

DOI: [10.38027/ICCAUA2022TR0010](https://doi.org/10.38027/ICCAUA2022TR0010)

Dynamic Analysis and Water Demand Model with EPANET in Drinking Water Distribution Systems

Furkan BOZTAŞ¹, *Prof. Dr. Mahmut FIRAT²

Malatya Water and Sewerage Administration, Malatya, Turkey¹

İnönü University, Faculty of Engineering, Malatya, Turkey²

E-mail¹: salihyilmaz@maski.gov.tr, E-mail²: mahmut.firat@inonu.edu.trmailto:umitsirel@yahoo.com

Abstract

Providing long-term water management in distribution systems is very important for sustainable network management. The basic principle in urban water management is to deliver the desired amount and quality water to the subscribers on time. In order to achieve this, the amount of water demanded in the network should be accurately defined. In demand flow, the amount of demand according to network characteristics, leakage rates, population or number of subscribers, authorized unbilled demand flow in the region should be determined accurately. On the other hand, dynamic modeling has a very important place in network hydraulic analysis. It is very important to define fire flow rates especially in areas where critical structures (historical artifacts, wooden structures, chemical facilities) are located in the region. In the event of a fire in the region, the flow rate required for fire intervention must be provided and sufficient pressure must be created. In order to achieve this, a model in which all components are taken into consideration should be developed in the region. Therefore, in this study, it is aimed to create and analyze the demand flow and dynamic model in a distribution system with EPANET. For this purpose, an application was carried out for the pilot isolated region in Malatya central distribution system. During the establishment of the model, necessary data, modeling stages and results obtained were detailed. In the dynamic model, demand flow rates and pressures were monitored for different time periods by making fire analysis.

Keywords: Water Management; Dynamic Model; Water Demand; Hydraulic Analysis.

İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde EPANET ile Dinamik Analiz ve Su Talep Modeli

Özet:

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde sürdürülebilir şebeke yönetimi için uzun dönemli planlama yapılması oldukça önemlidir. Kentsel su yönetiminde en temel prensip yeterli miktarda ve kaliteli suyun zamanında abonelere iletilmesidir. Bunu sağlamak için şebeke ve bileşenleri detaylı analiz edilmeli ve talep debisi doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Su talep modelinde, şebeke özellikleri, abone tüketim davranışları, sızıntı oranları, nüfus, abone sayısı, yasal faturalandırılmamış kullanıcılar doğru bir şekilde tanımlanmalı ve analiz edilmelidir. Diğer taraftan dinamik modelleme şebekenin hidrolik davranışını ortaya koymak adına önemli bir yere sahiptir. Bölgede özellikle kritik yapıların (tarihi eserler, ahşap yapılar, kimyasal tesisler) bulunduğu alanlarda yangın debilerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bölgede yangın çıkması durumunda yangına müdahale için gerekli debi sağlanmalı ve yeterli basınç oluşturulmalıdır. Bunun için bölgede tüm bileşenlerin dikkate alındığı bir model geliştirilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada EPANET ile bir dağıtım sisteminde talep akışı ve dinamik modelin oluşturulması ve analizi amaçlanmıştır. Bu amaçla Malatya merkezi dağıtım sisteminde pilot izole bölge için bir uygulama yapılmıştır. Modelin oluşturulması sırasında gerekli veriler, modelleme aşamaları ve elde edilen sonuçlar detaylandırılmıştır. Dinamik modelde yangın analizleri yapılarak farklı zaman periyotları için talep debileri ve basınçları izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Su; Yönetimi; Dinamik Modelleme; Su Talebi; Hidrolik Analiz.

1. Giriş

Artan dünya nüfusu ve kentselleşme süreci beraberinde, su talebini artırmaktadır. Bu durum su temini ve dağıtımından sorumlu kurumların, su temin ve dağıtım problemlerine daha detaylı çözümler üretmesini zorunlu kılmaktadır. “Su Yönetimi” ve önemli alt başlıklarından biri olan “Hidrolik Modelleme” konusu üzerindeki ilgi her geçen gün artmaktadır. “Hidrolik Modelleme” sürecinde tüketim taleplerinin doğru tahmin edilmesi ve sahadaki gerçek durumun modele gerçekçi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Kentsel su talebini tahmin etmek ve yönetmek, kentsel alanlarda insan ve doğal sistemler arasında var olan sıkı ilişki nedeniyle karmaşıktır. Bu ilişki, mikro ölçekli (bireysel, hane veya parsel düzeyinde) ve makro ölçekli (bölgesel) süreçler ve modeller arasındaki çoklu etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. Örneğin, karmaşık sistemlerde, bireyler arasındaki yerel etkileşimler uzay ve zaman üzerinde birikerek, sırasıyla bireysel seçimleri etkilemek veya kısıtlamak için geri besleme sağlayan orta ölçekli ve makro ölçekli değişkenler üretir [Liu vd, 2007; Irwin vd, 2009]. Su dağıtım sistemlerinin planlanması ve işletilmesinde en önemli faktör tüketici talebinin karşılanmasıdır. Bu, kullanıcılara sürekli olarak makul basınçta yeterli hacimlerde kaliteli su sağlamak ve böylece güvenilir su dağıtımını sağlamak anlamına

gelir (Brentan vd., 2017). Tüketim modeli oluşturulurken; tüketimleri boru uzunluğu ve tüketim yoğunluğuna bağlı kesafet katsayıları kullanarak dağıtmak hidrolik tasarım süreçlerinde başvuru bir uygulamadır. Yaygın kullanımı olan açık kaynaklı EPANET-2 programında, Uzatılmış Dönem Simülasyonu (EPS) sürecinde orijinal formülasyonunda su talebi, ağ düğümlerinde toplu çekimler olarak temsil edilir. Ancak, tek kenar (boru) seviyesinde enerji dengesi gözetilmediğinden, bu yaklaşım hidrolik yük dağılımında önemli hatalara neden olabilir. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için (Menapace vd., 2018) çalışmalarında su talebinin borular boyunca eşit olarak dağıldığı yeni bir EPANET-2 uygulaması önermişlerdir. Tüketim modeli oluşturma uygulamalarına, sadece hidrolik tasarım yaparken değil; nüfus artışı, yeni imar alanlarının eklenmesi, su dağıtım şebekesinde zamanla artan fiziki kayıplar gibi sebeplerden tasarım sınırlarının dışına çıkmış olan halihazırda işletilmekte olan içme suyu dağıtım şebekelerinde de yönetim sürecinde başvurulmaktadır. (Arunkumar vd., 2011) çalışmalarında kentsel altyapının en önemli bileşenlerinden biri olan su temini ve dağıtım şebekelerinin etkin bir şekilde planlanması, geliştirilmesi ve işletilmesi amacıyla EPANET 2.0 yazılımı kullanılarak kamusal su temini yapan Belediyelerde su talep analizini incelemiştir. Nüfus artışından yetersiz mevcut tesislere kadar bir dizi faktörün metropole su temininde sık sık yaşanan kıtlıktan sorumlu olduğu düşünülmektedir. Çalışmada, Belediye bünyesinde hizmet verilmeyen alanlar ile Belediye tarafından yetersiz hizmet verilen alanlar tanımlanmış, EPANET 2.0 hidrolik model yazılımı kullanılarak tüketim modeli oluşturulmuş ve yetersiz hizmet verilen alanlar ile hizmet verilmeyen alanlara ait su talepleri hesaplanmıştır. Tüketim modeli oluşturulurken, su dağıtım şebekesinden çekilen su talebinin zamansal değişimleri de dikkate alınmalıdır. Hidrolik modelleme sürecinde izole alt ölçüm bölgelerinde (DMA), farklı abonelere göre günlük ve saatlik su tüketim profilleri ve su tüketim oranları büyük farklılıklar göstermektedir. Su tüketiminin zamansal ve mekansal varyasyonları ve DMA'nın değişken topografik seviyeleri, hidrolik modellemede düğümsel su talebini tahsis etmek için dikkate alınması gereken parametrelerdendir (Kara vd.,2016). Ayrıca, su idareleri tarafından işletilmekte olan mevcut içme suyu dağıtım sistemlerinde hidrolik modelleme uygulamaları yaparken, su dağıtım sistemindeki sızıntı miktarlarının tespit edilip tüketim modelinde dağıtılması da, hidrolik modelleme sürecinde alınacak olan sonuçların saha koşullarını temsil edebilme kapasitesini artıracaktır. Su dağıtım şebekesi hidroliğini çözebilme kapasitesinin büyük ölçüde ilgili simülasyon modellerinde talep temsiline bağlıdır. Şebekeden farklı su çıkış türleri olarak; insan tabanlı, hacim tabanlı, kontrolsüz orifis tabanlı ve sızıntı tabanlı talepler de dahil olmak üzere, gelişmiş su dağıtım şebekesi simülasyon modellerindeki taleplerin kapsamlı bir görünümünü sunulmalıdır (Guistolisi vd., 2012).

Tüketim talebini ve karakteristiklerini tahmin edebilmek için, hidrolik modelleme sürecine başlamadan önce "Tüketim Modeli"nin oluşturulması gerekir. Bu çalışmada, tüketim modelini gerçekçi bir şekilde tahmin edebilmek için, su idarelerinin teknik kapasiteleri göz önünde bulundurularak uygulanabilir bir yöntem önerilmiştir. Bu amaçla Malatya içmesuyu dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama alanında pilot izole bölgede su tüketim modelinin saha verilerine göre belirlenmesi ve yaşanan sorunların tartışılması amaçlanmıştır.

2. Tüketim Modeli: Teorik Altyapı

Hidrolik hesaplamalarda girdi parametrelerinden olan tüketim verisi, doğası gereği hesaplamalarda tahmin edilmesi en zor olan parametredir. Hesaplamalar yapılırken kullanılan diğer girdi parametreleri (boru karakteristik özellikleri, topografya, su kaynağı, vb.) çok az hata payı ile hidrolik probleme dahil edilebilmektedir. Fakat, tasarlanan sistemin işletmeye alındıktan sonra ne kadar tüketim yapılacağı, tüketimin nasıl bir dağılıma sahip olacağı, şebekedeki kayıp-kaçak oranlarının nasıl gerçekleşeceği, su tüketiminin hangi dönemlerde ne kadar artacağı gibi sorular belirli kabuller yapılarak hesaplanmaktadır. Bu sebepten hidrolik hesaplamaların en başında tüketimin miktarının ve daha önemlisi tüketim dağılımının iyi hesaplanması gerekmektedir.

Hidrolik hesaplamaları tasarım ve modelleme olarak iki başlık altında inceleyecek olursak, tüketim modelinin oluşturulma yöntemleri de iki durum için daha farklı yaklaşımlar gerektirir. Hidrolik tasarım yaparken, mevcut bir hidrolik sistem olmadığından dolayı, tüketimler belirli kabullere dayalı öngörüler üzerinden yapılır. Hidrolik modelleme ise, halihazırda çalışmakta olan bir hidrolik sistem üzerinden yapıldığı için, tüketim modelinin oluşturulması, saha ölçümleri ile elde edilen verilerin çeşitli yöntemlerle analizine dayalıdır.

Hidrolik Tasarımda Tüketim Modeli

Hidrolik tasarımda, tüketim modeli oluşturulurken, güncel nüfus verisi başlangıç verisidir. Buradan planlanan servis ömrü (genellikle 35 yıl) göz önünde bulundurularak nüfus projeksiyonları yapılır. Sonrasında belirli kabullere dayanan kişi başı tüketim değerleri, sanayi tüketimleri, özel tüketimler, su kayıp-kaçak oranları, vb. kullanılarak tasarım debileri belirlenir. Ayrıca pik tüketim zamanı debileri belirlenir. Son aşamada ise, hesaplanan tasarım debisi, proje alanındaki imar planları, nüfus yoğunlukları göz önünde bulundurularak içme suyu şebekesi üzerinden dağıtılır.

Hidrolik Modellemede Tüketim Modeli

Hidrolik modelleme sürecinde, sahada halihazırda bulunan hidrolik sistemden su talep eden ve tüketim gerçekleştirilen kullanıcılar mevcuttur. Sahada mevcut bulunan ölçüm cihazlarından (tüketici sayaçları, debimetreler,...) elde edilen veriler kullanılarak, sahadaki gerçek durum hidrolik sisteme tanımlanabilir. Veriler analiz edilirken doğru bir yaklaşım ile hidrolik model tüketim modelindeki hata payının, hidrolik tasarım tüketim modeline göre çok daha küçük değerlere çekilmesi mümkündür.

3. Hidrolik Model Tüketim Modelinin Oluşturulması

Bir hidrolik sistem; borular, düğüm noktaları, akış kontrol vanaları, basınç kırıcı ve düzenleyici vanalar, pompalar, depo, rezervuar gibi hidrolik elemanlardan oluşur. Her hidrolik sistemde bu elemanların tamamı veya bir kısmı bulunur. Bahsi geçen hidrolik elemanlar arasından su kaynağı, borular ve düğüm noktaları bir hidrolik sistemin temel elemanlarıdır. Her hidrolik sistemde bu 3 eleman mutlaka bulunmalıdır. Burada düğüm noktaları, sistemden ihtiyaç debisinin çekildiği noktalar. Su kaynağı sisteme ihtiyaç debisi sunan hidrolik elemandır. Borular ise su kaynağı ile düğüm noktaları arasında su iletimini sağlarlar. Toplam tüketim miktarının düğüm noktalarına nasıl dağıtılacağı sorusunun cevabı hidrolik model tüketim modeli oluşturmaktır. Bunun için hesaplanan toplam tüketim miktarının içme suyu dağıtım sistemi üzerinde; miktarsal, mekânsal ve zamansal dağıtımlarının belirlenmesi gerekmektedir.

a. Miktar Dağıtım

Bir DMA bölgesinde giriş debimetreleri; bölgeye ait ölçülen legal tüketimleri ölçtüğü gibi bölgedeki ölçülmeyen legal kullanımları, illegal kullanımları ve hidrolik sistemin çeşitli bölümlerinde meydana gelen fiziki kayıplara ait debileri de ölçmektedir. Illegal kullanımlar ile ölçülmeyen legal kullanımları tespit etmek çok kapsamlı çalışmalar gerektirmektedir. Eğer bölgedeki illegal tüketimlerin fazla olduğu düşünülüyorsa, öncelikle bu alanda çalışmalar yapılarak daha sonra hidrolik model ve tüketim modeli çalışmaları yapılabilir. Açıklanan sebeplerden dolayı hidrolik sistemde, DMA bölgesine giren debi her zaman sayaçlardan elde edilen tüketim debi miktarından daha fazladır.

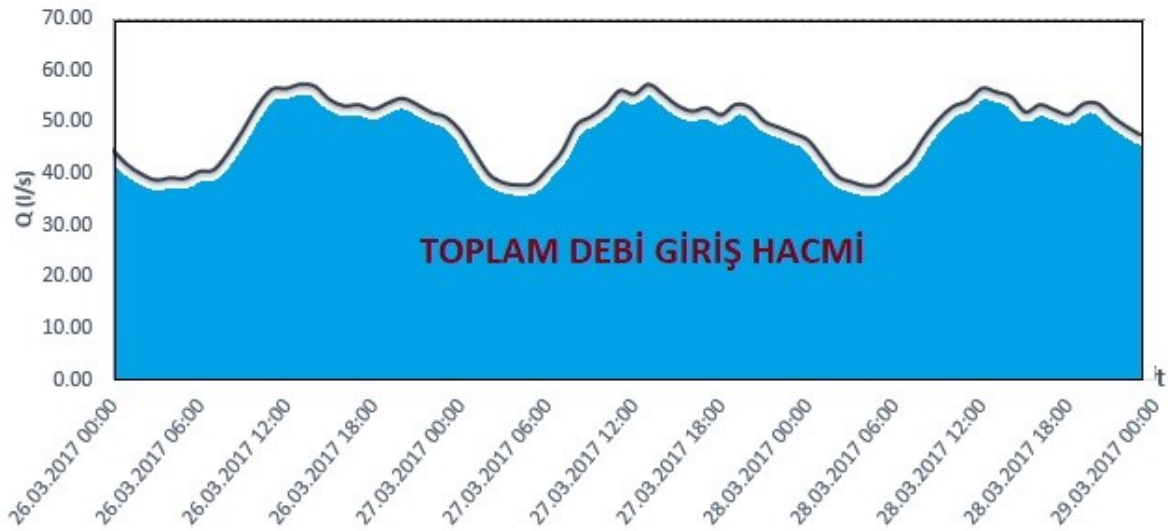
Eğer bunun aksi bir durum varsa;

- Ölçüm cihazlarının kalibrasyonlarının yapıp yapılmadığı
- Sıfır basınç testi kontrolü yapılarak bölgenin izole olup olmadığı
- DMA sınırları ve ilgili birimden temin edilen sayaç okuma verilerine ait sınırların örtüşüp örtüşmediği
- kontrolleri yapılmalıdır.

Hidrolik Model Tüketim Modeli oluştururken, öncelikle fiziki kayıplara ait debi miktarının, toplam giriş debi miktarından ayıklanması ve sayaç okuma verilerinin kalibre edilmesi gerekir.

Giriş hacminin belirlenmesi

Hidrolik Modele altlık olacak Tüketim Modeli oluşturulurken öncelikle sınırları belli olan DMA bölgesine giren su hacminin belirlenmesi gereklidir. İzole edilmiş ve debileri izlenen bir DMA bölgesinde, belirli bir zaman dilimi içerisinde debimetrelerden alınan giriş debisi grafiğinin altında kalan alan, söz konusu zaman dilimi içerisinde o bölgeye verilen toplam su hacmini (Vgiriş) verir (Şekil 1).



Şekil 1. Debimetre Verisi ve Toplam Su Giriş Hacmi

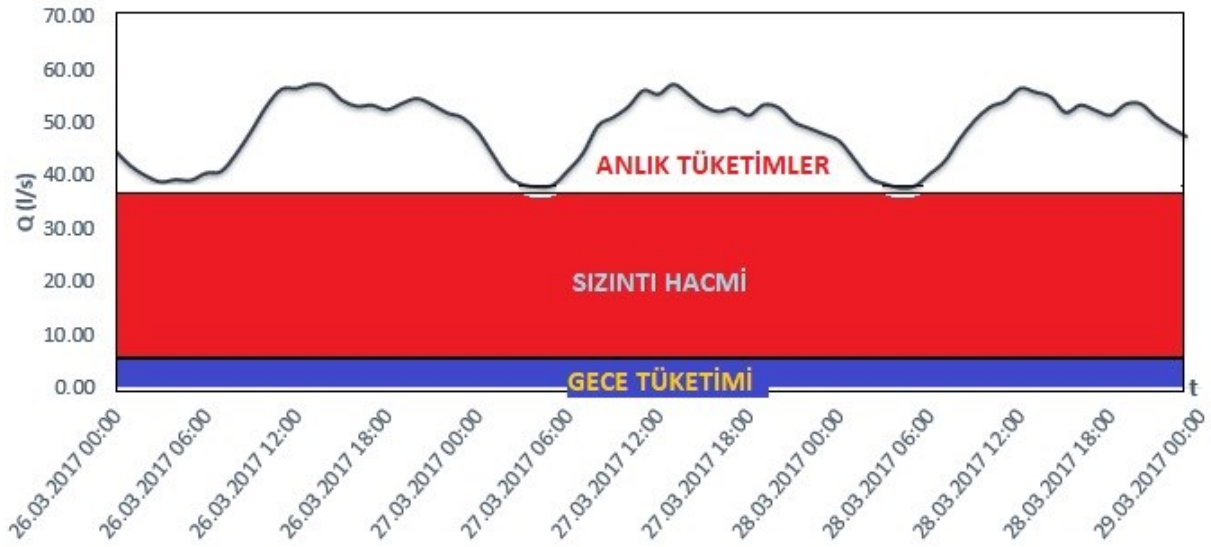
Minimum Gece Debisi Yöntemi ile Tüketim Hacminin Belirlenmesi

Debimetre ölçümleri ile hesaplanan toplam giriş hacmi, çalışma bölgesine ait, legal ve illegal tüketimler ile, su dağıtım sisteminin çeşitli elemanları üzerinde meydana gelen fiziki su kayıplarının toplamıdır. Hidrolik modelleme yaparken, tüketimlere ait olan su debisi ile, fiziki kayıplara ait debinin birbirinden ayrılması, saha koşullarını daha gerçekçi simüle etme yolunu açacaktır. Çünkü tüketimler, çalışma alanı üzerinde nüfus yoğunluğu yüksek olan veya özel (ticari, endüstriyel,...) tüketimlerin olduğu bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Fiziki kayıplar ise, üzerinde hiç tüketim olmayan borularda bile gerçekleşebilmektedir. Bundan dolayı, bu iki bileşen bu aşamada birbirlerinden ayrılmalıdır. Aksi durumda,

tüketim modeli üzerinde, sahada tüketimin yoğun olduğu yerlere fiziki kayıplar da aynı oranda yoğun olarak tanımlanmış olacaktır.

Tüketim hacmi ($V_{\text{tüketim}}$) ile sızıntı hacminin ($V_{\text{sızıntı}}$) belirlenmesi için minimum gece debisi analizi hızlı ve gerçeğe yakın sonuçlar veren iyi bir yöntemdir (Şekil 2). Tüketim hacmi, minimum gece debisi analizinde belirli kabullere dayalı olarak hesaplanan gece tüketimi ile gün içerisinde anlık kullanım durumuna göre değişen anlık tüketimlerin toplamından oluşmaktadır.

Bunun yanında, her içme suyu dağıtım sisteminde meydana gelen önlenemez kayıplar (arka plan sızıntıları) da minimum gece debisinin bir bileşenidir. Çeşitli arka plan sızıntı tahmin yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar arasındaki fark ihmal edilecek kadar önemsiz olmasına rağmen, MNF'nin legal gece tüketiminden önemli ölçüde etkilenebileceği vurgulanmıştır (Lee vd., 2005). Bu açıdan, arka plan sızıntıları dikkate alınması sonuçları daha tutarlı hale getirecek olsa da bu aşamada gece tüketiminin doğru tahmin edilmesinin en kritik nokta olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2. Minimum Gece Debisi Analizi

Tüketim hacmi, şu şekilde hesaplanabilir;

$$V_{\text{tüketim}} = V_{\text{giriş}} - V_{\text{sızıntı}} \quad (2.2.1)$$

$V_{\text{tüketim}} \rightarrow$ Bölgedeki legal ve illegal kullanımların toplam hacmi

$V_{\text{giriş}} \rightarrow$ Debimetre verileri ile elde edilen bölgeye toplam giriş yapan toplam su hacmi

$V_{\text{sızıntı}} \rightarrow$ Minimum Gece Debisi yöntemi ile belirlenen sızıntı hacmi

Sayaç Okuma Verileri

Sonraki aşamada, izole edilmiş DMA bölgesinde kayıtlı olan abonelere ait sayaç okuma verileri, ilgili birimler üzerinden temin edilmelidir (Şekil 3). Kullanıcılara ait tahakkuk miktarlarının toplamı hesaplanır (V_{tahakkuk}). Burada dikkat edilmesi gereken husus, debilerin izlendiği dönem ile, tahakkuk oluşturulan dönemlerin aynı olmasıdır. Sayaç okumalarına ait dönemler düzenli değilse, öncelikle bu konuda bir çalışma yapılmalıdır. Sayaç okuma dönemlerinin, debi izleme verileri ile eşleştirilmesi mümkün olamıyorsa günlük ortalama tüketim verileri hesaplanarak bir yaklaşım yapılabilir. Fakat bunun bir yaklaşım olduğu ve mutlaka buradan da bir hata oranının hidrolik model sonuçlarına dahil olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

FAALİYET_TURU	İLCE	MAHALLE	SOKAK	KAPI_NO	BİNA	DAIR_E_NO	TOPLAM_TUKETİM	TOPLAM_TAHAKKUK	GUN_FARKI
	BATTALGAZİ	AKPINAR	ŞEHİT MEHMET ÖZBEK	12 A		2	64	520.76	64
TİCARİ İSYERİ	BATTALGAZİ	AKPINAR	SARIOĞLU	9 A			7	59.06	93
TİCARİ İSYERİ	BATTALGAZİ	AKPINAR	SARIOĞLU	8 G		0	2	17.38	30
TİCARİ İSYERİ	BATTALGAZİ	AKPINAR	ŞEHİT MEHMET ÖZBEK	12 B		UN SA	2	18.56	62
TİCARİ İSYERİ	BATTALGAZİ	AKPINAR	TURFANDA	19	.	0	61	495.28	31
TİCARİ İSYERİ	BATTALGAZİ	AKPINAR	ASLANTEPE	34	.		20	164.36	46
MESKEN	BATTALGAZİ	AKPINAR	SARIOĞLU	5	.	3	23	71.34	62
MESKEN BİNALARI	BATTALGAZİ	AKPINAR	TURFANDA	5 A	.	3	19	59.38	59
MESKEN BİNALARI	BATTALGAZİ	AKPINAR	AZİZLER	20 B	.	0	8	25.34	30
MESKEN BİNALARI	BATTALGAZİ	AKPINAR	AZİZLER	4 A	.	Z	16	50.36	62
MESKEN BİNALARI	BATTALGAZİ	AKPINAR	SARIOĞLU	5	.	1	15	47.34	62
MESKEN BİNALARI	BATTALGAZİ	AKPINAR	SARIOĞLU	1	.		18	56.16	93
TİCARİ İSYERİ	BATTALGAZİ	AKPINAR	TURFANDA	16 A	.	1	11	91.46	62
LOJMAN	BATTALGAZİ	AKPINAR	ŞEHİT MEHMET ÖZBEK	7 A	.	1	93	407.59	546
MESKEN BİNALARI	BATTALGAZİ	AKPINAR	AZİZLER	20	.	2	10	32.32	62

Şekil 3. Abone Sayaç Okuma Verileri

Sayaç Okuma Verilerinin Kalibrasyonu

İzole bir DMA bölgesinin tüketim verileri incelendiği zaman, çoğunlukla bölgede tahakkuk edilen su miktarı, bölgeye verilen su miktarından çok daha azdır. Önceki bölümde anlatılan minimum gece debisi yöntemi ile fiziki kayıplar dolayısıyla sistemde kaybolan sızıntı hacmi düşüldükten sonra bile bu durum çok değişmez.

Bu çalışmada çalışılan DMA bölgesi; Malatya ilinde çok eski yerleşimlerin olduğu karmaşık mimari yapıya sahip eski işhanları ve ticari binaların olduğu şehrin ticari merkezi konumunda olan bir bölgedir. Müşteri hizmetleri biriminden alınan bilgiler, bölgedeki sayaçların okuma sürecinin çok zorlu olduğu ve sayaçların bir kısmına ulaşılamadığı bilgisi alınmıştır. Bu nedenle bölgedeki sayaç okuma verilerinin güvenilirlik kalitesi düşük olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı sayaç okuma verilerinin kalibre edilerek tüketim modeline dahil edilmesi iyi bir yaklaşım olacaktır. Eğer tahakkuk miktarı (V_{tahakkuk}), tüketim miktarından (V_{tüketim}) fazla ise, öncelikle hesaplamalar gözden geçirilmeli, sonuç alınamazsa debimetre verileri ile sayaç okuma verilerinin doğruluğu sorgulanmalıdır.

Sayaç okuma verilerini kalibre etmek için;

$$k = \frac{V_{tüketim}}{V_{tahakkuk}} \quad (2.4.1)$$

$$q_{ik} = q_i * k \quad (2.4.2)$$

$V_{tüketim} \rightarrow$ Bölgedeki legal ve illegal kullanımların toplam hacmi

$V_{tahakkuk} \rightarrow$ Bölgede tahakkuk edilen toplam su hacmi

$k \rightarrow$ Kalibrasyon katsayısı

$q_i \rightarrow$ "i" no'lu abonenin tahakkuk miktarı

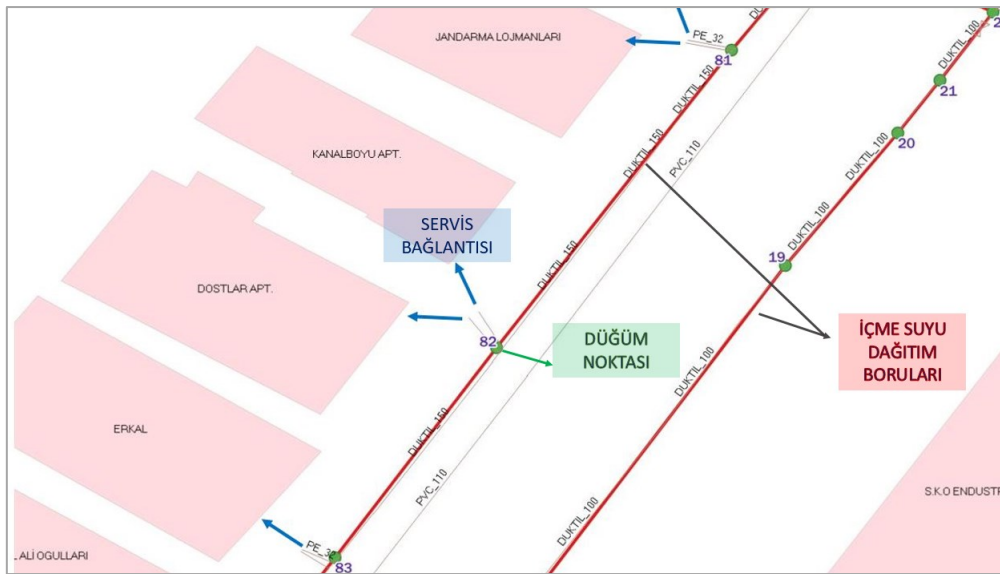
$q_{ik} \rightarrow$ "i" no'lu abonenin kalibre edilmiş tahakkuk miktarı

b. Mekansal Dağıtım

İzole bir DMA bölgesinde, mevcut şebekenin hidrolik modeli oluşturulurken, bölgeye giren su miktarı, giriş borularına takılacak debimetre cihazları ile takip edilebilmektedir. Bu şekilde debimetreler vasıtasıyla elde edilen giriş debisi verisinin, oluşturulan şebeke hidrolik modeli üzerindeki düğüm noktalarına dağıtılması gerekmektedir. Toplam debiyi düğüm nokta sayısına bölerek, toplam debi düğüm noktalarına eşit şekilde dağıtım yapılacak olursa, simülasyon sonuçları sahadaki gerçek durumu yansıtmaktan uzak olacaktır. Bu şekilde, oluşturulmuş olan şebeke geometrisinin durumuna göre düğüm noktalarının sık olduğu bölümler yoğun su talebi yapan bölümler olurken, düğüm noktalarının seyrek atıldığı bölümler daha az su talebi yapan bölümler olacaktır. Çoğunlukla sahadaki gerçek durum bundan farklıdır.

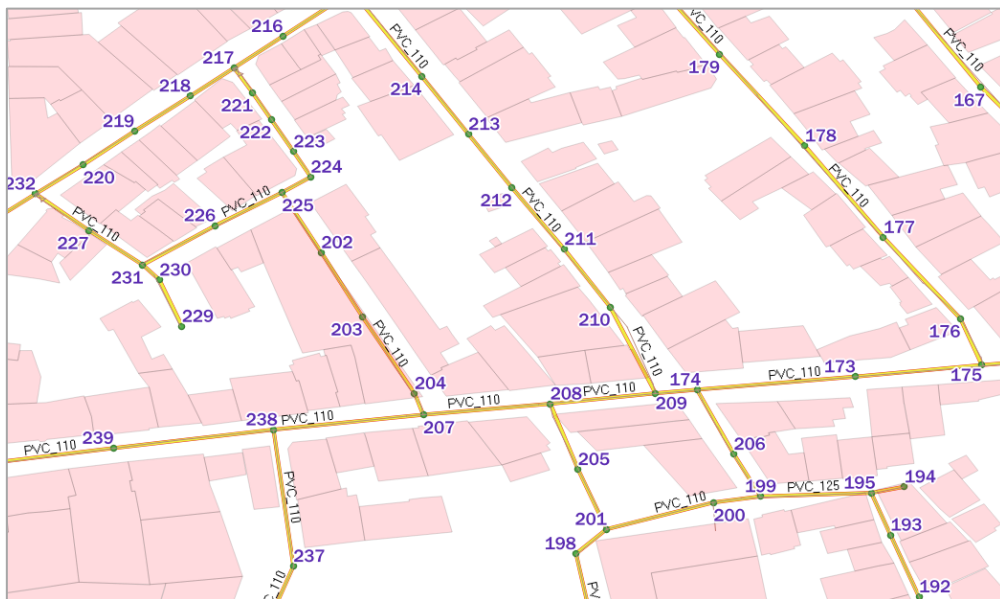
Bir diğer seçenek, hidrolik tasarımda olduğu gibi toplam debinin boru uzunluğu boyunca kesafet katsayıları dikkate alınarak dağıtılmasıdır. Bu şekilde yapılan debi dağıtımının simülasyon sonucunda doğru sonuçlar verebilmesi, öngörülen kesafet katsayılarının ne kadar gerçekçi seçildikleri ile doğru orantılıdır. Toplam giriş debisinin düğüm noktalarına eşit dağıtılmasına göre daha iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen, gerçek saha sonuçlarının bu şekilde yakalanması yine de pek mümkün olmamaktadır.

Hidrolik modelleme yaparken, sonuçların saha koşullarına en iyi şekilde yaklaştırabilmek ancak sahadaki gerçek durumun modelde yansıtılabilmesi ile mümkün olabilmektedir. Gerçek bir içme suyu dağıtım şebekesinde, su talebi çoğunlukla en yakın borudan sağlanan servis bağlantıları sayesinde karşılanır. Eğer servis bağlantılarının konumu sayısal veri olarak mevcut ise, o servis bağlantısından su kullanımı sağlayan kullanıcıların hesaplanan tüketimlerini, içme suyu şebekesinden servis bağlantısı yapılan noktaya hidrolik model üzerinden tanımlanacak düğüm noktalarına atamak, sahadaki durumu en gerçekçi şekilde modelleme yöntemi olacaktır (Şekil 4).



Şekil 4. İçme Suyu Dağıtım Şebekesi ve Servis Bağlantıları

Sayısal şebeke ve servis bağlantısı verileri üzerinden her servis bağlantısına bir düğüm noktası tanımlamak hidrolik modeli gerçek saha koşullarına en çok yaklaştıran yöntem olsa da, çoğu su idaresinin elinde, özellikle önceki yıllarda yapılmış servis bağlantılarına ait sayısal veri mevcut değildir. Ayrıca her binanın veya bağımsız birimin önüne düğüm noktası tanımlamak, modelleme sürecinde zaman kayıplarına sebep olabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Hidrolik Model Üzerinde Binaların ve Düğüm Noktalarının Dağılımı

Gerek hidrolik tasarım yaparken gerekse de hidrolik modelleme yaparken düğüm noktaları; borunun yön değiştirdiği noktalar, branşman noktaları, boru çapının değiştiği noktalar gibi yerlere tanımlanır. Bunun yanında, arazi koşulları ve boru uzunlukları göz önünde bulundurularak fazladan düğüm noktaları tanımlanır. Çok fazla düğüm noktası tanımlamak, hesaplamalardaki hassasiyeti artırırken, sürecin zorluk derecesini artırmaktadır. Çok az düğüm noktası tanımlamak, süreci kolaylaştırırken, hesaplamalardaki hassasiyet azalacaktır. Bu açıdan hidrolik modelleme yapılırken, bu iki unsur göz önünde bulundurularak ideal bir düğüm noktası sayısı üzerinden hesaplamalar yapılmalıdır.

Mekansal Dağıtım ve Yöntem Önerisi

Mekansal dağıtım yaparken, dağıtımın yapılabilirliği için zorluk seviyesini çok artırmadan aynı zamanda da sahadaki gerçek durum hidrolik modele aktarılırken doğruluk seviyesinden uzaklaşmadan pratik bir çözüm aşağıdaki gibi önerilmiştir. Mekansal dağıtım, tüketici noktalarının bölgeye ait halihazır haritalar üzerinden coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla belirlenen bina şekillerinin ağırlık merkezine tekabül ettiği varsayımı ile yapılabilir (MASKİ Su Temini ve Rehabilitasyonu

Projesi, 2016). Uygulama şu şekilde ilerler; her tüketici noktasının su ihtiyacı belirlendiğinde, bu ihtiyacın modelin uygun düğümüne atanması gerekmektedir. Uygulanan strateji aşağıdaki gibidir:

- Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak, belirlenen tüketici noktasının en yakın boruya bu boruya dik olan hayali bir kol yardımıyla (Şekil 6) atanır.



Şekil 6: Su ihtiyacının (tüketim debisi) dağıtılması (MASKİ Su Temini ve Rehabilitasyon Projesi, 2016)

- Her boru ile ilgili tüketiciler daha sonra borunun en yakın düğümüne atanır. Bu prosedür sonucunda aşağıda verilen kriterlere göre, her düğüm bir kullanıcı listesi ve bu nedenle de bir toplam su ihtiyacı ile karakterize edilmektedir;
- Minimum gece debisi yöntemi ile belirlenmiş olan sızıntı hacmi boru uzunlukları ile orantılı olacak şekilde borulara dağıtılır ve her boruya tanımlanan sızıntı debisi o boruya ait düğüm noktaları arasında paylaştırılır. Daha sonra her bir düğüm noktasına, bağlı olduğu borulardan gelen sızıntı debisi eklenir (Şekil 7).



Şekil 7. Sızıntı Debisinin Düğüm Noktalarına Dağıtılması

$$V_{sızıntı} = \Sigma Q_{sızıntı-Pi}$$

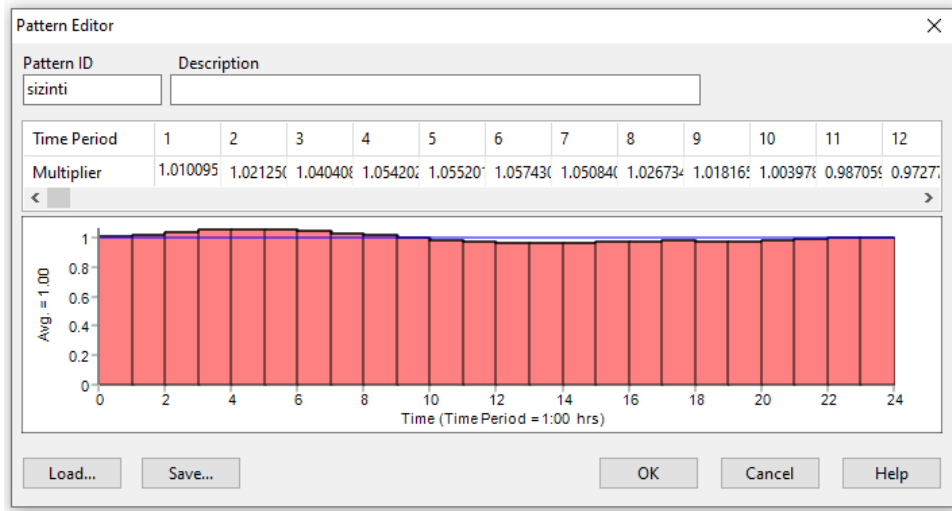
$$V_{tüketim} = \Sigma Q_{düğüm-noktası}$$

$$Q_{dügüm-noktası} = \Sigma q_{tüketici} + \Sigma q_{sızıntı}$$

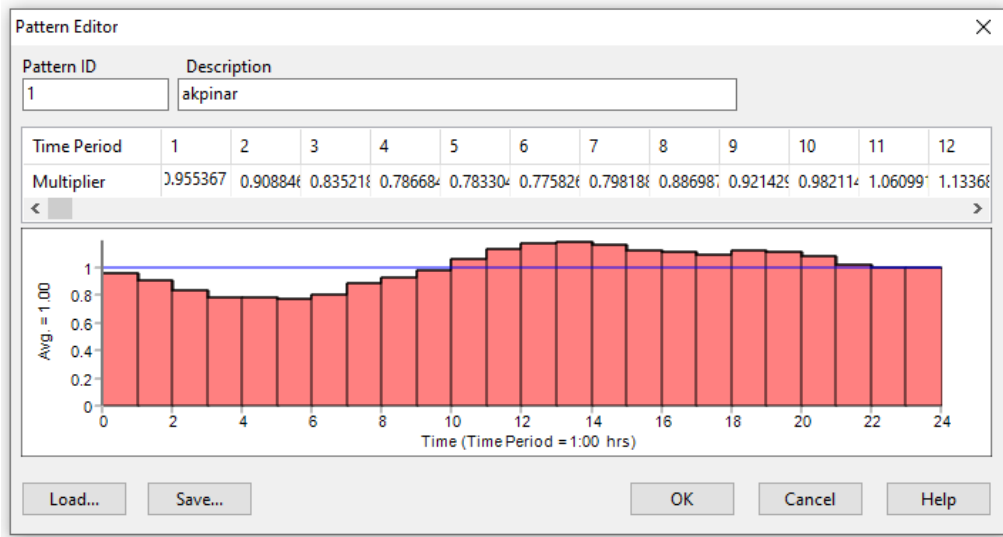
$Q_{\text{sızıntı-Pi}}$: P_i borusuna ait sızıntı debisi, $V_{\text{sızıntı}}$: Minimum Gece Debisi yöntemi ile belirlenen sızıntı hacmi, $V_{\text{tüketim}}$: Bölgedeki legal ve illegal kullanımların toplam hacmi, $Q_{\text{düğüm-noktası}}$: Modelin bir düğümünde toplam ortalama ihtiyaç, $q_{\text{tüketici}}$: Tek bir tüketicinin su ihtiyacı, $q_{\text{sızıntı}}$: Düğüm noktasına bağlı boru üzerinden tanımlanan sızıntı debisi.

c. Zamansal Dağıtım

Hidrolik çözümler, ortalama debiler kullanılarak anlık çözüm olarak yapılabileceği gibi, debideki dalgalanmalar dikkate alınarak uzatılmış zaman dönemleri için de yapılabilir. Hidrolik modelleme yapılırken ise, hidrolik çözümün uzatılmış zaman dönemi için yapılması gerekmektedir. Bir DMA bölgesine giren debiyi ölçen debimetrelerden alınan giriş debisi hacmi, farklı zamansal karakteristikleri olan sızıntı debisi ve tüketim debisinin toplamından oluşur. Tüketim debisinin zamansal karakteristiği; DMA bölgesinin sosyo-ekonomik, ticari, turizm, kültürel,... durumlarına bağlı olarak büyük dalgalanmalar gösterirken, sızıntı debisi basınç değişimlerine bağlı olarak daha küçük dalgalanmalar gösterir. Debinin zamansal dağıtımı için saatlik dilimler kullanılabilir. Bu çalışma bir günlük (24 saat) bir dönem için yapılabileceği gibi, hafta boyunca değişen tüketim karakteristiğine sahip bölgeler için 7 günlük (168 saat) bir tüketim deseni oluşturulması faydalı olacaktır. Bu çalışmada; zamansal dağıtım sürecinde saatlik debi değişimlerini hidrolik modele tanımlamak için tüketim debisini ve sızıntı debisini temsil eden ayrı iki adet zamansal tüketim desenleri oluşturulmuştur (Şekil 8,9). Debimetrelerden elde edilen veriler minimum gece debisi yöntemi ile sızıntı ve tüketimler olarak ayrılmış ve saatlik debi verileri ortalama debilere bölünerek her saat dilimi için katsayılar belirlenmiştir.



Şekil 8. Sızıntı Debisine ait Zamansal Tüketim Deseni (EPANET)



Şekil 9. Tüketim Debisine ait Zamansal Tüketim Deseni (EPANET)

4. Sonuçlar

“Tüketim Modeli” oluşturulması; “Su Yönetimi” konusunda yapılacak en önemli işlerden olan “Hidrolik Modelleme” aşamasına altlık oluşturacak ve modelin saha koşullarını gerçekçi bir şekilde simüle etmesine yarayacak önemli bir aşamadır. Bu çalışmada; Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından işletilmekte olan Malatya İli İçme Suyu Dağıtım Sistemi üzerinde tesis edilmiş olan bir DMA bölgesine ait hidrolik modelleme çalışmaları sürecinde, şebekeden çekilen talep debisinin hidrolik çözüme saha koşullarını en yakın şekilde temsil etmesini sağlamak amacıyla yapılan tüketim modeli oluşturma süreci aşamaları anlatılmıştır. DMA bölgesinde şebekeden çekilen su miktarlarını tespit edebilmek amacıyla miktarsal dağılım süreci tamamlanmıştır. Yanı sıra, müşteri hizmetleri biriminden bölgedeki sayaçlara ait okuma verileri alınmıştır. Bu çalışmada çalışılan DMA bölgesi özelinde, çok eski yerleşimlerin olduğu karmaşık mimari yapıya sahip eski işanları ve ticari binaların olduğu bir bölge olduğundan, sayaç okuma verilerinin güvenilirlik kalitesi düşük olarak belirlenmiştir. Bu sebeple, minimum gece debisi yöntemi kullanılarak sızıntı hacmi belirlenmeye çalışılmıştır. Sayaç okuma verileri ise mekansal dağıtım sürecine altlık olarak kullanılmak amacıyla kalibre edilmiştir. Mekansal dağıtım sürecinde, coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak tüketim debisi kendilerine en yakın borulara ve oradan da en yakın düğüm noktasına tanımlanmıştır. Sızıntı debisinin ise boru uzunlukları ile orantılı olarak dağıldığı varsayılmıştır. Talep debisindeki zamansal dalgalanmaları tahmin edebilmek amacıyla, bölgeye giren su debisini ölçen debimetreler kullanılarak bölgeye ait zamansal tüketim deseni oluşturulmuştur.

Hidrolik Modelleme ve kalibrasyon süreçleri için tüketim modeli oluşturma çalışmaları yaparken, hesaplamaların sezgisel süreci göz önünde bulundurularak, sahadaki gerçek durumunun bire bir simüle edilemeyeceği ancak gerçeğe yakınlaşabileceği unutulmamalıdır. Şebeke üzerinde sahada gerçekleşen su talep debisi çekim karakteristiklerini temsil etmek amaçlı yapılan tüketim modeli uygulamalarında, idarelerin teknik kapasiteleri ile su şebekesinin fiziki durumları göz önünde bulundurularak farklı analiz yöntemleri belirlenebilir. Bu süreçte sahadaki koşulları en gerçekçi şekilde temsil

edilecek bir model teşkil edilmesi amaçlanmalıdır. Su temini ve dağıtımından sorumlu olan kurumların, su yönetimi konusuna eğilirken, bu çalışmada önerilen tüketim modeli çalışmalarını yapmalarının, ilgili kurumlara hidrolik model dışında farklı alanlarda da fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle müşteri hizmetleri alanında, tahakkuk verilerinin tüketim modeli için önemli bir parametre olması dolayısıyla, illegal kullanım ve bölgesel sayaç okumalarında farkında olunmayan hataların da meydana çıkmasını sağlayarak bir oto-kontrol mekanizmasının gelişmesine dönük faydalar sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, (İÜ-BAP FDK-2020-2054) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- AL-Washali, T., Sharma, S., Lupoja, R., AL-Nozaily, F., Haidera, M., & Kennedy, M. (2020). Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 152(September 2019), 104515. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104515>
- Amen, M. A. (2021). The Assessment of Cities Physical Complexity through Urban Energy Consumption. *Civil Engineering and Architecture*, 9(7), 2517–2527. doi:10.13189/cea.2021.090735
- Berardi, L., Laucelli, D. B., Simone, A., Mazzolani, G., & Giustolisi, O. (2016). Active Leakage Control with WDNNetXL. *Procedia Engineering*, 154, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.420>
- di Nardo, A., di Natale, M., Giudicianni, C., Santonastaso, G. F., Tzatchkov, V., & Varela, J. M. R. (2017). Economic and energy criteria for district meter areas design of water distribution networks. *Water (Switzerland)*, 9(7), 1–13. <https://doi.org/10.3390/w9070463>
- Menapace, A., Avesani, D., Righetti, M., Bellin, A., & Pisaturo, G. (2018). Uniformly distributed demand EPANET extension. *Water resources management*, 32(6), 2165-2180.
- Arunkumar, M., & Mariappan, V. N. (2011). Water demand analysis of municipal water supply using epanet software. *International Journal on Applied Bioengineering*, 5(1), 9-19.
- Brentan, B. M., Luvizotto Jr, E., Herrera, M., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2017). Hybrid regression model for near real-time urban water demand forecasting. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 309, 532-541.
- Kara, S., Karadirek, I. E., Muhammetoglu, A., & Muhammetoglu, H. (2016). Hydraulic modeling of a water distribution network in a tourism area with highly varying characteristics. *Procedia Engineering*, 162, 521-529.
- Giustolisi, O., & Walski, T. M. (2012). Demand components in water distribution network analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(4), 356-367.
- MASKİ Genel Müdürlüğü. (2016). *Malatya Su Temini Rehabilitasyon Projesi, Şebeke Sayısal Modeli Raporu*. 42-43