



SU DAĞITIM SİSTEMLERİNİN  
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION  
SYSTEMS USING GENETIC ALGORITHM

A. Murat KAHRAMAN\*, Davut ÖZDAĞLAR\*\*

ÖZET/ ABSTRACT

Son yıllarda su dağıtım şebekelerinde optimizasyon tekniklerinin kullanımı giderek artmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, su dağıtım sistemlerinin boyutlandırılması ve işletilmesinde, en iyi optimizasyon seçeneklerinden biri olan Genetik Algoritma (GA) ön plana çıkmıştır. Yöntem basit ve uygulanması kolaydır. GA yöntemi ile optimizasyon sayesinde büyük şebekelerin inşaat ve işletme maliyetlerinde %15 ila 50 arası kazançlar sağlanmakta ve hidrolik açıdan da daha iyi şebekeler elde edilebilmektedir. Bu amaçla hidrolik hesaplamalar için EPANET benzeşim modelini ve David Goldberg'ın temel genetik algoritmasının modifiye edilmiş bir halini kullanarak su dağıtım şebekelerinin tasarımında optimizasyon yapan SUGANET adlı bir program (Kahraman, 2003) geliştirilmiştir. Bu çalışmada, literatürde birçok araştırmacının çözüm yaptığı (8 borulu, iki gözlü) hayali bir şebeke ve (34 borulu, üç gözlü) Hanoi kenti şebekesi benzer koşullarla optimize edilerek uygun çözümler elde edilmiş ve SUGANET'in sonuçları diğer araştırmacıların sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Optimizasyon ile elde edilen sonuçlar, boru çaplarının değişiminin teleskopik olacak şekilde değişmesi koşulu ve uygun akış yönleri göz önünde bulundurularak proje mühendisi tarafından düzeltildiğinde, daha iyi sonuçların elde edilebildiği görülmüştür.

Bu programın kullanımı kolay olup, hidrolik benzeşim modelleri ile hemen hemen aynı girdileri kullanmaktadır. Ek olarak sadece genetik algoritma parametreleri için bir kaç değere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan programın kısa sürede çözüme ve optimum çözüme ulaşabilme özelliklerinin iyi olduğu ve gerçek şebeke sistemlerine kolaylıkla uygulanabilir olduğu saptanmıştır.

*In recent years, the use of optimization techniques for the design of water distribution networks has been increased. Genetic Algorithm (GA), which is one of the best optimization techniques employed in water sector, is pioneered technique for design and operation of water distribution networks in developed countries. The method is simple and it can be applied easily. GA-based optimization in the design of water distribution networks can yield higher capital and operational cost savings between 15% and 50% in large networks; and allows obtaining hydraulically better solutions. In this study, a program (SUGANET) which uses EPANET simulation model for hydraulic calculations and a modified David Goldberg's simple GA for optimization of design of water distribution networks is developed. A model network with 8 pipes and 2 loops and Hanoi City network with 34 pipes and 3 loops, which has been stated in the literature by many researchers, have been redesigned of SUGANET and the results are compared with the results of previous researchers.*

*Better solutions can be found when project engineer straightened solutions that obtained from optimization by taken into consideration proper flow direction and pipe diameters changing under telescopic rule*

*The program uses almost same data with hydraulic simulation models and it needs only a few genetic algorithm parameters. It is determined in this study that the program reaches proper solution more quickly, and can be applied on any water distribution network easily.*

ANAHTAR KELİMELELER / KEYWORDS

Su dağıtım sistemleri, optimizasyon, genetik algoritma, tasarım, ağ şebeke  
Water distribution systems, optimization, genetic algorithm, design, network

\* Çevre Yüksek Mühendisi 257/7 Sok. No:14/5 Bornova/İZMİR

\*\* Prof. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR.

## 1. GİRİŞ

İçme suyu şebekelerinin boyutlandırılması ve işletilmesinde 1960'lı yılların ortalarından beri yapılan optimizasyon çalışmaları, yöntemlerin karmaşık olması ve gerçek sistemlerde uygulanmasının teknik açıdan zor olması sebebi ile teori olmaktan öteye gidememiştir. Giderek büyüyen su dağıtım şebekelerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin artması optimizasyon ihtiyacını da önemli ölçüde artırmıştır.

Çok gözlü ağ şebekelerin çözümü doğrusal olmayan denklem takımlarının çözümü ile sağlanabilmektedir. Bu çözüm, enerji ve süreklilik denklemleri ile yük kaybı fonksiyonlarını kapsamaktadır. Uzun yıllar boyunca sadece bir kararlı haldeki hidrolik çözümü sağlayan yöntemler geliştirilmiştir (Wood ve Fung, 1993). Şebeke hesaplarının güçlüğü nedeniyle su dağıtım şebekelerinin yalnızca ilk yatırım maliyetlerinin ekonomik olması sağlanmaya çalışılmış, gelecekteki işletme maliyetleri ve şebekenin genişlemesi durumları göz önüne alınmamıştır. Bir çok araştırmacı boru çaplarının gerekli basınç ve debiyi sağlayacak biçimde seçilmesi ile tüm sistemin maliyetinin minimum olacağını düşünmüştür (Alperovits ve Shamir, 1977 ; Eiger ve Shamir, 1994).

Bu makalede, su dağıtım şebekelerinin optimizasyonu konusuna yeni bir yaklaşım getiren genetik algoritmalar (GA) ile çalışma yapılmıştır. GA tekniğinde mevcut çözüm uzayı içerisinden çok küçük bir kısım kullanılarak (şebekenin birkaç bin kez çözümü ile) optimum bir sonuç elde edilebilmektedir. 1990'lı yıllarda David Goldberg tarafından geliştirilen ve mühendislik problemlerinde optimizasyon amaçlı kullanılmaya başlanan genetik algoritmalar, gerek yöntemin basitliği gerekse de gerçek sistemlerde uygulanabilirliğinin kolay olması nedenleriyle son zamanlarda su dağıtım şebekelerinin tasarımında ve işletilmesinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Genetik algoritmadaki seçme, çaprazlama, mutasyon, elitizm gibi operatörler bir başlangıç topluluğuna uygulanarak her jenerasyonda daha iyi çözüme doğru gidilmekte, bir nevi probleme evrim geçirilmektedir. Bu teknikle optimizasyon konusunda birçok deneyimli mühendisin kullandığı sınırlı sayıda deneme yanılmalar ile şebekenin iyileştirilmesi yöntemi elimine edilmiştir. GA tekniğinin birçok uygulamada deneyimli mühendislerden daha ucuz bir çözüme ulaştığı görülmüştür (Simpson, 2000). Birçok ülkede GA tekniği gerçek su dağıtım şebekelerinin tasarımında kullanılmış ve bu tekniğin optimum çözümü bulmada etkili olduğu kanıtlanmıştır (The optimatics letter, Issue No:12, 2001). Bütün bu avantajların yanında genetik algoritmalar diğer matematiksel optimizasyon tekniklerine göre daha etkili ve uygulanışı bakımından daha kolaydır.

Bu çalışmada, literatürde birçok araştırmacının çözüm yaptığı (8 borulu, iki gözlü) hayali bir şebeke [ Savic ve Walters (1997); Abebe ve Solomatine (1998); Cunha ve Sousa (1999); Fujiwara ve Khang (1990); Eusuff ve Lansey (2003); Gupta vd, (1998); Liong ve Atiquzzaman (2004); Murphy ve Simpson (1992)) ve (34 borulu ve üç gözlü) Hanoi kenti şebekesi (Savic ve Walters (1997); Gupta vd, (1998), Abebe ve Solomatine (1998); Cunha ve Sousa (1999); Fujiwara ve Khang (1990); Eusuff ve Lansey (2003); Liong ve Atiquzzaman (2004)] benzer koşullarla tarafımızdan da optimize edilerek uygun çözümler elde edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

## 2. SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN TASARIMINDA OPTİMİZASYON

Su dağıtım şebekelerinde kullanılan borular standart çaplarda ve uzunlukta üretilmektedir. Ağ şebekelerin çözümü için doğrusal olmayan üstel bağıntılar kullanılmaktadır. Bu faktörler optimum çözümün bulunmasında çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Literatürde bu

tip optimizasyon problemlerinin çözümüne baktığımızda genellikle açık ya da kapalı tip numaralandırma teknikleri (dinamik programlama gibi) önerildiğini görmekteyiz (Gupta vd, 1998). Dinamik programlama yöntemi global optimum çözümü garanti edebilmektedir, ancak gerçek şebeke dağıtım sistemleri düşünüldüğünde numaralandırma yöntemiyle tüm olası çözüm sonuçlarını taramak mümkün değildir. Bir örnek vermek gerekirse, 34 borulu Hanoi kenti şebekesi için boyutlandırmada kullanılmak üzere 6 farklı çap düşünüldüğünde bu sistemin  $6^{34}$  tane çözüm kümesi oluştuğunu görmekteyiz. Saniyede 1 milyon farklı şebeke çözümü yapabilen süper bilgisayarla çalıştığımızı varsayarsak, tüm olasılıkların hesaplanması için gereken zaman 9 trilyon yılın üzerindedir. Büyük kentlerdeki şebekelerin boru sayılarının binlerle ifade edildiğini düşünürsek, bütün olasılıkların hesaplanması hemen hemen imkansızdır. Oysa genetik algoritma ile çözüm yapan bilgisayar programları yardımıyla optimum çözüme, arama uzayından çok küçük bir kısım araştırılarak birkaç dakikada ulaşılabilmektedir.

Geçmişte bu tür karmaşık problemlerin çözümünde çeşitli yaklaşımlar sağlanmıştır. Proje mühendislerinin sıkça kullandığı geleneksel yaklaşımlardan biri, su şebekesinin bir benzeşim modeli (EPANET, WATERCAD, MIKENET gibi programlar) kullanılarak deneme-yanılma yöntemiyle optimum sonuca ulaşmaya çalışmasıdır (Walski, 1985). Bu yöntemin optimum çözüme yaklaşması proje mühendisinin tecrübesine bağlıdır ve günümüzde de bazı ülkelerde halen kullanılmaktadır. Büyük bir projeyi göz önüne alırsak, dünya üzerindeki en tecrübeli mühendisin bile trilyonlarca olasılığın içinden global optimuma ulaşabilme olasılığı yok denecek kadar azdır.

Diğer bir yaklaşım ise, çeşitli sınırlayıcı şartlar ekleyip çözüm uzayını küçülttükten sonra hidrolik benzeşim modeli ile hesap yapan bir bilgisayar programı ile çözüm aranmasıdır (Gessler, 1985). Gessler bu çalışmasında hidrolik benzeşim modeliyle hesap yapmadan önce bazı ikincil çözümleri elimine etmek için testler hazırlamıştır. Ancak bu yaklaşımın şebeke genişletilmesi probleminde başarısız olduğu Murphy ve Simpson (1982) tarafından ispatlanmıştır.

Basitleştirme yöntemlerinden biri de Alperovits ve Shamir (1977) tarafından önerilen doğrusal olmayan problemi, doğrusal olan alt problemler şeklinde parçalayarak problemlerin karmaşıklığını azaltmaya yönelik çözümdür. Daha sonra bu yaklaşım Quindry vd. (1981); Goulter ve Morgan (1985); Fujiwara ve Khang (1990) tarafından geliştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen dinamik programlama, sınırlandırılmış numaralandırma, doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama yaklaşımlarının hepsi teknik çözümün sağlanabilmesi için gerekli bazı basitleştirmelerin yapılmasını gerektirmektedir. Bu basitleştirmeler çözüm yöntemine bağlı olarak değişmekte ve sonuçların tahkiki gerekmektedir. Bu yaklaşımlarda iki düğüm noktası arasındaki boru çapı sabit olmayıp değişebilmektedir. Hesapla bulunan boru çaplarının piyasada ticari olarak bulunan boru çapları ile değiştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerle, bulunan çözümün yeni çaplara göre düzeltilerek, hidrolik şartlar açısından tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak bütün bu yöntemlerin global optimum sonucu garanti edemediği, sonuçlar düzeltildiğinde gerekli hidrolik şartları da sağlayamayabildiği saptanmıştır.

### 3. AMAÇ FONKSİYONU ve HİDROLİK BAĞINTILAR

**Amaç fonksiyonu:** İçmesuyu şebekelerinin optimizasyonu problemlerinde amaç (uygunluk) fonksiyonu genellikle toplam maliyetin minimize edilmesiyle oluşturulur. Bu makalede karar değişkenleri olarak yalnızca borular düşünülmüştür. Bu nedenle pompa, vana gibi diğer ekipmanlar amaç fonksiyonunda yer almamaktadır. Amaç fonksiyonu, boru çapları

( $D_i$ ) ile değişen birim boru fiyatlarına ve boru uzunluklarına ( $L_i$ ) bağlı bir maliyet fonksiyonundan oluşmaktadır.

$$F_{\text{maliyet}} = \sum_{i=1}^n (f(D_i) \cdot L_i) \quad (1)$$

$F_{\text{maliyet}}$ : Şebekedeki boruların toplam maliyeti

$f(D_i)$  : Şebekedeki  $i$  no'lu borunun birim fiyatı

$L_i$  : Boru boyu

$n$  : Şebekedeki toplam boru sayısı.

Bu amaç fonksiyonu aşağıdaki hidrolik kriterleri sağlayarak minimize edilmelidir:

Herbir düğüm noktası için, düğüm noktasına giren ve düğüm noktasından çıkan debi farkı, düğüm noktasından çekilen debiye eşit olmalıdır (Süreklilik denklemi):

$$\sum Q_{\text{giren}} - \sum Q_{\text{çıkan}} = \sum Q_{\text{uç}} \quad (2)$$

$Q_{\text{giren}}$  : Düğüm noktasına giren debi

$Q_{\text{çıkan}}$  : Düğüm noktasından çıkan debi

$Q_{\text{uç}}$  : Düğüm noktasından çekilen debi

Herbir göz için (Yük kayıplarının dengelenmesi):

$$\sum h_f = 0 \quad (3)$$

$h_f$  = Yük kaybı (mss)

Her düğüm noktası için minimum piyozometre sınırlaması;

$$H_j \geq H_{j,\text{min}}; \quad j=1,2,\dots,n$$

$H_j$  = Düğüm noktasındaki piyozometre kotu

$H_{j,\text{min}}$  = Aynı düğüm noktasında gerekli olan minimum piyozometre kotu

$n$  = Sistemdeki toplam düğüm noktası sayısı

Şebeke çözümlerinde Hazen - Williams bağıntısı çok kullanılan bir bağıntıdır. Bağıntı:

$$V = 0,85 C \cdot R^{0,63} J^{0,54} \quad (4)$$

$V$  : Hız

$C$  : Pürüzlülük katsayısı

$R$  : Hidrolik yarıçap

$J$  : Enerji çizgisi eğimi

Bu bağıntıda  $R = D/4$  (tam dolu akış hali) ve  $V = Q/(\pi D^2/4)$  kullanılarak hidrolik eğim için aşağıdaki bağıntı bulunur.

$$J = w \cdot (Q/C)^{(1/0,54)} / D^{4,87} \quad (5)$$

$$w = 10,6509$$

#### 4. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritmalar günlük hayatta karşılaştığımız çözümü imkansız ya da çok zor olan karmaşık problemlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. GA 1970'li yıllarda Michigan Üniversitesinde öğretim üyeliği yapan John Holland ve onun çalışma arkadaşları ile öğrencileri tarafından geliştirilerek bilgisayar ortamına taşınmıştır. Daha sonra John Holland'ın öğrencisi David Goldberg'in "Gaz Borularının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu" adlı doktora tezi ile birlikte genetik algoritmaların teorik olmaktan öteye piyasalarda uygulanabilirliği ispatlanmıştır. 1989 yılında David Goldberg'in bu konuda klasik sayılabilecek kitabı yayınlanmıştır (Goldberg, 1989).

Genetik Algoritmalar mühendislik problemlerinde optimizasyon amacıyla kullanılmaktadır. GA'ları kör bir arama motoruna benzetebiliriz. GA'lar problemin yapısına bakmaksızın çok karmaşık optimizasyon problemleri için bile çözüm bulabilirler. Problemin karmaşıklığı GA'lar için hiç önemli değildir. GA'ların ihtiyaç duyduğu şey problemin karar değişkenlerinin uygun bir yöntemle kodlanması ve neyin iyi olduğunu GA'ya belirtmek üzere tasarlanan bir uygunluk (amaç) fonksiyonudur. GA'lar çözüm uzayını taramaya bir topluluk ile başladıkları için global optimum çözüme yaklaşmak diğer yöntemlere göre daha kolay olmaktadır. Genel olarak global optimum çözümü bulmayı garanti etmezlerse de buna yakın bir sonucu bulduğu bir çok araştırmayla ispatlanmıştır. GA'lar bir topluluk (başlangıçta bu topluluk genelde rastgele oluşturulur) ile başlar ve bu topluluk üzerinde çaprazlama, seçme ve mutasyon gibi yöntemlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru bir gidiş sağlanır.

##### 4.1. Genetik Algoritma Aşamaları

1. Başlangıç: Problemin karar değişkenlerinin şifrelendiği n adet kromozom içeren bireylerle başlangıç topluluğunun oluşturulması.
2. Uyumluluk: Her kromozom için fonksiyonun uygunluk (amaç) değerlerinin bulunması.
3. Seçim: İki bireyin uygunluk değerlerine göre turnuva, rulet tekerleği gibi seçme operatörlerinden problemin yapısına uygun olanının seçilmesi işlemi.
4. Çaprazlama: Uygunluk değeri iyi olan bireyler eşleştirilerek bu bireylerden yeni bireyler oluşturulması.
5. Mutasyon: Mutasyon olma olasılığına göre seçilen herhangi bir bireyin kromozomlarındaki bir bitin değiştirilmesi işlemi.
6. Elitizm: Mevcut topluluktaki uygunluk değeri en iyi olan bireyin olduğu gibi yeni topluluk havuzuna aktarılması.
7. Yeni topluluk havuzu: Yeni oluşan bireylerin bir havuza alınması, eski bireylerin (ebeveynler) öldürülerek havuzdan atılması.
8. Sonuç: Topluluktaki en iyi bireyin temsil ettiği değer istenilen sonucu veriyorsa algoritmanın sona erdirilmesi. Genetik algoritma nerde duracağını bilmez, istenilen sonuç problemin yapısına göre belirlenmelidir. Bazı sınırlayıcı parametreler (Jenerasyon sayısı, değişiklik olmayacak jenerasyon sayısı gibi) belirlenerek GA istenildiği zaman durdurulabilir.
9. Döngü: 2. adıma geri dönülerek yeni jenerasyona başlanması.

Görüldüğü üzere genetik algoritmaların yapısı oldukça basittir ve bir probleme kolaylıkla uygulanabilir. Neyin iyi olduğunu GA'ya bildirmek için bir uygunluk (amaç) fonksiyonu oluşturulması ve problemin değişkenlerinin kodlanmasıyla her çeşit karmaşık problem GA'lar sayesinde çözüme ulaşabilir (Goldberg, 1989). Topluluktaki bireyler kromozomların

birleşmesiyle oluşur. Birey çözümü ifade eder ve sürekli iyiye doğru giden topluluklar arasındaki en iyi birey sonuç olarak alınır. Kromozomlar ikili kodlama, reel sayı kodlama, tam sayı kodlama vb, çeşitlerinden uygun birisi kullanılarak kodlanır. İkili kodlamada bitler (genler) kullanılır; bitler 1 ya da 0 olmak üzere iki değer alabilirler. Kromozomların uzunluğu da problemin yapısına göre değişir. Örneğin 32 farklı karar değişkeni olan bir problem için kromozomun  $2^n=32$ ;  $n=5$  bit değeri vardır. 00010 11001 10101 şeklinde kromozomlar birleşerek bireyi oluşturur. Genetik algoritma operatörlerinin detaylı anlatımı aşağıda sunulmuştur.

**Kodlama:** Problemin değişkenlerinin genetik algoritmaya bir şifreleme işlemi ile aktarılmasıdır. Genetik algoritmalar için ikili kodlama, gray kodlama, tam sayı kodlama, reel sayı kodlama, vektör kodlama ve ağaç kodlama gibi çeşitli kodlama yöntemleri mevcuttur. Optimizasyon probleminin yapısına uygun bir tanesi kodlama işlemi için seçilir. Şekil 1 ve Çizelge 1’de su şebekeleri için ikili kodlama örneği verilmiştir.

Çizelge 1. Boru çaplarının ikili kod karşılıkları

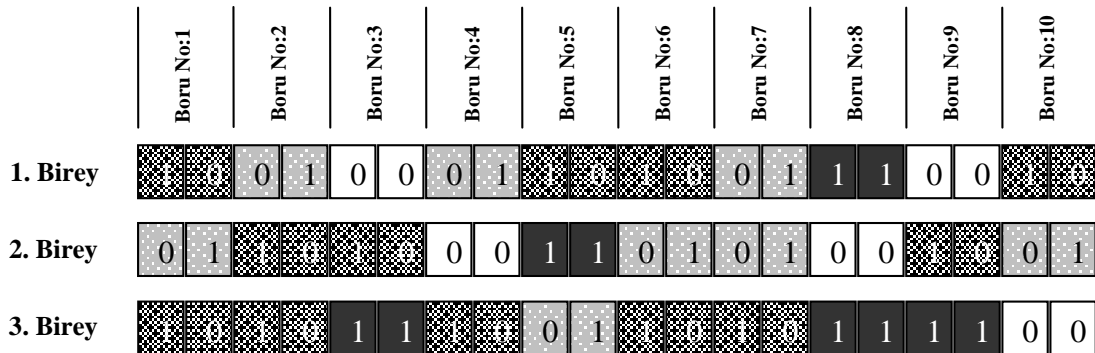
Boru Çapı (mm)	İkili Kod
100	00
150	01
200	10
250	11

**Seçme Yöntemi:** Topluluk içerisinde uygunluk fonksiyonu iyi olanların belirli bir yöntemle seçilme işlemidir. Rulet tekerleği, üst eş, turnuva, rastgele seçme gibi çeşitleri vardır.

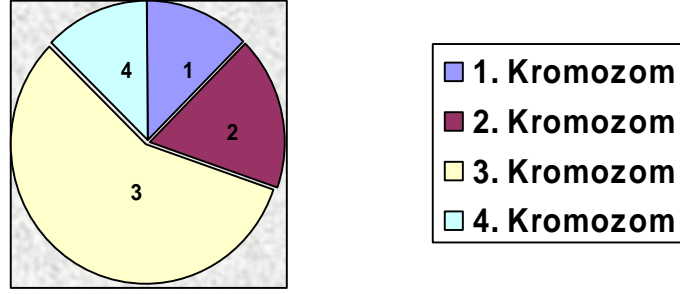
**Rulet tekerleği:** Bireyler bir rulet tekerleğine yerleştirilmiş gibi düşünülür. Bireylerin uygunluk fonksiyonlarına göre rulet tekerleğinde kaplayacakları hacim belirlenir, uygunluk fonksiyonu yüksek olanların rulet tekerleğinde daha fazla hacimler kaplaması beklenir. Böylelikle rulet tekerleği çevrildiğinde uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireylerin seçilme şansı yükselmiş olur (Şekil 2).

**Turnuva:** Topluluktaki bireyler arasından rastgele belirli miktarda bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan birey tutulur geriye kalanlar atılır. Yeni topluluk bireyleri belli sayıdaki bireyler arasında yapılan yarışma sonucu oluşturulur.

**Üst Eş:** Topluluktaki bireyler eşler şeklinde düşünülerek ilk birey en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip birey olarak, ikincisi ise rastgele seçilir.



Şekil 1. Bireylerin ikili kod ile oluşumu

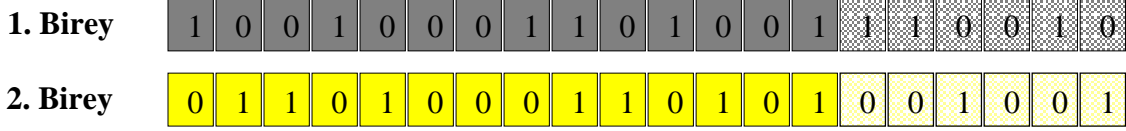


Şekil 2. Rulet tekerleğinde yer alan kromozomların payları

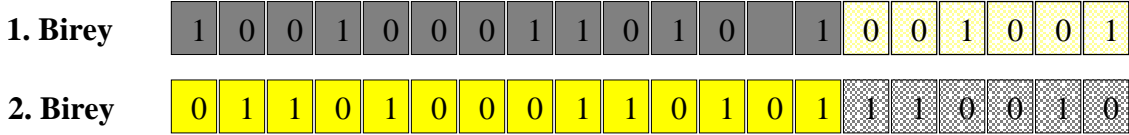
**Çaprazlama:** Seçilen bireyler birbirleriyle çaprazlanarak yeni nesildeki bireylerin oluşumu sağlanır. Aşağıda bazı çaprazlama örnekleri açıklanmıştır.

**Tek noktalı:** Seçilen iki birey kromozom katarı arasından rastgele bir noktadan kesilerek iki bireyin sağ tarafta kalan genleri yer değiştirilir (Şekil 3).

**İki noktalı:** Seçilen iki bireyin kromozom katarları rastgele iki noktadan kesilerek 1. kesim noktasının solunda kalan genler ile 2. kesim noktasının sağında kalan genler, 1. Birey ile 2. Birey arasında yer değiştirilir (Şekil 4).

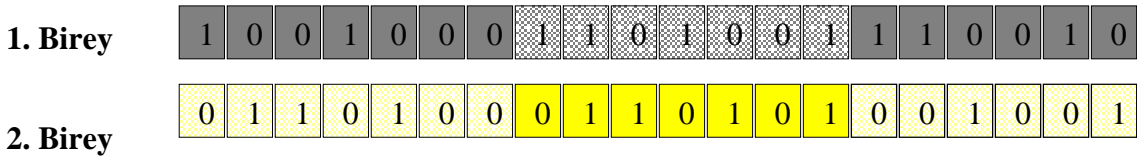


Çaprazlamadan önce

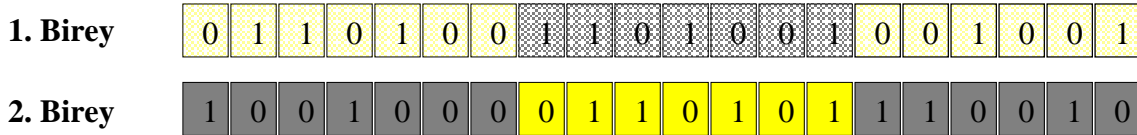


Çaprazlamadan sonra

Şekil 3. Bireylerin tek noktadan çaprazlanması



Çaprazlamadan önce



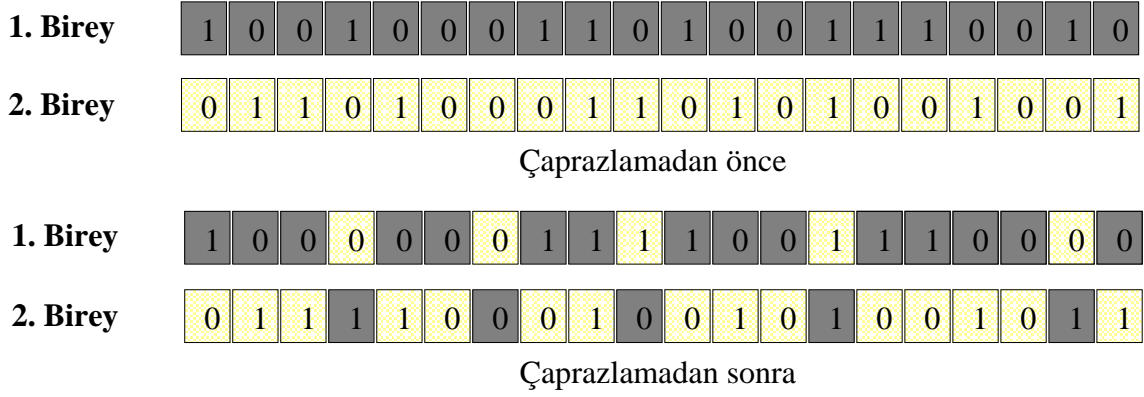
Çaprazlamadan sonra

Şekil 4. Bireylerin iki noktadan çaprazlanması

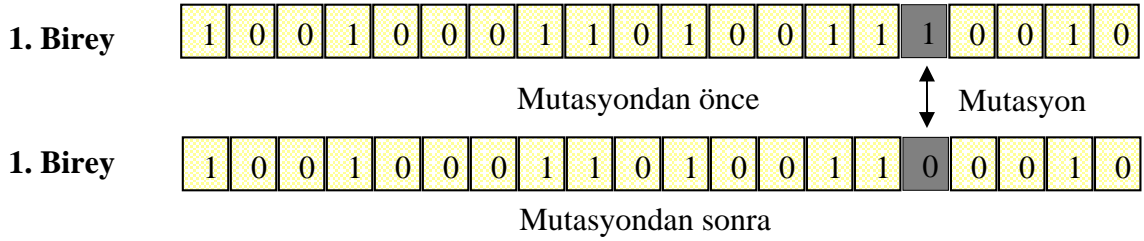
**Tek düze:** Seçilen iki bireyin rastgele birer geninin yer değiştirmesidir (Şekil 5).

**Mutasyon:** Mutasyon olma olasılığına bağlı olarak seçilen bir bireyin kromozomlarındaki genlerin bir tanesinin, ikili kodlamada 0 ya da 1 olma durumuna göre, 0 ise 1, 1 ise 0 olarak değişikliğe uğramasıdır (Şekil 6).

Mutasyon algoritmanın yerel optimum noktalarda tıkanıdığı durumlarda bir başka optimum çözüme sıçrayabilmesini sağlar. Mutasyon değerinin küçük seçilmesi optimum sonuca ulaşılmasını önleyebilir, büyük mutasyon değerleri de süreci rastgeleliğe dönüştürebilir. Mutasyon genetik algoritmanın bir nevi sigortasıdır.



Şekil 5. Bireylerin tek düze rastgele çaprazlanması



Şekil 6. Bireylerin mutasyona uğraması

**Elitizm:** Topluluktaki uygunluk fonksiyonu en iyi olan bireyin çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle kaybolabilme ihtimali vardır. Bunun önlenmesi için topluluktaki uygunluk fonksiyonu en iyi olan birey hiçbir işleme tabi tutulmadan bir sonraki jenerasyona aktarılır. Böylece bir sonraki jenerasyondaki en iyi bireyin bir önceki jenerasyondaki en iyi bireyden kötü olma ihtimali ortadan kaldırılmış olur.

#### 4.2. Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları

Yapısı itibarıyla genetik algoritmalar optimum çözümü çok zor ya da imkansız olan karmaşık problemlerin çözümünde kullanılır. Genel yapısı çok basit olan genetik algoritmalar çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bunlardan bazıları şöyledir (Mitchell, 1996):

- Mühendislik problemlerinde optimizasyon amaçlı olarak,
- Bilgisayar programlarında yapay zeka çalışmaları ve otomatik programlamada,
- Makine öğretisi, robotların hareket tarzı,
- Ekonomik modellerin geliştirilmesinde,
- Sosyal sistemlerin analizinde,
- Bağışıklık sistemlerinde,
- Ekolojide,
- Topluluk genetiğinde,
- Bilgisayar işlemci devrelerinin tasarımında.



### 4.3. Su Dağıtım Şebekelerinde Genetik Algoritmaların Kullanım Alanları

Su dağıtım şebekelerinde genetik algoritmalar çok çeşitli alanlarda optimizasyon amacı ile kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları aşağıda verilmiştir:

- Yeni su dağıtım şebekesi boyutlandırılmasında,
- Karmaşık yada çok büyük su dağıtım sistemleri için pompa çalışma zamanlarının ayarlanmasında,
- Su haznelerinin, basınç vanalarının ve pompaların işletme noktalarının ayarlanmasında,
- Farklı kaynaklardan alınan suların minimum maliyetle istenilen su kalitesi standartlarını sağlamasında,
- Haznelerin sistemin dengelenmesi, yangın suyu ihtiyacı ve acil durumlar göz önünde bulundurularak boyutlandırılması ve optimum hazne yerinin belirlenmesinde,
- Sistemdeki sızıntı sularının minimize edilmesi için gereken kontrol vanalarının yerlerinin belirlenmesinde,
- Mevcut su dağıtım şebekelerinin genişletilmesi, rehabilitasyonu ve kalibrasyonu çalışmalarında,
- Ölçüm ve klorlama istasyonlarının optimum yerleşiminde.

## 5. ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Su dağıtım şebekelerinin optimum tasarımında kullanılmak üzere hazırlanan SUGANET adlı Visual Basic 6.0 tabanlı bilgisayar programı (Kahraman, 2003) kullanılarak, daha önceden bir çok araştırmacının çözüm yapmış olduğu 8 borulu (iki gözlü) bir şebeke ile 34 borulu (üç gözlü) Hanoi kenti şebekesi çözülmüştür.

Genetik algoritma parametre değerlerinin belirlenmesi için kesin bir yol olmamakla birlikte bu parametrelerin belirlenmesi deneme-yanılma yöntemleri ile oluşan tecrübeye bağlıdır. Çözüme ulaşmayı etkilediğinden ve problemin özelliklerine göre değişken olacağından bu değerlerin belirlenmesi SUGANET'te olduğu gibi literatürdeki bir çok programda kullanıcıya bırakılmıştır. Bu çalışmada genetik kodlama için SUGANET'in kodlama tiplerinden tamsayı kodlama tipi seçilmiştir. Topluluk sayısı literatürde 100-300 değerleri arasında alınmaktadır. Örneklerde karar değişkenlerinin ve çözüm uzayının çok az olması sonucu tecrübe ile elde edilen 30 ve 70 kişilik topluluklar bu problemler için yeterli olmaktadır. Bu sayılar küçüldükçe programın çalışma süresi azalmaktadır. Literatüre baktığımızda çaprazlama olasılığı için %100'e yakın değerler, mutasyon olasılığı için %1 civarı değerler alındığını görmekteyiz, buradaki çalışmalarda da benzer yaklaşımlar uygulanmıştır.

Programda sözü geçen genetik çalışma bir topluluğun kaç tane jenerasyonla sonlandırılacağını, diğer bir deyişle jenerasyon sayısını, genetik çalışma sayısı ise bu toplulukların kaç kez oluşturulacağını ifade etmektedir. Genetik çalışma sayısı arttırılarak rastgele sayı üreticisinin ürettiği farklı sayılarla değişik başlangıç toplulukları üretilmiş olur. Bu sayede çözüm uzayının farklı bölümleri taranarak global optimum çözümü bulma olasılığı artmış olur.

Ceza fonksiyonu şebekede istenilen basınç ve hız değerlerinin sağlanabilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bunun için SUGANET'te her boru için minimum hız ve maksimum hız, her düğüm noktası için minimum basınç ve maksimum basınç sınır değerleri girilir. Çözümde bu sınırların dışına çıkılması durumunda ise aşağıdaki ceza fonksiyonu uygulanır.

$$F_{\text{Ceza}} = \text{Toplam}_{\text{fark}} \cdot (N_{\text{sj}} / N_{\text{jen}})^{0.8} \cdot C_{\text{ceza}} \quad (6)$$

Toplam<sub>fark</sub> : Bir şebeke çözümü için sınırları aşan değerlerin mutlak değer toplamı  
(Basınç için basınç farkları toplamı, hız için hız farkları toplamı)

$N_{sj}$  : Kaçınıcı jenerasyonda bulunduğu (şimdiki jenerasyon)

$N_{jen}$  : Toplam jenerasyon sayısı

$C_{ceza}$  : Birim ceza bedeli [mss/\$ , (m/s)/\$]

Hız ve basınç değerleri için aynı ceza fonksiyonu kullanılır.

$$\text{Uygunluk fonksiyonu} = F_{\text{maliyet}} + F_{\text{Ceza(Basınç)}} + F_{\text{Ceza(Hız)}} \quad (7)$$

Şebeke tasarımlarında basınç bir kriter olarak kullanılmakta iken hız daha çok kontrol amaçlı olarak kullanılmaktadır (Walski, 2002). Dolayısıyla  $C_{ceza}$  katsayısı basınç ve hız için farklı olarak düşünülebilir.  $C_{ceza}$  katsayısı ceza fonksiyonunda yer alan jenerasyon sayısı ve uygunluk fonksiyonunda yer alan şebeke maliyeti düşünülerek belirlenmelidir. Ayrıca SUGANET'te tolerans miktarı ve sayısı girilerek şebekede bir kaç borunun ya da düğüm noktasının istenilen sınırları tolerans limiti dahilinde aşmasına müsaade edilebilir. Bu ceza fonksiyonu ile elde edilen değer uygunluk fonksiyonuna eklenerek elde edilen çözümün iyi çözüm olmaması sağlanır. Uygunluk fonksiyonuna eklenen bu ceza değeri yukarıdaki denklemden de anlaşılacağı gibi nesilden nesile ilerledikçe artacaktır. Bunun amacı GA optimum çözüme doğru ilerledikçe ilerleyen nesildeki bireylerin çoğunluğunun istenilen sınırlar arasında kalmasını sağlamaktır. GA bu sayede istenilen sınırlar arasında optimum çözümü bulmaya çalışırken optimum çözüme daha çabuk yakınsayacaktır.

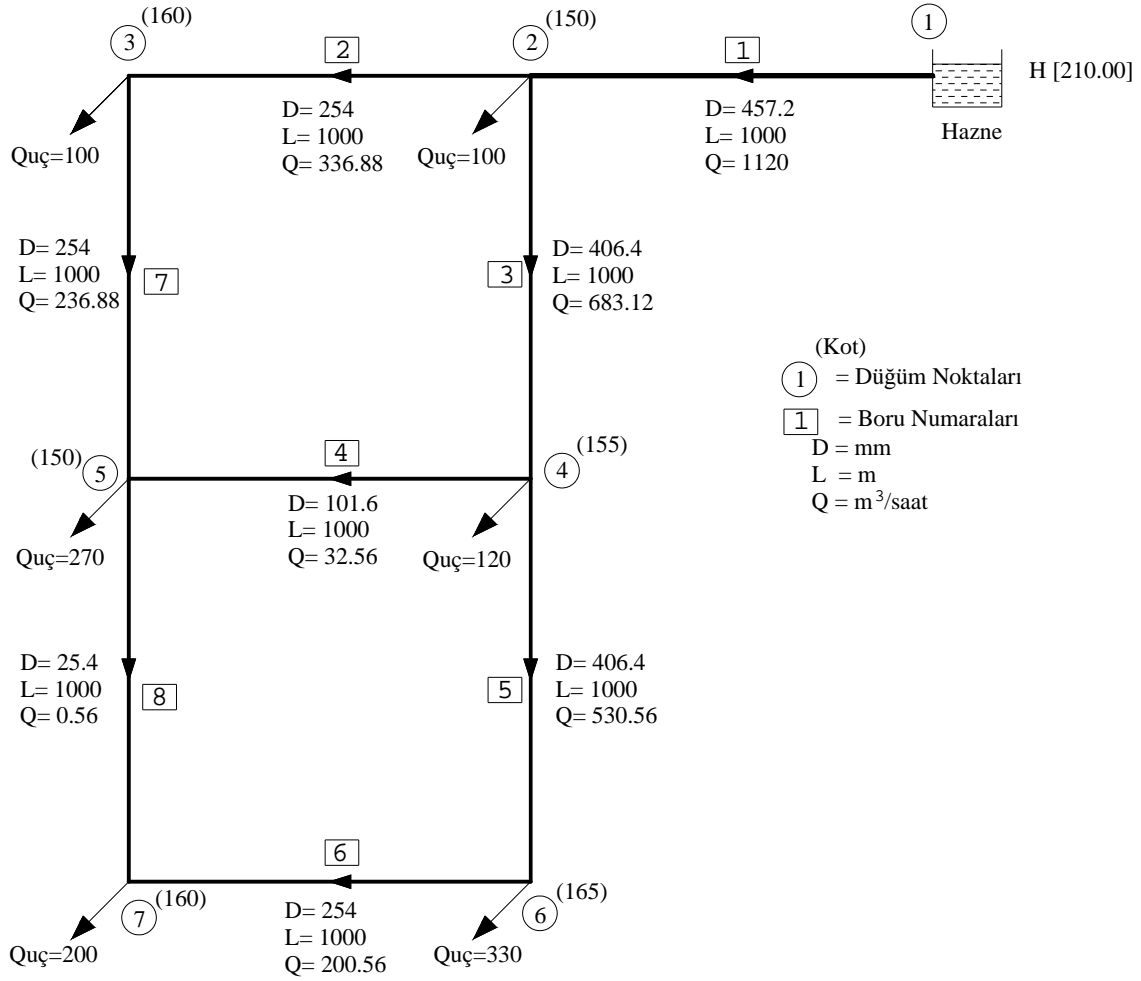
Genetik parametreler uygun olmazsa iyi bir sonuca ulaşılamayabilir. GA parametrelerinin farklı değerleri için yine aynı şebeke çözümüne (optimum) ulaşmak da mümkündür.

### 5.1. Örnek Çalışma 1

Alperovits ve Shamir (1977) tarafından optimizasyon yapmak amacıyla oluşturulan Şekil 7'de verilen 8 borudan oluşan hayali şebeke, daha sonraları bir çok araştırmacı tarafından defalarca optimizasyon amaçlı olarak test edilmiştir. Sistem 8 boru, 6 düğüm noktası ve bir su haznesinden oluşmaktadır. Her bir boru 1000 m uzunluğunda olup, Hazen-Williams katsayısı  $C=130$  olarak alınmıştır. Kullanılan çaplar ve birim maliyetler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Şebeke çözümünde kullanılan çaplar ve birim fiyatlar

Çap (inç)	Çap (mm)	Birim Fiyat (\$/m)
1	25.4	2
2	50.8	5
3	76.2	8
4	101.6	11
6	152.4	16
8	203.2	23
10	254.0	32
12	304.8	50
14	355.6	60
16	406.4	90
18	457.2	130
20	508.0	170
22	558.8	300
24	609.6	550



Şekil 7. İki gözlü, 8 borudan oluşan ağ şebeke

Bu çözüm için kullanılan genetik algoritma ve optimizasyon parametreleri aşağıda verilmiştir.

Kodlama	: Tamsayı Kodlama	Basınç toleransı	: 0 m
Topluluk sayısı	: 30	Hız toleransı	: 0 m/s
Genetik çalışma sayısı	: 20	Toleranslı DN sayısı	: 0
Genetik çalışma	: 100	Toleranslı boru sayısı	: 0
Seçme tipi	: Turnuva	<b>Her düğüm noktası için</b>	
Çaprazlama tipi	: Tek Noktalı	Min. Basınç	: 30 mss
Çaprazlama olasılığı	: %95	Maks. Basınç	: 70 mss
Mutasyon olasılığı	: %3	<b>Her boru için</b>	
Birim basınç ceza bedeli	: 500,000 \$/mss	Minimum Hız	: 0 m/s
Birim hız ceza bedeli	: 50,000 \$/(m/s)	Maksimum Hız	: 2.4 m/s

Şekil 7'deki iki gözlü, 8 borulu örnek şebekenin hem SUGANET ile elde edilen (son kolon), hem de daha önceki araştırmacılar tarafından elde edilen optimal çözüm sonuçları Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Çeşitli araştırmacıların 8 borulu şebeke için elde ettiği çözümlerdeki boru çapları ve SUGANET ile elde edilen çaplar ve toplam maliyetler

Boru No	Boru Çapları (inç)						
	Savic ve Walters (1997)		Abebe ve Solomatine (1998)		Cunha ve Sousa (1999)	Liong ve Atiquzzam (2004)	Kahraman (2003)
	GA1	GA2	GA	ACCOL			
1	18	20	18	18	18	18	18
2	10	10	10	10	10	10	10
3	16	16	16	16	16	16	16
4	4	1	4	4	4	4	4
5	16	14	16	16	16	16	16
6	10	10	10	10	10	10	10
7	10	10	10	10	10	10	10
8	1	1	1	1	1	1	1
Maliyet (Bin\$)	419	420	419	419	419	419	419

Çizelge 3 incelendiğinde Savic ve Walters'in (1997) GA2 çalışması hariç tüm çapların, dolayısıyla fiyatların eşit olduğu görülmektedir. Tüm araştırmacılar bilinen optimum sonuca ulaşabilmişlerdir. Ancak algoritmalar farklı olduğu için sonuca ulaşma süreleri farklıdır. SUGANET çok kısa bir süre içerisinde ve hemen hemen her genetik çalışmada bu sonuca ulaşabilmektedir. Çizelge 4'te yukarıda sözü edilen çözümlerin her biri için düğüm noktalarındaki basınç yükseklikleri verilmiştir.

Çizelge 4. Çeşitli araştırmacıların ve SUGANET'in örnek şebeke çözümlerinde düğüm noktalarındaki basınçlar

Düğüm No	Düğümde Basınçlar (m)						
	Savic ve Walters (1997)		Abebe ve Solomatine (1998)		Cunha ve Sousa (1999)	Liong ve Atiquzzam (2004)	Kahraman (2003)
	GA1	GA2	GA	ACCOL			
2	53.09	55.86	53.25	53.25	53.25	53.25	53.25
3	29.97	30.30	30.46	30.46	30.46	30.46	30.46
4	43.18	46.38	43.45	43.45	43.45	43.45	43.45
5	33.13	31.61	33.81	33.81	33.81	33.81	33.81
6	30.11	30.50	30.44	30.44	30.44	30.44	30.44
7	30.13	30.52	30.55	30.55	30.55	30.55	30.55

Çizelge 4 incelendiğinde Savic ve Walters'in çalışmasındaki basınçların diğer araştırmacıların sonuçlarından farklı olduğu gözlenmektedir. Çeşitli araştırmacılar Hazen-Williams bağıntısı için farklı katsayılar kullanılmasını önermektedir (Alperovits ve Shamir (1977)  $w=10.7109$ , Quindry vd, (1981)  $w=10.9031$ , Fujiwara ve Khang (1990)  $w=10.5088$ , Murphy ve Simpson (1992),  $w=10.6744$ ). Savic ve Walters'in GA1 ve GA2 diye adlandırdığı çalışmalarında birçok araştırmacının kullanmış olduğu en düşük ( $w=10.5088$ ) ve en yüksek ( $w=10.9031$ ) katsayılarla hesap yapmıştır. GA1 için kullanılan boru çapları ve C katsayıları aynı olmasına rağmen basınçlarda oluşan farklılık bu yüzdendir. GA2 de küçük katsayı kullanıldığı için 1 ve 4 numaralı boru çapları diğerlerinden farklı elde edilmiş, bu nedenle de minimum basınçların sağlanması için farklı çaplar elde edilmiştir. W katsayısı ve çap

farklılıkları basınçları değiştirmektedir. Ancak, 7 numaralı düğüm noktasındaki basınç diğerleriyle hemen hemen aynıdır. Bu makaledeki ve diğer araştırmacılar tarafından kullanılan yöntemler farklı olmasına rağmen, Savic ve Walters'in çalışması dışındaki tüm çalışmalarda EPANET hidrolik benzeşim modelini kullanıldığı için ( $w= 10.6744$ ), doğal olarak basınçlarda aynı değerlere ulaşılmıştır.

## 5.2. Örnek Çalışma 2

Vietnam'daki Hanoi kenti su dağıtım şebekesi 32 düğüm noktası, 34 boru, 3 gözden oluşmaktadır (Şekil 8). Fujiwara ve Khang (1990) bu şebekenin ilk yatırım maliyetini minimum yapan çözümleri vermişlerdir. Daha sonra çeşitli araştırmacılar (Savic ve Walters, 1997; Abebe ve Solomatine, 1998; Cunha ve Sousa, 1999; Eusuff ve Lansey, 2003; Liong ve Atiquzzaman, 2004) aynı şebeke üzerinde çalışmışlardır.

Şebeke 100 m minimum su kotundaki bir hazneden beslenmekte, düğüm noktalarında minimum basıncın 30 mss olması istenmekte ve tüm düğüm noktalarındaki zemin kotları 0.00m dir. Şebekede 12, 16, 20, 24, 30 ve 40 inç'lik çaplar, boru birim fiyatları için ise  $C_i = 1.1 \cdot D_i^{1.5}$  bağıntısı kullanılmıştır. Bu ilişkiden elde edilen birim fiyatlar Çizelge 5'te verilmiş ve hesaplamalarda bu fiyatlar kullanılmıştır.

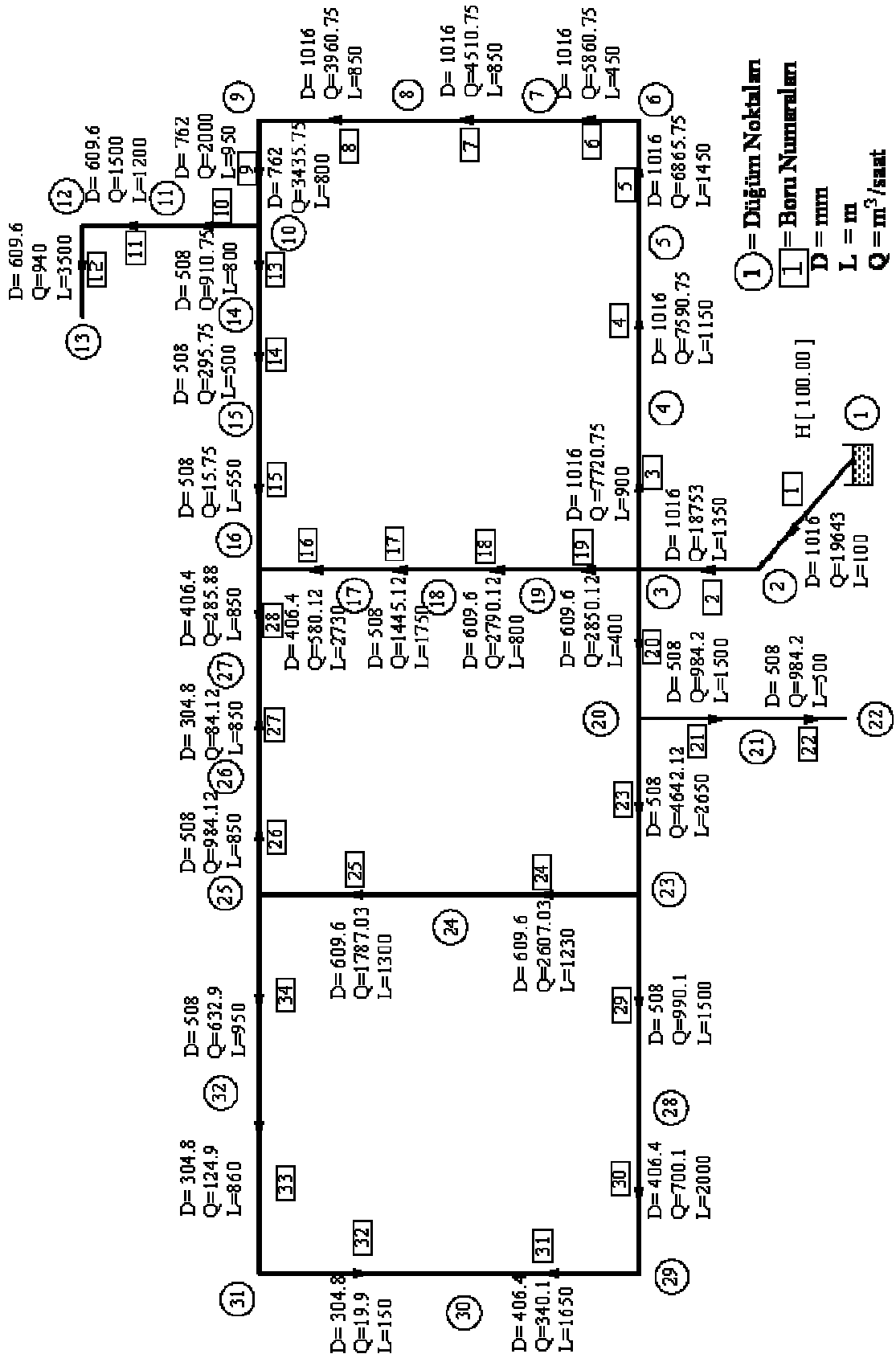
Çizelge 5. Şebeke çözümünde kullanılan çaplar ve birim fiyatlar

Çap (inç)	Çap (mm)	Birim Fiyat (\$/m)
12	304.8	45.726
16	406.4	70.400
20	508.0	98.378
24	609.6	129.333
30	762.0	180.748
40	1016.0	278.280

Hanoi şebekesinin optimizasyonunda aşağıdaki genetik algoritma ve optimizasyon parametreleri kullanılmıştır.

Kodlama	: Tamsayı Kodlama	Basınç toleransı	: 0 m
Topluluk sayısı	: 70	Hız toleransı	: 0 m/s
Genetik çalışma sayısı	: 20	Toleranslı DN sayısı	: 0
Genetik çalışma	: 200	Toleranslı boru sayısı	: 0
Seçme tipi	: Turnuva	<b>Her düğüm noktası için</b>	
Çaprazlama tipi	: Tek Noktalı	Min. Basınç	: 30 mss
Çaprazlama olasılığı	: %99	Maks. Basınç	: 70 mss
Mutasyon olasılığı	: %1	<b>Her boru için</b>	
Birim basınç ceza bedeli	: 2,500,000 \$/mss	Minimum Hız	: 0 m/s
Birim hız ceza bedeli	: 250,000 \$/(m/s)	Maksimum Hız	: 7 m/s

Bu çalışmada projelendirme kriterleri diğer araştırmacılara uyum sağlayacak biçimde seçilmiştir. Diğer araştırmacılar tarafından ve bu çalışmada elde edilen optimum çaplar Çizelge 6'da, basınçlar Çizelge 7'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde SUGANET ile bulunan çözümün hem en ekonomik çözüm olduğu hem de basınçların 30 mss sınırının altına düşmeyen çözüm olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Hanoi kenti şebeke planı (34 Borulu)

Çizelge 6. Hanoi şebekesi için optimal çaplar ve şebeke maliyetleri

Boru No:	Uzunluklar (m)	Boru Çapları (inç)						
		Savic ve Walters (1997)		Abebe ve Solomatine (1998)		Cunha ve Sousa (1999)	Liong ve Atiquzzam (2004)	Kahraman (2003)
		GA1	GA2	GA	ACCOL			
1	100	40	40	40	40	40	40	40
2	1350	40	40	40	40	40	40	40
3	900	40	40	40	40	40	40	40
4	1150	40	40	40	40	40	40	40
5	1450	40	40	30	40	40	40	40
6	450	40	40	40	30	40	40	40
7	850	40	40	40	40	40	40	40
8	850	40	40	30	40	40	30	40
9	800	40	30	30	24	40	30	30
10	950	30	30	30	40	30	30	30
11	1200	24	30	30	30	24	30	24
12	3500	24	24	30	40	24	24	24
13	800	20	16	16	16	20	16	16
14	500	16	16	24	16	16	12	12
15	550	12	12	30	30	12	12	12
16	2730	12	16	30	12	12	24	16
17	1750	16	20	30	20	16	30	20
18	800	20	24	40	24	20	30	24
19	400	20	24	40	30	20	30	24
20	2200	40	40	40	40	40	40	40
21	1500	20	20	20	30	20	20	20
22	500	12	12	20	30	12	12	12
23	2650	40	40	30	40	40	30	40
24	1230	30	30	16	40	30	30	24
25	1300	30	30	20	40	30	24	24
26	850	20	20	12	24	20	12	20
27	300	12	12	24	30	12	20	12
28	750	12	12	20	12	12	24	16
29	1500	16	16	24	16	16	16	20
30	2000	16	16	30	40	12	16	16
31	1600	12	12	30	16	12	12	16
32	150	12	12	30	20	16	16	12
33	860	16	16	30	30	16	20	12
34	950	20	20	12	24	24	24	20
Maliyet (Milyon\$)		6.073	6.195	7.000	7.800	6.056	6.220	6.062

Çizelge 7. Hanoi şebekesi için elde edilen optimal çözümlerde düğüm noktalarındaki basınçlar

Düğüm No:	Düğümde Basınçlar (m)						
	Savic ve Walters (1997)		Abebe ve Solomatine (1998)		Cunha ve Sousa (1999)	Liong ve Atiquzzam (2004)	Kahraman (2003)
	GA1	GA2	GA	ACCOL			
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	97.14	97.14	97.14	97.14	97.14	97.14	97.22
3	61.63	61.63	61.67	61.67	61.63	61.67	62.77
4	56.83	57.26	58.59	57.68	56.82	57.54	58.33
5	50.89	51.86	54.82	52.75	50.86	52.43	52.83
6	44.62	46.21	39.45	47.65	44.57	47.13	47.07
7	43.14	44.91	38.65	42.95	43.10	45.92	45.74
8	41.38	43.40	37.87	41.68	41.33	44.55	44.19
9	39.97	42.23	35.65	40.70	39.91	40.27	42.97
10	38.93	38.79	34.28	32.46	38.86	37.24	39.40
11	37.37	37.23	32.72	32.08	37.30	35.68	37.84
12	33.94	36.07	31.56	30.92	33.87	34.52	34.41
13	*29.72	31.86	30.13	30.56	*29.66	30.32	30.20
14	35.06	33.19	36.36	30.55	34.94	34.08	32.86
15	33.07	32.90	37.17	30.69	32.88	34.08	30.79
16	30.15	33.01	37.63	30.74	*29.79	36.13	30.78
17	30.24	40.73	48.11	46.16	*29.95	48.64	40.46
18	43.91	51.13	58.62	54.41	43.81	54.00	51.80
19	55.53	58.03	60.64	60.58	55.49	59.07	59.01
20	50.39	50.63	53.87	49.23	50.43	53.62	52.90
21	41.03	41.28	44.48	47.92	41.07	44.27	43.55
22	35.86	36.11	44.05	47.86	35.90	39.11	38.39
23	44.15	44.61	39.83	41.96	44.24	38.79	47.81
24	38.84	39.54	30.51	40.18	38.50	36.37	38.03
25	35.48	36.40	30.50	38.95	34.79	33.16	32.89
26	31.46	32.93	32.14	36.01	30.87	33.44	30.19
27	30.03	32.18	32.62	35.93	*29.59	34.38	30.07
28	35.43	36.02	33.52	36.47	38.60	32.64	42.98
29	30.67	31.38	31.46	36.45	*29.64	30.05	32.94
30	*29.65	30.47	30.44	36.54	*29.90	30.10	30.83
31	30.12	30.95	30.39	36.64	30.18	30.35	30.84
32	31.36	32.24	30.17	36.76	32.64	31.09	31.56

\*İzin verilen 30 mss sınırının altındaki basınçlar.

Bir önceki 8 borulu örnekte yapılan çözümlerde araştırmacılar aynı çaplara ulaşabilmiştir (Çizelge 3). 34 borulu örnekte çözüm uzayı biraz daha geniş olduğu için birbirine yakın bir çok çözüme ulaşmak mümkün olabilmektedir. Bu nedenle yöntemlerin daha iyi kıyaslanabilmesi için çok daha geniş bir arama uzayı, yani çok daha büyük örnek şebekeler üzerinde çalışma yapılması yerinde olacaktır.



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İçme suyu şebekelerinin projelendirilmesinde, önce şebekenin geometrisi ve dağıtacağı debiler belirlenir, daha sonra çaplar seçilerek hidrolik benzeşim modeli ile çözüm yapan bir program yardımıyla hız ve basınçlar hesaplanır. Çaplar değiştirilerek şebekenin kritik noktalardaki basınç ve hız değerlerini sağlayacak minimum maliyetli çözüme ulaşıncaya kadar çap değiştirme işlemi tekrarlanır. Bu tür klasik çözüm yaklaşımlarında optimum çözüm için uzun ve yorucu çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu aşamaların başarı düzeyi büyük ölçüde proje mühendisinin deneyimine bağlıdır. Ayrıca bu konuda en deneyimli mühendis bile global optimum çözümü elde edebileceğini garanti edemez. Genetik algoritmalar ise deneme yanılma aşamasını evrim teorisine dayandırarak, yine bir hidrolik benzeşim modeli yardımı ile aylar sürecek bir çalışmayı saatler mertebesine indirebilmektedir. Üstelik, genetik algoritma ile bulunan çözümler proje mühendislerinin bulduğu klasik çözümlere kıyasla çok daha ekonomik ve hidrolik açıdan da daha uygun şebekeler olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan bilgisayar programı (Kahraman, 2003) yardımıyla özellikle birkaç noktadan beslenen karmaşık ve büyük şebekelerde farklı hidrolik koşullar göz önünde bulundurularak (yangın tahkikleri gibi) çözüme ulaşmak çok kolay olmaktadır.

Bu program (SUGANET) ile 166 boru, 24 göz, 2 hazne, 7 standart çap kullanılan 700 ha alana su dağıtan bir şebekenin 5 farklı hidrolik konum için istenen sınır değerleri sağlayan çözümü elde edilmiştir. Program yardımıyla, daha önce projelendirmiş iki gerçek şebekenin aynı projelendirme kriterleri altında hem çok daha kolay çözülebildiği hem de bulunan çözümün ekonomik ve hidrolik açıdan daha iyi olduğu görülmüştür.

SUGANET’te sınır değerlere verilen tolerans limitlerinde verilen ceza puanı uygulaması ile daha esnek çözümler elde edilebilmektedir. Program bir kaç kez çalıştırılarak farklı çözüm seçenekleri elde edilebilmektedir.

Farklı hazne kotları sınanarak pompaj ve şebeke toplam maliyetinin minimum olacağı çözüm de bulunabilmektedir. Ayrıca mevcut şebekelere eklenecek yeni boruların, mevcut şebeke göz önüne alınarak uygun hidrolik koşulları sağlayan minimum maliyetli çapları bulunabilir. Mevcut bir şebekenin değişen koşullar altında rehabilitasyonu da çok kolay bir şekilde yapılabilir.

Su dağıtım şebekesi tasarımını önemli ölçüde etkileyebilen kişi başına günlük su tüketimi, terfi tesisleri, hazneler, projelendirme debisinin (pik katsayısı) belirlenmesi, gerçek işletme koşulları (aşırı su kaçakları, basınç yetersizlikleri) gibi unsurların da ileride yapılacak optimizasyon çalışmalarında dikkate alınması uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Abebe, A.J., Solomatine, D.P. (1998): “Application of global optimization to the design of pipe networks” 3rd International Conferences on Hydroinformatics, Copenhagen, Denmark, pp. 989-996.
- Alperovits, E., Shamir, U. (1977): “Design of optimal water distribution systems.” Water Resour. Res., 13(6), 885-900.
- Cunha, M.D.C., Sousa, J. (1999): “Water distribution network design optimization: Simulated Annealing Approach.” Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 125, No. 4, pp.215-221.
- Eiger, G., Shamir, U., Ben-Tal, A. (1994): “Optimal design of water distribution Networks” Water Resour. Res., 30(9), 2637-2646.

- Eusuff, M. M., Lansey, K. E. (2003): "Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm." *J. Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 129, No. 3, pp.210-255.
- Fujiwara, O., Khang, D. B. (1990): "A two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks." *Water Resour. Res.*, 26(4), 539-549.
- Gessler, J. (1985) "Pipe network optimization by enumeration" *Proc., Spec. Conf. on Comp. Applications/Water Resour.*, ASCE, New York, N. Y., 572-581.
- Goldberg, D. E. (1989): "Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning." Addison Wesley, MA, USA.
- Goulter, I. C. Morgan, D. R. (1985): "An integrated approach to the layout and design of water distribution networks." *Civ. Engrg. Sys.*, 2(2), 104-113.
- Gupta, I., Gupta, A., Khanna, P., (1998): "Genetic algorithm for optimization of water distribution systems." National Environmental Engineering Research Institute, Nagpur-440020, India.
- Kahraman, A. M. (2003): "Optimal design and expansion of water distribution systems using genetic algorithm", DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL-P1608.
- Liong, S., Md. Atiquzzaman (2004): "Optimal design of water distribution network using shuffled complex evolution" *Journal of The Institution of Engineers*, Singapore Vol. 44, Issue 1.
- Mitchell, M. (1996): "An introduction to Genetic Algorithm" Cambridge, MA: MIT Press.
- Murphy, L. J., Simpson A. R. (1992): "Genetic algorithms in pipe network optimization" *Res. Rep. No. R93*, Dept. of Civ. and Envir. Engrg., Univ. of Adelaide, Australia.
- Quindry, G. E., Brill, E. D., Liebman, J. C. (1981): "Optimization of looped water distribution systems" *J. Envir. Engrg.*, ASCE, 107(4), 665-679.
- Savic, D. A., Walters, G. A. (1997): "Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks." *J. Water Resour. Plng. and Mgmt.*, ASCE, 123(2), 67-77.
- Simpson, A. R. (2000): "Optimization of design of water distribution systems using genetic algorithms." Slovenian Society of Hydraulic Research, Seminar Series, Vol.1, Ljubljana, Slovenia, 10pp.
- The optimatics letter, Issue No:12 (April-June, 2001) *Advances in Optimization for Water Distribution System Design & Operations*.
- Walski T., Chase D. V., Savic D., Grayman W. M., Beckwith S., Koelle E., (2003): "Advanced Water Distribution Modelling and Management", Haestad Press, Waterbury, CT, USA.
- Walski, T. M. (1985): "State of the art pipe network optimization." *Proc., Spec. Conf. on Comp. Applications/Water Resour.*, ASCE, New York, N. Y., 559-568.
- Wood, D. J., Funk, J. E. (1993): "Hydraulic analysis of water distribution systems" in *Water Supply systems, state of the art and future trends*, E. Cabrera and F. Martinez, eds., Computational Mechanics Publications, Southampton, 41-85.