

## CCTV Kamera Verileri Kullanılarak Atıksu Sistemlerinde Meydana Gelen Arızaların ve Etkili Faktörlerin İncelenmesi

Cansu ORHAN<sup>1</sup>, Mahmut FIRAT<sup>2\*</sup>

**ÖZET:** Atıksu sistemlerinde zamanla çökme, ters eğim, tıkanma, yanlış bina bağlantısı, yağlanma, çatlak vb. arızalar meydana gelmektedir. Bu arızalar, fiziksel, işletme ve çevresel gibi farklı faktörlere bağlı olarak oluşmaktadır. Özellikle eski sistemlerde sürekli meydana gelen arızalar sonucu sokakta sürekli bakım onarım çalışmalarının yapılmasına neden olmaktadır. Bu arızaların sıklığı sistemin işletme maliyetini arttırmakta ve normal işletme koşullarını bozmaktadır. Bu çalışmada, atıksu sistemlerinde kapalı devre televizyon (CCTV) kamera görüntüleri esas alınarak tespit edilen yapısal kusurlar ve bunlara sebep olan faktörlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Malatya ili merkez ilçeleri olan Yeşilyurt ve Battalgazi ilçelerinde hizmet veren atıksu sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Atıksu sistemlerinde bozulmalara sebep olabilecek boru uzunluğu, boru eğimi, yapısal kusur yüzdesi ve doluluk oranı aşımı gibi faktörler belirlenmiş ve bu faktörlere ait veriler saha çalışmaları, kanal görüntüleme ve proje okuma gibi yöntemlerle elde edilmiştir. Saha verileri incelendiğinde, boru eğimi düşük olduğunda hat içinde çökelmeler oluşmakta ve akış kapasitesi zamanla düşmektedir. Sonuç olarak grafik ve Çizelgede verilen sonuçlara göre, yapısal kusur oranının artmasında, işçilik kalitesi (imalat, yatak malzemesi, projeye uygun eğim verilmesi), çevresel etkiler (trafik), fiziksel ve hidrolik faktörlerin etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu sistemleri, yapısal kusur, CCTV

### Investigation of Faults and Effective Factors in Wastewater Systems Using CCTV Camera Data

**ABSTRACT:** In wastewater systems, the different types of failures such as collapse, reverse slope, clogging, incorrect building connection, lubrication, cracks and so on occur. These failures are caused by different factors such as physical, operational and environmental factors. Failures that occur constantly in older systems, cause continuous maintenance and repair work in the street. The frequency of these failures increases the operating cost of the system and disrupts normal operating conditions. In this study, it is aimed to investigate the structural defects and the factors that cause them in wastewater systems based on closed circuit TV (CCTV) camera images. For this, the wastewater system serving in Yeşilyurt and Battalgazi districts, which are central districts of Malatya province, has been chosen as the application area. Factors such as pipe length, pipe slope, percentage of structural defect and occupancy rate exceeding that could cause deterioration in wastewater systems were determined and data of these factors were obtained by methods such as field studies, CCTV and project reading. When the field data is analyzed, if the pipe slope is low, sedimentation occurs in the line and the flow capacity decreases over time. As a result, according to the results given in the graph and the table, the quality of workmanship (manufacturing, bedding material, slope appropriate to the project), environmental effects (traffic), physical and hydraulic factors have been effective in increasing the structural defect rate.

**Keywords:** Wastewater systems, structural defect, CCTV

<sup>1</sup>Cansu ORHAN (Orcid ID: 0000-0002-0987-1297), Ardahan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Ardahan, Türkiye

<sup>2</sup> Mahmut FIRAT (Orcid ID: 0000-0002-8010-9289), İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mahmut FIRAT, e-mail: mahmut.firat@inonu.edu.tr

Bu çalışma Cansu ORHAN'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

## GİRİŞ

Artan nüfusa bağlı olarak, sağlıklı, güvenilir ve çevre standartlarına uygun kaliteli bir altyapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemde zamanla oluşan kusurlar sebebiyle kanalizasyon sistemleri yetersiz hale gelmekte ve zamanla sorunlar gözlenmektedir. Literatürde atıksu sistemlerinde karşılaşılan hata türleri ve çözüm önerileri ile ilgili yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Kim ve ark. (2005) yaptığı çalışmada boru hatlarındaki bozulmaya göre rehabilitasyon için en uygun zamanlama modelini önermişlerdir. Her boru elamanı ve boru çapı için hesaplanan bozulma derecesi ile en uygun rehabilitasyon modeli programlama (IP), kısa yola dayalı, bakım, rehabilitasyon süresi ve maliyetini hesaplamak ve değiştirmek için olasılık sinir ağları modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada, optimal rehabilitasyon modeli için en uygun yenileme ve rehabilitasyon süreleri belirlenmiştir. Chughtai ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada geliştirilen model ile kanalizasyon hatlarında kritik noktaların belirlenmesi, rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin ortaya konulması hedeflenmiştir. Geçmişe dönük toplanan verilerle, kanalizasyon için çoklu doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak yapısal ve işletme durum değerlendirme modelleri geliştirilmiştir. Shahata ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmanın amacı, su ve kanalizasyon şebeke rehabilitasyon konusunda en doğru ve optimum rehabilitasyon programına ve süresine karar sağlamak ve karar verme sürecini kolaylaştırmak için bir metodoloji kurmaktır. Çalışmada CCTV verileri kullanılmış ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) yönteminden yararlanılmıştır. Bu araştırma çalışmasında, yol ağı, su dağıtım şebekesi, atıksu dağıtım ağı entegre varlık yönetimi için bir karar destek çerçevesi kurulmuştur. Tagherouit ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, yapısal ve hidrolik etkiler dikkate alınarak kanalizasyon şebekesinin performansının değerlendirilmesi ve kanalizasyon rehabilitasyonu önceliklerinin belirlenmesi için bir model geliştirilmiştir. Ammar ve ark. (2012) tarafından yürütülen çalışmada rehabilitasyon yöntemlerinin belirlenmesi ve parametrelerin tanımlanması, mevcut rehabilitasyon modellerinin sıralanması ve en uygun rehabilitasyon modelinin seçilmesi, belirlenen parametrelerin rehabilitasyon noktalarına etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada bulanık mantık tabanlı kontrol modeli kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda mevcut rehabilitasyon teknikleri incelenmiş birbirleri ile kıyaslamaları yapılmış ve uygun bir rehabilitasyon modeli geliştirilerek pratik bir model bulunmaya çalışılmıştır. Hosseini ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmanın amacı, ayrı kanalizasyon sistemlerinin hidrolik performansını, derinlik ve borulardaki akış hızı açısından değerlendirmek, belirsizliklerin analizi ve seçilmesi dahil tüm parametreleri göz önünde bulundurmak. Çalışma sonunda geliştirilen bulanık tabanlı model, belirsizlik içeren parametreler altında ayrı kanalizasyon sistemlerinin hidrolik performans analizi için kullanılmıştır. Ennaouri ve ark. (2013), kanalizasyon borularında genel hidrolik ve yapısal bozulma durumlarını ölçmek için yeni bir model tasarlanmayı hedeflemiştir. Kanalizasyon bozulma durumunu değerlendirmek için tasarlanan bu çalışmada açıklanan model, tespit edilen 15 faktöre dayalı bozulmanın hidrolik ve yapısal bileşenlerini içermektedir. Sonuç olarak, boru bozulma modelinin yanı sıra yapısal ve hidrolik faktörlerin entegre edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Rokstad ve ark. (2015) tarafından altyapı varlık yönetimi için planlanan kanalizasyon bozulma modelleri uygulanmış ve modellerin hangi ağ oranının bir fonksiyonu olduğu hakkında değerlendirmeler tartışılmıştır. Bunun için CCTV görüntüleri esas alınmış, bir bütün olarak ağ üzerindeki her bir durum analiz edilmiş, kanalizasyon sınıfı oranları tahmin edilmiş, ayrı borular tanımlanmış ve kritik durum sınıfı ortaya konulmuştur. Mounce ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, birleşik kanalizasyon sistemleri üzerinde yağış verilerini kullanarak su derinliği ve kanal akış oranlarını hesaplamayı ve aşırı yağış durumlarında taşkın ve geri tepmelerin önüne geçmeyi hedeflemiştir. Çalışmada İngiltere'nin kuzeyinde bulunan bir toplama havzası için birleşik kanalizasyon akışlarının yağış miktarı, yağış aralığı, hava durumu verileri, akış derinliği, kanaldaki akış hızı, doluluk

oranı gibi verileri doğrultusunda Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada modelin sözde ters kural ile eğitilmiş tahminleri sonucunda 1 saatten fazla süre için tahmin edilemeyen veriler için %5'ten daha az hata ile birleşik kanalizasyon akış derinliğinin tahmin edilebilmesi yeteneğine sahip olduğu gösterilmiştir. Bu arızaların sıklığı sistemin işletme maliyetini arttırmakta ve normal işletme koşullarını bozmaktadır. Bu çalışmada, atıksu sistemlerinde CCTV kamera görüntüleri esas alınarak tespit edilen yapısal kusurlar ve bunlara sebep olan faktörlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Malatya ili merkez ilçeleri olan Yeşilyurt ve Battalgazi ilçelerinde hizmet veren atıksu sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Malatya ili atıksu sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışmada atıksu sistemlerinde oluşan arıza sayılarına göre arızanın yoğunlukta görüldüğü merkez ilçeler olan Yeşilyurt ve Battalgazi ilçelerinin değerlendirmesi yapılacaktır. Çalışma alanında 2016 yılı Haziran ayı itibariyle sistemde kaydı tutulmaya başlanan yaklaşık 50000 arıza verisi incelenerek merkez ilçelere bağlı mahalleler üzerinde kanal temizleme işlemi yapılarak kamera görüntüleri alınmış olan 19 mahallede arızanın yoğunlukta olduğu tespit edilmişti (Orhan, 2018). Bozulma sürecini etkileyen parametreler için sahada sayısal verilerin araştırılması yapılmıştır. Çalışma alanı için seçilen bölgelerin atıksu projelerinin detaylı analizi yapıldığında sayısal verilerine doğrudan ulaşılabilen parametreler için proje okuma yöntemi kullanılmıştır. Borunun iç yapısıyla ilgili olan ve proje üzerinde bulunmayan parametrelerin verileri için kanal görüntüleme yöntemi kullanılmıştır. Borunun iç yapısıyla ilgili olan ve kamera görüntülerinde iki baca arası uzunlukta görülen, yağ ve gres oranı, boru malzeme hasarı, çökme durumu, bozulma/deformasyon, ağaç ve bitki köklerinin varlığı, hat içinde bulunan mıcır, moloz parçaları, tıkanıklık durumu, bina bağlantı yanlış imalatı için elde edilen verilerin toplamları alınmıştır. Yapısal kusur sayısının sokaktaki toplam hat uzunluğuna bölünmesi ile kritik sokaklara ait yapısal kusur yüzdesi elde edilmiştir.



Şekil 1. Uygulama alanı (Orhan, 2018)

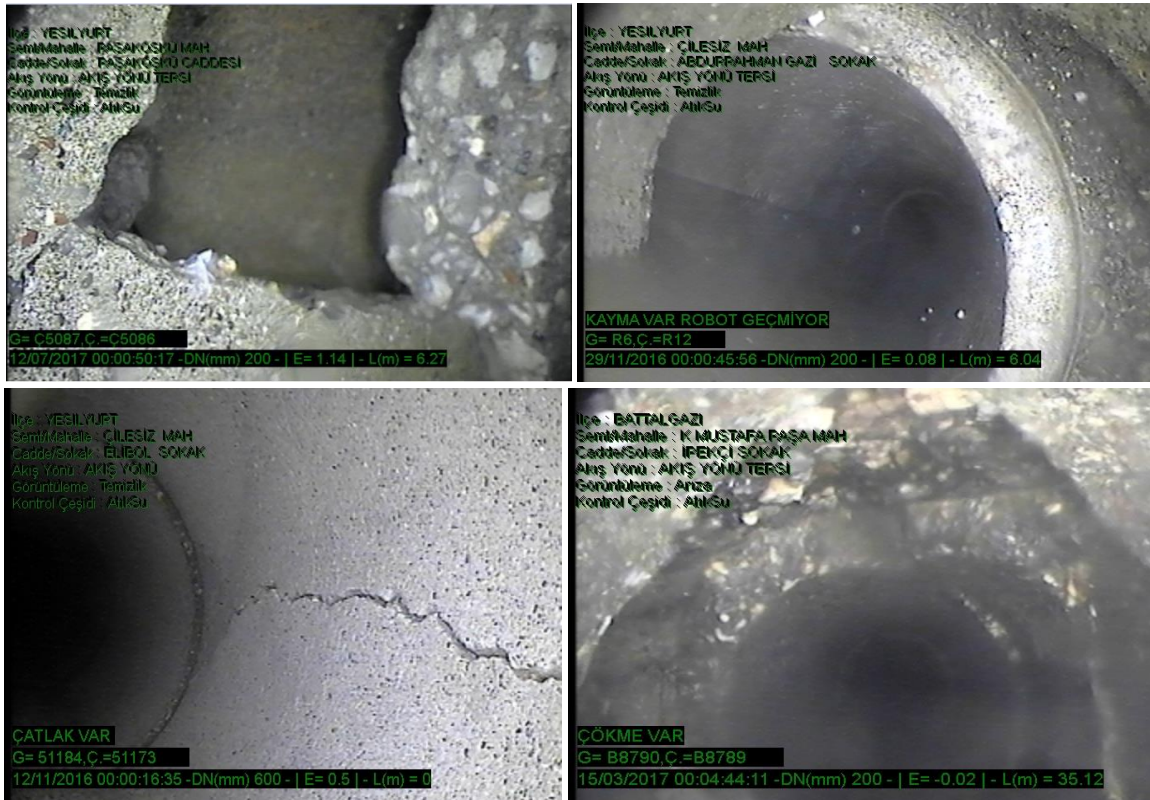
Nüfusun artması ile birlikte sağlıklı, güvenilir ve çevre standartlarına uygun kaliteli altyapı ihtiyacı da artmaktadır. Altyapı sistemlerinde çeşitli faktörlerin de etkisiyle zamanla deformasyon oluşmakta ve sistem yeterli hizmeti sunamamaktadır. Atıksu sistemlerinde işletme ve ilk yatırım maliyetlerini azaltmak için arıza oranının azaltılması oldukça önemlidir. Bu sistemlerde sistemin fiziksel özelliklerinin yanı sıra, çevresel ve hidrolik faktörler de arıza üzerinde etkili olabilmektedir. Özellikle arıza yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerin belirlenmesi ve bunlar üzerinde etkili olan faktörlerin analiz edilmesi Su Kanal İdaresi için maliyetlerin düşürülmesi açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle öncelikli olarak arıza üzerinde etkili olan ve sahada verisi toplanan faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Farklı bölgelerde farklı modelleme yöntemleri kullanılarak atıksu sistemlerinde bozulma faktörü üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar analiz edilmiş ve toplamda 226 farklı faktör tespit edilmiştir (Ana ve Bauwens, 2010; Chughtai ve Zayed, 2008; Barreto ve ark., 2010; Shahata ve Zayed, 2010; Mounce ve ark., 2014; Sun ve ark., 2011; Vucijak ve ark., 2011; ; Maurer ve ark., 2012; Carriço ve ark., 2012; Zhou ve ark., 2013; Ennaouri ve Fumba, 2013; Cherqui ve ark., 2015; Rokstad ve Ugarelli, 2015; Choi ve Koo, 2015; Ebrahimian ve ark., 2015; Tscheikner-Gratl ve ark., 2015; Del Giudice ve ark., 2016; Rahmati ve ark., 2016; Zhu ve ark., 2016; Inanloo ve ark., 2016). Bu faktörlerden en yaygın kullanılan parametrelerin boru yaşı, boru çapı, boru uzunluğu ve toprak türü olduğu görülmüştür. Bu kadar farklı nitelikteki parametrelerin incelenmesi ve analizlerde kullanılması oldukça zor olmaktadır. Bu çalışmada Çizelge 1’de verilen faktörler belirlenmiş olup bu faktörlerin seçiminde; faktörlerin çalışmaya uygunluğu, elde edilebilirliği, tutarlılığı, uygulanabilirliği, ilgili olma, güvenilirliği ve karşılaştırılabilirliği gibi ölçütler göz önünde bulundurulmuştur.

**Çizelge 1.** Belirlenen faktörler (Orhan, 2018)

Faktörler	Açıklama
Boru çapı	İncelenen borunun çapı (mm)
Boru yaşı	Hizmet veren borunun yaşı (yıl)
Boru malzemesi	Beton, KORUGE ve AÇB boru türleri
Boru uzunluğu	İki muayene bacası arası boru uzunluğu(m)
Boru/ Yatak Eğimi	Döşenen borunun eğimi
Ters eğim oranı	Hizmet veren sistemde ters eğime sahip boru oranı
Sokak Ortalama Eğim	Sokak eğimi
Mak Baca Arası Mesafe	İki muayene bacası arasındaki maksimum mesafe (m)
Yapısal Kusur/ Hat Uzunluğu	CCTV kamera ile belirlenen kusurlar (yağ-gres, boru hasarı, çökme durumu, mıcır, bozulma /deformasyon, ağaç ve bitki kökleri, tıkanıklık, bina bağlantı yanlış imalatı)
Bina Bağlantı Sayısı	Ana hat üzerine bağlı olan rabit bağlantı sayısı
Hat Aşırı Yükleme	Kanalizasyon Hatları Üzerinde Doluluk Oranı Aşımı
D<250 mm	250 mm’den daha küçük borular
Zemin özelliği	Zemin karakteristiği
Trafik yoğunluğu	Borunun hizmet verdiği sokaktaki trafik yoğunluğu
Yol genişliği	Borunun bulunduğu sokak genişliği (m) (>20 m, <20 m)
Konut yoğunluğu	Bölgedeki Bina Sayılarının Bölge Alanına Oranı
Bölge Alanı	Çalışılan Bölgenin Alanı
Bağımsız birim sayısı	Hizmet verilen abone sayısını temsil eden daire sayısı
Arıza sıklığı	Birim sokak uzunluğunda arıza sayısı
Boru yenileme maliyeti	1 m Boru için Hesaplanan Maliyet
CCTV metrajı	Temizliği yapılan ve CCTV görüntü alınan sokak metrajı

Bu çalışmada verilerin elde edilmesi kısmında iki farklı sistem kullanılmıştır. Çalışma alanı için seçilen bölgelerin atıksu projelerinin detaylı analizi yapıldığında sayısal verilerine doğrudan ulaşılabilen ve saha ile doğrulanmış faktörler için proje okuma yöntemi kullanılmıştır. Sayısal verileri olmayan ve borunun iç yapısıyla ilgili olan parametrelerin verileri için MASKİ Genel Müdürlüğünün sahada uyguladığı CCTV kanal görüntüleri kullanılmıştır (Orhan ve ark., 2019). Kanal görüntüleme kanal içinde devrilmeyi önleyecek aktif devrilme kontrol sistemi içeren, su geçirmez, çelik gövdeden üretilen,

darbelere, erozyona ve kanal içinde karşılaşılabilecek tüm kimyasal maddelere dayanıklı, her iki yönde 360 derece hareket edebilen başlıklı ve kanal içinde herhangi bir madde ile karşılaştığında ilerlemesi mümkün olmadığı durumlarda geriye doğru hareket edebilen mekanizmaya sahip kamera kullanılmaktadır (MASKİ, 2018). Kanal görüntüleme genellikle su kullanımının az olduğu saatlerde hat içindeki atık suyun minimum olduğu yağışın olmadığı günlerde su geçirmeyen kamera ile yapılmaktadır. Görüntüleme öncesi küçük çaplı borularda kombine aracıyla, sediment maddelerin çok olduğu büyük çaplı toplama kanallarında ise vidanjör ile kanal temizliği yapılmakta ve ardından temiz kanalda görüntü alınmaya başlanmaktadır. Ø200 ile Ø1000'lik borular arasında görüntü alabilen aracın uzunluğu 50cm, tekerler dahil toplam genişliği 20cm, ayarlanabilir yüksekliği minimum 15cm, damperin kalktığı yüksekliği 40 cm ve lastiklerin takıldığı yüksekliği ise 60 cm'e kadar ulaşmaktadır (MASKİ, 2018). Kamera görüntüleri ile tespit edilen yapısal kusurlar Şekil 2'de örneklendirilmiştir. Zeminin gevşek olduğu, derin kazılarda toprak basıncının arttığı, trafik yoğunluğunun fazla olduğu durumlarda titreşim ve zemin hareketine bağlı olarak borunun hareket etmesi ile birleşim noktalarında kırılma ve çatlaklara sebep olmaktadır. Ayrıca, bağlantı noktalarındaki işçilik hatası, yüzeysel yüklerin oluşturduğu basınç etkisi, toprak basıncı ile oluşan titreşimlerin etkisi, boruda yaşlanma, boru malzemesinin istenen standartlara uygun olmaması, gibi sebeplerden dolayı borunun belirli bir kısmında çökme gözlenmektedir (Şekil 2). Sokakta diğer alt yapı veya üst yapı imalatları sırasında kum-çakıl veya atık malzemeler atıksu borularına dolarak burada yığılmalara sebep olmakta ve ağırlığı sebebiyle kombine aracı ile hattın yıkanarak temizlenmesi sonucu bir ilerleme göstermeyerek hattın akış kapasitesini azaltmaktadır. Dikkatsiz şekilde yapılan bina bağlantılarının atıksu borusu içinde fazla girintiler yaparak akışı kısıtlamakta ve akışın fazla olduğu veya yabancı malzemenin hat içine atılması durumunda tıkanıklık görülmektedir (Şekil 2). Uygulama alanında seçilen 19 bölgeye ait veriler sahadan temin edilmiş ve Çizelge 2'de verilmiştir (Orhan, 2018; MASKİ, 2018).



Şekil 2. Yapısal Kusurlar, Boru Hasarı ve Çökme (Orhan, 2018; MASKİ, 2018)



Şekil 2. Yapısal Kusurlar, Boru Hasarı ve Çökme (Orhan, 2018; MASKİ, 2018) (devam)

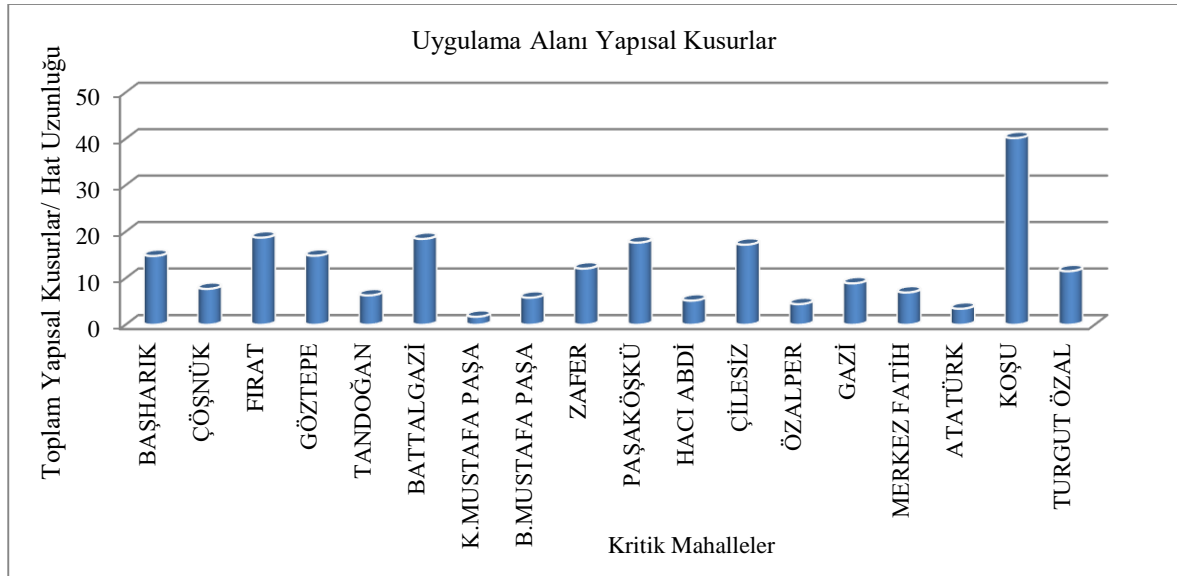
Çizelge 2. Değişkenlere ait sayısal veriler

MAHALLE	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
BAŞHARIK	0.742	0.730	0.004	65	14.8	0.40	39	21	52	1246	1	2	1	229
ÇÖŞNÜK	1.590	0.047	0.048	75	7.7	0.40	33	20	34	1854	1	3	2	323
FIRAT	0.951	0.078	0.043	72	18.7	0.50	43	16	43	1218	1	2	2	282
GÖZTEPE	2.618	0.212	0.011	169	14.8	0.50	43	25	28	775	2	3	1	264
TANDOĞAN	2.677	0.141	0.033	58	6.3	0.30	13	25	21	492	2	3	2	182
B.GAZİ	1.600	0.001	0.131	58	18.5	0.70	14	20	8	182	2	2	1	97
K.M. PAŞA	0.430	0.001	0.003	47	1.7	0.40	9	10	16	408	2	3	1	88
B.M. PAŞA	4.000	0.001	0.002	23	5.8	0.50	2	10	7	204	2	2	1	43
ZAFER	2.080	0.235	0.010	60	12.1	0.70	34	25	50	975	1	2	1	150
PAŞAKÖŞKÜ	2.940	0.250	0.051	54	17.6	0.70	25	15	15	981	1	3	1	170
HACI ABDİ	0.650	0.265	0.051	56	5.2	0.60	8	15	17	155	2	2	1	20
ÇİLESİZ	0.480	0.037	0.203	65	17.2	0.50	47	8	45	1756	2	3	2	230
ÖZALPER	0.415	0.001	0.013	63	4.4	0.60	20	10	14	323	2	2	1	110
GAZİ	0.440	0.001	0.002	36	8.9	0.50	2	25	4	36	1	1	1	19
M. FATİH	1.420	0.001	0.024	52	6.9	0.60	16	25	23	126	1	1	1	71
ATATÜRK	0.498	0.030	0.002	59	3.4	0.80	15	25	9	180	1	2	1	113
KOŞU	0.907	0.001	0.002	53	40.2	0.80	15	25	19	158	1	2	1	88
T. ÖZAL	2.020	0.229	0.036	60	11.5	0.70	13	15	25	1087	2	3	2	134
SAMANLI	3.285	0.001	0.011	60	6.1	0.60	12	13	9	121	2	2	2	32

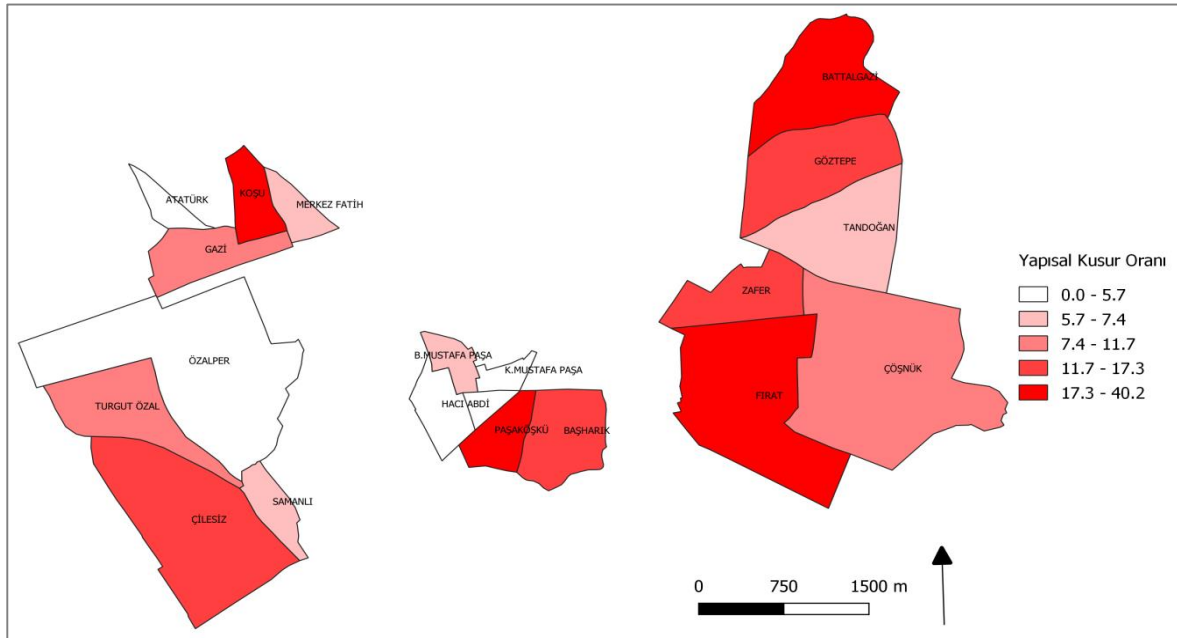
Burada, D1: Boru Eğimi, D2: Ters Eğim Oranı, D3: Ort. Eğim, D4: Mak. Baca Arası Mesafe, D5: Kusur Oranı, D6: Aşırı Yük., D7: D<250 mm Boru Sayısı, D8: Boru Yaşı, D9: Arıza Sayısı, D10: Bağ. Birim Sayısı, D11: Zemin, D12: Trafik, D13: Sokak Sınıfı, D14: Konut Sayısı şeklindedir. Çizelge 2’de, trafik hacmi 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 sistemlerden oluşmaktadır. Birleşik sistemlerde arıza potansiyeli daha yüksek olduğu için birleşik sistem için 2, ayrık sistem için mahallelere 1 numaralandırması yapılmıştır. Ortalama ve hareketli zemin çeşidinden oluşmakta olan zemin özelliği parametresi için sırasıyla 1 ve 2 değerleri kullanılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama alanında kamera görüntüleri ile sahadan alınan yapısal kusurlar alt değişkenlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiş ve birbiri ile olan ilişkileri analiz edilmiştir. Kamera görüntüleri her bir sokak için detaylı bir şekilde izlenerek yapısal kusurlar belirlenmiştir. Karşılaştırılabilir veri elde etmek için mahallenin genelinde belirlenen toplam yapısal kusur sayısı, ilgili mahalledeki atıksu hat uzunluğuna oranlanarak birim hat uzunluğu başına değer hesaplanmış ve Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir.

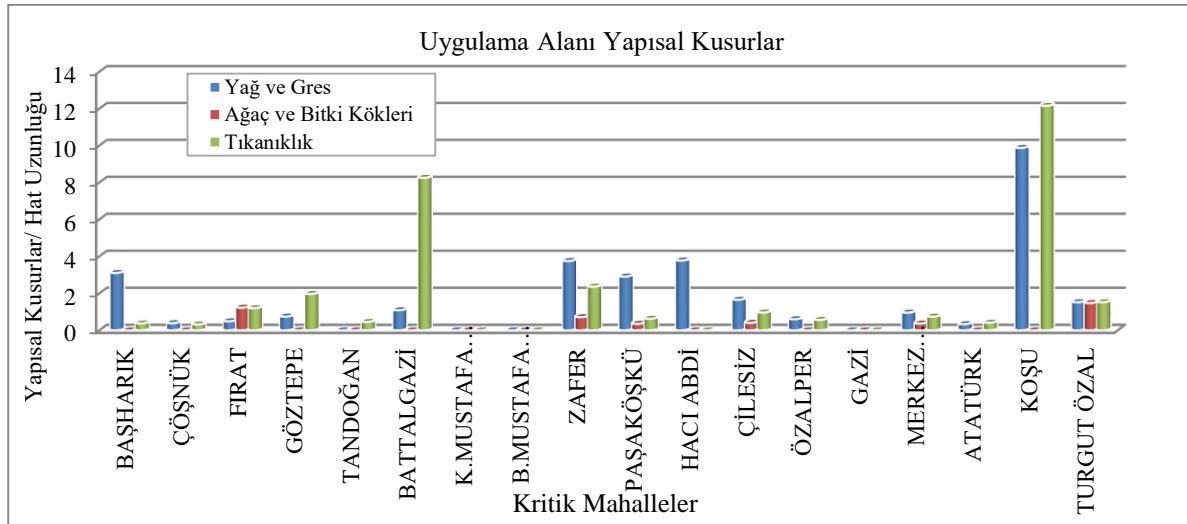


a)

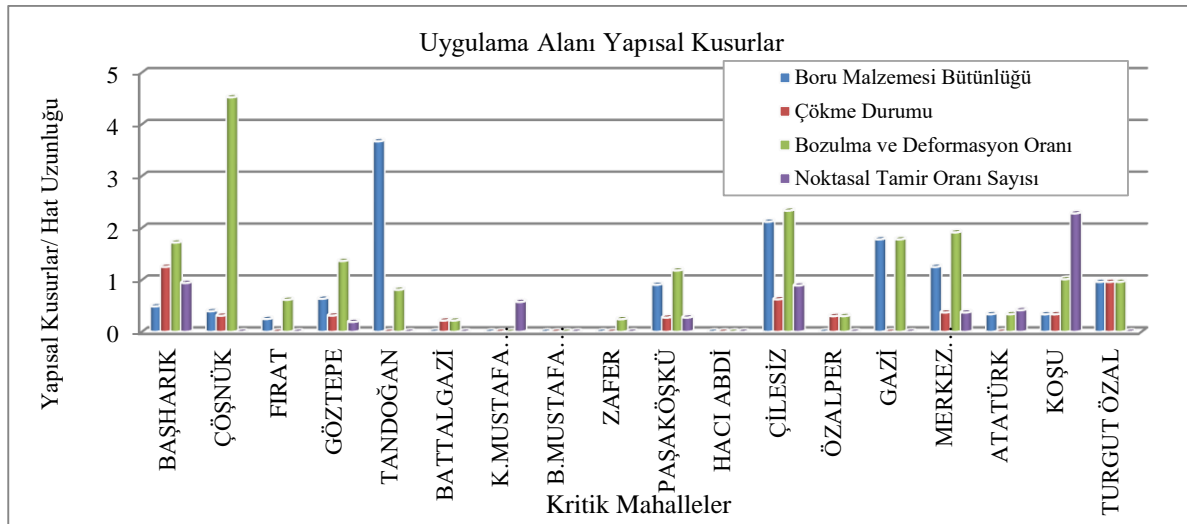


b)

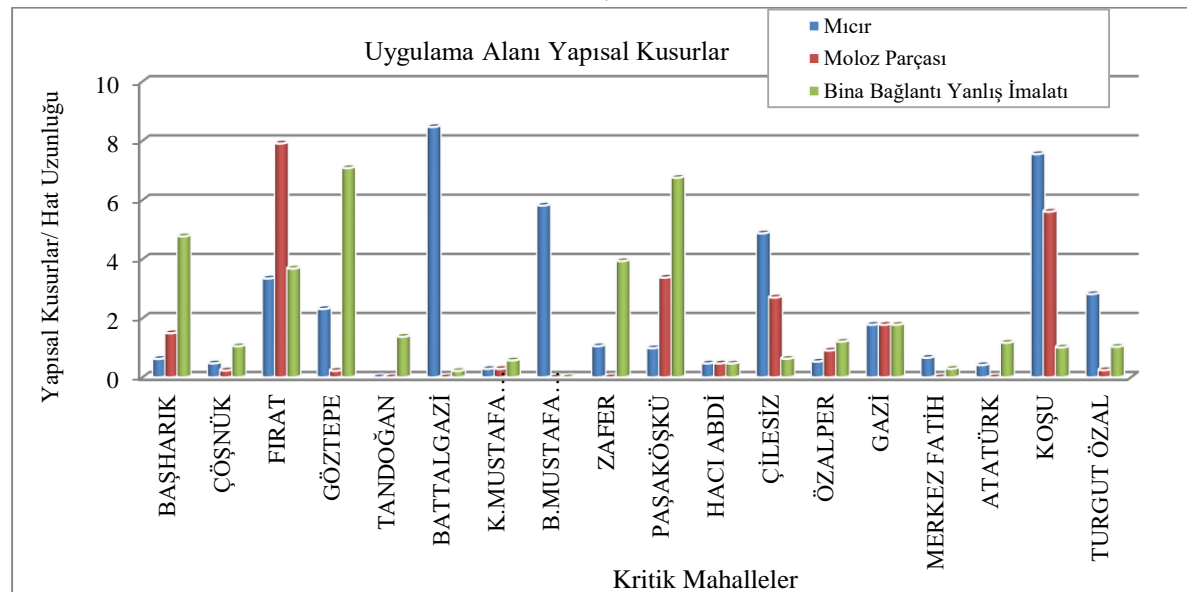
Şekil 3. a) Pilot bölgelerde yapısal kusur oranları b) Yapısal kusur oranının konumsal değişimi (Orhan, 2018; MASKİ, 2018)



a)



b)



c)

Şekil 4. a) Pilot bölgelerde yağ-gres, ağaç kökleri ve tıkanıklık oranlarının değişimi b) Boru malzemesi bütünlüğü ve hasar oranlarının değişimi c) Mıçır, moloz parçası ve yanlış imalat oranlarının değişimi (Orhan, 2018; MASKİ, 2018)



Yapısal kusur yüzdelerine göre, yapısal kusurların en yoğun görüldüğü bölgeler, Koşu, Fırat, Battalgazi, Paşaköşkü ve Çilesiz mahalleleri şeklinde verilebilir. Bu bölgelerde yapısal kusur oranının neden yüksek olduğunu anlamak ve etkili faktörleri değerlendirmek için kusurların alt bileşenlerini incelemek gerekir. Grafikler ve saha verileri incelendiğinde, boru eğimi düşük olduğunda hat içinde çökelmeler oluşmakta ve akış kapasitesi zamanla düşmektedir, eğim büyük olduğunda ise boru tabanında aşınmalar görülmektedir. Bu sebeple mecra çapına bağlı uygun eğimlerin alınması oldukça önemlidir. Diğer taraftan, yağ ve gres yüzdesinin en fazla olduğu yerler genelde şehir merkezinde işyerlerinin yoğunlukta olduğu bölgelerde görünürken, ağaç ve bitki köklerinin en fazla olduğu yerler ise şehrin kırsal sokaklarında olmuştur. Lokanta ve yemekhanelerin bulunduğu sokaklar üzerinde yağ ve gres oranı ile ağaç ve bitki kökü oranlarının paralellik gösterdiği görülmektedir. Yapısal kusur oranının yüksek olduğu Paşaköşkü, Battalgazi ve Koşu bölgeleri için Çizelge 2 verileri değerlendirildiğinde, bu iki bölgede doluluk oranlarının genelde % 70-80 seviyelerinde olduğu, boru yaşının 15-20 yıl civarında olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde doluluk oranlarının yüksek olmasına bağlı olarak tıkanıklık oranlarının da yüksek seviyede olduğu (Şekil 4) ilgili grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu bölgelerde toplam yapısal kusur oranının yüksek olmasını sağlayan en önemli alt bileşenin Şekil 4'te verilen grafiklerden de görüleceği üzere, tıkanmalara ve geri tepmelere sebep olan Mıdır, Moloz parçası ve Bina Bağlantı Yanlış imalatı alt değişkenleri olduğu söylenebilir. Bina bağlantı yanlış imalatı (Şekil 2) değişkeni üzerinde en önemli faktörün parsel bacası ile sokaktaki hatta yapılan bağlantıdaki yanlış işçilik gösterilebilir. Diğer taraftan mıdır ve moloz parçası alt bileşenin yüksek seviyede olmasında, yol kaplama türü, ilgili sokaktaki alt yapı ve üst yapı faaliyetleri sonucu biriken kum-çakıl malzemenin hat içine dolması etkili olabilmektedir. Bozulma ve çökme alt bileşenlerine ait veriler incelendiğinde (Şekil 4) genel olarak Çilesiz, Tandoğan ve Çöşnük bölgelerinde yoğunluk olduğu, Çizelge 2'deki trafik yoğunlukları ile beraber değerlendirildiğinde bu üç bölgede trafik yoğunluğunun oldukça yüksek seviyede olduğu ve trafik yüküne bağlı olarak çökme ve bozulma oranının artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Sonuç olarak grafik ve Çizelgede verilen sonuçlara göre, yapısal kusur oranının artmasında, işçilik kalitesi (imalat, yatak malzemesi, projeye uygun eğim verilmesi), çevresel etkiler (trafik), fiziksel ve hidrolik faktörlerin etkili olduğu görülmüştür.

## SONUÇ

Bu çalışmada, atıksu sistemlerinde CCTV kamera görüntüleri esas alınarak tespit edilen yapısal kusurlar ve bunlara sebep olan faktörlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Malatya ili merkez ilçeleri olan Yeşilyurt ve Battalgazi ilçelerinde hizmet veren atıksu sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Atıksu sistemlerinde bozulmalara sebep olabilecek boru uzunluğu, boru eğimi, yapısal kusur yüzdesi ve doluluk oranı aşımı gibi faktörler belirlenmiştir. Bu faktörlere ait veriler saha çalışmaları, kanal görüntüleme (CCTV) ve proje okuma gibi yöntemlerle elde edilmiştir. Grafikler ve saha verileri incelendiğinde, boru eğimi düşük olduğunda hat içinde çökelmeler oluşmakta ve akış kapasitesi zamanla düşmektedir, eğim büyük olduğunda ise boru tabanında aşınmalar görülmektedir. Yapısal kusur oranının yüksek olduğu bölgeler için saha verileri değerlendirildiğinde, bölgede doluluk oranlarının genelde % 70-80 seviyelerinde olduğu, boru yaşının 15-20 yıl civarında olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde doluluk oranlarının yüksek olmasına bağlı olarak tıkanıklık oranlarının da yüksek seviyede olduğu ilgili grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu bölgelerde toplam yapısal kusur oranının yüksek olmasını sağlayan en önemli alt bileşenin, tıkanmalara ve geri tepmelere sebep olan Mıdır, Moloz parçası ve Bina bağlantı yanlış imalatı alt değişkenleri olduğu görülmüştür. Bina bağlantı yanlış imalatı değişkeni üzerinde en önemli faktörün parsel bacası ile sokaktaki hatta yapılan bağlantıdaki yanlış işçilik gösterilebilir. Bozulma ve çökme alt bileşenler, trafik yoğunlukları ile beraber değerlendirildiğinde, trafik

yoğunluğunun yüksek seviyede olduğu bölgelerde çökme ve bozulma oranının artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Sonuç olarak grafik ve çizelgelerde verilen sonuçlara göre, yapısal kusur oranının artmasında, işçilik kalitesi (imalat, yatak malzemesi, projeye uygun eğitim verilmesi), çevresel etkiler (trafik), fiziksel ve hidrolik faktörlerin etkili olduğu görülmüştür.

## 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

- Ammar MA, Moselhi O, Zayed TM, 2012. Decision support model for selection of rehabilitation methods of water mains. *Structure and Infrastructure Engineering*, 8: 847–855.
- Ana EV, 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, Solomatine D, 2010. Multiobjective Evolutionary Approach to Rehabilitation of Urban Drainage Systems, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136: 547–554.
- Carriço N, Covas DIC, Céu Almeida M, Leitão JP, Alegre H, 2012. Prioritization of rehabilitation interventions for urban water assets using multiple criteria decision-aid methods. *Water Science and Technology*, 66: 1007–1014.
- Cherqui F, Belmeziti A, Granger D, Sourdril A, Le Gauffre P, 2015. Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures. *Science of the Total Environment*, 514: 418–425.
- Choi T, Koo J, 2015. A water supply risk assessment model for water distribution network. *Desalination and Water Treatment*, 54: 1410–1420.
- Chughtai F, Zayed T, 2008. Infrastructure Condition Prediction Models for Sustainable Sewer Pipelines. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 22: 333–341.
- Del Giudice G, Padulano R, Siciliano D, 2016. Multivariate probability distribution for sewer system vulnerability assessment under data-limited conditions. *Water Science and Technology*, 73: 751–760.
- Ebrahimian A, Ardeshir A, Zahedi Rad I, Ghodsypour SH, 2015. Urban stormwater construction method selection using a hybrid multi-criteria approach. *Automation in Construction*, 58: 118–128.
- Ennaouri I, Fuamba M, 2013. New Integrated Condition-Assessment Model for Combined Storm-Sewer Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139: 53–64.
- Hosseini SM, Ghasemi A, 2012. Hydraulic performance analysis of sewer systems with uncertain parameters. *Journal of Hydroinformatics*, 14: 682.
- Inanloo B, Tansel B, Shams K, Jin X, Gan A, 2016. A decision aid GIS-based risk assessment and vulnerability analysis approach for transportation and pipeline networks. *Safety Science*, 84: 57–66.
- Kim ES, Baek CW, Kim JH, 2005. Estimate of pipe deterioration and optimal scheduling of rehabilitation. *Water Science and Technology: Water Supply*, 5: 39–46.
- MASKİ (2018). Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi.
- Maurer M, Scheidegger A, Herlyn A, 2013. Quantifying costs and lengths of urban drainage systems with a simple static sewer infrastructure model. *Urban Water Journal*, 10: 268–280.
- Mounce SR, Shepherd W, Sailor G, Shucksmith J, Saul AJ, 2014. Predicting combined sewer overflows chamber depth using artificial neural networks with rainfall radar data. *Water Science and Technology*, 69: 1326–1333.
- Rahmati O, Haghizadeh A, Stefanidis S, 2016. Assessing the Accuracy of GIS-Based Analytical Hierarchy Process for Watershed Prioritization; Gorganrood River Basin, Iran. *Water Resources Management*, 30: 1131–1150.

- Orhan C, 2018. Atıksu Sistemlerinde Rehabilitasyon için Öncelikli Bölgelerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Rokstad M M, Ugarelli RM, 2015. Evaluating the role of deterioration models for condition assessment of sewers. *Journal of Hydroinformatics*, 17: 789–804.
- Shahata K, Zayed T, 2010. Integrated decision-support framework for municipal infrastructure asset. *ASCE Pipelines Proceedings*, 514: 1492–1502.
- Sun S, Djordjević S, Khu ST, 2011. A general framework for flood risk-based storm sewer network design. *Urban Water Journal*, 8: 13–27.
- Tagherout W, Ben Bennis S, 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, Kleidorfer M, 2016. Integrated rehabilitation planning of urban infrastructure systems using a street section priority model. *Urban Water Journal*, 13: 28-40.
- Vucijak B, 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.
- Zhou Q, Panduro TE, Thorsen BJ, Arnbjerg-Nielsen K, 2013. Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: An integrated hydrological cost-benefit analysis. *Environmental Management*, 51:586–601.
- Zhu Z, Chen Z, Chen X, He P, 2016. Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems. *Science of the Total Environment*, 553: 1–12.