



## Diyarbakır Kenti içmesuyu ihtiyacının genetik ifadeli programlama ile modellenmesi

**Behzat ASLAN**

*İlbank, Diyarbakır*

[b\\_aslan1905@hotmail.com](mailto:b_aslan1905@hotmail.com) ORCID:0000-0002-9143-3957

**Fevzi ÖNEN\***

*Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

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

**Nizamettin HAMİDİ**

*Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

[nhamidi@dicle.edu.tr](mailto:nhamidi@dicle.edu.tr) ORCID:0000-0003-0244-0264, Tel: (412) 241 10 00 (3545)

Geliş: 27.02.2018, Kabul Tarihi: 24.03.2018

### Öz

*Evsel su ihtiyacı, ticaret, sanayi, hizmet sektörü, turizm, hayvan su ihtiyacı, özel ihtiyaçlar ve su kayıpları toplam su ihtiyacını oluşturmaktadır. Yerleşim yerlerinin hâlihazır veya gelecekteki içme suyu ihtiyacının belirlenmesinde nüfus tahmin yöntemleri kullanılmasına rağmen günümüzde içme suyu ihtiyacı veya tüketimini etkileyen daha birçok parametrenin var olduğu bir gerçektir. Bu çalışmada, Diyarbakır Kenti için 2005–2014 yılları arasında ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilen şebekeye verilen su miktarı, şebekede oluşan su kayıpları, tahakkuk, sıcaklık, nem, nüfus, yağış, gelişmişlik durumunu gösteren Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) ve içmesuyu abone sayısı gibi parametrelerin verileri kullanılmıştır. Su talebi ve içmesuyu tüketimini etkileyen bu parametrelerin verileri ile gelecekteki içmesuyu ihtiyacı tahmini için bir yapay zekâ tekniği olan Genetik İfadeli Programlamaya dayalı modeller oluşturulmuştur. İçmesuyu talep ve tahmininde Genetik İfadeli Programlama ile farklı modeller oluşturularak, tüketime etki eden parametrelerin etkileri incelenmiştir. Ayrıca oluşturulan farklı modellerin performanslarını değerlendirmek için Determinasyon Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (RMSE) gibi istatistiksel değerlere göre modellerin tahmin değerleri ölçülen değerlerle karşılaştırılmış ve oldukça önemli sonuçlar elde edilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** *İçmesuyu İhtiyacı, Talep, Diyarbakır Kenti, Genetik İfadeli Programlama (GEP), Modelleme, Tahmin.*

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

**DOI:**

## Giriş

İnsanoğlu fiziksel, kimyasal, biyolojik ve sosyal faaliyetlerini sürdürdüğü su, toprak ve hava gibi üç ana unsurdan oluşan çevrede yaşamaktadır. Su, toprak ve hava bulunmayan bir ortamda canlılar yaşayamaz. Bunlardan su tarih boyunca yeryüzünde yaşamsal faaliyetler için en gerekli unsur olmuştur. Milattan Önce (M.Ö.) 1760'lı yıllarda Hammurabi Yasalarında bile su hakkıyla ilgili bazı kurallar, ihlallerle ilgili bazı yaptırımlar bulunmaktaydı. Roma Hukuku'nda ise su tüm insanlığın ortak malı olarak kabul görmekteydi. Yüzyıllar boyunca medeniyetler, su kaynaklarının yakınlarına kurulmuştur. Nil, Dicle ve Fırat Nehirleri çevresi, sağladıkları su itibarıyla dünyanın ilk yerleşim yerleri olmuştur. Bir başka deyişle, dünyadaki büyük nehirler ve su kaynakları, medeniyetlerin oluşumuna ve gelişimine temel oluşturmuştur. Antik çağlardan beri, insanlar su kaynaklarına yakın olmak ve bu kaynaklar üzerinde hüküm sürmek için oldukça çaba harcamıştır.

Dünyadaki toplam su miktarı 1 milyar 400 milyon km<sup>3</sup> olup yerkürenin dörtte üçünü kaplamaktadır. Fakat bu oranın önemli bir kısmına erişim mümkün değildir. Çünkü bu miktarın %97.5'i deniz ve okyanuslarda tuzlu su olarak bulunmakta olup, sadece %2.5'lik kısmı tatlıdır. Tatlı suyun da önemli bir kısmı (%69.5) kutuplarda buzul olarak veya donmuş toprak tabakasında bulunmaktadır. Tatlı suyun yaklaşık olarak %30.1'i yeraltı suyu, geriye kalan %0.4'ü ise atmosfer suyu (yağış ve atmosferdeki su buharı) ve yüzey sularıdır (DSİ, 2014). Yer yüzeyinde bulunan tatlı su kaynakları oranının düşük olması, kullanılabilir elverişli su miktarının az olduğunu göstermektedir. Akarsu ve göllerdeki tatlı su kaynakları miktarının, dünyadaki toplam mevcut su miktarına oranı yaklaşık % 0.015'tir. Yeryüzündeki dağılımı az olan bu rezerv; su kirliliği, iklim değişikliği ve su havzalarındaki yapılaşmalarla daha da azalmaktadır. Bununla birlikte, hızlıca artan nüfus ve insanların tüketim alışkanlıklarının değişimine bağlı olarak talebin sürekli olarak artması, dünyayı giderek büyüyen su sorunlarıyla karşı karşıya bırakmaktadır. Bu da

“su yönetimi ve güvenliği” konularının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (DSİ, 2014).

İklim, nüfus yoğunluğu, su tüketicilerinin sosyal ve ekonomik durumu ve çevresel faktörler su tüketimini etkilemektedir. Nüfus yoğunluğunun su kaynaklarının kullanımında doğrudan bir etkisi vardır. Nüfusun yoğun olduğu herhangi bir yerleşim yerinde hayat standartlarındaki farklılıklardan dolayı kişi başına su kullanım miktarı önemli ölçüde değişim göstermektedir. Burada hayat standardı ifadesi, belirli bir gelişmişlik düzeyinin gerektirdiği sistemleri, düzenekleri ve bunu sağlamak için gereken su kullanımı ihtiyacına atıfta bulunmaktadır. Üretim ve gelişim için kurulan birçok sektörde mutlak şekilde suya ihtiyaç vardır. 20. yy boyunca dünya nüfusu, 19. yy sonuna göre üç kat artarken, su kullanımının altı kat arttığı görülmektedir (DPT, 2007). Nüfusun ve su tüketimindeki artışın aynı oranda seyretmemesi, su tüketiminin sadece nüfusa bağlı olmadığını göstermektedir.

Su talep ve tahmini ile ilgili yapılan mevcut çalışmalara incelendiğinde, ilk yapılan çalışmaların regresyon analizi ile yapıldığı görülmektedir. Howe ve Linaweaver'in (1967) yaptığı çalışmada, birçok şehir için kesitsel verilerden regresyon analiziyle derlenen parametrelerle konut su talebi modelleri oluşturulmuş ve evsel su talebinde, fiyat değişkeninin görece olarak elastik olmadığını göstermiştir. Cassuto ve Ryan (1979) çalışmalarında, California'nın Oakland Bölgesinde uzun dönem su koruma programları kapsamında, gelir ve maliyetin bağımsız değişken olarak kullanıldığı regresyon modelinde konut elastikiyetini tahmin etmişlerdir. Maidment vd. (1985) ise Florida, Pennsylvania ve Texas'ın dokuz şehirden günlük su tüketim verilerini kullanan bir regresyon modeli oluşturmuşlardır. Bu modelde yağış ve hava sıcaklığı değişkenlerindeki kısa dönem kullanım değişimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Billings ve Agthe (1998), Arizona'nın Tucson şehrinde kısa dönem su talebini tahmin etmek için temel ortalama aylık yaklaşımıyla regresyon analizi ve zaman serileri uzay yöntemini karşılaştırmışlardır. Babel vd.

(2007) regresyon modelini kullanarak sosyal ve ekonomik karakteristikler, iklimsel faktörler, kamu su politikalarının tanımlandığı çok değişkenli ekonometri faktörlere dayalı olarak evsel su talep tahminini hesaplamışlardır.

İçmesuyu talep tahmininde farklı sayılabilecek parametreler kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Bulanık Mantık (Fuzzy) metotları kullanılarak farklı yerleşim yerleri için tahminler yapılmaktadır. Altunkaynak vd (2005), bulanık mantık metoduyla İstanbul'un Su Tüketim Tahminini yapmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada, Bulanık Mantık Metoduyla, daha önceki üç aylık su tüketim değerleri kullanılarak gelecek aylardaki tahmini su kullanım değerleri oluşturulmaya çalışılmıştır. Mermer (2007), Kentsel içmesuyu ihtiyacının yapay sinir ağlarıyla İzmir ilinin talep tahminini yapmıştır. Bu tez çalışmasında, İller Bankasının önerdiği nüfus tahmin yöntemine göre içme suyu ihtiyacının tahmininde nüfusun etkisinin yetersiz olduğunu, bu parametrenin yanında, Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH), sıcaklık, yağış, nem, ortalama evsel su faturası, hane sayısı gibi parametrelerin de etkisinin olduğunu tespit ederek, İzmir İlinin içmesuyu tahmini yapılmıştır. Bu verilerin aylık değerleri Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile modellenmiş ve gelecekteki 20 yıl için içmesuyu ihtiyacı tahmini yapılmıştır. Dünyadaki su arz sistemleri son yıllarda nüfusun ve kişi başına düşen su tüketiminin artmasına bağlı olarak, su tüketimini önemli bir konu haline getirmiştir. Günlük maksimum su talep tahmini; uygun maliyet, sürdürülebilir yönetim, kentsel altyapı sistemlerindeki büyüme ile ilişkilidir. Adamowski (2008), YSA metodunu kullanarak günlük zirve su talep tahminini Kanada'nın Ottawa şehri için yaptığı çalışmada şehrin Batı Merkezi için günlük maksimum su tüketimini; çoklu lineer regresyon, zaman serili analiz ve yapay sinir ağları metotlarını kullanarak tahmin etmeye çalışılmış ve çıkan sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ajbar ve Ali (2012), Mekke Şehrinin su talep miktarı tahminini Yapay Sinir Ağları Metodunu kullanarak incelemişlerdir. Suudi Arabistan'ın içmesuyu talebinin karşılanması ve yerleşim yerlerine iletilmesi için oldukça maliyet

gerektiren kurak bir yerleşim yeri olduğunu belirtmişlerdir. İçmesuyu talebi coğrafik, iklimsel ve ani değişen nüfusa bağlı olarak değişmekte olan bir sistem olduğu için Mekke Şehri de hem kurak olmasından hem de dini turizme dayalı yılın belli zamanlarında oldukça artan nüfusuyla, su talebinin önemli miktarda değişiklik gösterdiği bir durumu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları ile hane halkı geliri, yerleşim yoğunluğu, nüfus yoğunluğu ve en yüksek sıcaklık parametreleri kullanılarak, Mekke şehri için aylık ve yıllık dönemde su tahminleri yapılmıştır.

Akdağ (2015), bir çalışmasında su talebini, evsel, ticari, kamu kurum ve kuruluşları, endüstri ve sanayi gruplarının ihtiyaç duyduğu su miktarı olarak tanımlamış ve su talebi üzerinde nüfus, istihdam, ekonomik döngüler, teknoloji, hava koşulları, küresel ısınma, yeşil alanların azalması, yaşam standardı ve fiyat gibi çeşitli faktörlerin etkisini incelenmiştir. Ayrıca, su talebi üzerinde tüketicilerin su kullanım davranışları, tüketim üzerinde oldukça etkilidir. Tüketicilerin su kullanım miktarı, ekonomik gerekçelerden, yeterli bilgilendirme ve sosyal faktörlerden etkilenmektedir (Akdağ, 2015).

Şehirler, İlçeler ve kasabalar için içmesuyu projeleri yapılırken, İller Bankası A. Ş. 'İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartnamesine' göre belirtilen nüfus tahmin yöntemi ile şehirlerin gelecekteki nüfuslarına göre içmesuyu ihtiyacı tahmini yapılmaktadır. Oysaki içmesuyu kullanımını etkileyen birçok parametre mevcuttur. Şehrin coğrafyasından iklimine, demografik yapısından mekânsal çeşidine, gelişmişlik düzeyinden sanayisine kadar birçok etmen içmesuyu tüketimini etkileyebilmektedir. Tüm bu faktörlerin içme ve kullanma suyuna etkisi düşünüldüğünde, içmesuyu ihtiyacı tahminlerinin sadece nüfusa göre değerlendirilmemesi gerekir. Dolayısıyla bu çalışmada iklimden gelişmişlik düzeyine, geçmiş yıllardaki su kullanımından su kayıplarının miktarı gibi veriler kullanılarak, Diyarbakır Şehir Merkezi için içmesuyu talep ve tahmininde Genetik İfadeli Programlama (GEP) ile farklı modeller oluşturulmuş ve

tüketime etki eden parametrelerin etkileri incelenmiştir.

## Materyal

### Diyarbakır İçmesuyu Sisteminin Özellikleri

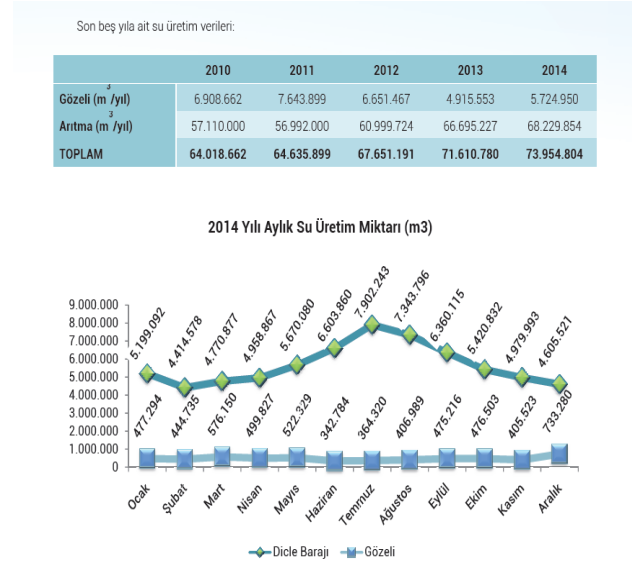
Diyarbakır'da ilk boru hattı 1935 yılında Vakıflar İdaresi tarafından dökme demir boru tipi kullanılarak inşa edilmiş olup, şebekedeki su kayıpları oldukça yüksek çıkmıştır. Nüfusun artışıyla, şehirdeki altyapı açısından planlı ve sağlıklı çalışmalara 1972 yılında başlanılmıştır. İçmesuyu isale boru hattı, 11 km uzunluğunda ve 1.000 mm çaplı beton borular kullanılarak döşenmiş ve içme suyu deposu ise 9.000 m<sup>3</sup> hacimli olarak hattın ucuna inşa edilmiştir. 1990'lı yıllarda Diyarbakır şehri çeşitli sebeplerden dolayı çok hızlı göç almıştır. Mevcut altyapı sistemi bu hızlı değişen nüfusa oranla oldukça yetersiz kalmıştır. Şehre sağlanan su miktarının yetersizliği, yeni bir su temin sisteminin yapılmasını zorunlu kılmıştır. Tasarlanan proje iki aşamalı olup, ham su kaynağı olarak Dicle Barajını kullanmayı amaçlamıştır. Projenin ikinci kısmı 2025 yılından sonra gerçekleştirilecektir. Su temin sistemi 2001 yılının ortalarında tamamlanmış olup bu projenin tamamlanması ile şehrin su probleminin 2030 yılına kadar çözülmesi amaçlanmıştır.

Günümüzde Diyarbakır içmesuyu iki noktadan temin edilmektedir. Bunlardan biri Hamravat Suyudur (Gözel). Diğerisi ise Dicle Barajından isale hattıyla getirilen sudur. Şekil 1. de Diyarbakır kent merkezi için üretilen toplam içmesuyu miktarı görülmektedir.

Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Türkiye'nin 29 Büyükşehir Belediyesinden biri olup, merkez nüfusu 1 008 848'dir. Toplam hizmet verdiği alanda içmesuyu şebekesinin uzunluğu 1201 km'dir. İller Bankası tarafından yapılan şebeke, DİSKİ (Diyarbakır Su ve Kanalizasyon İdaresi) Genel Müdürlüğüne 2001 yılında devredilmiştir.

Su dağıtım şebekesi 8 ayrı bölgeden oluşmaktadır. Dicle barajından temin edilen ham su yaklaşık 35 km'lik terfi hattından sonra arıtma tesisine gelmekte ve burada arıttıktan

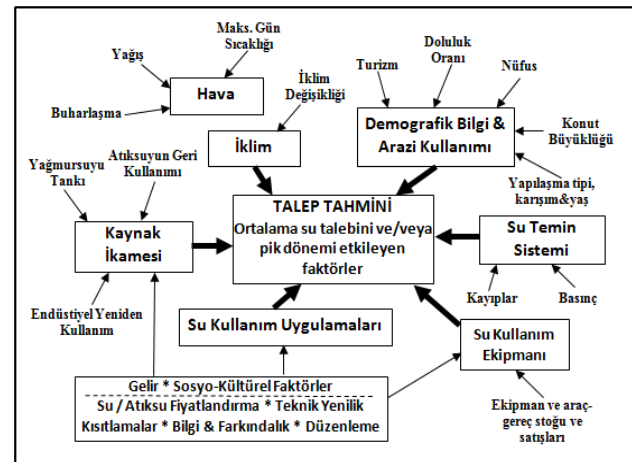
sonra depolara aktarılmaktadır. Depolardan su şebekeye cazibeli olarak dağıtılmaktadır.



Şekil 1. Diyarbakır İçmesuyu Üretim Miktarları (DİSKİ, 2014)

### Çalışmada Kullanılan Veriler

Su talebi nüfus, istihdam, ekonomik döngüler, teknoloji, hava, iklim, fiyat ve buna benzer çeşitli parametrelerden etkilenmektedir. Yerel nüfus artışı, küresel ısınma, kentsel yeşil alan miktarındaki değişim, endüstriyel gelişme ve yaşam standartlarındaki artış gibi parametrelerin etkileri tüketimi artırmaktadır. (Wu ve Zhou, 2010). Su talebini doğrudan ve dolaylı etkileyen parametreler Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Su talebini doğrudan ve dolaylı yoldan etkileyen faktörler (White vd, 2003).

Bu çalışmada, Diyarbakır kentine ait içmesuyu ihtiyacının tahmini için nüfus, içmesuyu abone sayısı, sıcaklık, yağış, nem, şebekede oluşan su kayıpları, gelişmişlik durumunu gösteren Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH), tahakkuk ve şebekeye verilen su miktarı ile ilgili parametrelerin verileri kullanılmıştır. Bu parametrelere ait verilerin temin edildiği kurum ve kuruluşlar aşağıda belirtilmiştir.

Ülkemizde nüfus planlanması ilk kez düzenli olarak Cumhuriyetin ilk yıllarında yapılmıştır. İlki 1927 yılında, ikincisi 1935 yılında ve daha sonra her beş yılda bir nüfus sayımı yapılmıştır. Diyarbakır'ın 2007–2014 yılları arasında merkez nüfus değerleri Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınmıştır. Adrese Dayalı Nüfus Sistemi 2007 yılından sonra oluşturulduğu için 2005 ve 2006 nüfus değerleri regresyon metodu ile elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında kullanılacak olan Diyarbakır kent merkezi için 2005–2014 yılları arasındaki abone sayıları, su kullanımları ve tahakkuk verilerinden elde edilen su kayıpları, şebekeye verilen su miktarları, Diyarbakır Su ve Kanalizasyon İdaresi işletmesinden (DİSKİ) temin edilmiştir. Ayrıca 2005–2014 yılları arasındaki aylık dönemdeki ortalama sıcaklıkları, ortalama yağış miktarları ve ortalama nispi nem değerleri Diyarbakır Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Diyarbakır'ın 2005–2014 yılları arasındaki GSYH değerleri ise Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) temin edilmiştir.

## Yöntem

### Genetik İfadeli Programlama (GEP)

Karmaşık problemlere doğal yollar vasıtasıyla çözüm üretme, bilim insanlarının üzerinde düşündüğü ve yapay zekâ çözümler üretmeye çalıştığı bir alandır. Bu yolda atılan ilk adımlar 1950'li yıllarda Friedberg tarafından atılmıştır, fakat tüm bu bilgisayar ve yazılım çağının temelini oluşturan Darwin'in Evrim Teorisidir. Bu çalışmanın özelliği Genetik algoritma (GA) ve Genetik Programlamanın (GP) bir uzantısı olan GEP'in son yıllarda mühendislik problemlerinde çözümleme sağlamasıdır.

GEP su mühendisliğinde kullanılan yeni bir tekniktir. GA, GP ve GEP'in aralarındaki temel fark bireylerin doğallığına bağlıdır. GA da bireyler, kromozomların en uygun lineer dizileridir. GP'de bireyler farklı boyut ve şekilde lineer olmayan varlıklardır ve GEP'de ise bireyler gen ve kromozomların en uygun lineer dizisine göre kodlanır.

### GEP Model Bileşenleri

GEP Ferreira (2001) tarafından geliştirilen yeni bir Yapay Zekâ (AI) tekniğidir. Bu teknik Koza (1992) tarafından geliştirilen GA'nın bir uzantısıdır (Koza, 1992). GEP'in İki ana elementi; Kromozomlar ve İfade Ağacıdır (ETs). GEP; GA'da kullanılan benzer uzunluktaki lineer kromozomlar ve GP ağacının farklı şekil ve uzunlukta dallanmış yapısını da içermektedir. Bu yüzden, GEP'in fenotipi, GA'da kullanılan dallanmış yapıyla benzer çeşitlilik göstermektedir. Ancak, GEP'deki dallanmış yapı bağımsız genlerin topluca ifadesidir. GEP'in temel amacı matematiksel bir fonksiyon üretmektir ve bu fonksiyonu GEP'in genel bilgi dizinine adapte edebilmektir. Matematiksel denklemler için GEP, GA'nın genetik kullanıcılarının birçoğu ile sembolik sapma gerçekleştirmektedir. GA, GP ve GEP arasındaki temel fark bireylerin doğallığına aittir. GA bireyleri kromozomların uygun uzunluklarının sembolik dizileridir; diğer taraftan GP bireyleri farklı şekil ve büyüklüklerden oluşmaktadırlar. GEP bireyleri ise Karva Notasyonunda kullanılan, uygun uzunluk dizimi olarak kodlanan, farklı şekil ve büyüklükteki ağaçlardır. Böylece GEP, diğerlerinin bazı sınırlamalarını bertaraf ederken, faydalarını da sürdürmektedir. GA kromozomları genetik olarak işletilebilir; fakat fonksiyonel işlevlerini kaybedebilirler. GP'de ise fonksiyonel işlevlik sürdürülebilir. GEP kullanıcıları daima mevcut şekilden türerler. Böylece, GEP'in farkının temel amacı, GEP genlerinin yapısının dönüşümünü devam ettirmektir.

Bireylerin kesin numarasının kromozom nesliyle aşamalar başlar. Daha sonra, bu kromozomlar belirtilir ve her bir bireyin uygunluğu uygun dizi durumuna göre evrilir.

Daha sonra, bireyler modifikasyon uyumlarına göre seçilirler. Bu yeni bireyler genomların sentezi, çevresel etkiler, seçim ve modifikasyon değişimi gibi aynı değişim aşamalarına maruz kalmaktadırlar. Bu aşamalar genlerin kesin numaraları için ya da en iyi sonuç bulunana kadar tekrarlanır.

GEP'in iki ana unsuru kromozomlar ve Ağaç Sentezidir. Genetik Bilgi Sentezi kromozomda kodlanır. Doğal olarak bilgi çözümlene aşamaları, çeviri olarak adlandırılır. Çeviri bir kodu ve kurallar dizimini ifade etmektedir. GEP'in genetik kodu belirgindir: Kromozom ve kodların sembollerinin arasındaki birebir ilişki, ağaçta belirtilir. Kurallara göre ET arasındaki etkileşim kısmı ve ET'nin şekilsel organizasyonu belirlenir. Böylece, GEP'de iki dil vardır: Basit kurallardan ET'nin yapısı sayesinde, genlerin dili ve ET'nin dili arasındaki etkileşim belirlenir (Ferreira, 2004).

### GEP Bireylerinin Yapısı

GEP programının ana unsurları kromozomlar ve ifade ağacı olmakla birlikte, sonraki en önemli aşama, dizideki genetik bilgi kodunun ifadesidir. Doğal olarak, bilgi çözümlene aşaması çevirim olarak adlandırılır ve bu çevirim bir dizi kural ve kesin kodları işaret etmektedir. Genetik kod oldukça basittir: kromozom sembolleri arasında bire bir ilişki vardır ve düğümler ağaçta temsil edilirler. Kurallar oldukça basittir: ifade ağacının düğümlerinde ve geçişlerindeki mekânsal şema belirlenir. Böylece, GEP'de iki dil oluşur: genlerin dili ve ifade ağacı.

### GEP Modelinin Gelişimi

Bu çalışmanın temel amacı; Diyarbakır içmesuyu tüketimini oluşturan ve etkileyen parametreleri belirlemek, Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemiyle farklı modeller oluşturarak, bu parametrelerin içmesuyu tüketimine etkisini belirlemektir. Önerilen Genetik İfadeli Programlama yaklaşımı ile tahmin edilen toplam içmesuyu miktarı ( $Q_T$ ), ölçülen değerlerle karşılaştırılmış ve modellerin performansı için de Determinasyon Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (RMSE) kullanılmıştır. İstatistiksel olarak,

Modeller arasındaki karşılaştırmalar  $R^2$  ve RMSE oranlarının performans değerlerine bakılarak değerlendirilmektedir. Eğer bu katsayı,  $R^2 > 0,8$ 'den büyük ise ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında güçlü bir benzerlik vardır (Adamowski, 2008).

Bu modelde, 2005–2014 yılları arası (aylık dönemde) içmesuyu tahakkuk verileri ( $d_0$ ) A, 2005–2014 yılları arası (aylık dönemde) nüfus verileri ( $d_1$ ) P, 2005–2014 yılları arası (aylık dönem) içmesuyu hane abone sayıları ( $d_2$ ) S, 2005–2014 yılları arası (aylık dönemde) sıcaklık verileri ( $d_3$ ) T, 2005–2014 yılları arası (aylık dönem) yağış verileri ( $d_4$ ) R, 2005–2014 yılları arası (aylık dönem) nem verileri ( $d_5$ ) H, 2005–2014 yılları arası (aylık dönem) Su kayıp verileri ( $d_6$ )  $Q_L$ , 2005–2014 yılları arası (aylık dönem) Diyarbakır için kişi başı GSYH verileri ( $d_7$ ) D giriş parametreleri olarak gösterilmiştir. 2005–2014 yılları arası aylık dönemde şebekeye verilen toplam içmesuyu miktarı (D.V.)  $Q_T$  ise çıkış parametresini göstermektedir.

Bu çalışmada, toplam içmesuyu miktarı tahmini için GEP Programı kullanılmıştır. Bu program ile oluşturulan farklı modeller için açık matematiksel ifadeler oluşturulmuştur. Sınırlanan ölçüt maksimum uygunluk fonksiyonu olan Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (RMSE)'dir. Program birçok kuşak için çalıştırılmış ve uygunluk fonksiyonunun gelişim değerinde (RMSE) herhangi bir gelişme olmadığında durdurulmuştur.

GEP Modelinin oluşturulmasında, içmesuyu tüketimini etkileyen birbirinden bağımsız değişkenleri gösteren denklem aşağıda verilmektedir.

$$Q_T = \text{fonk}(A, P, S, T, R, H, Q_L, D) \quad (1)$$

Burada A İçmesuyu tahakkuk, P Nüfus, S Hane abone sayısı, T Sıcaklık, R Yağış, H Nem,  $Q_L$  Su kayıpları, D Diyarbakır için kişi başı GSYH ve  $Q_T$  Toplam içme suyu miktarıdır.

Ferreira (2006), GEP Algoritmasının Akış Şeması Modelinde GEP Modelinin kullanımında ve hazırlanmasında beş önemli basamak olduğunu belirtmiştir. İlk basamak; GEP'e girilecek olan uygun fonksiyonların

oluşturulması ve dizinimidir. Modelin oluşturulmasında ilk aşamada kullanılan denklem;

$$Q_T = \sum_{j=1}^{c_i} (M - |C_{(i,j)} - T_j|) \quad (2)$$

Burada,  $Q_T$ : Verilen su;  $M$ : Seçim aralığı  $C_{(i,j)}$ : Bireysel kromozomlar tarafından değiştirilen değer ( $i$ : uygun durumlar için,  $j$ : uygun olmayan durumlar için),  $T_j$ : En uygun durum için hedef değer. Eğer  $|C_{(i,j)} - T_j|$  (doğruluk) 0.01' den az ya da eşit ise, o zaman doğruluk sıfıra eşit olur ve  $f_i = f_{max} = C_i M$ . Bu durumda,  $M=100$  alınır ve bu sebeple  $f_{max}=1,000$  olur. Bu fonksiyon türünün en önemli avantajı; sistemin kendisi için en uygun çözümü üretmesidir (Ferreira, 2001).

İkinci basamak, kromozomları üretmek için  $T$  dizinimi ve  $f$  fonksiyonu seçilir. Bu problemde dizinimler bağımsız değişkenlerden  $Q_T=f(A,P,S,T,R,H,Q_L,D)$  oluşmaktadır. Uygun fonksiyon kümesinin seçiminde gerekli tüm fonksiyonları içerecek iyi bir tahmin yapılır. Bu durumda, dört temel matematiksel işlem (+, -, \*, /) ve bazı temel matematiksel fonksiyonlar ( $1/x$ ,  $\sqrt{x}$ ,  $x^{1/3}$ ,  $x^{1/4}$ ,  $x^2$ ,  $x^3$ ) kullanılmıştır.

Üçüncü basamakta; kromozomal yapı, yani baş kısmın uzunluğu ve gen sayısı belirlenmektedir. Bu kısımda, eğitim dizinimdeki ortalama karesel hata (RMSE) en uygun fonksiyon olarak alınmıştır. Dördüncü önemli basamak ise; bağlantı fonksiyonunun seçimidir (toplama, çıkarma, çarpma, bölme). Bu durumda, çoğaltma yöntemiyle Alt-İfade ağaçlarından bağlantı kurulur. Son olarak, beşinci önemli basamakta; genetik katılımcıların, varyasyon ve oranlarından kaynaklı seçimler yapılır. Tüm genetik kullanıcıların birleşimi (mutasyon, aktarma ve yeniden birleştirme) en uygun GEP Modelinin Parametreleri ile kullanılmıştır (Güven ve Günel, 2008).

Bu çalışmada en iyi GEP modelini belirlemek için yapılan denemelerden sonra Baş kısmın uzunluğu  $h=8$  ve kromozom başına gen sayısı 3 olarak seçilmiştir. Bağlantı fonksiyonu olarak da çarpma seçilmiştir. Son olarak tüm genetik operatörlerin birleşimi genetik operatörler kümesi olarak kullanılmıştır.

## GEP Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada GEP Modelinin oluşturulmasında birbirinden bağımsız sekiz parametrenin on yıllık (120) verileri kullanılmıştır. Toplam 120 verinin, % 80'i (96) eğitim amaçlı % 20'si (24) ise test amaçlı olacak şekilde kullanılmıştır. Eğitim verileri (96) ilk olarak modelin oluşturulması için kullanılmıştır. Diğer 24 veri modeli test etmek için kullanılmıştır (Aslan, 2017).

Önerilen 8 girdili ve bir çıktılı GEP formülasyonu için Model geliştirilerek İfade Ağacı (ET) elde edilmiştir. Model de eğitim seti için  $R^2=0.982$ , RMSE=3.89 ve test seti için  $R^2=0.947$ , RMSE=7.97 olarak elde edilmiştir. Model için elde edilen formül:

$$Q_T = \text{pow}(\left(\frac{d[0]}{d[7]}\right) * \text{sqrt}(\left(\frac{d[1]}{d[1]} + d[1]\right)), (1.0/3.0)) * \text{sqrt}(\text{pow}(\text{pow}(\left(\frac{G2C0}{d[5]} - G2C1 + d[0]\right), (1.0/3.0)), (1.0/3.0))) * \left(\frac{d[1]}{d[1]} - (d[7] * G3C1)\right) + \left(\frac{d[6]}{d[5]} - d[2]\right) + d[1] \quad (3)$$

olarak elde edilmiştir.

Bu formülasyonda;  $G1C0=2.61$ ,  $G1C1=2.547$ ,  $G2C0=9.92$ ,  $G2C1=0.273$ ,  $G3C0=8.55$ ,  $G3C1=4.83$ 'dir. GEP formülasyonu gerçek değişkenler  $d[0]=A$ ,  $d[1]=P$ ,  $d[2]=S$ ,  $d[3]=T$ ,  $d[4]=R$ ,  $d[5]=H$ ,  $d[6]=Q_L$ ,  $d[7]=D$  olarak ifade edilmiştir. İlgili değerler yerine bırakıldıktan sonra denklemin son hali:

$$Q_T = \left(\sqrt[3]{\frac{A}{D} + \sqrt{3P}}\right) * \left(\sqrt{\frac{9.92}{H} - 0.273 + A}\right) * (2P - 4.83D + Q_L - H - S) \quad (4)$$

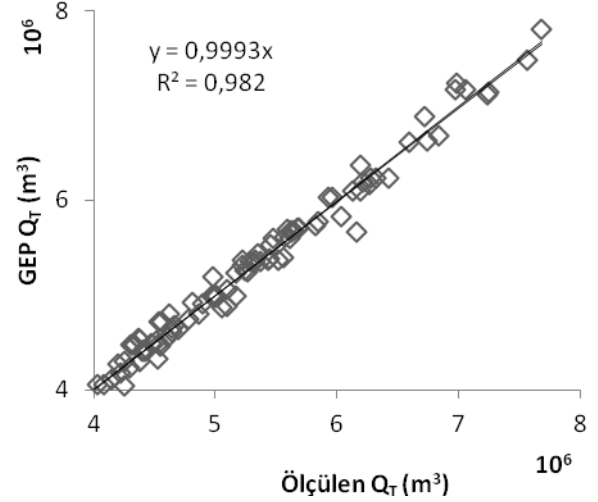
olarak elde edilmiştir. Bu modelde  $Q_T$ ; Tahakkuk (A), Nem (H), Yağış (R), su kayıpları ( $Q_L$ ), nüfus (P), gelişmişlik (D) ve İçmesuyu abone sayısı (S) gibi parametrelerden etkilenmiştir. Bu denklem, toplamda 7 bağımsız değişkeni içermektedir.

Bu denklemin oluşturulmasında kullanılan parametrelerin değerleri;  $2.40 \leq A \leq 12.93$ ,  $782895 \leq P \leq 987992$ ,  $126296 \leq S \leq 220445$ ,  $5.1 \leq T \leq 32.3$ ,  $0 \leq R \leq 209$ ,  $10.7 \leq H \leq 87.9$ ,  $2026774 \leq Q_L \leq 5007347$ ,  $4572 \leq D \leq 12800$ ,  $3915892 \leq Q_T \leq 8226563$  aralığındadır. Şekil 3'de eğitim seti için  $R^2=0.982$  olarak hesaplanmıştır. Şekil 4 de ise test seti için  $R^2=0.947$  olarak hesaplanmıştır.

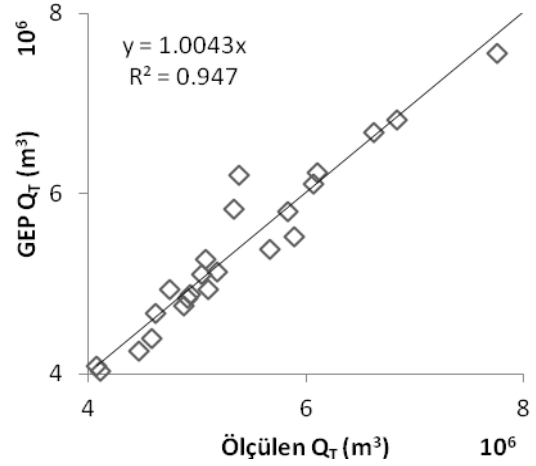
Şekil 3 ve Şekil 4’de de görüldüğü gibi ölçülen ve Modelde elde edilen tahmini değerlerinin grafiklerinin birbirine yakın olması, Oluşturulan GEP Modelinin, ölçülen verilere yakın değerler içerdiğini göstermektedir.

GEP formülasyonu tahmini değerleri, Tablo 1’de verilen Eğitim Modelinin deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca Tablo 1’de GEP formülasyonundaki değerler, Test modelinin sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır.

Tablo 1’de karşılaştırılan GEP Modellerinde, her bir model için bir ya da birden fazla parametre çıkarılır. Bu sekiz bağımsız parametrenin,  $Q_T$  denklemi üzerindeki etkileri ihmal edilemez. Bu modeller arasından en yüksek  $R^2$  oranlı ve en düşük RMSE gibi değerlere bakıldığında Model 3’ün (3 Genli) yüksek ve güçlü bir değer oluşturduğu görülmektedir. Bu Modelde  $R^2$  değeri 0.982 iken, RMSE değeri ise 3.89 ile sınırlı kalmıştır. Modeli oluşturan parametrelerin içmesuyu tüketimine olan etkisine bakıldığında su fiyatı, A (Model 3, Model 11, Model 17 ve Model 19) ve su kayıplarının,  $Q_L$  (Model 3, Model 7 ve Model 17) oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu parametrelerden olan Yağış, R (Model 3, Model 13 ve Model 17) ve Nem, H (Model 1 ve Model 6) içmesuyu tüketimine etkisi oldukça az olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Eğitim seti için tahmin edilen değerlerin ölçülen değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4. Test seti için tahmin edilen değerlerin ölçülen değerlerle karşılaştırılması



**Tablo 1.** Oluşturulan GEP Modellerin Parametrelerinin Duyarlılık Analizi

MODEL	MODEL TİPİ	EĞİTİM		TEST	
		R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE
MODEL 1	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,R,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.930	8.35	0.881	10.31
MODEL 2	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,R,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.951	6.74	0.907	10.88
MODEL 3	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,R,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.982	3.89	0.947	7.97
MODEL 4	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.977	4.52	0.941	8.47
MODEL 5	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,R,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.941	7.08	0.928	9.49
MODEL 6	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,R,Q <sub>L</sub> ,D)	0.973	4.81	0.941	8.47
MODEL 7	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,R,H,D)	0.858	11.07	0.834	14.89
MODEL 8	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,R,H,Q <sub>L</sub> ,)	0.935	7.62	0.917	10.47
MODEL 9	Q <sub>T</sub> =F(A,P,T,R,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.961	5.82	0.933	8.60
MODEL 10	Q <sub>T</sub> =F(A,S,T,R,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.930	7.97	0.892	12.02
MODEL 11	Q <sub>T</sub> =F(P,S,T,R,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.896	9.90	0.791	16.00
MODEL 12	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,T,R,Q <sub>L</sub> )	0.910	8.79	0.800	14.55
MODEL 13	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,H,Q <sub>L</sub> ,D)	0.964	5.50	0.950	7.53
MODEL 14	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,Q <sub>L</sub> ,D)	0.935	7.49	0.853	14.07
MODEL 15	Q <sub>T</sub> =F(A,P,R,H,Q <sub>L</sub> )	0.887	10.25	0.855	16.38
MODEL 16	Q <sub>T</sub> =F(A,P,S,Q <sub>L</sub> )	0.930	10.94	0.859	13.09
MODEL 17	Q <sub>T</sub> =F(A,P,Q <sub>L</sub> ,D)	0.980	4.21	0.946	7.87
MODEL 18	Q <sub>T</sub> =F(A,P,Q <sub>L</sub> )	0.915	8.60	0.834	14.20
MODEL 19	Q <sub>T</sub> =F(P,Q <sub>L</sub> ,D)	0.860	10.85	0.736	17.11

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada içmesuyu tahminini etkileyebilecek olan parametrelerin matematiksel olarak modellenmesinde, bir Yapay Zekâ (AI) tekniği olan Genetik İfadeli Programlama (GEP) kullanılmıştır. Bu çalışma ile içmesuyu tüketimini etkileyebilecek parametreler irdelenmiştir. Diyarbakır Kenti içmesuyu tüketimini etkileyebilecek veriler kapsamında oluşturulan modelde, on yılın (2005-2014) verileri kullanılmıştır. Bu veriler, şebekeye verilen su, şebekede oluşan su kayıpları, tahakkuk, sıcaklık, nem, nüfus, yağış, Diyarbakır kentine ait gelişmişlik durumunu

gösteren Gayrı Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) ve içmesuyu abone sayısı gibi su talebini etkileyebilecek girdilerden oluşturulmuştur. Programın oluşturduğu R<sup>2</sup> ve RMSE değerleri kullanılarak, gerçekte ölçülen değerlerle, tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Model sonuçları, gözlem değerleri ile kıyaslandığında yakın benzerlikler tespit edilmiştir.

Çalışmada, birbirinden farklı parametreler içeren çeşitli modeller geliştirilmiştir (19 model). Model 1, 2 ve 3'de; su kayıpları, tahakkuk, sıcaklık, nem, nüfus, yağış, Diyarbakır İline ait gelişmişlik durumunu gösteren Gayrı Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) ve içmesuyu abone sayısı gibi parametreler

( $Q_T=f(A, P, S, T, R, H, Q_L, D)$ ) farklı genlikler için (1, 2 ve 3 genli) kullanılmıştır. Diğer 16 modelde, girdilerin ölçülen ve oluşturulan modeller üzerindeki etkisini daha iyi kavramsallaştırmak için, girdi ya da girdiler rastgele çıkarılıp, modellerin performansı  $R^2$  ve RMSE değerleriyle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan 19 Model içerisinde tüm girdilerin sonuca etki ettiği, Model 3'ün en iyi varsayımla tamamlandığını görülmektedir. Bu modelde  $R^2=0.982$  ve  $RMSE=3.89$  olarak belirlenmiştir. Bu modelde  $Q_T$ ; Tahakkuk (A), Nem (H), Yağış (R), sıcaklık (T), su kayıpları ( $Q_L$ ), nüfus (P), gelişmişlik (D) ve İçmesuyu abone sayısı (S) gibi parametrelere bağlı olduğu görülmüştür. Bütün Modeller göz önüne alındığında bu parametrelerin tüketime olan etkisi, su fiyatı ve su kayıplarının etkisinin fazla olduğu, yağış ve nemin etkisinin ise oldukça az olduğu tespit edilmiştir.

İçmesuyu talep ve tahmininin yapılmasında, Ülkemizde konuyla ilgili çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, günümüzde Su Kuruluşlarının yapmış olduğu tahmin yöntemlerinin etüt, plan ve proje aşamaları için yetersiz olduğu düşünülebilir. Kullanılan kaynakların yetersizliği ve yapılan yatırımların maliyeti düşünüldüğünde, içmesuyu tahmininin hassas bir şekilde yapılması gerektiği görülmektedir. Gelecekteki araştırmaların, su kaynakları sistemlerinin daha iyi planlanması, tasarımı, işletilmesi ve yönetilmesi için bu yönde çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın temel sonucu olarak; bir Yapay Zekâ (AI) Tekniği olan GEP, içmesuyu talep ve tahmin yönetiminde geliştirilebilir ve kullanılabilir bir metot olarak değerlendirilebilir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) Mühendislik 16.005 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir

## Kaynaklar

- Adamowski, F., (2008), Peak Daily Water Demand Forecast Modeling Using Artificial Neural Networks. *J. Water Resour. Plann. Manage*, 134: 119-128.
- Ajbar, A., Ali, E., (2012), Water Demand Prediction for Touristic Mecca City in Saudi Arabia using Neural Networks, *International Scholarly and Scientific Research*, 6(5), 342-346.
- Akdağ R., (2015), Kentsel Su Sunumunda Bir Yönetim Aracı Olarak Su Talep Tahmini. *Niğde Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fak. Dergisi*, 8(3), 69-81
- Altunkaynak, A., Özger, M., Çakmakçı, M., (2005), Water Consumption Prediction of Istanbul City by Using Fuzzy Logic Approach, *Water Research Management*, 19: 641- 654.
- Aslan, B., (2017), Diyarbakır Kenti İçmesuyu İhtiyacının Genetik İfadeli Programlama İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır,
- Babel, M. S., Gupta, A. D., Pradhan, P., (2007), A Multivariate Econometric Approach for Domestic Water Demand Modeling: An Application to Kathmandu, Nepal, *Water Resources Management*, 21, 573-589.
- Billings, R.B., Agthe, D.E., (1998), State-Space versus Multiple Regression for Forecasting Urban Water Demand, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 124(2), 113-117
- Cassuto, A. E., Ryan, S., (1979), Effect of Price on the residential Demand for Water Within an agency, JAWRA, *Journal of the American Water Resources Association*, 15, 345–353.
- Devlet Planlama Teşkilatı Faaliyet Raporu; DPT, (2007), Ankara
- Devlet Su İşleri Faaliyet Raporu; DSİ, (2014) Ankara,
- Diyarbakır Su ve Kanalizasyon İdaresi Faaliyet Raporu; DİSKİ (2014), Diyarbakır.

- Ferreira, C., (2001) Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems and The Evolution of Computer Programs. Complex Systems,
- Ferreira, C., (2004), *Gene Expression Programming and the Evolution of Computer Programs*, Idea Group Publishing,
- Ferreira, C., (2006), *Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence*, 2nd Ed., Springer-Verlag, Germany,
- Güven, A., Günel M., (2008), Genetic Programming Approach for Prediction of Local Scour Downstream of Hydraulic Structures, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134:2, 241-249
- Howe, C. W., F. P. Linaweaver Jr., (1967), The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure, *Water Resour. Res.*, 3(1), 13–32
- Koza, J. R., (1992), *Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT, Cambridge, UK,
- Maidment, D. R., Miaou, S.P., Crawford, M. M., (1985), Transfer Function Models of Daily Urban Water Use, *Water Resour. Res.*, 21(4), 425–432
- Mermer, M., (2007), Kentsel İçmesuyu İhtiyacının Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa,
- White, S., Robinson, J., Cordel, D., Jho, M., Milne, G., (2003), Urban Water Demand Forecasting and Demand Management: Research Needs Review and Recommendations, Australia: Water Services Association of Australia.
- Wu L, Zhou H., (2010), Urban Water Demand Forecasting Based on HP Filter and Fuzzy Neural Network, *Journal of Hydroinformatics*, 12, 172-184

## **Diyarbakır drinking water needs modeling with gene expression programming**

### **Extended abstract**

*Water is one of the most basic concepts for life. Water is a fundamental value for living creatures like air and oxygen to maintain their lives. For this reason, throughout history, all civilizations built settlements in places consciously close to the water. In addition, there are sufficient amounts of healthy and quality water needed to keep vital activities alive.*

*Total drinking water need; domestic water demand, trade, industry, service sector, tourism, animal water needs, special needs and water losses. It is a fact that there are many parameters affecting the consumption of drinking water in the present day, even though the estimation methods used in determining the need for drinking water that settlements use or will use in the future will be based on the population amount. Drinking demand and forecasts vary according to the settlement climate, population density, social and economic situation, water use curves, water losses and environmental factors.*

*In this study, the parameters that could influence the use of drinking water were examined using Gene Expression Programming, an Artificial Intelligence Technique. In the creation of the models, the data of the parameters affecting the drinking water consumption of Diyarbakir City were used between 2005 and 2004. This is; water supply losses to the network, water losses in the network, accrual, temperature, humidity, population, precipitation, development showing the development status of the city of Diyarbakir and the number of water subscriptions. In this way, different models are developed by using Gene Expression Programming in the demand and forecast of drinking water, and the effects of consumption affecting parameters are examined. In addition, by looking at the Determination Coefficient ( $R^2$ ) and the Mean Squared Error (RMSE), the predicted values*

*obtained from the different models were compared with the measured values and very good results were obtained.*

*It is seen that the studies related to the subject are limited in our country in the demand and forecast of drinking water. Therefore, it can be considered that the methods of estimating that the Water Institutions are done today are inadequate for studies, plans and project stages. When the inadequacy of the resources used and the cost of the investments made are considered, it is seen that the prediction of drinking water needs to be done sensitively. To better plan, design, operate and manage water resources systems, it is necessary to carry out work in this direction. As the main result of this study; GEP, an Artificial Intelligence (AI) Technique, can be considered as a method that can be developed and used in drinking water demand and forecast management.*

**Keywords:** *Drinking Water Needs, Demand Diyarbakir City, Genetic Expression Programming (GEP), Modeling, Forecast.*