

## Kanalizasyon Sistemlerinde Rehabilitasyonda Öncelikli Bölgelerin PROMETHEE ve MAUT Yöntemleri ile Belirlenmesi

*Identification of Priority Regions in Rehabilitation in Sewerage Systems by PROMETHEE and MAUT Methods*

Cansu ORHAN<sup>1,a</sup>, Mahmut FIRAT<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Ardahan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Ardahan, Türkiye

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 27.02.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 16.09.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.09.2020

### Öz

Kanalizasyon sistemlerinde, fiziksel, çevresel, hidrolik, işletme gibi faktörlere bağlı olarak hasar, tıkanma, çökme, geri tepme gibi arızalar oluşmakta ve işletme koşulları bozulmaktadır. Bu arızaların sıklığının artması, sistem işletme maliyetini, lokal olarak boru değiştirme, bakım-onarım maliyetini arttırmakta ve hizmet kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle, kanalizasyon sistemlerinde arızaya sebep olabilecek faktörler göz önüne alınarak rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi maliyetlerin düşürülmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, kanalizasyon sistemlerinde rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi için çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla, detaylı literatür araştırması yapılarak belirlenen 26 faktöre ait saha verileri esas alınarak Fuzzy Elimination and Choice Translating Reality English (ENTROPI) yöntemi ile ağırlıklar hesaplanmıştır. Faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations-2 (PROMETHE-2) ve Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir. ENTROPI yöntemi ile hesaplanan ağırlık katsayılarının incelenen problemin doğal yapısı ile uyumlu ve anlamlı olduğu görülmüştür. Faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak PROMETHE-2 ve MAUT yöntemine göre belirlenen öncelikli bölgelerin, özellikle ilk 5 bölgenin genel anlamda uyumlu olduğu ve benzerlik gösterdiği söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Atık Su Sistemleri, Rehabilitasyon, Yapısal Kusur

### Abstract

Depending on factors such as physical, environmental, hydraulic, and operation in sewage systems, malfunctions such as damage, clogging, collapse, rebound occur and operating conditions deteriorate. The high frequency of these failures causes an increase in system operating costs and local pipe replacement, maintenance and repair costs and decreases the service quality. Therefore, it is important to determine the priority of rehabilitation by considering the factors that may cause failures and structural damages in the sewage systems. In this study, multiple criteria decision-making methods were applied to determine the priority of rehabilitation in sewage systems. For this purpose, weights of factors were calculated using the ENTROPI method based on the field data of 26 factors determined by conducting detailed literature research. Priority areas in rehabilitation were determined according to PROMETHE-2 and MAUT method using factor weights and field data of factors. The weight coefficients calculated with the ENTROPI method were found to be compatible and significant with the natural structure of the problem under study. Using the factor weights and the field data of the factors, it can be said that the priority regions determined according to the PROMETHE-2 and MAUT method, especially the first 5 regions, are generally compatible and show similarity.

**Keywords:** Wastewater Systems, Rehabilitation, Structural Damages

\*b Mahmut FIRAT; mahmut.firat@inonu.edu.tr, Tel: (0422) 377 48 01 /121, orcid.org/0000-0002-8010-9289

a orcid.org/0000-0002-0987-1297

## 1. Giriş

Aboneler tarafından kullanılan suyun çevreye zarar vermeden uzaklaştırılmasında ve yönetilmesinde kanalizasyon sistemlerinin normal işletme koşullarının sağlanması oldukça önemlidir. Sürekli tıkanma, çökme, geri tepme, ters eğimden dolayı su birikmesi gibi sorunların gözlemlendiği sistemlerde işletme maliyetinin artmasının yanı sıra hizmet kalitesi düşmekte, çevre ve vatandaş sağlığı açısından olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, kanalizasyon hatlarında yapısal kusurların tespit edilmesi, etkilerinin en aza indirilmesi, sürekli arıza üreten ve işletme maliyetini arttıran bölgelerin belirlenmesi ve rehabilitasyon programının oluşturulması sürdürülebilir kentsel alt yapı yönetimi açısından oldukça önem taşımaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, kentsel alt yapı sistemlerinde rehabilitasyon önceliği bölgelerin belirlenmesi gerektiği ve bunun ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yönetilmesi açısından büyük öneme sahip olduğu vurgulanmıştır (Kim vd., 2005; Chughtai vd., 2008; Shahata vd., 2010; Ammar vd., 2012; Ennaouri vd., 2013; Bowering vd., 2014; Marzouk vd., 2015; Kessili vd., 2016; Inanloo vd., 2016). Barreto vd. (2010) çok amaçlı optimizasyon ve hidrodinamik model kombinasyonunu sağlayarak kentsel drenaj rehabilitasyon sistemini analiz etmeyi hedeflemiştir. Bu çalışmada boru uzunluğu, boru tipi, bağlantı tipi, boru çapı, arıza tipi şeklinde değişkenler kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. Ana vd. (2010) kentsel drenaj hatlarında yapısal bozulma sebeplerinin tahmin edilmesinde yapay zeka ve farklı istatistiksel modelleri kullanmıştır. Çalışma sonunda kentsel drenaj altyapı varlık yönetim sistemleri için uygulamalar elde edilmiştir. Tagherouit vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, yapısal ve hidrolik performans etkileri dikkate alınarak kanalizasyon şebekesinin performansının değerlendirilmesi için sistematik bir yöntem geliştirmek ve kanalizasyon rehabilitasyonu öncelikleri için bir sıralama düzeni oluşturmak hedeflenmiştir. Vucijak vd. (2011) atık su sistemlerinde öncelik ölçütleri için bir dizi seçim sunmayı amaçlamıştır. Bu çalışma için çoklu seçim yöntemlerinden Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemi uygulanmıştır. Bu metodoloji ile kriterlerin ağırlık katsayıları büyükten en küçüğe doğru sıralanarak kriterlerin ağırlık vektörleri elde edilmiştir. Hosseini vd. (2012) ayrıık kanalizasyon sistemlerinde hidrolik performansı; derinlik ve borularda akış hızı

açısından değerlendirmeyi, belirsizlik analizi ve sistemdeki belirsizliklerin seçilmesi dahil tüm parametreleri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma sonunda geliştirilen bulanık tabanlı model, belirsizlik içeren parametreler altında ayrıık kanalizasyon sistemlerinin hidrolik performans analizi için kullanılmıştır. Rokstad vd. (2015) altyapı varlık yönetimi için planlanan kanalizasyon bozulma modellerini uygulamış ve modellerin hangi ağ oranının bir fonksiyonu olduğu hakkında değerlendirmeleri tartışmıştır. Değerlendirmeler bir bütün olarak ağ üzerindeki her bir durumu değerlendirmek, kanalizasyon sınıfı oranlarını tahmin etmek, ayrıık boruları tanımlamak, kritik durum sınıfını değerlendirmek için bir ağ üzerinde yapılmıştır. Hlodversdottir vd. (2015) simülasyon tahminleri ile sistem ağındaki zayıf noktaları tespit etmişlerdir. Uygun kanalizasyon modellemesinin bulunması için CBS kullanılmıştır. Sonuç olarak kanalizasyon hatlarında güvenlik açıklıklarını içeren sonuçlara ulaşım taşkın riskine dayanıksız olan bacaların tespiti ve düşük ya da büyük ölçüde değişen boru çaplarının azaltılması gereği vurgulanmıştır. Tscheikner vd. (2016) su dağıtım ve kanalizasyon şebekesinin rehabilitasyonunda teknik olarak gerekli olan alanların Analytic Hierarchy Process (AHP) yöntemi ile belirlemeyi amaçlamıştır. Al-Zahrani vd. (2015) herhangi bir su dağıtım ağında bölgesel riske göre öncelik vermek için bulanık tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Modelde, su kalitesi, hidrolik, yapısal olmak üzere farklı kategorilerde toplamda 19 faktör göz önünde bulundurulmuştur. Zhu vd. (2016) su taşkın risklerinin değerlendirilmesi amacıyla yeni bir kentsel drenaj sistemi için bir yağmur suyu yönetim modeli önermeyi amaçlamıştır. Çalışmada bir bölgede yedi değerlendirme endeksi seçilmiş ve yağış-akış olaylarının kalibre edilmesi için Yağmur Suyu Yönetim Modeli (YSYM) ve K-ortalama Kümeleme Yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ani bir sel veya taşkın durumunda başarılı olabilecek ve yağış yoğunluğu ve selden etkilenen bölgeler arasında olan ilişkiyi logaritmik olarak sunan yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Bu çalışmada, kanalizasyon sistemlerinde rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi için çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla, detaylı literatür araştırması yapılarak belirlenen 26 faktöre ait saha verileri kullanılarak ENTROPI yöntemi ağırlıklar hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak PROMETHE-2 ve MAUT yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir.

Bunun için Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. PROMETHEE 2

PROMETHEE yöntemi, sonlu sayıda bir alternatif için ortak bir başlık halinde değerlendirilmesi yapılamayan çoklu ölçütlerin sıralanması esasına dayanmaktadır (Brans vd., 1985). Bu yöntemde alternatiflerin sıralamasında üstünlük durumu kullanılmakta ve tercih yapısında ikili karşılaştırma matrisleri esas alınmaktadır. Değerlendirme kriterinin tanımlanmasından sonra tercih eşikleri seçilmekte ve son olarak değerlendirme matrisi tablosu oluşturulmaktadır (Brans vd., 2005). Bu yöntemi diğer karar verme yöntemlerinden ayıran temel fark, değerlendirme parametrelerinin birbirleri arasındaki ilişkilerini gösteren ağırlık katsayıları ve değerlendirmede her bir parametrenin kendi aralarında olan ilişkilerinin dikkate alınmasıdır (Roozbahani vd., 2012). Bu yöntemde veri matrisi alternatifler, parametreler ve parametre ağırlıklarından oluşmaktadır. Veri matrisi oluşturulurken atık su sisteminde arıza oranını etkileyebilecek parametreler  $f_1, f_2, \dots, f_n$  (bu çalışmada  $n=26$ 'ya eşittir) şeklinde sütunlarda yer almaktadır. Bu parametrelerin etkilediği alternatif noktalar ( $a, b, c$ ; bu çalışmada bölgeleri temsil etmekte ve bunun için 19 bölge belirlendi) ve parametrelerin ağırlık katsayıları ( $w_1, w_2, \dots, w_n$ ) ise satırlarda yer almaktadır (denklem 1). Bu yöntem için önerilen tercih fonksiyonları, olağan fonksiyon, U şekli, V şekli, seviye fonksiyonu, doğrusal ve Gaussian fonksiyonu şeklinde verilebilir (Brans vd., 1985). Uygulamada, parametreleri ve bu parametrelerin hangi tercih fonksiyonu çeşidi için uygun olacağını belirlemek zor olabilmektedir. Bunun için alternatiflerin ikili kıyasında  $a$  ve  $b$  alternatifleri için  $C$  parametresi arasındaki fark uyarlanır (denklem 2) (Roozbahani vd., 2012).

$$veri = \begin{bmatrix} f_1(a) & f_1(b) & \dots & w_1 \\ f_2(a) & f_2(b) & \dots & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_i(a) & f_i(b) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_n(a) & f_n(b) & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P_i(a, b) = \begin{cases} 0, & C_i(a) - C_i(b) \leq 0 \\ 1, & C_i(a) - C_i(b) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$P_i$  fonksiyonu, iki alternatif olan  $a$  ve  $b$ 'nin ikili değerlendirilmesi ile aralarındaki farkın 0 ile 1 arasında değişmekte olan tercih derecesine

denklem (4) ile çevirmektedir (Marescha vd., 1985). Bu yöntemde, ikili alternatif için sırasıyla tercih indeksi hesabı denklem (3) ile yapılmaktadır. Bütün alternatif çiftleri için toplam üstün tercih indeksi hesabı ise denklem (5) ile hesaplanır (Kessili vd., 2016).

$$P_i(a, b) = F_i[C_i(a) - C_i(b)] \quad (3)$$

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n P_i(a, b) * w_i \quad (4)$$

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i(a, b) * w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5)$$

Burada,  $C_i$ : parametreler (bu çalışmada 26 parametre belirlendi),  $a, b$ : alternatifler (bu çalışmada 19 bölge belirlendi),  $F_i$  ise  $C_i$  parametrelerine bağlı olarak  $a$  ve  $b$  alternatifleri arasındaki eğilimin azalan bir fonksiyonunu  $w_i$  ise alternatiflerin ağırlık katsayılarını ifade etmektedir. Alternatif üstünlüklerinin belirlenmesinde, bir alternatifin diğer alternatif üzerindeki hakimiyet derecesini gösteren pozitif ve negatif üstünlükler denklem (6) ve (7) ile hesaplanmaktadır (Kessili vd., 2016). Bu denklemlerde ikili karşılaştırma için  $a$  alternatifi sabit tutulur ve sırasıyla  $b, c, \dots, n$  alternatiflerine kadar ikili karşılaştırması yapılmaktadır (Marescha vd., 1985). Bu yöntemde son olarak, üstünlük değerlerine göre alternatiflerin hepsi aynı düzlemde değerlendirilmekte ve sıralaması oluşturulmaktadır (denklem 8) (Kessili vd., 2016). Eğer  $\emptyset(a)$  değeri  $\emptyset(b)$  değerinden büyük çıkarsa bu  $a$  alternatifinin  $b$  alternatifinden üstün olduğu, sıralamada daha önde geleceğini göstermektedir. Eğer  $\emptyset(a)$  değeri  $\emptyset(b)$  değerine eşit çıkarsa da her iki alternatif birbirinden farksız çıkmıştır, bu durumda da sıralamada aynı sırada yer almaları gerekmektedir (Kessili vd., 2016).

$$\emptyset^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (6)$$

$$\emptyset^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (7)$$

$$\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a) \quad (8)$$

### 2.2. MAUT Yöntemi

MAUT yöntemi ilk olarak Fisburn (1967) önermiş, Keeney (1974) kullanmış ve Loken (2007) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem 5 temel işlem adımından oluşmaktadır (Loken, 2007). Karar matrisinin oluşturulması; karar vermede etkili olan parametreler belirlenmekte (bu çalışmada 26 olarak belirlendi) ve ardından bu parametrelerin etkilediği alternatif noktalar (bu

çalışmada 19 bölge belirlendi) tayin edilerek hiyerarşik ağ oluşturulmaktadır. Bu yöntemde, atıksu sistemleri için belirlenen 26 parametre için toplamları 1'e eşit olacak şekilde her bir parametre için ağırlık katsayıları atanmaktadır. *Faktör değerinin atanması*; nicel parametreler için karar noktalarından elde edilen verileri kullanırken nitel olan parametreler için de parametreler arasında ikili karşılaştırmalar yaparak farklı puanlandırma yapısına göre değer atamaları yapılmaktadır. *Karar matrisinin normalizasyonu*; nicel ve nitel parametreler için atanan değerler birleştirilerek bir karar verme matrisi kurulmakta ve normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farklı olarak belirlenen 26 parametre için öncelikle en iyi ve en kötü olan değerler tespit edilmektedir. En iyi değer için 1 sayısı atanırken, en kötü değer için 0 sayısı atanmakta, ara değerler için ise denklem (9) kullanılarak değerler atanmaktadır (Loken, 2007). *Karar noktalarının fayda değerlerinin tayini*; normalleştirilmiş karar matrisi üzerinde her bir satır için 26 parametre ve 19 karar noktaları (bölgeler) için belirlenen fayda değerlerinin ağırlık katsayısı ile çarpımlarının toplamından oluşan eşitlik ile fayda değerlerinin atandığı işlem adıdır (Loken, 2007).

$$u_i(x_i) = \frac{x - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (9)$$

$$u(x) = \sum_1^m u_i(x_i) * w_i \quad (10)$$

Burada,  $u(x)$ , 19 karar noktası için fayda değeri,  $u_i(x_i)$ , parametre ve karar noktaları için fayda değeri,  $w_i$ , parametreler için toplamları 1'e eşit olan ağırlık katsayıları,  $x_i^+$ , parametre için en iyi değeri ifade ederken  $x_i^-$  en kötü değeri göstermekte,  $x$ ; işlem yapılan satır için fayda değeridir.

### 2.3. ENTROPI Yöntemi

ENTROPI yöntemi, satırlarında karar noktalarını sütunlarda ise bu karar noktalarını etkileyen parametreleri bulunduran karar verme matrisinin oluşturulduğu durumda uygulanabilen yöntemdir (Riley vd., 2010). Atık su sistemlerinde bozulma sürecini etkileyen değişkenlerin ağırlık katsayılarının hesaplanabilmesi, bölgelerin performansının ve rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesine ışık tutacaktır. Bu yöntem temel olarak 3 işlem adımından oluşmaktadır (Lee vd., 2012). İlk olarak alternatif bölgelere ait değişken bilgilerini içeren karar verme matrisi olan  $X_{ij}$  kurulmalıdır. Bu matriste,  $i$

yani satırlar çalışmamızdaki 19 bölgeyi ifade etmektedir. Sütunlarda ( $j$ ) ise atık su sisteminde arıza oranını etkileyebilecek parametreler bulunmaktadır (D1 (boru çapı), D2 (boru yaşı) gibi). Karar matrisinde normalizasyon işlemi; denklem (11) ile karar matrisinin her hücresi için aşağıda verilen standartlaştırılmış normalizasyon formülü kullanılarak tamamlanan işlem adıdır (Chang vd., 2006). Her bir parametre için ENTROPI değeri olan  $e_j$  denklem (12) ile bulunmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{Max_j} \quad (11)$$

$$e_j = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (12)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_1^j x_{ij}} \quad (12a)$$

Burada  $i$ , karar noktalarını gösterirken  $j$ , parametreleri göstermektedir.  $p_{ij}$ , normalize edilen değerler ve  $x_{ij}$ , verilen fayda değerleridir.  $k$ , ENTROPI katsayısı ve  $p_{ij}$ , normalize edilen değerler,  $n$ ; karar verme noktası sayısıdır. Son işlem adımında her bir parametre için ağırlık katsayıları denklem (14) ile hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{1}{\ln(n)} \quad (13)$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_1^m (1 - e_j)} \quad (14)$$

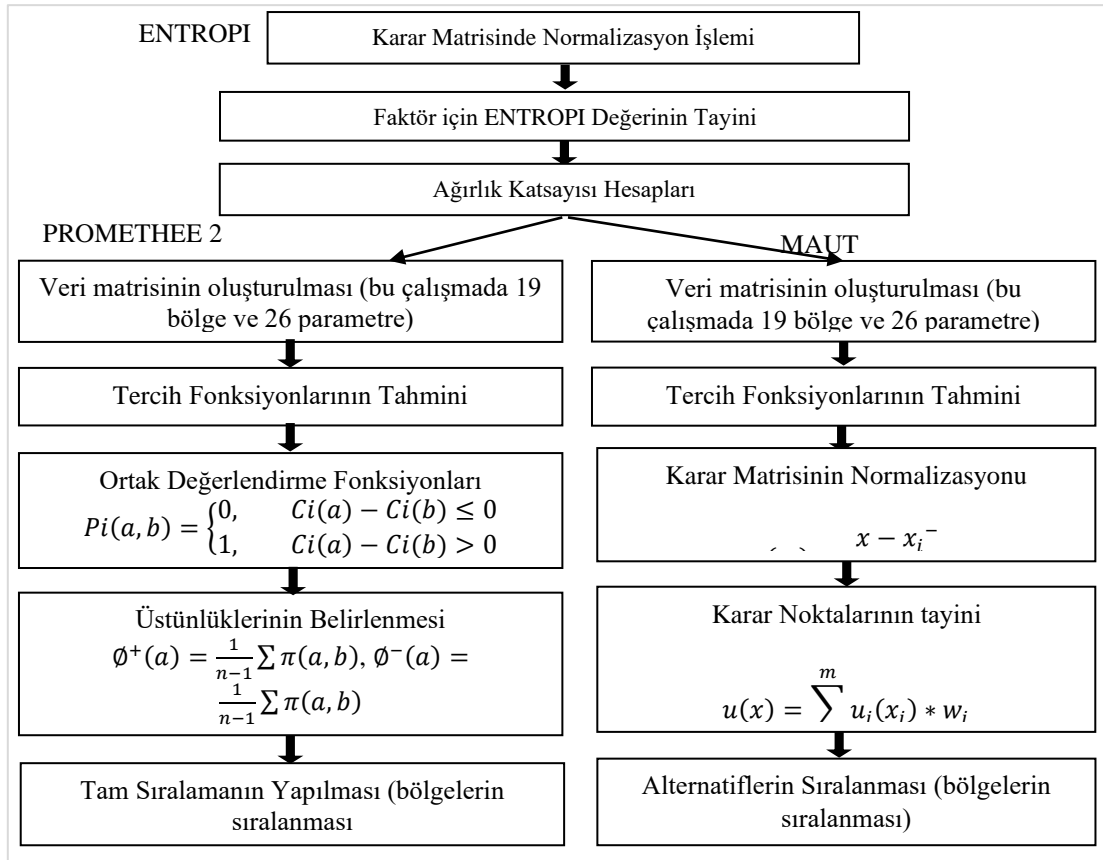
$w_j$ , parametrelerin ağırlık katsayılarını temsil etmekte ve toplamı 1'i vermektedir ( $\sum_1^m w_j = 1$ ).

### 3. Uygulama Alanı ve Faktörler

Bu çalışmada Malatya ili merkezde yer alan 19 bölge için (kanalizasyon sistemi verisine ulaşılabilen) uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama alanında faktörlere ait verilerin elde edilmesi Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) CBS veri tabanı, sahada doğrulanmış projeler, arıza yönetim sistemi ve yapısal kusurların belirlenmesinde Close Circuit TeleVision (CCTV) görüntüleri esas alınmıştır. Yapısal kusur sayısının incelenen sokaktaki toplam hat uzunluğuna bölünmesi ile yapısal kusur yüzdesi elde edilmiştir (Orhan, 2018). Kanalizasyon hatlarında kullanılacak faktörlerin belirlenmesi için, literatürde farklı modelleme yöntemleri kullanılarak atık su sistemlerinde bozulma faktörü üzerinde yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve toplamda 226 farklı faktör tespit edilmiştir. Bu

kadar farklı nitelikteki faktörlerin incelenmesi ve analizlerde kullanılması oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle faktörlerin uygunluğu, ölçülebilirliği, tutarlılığı, uygulanabilirliği ve karşılaştırılabilirliği gibi ölçütler göz önünde bulundurularak toplam 26 faktör belirlenmiştir. Bu faktörlere ait verilerin elde edilmesinde, pilot bölgelerde atık su projelerinin detaylı analizi yapılmış, saha ile doğrulanmış ve borunun içyapısıyla ilgili veriler için kanal görüntüleme yöntemi kullanılmıştır (Orhan, 2018). Çalışmada sözel verileri içeren boru malzemesi, zemin özelliği, trafik hacmi, sokak sınıfı, hat tipi parametrelerinin değerleri sayısal verilere dönüştürülerek kullanılmıştır. Sözel ifadelerin sayısal verilere dönüştürülmesi

işleminde arızayı etkileme durumu göz önüne alınmış ve yüksek risk taşıyanlara büyük numaralar verilmiştir. Örneğin, trafik hacmi için düşük, orta ve yüksek şeklinde sınıflandırma yapılırken sırasıyla 1, 2 ve 3 şeklinde numaralandırma yapılmıştır. Sokak sınıfı sınıflandırmasında 20 m değeri eşik kabul edilerek sokaklar 20 metreden büyük ve küçük şeklinde incelenmiş ve büyük sokaklar için 2, küçük sokaklar için 1 numaraları verilmiştir. Kanalizasyon hat tipi ayrık ve birleşik sistemden oluşmaktadır. Birleşik sistemlerde arıza potansiyeli daha yüksek olduğu için birleşik sistem için 2, ayrık sistem için mahallelere 1 numaralandırması yapılmıştır.



Şekil 1. Yöntemlerin uygulanmasında izlenen yol (Orhan, 2018)

Tablo 1. Değişkenlere ait sayısal veriler (Orhan, 2018)

MAHALLE	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
BAŞHARIK	200	21	1	1.95	2.156	0.742	0.730	0.004	1.51	65	14.79	183	0.40
ÇÖŞNÜK	400	20	1	2.10	2.075	1.590	0.047	0.048	1.24	75	7.71	184	0.40
FIRAT	300	16	1	2.51	2.003	0.951	0.078	0.043	1.02	72	18.73	180	0.50
GÖZTEPE	200	25	1	2.13	1.928	2.618	0.212	0.011	1.46	168	14.85	137	0.50
TANDOĞAN	200	25	1	2.09	2.232	2.677	0.141	0.033	6.4	58	6.32	39	0.30
BGAZİ	300	20	1	2.50	2.703	1.600	0.001	0.131	0.85	58	18.46	13	0.70
K.M. PAŞA	200	10	1	2.00	2.203	0.430	0.001	0.003	27.1	47	1.73	38	0.40
B.M. PAŞA	200	10	2	2.00	2.203	4.000	0.001	0.002	11.7	23	5.82	2	0.50

ZAFER	200	25	1	2.42	2.478	2.080	0.235	0.010	0.19	60	12.08	128	0.70
PAŞAKÖŞKÜ	200	15	1	2.36	2.501	2.940	0.250	0.051	2.97	54	17.66	103	0.70
HACI ABDİ	200	15	1	2.73	2.933	0.650	0.265	0.051	8.5	56	5.19	20	0.60
ÇİLESİZ	200	8	1	2.21	1.923	0.480	0.037	0.203	2.88	65	17.22	56	0.50
ÖZALPER	200	10	1	2.33	1.920	0.415	0.001	0.013	6.76	63	4.44	70	0.60
GAZİ	200	25	1	2.00	2.203	0.440	0.001	0.002	19.7	36	8.91	6	0.50
M. FATİH	200	25	1	2.02	2.240	1.420	0.001	0.024	9.84	52	6.94	42	0.60
ATATÜRK	200	25	1	2.00	2.203	0.498	0.030	0.002	0.88	57	3.44	55	0.80
KOŞU	200	25	1	2.00	2.203	0.907	0.001	0.002	1.75	53	40.18	59	0.80
T. ÖZAL	300	15	1	2.38	2.588	2.020	0.229	0.036	0.64	60	11.52	45	0.70
SAMANLI	200	13	1	1.87	2.087	3.285	0.001	0.011	0.81	60	6.14	12	0.60

**Tablo 2.** Değişkenlere ait sayısal veriler (Orhan, 2018)

MAHALLE	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26
BAŞHARIK	39	2	1	2	1	229	3442	3	272031	52	686069	1323	127
ÇÖŞNÜK	33	2	1	3	2	323	4264	7	836126	34	1255937	2385	220
FIRAT	43	2	1	2	2	282	3047	5	493044	43	916503	1838	62
GÖZTEPE	43	1	2	3	1	264	1803	2	322162	28	708766	1273	196
TANDOĞAN	13	1	2	3	2	182	1401	1	74967	21	167581	287	59
BGAZİ	14	2	2	2	1	97	540	2	98698	8	226882	470	0.10
K.M. PAŞA	9	1	2	3	1	88	978	2	23413	16	167514	347	0.10
B.M. PAŞA	2	1	2	2	1	43	554	1	2905	7	16566	34	0.10
ZAFER	34	1	1	2	1	150	2590	2	166880	50	519258	881	195
PAŞAKÖŞKÜ	25	1	1	3	1	170	1970	2	105319	15	398165	695	130
HACI ABDİ	8	1	2	2	1	20	406	1	25071	17	102063	180	31
ÇİLESİZ	47	2	2	3	2	230	3410	1	607234	45	998829	2039	33
ÖZALPER	20	1	2	2	1	110	736	2	201315	14	339115	586	116
GAZİ	2	1	1	1	1	19	102	1	7483	4	27049	56	0.10
M. FATİH	16	1	1	1	1	71	278	1	58012	23	297745	562	55
ATATÜRK	15	1	1	2	1	113	494	1	36783	9	257715	534	0.10
KOŞU	15	1	1	2	1	88	364	1	47367	19	194487	403	0.10
T. ÖZAL	13	1	2	3	2	134	2889	2	178618	25	550516	1058	83
SAMANLI	12	2	2	2	2	32	195	1	36002	9	174739	360	1.7

Bu faktörler; D1: Boru çapı (mm), D2: Boru yaşı, D3: Boru malzeme türü (Beton:1, Korige:2), D4: Borunun derinliği (m), D5: Gömlek malzeme ve asfalt kalınlığının toplamı, D6: Boru eğimi, D7: Ters eğim oranı, D8: Sokak ortalama eğimi, D9: Bacası arası minimum mesafe (m), D10: Baca arası maksimum mesafe (m), D11: Yapısal kusur oranı, D12: Bina bağlantı sayısı, D13: Aşırı yüklenme oranı, D14: 250 mm'den küçük boru oranı, D15: Hat tipi, D16: Zemin özelliği, D17: Trafik yoğunluğu, D18: Yol genişliği, D19: Konut yoğunluğu, D20: Nüfus, D21: Özel tüketimli abone sayısı (okul, hastane), D22: Bölge alanı (m<sup>2</sup>), D23: Arıza sıklığı, D24: Boru yenileme maliyeti, D25: CCTV metrajı, D26: Temizlik

yapılmayan hat metrajıdır (Orhan, 2018). Çalışmada, 19 bölge için atık su projeleri detaylı incelenmiş, kamera kullanılarak borularda oluşan hasarlar ve yerleri belirlenmiştir (Tablo 1 ve 2). Tespit edilen yapısal kusurlar temel olarak; yağ ve gres, boru malzemesi bütünlüğü ve çökme, Bozulma ve deformasyon, Kum-Çakıl-Mıcır birikmesi, Tıkanıklık, Bina bağlantı yanlış imalatı, Aşırı yüklenme, Ters eğim oranı şeklinde verilebilir (Orhan, 2018).

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada kanalizasyon borularını değerlendirilmesi ve rehabilitasyonda öncelik

sıralamasının yapılması için öncelikli olarak sahada verisi toplanan 26 faktör için ENTROPI yöntemi ile ağırlık katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 3). Faktörlere ait ağırlık katsayıları bölge performansının belirlenmesi, rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesinde kullanılacak olup bu katsayıların doğru bir şekilde hesaplanması oldukça önemlidir.

**Tablo 3.** Faktörlere ait ağırlık katsayıları (Orhan, 2018)

Faktörler	Ağırlıklar	Faktörler	Ağırlıklar
D1	0.0036	D14	0.0317
D2	0.0083	D15	0.0083
D3	0.0026	D16	0.0078
D4	0.0008	D17	0.0060
D5	0.0010	D18	0.0083
D6	0.0980	D19	0.0310
D7	0.1238	D20	0.0509
D8	0.0994	D21	0.0310
D9	0.0596	D22	0.0824
D10	0.0110	D23	0.0280
D11	0.0750	D24	0.0452
D12	0.0492	D25	0.0457
D13	0.0043	D26	0.0877

En yüksek ağırlık katsayısının ters eğim oranı (0.1238) için hesaplandığı, boru eğimi ve sokak eğimi için hesaplanan ağırlık katsayılarının da yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 3). Ters eğim özellikle suyun boru içinde birikmesine ve bunun sonucunda bina bağlantılarından veya bacalardan geri tepmesine neden olmaktadır (Orhan, 2018). Bu sonuçlar, projelendirmede en uygun eğimin seçilmesinin ve inşaatının projesine uygun olarak yapılmasının oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Boru eğiminin yanlış

planlanması veya yanlış imalat, hattın normal işletme koşullarının bozulmasına neden olabilmektedir. Tablodan, temizlik yapılmayan hat uzunluğuna ait ağırlık katsayısının da yüksek olduğu görülmekte ve bu faktörün tıkanma, çökme gibi yapısal kusurların önlenmesinde önemli olduğu bilinmektedir (Orhan, 2018). Saha verilerine göre, hatlarda tıkanmalara sebep olan diğer önemli faktör ise bina bağlantılarında imalat, işçilik hataları ve yanlış kullanım gösterilebilir. Bina bağlantısının artmasına bağlı olarak arıza sıklığı ve bakım-onarım maliyeti artmaktadır. Baca arası minimum mesafe için katsayının 0.0596 olarak hesaplandığı ve bunun da diğer birçok değişkene göre yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle ters eğim oranına bağlı olarak meydana gelen tıkanmaların temizlenmesinde ve hattın kontrol edilmesinde baca arası mesafe oldukça önemlidir. Yapılan bu değerlendirmelere göre, hesaplanan ağırlık katsayılarının incelenen problemin doğal yapısı ile uyumlu ve anlamlı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre, ENTROPI yöntemi ile elde edilen katsayıların problemin doğal yapısını temsil edebileceği ve bir sonraki aşamada rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesi kullanılabilirliği düşünülmektedir (Orhan, 2018).

Çalışmanın ikinci aşamasında, faktörlere ait ağırlıklar hesaplandıktan sonra, PROMETHE-2 ve MAUT yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir. Bu amaçla, faktör ağırlıklarının yanı sıra, faktörlere ait saha verileri esas alınmış ve önceki bölümlerde verilen işlem adımları izlenerek analiz gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 4 ve Şekil 2’de verilmiştir (Orhan, 2018).

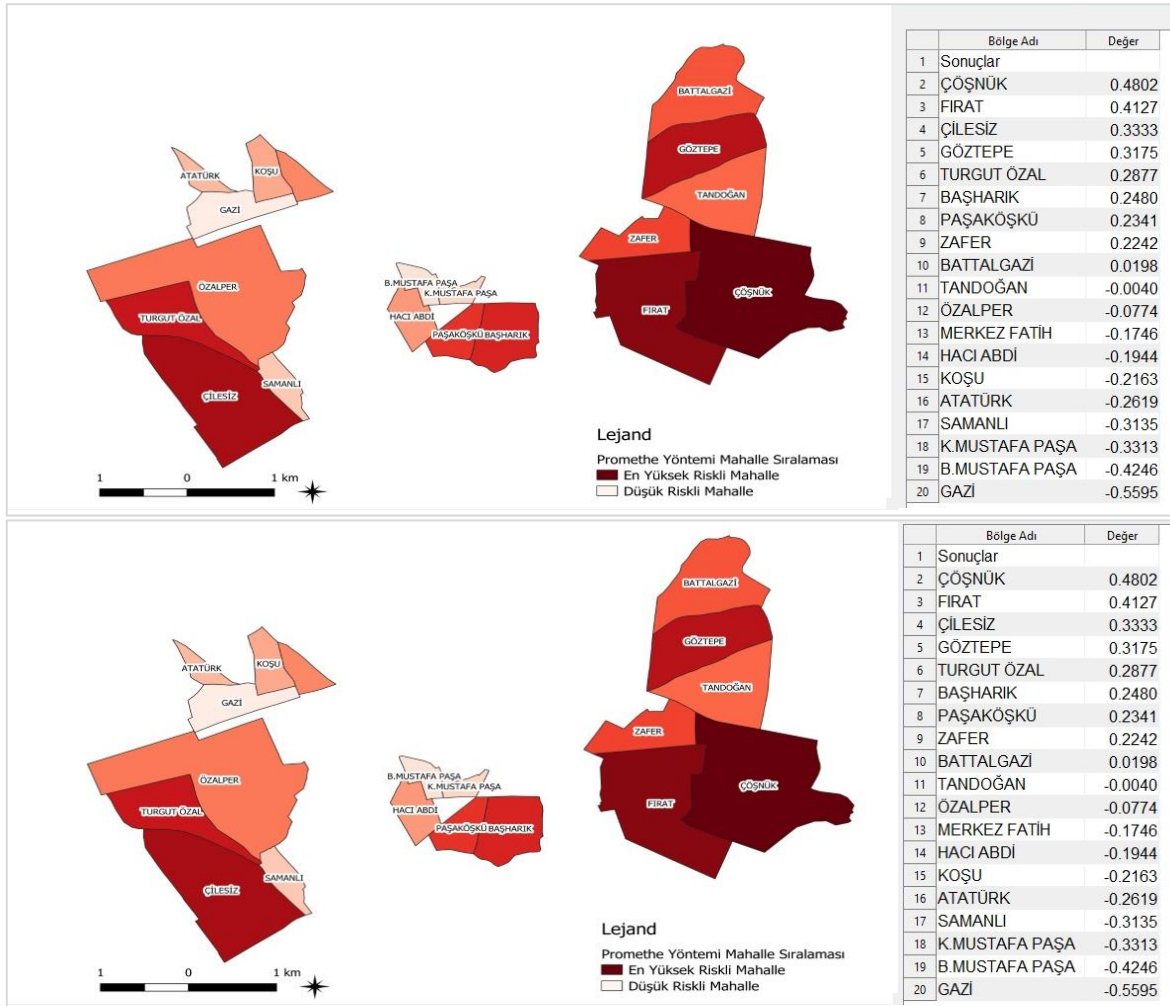
**Tablo 4.** Rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin nihai sıralaması (Orhan, 2018)

PROMETHE-2					MAUT		
Bölge	$\phi^+(a)$	$\phi^-(a)$	Değer	Sıralama	Bölge	Değer	Sıralama
Çöşnük	0.696	0.216	0.480	1	Çöşnük	0.6341	1
Fırat	0.657	0.244	0.412	2	Çilesiz	0.5186	2
Çilesiz	0.603	0.270	0.333	3	Başharık	0.5159	3
Göztepe	0.573	0.256	0.317	4	Fırat	0.4684	4
Turgut Özal	0.581	0.294	0.287	5	Göztepe	0.4376	5
Başharık	0.558	0.310	0.248	6	Zafer	0.3847	6
Paşaköşkü	0.538	0.304	0.234	7	Paşaköşkü	0.3447	7
Zafer	0.526	0.302	0.224	8	Turgut Özal	0.3305	8
Battalgazi	0.435	0.415	0.019	9	Tandoğan	0.2332	9
Tandoğan	0.421	0.425	-0.004	10	Özalper	0.2108	10
Özalper	0.371	0.448	-0.077	11	Battalgazi	0.1910	11

Merkez Fatih	0.325	0.500	-0.174	12	K.Mustafa Paşa	0.1789	12
Hacı Abdi	0.317	0.512	-0.194	13	Hacı Abdi	0.1670	13
Koşu	0.282	0.498	-0.216	14	Merkez Fatih	0.1666	14
Atatürk	0.266	0.528	-0.261	15	Koşu	0.1292	15
Samanlı	0.266	0.579	-0.313	16	Samanlı	0.1090	16
K.Mustafa Paşa	0.238	0.569	-0.331	17	B.Mustafa Paşa	0.1040	17
B.Mustafa Paşa	0.196	0.621	-0.424	18	Atatürk	0.1014	18
Gazi	0.117	0.677	-0.559	19	Gazi	0.0838	19

Tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde, her iki yöntem sonuçlarının, özellikle ilk 5 bölge, genel anlamda uyumlu olduğu ve benzerlik gösterdiği söylenebilir. Rehabilitasyonda öncelikli ilk 5 beş bölge içinde dört bölgenin ortak olduğu görülmektedir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçların uyumlu olması; faktörlerin belirlenmesinde detaylı literatür incelemesi yapılması ve uygunluk-ölçülebilirlik-

karşılaştırılabilirlik gibi ölçütler esas alınması, faktörlere ait ağırlıkların hesaplanmasında uzman görüşleri veya anket uygulamasından farklı olarak saha verilerini esas alan yöntemin kullanılması, hesaplanan ağırlıkların problemin doğal yapısı ile uyumlu olması ve problemi temsil edecek nitelikte olması, öncelikli bölgelerin belirlenmesinde saha verilerinin ve saha verileri esas alınarak belirlenen ağırlıkların kullanılması, şeklinde verilebilir.



Şekil 2. Rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin nihai sıralaması (Orhan, 2018)

Öncelikli bölgelerin belirlenmesinde benzerliklerin yanı sıra farklılıkların da olduğu görülmektedir. Bu durum PROMETHEE ve MAUT yöntemlerinin çalışma prensibi ile

açıklanabilmektedir. PROMETHEE yönteminde veri matrisi oluşturulduktan sonra her bir değişken için mahallelerin ikili karşılaştırmaları yapılmakta ve ortak tercih fonksiyonları belirlenmektedir. Bir



bölge için parametrelerin farkına göre negatif değerlere 0, pozitif değerlere ise 1 değeri verilerek ikili karşılaştırmalar tamamlanmakta ve değişkenlerin ENTROPI ile belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpımı gerçekleştirilmektedir. Her bölge için pozitif ve negatif üstünlük farkları alınarak sıralama puanları oluşturulur. MAUT yönteminde karar matrisinde her sütun için minimum ve maksimum değerler belirlenir. Normalize karar matrisi ile değişkenlerin ENTROPI ile belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpımı ile  $u(x)$  matrisi elde edilmektedir. Sıralama işlemi ise  $u(x)$  matrisinde her bir satırın toplamları bulunur ve alternatif noktalar için sıralama yapılır. Görüldüğü üzere MAUT yönteminde parametreler arasında ikili karşılaştırma yapılmamaktadır. Parametreler arasında maksimum fayda bu çalışma için atık su sisteminde bozulmaya maksimum etki edecek parametreleri bulmaya yönelik işlem yapmaktadır. Ayrıca PROMETHEE yönteminde pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin farkına göre sıralama yapılırken MAUT yönteminde ilgili mahalle için tüm değişkenlerin fayda değerlerinin toplamına göre sıralama yapılmaktadır. Yöntemler arasındaki bu farklılıklardan dolayı sıralamada bazı kısımlarda farklılık ortaya çıkabilmektedir.

Rehabilitasyonda öncelikli olarak belirlenen ilk 5 bölge için değerlendirme yapılacak olursa, arıza sıklığının ve boru yenileme maliyetlerinin özellikle Başharık, Çöşnük, Çilesiz ve Fırat mahallerinde yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Bu iki faktör özellikle İdare açısından önemli işletme maliyetleri oluşturmaktadır. Yapılacak rehabilitasyon programı ile maliyetlerin azaltılması ve normal işletme koşullarının oluşturulması sağlanabilir. Benzer şekilde bu bölgelerde konut yoğunluğunun fazla olması, özellikle yanlış kullanımdan kaynaklanan yapısal kusur oranı üzerinde etkisi söz konusu olabilmektedir. Sonuç olarak, arıza potansiyeli en yüksek olan boruların belirlenerek öncelikli olarak bakım ve onarımının yapılabileceği ve rehabilitasyon kapsamında olan cadde ve sokaklar incelendiğinde bakım ve onarıma ihtiyaç duymayan boruların tespit edilmesiyle hem rehabilitasyon süresinin kısalması açısından hem de maliyet açısından büyük faydalar sağlanabileceği düşünülmektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, kanalizasyon sistemlerinde rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi için çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla, detaylı literatür araştırması yapılarak

belirlenen 26 faktöre ait saha verileri kullanılarak ENTROPI yöntemi ağırlıklar hesaplanmıştır. En yüksek ağırlık katsayısının, sırasıyla ters eğim oranı, bina bağlantı sayısı, temizlik yapılmayan hat uzunluğu faktörleri için hesaplanmıştır. Yapılan bu değerlendirmelere göre, hesaplanan ağırlık katsayılarının incelenen problemin doğal yapısı ile uyumlu ve anlamlı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre, ENTROPI yöntemi ile elde edilen katsayıların problemin doğal yapısını temsil edebileceği ve bir sonraki aşamada rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesi kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında, faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak PROMETHEE-2 ve MAUT yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir. Tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde, her iki yöntem sonuçlarının, özellikle ilk 5 bölgenin genel anlamda uyumlu olduğu ve benzerlik gösterdiği söylenebilir. Rehabilitasyonda öncelikli olarak belirlenen ilk 5 bölge için değerlendirme yapılacak olursa, arıza sıklığının ve boru yenileme maliyetlerinin özellikle Başharık, Çöşnük, Çilesiz ve Fırat mahallerinde yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, arıza potansiyeli yüksek olan bölgelerin tespit edilmesiyle rehabilitasyon çalışmasının başlangıç noktası belirlenerek bu noktalarda oluşabilecek büyük çapta arıza ve mağduriyetlerin önüne geçilebileceği, belirlenen en riskli mahallelerin sokak bazlı ve hatta bacadan bacaya kullanılan boru bazlı da incelenebileceği ve bu sebeple arıza potansiyeli en yüksek olan boruların belirlenerek öncelikli olarak bakım ve onarımının yapılabileceği ve rehabilitasyon kapsamında olan cadde ve sokaklar incelendiğinde bakım ve onarıma ihtiyaç duymayan boruların tespit edilmesiyle hem rehabilitasyon süresinin kısalması açısından hem de maliyet açısından büyük faydalar sağlanabileceği düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, 2018 yılında Cansu ORHAN tarafından tamamlanan Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir. Çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, (İÜ-BAP FYL-2017-582) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, İÜBAP Birimi'ne ve veri ve teknik destekten dolayı MASKİ Genel Müdürlüğüne teşekkür etmektedir.

## Kaynaklar

Al-Zahrani, M., Abo-Monasar, A. ve Sadiq, R., 2015. Risk-Based Prioritization of Water Main Failure Using Fuzzy Synthetic Evaluation Technique.

- Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA, 65, 2, 145-161.
- Ammar, M. A., Moselhi, O. ve Zayed, T.M., 2012. Decision Support Model for Selection of Rehabilitation Methods of Water Mains. Structure and Infrastructure Engineering, 8, 847-855.
- Ana, E.V. ve Bauwens, W., 2010. Modeling The Structural Deterioration of Urban Drainage Pipes: The State-of-The-Art in Statistical Methods. Urban Water Journal, 7, 47-59.
- Barreto, W., Vojinovic, Z., Price, R. ve Solomatine, D., 2010. Multiobjective Evolutionary Approach to Rehabilitation of Urban Drainage Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 136, 547-554.
- Bowering, E.A., Peck, A.M. ve Simonovic, S.P., 2014. A Flood Risk Assessment to Municipal Infrastructure Due to Changing Climate Part I: Methodology. Urban Water Journal, 11, 20-30.
- Brans, J.P. ve Mareschal, B., 2005. Promethee Methods. (Pp 163-186) In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of The Art Surveys. International Series in Operations Research & Management Science, 78. Springer, New York, NY.
- Brans, J.P., Vincke, Ph. ve Mareschal, B., 1985. How to Select and How to Rank Projects: The Promethee Method. European Journal of Operational Research, 24, 228-238.
- Chang, C.-I., Du, Y., Wang, J., Guo S.-M., Thouin, P.D., 2006. Survey and Comparative Analysis of Entropy and Relative Entropy Thresholding Techniques. IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing, 6, 837 - 850.
- Chughtai, F. ve Zayed, T., 2008. Infrastructure Condition Prediction Models for Sustainable Sewer Pipelines. Journal of Performance of Constructed Facilities, 22, 333-341.
- Ennaouri, I. ve Fuamba, M., 2013. New Integrated Condition-Assessment Model for Combined Storm-Sewer Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 139, 53-64.
- Fishburn P., 1967. Additive Utilities with Finite Sets: Applications in The Management Sciences. Naval Research Logistics Quarterly, 14(1), 1-13.
- Hlodversdottir, A.O., Bjornsson, B., Andradottir, H. O., Eliasson, J. ve Crochet, P., 2015. Assessment of Flood Hazard in A Combined Sewer System in Reykjavik City Centre. Water Science and Technology, 71, 1471-1477.
- Hosseini, S. M. ve Ghasemi, A., 2012. Hydraulic Performance Analysis of Sewer Systems with Uncertain Parameters. Journal of Hydroinformatics, 14, 682-696.
- Inanloo, B., Tansel, B., Shams, K., Jin, X. ve Gan, A., 2016. A Decision Aid GIS-Based Risk Assessment and Vulnerability Analysis Approach for Transportation and Pipeline Networks. Safety Science, 84, 57-66.
- Keeney, R. ve Fishburn, P., 1974. Seven Independence Concepts and Continuous Multiattribute Utility Functions. Journal of Mathematical Psychology, 11(3), 294-327
- Kessili, A. ve Benmamar, S., 2016. Prioritizing Sewer Rehabilitation Projects Using AHP-PROMETHEE II Ranking Method. Water Science and Technology, 73, 283-291.
- Kim, E.S., Baek, C.W. ve Kim, J.H., 2005. Estimate of Pipe Deterioration and Optimal Scheduling of Rehabilitation. Water Science and Technology: Water Supply, 5, 39-46.
- Lee, P. T. W., Lin, C. W., Shin ve S. H., 2012. A Comparative Study on Financial Positions of Shipping Companies in Taiwan and Korea Using Entropy and Grey Relation Analysis. Expert Systems with Applications, 39, 5649-5657.
- Loken, E., 2007. Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 1584-1595.
- Marzouk, M., Hamid, S. A. ve El-Said, M., 2015. A Methodology for Prioritizing Water Mains Rehabilitation In Egypt. HBRC Journal, 11, 114-128.
- Orhan, C., 2018. Atık Su Sistemlerinde Rehabilitasyon İçin Öncelikli Bölgelerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 120s.
- Riley, M.A., Baker, A.A., Schmit, J.M. ve Weaver, E., 2010. Effects of Visual and Auditory Short-Term Memory Tasks on The Spatiotemporal Dynamics and Variability of Postural Sway. Journal of Motor Behavior, 37, 311-324.
- Rokstad, M. M. ve Ugarelli, R. M., 2015. Evaluating The Role of Deterioration Models for Condition Assessment of Sewers. Journal of Hydroinformatics, 17, 789-804.
- Roozbahani, A. ve Banafsheh, Z., 2012. PROMETHEE With Precedence Order in The Criteria (PPOC) As A New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply

- Management. *Water Resources Management*, 26, 3581–99.
- Shahata, K. ve Zayed, T., 2010. Integrated Decision-Support Framework for Municipal Infrastructure Asset. *ASCE Pipelines Proceedings*, 514, 1492–1502.
- Tagherouit, W. B., Bennis, S. ve Bengassem, J., 2011. A Fuzzy Expert System for Prioritizing Rehabilitation of Sewer Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26, 146–152.
- Tscheikner-Gratl, F., Sitzenfrei, R., Rauch, W. ve Kleidorfer, M., 2016. Integrated Rehabilitation Planning of Urban Infrastructure Systems Using A Street Section Priority Model. *Urban Water Journal*, 13, 28-40.
- Vucijak, B. ve Ceric, A., 2011. Multicriteria Prioritization of Wastewater Projects on Example of Bihac Municipality. *Annals of DAAAM And Proceedings of The International DAAAM Symposium*. 22, 933–935.
- Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X. ve He, P., 2016. Approach for Evaluating Inundation Risks in Urban Drainage Systems. *Science of The Total Environment*, 553, 1–12.