

## Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

Davut ÖZDAĞLAR\*

Ertuğrul BENZEDEN\*\*

A. Murat KAHRAMAN\*\*\*

### ÖZ

Bu çalışmada Genetik Algoritmalarla kompleks içmesuyu dağıtım sistemlerinin optimizasyonu konusu irdelenmiştir. İlk iki yazar tarafından 2001 yılında projelendirilmiş olan İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB) içme suyu dağıtım şebekesi genetik algoritma ile tasarım yapan **SUGANET** adlı programla çözümlenerek sonuçlar ekonomik ve hidrolik açıdan incelenmiştir. İki ayrı noktadan beslenen sistem için dört farklı hidrolik konumu birlikte sağlayan çözüm yapılmıştır. Projelendirmede hidrolik açıdan kararlı çözümü bulan diğer bir bilgisayar programı (**DOHC**) yardımıyla elde edilen çözüm, **SUGANET** programıyla elde edilen çözümle kıyaslanmıştır. **SUGANET** çözümünün maliyet açısından %5.3 daha ucuz, hidrolik açıdan da daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Ayrıca, hidrolik açıdan bir kararlı durum için çözüm bulan klasik bilgisayar programlarıyla, deneme yanılma yöntemiyle çaplar düzeltilerek defalarca yapılan ve aylar süren proje çalışmalarının birkaç gün içerisinde optimum çözüm ile sonuçlandırılabilirdiği görülmüştür.

### ABSTRACT

#### Optimization of Complex Water Distribution Networks Using Genetic Algorithm

In this paper, optimization of complex water distribution systems using genetic algorithms has been discussed. The potable water distribution network of İzmir Atatürk Organized Industry Region (IAOSB), which was designed in 2001 by the first and second authors, is solved using a code implementing genetic design algorithms, **SUGANET**, and its solutions are evaluated from an economical and hydraulic viewpoint. A solution that provides four different hydraulic conditions is obtained for the system with supplies from two different nodes. The solution obtained by **SUGANET** is compared with the solution by **DOHC**, a

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 11.04.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2006 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir – davut.ozdaglar@deu.edu.tr

\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir – ertugrul.benzeden@deu.edu.tr

\*\*\* Çevre Yüksek Mühendisi, İzmir – kmurat17@hotmail.com

code that can obtain hydraulically stable solutions. The comparison shows that **SUGANET** solution is 5.3% less costly and yields hydraulically better results. Furthermore, it is shown that the design studies can take months, if conventional trial-and-error codes solving for hydraulically stable solutions were used, and that the design time required for the optimal solution can be reduced to the order of days.

## **1. GİRİŞ**

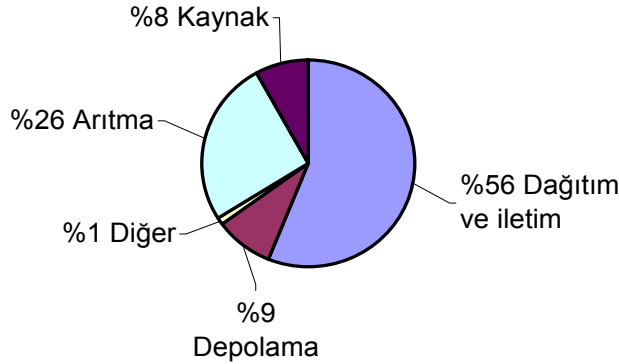
Nüfusun giderek artması, teknolojinin gelişmesi ve sanayileşme suya olan ihtiyacı sürekli artırmıştır. Artan su talebine karşılık temiz su kaynaklarının da giderek tükenmesi, suyun farklı kaynaklardan toplanmasına, ya da kente çok uzak bölgelerden su temin edilmesine neden olmuştur. Bu da su kaynaklarının etkin kullanımı konusunun önemini artırmıştır. Suyun kaynağından alınıp tüketiciye ulaştırılmasına kadar geçen süreçte tasarlanan yapıların (depolama, arıtma, iletim ve dağıtım, pompa, vana gibi ekipmanlar) su kaynaklarının etkin kullanılmasında önemi büyüktür. İyi tasarlanmış ve iyi işletilen, yani optimize edilmiş bir su dağıtım şebekesi olası su kaçaklarını minimum düzeye indirerek su kaynaklarının etkin kullanılmasına katkıda bulunur.

Sanayileşme ve hızlı kentleşmeyle birlikte içme suyu şebekelerinde dağıtılacak debiler büyümüş, boru imalat tekniklerinin gelişimiyle şebekede kullanılacak boru çap ve türleri de artmıştır. Ayrıca, büyük kentlerin şebeke sistemlerinin giderek genişlemesiyle şebekenin çok sayıda kaynaktan beslenmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Basınç artırıcı pompalar, ayar vanaları vb. ekipmanlar kullanılması, optimum çözümü zaten zor olan ağ şebekelerin daha da karmaşık bir probleme dönüşmesine neden olmuştur. Çeşitli araştırmacılar 1960'lı yıllardan beri ağ şebekelerin çözümü ve optimizasyonu konusunda uğraşmıştır. Ancak, yapılan araştırmaların çoğu, gerçek şebeke sistemlerine uygulanmasında karşılaşılan zorluklar nedeni ile genellikle teorik düzeyde kalmıştır. Bir örnek vermek gerekirse, 34 borulu Hanoi kenti şebekesi için boyutlandırmada kullanılmak üzere 6 farklı çap düşünüldüğünde bu sistem için  $6^{34}$  tane çözüm kümesi oluştuğunu görmekteyiz. Saniyede 1 milyon farklı şebeke çözümü yapabilen süper bir bilgisayarla çalıştırmızı 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 [1].

Son yıllarda araştırmacılar Genetik Algoritma (GA), tavlama benzetimi (simulated annealing), karınca kolonisi, yapay sinir ağları, tabu arama gibi çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden genetik algoritmalar yapısının basit ve uygulanmasının kolay olması nedenleriyle ön planda yer almaktadırlar. GA'lar optimum sonuca ulaşmayı garanti etmeseler de çözüm uzayının çok küçük bir kısmını tarayarak nihai optimum sonuca yaklaşmayı başarabilmektedirler. Bazı araştırmacılara göre bu başarı maliyetlere %15-50 olarak yansımaktadır [2]. GA'lar yeni su dağıtım şebekelerinin optimum boyutlandırılmasında, karmaşık ya da 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, sistemin dengelenmesi, yangın suyu gereksinimi ve acil durumlar göz önünde bulundurularak haznelerin boyutlandırılması ve optimum hazne yerinin belirlenmesinde, sistemdeki su kaçaklarının minimize edilmesi için gereken kontrol vanalarının yerlerinin belirlenmesinde, mevcut su dağıtım şebekelerinin

genişletilmesi, rehabilitasyonu ve kalibrasyonu çalışmalarında, ölçüm ve klorlama istasyonlarının optimum yerleşiminde ve benzeri çok çeşitli alanlarda verimli olarak kullanılabilir [1]. Günümüzde büyük su şirketleri şebeke sistemlerini GA ile optimize ederek işletmekte; şebekelerin boyutlandırılması, rehabilitasyonu ve genişletilmesi çalışmalarında GA'larla çözüm yapan modelleme programlarını kullanmaktadırlar (Darwin Designer, WaterCad, MikeNet, H<sub>2</sub>Onet gibi).

Su iletim ve dağıtım yapılarının toplam sistem (kaynak, derleme, hazne, arıtma, iletim ve dağıtım) içerisindeki maliyet oranı (Şekil 1) yaklaşık %56 dır. ABD'de 2000 yılında yapılan bir araştırma önümüzdeki 20 yıl için su yapıları için yılda yaklaşık 24 milyar dolarlık bir bütçenin gerektiğini ortaya çıkarmıştır [3]. Optimizasyonla toplam su yapıları maliyeti içerisinde %56'lık paya sahip olan su iletim ve dağıtım şebekelerinin tasarımında %20 hatta daha fazla tasarruf yapmak mümkündür. Genetik algoritma gibi optimizasyon tekniklerinin bu projelerin yarısına uygulandığı ve %25'lik bir tasarruf sağlanacağı varsayımı ile ABD için optimizasyon ile sağlanan tasarruf miktarı yılda 2 milyar \$'a ulaşmaktadır [3]. Ülkemizde ise merkezi kamu kuruluşları (DSİ, İller Bankası, Köy hizmetleri) içmesuyu yatırımları için 1997 yılında 743.2 milyon YTL harcamışlardır [4]. Bu miktar içindeki iletim ve dağıtım şebekesi masrafları bilinmemekte ise de Şekil 1 göz önüne alındığında bu yatırımın %50'sinin iletim ve dağıtım yapılarını oluşturduğu kabulü ile 1997 de iletim ve dağıtım sistemleri için 372 milyon YTL harcandığı söylenebilir. Optimizasyon tekniklerinin bu projelere uygulanmasıyla %10 tasarruf sağlandığını varsayarsak, 1997 yılı için 37 milyon YTL tasarruf yapmak mümkün olabilirdi. Bu rakamlar içme suyu sistemlerinde optimizasyonun önemini ve gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Su yapıları için gerekli alt yapı maliyetlerinin dağılımı [3]

Bu çalışmada şebeke çözümleri DOHC programı [5] ile yapılmış olan İAOSB içmesuyu projesi [6] daha sonra SUGANET programı [7] ile aynı projelendirme kriterleri ile yeniden çözülmüştür. Burada amaç iki programın kıyaslanması değildir. Zaten programların amaçları birbirinden farklıdır. DOHC programı, şebeke karakteristiklerinin bilgisayara girilerek Hardy-Cross yöntemiyle çözüm yapılması, düğüm noktalarındaki ve borulardaki hidrolik değerlerin bulunması amacını taşır. Burada maliyet açısından uygun ve hidrolik şartları sağlayan şebeke çözümünü bulmak tamamıyla proje mühendisinin tecrübesine bağlıdır ve deneme yanılma ile çapları defalarca düzeltmek gerekir. Projelendirme sırasında

## *Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu*

bu uzun ve yorucu şebeke çözümü çalışmaları 1 ay kadar sürmüştür. **SUGANET** programı, Darwin'in "En iyiler hayatta kalır" prensibi ile çalışan GA'yı kullanarak, istenilen hidrolik kriterlerin sağlanması için gerekli verilerin girilmesiyle çok sayıda çözüm yaparak kısa sürede optimum çözümü bulabilmektedir.

### **2. SUGANET PROGRAMI**

**SUGANET** Microsoft Visual Basic 6.0 ile yazılmış bir su dağıtım şebekesi optimum tasarım programıdır [7]. **SUGANET** optimizasyon için Genetik Algoritma programını DLL (Dynamic Link Library) şeklinde, şebeke hidrolik hesapları için ise **EPANET2** programını kullanmaktadır. **SUGANET** ile şebeke dizaynında farklı çap ve tiplerde borular, çeşitli hidrolik yük kaybı bağıntıları, çeşitli tipte ayar vanaları, hazneler, pompalar, tahliyeler ve yangın muslukları gibi su şebekesinde yer alabilecek tüm ekipmanlar kullanılabilir. **SUGANET** kararlı bir hidrolik konum (Steady-State Simulation) için çözüm yapmakla beraber, birden fazla kararlı hidrolik konumlar (Extended-Period Simulation) için de çözüm yapabilmektedir. İAOSB şebekesindeki dört farklı hidrolik konum gibi, ya da daha kompleks şebekeler **SUGANET** ile kolaylıkla optimum olarak boyutlandırılabilir.

Deneyimli mühendislerin bir hidrolik benzeşim modeli kullanarak optimizasyonda uyguladığı uzun, yorucu ve sıkıcı birçok deneme-yanılma hesaplamalarına **SUGANET** kullanıldığında gerek kalmamaktadır. Bu programın bir avantajı da mevcut bir şebekenin rehabilitasyonu veya genişletilmesi çalışmalarında da kullanılabilir olmasıdır.

**SUGANET**, mühendisin neye ne kadar önem verdiğini bir kaç parametreyi okuyarak öğrenir ve her çözüm sonucunda şebekeyi bu kriterlerle değerlendirir. Bulduğu en iyi çözümü verir. Karar verme işlemi şebekenin toplam maliyetine bakılarak gerçekleştirilir. Ancak, toplam maliyet içerisinde boru maliyetleri dışında bir de cezalar vardır. Cezalar hız, basınç ve hidrolik çözüm uyarılarına bağlıdır. Özel durumlar için hız ve basıncın belli miktarda ve belli sayıda aşılmasına da izin verilebilmektedir. İzin verilenden daha çok sayıda ya da miktarda sınır aşılmasında ceza uygulanır. Küçük çaplı borular kullanıldığında hız ya da basınç sınırları aşılmakta, dolayısıyla boru tutarları az olsa dahi ceza puanlarıyla bu miktar artarak kötü çözüm olabilmektedir. Bu durum tecrübeli proje mühendisinin şebekeyi inceleyerek verdiği karara benzemektedir. Karar verme işlemi hem projenin şebekeyi defalarca incelemesine gerek bırakmamakta hem de optimum sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır.

### **SUGANET'in Çalışma Aşamaları**

1. Şebeke verileri (Boru çapları, uzunlukları, pürüzlülük değerleri, düğüm noktalarından çekilen su miktarları, arazi kotları, hazne su seviyesi ve hacmi, pompa vb. gibi yapılar ile ilgili bilgiler) okunur.
2. Öngörülen GA operatörleri (kodlama tipinin seçilmesi, çaprazlama, seçme, mutasyon operatörlerinin seçilmesi), genetik algoritma parametreleri (topluluk sayısı, maksimum jenerasyon sayısı, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı) ve optimizasyon parametreleri (maksimum ve minimum hız ve basınç değerleri, hız ve basınç için ceza değerleri, tolerans değerleri, toleranslı düğüm noktası ve toleranslı boru sayısı) okunur.
3. Optimizasyonla boyutlandırılacak borular seçilir.

4. Şebeke tasarımında kullanılacak boruların iç çap değerleri, fiyatları, pürüzlülük değerleri okunur.
5. Tasarıma girecek borular GA için seçilen kodlama tipinin özelliğine göre kodlanır.
6. Başlangıç topluluk bireyleri rastgele oluşturulur.
7. Her birey için boruların kodları çözülerek çap değerleri eşleştirilir ve hidrolik hesaplamalar yapılır.
8. Her bir şebeke çözümünün maliyeti hesaplanır, basınç ve hız sınır değerlerini aşan şebeke çözümlerine ceza katsayılarıyla ek bir maliyet bindirilir [1].
9. Bir sonraki jenerasyonu oluşturmak için eşleştirme havuzu oluşturulur.
10. “En iyi olanlar hayatta kalır” prensibiyle çalışan seçme operatörü, uygun seçimleri yaparak bir sonraki jenerasyon için bireyleri seçer.
11. Topluluğun en iyi bireyi hiçbir işleme tabi tutulmadan bir sonraki jenerasyonun ilk üyesi olarak atanır (elitizm).
12. Seçilen bireyler eşleştirme havuzunda çaprazlama ve mutasyon operatörlerine tabi tutularak bir sonraki jenerasyon oluşturulur.
13. Topluluğun tüm bireyleri aynı oluncaya kadar veya belirtilen maksimum jenerasyon sayısına ulaşıncaya kadar 7. adımdan 12. adıma kadar yapılan işlemler tekrarlanır.
14. Yeniden farklı başlangıç toplulukları oluşturmak için 6. adıma dönülür, rastgele sayı üreticisi yardımıyla farklı başlangıç toplulukları oluşturulur ve işlemler tekrarlanır. Bu adım SUGANET’de “Genetik Çalışma” olarak adlandırılır. Örneğin, bu alana 10 değeri girilmesi halinde program 10 farklı başlangıç topluluğu ile çalışarak en iyi çözüme ulaşmaya çalışır.
15. Verilen hidrolik kriterleri sağlayan en ucuz çözüm elde edilir.

### 2.1. Genetik Algoritma (GA) Programı

SUGANET içerisinde yer alan GA programı Darwin’in “En iyiler hayatta kalır” prensibi ile çalışmaktadır. David Goldberg’in Pascal diliyle yazdığı programdan [8] yararlanılarak geliştirilen Genetik Algoritma Microsoft Visual C++ ile programlanmıştır. GA programını kör bir arama motoruna benzetebiliriz. GA programı bir topluluk (başlangıçta bu topluluk rasgele oluşturulur) ile başlar ve bu topluluk üzerinde çaprazlama, seçme ve mutasyon gibi yöntemlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru gidiş sağlanır.

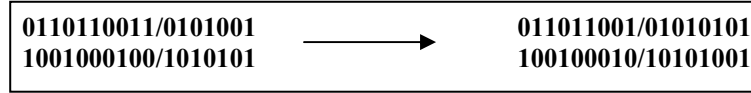
#### GA Aşamaları:

1. **Kodlama:** Karar değişkeni olarak borular ikili ya da tamsayı olarak kodlanırlar (Tablo 1). SUGANET’in GA programında ikili kodlama ve tamsayı kodlama seçenekleri bulunmaktadır.
2. **Başlangıç:** n adet kodlanmış topluluk başlangıç için rasgele oluşturulur.

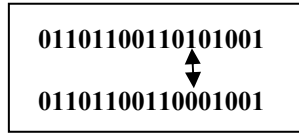
Tablo 1. Şebeke borularının ikili kodlanması örneği

	Boru No: 1	Boru No: 2	Boru No: 3	Boru No: 4	Boru No: 5	Boru No: 6	Boru No: 7	Boru No: 8	Boru No: 9	BoruNo:10
1.Birey	01	00	10	11	00	10	10	01	00	11
2.Birey	00	10	11	01	01	00	11	11	10	01
	00-100mm	01- 150mm	10-200mm	11-250mm						

3. **Uyumluluk:** Her bireyin uygunluk değerleri belirlenir. Bu uygunluk değeri şebekedeki hız ve basınç kriterlerinin sağlanmasına karşılık şebekenin maliyet fonksiyonudur ve bu maliyet için minimizasyon yapılmaktadır.
4. **Seçim:** Yeni nesildeki bireylerin uygunluk fonksiyonuna göre turnuva, rulet tekerleği ya da rasgele olarak seçilmesi işlemidir. Bu çalışmada kullanılan turnuva operatörü; topluluktaki bireyler arasından belirli miktarda rastgele bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireylerin tutulması esasına dayalı olarak çalışır.
5. **Çaprazlama:** Seçilen bireyler eşleştirilerek yeni bireyler oluşturulur. SUGANET'in GA programında tek noktalı, iki noktalı ve tek düze çaprazlama operatörleri bulunmaktadır (Şekil 2).
6. **Mutasyon:** Mutasyon olma olasılığına göre seçilen bireyin kromozomlarındaki bir bitin ya da tamsayının değiştirilmesi işlemidir (Şekil 3).



*Şekil 2. Bireylerin tek noktadan çaprazlanması*



*Şekil 3. Bireylerin mutasyona uğraması*

7. **Elitizm:** Mevcut topluluktaki uygunluk değeri en iyi olan bireyin doğrudan yeni topluluk havuzuna aktarılmasıdır. Bir jenerasyondaki en iyi birey çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle bozularak kaybolabilir. Bu işlem, en iyi bireyin kaybolmaması için hiçbir işleme tabi tutulmadan diğer jenerasyona aktarılması, böylelikle en iyi bireyin korunması amacı ile yapılır.
8. **Yeni topluluk havuzu:** Yeni oluşan bireylerin bir havuza alınması, eski bireylerin atılmasıdır.
9. **Sonuç:** Topluluktaki bireylerden birisi istenilen sonucu veriyorsa algoritmanın sona erdirilmesidir.
10. **Döngü:** 2. adıma geri dönülmesidir.

### **3. ÖRNEK ÇALIŞMA ( İAOSB İÇMESUYU DAĞITIM ŞEBEKESİ)**

İzmir'in kuzeyinde Çiğli ilçesi ile Çiğli Askeri Havaalanı arasında kalan eski Gediz Nehri Deltası'nda Ege Bölgesi Sanayi Odası (EBSO) tarafından kurulmuş olan İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB) yaklaşık 700 hektarlık bir alanı kaplamaktadır [6]. Bölgenin su gereksinimi, İZSU'nun İzmir içmesuyu gereksinimini karşılamakta yararlandığı D=2200 mm çapındaki Göksu-Muradiye ana isale hattı ile bağlantısı olan ve Menemen kuyularından derlenen suyu İzmir'e taşıyan D=1000 mm çapındaki çelik borudan

ayrılan iki ayrı hattan sağlanacaktır. Bu bağlantılardan birincisinin (901 girişi) küçük sanayi sitesindeki 2154 ve 2155 parseller arasından; ikincisinin (902 girişi) ise 2143 ada 4 no'lu parsel ile otoyol (Kuş Cenneti Yolu) arasından İAOSB'ni beslenmesi planlanmıştır. Yaklaşık 30 km (165 adet) borudan oluşan şebekeden 555 l/s debi dağıtılması planlanmıştır (Şekil 4).

901 no'lu su temin edilen bağlantının yanına 1000 mm çaplı çelik boruya bir vana konularak bu boruda arıza olsa dahi ya birinci ya da ikinci girişten su alınması sağlanacaktır. Böylece ortaya üç durum çıkmaktadır. İlki (normal durum) hem 901'den hem 902'den su alınarak şebekenin beslenmesi durumu, ikincisi yalnızca 901 no'lu girişten su alınarak tüm şebekenin beslenmesi durumu, üçüncü durum ise yalnızca 902'den tüm şebekenin beslenmesi durumudur. Ayrıca, dördüncü bir durum olarak şebeke 901 ve 902 no'lu girişlerden beslenirken 13, 14, 15, 112, 113, 115 nolu düğüm noktalarının her birinden 20 l/s'lik yangın debileri (toplam  $Q_y=120$  l/s) çekilmesidir.

Bu şebekede her besleme durumunda farklı bir debi olduğu için tasarım alışlagelen tek noktadan besleme durumuna göre çok daha karmaşıktır. Şebeke tasarımlarında bu dört durum da birlikte göz önünde bulundurulmuştur [6]. SUGANET ile çözümde küçük sanayi yerleşim bölgesindeki 19 adet boru minimum çap çıkacağı belli olduğu için optimizasyona katılmamıştır.

### 3.1. Hidrolik Esaslar

Gerçek işletme durumunda debilerin çok değişken olması, imalat ve onarım hususlarında kolaylık sağlaması dikkate alınarak dağıtım şebekesinde bazı ara çaplar terk edilerek sadece dış çapları  $D = 110, 160, 225, 280, 355, 450, 560$  mm olan HDPE 100 SDR17 PN10 borular kullanılmıştır. Şebekede, tali dağıtım borularında minimum  $D = 110$  mm, esas borularda minimum  $D = 160$  mm çap kullanılmıştır. Hesaplarda şebekede minimum 30 mss işletme basıncı olması öngörülmüştür.

Boru hidrolik hesaplarında Hazen-Williams bağıntısı ( $C = 150$  kabul edilerek) kullanılmıştır.

$$Q = V \cdot A = 0.85 \cdot C \cdot (D_{iç}/4)^{0.63} \cdot J^{0.54} \cdot (\pi D_{iç}^2/4) \quad (1)$$

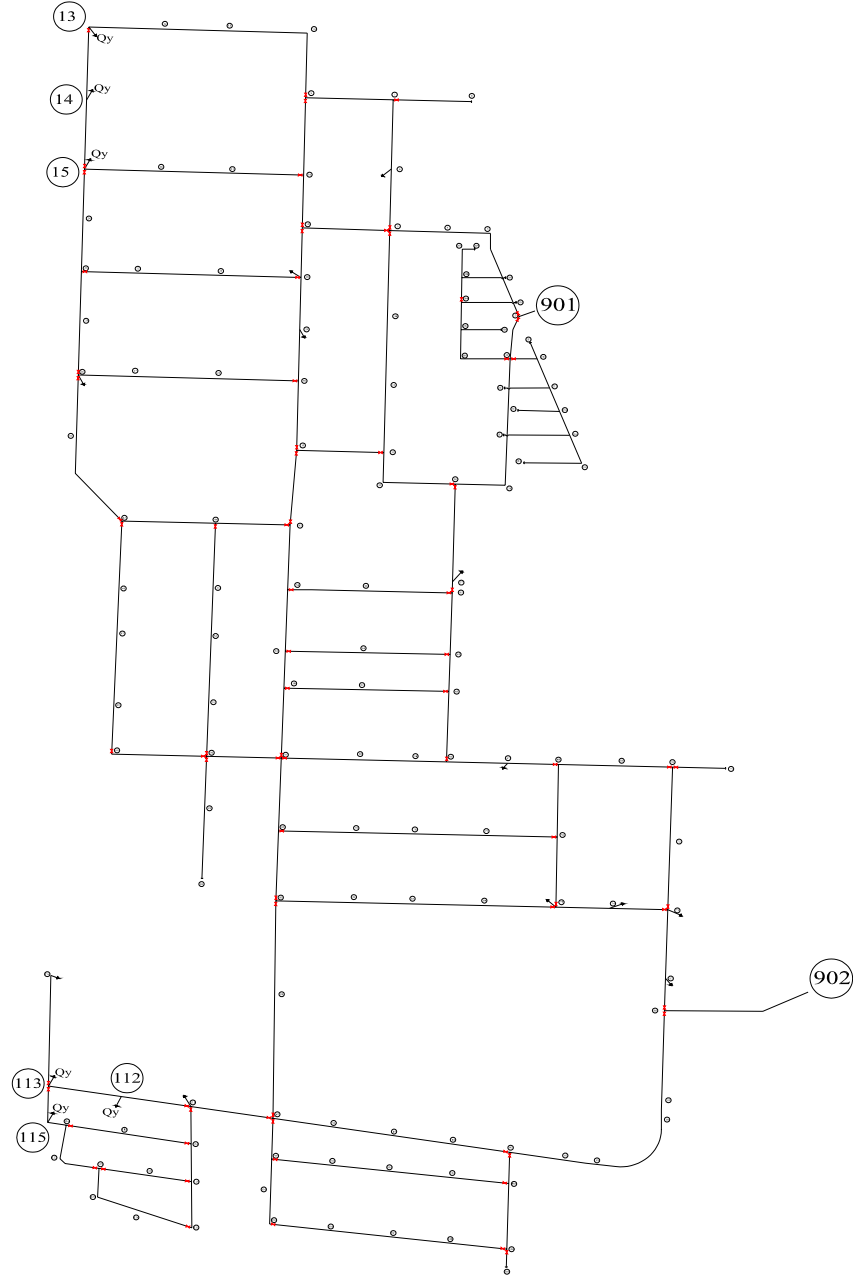
$$J = 0.13149 \cdot Q^{(1/0.54)} / D^{4.87} \quad (2)$$

Borularda normal işletme durumunda uygun hızların,  $D_{iç}$  (desimetre) iç çap olmak üzere,

$$V_{uygun}(m/sn) = 0.9 \cdot \sqrt{D_{iç}} \quad (3)$$

mertebesinde olması; girişlere su getiren İZSU hatlarından herhangi birinde arıza olması ve bu nedenle AOSB sisteminin sadece bir girişten (901 veya 902 den) beslenmesi özel durumunda oluşacak hızların ise uygun hızların 1.5 katını geçmemesi öngörülmüştür [9].

**DOHC** programı [5] Hardy-Cross'un "Önceden Kabul Edilen Debileri Düzelterek Yük Kayıplarının Dengelenmesi Yöntemi" [10] ile çözüm yapmaktadır. **SUGANET** ile hidrolik çözümler **EPANET2** programı yardımı ile yapılmaktadır. **EPANET2** programı "Gradient Methodu" ile hesap yapmaktadır [11]. Her iki çözüm yöntemi de literatürde şebekenin hidrolik davranışını en iyi şekilde temsil eden yöntemler olarak bilinmektedir.



*Şekil 4. İAOSB İçme Suyu Şebekesi Planı*



### 3.2. Maliyet Kıyaslaması

Şebeke maliyeti hesaplarında özel parçalar ve boru başlarının bağlanması işçilik bedeli (ÖP+B) olarak boru birim fiyatının (BF) %50'si alınmış; kazı ve dolgu masrafları (K+D) da eklenerek elde edilen Tablo 2'deki toplam birim fiyatlar kullanılmıştır.

Tablo 3'te DOHC ve SUGANET ile oluşturulan şebekelerin metrajları ve maliyetleri verilmiştir. Bu tablodan da görüleceği gibi, SUGANET çözümü sistem maliyetinde 36450 Euro, yani yaklaşık % 5.3 tasarruf sağlamaktadır.

Tablo 2. İAOSB projesinde kullanılan boru birim fiyatları (€/m)

Danma (mm)	D <sub>iç</sub> (mm)	D <sub>dış</sub> (mm)	BF (€/m)	ÖP+B (€/m)	K+D (€/m)	Toplam (€/m)
100 HDPE	96.8	110	3.16	1.58	4.3	9.0
150 HDPE	141.0	160	5.78	2.89	4.5	13.1
200 HDPE	198.2	225	10.70	5.35	4.9	21.0
250 HDPE	246.8	280	16.16	8.08	5.6	29.8
300 HDPE	312.8	355	25.38	12.69	6.6	44.7
400 HDPE	396.6	450	39.77	19.89	7.9	67.6
500 HDPE	493.6	560	60.58	30.29	9.6	100.5

Tablo 3. Şebeke metraj ve maliyetleri

D <sub>iç</sub> (mm)	Birim Fiyat (€/m)	DOHC L (m)	SUGANET L (m)	DOHC Tutarı (€)	SUGANET Tutarı (€)
97	9.0	7,680	8,842	69,120	79,578
141	13.1	7,127	8,558	93,364	112,110
198	21.0	5,682	5,715	119,322	120,015
247	29.8	4,398	1,772	131,060	52,806
313	44.7	765	245	34,196	10,952
397	67.6	2,926	3,446	197,798	232,950
495	100.5	470	470	47,235	47,235
Toplam		29,048	29,048	692,094	655,645

### 3.3. HİDROLİK KIYASLAMA

Aynı projelendirme kriterlerine göre iki farklı programla boyutlandırılan İAOSB şebekesinin her iki şebeke çözümü de istenen hidrolik şartları sağlamaktadır. Şebekelerin hidrolik davranışlarını daha iyi anlayabilmek ve değerlendirebilmek için düğüm noktalarındaki basınçlar ve borulardaki hızlar karşılıklı noktalanarak grafiksel biçimde karşılaştırılmıştır.

### 3.3.1. Basınç Kıyaslaması

Her iki çözüm için aynı düğüm noktalarında elde edilen basınç değerleri karşılıklı olarak noktalanmıştır (Şekil 5, 6, 7 ve 8). Bu grafiklerde yer alan noktaların şebeke üzerindeki hangi düğüm noktasına ait olduğu gözükmemektedir. Grafiklerde yatay eksenlerdeki basınçlar **DOHC** ile bulunan değerleri, düşey eksenlerdeki basınçlar ise **SUGANET** ile bulunan değerleri temsil etmektedir. Grafiklerde 45°'lik doğruların altında kalan noktalar **DOHC** değerlerinin **SUGANET** değerlerinden daha büyük olduğunu göstermektedir. Böylelikle iki farklı çözümün basınç değerleri 45°'lik doğrunun altında ya da üstünde kalan noktaların yoğunluğuna göre kolaylıkla kıyaslanabilmektedir.

Basıncın düşük olduğu noktalarda su çekiminin planlanandan daha büyük olacak şekilde değişmesinde basınçlar istenilen sınırın (30 mss) altına düşebileceği için basınç değerleri kritik olmaktadır. Bu nedenle, örneğin 30 mss'nun 10 mss üstüne kadar olan basınçların önemli olduğu düşünülmüştür. Daha büyük basınçlardaki değerlerin şebeke davranışına pek etkisi yoktur. Bu nedenle söz konusu dört grafiğe 30 mss ve 40 mss sınırları da işaretlenmiştir.

Sadece 901'den beslenme durumunda **SUGANET** ile elde edilen çözümdeki basınçlarının 0.5 - 1 mss daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5). Sadece 902'den beslenme durumu incelendiğinde **SUGANET** ile elde edilen çözümdeki basınçların belirgin bir şekilde büyük olduğu görülmektedir (Şekil 6). İki girişten birlikte su verildiğinde basınçlar 50 mss ile 65 mss arasında kaldığı için kritik bir durum oluşmamaktadır. **SUGANET** çözümündeki basınçların bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir. Yüksek basınçlarda basıncın bir miktar azalması su kaçaklarını önleme açısından olumludur (Şekil 7). Şebekeden yangın debisi (120 l/s) de çekilmesi durumunda ise **DOHC** ile elde edilen çözümdeki basınçların birkaç metre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8).

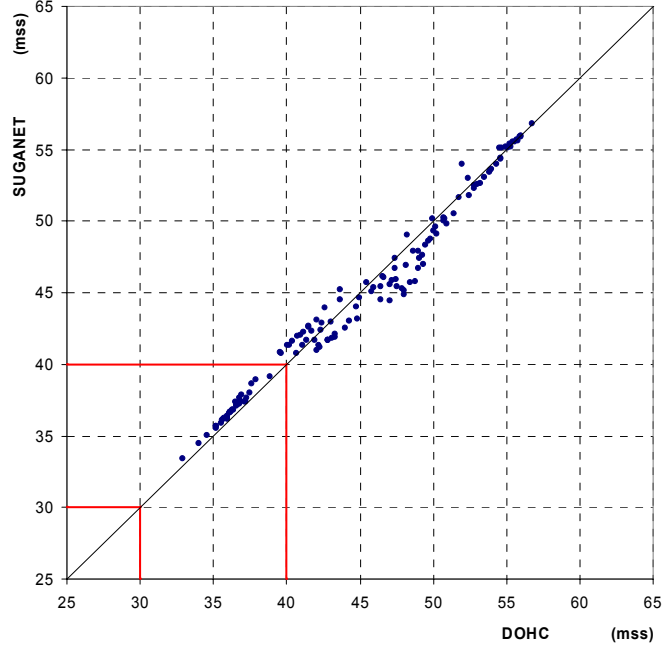
### 3.3.2. Hız-Çap İlişkisi

Şebekelerdeki borular çaplarına göre sınıflandırılıp, aynı çaptaki hızlar küçükten büyüğe doğru sıralanarak, her borunun sıralanmış hız değerleri noktalanmıştır (Şekil 9, 10, 11, 12). İçi dolu daireler **DOHC** ile elde edilen hız değerlerini, içi boş daireler ise **SUGANET** ile elde edilen hız değerlerini göstermektedir. Grafiklerden iki şebekenin işletme hızlarını görsel olarak kıyaslamak mümkündür. Bu grafiklerden her çaptan farklı sayıda kullanıldığı ve çaplar büyüdükçe hızların da büyüdüğü ve genelde 3 m/s'yi aşmadığı görülmektedir.

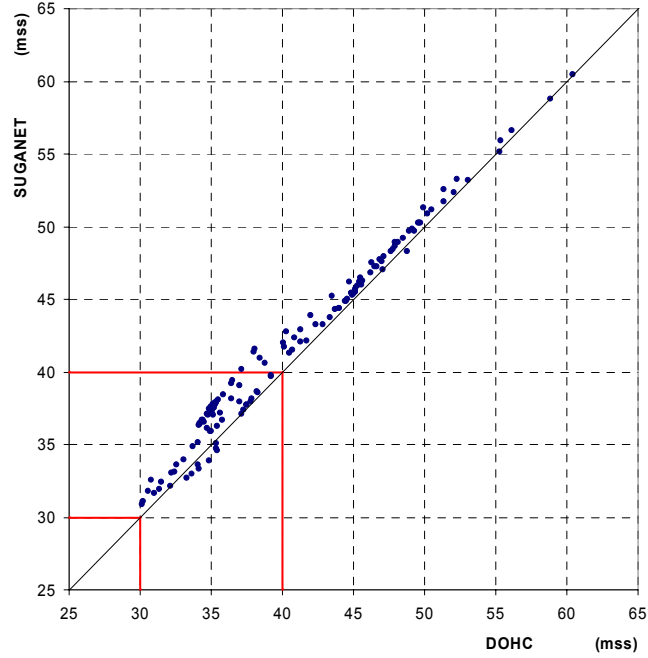
Şebeke çözümlerinin düşük işletme hızları açısından kıyaslanması amacıyla; iki hazneden beslenme şebeke çözümleri için  $D_j$  çaplı borularda 0,5 m/s'den daha düşük hızla çalışan boru sayısının ( $N_{j,0.5}$ ) aynı çapa sahip toplam boru sayısına ( $N_j$ ) oranları ( $P(V_{j,i} < 0.5 \text{ m/s})$ ) nispi frekansları da Şekil 13'te gösterilmiştir.

$$P(V_{j,i} < 0.5 \text{ m/s}) = N_{j,0.5} / N_j \quad (4)$$

Su yaşı açısından borulardaki hızların çok küçük olmaması istenir. Şartname ve yönetmeliklerde bir minimum çaptan daha küçük çap kullanımına izin verilmediği için [12] minimum çapta oluşan küçük hızları irdelemek pek anlamlı olmayacaktır. Ancak, minimum çaptan daha büyük çaplarda borularda oluşan hızların 0.5 m/s'nin üzerinde olması istenir [13]. Şekil 9, 10, 11, 12 ve 13 incelendiğinde **SUGANET** ile elde edilen çözümün bu istekte daha uygun sonuçlar verdiği görülmektedir.

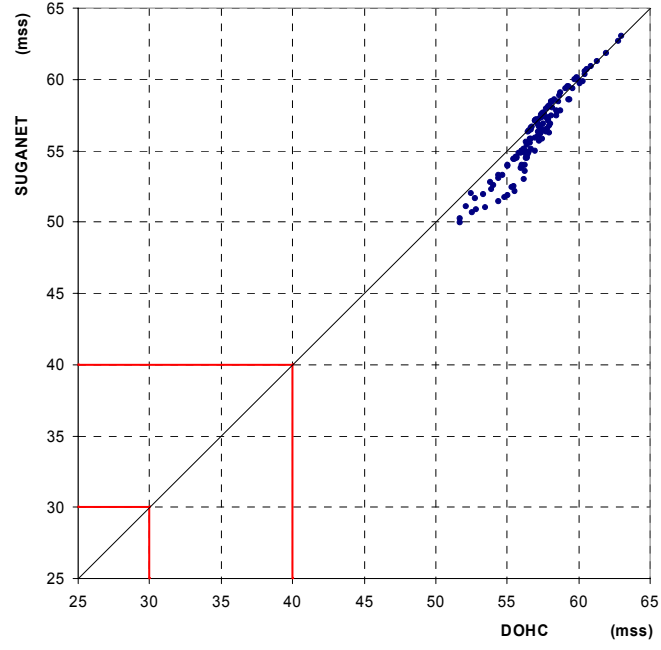


Şekil 5. Sadece 901'den besleme durumunda basınçların kıyaslanması

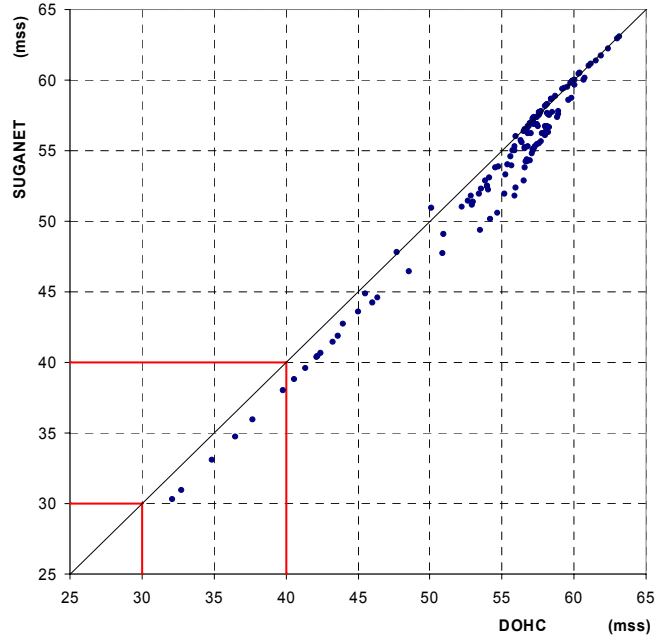


Şekil 6. Sadece 902'den besleme durumunda basınçların kıyaslanması

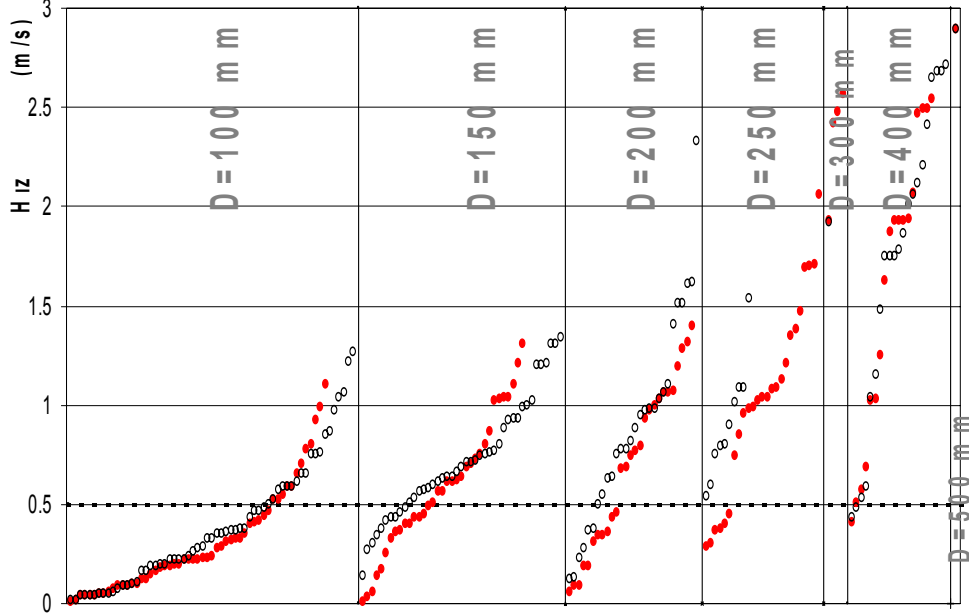
*Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu*



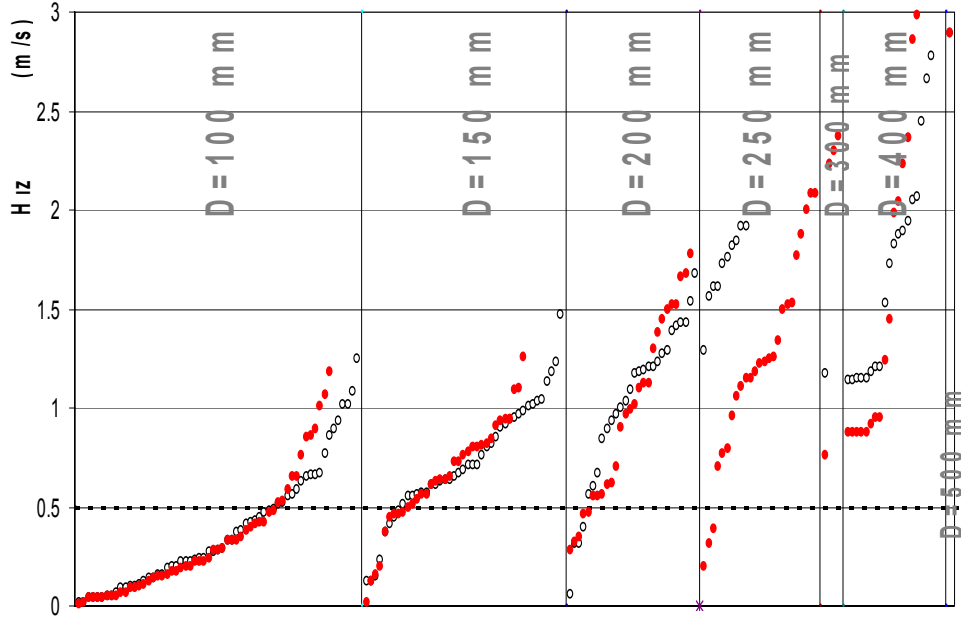
*Şekil 7. İki girişten birlikte besleme durumunda basınçların kıyaslanması*



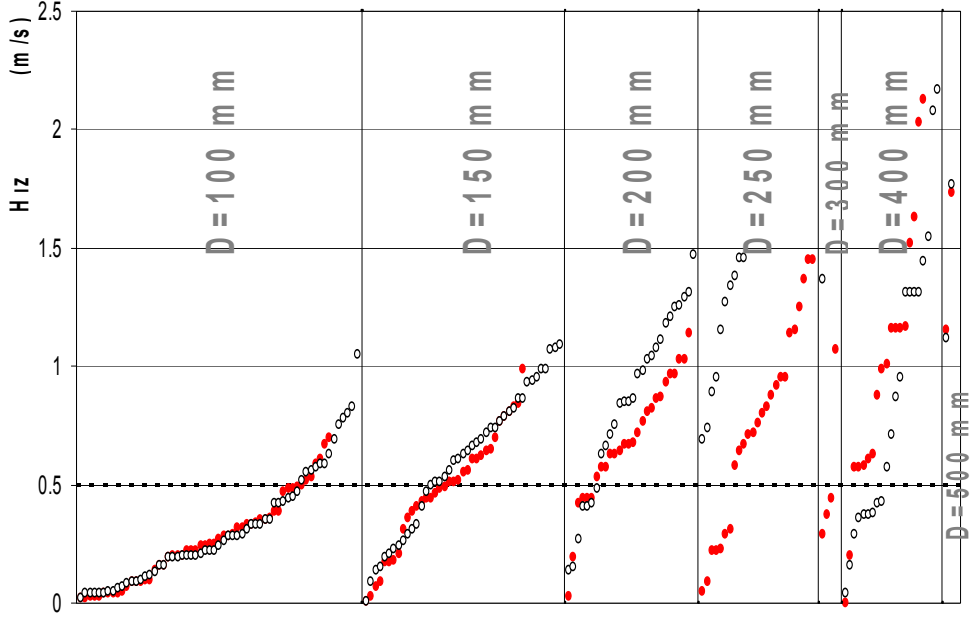
*Şekil 8. Yangın debisi çekilmesi durumunda basınçların kıyaslanması ( $Q_y=120$  L/S)*



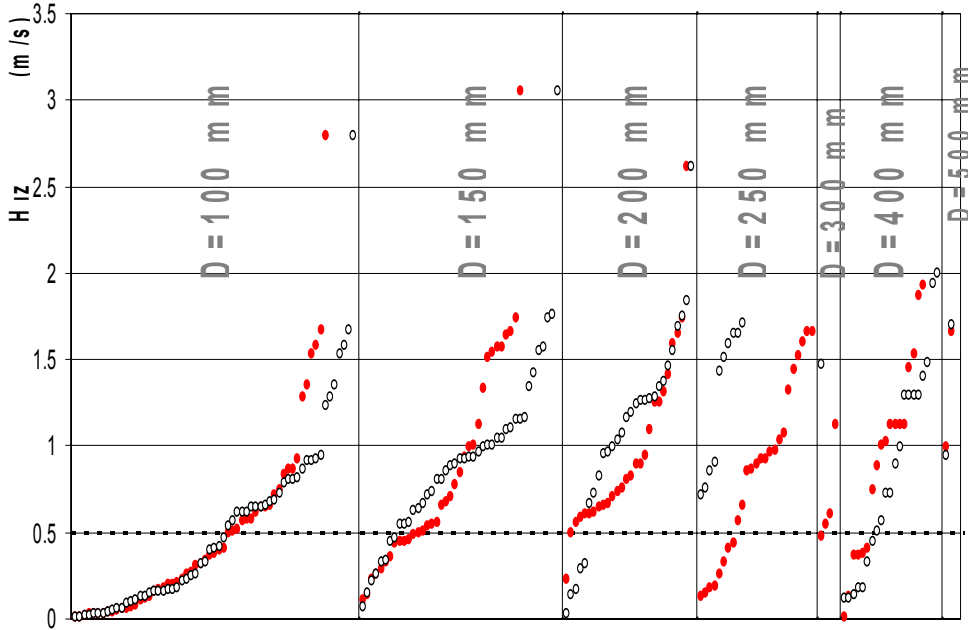
Şekil 9. Sadece 901'den besleme durumunda hız-çap ilişkisi (● DOHC ○ SUGANET)



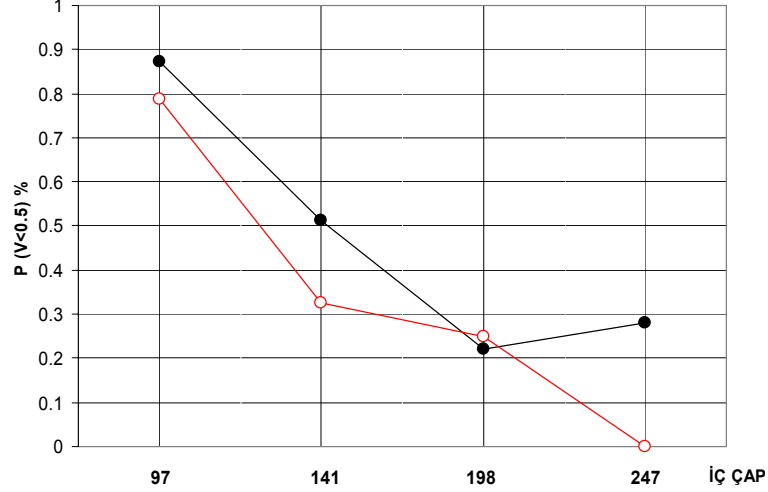
Şekil 10. Sadece 902'den besleme durumunda hız-çap ilişkisi (● DOHC ○ SUGANET)



Şekil 11. İki hazneden birlikte besleme durumunda hız-çap ilişkisi ( ● DOHC ○ SUGANET )



Şekil 12. Yangın debisi çekilmesi durumunda hız-çap ilişkisi ( ● DOHC ○ SUGANET )



Şekil 13. İki haznededen besleme durumunda 0.5 m/s'den düşük hızla çalışan boruların nispi frekansları ( ● DOHC ○ SUGANET )

#### 4. SONUÇLAR

Ağ şebeke çözümlerinde doğrusal olmayan denklemler içeren hidrolik hesaplamalar, şebekedeki boru sayısının ve çap seçeneklerinin fazla olması vb. faktörler şebeke sistemlerinin tasarlanmasını karmaşık bir hale getirmektedir. Sayısız denilebilecek şebeke çözüm uzayından optimum sonuca yaklaşmak kolay değildir. Bu konuda en deneyimli mühendisler bile global optimum sonucu garanti edemezler. Daha büyük ve daha kompleks Büyükşehir şebeke sistemleri düşünüldüğünde güvenilir optimal şebeke çözümleri sayesinde çok daha fazla maliyet ve işletme avantajları elde edilebileceği açıktır.

Deneme yanılmalarla hidrolik koşulları sağlayan daha ekonomik çözümü arayan mühendis her çözüm sonunda şebeke çözümünü incelemekle uğraşmaktadır. SUGANET'de bu işlemler program tarafından yapıldığı için aylar süren bir proje çalışması SUGANET ile bir kaç gün içerisinde sonuçlandırılabilmiştir. Deneyimli mühendislerin DOHC programı yardımıyla hesaplamış olduğu İAOSB şebekesinde bile SUGANET çözümü ile istenen hidrolik şartlar sağlanarak %5.3'lük bir maliyet avantajı elde edilmiştir. Bu avantaj proje yapım bedelinin kat ve kat üzerindedir.

İki çözüm hidrolik açıdan incelendiğinde SUGANET ile elde edilen şebekenin DOHC ile çözülen şebekeye oranla hidrolik açıdan da daha iyi olduğu görülmüştür. Basınç açısından kıyaslama yaparken 30 mss ile 40 mss arasında kalan kritik basınçlar karşılaştırıldığında, yangın debisi çekilmesi özel durumu hariç, diğer hidrolik konumlarda SUGANET ile elde edilen şebekenin daha iyi olduğu görülmektedir. Normal durumda (iki girişten birlikte besleme) SUGANET ile elde edilen basınçların biraz daha düşük olduğu görülmekte ise de bu durum su kaçaklarının önlenmesi açısından olumludur. Yine hız-çap ilişkisi grafikleri incelendiğinde, minimum çaptan daha büyük çaplı borularda hızın 0.5 m/s'nin üstünde olması koşulunu daha çok SUGANET ile elde edilen şebekenin sağladığı görülmektedir.

## *Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu*

Buradan, optimizasyonla elde edilen şebekelerin mali açıdan daha ucuz olmasının yanısıra hidrolik açıdan da daha iyi olabildiği ve optimizasyonun gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Pompa, vana gibi ekipmanların da bulunduğu daha kompleks sistemler de GA'larla kolaylıkla çözülebilmektedir. Problemin karmaşıklığı deneyimli mühendise güçlük çıkartmasına rağmen bu durum GA'lar için fazla önem taşımamaktadır. Bu nedenle, şebeke ve hidrolik koşullar karmaşıklaştıkça GA ile optimizasyon yapmanın avantajları daha da belirginleşmektedir.

### **SEMBOLLER LİSTESİ**

A	: Islak alan
C	: Hazen-Williams pürüzlülük sabiti
$D_{iç}$	: Boru iç çapı
J	: Enerji çizgisi eğimi
$N_j$	: Aynı çapa sahip toplam boru sayısı
$N_{j,0.5}$	: 0.5 m/s'den daha düşük hızla çalışan boru sayısı
$P(V_{j,i} < 0.5 \text{ m/s})$	: Nispi frekans
Q	: Debi
V	: Hız

### **Kaynaklar**

- [1] Kahraman, A. M., Özdağlar, D., Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:6, Sayı:3, S. 1-18, 2004.
- [2] Simpson, A. R., Optimization of design of water distribution systems using genetic algorithms. Slovenian Society of Hydraulic Research, Seminar Series, Vol.1, Ljubljana, Slovenia, 10pp. 2000.
- [3] The Optimatics Letter, Issue No:12, Advances in Optimization for Water Distribution System Design & Operations. April-June, 2001.
- [4] Yerelnet.org.tr/su/kentselsuatiksu.php
- [5] Özdağlar, D., İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinin Ölü noktalar ve Hardy-Cross Yöntemleriyle Boyutlandırılmasında Bilgisayar Kullanımı. EÜ İnşaat Fakültesi Çevre Müh. Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, No:6, İzmir, 1979.
- [6] SUMER, İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi Su Dağıtım Projesi. DEÜ Su Kaynakları Yönetimi ve Su Kaynaklı Doğal Afetlerin Kontrolü Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, 2001.
- [7] Kahraman, A. M. Optimal design and expansion of water distribution systems using genetic algorithm. DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL-P1608, 2003.
- [8] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Addison Wesley, MA, USA, 1989.
- [9] Altınbilek, D., Sevük, S., Su Dağıtım Şebekeleri Projelendirme ve Bilgisayarla Çözüm Esasları. ODTÜ, Müh. Fak. Yayınları, No:56, Ankara, 1977.
- [10] Fair, G. M., Geyer, J. C. ve Okun, D. A., Water and Wastewater Engineering” Volume 1 Water Supply and Wastewater Removal. Wiley, New York, 1966.



*Davut ÖZDAĞLAR, Ertuğrul BENZEDEN, A. Murat KAHRAMAN*

- [11] Rossman, L. A., EPANET2 Users Manual”, Cincinnati, OH:National Risk Management Research Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency, p. 192, 2000.
- [12] İller Bankası, Şehir ve Kasabalara Getirilecek İçme Suyu Projelerinin Hazırlanmasına Ait Talimatname III. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara, 1994.
- [13] Walski T., Chase D. V., Savic D., Grayman W. M., Beckwith S., Koelle E., Advanced Water Distribution Modeling And Management. Haestad Press, Waterbury, CT, USA, 2003.