

RASSAL ARAMA İLE DAĞITIM MANİFOLDU TASARIMI

ÖZET

Bu makale, manifold yapısındaki su dağıtım sistemlerinin tasarımını ele almaktadır. Bu sistemlere yapılan yatırımın teknik ve ekonomik başarısı büyük ölçüde, tasarımdaki ve özellikle de boruların ölçülendirilmesindeki beceriye bağlıdır. Oysa tasarım çoğunlukla deneme-yanılma yöntemiyle yapıldığından herhangi bir olurlu çözümün bulunması ile tasarım evresi sona erdirilmekte, yatırım ve buna bağlı olarak da bakım ve işletme masraflarını düşürme fırsatı kaçırılmaktadır.

Bu çalışmada kent, tarım ve sanayi tesisleri ile bazı ürünlerin alt yapısını oluşturan boru sistemlerinin yaygın bir türü ele alınmakta, bu tür sistemlerin ölçülendirilmesinde yararlanılacak bir sezgisel yordamla iki arama yöntemi sunulmakta. Sonra da bir örnek aracılığı ile bunların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Su dağıtım sistemleri, arama yöntemleri, rassal arama*

ABSTRACT

Manifold Design by Random Search

This paper deals with manifold structured water distribution systems. Economical and technical performances of such investments are mainly based on dimensioning skills of the designers. However, design phase is broken after finding any feasible solution by using a trial and error method. Thus, the opportunity to reduce the investment, maintenance, and operation costs is missed.

A common type of such systems, which constitutes the infrastructure of urban, irrigation or industrial piping complexes, is dealt by this study. Then a heuristic and two random search methods are proposed to ease the dimensioning of such systems. At last, these methods are compared and discussed by making use of a numerical example.

Keywords: *Water distribution systems, search methods, random search*

1. GİRİŞ

Borular, depolar, pompalar, bağlantı elemanları, vanalar, su kaynakları ve tüketim noktalarından oluşan su dağıtım sistemleri, hem günlük yaşam, hem tarım, hem de sanayi için vazgeçilmez donanımlardandır. Bu tür tesisat, binaların ısıtma-havalandırma sistemleri yanında, motorların soğutma, yağlama emme ve egzoz sistemlerinde, çeşitli ürün ve tesislerin yapılarında da yer alır. Bu sistemlerin tasarımında akışkanlar mekaniği ve hidrolik ilkeleri yanında talep analizi, zamanlama, dinamik etkiler, güvenilirlik, kalite, kayıplar, maliyetler, kullanılabilir malzeme ve uygulanabilir yöntemler de dikkate alınmaktadır. Uzunluğu kilometreleri bulan boru sistemleri, çok büyük yatırım ve çok yüksek işletme maliyetleri demektir. Bunların tasarım, planlama ve yönetimindeki hatalar, muazzam mali kayıplara yol açabilmektedir. Araştırmalar, iyi bir tasarımla maliyetlerde %10'ları geçen tasarruf sağlanabildiğini göstermektedir (Ababe ve Solomonite, 1998; Liong ve Atiqzaman, 2004). Bu da özellikle kaynak sıkıntısı çeken ülkeler için göz ardı edilemeyecek bir miktardır.

Su şebekesinin belirli noktalarında yeterli basınç ve debinin sağlanması, dağıtım sistemlerinin tasarımında temel düşünce olmaktadır (Eiger vd., 1994). Ancak, debi ve basınç arasındaki karmaşık ilişkiler, boru çapları gibi kesikli değişkenler, süreksizlikler doğrusallığı bozarak en iyi çözümün bulunmasını pratik olarak imkansızlaştırmaktadır. Bu da araştırmacıları deterministik yöntemler yerine rassal eniyileme tekniklerine yönlendirmektedir (Cunha vd., 1999). Liong ve Atiqzaman (2004), bu problemlerin çözümünde araştırmacıların doğrusal programlama gibi deterministik tekniklerden sonra, Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi gibi doğayı taklit eden yaklaşımları da yoğun olarak kullanmaya başladıklarını belirtmektedir.

Tasarımcılar arasında, optimum (en iyi) teriminin de çok zaman hatalı olarak kullanıldığına dikkat edilmelidir. Su dağıtım sisteminin tasarımında istenen noktalarda istenen basınç ve debileri sağlayan bir tasarım "olurlu" bir çözümdür. Bunun gibi yüzlerce olurlu çözüm daha bulunabilir. Her olurlu çözümün belli bir maliyeti vardır. Amaç maliyeti en küçükmek olduğunda, olurlu çözümler arasından en düşük maliyetli olanı belirlemek gerekir. "Eniyileme" (optimizasyon) gerçekte bu çalışmadır. Maliyet fonksiyonu yazılabilse, bunun türevinden yararlanarak en iyi nokta bulunabilir. Ancak gerçek hayat problemleri, buradaki debi ve basınçların sağlanması gibi bazı kısıtları içerir. Bu yüzden maliyet fonksiyonu yazılabilse ve türevi alınabilse bile eniyi sonuç, uygun çözüm alanının dışında çıkabilir. İdeal çözüm olarak adlandırılan bu çözümler, en küçük maliyeti verseler bile gerçekçi değildirler. Bu tür kısıtlı problemlerin çözümü, Doğrusal Programlama gibi daha karmaşık tekniklerin kullanılmasını gerektirir. Tasarımcı deneme-yanılma yöntemini, sezgilerini ve deneyimini kullanarak olurlu bir çözüm bulmakta fazla zorlanmazsa da, bunun en iyi çözüm olduğundan emin olamaz. Diğer taraftan Doğrusal Programlama, Tamsayılı Programlama gibi standartlaşmış yöntemler, büyük problemlerin çözümünde yetersiz

Makale

kalmaktadır. Yapay Zekaya dayanan yöntemler ise problem bağımlıdır. Ayrıca, tasarımcının genelde bunları öğrenecek ve elindeki probleme uyarlayacak ne vakti ne de imkanı vardır.

Bilgisayarların hızı ve işlem gücünden yararlanan rassal arama yöntemleri bu noktada, kullanımı kolay, etkin, verimli ve hızlı araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Boru seçimine ağırlık veren bu çalışmada, “sistemdeki hangi borunun çapı ne olsun ki, hem istenen debi ve basınç değerleri sağlansın, hem de yatırım maliyeti elden geldiğince düşük tutulsun” sorusunun karşılığı aranmaktadır. İzleyen bölümde, boru şebekelerinin çok sık karşılaşılan ve bu çalışmanın konusunu oluşturan özel bir şekli (manifold tipi) ile bununla ilgili parametreler ve hesap esasları ele alınmakta; üçüncü bölümde bu sistemlerin tasarımı için önerilen sezgisel bir çözüm ile iki rassal arama tekniği tanıtılmakta; dördüncü bölümde bu çözüm yaklaşımları sayısal bir örnek kullanarak karşılaştırılmakta, son bölümde de çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar tartışılıp gelecekte bu alanda yapılabilecek çalışmalara yol gösterilmektedir.

2. Manifold Tipi Boru Sistemleri ve Analizi

Düğüm ve bunları birleştiren ayrıtlardan oluşan serim yapıları, su şebekelerinin gösterimi için de uygun bir araç olmaktadır. Şekil 1’de böyle bir şebeke görülmektedir. Harflerle gösterilen düğümler, tüketim noktalarına (negatif debiler için de suyun sisteme girdiği kaynaklara), numaralanmış ayrıtlar ise, bu noktaları birleştiren borulara karşı gelmektedir. Düğümlerin debi (birim zamanda giren veya çıkan su miktarı), basınç ve yükseklik (kot); ayrıtların da çap, pürüzlülük ve sürtünme kaybı özellikleri vardır. Akış varsa, boru boyunca basınç değişkendir. Boruda sızıntı olmadığı varsayılmaktadır. İki düğüm arasında çap değişikliği düşünülüyorsa, araya debisi sıfır olan bir boş düğüm konularak bu istek sağlanabilir. Düz bir ovadaki sulama sisteminde olduğu gibi, düğümlerin yükseklikleri eşit alınabilir. Modeli basitleştirmek için, düğümlere su girişinin su seviyesi değişmeyen depolarından yapıldığı düşünülebilir.

[Şekil 1’i yaklaşık olarak buraya yerleştirin]

Şekil 1’deki serimin A noktasından beslendiği düşünülse, örneğin K noktasına hem J, hem de B noktaları üzerinden su gidebilecektir. Hangi koldan ne kadar su gideceği yerel koşullara bağlıdır. Bir noktaya birden fazla yolla su verilmesi, güvenilirlik açısından yararlıdır (yolun birinde arıza olsa, diğeri kullanılabilir). Ancak gereğinden fazla boru kullanmak maliyet açısından sakıncalıdır. Ayrıca, şebekede oluşan A-J-B-A benzeri devreler, suyun geri kaçmasına da neden olabilir. Örneğin B’de basıncın düşük olması, K’ya J, L veya D’den gelecek suların da B’ye çekilmesi ve K’ya yeterince su gelmemesi sonucunu verebilir. Manifold yapısındaki boru donanımlarında ise bu sorunlar yoktur. Şekil 1’de 1,14,17,15,16 ve 6 hatlarındaki debilerin sıfır olması halinde, böyle bir durum ortaya çıkar. Topolojideki serimler su sistemlerindeki şebekelere karşı geldiği gibi, ağaç yapıları da manifoldlara karşı gelir. Yukarıda belirtilen boruların tıkanmasıyla, serimdeki devreler budanmış, serim bir ağaç yapısına, şebeke de bir manifolda dönüşmüştür.

Manifold teriminde çokluluk anlamı vardır. Motorların emme veya egzoz manifoldları da birden fazla girişi veya çıkışı olan ve bu giriş-çıkış noktaları arasında çapı değişen borulardır. Kanazaki vd. (2004) bu parçaların tasarımını çok ölçütlü bir eniyileme problemi olarak ele almakta ve arama teknikleriyle çözmeye çalışmaktadır. Ağaçların köklerine su veren “damlama ile sulama” sistemleri de yine manifold yapısındadır (Herrera ve Sammis, 2004). Sadeliği, yaygınlığı ve ekonomikliği dolayısıyla bu çalışma da manifold tipi dağıtım sistemlerini ele almaktadır.

Buradaki “su dağıtım manifoldu” veya kısaca “manifold” teriminden, seri olarak bağlanmış bulunan bir dizi boru anlaşılmalıdır. Bu diziyi oluşturan farklı çaptaki borular, çap düşürülmesini sağlayan boru bağlantı elemanları (redüksiyon) ile birleştirilmişlerdir. Her redüksiyonu da bir T bağlantısı izlemektedir. Bu T bağlantıları, ana hattan ayrılan dalları (branşman) beslemektedir.

Su şebekelerinin analizi, elektrik devrelerindeki benzer şekilde iki temel kanuna dayanmaktadır:

- 1) Bir düğüme giren ve çıkan akışkanların debilerinin cebirsel toplamı sıfırdır.
- 2) Bir çevrim üzerinde basınç artışı ve düşüşlerinin cebirsel toplamı sıfırdır.

Uygulamada, bu kanunları kullanan gevşetme yaklaşımlarından yararlanılmaktadır (Cross ve Hardy, 1936). Bir başka deyişle, elden geldiğince ince borulardan başlayarak borular sırayla atanmakta, istenen kısıtlar sağlanmıyorsa, geriye dönüp seçilmiş olan boruyu bir kalını ile değiştirme yoluna gidilmektedir. İzleyen bölümde, bu sezgisel yaklaşım daha biçimsel olarak tanıtılacaktır. Şekil 2, bir manifold yapısını şematik olarak

Makale

göstermektedir. Bu sistemler de yine yukarıdaki temel kanunlara tabidir. Ancak devre içermedikleri için, bunlarla ilgili problemlerin çözümü daha kolaydır.

[Şekil 2'yi yaklaşık olarak buraya yerleştirin]

Boru içindeki akış sürtünmeye, sürtünme basınç kaybına, bu kayıp ta borunun iki ucu arasındaki basınçın farklı olmasına yol açmaktadır Sürtünmedeki kayıp (H) genelde, a, b ve c boya, pürüzlülüğe, debiye bağlı sabitler olmak üzere:

$$H=a Q^b /D^c \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir (Ababe ve Solomonite , 1998). Özerengin (1972) ve Schroeder (2001) bu parametreleri ve eşitliğin çeşitli versiyonlarını ayrıntılı bir şekilde tartışmaktadır. Bu çalışmada da, Amerika'da yaygın olarak kullanıldığı bilinen ve normal şartlarda şehir suyu için geçerli olan Williams-Hazen formülü, sadeliği dolayısıyla tercih edilmiştir. Bu eşitlik, L borunun boyu, v akışın hızı, D çap, k ve C de sabit sayılar iken:

$$H=L [v (4/D)^{0.63} / (k C)]^{1/0.54} \quad (2)$$

şeklini almaktadır. K sabiti SI sisteminde 0.85 dir. C sabiti de temiz çelik borular için 140 olarak alınmıştır. Çap, debi, kesit alanı ve hız arasındaki ilişkiler de

$$A=\pi D^2 / 4 \quad (3) \text{ ve}$$

$$v=Q/A \quad (4)$$

formülleriyle belirlenmektedir.

3. Arama Yöntemleri ve Ölçülendirme

Şekil 2'de görülen sistem, seri olarak bağlanmış 5 borudan oluşmaktadır. Kullanılacak boru çapları için ½", ¾", 1"... gibi on ayrı seçenek olsa, herhangi bir beş basamaklı sayı, örneğin 12329 bir çözüm seçeneğine karşı gelir. Bu bir numaralı borunun birinci türden (½"), iki ve dört numaraların ikinci türden (¾")... olacağını gösterir. Bu durumda 10⁵=100000 olası çözüm vardır. Bu çözümlerin oluşturduğu küme, "çözüm uzayı" olarak adlandırılmaktadır. Ancak çözüm uzayındaki elemanların önemli bir kısmı olur (fizibil) değildir (Ya hızlar çok yüksektir ya da basınç izin verilen değerlerin dışındadır). Bu hesapta kullanılacak sayı sistemi, seçenek sayısına bağlıdır. Örneğin yedi çeşit boru kullanılması halinde onlu sistemin yerini yedili sitem alır ve seçenek sayısı 7⁵= 16807 olur. Tüm seçenekler araştırıldığında bunların ancak binde birinden daha azının olur olduğu görülmektedir. Boruların türleri, uzunlukları ve birim fiyatları bilindiğinde, toplam maliyet bulunur. Olurlu seçeneklerin her birinin ayrı bir maliyeti vardır. Bu seçeneklerden birinin maliyeti, diğerlerinin hepsinden daha küçüktür. Eniyileme problemi, olurlu çözümler arasından bu en düşük maliyetli olanı bulup çıkarmaktır.

Gerçek hayat problemlerinde çözüm uzayı baş edilemeyecek kadar büyüktür. Örneğin Ababe ve Solomonite (1998), Hanoi kentinin su şebekesinde 34 ana boru ile 14 boru ölçüsünden söz etmektedir. Bu durumda 14³⁴ ≈ 9.3(10)³⁸ çözüm söz konusudur ve bunların tek tek incelenmesi de mümkün değildir. Bu tür eşleştirme problemlerinin güçlüğü de "kombinatorik patlama" denen bu durumdan kaynaklanmaktadır. Tasarımcılar genelde birkaç olurlu seçenek türetip, bunların en iyisini seçmekle yetinirler, astronomik sayılara ulaşan diğer seçeneklerle hiçbir şekilde ilgilenmezler. İzleyen paragraflarda önce geleneksel yaklaşıma, sonra da rassal aramaya dayanan yöntemler önerilecek, daha sonraki bölümde de bunların bir karşılaştırılması yapılacaktır.

3.1. Kurma esaslı bir sezgisel yaklaşım

Tasarım, gerçekte problemi tekrar tekrar çözmeyi, defalarca en başa dönmeyi gerektiren karmaşık bir süreçtir. Ancak çözümde belli işlem adımlarının (algoritmanın) izlenmesi, tasarımcıya büyük kolaylık getirir. Bunun için de nereden başlanacağını, hangi adımların izleneceğinin, farklı durumlarla karşılaşıncı ne yapılacağını, çalışmanın ne zaman sona erdirileceğinin belirlenmesi gerekir. Manifold yapısı, sistemin bir ucundan başlayıp, her boru için benzer işlemleri yaptıktan sonra sonuca ulaşma imkanı sağlamaktadır. Boru sisteminin sonundan başlayan ve önceki bölümde sözü edilen "gevşetme" yönteminin biçimsel bir açıklaması aşağıda verilmektedir. Yöntem, "her adımda mümkün olan en ince boruyu seçin" sezgisel kuralına dayanmaktadır. Buradaki gevşetme terimi, kural en sıkı şekilde uygulandıktan sonra, kısıtların zorlandığı görülürse, taviz vererek bir üst sıradaki borunun seçimine razı olmak anlamındadır. Önerilen algoritma şu şekilde verilebilir:

İlk Değerleri VER;
TEKRARLA i:=i+1;

Makale

TEKRARLA $j:=j+1$;
Hız ve basıncı hesapla;
 $v < \text{Enb } v$ ve $P > \text{Enk } P$ ve $P < \text{Enb } P$ OLUNCAYA KADAR;
 $i = \text{boru_sayısı}$ OLUNCAYA KADAR

i borulara Şekil 2’de verilen numaraları, j de boru türleri listesindeki sıra numarasını göstermektedir (en başta en ince boru). i ve j değerleri başlangıçta sıfırdır. İlk değerler, sistemdeki boru sayısı, debiler, izin verilen değerler ve Formül 2’de kullanılan katsayılar gibi sabitlerdir. İzin verilen değerler en büyük hız (Enb v), en küçük basınç (Enk P) ve en büyük basınç (Enb P) dir. Aşırı hızlar dinamik problemlere yol açar, düşük basınç kullanıcının beklentilerini karşılamaz, yüksek basınç da boruyu patlatır. Hız hesabı, 3 ve 4 numaralı formüllerle yapılır. Bu formüllerin kullanımı için gerekli olan debi, ikinci kesimde sözü edilen birinci kanunun manifolda uyarlanması olarak tüketim noktalarındaki debilerin birikimli toplamına eşittir. Diğer yandan A noktasındaki basınç, $P_A = \text{Enk } P$ olmalıdır. 1 numaralı borudaki sürtünme kaybı H_1 , 2 numaralı formülle bulunur. B noktasındaki basınç da $P_B = P_A + H_1$ olur. Bu da ikinci kanunun manifolda uyarlanmasıdır. Borular yeterince uzun olacağından, dallanma ve kesit değişimlerinde yerel kayıplar ihmal edilmektedir. i. konum için seçilmiş olan boru (listenin j. sırasındaki) hız ve basınç kısıtlarını sağlamıyorsa, listenin bir sonraki sırasında olan boru denenir. Algoritmadaki iç döngü, gerektiğinde bu değişimi gerçekleştirmektedir. Kısıtları sağlamayan borunun yerine çapı daha büyük bir borunun denenmesiyle, hız ve basınç değerleri daha elverişli hale gelir (çözüm gevşetilmiş olur). Boru çapları büyüdükçe birim fiyatların da artması yüzünden, her gevşetme işlemi, maliyetin bir miktar yükselmesi demektir. Bu nedenle gevşetmeye ancak zorunlu oldukça tedricen izin verilir. Bu işlem ve kontroller tüm borular için tekrarlanır. Algoritmanın dış döngüsü, sistemdeki boruların sırayla belirlenmesini sağlar. Uygulamada kullanılan geleneksel yaklaşım da fazla biçimsel olmasa bile genelde burada verilen algoritmanın adımlarına uymaktadır. Bu algoritma, eldeki bir çözümü iyileştirmeye yönelik olmadığı için de “kurma esaslı” olarak nitelendirilebilir.

3.2. Manifold tasarımında rassal arama yöntemi

Maliyet ve dayanımların doğrusal olmaması (çapla orantılı değil), problemi çok karmaşık bir hale getirmektedir. Yukarıda verilen algoritma ayrıca “aç gözlüdür”, ileride neyle karşılaşılabileceğini dikkate almaksızın o adım için en iyi olan çözüme yönelir. Başlangıçta taviz vermemek de daha sonraki adımlarda kayıplara yol açabilir. Kısacası geleneksel yaklaşım daha iyi çözümleri yakalayabilecek derecede esnek değildir.

Bilgisayarların aritmetik işlem gücü ve hızı dikkate alındığında ise daha esnek bir yaklaşım gündeme gelmektedir. Bu yaklaşım, kısaca “rast gele bir çözüm türet, olurlu ise maliyetini hesapla, maliyet bilinen en iyi çözümün maliyetinden düşükse, bu çözümü en iyi çözüm olarak kaydet” düşüncesine dayanmaktadır. “Rassal arama” olarak adlandırılan bu yöntem, makul sayıda rassal çözüm üreterek en iyi çözümü veya buna çok yakın bir başka çözümü bulabilmektedir. Uygulamada bu yapıdaki yöntemlerin, basitliğine karşın çok güçlü olduğu görülmüştür. Bu çalışmada önerilen böyle bir algoritma aşağıda verilmektedir:

İlk Değerleri VER;
TEKRARLA $k:=k+1$;
Bir rassal çözüm türet;
 $i:=0$;
TEKRARLA $i:=i+1$;
Hız ve basıncı hesapla;
EĞER $v > \text{Enb } v$ veya $P < \text{Enk } P$ veya $P > \text{Enb } P$ İSE ÇIK;
 $i = \text{boru_sayısı}$ OLUNCAYA KADAR
EĞER $\text{Mal} < \text{Enk } \text{Mal}$ İSE $\text{Enk } \text{Mal} = \text{Mal}$ ve $\text{En iyi Çözüm} = \text{Son Çözüm}$;
 $k = \text{yeterli_tekrar_sayısı}$ OLUNCAYA KADAR;

İlk değerler bir önceki algoritmadakinin aynıdır. Ancak ek olarak, türetilen seçeneklerin indisi k da sıfırlanmaktadır. Rassal çözüm türetme adımında, sistemdeki boru sayısı kadar rassal sayı türetilmektedir. Düzgün dağılıma göre türetilen rassal sayılar bir ile “boru çeşidi sayısı” arasında bir değere sahip olacaktır. Bu rassal sayıların oluşturduğu dizi, bir çözüm seçeneğine karşı gelmektedir. İçteki döngü, önceki algoritmanın kullandığı yöntemle olurluğu kontrol etmektedir. Burada herhangi bir boru istenen kısıtları sağlamıyorsa, hemen döngülerin dışına çıkılır, yeni bir çözüm türetilir (eşitsizlik işaretlerinin yön değiştirdiğine ve mantık işlemi ve’lerin veya’ya dönüştüğüne dikkat edin). İç döngünün dışına normal çıkış, çözümün olurlu olduğu anlamına gelmektedir. Bu olurlu çözümün eldeki en iyi çözümden daha iyi olup olmadığına bakılır. Sonuç olumlu ise, son çözüm, en iyi çözüm olarak tutulur. Yeterli görülen sayıda seçenek türetildikten sonra algoritma durur.

3.3. Arama yönteminin geliştirilmiş şekli

Yukarıda önerilen algoritma, geleneksel yaklaşımla bulunan çözümden daha iyilerini de türetebilmiştir. Ancak geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında burada birçok gereksiz işlemin de yapıldığı görülmektedir. Geleneksel yaklaşım küçük borulardan başladığı için, manifoldun çıkış ucunda (A noktasında) büyük boruları gereksiz yere

denememektedir. Benzer şekilde, besleme ucu (F noktası) tarafı da küçük çaplı borular için uygun değildir. Rassal arama yöntemi, geleneksel yaklaşıma bir esneklik getirmekle beraber, onun zayıf seçeneklerden kaçınma üstünlüğüne sahip değildir. Her iki yaklaşımın iyi yönlerini birleştirmek amacıyla, burada “geliştirilmiş arama yöntemi” olarak adlandırılacak bir üçüncü yaklaşım daha tasarlanmıştır.

Bu son yaklaşımın öncekinden farkı, “manifoldun sonuna (A ucuna) yakın yerlerde ince, ortalarında orta ölçüde, diğer ucunda da büyük çaplı borular kullan” şeklinde bir sezgisel kurala dayanmasıdır (Besleme ucuna doğru gittikçe debiler artacağı için çapların da büyümesi yararlı olur). Kesim 3.2’de önerilen algoritma ile buradaki algoritma arasındaki tek fark, “rassal çözüm türetme” adımıdır. Önceki algoritmada, her on konum için de bir ile yedi arasında düzgün dağılmış bir rassal sayı atanmaktaydı. Algoritmanın bu geliştirilmiş şeklinde ise manifoldun baş, orta ve son bölgelerinden oluştuğu; boruların ise ince, orta ve kalın şeklinde sınıflandırılabilmesi düşünülmüştür. On borudan oluşan bir manifoldun, 1 ila 3 numaralı boruları baş, 4 ila 7 numaralıları orta, 8 ila 10 numaralıları da son olarak adlandırılmıştır. Benzer şekilde artan çap sırasında dizilmiş yedi boru türünden ilk dördü (½”, ¾”, 1” ve 1¼ çaplarındakiler) ince, 3 ila 6. sıradakiler orta, 5 ila 7. sıradakiler de kalın olarak nitelendirilmiştir. Buradaki girişimin, örneğin üçüncü ve dördüncü tip olan 1” ile 1¼” ölçüsündeki boruların hem ince, hem de orta çap sınıfında sayılmasının problemin çözümüne olumsuz bir etkisi olmamaktadır. Bir nesnenin aynı anda iki farklı kümenin üyesi olması, klasik mantıkta kabul görmese bile bulanık mantıkta bunun bir sakıncası yoktur. Bulanık mantık kullanımına olanak sağlayan “sözel değişkenler” de, problemin yapısını bozmaksızın çözülebilirliğini arttırmaktadır. Bu nedenle 3., 4., 5. ve 6. tür boruların, aynı anda iki bölgede (hem baş hem de orta) birden kullanılabilmesi düşünülmüştür. Örneğin 2243456567 şeklindeki bir çözüm, inceden kalına doğru düzenli bir geçiş sağlamaktadır. Aramanın bu yapıdaki seçeneklerle sınırlanması, 9376181231 gibi kısıtları sağlama umudu bulunmayan düzensiz seçeneklerle uğraşma külfetinden kurtarmaktadır. Ayrıca ikinci basamaktan sonra görüldüğü üzere 2’den sonra 4 ve 4’den sonra 3’e izin veren yapıyla kayda değer bir esneklik sağlamaktadır.

4. Sayısal Deneyim

Bu çalışma çerçevesinde yapılandırılan üç yöntem, Şekil 2’nin yapısındaki bir sistem üzerinde sınanmış ve karşılaştırılmıştır. Ele alınan sistemin şekildekinden tek farkı, beş yerine on borudan oluşmasıdır. Bu borular için seçim, önce 9 boru türü arasından yapılmış, 3” ve 4” çaplarındaki son iki borunun büyük katkısı olmadığı görülünce tür sayısı 7’ye indirilmiş, böylece türetililecek seçenek sayısı da $9^{10}=3486784401$ ’den $7^{10}=282475249$ ’a düşmüştür. Çözüm uzayının bu derece küçülmesi sayesinde, problemin büyüklüğü sayımlama (enumeration) yöntemiyle incelenebilecek düzeye inmiştir. Sayımlama yöntemi, tüm seçeneklerin sırayla türetilmesi, değerlendirilmesi ve karşılaştırılması içerir. Yedili sayı sistemindeki on basamaklı en küçük sayı (ilk seçenek) 000000000, en büyük sayı da 6666666666 dır. Bu sayıların sırayla türetilmesi ve bunlara karşı gelen seçeneklerin değerlendirilmesiyle çözüm uzayının tümü elden geçirilebilmiştir. Diğer algoritmaların VisualBasic ile kotlanmasına karşılık ağır işlem yükü dolayısıyla sayımlama işlemi için Delphi ile yazılmış bir program kullanılmıştır.

Çözüm uzayında yer alan 7^{10} seçeneğin tek tek türetilip, olurluluklarının sınanması ve maliyetlerinin hesaplanması sonucunda toplam 151066 olurlu çözümün bulunduğu, bunlardan en iyisi olan 2334555666 seçeneğinin maliyetinin de 3.281 Milyar TL olduğu görülmüştür. Olurlu çözüm oranının $151066 / 7^{10} = 0.00054$ çıkması, çözüm uzayının ne kadar seyrek olduğunu göstermektedir. Sayımlama yöntemiyle bulunan çözüm, mutlak olarak en iyi çözümdür. Bu çözüm elde edilebilirse, başka hiçbir yöntem aramaya gerek kalmaz. Ancak gerçek hayat problemleri, bu yöntemle çözülemeyecek kadar büyüktür.

Wallski vd. (2004), borularda yüksek hızların su darbesi etkisini arttırdığı için tasarımcıların $10[\text{ft/s}] \approx 3.1[\text{m/s}]$ hızın üzerine çıkmadıklarını, bir dağıtım sisteminde normal çalışma basıncını da $60 [\text{psi}] = 414 [\text{kPa}]$ olarak tavsiye edildiğini belirtmektedir. Bunlar göz önüne alınarak, $v=3.1[\text{m/s}]$ ve $P=40[\text{m ss}]$ kabul edilmiştir. Tüm bağlantı noktalarının aynı yükseklikte olduğu ve bu noktaların 50’şer metre aralıkla yer aldığı ($L=50[\text{m}]$) düşünülmüş, her tüketim noktası için $Q=0.0005[\text{m}^3/\text{s}]$ debi ön görülmüştür.

Kullanılabilir boruların sıra numaraları (j), anma ölçüleri, çapları (D), dayanım değerleri (E_{nb} P) ve birim fiyatları Çizelge 1’de verilmektedir.

[Çizelge 1’i yaklaşık olarak buraya yerleştirin]

Kesim 3.1’de tanıtılan algoritma ile yapılan çözüm de Çizelge 2’de yer almaktadır. Çapların giderek arttığı, P_i değerlerinin karşı gelen E_{nb} P değerlerini, v_i ’lerin de E_{nb} v’yi aşmadığı görülmektedir. Bulunan çözümün

Makale

(1334566667) maliyetinin, çözüm uzayındaki en düşük maliyetten $100(3\ 649\ 750-3\ 281\ 000)/3\ 649\ 750=\% 10.1$ yüksek olduğu da dikkati çekmektedir.

[Çizelge 2'yi yaklaşık olarak buraya yerleştirin]

Kesim 3.2 ve 3.3'de verilen algoritmaların kodlanmasında, yaygın olarak tanınması ve diğer Office programlarıyla bağlantısı göz önüne alınarak VisualBasic kullanılmıştır. Rassal arama programı ile on milyon rassal çözüm türetilmesi dört dakika on beş saniye sürmüştür, bulunan en iyi çözümün (4434555666) maliyeti de 3481250 Bin TL olarak hesaplanmıştır. Bunun, geleneksel yöntemle ulaşılan sonuçtan $100(3649750-3481250)/3649750=\%4.6$ daha iyi olmasına karşılık mutlak en iyi çözümden $100(3481250-3281000)/3481250=\%5.8$ daha kötü olduğu görülmektedir. Türetilen rassal çözüm sayısı 22 milyona çıkarıldığında 133779 olurlu çözüm bulunmuş, bu çözümler bulunurken 13 iyileşme olmuş, ancak 3481250 Bin TL maliyetindeki 6400107 inci rassal çözümden daha iyisine de ulaşamamıştır.

Farklı manifold çeşitleri için yapılan deneylerde de boru sayısı arttıkça iyi çözüm bulmanın hızla zorlaştığı görülmektedir. Üç, beş, yedi ve on borudan oluşan dört farklı manifold için yapılan deneylerde 3.1'deki yöntemle bulunan sonuca ulaşabilmek için kaç tekrar yapılması gerektiği araştırılmıştır. Yöntemin rassal yapısı dolayısıyla her manifold için program on beşer kez çalıştırılmış ve bulunan sonuçların ortalaması alınmıştır. Bu ortalama değerler üç, beş yedi ve on borulu manifoldlarda geleneksel yöntemin kalitesindeki bir çözüme ulaşabilmek için –ortalama olarak- sırasıyla 114, 2283, 20596, 325568 adet rasgele çözüm üretmek gerektiğini göstermiştir. Bu da boru sayısı arttıkça, bir başka deyişle problem büyüdükçe, harcanacak zamanın de üstel olarak artacağı anlamına gelmektedir.

Kesim 3.3'de önerilen “geliştirilmiş yöntem” ise, altıncı iyileşmede bilinen en iyi çözüme ulaşmıştır. Maliyetin türetilen seçenek sayısına bağlı olarak düşmesi Şekil 3'deki grafikten izlenebilir. Başlangıçtaki çok hızlı düşüşü daha sonra bir düzleşme izlemektedir. Bu düzleşme türetilen seçenek sayısını belirlemede de yol gösterici olmaktadır. Eğilim eğrisinin yatay bir seyir kazanması, artık daha fazla iyileşme beklenemeyeceğini göstermektedir.

[Şekil 3'ü yaklaşık olarak buraya yerleştirin]

Geliştirilmiş algoritma, çözüm uzayının tümünü araştıran sayımlama yönteminin aksine, uzayın sadece $59047/7^{10}=\%0.02$ 'sini tarayarak en iyi çözüme ulaşmıştır. Bu çalışma ile varılan sonuçlar, Şekil 4'de özetlenmiştir. Ayrıca geliştirilen programın ekran görüntüsü Şekil 5'de görülmektedir.

[Şekil 4'ü yaklaşık olarak buraya yerleştirin]

[Şekil 5'i yaklaşık olarak buraya yerleştirin]

5. Sonuç ve Öneriler

Ürün ve sistem tasarımı, bir takım parametrelerin belirlenmesini gerektirmektedir. Bunları belirlerken de genellikle deneyim, önceki örnekler ve el kitaplarındaki ip uçlarından yararlanır. Olurlu bir çözümle yetinilir, en iyi çözümün bulunması için ısrarcı olunmaz. Tasarımda eniyilemenin önemini vurgulayan bu çalışmada, çözüm uzayı, eniyileme gibi kavramların dikkate alınması ve arama tekniklerinin kullanılmasıyla literatürde de belirtildiği şekilde yüzde on mertebesinde kazançların sağlanabildiği görülmüştür. Su dağıtımı için yapılan yatırımların katrilyon TL'lerle ifade edildiği düşünülürse, bu hiç de yabana atılacak bir kazanç değildir. Basit bir program bir kaç dakika içerisinde, çözüm uzayının sadece on binde ikisini tarayarak bu sonuca ulaşabilmektedir.

Manifold tarzındaki dağıtım sistemleri, hem ekonomik değerleri hem de topolojik ilginçliklerinden kaynaklanan kuramsal önemleri dolayısıyla bu çalışmada ele almaya değer bulunmuşlardır. Önerilen algoritmaların sınanması ve karşılaştırılması için kullanılan örneğin de, anlamlı olacak kadar büyük, sayımlama ile analiz edilebilecek kadar da küçük olması istenmiştir. Bu sayede, karşılaştırmada temel alınabilecek mutlak en iyi çözüme erişilebilmiştir. Gerçek hayat problemleri elbette bu problemten daha büyük ölçeklere sahip olacak ve bunlara sayımlama yöntemi uygulanamayacaktır.

Sayısal deneyim, önerilen algoritmanın, sadeliğine karşılık çok etkili ve verimli olduğunu göstermiştir. Çalışmadan çıkan bir başka sonuç da, bulanıklaştırma, sözel değişken kullanımı ve sezgisel kurallardan yararlanmanın sağladığı katkılar olmuştur. Gerçekte yapay zeka teknikleri büyük ölçüde, uzman görüşlerinden

Makale

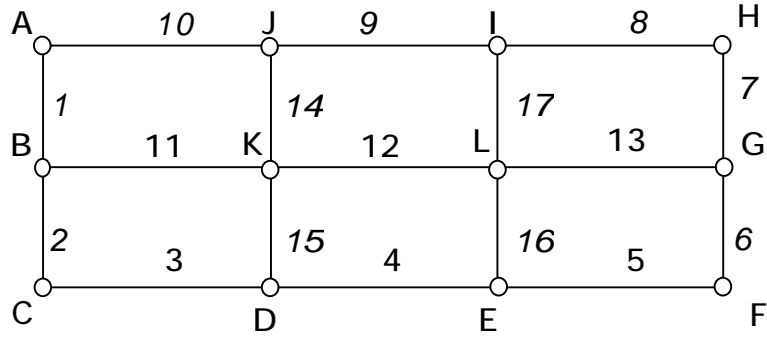
çıkarılan kurallara dayanmaktadır. Bunlar arama sürecinin başında büyük bir hızla yakınsarlar, bir başka deyişle en iyi çözüme hızla yaklaşırlar. Daha sonra ise, rassal arama yöntemlerinden fazla farkları kalmaz. Ancak problem çapı büyüdüğünde, daha karmaşık olmalarına karşın yapay zeka tekniklerinin rassal aramaya tercihi yerinde olur. Bu nedenle bu çalışmanın devamı olarak yapay zeka tekniklerinin üzerinde durulması önerilebilir. Böylece çok büyük problemler de makul bir süre içinde çözülebilir. Ancak dördüncü kesimde de işaret edildiği üzere boru sayısı arttıkça çözüm süresinin de üstel olarak artacağına dikkat edilmelidir.

Bir başka çalışma alanı da buradaki problemin genelleştirilmesidir. Tüm tüketim noktaları aynı yükseklikte alınmış ve her nokta için eşit talep varsayılmıştır. Bu değerlerde rahatlıkla çeşitleme yapılabilir. Burada manifold için önerilen yöntemler, genel su şebekelerine de uyarlanabilir. Ancak bu genelleme, 1 ve 2 numaralı kanunların uygulanarak basınç ve debilerin olurluluğunun belirlenmesi işlemi son derece karmaşık hale getirecektir. Direnç hesabında, 20[C] sıcaklıkta şehir suyu için geçerli olan Hazen-Williams eşitliği kullanılmıştır. Çözüm farklı şartlardaki farklı akışkanlara da genellenebilir. Isı akışı, yerel kayıplar, vb. dikkate alınarak motor emme-egzoz manifoldları, kazan giriş-çıkışları, hava kanalları gibi farklı ürünlerin tasarımı da yapılabilir.

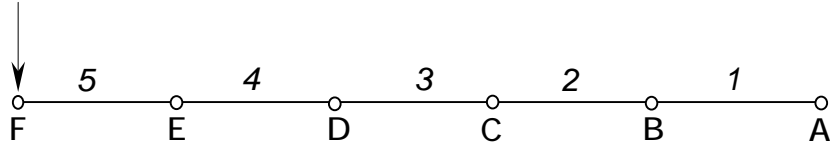
Son olarak, tasarımda eniyileme düşüncesi, elbette su dağıtım sistemleriyle sınırlı değildir. Her çeşit ürün ve sistem tasarımında, bilgisayar ortamından yararlanarak parametreler için en iyi değerlerin aranması, bu arada elden geldiğince, rassal yöntemler, yapay zeka ve bulanık mantık tekniklerinden yararlanılması, büyük ölçüde kaynak ve zaman tasarrufu sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ababe A. J. ve Solomonite D. P., 1998, Application of Design Optimization to the Design of Pipe Networks, 3. *International Conferences on Hydroinformatics, Kopenhag, Danimarka*, S.989-996.
- Cross ve Hardy, 1936, Analysis of Flow in Networks of Conduits and Conductors, *University of Illinois*, Bulletin No:286.
- Cunha M. ve Sousa J., 1999, Water Distribution Network Design Optimization: Simulated Annealing Approach, *Journal of Water Resources Planning and Management*, C.125, No 4, S.215-221.
- Eiger G., Shamir U. ve Ben-Tal A., 1994. Optimal design of water distribution networks, *Water Resources Research*, C.30, No.9, S.2637-2646.
- Herrera E. ve Sammis T., 2004, Planning and Operating Pecan Orchards with Drip and Microspray Irrigation Systems, *New Mexico State University, Cooperative Extension Service, Circular 542, (PH 4-202)*.
- Kanazaki M., Morikawa M., Obayashi S. ve Nakahashi, K., 2004, Multiobjective Design Optimization of Merging Configuration for an Exhaust Manifold of a Car Engine, www.ifs.thoku.ac.jp/edge/publications.
- Liong S. Y. ve Atiqzaman M., 2004, Optimal Design of Water Distribution Networks Using Shuffled Complex Evolution, *Journal of the Institution of Engineers, Singapur*. C.44, S.93-106.
- Özerengin F., 1972, Akışkanlar Mekaniği, *İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları*.
- Schroeder D. W. Jr., 2001, A Tutorial on Pump Flow Equations, *Stoner Associates, Inc., Carlisle, Pensilvania*.
- Wallski T., Chase D. V., Savic D., Grayman W., Beckwith S. ve Koelle E., 2004, *Advanced Water Distribution Modeling and Management*, Haestad Press.



Şekil 1. Bir boru şebekesinin serim olarak gösterimi



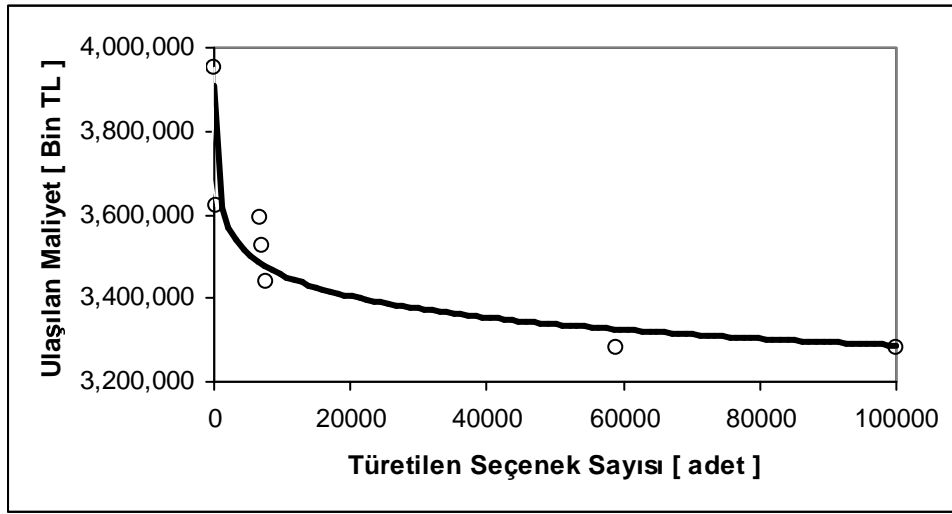
Şekil 2. Bir manifoldun şematik gösterimi

Çizelge 1. Kullanılabilecek boru tipleri ve özellikleri

j	Anma ölçüsü	Çap [mm]	Enb P [m ss]	Birim Fiyat [Bin TL/m]
1	½"	15	200	2 350
2	¾"	20	200	3 015
3	1"	25	200	4 480
4	1 ¼"	32	180	5 750
5	1 ½"	40	180	6 625
6	2"	50	140	9 340
7	2 ½"	65	140	11 950
8	3"	80	140	15 525
9	4"	100	100	22 645

Çizelge 2. Geleneksel yöntemle yapılan bir çözüm

i	j	Anma ölçüsü	D _i mm	Q _i m ³ /s	H _i m ss	P _i m ss	Enb P m ss	v _i m/s	Maliyet Bin TL
1	1	½"	15	0.0005	33.31	73.31	200	2.83	117 500
2	3	1"	25	0.0010	9.99	83.30	200	2.04	224 000
3	3	1"	25	0.0015	21.17	104.46	200	3.06	224 000
4	4	1 ¼"	32	0.0020	10.84	115.30	180	2.49	287 500
5	5	1 ½"	40	0.0025	5.52	120.82	180	1.99	331 250
6	6	2"	50	0.0030	2.61	123.43	140	1.53	467 000
7	6	2"	50	0.0035	3.47	126.91	140	1.78	467 000
8	6	2"	50	0.0040	4.45	131.36	140	2.04	467 ,000
9	6	2"	50	0.0045	5.53	136.89	140	2.29	467 ,000
10	7	2 ½"	65	0.0050	1.87	138.77	140	1.50	597 500
TOPLAM									3 649 750



Şekil 3. Geliştirilmiş arama yönteminde, düşüş hızı

YÖNTEM	Sayımlama	Geleneksel	Rassal arama	Geliştirilmiş arama
TARAMA	%100	-	%2.27	%0.02
ÇÖZÜM	2334555666	1334566667	4434555666	2334555666
MALİYET	3 281 000	3 649 750	3 481 250	3 281 000
ENDEKS	100	110	106	100

Şekil 4. Çözümlerin karşılaştırılması

DAĞITIM MANIFOLDU HESABI

BASLA

BORU SAYISI : 10

TEKRAR SAYISI : 60000

VERİLER

En uçtaki BASINÇ: 40 [m ss]

İzin verilen En Yüksek HIZ 3.1 [m/s]

Anma Ölçüsü	Çaplar (mm)	P emniyet [m ss]	Fiyatlar (bin TL/m)
1/2"	15	200	2350
3/4"	20	200	3015
1"	25	200	4480
1 1/4"	32	180	5750
1 1/2"	40	180	6625
2"	50	140	9340
2 1/2"	65	140	11950
3"	80	140	15525
4"	100	100	22645

SONUÇLAR

BORU Tipleri	SÜRTÜNME KAYIPLARI	Birikimli BASINÇLAR	BASINÇ DAYANIMI	Maliyetler bin TL/boru	HIZlar [m/s]
2	8.2	48.2	200	150750	1.59
3	9.98	58.18	200	224000	2.04
3	21.15	79.32	200	224000	3.06
4	10.82	90.15	180	287500	2.49
5	5.52	95.67	180	331250	1.99
5	7.74	103.4	180	331250	2.39
5	10.29	113.69	180	331250	2.79
6	4.45	118.14	140	467000	2.04
6	5.53	123.67	140	467000	2.29
6	6.72	130.39	140	467000	2.55

ÖZET

2.3 saniyede bulunan **417** olurlu çözümden **6** tanesinde iyileşme oldu.

59044 . tekrarda bulunan en iyi çözümün maliyeti: **3281000** bin TL

Şekil 5. Geliştirilen Programın ekran görüntüsü

<u>Makalenin Başlığı</u>	Rassal Arama ile Manifold Tasarımı	
<u>İngilizce başlık</u>	Manifold Design by Random Search	
<u>Yazarlar</u>	M. Bora İŞLİER,	Yıldız Teknik Üniversitesi
	A. Attila İŞLİER,	Osmangazi Üniversitesi
<u>İletişim adresi</u>	Doç. Dr. A. Attila İŞLİER Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 26030 Bademlik ESKİŞEHİR	Telefon:0-222-2303972/292 Faks :0-222-2213918 E-Posta:aislier@ogu.edu.tr

YAZARLARIN KISA ÖZGEÇMİŞLERİ

2001 yılında Eskişehir Anadolu Lisesinden Mezun olan M. Bora İşlier, halen Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği son sınıf öğrencisidir. Yaz çalışmalarını Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A. Ş., Eti Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kazım Taşkent Şeker Fabrikası ve ALARKO'da yapmıştır. SolidWorks ve MATLAB kullanan yazar İngilizce bilmekte, Isıtma-Havalandırma ve Tesisat konularında çalışmaktadır.

1974 ODTÜ Makine mezunu olan A. Attila İşlier, imalat, endüstriyel işlemler ve makine tasarımı konularında on dört yıl mühendis ve baş mühendis olarak çalışmıştır. Yüksek lisansını Anadolu Üniversitesinde, doktorasını da Osmangazi Üniversitesinde tamamlayan yazar, halen Osmangazi Üniversitesinde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. İlgili alanları tesis planlaması, CAD/CAM ve yapay zeka olan A. İşlier, evli ve iki çocuk babasıdır.