprazlama ve seçim gibi operatörler kullanılarak, yani verinin rastsal karakterini de dikkate alarak optimum sonuca erişilmesi amacıyla iteratif olarak geliştirilmektedir. Diğer bir deyişle, başlangıç çözümünden bağımsız olarak, paralel arama ile hızlı bir şekilde çözüme ulaşılabilmektedir. Bu bakımdan çalışmada sunulan uygulama örneğinde klasik çözüm yöntemleri ile görülebilecek bazı dezavantajlar DGA ile kolaylıkla aşılabilmektedir.



Şekil 5. (A) Sütçüler taşkınına ait gözlenen giriş ve çıkış hidrografi değerleri ve DGA tabanlı Muskingum modelinden hesaplanan tahmini çıkış hidrografi değerleri, (B) Tahmini ve gözlenen çıkış hidrografi değerleri arasındaki saçılım.

Çizelge 2. Moriasi vd. (2007) tarafından önerilen kriterlere göre modellerin performansları

Yöntem	Referans	SSE	R ²	NS	RSR	PBIAS
		(m ⁶ /s ²)	(-)	(-)	(-)	(%)
Mac-Cormack	Karahan ve Gürarlan	603.430	0.9930	0.9903	0.099	-3.458**
Crank-Nicolson		532.899*	0.9941	0.9914*	0.093*	-3.472
Lax-Wendroff		768.372	0.9913	0.9876	0.111	-3.571
Saulyev		621.479	0.9931	0.9900	0.100	-3.544
PSO-Muskingum	Bu makale	566.525	0.9954*	0.9908	0.096	-3.454*
DGA-Muskingum		561.769**	0.9953**	0.9909**	0.095**	-3.466

Çizelgede yanında * yazan hücreler en uygun olan sonucu, ** yazan hücreler en uygun ikinci sonucu göstermektedir.

Çalışmada odaklanılan DGA yöntemi yapısal olarak da oldukça basittir. Buna karşın doğrusal olmayan Muskingum modeli gibi bir problemin çözümünde oldukça başarılı sonuç vermiştir. Sonuçların başarısını sınamak amacıyla Karahan ve Gürarlan (2012) ve tarafımızca PSO uygulamasından elde edilen sonuçlar da kullanılmıştır. Karahan ve Gürarlan (2012) tarafından önerilen Crank-Nicolson sonlu fark şeması ile çözülmüş kinematik dalga modelinin SSE, NS ve RSR bakımından en iyi sonuçları verdiği görülebilmektedir (bkz. Çizelge 2). Bununla birlikte, DGA ile çözülmüş Muskingum modelinin de NS ve RSR istatistikleri bakımından söz konusu kinematik dalga modeline oldukça yakın performans gösterdiği hatta R² istatistiği bakımından en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. DGA bir başka sezgisel yöntem olan PSO'ya da benzer sonuç üretmiş fakat performans ölçütlerince daha başarılı olduğu görülmüştür.

Elde edilen bulgular referans alınır, DGA ile kalibre edilmiş Muskingum modelinin, sonlu fark şemaları ile çözülen kinematik dalga modellerinden daha pratik olduğunu söyleyebiliriz. Ancak bunu genelleyebilmek her uygulama örneğinde doğru olmayabilir. Hata mertebelerinin her uygulama örneğinde aynı olabileceğini söylemek mümkün değildir. Özellikle, öteleme işleminin uygulanacağı bölgede su yapıların bulunması ve yan kollardan anlamlı debi katkısının olması halinde kinematik dalga modeli gibi hidrolik yöntemlerin tercih edilmesi daha makul olacaktır. Bunların yanı sıra, DGA yönteminin kavramsal ve parametrik yağış-akış modellerinin kalibrasyonu aşamasında kullanılabilirliği de tarafımızca gelecek çalışmalar kapsamında incelenecektir.

5. Kaynaklar

Abbass, HA. 2002. An evolutionary artificial neural networks approach for breast cancer diagnosis. *Artif. Intell. Med.*, 25: 265-281.

Babu, BV., Sastry, KKN. 1999. Estimation of heat transfer parameters in a trickle-bed reactor using differential evolution and orthogonal collocation. *Comput. Chem. Eng.*, 23: 327-339.

Barati, R. 2013. Application of excel solver for parameter estimation of the nonlinear Muskingum models. *KSCE J. Civ. Eng.*, 17: 1139-1148.

Başkan, Ö. Ceylan, H. 2014. Ulaşım ağ tasarımı problemlerinin çözümünde diferansiyel gelişim algoritması tabanlı çözüm yaklaşımları. *Pamukkale Univ. Muh. Bilim. Derg.* (10. Ulaştırma Kongresi Özel Sayısı), 20(9): 324-331.

Cunge, J. 1969. On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum Method). *J. Hydraul. Res.*, 7: 205-230.

Gill, MA. 1977. Routing of floods in river channels. *Nord. Hydrol.*, 8: 163-170.

Gill, MA. 1978. Flood routing by Muskingum method. *J. Hydrol.*, 36 (3-4): 353-363.

Joshi, R., Sanderson, AC. 1999. Minimal representation multisensor fusion using differential evolution. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. - Part A Syst. Humans*, 29:63-76.

Karaboğa, D. 2004. Yapay Zeka Optimizasyonu Algoritmaları. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.

Karahan, H., Gürarlan, G. 2012. Kinematik dalga yaklaşımı kullanılarak taşkın öteleme problemlerinin modellenmesi: Sütçüler örneği. *VII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.*

Karahan, H., Gürarlan, G. 2013. Taşkın öteleme probleminin çözümünde sezgisel optimizasyon yöntemlerinin kullanımı. *Taşkın ve Heyelan Sempozyumu*, s. 81-93, Trabzon.

Kaya, B., Arisoy, Y., Ulke, A. 2010. Differential quadrature method (DQM) for numerical solution of the diffusion wave model. *J. Flood Eng.*, 1: 133-147.

Kaya, B., Ülke, A. 2012. Kinematik dalga modelinin DQM ile çözümü ve Sütçüler taşkını örneği. *Teknik Dergi*, 23: 5869-5884.

- Kaya, B., Ulke, A., Kazezyılmaz-Alhan, C. 2012.** Differential quadrature method in open channel flows: Aksu river. *J. Hydrol. Eng.*, 17: 715 - 723.
- Kennedy, J., Eberhart, RC. 1995.** Particle Swarm Optimization, *In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, 4, 1942-1948, Perth, Australia, IEEE Service Center, Piscataway, NJ.
- Keskin, ME., Ağralıoğlu, N. 1997.** A simplified dynamic model for flood routing in rectangular channels. *J. Hydrol.*, 202: 302-314.
- Keskintürk, 2006.** Diferansiyel gelişim algoritması. *İst. Tic. Üni. Fen Bil. Der.*, 9: 85-99.
- Koussis, AD. 1978.** Theoretical estimation of flood routing parameters. *J. Hydra. Div.*, 104: 109-115.
- Kulandaiswamy V.C., 1966.** A note on the Muskingum method of flood routing. *J. Hydrol.*, 4: 273-276.
- Liu, H., Cai, Z., Wang, Y. 2010.** Hybridizing particle swarm optimization with differential evolution for constrained numerical and engineering optimization. *Appl. Soft Comput.*, 10(2): 629-640.
- McCarthy, GT. 1938.** The unit hydrograph and flood routing. *Conference of North Atlantic Div., U.S. Army Corps of Engineers.*
- Moriassi, DN., Arnold, JG., Van Liew, MW., Bingner, R.L., Harmel, RD., Veith, TL. 2007.** Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. Asabe*, 50 (3): 885-900.
- Ponce, VM. 1979.** Simplified Muskingum routing equation. *J. Hydra. Div.*, 105: 85-91.
- Rogalsky, T., Kocabiyik, S., Derksen, RW. 2000.** Differential evolution in aerodynamic optimization. *Can. Aeronaut. Sp. J.*, 46(4):183-190.
- Ruzek, B., Kvasnicka., M. 2001.** Differential evolution algorithm in the earthquake hypocenter location. *Pur. App. Geo.*, 158(4): 667-693.
- Rüttgers, M. 1997.** Design of a new algorithm for scheduling in parallel machine shops. *Proc. of the Fifth European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing*, 2182-2187.
- Singh, V.P., McCann, RC. 1980.** Some notes on Muskingum method of flood routing. *J. Hydrol.*, 48: 343-361.
- Stephenson, D. 1979.** Direct optimization of Muskingum routing coefficients. An extension to the paper by Gill, M. A. Flood routing by the Muskingum method. *J. Hydrol.*, 41: 161-165.
- Storn, R., Price, K. 1995.** Differential evolution: A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces, ICSI, USA, Technical Report, TR-95-012.
- Storn, R. 1996.** Differential evolution design of an IIT-filter with requirements for magnitude and group delay. *Proc. of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 268-273.
- Storn, R. 1999.** Designing digital filters with differential evolution. D. Corne, M. Dorigo, and F. Glover (eds.), *New Ideas in Optimization*, London: McGraw-Hill, UK, 109-125.
- Strupczewski, W., Kundzewicz, Z. 1980a.** Muskingum method revisited. *J. Hydrol.*, 48: 327-342.
- Strupczewski, W., Kundzewicz, Z. 1980b.** Translatory characteristics of the Muskingum method of flood routing – A comment. *J. Hydrol.*, 48: 363-368.
- Tasgetiren, MF., Liang, YC., Sevkli, M., Gencyilmaz, G. 2004.** Differential evolution algorithm for permutation flowshop sequencing problem with makespan criterion. *Proc. of the Fourth International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, pp. 442-452, Sakarya.
- Thomsen, R. 2003.** Flexible ligand docking using differential evolution. *Proceedings of the Fifth Congress on Evolutionary Computation*, (CEC- 2003), IEEE Press, pp. 2354-2361, Piscataway, NJ, USA.
- Tung, YK. 1985.** River flood routing by nonlinear Muskingum Method. *J. Hydra. Eng.*, 111(12): 1447-1460.
- Ülke, A. 2003.** Muskingum metodu kullanılarak taşkın ötelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Vesterström, J., Thomsen, R. 2004.** A comparative study of differential evolution, particle swarm optimization and evolutionary algorithms on numerical benchmark problems. *Proceedings of the Sixth Congress on Evolutionary Computation (CEC-2004)*, IEEE Press, pp. 1980-1987, Piscataway, NJ, USA.