



İçme suyu şebeke arızalarına müdahale için karar destek sisteminin geliştirilmesi

Development of a decision support system for the maintenance of water distribution network

Önder Halis BETTEMİR^{1*}, Özgür ÖZDEMİR², Mahmut FIRAT¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye.

onder.bettemir@inonu.edu.tr, mahmut.firat@inonu.edu.tr

²Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü, Malatya, Türkiye.

ozgurozdemir@maski.gov.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.01.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 05.04.2017

doi: 10.5505/pajes.2017.56823

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

İçme suyu şebekelerinde meydana gelen arızalara müdahale edilmesi önemli bir karar alma problemidir. Şebeke arızalarına hiç beklenmeyecek bir şekilde müdahale edilmesi amaçlanırsa çok sayıda ekibin istihdam edilmesi gerekir. Ekip sayısının düşük tutulması durumunda ise arızalara müdahale süresi çok uzayacak ve arızaların yol açtığı işletme maliyeti önemli boyutlara ulaşacaktır. Arıza sıklığının mevsimsel değişim göstermesi problemin çözümünü daha da zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerindeki arızalara müdahale probleminin çözümü için Diferansiyel Gelişim Algoritması ile en iyileme yapan bir karar destek sistemi önerilmiştir. Bunun için Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) hizmet alanında bulunan su dağıtım sistemine ait geçmişte gözlenmiş arıza kayıtlarından yararlanılmıştır. Geçmiş yıllarda gerçekleşen arıza sayılarından yola çıkarak gelecek yıllarda gerçekleşmesi beklenen arıza sayıları regresyon ile tahmin edilmiştir. Şebekenin gelecekteki durumu modellenip arıza sayıları tespit edilerek onarım ekiplerinin müdahale edebileceği arıza sayısından yararlanarak arıza ihbarlarının bekleme süreleri belirlenmiştir. Gerekli ekip sayıları arızanın yol açtığı maliyetlerinin ve personel giderlerinin toplamı en az olacak şekilde Diferansiyel Gelişim Algoritması ile belirlenmiştir. Bu sayede gelecekte olması muhtemel arızaların en düşük maliyetle çözülebilmesi için istihdam edilmesi gereken ekip sayıları tahmin edilmiştir. Bu çalışmada içme suyu şebekelerinde görülen arızalara en düşük işletme maliyeti ile müdahale edilebilmesi için bir karar destek uygulaması geliştirilmiştir. Karar destek sisteminin uygulanması ile arıza müdahale maliyetlerinde önemli tasarrufların sağlanabileceği belirlenmiştir. Bu sistemi kullanan yerel yönetimler hem mevcut ekiplerinin dağılımını en uygun biçimde düzenleyip işletme maliyetlerinde tasarrufa gidebilirler hem de gelecekte ihtiyaç duyacakları personel sayılarını belirleyip daha verimli istihdam politikaları uygulayabileceklerdir.

Anahtar kelimeler: İçme suyu şebekesi, Karar destek sistemi, Diferansiyel gelişim

Abstract

Dealing with the failures of the water distribution network is an important decision making problem. If decision makers aim to immediately react all of the failures, then it is required to employ too many crews which will be idle throughout the low demand periods. On the other hand, if insufficient number of crews is employed, reaction will be too late and the adverse effects of the failure may be significant. Frequency of failures fluctuates seasonally which complicates the problem further. In this study, a decision support system which optimizes the maintenance of water distribution network problem by differential evolution algorithm is proposed. In this respect, past failure records of the Malatya Water Distribution System are used. Number of failures of the network is estimated for the future by using a regression model fed by the past records of failure. Future state of the network is modeled and number of failures is reckoned to estimate the reaction times to the failures. Optimum crew size which minimized the summation of the adverse effects of the failure and the employment cost is determined by Differential Evolution algorithm. Thus, number of crews which minimizes the maintenance cost of the prospected failures is determined. Implementation of the decision support system provides the opportunity of saving important amount of resource and money. Consequently, the local authorities which implement the proposed decision support system can reduce the maintenance cost and execute efficient employment policy.

Keywords: Water distribution network, Decision support system, Differential evolution

1 Giriş

Yeni Büyükşehir yasası ile birlikte Su ve Kanal İdarelerinin, alt yapı hizmeti sağlama alanı artmıştır. Sorumluluk alanının artması nedeniyle vatandaşlara verilen hizmet kalitesinin artırılması, Su ve Kanal İdareleri kaynaklarının daha verimli kullanılması için gelişen teknolojiye bağlı olarak bilgisayar teknolojilerinin kullanımı Su ve Kanal İdareleri için oldukça büyük önem taşımaktadır. Özellikle içme suyu iletim ve dağıtım sistemlerinin yönetiminde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri sistemde meydana gelen arızalar ve bu arızalara müdahale olarak gösterilebilir. Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanal

İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü arızaların bildirilmesi, arızaların ekiplere atanması, ekiplerin arızaya müdahale sürecinin izlenmesi, arıza tamir edildikten sonra verilerin girilmesi ve analizi için BİM MASKİ olarak ifade edilen bir yazılım geliştirmiştir [1]. Bu yazılımda gelen arıza çağrısı ilk önce ilgili konuya göre ayrılmakta, daha sonra da ilgili ekibe atanmakta ve ilgili ekip arızaya müdahale ve tamir ile süreci tamamlamaktadır. Bu yazılım sayesinde arızalara müdahale, tamir süresi ve işi kapatma süresi ortalama olarak 60-150 saatten 25-30 saat aralığına çekilmiştir [2]. MASKİ tarafından geliştirilen bu yazılımda, arızaya müdahale ve tamir sürecinde en önemli adımlardan biri gelen çağrının hangi ekibe atanacağı

bilgisidir. Personel yönetim sistemi ile ekiplerin hangi arızaya müdahale edeceği belirlenip olası çakışmalar önlenmekte ve arızaya en kısa sürede müdahale edilmesi sağlanmaktadır. Arızalara müdahale süresinin kısaltılması çok önemli olmakla birlikte sıfırlanması olanaksızdır, çünkü şebeke arızalarına hiç beklenmeyecek şekilde müdahale edilmesi amaçlanırsa çok sayıda ekip istihdam edilmesi gerekir. Ekip sayısının düşük tutulması durumunda ise arızalara müdahale süresi çok uzayacak ve arızaların yol açtığı işletme maliyeti önemli boyutlara ulaşacaktır. Bu nedenle iki kıstas göz önüne alınarak en düşük işletme maliyetini sağlayacak ekip sayısını belirlemek gerekmektedir. Arıza sıklığının mevsimsel değişim göstermesi problemin çözümünü daha da zorlaştırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı içme suyu şebekelerinde meydana gelen arızalara müdahale edilmesi önemli bir karar alma problemi olarak gösterilebilir.

Literatürde farklı uygulama alanlarında karar alma problemlerinin çözümünde genel olarak en iyileme olarak ifade edilen yöntemler önerilmekte ve kullanılmaktadır. Vamvakieridou-Lyroudia ve diğ. [3] tarafından yapılan çalışmada, su dağıtım sistemlerinin optimum tasarımı için Genetik Algoritma kullanılmıştır. Çalışmada, incelenen problem maliyetin minimize edilmesi ve faydanın maksimize edilmesi temeline dayandırılmıştır. Vasan ve Simonovic [4] ve Suribabu [5] içme suyu dağıtım sistemlerinin en uygun çözümü amacıyla Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanmıştır. Corcoran ve diğ. [6] yaptıkları çalışmada, su dağıtım sistemlerinde enerji üretimi amacıyla türbinlerin en uygun yerlerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan programlama ve Genetik Algoritma en iyileme yöntemlerini uygulamıştır. Gökçe ve Ayvaz [7], içme suyu dağıtım sistemlerinde en uygun klorlama yapmak amacıyla booster pompalarının en uygun yerinin belirlenmesinde harmoni araştırma ve Diferansiyel Gelişim Algoritmalarını uygulamıştır. Blinco ve diğ. [8] yaptıkları çalışmada, su dağıtım sistemlerinde farklı pompa işletme rejim tipleri için en uygun pompa işletme çalışmasının belirlenmesi amacıyla optimizasyon yöntemi olan Genetik Algoritmayı uygulamıştır. González Perea ve diğ. [9], sulama dağıtım sistemlerinde en uygun sulama programının belirlenmesi ve işletme çalışmasının oluşturulması amacıyla zemin-su dengesi ve Genetik Algoritma yöntemlerini uygulamıştır. Sarbu ve Ostafe [10], bir veya daha fazla kaynaktan beslenen kapalı gözlü içme suyu dağıtım sistemlerinin en uygun çözümü amacıyla doğrusal programlamayı temel alan bir yaklaşım önermiştir. Wang ve Chen [11] tarafından yapılan çalışmada, içme suyu dağıtım sistemlerinde rastgele meydana gelen arıza koşullarında en uygun şebeke bakım planlanmasının gerçekleştirilmesi için Genetik Algoritma yöntemi uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmada, içme suyu dağıtım sistemlerindeki arızalara müdahale probleminin çözümü için Diferansiyel Gelişim Algoritması ile en iyileme yapan bir karar destek sistemi önerilmiştir. Bunun için Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) hizmet alanında bulunan su dağıtım sistemine ait geçmişte gözlenen arıza kayıtlarından yararlanılmıştır. Bu amaçla, arıza ekiplerinin sadece bağlı oldukları bölgeye müdahale edebildiği veya kendi bölgeleri ve komşu bölgelere de müdahale edebildiği seçenek incelenmiştir.

2 Materyal ve yöntem

Geliştirilen karar destek sistemi içme suyu şebeke arızalarına en ekonomik biçimde müdahale edebilmek için personel sayılarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Karar destek

sistemi işletmenin mevcut durumu ve ileriye dönük yatırımları dikkate alarak içme suyu şebekesinde gelecek yıllarda görülebilecek arıza sayısını tahmin edip gözlenen arızaların kayıp maliyeti ve personel maliyetlerinin toplamı en az olacak şekilde arızaya müdahale edecek ekip sayısını belirlemektedir. Karar Destek Sisteminin arıza sayısını tahmin yöntemi, arızaya müdahale etme süresinin hesaplanması, toplam arıza maliyeti hesaplanması ve arıza müdahale ekip sayısının optimize edilmesi bu bölümde anlatılacaktır.

İçme suyu şebekesinde gelecek yıllarda meydana gelebilecek arızaların tahmini geçmiş yıllarda görülen arıza istatistiklerinden yararlanılarak yapılmıştır. MASKİ 'den içme suyu şebekesi ile ilgili boru tipi, imalat yılı, hat uzunluğu bilgileri alınmıştır. Ayrıca geçmiş yıllarda görülen arıza sayıları ve arızalara ortalama müdahale süresi istatistiklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecek yıllarda gerçekleştirilecek yatırım planları temel alınarak yıllara göre şebeke uzunluklarını hesaplanmaktadır.

İçme suyu şebekesinde meydana gelecek arızaların tahmin edilebilmesi için şebekenin birim uzunluğunda yıl içinde kaç arızanın oluştuğu bilinmelidir. Ayrıca içme suyu şebekesi zamanla aşınacağı için birim arızanın oluşacağı şebeke uzunluğu kısalacaktır. Şebekenin zaman içerisinde yıpranması regresyon analizi ile tahmin edilmiştir.

Şebeke verilerinden yararlanılarak arıza sayıları tahmin edilmekte ve mevcut ekip sayısına göre ne kadar sürede arıza ihbarına müdahale edilebileceği hesaplanmaktadır. Arıza ihbarları günün her saati gelebileceği için her zaman anında müdahale durumu mümkün olamamaktadır. Ayrıca ihbarın mesai saatinde gelmesi durumunda dahi boşa olan ekip olmadığı durumda da arızaya anında müdahale edilememektedir. Geçmiş yıllardan alınan verilerle arızaya müdahale süresi aşağıdaki formülle tahmin edilmektedir.

$$S = ([A - E + 1] * M)^{0.75} + R \quad (1)$$

Eşitlik 1'de, S saat biriminde arızaya müdahale süresini, A günlük ortalama arıza sayısını, E ekip sayısını, M saat biriminden bir arızaya ortalama müdahale süresi ve R saat biriminde reaksiyon süresini belirtmektedir. Arızaların tamiri mesai saatinin dışına çıkabildiği için doğrusal bir denklem uygulanamamaktadır. Denklemdeki üstel ifade regresyon analizi ile belirlenmiştir. MASKİ'den temin edilen 3805 adet abonelerden gelen arıza ihbarı ve gelen arızalara müdahale sürelerinden yararlanılmıştır. En düşük kareler yöntemine göre denklemin parametreleri MatLAB yazılımı kullanılarak çözülmüştür.

Şebeke suyu kullanımı mevsimsel koşullardan etkilendiği için dalgalanma göstermekte ve dolayısı ile oluşan arıza sayıları da su kullanım miktarından etkilenmektedir. Bu nedenle arıza sayılarının tahmini ay bazında yapılmaktadır.

Her ay için ortalama arıza müdahale süresinin belirlenmesi ile arızanın yol açtığı şebeke kaybı hesaplanıp şebekeye zararı karar destek sistemi tarafından hesaplanmaktadır. Buna ek olarak arızaya müdahale için istihdam edilen personel gideri ile envanterde bulunduran iş makinelerinin maliyetleri eklenerek toplam gider hesaplanmaktadır. Karar destek sisteminin esas amacı toplam maliyeti en aza indirmek olduğu için Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanılarak en düşük toplam maliyeti sunacak ekip sayıları belirlenecektir.

Diferansiyel Gelişim Algoritması Storn ve Price [12] tarafından geliştirilen bir modern sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Arama uzayı çok geniş olan problemlerde genellikle yakın optimum sonuç sunan Genetik Algoritmanın eksiklerini gidererek daha iyi bir optimizasyon algoritması elde edilmiştir. Literatürde Diferansiyel Gelişim Algoritması için çok farklı çaprazlama ve mutasyon uygulamaları bulunmaktadır. Bu çalışmada mutasyon operatörü Das ve Suganthan [13] (2011) ve Ghosh ve diğ. [14] (2012) tarafından uygulanan biçimde gerçekleştirilmiştir. Mutasyon formülü Eşitlik (2)'de ifade edilmiştir.

$$j=1:z, \quad U_{i,j} = \{X_{r3,j} + f \times (X_{r1,j} - X_{r2,j})\} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de i bireyi, j ise tasarım değişkenini ifade etmektedir. Tasarım değişkenlerinin sayısı z ile belirtilmektedir. X mevcut bireyi ve U mutasyon sonucu oluşturulan bireyi ifade etmektedir. Rastgele birey seçmek için birbirinden farklı olacak şekilde üretilen rastgele sayılar $r1$, $r2$ ve $r3$ ile ifade edilmektedir ve bu sayılar 1 ile popülasyon büyüklüğü olan n arasındadır. Denklemden yer alan f ise fark vektörlerini ölçeklemek için kullanılan bir katsayıdır [14].

Mutasyona tabi tutulacak bireyleri belirlemek için her bireye mutasyon olasılığını ifade eden rastgele sayı üretilir. Üretilen rastgele sayı mutasyon olasılığından küçükse birey mutasyona tabi tutulur, aksi durumda mutasyona tabi tutulmaz. Eşitlik (2)'de belirtilen mutasyon sonucunda daha iyi bir sonuç elde edilirse mutasyon kabul edilir ve bireyin taşıdığı bilgiler değiştirilir. Mutasyon sonucu daha iyi bir birey elde edilemezse mutasyon reddedilir ve bireyin ilk hali korunur. Mutasyon için kabul koşulu Eşitlik (3)'te belirtilmiştir.

$$U_i = \begin{cases} f(U_i) \leq f(X_i) \rightarrow U_i \\ f(U_i) > f(X_i) \rightarrow X_i \end{cases} \quad (3)$$

Bu çalışmada sadece mutasyon operatörü uygulanmış ve çaprazlama operatörü uygulanmamıştır. Çaprazlama operatörünün uygulanmaması sonucu arama sadece mutasyon operatörü ile yapılmaktadır. Diferansiyel gelişim algoritmasının mutasyon operatörü tek başına kullanıldığında yöntem, komşuluk derecesi rastgele değişen değişken komşuluklu arama (Variable Neighborhood Search) yöntemine dönüşmektedir. Buna ek olarak diferansiyel gelişim algoritmasında mutasyon operatörü genetik algoritma'da yer alan mutasyon operatöründen farklı olarak rastgele seçilen 3 bireyin taşıdığı bilgileri kullanarak değişiklik yapmaktadır. Bu nedenle popülasyonu oluşturan bireylerin taşıdıkları bilgiler diğer bireylerin daha iyi çözüme ulaşmasını sağladığı sürece başka bireylere aktarılabilir. Bu nedenle popülasyonu oluşturan bireylerin taşıdıkları bilgiler diğer bireylerin daha iyi çözüme ulaşmasını sağladığı sürece başka bireylere aktarılabilir.

3 Çalışma alanı

Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerindeki arızalara müdahale probleminin en iyileme yöntemi ile çözümü için Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) hizmet alanında bulunan su dağıtım sistemine ait geçmişte gözlenmiş arıza kayıtlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, MASKİ Genel Müdürlüğü tarafından, arızaların bildirilmesi, arızaların ekiplere atanması, ekiplerin arızaya müdahale sürecinin izlenmesi, arıza tamir

edildikten sonra verilerin girilmesi ve analizi için geliştirilen BİM MASKİ'den faydalanılmıştır. Şekil 1'de BİM MASKİ'de tanımlanan iş türleri, ekip dağılımı ve sistemin genel yapısı gösterilmektedir.

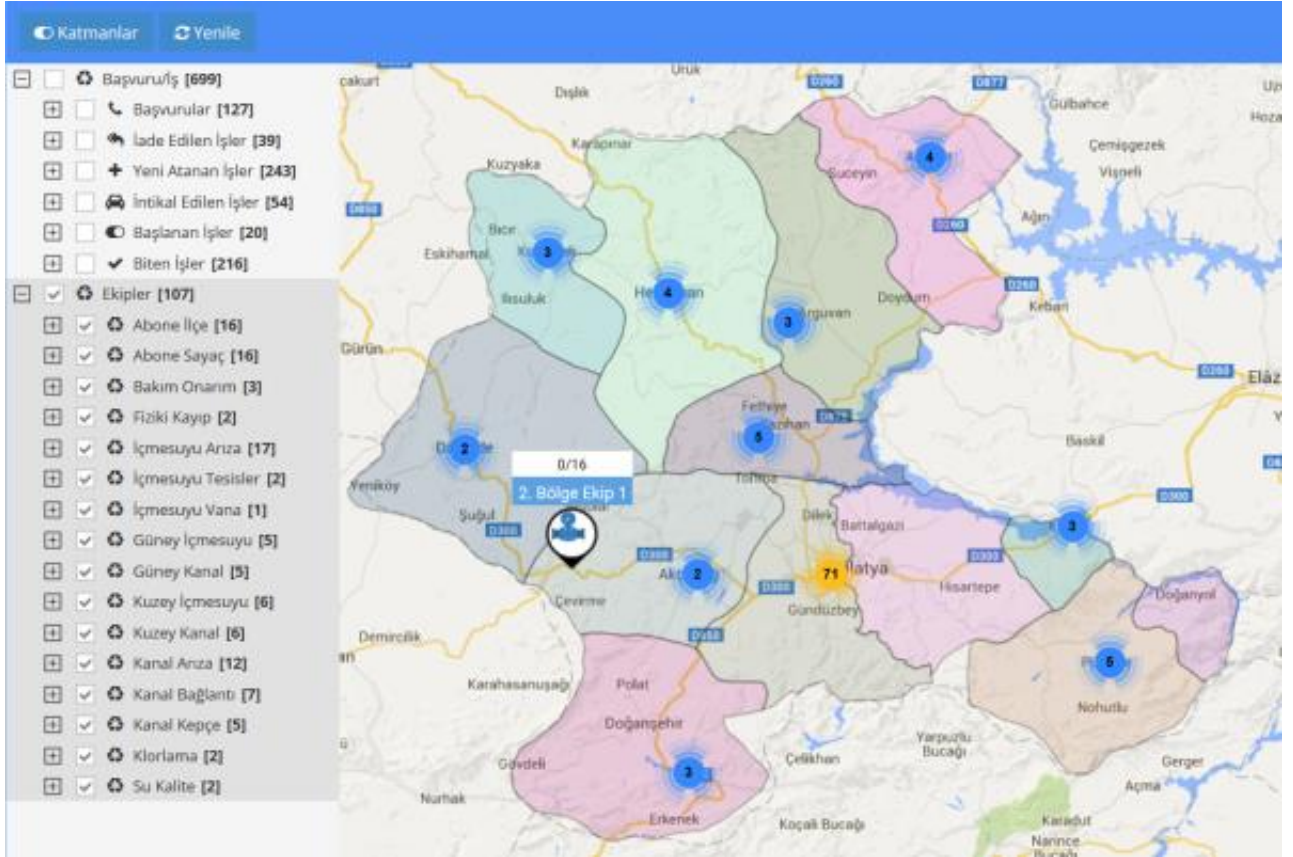
BİM MASKİ sisteminden şebekenin mevcut durumu ile ilgili veriler toplanmıştır. Gelecekte yapılacak yatırımlar dâhilinde yıllara göre şebekenin uzunluğu Karar Destek Sistemi tarafından hesaplanmış ve değerler Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1 de yer alan kısaltmalar; Poli Vinil Klorür (PVC) Polipropilen Random Co-polimer (PPRC), Asbestli Çimento Boru (AÇB), Polietilen (PE) türü borudur. İçme suyu hatlarında yeni yapılan imalatlarda AÇB tipi boru kullanılmadığı için şebekeye tablodan AÇB sütunu sabit kalmakta diğer boru türlerinde ise ilave edilen hat miktarı kadar uzunlukları değişmektedir.

İçme suyu şebekesinde gerçekleşmesi beklenen arıza sayılarının tahmini için şebekenin zamana göre yıpranma hızının tahmini gerekmektedir. Şebeke arızası başına denk gelen şebeke uzunluğu zamana bağlı olarak azalacaktır. Azalma miktarı geçmiş yıllara ait arıza sayılarının regresyon analizi ile tahmin edilmiştir. Regresyon ile elde edilen model Eşitlik (4)'te sunulmuştur.

$$k = e^{-\frac{n^{1.7}}{500}} \quad (4)$$

Eşitlik 4'te sunulan modelde k , birim şebeke arızası başına denk gelen şebeke uzunluğunun azalma oranı, n şebekenin yaşı, e ise doğal logaritmadır. Formülde yer alan 500 ve 1,7 ise regresyon analizi ile elde edilen katsayılarıdır. MASKİ'den elde edilen geçmiş yıllarda görülen 14967 adet arıza verisinden yararlanılarak MatLAB yazılımında en küçük kareler yöntemi kullanılarak en az hata değerine yakınsayan katsayılar hesaplanmıştır. Denklem doğrusal olmadığı için yakınsama yineleme ile gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle eşitliğe ait katsayıların en doğru biçimde belirlenememe ihtimali yüksektir.

Şebekede gerçekleşmesi beklenen arıza sayıları Tablo 1'de yer alan şebeke uzunluğu ve Eşitlik 4'te belirtilen formül kullanılarak birim şebeke uzunluğunda görülen arıza sayısı regresyon modelinden elde edilen formülden yararlanarak tahmin edilmiştir. Şebekenin yıllara ve boru tipine göre arıza indeksi Tablo 2'de sunulmuştur. Malatya il merkezi nüfus artışı ile doğru orantılı olacak şekilde şebekenin toplam uzunluğunun değişeceği öngörülmüştür. Mevcut boru malzemeleri arasında en yaygın olarak tercih edilen tür PPRC, PE ve PVC olduğu için bu iki boru malzemesi ile inşa edilen hatlarda en yüksek artış oranı uygulanmıştır. PPRC boru hatlarında her yıl %1, PE boru hatlarında her yıl %1, PVC boru hatlarında her yıl %0,3 artış olacağı öngörülmüştür. Asbestli çimento boru (AÇB) yeni şebeke imalatında kullanılmayacağı için uzunluğu sabit alını. Bununla birlikte uzun yıllar süresince arızalanacak olan AÇB tipi boruların yer aldığı şebeke hattının başka tür borularla değiştirilmesi sonucu AÇB boru hattının toplam uzunluğu azalacaktır. Arızalar benzetimle tahmin edildiği için AÇB türü borulardaki arıza sonucunda kaç metrelik hattın hangi malzeme boru ile yenileneceği belirsizdir. Bu nedenle AÇB türü borularda oluşan arızalar sonucunda AÇB boru hattının toplam uzunluğu değiştirilmemiştir.



Şekil 1: BİM MASKİ genel yapısı [1].

Tablo 1: İçme suyu şebeke uzunluğu verileri.

Yıl	Boru Tipi					
	PVC	PPRC	AÇB	PİK	PE	ÇELİK
2016	1012960	101296	278505	64353	78054	120993
2017	1016000	102309	278505	64482	78835	121961
2018	1019050	103332	278505	64611	79623	122937
2019	1022110	104365	278505	64740	80419	123920
2020	1025170	105409	278505	64869	81223	124911
2021	1028250	106463	278505	64999	82036	125911
2022	1031330	107528	278505	65129	82856	126918
2023	1034430	108603	278505	65259	83685	127933
2024	1037530	109689	278505	65390	84521	128957
2025	1040640	110786	278505	65521	85367	129989
2026	1043770	111894	278505	65652	86220	131028
2027	1046900	113013	278505	65783	87082	132077
2028	1050040	114143	278505	65915	87953	133133
2029	1053190	115284	278505	66046	88833	134198
2030	1056350	116437	278505	66179	89721	135272
2031	1059520	117602	278505	66311	90618	136354

Tablo 2: Yıllara göre arıza oranı değişimi (arıza sayısı/km).

Yıl	Boru Tipi					
	PVC	PPRC	AÇB	PİK	PE	ÇELİK
2016	2.91	3.70	1.03	1.52	0.79	0.18
2017	2.91	3.71	1.03	1.53	0.80	0.18
2018	2.92	3.73	1.04	1.53	0.80	0.18
2019	2.94	3.75	1.04	1.54	0.80	0.18
2020	2.97	3.78	1.05	1.56	0.81	0.19
2021	3.00	3.82	1.06	1.57	0.82	0.19
2022	3.03	3.86	1.07	1.59	0.83	0.19
2023	3.07	3.91	1.09	1.61	0.84	0.19
2024	3.11	3.96	1.10	1.63	0.85	0.19
2025	3.16	4.03	1.12	1.66	0.86	0.20
2026	3.21	4.09	1.14	1.68	0.88	0.20
2027	3.27	4.17	1.16	1.71	0.89	0.20
2028	3.33	4.24	1.18	1.75	0.91	0.21
2029	3.40	4.33	1.21	1.78	0.93	0.21
2030	3.47	4.42	1.23	1.82	0.95	0.22
2031	3.55	4.52	1.26	1.86	0.97	0.22

Tablo 1 de yer alan şebeke uzunluklarının Tablo 2'de belirtilen birim uzunlukta görülen arıza sayıları ile çarpılması ile arıza sayıları tahmin edilir. Arıza sayısına göre arızaya müdahale süresinin tahmini Eşitlik (1)'den yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Denklemde yer alan katsayılar regresyon analizi ile belirlenmiş ve arızaya müdahale süresi Malatya Şebekesi için Eşitlik (5)'te sunulmuştur.

$$S = ([A - E + 1] * 10)^{0,75} + 10 \quad (5)$$

Regresyon analizi sonucu tahmin edilen bekleme süresi ile gerçek bekleme sürelerinin arasındaki farkın mutlak değerlerinin ortalaması 5 saattir. Sapma miktarının mutlak değerinin gerçek değerlere bölünmesi ile elde edilen hata değerlerinin ortalaması 0,2 çıkmıştır. Bir başka değişle yapılan tahminler gerçek değerden ortalama %20 sapma göstermektedir. Regresyon analizi yüksek doğrulukta tahminler gerçekleştirilememekte ancak, ekip sayısı ve arıza sayılarının değişkenlik gösterdiği durumlarda oluşacak bekleme sürelerinin tahminini tatmin edici düzeyde gerçekleştirmektedir. Arıza ihbarının alınması ile arızaya müdahale edilmesi arasında geçen süre, S, zarfında arızadan dolayı su kayıpları oluşacaktır. Arızadan dolayı her saat için 30 TL değerinde su kaybının olacağı kabul edilmiştir. Arızalara müdahale eden ekip 4 personel ve bir iş makinesinden oluşmaktadır. İş makinesinin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın birim fiyat analiz yöntemine göre sabit giderleri ve personel giderleri göz önüne alınarak bir ekibin aylık gideri 15.000 TL olarak hesaplanmıştır. Arıza müdahalesinin toplam gideri arıza dolayısı ile boşa akan su ve çevreye verilen zarar ile arızayı tamir eden ekibin personel ve iş makinesi giderinden oluşmaktadır.

Toplam giderin azaltılması Diferansiyel Gelişim Algoritması ile yapılmıştır. Karar destek sistemi önünüzdeki 15 yıl için istihdam edilecek arıza ekiplerinin sayısını optimize edecektir. Optimizasyon sürecinde tasarım değişkeni en düşük toplam

maliyeti veren ekip sayısıdır. Ekip sayısı için arama uzayı belirlenmesinde arama uzayı en az 3 ekip en çok 25 ekip olarak belirlenmiştir. Böylece her yıl için 23 adet ekip sayısı olasılığı ortaya çıkmaktadır. Karar Destek Sistemi 15 yıl boyunca tahminde bulunacağı için $2315 = 2.67 \times 1020$ adet çözüm alternatifi bulunmaktadır. Arama uzayının büyüklüğü göz önüne alındığında problemin zorluğu ortaya çıkmaktadır. Optimizasyon için 500 bireyden oluşan bir popülasyon oluşturulmuş, her birey Denklem (2) ve (3)'te anlatılan mutasyona tabi tutulmuş ve arama işlemi 5000 kere tekrar edilerek toplam 2.5 milyon deneme yapılmıştır. Tablo 3'te optimizasyona başlanırken rastgele oluşturulan başlangıç çözümü ile elde edilen en iyi çözüm sunulmuştur.

Tablo 3: Elde edilen en iyi analiz sonuçları.

Yıl	Başlangıç Durumu		En İyi Çözüm	
	Ekip Sayısı	Maliyet	Ekip Sayısı	Maliyet
2017	4	5561720	12	5415520
2018	12	5439110	12	5439110
2019	22	7769930	12	5473480
2020	5	5743770	12	5516500
2021	19	6895450	12	5591430
2022	8	5826880	12	5676270
2023	7	5998900	12	5778690
2024	23	8148750	13	5889490
2025	11	6115710	13	5972690
2026	10	6290600	13	6075050
2027	24	8519370	13	6216560
2028	16	6665450	14	6380880
2029	21	7676370	14	6499800
2030	17	7034420	14	6652000
2031	11	7165000	14	6853130

4 Sonuçlar

Önerilen karar destek sistemi arıza ve işletme maliyetlerinin toplamını en aza indirecek şekilde istihdam edilmesi gereken ekip sayısını belirlemektedir. Böylece kısıtlı bütçe ile hizmet veren yerel yönetimlerin maddi kaynaklarının daha verimli biçimde kullanılmasına yardımcı olması amaçlanmıştır. Buna ek olarak geleceğe yönelik doğruluğu yüksek tahminler yapmaktadır. Bu sayede karar vericilere uzun vadeli kararları daha doğru biçimde almalarına yardımcı olacaktır. Sistem geleceğe dönük tahminleri geçmiş verilere dayanarak yaptığı için verilerin sağlıklı biçimde tutulması sistemin doğru kararlar alabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle kurumların detaylı, düzenli ve doğruluğu yüksek biçimde veri toplamaları ve bu verileri güvenli biçimde saklamaları gerekmektedir. Aksi durumda geleceğe yönelik yapılan tahminlerin doğruluğu düşük olacak ve yanlış kararların alınmasına sebep olabilecektir.

5 Teşekkür

Yazarlar, veri ve teknik desteği için Malatya Su ve Kanal İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü'ne ve bu çalışmanın değerlendirilmesinde değerli görüşlerinden dolayı hakemlere teşekkür etmektedir.

6 Kaynaklar

- [1] Web-1. <https://bim.maski.gov.tr>.
- [2] MASKİ. (2015). Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.
- [3] Vamvakieridou-Lyroudi LS, Savic DA, Walters GA. "Fuzzy hierarchical decision support system for water distribution network optimization". *Civil Engineering and Environmental Systems*. 23(3), 237-261, 2006.
- [4] Vasan A, Simonovic SP. "Optimization of water distribution network design using differential evolution". *Journal of Water Resources Planning and Management*. 136(2), 279-287, 2010.
- [5] Suribabu CR. "Differential evolution algorithm for optimal design of water distribution networks". *Journal of Hydroinformatics*, 12(1), 66-82, 2010.
- [6] Corcoran L, McNabola A, Coughlan P. "Optimization of Water Distribution Networks for Combined Hydropower Energy Recovery and Leakage Reduction". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000566, 04015045. 2015.
- [7] Gökçe Ş, Ayvaz MT. "Evaluation of harmony search and differential evolution optimization algorithms on solving the booster station optimization problems in water distribution networks". *Studies in Computational Intelligence*. 585, 245-261, 2015.
- [8] Blinco LJ, Simpson AR, Lambert MF, Marchi A. "Comparison of pumping regimes for water distribution systems to minimize cost and greenhouse gases". *Journal of Water Resources Planning and Management*. 142(6), 04016010, 2016.
- [9] González Perea R., Camacho Poyato E, Montesinos P, Rodríguez Díaz JA. "Optimization of Irrigation Scheduling Using Soil Water Balance and Genetic Algorithms". *Water Resources Management*, 30(8), 2815-2830, 2016.
- [10] Sarbu I, Ostafe G. "Optimal design of urban water supply pipe networks". *Urban Water Journal*, 13(5), 521-535, 2016.
- [11] Wang H, Chen X. "Optimization of maintenance planning for water distribution networks under random failures". *Journal of Water Resources Planning & Management*, 142(2), 1-10, 2016.
- [12] Storn R, Price K. "Differential evolution-a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces." *Journal of Global Optim.*, 11(4), 341-359, 1997.
- [13] Das S, Suganthan PN. "Differential evolution: a survey of the state-of-the-art. Evolutionary Computation". *IEEE Transactions on*, 15(1), 4-31, 2011.
- [14] Ghosh S, Das S, Vasilakos AV, Suresh K. "On convergence of differential evolution over a class of continuous functions with unique global optimum". *IEEE Trans. Systems, Man, and Cyb., Part B: Cyb.*, 42(1), 107124, 2012.