T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇMESUYU TEMİN SİSTEMLERİNDE FAZLA BASINÇTAN ENERJİ KAZANIMININ PİLOT BİR BÖLGEDE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE HİDROLİK MODEL KULLANILARAK İNCELENMESİ

Özge ÖZEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇMESUYU TEMİN SİSTEMLERİNDE FAZLA BASINÇTAN ENERJİ KAZANIMININ PİLOT BİR BÖLGEDE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE HİDROLİK MODEL KULLANILARAK İNCELENMESİ

Özge ÖZEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 28/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir

Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU

Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

ÖZET

İÇMESUYU TEMİN SİSTEMLERİNDE FAZLA BASINÇTAN ENERJİ KAZANIMININ PİLOT BİR BÖLGEDE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE HİDROLİK MODEL KULLANILARAK İNCELENMESİ

Özge ÖZEN

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU
Temmuz 2017, 177 sayfa

İçmesuyu dağıtım şebekelerinde suyun tüketiciye güvenli ve yeterli bir şekilde ulaştırılmasının yanı sıra, şebekelerin sürdürülebilir olması da önem kazanmakta olan bir konudur. Bir içmesuyu dağıtım şebekesinin sürdürülebilir olması su kayıplarının mümkün olan en düşük seviyeye indirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve karbondioksit emisyonlarının en aza düşürülmesi ile gerçekleştirilebilmektedir.

İçmesuyu dağıtım şebekelerinin yönetiminde basınç yönetimi oldukça hassas bir konudur. Şebekede su basıncının optimum değerler arasında tutulması oldukça önemlidir. Basıncın düşük olması tüketiciye suyun ulaşmasında problemler yaratırken, fazla basınç şebekelerdeki su kayıplarının artmasına sebebiyet vermektedir. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde bulunan fazla basıncı düşürmek için en çok tercih edilen yöntemlerden biri basınç kırıcı vana (PRV, Pressure Reducing Valve) kullanılmasıdır. Son yıllarda şebekelerdeki fazla basıncı kırmak için PRV sistemleri yerine alternatif sistemler kullanılması yaygınlaşmıştır. Pompa türbin (PAT, Pump as Turbine) sistemleri, PRV sistemleri yerine kullanılan alternatif ve sürdürülebilir sistemlere örnek olarak verilebilmektedir. PAT sistemleri şebekede bulunan fazla basıncı düşürürken aynı zamanda fazla basınçtan enerji üretmektedir. Böylelikle hem şebekede bulunan fazla basınç değerlendirilmiş olup, hem de şebekede bulunan enerji ihtiyacı da giderilmiş olacaktır.

Bu tez çalışmasında sürdürülebilir içmesuyu dağıtım şebekelerinin gerçekleştirilmesi amacıyla fazla basınçtan enerji kazanımı potansiyeli incelenmiş ve Antalya ili Aksu ilçesinde bulunan ANFAŞ-EXPO içmesuyu dağıtım şebekesine eklenen PAT sisteminin gelecek yıllar için üreteceği potansiyel enerji miktarı hesaplanmıştır. Ek olarak, Antalya Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde bulunan 18 alt bölge içinde PAT sistemi eklenmesi mümkün olan alt bölgeler belirlenmiş ve bu alt bölgelerde gelecek yıllar için üretilebilecek enerji miktarları hesaplanmıştır. ANFAŞ-EXPO içmesuyu dağıtım şebekesinde 2020 yılı için şebekedeki fazla basınçtan faydalanılarak;
- Üretilen enerji miktarı 29258,4 kWh

- Üretilen enerji miktarına bağlı olarak elde edilen karbon dioksit emisyonu azalımı 15631,59 kg CO_2
- Şebekedeki fazla basıncın düşürülmesi ile birlikte şebekede tasarruf edilen su miktarı 317462,4 m^3
- Tasarruf edilen su miktarına bağlı olarak suyun iletim ve dağıtımından sağlanan enerji tasarrufu 212699,81 kWh
- Elde edilen karbon dioksit emisyonu azalımı 113637 kg CO_2 olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Basınç Yönetimi, Enerji Üretimi, Pompa Türbin, Sürdürülebilir İçmesuyu Dağıtım Sistemleri

JÜRİ: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU (Danışman)
Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ
Prof.Dr. Bülent TOPKAYA

ABSTRACT

IMPLEMENTATION of ENERGY RECOVERY FROM EXCESS PRESSURE IN A WATER DISTRIBUTION NETWORK PILOT STUDY AREA & INVESTIGATION USING A HYDRAULIC MODEL

Özge ÖZEN

M. Sc. Thesis in Department of Environmental Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU
July 2017, 177 pages

In addition to safe and adequate transmission of drinking water to the consumers, sustainability of the networks is also a matter of concern. Sustainability of a drinking water distribution network can be achieved by minimizing water losses to the lowest possible level, increasing energy efficiency and minimizing carbon dioxide emissions.

Pressure management in water distribution networks is a very important issue. Water pressure in the water distribution network should be kept between certain limits. When the pressure is low, the consumers may face problems in accessing water, whereas excess pressure increases water losses in the networks. One of the most commonly used methods to reduce excess pressure in drinking water distribution networks is the use of PRV (Pressure Reducing Valve). In recent years, there is a widespread interest to use alternative systems instead of PRV systems to break excess pressure in the networks. Pump as Turbine (PAT) systems are examples of alternative and sustainable systems used in place of PRV systems. PAT systems reduce excess pressure in the network and generate energy from excess pressure at the same time. In this way, both excess pressure in the network could be reduced and the energy demand could be eliminated.

In this thesis study, the possibility of energy saving from excess pressure was investigated in order to realize sustainable drinking water distribution networks. Moreover, possibility of installing PAT systems was investigated for 18 district meter areas (DMA) in Antalya Konyaaltı drinking water distribution network. The energy recovery potential by the PAT system implemented at ANFAŞ-EXPO drinking water distribution network, located in Aksu district of Antalya province, was investigated. A feasibility study was also carried out for Konyaaltı drinking water distribution network where the possible amount of energy that could be produced in the coming years was calculated for each DMA.

By reducing excess pressure in ANFAŞ-EXPO drinking distribution network by installing PAT system;
- Energy production of 29258.4 kWh
- Carbon dioxide emission reduction of 15631.59 kg CO_2

- Water saving of 317462.4 m^3
- Energy savings of 212699.81 kWh and carbon dioxide emission reduction of 113637 kg CO_2 were estimated due to savings from transmission and distribution of water for the year 2020.

KEYWORDS: Energy Production, Sustainable Drinking Water Distribution Networks, Pressure Reduction, Pump as Turbine

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU (Supervisor)

Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ

Prof.Dr. Bülent TOPKAYA

ÖNSÖZ

İçmesuyu dağıtım şebekelerinin öncelikli amacı suyu tüketiciye güvenli ve yeterli miktarda ulaştırmaktır. Suyun kaynaktan alınıp tüketiciye ulaştırılana kadar olan süreçte su basıncının belli limit değerler arasında olması gerekmektedir. Düşük basınç durumunda su tüketiciye ulaşamayacağından aboneler açısından memnuniyetsizlik oluşmakta, tersi durum olan yüksek basınç bulunması halinde ise şebekede fiziki su kayıplarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Şebekede bulunan fazla basıncı düşürmek için yaygın olarak maslak/hazne yapıları veya PRV sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin kullanıldığı durumlarda, fazla basınçtan enerji üretimi gerçekleştirilmez. Alternatif olarak pompa türbin (PAT) kullanılması durumunda ise fazla basınç düşürülür ve aynı zamanda çok düşük miktarlarda olsa bile enerji üretimi sağlanmaktadır. Şebekede elde edilen bu enerji, içmesuyu dağıtım şebekesinin sürdürülebilirliğine de katkı sağlamış olur.

Bu tez çalışması kapsamında, içmesuyu dağıtım şebekesindeki fazla basıncın PAT sistemi ile düşürülmesi ve enerji üretimi pilot bir uygulama ile incelenmiştir. Belirtilen çalışma TÜBİTAK tarafından "*Sürdürülebilir İçmesuyu Temini Sistemleri için Yenilenebilir Enerji Kazanımı Potansiyelinin Araştırılması*" başlıklı ve 114Y203 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Proje desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Şebekeye kurulmuş olan PAT sistemi ile mevcut durum ve gelecek yıllar için 1 bar düzeyinde basıncın düşürülmesi ile üretilebilecek enerji miktarı, su kayıplarında sağlanabilecek azalma ve CO_2 emisyonu azalımı hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında birlikte çalıştığımız danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU'na ve bölümümüz öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'na yüksek lisans çalışmalarım sırasında bana göstermiş olduğu desteklerden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen bölümümüz öğretim elemanı Sayın Uzman Dr. Ethem KARADİREK'e, çalışma arkadaşlarım Oğuzhan GÜLAYDIN ve Ahmet ÇİL'e ve verileri sağlayan ASAT-SCADA ve ASAT-CBS birimlerine çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xvii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI 3
2.1. İçmesuyu İletim ve Dağıtım Hatları 3
2.2. Su Kayıpları 5
2.2.1. Fiziki (gerçek) su kayıpları 6
2.2.2. Ticari su kayıpları 7
2.3. Su Temini Sistemlerinde Enerji Yönetimi 9
2.3.1. İletim hatları 10
2.3.2. Şebekeler 11
2.4. Hidrolik Türbinler ve Mikro Hidroelektrik Sistemleri 12
2.5. Pompa Türbinler 13
2.6. İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde Hidrolik Modelleme 17
3. MATERYAL VE METOT 21
3.1.Antalya İçmesuyu Temin Sistemi 21
3.2.Antalya Kenti İçmesuyu Temini Sisteminde Fazla Basıncın Kırıldığı Noktaların Lokasyonları 23
3.3. Gelecek Yıllar İçin İçmesuyu Temin Sistemlerinde Su Basıncı Değişimleri, Fazla Basınç Miktarları ve Debilerin Tahmin Edilmesi 27
3.4. Gelecek Yıllar İçin Nüfus Tahminleri 27
3.5. WaterGEMS Hidrolik Modeli 28
3.6. Konyaaltı Bölgesine İlişkin Bilgiler 29
3.7. Anfaş Bölgesine İlişkin Bilgiler 31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 40
4.1. Antalya İçmesuyu Temini Sistemi Konyaaltı Bölgesi Debi ve Su Basıncı Değişimlerinin İncelenmesi 40
4.2. Gelecek Yıllar için İçmesuyu Temin Sisteminde Su Basıncı Değişimlerinin, Fazla Basınç Miktarlarının ve Debi Değerlerinin Tahmin Edilmesi 51
4.2.1. Nüfus tahminleri 51

4.2.2. Su tüketim tahminleri 52
4.2.3. Hidrolik model kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları 52
4.3. Yönetim ve Senaryo Analizleri 58
4.3.1. Birinci alt bölge (DMA-1) çalışmaları 59
4.3.2. İkinci alt bölge (DMA-2) çalışmaları 69
4.3.3. Altıncı alt bölge (DMA-6) çalışmaları 71
4.3.4. Sekizinci alt bölge (DMA-8) çalışmaları 72
4.3.5. Onuncu alt bölge (DMA-10) çalışmaları 74
4.3.6. Onbirinci alt bölge (DMA-11) çalışmaları 76
4.3.7. Onikinci alt bölge (DMA-12) çalışmaları 78
4.3.8. Onbeşinci alt bölge (DMA-15) çalışmaları 80
4.3.9. Onaltıncı alt bölge (DMA-16) çalışmaları 81
4.4. Antalya İçmesuyu Dağıtım Şebekesinde Mevcut Olan Bir PRV Sistemine Türbin/PAT Eklenmesi ve Performansının İzlenmesi 83
4.4.1. PAT sistemi için debi ve basınç verilerinin izlenmesi 83
4.4.2. PAT sisteminin eklendiği içmesuyu dağıtım şebekesinde hidrolik modelleme çalışması 89
4.4.3. Hidrolik model kalibrasyonu 92
4.4.4. Hidrolik model doğrulaması 95
4.5. Enerji Üretimi 97
4.6. Çevresel Kazanımlar 100
4.7. Maliyet ve Geri Ödeme Süresi 103
4.8. Konyaaltı Bölgesi'nde Yer Alan Alt Bölgeler İçin Çevresel Kazanımlar ve Geri Ödeme Süresi 105
5. SONUÇ 110
6. KAYNAKLAR 114
7. EKLER 120
EK-1 120
7.1. İkinci Alt Bölge (DMA-2) Çalışmaları 120
7.2. Altıncı Alt Bölge (DMA-6) Çalışmaları 127
7.3. Sekizinci Alt Bölge (DMA-8) Çalışmaları 136
7.4. Onuncu Alt Bölge (DMA-10) Çalışmaları 139
7.5. Onbirinci Alt Bölge (DMA-11) Çalışmaları 145
7.6. Onikinci Alt Bölge (DMA-12) Çalışmaları 150
7.7. Onbeşinci Alt Bölge (DMA-15) Çalışmaları 159
7.8. Onaltıncı Alt Bölge (DMA-16) Çalışmaları 168
ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
‰	Binde
A	Düğüm noktası a
a	Son nüfus sayımından projenin başlatılmasına kadar geçen süre
B	Düğüm noktası b
C	Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı
CO_2	Karbondioksit
e_o	Güç üretim tesisinin toplam verimliliği
g	Yerçekimi ivmesi
H	Türbindeki mevcut yükseklik
kg	Kilogram
K_i	Su tüketme kapasitesini gösteren katsayı
km	Kilometre
kVA	Kilovoltamper
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
L	Litre
L_i	Boru$_i$'nin uzunluğu
m	Düğüm noktası a ya da düğüm noktası b'ye bağlı olan boru sayısı
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
n	Şebekedeki (ya da seçilen bölgedeki) boru sayısı
N_g	Gelecekteki nüfus tahmini
N_i	İlk nüfus sayımındaki nüfus

N_s	Son nüfus sayımındaki nüfus
P	Nüfus artış katsayısı
P	Elde edilen güç
Q	Türbinden geçen suyun debisi
q_a	Düğüm noktası a'daki bilinen su ihtiyacı
Q_a	Düğüm noktası a'daki toplam su ihtiyacı
Q_b	Düğüm noktası b'deki toplam su ihtiyacı
q_b	Düğüm noktası b'deki bilinen su ihtiyacı
Q_{tb}	Toplam gerçek su ihtiyacı ile toplam bilinen su ihtiyacının farkı
rpm	Revolutions per minute (Dakikadaki devir sayısı)
sn	Saniye
t_g	Gelecekteki tahmin yılı
t_i	İlk nüfus sayımının yapıldığı yıl
TL	Türk Lirası
ts	Son nüfus sayımının yapıldığı yıl
ρ	Suyun yoğunluğu

Kısaltmalar

ALCC	Annual Life of Cycle Cost (Maliyet Döngüsü Yıllık Ömrü)
ALDAŞ	Altyapı Yönetim Danışmanlık Mühendislik Hizmetleri Elektrik Enerjisi Yapı Elemanları Üretimi İnşaat Taahhüt San. ve Tic. A.Ş.
ANFAŞ	Antalya Fuarcılık İşletme ve Yatırım A.Ş
ASAT	Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü
A.Ş.	Anonim Şirket
AWWA	American Water Works Association (Amerika Su Kuruluşu)
BEP	Best Efficency Point (En verimli nokta)
BPT	Break Pressure Tank (Basınç Kırıcı Tank, Maslak)
CAD	Computer Aided Drawing (Bilgisayar Destekli Çizim)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DMA	District Metered Area (İzole Alt Bölge)
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
EPS	Extended Period Simulation (Genişletilmiş Dönem Simülasyonu)
GGA	Global Gradient Algorithm (Küresel Gradyan Algoritması)
HDPE	High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
IWA	International Water Association (Uluslarası Su Kuruluşu)
KAMAG	Kamu Kuruluşları Araştırma ve Geliştirme
mss	Metre su sütunu
PAT	Pump As Turbine (Pompa Türbin)
PE	Polietilen Boru
PRV	Pressure Reducing Valve (Basınç Kırıcı Vana)
PVC	Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemi)
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VOS	Variable Operation Strategy (Değişken İşletim Stratejisi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Su dağıtım şebekesi dal sistem örneği 3

Şekil 2.2. Su dağıtım şebekesinde ağ şebeke örneği 4

Şekil 2.3. Fiziki kayıplar için dört temel müdahale yöntemi 8

Şekil 2.4. Aktif ticari kayıp yönetimi için dört temel müdahale yöntemi 9

Şekil 2.5. Fazla basıncın oluştuğu örnek bir cazibeli su iletim hattı ve olası türbin konumları 10

Şekil 3.1. Antalya kenti içmesuyu iletim sisteminde su kaynaklarının ve depoların konumlarını gösteren şematik görüntü 22

Şekil 3.2. Termessos iletim hattı ile Varsak Depo ve D5 Depo arasındaki cazibeli iletim hattının karakteristik verileri 22

Şekil 3.3. ASAT SCADA Merkezi'nde anlık olarak izlenen su kaynakları, su depoları, pompalar ve şebekede izlenen verilere ilişkin ekran görüntüsü 23

Şekil 3.4. Antalya kenti su temini sisteminde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları 24

Şekil 3.5. Döşemealtı bölgesinde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları 25

Şekil 3.6. Kepez bölgesinde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları 26

Şekil 3.7. Konyaaltı bölgesinde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları 27

Şekil 3.8. Antalya ili su üretim ve dağıtım sistemi ve Konyaaltı çalışma bölgesi 30

Şekil 3.9. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinin temel bileşenleri ve alt bölgeleri 30

Şekil 3.10. Projede pilot uygulama için seçilen Antalya ANFAŞ-EXPO Fuar alanından bir görüntü 31

Şekil 3.11. Antalya ANFAŞ-EXPO binası, mevcut SCADA istasyonu ve pilot uygulama sahası 32

Şekil 3.12. Pilot uygulama için seçilen alandaki içmesuyu dağıtım şebekesi boru hattı 32

Şekil 3.13. SCADA istasyonu ve pilot uygulama için seçilen alan 33

Şekil 3.14. Pilot uygulama için tasarlanan PAT sisteminin şematik gösterimi 33

Şekil 3.15. Pilot uygulama için tasarlanan PAT sisteminin sahadaki uygulamasına yönelik teknik çizim..... 34

Şekil 3.16. PAT sistemi için oluşturulan türbin eğrisi (TÜBİTAK 2016). 35

Şekil 3.17. PAT sisteminin kurulacağı by-pass hattı için kazı çalışması, ana hat borusunun açığa çıkarılması (TÜBİTAK 2016). 36

Şekil 3.18. PAT sisteminin bağlanacağı ana hat borusunun değiştirilmesi 36

Şekil 3.19. (a) PAT sisteminin kurulduğu by-pass rögarı temel inşaatı, (b) Rögarın yan duvarlarının inşaatı..... 37

Şekil 3.20. By-pass rögarı içerisine PAT sisteminin kurulumu 38

Şekil 3.21. By-pass rögarı üzerine kabin yapılması. 38

Şekil 3.22. By-pass rögarı içerisine yürüme yolu ve merdiven yapılması. 39

Şekil 4.1. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde alt bölge-2 (DMA-2) için günlük debi değişimi 40

Şekil 4.2. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde altbölge-2 (DMA-2)'de her ay için saatlik ortalama debi ve basınç değişimleri..... 41

Şekil 4.3 DMA-4 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Aralık ayları için debi ve basınç değişimleri..... 46

Şekil 4.4. DMA-6 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Aralık ayları için debi ve basınç değişimleri..... 47

Şekil 4.5. DMA-8 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Aralık ayları için debi ve basınç değişimleri..... 48

Şekil 4.6. DMA-17 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Ocak ayları için debi ve basınç değişimleri..... 49

Şekil 4.7. DMA-18 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Ocak ayları için debi ve basınç değişimleri..... 50

Şekil 4.8. Antalya ili için nüfus projeksiyonu 51

Şekil 4.9. Konyaaltı bölgesine 2010 yılında temin edilen aylık ortalama debi değerleri 52

Şekil 4.10. Alt bölge 6 için a) Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) görseli, b) hidrolik model ekran görüntüsü 53

Şekil 4.11. 23.12.2009 – 28.12.2009 tarihleri arasında 6. alt bölge için elde edilen debi değerleri (Başlangıç saati: 16:00) 54

Şekil 4.12. Farklı Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları (C) için model tahminleri ile saha ölçümleri arasındaki ortalama mutlak hata değerleri 54

Şekil 4.13. 23.12.2009 – 29.12.2009 tarihleri için elde edilen EPANET ve WaterGEMS yazılımları basınç tahminleri ile saha ölçümleri (Başlangıç Saati: 16:00) 55

Şekil 4.14. Alt bölge 18 için a) CBS görseli, b) hidrolik model ekran görüntüsü 56

Şekil 4.15. 05.04.2010 – 06.04.2010 tarihlerinde 18. alt bölge için elde edilen debi değerleri (Başlangıç saati: 12:00) 57

Şekil 4.16. Farklı pürüzlülük katsayıları için model tahminleri ile saha ölçümleri arasındaki ortalama mutlak hata değerleri 57

Şekil 4.17. 06.04.2010 tarihleri için elde edilen EPANET ve WaterGEMS yazılımları basınç tahminleri ile saha ölçümleri (Başlangıç Saati: 00:00) 58

Şekil 4.18. DMA-1 içme suyu şebekesi için CBS görseli 59

Şekil 4.19. DMA-1 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi 59

Şekil 4.20. DMA-1 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 60

Şekil 4.21. DMA-1 alt bölgesi için PAT yokken ve varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerine ait model tahminleri 61

Şekil 4.22. DMA-1 alt bölgesi için 2020 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve PAT varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri 63

Şekil 4.23. DMA-1 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve PAT varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri 65

Şekil 4.24. DMA-1 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve PAT varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri..... 67

Şekil 4.25. DMA-1 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları 68

Şekil 4.26. DMA-2 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 69

Şekil 4.27. DMA-2 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları 70

Şekil 4.28. DMA-6 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 71

Şekil 4.29. DMA-6 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları 72

Şekil 4.30. DMA-8 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 72

Şekil 4.31. DMA-8 alt bölgesi için 2020 Kış dönemi için hesaplanan enerji üretim miktarları 73

Şekil 4.32. DMA-10 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik en yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 75

Şekil 4.33. DMA-10 alt bölgesi için yaz döneminde hesaplanan enerji üretim miktarları 75

Şekil 4.34. DMA-11 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik en yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 77

Şekil 4.35. DMA-11 alt bölgesinde yaz dönemi için hesaplanan enerji üretim miktarları 77

Şekil 4.36. DMA-12 için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 78

Şekil 4.37. DMA-12 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları 79

Şekil 4.38. DMA-15 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 80

Şekil 4.39. DMA-15 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) döneminde hesaplanan enerji üretim miktarları 80

Şekil 4.40. DMA-16 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz) 82

Şekil 4.41. DMA-16 alt bölgesi için Kış (aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları 82

Şekil 4.42. 1 Ocak 2015 – 1 Ocak 2016 dönemi için mevcut SCADA istasyonundan elde edilen debi ve basınç verilerinin zamansal değişimi 84

Şekil 4.43. Birim boyu boru yaklaşımında kullanılan semboller 90

Şekil 4.44. Antalya ili için nüfus projeksiyonu 91

Şekil 4.45. Aksu merkez ilçe için nüfus projeksiyonu 91

Şekil 4.46. Çalışma bölgesi için gelecek yıllar için elde edilen su tüketim tahminleri .. 92

Şekil 4.47. Kalibrasyon döneminde BM 2 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri ve ölçümleri 93

Şekil 4.48. Kalibrasyon döneminde BM 2 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri 94

Şekil 4.49. Kalibrasyon döneminde BM 3 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri ve ölçümler 94

Şekil 4.50. Kalibrasyon döneminde BM 3 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri 95

Şekil 4.51. Doğrulama döneminde BM 2 basınç ölçüm noktası için boru pürüzlülük katsayısı C=100 için elde edilen model tahminleri ve ölçümler 96

Şekil 4.52. Doğrulama döneminde BM 3 basınç ölçüm noktası için boru pürüzlülük katsayısı C=100 için elde edilen model tahminleri ve ölçümler 96

Şekil 4.53. Çalışma bölgesi için PAT yokken ve PAT varken durumları için BM 2 ve BM 3 noktalarındaki su basıncının zamansal değişimlerine ait model tahminleri 99

Şekil 4.54. Çalışma bölgesi için hesaplanan anlık enerji üretim miktarları..... 99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. IWA/AWWA standart su dengesi tablosu 6

Çizelge 2.2. Mikro hidroelektrik sistemleri ile ilgili son araştırmaların kısa özeti 14

Çizelge 2.3. Su temini sistemlerinde enerji geri kazanımı için teknik ve ekonomik fizibilite çalışmaları 18

Çizelge 2.4. Piyasada bulunan çeşitli hidrolik modeller 20

Çizelge 4.1. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde oluşturulan alt bölgeler için 2011 yılına ait verilerden elde edilen debi ve basınç değişimleri 45

Çizelge 4.2. DMA-1 için tespit edilen emitör katsayıları 60

Çizelge 4.3. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-1 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri 60

Çizelge 4.4. DMA-1 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 68

Çizelge 4.5. DMA-2 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 70

Çizelge 4.6. DMA-6 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları 72

Çizelge 4.7. DMA-8 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 74

Çizelge 4.8. DMA-10 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 76

Çizelge 4.9. DMA-11 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 78

Çizelge 4.10. DMA-12 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 79

Çizelge 4.11. DMA-15 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 81

Çizelge 4.12. DMA-16 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 83

Çizelge 4.13. Tüm DMA'lar için basınç yönetimi stratejisi için özet çizelge 88

Çizelge 4.14. DMA-6'ya PAT sistemi kurulumu ile çeveresel kazançlar ve geri ödeme süresi 93

Çizelge 4.15. DMA-1 için çevresel kazançlar ve geri ödeme süresi 94

Çizelge 4.16. DMA-2 için çevresel kazançlar ve geri ödeme süresi 95

Çizelge 4.17. DMA-12 için çevresel kazançlar ve geri ödeme süresi 97

Çizelge 4.18. DMA-15 için çevresel kazançlar ve geri ödeme süresi 100

Çizelge 4.19. Temmuz 2014-Aralık 2015 döneminde SCADA istasyonunda izlenen debi ve basınç parametreleri için aylık minimum, maksimum ve ortalama değerler..... 102

Çizelge 4.20. Kalibrasyon döneminde BM 2 basınç ölçüm noktasında farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri 103

Çizelge 4.21. Kalibrasyon döneminde BM 3 basınç ölçüm noktasında farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri 104

Çizelge 4.22. Model kalibrasyonu için ağırlıklı ortalama mutlak hata değerleri 104

Çizelge 4.23. Çalışma bölgesi için tahmin edilen emitör katsayıları..... 106

Çizelge 4.24. Çalışma bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 107

Çizelge 4.25. Çalışma bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları 107

Çizelge 4.26. Çalışma alanında 2020 yılında ulaşılması beklenen su tasarruf miktarı. 108

Çizelge 4.27. Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin mekanik ve elektrik ekipman maliyeti 108

Çizelge 4.28. Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin toplam maliyeti..... 109

Çizelge 4.29. Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin izleme dönemi için (133 gün için) toplam kazanımları..... 109

GİRİŞ

İçmesuyu temini sistemlerinin işletimindeki öncelikli hedef suyun hijyen koşullarına uygun olarak ve kesintisiz şekilde iletilmesi olmakla beraber işletimin sürdürülebilir ve verimli olması da giderek önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilir içmesuyu temini sisteminin gerçekleştirilmesi için enerji verimliliğinin arttırılması, şebekedeki su kayıpları ve enerji kayıpları ile karbon dioksit emisyonlarının azaltılması gereklidir. Suyun kaynaktan alınması, arıtımı, iletimi ve dağıtımı aşamalarında ciddi miktarlarda enerji tüketilmekte ve karbon dioksit emisyonları meydana gelmektedir. Basınç, içmesuyu iletim hatları ve içmesuyu dağıtım şebekelerinde temel tasarım parametrelerinden birisidir ve belirli limitler arasında tutulması zorunludur. Su iletim hatlarındaki maksimum basınç, kullanılan boru çeşidine göre belirlenmektedir ve belirlenen sınırın üzerine çıkılması halinde borularda çatlaklar/patlaklar meydana gelebilir. Yüksek kotlarda bulunan su kaynaklarından düşük kotlara suyun iletimi esnasında borulardaki fazla su basıncının azaltılması uygulamayı kolaylaştırmaktadır. Su basıncının kontrolü amacıyla maslak, hazne veya basınç düşürme vanaları (Pressure Reducing Valve, PRV) kullanılmakta ve bu sayede fazla su basıncının iletim boruları hattına verebileceği zararlar engellenmektedir. Cazibeli su iletim hatlarında oldukça yaygın olan maslak ve hazne yapılarının öncesinde türbin kullanılması ile fazla basınçtan enerji kazanımı mümkündür, bu esnada öncelik yüksek basınç seviyelerinin kontrol altına alınmasıdır. Geri kazanılan fazla basınç ile birlikte içmesuyu dağıtım şebekesinin sürdürülebilirliği de sağlanmış olur.

Şebekelerdeki fazla basıncın neden olduğu en önemli olumsuz etkilerden biri ise fiziki su kayıplarının artmasıdır. Su kayıpları ve basınç arasındaki ilişki orifis eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitliğe göre basınç arttığında borularda meydana gelen çatlardaki sızan suyun debisi de artacağı için su kayıpları artmaktadır. Fazla basınç bulunan şebekelerde fiziki su kayıplarının artması ile beraber, şebekelerde bulunan boru, vana gibi tüm ekipmanlar daha çabuk yıpranmakta, arıza sayısı ve sıklığı, boru patlamaları artmaktadır.

Özellikle pek çok ülkede ve ülkemizde gözlenen yüksek seviyedeki su kayıpları, hem ekonomik, hem de su kaynaklarının kaybedilmesi gibi çok önemli kayıplara neden olmaktadır. Ülkemizde son yıllarda şebekelerdeki yüksek seviyedeki su kayıplarının kontrolüne yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu kapsamda 2014 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından "İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği" yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre şebekelerde en yüksek statik basınç topografik yapının uygun olduğu yerlerde 60 mss (metre su sütunu) değerini aşmamalıdır. Şebekelerdeki fazla basıncın azaltılması için belirli noktalarda PRV kullanılarak, şebeke basıncı, optimum işletim basıncına indirilmektedir. Optimum işletme basıncını bulabilmek için, şebekedeki debi ve basınç değişimlerinin sürekli izlenmesi gereklidir. Hidrolik model kullanarak şebekedeki mevcut ve gelecek durumlar için en uygun işletme basıncı tespit edilebilir. Şebekelerde bulunan fazla basıncın

düşürülmesi için türbin ve/veya pompa türbin (Pump as Turbine, PAT) kullanımı ile enerji kazanımı mümkündür. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde PAT kullanılarak enerji kazanımı konusundaki çalışmalar ise henüz çok yeni olup teknik ve ekonomik fizibilite sonuçlarını içermektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, sürdürülebilir içmesuyu temini sistemlerinin gerçekleştirilmesine katkı sağlamak üzere su temini sistemlerindeki fazla basınçtan enerji kazanımı potansiyelinin araştırılmasıdır. Tez çalışması kapsamında Antalya kenti içmesuyu temin sisteminde bulunan Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesi ve ANFAŞ-EXPO içmesuyu dağıtım şebekesinde PAT kullanılması durumunda teorik olarak yenilenebilir enerji kazanımı incelenmiştir. Bu süreçte içmesuyu temini sisteminde fazla basıncın kırıldığı bölgeler için mevcut durumda ve gelecek yıllarda su basıncı değişimleri, fazla basınç miktarları ve su debileri hidrolik model kullanılarak belirlenmiştir.

İçmesuyu iletim hatlarında fazla basınçtan enerji kazanımına yönelik uygulamalar Avrupa'daki bazı ülkeler ve Amerika'da bulunmakta ise de içmesuyu dağıtım şebekesinde PAT kullanımını içeren bir çalışma dünyada ve Türkiye'de bulunmamaktadır. 114Y203 numaralı "*Sürdürülebilir İçmesuyu Temini Sistemleri için Yenilenebilir Enerji Kazanımı Potansiyelinin Araştırılması*" başlıklı TÜBİTAK projesinde ilk defa ülkemizde bir içmesuyu dağıtım şebekesinde fazla basıncın düşürülmesi için seçilen pilot uygulama sahasında PAT sistemi kurulmuş ve performansı izlenmiştir. Pilot uygulama için debi, giriş basıncı ve üretilen enerji miktarı sistemde izlenerek kayıt altına alınmıştır. Enerji kazanımına bağlı olarak karbon dioksit emisyonu azalımı ve diğer çevresel kazanımlar da incelenmiştir. Kurulan pilot uygulama için fayda-maliyet analizi yapılarak yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında ise 114Y203 numaralı TUBİTAK proje çalışmasına paralel olarak gelecek yıllar için hidrolik model kullanılarak pilot bölgedeki içmesuyu dağıtım şebekesi modellenmiş ve şebekenin üretebileceği potansiyel enerji miktarları hesaplanmıştır. Ek olarak, Antalya Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde yer alan 18 adet izole alt bölgede PAT kullanımı potansiyeli ve potansiyel çevresel kazanımlar irdelenmiştir.

1. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

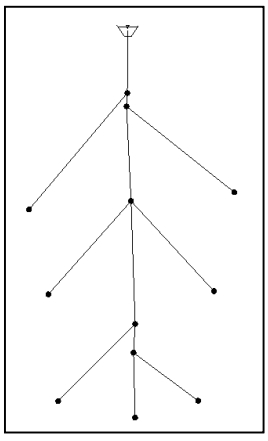
1.1. İçmesuyu İletim ve Dağıtım Hatları

Su, insanlar ve tüm canlılar için hayati öneme sahip yaşam kaynağıdır. Suyun yerleşim merkezlerinde tüketiciye ulaştırılması su kuruluşlarının sorumluluğundadır. Su kuruluşları, su iletim hatları ve şebekelerinin inşaatını, işletilmesini ve yönetimini gerçekleştirmektedirler. Ana hatlarıyla bir suyu kaynağından alıp, gerekli kalite değerlerine kadar arıtıp, suyun tüketildiği bölgelerde ihtiyaç duyulan miktarda suyu sağlamak su kuruluşunun görevleri arasındadır. Suyun kullanıcıya ulaştırılması iletim ve dağıtım hatları vasıtası ile gerçekleştirilir (Mays 1999).

Su iletim hattı, suyun kaynağından alınıp kullanılacağı yerin yakınlarında bulunan depoya getirildiği sistemlere denilmektedir. Kullanıcıların evlerine su almasını sağlayan ve yangın debisini taşıyacak düzenle, sokaklara döşenmiş olan borular, tahliye vanası, vantuzlar, yangın muslukları, font çeşme vb. özel parçalardan oluşan sistemlere ise su dağıtım şebekesi denilmektedir (Erdemgil 1999).

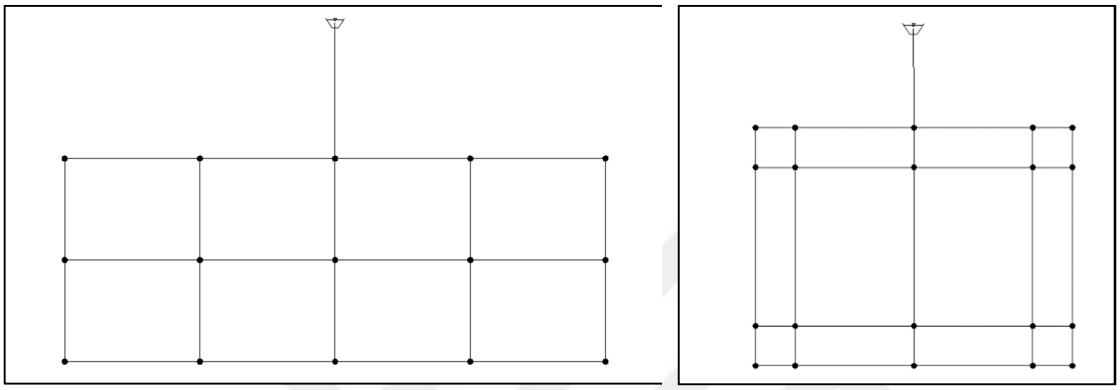
Şebeke ile depo arasında suyu dağıtan özellikte bir ana boru bulunmaktadır. Yerleşim durumuna göre borular dal sistemi veya ağ sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır (Muslu 2002).

Dal sistemde borular ana borudan tıpkı bir ağacın dalları gibi ayrılmaktadır. Şekil 2.1'de dal sistemi şebekeye örnek verilmektedir. Bu sistemlerde borular birbirleriyle kesişmemektedirler. Bu sistemler genellikle şehirlerin kıyı kesimlerinde, kenar semtlerde, yüksek alanlar ile deniz arasında sıkışmış bölgelerde görülmektedir. Dal sistemlerde, hidrolik hesap kolay ve nettir, boru çapları ve uzunlukları daha küçük olduğundan dolayı daha ekonomiktir. Ancak bu avantajlarına karşın, ölü nokta oluşturması, herhangi bir çatlak olması durumunda tüm şebekenin suyunun kesilmesi ve sistemde akım tek yönlü olduğundan gelecekte eklenebilecek boru olması halinde basıncın çok düşecek olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Muslu 2002).



Şekil 2.1. Su dağıtım şebekesi dal sistem örneği (Muslu 2002).

Ağ şebekelerde ise tüm borular birbirleri ile birleşmiş olup bu sistemlerde ölü nokta bulunmamaktadır. Şekil 2.2a ve Şekil 2.2b'de ağ şebekeye örnek verilmiştir. Ağ şebekelerde su farklı yönlerden aktığı için şebekede ölü nokta oluşmaz ve su hızı çok düşük seviyelere düşmez, şebekede çatlak veya arıza gibi bir durum söz konusu olduğunda su zaten farklı yönden de akabileceği için sadece arızalı olan bölgede su kesintisi yaşanır. Su tüketiminde büyük değişiklikler olduğu durumlarda şebeke daha az etkilenir. Fakat ağ şebekelerde hidrolik hesaplar daha karışıktır ve bu şebekelerde daha fazla boru ve özel parçalara gereksinim duyulmaktadır.



a) Ortadaki esas borudan beslenen ağ sistemi b) Ortadaki halkadan beslenen ağ sistemi

Şekil 2.2. Su dağıtım şebekesinde ağ şebeke örneği (Muslu 2002).

Depo ile şehir arasındaki boru *ana boru*, geniş caddelerdeki boru *esas boru* ve esas borulardan caddelere ayrılan borulara ise *tali boru* denilmektedir. İller Bankası Şartnamesi'ne göre nüfusu 50.000'e kadar olan küçük şehirlerde minimum işletme basıncı 20 mss (metre su sütunu) 50.000'den fazla olan şehirlerde ise 30 mss olmalıdır. İller Bankası Şartnamesi'ne göre izin verilen maksimum basınç ise 60 mss olacak şekilde sınırlandırılmıştır (İller Bankası 2013).

İçmesuyu dağıtım şebekelerinde İller Bankası Şartnamesi'ne göre şebekede oluşmasına izin verilebilecek maksimum hız 2 m/sn olarak belirtilmiştir. Fakat bu durum ortalama günlük tüketime yangın debisinin ilavesi ya da maksimum günün maksimum saati gibi olağan dışı durumlar için önerilmektedir. Şebekede ortalama hız değerinin 1,0 – 1,5 m/sn civarında olması önerilmektedir (İller Bankası 2013).

İçmesuyu dağıtım şebekelerinde borudan geçen debi arttıkça su akış hızı da artmaktadır, bununla birlikte boru üzerindeki yük kayıpları da artmaktadır. Yük kayıplarının artması ise basıncın düşmesine sebebiyet vermektedir. Bu durumun tersi durumda ise borudan geçen debi azaldığında su hızı da azalır ve yük kayıplarının azalması ile birlikte basıncın arttığı görülmektedir. Görüldüğü üzere şebekede bulunan tüm koşullar sabit tutulduğunda, su tüketiminin en fazla olduğu andaki basınç o şebeke için en düşük seviyede gerçekleşir. Şebekenin işletilmesinde optimum basıncı bulmak için

şebekenin en fazla su ilettiği an dikkate alınmalıdır. Su kuruluşları şebekeyi bu esnada yasal mevzuata uygun basınçta işletebilirse diğer tüm zamanlarda da şebekede yeterli basınç bulunabilecektir.

1.2. Su Kayıpları

Su dağıtım şebekeleri binlerce yıldır kullanılmaktadır. Antik Mısırlılar, Romalılar ve Yunanlar suyu bugün kullandığımız yollara benzer şekilde biriktirip, arıtıp dağıtmışlardır. Bu zamanlarda bile insanlar su kayıplarını dikkate alıp su kayıplarını kontrol etmeye çalışmışlardır (Thornton vd 2008).

Su kayıpları, şebekenin eski veya yeni olup olmadığına bakılmaksızın tüm içmesuyu dağıtım şebekelerinde meydana gelmektedir. Sadece gelişmemiş ülkelerde değil, gelişmiş ülkelerde de su kayıpları meydana gelmektedir (Thornton vd 2008).

Su kayıpları ticari (idari) ve fiziki (gerçek) su kayıpları olarak ikiye ayrılmaktadır. Şebekede borularda meydana gelen çatlaklar sonucu oluşan sızıntılar, boruların birleşme noktalarında meydana gelen sızıntılar, rezervuar ve tanklarda meydana gelen taşmalar fiziki su kaybı olarak adlandırılmıştır. Sayaç hassasiyeti, sayaç okuma hataları, izinsiz kullanımlar ise ticari su kaybı olarak adlandırılır (Thornton vd 2008).

Su kayıpları bütün su dağıtım şebekelerinde görülmektedir ve fiziki su kayıplarını tamamen yok etmek mümkün değildir, ancak su kayıplarını ekonomik seviyelere indirgemek mümkündür. Yüksek miktarlardaki su kayıpları tüketicinin kullanacağından daha fazla su ihtiyacı ortaya çıkaracağından dolayı suyun kaynağından alınması, arıtılması ve iletilmesinde oluşacak enerji sarfiyatını dolaylı olarak artırmaktadır (Thornton vd 2008).

Su kayıplarının azaltılması toplum, su kuruluşları ve çevre için birçok fayda sağlamaktadır. Su kayıplarının azaltılması ile oluşacak faydalardan bazıları şunlardır; toplum sağlığının korunması, su kaynağında basıncın düşürülmesi, tüketiciye ulaştırılacak hizmetin artması ve böylece su kuruluşlarına olan güvenin artması, su kuruluşu için maliyetin düşmesi (Thornton vd 2008).

Su kayıplarının toplum sağlığı ile ilişkisi ise şebekelerdeki çatlaklar sonucu şebeke suyunun kirlenmesi ile açıklanabilmektedir. Bu durum yalnızca gelişmekte olan ülkelerde değil gelişmiş ülkelerde de meydana gelmektedir (Thornton vd 2008).

Şebeke yeni bir şebeke olsa bile önlenemez derecedeki fiziki su kayıplarından ötürü hiçbir zaman şebekedeki fiziki su kayıpları tam olarak bertaraf edilemez. Sızıntılara sebep olan en yaygın sebepler ise kötü montaj ve işçilik, kötü malzeme kullanımı, kurulum esnasında malzemelerin yanlış kullanımı, yanlış dolgu malzemesi, kısa süreli basınç dalgalanmaları, fazla basınç, korozyon, fazla trafikten kaynaklanan titreşimler, soğuk hava gibi çevresel koşullar olarak sıralanabilir (Thornton vd 2008).

Su kayıplarını daha iyi anlayabilmek ve bu kayıplarını yönetebilmek amacıyla Uluslararası Su Kuruluşu (IWA) ve Amerika Su Kuruluşu (AWWA) standart su dengesi tablosu oluşturmuşlardır. Çizelge 2.1'de standart su dengesi tablosu verilmiştir (Thornton vd 2008).

Çizelge 2.1. IWA/AWWA standart su dengesi tablosu (Alegre vd 2000)

<table>
<tr><td rowspan="8">Sistem Giriş Hacmi</td><td rowspan="4">Yasal Tüketim</td><td rowspan="2">Faturalandırılmış Yasal Tüketim</td><td>Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım</td><td rowspan="2">Gelir Getiren Su</td></tr>
<tr><td>Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Faturalandırılmamış Yasal Tüketim</td><td>Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım</td><td rowspan="6">Gelir Getirmeyen Su</td></tr>
<tr><td>Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Su Kayıpları</td><td rowspan="2">Ticari Kayıplar</td><td>İzinsiz Tüketim</td></tr>
<tr><td>Sayaçlardaki Ölçüm Hataları</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Fiziki Kayıplar</td><td>İletim ve/veya Dağıtım Hattındaki Kaçaklar</td></tr>
<tr><td>Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar</td></tr>
<tr><td>Servis Bağlantılarından Müşteri Sayacına Kadar Olan Kaçaklar</td></tr>
</table>

1.2.1. Fiziki (gerçek) su kayıpları

Fiziki su kayıplarını başlıca üç bileşene ayırmak mümkündür. Bunlar;

- ***Sızıntı ve bildirilmiş kırıklar:*** Bu tür sızıntılar yüksek debili ve gözle görünür şekilde belirgin olduklarından dolayı tüketiciler ya da su kuruluşu personeli bu durumu fark edebilmektedir. Basınç düşürerek, parça değişimi yaparak ve onarım

süresini optimize ederek bu tür sızıntılara müdahale etmek mümkündür (Thornton vd 2008).

- ***Tespit edilmemiş sızıntılar:*** Bu tür sızıntılar genellikle yüzeye çıkmadığından dolayı tespit edilmeleri zordur. Orta veya düşük debilidirler. Tespit edilmemiş sızıntıları genellikle aktif sızıntı kontrolü ile bulmak mümkündür. Bu tür sızıntıları önlemek için ise basıncı düşürmek ve bağlantı noktalarının sayısını azaltmak faydalı olabilmektedir (Thornton vd 2008).
- ***Arkaplan sızıntıları:*** Bu sızıntılar boru bağlantılarından sızmaktadırlar ve geleneksel akustik yöntemlerle tespit edilmek için çok küçük debilidirler. Sürekli olarak sızıntı halindedirler. Bu sızıntıları azaltmanın tek yolu basınç yönetimi ve altyapı yönetimidir (Thornton vd 2008).

Aktif bir fiziki su kaybı yönetimi yapmak amacıyla dört potansiyel müdahale yöntemi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

İçmesuyu dağıtım şebekelerindeki su kayıpları su basıncı ve debi ile ilişkilidir. Basınç ile sızıntı debisi arasındaki ilişki orifis eşitliği ile tanımlanmıştır (Eşitlik 2.1). Bu eşitliğe göre suyun sızdığı bölgedeki alan "a" ve basınç yüksekliği "H" ile ifade edilirse, Q sızan suyun debisini vermektedir (Muslu 2002). Şebekede fazla basıncın artması ile birlikte sızan debi de artacağından ötürü su kayıpları artar:

$$Q = Cd.a.\sqrt{2.g.H} \tag{2.1}$$

Q: Sızan suyun debisi

Cd: Debi katsayısı

a: Islak kesitin alanı

H: Basınç yüksekliği

g: Yerçekimi ivmesi

1.2.2. Ticari su kayıpları

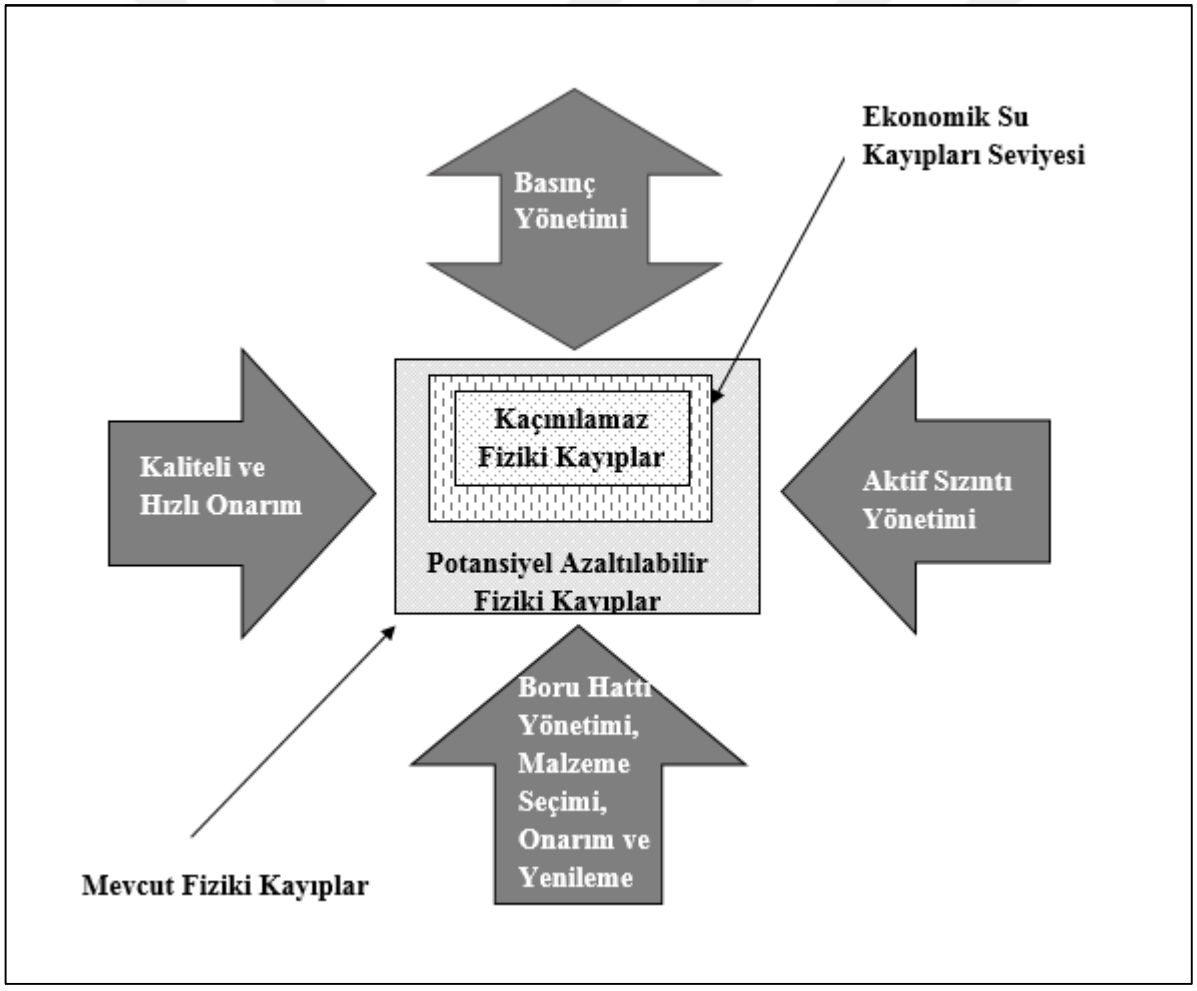
Ticari su kayıpları, fiziki su kayıpları gibi sızıntılardan oluşmazlar. Bu tür kayıplarda suyun herhangi fiziksel bir kaybı yoktur. Ticari kayıplar müşteri sayaçlarındaki hassasiyetten kaynaklanan hatalar, izinsiz tüketim ve hatalı sayaç okuma olarak 3 şekilde oluşabilir (Thornton vd 2008).

Sayaçlardaki hassasiyetten kaynaklanan hatalar birkaç şekilde meydana gelebilir. Su sayaçları çeşitli sebeplerden ötürü arızalanmış olabilir. Sayaçların arızalanması, zamanla aşınmadan dolayı, su kalitesi etkisi, suyun kimyasal yapısı, kötü işçilik, havanın aşırı ısınması ya da soğuması gibi çevresel koşullar, sayacın yanlış kurulumu, sayaca

müdahale edilmesi, rutin test ve bakımın zamanında yapılmaması, yanlış onarım vb. çeşitli sebeplerden dolayı ticari su kayıpları olabilir (Thornton vd 2008).

Kullanıcı nüfusuna bağlı olarak su tüketim profili çok farklılık gösterdiğinden dolayı su kuruluşları değişik boyutlarda ya da bazen farklı türlerde su sayacı kullanabilir (Thornton vd 2008).

Sayaç okuma esnasında yapılan hatalar da ticari kayıplara dahil olmaktadır. Faturalandırma esnasında meydana gelen hatalar da ticari kayıpların bir başka bileşenini oluşturmaktadır. Abone tüketimi, faturalandırma esnasında değişebilmekte ve faturaya eksik yansıyabilmektedir. Bazı aboneler farkında olunmadan ya da kasten fatura kayıtlarından çıkarılabilir ve denetlenmezler. Faturalandırma sırasında ve veri analizi esnasındaki insan kaynaklı hatalar ve abone takibinin iyi yapılmaması ise yine ticari hatalar içinde yer almaktadır (Thornton vd 2008).

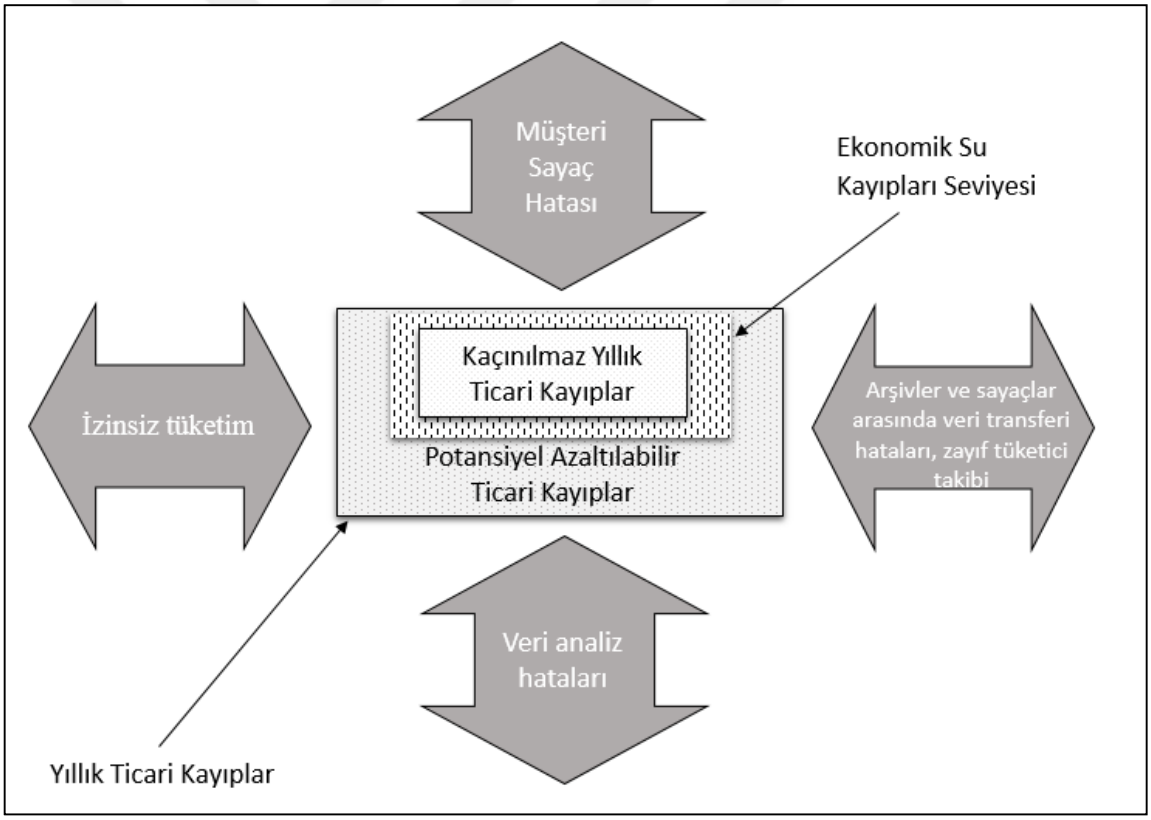


Şekil 2.3. Fiziki kayıplar için dört temel müdahale yöntemi (Lambert ve McKenzie 2002)

Ticari su kayıplarının son bileşeni ise yasal olmayan tüketimdir. Bu tür kayıplar, abonenin izinsiz bir şekilde suyu kullanması ve bu yasal olmayan kullanım için herhangi bir ücret ödememesi durumudur (Thornton vd 2008).

İzinsiz tüketim, abonelerin sayaçları ya da ekipmanları kurcalayarak sayaç okumalarını daha düşük değerlerde göstermeleri ile gerçekleşebilmektedir. Başka bir izinsiz kullanım örneği ise, büyük sayaçlara sahip kullanıcıların, ölçülmeyen by-pass borularında vana açarak suyu kullanması ve ücret ödememesidir. Branşman borularının kasten veya sehven sayaçtan geçirmeden monte edilmesi de izinsiz tüketime verilebilecek başka bir örnektir. Şahısların şebekeye servis bağlantısından değil de farklı bir şekilde ulaşması şeklinde de izinsiz tüketim gerçekleşmektedir. Yangın musluklarının işlevi dışında farklı amaçlar için (cadde temizliği, araba yıkama vb.) kullanılması da yasal olmayan su tüketimine girmektedir (Thornton vd 2008).

Aktif bir ticari su kaybı yönetimi yapmak amacıyla dört potansiyel müdahale yöntemi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Aktif ticari kayıp yönetimi için dört temel müdahale yöntemi (Lambert ve McKenzie 2002)

1.3. Su Temini Sistemlerinde Enerji Yönetimi

Hidroelektrik türbinden elde edilebilecek güç, Eşitlik (2.2) ile belirlenebilir. Verilen eşitlikte P elde edilen güç (watt), Q türbinden geçen suyun debisi (m^3/sn), ρ suyun

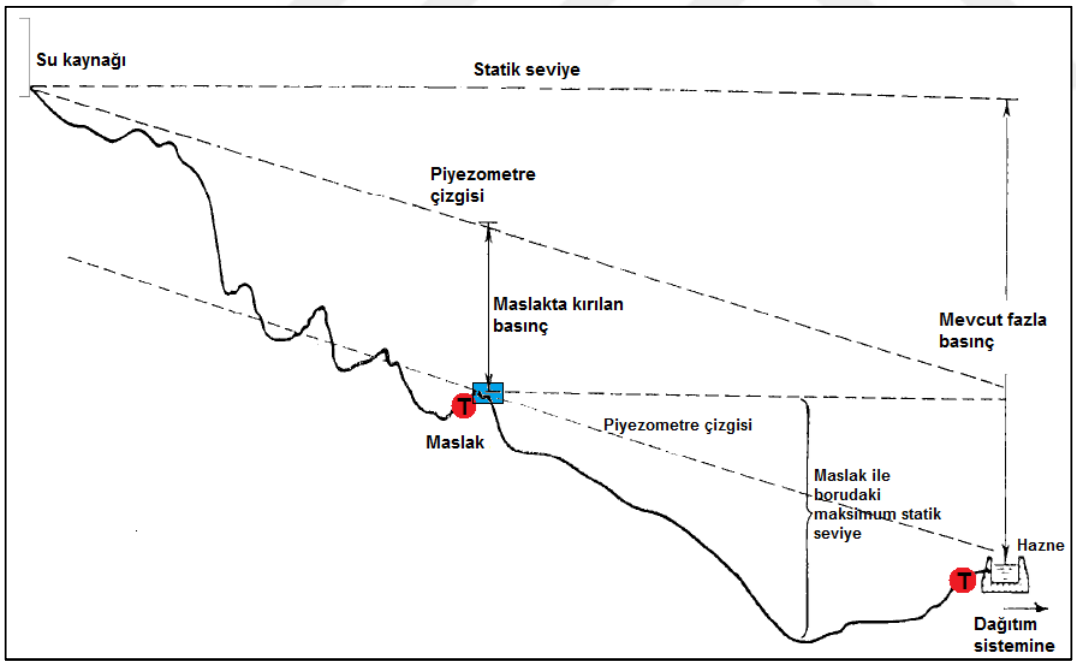
yoğunluğu (kg/m^3), g yerçekimi ivmesi (m/s^2), H türbindeki mevcut yükseklik (m) ve e_o ise güç üretim tesisinin toplam verimliliğidir. Tesis verimliliği kinetik enerjiden mekanik enerjiye dönüşüme bağlı kayıpları (türbin kayıpları, enerji dönüşümü ve dağıtım kayıpları dahil) içermektedir (McNabola vd 2014).

$$P = Q \rho g H e_o \quad (2.2)$$

Suyun yoğunluğu ve yerçekimi ivmesi bilinen sabitler olduğundan, PRV, maslak/hazne yapılarına eklenen türbinlerle elde edilebilecek enerji miktarı açısından iletilen suyun debisi ve basıncı kilit parametrelerdir.

1.3.1. İletim hatları

Genellikle cazibeli su iletiminde yüksek kotlardaki su kaynaklarından, düşük kotlara suyun iletimi sürecinde borulardaki basınç çok yükselmekte ve bu basıncın düşürülmesi için iletim hattı boyunca bir veya birkaç maslak, hazne veya PRV kullanımı zorunlu olmakta ve dünyada da yaygın olarak uygulanmaktadır. (Şekil 2.5) Günümüzde işletim kolaylığı ve su güvenliği bakımından PRV sistemlerinin kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. İçmesuyu temini sistemlerinde maslak, hazne veya PRV öncesine konumlandırılmış olan türbinler ile fazla basınçtan enerji kazanımı gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.5. Fazla basıncın oluştuğu örnek bir cazibeli su iletim hattı ve olası türbin konumları (T: türbin) (Gray 2010)

İletim hatlarından enerji üretimi ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

İsviçre-Savièse'de bulunan içmesuyu şebekesinde, içmesuyu şehre iletilirken, içmesuyundan elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Savièse kentinin içmesuyu sisteminde tüketilen enerji, nüfus artışı ve buna bağı olarak kişi başı su tüketimindeki artış beklentisi nedeniyle yükselmiştir. Bu sebeple kentte 2001 yılında 250 kW ve 330 kW gücünde iki küçük hidroelektrik tesis, 2004 yılında La Zour adlı tesis ve 2009 yılında da dördüncü tesis kurulmuştur. Kurulan ilk üç hidroelektrik santralin performansı beklenen seviyeye ulaşmıştır. Halkın dördüncü bir hidroelektrik santrali talep etmesi, bu tür küçük çaplı hidroelektrik santrallerin teknik ve ekonomik cazibesini ortaya koymuştur. Bu dört hidroelektrik santralin ürettiği elektrik yılda 1.800.000 kWh ya da başka bir ifadeyle 400 evin tüketimine eşdeğerdir (Choulot vd 2010).

Avusturya Aldians-Innsbruck kentinde yapılan Schreyerbach adlı tesisin öncelikli amacı kente su sağlamak ve ikincil olarak da içmesuyundan elektrik üretmektir. Schreyerbach entegre su ve enerji santrali yaklaşık 400 m düşüye sahip olan içmesuyu memba noktasına kurulmuştur. Böylelikle suyun düşüsünden de faydalanılmıştır. Kurulan tesis ile öncelikli olarak su temini gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple türbine eklenen bypass hattı ile türbinin çalışmadığı durumlarda bile su temini garanti edilmiştir (Choulot vd 2010).

1.3.2. Şebekeler

İçmesuyu dağıtım şebekelerinde fazla basıncın düşürülmesi ve aynı zamanda enerji üretimi ise oldukça yeni bir konu olmakla beraber, bu konuda fizibilite çalışmaları devam etmektedir. Bu konuyla ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Fontana vd (2012) Napoli Est, İtalya şebekesinde PRV ve PAT'ın kullanımıyla birlikte hem basıncı kontrol ederek kayıpları en aza indirgemeyi, hem de enerji üretimini incelemişlerdir. Çalışmada genetik algoritma geliştirilerek ve PAT kullanılarak fazla basınçtan enerji geri kazanımı sağlanabileceği belirtilmiştir. Genetik algoritma tabanlı simülasyon modeli ile PRV'nin su kayıplarını azaltmada kullanılabilecek optimum lokasyonu bulunmuştur. Daha sonrasında ise hidroelektrik üretimi için PRV'lerin bir kısmı PAT ile değiştirilmiştir. PAT sistemlerinin kullanımı düşü yüksekliğinin çok iyi ayarlanmasına olanak sağlamasa bile, yeterli basıncı garanti etmektedir. Bu çalışmada potansiyel geri kazanım ve su kaybı azaltılması incelendiğinde görülmüştür ki, görece yüksek enerji kazanımı ve kayda değer seviyelerde su kayıplarında azalma gerçekleşmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken PRV'lerin optimum konumu ile üretilecek enerjiyi maksimum düzeye çıkarmak değil, su kayıplarını azaltmaktır (Fontana vd 2012).

Nabola vd (2011) yaptıkları çalışmada su dağıtım sürecinde boşa harcanan enerjinin basınç kırıcı tanklar (Break Pressure Tanks, BPT) sayesinde geri kazanımını sağlayan hidro-BPT sistemlerinin ön araştırmalarını yapmışlardır. Yapılan çalışma kapsamında İrlanda'da 13 kW gibi oldukça az enerji üretim potansiyeline sahip BPT sistemlerinin

finansal olarak uygun olduğu bulunmuştur. Şebekelerde hidro-BPT sistemlerinin uygulanması ile birlikte sürdürülebilirliğin artırılmasına da olanak sağlanmış olacaktır (Nabola vd 2011).

1.4. Hidrolik Türbinler ve Mikro Hidroelektrik Sistemleri

Motwani vd (2013) Hindistan Ahmedabad'da kurulan 3 kW kapasiteli piko hidroelektrik tesisinin maliyet analizini yapmışlardır. %80 verime sahip Francis türbini yerine %60 verime sahip olan PAT sistemini şebekeye kurmuşlardır. Bunun sebebi ise piko hidro aralığında Francis türbinin PAT'a göre yaklaşık 6-8 kat daha pahalı olmasıdır. Çalışmada PAT'ın daha ekonomik olduğunu gerekçelendirmek için Francis türbini ve PAT için yaşam döngüsü (Annual Life of Cycle Cost, ALCC) analizi yapmışlardır. Santrifüj pompalarda kolay ulaşım, düşük başlangıç ve işletim maliyeti, geniş bir işletme aralığında çalıştırılması gibi avantajları görülmüştür. Bu sebeple kırsal alanlarda, şehirden uzak bölgelerde, tepelik alanlarda, piko/mikro aralıkta maksimum verimlilik noktasında PAT sistemlerinin kullanımı önerilmiştir (Motwani vd 2013).

Loots vd (2014) Güney Afrika'da bulunan Tshwane Kenti su dağıtım şebekesinde kullanılmayan hidroelektrik üretme potansiyelini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında kente hidroelektrik tesisi kurulmasının birçok faydası olacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında iki pilot tesisin inşaatı ve fizibilitesi araştırılmış, fazla basınç yüksekliklerini kullanmak için şebekede fazla basınç oluşan su dağıtım borularına türbin eklemenin mümkün ve uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut durumda şebekedeki fazla basınç boşa harcanmakta ve hidroelektrik tesis kurulması sayesinde temiz ve sürdürülebilir enerji elde edilmesi mümkün olabilecektir (Loots vd 2014).

Ramos vd (2010) pompa bulunan dal şeklindeki bir su dağıtım şebekesinde enerji ve çevre verimliliğini artırmak için bir yöntem sunmuştur. Bu yöntemde pompa işletiminin optimize edilmesi ve hibrit sistem kullanılması (pompa ve rüzgar türbinin şebekede beraber kullanılması) önerilmiştir. Pompa işletiminin optimize edilmesi amacıyla, basınç kontrolünü sağlamak için su türbini kurulumu, su tüketim ihtiyacı ve elektrik faturalarına göre pompa işletiminin optimize edilmesi önerilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, şebekede bulunan fazla basınç ile türbin çalıştırılarak günde 370 kWh enerji üretilebilir. Şebekede pompa kullanılması ile enerji tüketiminin azaltılmadığı fakat maliyetin düştüğü belirtilmiştir. Rüzgar türbini dahil edildiğinde, su pompası için gerekli enerji sağlanabilmekte ve böylece normal çalışma moduna kıyasla CO_2 emisyonu azaltılmış olmaktadır (Ramos vd 2010).

Ramos vd (2011) su dağıtım şebekelerinde enerji ve hidrolik verimliliği sağlamak için yenilikçi çözümleri analiz etmiştir. Şebekede enerji üretimi ve basınç kontrolü için şebekeye su türbini uygulanması, elektrik tarifeleri ve su ihtiyacına yönelik pompa işletiminin optimize edilmesi, pompa istasyonuna elektrik sağlamak ve tedarik etmek amacıyla rüzgar türbini gibi yenilenebilir bir enerji kaynağının şebekeye kurulumunun yapılarak hibrit bir sistemi hayata geçirmek üç yenilikçi çözüm olarak sunulmuştur. Bu

çözümler tipik bir su dağıtım şebekesi için enerji, hidrolik, ekonomik ve çevresel verimliliği artırmak amacı ile uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki PRV kullanılması ile enerji kaybedilmekte iken türbin kullanıldığı durumda bir günlük sürede 520 kWh enerji üretilebilir. Ayrıca pompa işletiminin optimize edilmesi elektrik kullanımını ya da hava kirliliğini etkilemez ise de işletmenin elektrik maliyetini düşürmektedir. Sisteme rüzgar türbini de dahil edildiğinde, ulusal elektrik şebekesinden daha az elektrik kullanılmakta ve normal işletme koşullarına göre daha az elektrik kullanılarak daha az CO_2 emisyonu gerçekleşmektedir (Ramos vd 2011).

Giosio vd (2015) 6,2 kW güce sahip bir mikro-hidro türbin ve test tesisi geliştirmişlerdir. Türbin ünitesi, türbin modunda mevcut olarak bulunan ticari pompa çarkını ve giriş debisi kontrolü için özel spiral gövde ve kılavuz mekanizmasını içerecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan bu türbinin veriminin yapılan deneysel testler ile maksimum %79 seviyelerine ulaşabildiği tespit edilmiştir. Bu türbin ünitesinin, güç kaynağı uzakta olan ve endüstriyel enerji kazanım sistemlerinde uygulandığında düşük maliyetli alternatif bir çözüm sağladığı gösterilmiştir (Giosio 2015).

Su ve Karney (2014) çalışmalarında enerji geri kazanım türbinlerinin şebeke ve türbin karakteristiğine bağlı olarak ekonomik fizibilitesini ve şebekelerdeki enerji geri kazanımı için altyapı planlayıcılarına yarar sağlayacak genel tasarım ilkelerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda ekonomik fizibilitenin çeşitli faktörlere bağlı olduğu görülmüştür. Çeşitli zorluklar olmasına rağmen, enerji geri kazanımı sağlayan türbinlerin basınç kontrolü amacıyla su dağıtım şebekelerinde ekonomik, esnek ve yenilenebilir bir seçenek olduğunu belirtmişlerdir (Su ve Karney 2014). Mikro hidroelektrik sistemleri ile ilgili güncel araştırmalar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

1.5. Pompa Türbinler

İçmesuyu dağıtım şebeklerinde pompa türbin sistemleri kullanılarak basıncın düşürülmesi ve aynı zamanda az miktarda bile olsa enerji kazanımı sağlanması oldukça yeni bir konudur ve literatürde de oldukça ilgi çekmektedir. PAT sistemlerinde türbin ünitesi ters yönde akan bir santrifüj su pompası ile değiştirilmektedir. Şebekelerde PAT sistemi yalnız başına veya bir PRV sistemi ile beraber kullanılabilmektedir (Fontana vd 2012).

Carrevetta vd (2012) çalışmalarında içmesuyu dağıtım hatlarında PAT dizaynı için değişken işletim stratejisini (Variable Operation Strategy, VOS) geliştirmiştir. Belirli debi-düşü dağıtım profili ve optimal şebeke geri basıncına izin veren PAT dizayn yöntemi geliştirmişlerdir. VOS dizaynı elektrik tesisinin en yüksek verimlilikte ve sürekli basınç düzenlenmesini mümkün kılmaktadır (Carravetta vd 2012).

Carrevetta vd (2013) çalışmasında ise PAT sisteminin etkinliğinin kapasite, esneklik ve güvenirliğe bağlı olduğunu ve VOS prosedürünün objektif bir fonksiyonu olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. VOS prosedürünün bu fonksiyonu şebekedeki hidroelektrik

santralinin tasarım prosedürüne mekanik güvenirlik ve sistem esnekliği kazandırmıştır. Bu çalışmada Güney İtalya'da bulunan basınç düşürme istasyonunda, belirli bir su ihtiyacı profili için değişken işletim stratejisi geliştirilmiştir. Çalışmada sistemin etkinliğinin dikkate değer şekilde arttığı gözlenirken bu yeni fonksiyonun tüm tesisin tasarım kapasitesinden etkilenmediği gözlemlenmiştir (Carravetta vd 2013).

Çizelge 2.2. Mikro hidroelektrik sistemleri ile ilgili güncel araştırmaların kısa özeti

Araştırma Konusu	Kaynak
Kırsal alanlar ve şehre uzak bölgeler için mikro hidroelektrik türbinlerin çalışması, performansı ve ekonomik analizi hakkında incelemeler	Williams 1996; Nautiyal ve Varun 2010; Arriaga 2010; Lahimer vd 2012; Elbatran vd 2015; Giosio vd 2015.
PAT sistemi hakkında teorik, deneysel ve sayısal çalışmalar ve incelemeler	Yang vd 2012; Yang vd 2013; Jain ve Patel 2014; Sammartano vd 2015.
Hidro türbin testleri ve bir PAT sistemi prototipinin laboratuvar ölçekli analizleri	Motwani vd 2013; Fontana vd 2016; Pugliese vd 2016.
Hidroelektrik üretimi için PRV ve PAT sistemlerinin optimum konumu için optimizasyon teknikleri	Fontana vd 2012; Giugni vd 2014; Coelho ve Campos 2014; Tricarico vd 2014 a,b; Corcoran vd 2016;
Sayısal incelemelerle PAT sistemlerinin enerji geri kazanım potansiyelinin ve ekonomik fizibilitesinin değerlendirilmesi	Giugni vd 2009; Carravetta vd 2014; Su ve Karney 2015; Fecarotta vd 2015; Jafari vd 2015; De Marchis ve Freni 2015, Patelis vd 2016; Samora vd 2016 a,b; Brady vd 2016.
Su dağıtım şebekelerinde enerji verimliliğini artırmak için hibrit çözümlerin değerlendirilmesi	Ramos vd 2010; Ramos vd 2011.
Kesikli su dağıtım sistemlerinde PAT işletiminin hidrodinamik analizi	Puleo vd 2014; De Marchis vd 2014.
Geleneksel su dağıtım şebekelerinde enerji ve hidrolik verimlilik	Vilanova ve Balestieri 2014.

Giugni vd (2014) basınç yönetiminin su kayıplarını azaltmada en etkili yöntemlerden biri olduğunu ve bununla birlikte son yıllarda yapılan çalışmalarında gösterdiği üzere PAT ve/veya türbin kullanılarak PRV'lerden kaynaklanan yük kayıpları yerine elektrik üretimi olabileceğini belirtmiştir. PRV'lerin yerine enerji üreten jenaratörlerin yerleştirilmesi basit olmasına rağmen bu tür yaklaşımlar enerji üretimini en yüksek

seviyeye çıkarmayı garanti etmez. Bu sebeple, şebeke üzerindeki gerçek ve hedef basınç arasındaki farkı en aza indirgemek yerine, hidro enerji üretimini maksimize etmeyi amaçlayan, cihazların konumunu ve ayarlarını optimize etmek amaçlı bir yaklaşım önermişlerdir (Giugni vd 2014).

De Marchis vd (2014) yaptıkları çalışmada dinamik şebekeler için kullanılan bir matematiksel modeli, su dağıtım şebekesinde PAT sisteminin varlığı durumunda analiz edebilen bir model ile entegre etmişlerdir. Şebekedeki performansı etkilemeden enerji kazanımını sağlamak amacıyla PAT sistemlerinin de bulunduğu dört farklı senaryo analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, PAT sistemlerinin şebekedeki ana borunun yakınlarında kurulduğu durumda yüksek maliyet oluşmasına rağmen en etkili geri ödeme performansı elde edilmiştir. Uygulanan 4 senaryo sonucunda PAT sistemlerinin ana boruya en uzak noktalarda konumlandırıldığı senaryoda geri ödeme süresi diğer senaryolara göre yaklaşık iki kat daha fazladır (De Marchis vd 2014).

Pugliese vd (2016) ise yaptıkları laboratuvar deneylerinde iki santrifüj pompayı ters modda çalıştırarak sonuçları incelemişlerdir. Çalışmada yatay tek kademeli pompa için düşü değerinin düşük olduğu durumlarda kullanılan modelin güvenilir olduğu ancak daha büyük düşü olduğu durumlarda ise modelin üretilen gücü tahmin başarısının düşük olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple bütün çalışma aralıklarında başarılı olan bir denklem geliştirmişlerdir (Pugliese vd 2016).

Tricarico vd (2014a) su dağıtım şebekelerinde basınç yönetimi için yeni bir metodoloji önermiştir. Özellikle fazla basıncın en aza indirgenmesi ile pompa maliyetlerinin asgari seviyede tutulması ve mevcut olan PRV'ler yerine kurulacak olan PAT sistemleri ile gelirin maksimum seviyeye çıkarılması hedeflenmiştir. Çalışmada enerji geri kazanımı için PAT sistemlerinin ana boru boyunca kurulumu yapıldığında net bir ekonomik fayda sağlandığı gözlemlenmiştir. PAT sisteminden elde edilen gelir ile çalışmanın yapıldığı bölgedeki pompa kurulumu maliyetlerinin hemen hemen aynı olduğu ve böylece işletme giderlerinin önemli ölçüde düşürülebileceği ortaya konmuşutr (Tricarico vd 2014a).

Puleo vd (2013) su dağıtım şebekesinde PAT kullanarak potansiyel enerji geri kazanımını değerlendirmek için bir hidrolik model geliştirmişlerdir. Bu model, özel tankların şebekedeki davranışlarını daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmesi için Küresel Gradyan Algoritması (GGA) ile entegre edilmiştir. Model İtalya'nın Palermo Kenti su dağıtım şebekesindeki bir alt bölgeye uygulanmıştır. Şebekenin hidrolik performansını etkilemeksizin maksimum enerji geri kazanımı elde etmek için PAT sistemlerinin dahil edildiği üç farklı senaryo analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tek konuta bağlantısı bulunan bağlantılarda enerji üretiminin düşük ve süreksiz olabileceği, daha büyük ve kat mülkiyeti olan kullanıcılar için ise sürekli enerji üretiminin olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, alt bölge girişindeki düğüm noktasına kurulan PAT sistemleri ile daha büyük servis bağlantılarındaki PAT sistemleri birleştirildiğinde en

verimli enerji üretimi gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şebekedeki su tüketimi ve olası giriş basıncı artışı ile PAT sistemlerinin verimliliği değişebilmekte, bu sebeple oluşturulan senaryolar duruma göre değişiklik gösterebilmektedir. Elde edilen sonuçlar, analiz edilen döneme göre değişiklik gösterdiğinden genelleştirilmez ve ek izleme yolu ile daha fazla gerçeklik sağlanabileceği gerekliliği belirtilmiştir (Puleo vd 2013).

Tricarcio vd (2014b) çalışmasında içmesuyu dağıtım sistemlerinde basınç yönetimi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Şebekelerdeki sızıntının minimuma indirgenmesi ve yıllık terfi masrafı ile PAT sistemlerinden elde edilecek yıllık gelir arasındaki farkı en aza indirgemek çalışmanın ana hedefleridir. Yönteme göre PAT sistemleri ana boru hattı boyunca PRV yerine tercih edilebilir. Kullanıcıların su tüketim profilleri hem deterministik, hem de olasılık yaklaşımları göz önüne alarak karşılaştırılmıştır. Enerji geri kazanımı için ana boru boyunca PAT sistemi eklenmesinin açık bir şekilde ekonomik yarar sağlamakla birlikte basınç yönetimi ve terfi planlaması için de yarar sağladığını gözlemlemişlerdir. Çalışma alanında PAT sisteminden elde edilen gelirin, pompa işletim maliyetinden daha fazla olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca olasılıksal optimizasyon yapıldığında, deterministik yaklaşıma göre daha fazla pompa kurulum maliyeti oluşturduğu gözlenmiş ve şebekede yüksek basınç ve daha yüksek tank seviyeleri olduğundan olasılıksal yaklaşımın daha güvenilir sonuçlar verebileceği de göz önünde bulundurulmuştur (Tricarcio vd 2014b).

Carravetta vd (2014) mikro-hidroelektrik tesislerin kentlerde yayılmasının önündeki engelin bu tür tesislerin toplam faydası için güvenilir değerlendirmelerin azlığı olduğunu belirtmişler ve Güney İtalya'da bulunan gerçek bir şebeke üzerinde bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Çalışma Palermo'da bulunan Oreto-Stazione şebekesinde mevcut olan verilere uygulanmış ve mikro-hidroelektrik tesislerin kurulmasının kentsel alanlardaki şebekeler için oldukça fazla ekonomik yarar sağlayabileceğini göstermiştir. Ek olarak şebekeye bir hidroelektrik tesis kurulumunun şebekenin güvenirliğini etkilemediğini, borularda meydana gelen patlak gibi durumlarda enerji üretiminin geçici olarak durmasının ise ihmal edilebilecek kadar düşük bir risk oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Arriaga (2009) ise Laos Demokratik Halk Cumhuriyeti'nde yaptığı çalışmada PAT sistemlerinin teknik ve ekonomik olarak uygun bir alternatif olduğunu belirtmiştir. Uygun hidroelektrik kaynağın bulunduğu durumlarda, PAT sistemlerinin şebekeye entegre edilmesinin 40-500 kişiden oluşan izole topluluklara elektrik sağlamak için uygulanabileceğini belirtmiştir. Ek olarak Xiagnabouli Kentinde bir piko-hidro tesis için tasarım, analiz ve fizibilite çalışması yapılmıştır. PAT eğrisi elde etmek için iki farklı yöntem kullanmışlar ve piko tesisin çapraz akışlı türbine kıyasla %53 daha az üretim ekipmanı maliyetine sahip olduğunu hesaplamışlardır (Arriaga 2009).

Yang vd (2012) pompa türbin sistemlerinin teorik, sayısal ve deneysel tahmin metotları ile performansını incelemiştir. Daha önceden yapılmış olan çalışma sonuçlarına

dayanarak, PAT sistemlerinin BEP (Best Efficiency Point – En verimli nokta) değerlerini teorik analiz ve ampirik korelasyon yolu ile öngörmeye çalışmıştır (Yang vd 2012).

Fecarotta vd (2014) şebekelerdeki su kayıplarının azaltılması için basınç yönetiminin önemine değinmiştir. Ayrıca basınç kontrolünü sağlamak için PRV'lere eşdeğer olarak PAT sistemleri kullanımının da uygun olduğunu belirterek bu esnada enerji üretimi fırsatının da doğduğunu belirtmiştir. Fecarotta vd (2014) bu amaçla su kayıpları ve enerji üretimi açısından belli sayıda vananın hidroelektrik tesisleri ile değiştirilmesinin ekonomik olarak uygunluğunu incelemişlerdir. Yapılan çalışmada analiz edilen şebekede sızıntının azaltılması için birkaç çözüm önerisi sunulmuştur. Farklı sayıda basınç düşürme istasyonu bulunan altı farklı senaryo analiz edilmiştir. Analiz edilen bu altı senaryoda basınç düşürme istasyonlarında PAT sistemi ya da PRV bulunmaktadır. Su tasarrufu ve üretilen elektriğin satış fiyatı farklı ülkeler için dikkate alınarak 10 yıllık net gelir değeri incelenmiştir. Hidro elektrik tesisleri kurulmasının, elektrik üretimi çok küçük boyutlarda olsa bile net faydayı kayda değer şekilde etkilediği ortaya çıkmıştır. Bu sebeple, suyun bol olduğu ve maliyetinin çok düşük olduğu alanlarda bile, sızıntının asgari seviyelere indirilmesi ekonomik açıdan elverişli olmakta ve bununla birlikte çevresel yarar da sağlamaktadır (Fecarotta vd 2014). Su temini sistemlerinde enerji geri kazanımı amacıyla yapılmış olan teknik ve ekonomik fizibilite çalışmalarına dair özet Çizelge 2.3'te verilmiştir.

1.6. İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde Hidrolik Modelleme

İçmesuyu dağıtım şebekelerinde fazla basıncın düşürülerek enerji üretilmesi için öncelikle şebekede fazla basıncın nerelerde olduğu bilinmelidir. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde günün her anı debi ve basınç değerlerinde değişiklik oluşmaktadır. Şebekenin tamamında basınç ve debi değerlerinin izlenebilmesi amacıyla hidrolik modeller kullanılabilmektedir. Her bir içmesuyu dağıtım şebekesi kendine özgü olduğundan, şebekenin coğrafi koşulları, boruların çapı ve uzunluğu gibi bileşenler şebekedeki basıncı etkilemektedir. Şebekedeki optimum basıncın belirlenmesi için hidrolik modeller kullanılabilir. Bu amaçla ticari ya da ücretsiz birçok yazılım bulunmaktadır. Literatürde yer alan hidrolik modeller Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından geliştirilmiş olan EPANET yazılımı şebekelerde kullanılmakta olan en yaygın hidrolik modelleme programıdır. EPANET programı ücretsiz olarak ulaşılabilen açık kaynak kodlu, şebekedeki basınçlı borulardaki hidrolik ve su kalitesi davranışlarını geniş zaman aralığında simüle eden bir yazılımdır. Bu yazılım kullanıcılara sınırsız şebeke elemanı (düğüm noktası, boru, vana, rezervuar vb.) ekleme olanağı sağlayan ve kullanıcı dostu ara yüzü olan bir programdır. Program şebekedeki yük kaybı hesaplamaları için Darcy–Weisbach, Hazen–Williams ve Chezy–Manning eşitliklerini kullanmaktadır. EPANET kaynak kodunu kullanarak geliştirilmiş olan birçok hidrolik model bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Su temini sistemlerinde enerji geri kazanımı için teknik ve ekonomik fizibilite çalışmaları

Bölge/Ülke (Bölge ve ekipman)	Potansiyel basınç (kPa)	Debi (m^3/gün)	Potansiyel Enerji(kW)	CO_2 emisyonlarında azalma (ton CO_2/yıl)	Geri ödeme dönemi (yıl)	Kaynak
Kildare/İrlanda (7 BPT)	180-600	714-17910	2-27	7-128	3-45	McNabola vd 2014
Dublin/ İrlanda (3 BPT)	60-150	26400-152760	12-115	57-548	<1 - 6	
İrlanda ve Birleşik Krallık (95 farklı bölgede)	---	---	17-212	79-268	3-10	Corcoran vd 2013
New Jersey/ABD (mikro türbin)			31-43	177-260		Telci 2012
Aqaba/Ürdün (2 BPT)			400-563	190314	0.24-0.37	Khair 2012
Aqaba/Ürdün (7 rezevuar)			4-565		0.24-1.11	
Aqaba/Ürdün (9 PRV)			1-25.5		2.59-13.90	
İskoçya/ Birleşik Krallık (3 BPTs)	261-558	2765-7223	8.2-31.0		4.9-9.1	Rintoul 2012
Napoli/İtalya (PRV ve PAT)		29393	17.5-34.2		2.5-3.0	Giugni vd 2009, Fontana vd 2012

EPANET kaynak kodunu kullanarak geliştirilen ticari yazılımlardan birisi olan WaterGEMS ticari yazılımında EPANET hidrolik çözümlerine ek olarak bazı değişiklikler (iyileştirmeler) yapılmıştır. WaterGEMS ile EPANET yazılımlarının sonuçlarını kıyaslarken çok küçük farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle, WaterGEMS ve EPANET kullanıcılarının sonuçları karşılaştırmasına olanak sağlamak ve yapılan çalışmaları kıyaslayabilmek maksadı ile WaterGEMS yazılımında hidrolik çözüm metodunun kullanıcı tarafından seçilebildiği bir uyumluluk seçeneği mevcuttur. Böylelikle WaterGEMS ve EPANET ile çözülen su dağıtım şebekesi hidrolik özellikleri, aynı çözüm yolu ile aynı sonuçlara ulaşmaktadır (Bentley 2016). Bu tez çalışması kapsamında ise şebekeyi modellemek amacı ile WaterGEMS hidrolik modeli kullanılmıştır.

Hidrolik modellerde su kayıplarını hesaplayabilmek için emitör katsayılarının tespiti ve kullanılması gereklidir. Boru bağlantı noktalarında mevcut basıncın bir fonksiyonu olarak geçen debi miktarı Eşitlik 2.3'te tanımlanmıştır (Rossman 2000)

$$q = CP^{\gamma} \tag{2.3}$$

Bu eşitlikte q orifis dağılımı ile dağıtılan debi miktarı, P basınç, C emitör katsayısı ve γ basınç katsayısıdır. WaterGEMS programında basınç katsayısı 0,5 olarak kabul edilmiştir. Emitör katsayısını belirleyebilmek için literatürde belli bir eşitlik bulunmamaktadır. Bu sebeple emitör katsayısı deneme yanılma yolu ile tahmin edilmektedir. Su kayıplarının artması ile birlikte emitör katsayısının da artması beklenmektedir.

Tez çalışmasına yönelik literatür incelendiğinde, PAT sistemlerinin içme suyu dağıtım şebekelerindeki gerçek ölçekte bir uygulamasının henüz mevcut olmadığı ve bu konudaki ilk uygulamanın da ülkemizde gerçekleştirildiği değerlendirilmektedir. PAT sisteminin uygulanabilmesi için mevcut içme suyu şebekesi hidrolik özelliklerinin hem güncel koşullar, hem de gelecek yıllar için detaylı olarak analizi gerekmektedir.

Çizelge 2.4. Literatürde yer alan hidrolik modeller

Hidrolik Model	Geliştiren Firma	Özellikler
AQUIS	Schneider Electric	Hidrolik simülasyonun yanı sıra boru dizaynı da yapabilmektedir. Kalibrasyon modülü entegre edilmiştir.
Aquadapt	Derceto	SCADA araçlarını kullanarak bütün şebekenin optimum koşullarda çalıştırılmasını sağlamaktadır.
Helix delta-Q	Helix Technologies	Şebekenin optimum dizaynını sağlamaktadır.
H_2ONET/H_2OMAP	Innovyze	SCADA ve CBS araçları ile entegre ve boru dizaynı ve kontrolünü sağlamaktadır, kalibrasyon aracı bulunmaktadır.
Mike Net	DHI	SCADA ve CBS araçlarını içeren Genetik Algoritma kullanır, kalibrasyon ve optimizasyon modülleri bulunmaktadır.
optiDesigner	Optiwater	Genetik Algoritma kullanarak şebekenin en düşük maliyette dizaynını sağlar.
Optimizer WDS	Optimatics	Bağımsız durumlar için bağımsız algoritmalar kullanarak gerçek zamanlı optimizasyon ve dizayn sağlar.
SynerGEE Water	GL Group	Boru dizayn optimizasyonunu SCADA ve CBS sistemi ile sağlayan modül içermektedir.
STANET	STANET®	Boru dizayn optimizasyonunu SCADA ve CBS sistemi ile sağlayan modül içermektedir.
Wadiso	GLS Software	CBS ve SCADA sistemi ile entegredir, şebekenin optimum dizaynı için kullanılmaktadır.
WaterCAD/WaterGEMS	Bentley	CBS ve SCADA sistemi ile entegredir.

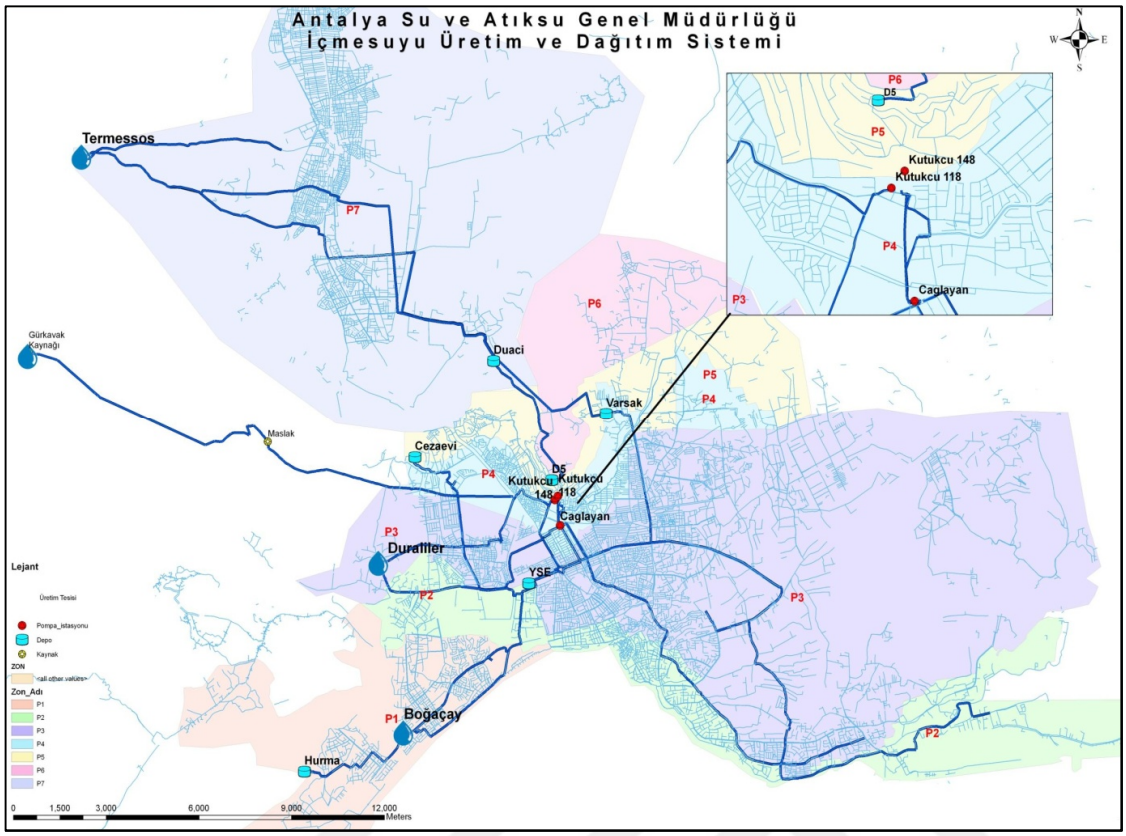
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Antalya İçmesuyu Temin Sistemi

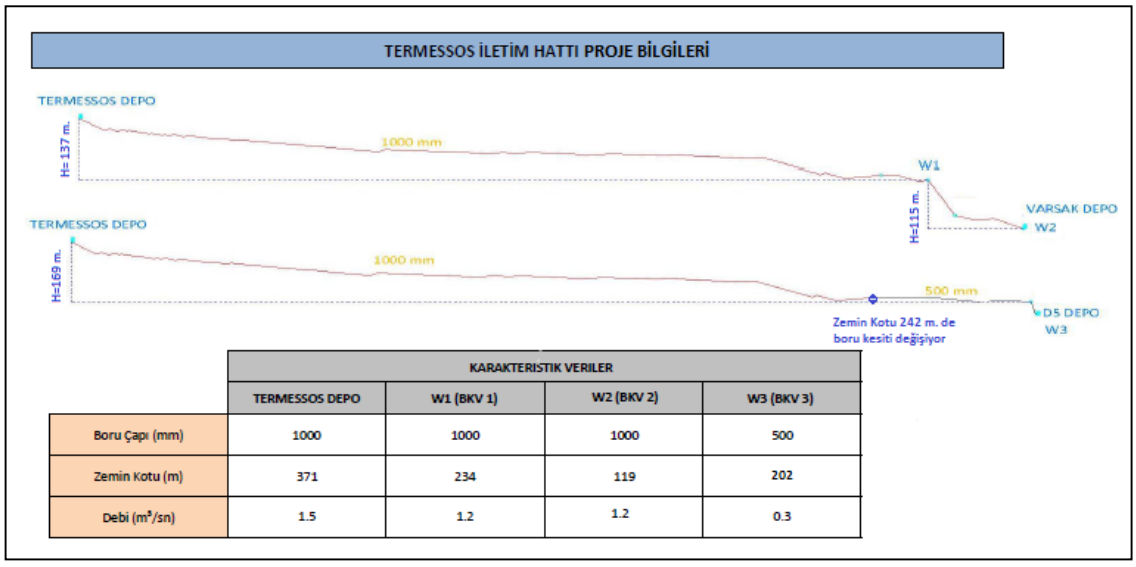
Antalya kentinde içmesuyu ihtiyacının büyük kısmı Duraliler, Boğaçay, Termessos ve Gürkavak su kaynaklarından sağlanmaktadır. 2014 yılında Antalya kent merkezinin içmesuyu ihtiyacının yaklaşık %60'lık kısmı Duraliler Pompa İstasyonu alanındaki yeraltısuyu kaynağından temin edilmiştir. Duraliler Pompa İstasyonu ve Boğaçay Pompa İstasyonu şehrin büyük miktarının içmesuyu ihtiyacını karşılamaktadır. Duraliler Pompa İstasyonunda 37 adet derin kuyu ve toplama depoları bulunmaktadır ve pompa istasyonundan verilen suyun debisi 2700 L/s'dir. Boğaçay Pompa İstasyonu ise 2014 yılı verilerine göre kentin içmesuyunun %10'unu karşılamıştır ve bu tesislerden 420 L/s debi ile su verilmektedir. Boğaçay Pompa İstasyonu alanında 4 adet keson kuyu, 4 adet derin kuyu ve toplama deposu bulunmaktadır. Termessos yeraltısuyu kaynakları alanında bulunan 13 adet derin kuyu ve 2 adet toplama kuyusu ile 2014 yılı kentsel su ihtiyacının %18'lik bölümü temin edilmiştir. Gürkavak kaynağı ise 2014 yılı verilerine göre ilin su ihtiyacının %2'sini karşılamaktadır. Gürkavak kaynağının kotu 260 m olup cazibe ile kente iletilmektedir. Yağışın fazla olduğu dönemlerde bulanıklık arttığından bu dönemlerde Gürkavak kaynağından kente su iletilmez. Şekil 3.1'de Antalya kenti içmesuyu iletim sistemi için su kaynaklarının ve depoların konumları şematik olarak verilmiştir. (ASAT 2015, Anonim-1).

Termessos su kaynağından Varsak Depo (119 m kotuna) ve D5 Depo'ya (202 m kotuna) bağlanan iletim hatlarının karakteristik bilgileri Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Şekil 3.2'de gösterilen şemada 371 m kotunda yer alan Termessos Bölgesindeki depodan, 242 m kotuna kadar 1000 mm çapındaki boru hattı ile su taşınmakta ve 242 m kotuna gelindiğinde boru hattı iki kısma ayrılmaktadır. 1000 mm çapındaki boru hattı önce 234 m kotundaki W1 noktasına iletilmekte, buradan da 119 m kotundaki Varsak Depo'ya aynı boru çapı ile devam etmektedir. Tanımlanan bu hat üzerindeki W1 ve W2 noktalarında iki adet Basınç Kırıcı Vana (BKV1 ve BKV2), PRV, bulunmaktadır. Termessos Bölgesindeki depo ile W1 noktası arasındaki düşü farkı (H) 137 m, W1 ile W2 arasındaki düşü farkı (H) ise 115 m'dir.

Termessos bölgesindeki depodan 242 m kotuna gelindiğinde 500 mm boru çapına sahip ikinci bir hat ile D5 Depo'ya (W3 noktasına) iletim sağlanmaktadır. Bu hat incelendiğinde de Termessos bölgesindeki depo ile W3 noktası arasındaki düşü farkı (H) 169 m'dir ve W3 noktasında da fazla basıncı düşürmek üzere bir basınç kırıcı vana (PRV) mevcuttur. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, Termessos su kaynağından kente doğru gelen cazibeli iletim hatlarında mevcut olan 3 adet basınç kırıcı vananın bulunduğu lokasyonlarda türbin sistemleri kullanılarak fazla basınçtan enerji elde edilmesi mümkündür. Şekil 3.2'de belirtildiği şekilde Termessos-Varsak Depo arasındaki iletim hattından 1,2 m^3/s, Termessos-D5 Depo arasındaki iletim hattından 0,3 m^3/s debide su iletilmektedir.



Şekil 3.1. Antalya kenti içmesuyu iletim sisteminde su kaynaklarının ve depoların konumlarını gösteren şematik görüntü (ASAT 2015)

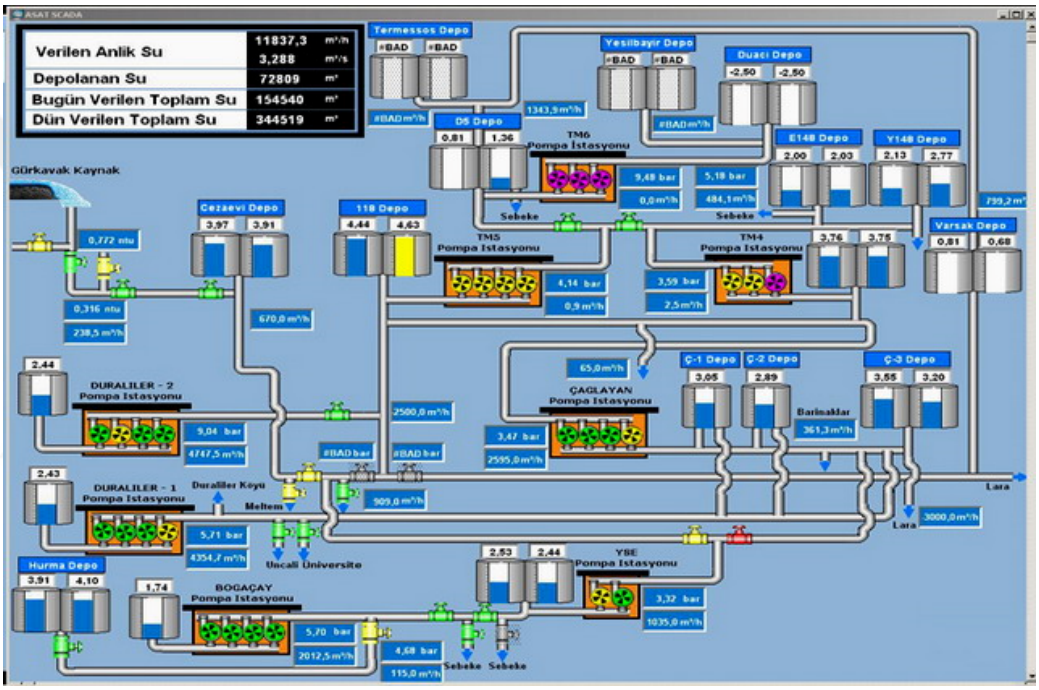


	KARAKTERISTIK VERILER			
	TERMESSOS DEPO	W1 (BKV 1)	W2 (BKV 2)	W3 (BKV 3)
Boru Çapı (mm)	1000	1000	1000	500
Zemin Kotu (m)	371	234	119	202
Debi (m^3/sn)	1.5	1.2	1.2	0.3

Şekil 3.2. Termessos iletim hattı ile Varsak Depo ve D5 Depo arasındaki cazibeli iletim hattının karakteristik verileri (ALDAŞ 2015)

Antalya kentindeki içmesuyu üretim ve iletim sisteminin izlenmesi ASAT tarafından kurulmuş olan SCADA sistemi ile gerçekleşmektedir. SCADA sistemine bağlı

olan istasyonlar; derin kuyu, pompa istasyonu, su deposu ve ölçüm noktası olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılmış olup sistemde; 9 adet pompa istasyonu, 27 adet su deposu ve 72 adet derin kuyu bulunmaktadır. ASAT Genel Müdürlük binasında yer alan SCADA Kontrol Merkezi'nde depolardaki su seviyesi, pompa istasyonlarında çalışan pompalar, pompa istasyonları ile ölçüm noktalarındaki anlık basınç ve debi değerleri, SCADA kontrolündeki vanaların durumları (açık, kapalı pozisyon), şehre verilen anlık su, toplam su ile bir önceki gün verilen toplam su miktarları ile bazı şebeke noktalarındaki su kalitesi özellikleri on-line olarak izlenebilmektedir (Anonim-2, Kara vd 2016). SCADA Merkezi'nde anlık olarak izlenen veriler özet olarak şematik bir ekranda da görüntülenmektedir. Antalya kentinin içmesuyu temini için ASAT SCADA Merkezi'nde görüntülenen verilere ilişkin görüntü Şekil 3.3'te sunulmaktadır.

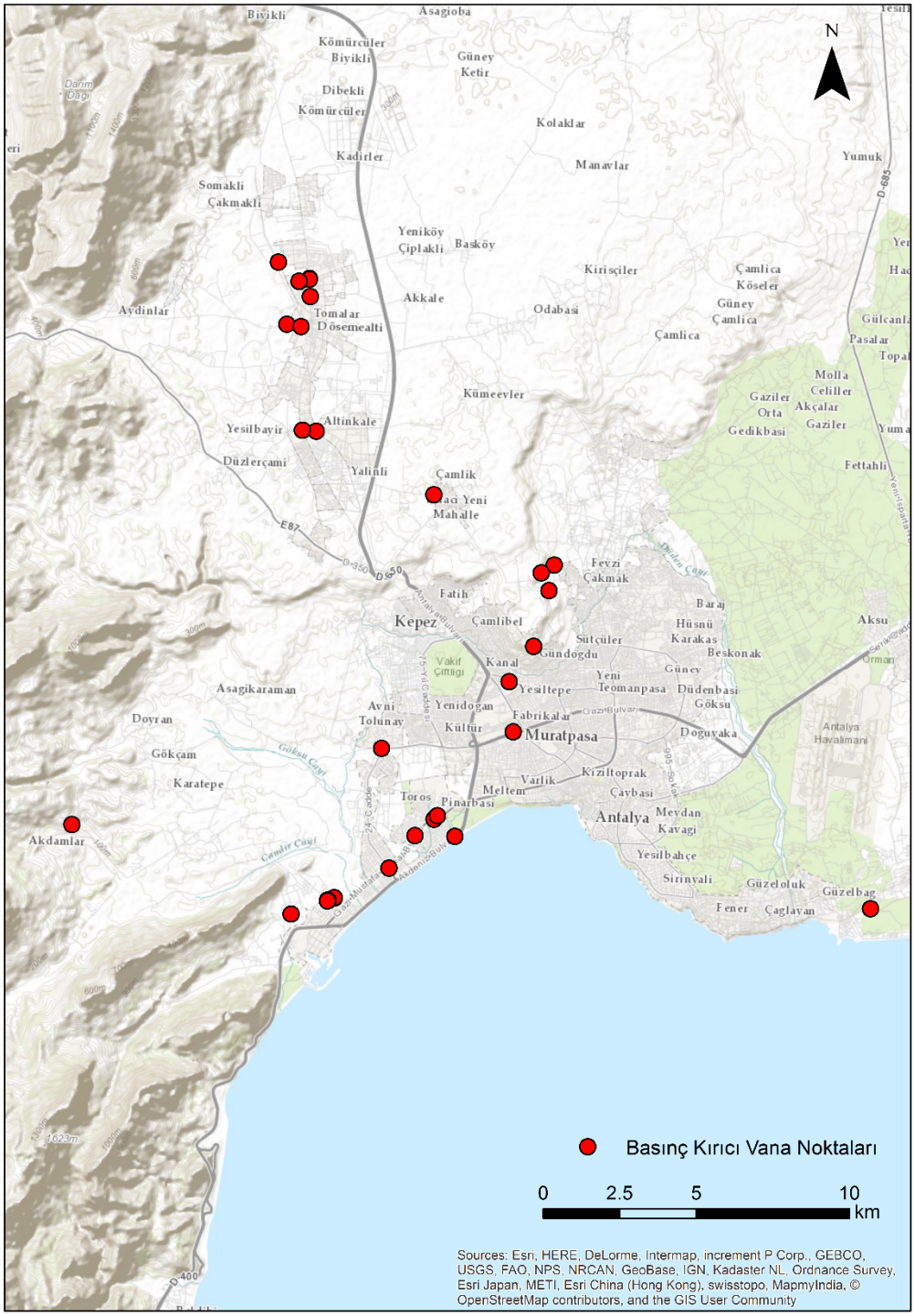


Şekil 3.3. ASAT SCADA Merkezi'nde anlık olarak izlenen su kaynakları, su depoları, pompalar ve şebekede izlenen verilere ilişkin ekran görüntüsü (Anonim-2)

2.2. Antalya Kenti İçmesuyu Temini Sisteminde Fazla Basıncın Kırıldığı Noktaların Lokasyonları

Su kayıplarının azaltılması amacıyla PRV kullanılarak şebekedeki fazla basınç düşürülmektedir. Bu amaçla Antalya kenti içmesuyu dağıtım şebekesinde ASAT'ın ilgili birimlerinden alınan bilgiye göre potansiyel olarak 29 PRV bulunmaktadır. Bu PRV'ler belirli dönemlerde veya sürekli olarak çalıştırılmaktadır. PRV'ler 80 ila 800 mm arasında değişen farklı boru çaplarında bulunmakta ve iletim hattı üzerindeki PRV'lere girişteki maksimum su basıncı 10 bar, dağıtım şebekesindeki PRV'lere girişteki maksimum su basıncı ise 6 bar olarak ifade edilmiştir. Şekil 3.4'te Antalya kenti içmesuyu temin sisteminde yer alan PRV'lerin lokasyonları verilmektedir. Görüldüğü üzere Yeşilbayır,

Döşemealtı gibi yüksek kotlu alanlarda, yüksek nüfusa sahip Kepez bölgesinde, şehrin düşük kotlu alanlarından Konyaaltı bölgesinde birçok PRV bulunmaktadır. Mevcut olan PRV'lerin ilçeler bazındaki lokasyonları Döşemealtı bölgesi için Şekil 3.5'te, Kepez bölgesi için Şekil 3.6'da ve Konyaaltı bölgesi için Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Antalya kenti su temini sisteminde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları (Muhammetoğlu vd 2016)

Şekil 3.5. Döşemealtı bölgesinde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları (Muhammetoğlu vd 2016)

Şekil 3.6. Kepez bölgesinde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları (Muhammetoğlu vd 2016)

Şekil 3.7. Konyaaltı bölgesinde yer alan basınç kırıcı vanaların lokasyonları (Muhammetoğlu vd 2016)

2.3. Gelecek Yıllar İçin İçmesuyu Temin Sistemlerinde Su Basıncı Değişimleri, Fazla Basınç Miktarları ve Debilerin Tahmin Edilmesi

Tez kapsamında Antalya içmesuyu temin sisteminde nüfus ve su talebi projeksiyonları sonuçlarına bağlı olarak oluşması öngörülen fazla basınç miktarları ve debilerin WaterGEMS hidrolik modeli kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalar, Antalya kenti Konyaaltı içmesuyu şebekesinde ve Antalya ANFAŞ bölgesi içmesuyu şebekesinde gerçekleştirilmiştir. Konyaaltı bölgesinde veriler güncel olmakla birlikte bölgede oldukça fazla SCADA istasyonu bulunmaktadır. Şebeke ASAT tarafından 18 alt bölgeye ayrılmıştır.

2.4. Gelecek Yıllar İçin Nüfus Tahminleri

2010 yılı için Konyaaltı Bölgesine temin edilen su tüketim verileri ve ANFAŞ Bölgesine temin edilen su tüketim verileri, ASAT SCADA sisteminden elde edilmiş olup, bir yıllık dönem içerisinde şebekeye verilen en düşük ve en yüksek su tüketim verilerinin gerçekleştiği dönemler (günler) tespit edilmiştir. Çalışma bölgesine ait 2020, 2030 ve 2040 yılları için nüfus projeksiyonları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda aritmetik artış, geometrik artış ve İller Bankası nüfus artış metotları (Eşitlik (3.1) ve (3.2)) (İlbank, 2013) kullanılarak nüfus artış hızları hesaplanmıştır.

$$P = \left(\sqrt[a]{\frac{Ns}{Ni}} - 1 \right) . 100 \quad (3.1)$$

$$N_g = N_s \left[1 + \frac{P}{100} \right] \quad (3.2)$$

P = Nüfus artış katsayısı

N_s = Son nüfus sayımındaki nüfus

N_i = İlk nüfus sayımındaki nüfus

N_g = Gelecekteki nüfus tahmini

a = Son nüfus sayımından projenin başlatılmasına kadar geçen süre ($t_s - t_i$)

t_s = Son nüfus sayımının yapıldığı yıl

t_i = İlk nüfus sayımının yapıldığı yıl

n = $t_g - t_s$ (tahmin yılı ile son nüfus sayımının yapıldığı yıl arasındaki fark)

t_g = Gelecekteki tahmin yılı

Nüfus artışının dolaylı olarak birim su sarfiyatını etkilediği bilinmektedir, ancak bu çalışma kapsamında birim su sarfiyatının (litre su hacmi/kişi/gün) nüfus artışı ile değişmeyeceği kabul edilmiştir. Çalışma bölgesinin şehrin gelişmiş bir bölgesinde yer alması sebebi ile bu kabul makul görülmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde her ne kadar nüfus projeksiyonları yapılmış olsa da, yeni yapılaşmalar için fazla bir yer bulunmaması sebebi ile nüfus artışlarının da bu bölgelerde tahmin edilen artışlarda olmayacağı öngörülebilmektedir. Çalışma bölgesi için elde edilen su tüketim verileri ve alt bölgelerdeki su tüketim profilleri incelenerek, bu veriler üzerinden su tüketim tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma bölgesinde İller Bankası nüfus artış metoduna göre yapılan çalışmalar, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından Antalya İli için yapılan çalışmanın sonuçları ile kıyaslanmış olup nüfus ve su tüketimlerine ait tahminler bu kapsamda gerçekleştirilmiştir. Konyaaltı bölgesinde daha önce tamamlanmış olan TÜBİTAK-KAMAG projesi (107G088) kapsamında tüm alt bölgeler için 2010 yılının tamamı için 5 dakika aralıklı debi ve basınç verileri ASAT-SCADA biriminden temin edilmiştir. 2010 yılı için temin edilen veriler kullanılarak bölgede en yüksek ve en düşük su tüketimlerinin gerçekleştiği periyotlar belirlenmiş ve bu dönemler için elde edilen su tüketim profilleri, su tüketimlerinin zamanla değişimini tanımlamak için kullanılmıştır.

2.5. WaterGEMS Hidrolik Modeli

WaterGEMS hidrolik modeli Bentley firması tarafından piyasaya sunulmuş olan bir ticari yazılımdır. WaterGEMS hidrolik modeli ile bir içmesuyu dağıtım şebekesinin

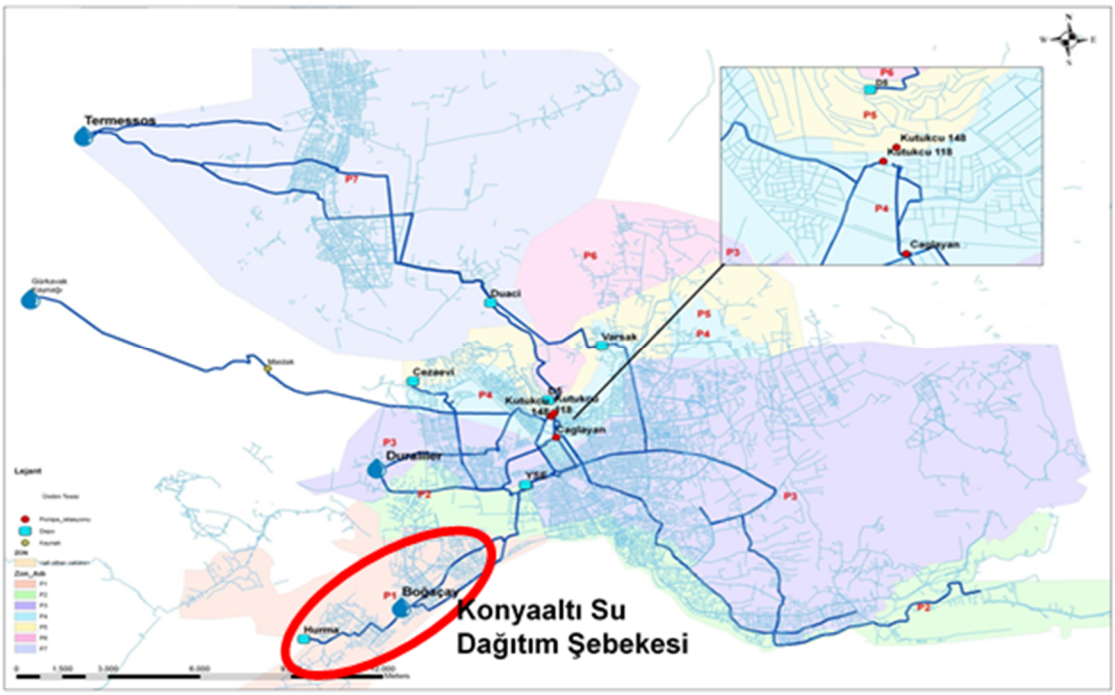
dizaynı ve analizi gerçekleştirilmektedir. Modele sınırsız boru ve düğüm noktası eklenebilmektedir. Böylece istenilen büyüklükte şebeke oluşturulabilmektedir. Bu hidrolik model ile şebekeyi farklı şekillerde hesaplamak mümkündür. Statik çözümler (Steady State), zamana bağlı analizler (Extended Period Simulation), yangın debisi analizleri, optimizasyon gibi analizler WaterGEMS hidrolik modelinin hesaplama yapabildiği uygulamalara örnek olarak verilebilir. WaterGEMS hidrolik modelinde şebeke oluşturulurken CAD/CBS ile entegre olarak çalışılabileceği gibi model şebekenin el ile de çizilebilmesine olanak tanımaktadır. Model, şebekenin farklı durumlarda nasıl çalışacağını görmek için farklı senaryolar ve alternatifler oluşturulmasına olanak tanımaktadır. WaterGEMS ile ayrıca su kalitesi (su yaşı, kaynak izleme ve içerik analizleri gibi) modellemesi de yapılabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında hidrolik modelin kurulması için gerekli olan veriler ASAT-CBS biriminden elde edilmiştir. Su tüketim profillerini belirleyebilmek için ASAT-SCADA biriminden bölgeye ait anlık debi değerleri alınmıştır. WaterGEMS hidrolik modeli şebeke için çeşitli durum senaryoları oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada da modelin sağlamış olduğu farklı durumlar için farklı senaryolar hazırlanmış ve incelenmiştir.

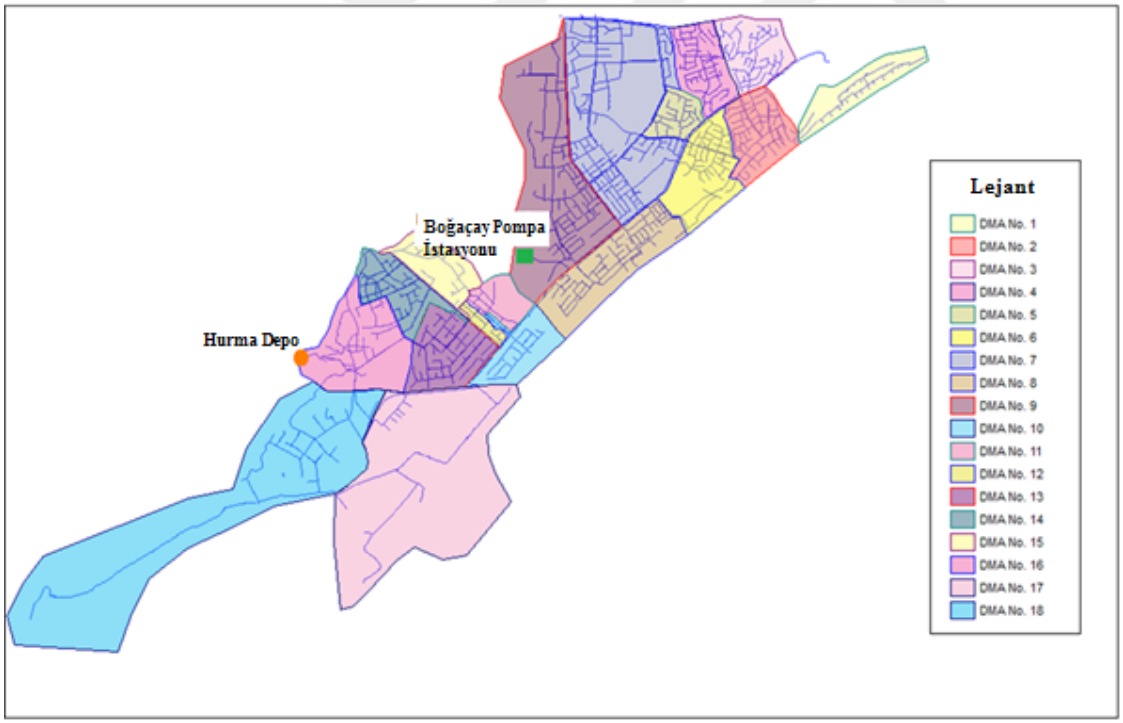
2.6. Konyaaltı Bölgesine İlişkin Bilgiler

Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesi yaklaşık 60.000 kişiye hizmet verip yaklaşık 200 km boru uzunluğuna sahiptir. Boğaçay yeraltısuyu kaynaklarından temin edilen içmesuyu, dört adet yatay pompa vasıtası ile bölgeye terfi ettirilmekte ve saatlik salınımları dengelemek için 15000 m^3'lük hacme sahip olan Hurma Depo kullanılmaktadır (TÜBİTAK 2011, Karadirek vd 2012). Şekil 3.8'de Antalya ili su üretim ve dağıtım sistemi ve Konyaaltı bölgesinin ildeki konumu verilmiştir.

Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinin bileşenlerine ait güncel veriler ASAT-CBS merkezinde yer almaktadır ve bu veriler ASAT-CBS biriminden temin edilmiştir. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde her alt bölge girişinde hassas ölçüm yapabilen bir debimetre ve bir basınç metre yerleştirilmiş olup, ölçüm değerleri sürekli olarak ASAT-SCADA Merkezi'ne iletilerek kaydedilmektedir. Konyaaltı şebekesinde oluşturulan alt bölgelerde (DMA) mevcut fazla basıncın düşürülmesi amacı ile basınç kırıcı vanalardan faydalanılmaktadır. Konyaaltı şebekesinde yer alan basınç kırıcı vanaların konumları Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Mevcut basınç kırıcı vanaların bir kısmı sürekli, bazıları ise zaman zaman şebekedeki fazla basıncın düşürülmesi için ASAT tarafından aktif olarak kullanılabilmektedir.



Şekil 3.8. Antalya ili su üretim ve dağıtım sistemi ve Konyaaltı çalışma bölgesi



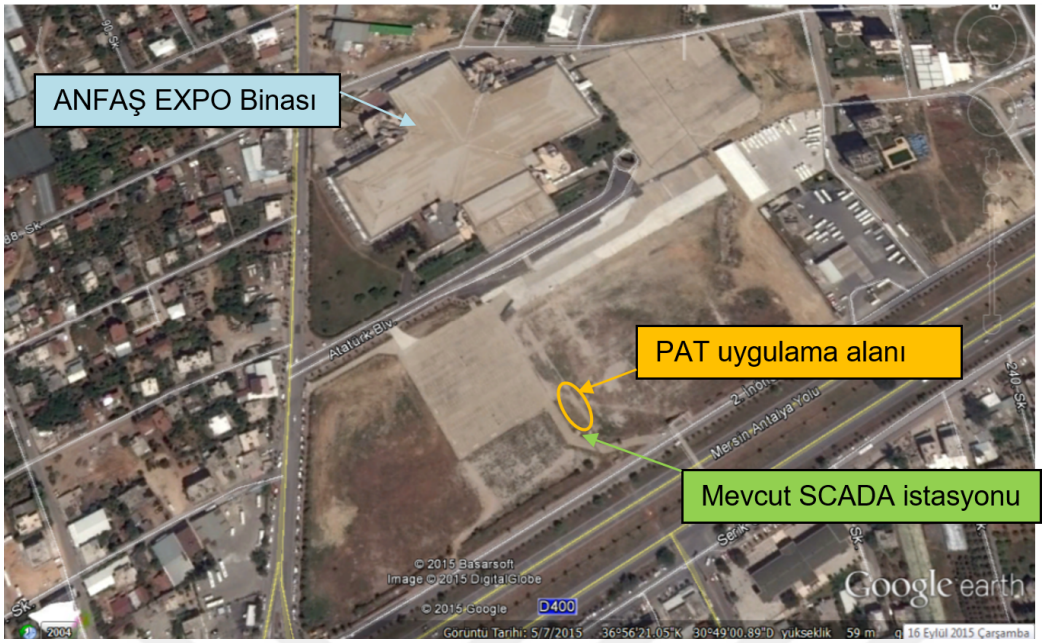
Şekil 3.9. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinin temel bileşenleri ve alt bölgeleri (TÜBİTAK 2011, Karadirek vd 2012)

2.7. Anfaş Bölgesine İlişkin Bilgiler

Teknik incelemeler sonucunda, Antalya kenti içmesuyu şebekesinde pompa türbin (PAT) eklenmesi için uygun olan çalışma sahası olarak, Antalya-Mersin karayolu üzerinde yer alan Antalya ANFAŞ EXPO Fuar alanı önündeki bölge seçilmiştir. PAT uygulaması için seçilen bölgeye ait genel bir görüntü Şekil 3.10'da sunulmaktadır. ASAT-SCADA birimi tarafından sürekli olarak on-line debi ve basınç ölçümü yapılan bir SCADA istasyonu ise belirlenen bölgenin hemen yakınında bulunmaktadır. SCADA istasyonunun da bulunduğu bölgenin haritası Şekil 3.11'de verilmektedir. Seçilen uygulama alanı için içmesuyu dağıtım şebekesine ilişkin boru hattı Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Mevcut SCADA istasyonu ve pilot uygulama için seçilen alanda çekilmiş olan fotoğraflar Şekil 3.13'te gösterilmektedir.

PAT sisteminin uygulandığı Antalya ANFAŞ EXPO binası alanındaki pilot uygulama için şematik çizim Şekil 3.14 ve teknik çizim detayları Şekil 3.15'te sunulmaktadır. Tez çalışması kapsamında PAT sistemi için hidrolik model kullanılarak ileriye dönük tahminler yapılmıştır. PAT sistemi için oluşturulan türbin eğrisi Şekil 3.16'da verilmektedir. PAT sisteminin ön kurulumu Standart Pompa A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiş ve çalışma bölgesi olan Antalya Aksu'ya getirilmiştir. PAT sistemi Antalya ANFAŞ EXPO alanı önündeki içmesuyu dağıtım şebekesine by-pass hattı ile bağlanmış ve by-pass hattının inşaası konusunda ASAT Genel Müdürlüğü ile koordinasyon sağlanmıştır (Şekil 3.17-Şekil 3.22). PAT sisteminin kurulum işlemleri tamamlandıktan sonra 26 Ocak 2016 tarihinde sistem devreye alınmıştır. PAT sisteminin devreye alınması öncesinde, ASAT ekiplerince 650 mm çaplı içmesuyu dağıtım şebekesi ana borusu üzerindeki kapatma vanası tamamen kapatılmış ve tüm debi by-pass hattına yönlendirilmiştir. PAT sisteminden geçen debi, PAT sistemi girişi ve çıkışındaki basınç değerleri ve üretilen güç verilerinin gösterge panolarında izlenmesi ve kayıt altına alınması için gerekli bağlantılar yapılmıştır (Muhammetoğlu vd 2016).

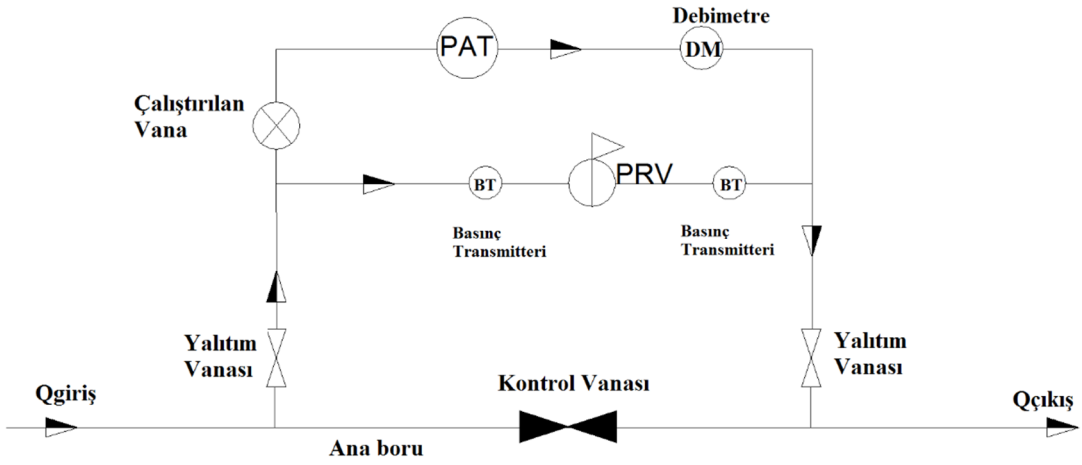
Şekil 3.10. Projede pilot uygulama için seçilen Antalya ANFAŞ EXPO Fuar alanından bir görüntü



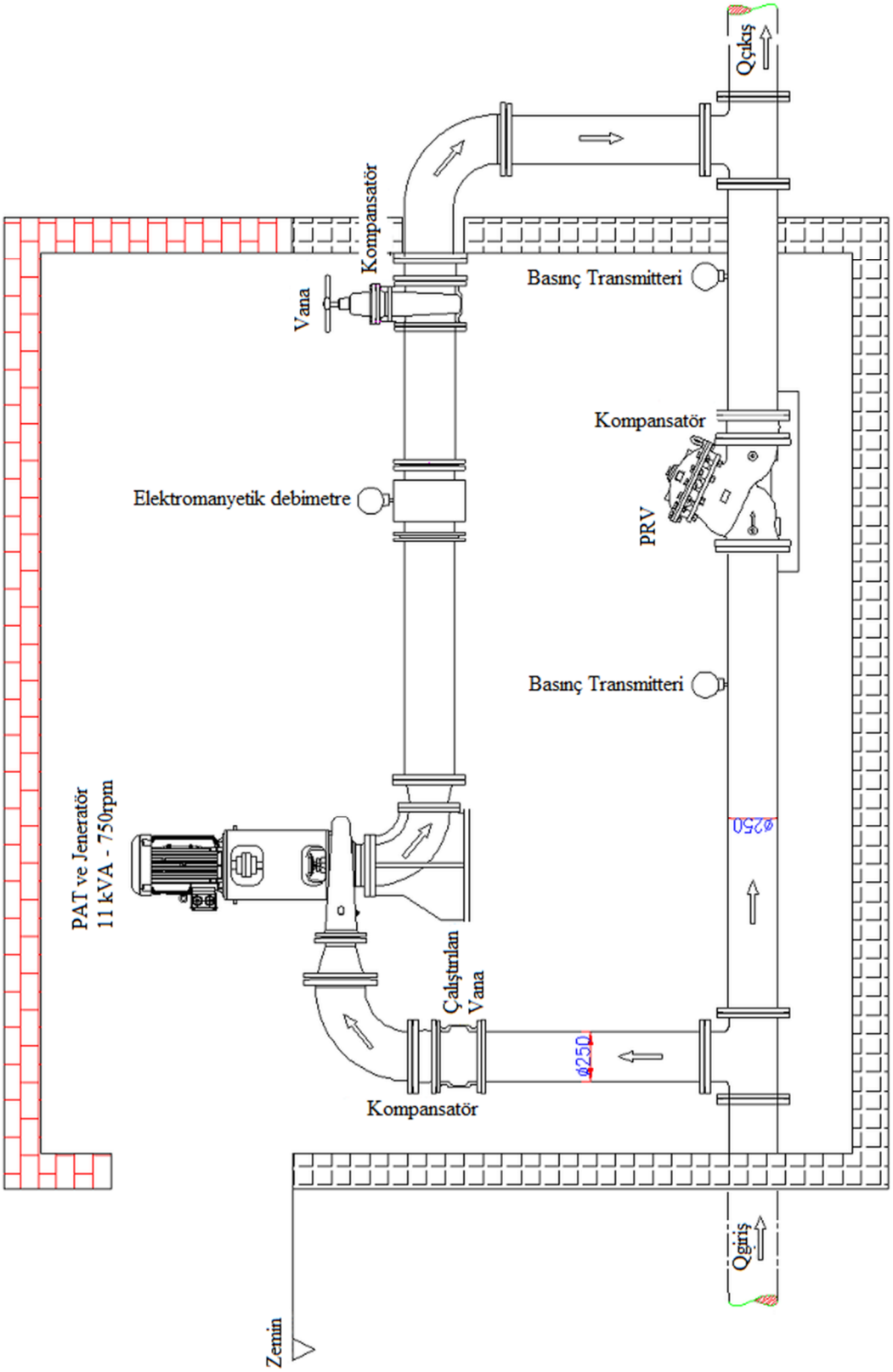
Şekil 3.11. Antalya ANFAŞ-EXPO binası, mevcut SCADA istasyonu ve pilot uygulama sahası (Muhammetoğlu vd 2016)

Şekil 3.12. Pilot uygulama için seçilen alandaki içmesuyu dağıtım şebekesi boru hattı (Muhammetoğlu vd 2016)

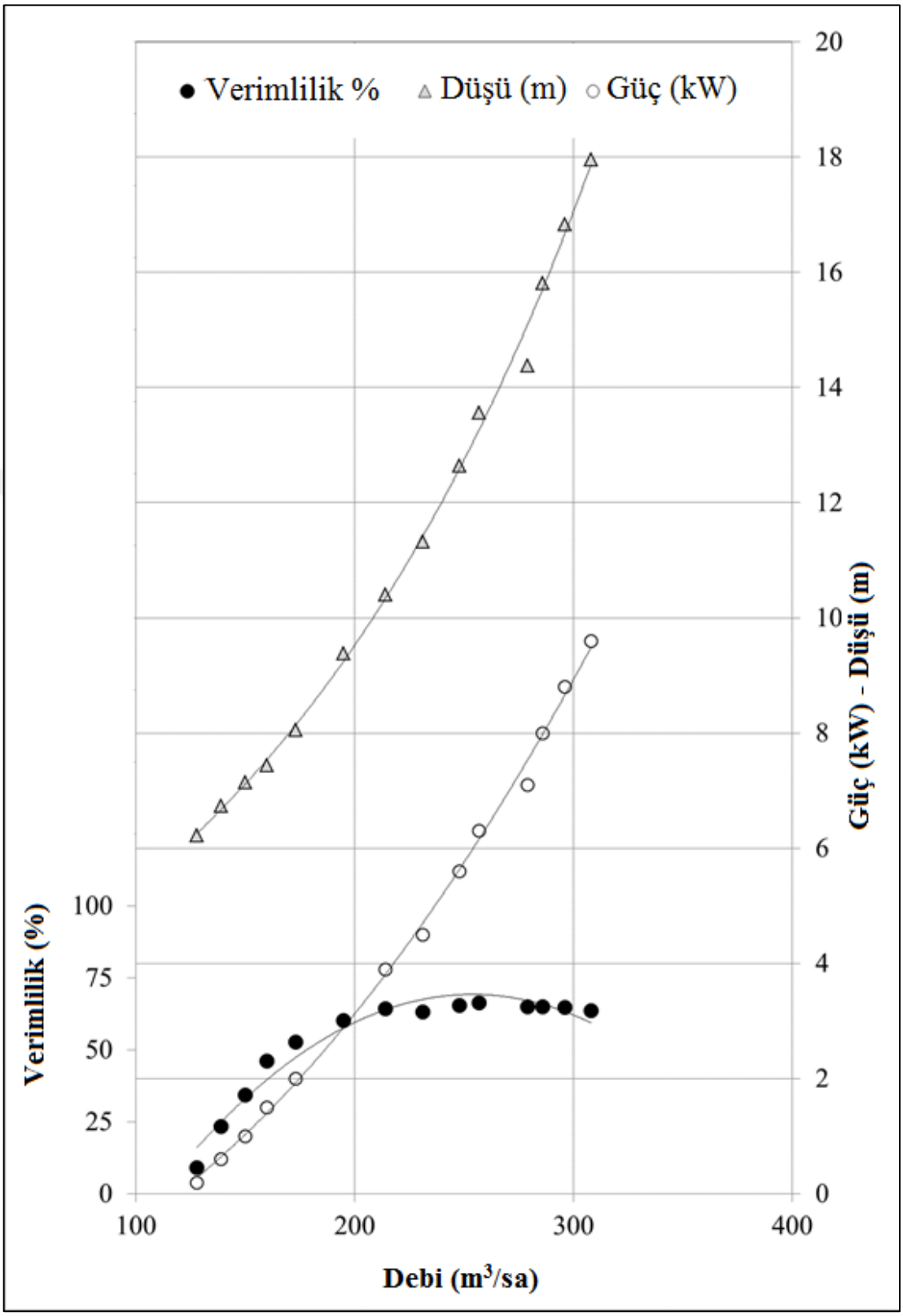
Şekil 3.13. SCADA istasyonu ve pilot uygulama için seçilen alan (Muhammetoğlu vd 2016)



Şekil 3.14. Pilot uygulama için tasarlanan PAT sisteminin şematik gösterimi (Muhammetoğlu vd 2016)



Şekil 3.15. Pilot uygulama için tasarlanan PAT sisteminin sahadaki uygulamasına yönelik teknik çizim (Muhammetoğlu vd 2016)



Şekil 3.16. PAT sistemi için oluşturulan türbin eğrisi (Muhammetoğlu vd 2016)

Şekil 3.17. PAT sisteminin kurulacağı by-pass hattı için kazı çalışması, ana hat borusunun açığa çıkarılması (Muhammetoğlu vd 2016)

Şekil 3.18. PAT sisteminin bağlanacağı ana hat borusunun değiştirilmesi (Muhammetoğlu vd 2016)

(a)

(b)

Şekil 3.19. (a) PAT sisteminin kurulduğu by-pass rögarı temel inşaatı, (b) Rögarın yan duvarlarının inşaatı (Muhammetoğlu vd 2016)

Şekil 3.20. By-pass rögarı içerisine PAT sisteminin kurulumu (Muhammetoğlu vd 2016).

Şekil 3.21. By-pass rögarı üzerine kabin yapılması (Muhammetoğlu vd 2016)

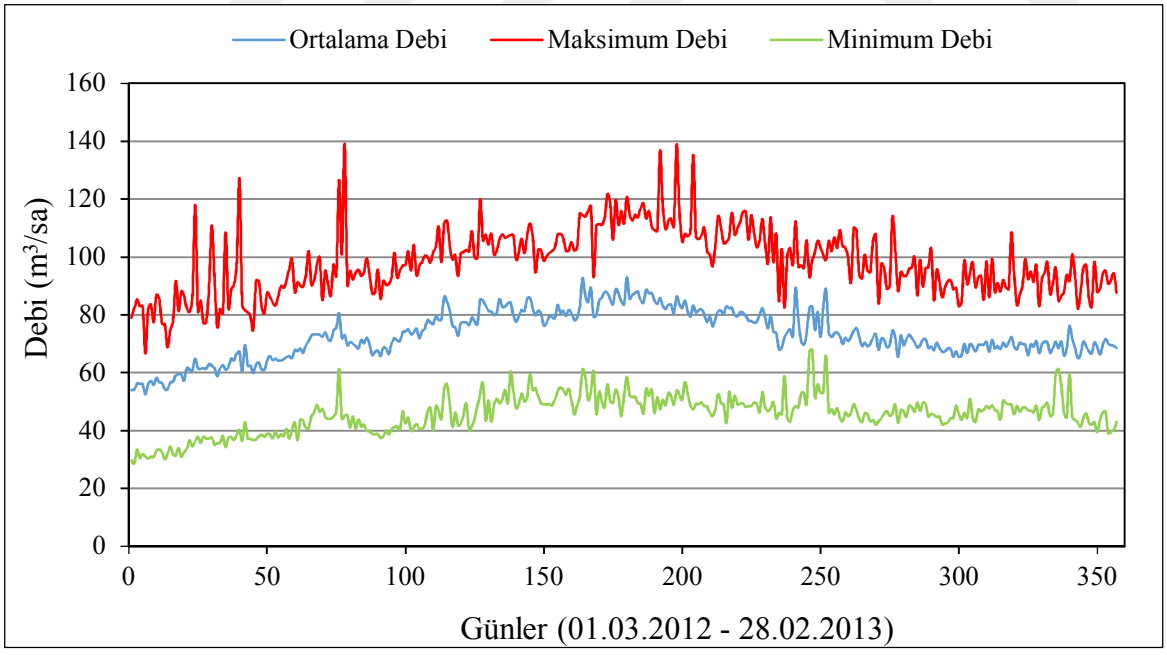
Şekil 3.22. By-pass rögarı içerisine yürüme yolu ve merdiven yapılması (Muhammetoğlu vd 2016)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

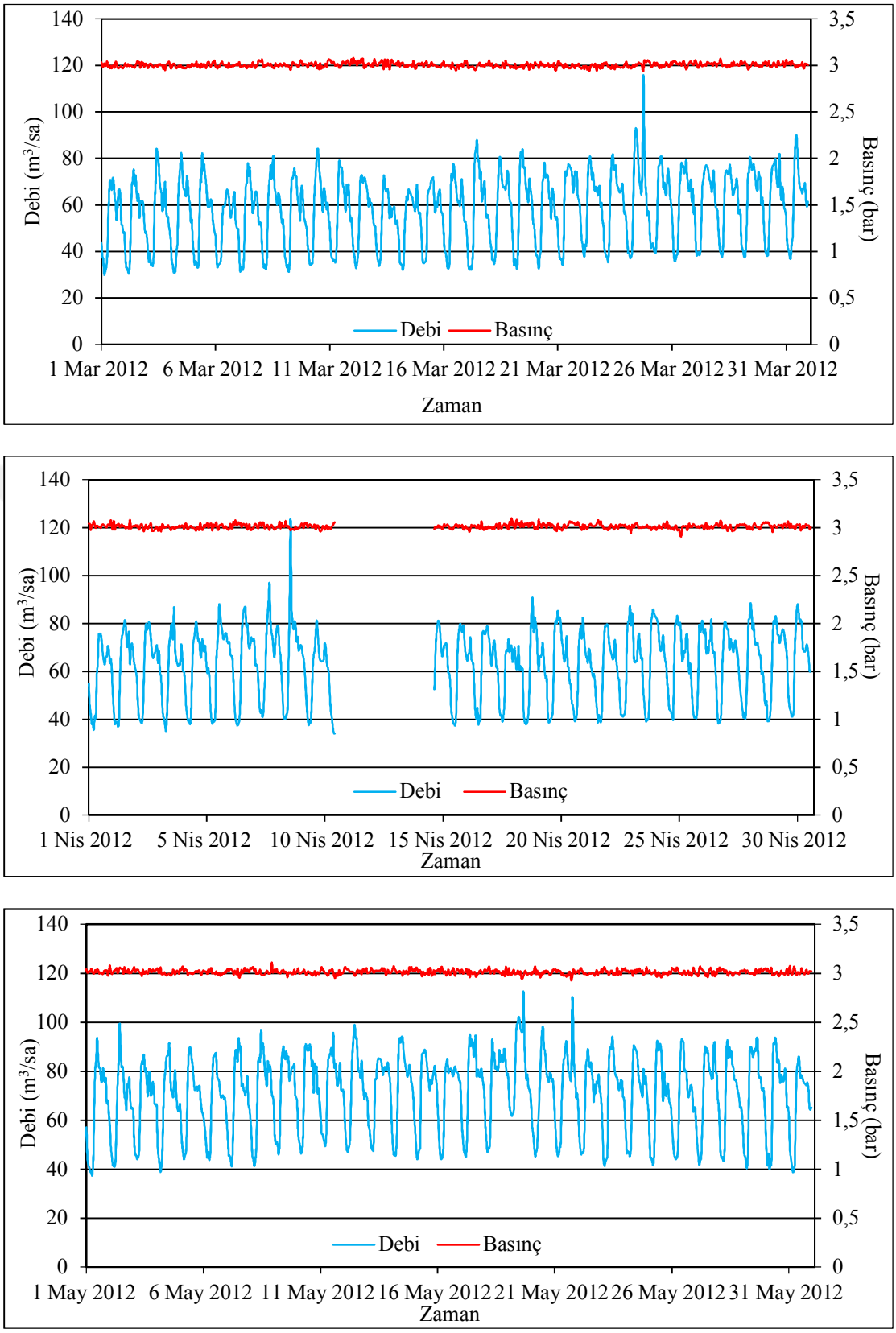
3.1. Antalya İçmesuyu Temini Sistemi Konyaaltı Bölgesi Debi ve Su Basıncı Değişimlerinin İncelenmesi

Konyaaltı bölgesi için mevcut durumdaki debi ve su basıncının yıllık, mevsimlik ve günlük değişimlerine ait veriler ASAT-SCADA biriminden temin edilmiştir. Bölgede oluşturulan 18 alt bölgenin girişlerinde bulunan SCADA istasyonlarında ölçülen debi ve basınç değerleri ASAT-SCADA biriminden temin edilmiştir. Ölçülen bu debi ve basınç değerleri 5 dakika zaman aralıklıdır.

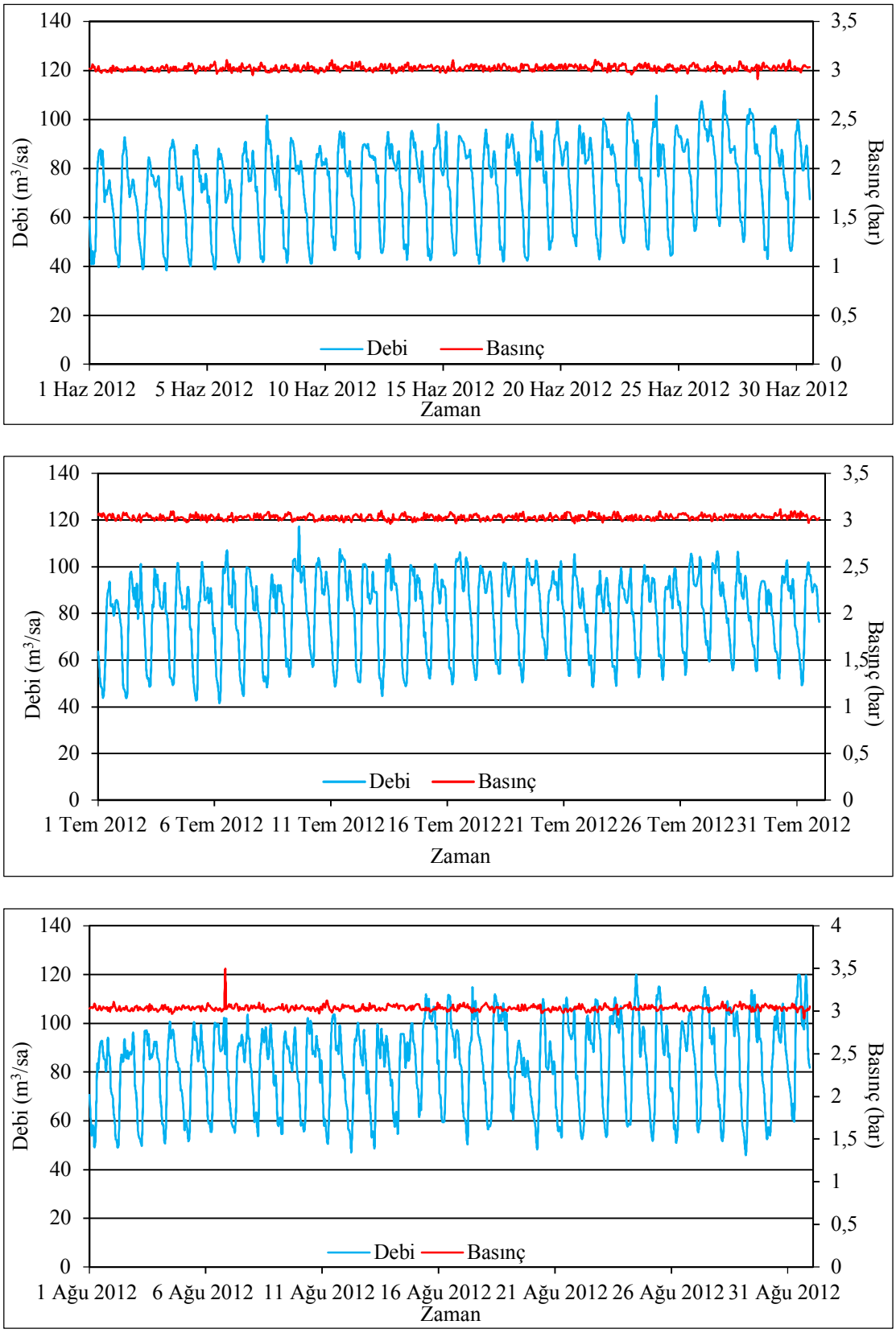
Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde fazla basıncın kırıldığı alt bölgeler içinde yer alan DMA-2 için bir yıl süre ile günlük minimum, maksimum ve ortalama debi değişimleri örnek olarak Şekil 4.1'de gösterilmektedir. DMA-2 için saatlik debi ve basınç değişimleri 1 Nisan 2012 – 31 Mart 2013 dönemi için Şekil 4.2'de tüm aylar için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere DMA-2 için yaz aylarında su tüketimi kış aylarına göre daha yüksektir. Maksimum debi değerleri 140 m^3/sa değerine kadar yükselirken, minimum debi değerleri yaklaşık olarak 30 m^3/sa değerine kadar düşmektedir. Şekil 4.2'de Nisan ve Şubat aylarında su kesintisi olduğundan dolayı grafiklerde boş bölümler görülmektedir. Tüm aylarda basınç değeri yaklaşık olarak 3 bar seviyelerinde iken debi değerleri kış ayları için yaklaşık olarak 40-80 m^3/sa aralığında, yaz ayları içinse 60-100 m^3/sa aralığında değişkenlik göstermektedir.



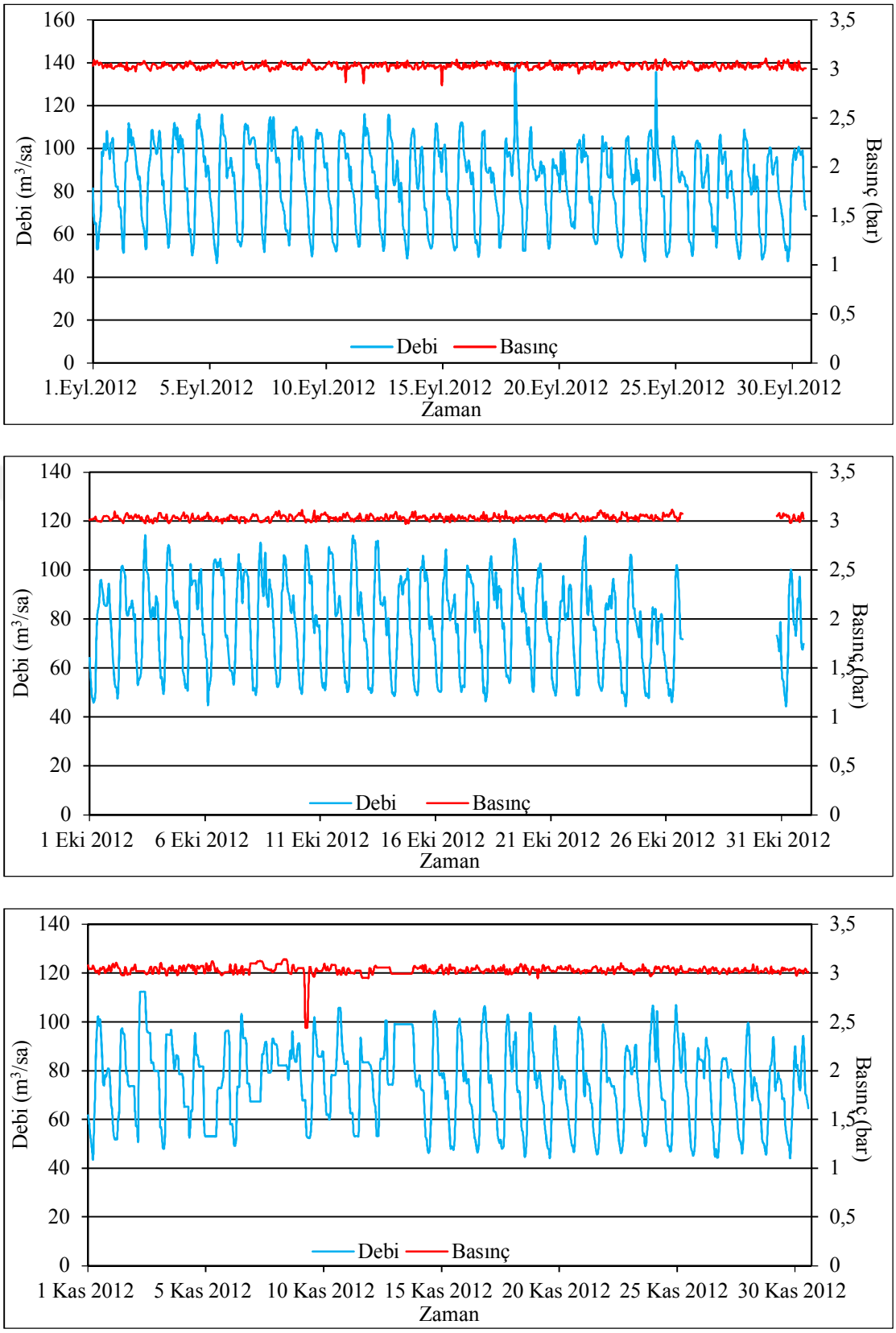
Şekil 4.1. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde alt bölge-2 (DMA-2) için günlük debi değişimi



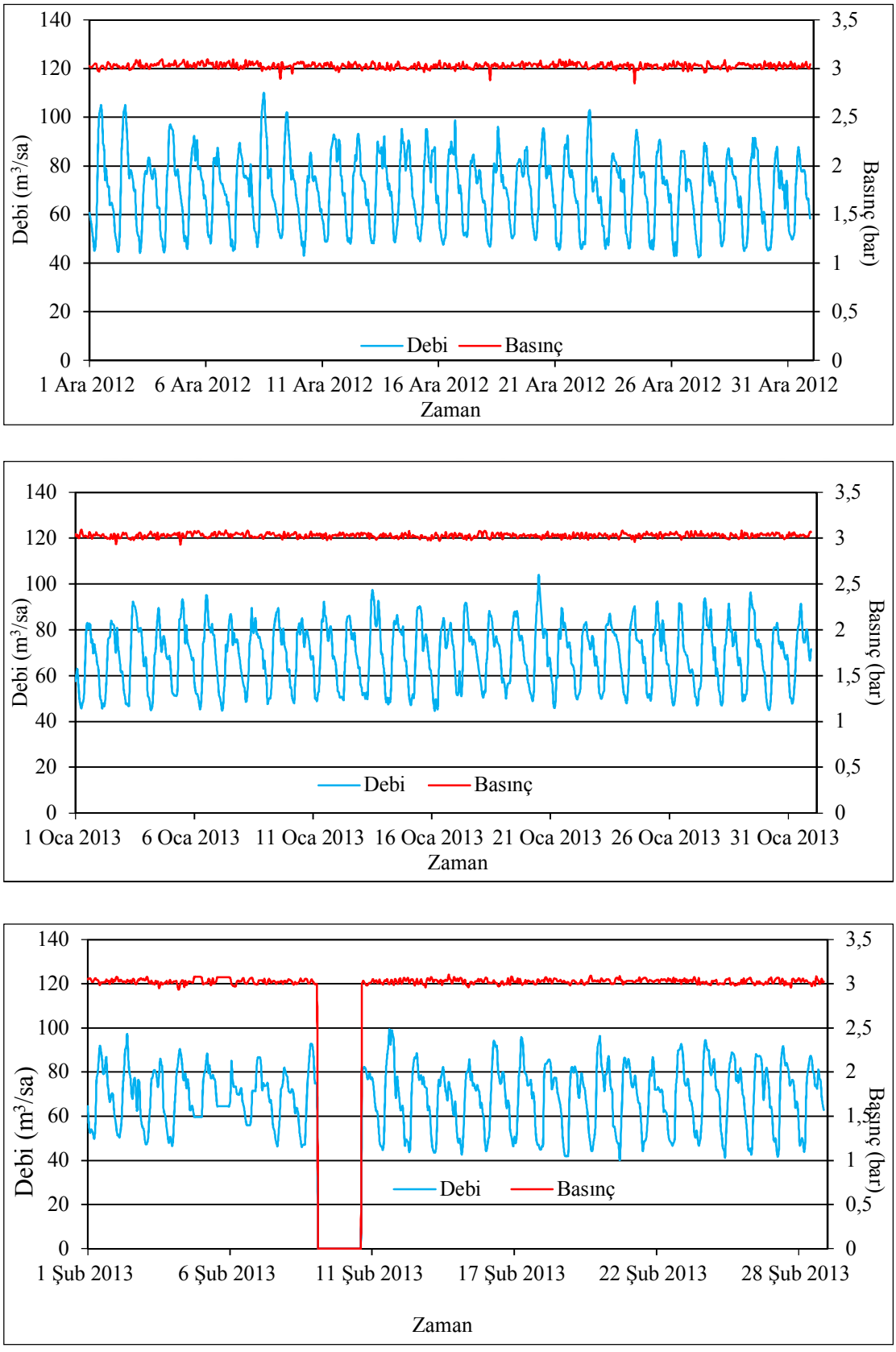
Şekil 4.2. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde altbölge-2 (DMA-2)'de 1 Mart 2012 – 28 Şubat 2013 dönemi için saatlik ortalama debi ve basınç değişimleri



Şekil 4.2. (devam)



Şekil 4.2. (devam)

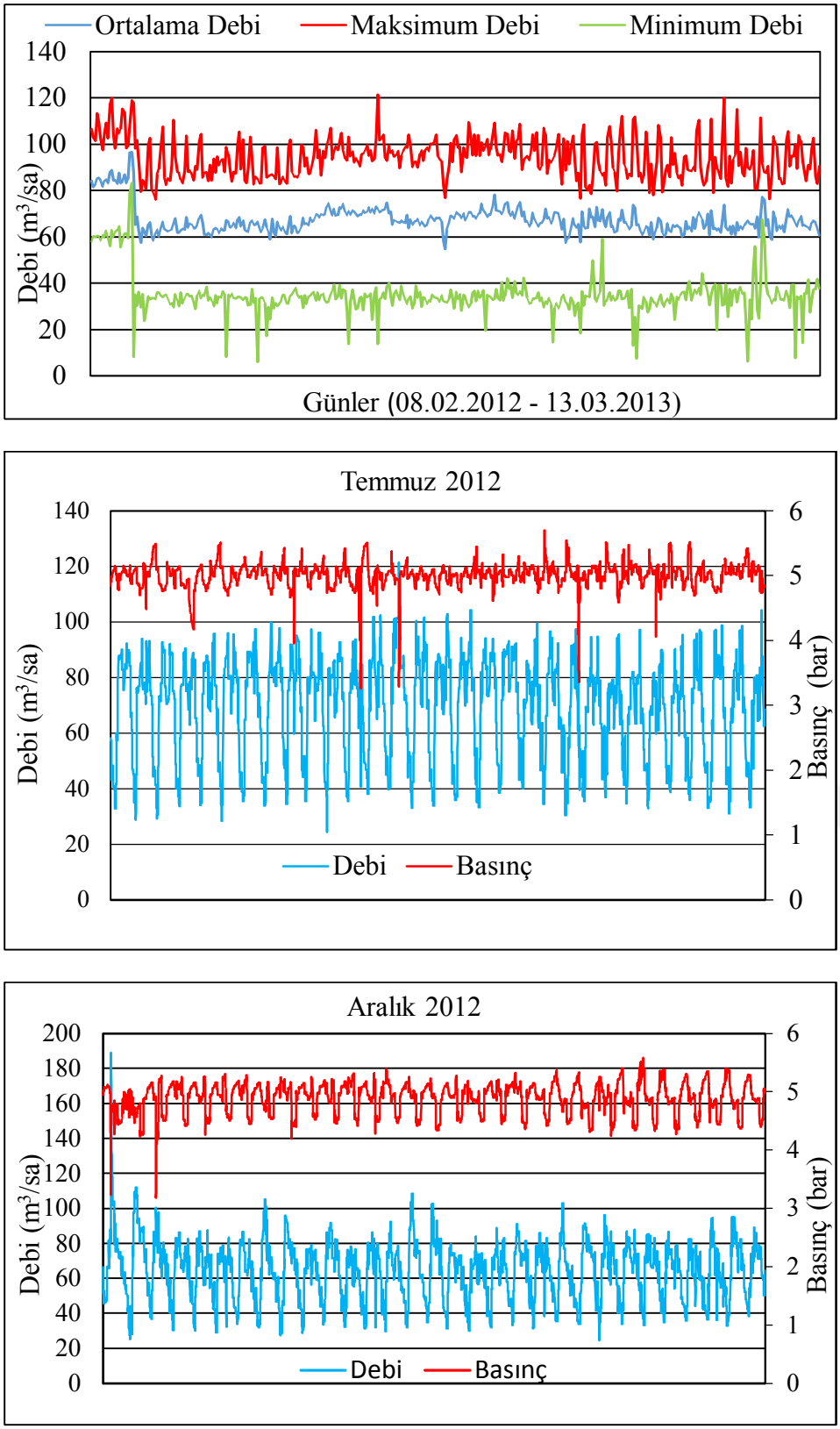


Şekil 4.2. (devam)

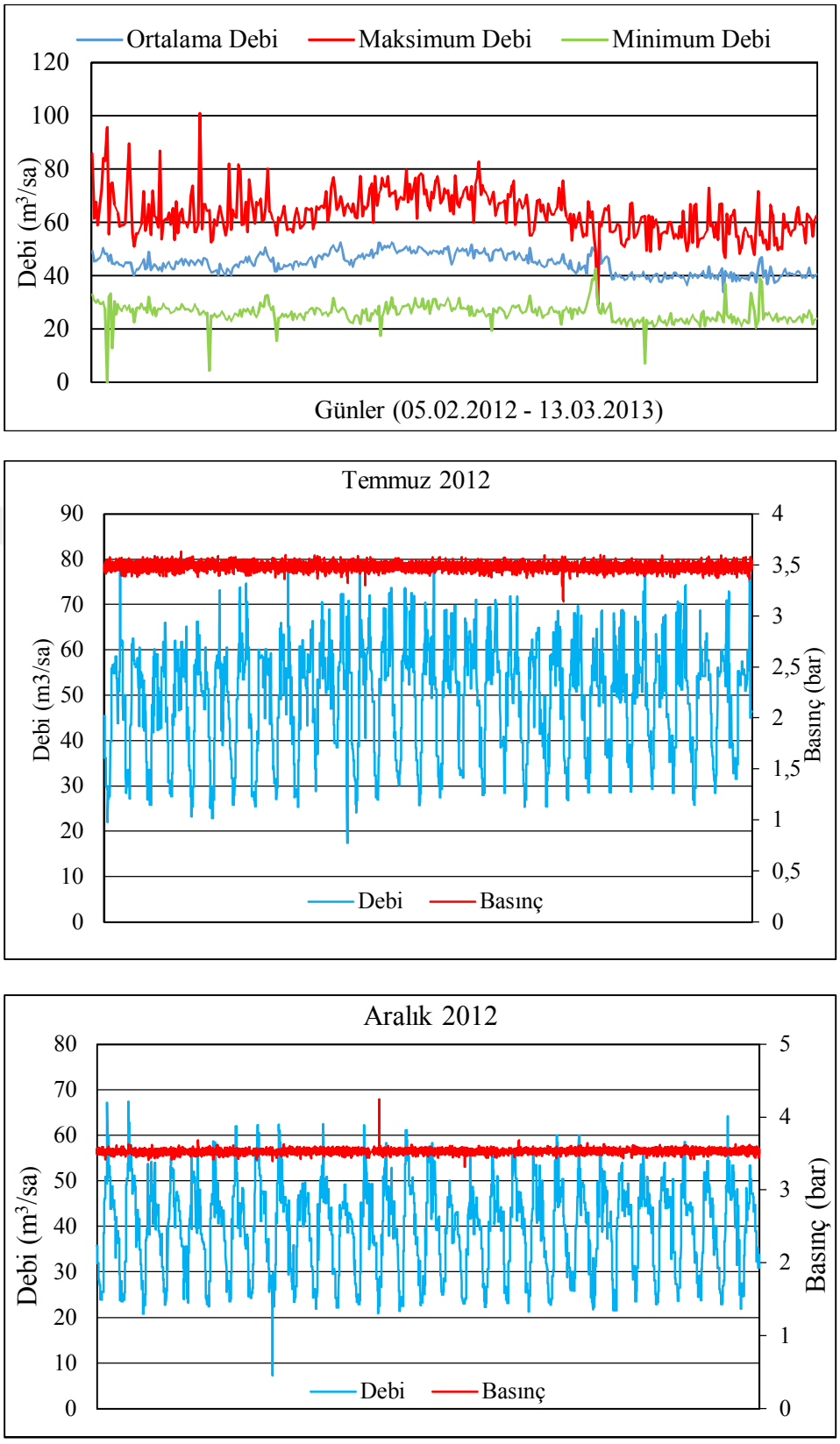
Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde yer alan diğer bazı alt bölgeler için alt bölge girişinde mevcut olan SCADA istasyonlarında bir yıl süresince izlenen günlük ortalama, maksimum ve minimum debiler ile maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Aralık aylarına ait 5 dakika aralıklı debi ve basınç değişimleri Şekil 4.3- Şekil 4.7'de sunulmaktadır. Şekillerde görülen ani basınç düşmesi ve debi artmasına ait değişimler, içmesuyu şebekesinde gözlenen boru patlakları, su kesintileri ve SCADA istasyonu ile bağlantının kesilmesinden kaynaklanmaktadır. Ek olarak, bazı alt bölgelerin girişinde basınç kırıcı vanalar mevcut olduğundan izlenen basınç seviyeleri çok az değişim sergilemektedir. 2011 yılına ait verilerden elde edilen ortalama, minimum ve maksimum debi ve basınç değerleri Çizelge 4.1'de özetlenmektedir. 2011 yılına ait minimum debiler 0,30 – 54,26 m^3/sa, maksimum debiler 24,15 – 428,37 m^3/sa arasında kaydedilmiştir. Konyaaltı bölgesindeki 18 alt bölgede 2011 yılında izlenen minimum su basıncı 2,95 – 4,57 bar, ortalama su basıncı 2,99 – 5,50 bar ve maksimum su basıncı 3,12 – 6,32 bar olarak kaydedilmiştir. Sunulan verilerden izlendiği şekilde içmesuyu şebekesindeki mevcut su basıncı oldukça yüksektir.

Çizelge 4.1. Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde oluşturulan alt bölgeler için 2011 yılına ait verilerden elde edilen debi ve basınç değişimleri

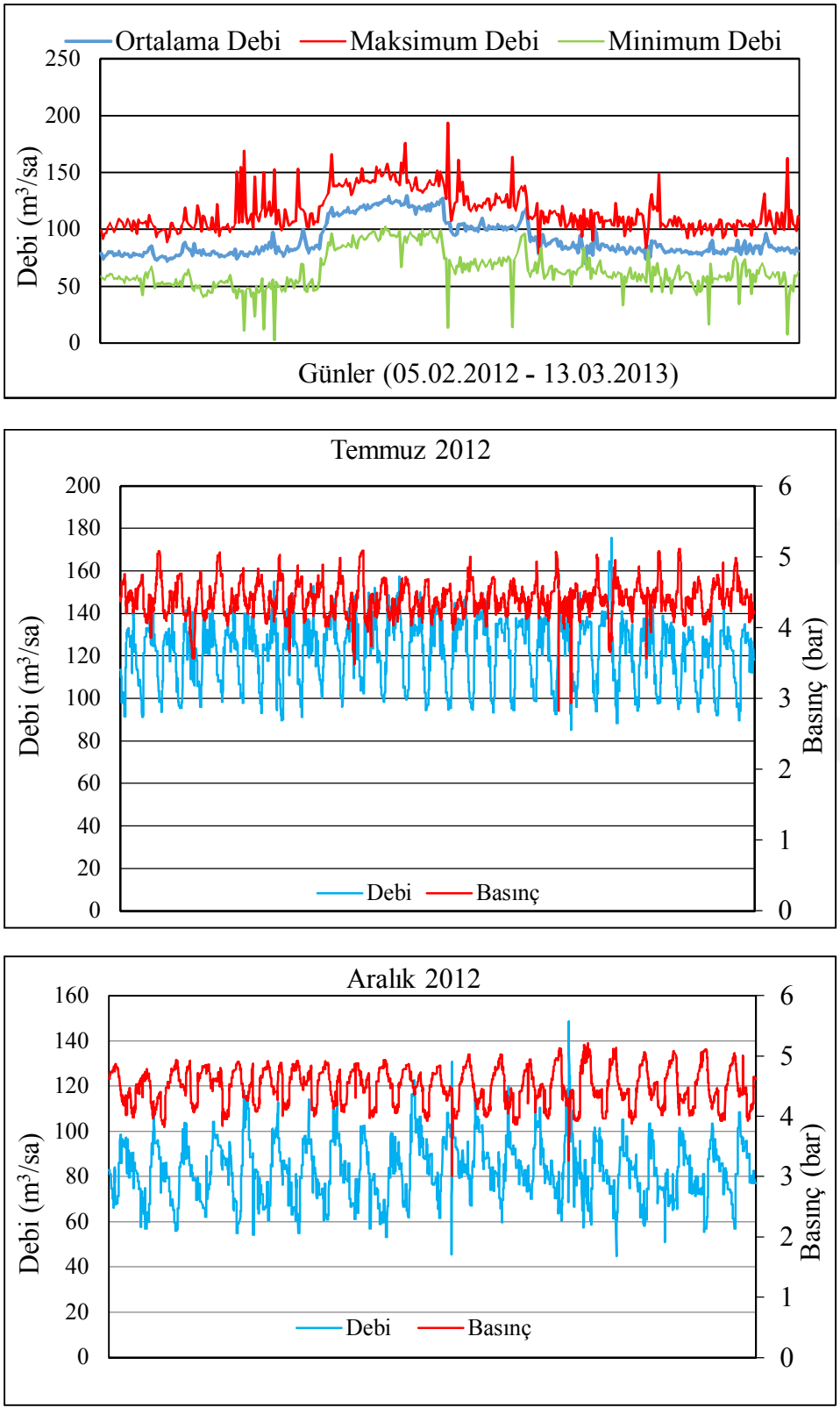
Alt Bölge No (DMA)	Debi (m^3/sa)			Basınç (bar)		
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum
DMA-1	8,13	14,86	103,41	4,40	5,27	5,80
DMA-2	24,43	62,14	108,96	2,95	2,99	3,12
DMA-3	19,34	53,75	137,84	4,28	4,80	5,06
DMA-4	22,57	63,00	147,08	3,73	4,99	5,84
DMA-5	11,36	35,56	67,47	3,71	4,79	5,57
DMA-6	12,48	52,94	113,97	3,72	4,86	5,60
DMA-7	50,31	171,24	428,37	3,74	4,78	5,57
DMA-8	46,89	89,46	165,08	3,75	4,75	5,63
DMA-9	54,26	135,26	210,20	3,42	5,50	6,32
DMA-10	4,06	10,06	25,46	3,72	5,28	5,89
DMA-11	0,30	6,49	24,15	3,82	5,26	5,86
DMA-12	3,72	9,53	24,52	3,68	5,23	5,80
DMA-13	32,50	71,88	136,53	3,68	5,23	5,80
DMA-14	3,84	21,22	55,84	3,68	5,23	5,84
DMA-15	9,63	26,72	109,21	3,66	5,22	5,84
DMA-16	9,84	22,14	51,22	4,57	5,03	5,93
DMA-17	10,23	38,30	86,64	3,82	5,27	5,76
DMA-18	6,77	27,06	56,61	3,97	5,18	5,83



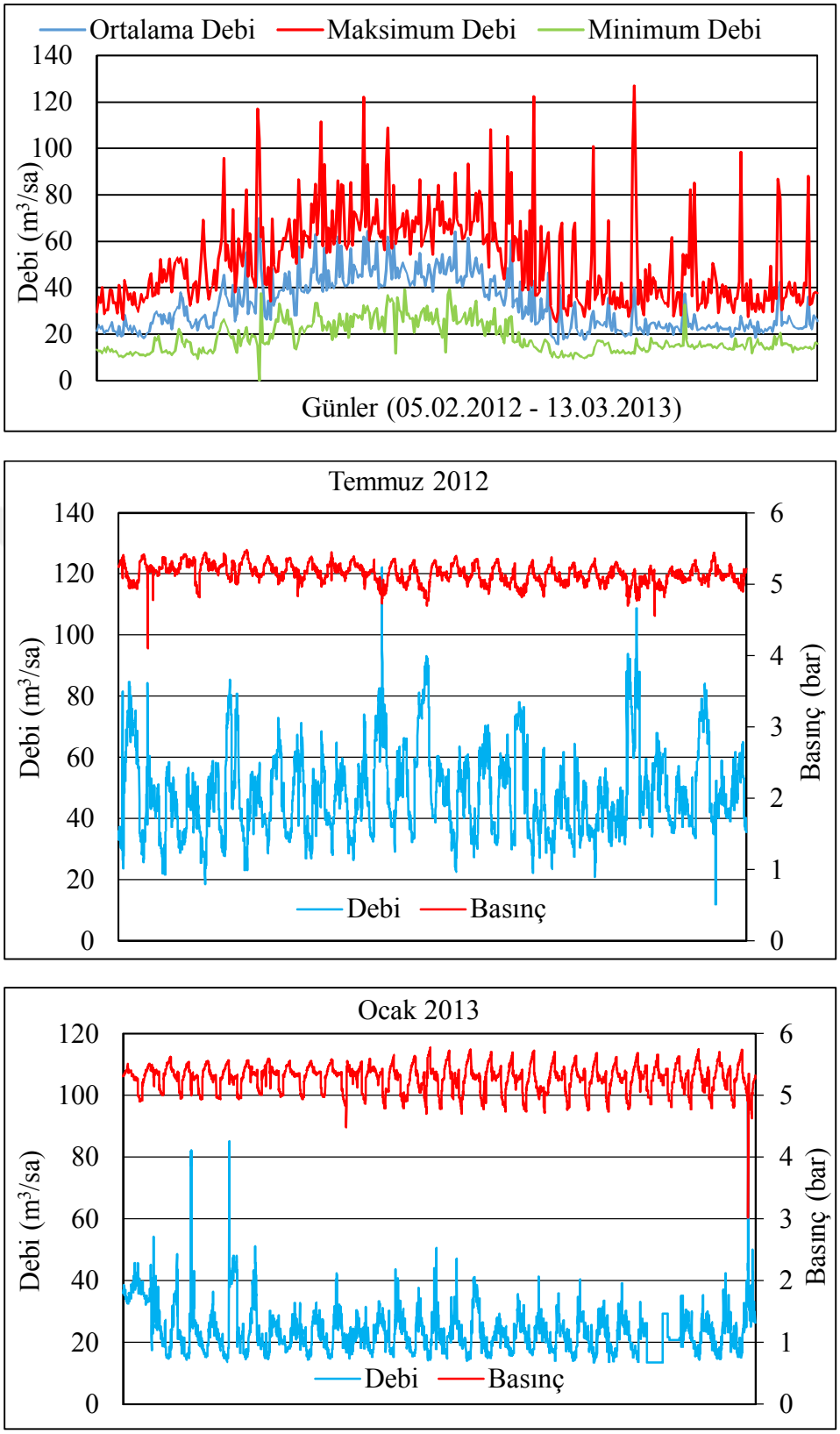
Şekil 4.3 DMA-4 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Aralık ayları için debi ve basınç değişimleri



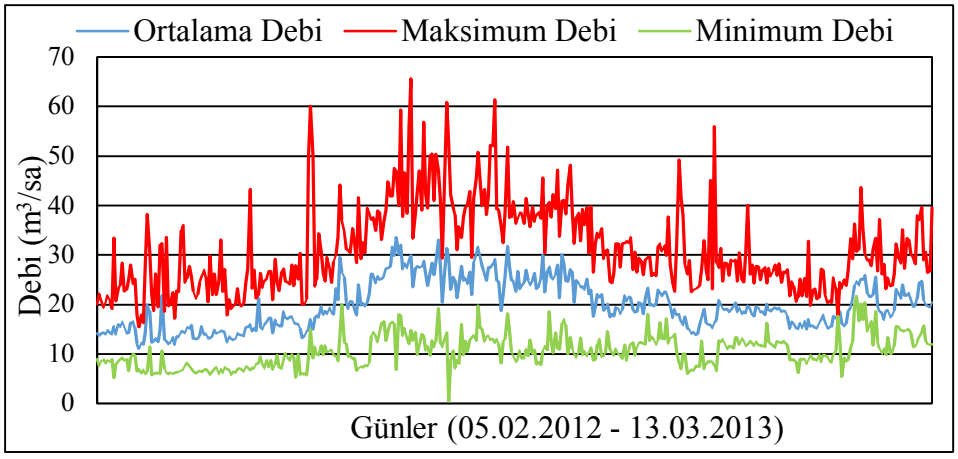
Şekil 4.4. DMA-6 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Aralık ayları için debi ve basınç değişimleri

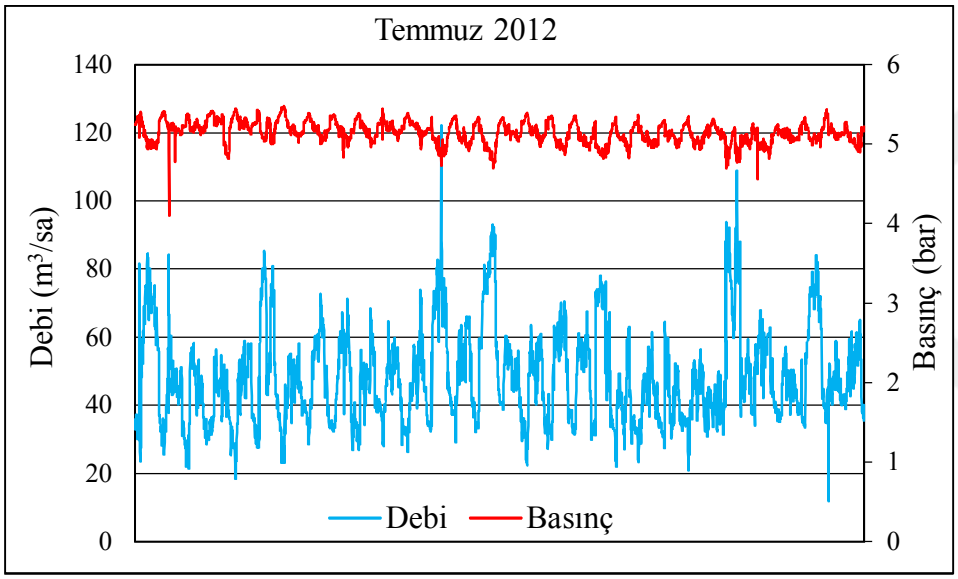


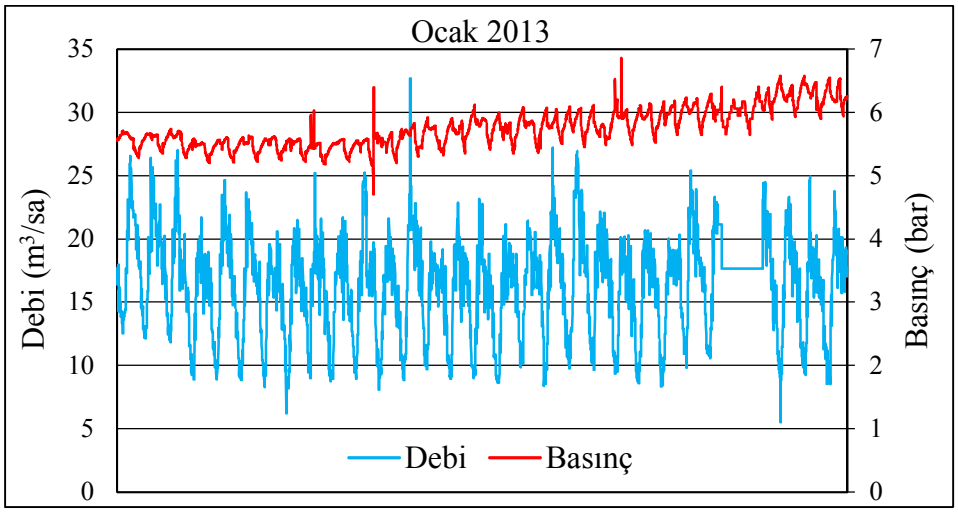
Şekil 4.5. DMA-8 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Aralık ayları için debi ve basınç değişimleri



Şekil 4.6. DMA-17 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Ocak ayları için debi ve basınç değişimleri







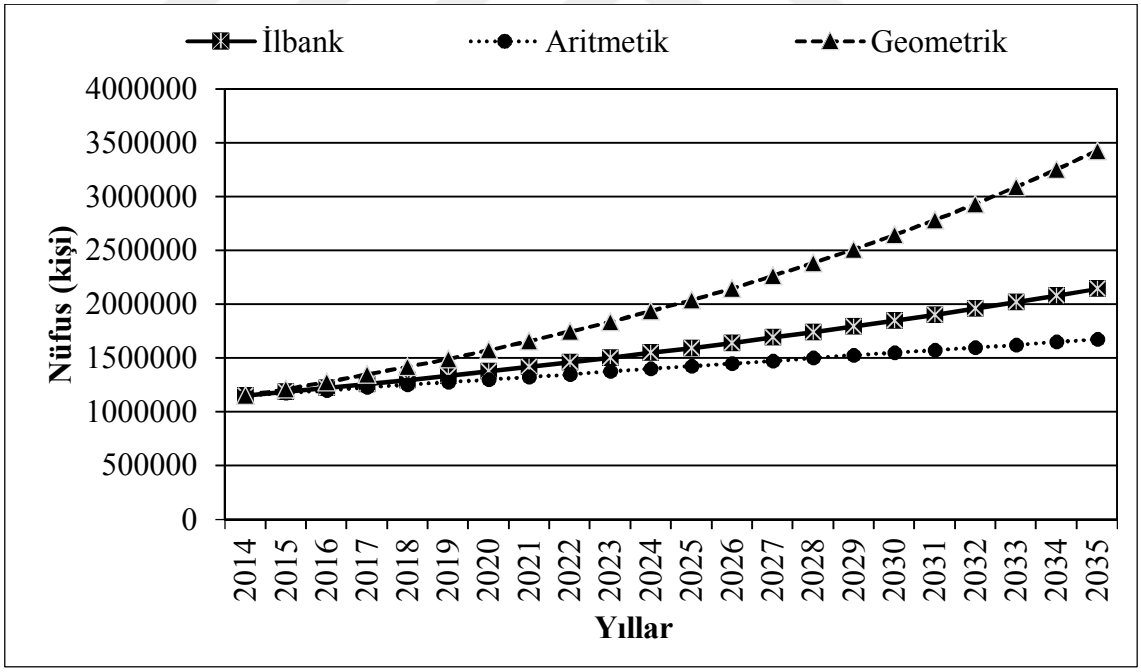
Şekil 4.7. DMA-18 için yıllık debi değişimleri, maksimum ve minimum su tüketimlerinin olduğu Temmuz ve Ocak ayları için debi ve basınç değişimleri

3.2. Gelecek Yıllar için İçmesuyu Temin Sisteminde Su Basıncı Değişimlerinin, Fazla Basınç Miktarlarının ve Debi Değerlerinin Tahmin Edilmesi

Antalya kenti içmesuyu temin sisteminde fazla basıncın kırıldığı bölgelerde gelecek yıllardaki nüfus ve su talebi projeksiyonları sonucunda oluşması beklenen su basıncı değerleri, fazla basınç miktarları ve debiler WaterGEMS modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu kapsamda Antalya içmesuyu dağıtım şebekesi içerisinde fazla basıncın mevcut olduğu ve basınç kırıcı vanalar ile fazla basıncın düşürüldüğü Konyaaltı bölgesi pilot saha olarak seçilmiş ve belirtilen tüm incelemeler Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde oluşturulan alt bölgeler için gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya ilişkin temel bilgiler ve bulgular aşağıda verilmektedir.

3.2.1. Nüfus tahminleri

Çalışma kapsamında ilk olarak gelecek yıllardaki nüfus verilerini elde etmek üzere Antalya ili için 1935 yılından itibaren yapılan düzenli nüfus sayım verileri kullanılarak 2035 yılına kadarki dönem için nüfus projeksiyonları yapılmıştır. Nüfus projeksiyonu için üç farklı yöntem (aritmetik artış, geometrik artış ve İller Bankası yöntemi) kullanılmış ve elde edilen nüfus tahminleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

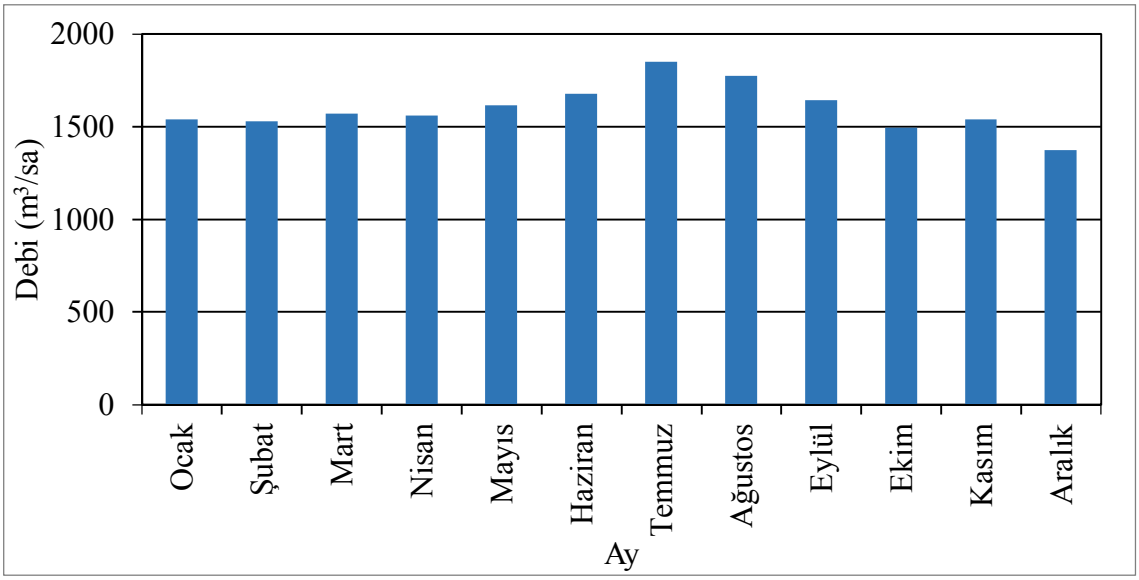


Şekil 4.8. Antalya ili için nüfus projeksiyonu

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından Antalya ili için nüfus artış oranları 2012-2013 yılı için ‰30,9; 2013-2014 yılı için ‰29,4 olarak verilmiştir (TÜİK, 2015). Yapılan çalışmalar ve TÜİK verileri değerlendirilerek Antalya İli nüfus artış hızı ‰30 olarak kullanılmıştır.

3.2.2. Su tüketim tahminleri

Nüfus artış oranları kullanılarak Konyaaltı içme suyu dağıtım şebekesindeki 18 alt bölgenin her biri için su talebi artış oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların yapılması için her alt bölge girişindeki verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler 2010 yılı için ASAT-SCADA biriminden temin edilmiştir. 2010 yılı için Konyaaltı çalışma bölgesine temin edilen aylık ortalama su debileri Şekil 4.9'da sunulmaktadır. 2010 yılına ait veriler incelendiğinde Konyaaltı bölgesinde en yüksek su tüketiminin Temmuz ayında, en düşük su tüketiminin ise Aralık ayında gerçekleştiği görülmektedir. En yüksek su tüketiminin gerçekleştiği Temmuz ayı içerisinde normal kullanım koşulları altında en yüksek su tüketiminin gerçekleştiği 48 saatlik zaman dilimi 20-21 Temmuz olarak tespit edilmiştir.



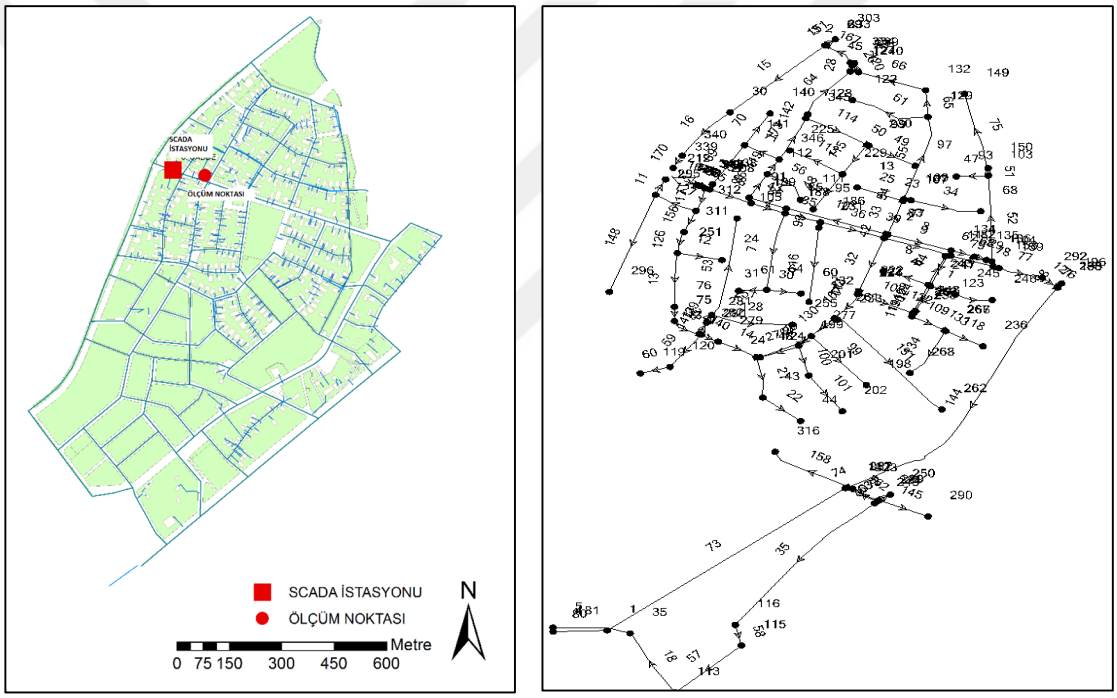
Şekil 4.9. Konyaaltı bölgesine 2010 yılında temin edilen aylık ortalama debi değerleri (TÜBİTAK 2011, Karadirek vd 2014)

3.2.3. Hidrolik model kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları

Konyaaltı bölgesi içmesuyu dağıtım şebekesinde WaterGEMS hidrolik modelinin kullanımı ile yapılan çalışmalarda, kalibrasyonu ve doğrulaması daha önce EPANET yazılımı ile gerçekleştirilmiş olan girdi dosyaları kullanılmıştır. Model kalibrasyon ve doğrulamasına ilişkin çalışma sonuçları daha önce tamamlanan proje ve yayınlarda detaylı olarak yer almıştır (TÜBİTAK 2011, Karadirek vd 2012, Karadirek vd 2016).

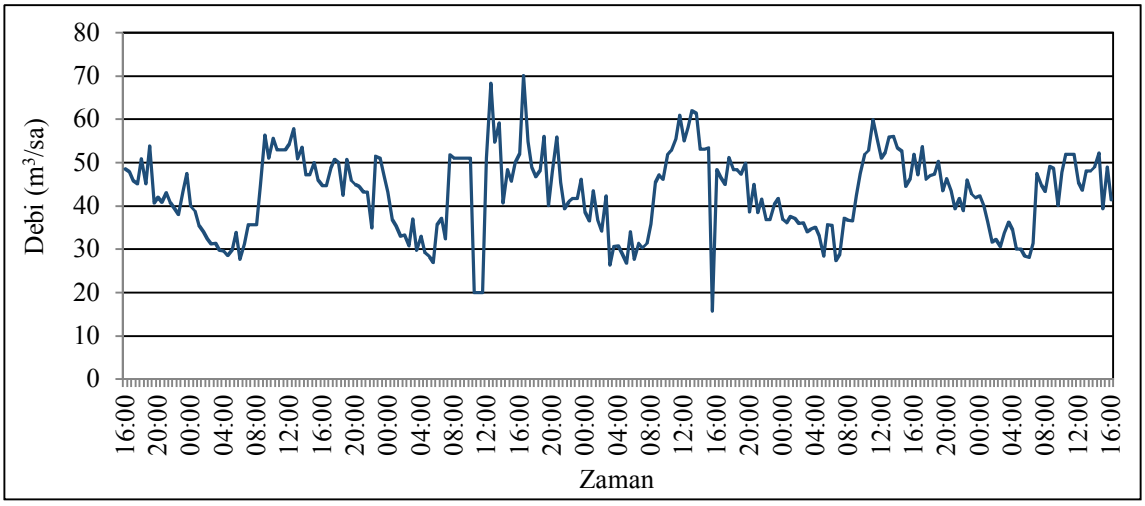
WaterGEMS hidrolik modelinin kullanımı ile hidrolik model kalibrasyonu ve doğrulaması çalışması yenilenmiştir. Bu çalışma kapsamında saha ölçümleri, EPANET modeli tahminleri ve WaterGEMS modeli tahminleri kıyaslanmış ve boru cidar pürüzlülük katsayısının belirlenmesine yönelik kalibrasyon çalışması tekrar edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, daha önceki çalışmalarda 23.12.2009 – 28.12.2009 tarihleri arasındaki 120 saatlik süre için EPANET yazılımı ile gerçekleştirilen boru cidar pürüzlülük katsayısının belirlenmesine yönelik kalibrasyon çalışması, WaterGEMS yazılımı ile tekrar gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon çalışması Konyaaltı içmesuyu şebekesinin 6. Alt bölgesinde (DMA-6) 120 saatlik süre için gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasının (6. alt bölge) görselleri Şekil 4.10'da verilmektedir. Hidrolik modelin uygulandığı süre boyunca sahada basınç ölçümleri yapılmış ve model basınç tahminleri ile basınç ölçümleri kıyaslanmıştır. 23.12.2009 – 28.12.2009 tarihleri arasında 6. alt bölgeye verilen ve model girdisi olarak kullanılan debi değerleri Şekil 4.11'de verilmektedir. Hidrolik model kalibrasyonu çalışması kapsamında farklı pürüzlülük katsayıları için model tahminleri ile saha ölçümleri kıyaslanmış ve ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmıştır. Farklı pürüzlülük katsayıları için elde edilen ortalama mutlak hata değerleri Şekil 4.12'de verilmektedir.

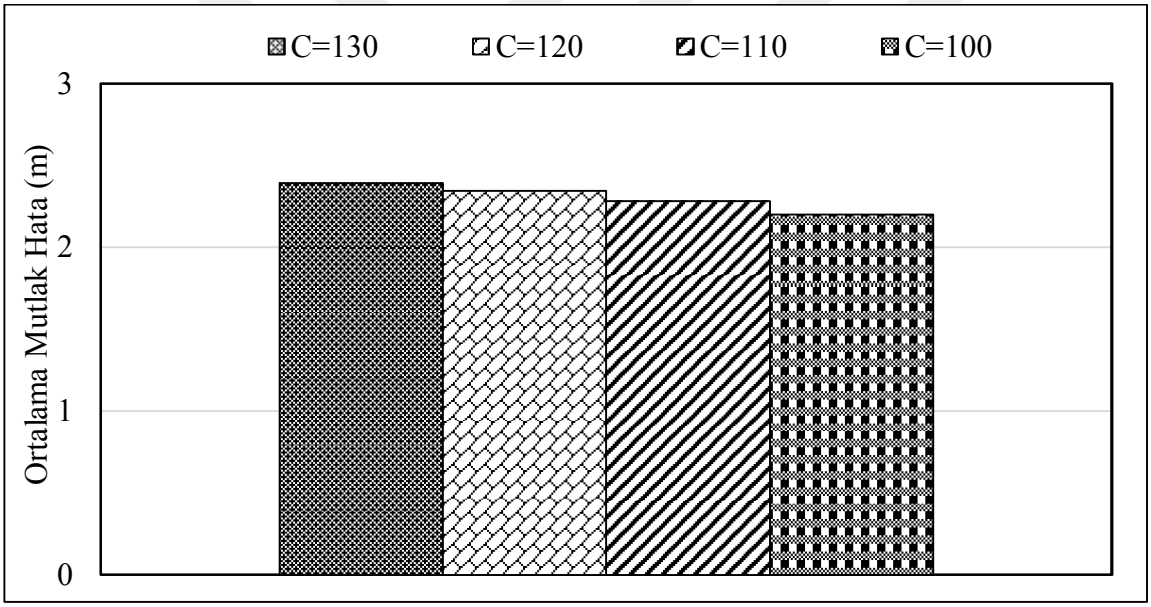


a) b)

Şekil 4.10. Alt bölge 6 için a) Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) görseli, b) hidrolik model ekran görüntüsü

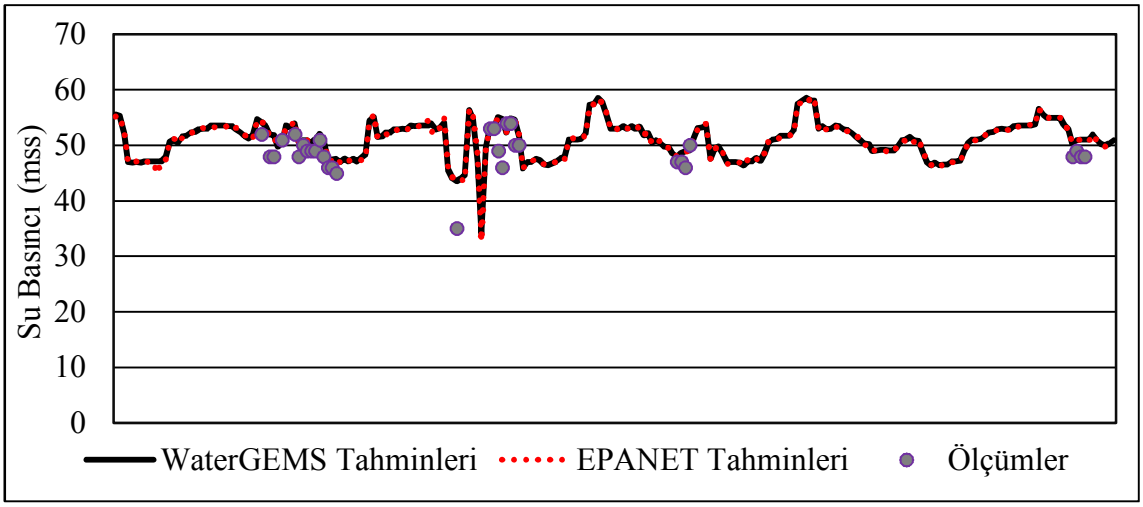


Şekil 4.11. 23.12.2009 – 28.12.2009 tarihleri arasında 6. alt bölge için elde edilen debi değerleri (Başlangıç saati: 16:00) (TÜBİTAK 2011, Karadirek 2014)



Şekil 4.12. Farklı Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları (C) için model tahminleri ile saha ölçümleri arasındaki ortalama mutlak hata değerleri

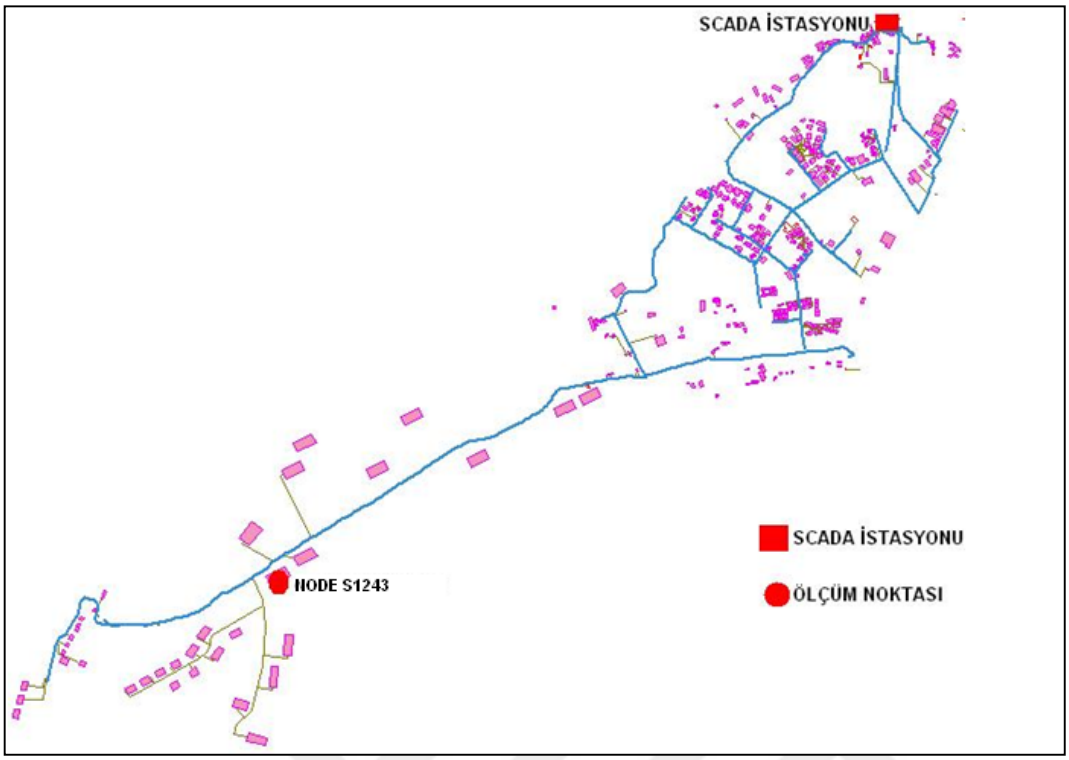
Kalibrasyon çalışmasında en düşük ortalama mutlak hata değeri, nispeten eski boruların yer aldığı içmesuyu şebekesi alt bölgesi için Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı C=100 değeri için elde edilmiştir. Bu kapsamda EPANET model tahminleri, WaterGEMS model tahminleri ve saha ölçümlerine ait kıyaslama Şekil 4.13'te verilmektedir.



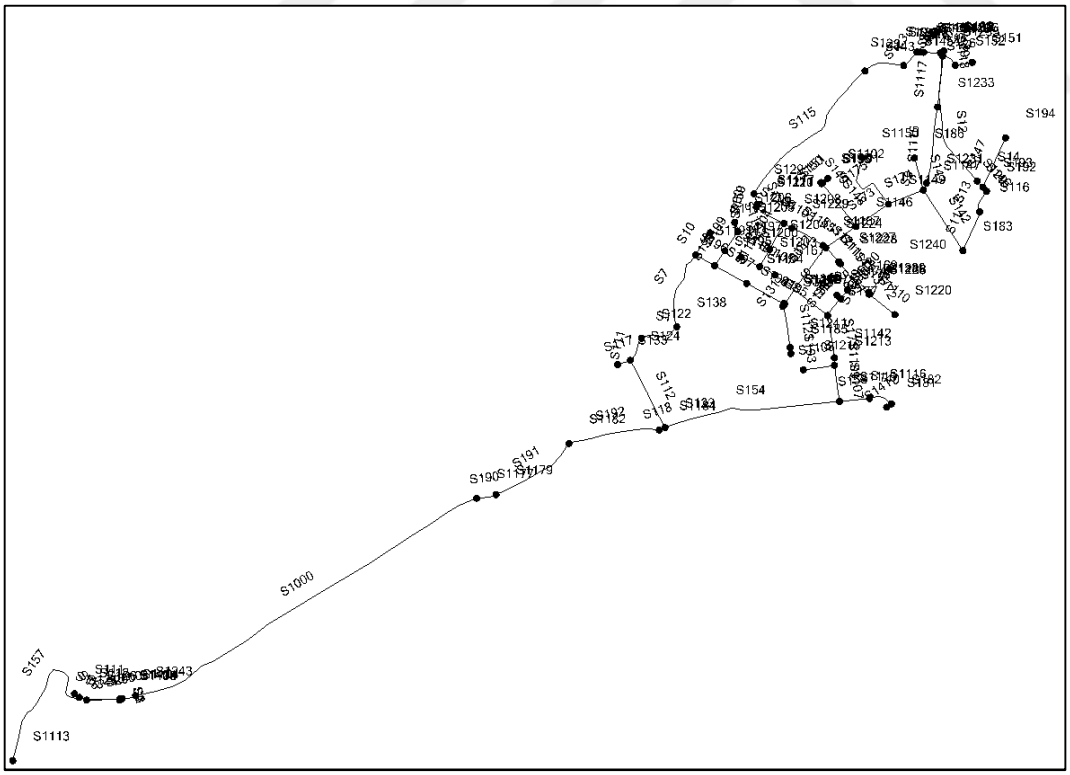
Şekil 4.13. 23.12.2009 – 29.12.2009 tarihleri için elde edilen EPANET ve WaterGEMS yazılımları basınç tahminleri ile saha ölçümleri (Başlangıç Saati: 16:00)

Her bir alt bölge için sürtünme kaybının belirlenmesini sağlayan boru pürüzlülük katsayısı belirlendikten sonra bu katsayıların doğrulanması gerekmektedir. Hidrolik çözümlemede Hazen-Williams eşitliği kullanılmıştır. Model kalibrasyonu ve doğrulaması çalışmalarında sahada ölçülen basınç değerleri ile hidrolik modelden tahmin edilen su basıncı değerleri karşılaştırılmıştır. Model kalibrasyonu ve doğrulaması çalışmaları sonucunda Konyaaltı içmesuyu dağıtım şebekesinde oluşturulan alt bölgeler için boru pürüzlülük katsayısı eski borular için 100, yeni borular için 120 olarak tespit edilmiştir (TÜBİTAK 2011, Karadirek vd 2012).

Çalışma sahasının (18. alt bölge) görselleri Şekil 4.14'te verilmektedir. Bu çalışma sırasında alt bölgede seçilen bir noktada (Şekil 4.14b'de Node S1243) basınç ölçümleri gerçekleştirilmiş ve model tahminleri ile ölçümler kıyaslanmıştır. Ayrıca bu süre içerisinde yangın musluğu açılarak model yetenekleri de test edilmiştir. Hidrolik model doğrulama çalışması kapsamında 36 saatlik modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasına temin edilen ve model girdisi olarak kullanılan debi değerleri Şekil 4.15'te verilmektedir.

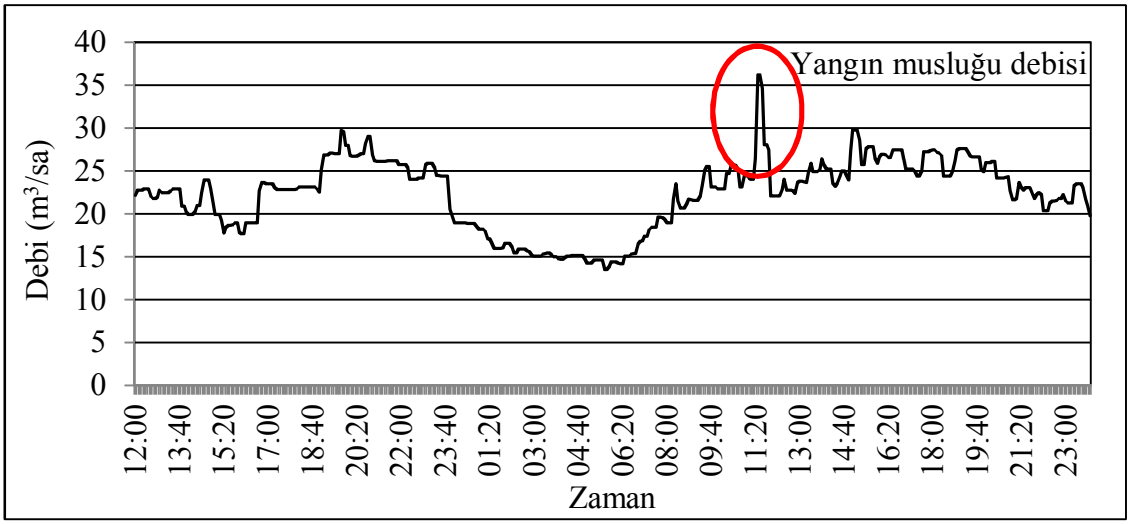


(a)



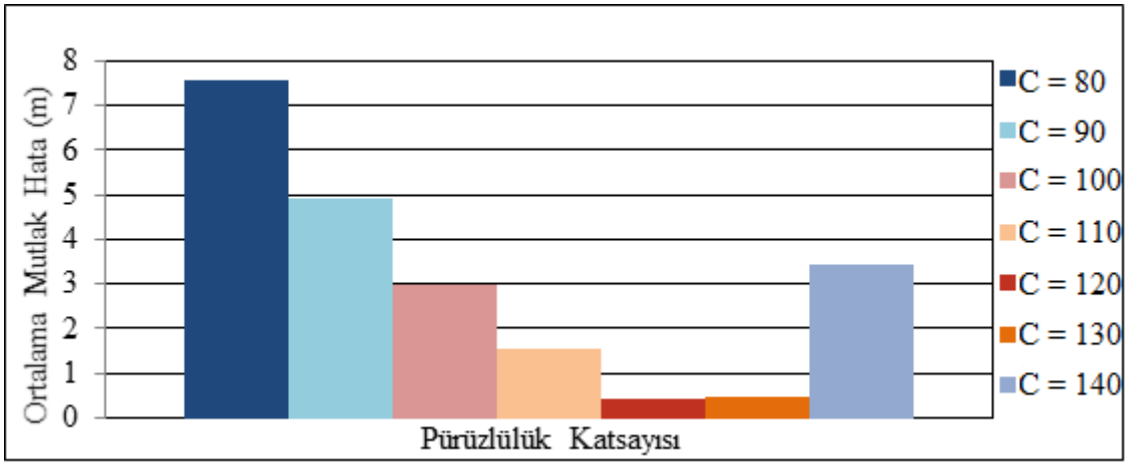
b)

Şekil 4.14. Alt bölge 18 için a) CBS görseli, b) hidrolik model ekran görüntüsü

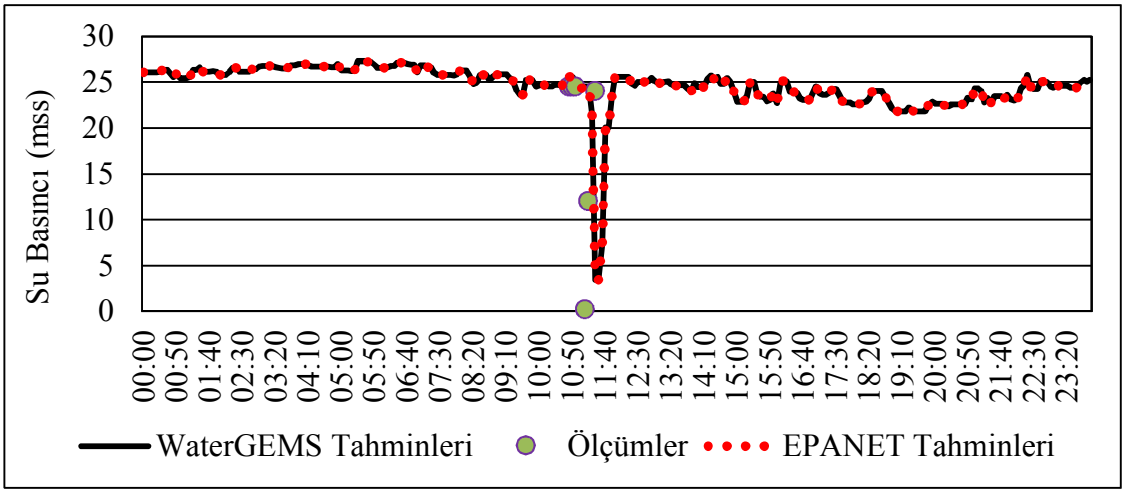


Şekil 4.15. 05.04.2010 – 06.04.2010 tarihlerinde 18. alt bölge için elde edilen debi değerleri (Başlangıç saati: 12:00) (TÜBİTAK 2011, Karadirek 2014)

Doğrulama çalışması için hidrolik model tahminleri ile saha ölçümleri karşılaştırılmış, her bir pürüzlülük katsayısı için ortalama mutlak hatalar hesaplanmıştır. Bu doğrulama çalışması ile Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı ortalama mutlak hatanın en düşük olduğu değer olan C=120 olarak belirlenmiştir. Farklı pürüzlülük katsayıları için elde edilen ortalama mutlak hata değerleri Şekil 4.16'da verilmektedir. Bu kapsamda EPANET model tahminleri, WaterGEMS model tahminleri ve saha ölçümlerine ait kıyaslama Şekil 4.17'de verilmektedir.



Şekil 4.16. Farklı pürüzlülük katsayıları için model tahminleri ile saha ölçümleri arasındaki ortalama mutlak hata değerleri



Şekil 4.17. 06.04.2010 tarihleri için elde edilen EPANET ve WaterGEMS yazılımları basınç tahminleri ile saha ölçümleri (Başlangıç Saati: 00:00)

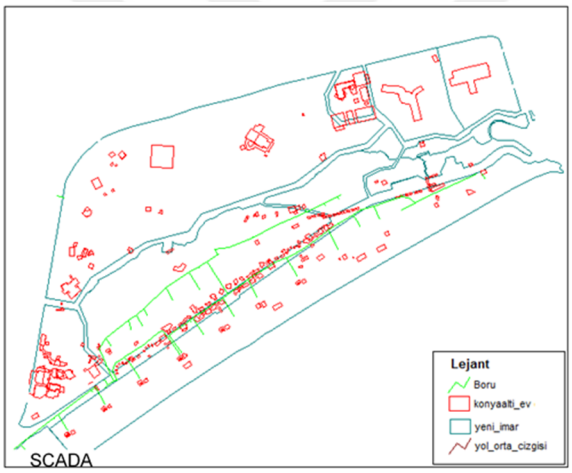
3.3. Yönetim ve Senaryo Analizleri

Bu bölümde, kalibrasyonu ve doğrulaması tamamlanmış olan hidrolik modelin kullanılması ile Antalya Konyaaltı bölgesi içmesuyu dağıtım şebekesinde pompa türbin (PAT) kullanılarak fazla su basıncının kırılmasıyla meydana gelecek fiziki su kayıplarındaki azalma ve enerji üretim potansiyelinin araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma bölgesine ait 2010 yılı verileri kullanılarak 2020, 2030 ve 2040 yılları için nüfus projeksiyonu ve su tüketim tahminleri gerçekleştirilmiştir. Artan su tüketimleri ile çalışma bölgesinde optimum su basıncının tahmini için hidrolik modelleme çalışması gerçekleştirilmiş, hidrolik model sonuçları kullanılarak fazla su basıncının azaltılması durumunda fiziki su kayıplarındaki azalma miktarı hesaplanmıştır. Aynı zamanda fazla basıncın PAT kullanılarak azaltılması ile potansiyel elektrik üretimi hesaplanmıştır. Çalışma alanı olan Konyaaltı bölgesinde 18 alt bölgenin hepsinde fazla basınç bulunmamaktadır. Fazla basıncın bulunduğu bölgelerde PRV kullanılarak bu fazla basınç düşürülmektedir. Daha önce gerçekleştirilmiş olan hidrolik modelleme çalışmaları incelendiğinde fazla basıncın olduğu alt bölgeler DMA-1, DMA-2, DMA-6, DMA-8, DMA-10, DMA-11, DMA-12, DMA-15, DMA-16 olarak belirlenmiştir (Karadirek vd 2012). DMA-1, turizm faaliyetlerinin gerçekleştiği, bir adet 5 yıldızlı otel, su parkı, restoran, kafeterya ve barların bulunduğu küçük bir alt bölgedir. DMA-1'de evsel kullanım söz konusu olmadığından bölgede nüfus artışı gerçekleşmeyeceği öngörülmektedir. Ancak bölgedeki faaliyetlerin gelişmesi durumunda su kullanımlarında bir artış gerçekleşebilecektir. Bu artışın da nüfus artış oranı kadar olacağı kabul edilmiştir. DMA-2, DMA-6, DMA-8, DMA-10, DMA-11, DMA-12, DMA-15 ve DMA-16 ise evsel kullanımın yoğun olduğu ve kısmen turizm faaliyetlerinin gerçekleştiği alt bölgelerdir. Bu alt bölgeler incelendiğinde, bölgelerde kentleşmenin tamamlandığı ve dolayısı ile yoğun bir nüfus artışı gerçekleşmeyeceği öngörülmektedir. Fakat olağan dışı durumların da göz önünde bulundurulması amacı ile nüfus projeksiyonları gerçekleştirilmiştir. Fazla

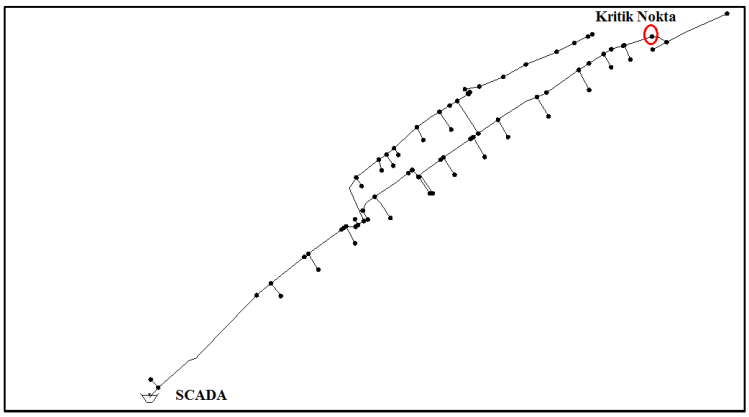
basıncın olduğu bu alt bölgeler için nüfus projeksiyonları ve su tüketimleri de dikkate alınarak, hidrolik modelleme çalışması ile fazla su basıncı miktarları belirlenmiş ve fazla basıncın düşürülmesi için PAT kullanımı potansiyeli incelenmiştir. Her bir alt bölgede su basıncı için kritik nokta ve alt bölge girişinde düşürülebilecek en uygun su basıncı tahmin edilmiştir. Fiziki su kayıplarının modellenmesi amacı ile her bir alt bölgede emitör katsayıları tespit edilmiştir. Bu kapsamda minimum gece debisi analizleri her bir alt bölge için yapılarak minimum gece debisinin %80'inin fiziki su kayıpları olduğu kabul edilmiştir (Kara, 2011). İlerleyen bölümlerde sırasıyla her alt bölge için gerçekleştirilen çalışmalar ve elde edilen bulgular sunulmaktadır.

3.3.1. Birinci alt bölge (DMA-1) çalışmaları

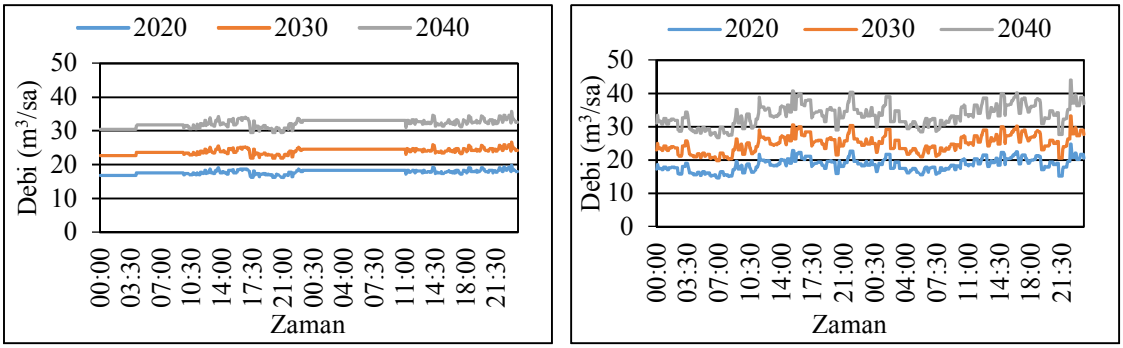
DMA-1 bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmektedir. Çalışma bölgesinde 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en düşük ve en yüksek su tüketimlerinin olduğu dönemlere ait veriler Şekil 4.20'de verilmektedir.



Şekil 4.18. DMA-1 içme suyu şebekesi için CBS görseli



Şekil 4.19. DMA-1 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi



Şekil 4.20. DMA-1 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)

Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları Çizelge 4.2'de sunulmaktadır.

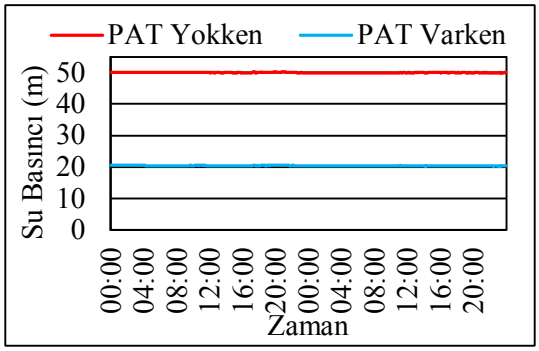
Çizelge 4.2. DMA-1 için tespit edilen emitör katsayıları

Dönem	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
Emitör	0,0205	0,0225	0,0273	0,0307	0,038	0,042

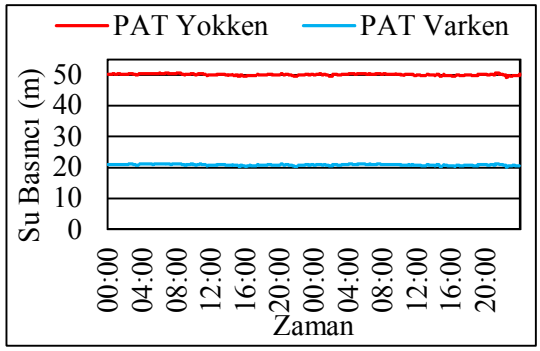
2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün olan en düşük su basıncı verileri Çizelge 4.3'te özetlenmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) ve en düşük su tüketim periyodu (kış dönemi: Aralık) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri Şekil 4.21'de verilmektedir. PAT kurulumu öncesi ortalama su basıncı değerleri SCADA verilerinden, PAT kurulumu sonrası su basıncı verileri ise hidrolik modelden elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-1 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

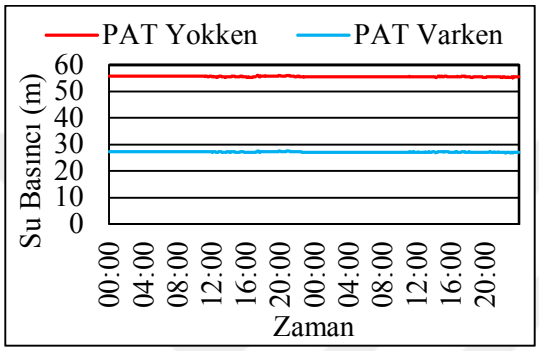
	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
PAT yokken ort. su basıncı (m)	54,03	53,9	54,03	53,9	54,03	53,9
PAT varken optimum su basıncı (m)	24,6	23,6	25,3	24,4	27,6	25,75



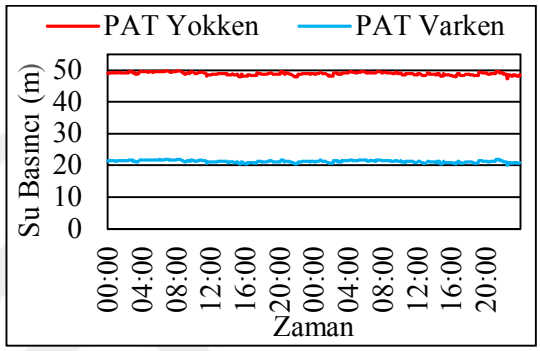
a) 2020 Kış dönemi



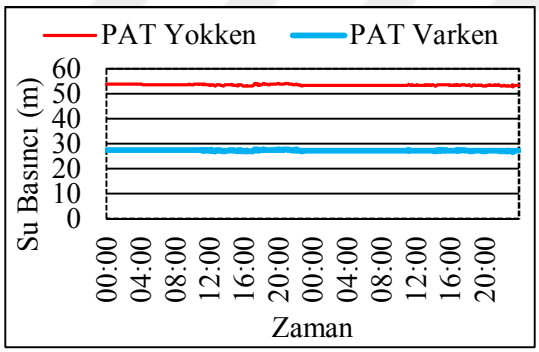
b) 2020 Yaz dönemi



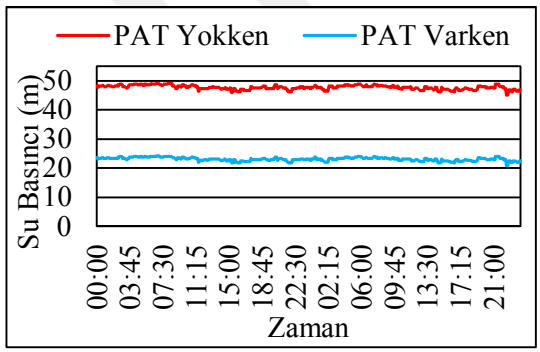
c) 2030 Kış dönemi



d) 2030 Yaz dönemi



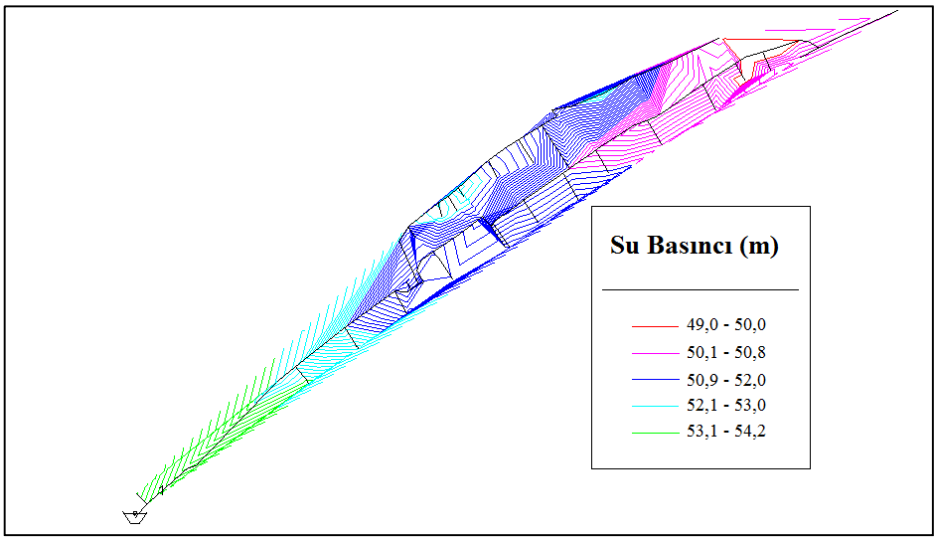
e) 2040 Kış dönemi



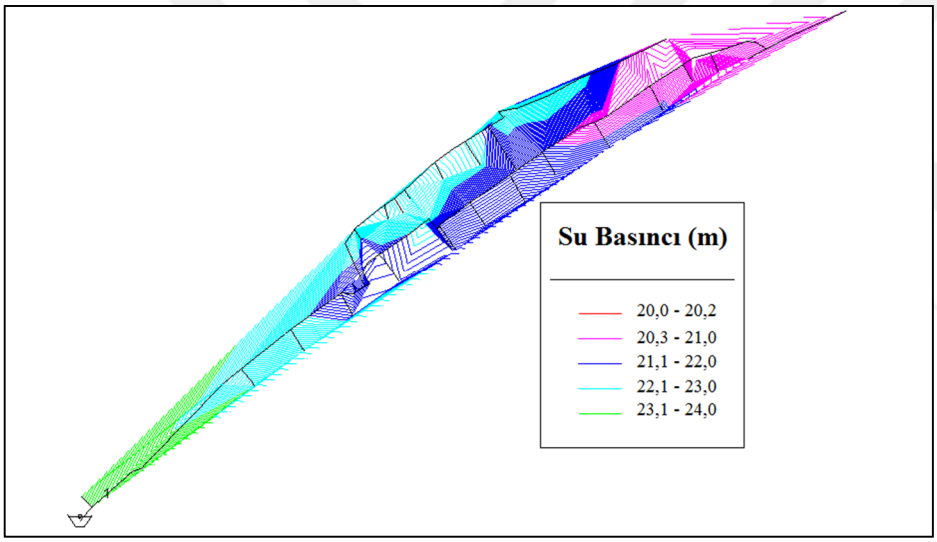
f) 2040 Yaz dönemi

Şekil 4.21. DMA-1 alt bölgesi için PAT yokken ve varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerine ait model tahminleri

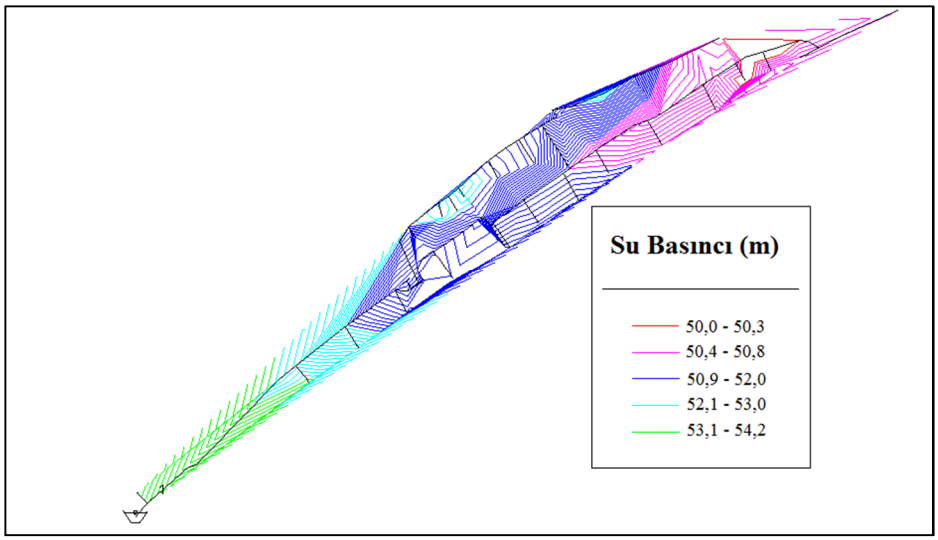
DMA-1 için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik olarak yapılan modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve PAT varken) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020, 2030 ve 2040 yılları için sırası ile Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmektedir. Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te görüldüğü üzere yaz ve kış dönemleri için PAT yokken durumunda kritik noktadaki su basıncı 50 mss seviyelerinde iken PAT sisteminin eklenmesi ile basıncın 20 mss seviyelerine düştüğü görülmüştür.



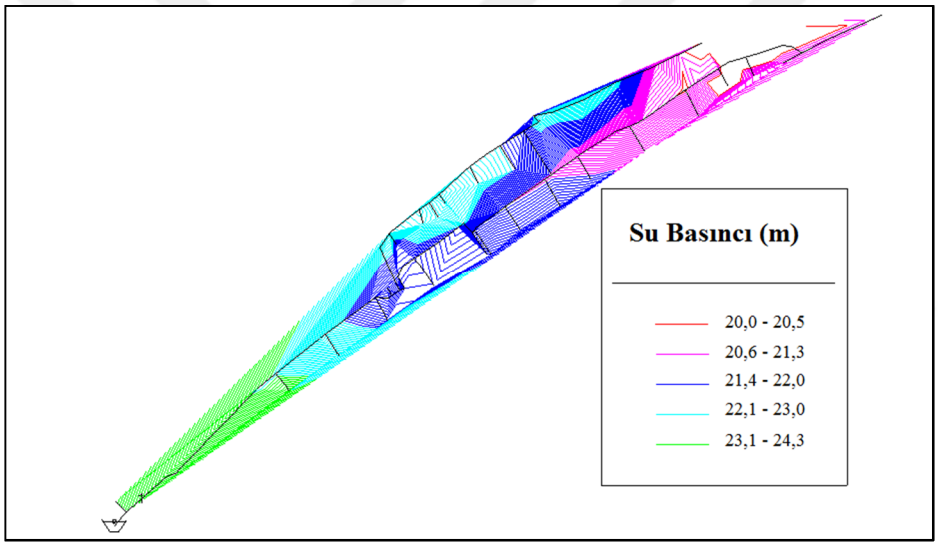
a) 2020 Kış dönemi PAT yokken



b) 2020 Kış dönemi PAT varken

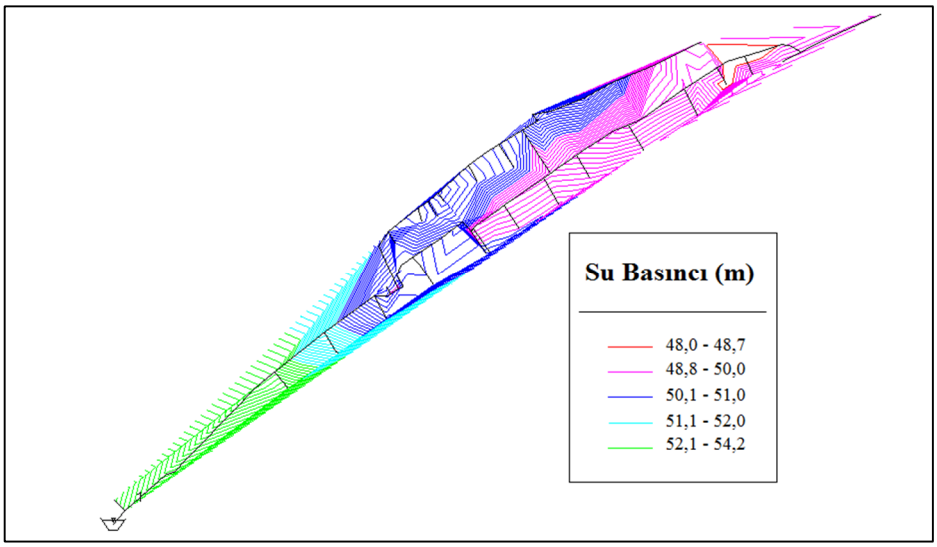


c) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

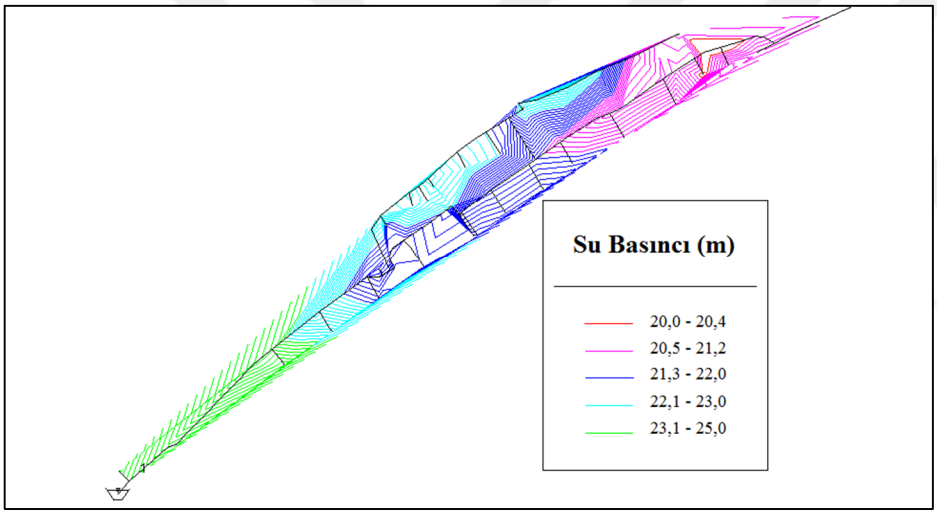


d) 2020 Yaz dönemi PAT varken

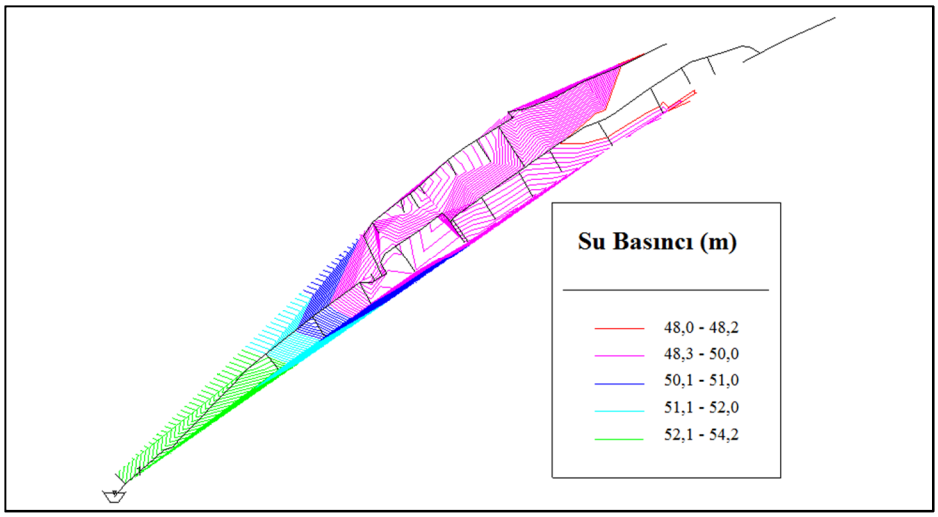
Şekil 4.22. DMA-1 alt bölgesi için 2020 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve PAT varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



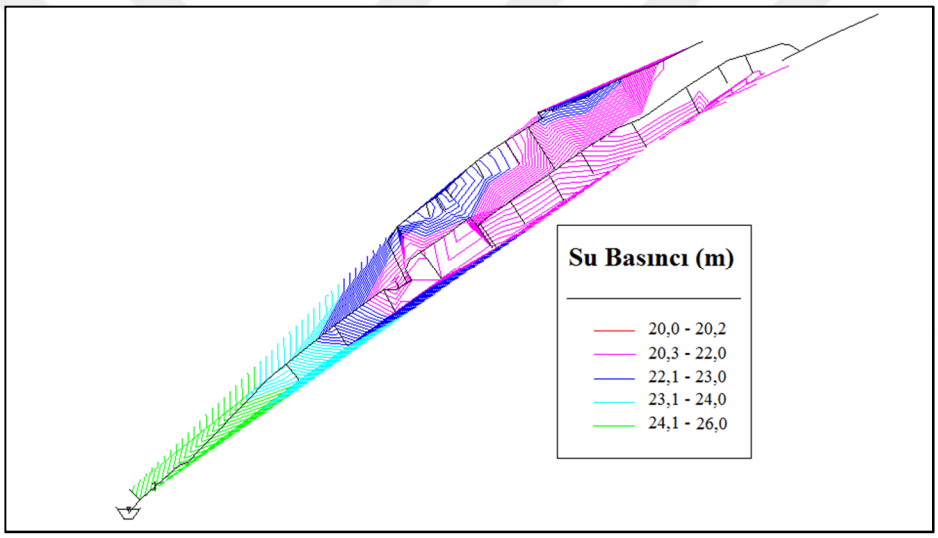
a) 2030 Kış dönemi PAT yokken



b) 2030 Kış dönemi PAT varken

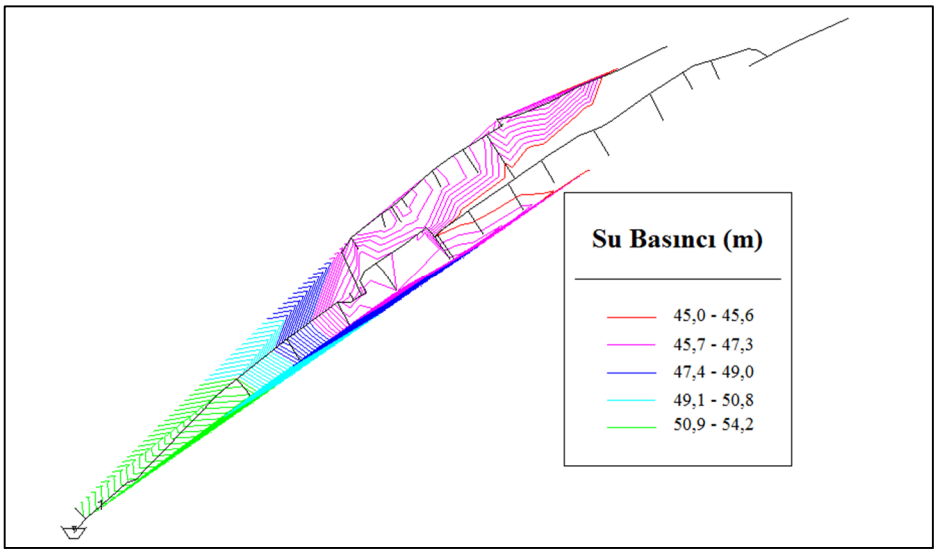


c) 2030 Yaz dönemi PAT yokken

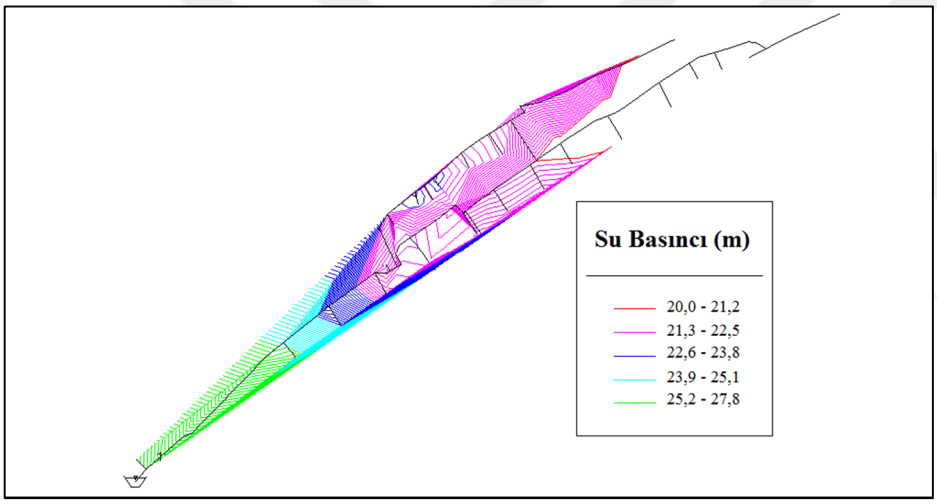


d) 2030 Yaz dönemi PAT varken

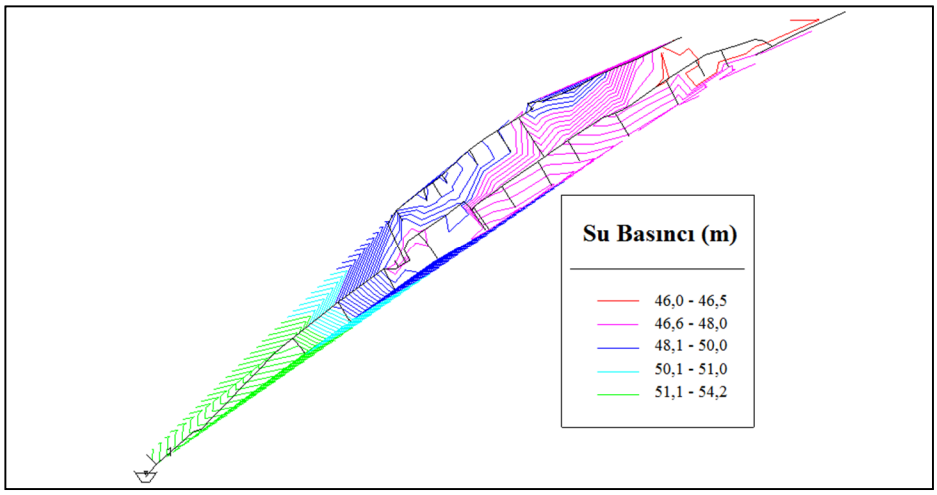
Şekil 4.23. DMA-1 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve PAT varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



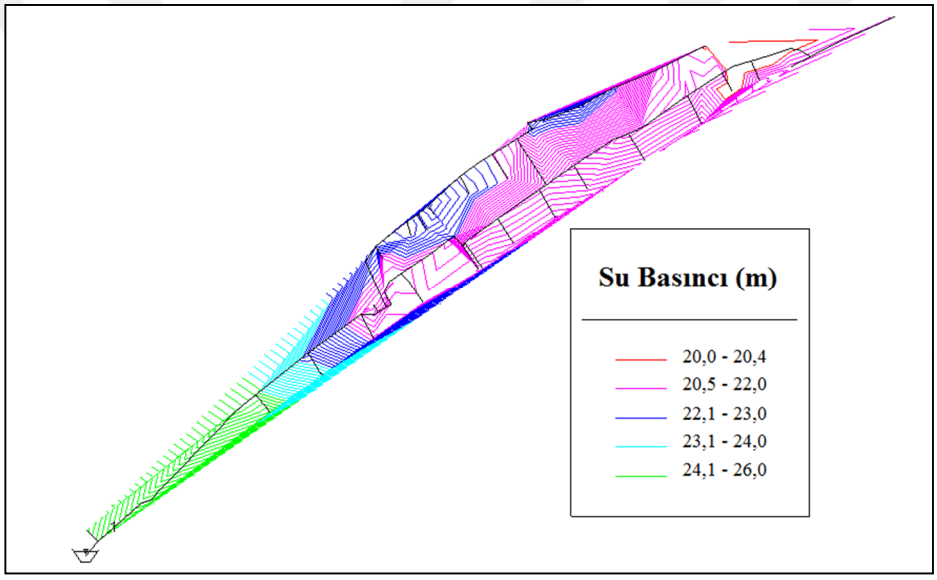
a) 2040 Kış dönemi PAT yokken



b) 2040 Kış dönemi PAT varken



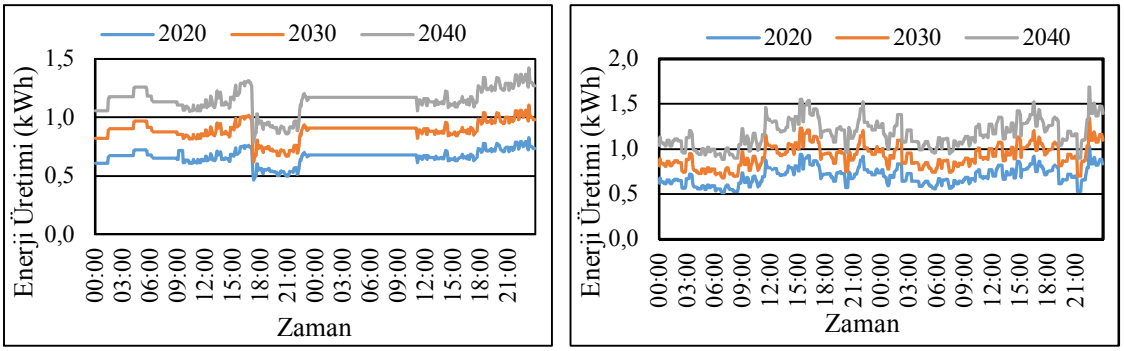
c) 2040 Yaz dönemi PAT yokken



d) 2040 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 4.24. DMA-1 alt bölgesi için 2040 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve PAT varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri

Alt bölge girişinde fazla su basıncının PAT kullanılarak azaltılması durumunda enerji üretim potansiyeli hesaplanmıştır. DMA-1 için tüm dönemler için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.25'te verilmiştir.



a) Kış dönemi b) Yaz dönemi

Şekil 4.25. DMA-1 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları

DMA-1 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.4'te verilmektedir. "PAT varken debi değeri" PAT sisteminin şebekeye eklenmesi durumundaki model tahminlerini ifade etmektedir. Şebeke girişinde basınç azaltıldığında su kaybı azalmaktadır. Buna bağlı olarak "PAT yokken debi" ve "PAT varken debi" değerleri arasındaki fark "ortalama su tasarrufu" değerini vermektedir. DMA girişindeki optimum su basıncı değeri ise su tüketiminin en yüksek olduğu anda kritik noktadaki basıncın 20 mss olmasını sağlayacak şebeke giriş basıncı olarak hidrolik model vasıtası ile tespit edilmektedir. "Fazla su basıncı" ise "PAT yokken ortalama su basıncı" ile "DMA girişinde optimum su basıncı" arasındaki fark alınarak bulunmuştur.

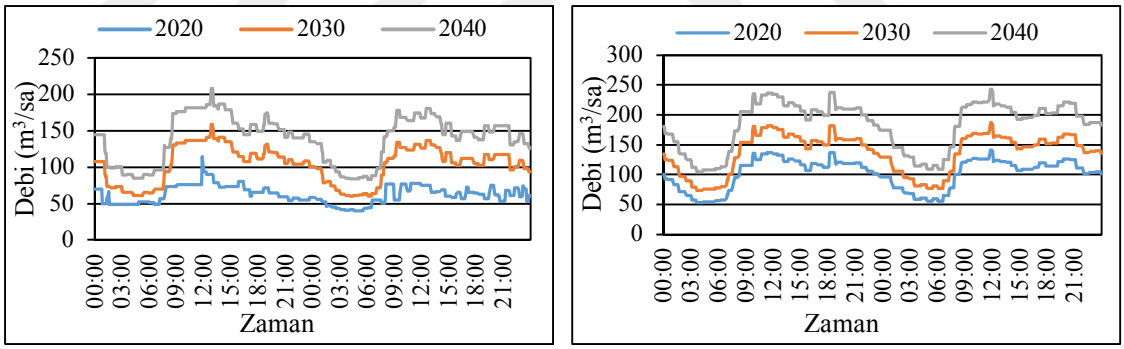
Çizelge 4.4. DMA-1 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

Yıl	Dönem	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	Kış	17,82	13,31	53,90	23,6	30,30	0,67	4,51
	Yaz	18,59	14,56	54,03	24,6	29,43	0,70	4,03
2030	Kış	24,03	18,09	53,90	24,4	29,50	0,89	5,94
	Yaz	24,68	19,59	54,03	25,3	28,73	0,92	5,09
2040	Kış	32,26	24,68	53,90	25,75	28,15	1,15	7,58
	Yaz	33,49	27,12	54,03	27,6	26,43	1,17	6,37

Bu alt bölgede fazla su basıncı gelecek yıllar içinde çok büyük değişiklik göstermediğinden ve gelecek yıllar için PAT varken durumu için debi değeri artacağından dolayı üretilebilecek ortalama enerjinin 2040 yılına kadar artış göstermesi beklenmektedir. Benzer şekilde ortalama su tasarrufu değerleri de artacaktır.

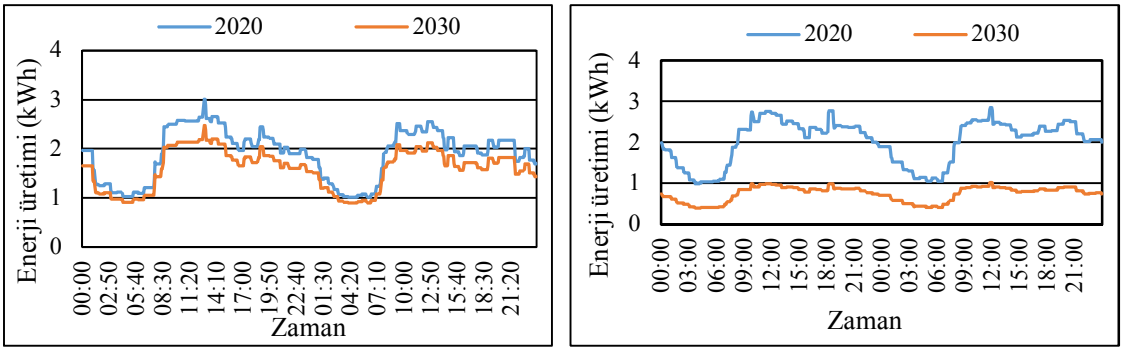
3.3.2. İkinci alt bölge (DMA-2) çalışmaları

DMA-2 bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile EK-1 Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de verilmektedir. Çalışma bölgesinde 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en düşük ve en yüksek su tüketimlerinin olduğu dönemlere ait veriler Şekil 4.26'da verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.1'de sunulmaktadır. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.2'de özetlenmiştir. DMA-2 için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik olarak yapılan modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve varken) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020 ve 2030 yılları için sırası ile EK-1 Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'te verilmektedir. DMA-2 alt bölgesinde tüm dönemler için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.26. DMA-2 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)

DMA-2 alt bölgesinde debi değerleri gelecek yıllar için en düşük su tüketimi döneminde 50-200 m^3/sa aralığında, en yüksek su tüketimi döneminde 50-250 m^3/sa aralığında değişecektir. Hesaplanan fazla basınç seviyelerine bağlı olarak ortalama enerji üretimi 0,75 – 2,02 kWh arasında olacaktır. Ortalama su tasarrufu değerleri ise 6,20 m^3/sa değerinden 2,11 m^3/sa değerine düşecektir.



a) Kış dönemi b) Yaz dönemi

Şekil 4.27. DMA-2 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları

Alt bölge girişinde söz konusu dönemlere ait su basıncı değişimlerine ait veri bulunmadığından alt bölge girişindeki su basıncı sabit bir değer olarak kabul edilmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) ve en düşük su tüketim periyodu (kış dönemi: Aralık) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil 7.3'te verilmektedir. DMA-2 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.5'te verilmektedir

Çizelge 4.5. DMA-2 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

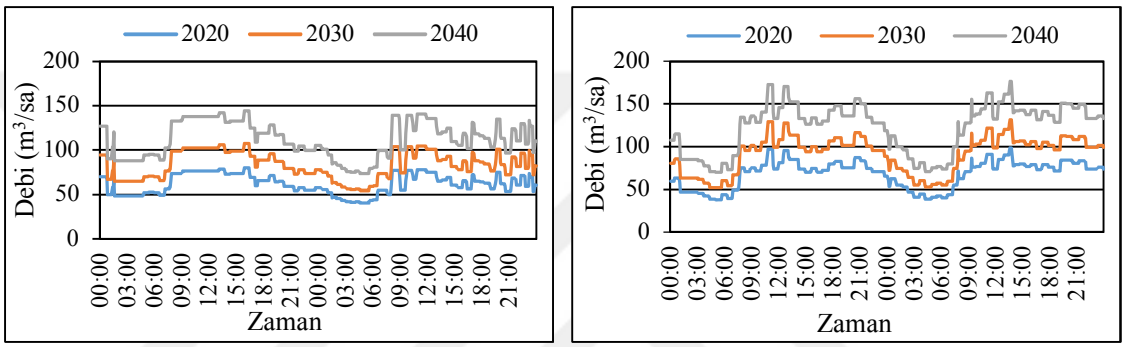
Yıl	Dönem	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	Kış	76,91	70,71	50,60	34,20	16,40	1,90	6,20
	Yaz	101,65	95,76	50,60	37,70	12,90	2,02	5,89
2030	Kış	103,78	98,73	50,60	40,7	9,9	1,60	5,05
	Yaz	136,35	134,24	50,60	47,2	3,4	0,75	2,11
2040	Kış	*	*	*	*	*	*	*
	Yaz	*	*	*	*	*	*	*

* DMA-2'de su tüketimi nüfus artış hızına paralel olarak artar ise 2040 yaz ve 2040 kış dönemlerinde giriş su basıncı alt bölgeyi beslemek için yeterli değildir. Bu nedenle su basıncı azaltılması mümkün değildir.

Bu alt bölgede 2040 yılı için giriş su basıncı alt bölgeyi beslemek için yeterli değildir. Bu sebeple 2040 yılında PAT sisteminin kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

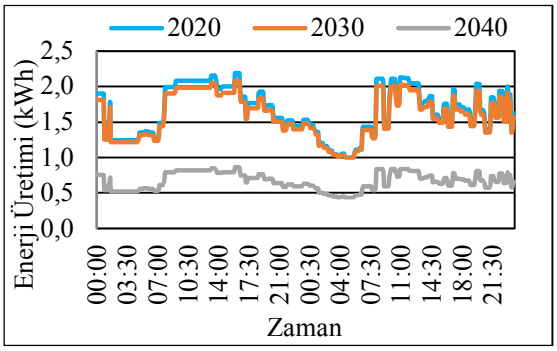
3.3.3. Altıncı alt bölge (DMA-6) çalışmaları

DMA-6 bölgesinde 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en düşük ve en yüksek su tüketimlerinin olduğu dönemlere ait veriler Şekil 4.28'de verilmektedir. DMA-6 bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile EK-1 Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'de verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.3'te sunulmaktadır.

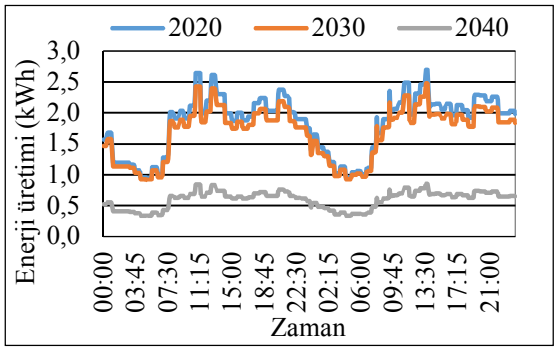


Şekil 4.28. DMA-6 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)

DMA-6 alt bölgesinde tüm dönemler için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.29'da verilmiştir. DMA-6 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.6'da verilmektedir. Bu alt bölgede fazla su basıncı ilerleyen yıllar için ciddi oranda azalacaktır ve buna bağlı olarak gelecek yıllar için ortalama enerji üretimi yaklaşık 0,60 kWh seviyesine düşecektir. Benzer şekilde ortalama su tasarrufu değerleri de 6,48 m^3/sa değerinden 1,72 m^3/sa değerine düşmektedir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.4'te özetlenmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) ve en düşük su tüketim periyodu (kış dönemi: Aralık) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil 7.8'de verilmektedir. DMA-6 alt bölgesi için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde, 48 saatlik modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve varken durumları için) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020, 2030 ve 2040 yılları için sırası ile EK-1 Şekil 7.9, Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'de verilmektedir.



a) Kış dönemi



b) Yaz dönemi

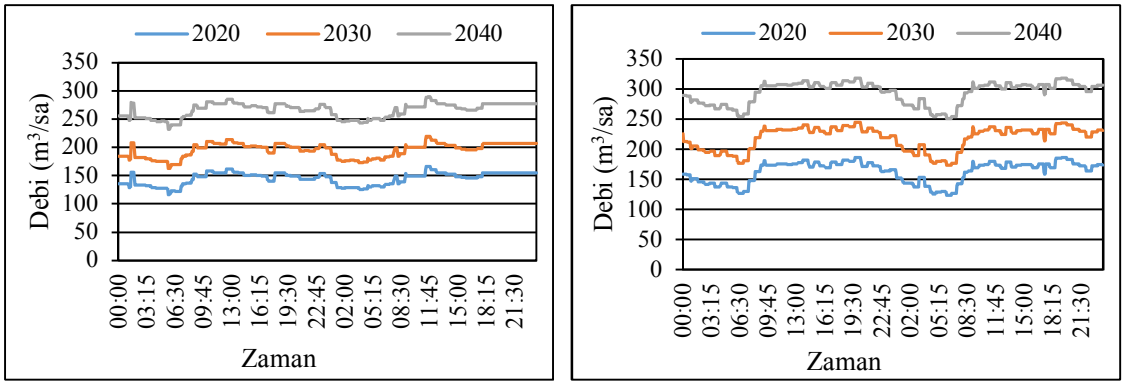
Şekil 4.29. DMA-6 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları

Çizelge 4.6. DMA-6 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları

Yıl	Dönem	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	Kış	61,80	55,32	47,42	29,20	18,22	1,65	6,48
	Yaz	67,75	61,70	47,71	29,70	18,01	1,81	6,05
2030	Kış	83,28	77,45	47,42	34,9	12,52	1,59	5,83
	Yaz	91,35	86,06	47,71	35,7	12,01	1,69	5,29
2040	Kış	111,98	109,74	47,42	43,7	3,72	0,67	2,24
	Yaz	122,57	120,85	47,71	44,7	3,01	0,59	1,72

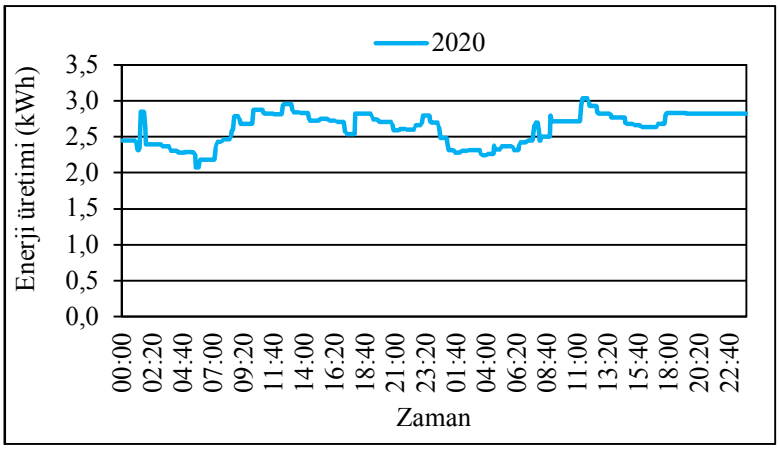
3.3.4. Sekizinci alt bölge (DMA-8) çalışmaları

DMA-8 bölgesinde 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en düşük ve en yüksek su tüketimlerinin olduğu dönemlere ait veriler Şekil 4.30'da verilmektedir. DMA-8 bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile EK-1 Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'te verilmektedir. DMA-8 alt bölgesinde debi değerleri gelecek yıllar için en düşük su tüketimi döneminde yaklaşık 120-300 m^3/sa aralığında, en yüksek su tüketimi döneminde ise yaklaşık 130-320 m^3/sa aralığında değişecektir.



Şekil 4.30. DMA-8 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)

DMA-8 alt bölgesinde 2020 Kış dönemi için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.31'de verilmiştir. DMA-8 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.7'de verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.5'te sunulmaktadır. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün olan en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.6'da özetlenmiştir. 2020 yılı için en düşük su tüketim periyodu (kış dönemi: Aralık) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil 7.14'te verilmektedir. DMA-8 için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve varken durumları için) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020 Kış dönemi için Şekil 7.15'te verilmektedir. DMA-8 için sadece 2020 yılında sistemdeki fazla basınçtan enerji üretimi sağlanabilecek ve ortalama enerji üretimi 2,59 kWh olacaktır. Ortalama su tasarrufu değer ise 12,32 m^3/sa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.31. DMA-8 alt bölgesi için 2020 Kış dönemi için hesaplanan enerji üretim miktarları

Çizelge 4.7. DMA-8 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

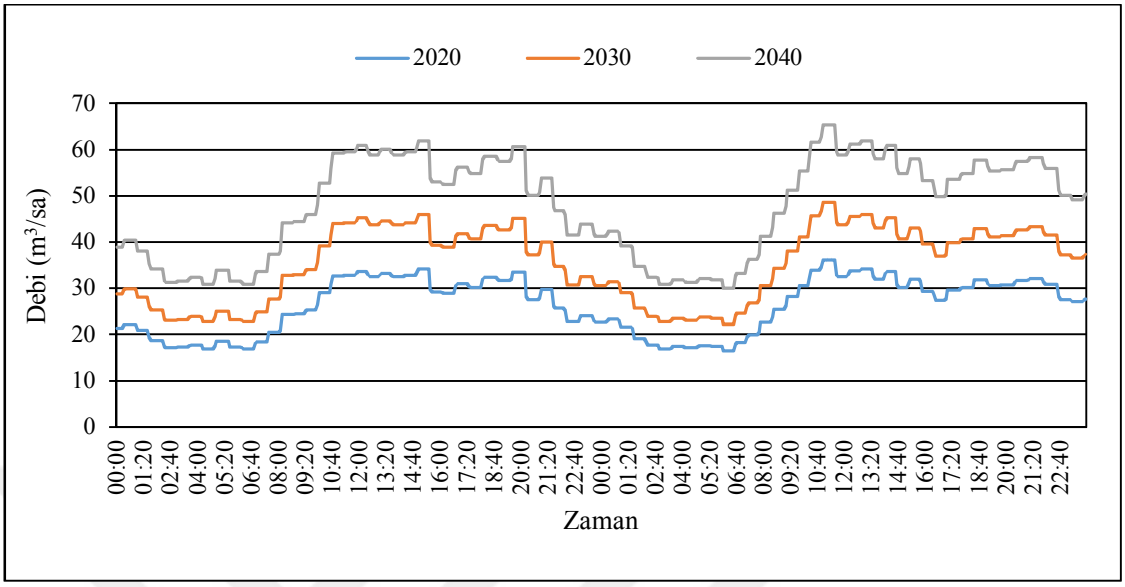
Yıl	Dönem	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	Kış	144,86	132,54	53,37	43,00	10,37	2,59	12,32
	Yaz	165,18	*	46,17	*	*	*	*
2030	Kış	195,02	*	53,37	*	*	*	*
	Yaz	218,57	*	46,17	*	*	*	*
2040	Kış	265,62	*	53,37	*	*	*	*
	Yaz	294,15	*	46,17	*	*	*	*

* DMA-8'de su tüketimi nüfus artış hızına paralel olarak artar ise 2020, 2030 ve 2040 yaz dönemleri ile 2030 ve 2040 kış dönemlerinde giriş su basıncı alt bölgeyi beslemek için yeterli değildir. Bu nedenle su basıncı azaltılması mümkün değildir.

3.3.5. Onuncu alt bölge (DMA-10) çalışmaları

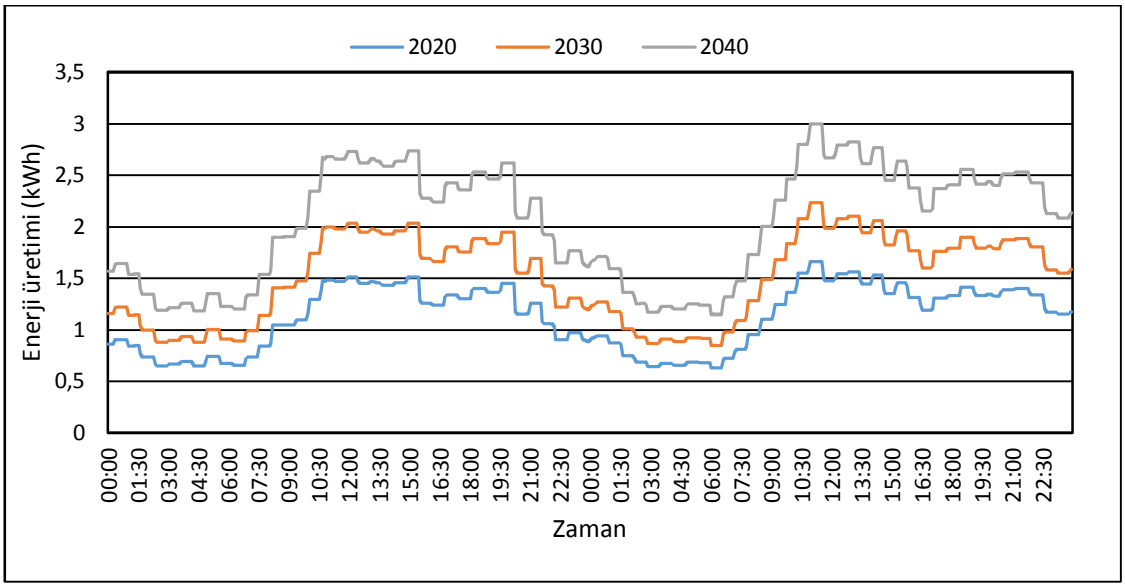
DMA-10 bölgesinde en yüksek ve en düşük su tüketim verileri arasında büyük bir fark bulunmadığı daha önceki çalışmalardan da bilinmektedir (TÜBİTAK 2011). Çalışma bölgesindeki debimetre arızası sebebi ile en düşük su tüketim verileri bulunmamaktadır. Su tüketiminin en yüksek olduğu durum su basıncı açısından kritik olması sebebi ile bu çalışma bölgesinde hesaplama ve tahminler yaz dönemi için gerçekleştirilmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en yüksek su tüketimlerinin olduğu döneme ait veriler Şekil 4.32'de verilmektedir. DMA-10 alt bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile EK-1 Şekil 7.16 ve Şekil 7.17'de verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.7'de sunulmaktadır. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.8'de özetlenmiştir. DMA-10 alt bölgesinde tüm dönemler için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.33'te verilmiştir. DMA-10 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.8'de verilmektedir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil 7.18'de verilmektedir. DMA-10 alt bölgesi için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve PAT varken) elde edilen su basıncının mekânsal

değişim grafikleri 2020, 2030 ve 2040 yılları için sırası ile EK-1 Şekil 7.19, Şekil 7.20 ve Şekil 7.21'de verilmektedir.



Şekil 4.32. DMA-10 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik en yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)

DMA-10 alt bölgesinde tüm dönemler için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.33'te verilmiştir. DMA-10 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.33. DMA-10 alt bölgesi için yaz döneminde hesaplanan enerji üretim miktarları

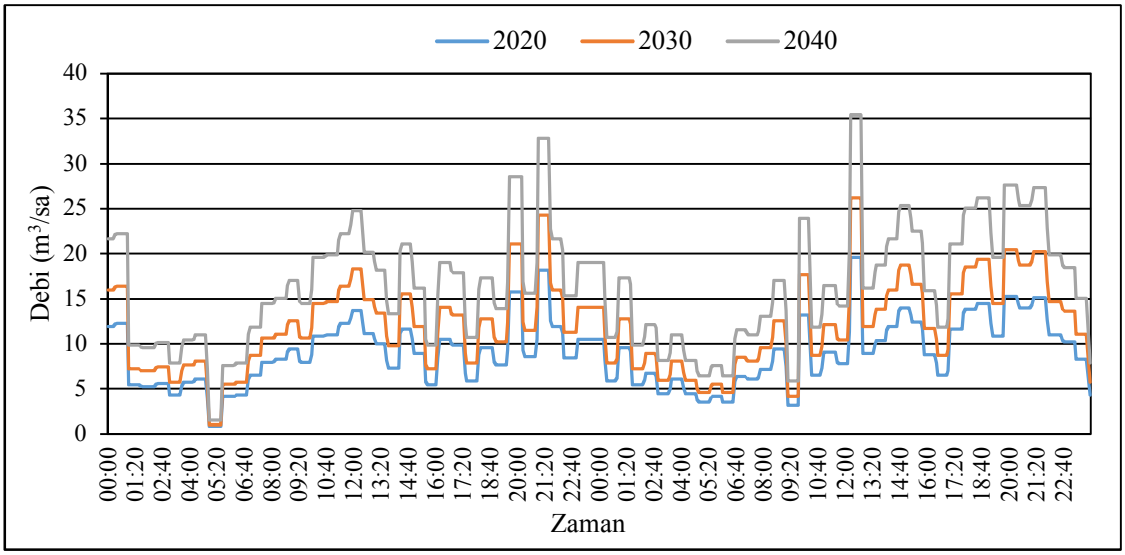
Çizelge 4.8. DMA-10 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

Yıl	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	26,26	21,48	53,09	21,00	32,09	1,12	4,78
2030	35,40	28,92	53,09	21,00	32,09	1,51	6,48
2040	47,72	38,92	53,09	21,00	32,09	2,04	8,80

Bu alt bölgede fazla su basıncı gelecek yıllar içinde çok büyük değişiklik göstermediğinden ve gelecek yıllar için PAT varken durumu için debi değeri artacağından dolayı üretilebilecek ortalama enerjinin 2040 yılına kadar artış göstermesi beklenmektedir. Benzer şekilde ortalama su tasarrufu değerleri de artacaktır. Ortalama enerji üretimi 2,04 kWh, ortalama su tasarrufu 8,80 m^3/sa değerine kadar yükselecektir.

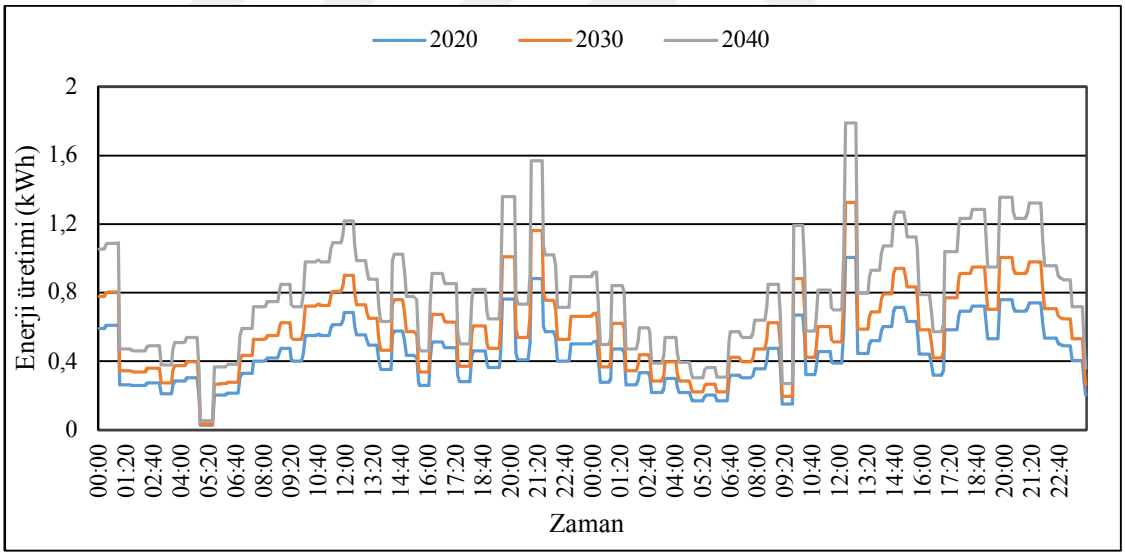
3.3.6. Onbirinci alt bölge (DMA-11) çalışmaları

DMA-11 bölgesinde en yüksek ve en düşük su tüketim verileri arasında büyük bir fark bulunmadığı daha önceki çalışmalardan da bilinmektedir (TÜBİTAK 2011). Çalışma bölgesindeki debimetre arızası sebebi ile en düşük su tüketim verileri bulunmamaktadır. Su tüketiminin en yüksek olduğu durum su basıncı açısından kritik olması sebebi ile bu çalışma bölgesinde hesaplama ve tahminler yaz dönemi için gerçekleştirilmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en yüksek su tüketimlerinin olduğu döneme ait veriler Şekil 4.34'te verilmektedir. DMA-11 alt bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi EK-1 Şekil 7.22'de verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.9'da sunulmaktadır. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.10'da özetlenmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil 7.23'te verilmektedir. DMA-11 için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve varken durumları için) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020, 2030 ve 2040 yılları için EK-1 Şekil 7.24'te verilmektedir.



Şekil 4.34. DMA-11 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik en yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)

DMA-11 alt bölgesinde tüm dönemler için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.35. DMA-11 alt bölgesinde yaz dönemi için hesaplanan enerji üretim miktarları

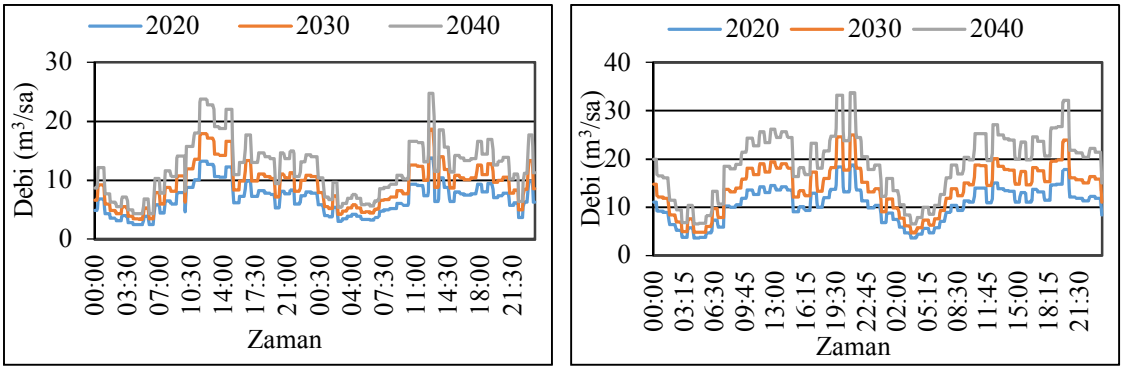
DMA-11 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve teorik enerji üretim miktarları Çizelge 4.9'da verilmektedir. Bu alt bölgede fazla su basıncı gelecek yıllar içinde çok büyük değişiklik göstermediğinden ve gelecek yıllar için PAT varken durumu için debi değeri artacağından dolayı üretilebilecek ortalama enerjinin 2040 yılına kadar artış göstermesi beklenmektedir. Ortalama enerji üretimi 0,79 kWh, ortalama su tasarrufu 0,53 m^3/sa değerine kadar yükselecektir. Ancak PAT sisteminden geçecek debi değeri oldukça düşük olduğundan üretilmesi beklenen enerji de oldukça düşük seviyededir.

Çizelge 4.9. DMA-11 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

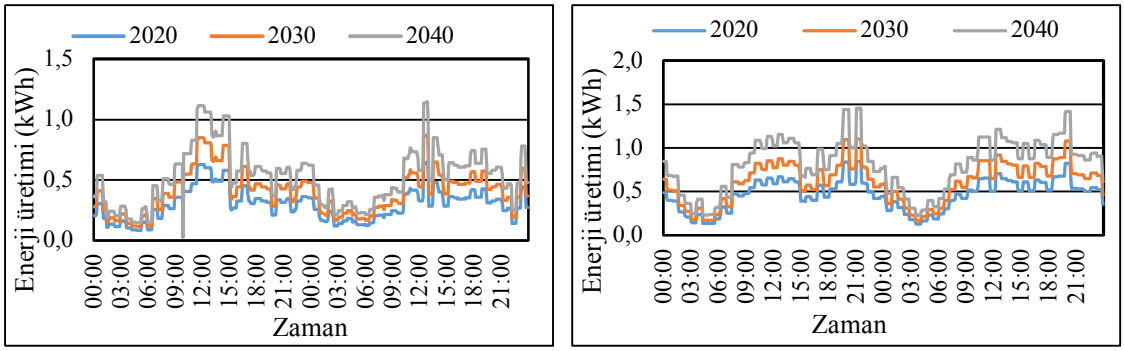
Yıl	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	8,99	8,70	52,85	21,50	31,35	0,44	0,28
2030	11,98	11,64	52,85	22,00	30,85	0,58	0,34
2040	16,30	15,77	52,85	22,00	30,85	0,79	0,53

3.3.7. Onikinci alt bölge (DMA-12) çalışmaları

DMA-12 bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile EK-1 Şekil 7.25 ve Şekil 7.26'da verilmektedir. Çalışma bölgesinde 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en düşük ve en yüksek su tüketimlerinin olduğu dönemlere ait veriler Şekil 4.36'da verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.11'de sunulmaktadır. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.12'de özetlenmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) ve en düşük su tüketim periyodu (kış dönemi: Aralık) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil 7.27'de verilmektedir



Şekil 4.36. DMA-12 için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)



a) Kış dönemi b) Yaz dönemi

Şekil 4.37. DMA-12 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları

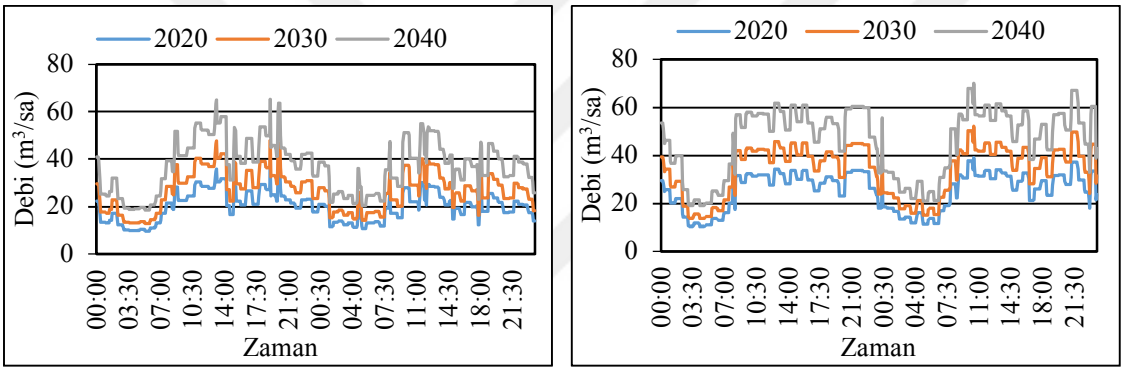
DMA-12 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.10'da verilmektedir. Bu alt bölgede fazla su basıncı gelecek yıllar içinde çok büyük değişiklik göstermediğinden ve gelecek yıllar için PAT varken durumu için debi değeri artacağından dolayı üretilebilecek ortalama enerjinin 2040 yılına kadar artış göstermesi beklenmektedir. Ortalama enerji üretimi 0,81 kWh, ortalama su tasarrufu 1,84 m^3/sa değerine kadar yükselecektir. Ancak PAT sisteminden geçecek debi değeri oldukça düşük olduğundan üretilmesi beklenen enerji de oldukça düşük seviyededir. DMA-12 alt bölgesi için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (yokken ve varken durumları için) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020, 2030 ve 2040 yılları için sırası ile EK-1 Şekil 7.28, Şekil 7.29 ve Şekil 7.30'da verilmektedir.

Çizelge 4.10. DMA-12 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

Yıl	Dönem	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	Kış	6,82	6,10	51,63	21,80	29,83	0,30	0,72
	Yaz	10,55	9,46	52,17	21,80	30,37	0,47	1,09
2030	Kış	9,24	8,25	51,63	21,80	29,83	0,40	0,99
	Yaz	14,02	12,64	52,17	22,30	29,87	0,61	1,38
2040	Kış	12,15	10,94	51,63	22,30	29,33	0,53	1,21
	Yaz	18,99	17,15	52,17	23,30	28,87	0,81	1,84

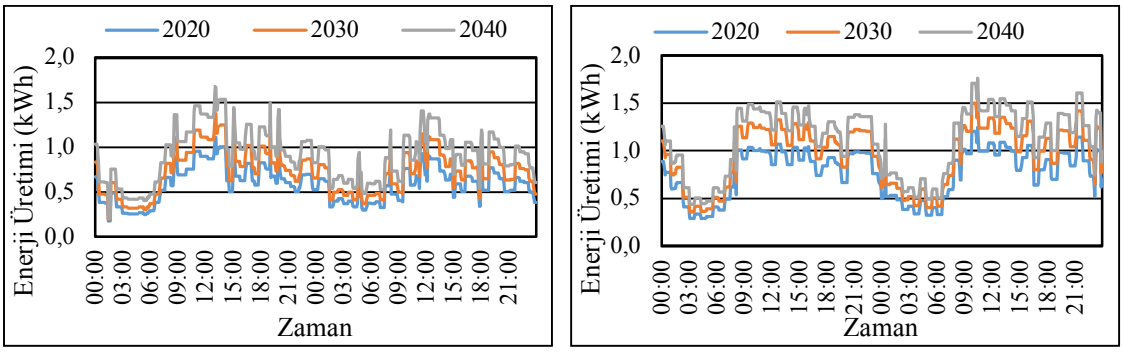
3.3.8. Onbeşinci alt bölge (DMA-15) çalışmaları

Çalışma bölgesinde 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en düşük ve en yüksek su tüketimlerinin olduğu dönemlere ait veriler Şekil 4.38'de verilmektedir. DMA-15 bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile EK-1 Şekil 7.31 ve Şekil 7.32'de verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.13'te sunulmaktadır. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.14'te özetlenmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) ve en düşük su tüketim periyodu (kış dönemi: Aralık) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil-7.33'te verilmektedir.



a) b)

Şekil 4.38. DMA-15 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)



a) Kış dönemi b) Yaz dönemi

Şekil 4.39. DMA-15 alt bölgesi için Kış (Aralık) ve Yaz (Temmuz) döneminde hesaplanan enerji üretim miktarları

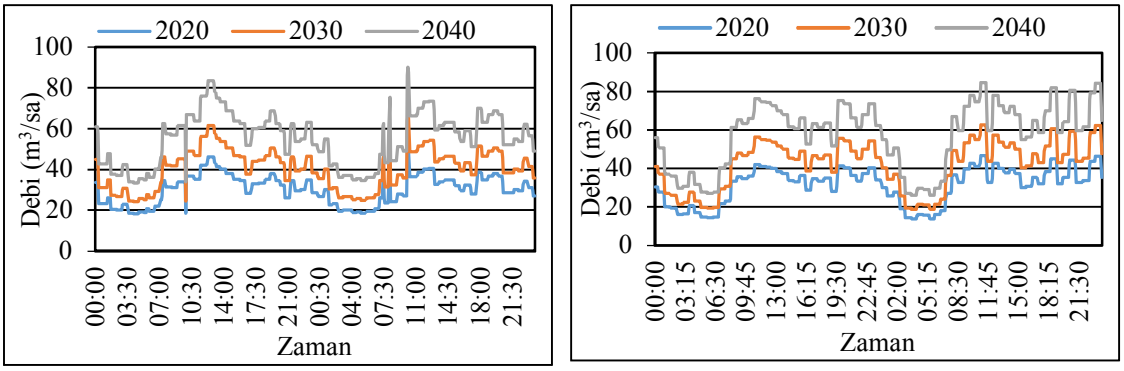
Çizelge 4.11. DMA-15 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

Yıl	Dönem	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	Kış	20,01	18,19	52,16	32,30	19,86	0,59	1,82
	Yaz	25,45	23,44	52,59	32,30	20,29	0,77	2,01
2030	Kış	26,61	24,41	52,16	33,80	18,36	0,73	2,20
	Yaz	33,91	31,46	52,59	33,80	18,79	0,96	2,45
2040	Kış	36,97	34,09	52,16	35,80	16,36	0,91	2,88
	Yaz	45,95	43,10	52,59	36,80	15,79	1,11	2,85

Bu alt bölgede fazla su basıncı gelecek yıllar içinde çok büyük değişiklik göstermediğinden ve gelecek yıllar için PAT varken durumu için debi değeri artacağından dolayı üretilebilecek ortalama enerjinin 2040 yılına kadar artış göstermesi beklenmektedir. Ortalama enerji üretimi 1,11 kWh, ortalama su tasarrufu 2,85 m^3/sa değerine kadar yükselecektir. Ancak PAT sisteminden geçecek debi değeri düşük olduğundan üretilmesi beklenen enerji de düşük seviyededir.

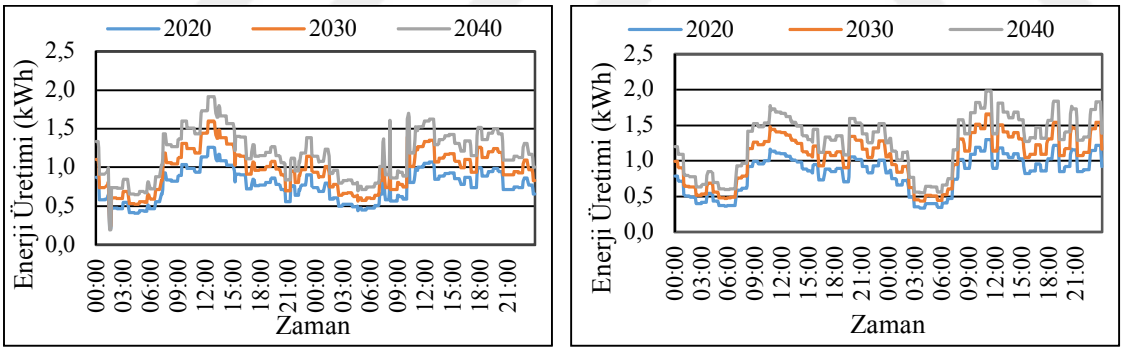
3.3.9. Onaltıncı alt bölge (DMA-16) çalışmaları

Çalışma bölgesinde 2020, 2030 ve 2040 yılları için tahmin edilen en düşük ve en yüksek su tüketimlerinin olduğu dönemlere ait veriler Şekil 4.40'da verilmektedir. DMA-16 bölgesine ait su dağıtım şebekesinin CBS görseli ve hidrolik model gösterimi sırası ile EK-1 Şekil 7.37 ve Şekil 7.38'de verilmektedir. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları EK-1 Çizelge 7.15'de sunulmaktadır. 2020, 2030 ve 2040 yılları için alt bölge girişindeki ortalama su basınçları ile alt bölge girişinde PAT kullanılarak düşürülmesi mümkün en düşük su basıncı verileri EK-1 Çizelge 7.16'da özetlenmiştir. 2020, 2030 ve 2040 yılları için en yüksek su tüketim periyodu (yaz dönemi: Temmuz) ve en düşük su tüketim periyodu (kış dönemi: Aralık) için kritik noktadaki su basınçlarının zamansal değişim grafikleri EK-1 Şekil 7.39'da verilmektedir. DMA-15 için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve varken durumları için) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020, 2030 ve 2040 yılları için sırası ile EK-1 Şekil 7.40, Şekil 7.41 ve Şekil 7.42'de verilmektedir.



Şekil 4.40. DMA-16 alt bölgesi için tahmin edilen 48 saatlik su tüketimleri, a) En düşük su tüketimi (1-2 Aralık), b) En yüksek su tüketimi (20-21 Temmuz)

DMA-16 alt bölgesinde tüm dönemler için tahmin edilen enerji üretim miktarları Şekil 4.41'da verilmiştir. DMA-16 için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.12'de verilmektedir. Bu alt bölgede fazla su basıncı gelecek yıllar içinde çok büyük değişiklik göstermediğinden ve gelecek yıllar için PAT varken durumu için debi değeri artacağından dolayı üretilebilecek ortalama enerjinin 2040 yılına kadar artış göstermesi beklenmektedir. Ortalama enerji üretimi 1,27 kWh, ortalama su tasarrufu 4,44 m^3/sa değerine kadar yükselecektir. Ancak PAT sisteminden geçecek debi değeri düşük olduğundan üretilmesi beklenen enerji de düşük seviyededir.



Şekil 4.41. DMA-16 alt bölgesi için Kış (aralık) ve Yaz (Temmuz) dönemleri için hesaplanan enerji üretim miktarları

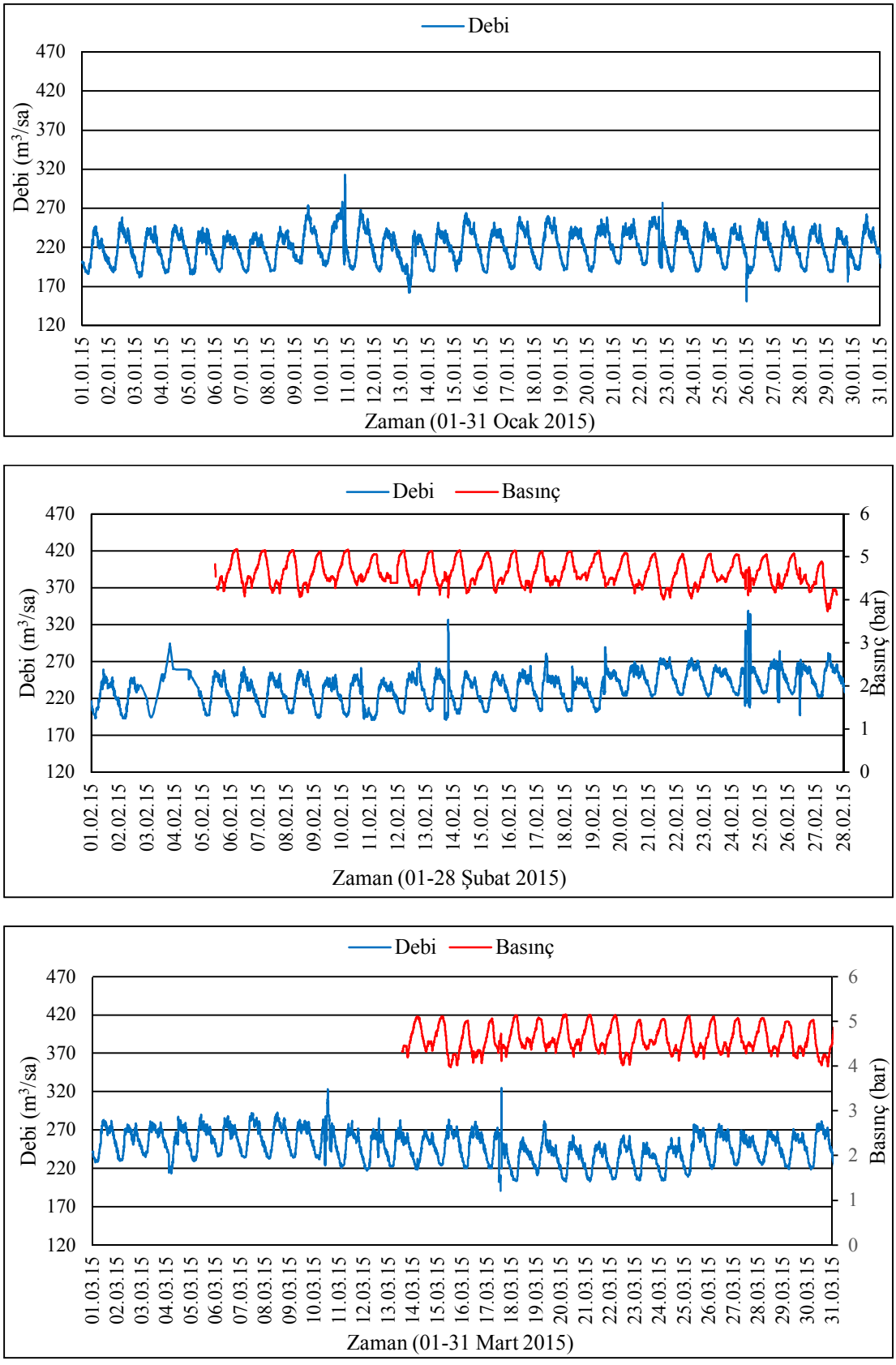
Çizelge 4.12. DMA-16 alt bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

Yıl	Dönem	PAT yokken debi (m^3/sa)	PAT varken debi (m^3/sa)	PAT yokken ortalama su basıncı yüksekliği (m)	DMA girişinde optimum su basıncı yüksekliği (m)	Fazla su basıncı yüksekliği (m)	Ortalama enerji üretimi (kWh)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)
2020	Kış	30,21	27,24	51,40	34,90	16,50	0,76	2,97
	Yaz	31,33	28,96	52,44	34,90	17,54	0,83	2,37
2030	Kış	40,32	36,63	51,40	35,90	15,50	0,97	3,69
	Yaz	42,12	39,11	52,44	35,90	16,54	1,05	3,01
2040	Kış	55,03	50,59	51,40	37,90	13,50	1,17	4,44
	Yaz	57,35	53,67	52,44	37,90	14,54	1,27	3,68

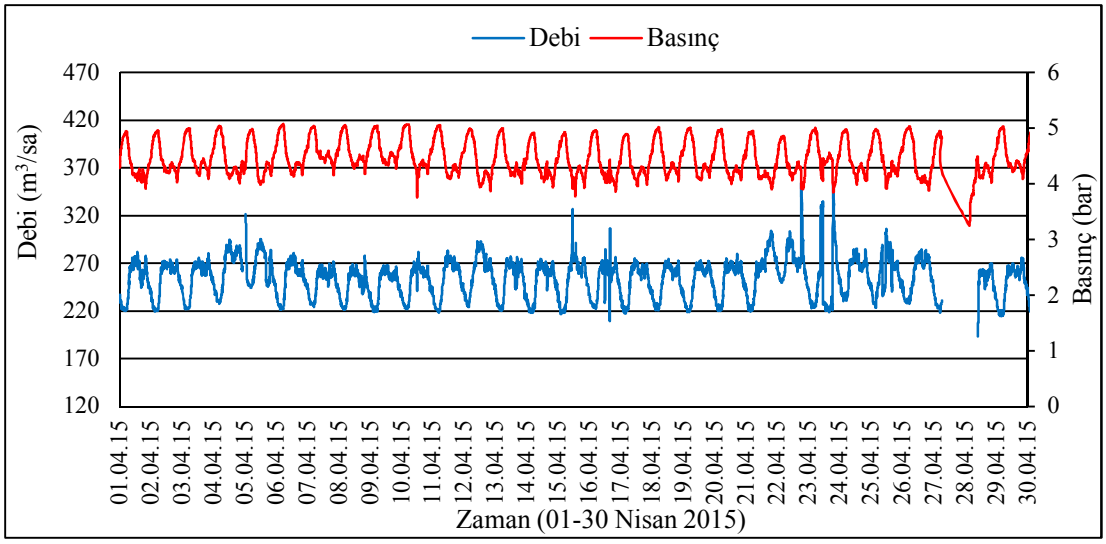
3.4. Antalya İçmesuyu Dağıtım Şebekesinde Mevcut Olan Bir PRV Sistemine Türbin/PAT Eklenmesi ve Performansının İzlenmesi

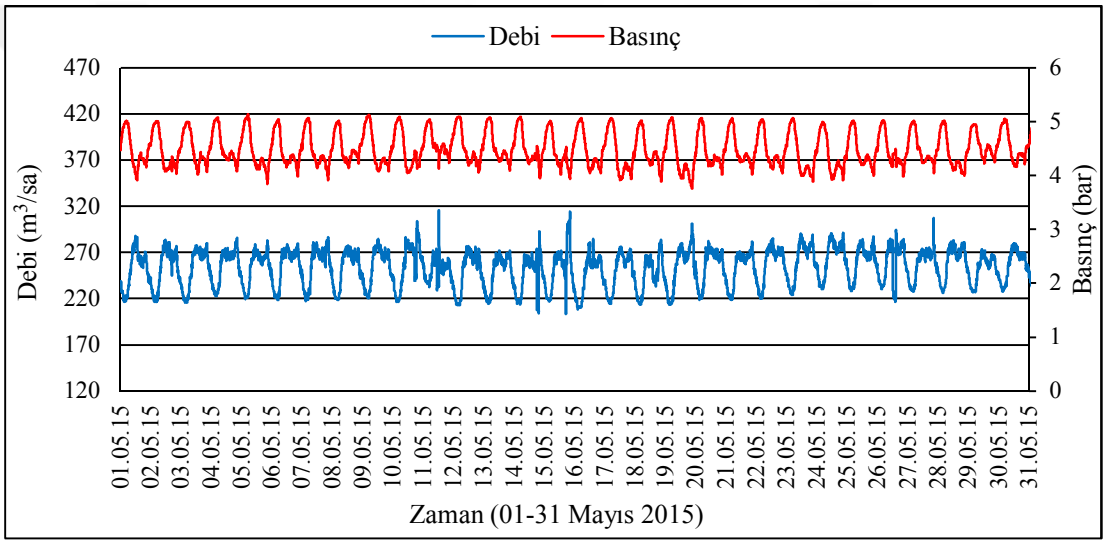
3.4.1. PAT sistemi için debi ve basınç verilerinin izlenmesi

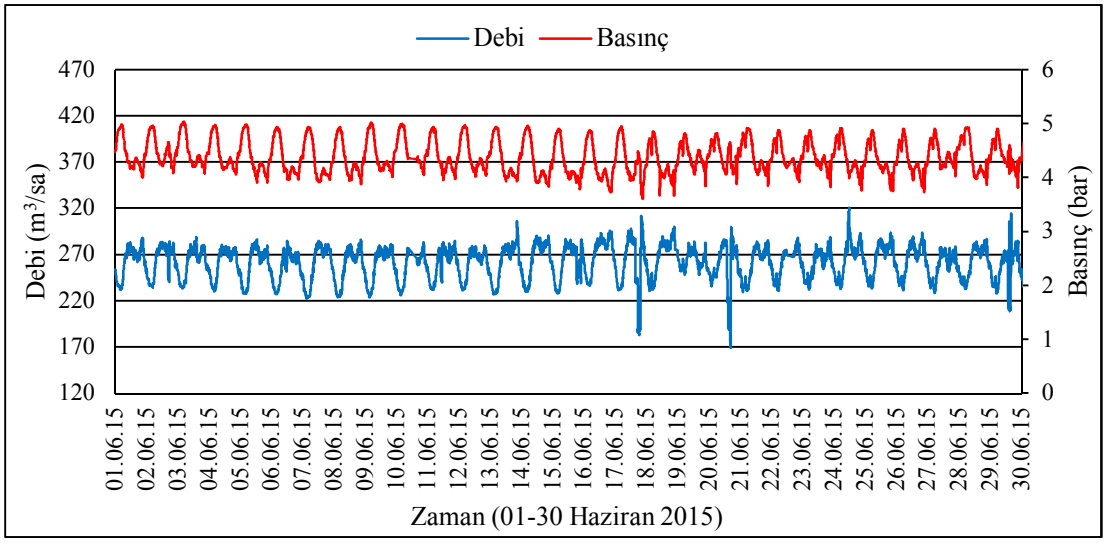
PAT sistemi pilot uygulama sahasına çok yakın bir noktada bulunan SCADA istasyonunda ölçülen debi ve basınç verileri Şubat 2014-Haziran 2016 dönemi için ASAT SCADA biriminden 5 dakika zaman aralığı ile elde edilmiştir. Elde edilen debi ve basınç değerleri pilot uygulamada kullanılan sistemin tasarımında ve performansının izlenmesi aşamalarında kullanılmıştır. Mevcut SCADA istasyonunda 2015 yılında ölçülen debi ve basınç verilerinin zamansal değişimleri her ay için Şekil 4.42'de sunulmaktadır.



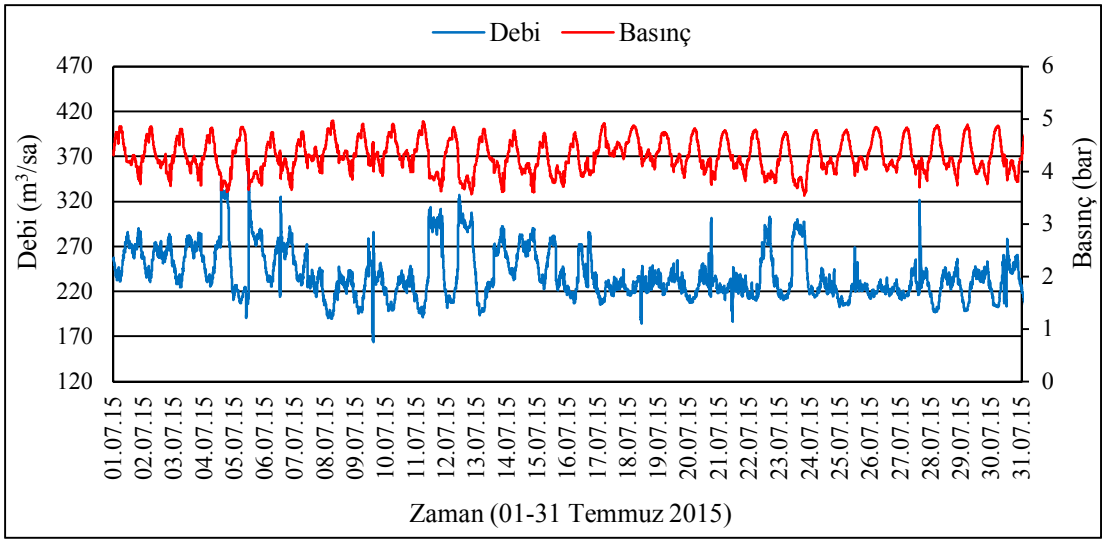
Şekil 4.42. 1 Ocak 2015 – 1 Ocak 2016 dönemi için mevcut SCADA istasyonundan elde edilen debi ve basınç verilerinin zamansal değişimi

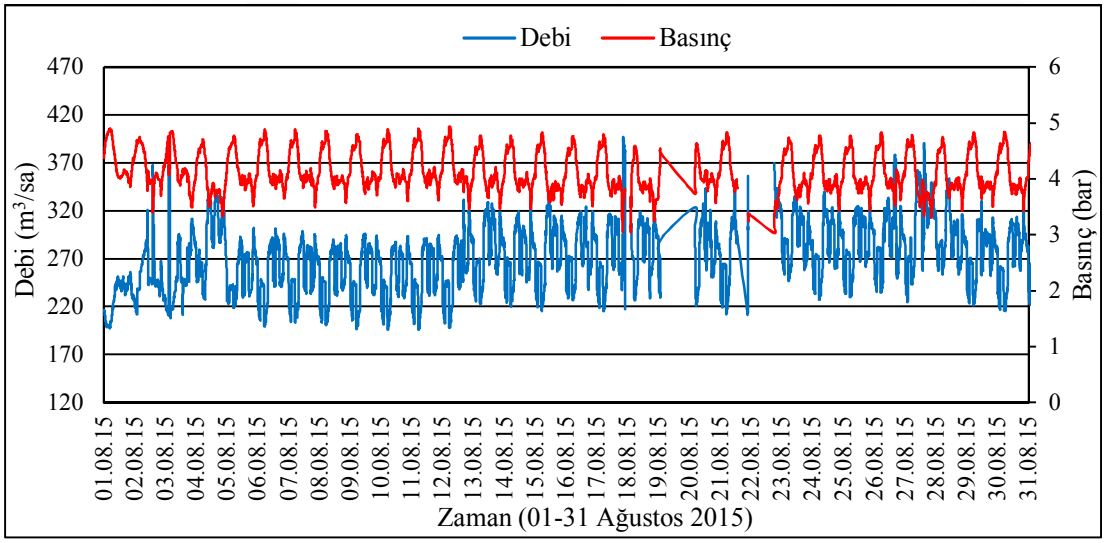


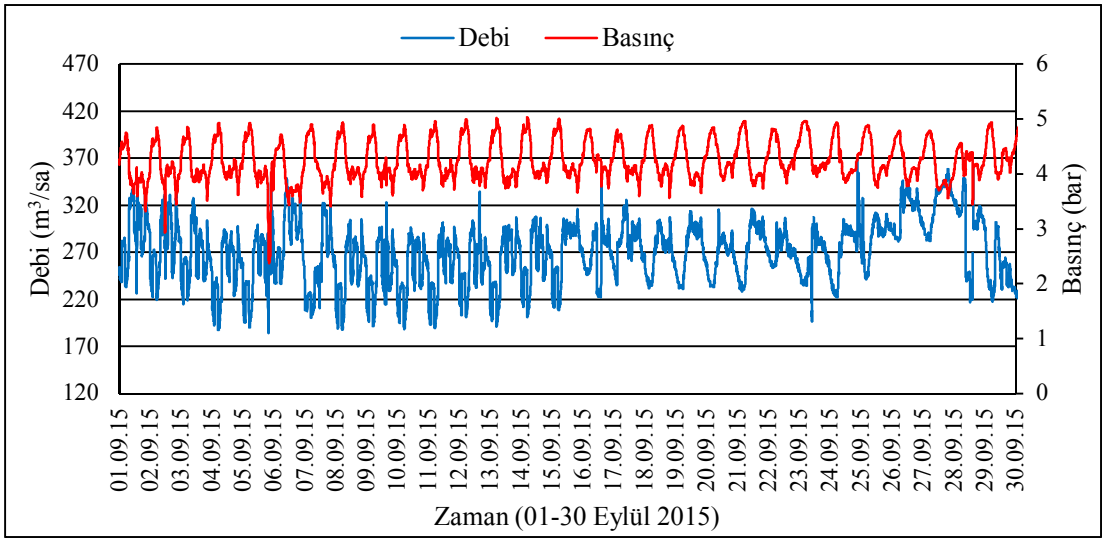




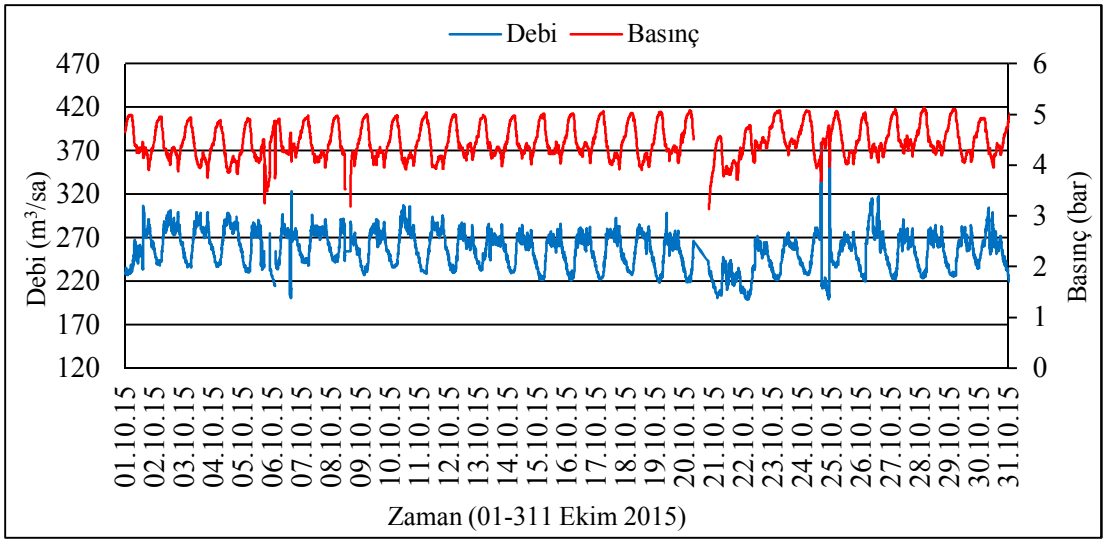
Şekil 4.42 (devam)

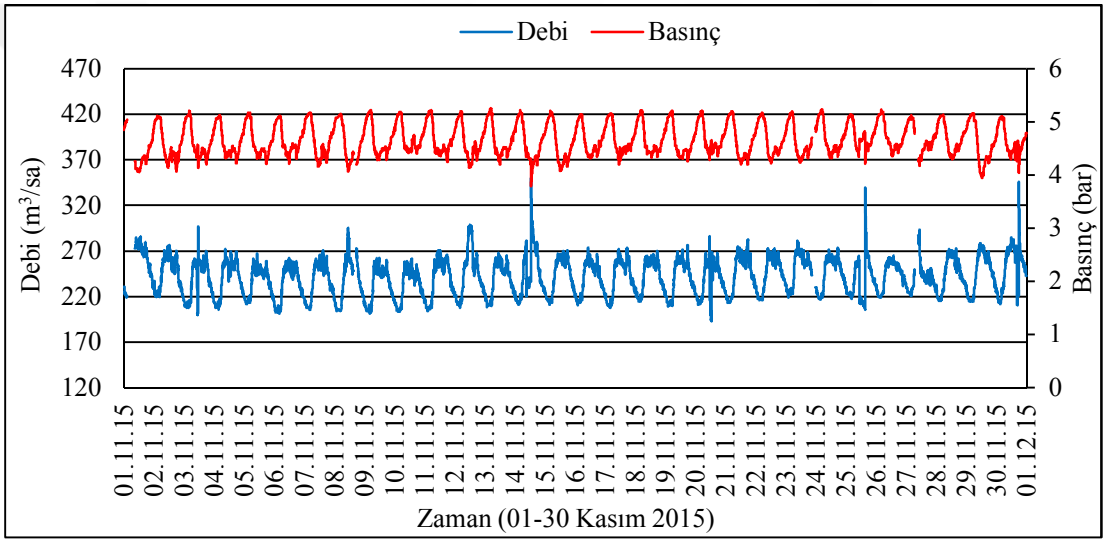


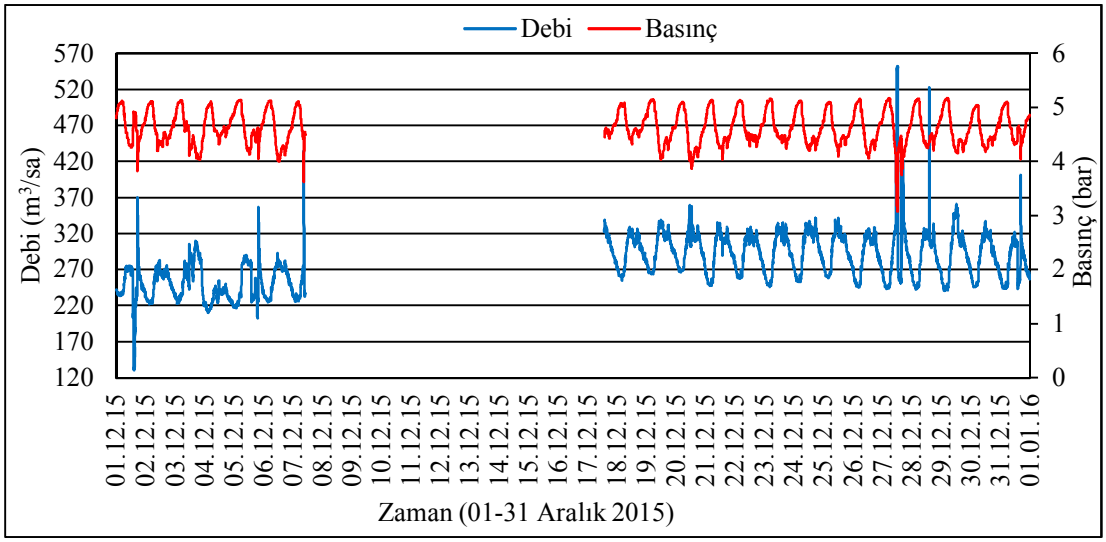




Şekil 4.42 (devam)







Şekil 4.42 (devam)

Temmuz 2014 - Aralık 2015 döneminde SCADA istasyonunda izlenen debi ve basınç değerleri için aylık ortalama, minimum ve maksimum değerler Çizelge 4.13'te verilmektedir.

Çizelge 4.13. Temmuz 2014-Aralık 2015 döneminde SCADA istasyonunda izlenen debi ve basınç parametreleri için aylık minimum, maksimum ve ortalama değerler

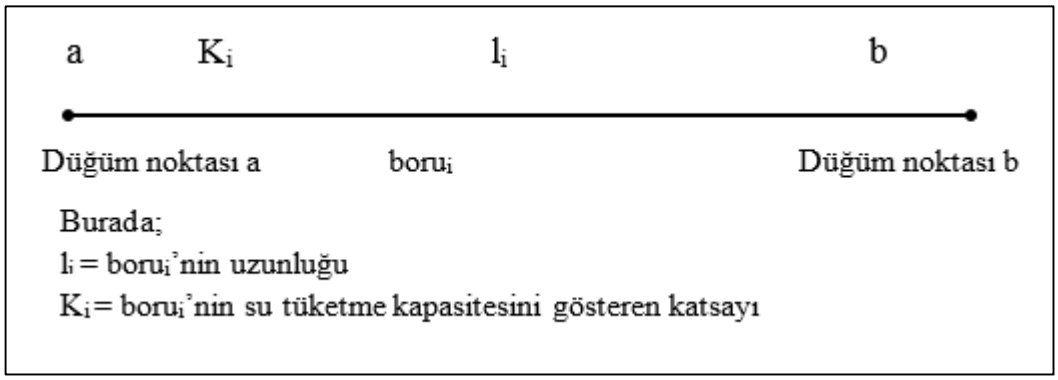
Aylar	Debi (m^3/sa)			Basınç (bar)		
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama
Temmuz 2014	131,84	354,14	234,47	4,10	4,26	4,19
Ağustos 2014	160,08	321,33	225,85	4,08	4,24	4,15
Eylül 2014	145,65	286,29	204,10	3,94	4,17	4,11
Ekim 2014	190,92	312,83	239,73	--	--	--
Kasım 2014	188,44	349,35	237,39	3,66	5,07	4,36
Aralık 2014	0 (Su kesintisi)	402,62	229,26	--	--	--
Ocak 2015	151,50	312,36	220,73	--	--	--
Şubat 2015	190,66	336,87	235,42	3,74	5,18	4,63
Mart 2015	190,95	323,31	248,18	3,09	5,16	4,59
Nisan 2015	193,43	354,35	254,27	3,26	5,08	4,46
Mayıs 2015	203,79	316,13	254,20	3,77	5,15	4,49
Haziran 2015	169,57	312,09	261,21	3,62	5,04	4,39
Temmuz 2015	164,30	353,44	238,46	3,54	4,97	4,30
Ağustos 2015	196,41	397,65	271,62	3,04	4,94	4,13
Eylül 2015	184,92	369,01	268,85	2,38	5,04	4,26
Ekim 2015	198,98	390,75	255,27	3,13	5,14	4,47
Kasım 2015	193,55	350,47	241,99	3,79	5,26	4,66
Aralık 2015	130,79	552,45	280,04	3,07	5,18	4,63

SCADA istasyonunda izlenen debi ve basınç değerleri incelendiğinde mevcut basınç seviyesinin 4-5 bar düzeyleri arasında olduğu görülmektedir. Özellikle kış aylarında basınç ölçümü yapılan rögara yağmur suyu baskını olduğunda SCADA istasyonunda ölçüm yapılamadığı görülmektedir. Bu nedenle 2015 yılı Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki basınç ölçümleri bazı günler için elde edilememiştir. Buna karşılık debi ölçümleri sürekli ve düzenli olarak sağlanmakta olup 2015 yılı için elde edilen veriler dikkate alındığında minimum debinin 130 m^3/sa, ortalama debinin 252 m^3/sa, maksimum debinin 552 m^3/sa olduğu görülmektedir. 2015 yılı Aralık ayında PAT sisteminin kurulması için şebekede by-pass hattı inşaatının yapıldığı dönemde (7-17 Aralık 2015) SCADA istasyonu devre dışı kalmış olduğundan, bu sürede debi ve basınç ölçümleri yapılamamıştır. Basınç değerlendirmeleri için Şubat 2015'ten günümüze kadar ölçülen basınç verileri, debi değişimleri açısından ise Temmuz 2014'ten günümüze kadar olan ölçülen debiler dikkate alınmıştır.

3.4.2. PAT sisteminin eklendiği içmesuyu dağıtım şebekesinde hidrolik modelleme çalışması

Çalışma bölgesinin hidrolik modellemesinde Bentley firmasının ürettiği ve ticari bir yazılım olan WaterGEMS modeli kullanılmıştır. Hidrolik modelleme aşamasında ilk olarak ASAT-CBS biriminden alınan içmesuyu dağıtım şebekesine ait fiziksel bilgiler, WaterGEMS'in Model Builder aracı kullanılarak modele eklenmiştir. Boruların ve düğüm noktalarının koordinatları, boruların çapları ve uzunlukları, düğüm noktalarının kotları yazılıma aktarılmıştır. Bu aşamadan sonra düğüm noktaları ve borulara ait bilgiler modelde kontrol edilmiştir.

ASAT-SCADA biriminden temin edilen debi ve basınç verileri kullanılarak debi ve basınca ait profiller oluşturulmuştur. Şebeke alanı içinde seçilen bir noktada taşınabilir ultrasonik debimetre ile ölçülen debi değerlerinden faydalanılarak debi profili oluşturulmuştur. SCADA sisteminden alınan debi verileri ile düğüm noktalarının su tüketim profilleri oluşturulmuştur. 2-6 Ekim 2015 dönemini içeren hidrolik modelleme süresince çalışma alanındaki ortalama su tüketimi SCADA istasyonundan elde edilen ölçüm verilerinden 267,61 m^3/sa olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde çalışma bölgesinden çıkan ortalama debi 44,42 m^3/sa olup ultrasonik debimetre ölçümlerinden elde edilmiştir. Bu nedenle şebekenin gerçek su tüketimi, SCADA istasyonunda ölçülen debi değerlerinden ultrasonik debimetrede ölçülen değerlerin çıkarılması ile hesaplanmıştır. Yazılımdaki Load Builder aracı kullanılarak günlük ortalama su tüketimi, şebekedeki düğüm noktalarına dağıtılmıştır. Load Builder aracında suyu dağıtmak için çeşitli alternatifler bulunmaktadır. Bu çalışmada su tüketimleri, birim boru boyu yaklaşımına göre düğüm noktalarına dağıtılmıştır. Birim boru boyu yaklaşımında, sistemdeki (ya da sistemin bir bölümündeki) bilinen su ihtiyacı (ölçülmüş) ve bilinmeyen su ihtiyacı (sızıntı ve ölçülmemiş kullanıcı su ihtiyacı) dikkate alınmaktadır. Birim boru boyu yaklaşımında kullanılan bağıntılar Eşitlik 4.1 ve Eşitlik 4.2'de, sistem parametrelerinin şematik gösterimi Şekil 4.43'te sunulmaktadır.



Şekil 4.43. Birim boyu boru yaklaşımında kullanılan semboller

Eğer borunun her iki ucunda da kullanıcı yoksa (boru yalnızca sistemin diğer tarafına suyu transfer etmek için kullanılıyorsa) bu durumda K değeri 0 olur. Eğer kullanıcılar yalnızca borunun bir ucunda varsa K değeri 0,5 olur. Eğer boru her iki ucundan da kullanıcıya su sağlıyorsa K değeri 1 olur (Bentley, 2016).

$$Q_a = q_a + \frac{1}{2}\, x\, \frac{Q_{toplam\ bilinen}}{(\sum_{j=1}^{n} K_j\, x\, l_j)} \sum_{i=1}^{m} K_i\, x\, l_i \qquad (4.1)$$

$$Q_b = q_b + \frac{1}{2}\, x\, \frac{Q_{toplam\ bilinmeyen}}{(\sum_{j=1}^{n} K_j\, x\, l_j)} \sum_{i=1}^{m} K_i\, x\, l_i \qquad (4.2)$$

Burada;

Q_a = Düğüm noktası a'daki toplam su ihtiyacı

Q_b = Düğüm noktası b'deki toplam su ihtiyacı

q_a = Düğüm noktası a'daki bilinen su ihtiyacı

q_b = Düğüm noktası b'deki bilinen su ihtiyacı

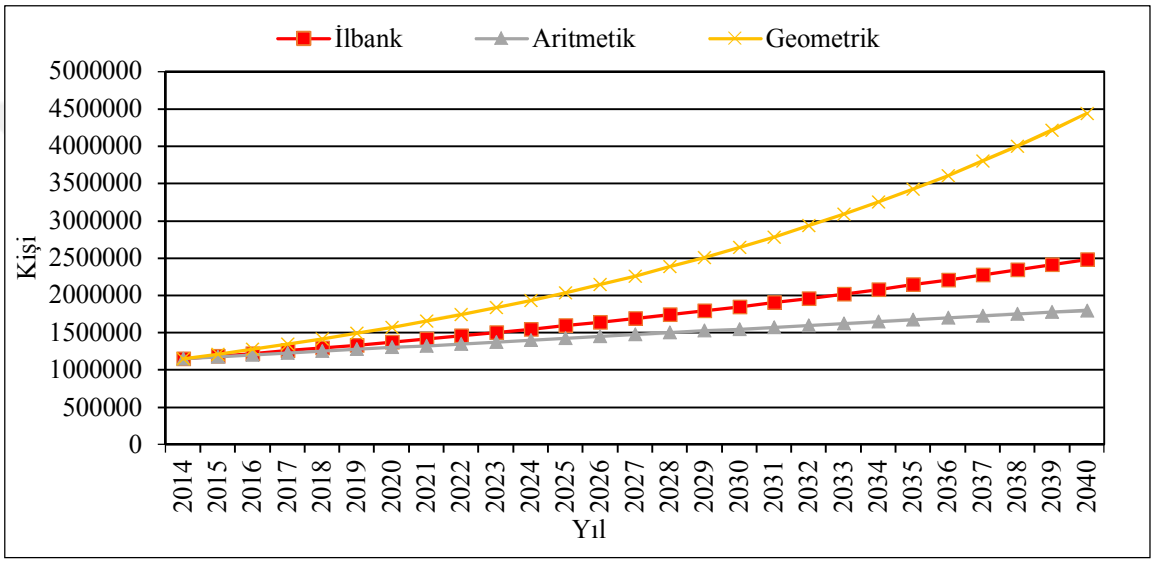
Q_{tb}= Toplam gerçek su ihtiyacı ile toplam bilinen su ihtiyacının farkı (tüm şebeke veya seçilen bölge için)

n = Şebekedeki (ya da seçilen bölgedeki) boru sayısı

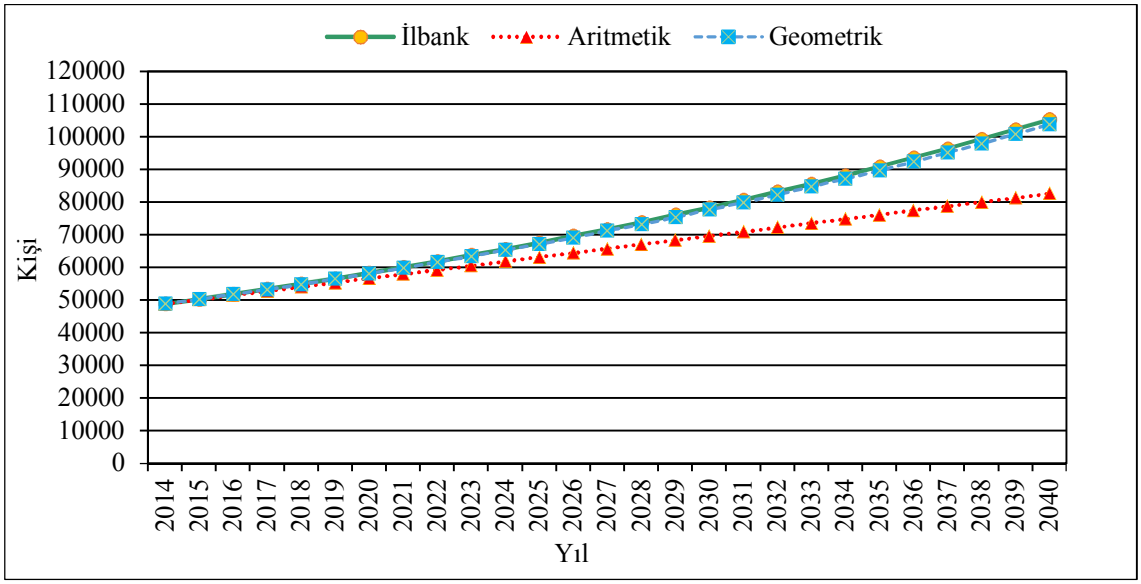
m = Düğüm noktası a ya da düğüm noktası b'ye bağlı olan boru sayısı

WaterGEMS yazılımı, içmesuyu dağıtım şebekesini çözümlerken çeşitli hesaplama alternatifleri sunmaktadır. Bu çalışmada Hazen-Williams eşitliği ve hesaplama motoru olarak WaterGEMS 2.00.12 motoru kullanılmıştır.

Antalya ili için 1935 yılından itibaren yapılan düzenli nüfus sayım verileri ile Aksu merkez ilçesi için 2008 yılından itibaren yapılan düzenli nüfus sayım verileri kullanılarak aritmetik, geometrik ve İller Bankası nüfus artış metodları ile nüfus tahmin çalışmaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'de sunulmaktadır. Tez çalışması kapsamında Antalya ili için İlbank nüfus projeksiyonu sonuçları kullanılmıştır. İller Bankası nüfus artış metodu ile 2040 yılında Aksu ilçesi için tahmini nüfus 100.000 kişiden fazla olarak hesaplanmıştır.

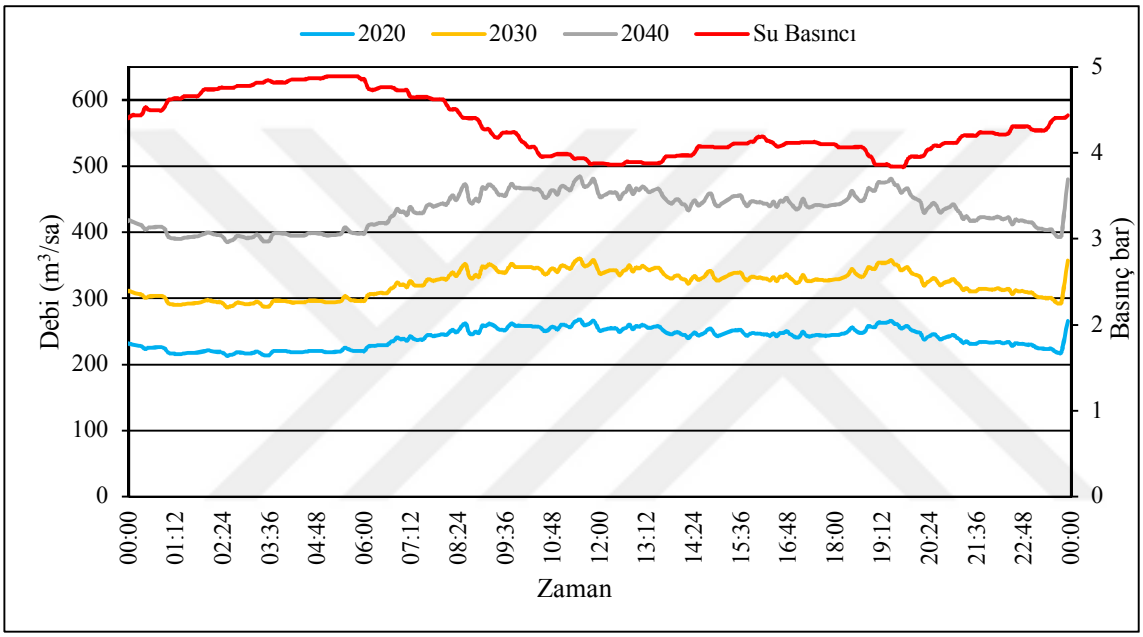


Şekil 4.44. Antalya ili için nüfus projeksiyonu



Şekil 4.45. Aksu merkez ilçe için nüfus projeksiyonu

TÜİK tarafından Antalya ili için nüfus artış oranları 2012-2013 yılı için ‰30,9; 2013-2014 yılı için ‰29,4 olarak verilmiştir (TÜİK, 2015). Yapılan çalışmalar ve TÜİK verileri değerlendirilerek Aksu ilçesinin nüfus artış hızı ‰30 olarak kabul edilmiştir. Çalışma bölgesinde, 2-3 Ekim 2015 tarihleri için 48 saatlik su tüketim profili, gelecek yıllar için debi ve basınç tahminlerinin oluşturulması amacı ile kullanılmıştır. Bu kapsamda, su tüketiminin nüfus artış hızı ile artacağı kabulü yapılarak 2020, 2030 ve 2040 yılları için su tüketim tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bu tahminlere ait elde edilen sonuçlar Şekil 4.46'da sunulmaktadır. Bu süreçte birim su sarfiyatı (Lt/kişi/gün) mevcut değer ile aynı kabul edilmiş ve sabit alınmıştır. Ek olarak, çalışma bölgesi girişindeki su basıncının da zaman ile değişmeyeceği ve mevcut durum ile aynı olacağı kabul edilmiştir.

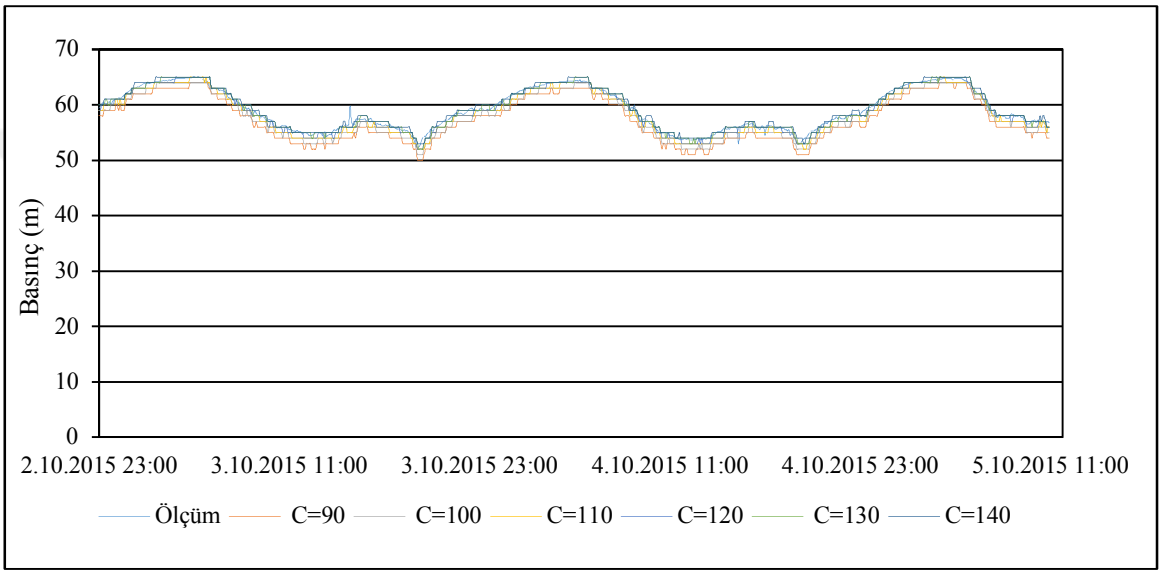


Şekil 4.46. Çalışma bölgesi için gelecek yıllar için elde edilen su tüketim tahminleri

3.4.3. Hidrolik model kalibrasyonu

Hidrolik model kalibrasyon çalışması için 2 Ekim 2015 saat 11:00 ile 5 Ekim 2015 saat 11:00 arasındaki zaman diliminde 5 dakika zaman aralıkları ile toplam 72 saat süresince sürekli olarak gerçekleştirilen debi ve basınç ölçümleri kullanılmıştır. Hidrolik modelleme çalışmasında, uygulama sahası için tüm veri girişleri sağlandıktan sonra boru pürüzlülük katsayısının belirlenmesi için model kalibrasyonu çalışması gereklidir. Bu amaçla BM 2 ve BM 3 adlı basınç noktalarından elde edilen basınç ölçümleri ile hidrolik modelden elde edilen model tahminleri karşılaştırılmış ve en az model hatası veren boru pürüzlülük katsayısı (C) bulunmuştur. Boru pürüzlülük katsayısı sırası ile 90, 100, 110, 120, 130 ve 140 olarak hidrolik modele girilmiştir. Sahadaki basınç ölçümleri ile hidrolik model tahminleri arasındaki fark alınarak ortalama mutlak hata hesaplanmıştır. Model kalibrasyonu için simülasyonun ilk başladığı andan itibaren ilk 12 saat, ısınma süresi olarak belirlenmiştir. Boru pürüzlülük katsayısı belirlenirken ısınma süresi göz önünde

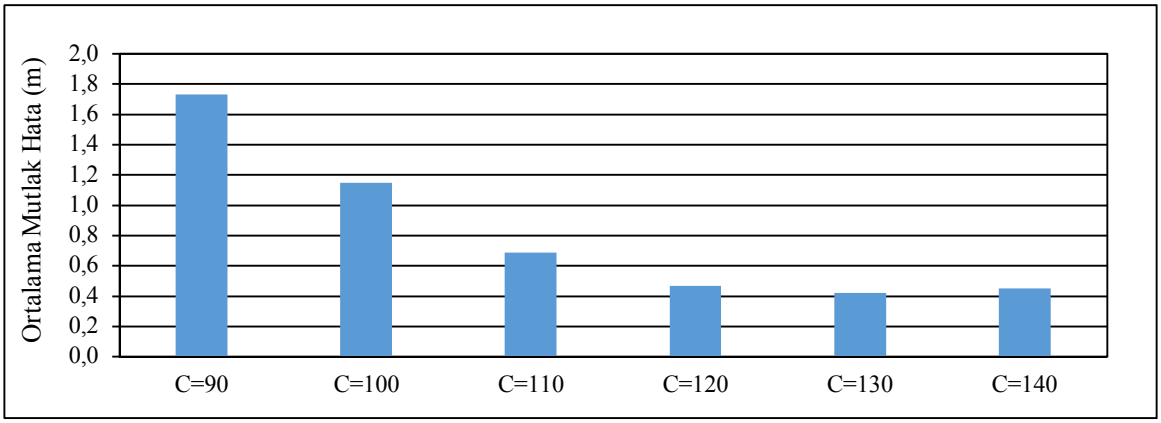
bulundurulmamış ve ısınma süresinden sonraki tahminler kullanılarak boru pürüzlülük katsayısı belirlenmiştir. BM 2 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.47'de verilmektedir. BM 2 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçümler arasındaki ortalama mutlak hata değerleri, Çizelge 4.14 ve Şekil 4.48'de sunulmaktadır. BM 3 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.49'da verilmektedir. BM 3 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçümler arasındaki ortalama mutlak hata değerleri, Çizelge 4.15 ve Şekil 4.50'de sunulmaktadır. BM 2 basınç ölçüm noktası için en düşük ortalama mutlak hata C=130 değeri için, BM 3 basınç ölçüm noktası için en düşük ortalama mutlak hata C=90 değeri için elde edilmiştir.



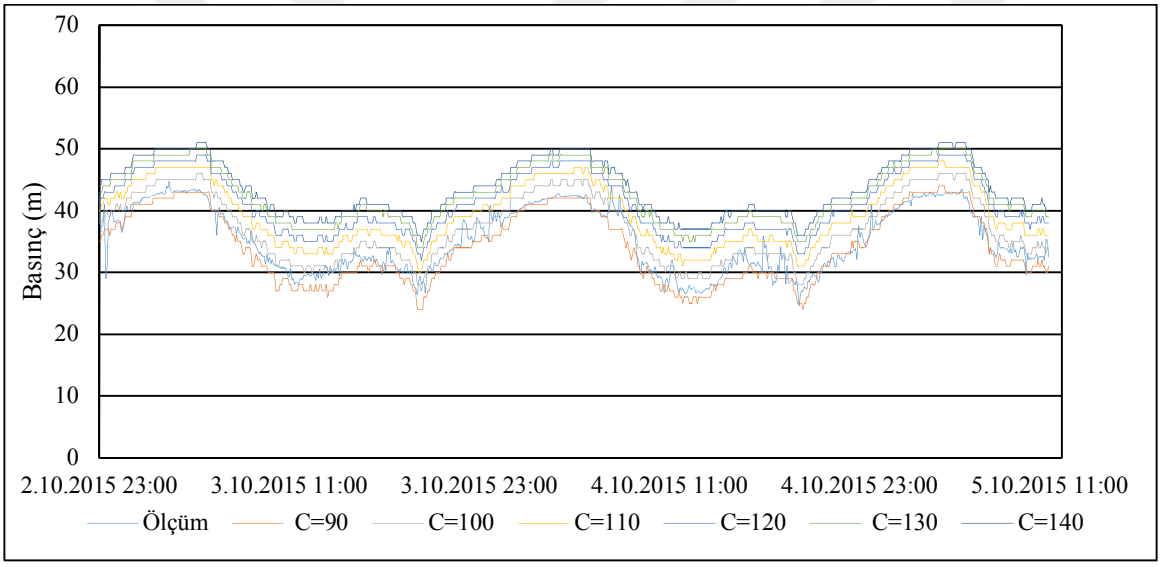
Şekil 4.47. Kalibrasyon döneminde BM 2 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri ve ölçümleri

Çizelge 4.14. Kalibrasyon döneminde BM 2 basınç ölçüm noktasında farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri

Pürüzlülük Katsayısı	C=90	C=100	C=110	C=120	C=130	C=140
Ortalama Mutlak Hata (m)	1,73	1,15	0,69	0,46	0,42	0,45



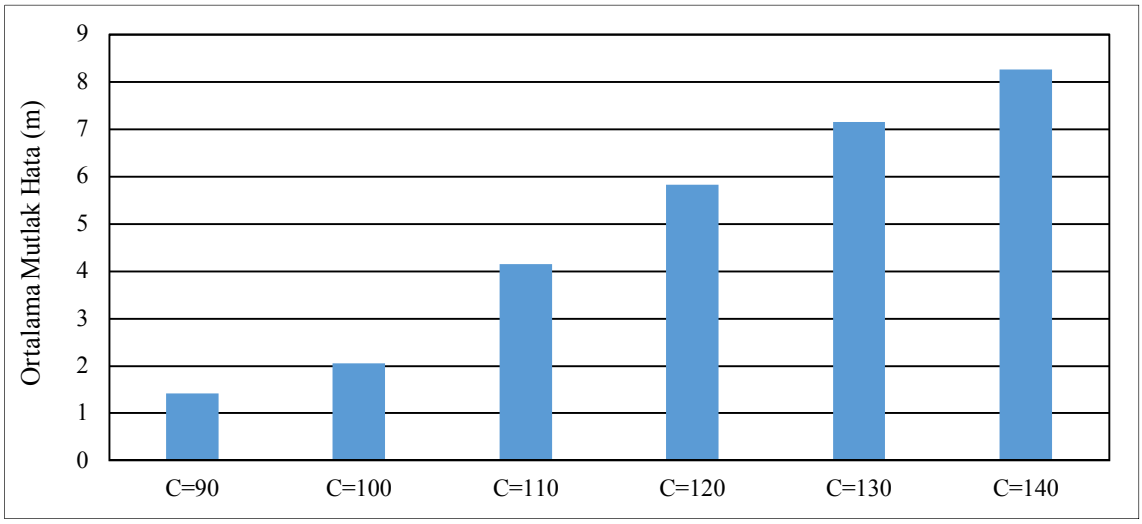
Şekil 4.48. Kalibrasyon döneminde BM 2 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri



Şekil 4.49. Kalibrasyon döneminde BM 3 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri ve ölçümler

Çizelge 4.15. Kalibrasyon döneminde BM 3 basınç ölçüm noktasında farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri

Pürüzlülük Katsayısı	C=90	C=100	C=110	C=120	C=130	C=140
Ortalama Mutlak Hata (m)	1,41	2,05	4,14	5,82	7,15	8,25



Şekil 4.50. Kalibrasyon döneminde BM 3 basınç ölçüm noktası için farklı pürüzlülük katsayıları ile elde edilen model tahminleri için hesaplanan ortalama mutlak hata değerleri

Sonuçlar incelendiğinde, BM 2 ve BM 3 basınç ölçüm noktaları için en az model hatası veren boru pürüzlülük katsayısı değerleri farklı çıkmıştır. Bu sebeple ortalama mutlak hataların ağırlıklı ortalamaları alınarak içmesuyu dağıtım şebekesi için boru pürüzlülük katsayısı belirlenmiştir. Ağırlıklı ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.16'da sunulmuştur. Ağırlıklı ortalama mutlak hata değerleri göz önüne alındığında, en düşük model hatası, boru pürüzlülük katsayısı C=100 durumu için elde edilmiştir. Buna bağlı olarak kalibrasyon çalışması ile uygulama sahası için boru pürüzlülük katsayısı 100 olarak belirlenmiştir.

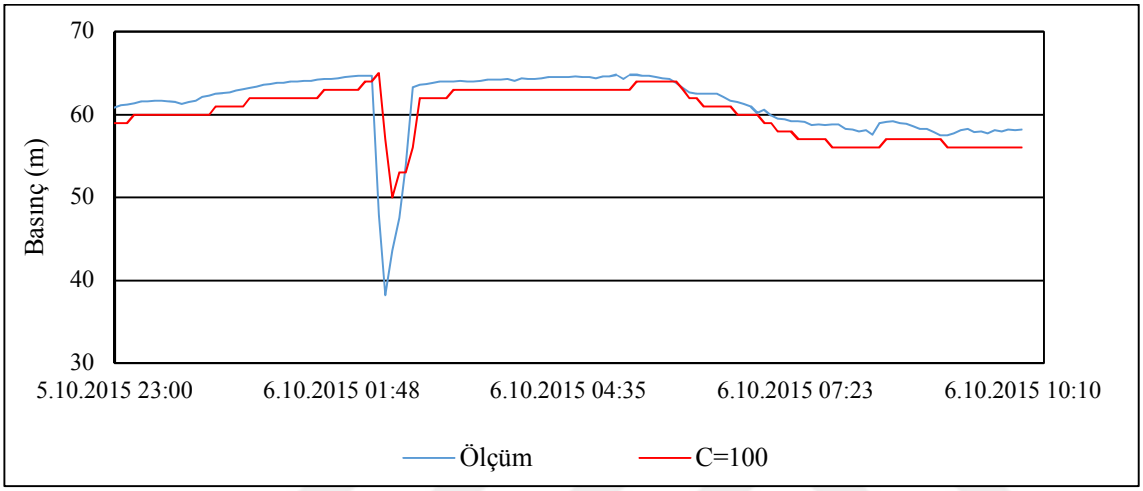
Çizelge 4.16. Model kalibrasyonu için ağırlıklı ortalama mutlak hata değerleri

Pürüzlülük Katsayısı	C=90	C=100	C=110	C=120	C=130	C=140
Ortalama Mutlak Hata (m)	3,45	3,20	4,83	6,29	7,57	8,70

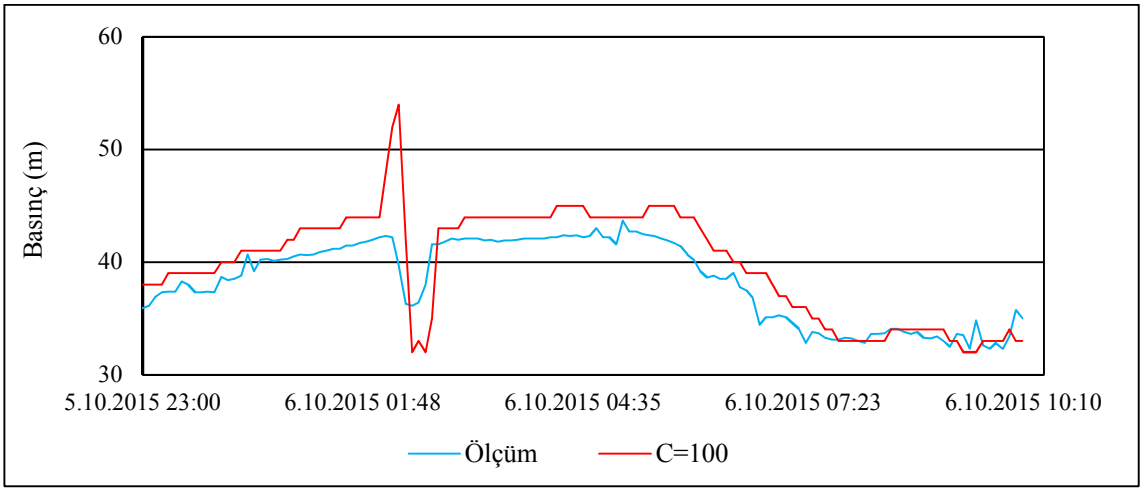
3.4.4. Hidrolik model doğrulaması

Hidrolik model doğrulama çalışması için 5 Ekim 2015 saat 11:00'den 6 Ekim 2015 saat 10:10'a kadar olan zaman diliminde 5 dakika zaman aralıkları ile toplam 23 saat süresince sürekli olarak gerçekleştirilen debi ve basınç ölçümleri kullanılmıştır. Bu zaman diliminde ölçülen debi ve basınç verileri kullanılarak debi ve basınç profilleri oluşturulmuştur. Boru pürüzlülük katsayısı için kalibrasyon çalışması ile elde edilen 100 değeri kullanılmıştır. Sahadaki basınç ölçümleri ile hidrolik model tahminleri arasındaki

fark alınarak ortalama mutlak hata hesaplanmıştır. Model doğrulaması için simülasyonun ilk başladığı andan itibaren ilk 12 saat, ısınma süresi olarak belirlenmiştir. BM 2 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.51'de verilmektedir. BM 2 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçümler arasındaki ortalama mutlak hata değeri 1,89 m olarak hesaplanmıştır. BM 3 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.52'de verilmektedir. BM 3 basınç ölçüm noktası için model tahminleri ile ölçümler arasındaki ortalama mutlak hata değeri 1,97 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.51. Doğrulama döneminde BM 2 basınç ölçüm noktası için boru pürüzlülük katsayısı C=100 için elde edilen model tahminleri ve ölçümler



Şekil 4.52. Doğrulama döneminde BM 3 basınç ölçüm noktası için boru pürüzlülük katsayısı C=100 için elde edilen model tahminleri ve ölçümler

3.5. Enerji Üretimi

Nüfus projeksiyonu ve debi tahminlerini takiben kalibrasyonu ve doğrulaması tamamlanan hidrolik model, aşağıda verilen kabuller göz önünde bulundurularak yönetim senaryoları oluşturulması amacı ile kullanılmıştır:

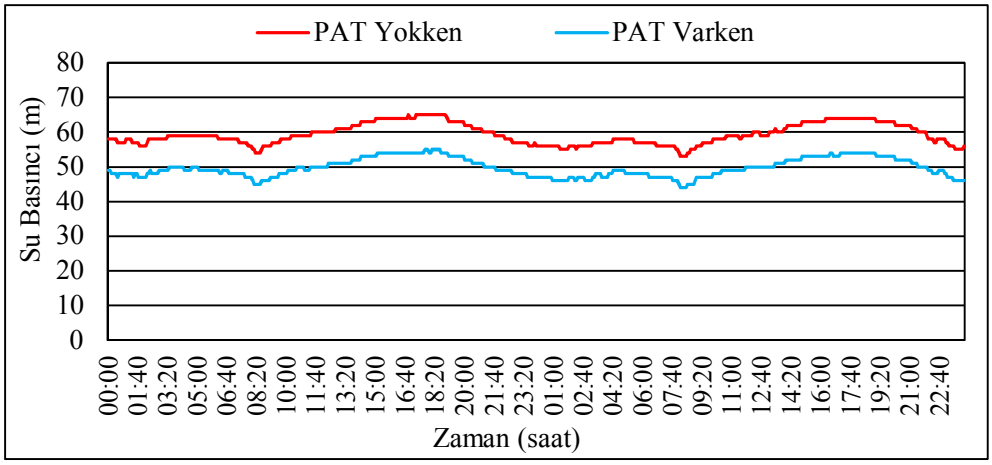
- 2-3 Ekim 2015 tarihleri arasındaki su dağıtım şebekesi işletim prensibi, yönetim senaryoları için aynı şekilde kabul edilmiştir.
- Su tüketim profillerinin tüm senaryolarda aynı oranda değiştiği kabul edilmiştir.
- Fiziki su kayıplarının minimum gece debisinin %80'i kadar olduğu kabul edilmiştir.
- Tahmin yapılan tüm yıllar için sistem giriş basıncının değişmediği kabul edilmiştir.
- PAT sistemi ile gelecek yıllar için de şebeke girişindeki basıncın 1 bar seviyesinde düşürüleceği kabul edilmiştir.

Yönetim senaryoları 2020, 2030 ve 2040 yılları için PAT sistemi varken (şebeke giriş su basıncının 1 bar azaltılması durumu) ve PAT sistemi yokken (mevcut şebeke giriş basıncı durumu) şartları için geliştirilmiştir. Bu kabuller ışığında yapılan çalışmalarda, PAT sistemi ile fazla su basıncının azaltılması ile birlikte çalışma bölgesinde gerçekleşen su basıncı değişimleri ve fiziki su kayıplarındaki azalma miktarları tahmin edilmiştir. PAT verimi gelecek yıllardaki debi artışına bağlı olarak %60 olarak kabul edilmiş ve PAT sistemi ile üretilen enerji miktarları da hesaplanmıştır. Hidrolik modelleme çalışması sonrasında su tüketimlerinin her bir periyodu için emitör katsayıları tespit edilmiştir. Tespit edilen emitör katsayıları Çizelge 4.17'de sunulmaktadır.

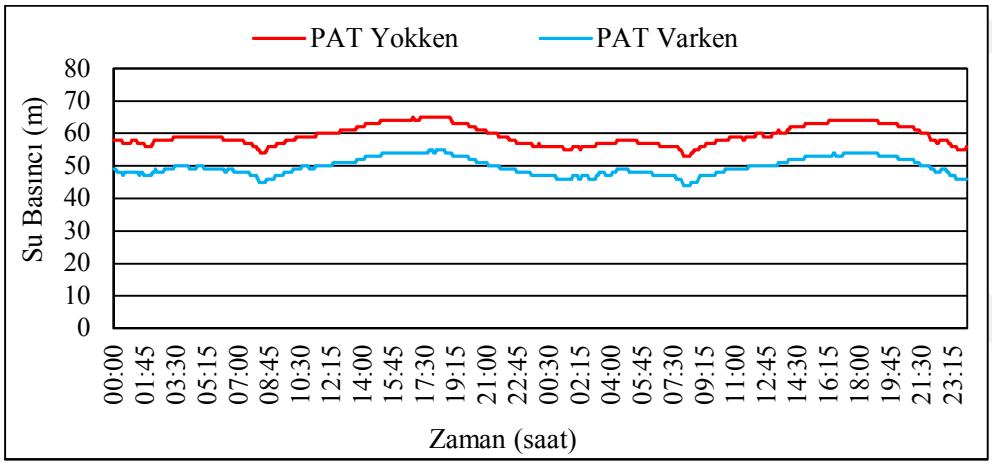
Çizelge 4.17. Çalışma bölgesi için tahmin edilen emitör katsayıları

Dönem	2020	2030	2040
Emitör	0,0206	0,0310	0,0540

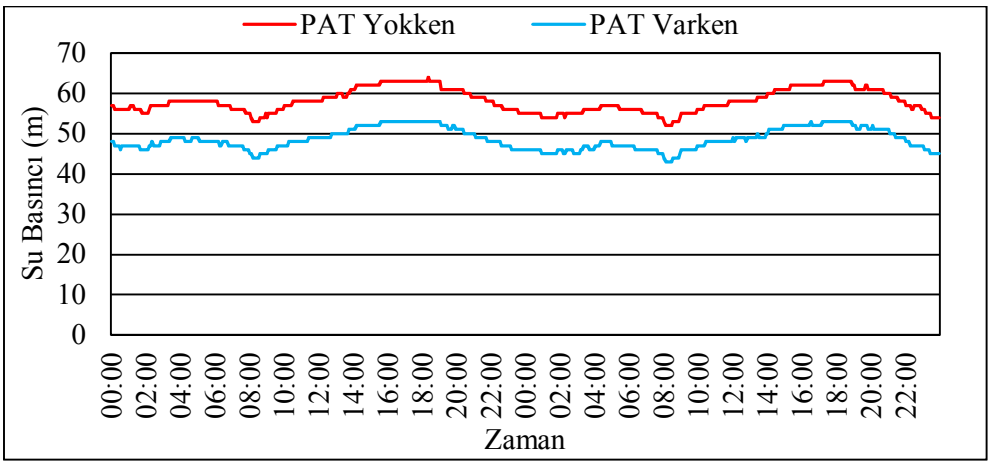
2020, 2030 ve 2040 yılları için model kalibrasyonu ve doğrulama çalışmaları süresince basınç ölçümlerinin gerçekleştirildiği BM 2 ve BM 3 noktaları için tahmin edilen su basınçlarının zamansal değişim grafikleri Şekil 4.53'te verilmektedir. Yapılan kabuller neticesinde elde edilen bulgulara göre çalışma bölgesindeki farklı topoğrafik özelliklerden dolayı şebekede yeterli su basıncını sağlamak için çalışma bölgesi içerisinde yer alan pompanın 2030 yılından sonra değiştirilmesi gerekeceği sonucuna ulaşılmıştır. Buna göre 2040 yılı için model tahmin çalışmaları gerçekleştirilmemiştir.



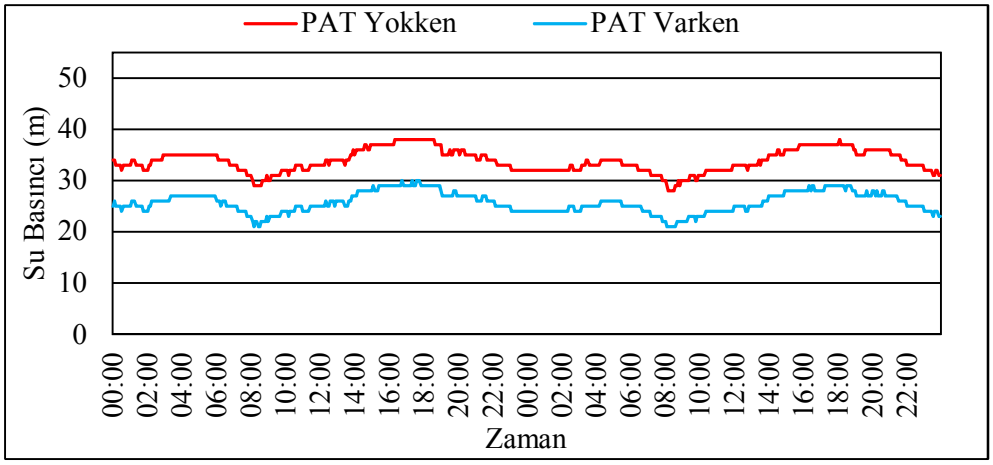
a) 2020 yılı için BM 2 ölçüm noktası için basınç tahminleri



b) 2020 yılı için BM 3 ölçüm noktası için basınç tahminleri



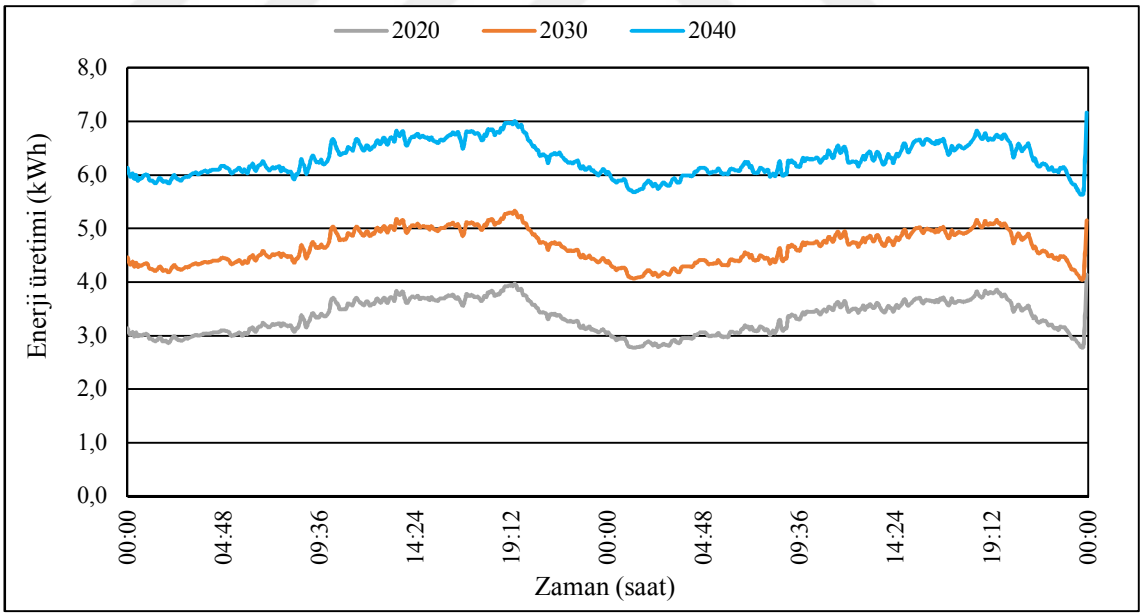
c) 2030 yılı için BM 2 ölçüm noktası için basınç tahminleri



d) 2030 yılı için BM 3 ölçüm noktası için basınç tahminleri

Şekil 4.53. Çalışma bölgesi için PAT yokken ve PAT varken durumları için BM 2 ve BM 3 noktalarındaki su basıncının zamansal değişimlerine ait model tahminleri

Çalışma bölgesinde fazla su basıncının PAT kullanılarak 1 bar azaltılması durumu göz önünde bulundurularak potansiyel enerji üretim miktarları hesaplanmış ve hesaplanan değerleri Şekil 4.54'te sunulmaktadır. Çalışma bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları Çizelge 4.18'de verilmektedir.



Şekil 4.54. Çalışma bölgesi için hesaplanan anlık enerji üretim miktarları

Gelecek yıllar için nüfusun artması ile beraber su tüketimi de artacaktır ve dolayısı ile PAT sisteminden geçen debinin de artması beklenmektedir. PAT sistemden geçen debinin artması sonucu 2040 yılı için hesaplanan enerji üretimi 6,29 kWh değerine ulaşabilecek, ortalama su tasarrufu ise 49,64 m^3/sa olacaktır.

Çizelge 4.18. Çalışma bölgesi için hesaplanan su tasarrufu ve enerji üretim miktarları

Yıl	PAT yokken ortalama debi (m^3/sa)	PAT varken ortalama debi (m^3/sa)	PAT yokken şebeke girişindeki ort. su basıncı (m)	Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)	Ortalama enerji üretimi (kWh)
2020	240,61	204,37	44,42	36,24	3,34
2030	326,08	284,73	44,42	41,35	4,65
2040	434,68	385,04	44,42	49,64	6,29

PAT sisteminin ilk işletimi süresince, PAT sisteminden geçen şebeke suyunda 1 bar düzeyinde basınç azalması sağlanacak düzeyde çalışmalar yürütülmüştür. PAT sistemi ile düşürülen 1 bar düzeyindeki fazla basınç, ASAT'ın bölgedeki şebeke işletme tecrübesine göre belirlenmiş olup PAT sisteminin tasarımı ve işletimi belirtilen basınç azalmasını sağlamaktadır. Belirtilen seviyedeki basınç azalması ile şebekenin devamındaki hidrolik özellikleri analiz etmek amacı ile WaterGEMS modeli ile PAT sisteminden beslenen içmesuyu dağıtım şebekesi için hidrolik modelleme çalışması mevcut bilgiler ve veriler ışığında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı gelecek yıllarda uygulama alanında gerçekleşecek nüfus artışına bağlı olarak içmesuyu dağıtım şebekesinde oluşacak basınç seviyelerinin tahmin edilmesi ve PAT sistemi ile basıncın 1 bar azaltılması durumunda gelecek yıllardaki su basıncı seviyelerini incelemektir. 2040 yılına kadarki dönem için bölgedeki nüfus artışı ve buna paralel olarak artan su tüketimleri ve debiler tahmin edilmiştir. Tahmin edilen değerler hidrolik modelleme çalışmasında kullanılarak 2040 yılına kadarki dönem için, şebekede basınç ölçümleri gerçekleştirilen BM 2 ve BM 3 noktaları için basınç değerleri tahmin edilmiştir. Gelecek yıllarda ölçüm noktalarında yeterli şebeke basıncı mevcut olacaktır. Çizelge 4.18'de sunulduğu gibi, modelleme yaklaşımındaki kabuller ışığında pilot uygulama sahasında gelecek yıllarda da PAT sistemi ile fazla basıncın 1 bar düzeyinde azaltılması ile artan debilere bağlı olarak su tasarrufu ve enerji üretimi de bir miktar artarak devam edecektir.

3.6. Çevresel Kazanımlar

Şebekede fazla basıncın pompa türbin sistemi ile düşürülmesi sürecinde enerji kazanımına bağlı karbon dioksit emisyonu azalımı ve diğer çevresel kazanımlar, çalışma bölgesinin 2020 yılı için hidrolik model tahminlerine göre ileriye dönük olarak hesaplanmıştır. 2020 yılı için hidrolik model tahminlerine göre pilot çalışma sahasında üretilen enerji miktarı ve Türkiye'de enerji birim emisyon eşleniği (ortalama 0,53426 kg CO_2/kWh) (Can, 2007) referans değeri kullanılarak karbon dioksit emisyonu azalım miktarı hesaplanmaktadır. Antalya kenti için içmesuyu temini sistemi ile 1 m^3 şebeke suyunun kaynaktan alınarak kullanıcıya ulaştırılması sürecinde tüketilen enerji miktarı

yaklaşık 0,60 kWh/m^3 olarak hesaplanmıştır (ASAT, 2013; Şahin, 2015). Belirtilen tüm çevresel kazanımlar çalışma alanındaki yerel şartlar dikkate alınarak aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- şebekedeki fazla basınçtan faydalanılarak üretilen enerji miktarı
- üretilen enerji miktarına bağlı olarak elde edilen karbon dioksit emisyonu azalımı
- şebekedeki fazla basıncın düşürülmesi ile birlikte şebekede tasarruf edilen su miktarı
- tasarruf edilen su miktarına bağlı olarak suyun iletim ve dağıtımından sağlanan enerji tasarrufu ve elde edilen karbon dioksit emisyonu azalımı

Hazırlanan tez çalışmasının uygulanmasında fazla basıncın düşürülmesi ile sağlanabilecek çevresel kazanımların bütününü ifade etmek için "tam maliyet karşılanması" prensibi gereğince pilot uygulama sahası için ortalama su birim fiyatı 0,78 Euro/m^3 olarak kabul edilmiştir. Enerji kazanımına bağlı karbon dioksit emisyonu azalımı ve diğer çevresel kazanımlar 2020 yılı (365 gün) için hidrolik model tahminlerine göre hesaplanmıştır ve aşağıda sunulmuştur.

Şebekedeki fazla basınçtan faydalanılarak üretilen enerji miktarı:

PAT sisteminin 2020 yılı için hidrolik model tahminlerine göre ortalama 3,34 kWh enerji üretmesi beklenmektedir. Birim zamanda üretilen elektrik miktarı olan 3,34 kWh değeri 1 yılda üretilen toplam elektrik değerini hesaplamak amacıyla 365 gün ile çarpıldığında bu dönemde üretilmesi beklenen teorik toplam elektrik 29258,4 kWh olarak bulunmuştur. Türkiye'de 1 kWh elektrik enerjisinin tüm bedeller, fonlar ve vergiler dahil fiyatı yaklaşık 0,1144 Euro olarak kabul edilmiştir. (Muhammetoğlu vd 2017b). Bu veriler birlikte değerlendirildiğinde 2020 yılı içim PAT sistemi ile;

- üretilmesi beklenen teorik toplam elektrik = 29258,4 kWh

- üretilecek elektrikten elde edilmesi beklenen kazanım = 29258,4 kWh * 0,1144 Euro/ kWh = 3347,16 Euro

Şebekede üretilecek enerji miktarına bağlı olarak elde edilmesi beklenen karbon dioksit emisyonu azalımı:

Şebekede fazla basıncın azaltılması sürecinde PAT kullanımı ile elektriğin üretilmesi aşamasında herhangi bir karbon dioksit emisyonuna sebep olunmamaktadır. Buna bağlı olarak PAT sistemi ile elde edilen elektrik miktarı üzerinden karbon dioksit emisyonu azalımı söz konusudur. Türkiye'de enerji birim emisyon eşleniği olarak ortalama 0,53426 kg CO_2/kWh değeri dikkate alındığında, 2020 yılında;

- üretilmesi beklenen teorik toplam elektrik = 29258,4 kWh

- karbon dioksit emisyonu azalımı = 29258,4 kWh * 0,53426 kg CO_2/kWh

= 15631,59 kg CO_2

Şebekedeki fazla basıncın düşürülmesi ile tasarruf edilen su miktarı:

Şebekede PAT kullanımı gerçekleştirildiğinde şebekede izlenen debilerde önemli düzeylerde azalma beklenmektedir. 2020 yılı için hidrolik model kullanılarak PAT sistemi varken ve yokken durumları için debi değerleri incelenmiştir. PAT sistemi yokken ve varken durumları için ortalama debi değerleri karşılaştırıldığında su tasarrufu miktarı (debi farkı) hesaplanabilmektedir. Elde edilen su tasarrufu miktarları Çizelge 4.19'da sunulmaktadır.

Çizelge 4.19. Çalışma alanında 2020 yılında ulaşılması beklenen su tasarrufu miktarı

Yıl	PAT yokken ort. debi (m^3/sa)	PAT varken ort. debi (m^3/sa)	Ort. Debi farkı (su tasarrufu) (m^3/sa)	Toplam su tasarrufu (m^3)
2020	240,61	204,37	36,24	317462,4

2020 yılı için PAT sisteminin kurulu olduğu ve olmadığı durum senaryoları incelenmiş ve PAT sisteminin kurulu olması durumunda bir yılda toplam 317462,4 m^3 su tasarrufu elde etmesi beklenmektedir. Bu durumda 1 m^3 su değerinin 0,78 Euro olduğu dikkate alındığında;

- tasarruf edilmesi beklenen toplam su hacmi = 317462,4 m^3

- tasarruf edilecek sudan elde edilen kazanım= 317462,4 m^3 * 0,78 Euro/m^3 = 247620,67 Euro

Şebekede tasarruf edilen suyun iletim ve dağıtımından sağlanan enerji tasarrufu ve elde edilen karbon dioksit emisyonu azalımı:

Antalya kenti için içmesuyu temini sistemi ile 1 m^3 şebeke suyunun kaynaktan alınarak kullanıcıya ulaştırılması sürecinde tüketilen enerji miktarı yaklaşık 0,67 kWh/m^3 olarak hesaplanmıştır ve bu değer ile değerlendirme yapılmaktadır. PAT sisteminin kurulumu ile 2020 yılı için PAT sisteminin kurulu olduğu ve olmadığı durumlar için, şebekedeki toplam su tasarrufu 317462,4 m^3 olarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak 2020 yılında şebekede tasarruf edilecek suyun iletim ve dağıtımından sağlanacak olan enerji tasarrufu, bedeli ve karbon dioksit azalımı;

- tasarruf edilmesi beklenen toplam su hacmi = 317462,4 m^3

- tasarruf edilmesi beklenen enerji = 317462,4 m^3 * 0,67 kWh/m^3 = 212699,81 kWh

- tasarruf edilmesi beklenen enerji bedeli = 212699,81 kWh * 0,1144 Euro/kWh
= 24332,86 Euro

- enerji tasarrufu ile elde edilmesi beklenen karbon dioksit emisyonu azalımı = 212699,81 kWh * 0,53426 kg CO_2/kWh = 113637 kg CO_2

3.7. Maliyet ve Geri Ödeme Süresi

Fayda maliyet analizi ve geri ödeme süresi hesabı için 114Y203 numaralı "*Sürdürülebilir İçmesuyu Temini Sistemleri için Yenilenebilir Enerji Kazanımı Potansiyelinin Araştırılması*" başlıklı TÜBİTAK projesinde yer alan veriler kullanılmaktadır. Maliyet kısmında; kurulan PAT sistemi için inşaat maliyetleri, PAT sisteminin tüm mekanik ve elektrik ekipman maliyeti ve PAT sisteminin montaj maliyeti dikkate alınmaktadır. Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin mekanik ve elektrik ekipman maliyeti Çizelge 4.20'de sunulmaktadır (Muhammetoğlu vd 2016).

Çizelge 4.20. Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin mekanik ve elektrik ekipman maliyeti (Muhammetoğlu vd 2016)

Açıklama	Adet	Birim Fiyat (Euro)	Toplam Fiyat (Euro)
Jeneratör 11kVA-750rpm	1	3.250	3.250
ELC Pano	1	5.300	5.300
PAT hidrolik kısım	1	2.000	2.000
Ölçü aletleri gösterge panosu	1	4.300	4.300
Datalogger	3	210	630
Basınç sensörü	2	100	200
Ara Toplam - PAT			**15.680 Euro**
Dif. basınç sbt. kontrol vanası	1	4.650	4.650
Sürgülü vana elestomer yataklı	1	510	510
Sürgülü vana aktüatör hazırlıklı	1	540	540
Manyetik debimetre	1	1.300	1.300
Kauçuk kompansatör	3		540
Flanşlı konik reduksiyon	1	230	230
Flanşlı konik reduksiyon	1	260	260
Flanşlı dirsek	2	230	460
Flanşlı tee	2	270	540
Ara Toplam - Yardımcı ekipmanlar			**9.030 Euro**
GENEL TOPLAM (10 kW PAT Sistemi için)			**24.710 Euro**

Maliyet kapsamındaki inşaat (rögar yapımı, üst kabin inşaatı vb.) ve montaj (mekanik ekipman montajı) maliyetleri de dahil edilerek elde edilen toplam maliyet Çizelge 4.21'de sunulmaktadır (Muhammetoğlu vd 2016). Fayda kısmında pilot uygulama sahasında üretilen enerji üretiminden elde edilen gelir ve tasarruf edilen su miktarı bedeli dikkate alınmakta olup elde edilen toplam kazanımlar Çizelge 4.22'de özetlenmektedir. Pilot uygulama sahasından elde edilen gelir ve tasarruf miktarı 1 Şubat – 13 Haziran 2016 dönemi (133 gün) için hesaplanmıştır (Muhammetoğlu vd 2016).

Çizelge 4.21. Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin toplam maliyeti

Maliyet kapsamı	Maliyeti (Euro)
İnşaat maliyeti	8450
PAT montajı ve mekanik montaj	5050
PAT sistemi	15680
PAT sistemi yardımcı ekipmanları	9030
Toplam Maliyet	**38210**

Çizelge 4.22. Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin izleme dönemi için (133 gün için) toplam kazanımları

Kazanım kapsamı	Kazanım (Euro)
Üretilen elektrikten elde edilen kazanım (8599 kWh * 0,1144 Euro/ kWh = 983,72 Euro)	983,72
Tasarruf edilen sudan elde edilen kazanım (188600 m^3 * 0,78 Euro /m^3 = 147.108 Euro)	147.108
Toplam Kazanım (133 gün için)	148091,72
Günlük Kazanım	**1113,47**

Geri ödeme süresi, pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin toplam maliyeti ve toplam kazanımları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplama için elde edilen veriler yeterli olduğundan farklı senaryo koşulları ve faiz oranlarının dikkate alınmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Geri ödeme süresi aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

Geri ödeme süresi (gün) = Toplam maliyet / Günlük kazanım

Geri ödeme süresi (gün) = 38210 Euro / 1113,47 = 34,32 ≈ 35 gün

Pilot uygulama sahasında kurulan PAT sisteminin geri ödeme süresi, sistemin performansının sürekli olarak izlenip kaydedildiği 133 günlük veriler ile 35 gün olarak

hesaplanmıştır. Kurulan sistemin geri ödeme süresinde tasarruf edilen sudan kazanım tutarı "tam maliyeti karşılanması" prensibi doğrultusunda hesaplanmış olup geri ödeme süresinin oldukça kısa olmasını sağlamıştır. Geri ödeme süresinin hesaplanmasında, PAT sisteminin kurulacağı içmesuyu şebekesi için yerel şartların dikkate alınması önemlidir. Kurulan sistem kapasitesi büyüdükçe maliyet daha da azalmaktadır. Çalışmadaki tüm fayda/maliyet analizi hesapları toplam 10 kW kurulu güç için geçerlidir (Muhammetoğlu vd 2017a).

3.8. Konyaaltı Bölgesi'nde Yer Alan Alt Bölgeler İçin Çevresel Kazanımlar ve Geri Ödeme Süresi

"*Sürdürülebilir İçmesuyu Temini Sistemleri için Yenilenebilir Enerji Kazanımı Potansiyelinin Araştırılması*" başlıklı TÜBİTAK projesinde ANFAŞ-EXPO bölgesinde kurulmuş olan pilot uygulama sonuçları incelendiğinde sisteme giren debinin %93,5'i PAT sisteminden geçmekte ve PAT sisteminin verimliliği %60 olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Konyaaltı bölgesinde yer alan tüm alt bölgeler için şebekeye giren debinin %93,5'inin PAT sisteminden geçeceği ve PAT sisteminin verimliliğin %60 olduğu durumda üretilecek enerji miktarı, ortalama su tasarrufu, azalacak CO_2 emisyonu ve sistemin geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar gelecek yıllar için yapılacağıdan para birimi olarak Euro kullanılmıştır. Ortalama birim elektrik fiyatı 0,1144 Euro/kWh, ortalama birim su fiyatı 0,78 Euro/m^3, suyun kaynağından alınması, pompalama ve iletim için harcanan enerji 0,60 kWh/m^3 olarak kabul edilmiştir (Muhammetoğlu vd 2017b, Ozen vd 2017). Konyaaltı bölgesinde yer alan alt bölgelerde kurulması önerilen PAT sisteminin maliyetinin, ANFAŞ-Expo bölgesinde kurulan PAT sistemi ile aynı olacağı kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak PAT sistemi kurulum maliyeti 38210 Euro olarak alınmıştır. Belirtilen kabullere bağlı olarak PAT kurulması halinde gerçekleşmesi beklenen çevresel kazanımlar ve geri ödeme süresi hesapları tüm alt bölgeler için Çizelge 4.23'te verilmiştir. Alt bölgeler için çevresel faydaları ve geri ödeme sürelerini gösteren çizelgeler DMA-6, DMA-1, DMA-2, DMA-12, DMA-15 ve DMA-16 için sırasıyla Çizelge 4.24, Çizelge 4.25, Çizelge 4.26, Çizelge 4.27, Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29'da verilmiştir. DMA-10 ve DMA-11 için yalnızca yaz dönemine ait veriler bulunduğu için bu alt bölgeler için geri ödeme süresi hesaplanmamıştır.

Çizelge 4.23. Tüm DMA'lar için basınç yönetimi stratejisi için özet çizelge

DMA No	Yıl	PAT Sisteminden Geçen Debi (m^3/sa)		Fazla Su Basıncı (m)		Ortalama Enerji Üretimi (kW)		Ortalama Su Tasarrufu (m^3/sa)		Ortalama Enerji Tasarrufu (kWh)		CO_2 Emisyonu Azalması (kg CO_2/sa)		Geri Ödeme Süresi (yıl)
		Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	
1	2020	16,66	17,38	30,30	29,43	0,83	0,84	4,51	4,03	2,71	2,42	1,89	1,74	1,28
	2030	22,47	23,08	29,50	28,73	1,09	1,08	5,94	5,09	3,56	3,05	2,48	2,21	
	2040	30,17	31,31	28,15	26,43	1,40	1,37	7,58	6,37	4,55	3,82	3,18	2,77	
2	2020	71,91	95,04	16,40	12,90	1,93	2,00	6,20	5,89	3,72	3,53	3,02	2,96	0,88
	2030	97,03	127,49	9,90	3,40	1,57	0,71	5,05	2,11	3,03	1,27	2,46	1,06	
	2040	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
6	2020	57,78	63,35	18,22	18,01	1,72	1,87	6,48	6,05	3,89	3,63	3,00	2,94	0,85
	2030	77,87	85,41	12,52	12,01	1,59	1,68	5,83	5,29	3,50	3,17	2,72	2,59	
	2040	104,70	114,60	3,72	3,01	0,64	0,56	2,24	1,72	1,34	1,03	1,06	0,85	
10*	2020		24,55		32,09		1,29		4,78		2,87		2,22	
	2030		33,10		32,09		1,74		6,48		3,89		3,01	
	2040		44,62		32,09		2,34		8,80		5,28		4,07	
11*	2020		8,41		31,35		0,43		0,28		0,17		0,32	
	2030		11,20		30,85		0,56		0,34		0,20		0,41	
	2040		15,24		30,85		0,77		0,53		0,32		0,58	
12	2020	6,38	9,86	29,83	30,37	0,31	0,49	0,72	1,09	0,43	0,65	0,40	0,61	5,77
	2030	8,64	13,11	29,83	29,87	0,42	0,64	0,99	1,38	0,59	0,83	0,54	0,78	
	2040	11,36	17,76	29,33	28,87	0,54	0,84	1,21	1,84	0,73	1,10	0,68	1,04	
15	2020	18,71	23,80	19,86	20,29	0,61	0,79	1,82	2,01	1,09	1,21	0,91	1,07	2,76
	2030	24,88	31,71	18,36	18,79	0,75	0,97	2,20	2,45	1,32	1,47	1,10	1,30	
	2040	34,57	42,96	16,36	15,79	0,92	1,11	2,88	2,85	1,73	1,71	1,42	1,51	
16	2020	28,25	29,29	16,50	17,54	0,76	0,84	2,97	2,37	1,78	1,43	1,36	1,21	2,00
	2030	37,70	39,38	15,50	16,54	0,96	1,07	3,69	3,01	2,21	1,81	1,69	1,53	
	2040	51,45	53,62	13,50	14,54	1,14	1,27	4,44	3,68	2,66	2,21	2,03	1,86	

* Basınç yönetimi uygulanması mümkün değildir. Bu nedenle hesaplamalar yapılmamıştır.

Çizelge 4.24. DMA-6'ya PAT sistemi kurulumu ile elde edilecek çevresel kazanımlar ve geri ödeme süresi

Yıl	2020	2030	2040
Tahmin edilen debi (m^3/sa)	61,80 (kış) 67,75 (yaz)	83,28 (kış) 91,35 (yaz)	111,98 (kış) 122,57 (yaz)
PAT sisteminden geçen debi (m^3/sa)	57,78 (kış) 63,35 (yaz)	77,84 (kış) 85,41 (yaz)	104,70 (kış) 114,60 (yaz)
Ortalama elektrik üretimi (kW)	1,80	1,64	0,6
Yıllık geri kazanılan enerji (kWh)	15768	14366	5256
Geri kazanılan enerjinin değeri (Euro/yıl)	**1804**	**1643**	**601**
Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)	6,27	5,56	1,98
Yıllık tasarruf edilen su (m^3/yıl)	54925	48706	17345
Tasarruf edilen suyun değeri (Euro/yıl)	**42842**	**37991**	**13529**
Ortalama enerji tasarrufu (kW)	3,76	3,34	1,19
Yıllık tasarruf edilen enerji (kWh)	32938	29258	10424
Tasarruf edilen enerjinin değeri (Euro/yıl)	3768	3347	1193
Ortalama CO_2 emisyonu azalımı (kg CO_2/sa)	2,97	2,66	0,96
Yıllık azaltılan CO_2 emisyonu (kg/yıl)	26017	23302	8410
Kazanılan enerji ve tasarruf edilen su miktarından elde edilen toplam fayda (Euro/yıl)	**44656**	**39634**	**14130**
Geri ödeme süresi (yıl)	**0,85**		

Çizelge 4.25. DMA-1 için çevresel kazanımlar ve geri ödeme süresi

Yıl	2020	2030	2040
Ortalama elektrik üretimi (kW)	0,84	1,09	1,39
Yıllık geri kazanılan enerji (kWh)	7359	9549	12177
Geri kazanılan enerjinin değeri (Euro/yıl)	**499**	**1092**	**1393**
Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)	4,27	5,52	6,98
Yıllık tasarruf edilen su (m^3/yıl)	37405	48355	61145
Tasarruf edilen suyun değeri (Euro/yıl)	**29176**	**37717**	**47693**
Ortalama CO_2 emisyonu azalımı (kg CO_2/sa)	1,82	2,35	2,98
Yıllık azaltılan CO_2 emisyonu (kg/yıl)	15943	20586	26105
Geri kazanılan enerji ve tasarruf edilen su miktarından elde edilen toplam fayda (Euro/yıl)	**29675**	**38809**	**49086**
Geri ödeme süresi (yıl)	**1,28**		

Çizelge 4.26. DMA-2 için çevresel kazanımlar ve geri ödeme süresi

Yıl	2020	2030	2040
Ortalama elektrik üretimi (kW)	1,97	1,14	*
Yıllık geri kazanılan enerji (kWh)	17257	9986	*
Geri kazanılan enerjinin değeri (Euro/yıl)	**1974**	**1142**	*
Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)	6,05	3,58	*
Yıllık tasarruf edilen su (m^3/yıl)	52998	31361	*
Tasarruf edilen suyun değeri (Euro/yıl)	**41338**	**24461**	*
Ortalama CO_2 emisyonu azalımı (kg CO_2/sa)	2,99	1,76	*
Yıllık azaltılan CO_2 emisyonu (kg/yıl)	26192	15418	*
Geri kazanılan enerji ve tasarruf edilen su miktarından elde edilen toplam fayda (Euro/yıl)	**43312**	**25603**	*
Geri ödeme süresi (yıl)	**0,88**		

DMA-2'de su tüketimi nüfus artış hızına paralel olarak artar ise 2040 yaz ve 2040 kış dönemlerinde giriş su basıncı alt bölgeyi beslemek için yeterli değildir. Bu nedenle 2040 yılı için PAT sistemi kullanımı mümkün değildir.

Çizelge 4.27. DMA-12 için çevresel kazanımlar ve geri ödeme süresi

Yıl	2020	2030	2040
Ortalama elektrik üretimi (kW)	0,4	0,53	0,69
Yıllık Geri kazanılan enerji (kWh)	3504	4643	6044
Geri kazanılan enerjinin değeri (Euro/yıl)	**401**	**531**	**691**
Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)	0,91	1,19	1,53
Yıllık tasarruf edilen su (m^3/yıl)	7972	10424	13403
Tasarruf edilen suyun değeri (Euro/yıl)	**6218**	**8131**	**10454**
Ortalama CO_2 emisyonu azalımı (kg CO_2/sa)	0,50	0,66	0,86
Yıllık azaltılan CO_2 emisyonu (kg/yıl)	4380	5782	7534
Geri kazanılan enerji ve tasarruf edilen su miktarından elde edilen toplam fayda (Euro/yıl)	**6619**	**8662**	**11145**
Geri ödeme süresi (yıl)	**5,77**		

Çizelge 4.28. DMA-15 için çevresel kazanımlar ve geri ödeme süresi

Yıl	2020	2030	2040
Ortalama elektrik üretimi (kW)	0,70	0,86	1,02
Yıllık Geri kazanılan enerji (kWh)	6132	7534	8935
Geri kazanılan enerjinin değeri (Euro/yıl)	**702**	**862**	**1022**
Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)	1,92	2,33	2,87
Yıllık tasarruf edilen su (m^3/yıl)	16819	20411	25141
Tasarruf edilen suyun değeri (Euro/yıl)	**13119**	**15921**	**19610**
Ortalama CO_2 emisyonu azalımı (kg CO_2/sa)	0,99	1,20	1,46
Yıllık azaltılan CO_2 emisyonu (kg/yıl)	8672	10512	12790
Geri kazanılan enerji ve tasarruf edilen su miktarından elde edilen toplam fayda (Euro/yıl)	**13821**	**16783**	**20632**
Geri ödeme süresi (yıl)	**2,76**		

Çizelge 4.29. DMA-16 için çevresel kazanımlar ve geri ödeme süresi

Yıl	2020	2030	2040
Ortalama elektrik üretimi (kW)	0,80	1,01	1,21
Yıllık Geri kazanılan enerji (kWh)	7008	8848	10600
Geri kazanılan enerjinin değeri (Euro/yıl)	**802**	**1012**	**1213**
Ortalama su tasarrufu (m^3/sa)	2,67	3,35	4,06
Yıllık tasarruf edilen su (m^3/yıl)	23389	29346	35566
Tasarruf edilen suyun değeri (Euro/yıl)	**18243**	**22890**	**27741**
Ortalama CO_2 emisyonu azalımı (kg CO_2/sa)	1,29	1,61	1,95
Yıllık azaltılan CO_2 emisyonu (kg/yıl)	11300	14104	17082
Geri kazanılan enerji ve tasarruf edilen su miktarından elde edilen toplam fayda (Euro/yıl)	**19045**	**23902**	**28954**
Geri ödeme süresi (yıl)	**2,00**		

4. SONUÇ

İçmesuyu temin sistemlerinde fazla basıncın bulunması öncelikle su kayıplarının artmasına sebep olmakta ve sistemlere çeşitli zararlar vermektedir. İletim hattı ve şebeke borularına zarar veren fazla basınç, ayrıca boru ve diğer ekipmanların da ömrünü azaltmakta, içmesuyu şebekelerinde su kayıplarının ve boru patlama sıklığının artmasına neden olmaktadır. Bu tür zararları en aza indirmek amacıyla su iletim hatları için genellikle maksimum su basıncı 100 metre su sütunu (mss) ile sınırlandırılmakta, içmesuyu dağıtım şebekelerinde ise maksimum 60 mss basınca izin verilmektedir. İçmesuyu temin sistemlerinde oluşan fazla basıncı düşürmek amacıyla basınç kırıcı vanalar, maslak veya hazne yapıları kullanılmaktadır. Bu yöntemler dışında türbin veya pompa türbin (PAT) sistemleri kullanılarak fazla basınç düşürülebilmekte ve aynı esnada enerji üretimi de sağlanmaktadır. Bahsedilen enerji üretimi herhangi bir olumsuz çevresel etki oluşturmadığından ötürü "yeşil enerji" üretimi olarak da tanımlanabilir. Türbin veya PAT sistemleri ile enerji üretiminde kırılan basınç düzeyi, debi ve kullanılan türbin veya PAT sisteminin verimi etkilidir.

Bu tez çalışması kapsamında sürdürülebilir içmesuyu temini sistemlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla bu sistemlerdeki fazla basınçtan enerji kazanım potansiyeli araştırılmıştır. Tez kapsamındaki çalışmalar ANFAŞ-EXPO içmesuyu dağıtım şebekesinde gelecek yıllar için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen temel sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

1. Bir içmesuyu temin sisteminde enerji kazanımı potansiyelinin araştırılması için öncelikli olarak yapılması gereken işlem su temin sisteminde fazla basınç bulunan bölgelerin tespit edilmesidir. Su iletim hatlarında fazla basıncın kırılması için türbin sistemleri kullanılması ve aynı zamanda enerji üretimi mümkündür ve dünyada birçok gerçek uygulaması bulunmaktadır.
2. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde basıncın optimum seviyede tutulması gereklidir. Düşük basınç seviyelerinde su abonelere ulaşmamakta ve bu sebeple müşteri memnuniyetsizliği yaşanırken, tersi durumda yüksek basınç seviyelerinde ise su kayıplarının artmasına sebep olur. Şebekelerdeki fazla basıncı düşürmek amacıyla yaygın olarak PRV kullanılmaktadır.
3. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde fazla basınçtan enerji kazanımı potansiyelini değerlendirmek amacıyla mevcut durumdaki debi ve su basıncı değerlerinin sürekli olarak izlenmesi oldukça önemlidir.
4. İçmesuyu temin sistemlerinde mevcut durumdaki fazla basınç düzeyinin belirlenmesinden sonra, gelecek yıllar için fazla basınç miktarı ve debi değerlerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Gelecek 20-30 yılı içeren dönemlerde içmesuyu dağıtım şebekelerinde gerçekleşmesi olası olan debi ve basınç koşullarını tahmin edebilmek amacıyla hidrolik modellerin kullanılması gerekmektedir.

5. İçmesuyu dağıtım şebekelerinin simülasyonu amacı ile kullanılan hidrolik modellerde, boru pürüzlülük katsayısı için model kalibrasyonu ve doğrulaması çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
6. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde hidrolik modelleme çalışması ile potansiyel fazla basınç miktarları belirlendikten sonra fazla basınçtan sağlanabilecek olan enerji kazanımı miktarı hem mevcut durum, hem de gelecek yıllar için değerlendirilmelidir.
7. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde basıncın düşürülmesi ile birlikte şebekedeki fiziki su kayıplarında azalma gerçekleşmektedir. Fazla basıncın düşürülmesi neticesinde şebekedeki fiziki su kayıplarındaki azalmayı belirlemek için orifis eşitliği kullanılmaktadır.
8. İçmesuyu iletim hatlarında oluşan fazla basınçtan enerji üretmek için türbinlerin kullanılması yaygın bir uygulama olmakla birlikte türbinlerin seçimi ve tasarımı özel bir uzmanlık gerektirmektedir.
9. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde fazla basıncın düşürülmesi amacı ile pompa türbinlerin (PAT) kullanımı teknik ve fizibilite bakımından oldukça ciddi bir şekilde araştırılmaktadır. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde PAT kullanımına yönelik gerçek uygulamalar ve işletim performansına yönelik bilgiler hakkında çok fazla çalışma yapılmamıştır Türkiye'de ise Antalya içmesuyu dağıtım şebekesinde kurulan PAT sistemine kadar bu konuda gerçek uygulama bulunmamakta idi. Antalya ANFAŞ EXPO alanı, PAT sisteminin kurulumu için seçilmiştir. Mevcut durumda ASAT yetkilileri kurulan PAT sistemi ile şebeke giriş basıncının 1 bar düşürülmesi için onay vermişlerdir. Buna bağlı olarak kurulan PAT sistemi ile sisteme giriş basıncının sadece 1 bar düşürülmesi için sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. PAT sisteminde kullanılan tüm ekipman TÜBİTAK tarafından desteklenen "*Sürdürülebilir İçmesuyu Temini Sistemleri için Yenilenebilir Enerji Kazanımı Potansiyelinin Araştırılması*" başlıklı proje bütçesi tarafından temin edilmiş ve sistemin ön kurulumu ve deneyleri Ağustos-Ekim 2015 döneminde İstanbul'da Standart Pompa A.Ş.'nin fabrikasında gerçekleştirilmiştir.

   Kasım 2015 – Ocak 2016 döneminde Antalya ANFAŞ EXPO alanı önünde PAT sisteminin kurulumu için tüm inşaat ve şebeke bağlantı işlemleri tamamlanmış ve 26 Ocak 2016 tarihi itibariyle PAT sistemi işletime alınmıştır. 26 Ocak – 15 Haziran 2016 dönemi içinde PAT sistemi şebekede sürekli işletimde kalmış ve şebeke işletimi açısından herhangi bir sorun/şikayet oluşmamıştır. Kurulan sistem, ASAT tarafından proje bitişinden sonra da işletimde tutulmaktadır. Geçen süre boyunca PAT sisteminin performansı eklenen sensörler ile sürekli olarak izlenmiş ve PAT sisteminden geçen debi, üretilen güç ve giriş basıncı verileri 5 dakika aralıkla kaydedilmiştir. PAT sisteminden geçen debi, üretilen güç, giriş basıncı ve çıkış basıncı değerleri hazırlanan panolarda sürekli olarak görülebilmektedir. Şebekede çok dinamik olan debi ve basınç değerlerine rağmen

kurulan PAT sistemi ile istikrarlı bir işletim sağlanmış ve düzenli olarak yaklaşık 1 bar düzeyinde basınç azalması elde edilmiştir. İzleme dönemi içerisinde zaman zaman su kesintileri de yaşanmış olup, PAT sistemi otomatik olarak devreden çıkmış ve devreye girmiştir. Projede elde edilen teknik veri ve tecrübeler, ülkemizde ve Dünya'da benzer sistemlerin kurulumu için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

10. PAT sisteminin içmesuyu dağıtım şebekelerinde kullanılması basıncı düşürürken sadece enerji geri kazanımı sağlamakla kalmayıp daha pek çok çevresel kazanım da söz konusu olmaktadır. Şebekede fazla basıncın azaltılması sürecinde PAT kullanımı ile elektriğin üretilmesi aşamasında herhangi bir karbon dioksit emisyonuna sebep olunmamaktadır. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde fazla basıncın PAT sistemi ile düşürülmesi öncelikli olarak şebekedeki su kayıplarının azalmasını (su tasarrufunu) sağlamaktadır. Ek olarak, PAT sistemi ile elde edilen elektrik miktarı üzerinden karbon dioksit emisyonu azalımı söz konusudur. Tez kapsamında gelecek yıllar için PAT kullanımı ile elde edilebilecek tüm kazanımlar analiz edilmiştir. Pilot uygulama sahasındaki yerel şartlar dikkate alınarak 2020 yılı için elde edilmesi beklenen temel çevresel kazanımlar aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- Şebekedeki fazla basınçtan faydalanılarak üretilmesi beklenen teorik toplam enerji (29258,4 kWh)
- Üretilecek enerji miktarına bağlı olarak elde edilmesi beklenen karbon dioksit emisyonu azalımı (15631,59 kg CO_2)
- Şebekedeki fazla basıncın düşürülmesi ile birlikte şebekede tasarruf edilmesi beklenen toplam su hacmi (317462,4 m^3)
- Tasarruf edilen su miktarına bağlı olarak suyun iletim ve dağıtımından sağlanacak olan enerji tasarrufu (212699,81 kWh) ve karbon dioksit emisyonu azalımı (113637,0 kg CO2)

Bu kazanımların yanı sıra içmesuyu şebekelerindeki fazla basıncın düşürülmesi ile şebekedeki boru patlaması, arıza sayısı ve onarım/tamirat bedellerinde önemli düşüşler oluşmaktadır. Şebekelerin optimum işletim basıncında işletilmesi ile şebeke ve mekanik ekipman ömrü uzamakta, böylece şebeke yenileme işlemleri geciktirilmektedir. Benzer şekilde şebekelerdeki fazla basıncın düşürülmesi ile su kayıpları azaltılmakta ve buna bağlı olarak su kaynakları daha uzun süreler taleplerin karşılanması için yeterli olmakta ve yeni kaynak bulunması ve yatırımları geciktirilmektedir.

11. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde PAT sistemi kullanılarak fazla basıncın düşürülmesi çalışmalarında fayda maliyet analizi yapılarak geri ödeme süresinin hesaplanması gerekmektedir. Bu sayede yapılan çalışmanın fizibilitesi değerlendirilmektedir. Antalya su dağıtım şebekesinde kurulan uygulama sahasında PAT sisteminin toplam maliyeti 38.210 Euro olarak hesaplanmıştır. İnşaat için bu maliyetin yaklaşık %22'si, sistem kurulum ve montajları için ise

%13'lük kısmı harcanmıştır. 1 Şubat – 13 Haziran 2016 döneminde elde edilen veriler ile kurulan PAT sisteminin kazanımları belirlenmiştir. Belirtilen dönem için su tasarrufundan sağlanan kazanım 147.108 Euro ve üretilen elektrikten elde edilen kazanım 983,72 Euro olmuştur. Kurulan PAT sisteminin günlük kazanımı 1113,47 Euro ve PAT sistemi için geri ödeme süresi 35 gün olarak hesaplanmıştır. Elde edilen geri ödeme süresi oldukça kısa olduğu için fayda maliyet analizi için faiz koşulları dikkate alınmamıştır.

5. KAYNAKLAR

ALDAŞ. 2015. ALDAŞ'ta görevli olan ve "Sürdürülebilir İçmesuyu Temini Sistemleri için Yenilenebilir Enerji Kazanımı Potansiyelinin Araştırılması" adlı projede yer alan araştırmacılarla sözlü görüşme ve Termessos Hattı için teknik bilgi paylaşımı.

ALEGRE, H., BAPTISTA, J., CABRERA, E., CUBILLO, F., DUARTE, F., HIRNER, W. and PARENA, R. 2000. Performance Indicators for Water Supply Services. IWA Manual of Best Practices. ISBN: 900222272.

ANONİM-1. ASAT web sayfası Son erişim tarihi: 9 Şubat 2017. (http://www.asat.gov.tr/index.php?page=pages&PID=502)

ANONİM-2. ASAT web sayfası (http://www.asat.gov.tr/?page=pages&PID=501) Son erişim tarihi: 9 Şubat 2017.

ARRIAGA, M. 2010. Pump as turbine–a pico-hydro alternative in Lao People's Democratic Republic. *Renewable Energy*, 35(5), 1109-1115.

ASAT. 2013. ASAT 2013 Yılı Faaliyet Raporu. Antalya.

ASAT. 2015. ASAT 2014 yılı Faaliyet Raporu, Antalya.

Bentley, 2016. Water Distribution Analysis and Design Software. https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems

BRADY, J., GALLAGHER, J., CORCORAN, L., COUGHLAN, P., MCNABOLA, A. 2016. Effects of Long-term Flow Variation on Micro-Hydropower Energy Production in Pressure 2 Reducing Valves in Water Distribution Networks. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000731.

CAN, O. 2007. "İşletmelerde Karbon Yönetimi ve Gönüllü Karbon Piyasaları", Uluslararası Çevre Yatırım ve İşbirliği Konferansı, 5-7 Haziran 2007, Kocaeli. (http://www.rec.org.tr/dyn_files/32/351-Oguz-Can-ISTAC.pdf)

CARRAVETTA, A., DEL GIUDICE, G., FECAROTTA, O., & RAMOS, H. M. 2012. Energy production in water distribution networks: A PAT design strategy. Water resources management, 26(13), 3947-3959.

CARRAVETTA, A., DEL GIUDICE, G., FECAROTTA, O., & RAMOS, H. M. 2013. Pump as turbine (PAT) design in water distribution network by system effectiveness. Water, 5(3), 1211-1225.

CARRAVETTA, A., FECAROTTA, O., SINAGRA, M., & TUCCIARELLI, T. 2014. Cost-benefit analysis for hydropower production in water distribution networks

by a pump as turbine. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(6), 04014002.

CHOULOT, A. 2010. Energy Recovery in Existing Infrastructures with Small Hydropower Plants. FP6 Project Shapes (Work Package 5—WP5).

COELHO, B., CAMPOS, A.A. 2014. Efficiency achievement in water supply systems - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 59–84.

CORCORAN, L., MCNABOLA, A., COUGHLAN, P., 2016. Optimization of Water Distribution Networks for Combined Hydropower Energy Recovery and Leakage Reduction. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000566.

CORCORAN L., COUGHLAN P., MCNABOLA A. 2013 Energy recovery potential using micro hydropower in water supply networks in the UK and Ireland, *Water Science and Technology: Water Supply*, **13**(2), 552-560.

DE MARCHIS, M., FONTANAZZA, C. M., FRENI, G., MESSINEO, A., MILICI, B., NAPOLİ, E., & SCOPA, A. 2014. Energy recovery in water distribution networks. Implementation of pumps as turbine in a dynamic numerical model. Procedia Engineering, 70, 439-448.

DE MARCHIS, M., FRENI, G. 2015. Pump as turbine implementation in a dynamic numerical model: cost analysis for energy recovery in water distribution network. *Journal of Hydroinformatics,* 17(3), 347–360.

ELBATRAN, A.H., YAAKOB, O.B., AHMED, Y.M., SHABARA, H.M. 2015. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 40–50.

ERDEMGİL. M. N. 1995. Su getirme. Bilim Kitap Kırtasiye, Ankara

FECAROTTA, O., ARICÒ, C., CARRAVETTA, A., MARTINO, R., & RAMOS, H. M. 2015. Hydropower potential in water distribution networks: Pressure control by PATs. *Water Resources Management*, 29(3), 699-714.

FONTANA, N., GIUGNI, M., VE PORTALANO, D. 2012. Losses Reduction and Energy Production in Water-Distribution Networks. *Journal of water resources planning and management*. 138:237-244. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000179.

FONTANA, N., GIUGNI, M., GLIELMO, L., AND MARINI, G. 2016. Real Time Control of a Prototype for Pressure Regulation and Energy Production in Water

Distribution Networks. *J. Water Resour. Plann. Manage*., 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000651, 04016015.

GIOSIO, D. R., HENDERSON, A. D., WALKER, J. M., BRANDNER, P. A., SARGISON, J. E., & GAUTAM, P. 2015. Design and performance evaluation of a pump-as-turbine micro-hydro test facility with incorporated inlet flow control. *Renewable Energy*, 78, 1-6.

GIUGNI, M., FONTANA, N., PORTOLANO, D. 2009. Energy savings policy in water distribution networks. *Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09)*, Valencia, Spain.

GIUGNI, M., FONTANA, N., & RANUCCI, A. 2014. Optimal location of PRVs and turbines in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(9), 06014004.

GRAY, N.F. 2010. Water Technology: an Introduction for Environmental Scientists and Engineers, 3rd edition, Oxford, Butterworth-Heinemann.

JAFARI, R., KHANJANI, M.J., ESMAEILIAN, H.R. 2015. Pressure management and electric power production using Pumps as Turbines. *Journal AWWA*, 107(7), E351–E363.

JAIN S.V., PATEL R.N. 2014 Investigations on pump running in turbine mode: A review of the state-of-the-art, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 841-868.

İLBANK. 2013. İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite Ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname, Ankara.

KARA S., KARADİREK İ.E., MUHAMMETOGLU A., MUHAMMETOGLU H. 2016. "Real time monitoring and control in water distribution systems for improving operational efficiency", Desalination and Water Treatment, 57:25.

KARADIREK, I. E., KARA, S., YILMAZ, G., MUHAMMETOGLU, A., & MUHAMMETOGLU, H. 2012. Implementation of hydraulic modelling for water-loss reduction through pressure management. Water Resources Management, 26(9), 2555-2568.

KHAIR A. 2012 Integration of hydro turbines in water supply systems for energy recovery in Jordan; Case Study Aqaba water supply system, M.Sc. Thesis, Faculty of Graduate Studies, University of Jordan, 122 sayfa.

LAHIMER, A.A., ALGHOUL, M.A., SOPIAN, K., AMIN, N., ASIM, N., FADHEL, M.I. 2012. Research and development aspects of pico-hydro power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 16, 5861–5878.

LAMBERT, A.O., and MCKENZIE, R. D. 2002. Practical Experience in Using The Infrastructure Leakage Index. In Proceedings Of IWA Conference–Leakage Management: A Practical Approach. Lemesos, Cyprus.

LOOTS, I., VAN DİJK, M., VAN VUUREN, S. J., BHAGWAN, J. N., & KURTZ, A. 2014. Conduit-hydropower potential in the City of Tshwane water distribution system: A discussion of potential applications, financial and other benefits. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 56(3), 02-13.

MAYS, L. W. 1999. Water distribution system handbook.: McGraw-Hill Professional Publishing. New York, NY, USA

MCNABOLA, A., COUGHLAN, P., CORCORAN, L., POWER, C., WILLIAMS, A.P., HARRIS, I., GALLAGHER, J., STYLES, D. 2014. Energy recovery in the water industry using micro-hydropower: an opportunity to improve sustainability. *Water Policy*, 16, 168–183.

MCNABOLA, A., COUGHLAN, P., & WILLIAMS, A. 2011. The technical and economic feasibility of energy recovery in water supply networks. *In Proceedings of International Conference on Renewable Energy and Power Quality*, , Spain (Vol. 1315).

MOTWANI, K. H., JAIN, S. V., & PATEL, R. N. 2013. Cost analysis of pump as turbine for pico hydropower plants–a case study. *Procedia Engineering*, 51, 721-726.

MUHAMMETOĞLU, A. vd. 2016. Sürdürülebilir İçmesuyu Temini Sistemleri için Yenilenebilir Enerji Kazanımı Potansiyelinin Araştırılması TÜBİTAK 114Y203 Nolu Proje Final Raporu.

MUHAMMETOGLU, A., KARADİREK, I.E., OZEN, O., MUHAMMETOGLU, H. 2017a. Full-Scale PAT Application for Energy Production & Pressure Reduction in a Water Distribution Network, *A.S.C.E. Journal of Water Resources Planning and Management*, 143 (8), https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000795#sthash.sM3ClEZ5.dpuf.

MUHAMMETOGLU, A., NURSEN, C., KARADİREK, I.E., MUHAMMETOGLU, H. 2017b. Evaluation of Performance and Environmental Benefits of a Full Scale Pump as Turbine System in Antalya Water Distribution Network, *Water Science and Technology-Water Supply*, DOI: 10.2166/ws.2017.087.

MUSLU, Y. 2002. Çözümlü problemlerle su temini ve çevre sağlığı. *Su Vakfı.*

NAUTIYAL, H., VARUN, K.A. 2010. Reverse running pumps analytical, experimental and computational study: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2059–2067.

OZEN, O., GULAYDIN, O., KARADİREK I.E., MUHAMMETOGLU, A., MUHAMMETOGLU, H. 2017. Implementation of hydraulic modelling for site selection of Pump as Turbines for pressure reduction and power production in water distribution networks, Desalination & Water Treatment, (basım için kabul edildi).

PATELIS, M., KANAKOUDIS, V., GONELAS, K. 2016. Pressure management and energy recovery capabilities using PATs. *2nd EWaS International Conference*, 1-4 June, 2016, Chania, Crete, Greece.

PUGLIESE, F., DE PAOLA, F., FONTANA, N., GIUGNI, M., & MARINI, G. 2016. Experimental characterization of two Pumps As Turbines for hydropower generation. *Renewable Energy*, 99, 180-187.

PULEO, V., FONTANAZZA, C. M., NOTARO, V., DE MARCHIS, M., FRENI, G., & LA LOGGIA, G. 2014. Pumps as turbines (PATs) in water distribution networks affected by intermittent service. *Journal of Hydroinformatics*, 16(2), 259-271.

RINTOUL, M. 2012. Modelling Water Distribution Networks to determine potential energy recovery using ESP-r, Sustainable Engineering: Renewable Energy Systems and the Environment, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, M.Sc. Thesis, University of Strathclyde Engineering.

RAMOS, H. M., KENOV, K. N., & VIEIRA, F. 2011. Environmentally friendly hybrid solutions to improve the energy and hydraulic efficiency in water supply systems. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 436-442.

RAMOS, H. M., VIEIRA, F., & COVAS, D. I. 2010. Energy efficiency in a water supply system: Energy consumption and CO 2 emission. *Water Science and Engineering*, 3(3), 331-340.

ROSSMAN, L. A. 2000. EPANET 2.0 Users Manuel, Water Supply and Water Resources Division. Cincinnate: National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet/EN2manual.PDF.

SAMMARTANO, V., ARICÒ, C., SINAGRA, M., TUCCIARELLI, T. 2015. Cross-Flow Turbine Design for Energy Production and Discharge Regulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(3), DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000977.

SAMORA, I., MANSO, P., FRANCA, M.J., SCHLEİSS, A.J., RAMOS, H.M. 2016a. Energy Recovery Using Micro-Hydropower Technology in Water Supply Systems: The Case Study of the City of Fribourg., *Water*, 8(344), DOI: 10.3390/w8080344.

SAMORA, I, MANSO, P., FRANCA, M.J., SCHLEISS, A.J., RAMOS, H.M. 2016b. Opportunity and Economic Feasibility of Inline Microhydropower Units in Water Supply Networks. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, DOI:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000700.

SU, P. A., & KARNEY, B. 2015. Micro hydroelectric energy recovery in municipal water systems: A case study for Vancouver. *Urban Water Journal*, 12(8), 678-690.

ŞAHİN, B. 2015. Su Dağıtım Şebekelerinde Enerji Kazanımı ve Su Kayıplarının Azaltılması İçin Su Türbinleri Kullanımı Uygulamalarının Araştırılması: Antalya Kenti Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 149s.

PULEO, V., FONTANAZZA, C.M., NOTARO, V., DE MARCHIS, M., FRENI, G., LA LOGGIA, G. 2014. "Pumps as turbines (PATs) in water distribution networks affected by intermittent service." *Journal of Hydroinformatics*, 16(2), 259–271.

RINTOUL M. 2012. Modelling water distribution networks to determine potential energy recovery using ESP-r, M.Sc. Thesis, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Strathclyde, 51 pages.

TELCİ I.T. 2012. Optimal water quality management in surface water systems and energy recovery in water distribution networks, Ph. D. Thesis, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 168 pages.

THORNTON, J., STURM, R., & KUNKEL, G. 2008. *Water loss control. McGraw Hill Professional*. 51-59

TRICARICO, C., MORLEY, M. S., GARGANO, R., KAPELAN, Z., DE MARINIS, G., SAVIĆ, D., & GRANATA, F. 2014a. Integrated optimal cost and pressure management for water distribution systems. *Procedia Engineering*, 70, 1659-1668.

TRICARICO, C., MORLEY, M. S., GARGANO, R., KAPELAN, Z., DE MARINIS, G., SAVIĆ, D., & GRANATA, F. 2014b. Optimal Water Supply System Management by Leakage Reduction and Energy Recovery. *Procedia Engineering*, 89, 573-580.

TÜBİTAK. 2011. İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Optimum Klorlama Uygulamalarının Matematiksel Modeller Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Dezenfeksiyon Sistemlerinin Yönetimi isimli TÜBİTAK 107G088 Nolu Proje Final Raporu.

TÜİK. 2015., http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul. Son erişim tarihi: 9 Şubat 2017.

TÜRKDOĞAN, F. İ., & YETİLMEZSOY, K. 2004. Su getirme ve kanalizasyon uygulamaları. Su Vakfı Yayınları.

VILANOVA, M.R.N, BALESTERI J.A.P. 2014. Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 701–714.

WILLIAMS, A.A. 1996. Pump as turbines for low cost micro hydropower. *Renewable Energy*, 9(1–4), 1227–1234.

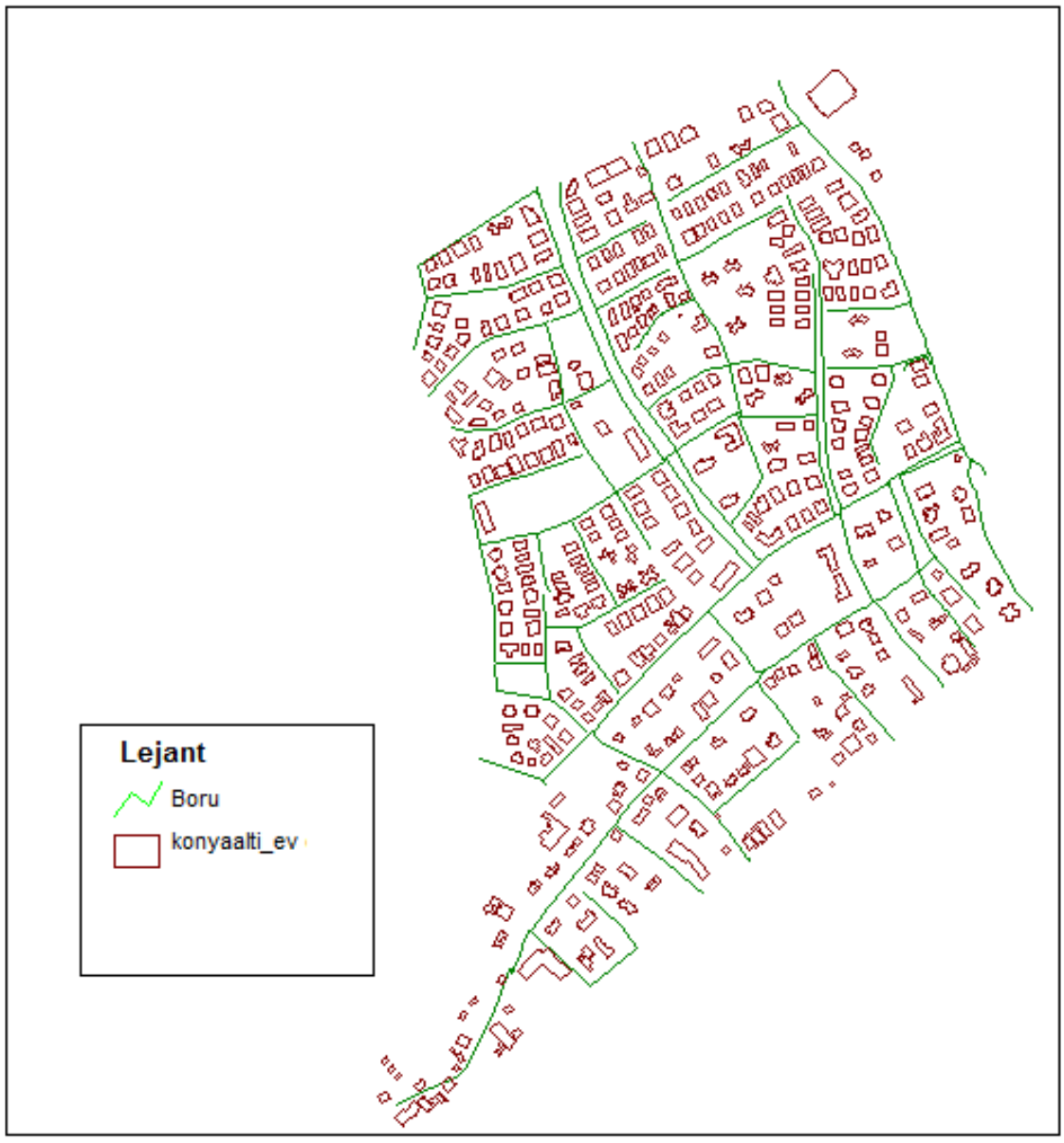
YANG, S. S., DERAKHSHAN, S., & KONG, F. Y. 2012. Theoretical, numerical and experimental prediction of pump as turbine performance. *Renewable Energy*, 48, 507-513.

YANG, S.S., LIU, H., KONG, F., DAI, C., DONG, L. 2013. Experimental, Numerical, and Theoretical Research on Impeller Diameter Influencing Centrifugal Pump-as-Turbine. *J. Energy Eng.*, 139(4), 299-307.

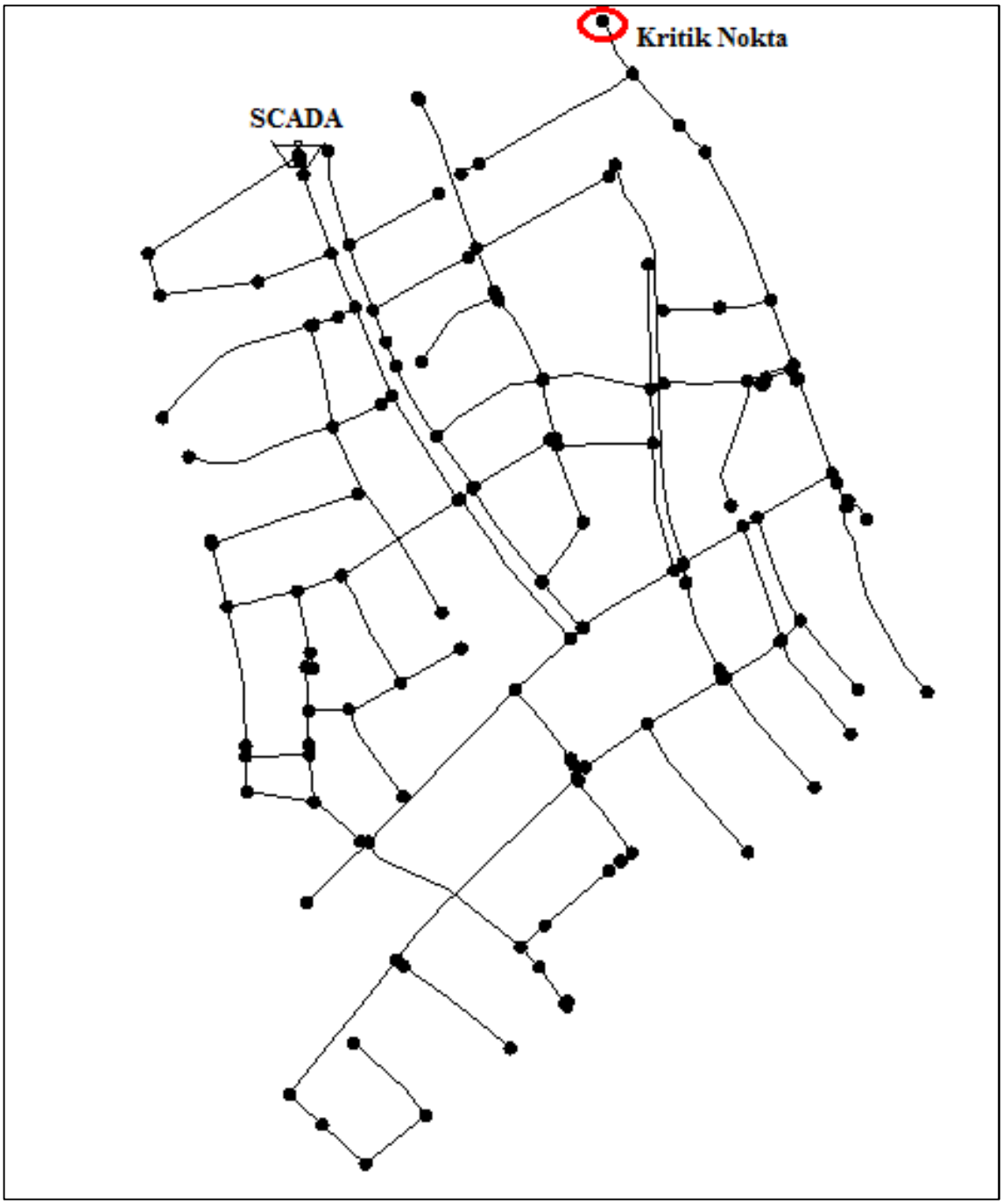
7. EKLER

EK-1

7.1.İkinci Alt Bölge (DMA-2) Çalışmaları



Şekil 7.1. DMA-2 içmesuyu şebekesi için CBS görseli



Şekil 7.2. DMA-2 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi

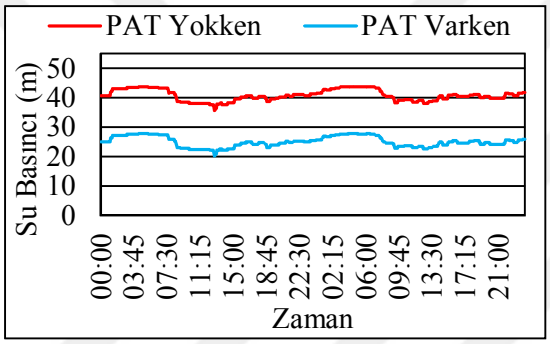
Çizelge 7.1. DMA-2 için tespit edilen emitör katsayıları

Dönem	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
Emitör	0,0375	0,0307	0,0531	0,043	0,0791	0,061

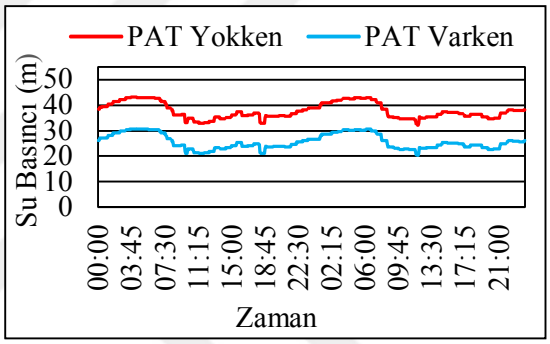
Çizelge 7.2. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-2 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
PAT yokken ort. Su basıncı (m)	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6
PAT varken optimum su basıncı (m)	37,7	34,2	47,2	40,7	*	*

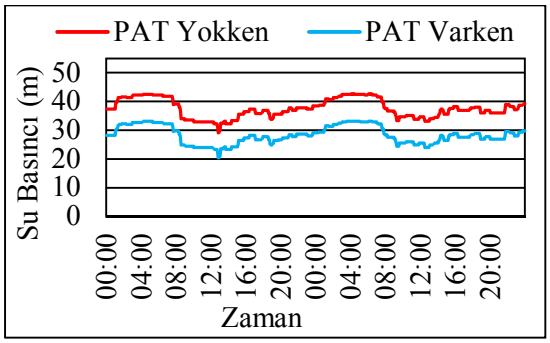
* DMA-2'de su tüketimi nüfus artış hızına paralel olarak artar ise 2040 yılında en yüksek su tüketimlerinin görüldüğü dönem için giriş su basıncı alt bölgeyi beslemek için yeterli değildir.



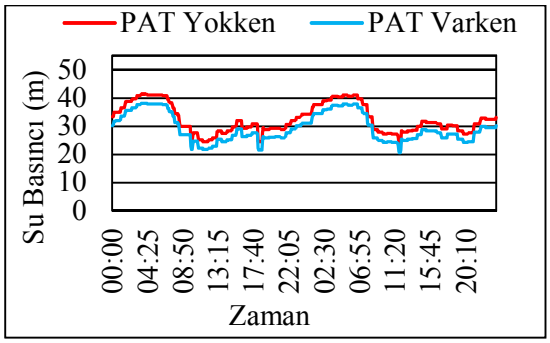
a) 2020 Kış dönemi



b) 2020 Yaz dönemi

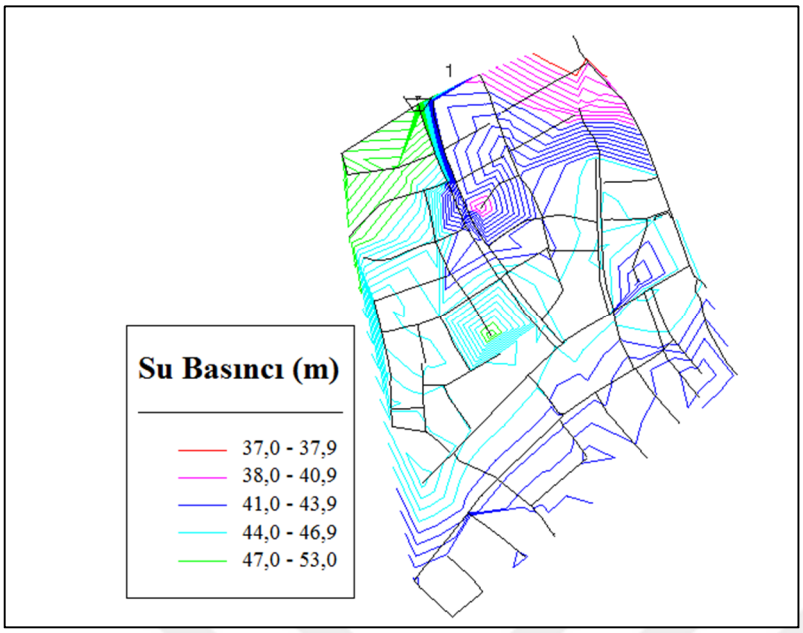


c) 2030 Kış dönemi

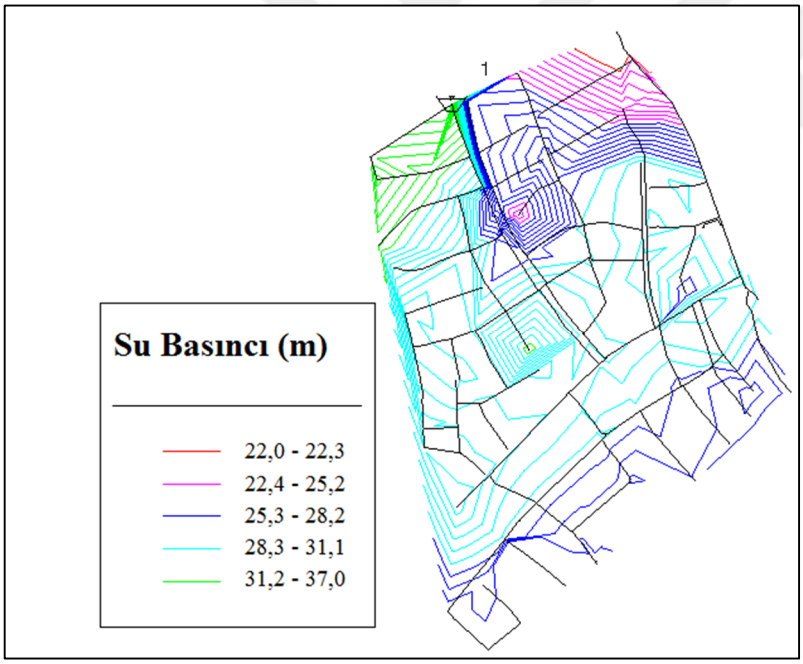


d) 2030 Kış dönemi

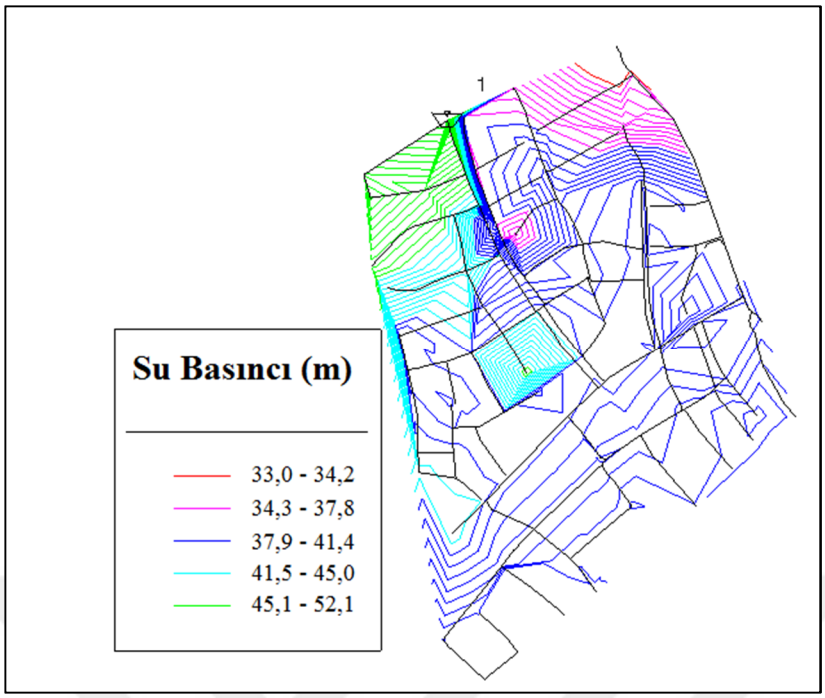
Şekil 7.3. DMA-2 alt bölgesi için PAT yokken ve PAT varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerine ait model tahminleri



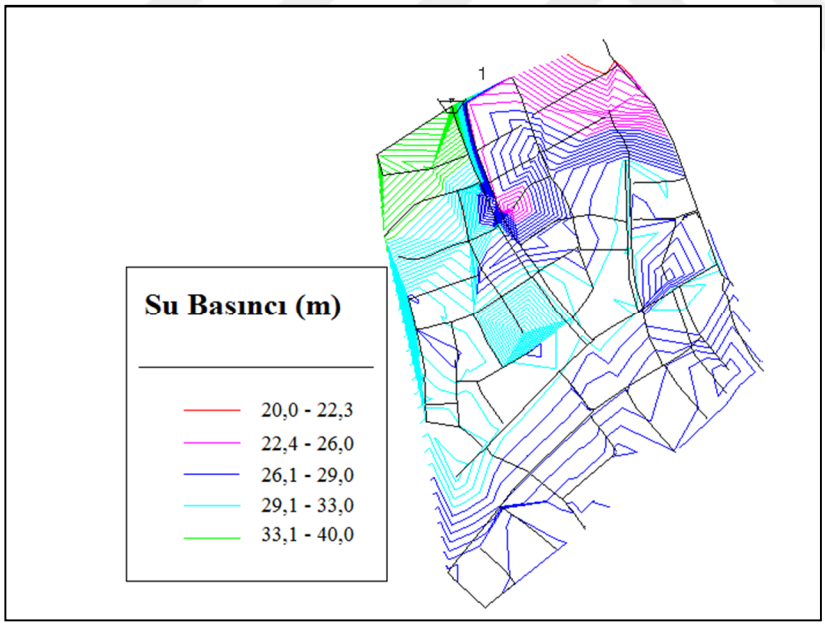
a) 2020 Kış dönemi PAT yokken



b) 2020 Kış dönemi PAT varken

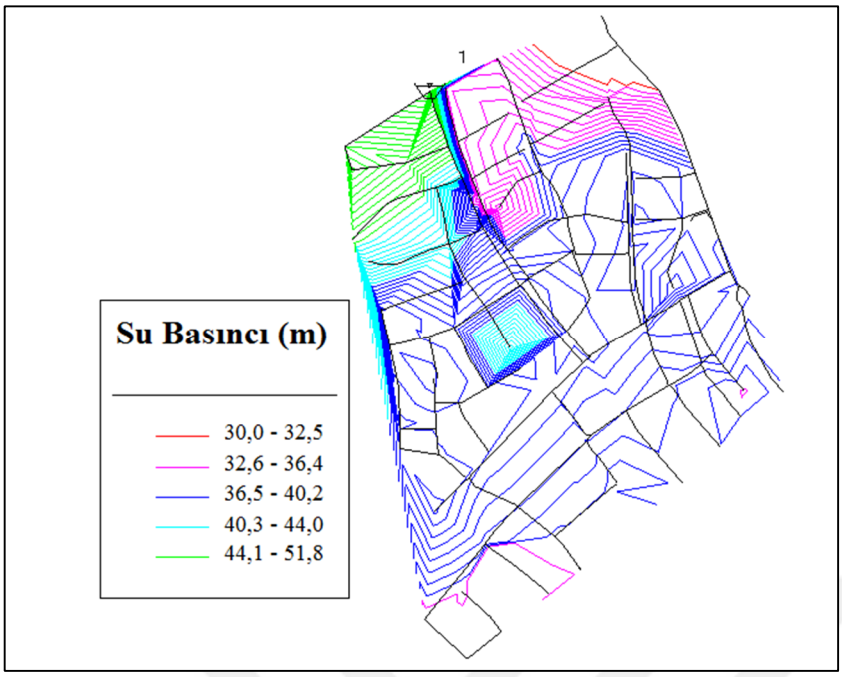


c) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

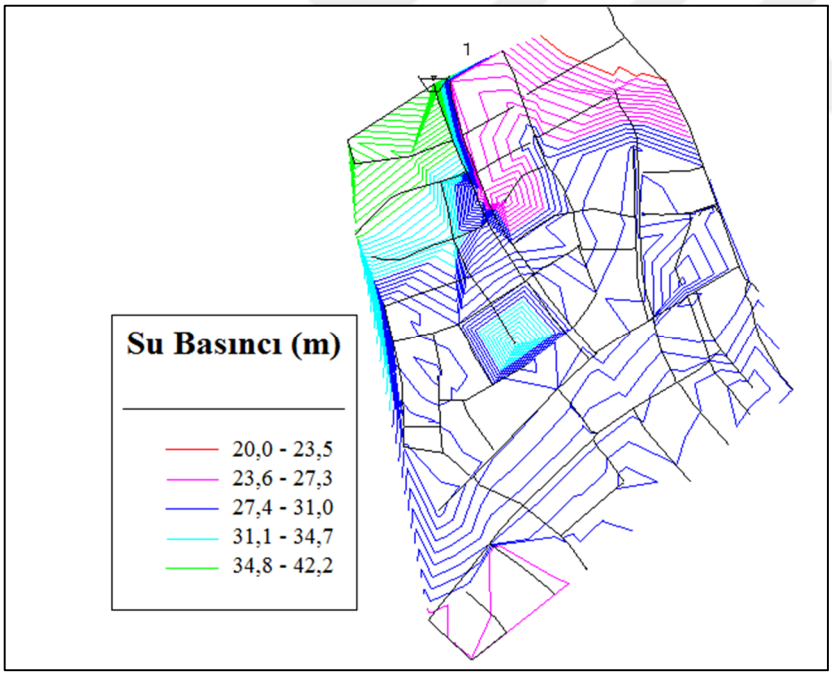


d) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

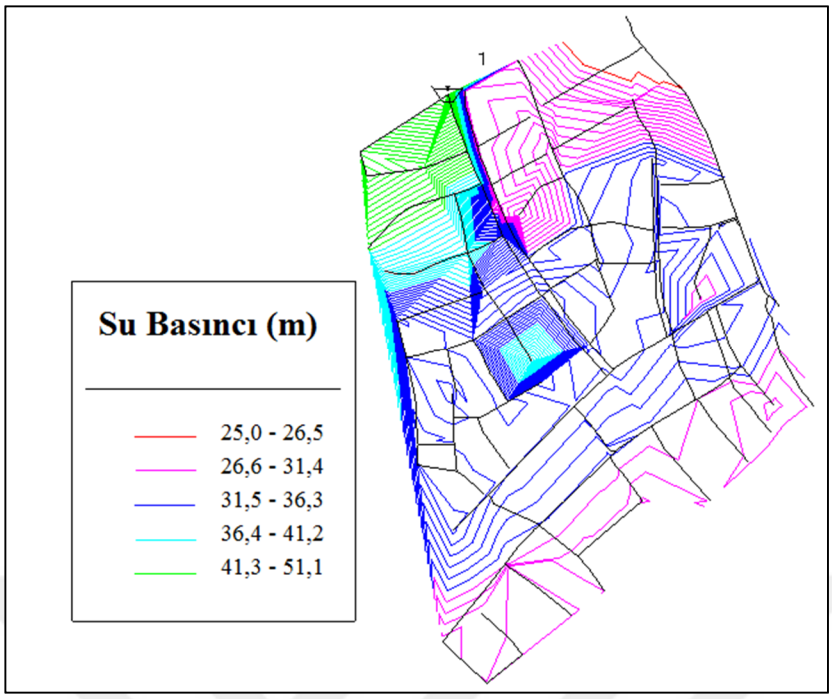
Şekil 7.4. DMA-2 alt bölgesi için 2020 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



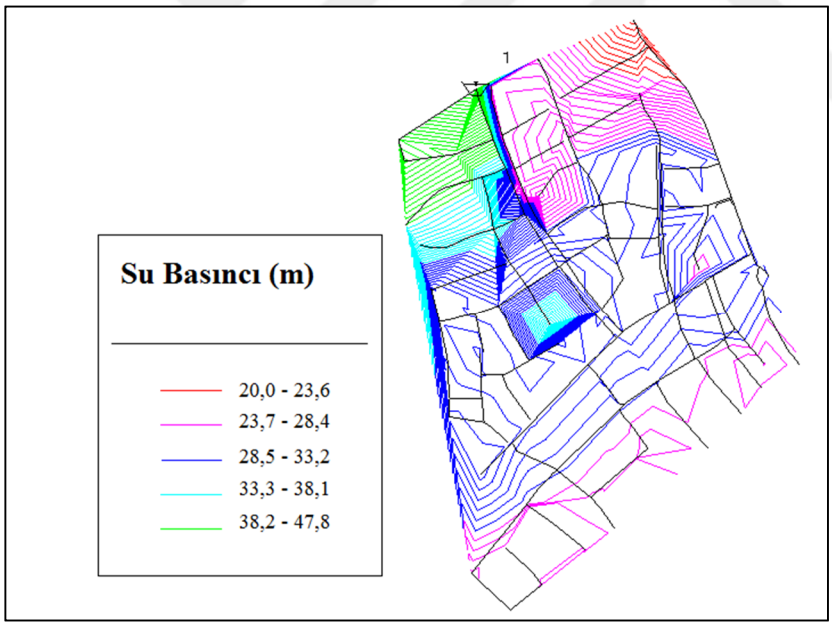
a) 2030 Kış dönemi PAT yokken



b) 2030 Kış dönemi PAT varken



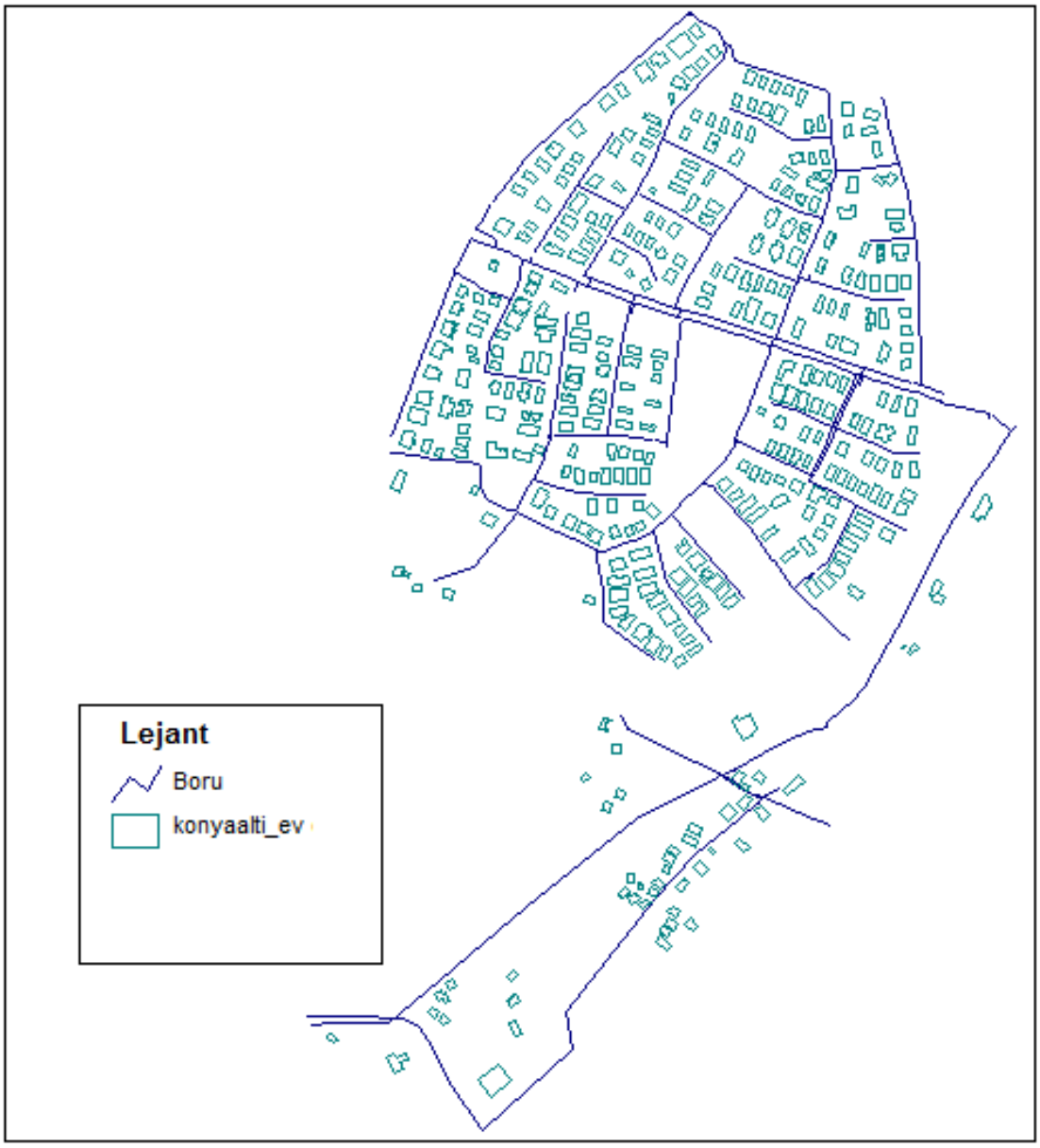
c) 2030 Yaz dönemi PAT yokken



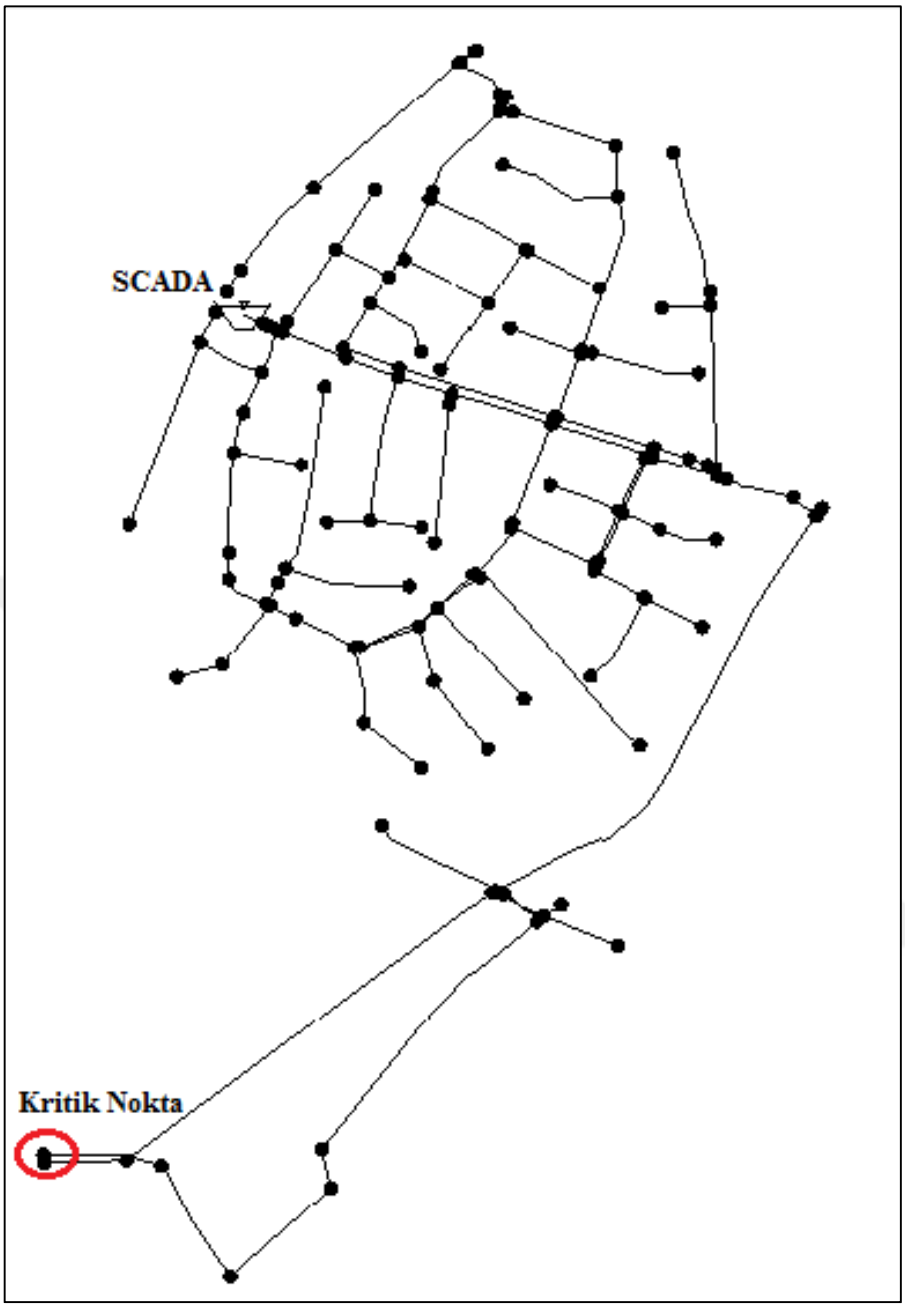
d) 2030 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.5. DMA-2 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri

7.2.Altıncı Alt Bölge (DMA-6) Çalışmaları



Şekil 7.6. DMA-6 içmesuyu şebekesi için CBS görseli



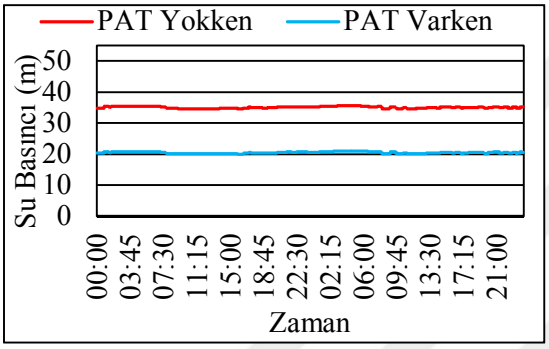
Şekil 7.7. DMA-6 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi

Çizelge 7.3. DMA-6 için tespit edilen emitör katsayıları

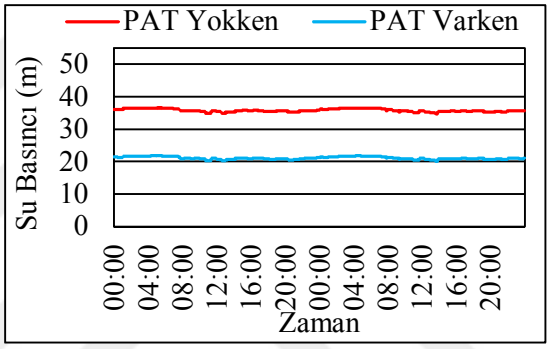
Dönem	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
Emitör	0,033	0,0348	0,045	0,0473	0,061	0,0643

Çizelge 7.4. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-6 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

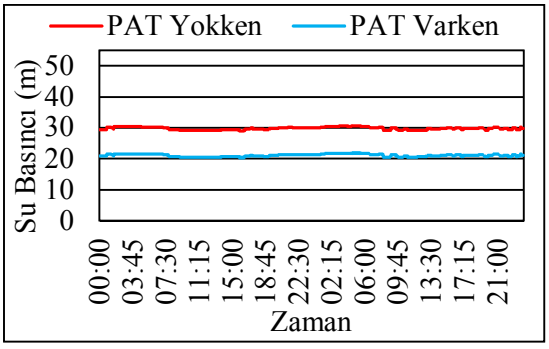
	2020 Yaz	2020 Kış	2030 yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
PAT yokken ort. Su basıncı (m)	47,71	47,42	47,71	47,42	47,71	47,42
PAT varken su basıncı (m)	29,70	29,20	35,7	34,9	44,7	43,7



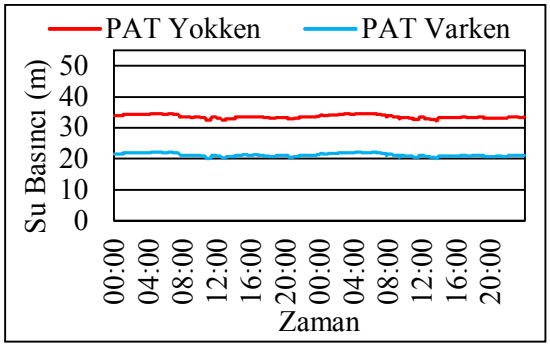
a) 2020 Kış dönemi



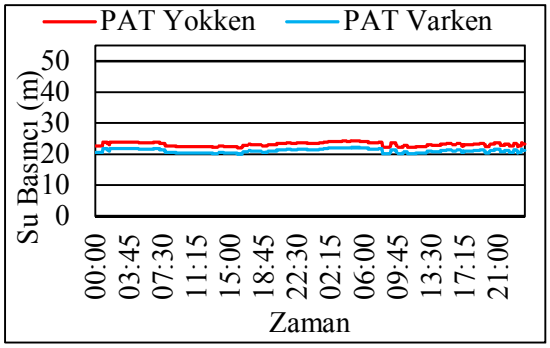
b) 2020 Yaz dönemi



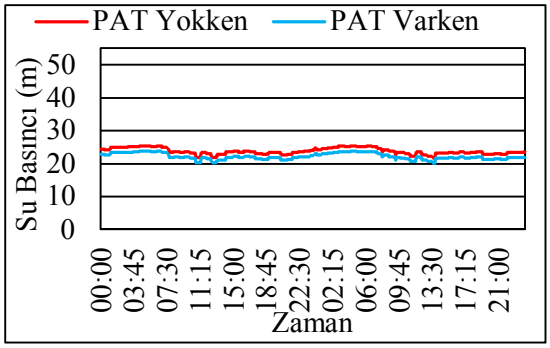
c) 2030 Kış dönemi



d) 2030 Yaz dönemi

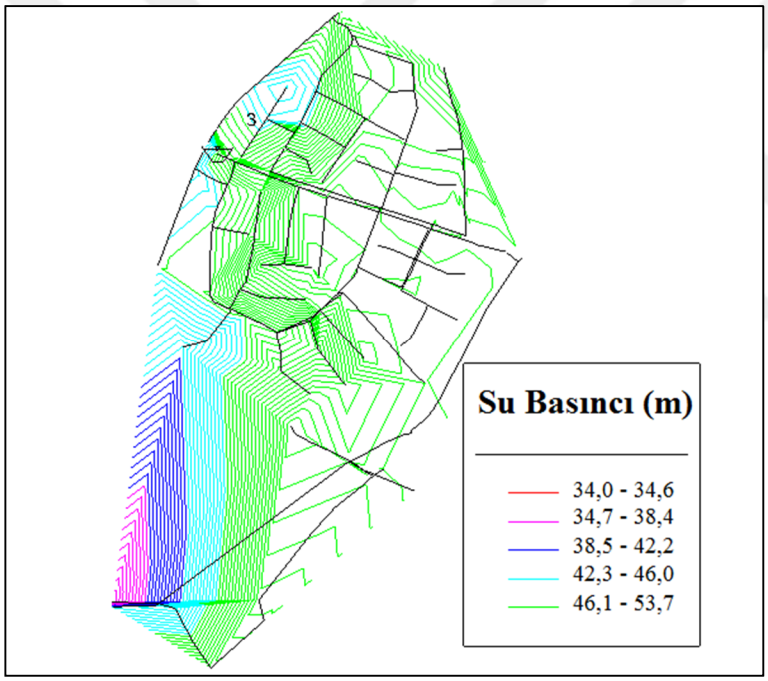


e) 2040 Kış dönemi

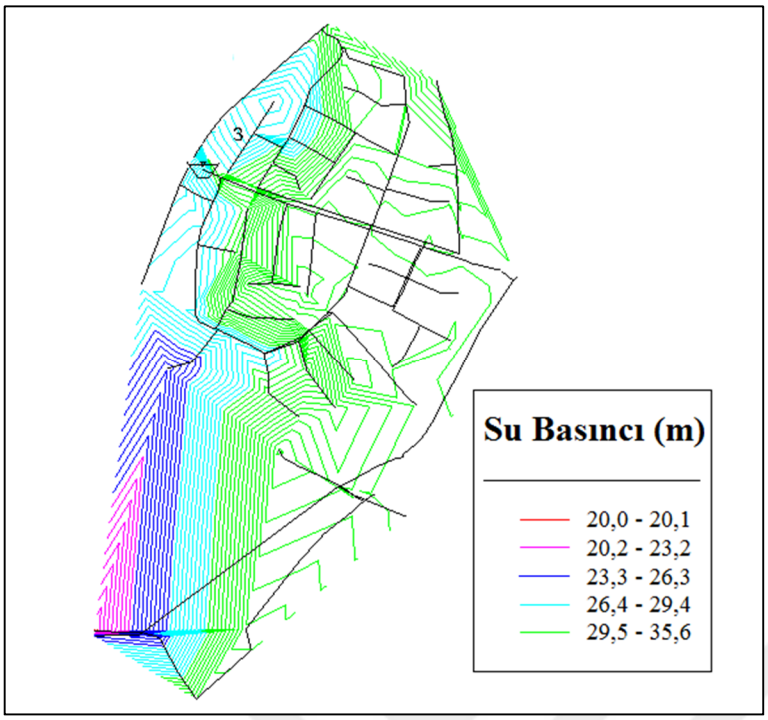


f) 2040 Yaz dönemi

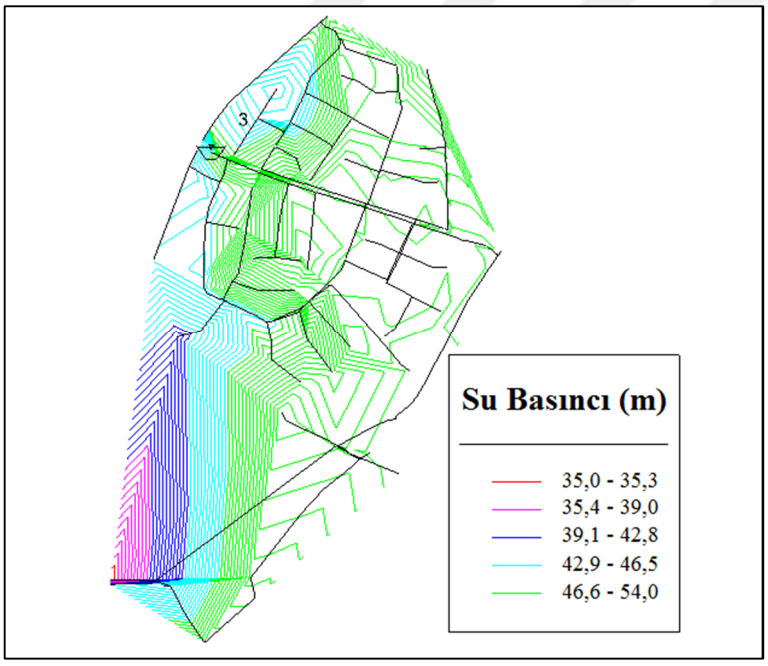
Şekil 7.8. DMA-6 alt bölgesi için PAT yokken ve varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerine ait model tahminleri



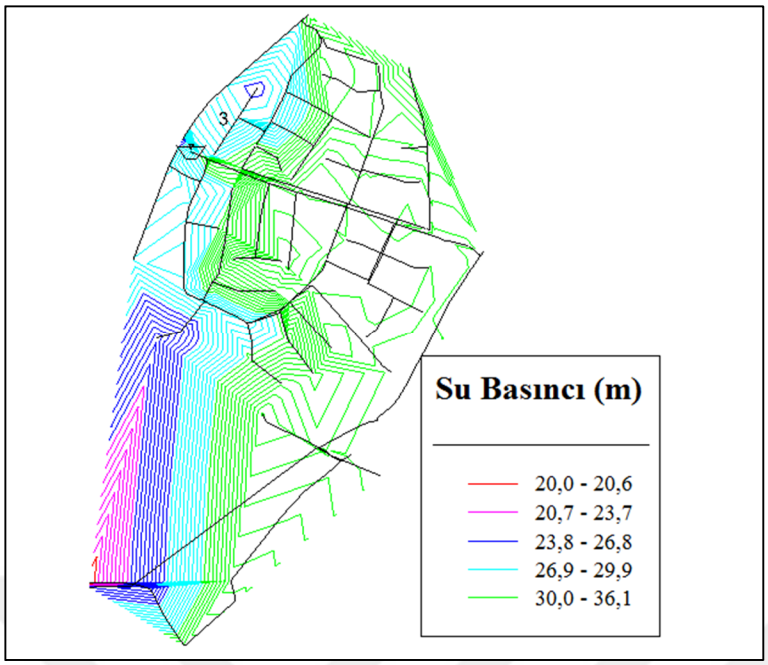
a) 2020 Kış dönemi PAT yokken



b) 2020 Kış dönemi PAT varken

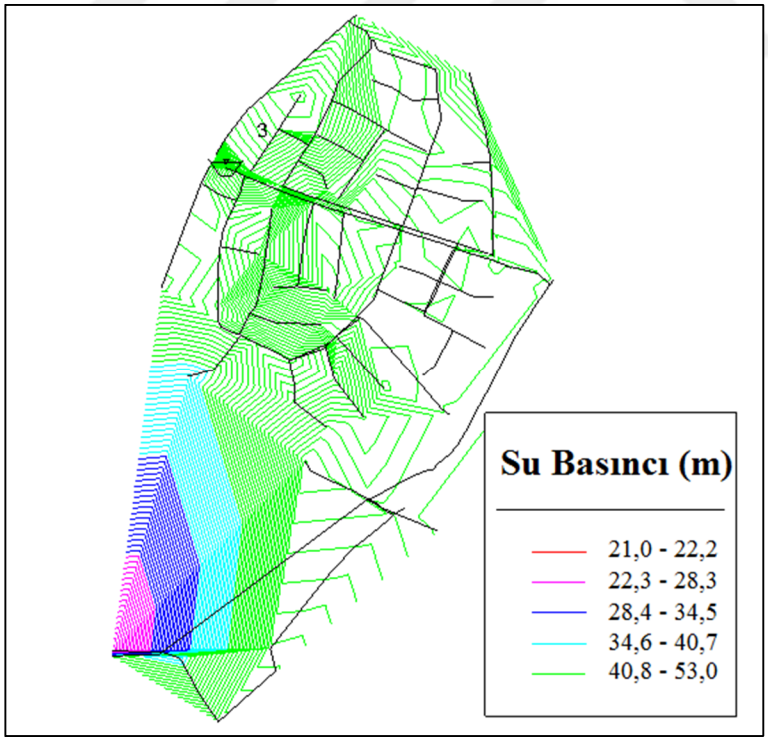


c) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

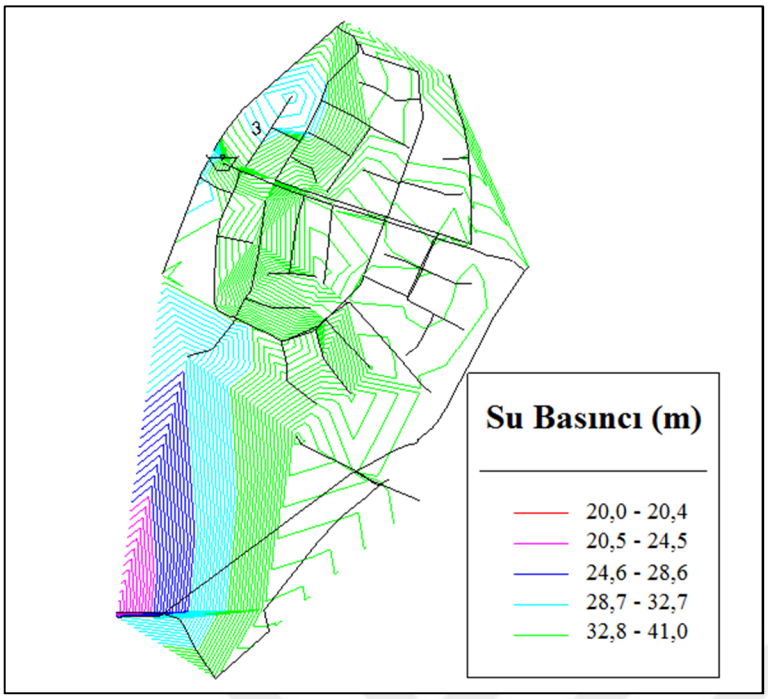


d) 2020 Yaz dönemi PAT varken

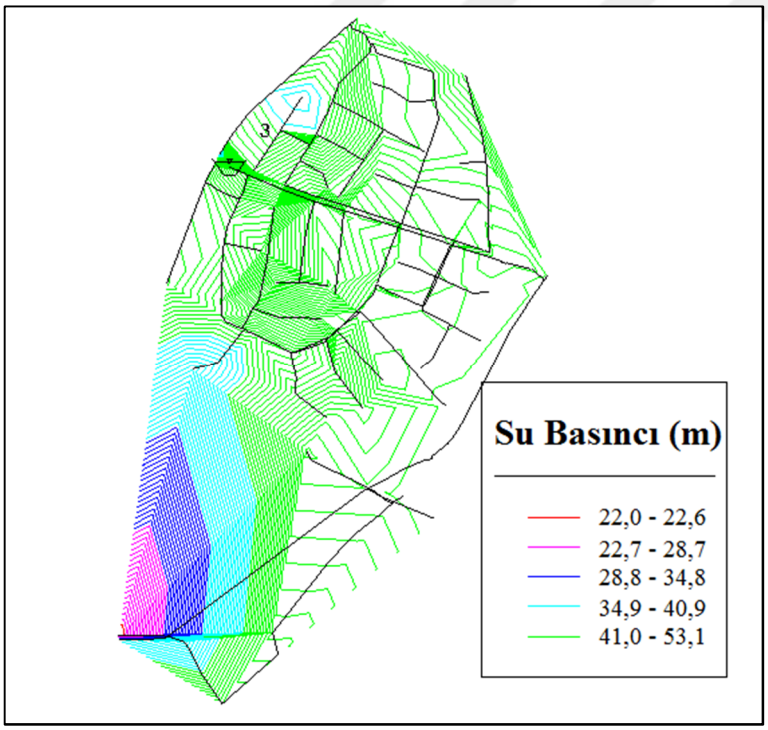
Şekil 7.9. DMA-6 alt bölgesi için 2020 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



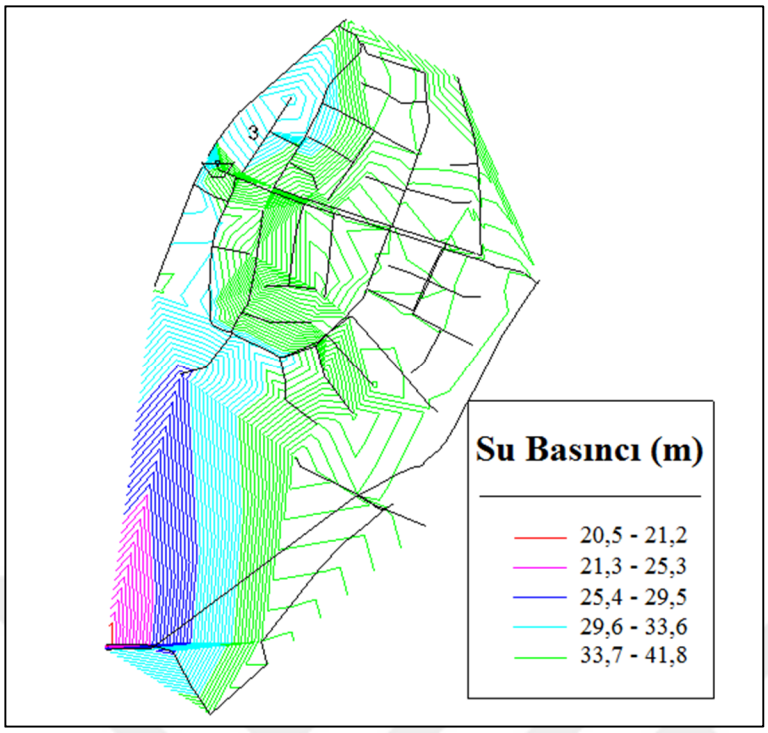
a) 2030 Kış dönemi PAT yokken



b) 2030 Kış dönemi PAT varken

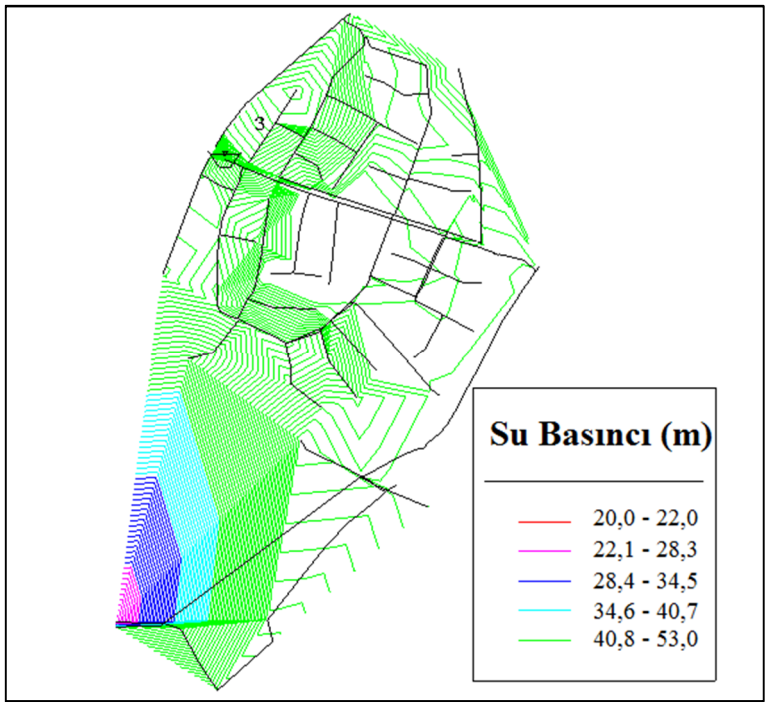


c) 2030 Yaz dönemi PAT yokken

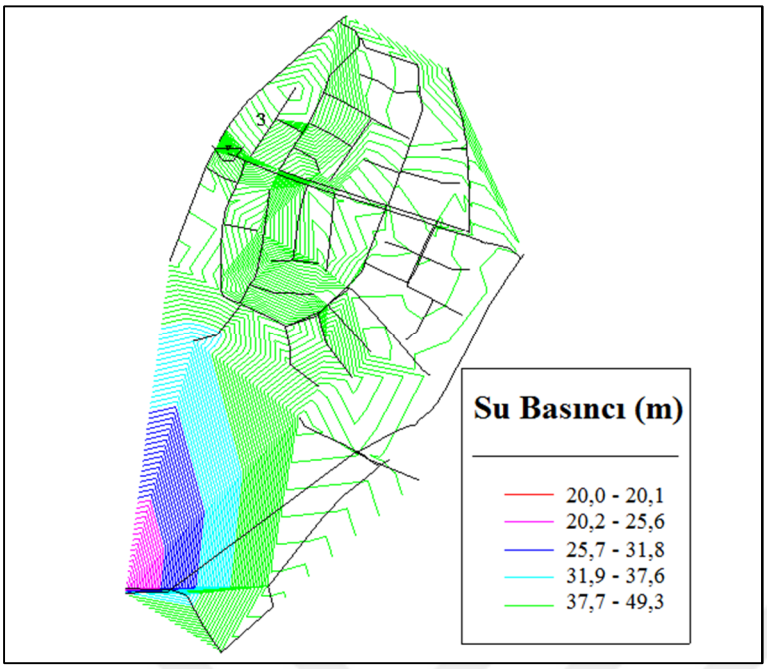


d) 2030 Yaz dönemi PAT varken

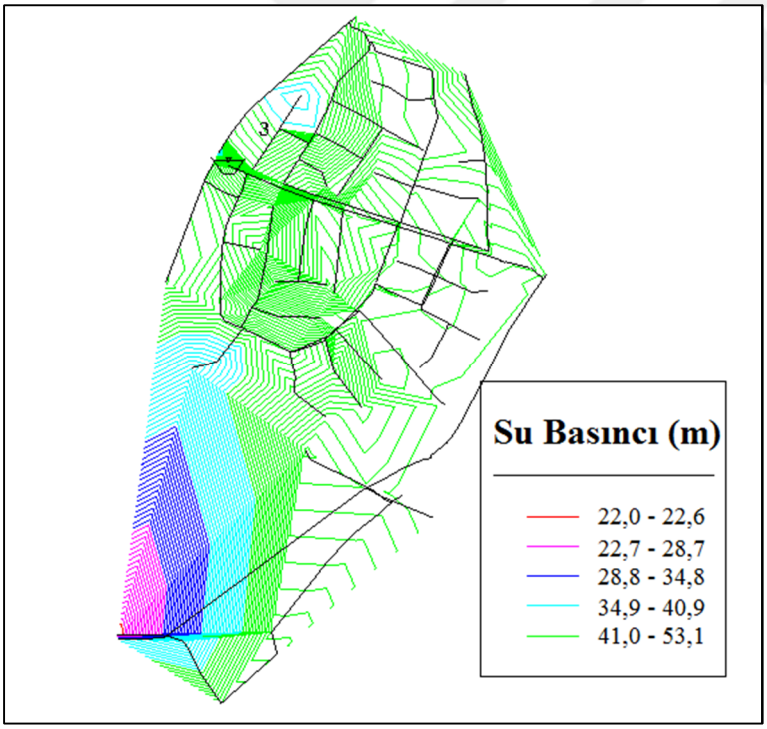
Şekil 7.10. DMA-6 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



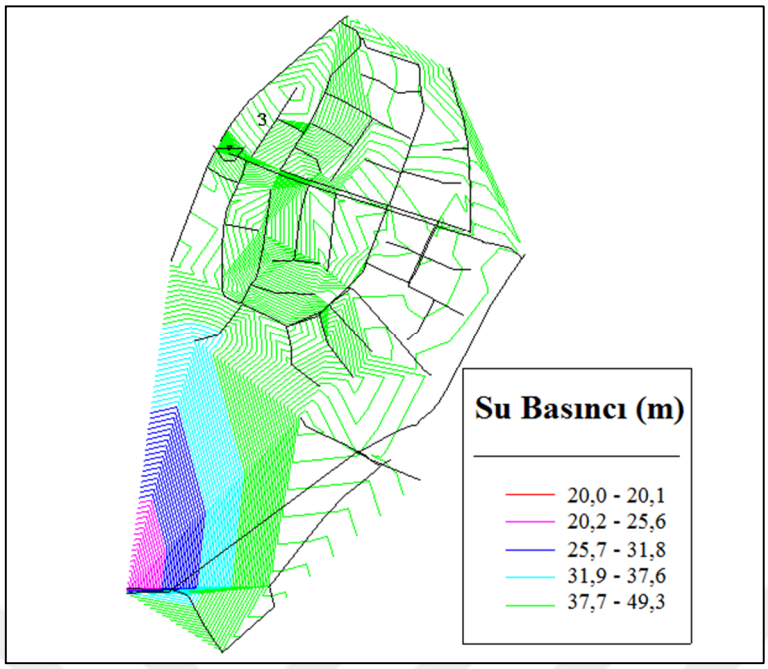
a) 2040 Kış dönemi PAT yokken



b) 2040 Kış dönemi PAT varken



c) 2040 Yaz dönemi PAT yokken

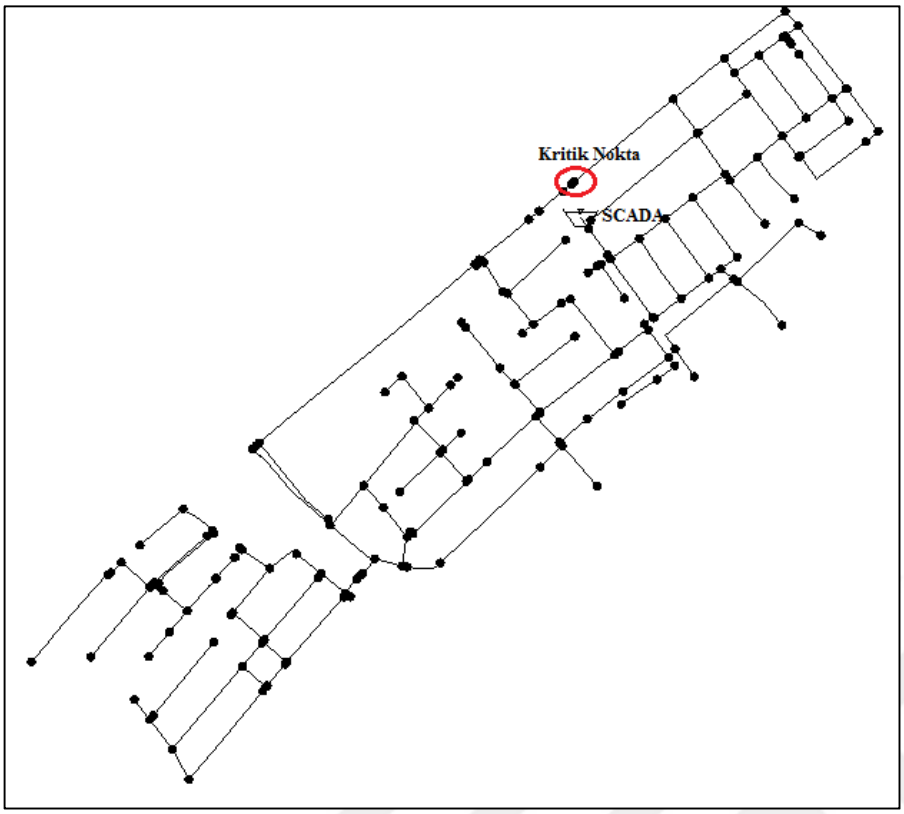


d) 2040 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.11. DMA-6 alt bölgesi için 2040 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri

7.3.Sekizinci Alt Bölge (DMA-8) Çalışmaları

Şekil 7.12. DMA-8 içmesuyu şebekesi için CBS görseli



Şekil 7.13. DMA-8 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi

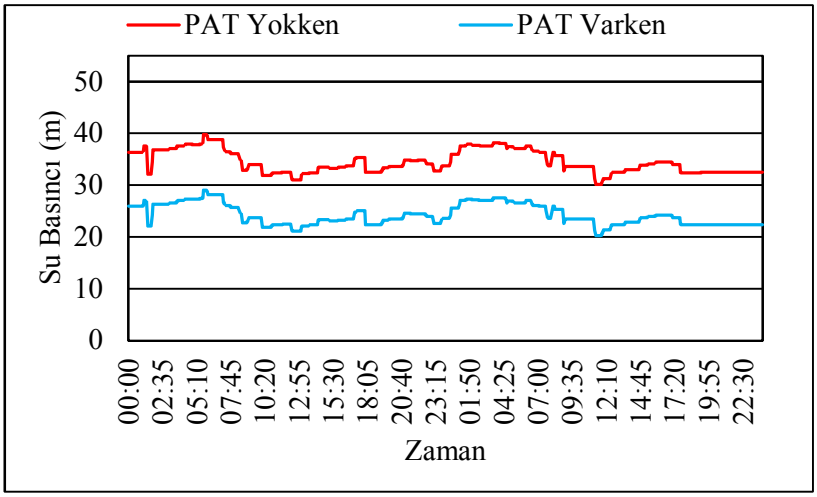
Çizelge 7.5. DMA-8 için tespit edilen emitör katsayıları

Dönem	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
Emitör	0,0905	0,0769	0,141	0,127	0,255	0,22

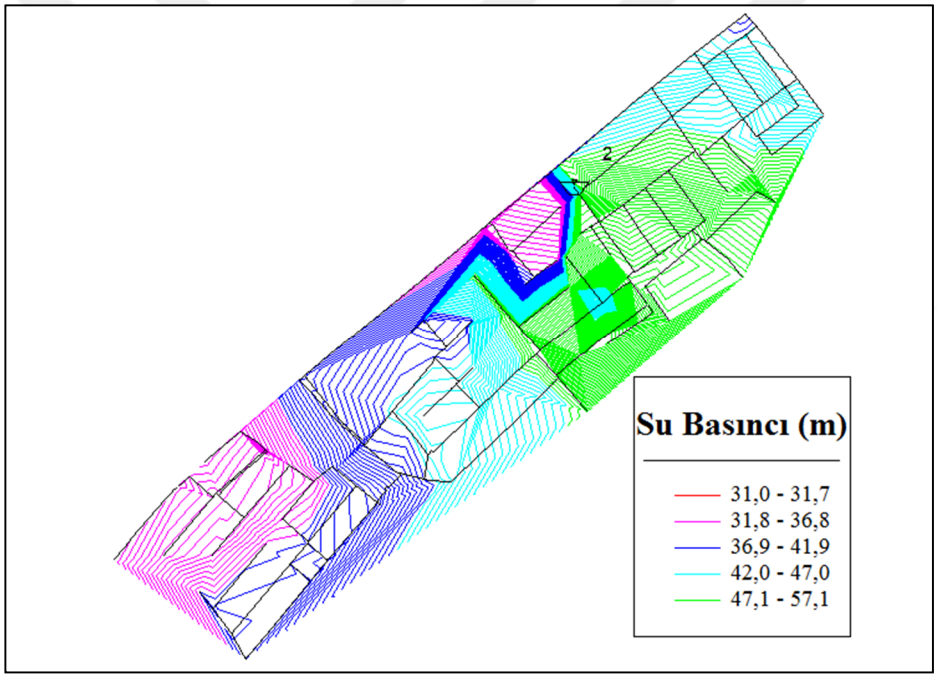
Çizelge 7.6. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-8 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
PAT yokken ort. su basıncı (m)	46,17	53,37	46,17	53,37	46,17	53,37
PAT varken su basıncı (m)	*	43,00	*	*	*	*

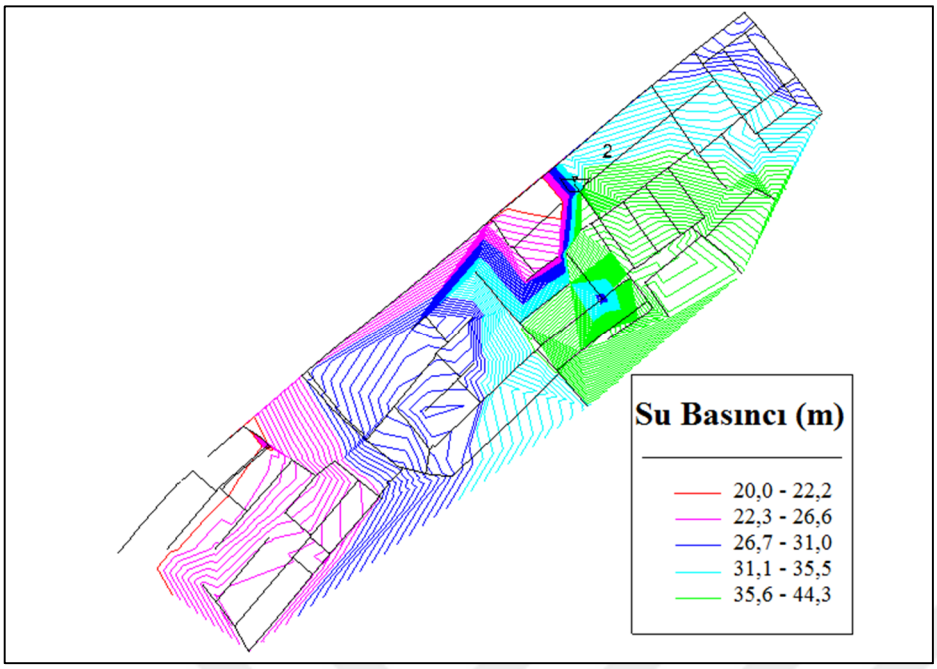
* DMA-8'de su tüketimi nüfus artış hızına paralel olarak artar ise 2020, 2030 ve 2040 yaz dönemleri ile 2030 ve 2040 kış dönemlerinde giriş su basıncı alt bölgeyi beslemek için yeterli değildir. Bu nedenle su basıncı azaltılması mümkün değildir.



Şekil 7.14. DMA-8 alt bölgesi için 2020 Kış döneminde PAT yokken ve varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerinin model tahminleri



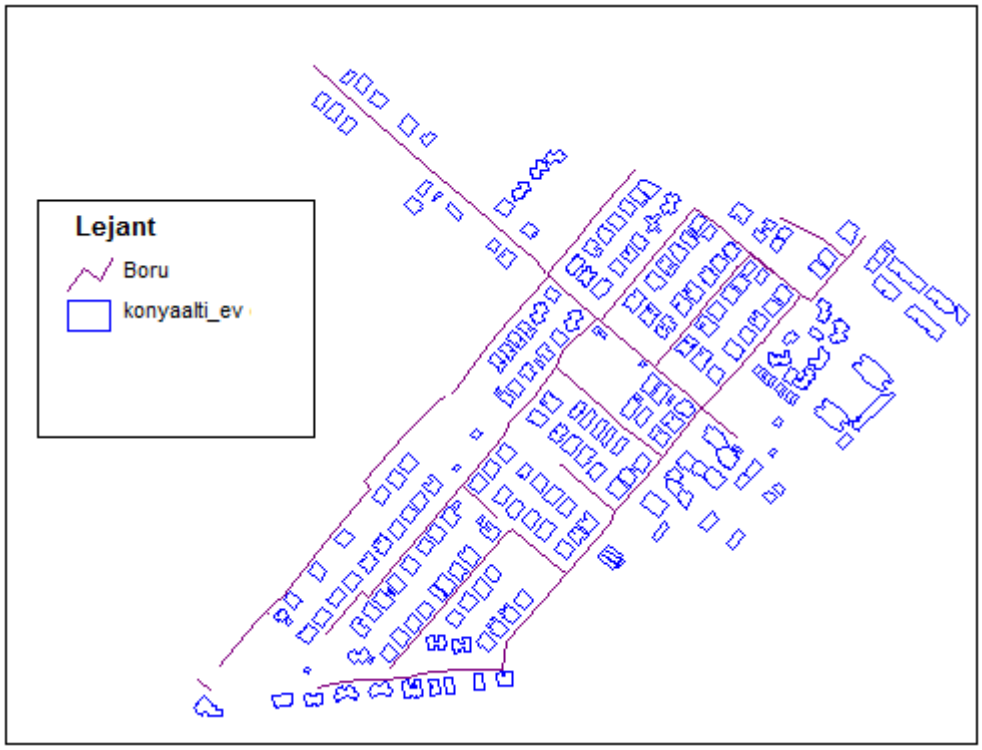
a) 2020 Kış dönemi PAT yokken



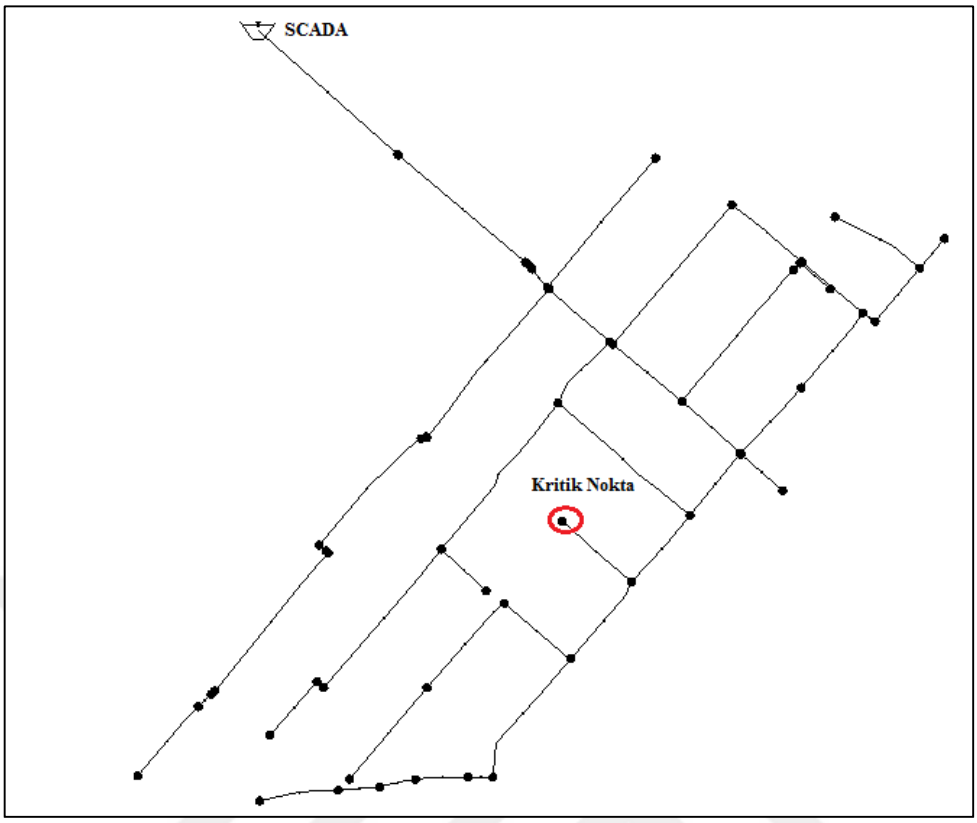
b) 2020 Kış dönemi PAT varken

Şekil 7.15. DMA-8 alt bölgesi için 2020 yılı kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıcı mekansal değişimi model tahminleri

7.4.Onuncu Alt Bölge (DMA-10) Çalışmaları



Şekil 7.16. DMA-10 içmesuyu şebekesi için CBS görseli



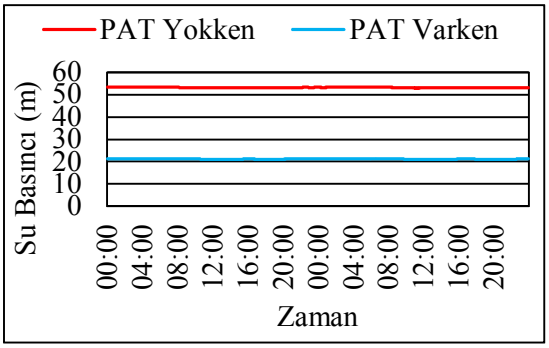
Şekil 7.17. DMA-10 alt bölgesi şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi

Çizelge 7.7. DMA-10 için tespit edilen emitör katsayıları

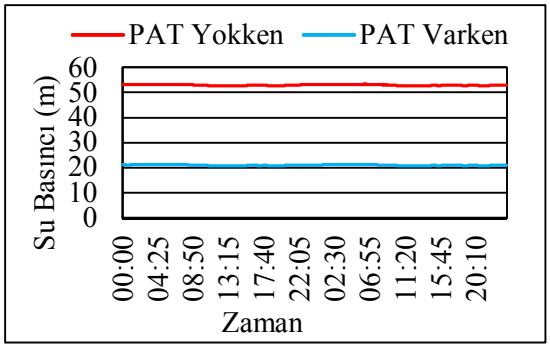
Dönem	2020 Yaz	2030 Yaz	2040 Yaz
Emitör	0,031	0,042	0,057

Çizelge 7.8. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-10 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

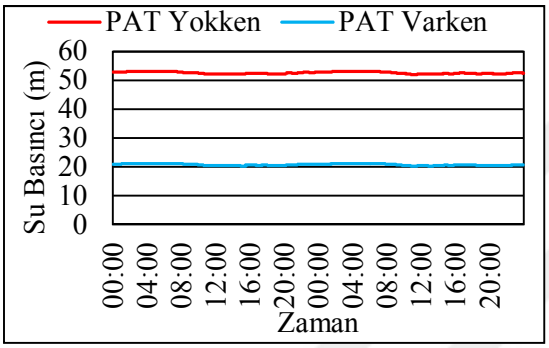
	2020 Yaz	2030 Yaz	2040 Yaz
PAT yokken ort. su basıncı (m)	53,09	53,09	53,09
PAT varken su basıncı (m)	20	21	21



a) 2020 Yaz dönemi

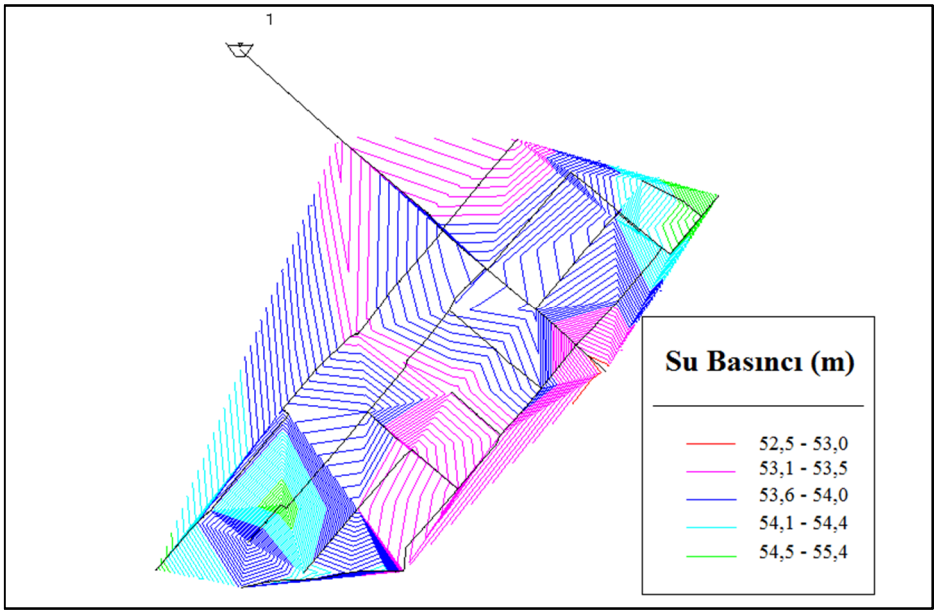


c) 2030 Yaz dönemi

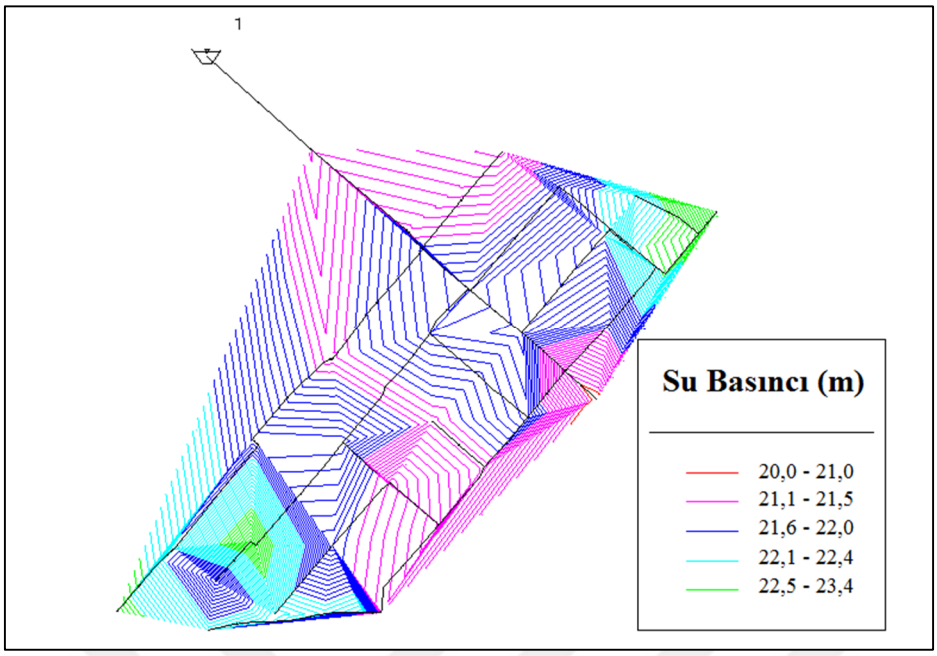


d) 2040 Yaz dönemi

Şekil 7.18. DMA-10 alt bölgesi için PAT yokken ve varken durumlarında kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerinin model tahminleri

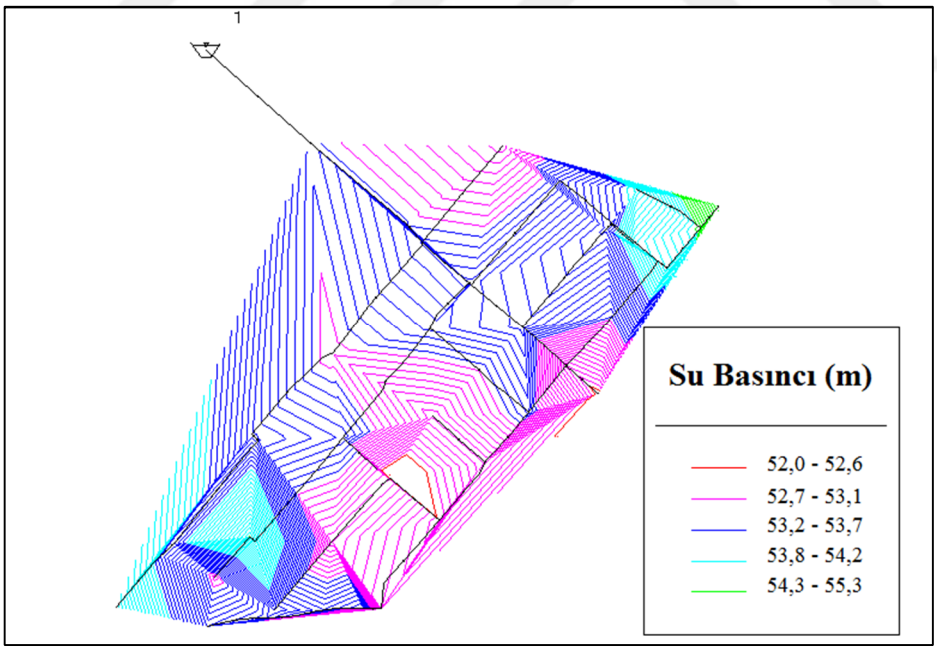


a) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

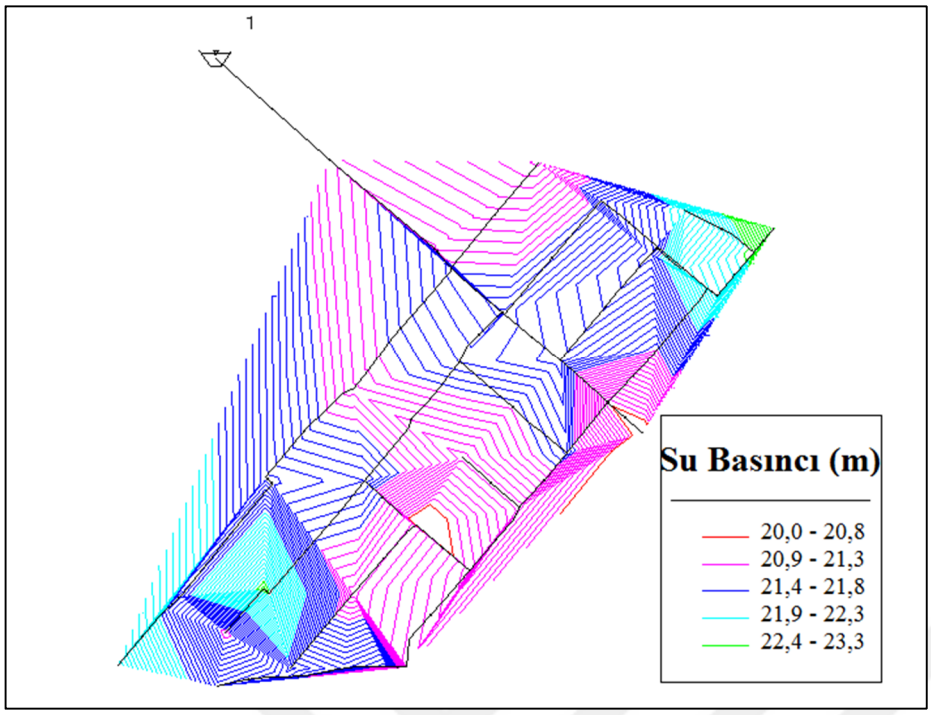


b) 2020 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.19. DMA-10 alt bölgesi için 2020 yılı yaz dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişiminin model tahminleri

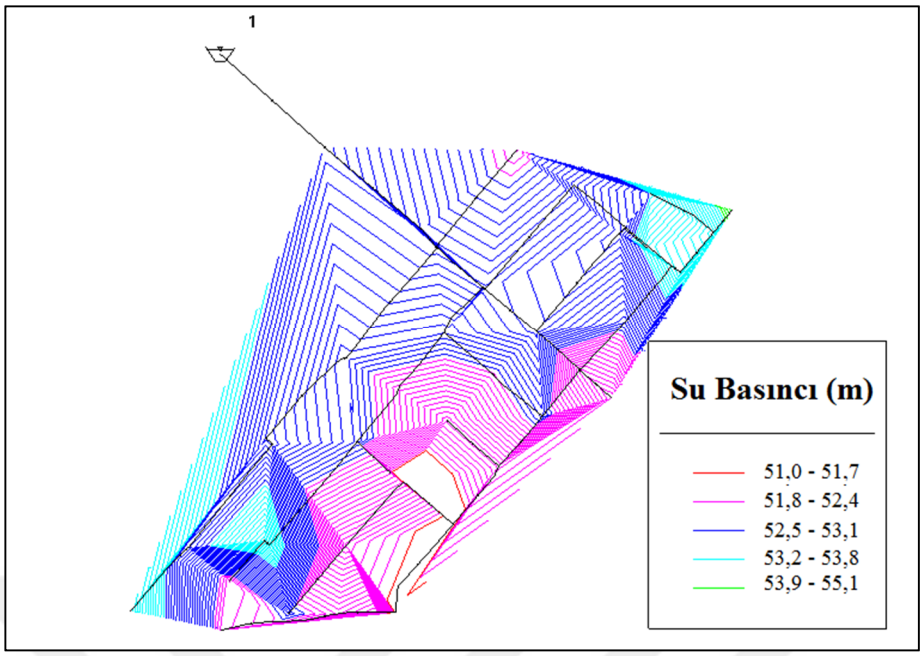


a) 2030 Yaz dönemi PAT yokken

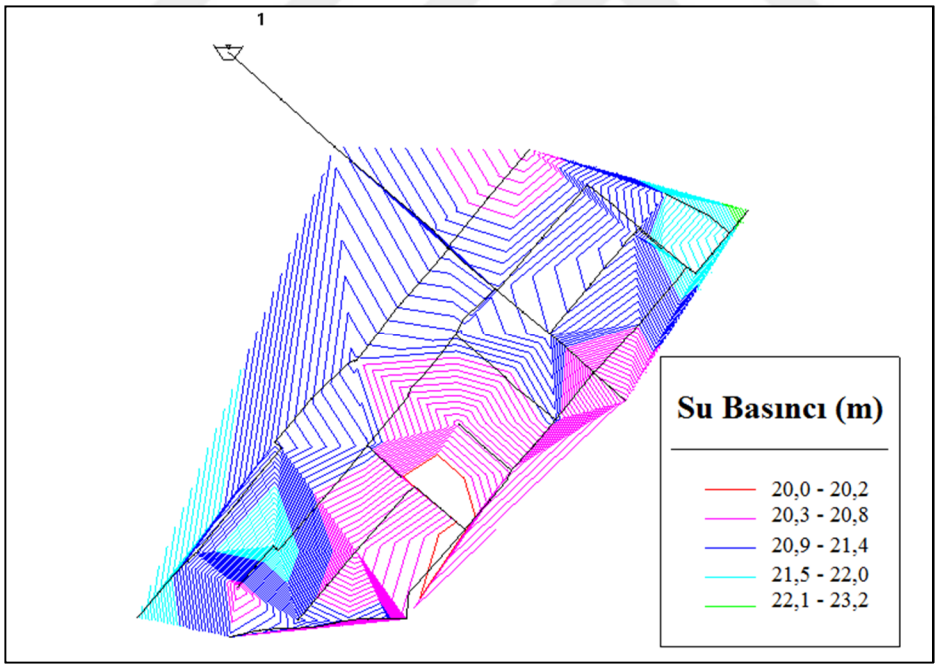


b) 2030 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.20. DMA-10 alt bölgesi için 2030 yılı yaz dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişiminin model tahminleri



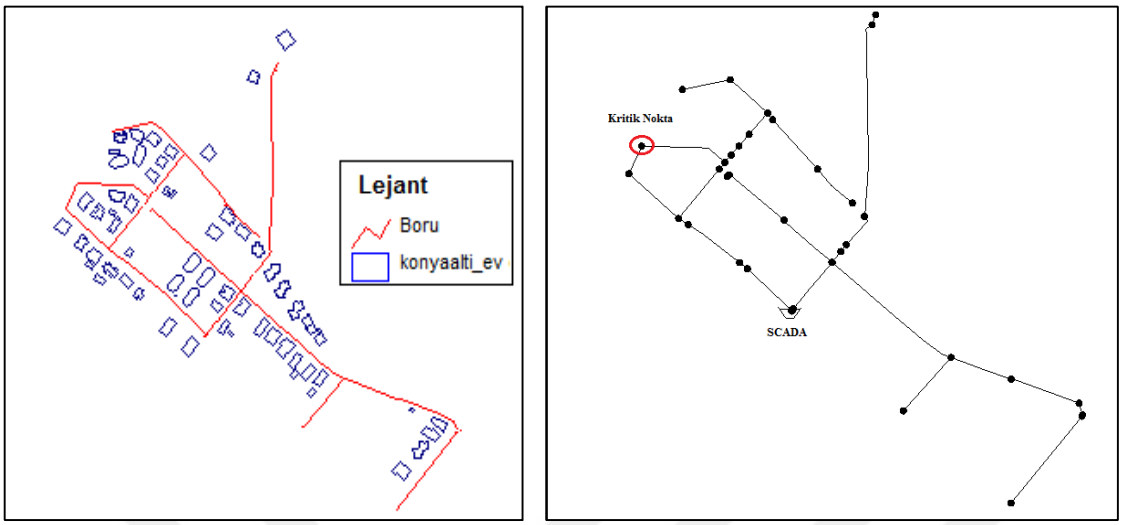
a) 2040 Yaz dönemi PAT yokken



b) 2040 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.21. DMA-10 alt bölgesi için 2040 yılı yaz dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişiminin model tahminleri

7.5.Onbirinci Alt Bölge (DMA-11) Çalışmaları



a) b)

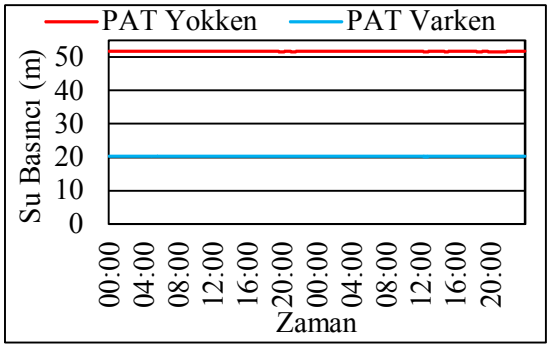
Şekil 7.22. DMA-11 alt bölgesi için a) CBS görseli, b) hidrolik model gösterimi

Çizelge 7.9. DMA-11 için tespit edilen emitör katsayıları

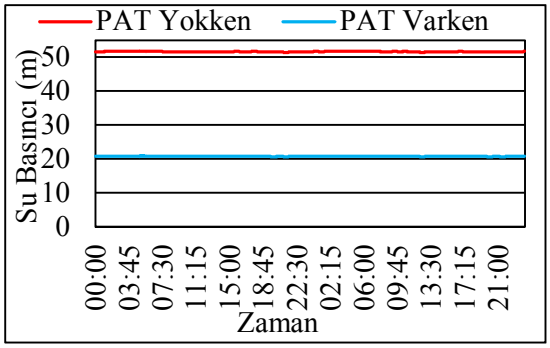
Dönem	2020 Yaz	2030 Yaz	2040 Yaz
Emitör	0,0027	0,0033	0,0051

Çizelge 7.10. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-11 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

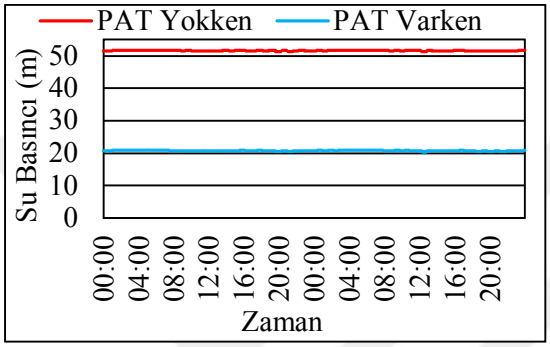
	2020 Yaz	2030 Yaz	2040 Yaz
PAT yokken ort. su basıncı (m)	52,85	52,85	52,85
PAT varken su basıncı (m)	21,5	22	22



a) 2020 Yaz dönemi

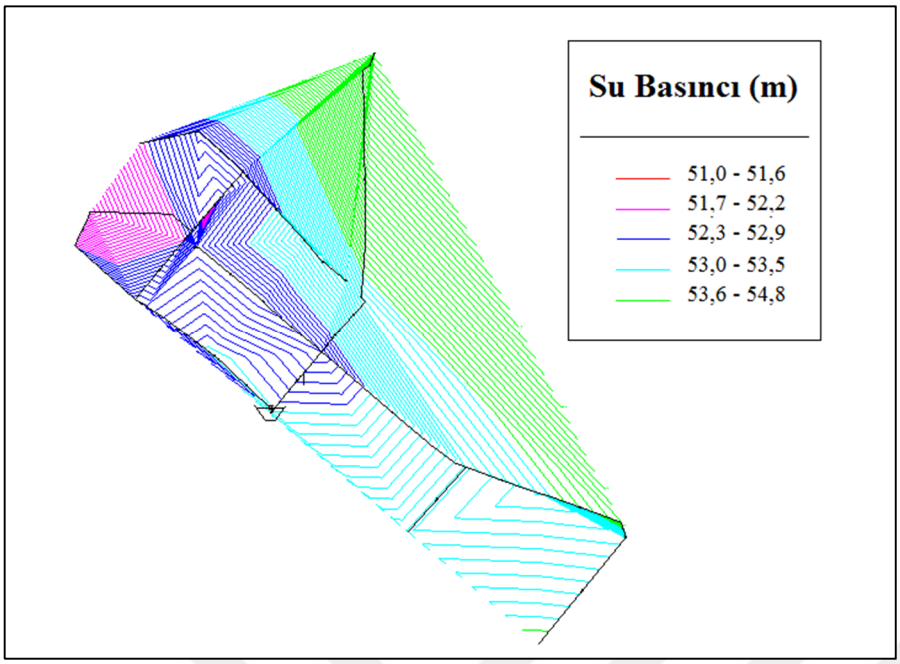


b) 2030 Yaz dönemi

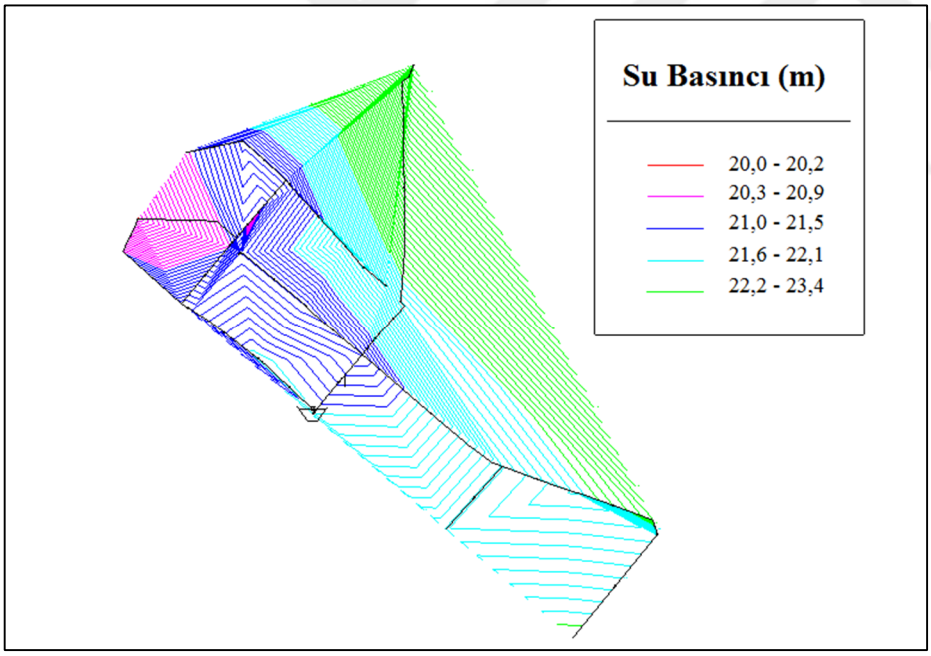


c) 2040 Yaz dönemi

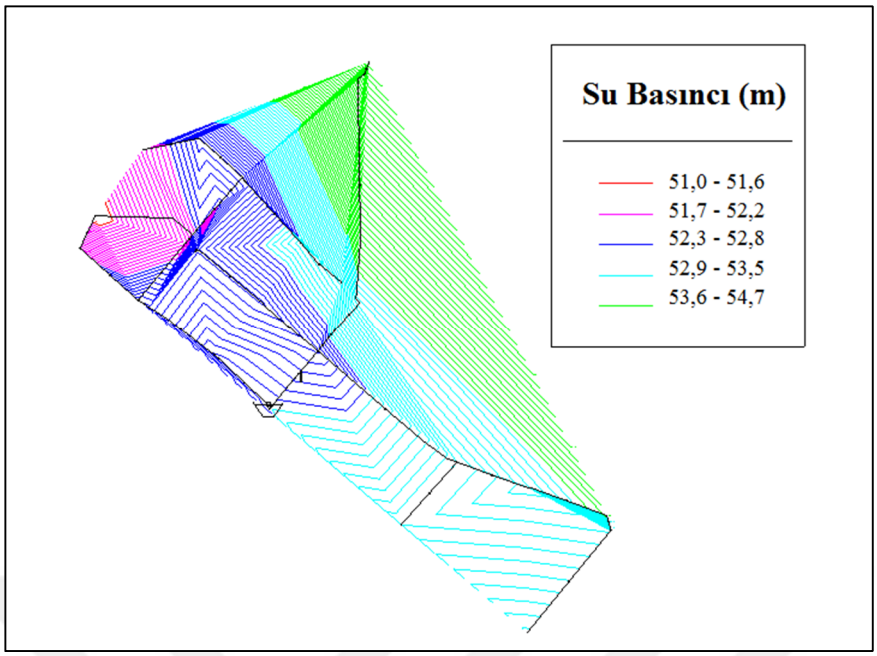
Şekil 7.23. DMA-11 alt bölgesi için PAT yokken ve varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerinin model tahminleri



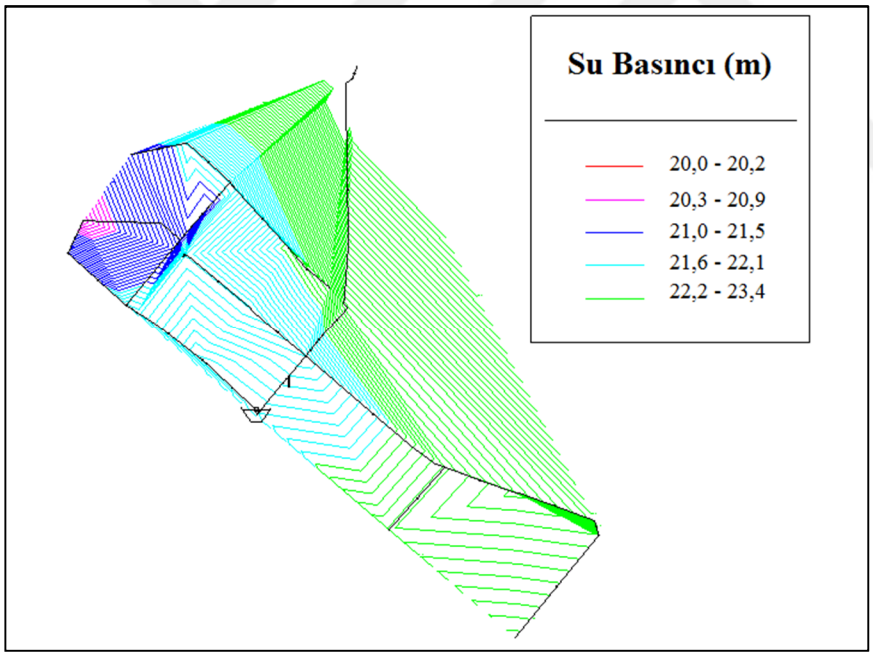
a) 2020 Yaz dönemi PAT yokken



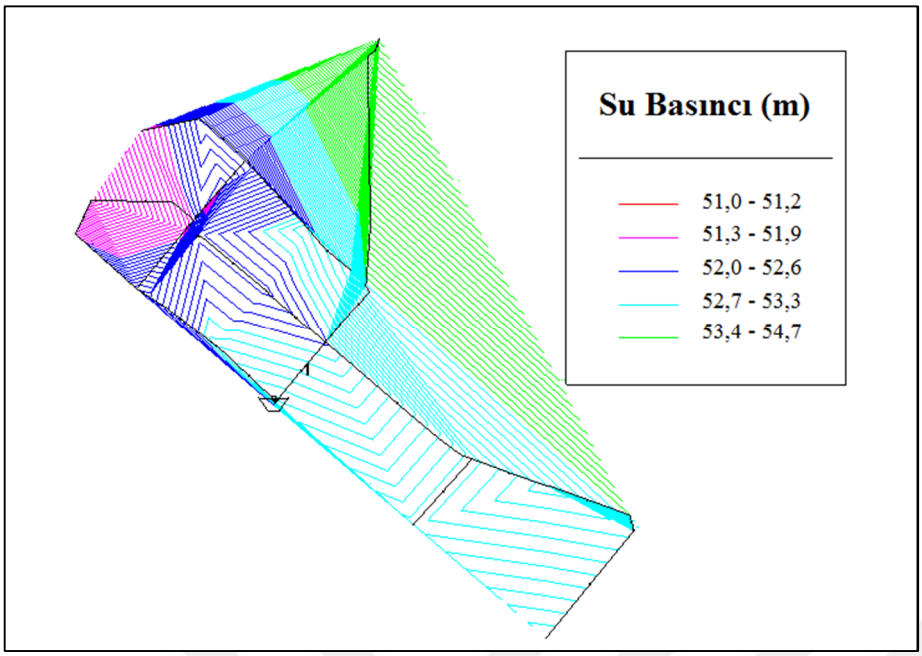
b) 2020 Yaz dönemi PAT varken



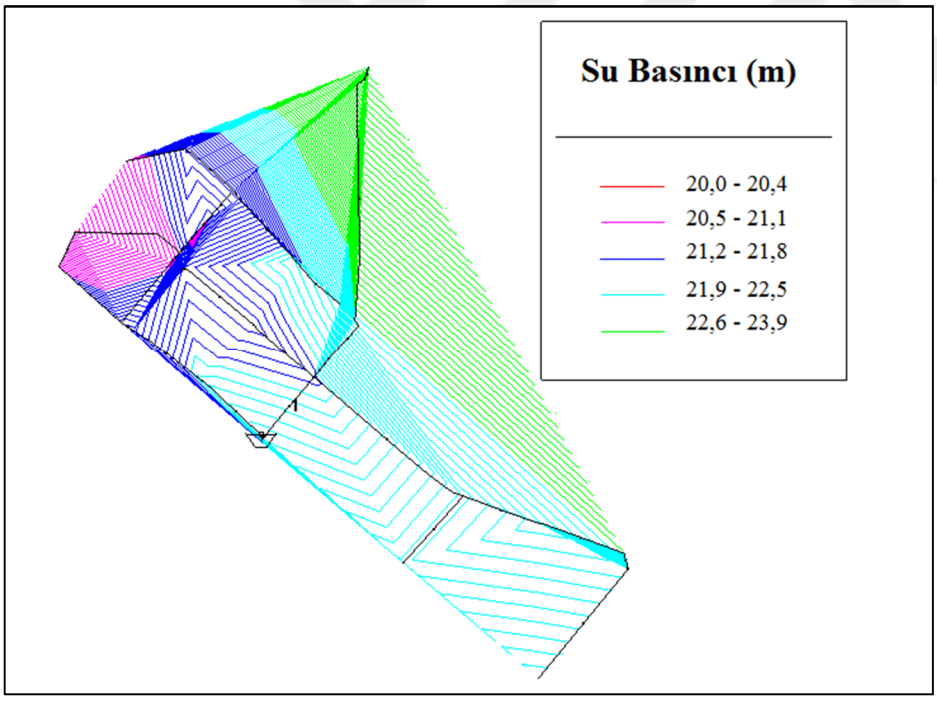
c) 2030 Yaz dönemi PAT yokken



d) 2030 Yaz dönemi PAT varken



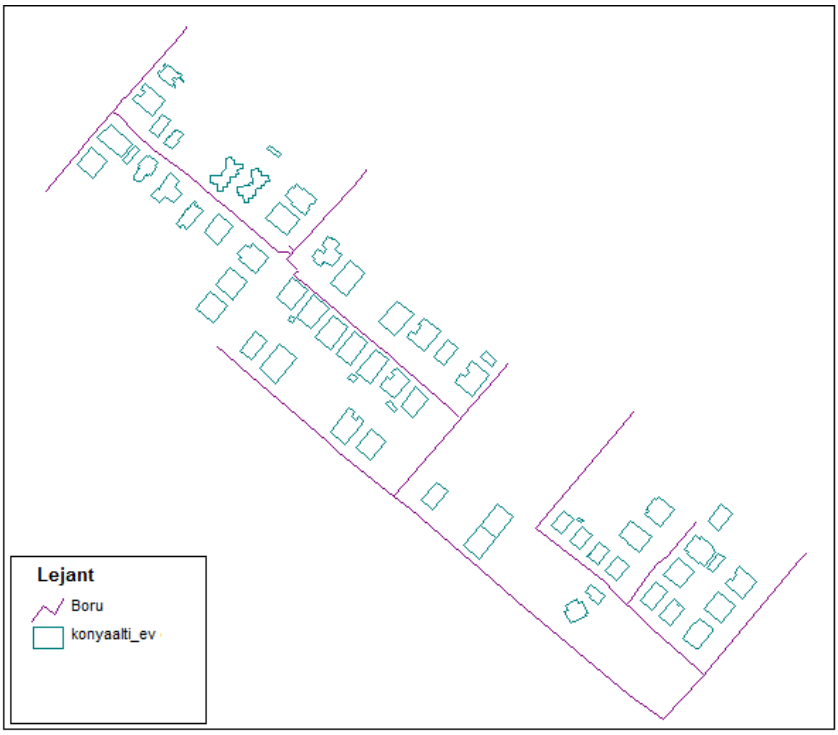
e) 2040 Yaz dönemi PAT yokken



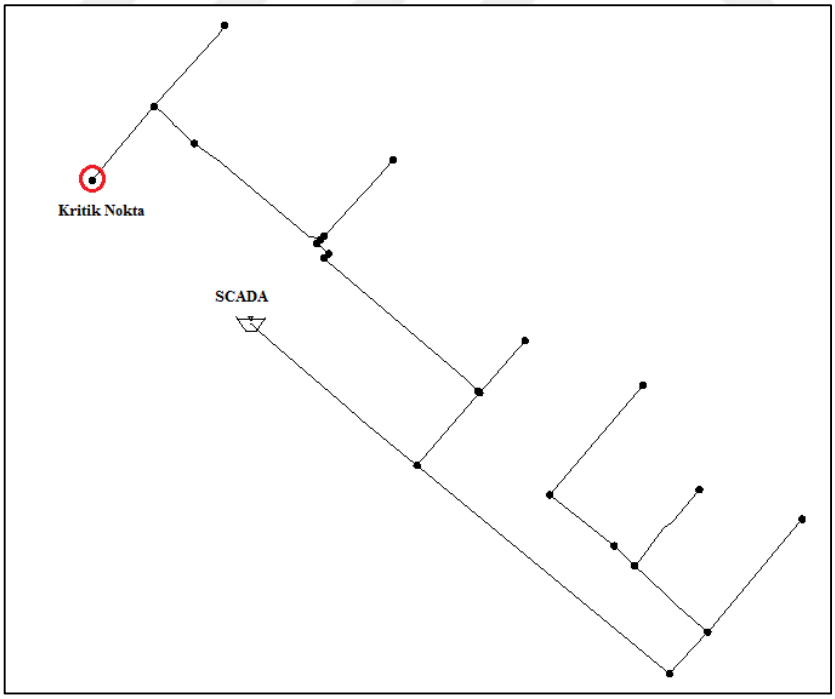
f) 2040 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.24. DMA-11 alt bölgesi için yaz döneminde PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri

7.6.Onikinci Alt Bölge (DMA-12) Çalışmaları



Şekil 7.25. DMA-12 içmesuyu şebekesi için CBS görseli



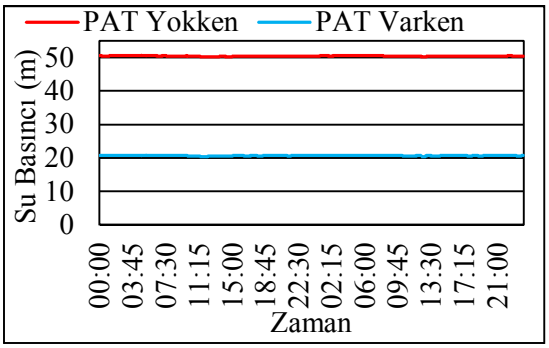
Şekil 7.26. DMA-12 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi

Çizelge 7.11. DMA-12 için tespit edilen emitör katsayıları

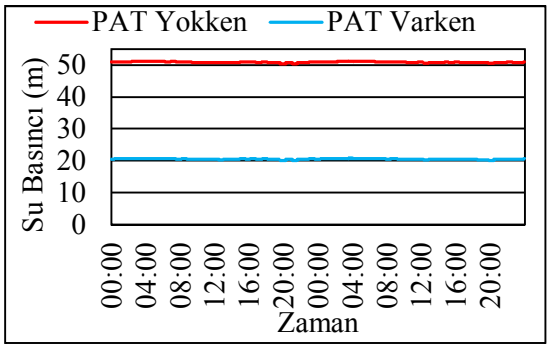
Dönem	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
Emitör	0,0195	0,0130	0,0253	0,018	0,035	0,0225

Çizelge 7.12. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-12 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

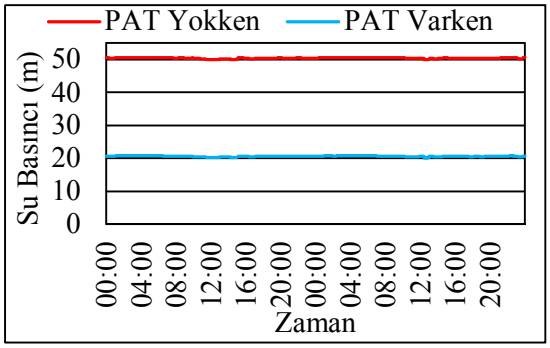
	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
PAT yokken ort. su basıncı (m)	52,17	51,63	52,17	51,63	52,17	51,63
PAT varken su basıncı (m)	21,8	21,8	22,3	21,8	23,3	22,3



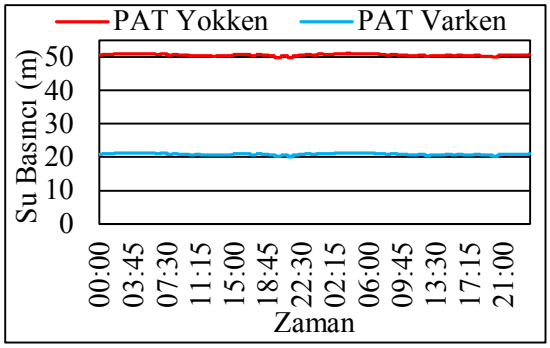
a) 2020 Kış dönemi



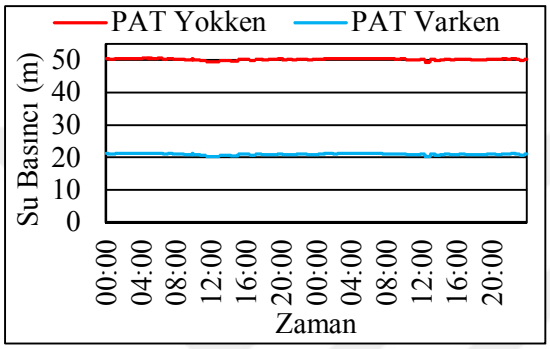
b) 2020 Yaz dönemi



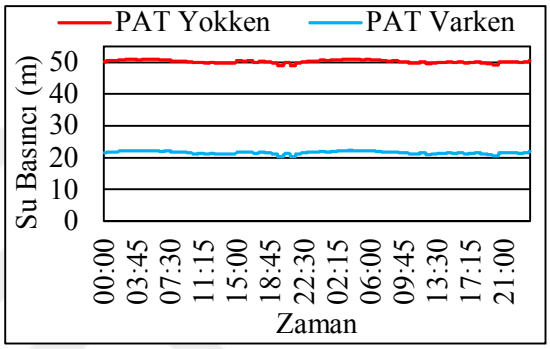
c) 2030 Kış dönemi



d) 2030 Yaz dönemi

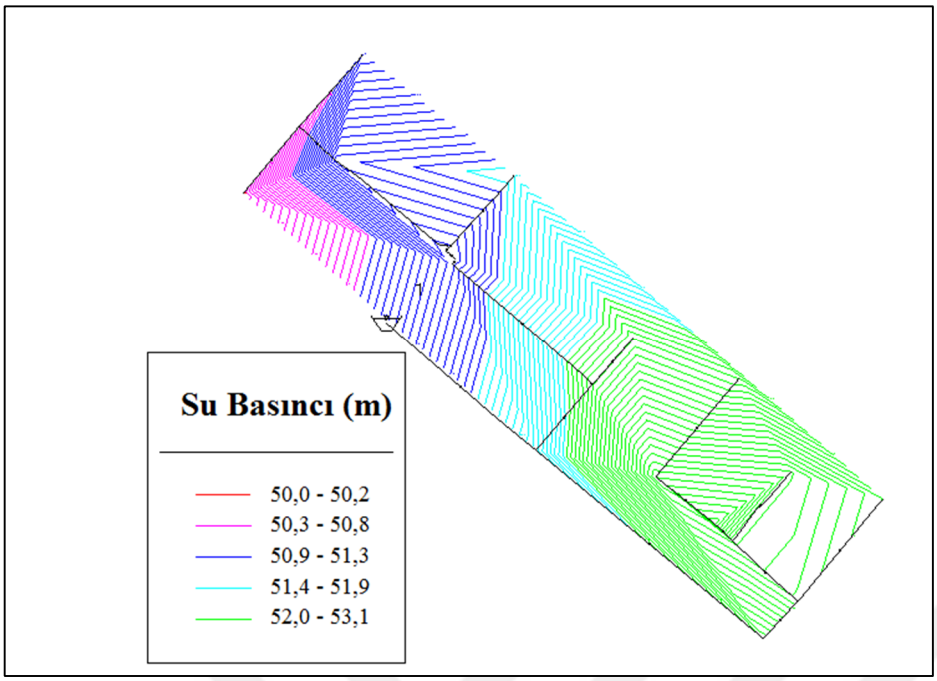


e) 2040 Kış dönemi

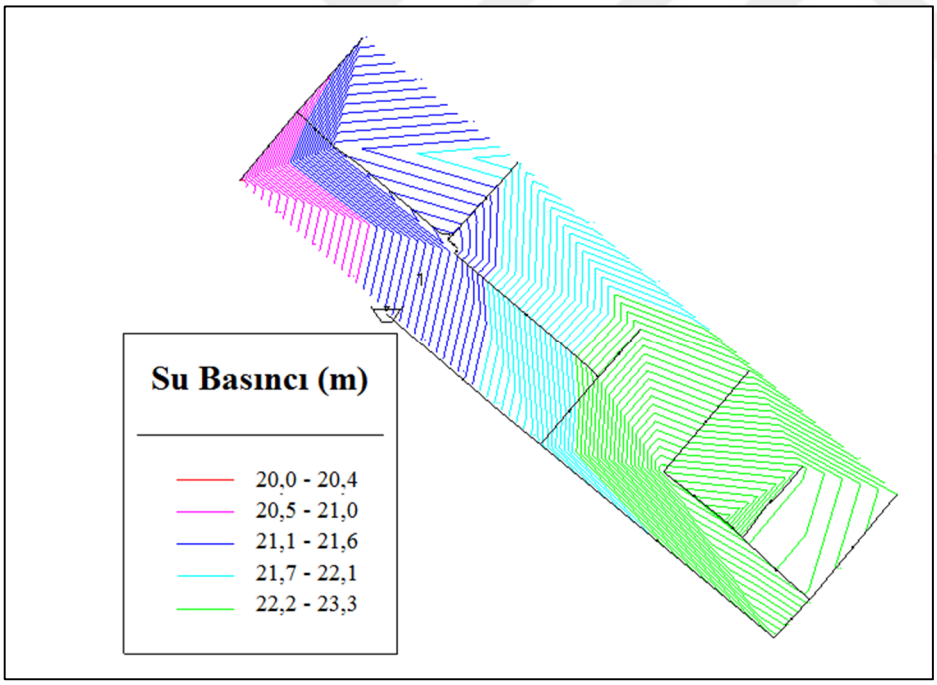


f) 2040 Yaz dönemi

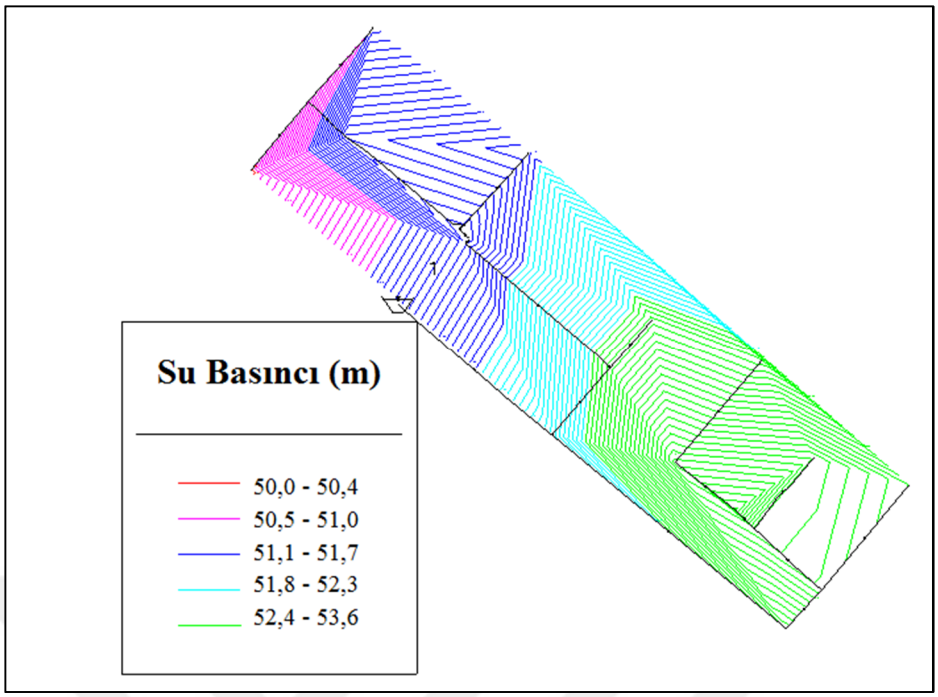
Şekil 7.27. DMA-12 alt bölgesi için PAT yokken ve varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimlerinin model tahminleri



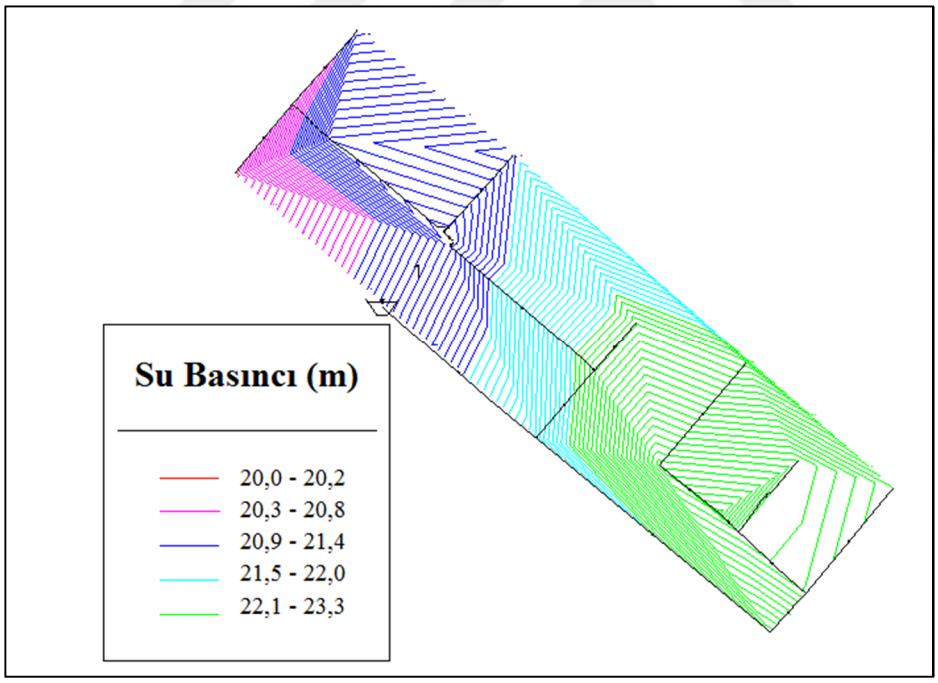
a) 2020 Kış dönemi PAT yokken



b) 2020 Kış dönemi PAT varken

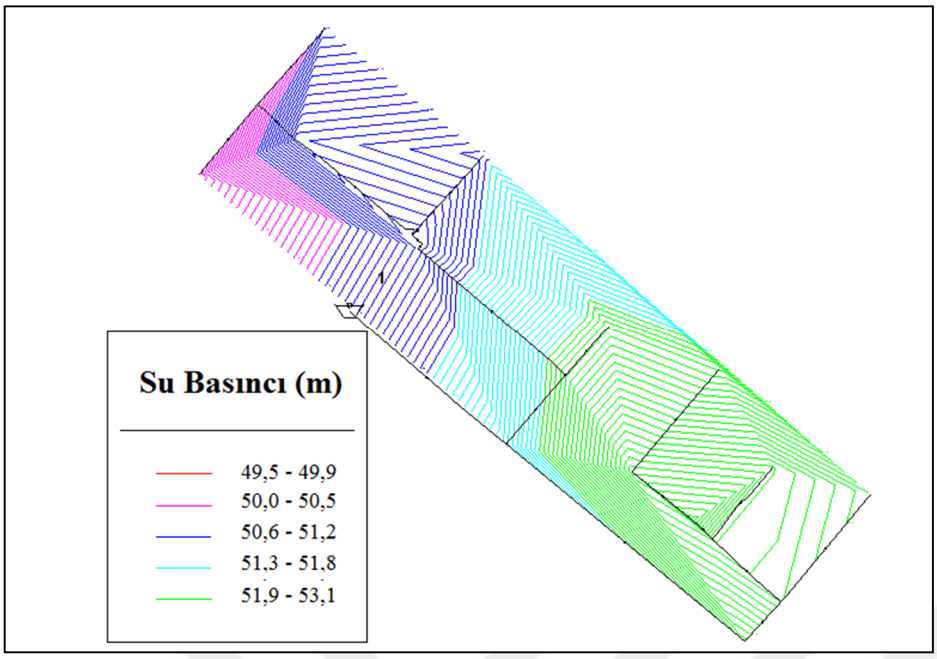


c) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

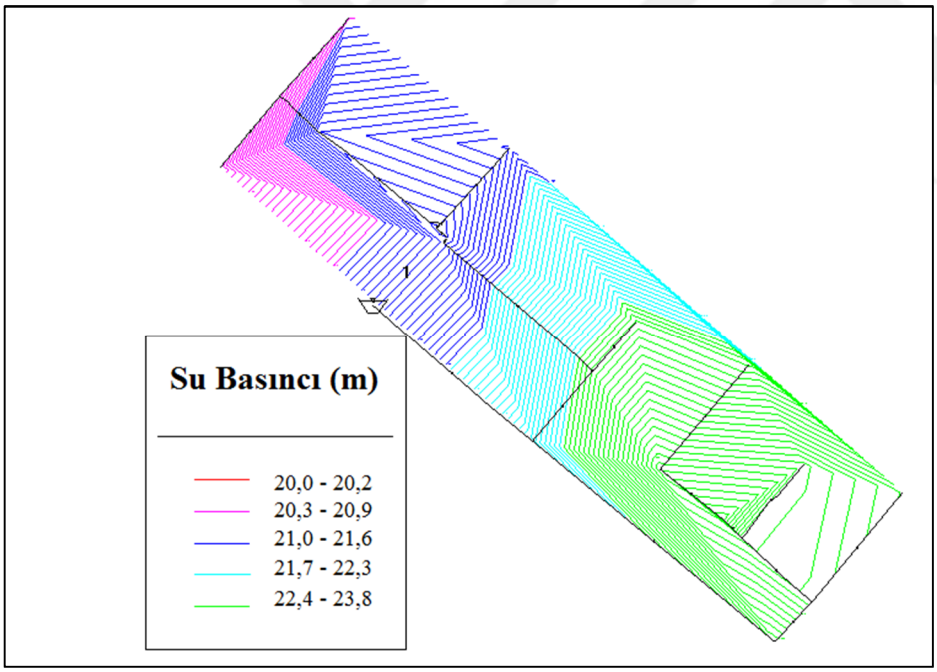


d) 2020 Yaz dönemi PAT varken

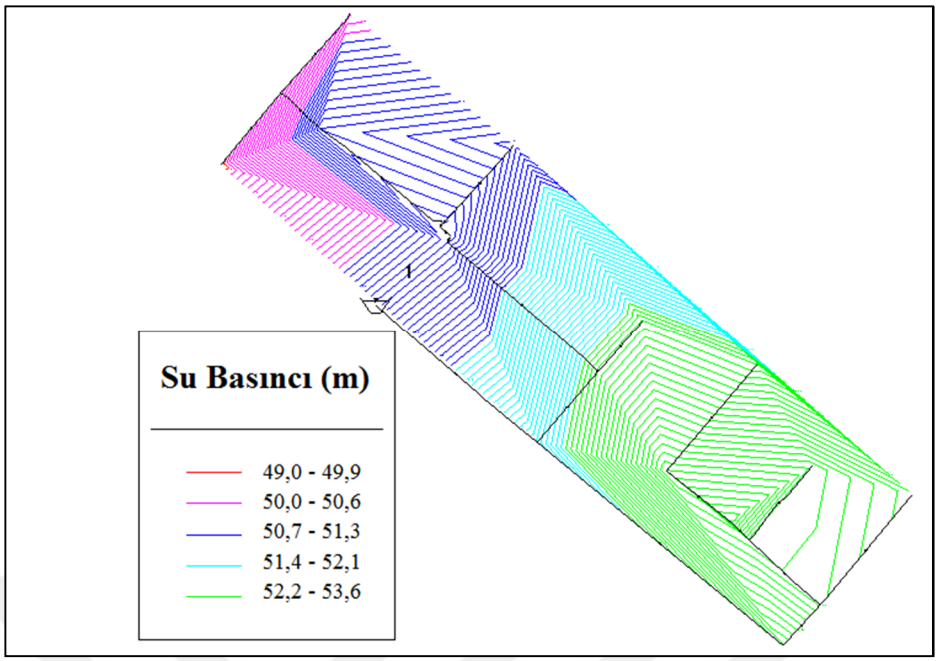
Şekil 7.28. DMA-12 alt bölgesi için 2020 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



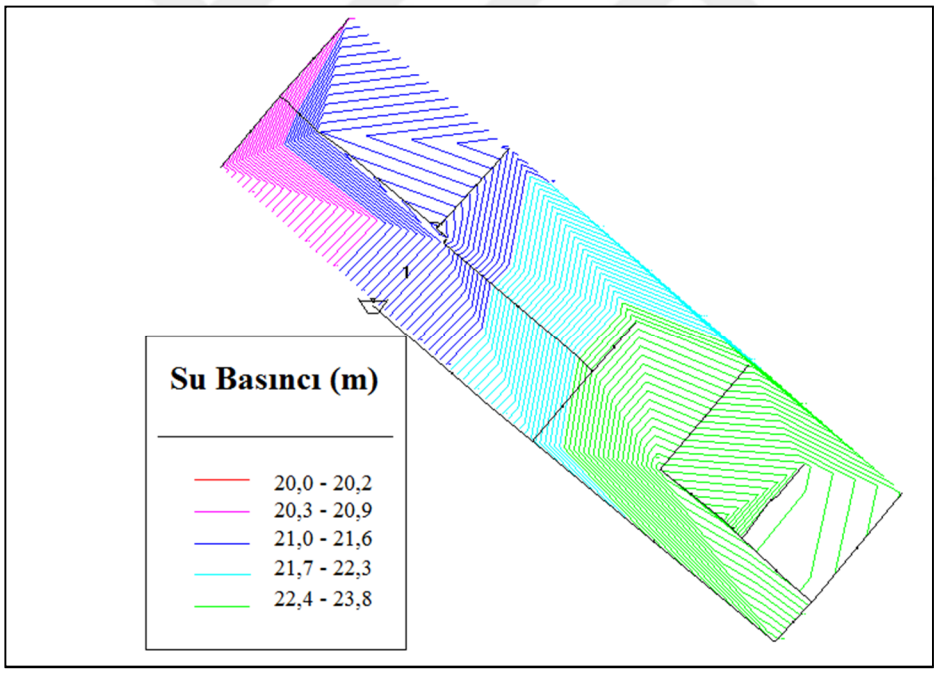
a) 2030 Kış dönemi PAT yokken



b) 2030 Kış dönemi PAT varken

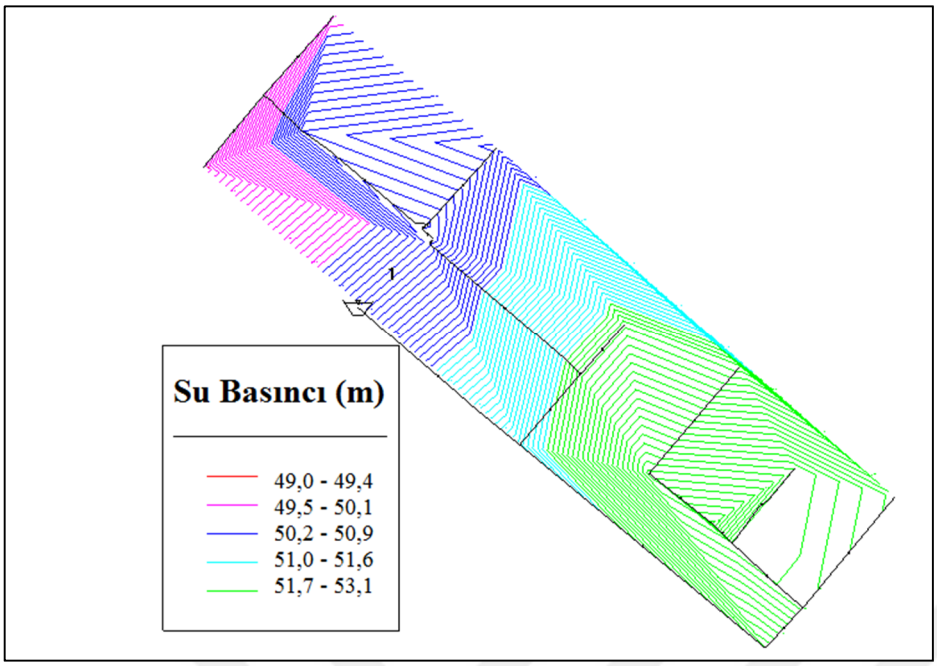


c) 2030 Yaz dönemi PAT yokken

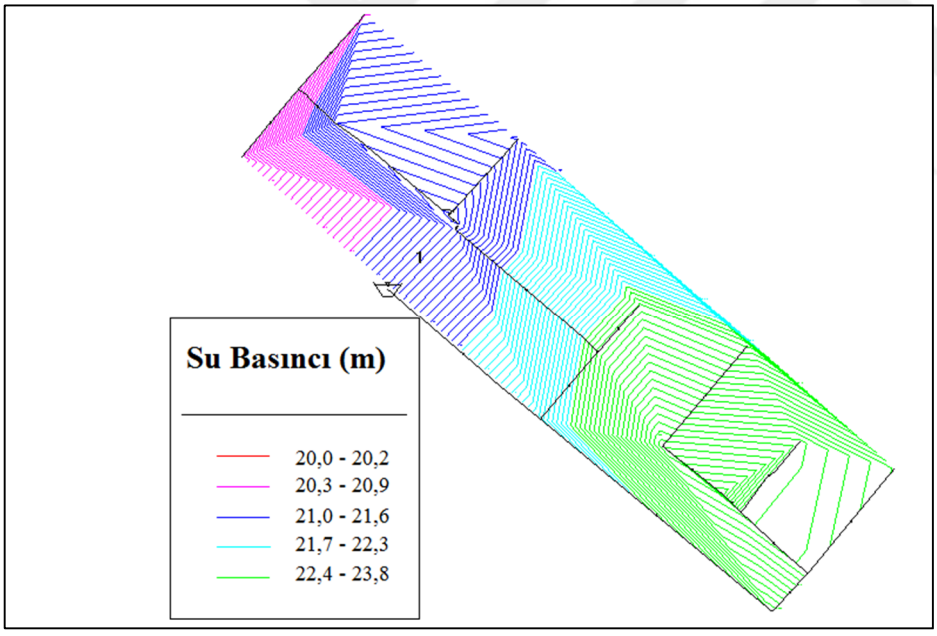


d) 2030 Yaz dönemi PAT varken

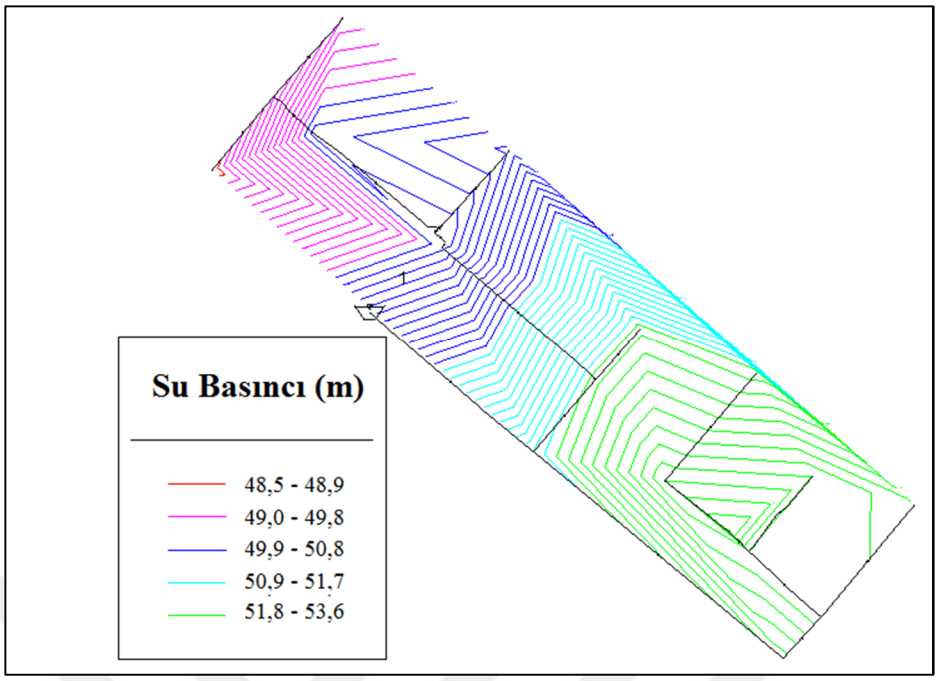
Şekil 7.29. DMA-12 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



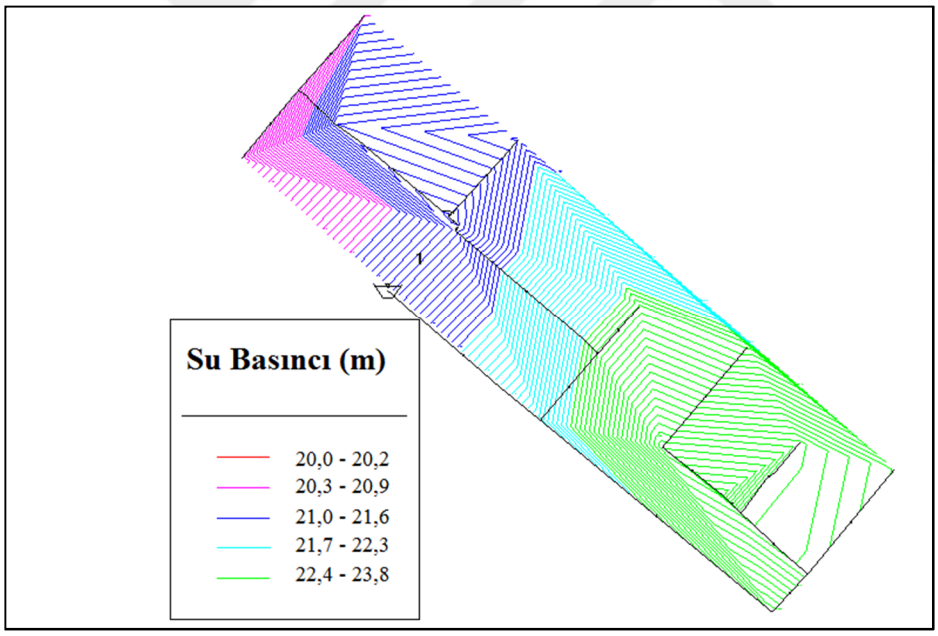
a) 2040 Kış dönemi PAT yokken



b) 2040 Kış dönemi PAT varken



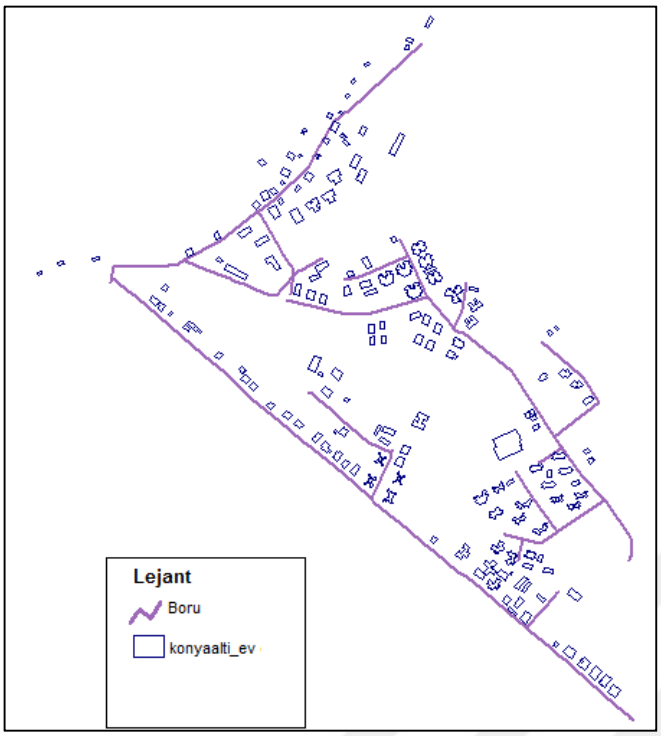
c) 2040 Yaz dönemi PAT yokken



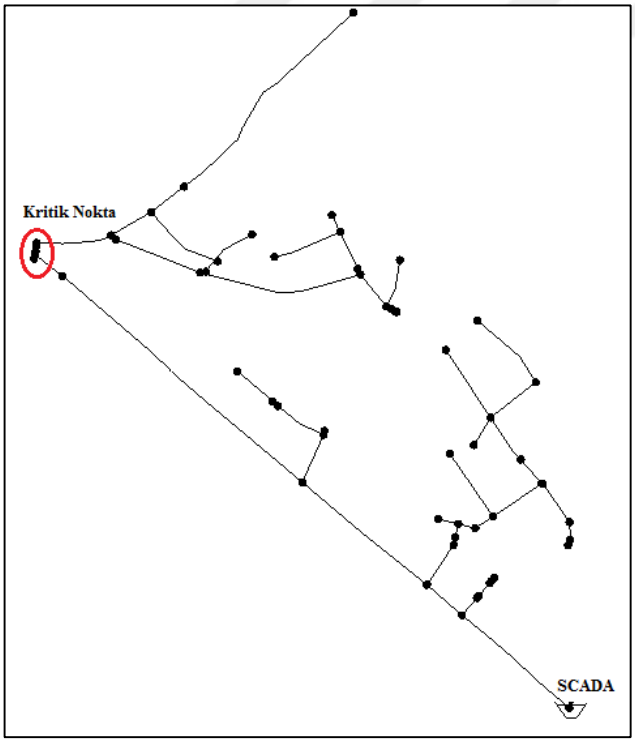
d) 2040 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.30. DMA-12 alt bölgesi için 2040 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumları için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri

7.7.Onbeşinci Alt Bölge (DMA-15) Çalışmaları



Şekil 7.31. DMA-15 içmesuyu şebekesi için CBS görseli



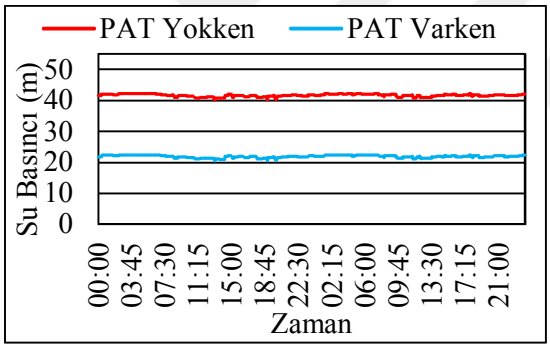
Şekil 7.32. DMA-15 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi

Çizelge 7.13. DMA-15 için tespit edilen emitör katsayıları

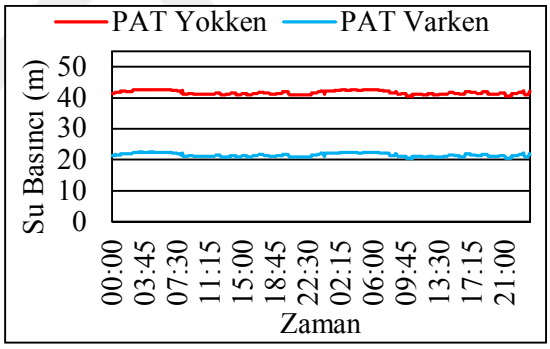
Dönem	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
Emitör	0,0205	0,0190	0,0271	0,025	0,038	0,037

Çizelge 7.14. DMA-15 giriş ortalama su basıncı değerleri ile PAT varken giriş su basıncı değerleri

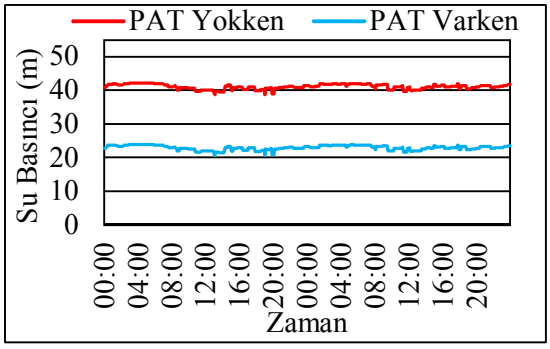
	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
PAT yokken ort. su basıncı (m)	52,59	52,16	52,59	52,16	52,59	52,16
PAT varken su basıncı (m)	32,3	32,3	33,8	33,8	36,8	35,8



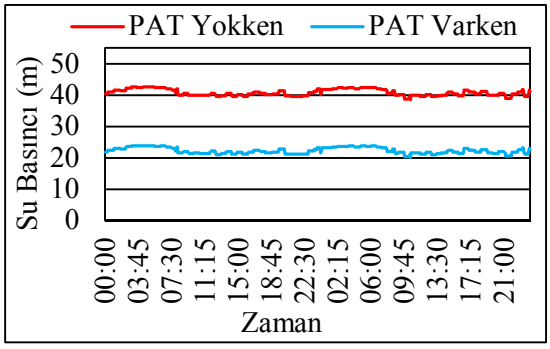
a) 2020 Kış dönemi



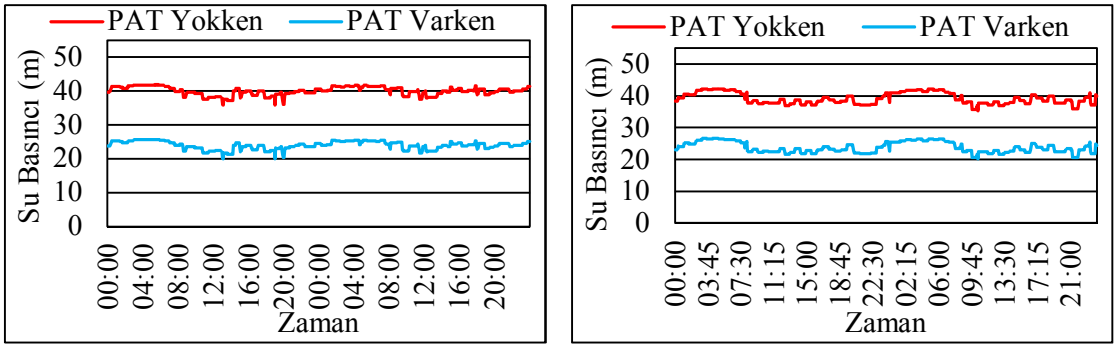
b) 2020 Yaz dönemi



c) 2030 Kış dönemi



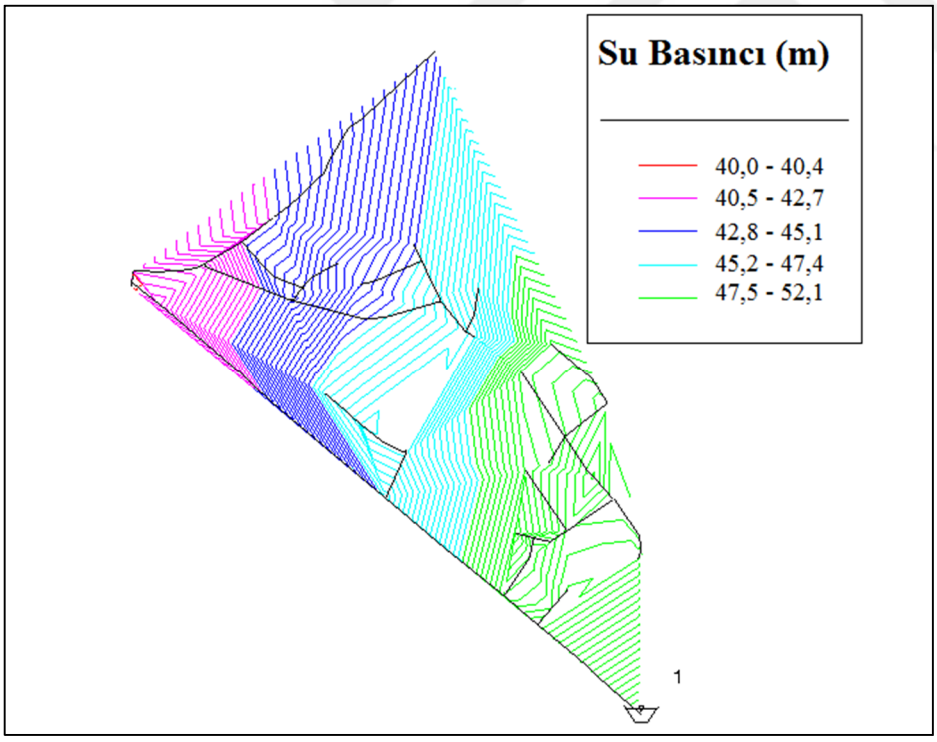
d) 2030 Yaz dönemi



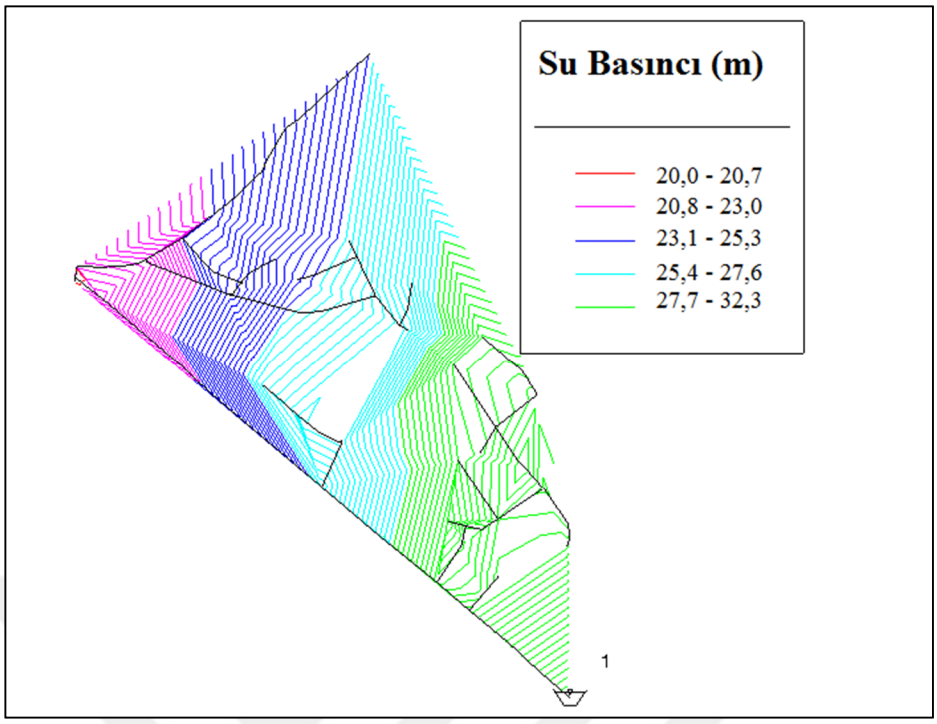
e) 2040 Kış dönemi f) 2040 Yaz dönemi

Şekil 7.33. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-15 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

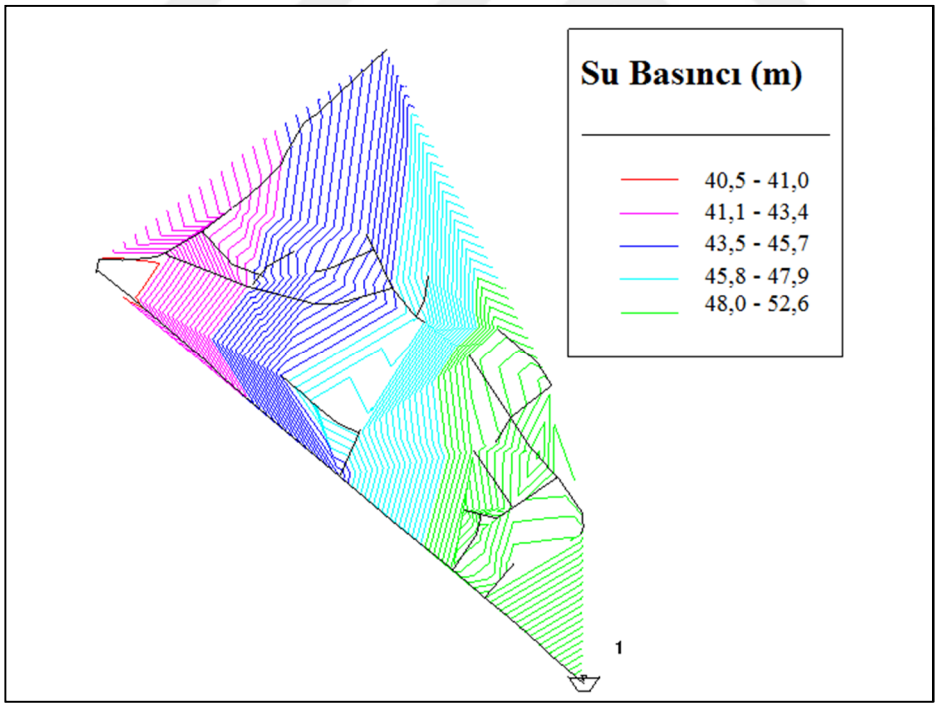
DMA-15 için su tüketim tahminlerinin yapıldığı tüm dönemlerde 48 saatlik modelleme çalışması süresince en düşük su basıncının oluştuğu zaman dilimi için (PAT yokken ve varken durumları için) elde edilen su basıncının mekânsal değişim grafikleri 2020, 2030 ve 2040 yılları için sırası ile Şekil 7.34, Şekil 7.35 ve Şekil 7.36'de verilmektedir.



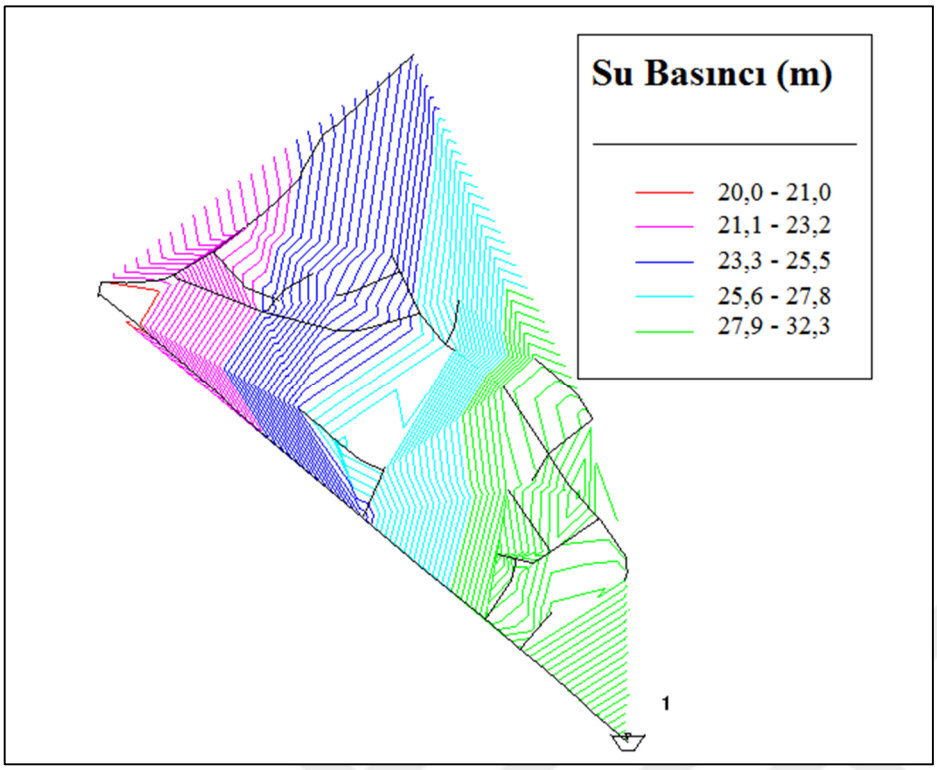
a) 2020 Kış dönemi PAT yokken



b) 2020 Kış dönemi PAT varken

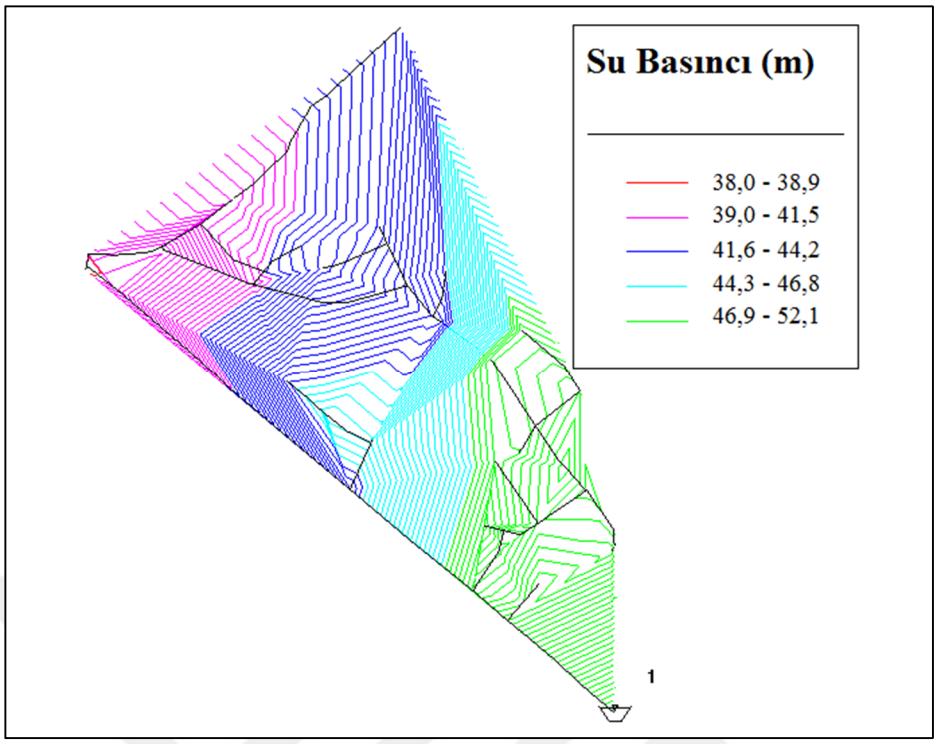


c) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

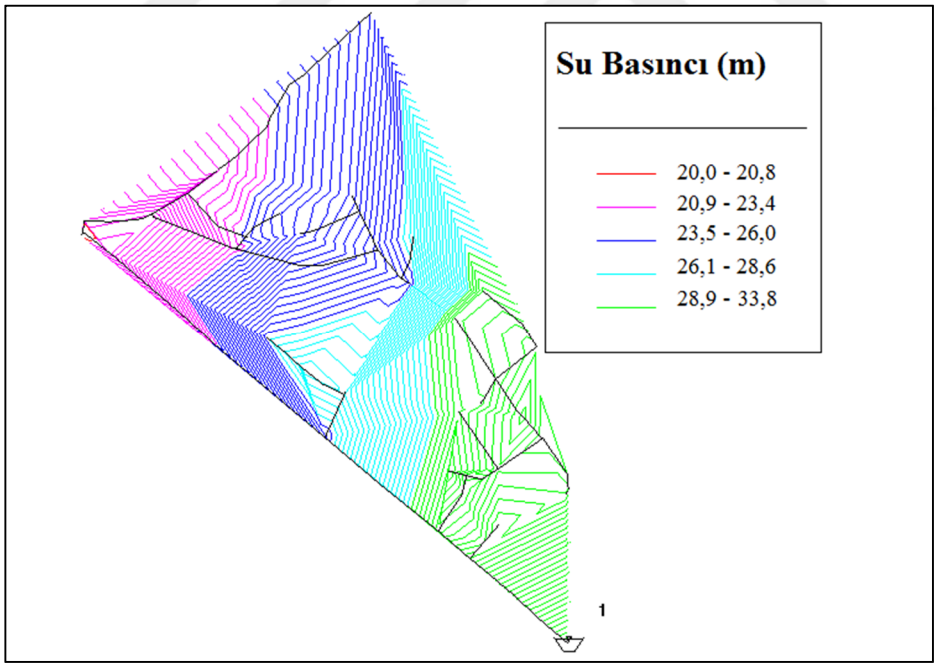


d) 2020 Yaz dönemi PAT varken

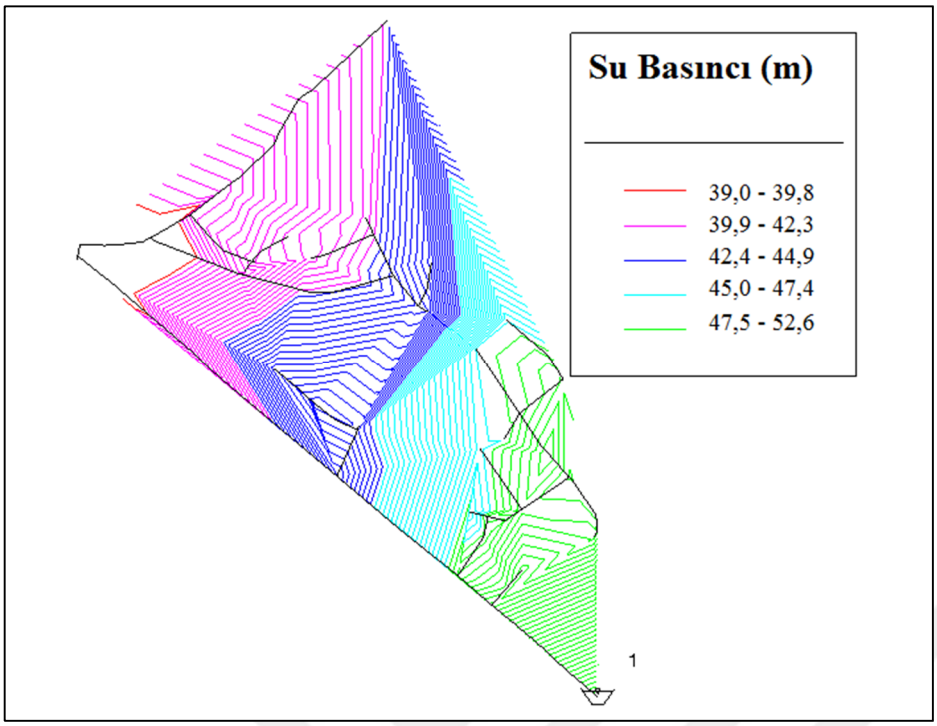
Şekil 7.34. DMA-15 alt bölgesi için 2020 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumu için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



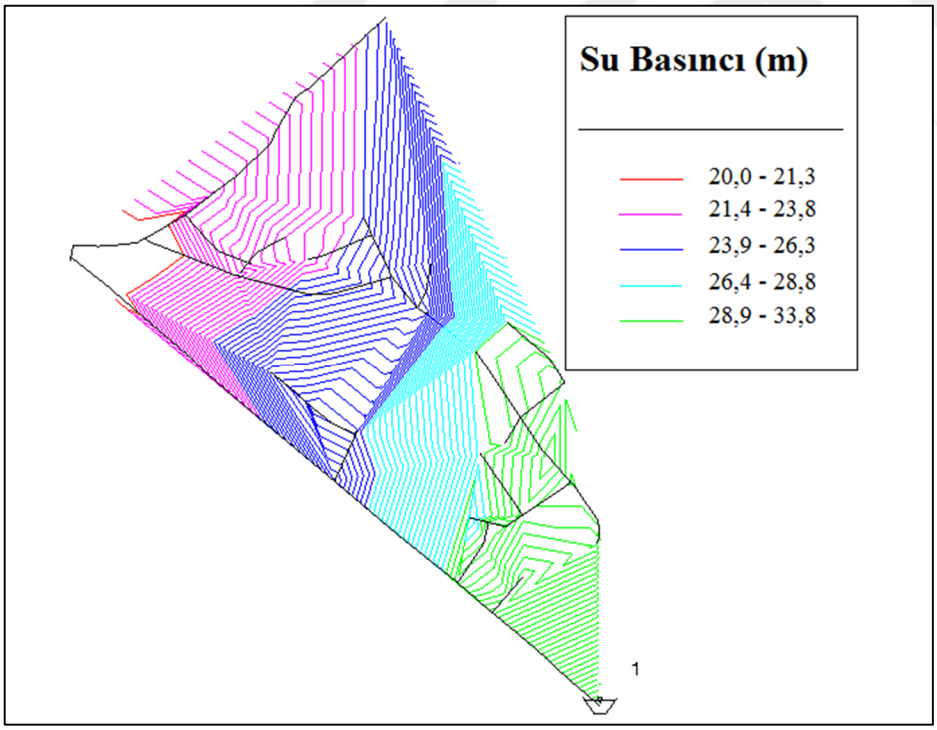
a) 2030 Kış dönemi PAT yokken



b) 2030 Kış dönemi PAT varken

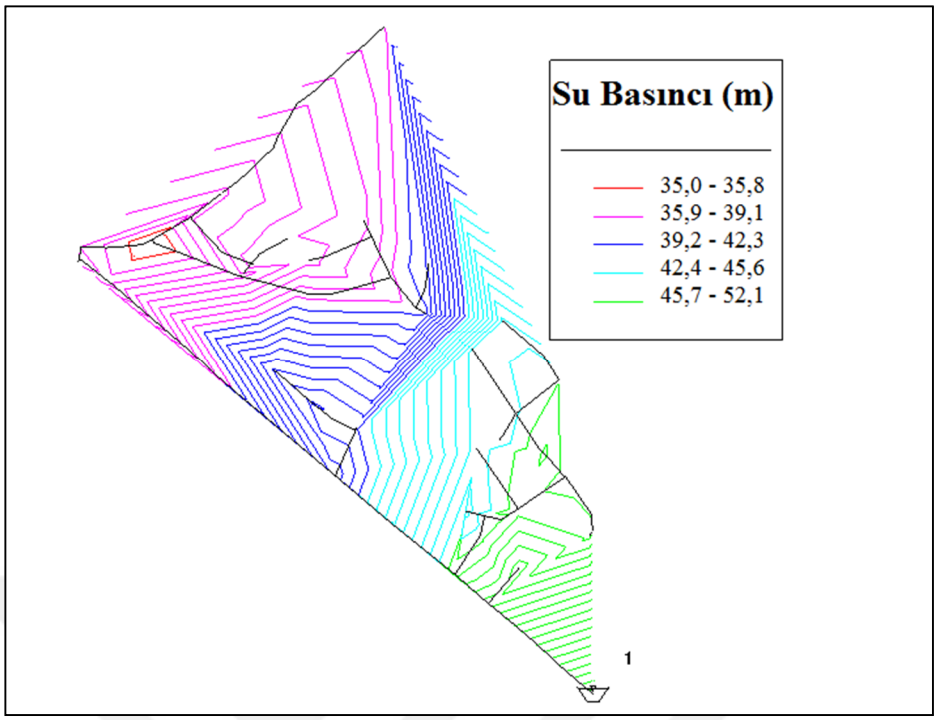


c) 2030 Yaz dönemi PAT yokken

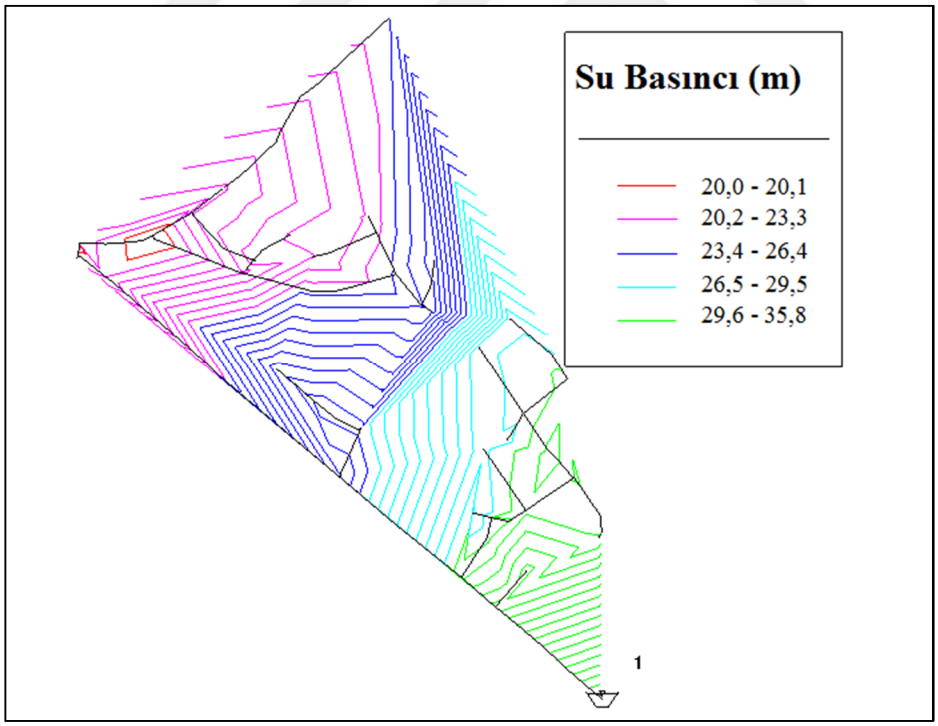


d) 2030 Yaz dönemi PAT varken

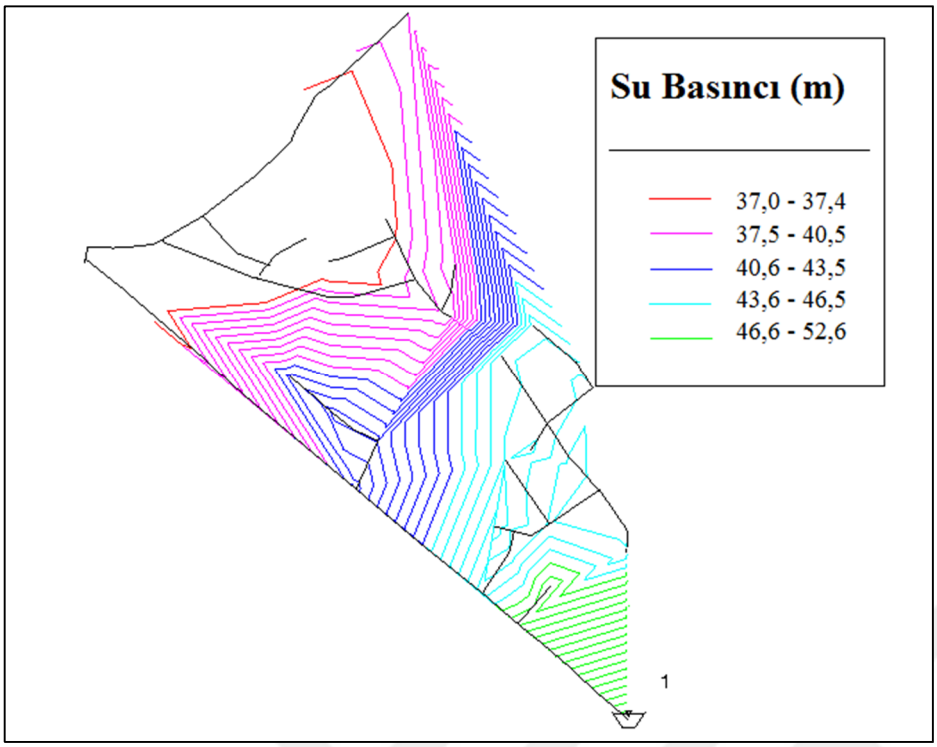
Şekil 7.35. DMA-15 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumu için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



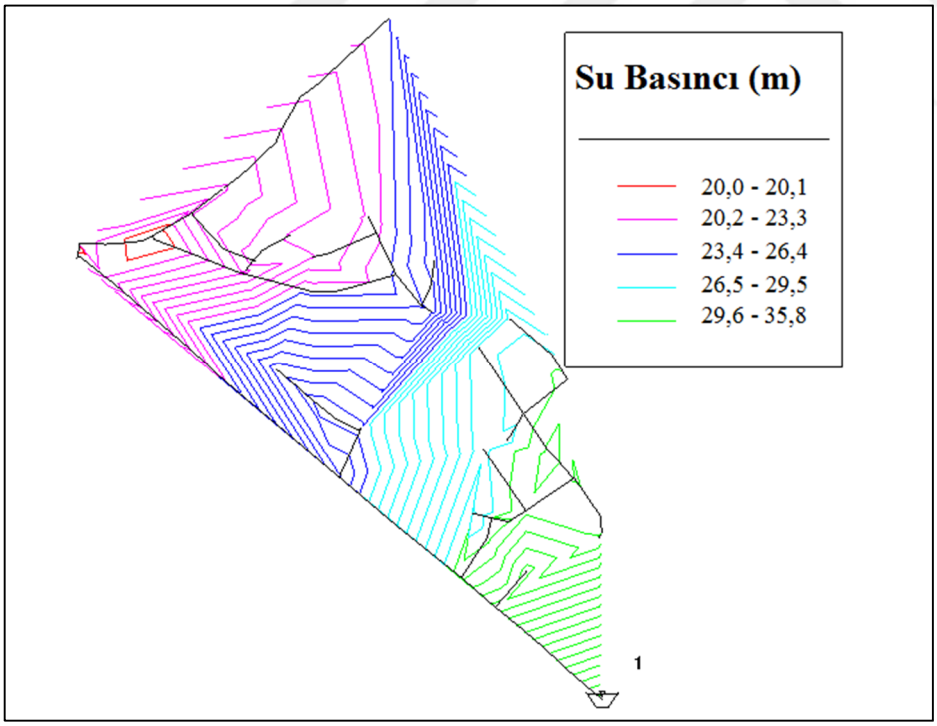
a) 2040 Kış dönemi PAT yokken



b) 2040 Kış dönemi PAT varken



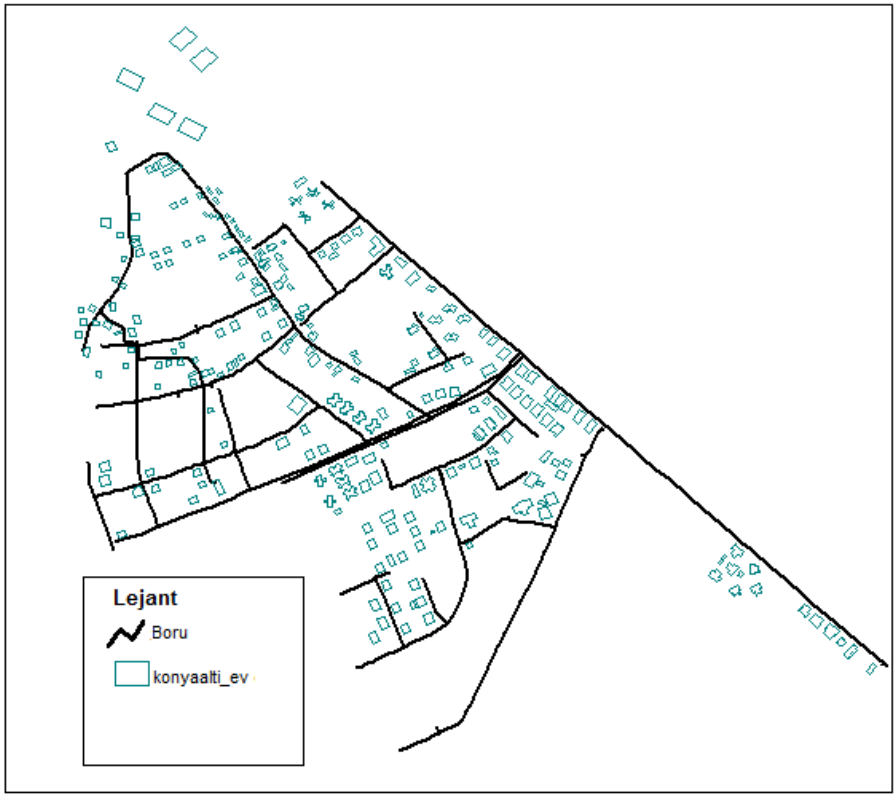
c) 2040 Yaz dönemi PAT yokken



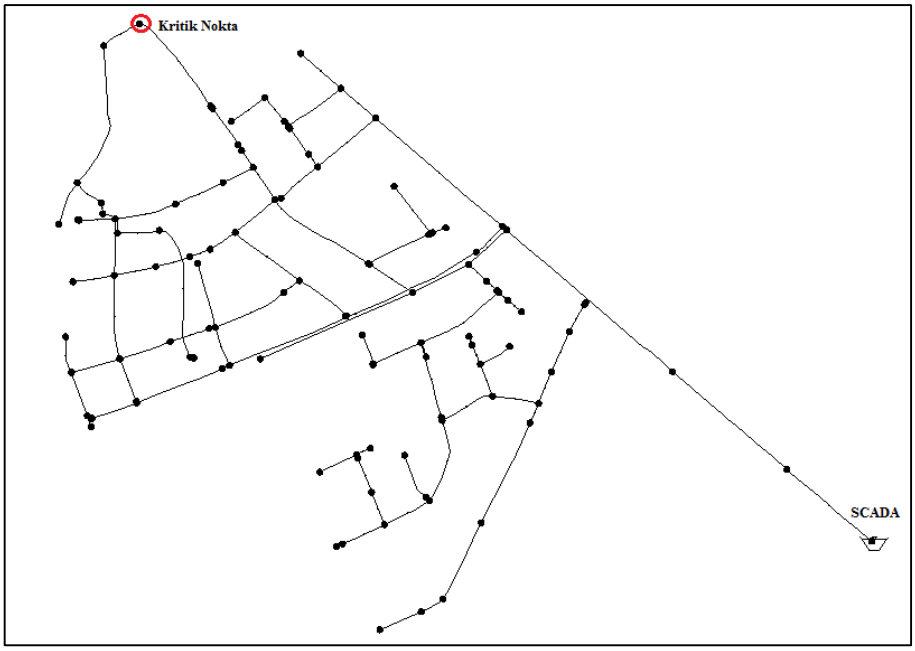
d) 2040 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.36. DMA-15 alt bölgesi için 2040 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumu için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri

7.8.Onaltıncı Alt Bölge (DMA-16) Çalışmaları



Şekil 7.37. DMA-16 içmesuyu şebekesi için CBS görseli



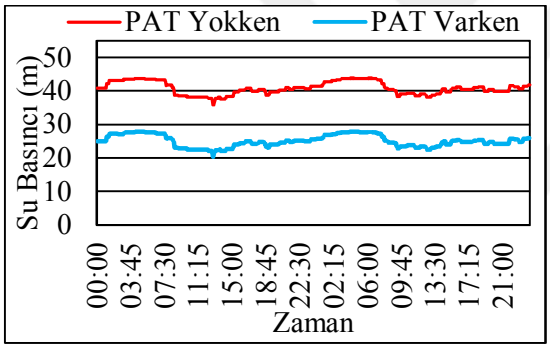
Şekil 7.38. DMA-16 alt bölge şebekesinde boru ve düğüm noktalarının hidrolik model gösterimi

Çizelge 7.15. DMA-16 için tespit edilen emitör katsayıları

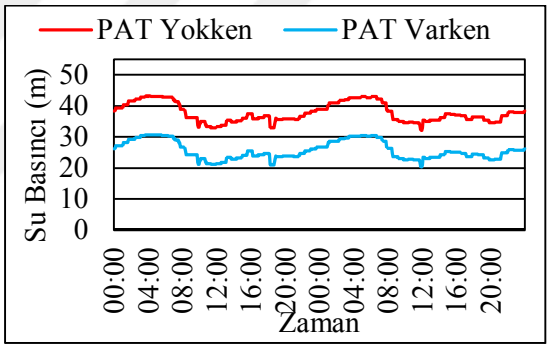
Dönem	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
Emitör	0,0142	0,0188	0,192	0,025	0,027	0,035

Çizelge 7.16. PAT yokken ve PAT varken durumları için DMA-16 alt bölgesi girişinde ortalama su basıncı değerleri

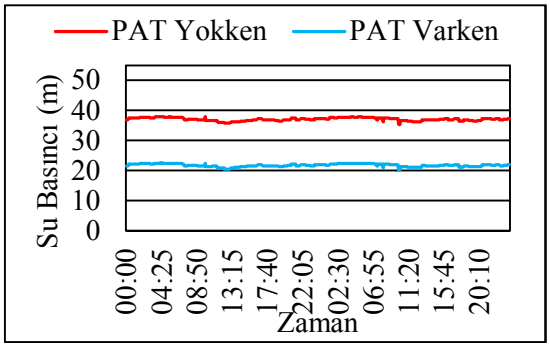
	2020 Yaz	2020 Kış	2030 Yaz	2030 Kış	2040 Yaz	2040 Kış
PAT yokken ort. su basıncı (m)	52,44	51,40	52,44	51,40	52,44	51,40
PAT varken su basıncı (m)	34 ,9	34,9	35,9	35,9	37,9	37,9



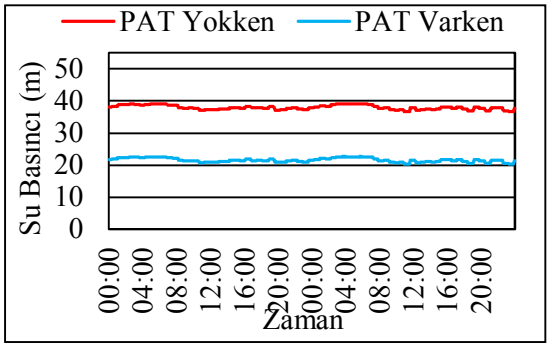
a) 2020 Kış dönemi



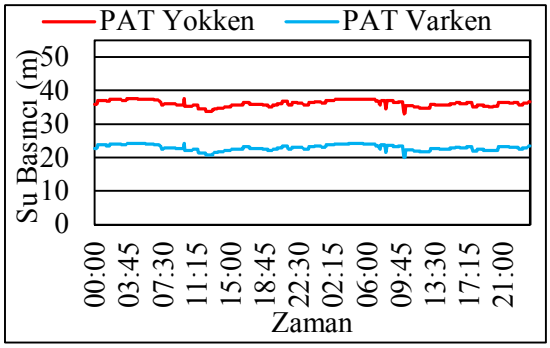
b) 2020 Yaz dönemi



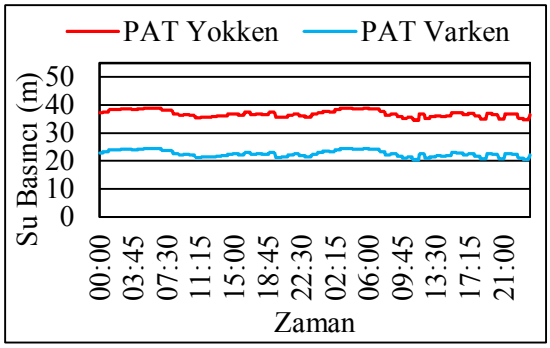
c) 2030 Kış dönemi



d) 2030 Yaz dönemi

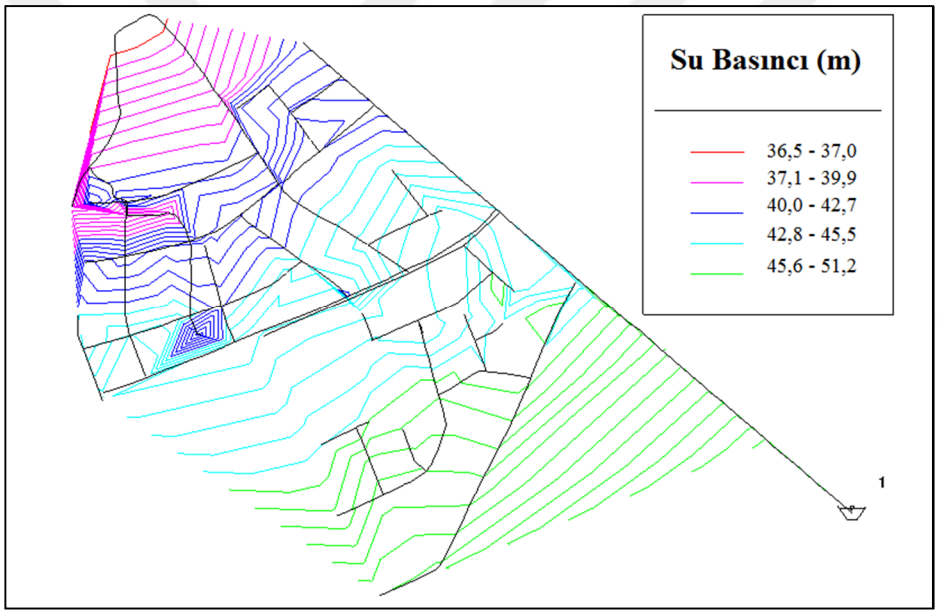


e) 2040 Kış dönemi

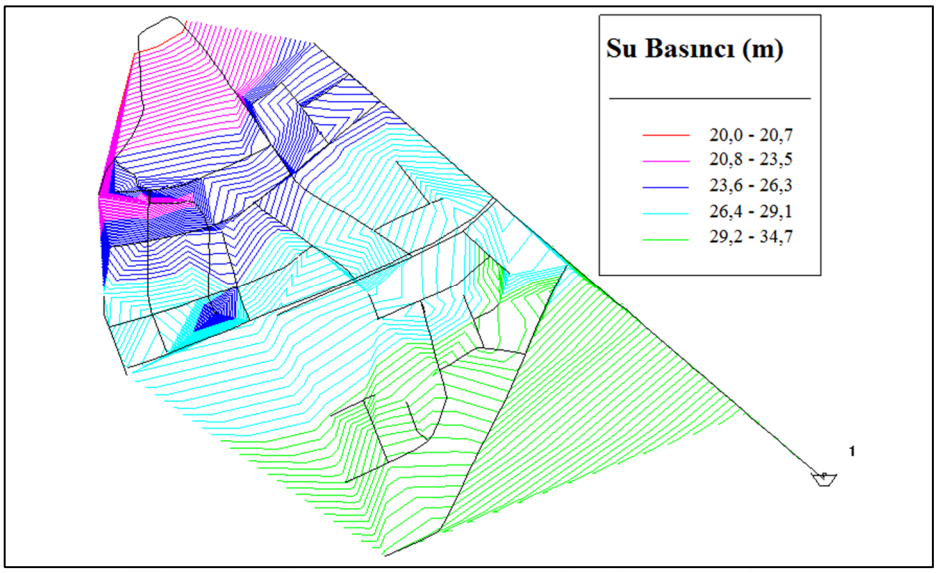


f) 2040 Yaz dönemi

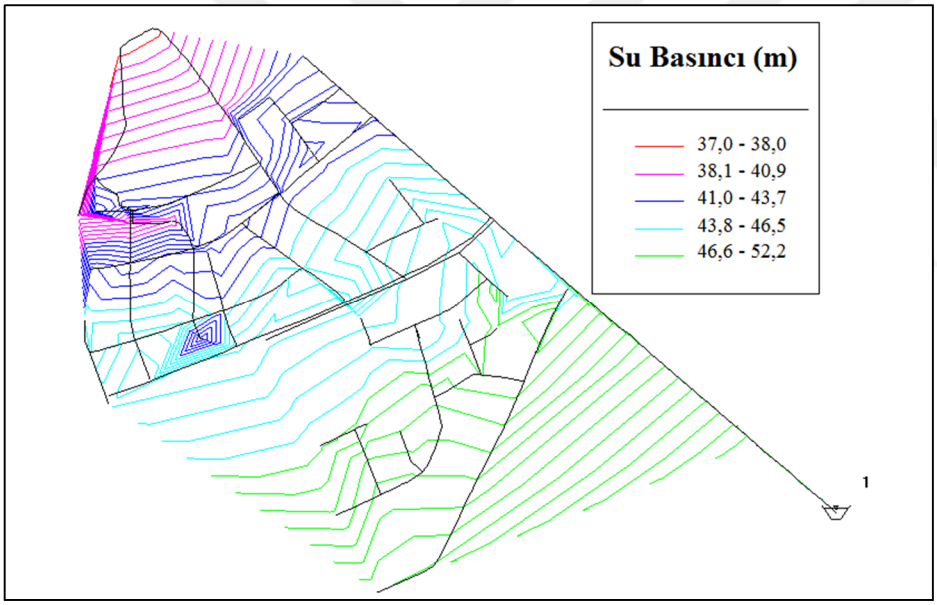
Şekil 7.39. DMA-16 alt bölgesi için PAT yokken ve varken durumları için kritik noktadaki su basıncının zamansal değişimleri model tahminleri



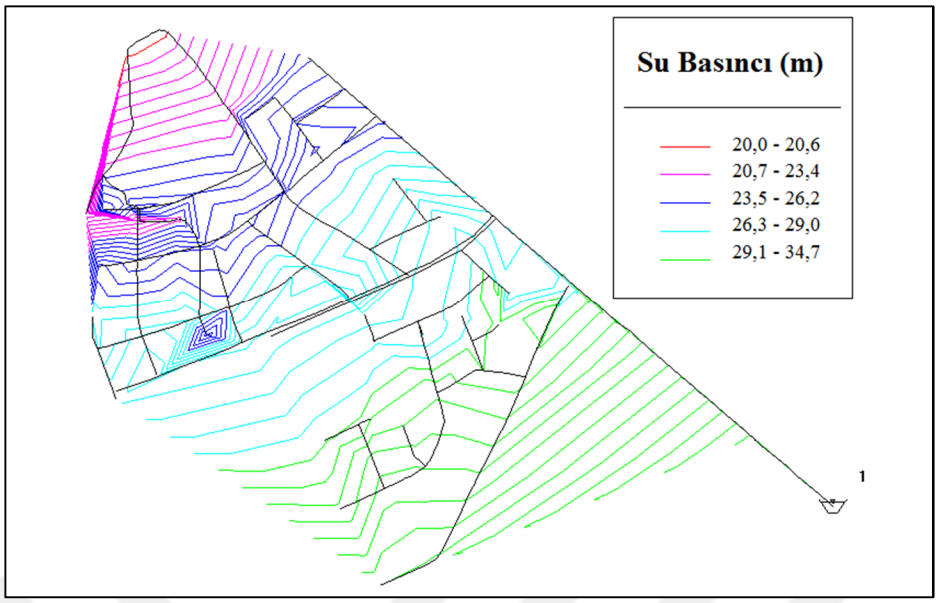
a) 2020 Kış dönemi PAT yokken



b) 2020 Kış dönemi PAT varken

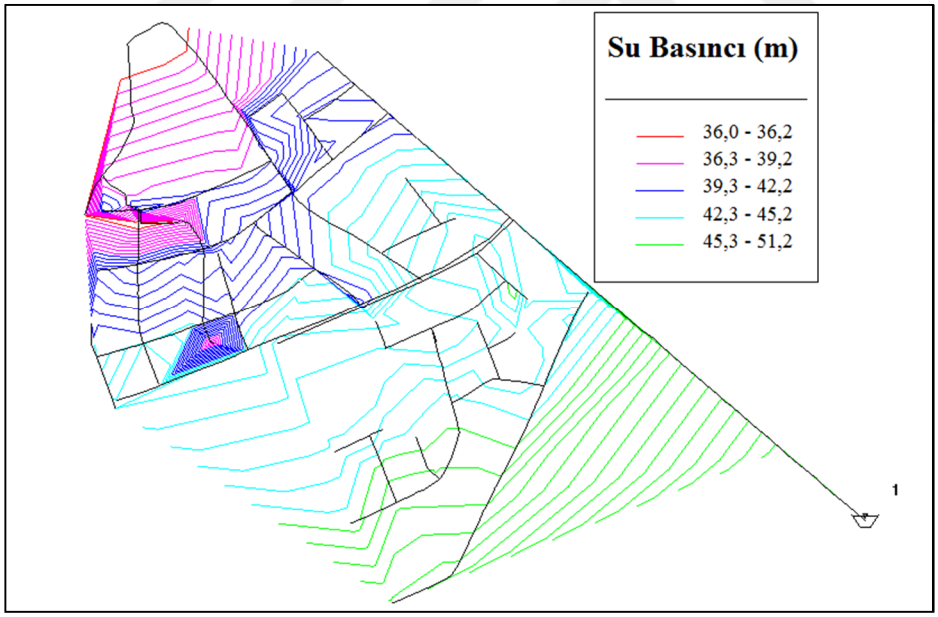


c) 2020 Yaz dönemi PAT yokken

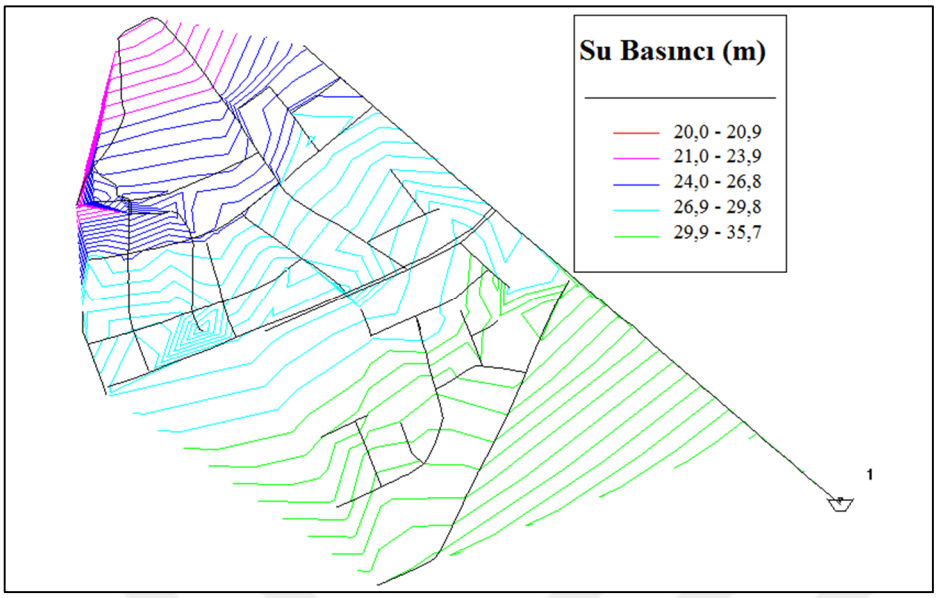


d) 2020 Yaz dönemi PAT varken

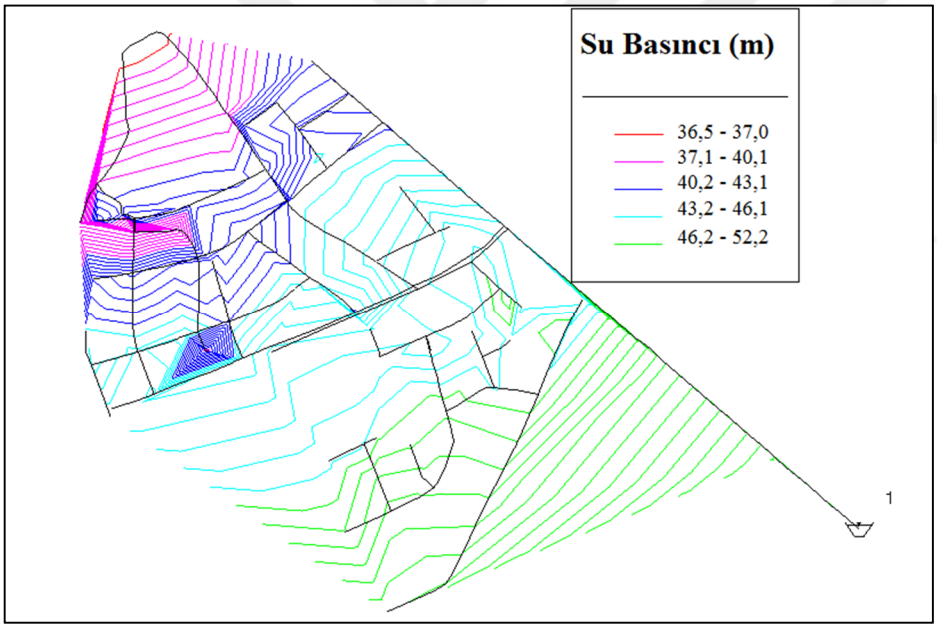
Şekil 7.40. DMA-16 alt bölgesi için 2020 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumu için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



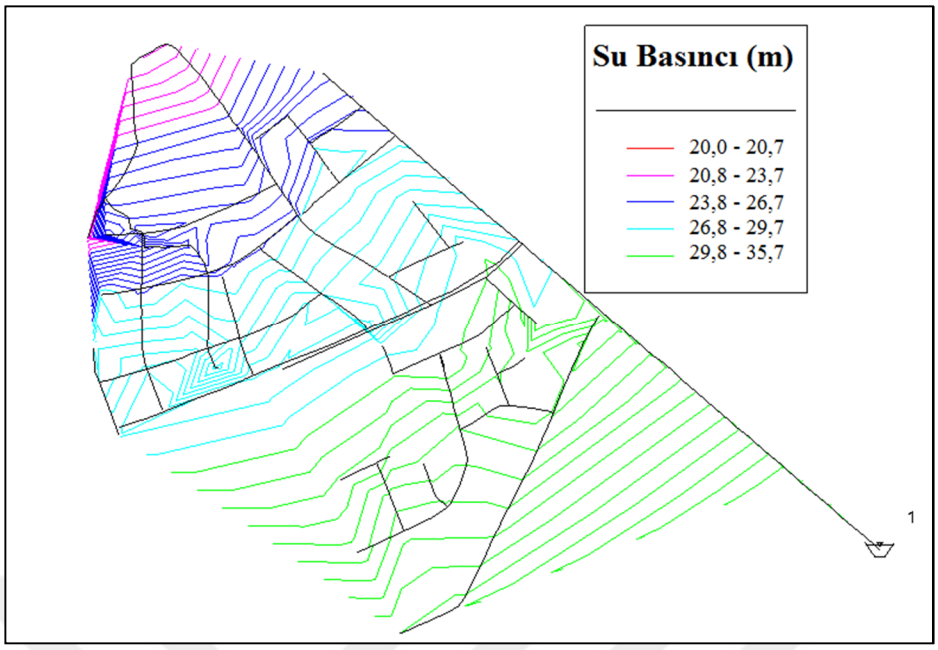
a) 2030 Kış dönemi PAT yokken



b) 2030 Kış dönemi PAT varken

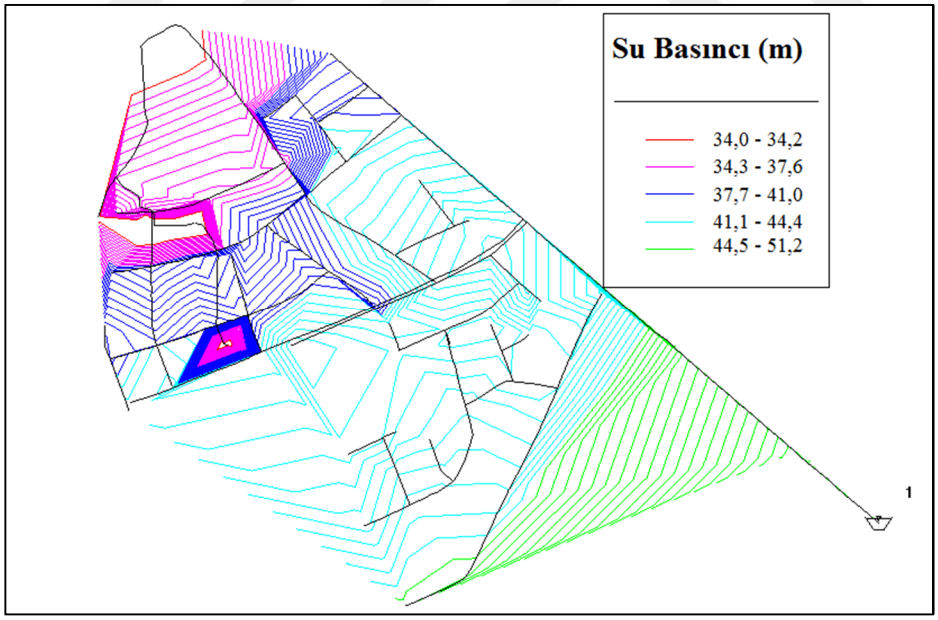


c) 2030 Yaz dönemi PAT yokken

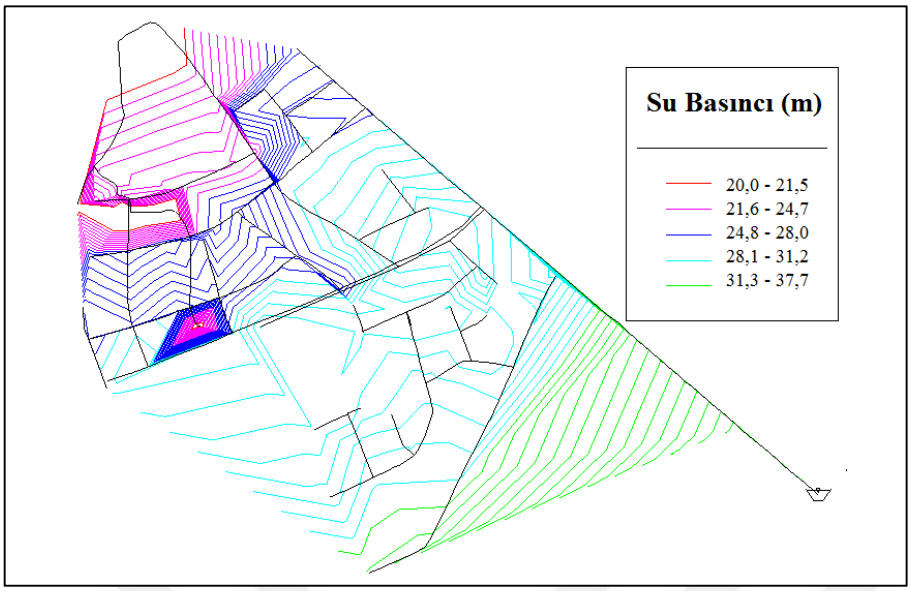


d) 2030 Yaz dönemi PAT varken

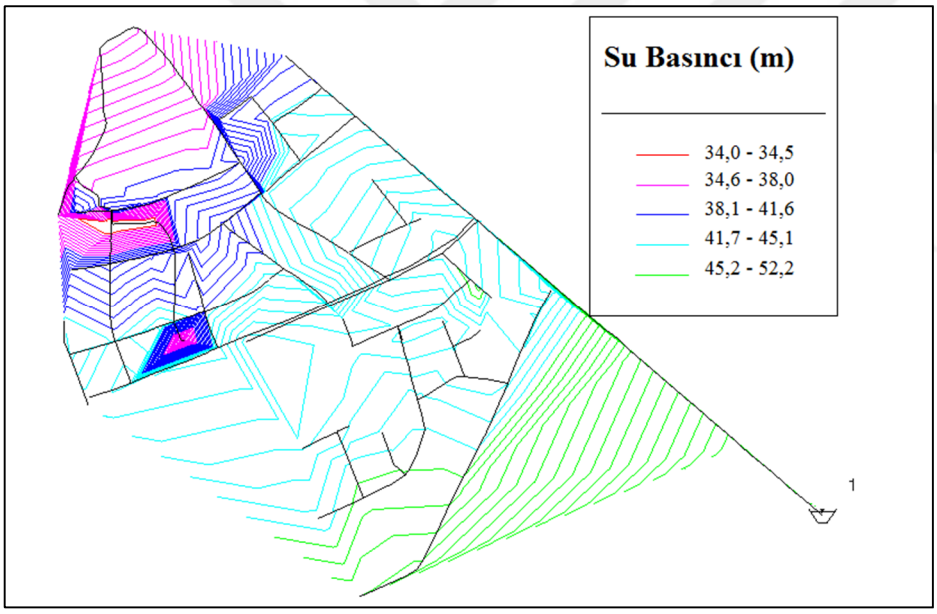
Şekil 7.41. DMA-16 alt bölgesi için 2030 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumu için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri



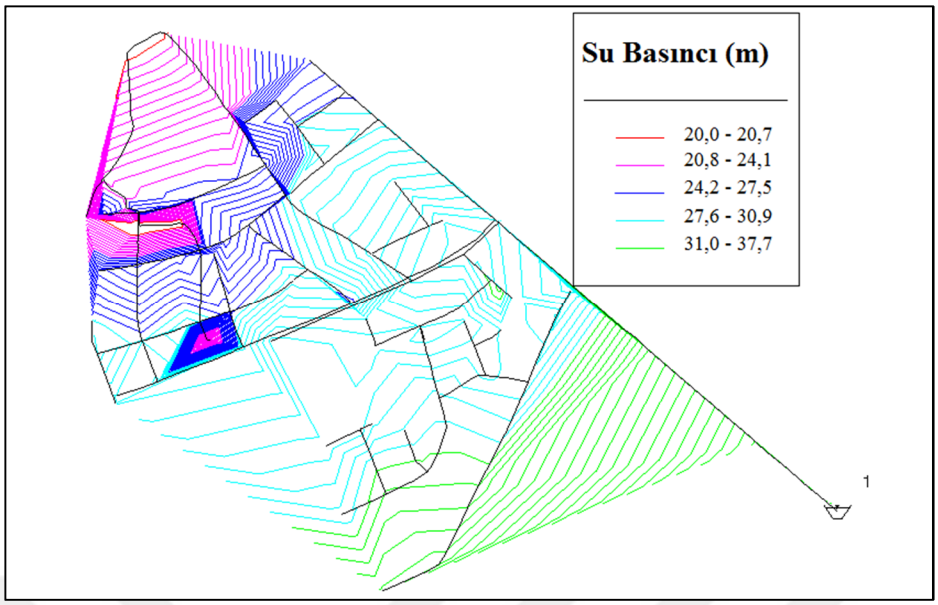
a) 2040 Kış dönemi PAT yokken



b) 2040 Kış dönemi PAT varken



c) 2040 Yaz dönemi PAT yokken



d) 2040 Yaz dönemi PAT varken

Şekil 7.42. DMA-16 alt bölgesi için 2040 yılı yaz ve kış dönemi PAT yokken ve varken durumu için su basıncı mekansal değişimi model tahminleri

ÖZGEÇMİŞ

Özge ÖZEN 1990 yılında Erzurum'da doğdu. Lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 2008 yılında girdiği Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. Eylül 2014 yılından beri, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimi görmektedir.