

Öne Çıkan Sonuçlar:

- Hidrolik modelleme
- Basınç yüksekliği yönetimi
- Su kayıpları

Yazışma yazarı:

Tuğba AKDENİZ,
tugba_ozden@yahoo.com

Referans:

Akdeniz, T. ve Muhammetoğlu, H. (2019), Antalya İçme Suyu Şebekesinin Bir Bölümünün Online İzleme (SCADA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Araçları Kullanılarak Hidrolik Modellemesi, Su Kaynakları, 4, (1), 12-22

Makale Gönderimi : 15 AĞUSTOS 2018
Online Kabul : 4 MART 2019
Online Basım : 25 MART 2019

Antalya İçme Suyu Şebekesinin Bir Bölümünün Online İzleme (SCADA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Araçları Kullanılarak Hidrolik Modellemesi

Tuğba Akdeniz¹, Habib Muhammetoğlu²

¹ Antalya Büyükşehir Belediyesi, ASAT Genel Müdürlüğü, Antalya, Türkiye.

² Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.

Özet Hidrolik modelleme içme suyu şebekelerinde su hızı seviyelerinin kontrolü ve basınç yönetimi için hayati öneme sahiptir. Ayrıca, hidrolik modelleme su kalitesi modellemesi için bir ön adımdır. Bu çalışmada, Antalya Termessos Yeşilbayır şebekesi için hidrolik model oluşturulmuştur. Model kalibrasyon ve doğrulaması ASAT Genel Müdürlüğü SCADA sisteminden alınan farklı veri setleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hidrolik modelleme çalışmaları ile elde edilen sonuçlar Termessos Yeşilbayır şebekesi basınç yüksekliği seviyelerinin oldukça değişken olduğunu göstermiştir. Modelleme çalışmaları ile elde edilen basınç yüksekliği seviyelerinin, 2014 yılında yayımlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde (SKY) belirtilen basınç yüksekliği seviyeleri ile kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca; su kayıplarındaki değişimler ile nüfus artışı gibi değişkenler için farklı yönetim senaryoları oluşturulmuş ve basınç yüksekliği seviyeleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu değişkenlerin basınç yüksekliği seviyelerinde büyük bir değişime neden olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler, hidrolik modellemenin şu anda ve gelecekte oluşacak basınç seviyelerindeki değişimlerin tahmini ve farklı yönetim senaryolarının denenmesi için güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Basınç, CBS, hidrolik modelleme, içme suyu dağıtım şebekesi, SCADA

Hydraulic Modeling For A Part Of Antalya Drinking Water Network Using Online Monitoring (SCADA) and GIS Tools

Abstract Hydraulic modeling is vital for controlling the velocity of water levels and pressure management in drinking water distribution networks. In addition, hydraulic modeling is a preliminary step for water quality modeling. In this study, hydraulic modelling was applied for a part of Antalya drinking water network, namely Termessos Yeşilbayır. The model calibration and verification were performed by using different data sets, which were collected from the ASAT SCADA system. The results obtained from hydraulic modeling studies have shown that the pressure levels of the Termessos Yeşilbayır network are very variable. The simulated pressure levels were compared with the pressure levels indicated in the Water Loss Control Directive in the Drinking Water Networks published in 2014. In addition, different management scenarios were established and the impacts on pressure levels were assessed for variables such as water losses changes and population growth. It has been determined that these variables cause a large change in pressure levels. The experience obtained in this study shows that hydraulic modeling is a powerful tool for predicting changes in the pressure levels now and in the future, and for testing different management scenarios.

Keywords: Pressure, GIS, hydraulic modelling, drinking water distribution network, SCADA

1. Giriş

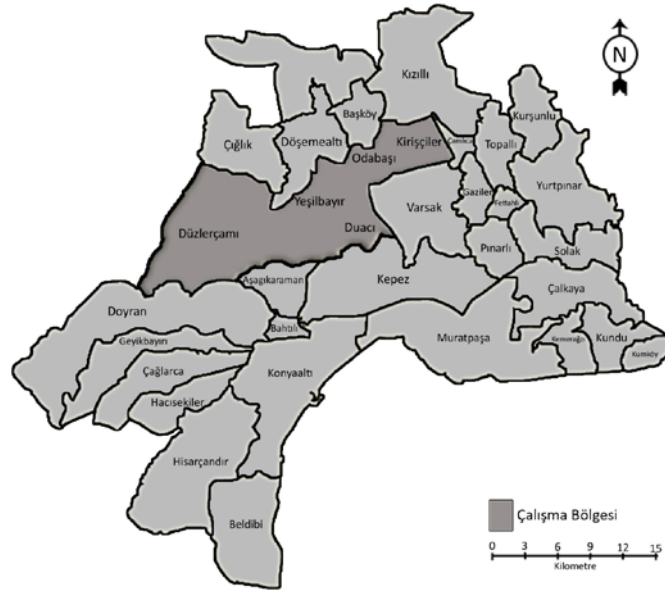
Küresel ısınma ve kısıtlı su kaynakları nedeni ile günümüzde içme suyu şebekelerinin işletilmesi ve yönetilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Su kuruluşlarının en önemli sorunu sorumluluğu; her bireye yeterli, ulaşılır ve sağlıklı içme suyunun teminidir. İçme suyu şebekeleri ve bu sistemlere ait veriler; hidrolik ve su kalitesi modelleri kullanılarak model ortamına aktarılmakta böylece modelleme araçları kullanılarak içme suyu şebeke sistemine ilişkin pek çok veri analizi ve raporlaması yapılabilmektedir. Bu çalışmada, US-EPA tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu EPANET modeli kullanılmıştır.

EPANET modeli; içme suyu şebekelerinde su kalitesi modellemesinin yanısıra şebekenin işletilmesi, basınç yönetimi, su kayıpları, pompa verimliliklerinin belirlenmesi ve optimizasyonu ile ilgili alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Sakarya ve Mays 2000, Lippai ve Wright 2005, Ingeduld ve Svitak 2006, Dongwen vd. 2006, Kurek ve Ostfeld 2012). Anisha vd. tarafından

2016'da Chirala-Hindistan'da gerçekleştirilen çalışmada EPANET modeli kullanılarak mevcut içmesuyu şebekesinin 2047 yılında oluşacak su ihtiyacını karşılamaya yetmeyeceği belirlenmiştir (Anisha vd. 2016). Bir başka çalışmada, ise içme suyu şebekeleri için EPANET tabanlı yeni bir şebeke performans değerlendirme aracı geliştirilmiştir (Muranho vd. 2012, Muranho vd. 2014). Kara tarafından yapılan çalışmalarda EPANET modeli kullanılarak Antalya Konyaaltı içme suyu şebekesi için basınç yönetimi ve su kayıpları değerlendirilmiştir (Kara 2011, Kara vd. 2016).

2. Çalışma Alanı

Türkiye'nin en önemli turizm merkezlerinden biri olan Antalya il merkezinde temel içme, kullanma ve sanayi suyu ihtiyacı Antalya Su ve Atıksu Genel Müdürlüğü (ASAT) tarafından Duraliler, Boğaçay, Termessos ve Gürkavak olarak isimlendirilen üretim tesislerinde yeraltı suyu kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu çalışma kapsamında Termessos kaynaklarından beslenen Yeşilbayır şebekesi çalışma bölgesi olarak belirlenmiş ve US-EPA tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu EPANET hidrolik ve su kalitesi modeli kullanılarak model dosyası oluşturulmuştur. Çalışma bölgesinin Antalya ilindeki konumu Şekil 1'de sunulmaktadır.



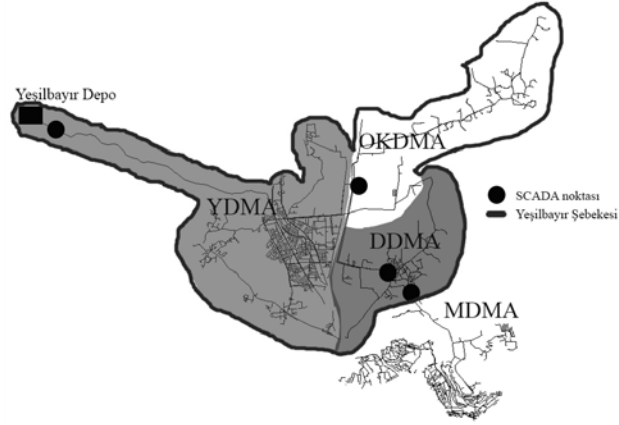
Şekil 1. Çalışma bölgesinin Antalya ilindeki konumu.

Yeşilbayır şebekesi; Yeşilbayır Merkez (YDMA), Odabaşı-Kirişçiler (OKDMA) ve Duacı (DDMA) isimli üç alt bölgeden oluşmaktadır. Çalışma bölgesi 91 km² alana sahip olup şebeke boru uzunluğu yaklaşık olarak 285 km'dir ve Antalya Merkez içme suyu şebekesinin %10'unu oluşturmaktadır. Bölgede yaklaşık olarak 40.000 kişi yaşamaktadır. Yeşilbayır Depo'dan beslenmekte olan çalışma bölgesi diğer bölgelerden su girişi olmayacak şekilde tesis edilmiştir. Termessos Yeşilbayır şebekesine dağıtılan içme suları; Yeşilbayır Depo yakınında bulunan, sondaj kuyularından temin edilmekte ve Yeşilbayır Depoda biriktirilmektedir. Yeşilbayır Deposu, 362 m kotunda 5 m yüksekliğinde ve 2500 m³ hacindedir. Yeşilbayır Depo çıkışında klorlama yapılarak şebekeye verilen içme suları çalışma bölgesine dağıtılmakta ve Duacı Depo olarak isimlendirilen ancak aktif olarak çalışmayan depo önünde bulunan SCADA ölçüm noktasında debi ve basınç yüksekliği değerleri ölçülerek Masadağı alt bölgesine (MDMA) iletilmektedir. Masadağı alt bölgesi çalışma bölgesine dahil değildir (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017).

3. Yöntem ve Metodoloji

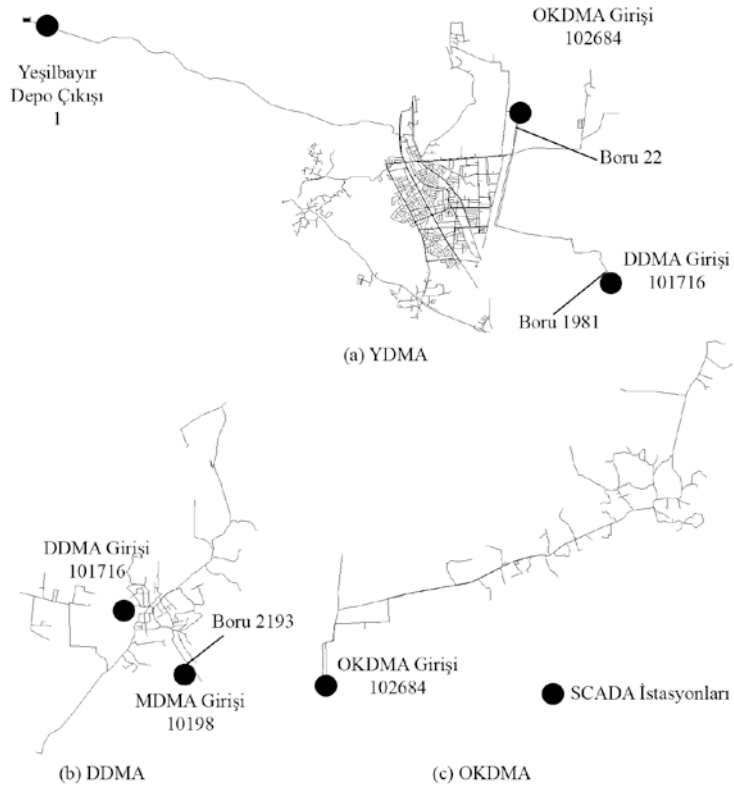
3.1. Hidrolik model dosyasının hazırlanması

Bu çalışmada; hidrolik model dosyasının hazırlanması aşamasında ihtiyaç duyulan boru çap, cins ve uzunluk verileri ASAT CBS sisteminden, debi ve basınç yüksekliği verileri Şekil 2'de lokasyonları sunulan SCADA noktalarından ve sahada yapılan manuel basınç yüksekliği ölçümlerinden elde edilmiştir. Yeşilbayır Deposunda bulunan SCADA ölçüm noktasında; depo seviye sensörü ve debimetre bulunmakta olup Odabaşı- Kirişçiler, Duacı ve Masadağı alt bölge girişlerinde bulunan SCADA istasyonlarında; debimetre ve basınçmetre bulunmaktadır. Çalışma bölgesinden Masadağı alt bölgesine aktarılan debi miktarı ve şebeke basıncı bilinmektedir.



Şekil 2. Çalışma bölgesi şematik gösterimi ve SCADA noktaları (Akdeniz 2017).

Hidrolik model kalibrasyon çalışmalarında her bir alt bölge için oluşturulan model dosyaları kullanılmış, doğrulama çalışmasında alt bölge modelleri birleştirilerek doğrulanmıştır. Şekil 3'de alt bölge model dosyalarına ilişkin görsel sunulmaktadır.



Şekil 3. Alt bölgeler için oluşturulan hidrolik model dosyasına ilişkin görsel (Akdeniz 2017).

Hidrolik model kalibrasyon ve doğrulama aşamalarında kullanılan debi ve basınç yüksekliği verileri ise ASAT SCADA sisteminden alınan beşer dakikalık online verilerden elde edilmiştir. Her bir alt bölge için debi değerleri; tüm boruların kullanıcılar su taşıdığı kabulü ile toplam debi ve boru uzunluğuna bağlı olarak düşüm noktalarına dağıtılmıştır. EPANET modelinin sunduğu özellikler kullanılarak zamana bağlı değişimler model dosyalarına yansıtılmıştır. Çalışma bölgesinden çıkarak MDMA alt bölgesine aktarılan debi miktarı ise model dosyalarında ilgili düşüm noktasına tüketim değeri olarak girilmiştir.

Hidrolik modelleme çalışmalarında ihtiyaç duyulan boru cidar pürüzlülük katsayısı başta boru yaş, tür ve imalatı olmak üzere pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedenle boru cidar pürüzlülük katsayısının belirlenmesine ilişkin çalışmalar YDMA, DDMA ve OKDMA için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Hidrolik model kalibrasyon çalışmaları, YDMA için 2, DDMA ve OKDMA bölgesi için 1 defa olmak üzere toplam 3 farklı periyotta gerçekleştirilmiştir. YDMA için yapılan kalibrasyon çalışmalarında birinci ve ikinci kalibrasyon periyodu sırasıyla KP1 ve KP2 olarak adlandırılmıştır. DDMA ve OKDMA için kalibrasyon periyotları ise üçüncü kalibrasyon periyodu (KP3) olarak adlandırılmıştır. Belirlenen katsayı kullanılarak hidrolik model doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Hidrolik model kalibrasyon ve doğrulama çalışmalarına ait tarihler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Hidrolik model kalibrasyon ve doğrulama tarihleri.

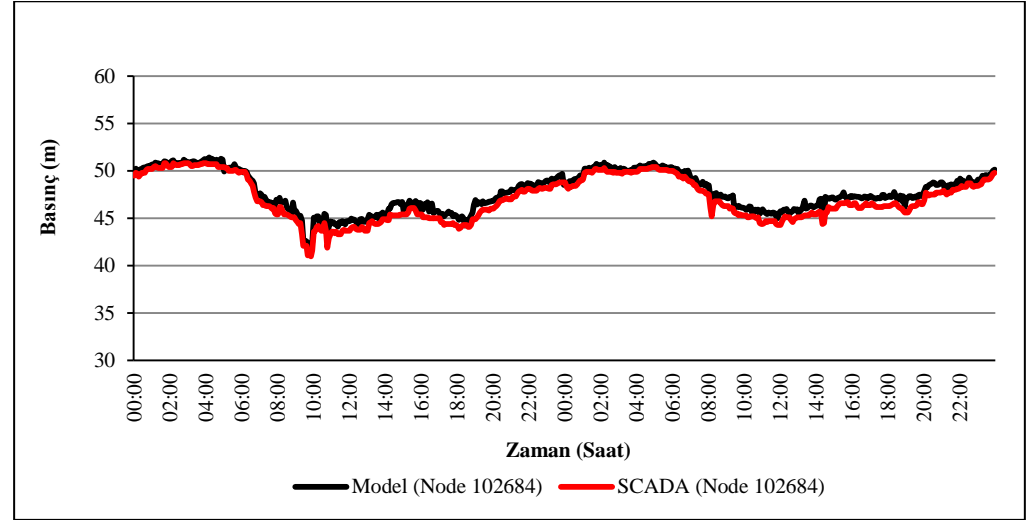
Çalışma Adı	Bölge	Başlangıç Tarihi- Saati	Bitiş Tarihi- Saati	Toplam Süre (Saat)
Kalibrasyon Periyodu				
KP1	Yeşilbayır Merkez	19.03.2011 00:00	20.03.2011 23:55	48
KP2	Yeşilbayır Merkez	08.04.2011 00:00	09.04.2011 23:55	48
KP3	Duacı, Odabaşı- Kirişçiler	19.04.2011 13:00	21.04.2011 12:55	48
Doğrulama Periyodu	Bölge	Başlangıç Tarihi- Saati	Bitiş Tarihi- Saati	Toplam Süre (Saat)
1	Çalışma Bölgesi	07.04.2011 00:00	09.04.2011 23:55	72

4. Uygulama ve Tartışma

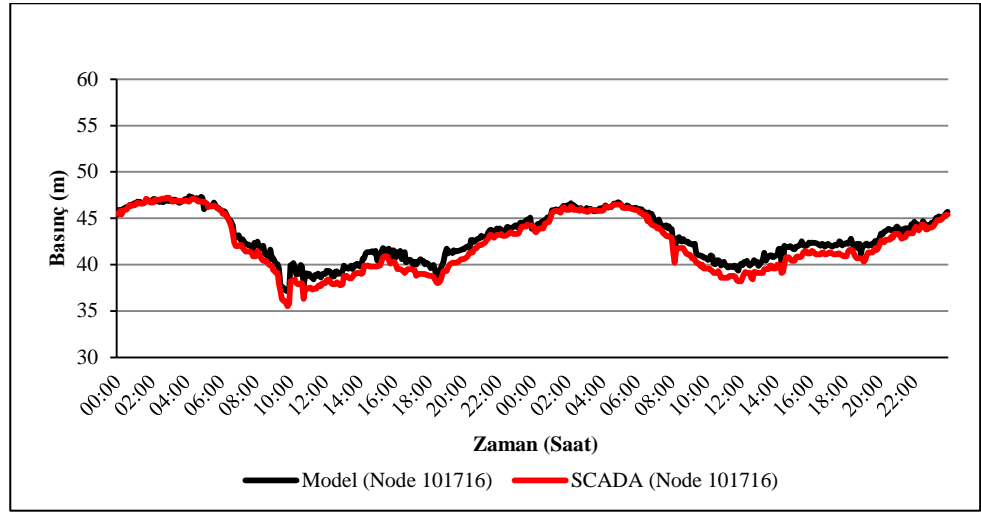
4.1. Hidrolik model kalibrasyon ve doğrulaması

İçme suyu dağıtım şebekelerinde boruların durumları zamana bağlı olarak değişmektedir. Boru çapının azalması, boru yaşının artması vb. durumlarında boru pürüzlülüğü artmaktadır. Hidrolik model kalibrasyon çalışmaları ile deneme-yanılma yöntemi kullanılarak Hazen Williams boru pürüzlülük katsayıları belirlenmiştir. Her bir alt bölge için boru pürüzlülük katsayıları 80 ile 150 arasında farklı değerler kullanılarak model dosyası çalıştırılmış ve model sonuçları ile SCADA ve arazi ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır. En düşük ortalama mutlak hata (MAE) değerini veren boru cidar pürüzlülük katsayıları; YDMA için 135, DDMA için 100 ve OKDMA için 110 olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni, OKDMA ve DDMA alt bölgelerinde bulunan boruların yaşlarının YDMA alt bölgesinde bulunan boruların yaşlarından daha büyük olmasıdır.

Kalibrasyon çalışmalarında elde edilen model sonuçları ile SCADA ve arazi ölçümlerinin kıyaslamasına ilişkin örnekler Şekil 4 ve Şekil 5'de sunulmaktadır. Kalibrasyon çalışmaları sonucunda belirlenen katsayılar kullanılarak çalıştırılan model dosyasının ürettiği sonuçlar ile saha ve SCADA ölçümleri karşılaştırıldığında modelin, yaklaşık olarak basınç yüksekliklerini 0,17 bar, debi değerini ise 1 m³/sa farkla tespit ettiği belirlenmiştir (Akdeniz 2017).



Şekil 4. KP1 OKDMA girişi (Node 102684) ölçüm noktasında basınç yüksekliği ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,707 m (Akdeniz 2017).



Şekil 5. KP1 DDMA (Node 101716) ölçüm noktasında basınç yüksekliği ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,787 m (Akdeniz 2017).

4.2. Hidrolik model kullanılarak basınç yüksekliği değişimlerinin değerlendirilmesi

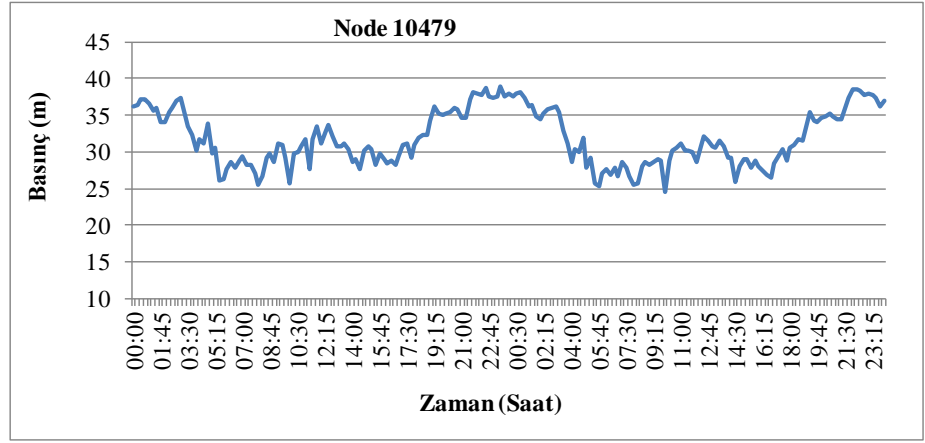
İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinin su kayıplarının azaltılması başlıklı 7. Maddesinin (f) bendi "Sistemde basınç yönetiminin yapılması, kritik noktalarda sürekli basınç ölçülmesi, topografik yapının uygun olduğu yerlerde en yüksek statik basıncın 80 mSS'den 60 mSS düzeyine indirilmesi, bu kapsamda gerekli yerlerde basınç düşürücü/düzenleyici vana ve bağlantı hatlarının tesis edilmesi sağlanır." şeklindedir. Çalışma kapsamında Termessos Yeşilbayır şebekesi için oluşturulan model dosyası hidrolik zaman adımı 15 dk olacak şekilde ayarlanmış ve şebekedeki mevcut durum için basınç yüksekliği seviyeleri değerlendirilmiştir. Ayrıca su kayıpları ile nüfus artışı gibi değişkenlerin basınç yüksekliği seviyeleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacı ile Tablo 2'de sunulan farklı senaryolar için model dosyası çalıştırılmıştır.

Tablo 2. Basınç yüksekliği değişimlerinin değerlendirilmesi amacı ile yönetim senaryoları.

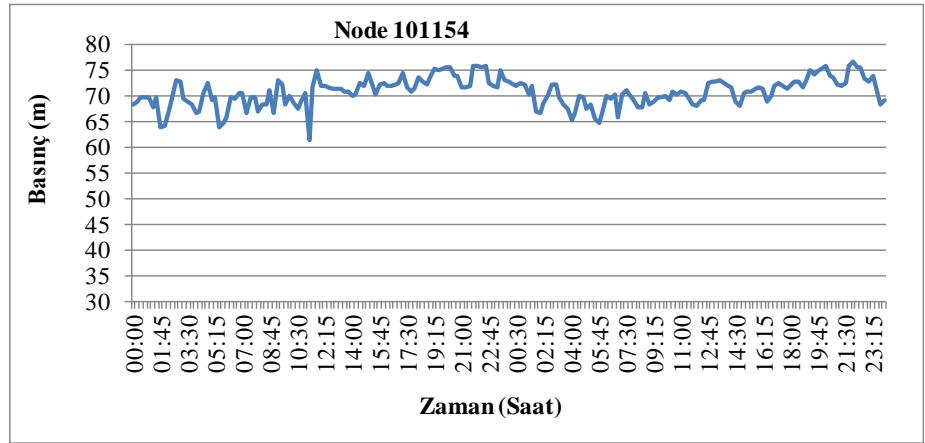
Yönetim Senaryoları	Debi (m ³ /saat)	Açıklamalar
1	768,58	Mevcut durum
2	614,86	Fiziksel su kayıplarının %20 oranında azalması
3	922,30	Nüfus artışına bağlı olarak su tüketiminin %20 oranında artması veya fiziksel su kayıplarının %20 oranında artması

4.2.1. Senaryo 1 (Mevcut Durum)

Mevcut durumda şebekede 10479 düğüm noktasında 24,59 m minimum basınç yüksekliği değeri oluşmaktadır. Maksimum basınç yüksekliği ise 101154 numaralı düğüm noktasında 76,63 m olarak görülmektedir. Söz konusu düğüm noktalarında oluşan zamana bağlı basınç yüksekliği değişimleri Şekil 6'da, noktaların lokasyonları Şekil 7'de sunulmaktadır. Ayrıca tüm düğüm noktalarında oluşan basınç yüksekliği değerlerinin ortalamaları kullanılarak hazırlanan alansal basınç yüksekliği değişimi Şekil 8'de görülmektedir.

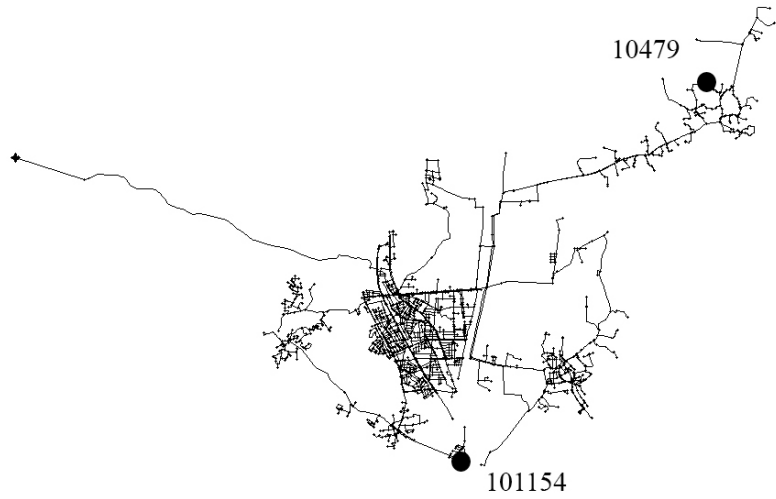


(a) Minimum basınç yüksekliği değerinin oluştuğu noktalar

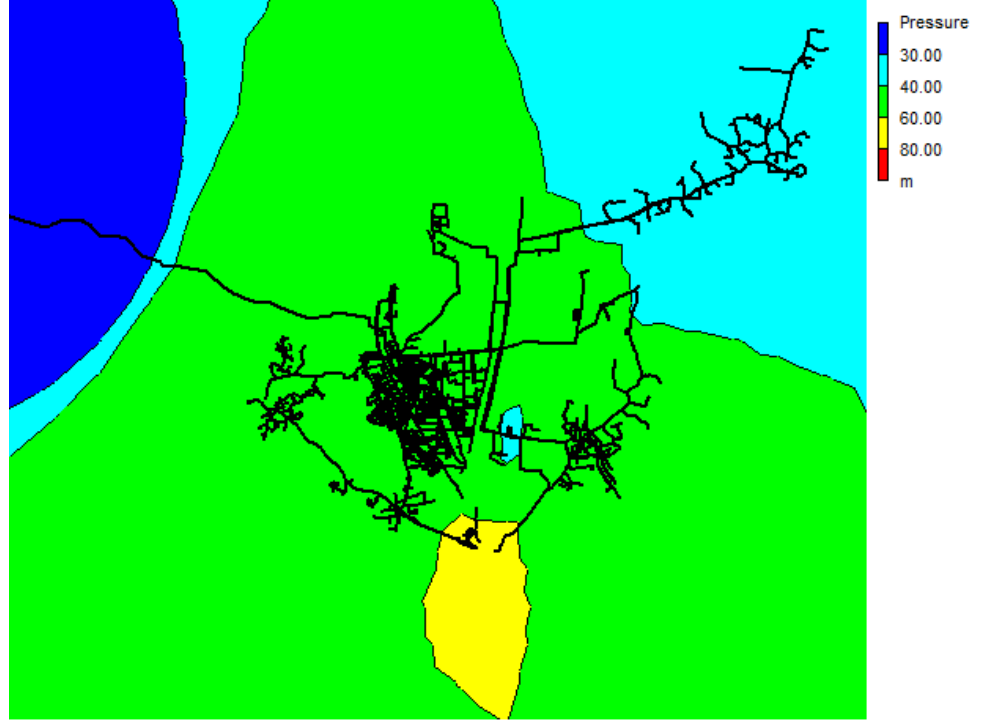


(b) Maksimum basınç yüksekliği değerinin oluştuğu nokta

Şekil 6. Mevcut durumda şebekede minimum ve maksimum basınç yüksekliği değerlerinin oluştuğu düğüm noktalarında zamana bağlı basınç yüksekliği değişimleri (Akdeniz 2017).



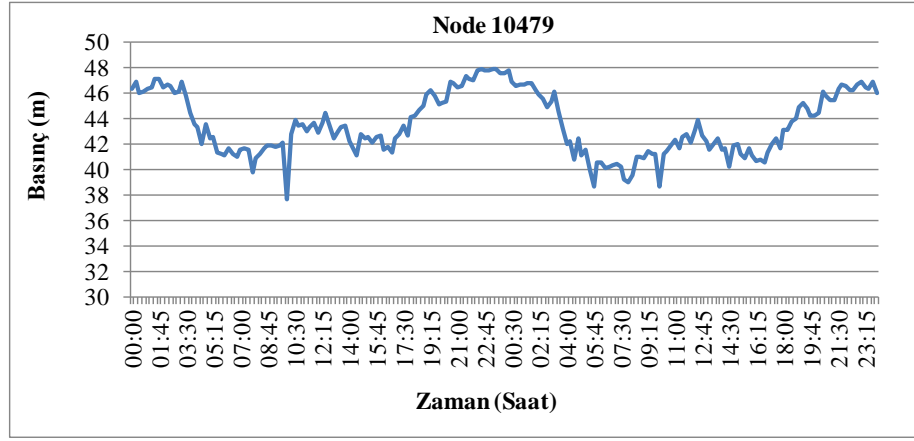
Şekil 7. Mevcut durumda şebekede minimum ve maksimum basınç yüksekliği değerlerinin oluştuğu düğüm noktalarının lokasyonları (Akdeniz 2017).



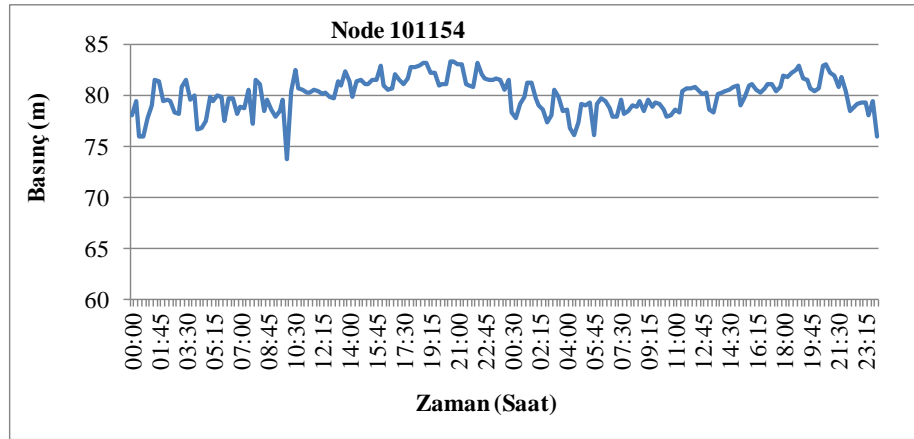
Şekil 8. Mevcut durumda ortalama basınç yüksekliği değerleri kullanılarak hazırlanan alansal basınç yüksekliği değişimleri (Akdeniz 2017).

4.2.2. Senaryo 2

Su kayıplarının mevcut duruma kıyasla %20 oranında azaltılması durumu model dosyasına şebekeye dağıtılan debinin %20 oranında azaltılması olarak yansıtılmıştır. Senaryo 2 için şebekede oluşan minimum basınç yüksekliği değeri 37,68 m olup 10479 numaralı düğüm noktasında görülmektedir. Maksimum basınç yüksekliği değeri ise 83,30 m olup 101154 numaralı düğüm noktasında oluşmaktadır. Söz konusu düğüm noktalarında oluşan zamana bağlı basınç yüksekliği değişimleri Şekil 9'da sunulmaktadır. Ayrıca tüm düğüm noktalarında oluşan basınç yüksekliği değerlerinin ortalamaları kullanılarak hazırlanan alansal basınç yüksekliği değişimi Şekil 10'da görülmektedir.

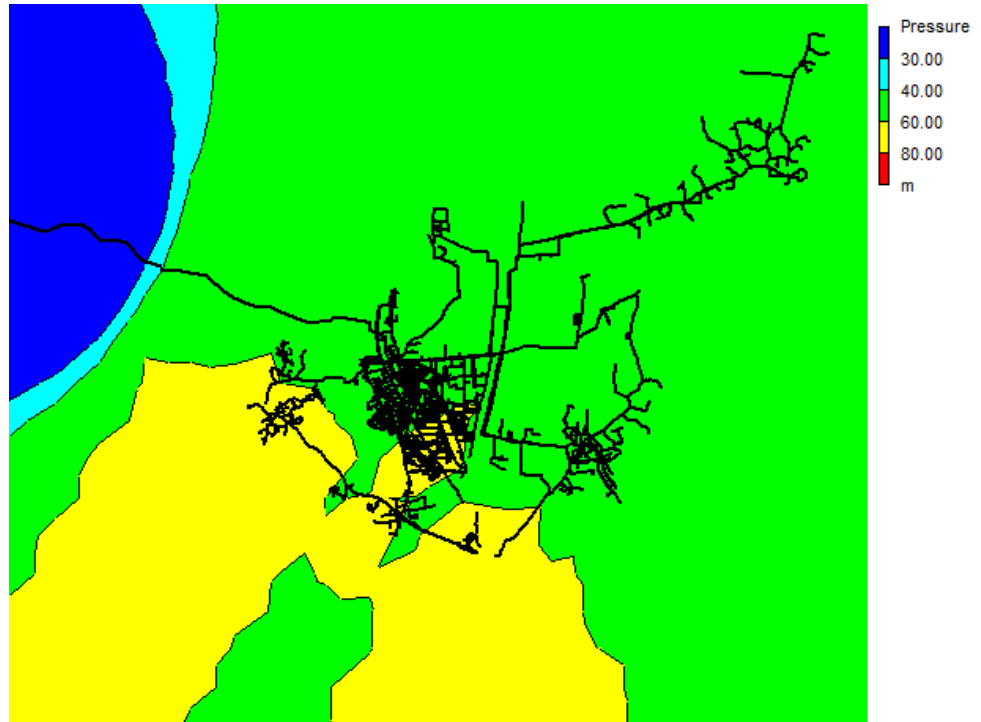


(a) Minimum basınç yüksekliği değerinin oluştuğu noktalar



(b) Maksimum basınç yüksekliği değerinin oluştuğu nokta

Şekil 9. Senaryo 2 için minimum ve maksimum basınç yüksekliği değerlerinin oluştuğu düğüm noktalarında zamana bağlı basınç yüksekliği değişimleri (Akdeniz 2017).

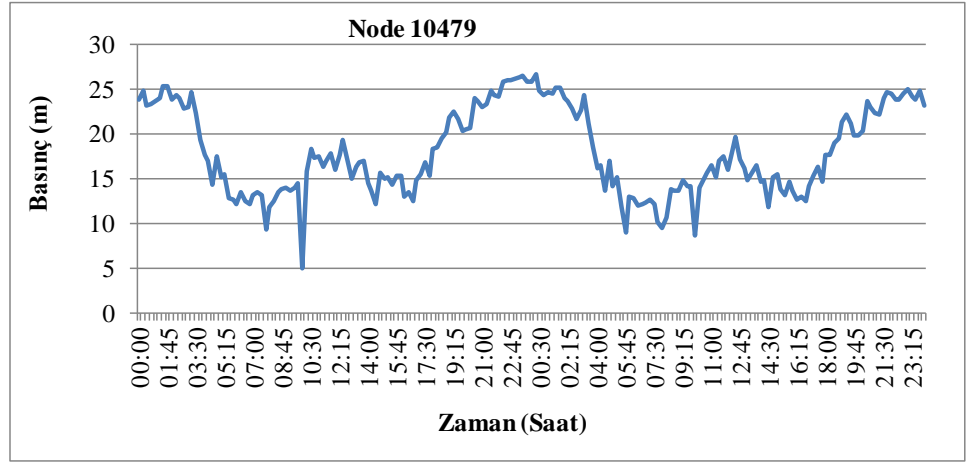


Şekil 10. Senaryo 1 için ortalama basınç yüksekliği değerleri kullanılarak hazırlanan alansal basınç yüksekliği değişimleri (Akdeniz 2017).

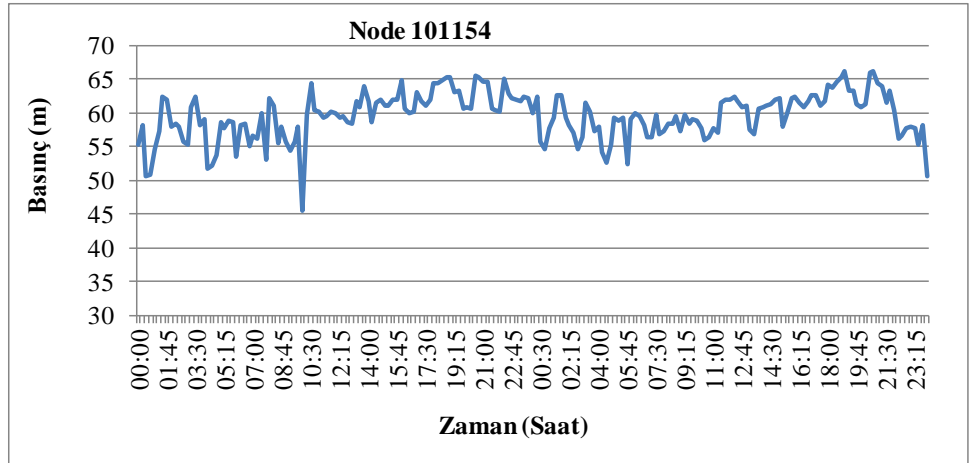
4.2.3. Senaryo 3

Nüfus artışına bağlı olarak su tüketiminin %20 oranında artması veya fiziksel su kayıplarının %20 oranında artması durumunu yansıtan Senaryo 3 için şebekede 10479 numaralı düğüm noktasında minimum basınç yüksekliği değeri 5,04 m olarak oluşmaktadır. Maksimum basınç

yükseklği ise 101154 numaralı düğüm noktasında 66,18 m olarak görülmektedir. Her iki düğüm noktası için zamana bağlı basınç yüksekliği değişimleri Şekil 11’de sunulmaktadır. Ayrıca tüm düğüm noktalarında oluşan basınç yüksekliği değerlerinin ortalamaları kullanılarak hazırlanan alansal basınç yüksekliği değişimi Şekil 12’de görülmektedir.

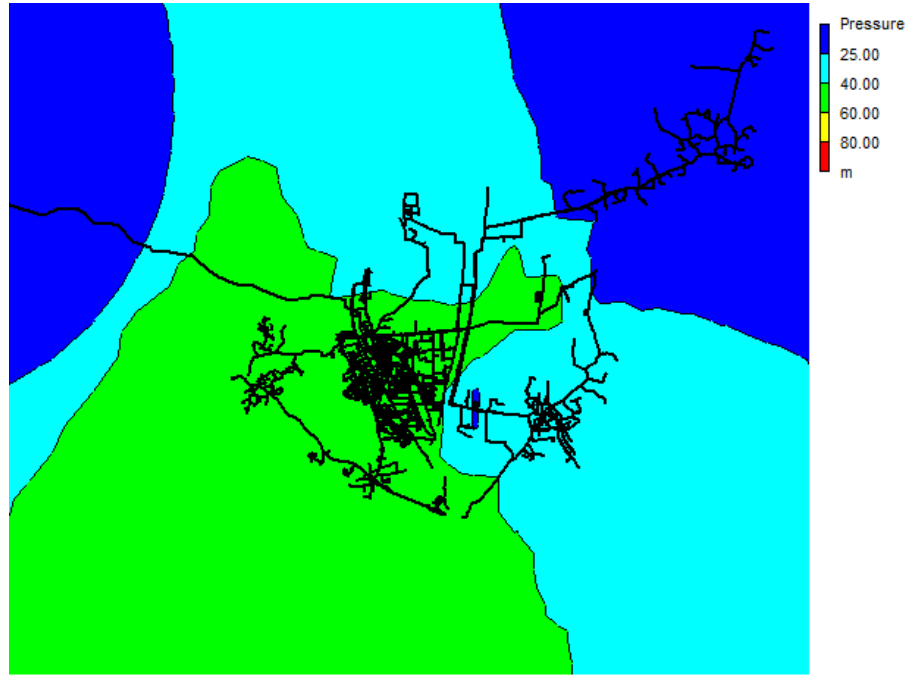


(a) Minimum basınç yüksekliği değerinin oluştuğu noktalar



(b) Maksimum basınç yüksekliği değerinin oluştuğu nokta

Şekil 11. Senaryo 3 için minimum ve maksimum basınç yüksekliği değerlerinin oluştuğu düğüm noktalarında zamana bağlı basınç yüksekliği değişimleri (Akdeniz 2017).



Şekil 12. Senaryo 3 için ortalama basınç yüksekliği değerleri kullanılarak hazırlanan alansal basınç yüksekliği değişimleri (Akdeniz 2017).

4.3. Tartışma

Üç farklı senaryoya ilişkin sonuçlar Tablo 3'de özetlenmektedir. Elde edilen sonuçlar debi değerinin düşmesi durumunda minimum ve maksimum basınç yüksekliği seviyelerinin arttığını göstermektedir. Bunun nedeni, debinin düşmesi durumunda su hızı ve buna bağlı olarak hidrolik kayıpların azalmasıdır. Diğer yandan debi değerinin artması minimum ve maksimum basınç yüksekliği seviyelerini düşürmektedir. Bu durum debideki artışa bağlı olarak su hızının ve hidrolik kayıpların yükselmesinin basınç yüksekliği seviyelerinin düşmesine neden olmaktadır.

Tablo 3. Farklı senaryo sonuçları için oluşan maksimum ve minimum basınç yükseklikleri .

Senaryo	Minimum Basınç Yüksekliği	Maksimum Basınç Yüksekliği
1	24,59	76,36
2	37,68	83,30
3	5,04	66

Debi değerinde %20 oranında küçük bir artışın basınç yüksekliği seviyeleri üzerinde büyük bir değişime neden olduğu Tablo 3'de görülmektedir. Bu durum su kuruluşları tarafından yapılacak planlama çalışmalarında gelecekte su kayıpları ve su ihtiyaçlarında oluşabilecek olası değişimlerin göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir. Özellikle Türkiye'deki içme suyu şebekeleri için hızlı nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetler nedeni ile artan su talebi açısından da önem taşımaktadır. Diğer yandan, Ülkemizde fiziksel su kayıpları yüksek seviyelerde olup Orman ve Su İşleri Bakanlığı Türkiye'deki su kuruluşlarının su kayıplarını kabul edilebilir seviyelere indirmesini talep etmektedir. Bu da su talebini azaltmayı ve su verimliliğini artırmayı sağlayacaktır.

5. Sonuç

Hidrolik modelleme çalışmaları ile elde edilen sonuçlar Termessos Yeşilbayır şebekesi basınç yüksekliği seviyelerinin zamana bağlı olarak oldukça değişken olduğunu göstermiştir. Ayrıca; su kayıplarındaki yükseliş ve düşüşler ile nüfus artışı gibi değişkenlerin basınç yüksekliği seviyelerinde büyük bir değişime neden olduğu belirlenmiştir. Termessos Yeşilbayır şebekesi için mevcut durumda basınç yüksekliği seviyelerinde oluşan maksimum değer 76,36 m'dir. Bu değer yönetmelikte 60 m olarak tavsiye edilen basınç yüksekliği değerinden yüksektir. Ancak, nüfus artışına bağlı olarak su tüketiminin artması maksimum basınç yüksekliği değerini düşürecektir. Bu yüzden, mevcut durumdaki basınç yüksekliği değeri kabul edilebilir seviyededir ve İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKY) belirtilen değer ile benzer kabul edilebilir. Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında, hidrolik modellemenin şu anda ve gelecekte oluşacak basınç yüksekliği seviyelerindeki değişimlerin tahmininde ve farklı yönetim senaryolarının denenmesinde güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

6. Teşekkür

Akdeniz Üniversitesi, Antalya Büyükşehir Belediyesi ve ASAT Genel Müdürlüğü yetkililerine bu çalışmaya olan katkıları ve destekleri için teşekkür ederiz.

7. Kaynaklar

- Akdeniz, T. (2017), Kalite kısıtlamaları göz önüne alınarak içme suyu şebekelerinde ara klorklama istasyon sayılarının belirlenmesi ve maliyet açısından değerlendirilmesi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Antalya, 184.
- Akdeniz, T. and Muhammetoğlu, H. (2017), Chlorine residual management for water utilities using GIS, SCADA and modeling tools, *Desalination and Water Treatment*, 59(2017), pp. 135–143, doi: 10.5004/dwt.2016.1180.
- Anisha, G., Kumar, A., Ashok Kumar, J. and Suvarna Raju, P. 2016, Analysis and design of water distribution network using EPANET for Chirala Municipality in Prakasam District of Andhra Pradesh, *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 3(4):54-60.
- Dongwen, S., Guqiao, L. and Zhengyu, Y. 2006, Setup of water distribution network model in Zhengzhou and its application study, 4th Asia-Pacific DHI Software Conference, Shanghai.
- Kara 2011, İçmesuyu dağıtım şebekelerinde basınç yönetimi ve hidrolik modellemenin entegre edilecek su kayıplarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 129 s.
- Kara, S., Karadirek, I.E., Muhammetoğlu A. and Muhammetoğlu H. 2016, Hydraulic modeling of a water distribution network in a tourism area with highly varying characteristics, *Procedia Engineering*, 162:521-529.
- Kurek, W. and Ostfeld, A. 2012, Multi-objective water distribution systems control of pumping cost, water quality and storage-reliability constraints, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(2).
- Lippai, I. and Wright, L. 2005, Criticality analysis case study: zone 7 water distribution system. *Optimizing Pipeline Design, Operations and Maintenance in Today's Economy*, The Pipeline Division Specialty Conference, Houston, Texas, USA.
- Ingeduld, P. and Svítak, Z. 2006, Modelling intermittent water supply systems with EPANET, 8th Annual WD Symposium, EPA Cincinnati.
- Muranho, J., Ferreira, A., Sousa, J, Gomes, A. and Sá Marques, A. 2012, WaterNetGen - an EPANET extension for automatic water distribution networks models generation and pipe sizing, *Water Science and Technology: Water Supply*, 12(1):117-123.
- Muranho, J., Ferreira, A., Sousa, J. ,Gomes, A. and Sá Marques, A. 2014, Technical performance evaluation of water distribution networks based on EPANET, *Procedia Eng.*, 70 (2014) 1201–1210.
- Sakarya, A. and Mays, L. 2000, Optimal operation of water distribution pumps with water quality considerations, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(4), 210–220.