



Genetik İfadeli Programlama İle Taşkın Öteleme Modellemesi

Şafak Ok ORAL

DSİ, Diyarbakır

safakok@hotmail.com ORCID:0000-0001-8130-4249

Fevzi ÖNEN*

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

fonen@dicle.edu.tr ORCID:0000-0002-2368-1035, Tel: (412) 241 10 00 (3541)

Geliş: 27.02.2018, Kabul Tarihi: 16.04.2018

Öz

Akarsuyun belirli bir kesimine ve ya hazneye giren taşkın dalgası su seviyesinin yükselmesine sebep olmakta ve bu değişim taşkın öteleme yöntemi ile incelenmektedir. Taşkın öteleme bir akarsuyun kesitinde taşkın verilerini kullanarak taşkın değişimini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada 4 Kasım 1995 yılında Aksu Akarsuyunun bir kolu olan Sütçüler Değirmendere' de meydana gelen, can ve mal kaybına yol açan Sütçüler taşkını, Taşkın öteleme metodu kullanılarak modellenmiştir. Yapay zekâ (Artificial intelligence) alanındaki ilerlemeler, yeni algoritma ve modelleri kullanarak mühendislik çalışmalarında (Su kaynakları, Hidrolik ve Hidrolojik olaylarda) fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışma, taşkın ötelenmenin modellenmesine bir alternatif olarak genetik programlamanın bir uzantısı olan Genetik ifadeli Programlama (GEP) metodunu sunmaktadır. Böylece taşkın öteleme tahmininde GEP metodu kullanılarak yeni modeller geliştirilmiştir. GEP yönteminde giriş debisi (I), çıkış debisi (Q) ve zaman (T) parametreleri kullanılmıştır. Modelin performansı determinasyon katsayısı (R^2) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (RMSE) olmak üzere iki uygunluk ölçüsü ile değerlendirilmiştir. Model tabanlı GEP'in, taşkın öteleme tahmininde Muskingum modeli ve sonlu farklar metotlarına dayanan diğer çözüm tekniklerinden daha fazla performansa sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taşkın öteleme, Doğal akarsular, GEP, Modelleme

* Yazışmaların yapılacağı yazar

1.Giriş

Bir yağıştan doğan akışların ilk evresi genellikle bir havzada başlar. Havza akışı havza alanını kaplayan bir su tabakasının akması olayıdır. Havzada akış herhangi bir tür yağıştan ya da kar erimesinden meydana gelebilir. Şiddetli yağmurlardan ya da kar erimelerinden doğan havza akışları genellikle büyük debiler ortaya çıkarır. Bu durumda özellikle ova kesimlerde sular geniş alanlara yayılır ve büyük hızlarla akar. Akarsu havzalarında debinin akarsu yatak kapasitesini aşması durumunda sular yatak dışına taşar ve bu durum taşkın olarak adlandırılır. Taşkınları oluşturan ve büyük debilere yol açan bu yağışlar genellikle bahar aylarında görülür. Taşkınlar suyun zararlarından korunmak ve potansiyelinden yararlanmak açısından, su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında büyük önem taşır. Özellikle baraj, bağlama ve su kuvveti tesislerinde taşkın debilerinin bilinmesi büyük önem taşır. Bütün bunlardan dolayı çeşitli amaçlarla kullanılacak taşkın hidrograflarının elde edilebilmesi için taşkınların meydana geliş mekanizmasının iyice anlaşılması ve mekanizmayı iyi temsil eden matematik modellerin kurulması gerekmektedir (Ağralıoğlu, 1981).

Taşkınlar Ülkemizde en fazla maddi hasarlara sebep olan doğal afetlerdendir. İklimsel olarak Ülkemiz yarı kurak iklim bölgesinde yer almaktadır. Ancak bu özellik yağışlarda yer yer değişiklik göstermektedir. Örneğin yıllık ortalama yağış miktarı Türkiye genelinde 643 mm iken Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 250 mm, Doğu Karadeniz Bölgesinde ise ortalama yağış miktarı 3000 mm'yi bulabilmektedir. Özellikle ilkbahar mevsiminde kar erimesi ve yoğun yağışlar taşkınlara neden olmaktadır. Yaz aylarında da ani taşkın olayları görülebilmektedir. Karadeniz, Akdeniz ve Batı Anadolu bölgelerinde daha çok taşkınlar görülmektedir. Bu yerlerin topografyası, bitki örtüsü, yerleşim şekli ve yağış rejimleri taşkın olayına etki etmektedir.

Taşkın dalgası akarsu havzasında, biriktirme haznelerinde ilerlerken su seviyesi artar. Suyun bir kısmı bu şekilde geri tutulurken diğer kısmı mansaba doğru gider. Membadaki taşkın dalgası

yayılarak mansaba doğru ilerler. Taşkın dalgası geçişi esnasında zamana bağlı bir miktar ötelenmişinden bu olaya “Taşkın Ötelenmesi” denir. Yani taşkın ötelenmesi, taşkın dalgasının akarsu havzasında, biriktirme haznelerinde ilerlerken zamana ve konuma bağlı değişiminin matematiksel olarak belirtilmesidir. Diğer bir ifade ile herhangi bir akarsu kesitine giren taşkın dalgasının bu kesitin sonundaki ya da mansabındaki farklılıkları taşkın ötelenmesi ile hesaplanır. Taşkın ötelenmesi en büyük debinin değerinde azalma ve meydana geliş zamanında gecikme olarak iki önemli netice elde etmemizi sağlar. Sorun kendi başına, taşkın dalga sorununun kendine ait hususları da ele alarak, açık kanallarda kararlı olmayan akım koşullarının bir uygulamasıdır. Bir taşkın dalgasının hareketi, düzensiz açık kanal akımları prensipleri, kütlelin korunumu ve momentum denklemi ile ele alınır. Hareketin denklemi, momentum denklemini; süreklilik denklemi, kütlelin korunumunu oluşturur. Bu denklemler daha analitik çözümü bitmemiş, bir yarı doğrusal kısmi differansiyel tekniklerin ilerlemesiyle taşkın öteleme problemlerinin kapalı çözümlerine ilerlemesini açıklamaya yarayan, iki fiziksel değişken mevcuttur. Bunlar; Taşkın dalgasının dikkate alınan yol boyunca hızı ve akım seviyesindeki düşmenin hızı ya da taşkın dalgasının sönümlemesidir (Oral, 2017).

Taşkın kontrolü için taşkın ötelenme hesaplarının birçok faydası vardır. Akarsuyun belirli bir kesitindeki taşkın büyüklükleri bilindiği zaman, taşkın ötelenmesi hesapları ile bu noktanın kilometrelerce mansabındaki bir noktada taşkın büyüklükleri saatlerce hatta günlerce önce hesaplanabilir. Bu durumda can ve mal kaybının azaltılması için gerekli zaman kazanılır ve gerekli tedbirler alınarak taşkın zararlarının azaltılması sağlanır. Taşkın ötelenmesi hesapları ile akarsu boyunca taşkın debilerinin ve su seviyelerinin değişimi hesaplanabildiğinden taşkın koruma yapılarının, örneğin seddelerin, boyutları emniyetli bir şekilde belirlenir. Baraj göllerinde taşkın ötelenmesi ile göle giren taşkın hidrografi bilindiğinde dolu savaktan çıkan debiler hesaplanabilir. Bu çalışmalar sonunda dolu

savak boyutları, batardo yüksekliği, baraj gölündeki en yüksek su seviyesi, baraj yüksekliği, baraj gölü altında kalacak toprak ve su altında kalma süreleri belirlenmiş olur. Yağmur suyu kanalizasyon şebekelerinde taşkın ötelenmesi hesapları yapılarak sağanaklardan sonraki taşkın dalgasının şebeke boyunca değişimi belirlenir. Böylece boru ve kanalların nerede olacağı, şehrin hangi bölgelerinde su baskınları olacağı tespit edilir (Erkek ve Ağırlioğlu, 2010).

Denrou vd. (1978), taşkın ötelenmesi problemlerinin çözümünde sonlu fark şemaları ve belirli yöntemlerin kullanıldığını, sonlu eleman metotlarının sadece iki boyutlu yüzeysel akım denklemlerinde kullanıldığını ifade etmişlerdir. Aynı zamanda taşkın ötelenmesi için sayısal yöntemleri de çalışmalarında ele almışlardır. Tingsanchali ve Manandhar (1985), durgun suyun etkileri ile yan derelerin debilerini ihmal etmeden bir taşkın ötelenmesi için analitik difüzyon modeli üzerine çalışmışlardır. Fread ve Lewis (1991), çalışmalarında, yüksek maliyetli ve zaman alan bir yöntemle hazırlanan detaylı en kesit verilerini ortadan kaldırmak amacıyla dinamik ötelenme modeli parametrelerinin belirlenebilmesini sağlayacak bir model geliştirmişlerdir. Ülke (2003) Kasım 1995 yılında Aksu çayının bir kolu olan Sütçüler Değirmendere’de can ve mal kaybına yol açan taşkın olayını incelemiştir. Yataкта oluşan taşkın pik değerlerinin matematiksel modellenmesinde hidrolojik metotlardan biri olan Muskingum Modelini kullanmıştır. Atalay (2008), hidrolik ve hidrolojik metotlar üzerinde çalışmalar yapmıştır. Taşkın hidrografının elde edilmesiyle ilgili kinematik Dalga Metodu ile Muskingum Modelini karşılaştırmıştır. Özdoğan (2010), Antalya İli sınırları içinde doğarak, Manavgat İlçesinde Akdeniz’e dökülen Alara Çayında ölçülen giriş akımı verilerini kullanarak kinematik, difüzyon ve dinamik taşkın ötelenmesi metotları ve Muskingum-Cunge metodu ile taşkın ötelenmesi hesaplarını yapmış, elde ettiği sonuçları akarsu kesitinin mansabında ölçülen verilerle karşılaştırmıştır. Karahan ve Güraslan (2014), Sütçüler taşkını kinematik dalga yaklaşımı kullanarak modellemişlerdir. Taşkın öteleme çözümlerini

Crank-Nicolson, MacCormack, Lax-Wendroff ve Sauljev sonlu fark şemalarından faydalanmışlardır. Tetkik edilen taşkın vakası için sonlu fark şemaları ile bulunan pik debi değerlerinin ve pik zamanının ölçüm sonuçlarıyla uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Bagatur ve Hamidi (2014), Baraj inşaatından sonra mansap taşkın problemlerinin akış özelliklerini değerlendirmişlerdir. Önen ve Oral (2017), sütçüler taşkını Genetik İfadeli Programlama ile modellemesini yapmışlardır. Onen ve Bagatur (2017), Genetik İfadeli Programlama ve Regresyon modelini kullanarak Gumbel Dağılımı için Taşkın frekans faktörünün tahmini ile ilgili çalışma yapmışlardır. Ayrıca Bağatur ve Önen (2018), doğal kanallarda taşkın ötelemesi için Genetik İfadeli Programlama (GEP) modelinin potansiyelini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada, 4 Kasım 1995 yılında Isparta ilinin güneyinde yer alan Sütçüler İlçesinde meydana gelen Sütçüler taşkını Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Önerilen Genetik İfadeli Programlama yaklaşımı ile hesaplanan çıkış debi değerler gerçek taşkın hidrografının çıkış debi değerleri ile karşılaştırılmış ve modelin performansı için de Determinasyon Katsayısı (R^2) ve Ortalama Karekök hatası (RMSE) kullanılmıştır. Ayrıca önerilen GEP Model yaklaşımından elde edilen taşkın değerleri, hidrolik taşkın öteleme modellerinden elde edilen değerlerle ve Hidrolojik taşkın öteleme metodu olan Muskingum model değerleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Sütçüler ilçesi, Isparta iline bağlı olup güneyinde bulunmaktadır. Sıcak ve ılıman bir iklim etkili olmaktadır. Sütçüler ilçesine Kış aylarında yaz aylarından çok fazla yağış düşmektedir. Sütçüler ilçesinin yıllık ortalama sıcaklığı 18.2 °C iken yıllık ortalama yağış miktarı 966 mm’dir.

4 Kasım 1995 günü saat 15.00’te, yağış önce dolu şeklinde başlamıştır. Daha sonra yağmur olarak yağış kesintisiz 4 saat

süresince çok sert bir halde sürmüştür. Yağışın dolu olması akışı geciktirdiğinden yağışın yağmur halini alması ile beraber yağış hızla akışa geçmiştir. Uzun süreli yağış Sütçüler’de çok fazla yerleşim yeri ile alt yapı tesislerinde büyük zararlara neden olmuştur. Diğer yönden Değirmendere’nin taşkın esnasında çokça kabarması neticesinde; üzerinde bulunan köprüler fazla suyu geçirememiş, yatağın yakınında bulunan balık üretim çiftliği zarara uğramıştır. Bu afetin sonunda birçok ev hasara uğramış; bazı alanlarda (cadde, sokak, bahçe) çukurlar ve yarıklar açılmış; dağdan kayalar, taşlar koparak ilçeye doğru gelmiştir. Boğazköy yakınındaki Zengi Deresinde bulunan köprünün yıkılmasından ötürü sel meydana gelmiştir. Bu civarda bulunan belediye otobüsü sele kapılarak sürüklenmiş ve yolculardan 4’ü hayatını kaybetmiştir.

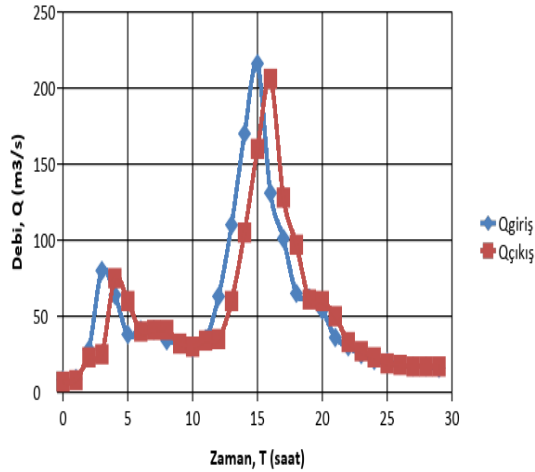
Bölgeye düşen yağış miktarı, yörede bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonunun kapanmasından dolayı yapılamamıştır. Aynı havzada bulunan akım rasat istasyonlarından yararlanılarak düşen yağış miktarı belirlenmiştir. Böylelikle Sütçüler ilçesine 4 saatte düşen yağış miktarı 111.4 mm olarak ölçülmüştür. 9-89 istasyonu Değirmendere, Sütçüler ve Boğazköy drenaj alanlarını da kapsayan toplam 313.9 km² yağış alanına sahiptir. Taşkın sırasında 9-89 istasyonunun yer aldığı derede 5.90 m yüksekliğinde bir kabarma gerçekleşmiş, akım gözlem istasyonu tüm teçhizatı ile birlikte kaybolmuştur. Taşkın olayından sonra yapılan incelemede, bu dereye geçen debinin yaklaşık 456.64 m³/s olduğu hesaplanmıştır. Bu debi değerinin 25 yıllık tekerrür debi ile eş değerde olduğu tespit edilmiştir. Sütçüler az bir mesafede hızlı akışın tesirinde kalmıştır. Uzun mesafede ise taşkın suyu, tüm kollarda drenajın gerçekleştiği Azmak Deresine gelerek Değirmendere’ye dökülmüştür. Aynı zamanda taşkın olayı, zeminin doygunluk derecesine varması ile drenaj alanı dışında kalan ve taşkın kollarının varmadığı Triyas çökelleri üzerinde yüzeysel akışların olması ile heyelanları oluşturmuştur.



Şekil 1. Taşkın havza alanı (Ülke, 2003)

Sütçüler’de 4 saat aralıksız yağın yağışın oluşturmuş olduğu yağış miktarı 111.4 mm olarak ölçülmüştür. Bu değer 25 yıllık yağış-süre tekerrür değerlerine tekabül etmektedir. Taşkın esnasında akarsudaki su yüksekliği 6.00 m’ye kadar yükselmiş, buna tekabül eden debi değeri ise 206 m³/s’ye varmıştır. Şekil 1 de gösterilen 9-88 ve 9-89 no’lu istasyonlar arasında taşkın ötelenme hesapları yapılmıştır.

Sütçüler ilçe merkezi ile taşkın geliştiği drenaj alanının en üst seviyesi arasındaki kot farkı 320 m olup mesafesi ise 50 m’dir. Yaklaşık 2/3 gibi bir yamaç eğiminde akış hızına varan taşkın aynı hızla Sütçüler’den geçmiştir. Sonrasında genişleyen topografyaya bağlı olarak taşkın, ilçe merkezi ile Değirmendere arasındaki 220 m’lik kot farkını 2 km de geçerek uzun mesafede tüm yan kolların boşaldığı Azmak Deresinde birleşerek, Değirmendere’ye akmıştır. 9-88 ve 9-89 istasyonlarında ölçülen giriş ve çıkış debi değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 9-88 ve 9-89 istasyonları ölçüm değerleri (Ülke, 2003)

2.2 Yöntem

2.2.1 Genetik İfadeli Programlama

Genetik İfadeli Programlama (GEP), Genetik Algoritmaların bir uzantısı olarak kabul edilen, özelleştirilerek uygulanan, ele alınan problemin yapı taşlarından oluşturulan muhtemel ilkel çözüm tarzlarının belli bir uyum ölçütüne göre evrimleşerek en iyileşmesini amaçlayan bir evrimsel algoritma tekniğidir (Koza, 1992). Genetik Programlamada amaç evrim teorisinden esinlenerek oluşturulan Genetik Algoritmalar kullanılarak, kullanıcı tarafından tanımlanmış görevlerin yerine getirilmesidir (Hatunoğlu, 2010).

GEP, genetik algoritmalara (GA) ve genetik programlama (GP)'ye dayanan bir algoritmadır. Bu algoritma ile sabit uzunluktaki doğrusal kromozomlarla kodlanmış bir bilgisayar programı geliştirilir. GEP 'in temel amacı, GEP modelinde kullanılan bir veri kümesini kullanarak bir matematiksel fonksiyon geliştirmektir. Matematiksel denklem için GEP işlemi, GA'nın genetik operatörlerinin birçoğuyla sembolik regresyonu gerçekleştirir. Süreç belli sayıda bireyin kromozomlarının üretilmesi ile başlar (başlangıç nüfusu). Ardından bu kromozomlar tanımlanır ve her bireyin uygunluğu bir dizi sağlıklı duruma karşı değerlendirilir. Daha sonra bireyler, değişikliklere çöğalma özelliklerine göre seçilir. Bu yeni bireyler, genomların ifadesi, seçim ortamının çatışması, seçim ve yeniden üretim ile aynı

gelişim süreçlerine tabi tutulur. Süreç belirli bir nesil için veya iyi bir çözüm bulunana kadar tekrarlanır (Ferreira, 2001, 2004, 2006).

2.2.2 GEP Modelinin Bileşenleri

Başlangıç nüfusu için belirlenmiş bireylerin kromozomlarının herhangi bir nesliyle süreç başlar. Daha sonra bu kromozomlar sentezlenir ve her bir bireyin uygunluğu, uygunluk dizinimi aleyhinde dönüşür (Çevresel Etki). Bireyler daha sonra yeni özellikli soylara, değişikliklere göre yeniden üretim için kendi uygunluklarına göre seçilirler. Yeni bireyler aynı gelişim süreçlerinden geçmektedirler: genomların sentezi, çevresel etkiye maruz kalma, seçim değişiklik üretimi. Süreç, nesil kesinleşene kadar ya da iyi bir çözüm bulunana kadar devam eder.

GEP'in iki ana unsuru kromozomlar ve ifade ağaçlarıdır (ETs). Kromozomlar matematiksel bir ifadeyi temsil eden bir veya daha fazla genden oluşabilir. Bir genin matematiksel kodu, Karva Dili olarak adlandırılan, genlerin dili ve ET'lerin dili gibi iki farklı dilde ifade edilir. GEP genleri baş ve kuyruk adı verilen iki kısımdan oluşur. Baş kısmı bazı matematiksel operatörler, değişkenler ve sabitler içerir ve matematiksel bir ifadeyi kodlamak için kullanılır. Terminal sembolleri ihtiva eden değişkenler ve sabitler kuyruğa dâhildir. Baştaki terminal semboller matematiksel bir ifadeyi açıklamak için yetersiz kalırsa ek semboller kullanılır.

2.2.3 GEP Modelinin Gelişimi

Taşkın ötelemesini tahmin edebilmek için geliştirilen matematiksel ifade, GEP modellerinin geliştirilmesinin asıl amacı olmuştur. Böylece GEP modelinin geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada GEP modelinin iki ana girdi parametresi (giriş debisi ve zaman) vardır.

GEP modelimizi oluşturmak için uymamız gereken beş ana adım mevcuttur ve ilk adım uygunluk (fitness) fonksiyonunun belirlenmesidir. Bu problem için, bir programın uygunluğu aşağıdaki ifadeyle ölçülür:

$$f_i = j=1 \text{ci}(M - |C_{i,j} - T_j|) \quad (1)$$

Burada M =seçim aralığı; $C_{i,j}$ =fitness durumu j için bireysel kromozom i tarafından döndürülen değer (C_i fitness durumlarından); ve T_j =fitness durumu j için hedef değer. $C_{i,j} - T_j$ (Hassasiyet) 0.01'den küçük veya eşitse, hassasiyet sıfıra eşittir. Bu durumda, $M=100$ ve dolayısıyla $f_{max}=1,000$ kullanılır. Bu tür uygunluk fonksiyonunun avantajı, sistemin kendisi için en uygun (optimum) çözümü bulabilmesidir (Ferreira, 2001).

İkinci önemli adım, kromozomları oluşturmak için F fonksiyon ve T terminal kümesini seçmekten oluşur. Bu problemde terminal seti, bağımsız değişkenden oluşur. Uygun fonksiyon kümesinin seçiminde gerekli tüm fonksiyonları içerecek şekilde iyi bir tahmin yapılır. Bu durumda dört temel aritmetik işlem (+, -, *, /) ve bazı temel matematiksel fonksiyonlar ($1/x$, x^2 , $x^{0.5}$) kullanılmıştır.

Üçüncü adımda, kromozomal yapıyı, yani baş kısmın uzunluğu ve gen sayısını belirlemektir. Dördüncü büyük adım, bağlantı fonksiyonunu seçmektir (toplama, çıkarma, çarpma bölme). Beşinci büyük adım ise, varyasyona ve oranlara neden olan genetik operatör setini seçmektir. En uygun GEP modelinin parametreleri ile tüm genetik operatörlerin (mutasyon, transpozisyon ve rekombinasyon) bir birleşimi kullanılmıştır (Güven ve Günal, 2008).

Bu çalışmada en iyi GEP modelini belirlemek için yapılan denemelerden sonra baş uzunluğu, $h=8$ ve kromozom başına 3 gen seçilmiştir. Bağlantı fonksiyonu olarak da çarpma kullanılmıştır. Son olarak tüm genetik operatörlerin birleşimi genetik operatörler kümesi olarak kullanılmıştır. GEP modelinin eğitim parametreleri Tablo 1 de verilmiştir.

Bu çalışmada GEP modeli, Muskingum modelinin kullanılmasına bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Böylece GEP modeli Muskingum taşkın parametrelerine bağlı kalmadan geliştirilmiştir. Bu model sadece giriş (I), zaman (T) ve çıkış (Q) parametrelerini içermektedir. Bütün parametreler tanımlandıktan sonra farklı modeller oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada, taşkın öteleme tahmini için güçlü hesaplama yazılım

paketi olan GeneXproTools 4.0 programı kullanılmıştır (Ferreira, 2006). Bu program ile taşkın hesabı için açık matematiksel ifade verilmektedir. Sınırlanan ölçüt maksimum uygunluk fonksiyonu olan RMSE dir. Program birçok nesil için çalıştırılmış ve uygunluk fonksiyonunun gelişim değerinde (RMSE) herhangi bir gelişme olmadığında durdurulmuştur.

Tablo 1. Modellemede kullanılan değişkenler

P1	Fonksiyon Seti	+, -, x, /, $\sqrt{\quad}$, exp, x^2 , x^3 , $\sqrt[3]{\quad}$, $1/x$
P2	Gen Sayısı	3
P3	Başlık Sayısı	8
P4	Bağlantı Fonksiyonu	Çarpma
P5	Jenerasyon Sayısı	Değişken
P6	Kromozomlar	30-45
P7	Mutasyon oranı	0.044
P8	Ters çevirme oranı	0.1
P9	Tek nokta yeni kombinasyon oranı	0.3
P10	İki nokta yeni kombinasyon oranı	0.1
P11	Gen yeniden kombinasyon oranı	0.1
P12	Gen yer değiştirme oranı	0.1

2.2.4 GEP Modelinin Çalışması

Model çalışmalarının başında, çoklu hidrograf için oluşturulan modelden uygun sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle, çoklu hidrograf iki ayrı hidrograf olarak incelenmiştir. Böylece, daha efektif model elde edilmiştir. Önerilen GEP modelinin basitleştirilmiş analitik formu, sırasıyla birinci ve ikinci çıkış hidrografı olarak ifade edilmiştir.

Model I-a için elde edilen formül:

$$Q = \exp\left(\frac{1}{\left(\frac{d[1](d[0]/G1C1)}{d[1]+G1C0}\right)}\right) * \left(\frac{\text{pow}(G2C1, (1.0/3.0))(G2C0+d[1])}{(d[1]-G2C1)} + d[0]\right) * \exp\left(\frac{1}{(d[1]+G3C0)}\right) \left(\frac{d[0]+G3C1}{\exp(d[1])}\right) \quad (2)$$

formüldeki sabitler G1C0=6.26, G1C1 = 5.77, G2C0 = -7.893647, G2C1 = 5.27, G3C0 = -9.16, G3C1 = -1.27 dir ve Gerçek değişkenler d[0]=I, d[1]=T dir. İlgili değerler yerine bırakıldıktan sonra denklemin son hali:

$$Q = [e^{(5.77T/(5.77-5.77))+(5.77T)/(T+6.26)}] * [(5.27)^{1/3}(-7.89+T)(1/T-5.27+I)] * [e^{(1/(T-9.16))((T-1.27)/e^T)}] \quad (3)$$

olarak elde edilmiştir. Burada I, giriş debisi Q, çıkış debisi ve T zaman olarak ifade edilmiştir.

Model I-b için elde edilen formül:

$$Q = \left(\frac{1}{\left(\frac{(\sqrt{d[0]}-d[1])}{d[1]+G1C0}\right)}\right) \left(\frac{1}{G1C0}\right) * (d[0] - \left(\frac{1}{\left(\frac{G2C1-d[0]}{G2C0+d[1]}\right)}\right) * \left(\frac{d[0]+d[1]}{d[0]+d[1]}\right)) * (\sqrt{d[0]-G3C1} + (d[0]+d[1])) + ((G3C1-G3C0)/(d[1]-G3C1)) \quad (4)$$

formüldeki sabitler G1C0=-6.74, G1C1 = -6.68, G2C0 = -7.61, G2C1 = -9.41, G3C0 = -0.48, G3C1 = 9.98 dir. Gerçek değişkenler d[0]=I, d[1]=T dir. İlgili değerler yerine bırakıldıktan sonra denklemin son hali:

$$Q = [1/(\sqrt{I-T} - (T-6.74)) - 1/(6.74)] * [I - (2I/(-9.41-I) + (7.61T))] * [(T-9.98)^{0.5} + (10.46/(T-9.98))] \quad (5)$$

olarak elde edilmiştir. Burada I, giriş debisi Q, çıkış debisi ve T zaman dir.

3 denkleminde iki tane girdi değeri (I ve T) bulunmakta ve ilk on saat (0≤T≤10) göz önünde bulundurulmuştur. 5 denkleminde ise iki tane girdi değeri (I ve Q) bulunmakla birlikte ve 11-29 saatleri (10<T≤29) göz önünde bulundurulmuştur.

Model II

$$Q = \left(\frac{1}{(d[1] + \left(\frac{d[0]+G1C1}{\exp(G1C0)}\right))}\right) * (d[1] + \left(\frac{1}{\left(\frac{G2C1}{(1/(G2C0)d[1])}\right)}\right) * (d[0] + (\text{pow}(d[1], (1.0/3.0)) - (G3C0-d[1])) / ((G3C1+G3C1)+d[1]))) \quad (6)$$

Formüldeki sabitler G1C0=-3.67, G1C1 = 9.97, G2C0 = 6.48, G2C1 = -3.39, G3C0 = -8.15, G3C1 = -7.88 dir. Gerçek değişkenler d[0]=I, d[1]=T dir. İlgili değerler yerine bırakıldıktan sonra denklemin son hali:

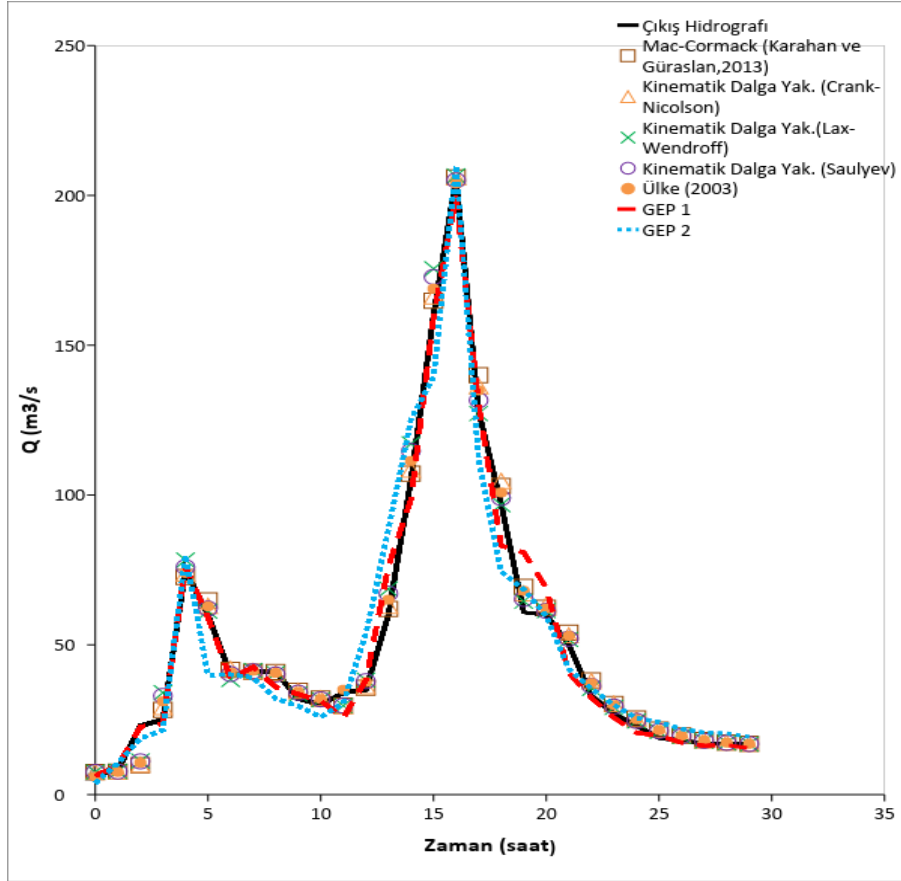
$$Q = [1/(T + (I + 9.97 - e^{3.67})) / e^{3.67}] * [T + 1/(-3.39 - 1/16.48 - T)] * [I + (T^{0.33} + 8.15 + T) / (T - 15.76)] \quad (7)$$

Burada I, giriş debisi Q ve çıkış debisi ve T zaman dir. 7 denkleminde de iki tane girdi değeri (I ve T) bulunmakta ve 0-29 saatleri (0≤T≤29) göz önünde bulundurulmuştur.

3. Bulgular

Bu çalışmada, taşkın öteleme modellerinde kullanılan hidrolik ve hidrolojik modellere bir alternatif olarak Genetik programlamanın bir uzantısı olan Genetik İfadeli Programlama metodu kullanılmıştır. Böylece GEP tekniğini kullanarak taşkın öteleme tahmininde yeni bir model geliştirilmiştir. GEP yöntemi birkaç hidrolojik parametreyi kullanmaktadır (giriş debisi, çıkış debisi ve zaman). 0≤T≤10 (Model I-a), 10<T≤29 (Model I-b) zaman aralığı için GEP 1 ve 0≤T≤29 (Model II) zaman aralığı için GEP 2 modelinde tahmini taşkın çıkış debi (Q) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu çıkış debi değerleri gözlenen değerlerle karşılaştırılmış ve taşkın pik değeri GEP I model çözümünde 199,56 m³/s, GEP II model çözümünde ise 209,99 m³/s bulunmuştur. Böylece GEP modeli ile pratikte karşılaşılan gerçek problemlere uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada, Sütçüler taşkını ile ilgili taşkın öteleme hesaplamalarında kullanılan sonlu fark şemaları ve Muskingum modeline dayanan çözüm teknikleri gibi GEP modelinin de iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından incelenen taşkın ötelenmesine ait çıkış hidrografı ile GEP I ve GEP II hidrografları Şekil 3 de verilmiştir. Şekil de GEP 1 modeli taşkın ötelenme hesabında son derece iyi performans sergilediği sonucuna varılmıştır (R²=0.98).



Şekil 3. Gözlemlenen ve tahmin edilen çıkış debi değerlerinin karşılaştırılması

Ayrıca bu çalışmada tek ve çok pikli taşkınlarla tahmin edilen modellerin geçerliliğini kontrol etmektir. Tablo 3 de GEP model sonuçlarının diğer çözüm yaklaşımlarıyla istatistiksel karşılaştırması verilmiştir. Tahmin edilen sonuçları değerlendirmek için istatistiksel doğrulama araçları olan R^2 ve RMSE kullanılmıştır. Önerilen GEP 1 ve GEP 2 modelindeki R^2 ve RMSE değerleri (GEP 1 için $R^2=0.979$, RMSE=42.74 ve GEP 2 için

$R^2=0.941$, RMSE=123.55) diğer çalışmaların değerleriyle (Mac-Cormack için $R^2=0.993$, RMSE=20.81; Crank-Nicolson için $R^2=0.994$, RMSE=18.38; Lax-Wendroff için $R^2=0.991$, RMSE=26.50; Sauljev için $R^2=0.993$, RMSE=21.43; Ülke (2003) için $R^2=0.994$, RMSE=18.33) kıyaslandığı zaman, bu değerler tahmin edici sonuçlar vermektedir. Burada, RMSE değeri ne kadar düşükse ilgili yöntemin de iyi bir sonuç verdiği anlamına gelmektedir

Tablo 3. GEP Model sonuçlarıyla diğer çözümlerin istatistiksel performansı

Hesaplanan Q (m ³ /s)													
Mac-Cormack		Kinematik Dalga Yaklaşımı						Muskingum Metodu		Bu Çalışma			
[Karahan ve Güraslan,(2013)]		Crank-Nicolson		Lax-Wendroff		Sauljev		Ülke (2003)		GEP 1		GEP 2	
R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
0.993	20.81	0.994	18.38	0.991	26.5	0.993	21.43	0.994	18.33	0.979	42.74	0.941	123.55

4. Sonuç ve Öneriler

Sütçüler havzasında, 4 Kasım 1995 tarihinde meydana gelen taşkına ait piklerin matematiksel olarak modellenmesinde yapay zekâ modellerden biri olan GEP Modeli kullanılmıştır. Bu çalışma ile doğal kanallarda taşkın ötelemesi için GEP modelinin kullanılabilirliği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla, bir nehir veya derenin taşkın zamanını ve meydana gelecek debi miktarını tahmin etmek için GEP yaklaşımı kullanılabilir. GEP yönteminde giriş debisi (I), zaman (T) ve çıkış debisi (Q) parametreleri kullanılmıştır. Bu modellemede $0 \leq T \leq 10$ (Model I-a), $10 < T \leq 29$ (Model I-b) için ve $0 \leq T \leq 29$ (Model II) aralığı için iki model geliştirilmiştir.

Sütçüler taşkını için yapılan hidrolik ve hidrolojik model çalışmalarından elde edilen tahmini sonuçlar ölçülen değerlerle oldukça benzerlik göstermektedir. Bu çalışmalarda oldukça yüksek determinasyon katsayıları ($R^2=0.991-0.994$) ve küçük Ortalama Karesel Hatanın Karekökü değerleri (RMSE=18.33-26.5) elde edilmiştir. GEP I modelinde de yüksek $R^2=0.980$ ve küçük RMSE=42.74 değerleri elde edilmiştir. Model sonuçları, gözlem değerleri ile kıyaslandığı zaman uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Gelecekteki araştırma çabalarının, su kaynakları sistemlerinin daha iyi planlanması, tasarımı, işletilmesi ve yönetimi için GEP tahmini modellerinin doğruluğunu iyileştirmek için bu yönde çalışmalara yönlendirilmesi umulmaktadır. Burada sunulan çalışmanın bulguları, Sütçüler taşkın çalışmasına dayanmaktadır. Böylece, bu çalışmada elde edilen bulgular, farklı özelliklere (boyut, şekil, depolama, arazi kullanımı, vb.), hidrolojik ve iklim koşullarına sahip diğer havzalarda daha kapsamlı bir araştırmayla daha ayrıntılı bir şekilde araştırılarak güçlendirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) Mühendislik 16.004 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ağralıoğlu, N., (1981), Akarsu Havzaları İçin Birleşik Bir Akış Modeli. Doçentlik Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 125s, İstanbul,
- Atalay, O., (2008), Taşkın Hidrografının Elde Edilmesiyle İlgili Yöntemlerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 90s, Kocaeli,
- Bagatur, T., Onen, F., (2018), Development of predictive model for flood routing using Genetic expression programming, *Journal of Flood Risk Management*, 11, 444-454
- Bagatur, T., Hamidi, N., (2014), Evaluation with stream characteristics of downstream flood problems after dam construction, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 22(2), 96-104.
- Denrou, B.A., Houstis, E.N., Papatheodorou, T.S., Dendrou, S.A., (1978), Numerical methods for flood-routing problems, 37 p.
- Erkek, C., Ağralıoğlu, N., (2010), *Su Kaynakları Mühendisliği*, İstanbul,
- Ferreira, C., (2001), *Gene expression programming: A new adaptive algorithm for solving problems*. *Complex Systems*, 13(2), 87-129.
- Ferreira C., (2004), *Gene expression programming and the evolution of computer programs*. In: L.N. de Castro & F.J. Zuben, eds. *Recent developments in biologically inspired computing*, New York: Idea Group Publishing, 82-103.
- Ferreira, C., (2006), *Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence*, 2nd Ed., Springer-Verlag, Germany,
- Fread, D.L., Lewis, J.M., (1991), Parameter optimization of dynamic routing models. *Water Forum '86, World Water Issues in Evolution 1986*, ASCE, , Long Beach, CA, USA, 443- 450
- Guven, A., Gunal, M., (2008), Genetic programming approach for prediction of local scour downstream hydraulic structures, *J. Irrig Drain Eng*, 134(2), 241-249.
- Hatunoğlu, B., (2010), Genetik Programlama, ODTÜ Bilgisayar Topuluğu Elektronik Dergisi,

- Oral, O.Ş., (2017), Genetik İfadeli Programlama ile Taşkın Öteleme Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır,
- Karahan, H., Gurarlan, G., (2014), Discussion of "Differential Quadrature Method in Open Channel Flows: Aksu River, *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(9): 07014003.
- Koza, J. R., (1992), *Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection MIT*, Cambridge, UK,
- Onen F., Oral O.S., 2017, Flood Routing Model Using Genetic Expression Programming, 7th International Scientific Forum, ISF, Oxford, UK,481-490
- Onen F, Bagatur T, 2017, Prediction of flood frequency factor for Gumbel Distribution using regression and GEP model, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(9) 3895-3906
- Özdoğan, İ., (2010), Akarsularda Taşkın Ötelenme Modelleri: Alara Çayı Uygulaması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 126s, Isparta,
- Tingsanchali, T., Manandhar, S.K., (1985), Analytical diffusion model for flood routing, *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(3) 435-454.
- Ülke, A., (2003), Muskingum Metodu Kullanılarak Taşkın Ötelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s, Isparta,

Modeling Flood Routing with Genetic Expression Programming

Extended abstract

Floods are natural disasters that cause huge losses and economic damages in many parts of the world. Flooding peak values are required in the design of bridges, canals, spillways for dams. The flood wave entering a particular section of the river or the reservoir causes the water level to rise and this change is investigated by flood routing method. Flood routing is a method used to determine flood replacement by using flood data in a river section.

Flood routing procedures may be classified as either hydrological or hydraulic. Hydrological methods use the principle of continuity and a relationship between discharge and the temporary storage of excess volumes of water during the flood period. Hydraulic methods of routing involve the numerical solutions of either the convective-diffusion equations or the one dimensional Saint-Venant equations of gradually varied unsteady flow in open channels. The hydraulic methods generally describe the flood wave profile more adequately when compared to hydrological methods, but practical application of hydraulic methods are restricted because of their high demand on computing technology, as well as on quantity and quality of input data. In practical applications, the hydrological routing methods are relatively simple to implement and reasonably accurate. An example of a simple hydrological flood routing technique used in natural channels is the Muskingum flood routing method

In this study, the Sütçüler flood, which caused the loss of life and property, which took place in Sütçüler Değirmendere, a line of the Aksu river on November 4, 1995, was modeled using flood routing method. Progression in Artificial Intelligence (AI) offers opportunities in engineering studies (water resources, hydraulics and hydrological events) using new

algorithms and models. This work presents the Genetic Expression Programming (GEP) method, an extension of genetic programming as an alternative to modeling flood routing. Thus, new models have been developed using the GEP method in flood routing prediction. In the GEP method, the inflow (I), outflow (Q) and time (T) parameters are used. The performance of the model was evaluated with two fitness measures, detection coefficient (R^2) and root-mean-squared error (RMSE). It is included that the model based GEP has more performance in flood routing prediction than the other solution techniques based on the Muskingum model and finite difference method.

Keywords: Flood routing, Natural river, GEP, Modeling