

T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN  
AZALTILMASI: SCADA UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Emre GÖKÇEK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

AĞUSTOS 2024

T.C  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN  
AZALTILMASI: SCADA UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Emre GÖKÇEK  
(36203618084)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

AĞUSTOS 2024

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Tezimin ortaya çıkma sürecinde büyük emeği olan, her konuda desteğini esirgemeyen, sabırlı bir şekilde beni yönlendirip bana önerilerde bulunan, değerli büyüğüm ve danışman hocam Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a;

Tezin oluşum ve gelişim sürecinde bana her konuda desteğini veren KASKİ Genel Müdür Yardımcısı Dr. Ufuk SEKMEN'e;

Çalışmayla ilgili bazı konularda bana destek veren şube müdürüm Mevlana SANCAKOĞLU'na,

SCADA sistemi için gerekli dokümanları ve verileri sağlayan Envest Enerji ve Su Teknolojileri Ltd. Şti.'ne ve Genel Müdürü Ahmet KÜTÜK Bey'e,

Çalışmaya bulunduğu katkılardan ötürü İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Araştırma Görevlisi Murat TOPTAŞ'a;

Çalışmanın yapılması için verdikleri katkı nedeniyle MASKİ Genel Müdürlüğü'ne ve mesai arkadaşlarıma;

Bugüne kadar maddi ve manevi her anlamda beni destekleyen kıymetli babam ve anneme, çalışma süresince bana destek olan kardeşlerime teşekkür ederim.

## ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması: SCADA Uygulaması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ahmet Emre GÖKÇEK



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ .....                                                                  | i         |
| ONUR SÖZÜ .....                                                                          | ii        |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                         | iii       |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                   | vi        |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                     | vii       |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....                                                           | viii      |
| ÖZET .....                                                                               | xii       |
| ABSTRACT .....                                                                           | xiii      |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                     | <b>1</b>  |
| 1.1 Genel.....                                                                           | 1         |
| 1.2 Tezin Amaçları ve Kapsamı .....                                                      | 2         |
| 1.3 Tezin Organizasyonu .....                                                            | 4         |
| <b>2. İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİ VE ENERJİ KULLANIMI... 6</b>                 | <b>6</b>  |
| 2.1 İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemleri .....                                          | 6         |
| 2.2 İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Kullanımı.....                       | 8         |
| <b>3. SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN</b>                           | <b>11</b> |
| <b>AZALTILMASI.....</b>                                                                  | <b>11</b> |
| 3.1 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması.....                | 12        |
| 3.1.1 Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemleri .....    | 12        |
| 3.1.2 Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tasarrufu stratejileri ve faydaları ..... | 15        |
| 3.2 Pompaların ve Motorların Verimli Çalışması .....                                     | 18        |
| 3.2.1 Pompalama temelleri .....                                                          | 18        |
| 3.2.2 Pompalama sistemlerinde enerji tasarrufu.....                                      | 21        |
| 3.3 Daha Yüksek Verimli Pompalar, Motorlar ve Sürücülerin Kullanılması .....             | 22        |
| 3.4 Değişken Hızlı Sürücülerin (VSD) Kullanılması .....                                  | 24        |
| 3.4.1 Hız kontrol yöntemleri ve VSD temel bileşenleri .....                              | 25        |
| 3.4.2 VSD kullanılması ile enerji tasarrufu .....                                        | 26        |
| 3.4.3 İçme suyu temin sistemlerinde değişken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılması        | 27        |
| 3.5 Pompa Planlaması (Pump Scheduling) ve Optimizasyonu .....                            | 29        |
| 3.6 Bakım ve Onarımın İyileştirilmesi, Kayıp ve Kaçakların Tespiti .....                 | 32        |
| 3.6.1 Bakım ve onarımın iyileştirilmesi .....                                            | 32        |
| 3.6.2 Kayıp ve kaçakların tespiti .....                                                  | 33        |
| 3.7 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması.....                                 | 35        |
| 3.7.1 Rüzgâr enerjisi.....                                                               | 37        |
| 3.7.1.1 Mekanik rüzgâr pompaları (yel değirmenleri).....                                 | 39        |
| 3.7.1.2 Elektrikli rüzgâr pompaları.....                                                 | 40        |
| 3.7.2 Güneş enerjisi .....                                                               | 42        |
| 3.7.3 Hidroelektrik enerji.....                                                          | 45        |
| 3.7.3.1 Hidrolik türbinler .....                                                         | 46        |
| 3.7.3.2 Türbin olarak pompa (Pump as Turbine, PAT).....                                  | 48        |
| 3.7.4 Biyogaz enerjisi .....                                                             | 51        |
| 3.7.5 Hibrit sistemler .....                                                             | 51        |
| <b>4. SU VE KANALİZASYON İDARELERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN</b>                             | <b>52</b> |
| <b>AZALTILMASI: MALATYA ÖRNEĞİ .....</b>                                                 | <b>52</b> |
| 4.1 Malatya İli Su Temin Sistemleri.....                                                 | 52        |
| 4.1.1 Malatya .....                                                                      | 52        |
| 4.1.2 Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ) .....                   | 52        |

|                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.3 MASKİ Su Temin Sistemleri .....                                                                                                             | 53        |
| 4.1.3.1 Pınarbaşı gözesi .....                                                                                                                    | 53        |
| 4.1.3.2 Diğer içme suyu tesisleri .....                                                                                                           | 54        |
| 4.2 MASKİ SCADA Sistemi.....                                                                                                                      | 54        |
| 4.2.1 Kuyu suyu takip sistemi .....                                                                                                               | 56        |
| 4.2.2 RTU (Remote Terminal Unit) ve GSM teknolojisi ile su temin sistemleri kontrolü.....                                                         | 57        |
| 4.3 Malatya İli İçme Suyu Temin Sistemlerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması Amacıyla Yapılan Çalışmalar.....                                     | 57        |
| 4.3.1 Uygun ekipmanların seçimi.....                                                                                                              | 58        |
| 4.3.2 Arızalara müdahale ve önleyici bakım .....                                                                                                  | 58        |
| 4.3.3 SCADA sistemi ile elde edilen kazanımlar .....                                                                                              | 58        |
| 4.3.4 RTU ve GSM teknolojisi ile elde edilen kazanımlar.....                                                                                      | 59        |
| 4.3.5 Kuyuönü hidroelektrik santrali.....                                                                                                         | 59        |
| 4.3.6 Yapraklı hidroelektrik santrali.....                                                                                                        | 59        |
| 4.3.7 Yaka Mahallesi ve MASKİ ana bina güneş enerjisi santralleri (GES).....                                                                      | 60        |
| 4.4. Malatya İli İçme Suyu Temin Sisteminde Enerji Tüketiminin Azaltılmasına Yönelik Öneriler .....                                               | 60        |
| <b>5. VERİ TABANLI İZLEME VE KONTROL (SCADA) SİSTEMLERİ.....</b>                                                                                  | <b>63</b> |
| 5.1 SCADA Sistemlerinin Temel Prensipleri.....                                                                                                    | 63        |
| 5.2. SCADA Donanımı.....                                                                                                                          | 65        |
| 5.2.1 Saha enstrümantasyonu .....                                                                                                                 | 66        |
| 5.2.2 PLC/RTU'lar .....                                                                                                                           | 67        |
| 5.2.3 Uzaktan iletişim ağı.....                                                                                                                   | 68        |
| 5.2.4 SCADA ana bilgisayarı .....                                                                                                                 | 68        |
| 5.3. SCADA Yazılımı.....                                                                                                                          | 69        |
| 5.4 SCADA Standartları ve Protokolleri .....                                                                                                      | 71        |
| <b>6. SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SCADA KULLANILMASI.....</b>                                                                               | <b>72</b> |
| 6.1 Literatür Taraması .....                                                                                                                      | 72        |
| 6.1.1 Dünyada su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanılmasına ilişkin araştırmalar .....                                                   | 73        |
| 6.1.2 Ülkemizde su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanılmasına ilişkin araştırmalar .....                                                 | 75        |
| 6.2 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Kullanılması .....                                                                                    | 78        |
| 6.3 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Bileşenleri.....                                                                                      | 81        |
| 6.4 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Uygulamasının Faydaları .....                                                                         | 83        |
| <b>7. SU VE KANALİZASYON İDARELERİNDE VERİ TABANLI İZLEME VE KONTROL SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI – BÜYÜKŞEHİR BELEDİYELERİ.....</b>                | <b>86</b> |
| 7.1 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Uygulaması ....                                                                 | 86        |
| 7.2 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Kullanılan SCADA Sistemlerinin Karakteristikleri.....                                 | 87        |
| 7.3 Büyükşehir Belediyeleri Su Ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Kapsamında Yürütülen Faaliyetler.....                                           | 92        |
| 7.4 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Uygulaması Çerçevesinde Elde Edilen Kazanımlar .....                            | 95        |
| 7.5 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Kullanılmasının Etkinliklerini Artıracak ve Kapsamı Genişletecek Öneriler ..... | 99        |

|                                                                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8. SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE VERİ TABANLI İZLEME VE KONTROL (SCADA) SİSTEMLERİNİN KULLANIMI: ÖRNEK BİR UYGULAMA .....</b>       | <b>101</b> |
| 8.1 Giriş .....                                                                                                                            | 101        |
| 8.2 Malzeme ve Yöntem.....                                                                                                                 | 101        |
| 8.2.1 Su temin ve dağıtım sisteminin yapısı.....                                                                                           | 101        |
| 8.2.1.1 Sondaj kuyuları.....                                                                                                               | 102        |
| 8.2.1.2 Toplama deposu.....                                                                                                                | 102        |
| 8.2.1.3 Terfi pompaları .....                                                                                                              | 102        |
| 8.2.1.4 Dağıtım deposu.....                                                                                                                | 102        |
| 8.2.2 SCADA sistemi ve ekipmanları .....                                                                                                   | 103        |
| 8.2.2.1 Kompakt tip pompa kontrol sistemi .....                                                                                            | 103        |
| 8.2.2.2 Elektromanyetik Debimetre.....                                                                                                     | 104        |
| 8.2.2.3 Enerji analizörü ve akım trafoları .....                                                                                           | 104        |
| 8.2.2.4 Anahtarlama güç kaynağı (Switch Mode Power Supply, SMPS) .....                                                                     | 105        |
| 8.2.2.5 Slim röle .....                                                                                                                    | 106        |
| 8.2.2.6 Hidrostatik seviye sensörü.....                                                                                                    | 106        |
| 8.2.2.7 Basınç sensörü .....                                                                                                               | 107        |
| 8.2.3 Ölçülen ve izlenen parametreler .....                                                                                                | 108        |
| 8.3 Bulgular ve Tartışma .....                                                                                                             | 109        |
| 8.3.1 Maliyet Analizi .....                                                                                                                | 109        |
| 8.3.2 SCADA sisteminin geri ödeme süresi .....                                                                                             | 111        |
| 8.3.3 SCADA sisteminin faydaları .....                                                                                                     | 111        |
| 8.4 Ülkemizdeki Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Sistemlerinin Uygulanmasına ve Yaygınlaştırılmasına Katkı Sağlayacak Öneriler..... | 111        |
| <b>9. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                                                                                          | <b>113</b> |
| 9.1 Sonuçlar.....                                                                                                                          | 113        |
| 9.2 Öneriler.....                                                                                                                          | 115        |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                                                                      | <b>117</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                                                      | <b>127</b> |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 2.1:</b> Enerji kullanan su ve atık su kullanım sistemleri .....                                                                                        | 9   |
| <b>Çizelge 3.1:</b> Enerji verimliliği önlemleri .....                                                                                                             | 11  |
| <b>Çizelge 3.2:</b> Geleneksel su tedarik sistemlerine uygulanabilen enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatifler .....             | 16  |
| <b>Çizelge 3.3:</b> Enerji tasarrufu stratejileri ve faydaları .....                                                                                               | 17  |
| <b>Çizelge 3.4:</b> Su temin, dağıtım ve arıtım sistemlerinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları .....                                               | 36  |
| <b>Çizelge 3.5:</b> Hidroelektrik sistemlerinin sınıflandırılması .....                                                                                            | 46  |
| <b>Çizelge 3.6:</b> Hidrolik türbinlerin sınıflandırılması .....                                                                                                   | 47  |
| <b>Çizelge 4.1:</b> Malatya merkez ilçeler ve diğer ilçelerdeki içme suyu tesisleri .....                                                                          | 55  |
| <b>Çizelge 4.2:</b> Malatya merkez ilçeler ve diğer ilçelerde SCADA sistemi ile kontrol edilen tesisler .....                                                      | 56  |
| <b>Çizelge 4.3:</b> Malatya ilinde RTU-GSM teknolojisi kullanılan tesis sayısı .....                                                                               | 57  |
| <b>Çizelge 4.4:</b> Malatya ili içme suyu temin sistemi için enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatiflerin değerlendirilmesi. .... | 61  |
| <b>Çizelge 6.1:</b> İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA ile yapılan ölçümler ve işlemler .....                                                          | 82  |
| <b>Çizelge 7.1:</b> İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanan büyükşehir belediyeleri. ....                                                          | 87  |
| <b>Çizelge 7.2:</b> Büyükşehir belediyeleri Su ve Kanalizasyon idarelerinde kurulu bulunan SCADA sistemlerinin karakteristikleri. ....                             | 89  |
| <b>Çizelge 7.3:</b> Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdareleri'nde SCADA kapsamında yürütülen faaliyetler. ....                                          | 93  |
| <b>Çizelge 7.4:</b> Büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA uygulaması çerçevesinde elde edilen özel kazanımlar. ....                        | 98  |
| <b>Çizelge 8.1:</b> SCADA sistemi ile ölçülen ve izlenen parametreler. ....                                                                                        | 108 |
| <b>Çizelge 8.2:</b> 1, 2 ve 3 Nolu Sondaj Kuyuları için otomasyon ve enstrümanları. ....                                                                           | 109 |
| <b>Çizelge 8.3:</b> Toplama Deposu için otomasyon ve enstrümanları. ....                                                                                           | 110 |
| <b>Çizelge 8.4:</b> 1 ve 2 Nolu Terfi Merkezi Pompaları için otomasyon ve enstrümanları. ....                                                                      | 110 |
| <b>Çizelge 8.5:</b> Dağıtım Deposu için otomasyon ve enstrümanları. ....                                                                                           | 110 |
| <b>Çizelge 8.6:</b> Toplam maliyet. ....                                                                                                                           | 110 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 1.1: Kentsel su temini sisteminin bileşenleri .....                                                                                                 | 1   |
| Şekil 2.1: Köy/kasaba standart su temin sistemi .....                                                                                                     | 7   |
| Şekil 2.2: Köy/kasaba standart su temin sistemi .....                                                                                                     | 7   |
| Şekil 2.3: Su dağıtım sistemi, su temin kaynağı ile tüketici arasındaki temel bağlantıdır....                                                             | 8   |
| Şekil 3.1: Tipik pompa düzenlemesi .....                                                                                                                  | 19  |
| Şekil 3.2: Tipik pompa performans karakteristik eğrileri. ....                                                                                            | 19  |
| Şekil 3.3: Klasik pompa sistemi ile verimli teknolojilerle birleştirilmiş enerji-verimli pompa sisteminin veriminin karşılaştırılması .....               | 23  |
| Şekil 3.4: Pompa değişim programı. ....                                                                                                                   | 24  |
| Şekil 3.5: Debi kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerle sağlanabilecek enerji tasarrufu oranları .....                                                       | 28  |
| Şekil 3.6: Pompa periyodik bakımlarının pompa verimine etkisi. ....                                                                                       | 33  |
| Şekil 3.7: Fiziki su kayıplarının bileşenleri .....                                                                                                       | 34  |
| Şekil 3.8: Kaçak yönetiminin dört ana bileşeni .....                                                                                                      | 35  |
| Şekil 3.9: Farklı tarım makinelerini çalıştırmak için yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar ve güneşin kullanımı .....                            | 38  |
| Şekil 3.10: Su pompalama sistemiyle yenilenebilir enerji entegrasyonu.....                                                                                | 38  |
| Şekil 3.11: Piston pompasına sahip bir yel değirmeninin şematik diyagramı .....                                                                           | 40  |
| Şekil 3.12: Bir dalgıç santrifüj pompasına bağlı elektrikli bir rüzgar türbininin şematik diyagramı.....                                                  | 41  |
| Şekil 3.13: Doğrudan bağlı bir fotovoltaik su pompalama sisteminin şematik resmi .....                                                                    | 43  |
| Şekil 3.14: Güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri .....                                                                                               | 44  |
| Şekil 3.15: Aşırı basıncın olduğu bir cazibeli tip su iletim hattı için örnek şema ve enerji üretmek için türbinlerin olası konumları (T: türbin) .....   | 48  |
| Şekil 3.16: PAT'ın akış yönü, (a) Pompa olarak çalışma (b) Türbin olarak çalışma .....                                                                    | 48  |
| Şekil 3.17: PAT çalışma aralığı ile STS'deki enerji geri kazanım potansiyeli arasındaki karşılaştırma. Eşçizgiler, mevcut hidrolik gücü temsil eder ..... | 50  |
| Şekil 4.1: Malatya Pınarbaşı içme suyu kaptaj alanı.....                                                                                                  | 53  |
| Şekil 4.2: MASKİ SCADA sistemi genel yapısı .....                                                                                                         | 55  |
| Şekil 4.3: Yaka Mahallesi Güneş Enerjisi Santrali .....                                                                                                   | 60  |
| Şekil 5.1: Fieldbus ve sensör ile PC'den PLC'ye veya DCS'ye bağlantı.....                                                                                 | 63  |
| Şekil 5.2: Fieldbus kullanarak PC'den IED'ye bağlantı .....                                                                                               | 64  |
| Şekil 5.3: SCADA sistemine genel bakış.....                                                                                                               | 65  |
| Şekil 5.4: Tipik SCADA sistemi.....                                                                                                                       | 69  |
| Şekil 5.5: SCADA sistemi genel yerleşimi .....                                                                                                            | 70  |
| Şekil 6.1: Su temin sistemi SCADA mimarisi örneği.....                                                                                                    | 79  |
| Şekil 6.2: İçme suyu SCADA'sı .....                                                                                                                       | 83  |
| Şekil 8.1: Su temin ve dağıtım sisteminin yapısı. ....                                                                                                    | 102 |
| Şekil 8.2: Kompakt tip pompa kontrol sistemi.....                                                                                                         | 103 |
| Şekil 8.3: Elektromanyetik debimetre .....                                                                                                                | 104 |
| Şekil 8.4: Enerji analizörü ve akım trafoları. ....                                                                                                       | 105 |
| Şekil 8.5: SMPS güç kaynağı.....                                                                                                                          | 105 |
| Şekil 8.6: Slim röle.....                                                                                                                                 | 106 |
| Şekil 8.7: Hidrostatik seviye sensörü. ....                                                                                                               | 107 |
| Şekil 8.8: Basınç sensörü. ....                                                                                                                           | 107 |
| Şekil 8.9: Örnek bir SCADA ekranı .....                                                                                                                   | 109 |

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

|                            |                                                                                             |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>H</b>                   | : Pompalama Yüksekliği, Pompa Yüğü (m H <sub>2</sub> O)                                     |
| <b>Ha</b>                  | : Hektar                                                                                    |
| <b>km</b>                  | : Kilometre                                                                                 |
| <b>kW</b>                  | : Kilowatt                                                                                  |
| <b>kWh</b>                 | : Kilowattsaat                                                                              |
| <b>m</b>                   | : Metre                                                                                     |
| <b>MW</b>                  | : Megawatt                                                                                  |
| <b>MWh</b>                 | : Megawattsaat                                                                              |
| <b>P</b>                   | : Güç (W)                                                                                   |
| <b>Q</b>                   | : Hacimsel Debi (m <sup>3</sup> /s)                                                         |
| <b>s</b>                   | : Saniye                                                                                    |
| <b>T</b>                   | : Türbin                                                                                    |
| <b><math>\gamma</math></b> | : Özgöl Ağırlık (N/m <sup>3</sup> )                                                         |
| <b><math>\eta_D</math></b> | : Mekanik veya Değişken Frekanslı Tahrik Verimi                                             |
| <b><math>\eta_M</math></b> | : Motor Verimi                                                                              |
| <b><math>\eta_P</math></b> | : Pompa Verimi                                                                              |
| <b><math>\mu S</math></b>  | : Microsiemens                                                                              |
| <b>ABC</b>                 | : Artificial Bee Colony (Yapay Arı Kolonisi)                                                |
| <b>AC</b>                  | : Alternating Current (Alternatif Akım)                                                     |
| <b>ACO</b>                 | : Ant Colony Optimization (Karınca Kolonisi Optimizasyonu)                                  |
| <b>ANN</b>                 | : Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)                                            |
| <b>BEP</b>                 | : Best Efficiency Point (En İyi Verim Noktası)                                              |
| <b>BKV</b>                 | : Basınç Kontrol Vanası                                                                     |
| <b>BPT</b>                 | : Break Pressure Tanks (Basınç Düşürücü Tanklar)                                            |
| <b>CBS</b>                 | : Coğrafi Bilgi Sistemleri                                                                  |
| <b>CCFC</b>                | : Climate Centre for Cities                                                                 |
| <b>Citect</b>              | : SCADA Açık Yazılım Paketi                                                                 |
| <b>CPU</b>                 | : Central Process Unit (Merkezi İşlem Birimi)                                               |
| <b>CSCAF</b>               | : Climate Smart Cities Assessment Framework (İklim Akıllı Şehirler Değerlendirme Çerçevesi) |
| <b>DC</b>                  | : Direct Current (Doğru Akım)                                                               |
| <b>DCS</b>                 | : Distributed Control System (Dağıtık Kontrol Sistemleri)                                   |
| <b>DMA</b>                 | : District Metered Area (Alt Ölçüm Bölgeleri)                                               |

|                        |                                                                                       |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DNP</b>             | : Distributed Network Protocol                                                        |
| <b>EA</b>              | : Evolutionary Algorithms (Evrimsel Algoritmalar)                                     |
| <b>EBYS</b>            | : Elektronik Belge Yönetim Sistemi                                                    |
| <b>Entivity Studio</b> | : SCADA Yazılım Paketi                                                                |
| <b>ESMAP</b>           | : Energy Sector Management Assistance Program                                         |
| <b>ESR</b>             | : Elevated Storage Reservoir (Yükseltilmiş Depolama Rezervuarı)                       |
| <b>EV</b>              | : Enerji Verimliliği                                                                  |
| <b>FEP</b>             | : Front End Processor                                                                 |
| <b>FSP</b>             | : Fixed Speed Pump (Sabit Hızlı Pompa)                                                |
| <b>GA</b>              | : Genetic Algorithms (Genetik Algoritmaları)                                          |
| <b>GES</b>             | : Güneş Enerji Sistemi                                                                |
| <b>GPS</b>             | : Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)                               |
| <b>GSM</b>             | : Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)        |
| <b>GSR</b>             | : Ground Service Reservoir (Yer Hizmeti Rezervuarı)                                   |
| <b>HDLC</b>            | : High Level Data Link Control                                                        |
| <b>HES</b>             | : Hidroelektrik Santrali                                                              |
| <b>HMI</b>             | : Human Machine Interface (İnsan Makine Ara Yüzü)                                     |
| <b>HS</b>              | : Harmony Search (Uyum Arama)                                                         |
| <b>ICONICS</b>         | : SCADA Yazılım Paketi                                                                |
| <b>IEC</b>             | : International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)    |
| <b>IED</b>             | : Intelligent Electronic Devices (Akıllı Elektronik Cihazlar)                         |
| <b>Indusoft</b>        | : SCADA Yazılım Paketi                                                                |
| <b>ISO</b>             | : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı) |
| <b>IWA</b>             | : International Water Association (Uluslararası Su Birliği)                           |
| <b>iFIX</b>            | : SCADA Yazılım Paketi                                                                |
| <b>LP</b>              | : Linear Programming (Lineer Programlama)                                             |
| <b>MARD</b>            | : Ministry of Agriculture and Rural Development (Tarım ve Kırsal Kalkınma Bakanlığı)  |
| <b>MODBUS</b>          | : PLC Haberleşme Protokolü                                                            |
| <b>MPPT</b>            | : Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takipçisi)                       |
| <b>MUX</b>             | : Multiplexer (Çoklayıcı)                                                             |

|               |                                                                                           |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NLP</b>    | : Nonlinear Programming (Lineer Olmayan Programlama)                                      |
| <b>OSB</b>    | : Orman ve Su İşleri Bakanlığı                                                            |
| <b>OTEC</b>   | : Ocean Thermal Energy Conversion (Okyanus Termal Enerji Dönüşümü)                        |
| <b>PAT</b>    | : Pump as Turbine (Türbin Olarak Pompa)                                                   |
| <b>PC</b>     | : Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)                                                  |
| <b>pH</b>     | : Potential of Hydrogen (Asitlik veya Bazlık Derecesi)                                    |
| <b>PLC</b>    | : Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Kontrolör)                    |
| <b>PRV</b>    | : Pressure Reducing Valves (Basınç Azaltma Vanaları)                                      |
| <b>PSO</b>    | : Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)                               |
| <b>PTFE</b>   | : Politetrafloroetilen Polymer (Teflon)                                                   |
| <b>PV</b>     | : Photovoltaic (Fotovoltaik)                                                              |
| <b>RF</b>     | : Radio Frequency (Radyo Frekansı)                                                        |
| <b>RO</b>     | : Reverse Osmosis (Ters Ozmos)                                                            |
| <b>RTU</b>    | : Remote Terminal Unit (Uzak Terminal Ünitesi)                                            |
| <b>SA</b>     | : Simulated Annealing (Simüle Edilmiş Isıl İşlem)                                         |
| <b>SCADA</b>  | : Supervisory Control and Data Acquisition (Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol)               |
| <b>SCE</b>    | : Shuffled Complex Evolution (Karıştırılmış Kompleks Evrim)                               |
| <b>SMPS</b>   | : Switch Mode Power Supply (Anahtarlama Güç Kaynağı)                                      |
| <b>SPV</b>    | : Solar Photovoltaic Water Pumping Systems (Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi)       |
| <b>SPVAC</b>  | : Solar Photovoltaic Water Pumping Systems AC (AC Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi) |
| <b>SPVDC</b>  | : Solar Photovoltaic Water Pumping Systems DC (DC Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi) |
| <b>SPVWPS</b> | : Solar Photovoltaic Water Pumping Systems (Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemleri)    |
| <b>STS</b>    | : Su Temin Sistemi (Water Supply System, WSS)                                             |
| <b>TCP</b>    | : Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü)                                |
| <b>TL</b>     | : Türk Lirası                                                                             |
| <b>TS</b>     | : Tabu Search (Tabu Araştırma)                                                            |
| <b>UHF</b>    | : Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)                                             |

|                   |                                                                              |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>UNICEF</b>     | : United Nations Children's Fund (Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu) |
| <b>USD</b>        | : United States Dollars (Amerikan Doları)                                    |
| <b>UV</b>         | : Ultraviyole (Morötesi)                                                     |
| <b>VFD</b>        | : Variable Frequency Drive (Değişken Frekanslı Sürücü)                       |
| <b>VHF</b>        | : Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)                                   |
| <b>VSD</b>        | : Variable Speed Drive (Değişken Hızlı Sürücü)                               |
| <b>VSP</b>        | : Variable Speed Pump (Değişken Hızlı Pompa)                                 |
| <b>Watergy</b>    | : Water + Energy                                                             |
| <b>WDS</b>        | : Water Distribution System (Su Dağıtım Sistemi)                             |
| <b>Wi-Fi</b>      | : Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı)                                      |
| <b>WinCC</b>      | : SCADA Yazılım Paketi                                                       |
| <b>WonderWare</b> | : SCADA Açık Yazılım Paketi                                                  |
| <b>WSS</b>        | : Water Supply System (Su Temin Sistemi)                                     |
| <b>YE</b>         | : Yenilenebilir Enerji                                                       |
| <b>YR</b>         | : Yeraltı Radarı                                                             |
| <b>YSA</b>        | : Yapay Sinir Ağı                                                            |

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI: SCADA UYGULAMASI

Ahmet Emre GÖKÇEK

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

xiii+127 sayfa

2024

Danışman: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Sürdürülebilir bir kalkınma için içme suyu temin sistemlerinde enerji verimliliğinde iyileştirmeler yapılması ve bu iyileştirmelerin uygulamaya geçirilmesi büyük önem arz etmektedir. Tezde su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması konusu araştırılmıştır. Bu kapsamda dört ana konu ele alınmıştır: (i) Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemlerinin incelenmesi; (ii) Malatya ili su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla kullanılan/kullanılabilecek yöntemlerin incelenmesi ve enerji tasarrufu sağlayacak önerilerin sunulması; (iii) Büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA sistemlerinin karakteristiklerinin belirlenmesi, SCADA faaliyetlerinin irdelenmesi, SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımların belirlenmesi ve kapsamı genişletecek önerilerin sunulması; (iv) Su temin sistemlerinde SCADA sistem bileşenlerinin detaylandırılması, maliyet analizinin yapılması ve geri ödeme süresinin belirlenmesi.

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemleri konusunda ayrıntılı bir literatür taraması yapılmış, bu yöntemler yedi kategori olarak sınıflandırılarak incelenmiştir. Malatya ili içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan çalışmalar belirlenmiş, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur. Ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA sistemlerinin karakteristikleri açıklanmış, SCADA faaliyetleri irdelenmiş ve SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımlar belirlenmiştir. Ayrıca, İç Anadolu Bölgesi'nde örnek bir su temin ve dağıtım sistemi incelenerek sistemin SCADA bileşenleri detaylandırılmış, maliyet analizi yapılmış, geri ödeme süresi belirlenmiştir. İncelenen su temin ve dağıtım sisteminde SCADA uygulaması yatırım maliyetlerinin geri ödeme süresinin oldukça kısa (5,6 ay) olduğu görülmüştür. Bu tezde yürütülen çalışmaların, ülkemizde kentsel su temin sistemlerinde enerji verimliliği önlemlerinin uygulanmasına ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Su Temin ve Dağıtım Sistemi, Su ve Kanalizasyon İdaresi, Su Yönetimi, Enerji, Maliyet, SCADA, Malatya.

## ABSTRACT

MSc Thesis

### REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN DRINKING WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEMS: SCADA APPLICATION

Ahmet Emre GÖKÇEK

Inonu University  
Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Mechanical Engineering

xiii+127 pages

2024

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

For sustainable development, it is of great importance to make improvements in energy efficiency in drinking water supply systems and to put these improvements into practice. The thesis investigates the issue of reducing energy consumption and increasing energy efficiency in water supply and distribution systems. In this context, four main topics are discussed: (i) Examining the methods of reducing energy consumption in water supply and distribution systems; (ii) Examining the methods used/that can be used to reduce energy consumption in Malatya province water supply and distribution systems and presenting suggestions that will provide energy savings; (iii) Determining the characteristics of SCADA systems used in water and sewage administrations of metropolitan municipalities in our country, examining SCADA activities, determining the gains obtained by using SCADA and presenting suggestions that will expand the scope; and (iv) Detailing the components of SCADA systems in water supply systems, performing cost analysis and determining the payback period.

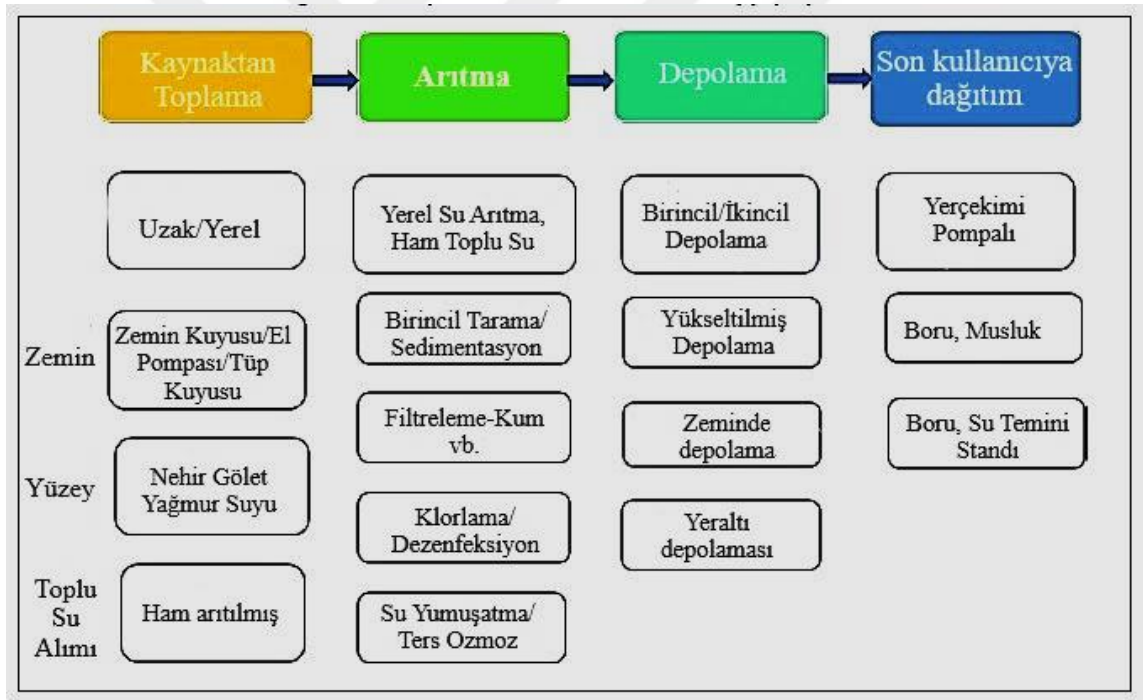
A detailed literature review was conducted on the methods of reducing energy consumption in drinking water supply and distribution systems, and these methods were classified and examined under seven categories. Studies carried out to reduce energy consumption and increase energy efficiency in Malatya province drinking water supply systems were determined and suggestions presented for reducing energy consumption. The characteristics of SCADA systems used in water and sewerage administrations of metropolitan municipalities in our country were explained, SCADA activities examined and the gains obtained by using SCADA determined. In addition, a sample water supply and distribution system in the Central Anatolia Region was examined, the SCADA components of the system detailed, cost analysis performed and the payback period determined. It was observed that the payback period of the investment costs of SCADA application in the examined water supply and distribution system was quite short (5.6 months). The studies carried out in this thesis is expected to contribute to the implementation and dissemination of energy efficiency measures in urban water supply systems in our country.

**Keywords:** Water Supply and Distribution System, Water and Sewerage Administration, Water Management, Energy, Cost, SCADA, Malatya

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Genel

Kentsel su temini sistemi Şekil 1.1'de gösterilen bileşenlerden oluşur. Su temininde kullanılan kaynaklar veya yöntemler, esas olarak coğrafyaya ve suyun bulunabilirliğine bağlı olarak ülke genelinde farklılık göstermektedir. Kentsel su temini altyapıları; nehirler, rezervuarlar, deniz suyu, yeraltı su kaynakları (kuyu, tüp kuyular vb.) gibi su kaynaklarını içerir. Aynı zamanda iletim boruları ve kanalları, arıtma ve depolama tesisleri ve dağıtım ağı elemanlarını da içerir (CCFC, 2021).



Şekil 1.1: Kentsel su temini sisteminin bileşenleri (CCFC, 2021).

Enerji suyun temini, arıtılması ve kullanımında çok önemli bir rol oynamaktadır. Enerji, içme suyu yaşam döngüsünün (çıkarma, üretim, dönüştürme, dağıtım, kullanım ve bertaraf) ayrılmaz bir parçasıdır. Bir tedarik sisteminden geçen her litre su önemli bir enerji maliyetine neden olur. Dünyada su dağıtım için tüketilen enerji, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %7'sidir. Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, su ve atık su tesislerindeki işletme maliyetlerini düşürmeye yönelik tedbirlerin merkezinde yer almaktadır. Enerji, çoğu su ve

atık su tesislerinin kontrol edilebilir en büyük işletme maliyetini temsil etmekte ve birçok enerji verimliliği tedbirinin geri ödeme süresi beş yıldan kısa olmaktadır. Ulusal veya küresel düzeyde, su ve atık su tesislerinin enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, yeni enerji üretim kapasitesi ekleme baskısını azaltır ve yerel ve küresel kirletici emisyonlarını azaltır (ESMAP, 2012).

Su temin sisteminde (STS) (Water Supply System, WSS) enerji verimliliğindeki iyileştirmeler, kaçakların kontrolü için basit izleme operasyonlarından tüketim analizleri, pompa sistemlerinin optimizasyonunun yapılması, depolama/üretim rezervuar sistemleri optimizasyonu ve gerçek zamanlı operasyonlar gibi daha karmaşık operasyonlara kadar değişmektedir. Sayısal modelleme, STS'ndeki bu çok karmaşık enerji verimliliği çalışmaları için önemli bir yardımcı araç haline gelmiştir (Coelho, 2016).

Geleneksel su tedarik sistemlerine uygulanabilen enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik çeşitli teknolojik alternatifler bulunmaktadır (Vilanova ve Balestieri, 2014; Karadirek ve diğ, 2016):

- (a) Yenilenebilir enerji kaynaklarının pompalamada kullanılması,
- (b) Hidroelektrik geri kazanımı,
- (c) Basınç ve su kayıpları yönetimi,
- (d) Operasyonel optimizasyon,
- (e) Verimli motor-pompa setlerinin kullanımı,
- (f) Değişken hızlı motor-pompa setlerinin kullanımı,
- (g) Depolama kapasitesinin ve rezervuar işletiminin optimizasyonu,
- (h) Optimize edilmiş boru ve şebeke tasarımları,

## **1.2 Tezin Amaçları ve Kapsamı**

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinin amacı, bir nüfusa kaliteli ve yeterli miktarda sürekli su sağlamaktır. İçme suyu temin sistemlerinde içme suyunun kaynağından temini ve nihai kullanıcıya ulaştırılmasında en önemli unsur enerjidir. Sürdürülebilir bir kalkınma için içme suyu temin sistemlerinde enerji verimliliğinde iyileştirmeler yapılması ve bu iyileştirmelerin uygulamaya geçirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu tezin iki temel amacı bulunmaktadır. Birinci amaç, içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde enerji

tüketiminin azaltılmasına ilişkin yöntemleri araştırmaktır. İkinci temel amaç bu yöntemlerden “Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemleri (SCADA)” uygulamasını ayrıntılı olarak incelemektir.

Birinci amaç kapsamında su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması konusunda ayrıntılı bir literatür taraması yapılmıştır. Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması yöntemleri yedi kategori olarak sınıflandırılarak incelenmiştir:

- Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemlerinin (SCADA) kullanılması;
- Pompaların ve motorların verimli çalışması,
- Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması,
- Değişken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılması,
- Pompa planlaması (pump scheduling) ve optimizasyonu,
- Bakım ve onarımın iyileştirilmesi ve kayıp kaçakların tespiti;
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması.

Malatya ili su temin sistemleri tanıtılmış, mevcut sistemin enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan çalışmalar belirlenmiştir. Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

İkinci amaç kapsamında su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA uygulaması konusu ayrıntılı olarak incelenmiştir. SCADA sistemleri, ekipmanları, uygulama alanlarına yer verilmiştir. İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde kullanılan SCADA sistemlerinin bileşenleri ve karakteristikleri detaylandırılmıştır. Ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA sistemlerinin karakteristikleri açıklanmış, SCADA faaliyetleri irdelenmiş ve SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımlar belirlenmiştir. Ayrıca, İç Anadolu Bölgesi'nde üç sondaj kuyusu, bir toplama deposu, iki terfi pompası, bir dağıtım deposu ve iki dağıtım bölgesinden oluşan bir su temin ve dağıtım sistemi incelenmiştir. İncelenen sistemin SCADA bileşenleri detaylandırılarak maliyet analizi yapılmıştır. Ülkemizdeki su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemlerinin uygulanmasına ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacak öneriler sunulmuştur.

Tez kapsamında yapılan çalışmaların ülkemizdeki kentsel su temini sistemlerinde enerji verimliliği tedbirlerinin uygulanmasına ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

### 1.3 Tezin Organizasyonu

Bu tezde, içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması yöntemleri incelenmiş ve bu yöntemlerden SCADA uygulaması konusuna yoğunlaşmıştır.

Tez “1. Giriş”, “2. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemleri ve Enerji Kullanımı”, “3. Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması”, “4. Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması - Malatya Örneği”, “5. Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemleri (SCADA) Sistemleri”, “6. Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Kullanılması”, “7. Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemlerinin Kullanılması - Büyükşehir Belediyeleri”, “8. Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol (SCADA) Sistemlerinin Kullanılması - Örnek Bir Uygulama”, “9. Sonuç ve Öneriler” olmak üzere dokuz bölümden oluşmaktadır.

Tezin ilk ve şu anki bölümü, çalışmanın amacını, kapsamını ve tezin organizasyonunu açıklamaktadır.

Tezin ikinci bölümünde içme suyu temin ve dağıtım sistemleri tanımlanarak bileşenleri açıklanmış, bu sistemlerde enerji kullanımı konusu irdelenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması konusuna ilişkin ayrıntılı bir literatür taraması yapılmıştır. İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemleri ilgili literatür baz alınarak yedi kategori olarak sınıflandırılarak incelenmiştir: (i) Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemlerinin (SCADA) kullanılması; (ii) pompaların ve motorların verimli çalışması, (iii) daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması; (iv) değişken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılması; (v) pompa planlaması (pump scheduling) ve optimizasyonu; (vi) bakım ve onarımın iyileştirilmesi ve kayıp kaçakların tespiti; (vii) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması. İlgili alt bölümlerde her bir yöntemin karakteristikleri, avantajları/dezavantajları, enerji tüketimine ve enerji tasarrufuna etkileri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan çalışmalar incelenmiştir. Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Tezin beşinci bölümünde SCADA sistemleri, ekipmanları ve uygulama alanlarına yer verilmiştir.

Tezin altıncı bölümünde su temin ve dağıtım sistemlerinde veri tabanlı izleme ve kontrol sistemleri (SCADA) kullanılması konusuna odaklanılmıştır.

Tezin yedinci bölümündeki çalışmalar ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin kullanılma durumlarını belirlemek, etkinliklerini incelemek ve kapsamı genişletecek öneriler sunmak amacıyla yapılmıştır. Ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA sistemlerinin karakteristikleri açıklanmış, SCADA faaliyetleri irdelenmiş ve SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımlar belirlenmiştir. Su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA kullanılmasının etkinliklerini artıracak ve kapsamı genişletecek öneriler sunulmuştur.

Tezin sekizinci bölümünde İç Anadolu bölgesinde üç sondaj kuyusu, bir toplama deposu, iki terfi pompası, bir dağıtım deposu ve iki dağıtım bölgesinden oluşan bir su temin ve dağıtım sistemi incelenmiştir. İncelenen sistemin SCADA bileşenleri detaylandırılmış, maliyet analizi yapılmış, geri ödeme süresi belirlenmiştir. Ülkemizdeki su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemlerinin uygulanmasına ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacak öneriler sunulmuştur.

Tezin dokuzuncu, dolayısıyla son bölümü sonuçlara ve önerilere ayrılmıştır. Bu bölümde çalışmada yapılan araştırmaların sonucu ve konuyla alakalı öneriler yer almaktadır.

## 2. İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİ VE ENERJİ KULLANIMI

### 2.1 İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemleri

İçme suyu temin ve dağıtım sistemleri, suyu kaynağından kullanım noktasına kadar tedarik etmek için kullanılan tesisleri toplu olarak tanımlamak için kullanılır. Su temini sağlayan mühendislik ürünü hidrolojik ve hidrolik bileşenlerden oluşan sistemdir. Şehirler, evler, okullar, hastaneler, işletmeler, endüstriler ve diğer tesislerin içme suyunu ileten ve yangından korunma ihtiyaçlarını karşılayan birbirine bağlı borular, depolama tesisleri ve bileşenlerden oluşur.

İçme suyu temin ve dağıtım sistemleri; su çıkarma yapıları, iletimin sağlandığı hatlar, rezervuar depoları, ana borular, birincil ve ikincil dağıtımın yapıldığı borular, basınç yükseltmesi yapan pompalar, vanalar, yangın hidrantları, basınç kesiciler, dengelemeyi sağlayan vanalar ve abone bağlantılarından oluşmaktadır (Cabrera ve diğ, 2010).

Genel olarak, bir STS dört ana bölümden oluşur (Swamee ve Sharma, 2008):

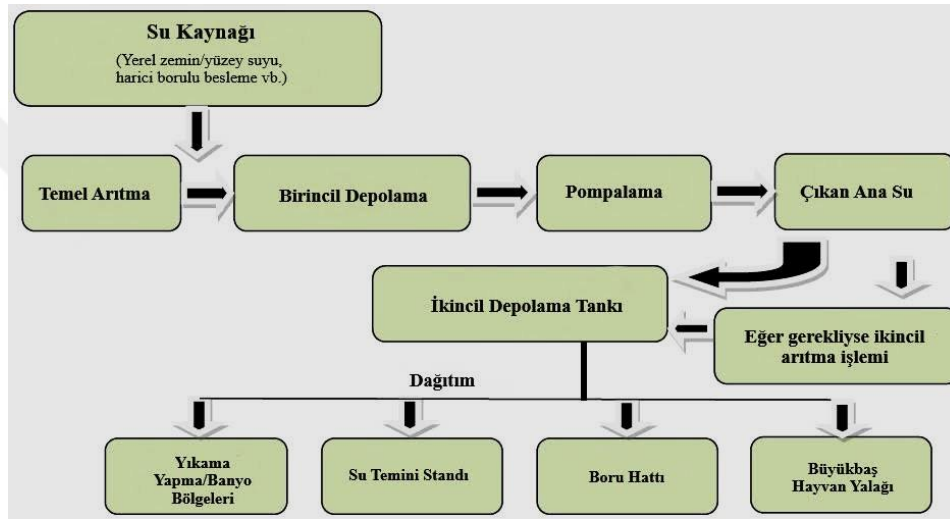
- Su kaynakları ve su alma yapıları: Su alma yapıları ve pompa istasyonları tarafından su çıkarılır.
- Arıtma işleri ve depolama.
- İletim şebekesi (pompalama ve/veya cazibe): Su, arıtma tesislerine ve ardından depolama rezervuarlarına taşınır.
- Dağıtım şebekesi: Servis bağlantıları aracılığıyla tüketicilere su sağlar.

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinin temel amacı, suyu uygun kalite, miktar ve basınçta tüketiciye ulaştırmaktır. Modern bir su temin sistemi şu bileşenlerden oluşur:

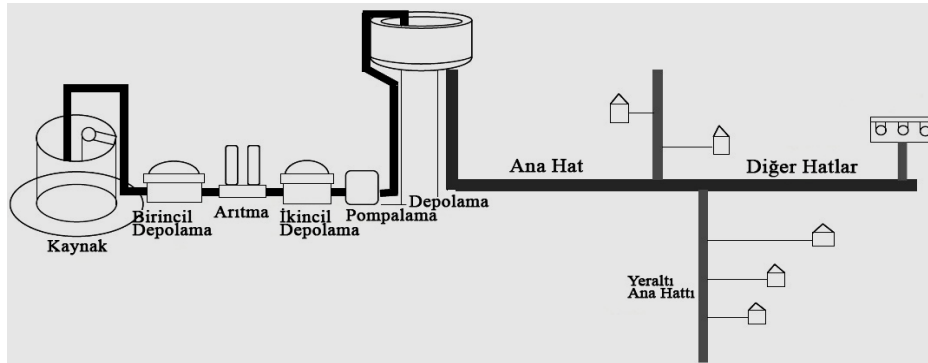
- (i) Temin kaynakları: Yüzey suyu kaynakları (nehirler, göller ve rezervuarlar) ve yeraltı su kaynakları
- (ii) Depolama Tesisleri: Genellikle temin kaynağında veya yakınında bulunan, yüzey suyunun depolanması için kullanılan tesislerdir.
- (iii) İletim Tesisleri: Suyu depodan arıtma tesislerine taşımak için kullanılan tesislerdir.

- (iv) Arıtım Tesisleri: Suyun kalitesini iyileştirmek veya değiştirmek için kullanılan tesislerdir.
- (v) İletim ve Depolama Tesisleri: Arıtılmış suyun ara depolama tesislerine ve dağıtım için bir veya daha fazla noktaya taşınmasında kullanılan tesislerdir.
- (vi) Dağıtım Tesisleri: Sisteme bağlı bireysel kullanıcılara su dağıtmak için kullanılan tesislerdir.

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 köy/kasaba standart su temin sistemini göstermektedir. Su dağıtım sistemi, su temin kaynağı ile tüketici arasındaki temel bağlantıdır (Şekil 2.3).

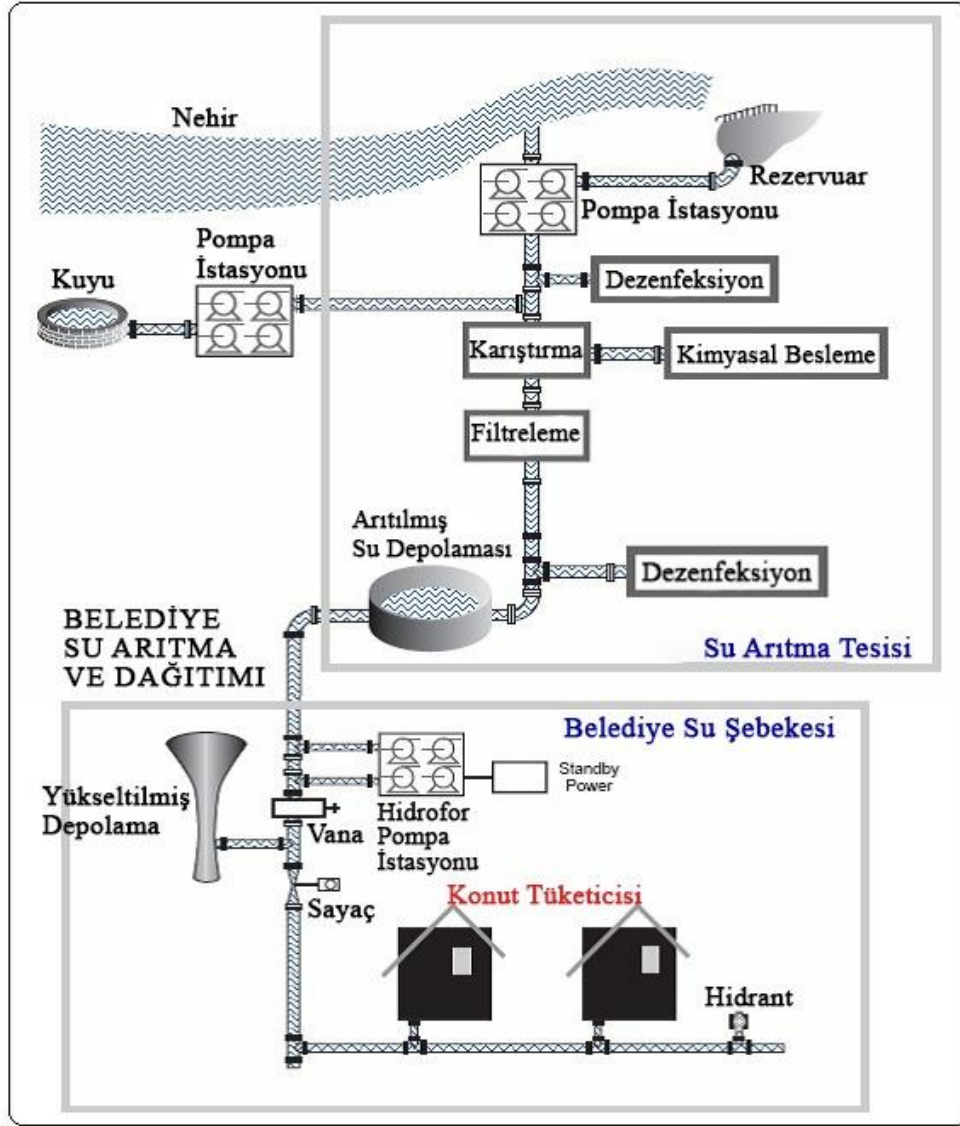


Şekil 2.1: Köy/kasaba standart su temin sistemi (Pradhikaran, 2012).



|                            |                                                                                                            |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaynaklar                  | Açık Kuyu, Tüp Kuyu, El Pompası, Gölet, Baraj Sahası, Harici Boru İkmali, Yağmur Suyu Toplama Sistemi/Depo |
| Köy/Kasaba Seviyesi Arıtım | Ters Ozmos Sistemi (RO), Klorlama, Sedimentasyon, Kum Filtresi vb.                                         |
| Depolama                   | Yükseltilmiş Depolama Rezervuarları (ESR), Yer Hizmet Rezervuarları (GSR), Karter                          |
| Dağıtım                    | Ana Hat, Alt-Ana Hat, Branşman Boru Hattı, Ev Tipi Seviye Bandı, Su Temini Standı, Yıkama Ünitesi.         |

Şekil 2.2: Köy/kasaba standart su temin sistemi (Pradhikaran, 2012).



**Şekil 2.3:** Su dağıtım sistemi, su temin kaynağı ile tüketici arasındaki temel bağlantıdır (Gündoğdu, 2008).

## 2.2 İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Kullanımı

Enerji, suyun temini, arıtılması ve kullanımında çok önemli bir rol oynamaktadır. Enerji, içme suyu yaşam döngüsünün (çıkarma, üretim, dönüştürme, dağıtım, kullanım ve bertaraf) ayrılmaz bir parçasıdır. Bir tedarik sisteminden geçen her litre su önemli bir enerji maliyetine neden olur. Son kullanım dışında, enerji kullanan su ve atık su kullanım sistemlerinde yer alan birçok bileşen Çizelge 2.1’de özetlenmektedir. Çizelgede çıkarma, arıtım, kaynak ve dağıtım şebekesi arasında borulama, dağıtım, yağmur ve kanalizasyon sistemleri ve destek aşamalarında enerji kullanan sistemler açıklanmıştır.

**Çizelge 2.1:** Enerji kullanan su ve atık su kullanım sistemleri (Barry, 2007; CCFC, 2021).

| Safha                                        | İşletim                                             | Enerji Kullanan Sistemler                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ÇIKARMA                                      | Derin kuyu çıkarma                                  | Dalgıç veya şaft türbinli derin kuyu pompalama sistemleri                                                                                                        |
|                                              | Yüzey kaynağından çıkarma                           | Yatay veya dikey santrifüj pompalama sistemleri                                                                                                                  |
| ARITIM                                       | Kimyasal (dezenfeksiyon ve arıtma)                  | Pistonlu tip dozajlama pompaları                                                                                                                                 |
|                                              | Fiziksel (örn. filtreleme ve sedimantasyon)         | Pompalama sistemleri, fanlar, karıştırıcılar, santrifüj blowerler                                                                                                |
| KAYNAK VE DAĞITIM ŞEBEKESİ ARASINDA BORULAMA | İçme suyunu dağıtım şebekesine gönderme             | Dalgıç veya şaft türbinli derin kuyu pompalama sistemleri; yatay veya dikey santrifüj pompalama sistemleri                                                       |
|                                              | Destekleyici pompalama                              | Dağıtım sistemine giren suyun basıncını arttırmak veya suyu daha yüksek bir seviyeye pompalamak için kullanılan yatay veya dikey santrifüj pompalama sistemleri. |
| DAĞITIM                                      | Son kullanıcılara dağıtım                           | Yatay veya dikey santrifüj pompalama sistemleri                                                                                                                  |
| YAĞMUR VE KANALİZASYON SİSTEMLERİ            | Atık su ve/veya yağmur suyu borulama                | Yatay veya dikey santrifüj pompalama sistemleri                                                                                                                  |
|                                              | Atık su arıtma ve bertarafı                         | Pompalama sistemleri, fanlar, karıştırıcılar, santrifüj blowerler                                                                                                |
| DESTEK SİSTEMLER                             | Hizmet bina(lar)ı ile ilişkili destek fonksiyonları | Aydınlatma sistemleri, HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme), vb.                                                                                         |

Elektrik, belediye su ve atık su hizmetlerinin sağlanmasında kritik bir girdidir. Dünya çapında su ve atık su tesisleri arasında elektrik maliyetleri genellikle toplam işletme maliyetlerinin yüzde 5 ila 30'u arasındadır. Bu pay, gelişmekte olan ülkelerde genellikle daha yüksektir ve bazı ülkelerde yüzde 40'a veya daha fazlasına kadar çıkabilmektedir. Bu tür enerji maliyetleri, su ve atık su tesislerinin finansal sağlığını doğrudan etkileyen, kamu/belediye bütçeleri üzerinde baskı oluşturan ve tüketici tarifelerini artırabilen yüksek ve çoğu zaman sürdürülemez işletme maliyetlerine dönüşmektedir (ESMAP, 2012).

Enerji maliyetleri, STS'nin işletme maliyetlerinin en önemli parçalarından birini oluşturmaktadır. Su şirket ve yönetimleri, yüksek miktarda elektrik enerjisi tüketen farklı su arıtma ve iletim metotlarını kullanırlar. Su dağıtım sistemlerinin ve bu sistem içindeki araçlarının dünya çapındaki elektriğin yaklaşık olarak %3 ila %7'sini tükettiği tahmin edilmektedir (Vilanova ve Balestieri, 2014; Coelho ve Andrade-Campos, 2014; Zimoch ve Bartkiewicz, 2017).

Su pompalama istasyonları genellikle çok yüksek miktarda enerji tüketirler. Belirli bir pompa istasyonu ile ilişkili toplam işletme maliyeti; dağıtım sistem ve bileşenleri; pompalar; pompa sürücüler ve enerji dağıtım planlamasına bağlıdır (Guyer, 2012). Su dağıtımının

sebebi olduğu elektrik tüketiciminin %80-90'ı pompa istasyonlarının çalışmasından kaynaklanmaktadır (Vilanova ve Balestieri, 2014).

STS'ndeki enerji tüketiciminin %67'si musluk suyunun pompalanmasından, %14'ü suyun artırılmasından, %11'i ham suyun pompalanmasından ve %8'i ise tesis içi su pompalanmasından (örneğin filtrelerin geri yıkama suyu) kaynaklanmaktadır. Pompa istasyonları elektrik tüketicimine önemli katkı sağladığından pompa istasyonlarındaki elektrik tüketiciminde yapılan verimlilik artışları birçok açıdan oldukça önem arz etmektedir (Zimoch ve Bartkiewicz, 2017; Sekmen ve diğ., 2019; Sekmen ve diğ., 2021).

Pompalama sistemleri, elektrik motorları tarafından kullanılan dünya enerjisinin yaklaşık %20'sini ve bazı endüstrilerde gerekli olan toplam elektrik enerjisinin %25 ila %50'sini kullanmaktadır (Hydraulic Institute, 2004). Watergy'ye (2009) göre, dünya çapındaki elektrik tüketiciminin yaklaşık %2 ila %3'ü STS'nde pompalama işlemi için kullanılırken, bu tüketicimin %80-90'ı motorlu pompa setleri tarafından tüketilmektedir (Sarbu, 2016; Copeland ve Carter, 2017).

Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, su ve atık su tesislerindeki işletme maliyetlerini düşürmeye yönelik tedbirlerin merkezinde yer almaktadır. Enerji, çoğu su ve atık su tesislerinin kontrol edilebilir en büyük işletme maliyetini temsil etmekte ve birçok enerji verimliliği tedbirinin geri ödeme süresi beş yıldan kısa olmaktadır. Ulusal veya küresel düzeyde, su ve atık su tesislerinin enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, yeni enerji üretim kapasitesi ekleme baskısını azaltır ve yerel ve küresel kirletici emisyonlarını azaltır. Mevcut örnek olay çalışmaları, maliyet etkin tedbirlerin gelişmekte olan ülkelerdeki su ve atık su tesislerinde genel enerji verimliliğinde yüzde 25'e varan iyileşmeler sağlayabileceğini göstermektedir. Sanayileşmiş ülkelerdeki su ve atık su tesislerine ilişkin yapılan bir değerlendirme, aynı zamanda mali açıdan uygulanabilir benzer sistem çapında enerji tasarrufu potansiyeline de işaret etmektedir (yüzde 5 ila 25) (ESMAP, 2012).

### 3. SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI

Su verimliliği, su ve enerji kullanımını en aza indirirken, su hizmetlerini uygun maliyetli bir şekilde sunmaktır. Su verimliliği önlemleri üç kategoride sınıflandırılabilir (Çizelge 3.1): (a) arz yönünde verimlilik önlemleri, (b) talep yönünde verimlilik önlemleri (tüketiciler), (c) kapsamlı talep/arz tarafı yaklaşımı sinerjileri. Su temin sistemleri, müşteri ihtiyaçlarına daha iyi hizmet verirken, su ve enerji israfını doğrudan azaltmak için birçok fırsat sunar. Tüketicinin suyu daha verimli kullanmasına yardımcı olarak talebin azaltılması, gerekli su tedarikini azaltarak hem enerji hem de su tasarrufu sağlar. Su sistemine kapsamlı bir şekilde bakmak ve verimlilik projelerinin birlikte tasarlanmasını sağlamak, daha da büyük verimlilik fırsatları oluşturur (ESMAP, 2012).

**Çizelge 3.1:** Enerji verimliliği önlemleri (ESMAP, 2012).

| Arz Tarafı                       | Talep Tarafı (Tüketiciler)          | Kapsamlı Talep/Arz Tarafı                                                                      |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sızıntı ve kaçak azaltımı        | Su tasarruflu ev aletleri           | Tüketici talebini azalttıktan sonra doğru boyutlandırılmış pompa sistemleri                    |
| Operasyonlar ve bakım            | Düşük debili tuvaletler             | Yeniden kullanımın teşvik edilmesi ve talebin azaltılması yoluyla atık su arıtımının önlenmesi |
| Pompalama sistemleri             | Düşük debili duş başlıkları         |                                                                                                |
| Birincil/İkincil atık su arıtımı | Endüstriyel suyun yeniden kullanımı |                                                                                                |
| Pompa sistemleri                 | Sızıntı ve su israfının azaltılması |                                                                                                |

Su temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanmasına yönelik çok sayıda araştırma yapılmakta ve buna ilişkin manüeller, kitapçıklar, tezler yayınlanmaktadır (Niewoehner ve diğ, 1997; Argaw, 2003; Barry, 2007; ESMAP, 2012; Coelho, 2016; CCFC, 2021). Bu bölümde öncelikle su temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanmasına yönelik önlemler kategorize edilerek sınıflandırılmıştır. Ardından bu yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

### 3.1 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması

#### 3.1.1 Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemleri

"Watergy" terimi, belediye su sistemlerinde su ve enerji arasındaki güçlü bağı tanımlamak için "Alliance to Save Energy" tarafından geliştirilmiştir. Watergy ilkeleri dünya çapında çok sayıda şehirde uygulanmakta olup, su verimliliği önlemlerinin hızla kendini amorti ettiğini ve pek çok ödül getirdiğini göstermektedir: su hizmetinde anında iyileştirmeler, artan su dağıtımı, azalan su ve enerji tüketimi, sistem yükseltmeleri ve yeni müşteri bağlantıları için daha fazla gelir. Bir su temin sisteminin tüm aşamalarında fırsatlar bol miktarda bulunmaktadır ve su temini sistemlerine müdahale için en umut verici alanlar şunlardır: (a) pompalama sisteminin iyileştirilmesi, (b) sızıntıları yönetmek, (c) sistem işlemlerini otomatikleştirme ve (d) düzenli izleme (tercihen son kullanımın sıkı ölçümüyle) (Barry, 2007).

Su temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasını sağlayan farklı türde yöntemler bulunmaktadır. Feldman (2009) enerji verimliliğinde önemli iyileştirmelerin aşağıdaki sıralanan yöntemlerle elde edilebileceğini belirtmektedir:

- Pompa istasyonlarının ve sistemlerin tasarımlarının iyileştirilmesi;
- Sistem kontrolünün daha iyi yapılmasına olanak veren değişken hızlı sürücülerin (Variable Speed Drive, VSD) kullanılması;
- Pompaların verimli çalışması;
- Basınç kontrolü yoluyla su kayıplarının en aza indirilmesi.

Coelho ve Andrade-Campos (2014) su temin sistemlerinin enerji verimliliğini artırmak için çeşitli stratejiler sunmuştur:

- Pompa istasyonlarındaki akışın kontrol edilmesi için baypas hatları, kısma valfleri veya pompa hız ayarlamalarının sisteme entegre edilerek kullanılması,
- Pompanın yeniden boyutlandırılmasının yapılması, çark çaplarının küçültülmesi ve hatta pompanın yenisiyle değiştirilmesi,
- Verimsiz ekipmanın tespit edilerek değiştirilmesi,
- Düzenli olarak izleme ve periyodik bakımların yapılması yoluyla kaçak yönetimi, hem su hem de enerji israfının önlenmesi,
- Uygun bir enerji tarife sisteminin seçimi,

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması.

Zimoch ve Bartkiewicz'e (2017) göre, enerji verimliliğindeki temel düzenleme ve iyileştirmeler aşağıda belirtilen yöntemlerin kullanılması ile sağlanabilir:

- Kontrol ve izleme sistemlerinin (SCADA) kullanılması,
- Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması,
- Su temin sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak enerji üretilmesi.

Suyun iletiminde (kaynaktan arıtma noktasına) daha fazla enerji verimliliği sağlayan teknoloji seçenekleri şunları içerir (CCFC, 2021):

- a) Pompalama istasyonları sınırları içindeki pompalama sisteminin (pompa, motor ve vanalar) verimliliğinin artırılması.
- b) Verimsiz (ve çoğu zaman aşırı büyük) pompa ve motorların verimli ve uygun boyuttakilerle değiştirilmesi.
- c) Değişken Frekanslı veya Hızlı Sürücülerin (VFD/VSD) uygulanması.
- d) Pervanelerin temizlenmesi veya değiştirilmesi ve yatakların yağlanması kontrol edilmesi de dâhil olmak üzere düzenli önleyici muayene ve bakımın yapılması.
- e) Değiştirmek için yeterli fon olmadığında motorların yeniden sarılması.
- f) Pompaların uygulama için çok büyük olduğu ancak bunun dışında iş için uygun olduğu durumlarda fan tıraşlama/küçültme (trimming)
- g) İletim boru hattının yenilenmesi ve sızıntının azaltılması.
- h) Güç faktörünü iyileştirmek için kapasitörlerin montajı.

Mevcut sistemler, kapsamlı değerlendirme çalışmaları ve tavsiyelere dayalı olarak enerji verimli hale getirilecek şekilde yenilenebilir. Belediye mühendisleri veya danışmanları, tesislerinde enerjinin nerede kullanıldığını öğrenmek ve enerji verimliliği iyileştirme fırsatlarını belirlemek için enerji denetimleri gerçekleştirebilir veya SCADA sistemlerini besleyen izleme cihazları kurabilir (CCFC, 2021). Su dağıtımında daha fazla enerji verimliliğine yönelik teknoloji seçenekleri şunları içerir (CCFC, 2021):

- İletim ve dağıtım boru hatlarının, ölçümlerin, pompalama ve depolama ekipmanlarının verimliliğinin artırılması.

- Boru hattının yenilenmesi ve optimizasyonu (sürtünmeden kaynaklanan kayıpları azaltmak için).
- Sızıntı tespiti ve onarımı.
- Havalandırma ekipmanının ve anaerobik sindirimin verimliliğinin artırılması.
- Ağ içindeki basınç yönetimi.
- Minimum akışın ölçülmesi ve yönetilmesi.
- Su sayaçlarının montajı ve bakımı.

Sistemin tamamında enerji verimliliğine yönelik teknoloji seçenekleri şunları içerir (CCFC, 2021):

- Veri ve bilgilerin otomatikleştirilmesi, uzaktan kontrol, düzenli izleme ve uygun raporlama sistemleri. Sistem aşağıdakilerden oluşacaktır:
- ✓ Enerji ve su temin sistemi performans parametrelerinin ölçümü,
- ✓ Su şebekesinin ve pompa istasyonlarının çeşitli noktalarına kurulu otomatik kapatma veya ayar kontrolleri,
- ✓ Sistemin gerçek zamanlı çalışmasını anlamak için entegre görsel arayüz.
- Sistem performansı takibi, kıyaslama ve hedefleme.
- ✓ Su temini enerji performansının diğer şehirlerle karşılaştırılması (Örneğin, İklim Akıllı Şehirler Değerlendirme Çerçevesi (CSCAF) kullanılarak))
- ✓ Enerji tüketiminin azaltılması ve su kaybının azaltılmasına yönelik hedeflerin belirlenmesi.

Yeni su şebekelerinde enerji verimliliğine yönelik müdahale alanları şunlardır (CCFC, 2021):

- Yeni su şebekesinin veya projenin hidrolik modellenmesi,
- Tasarım verimliliği önlemlerinin uygulanması,
- Uygun teknolojinin seçimi,
- Pompalama sistemleri (pompa, motor, vanalar ve borular),
- Sızıntı azaltma yönetimi,
- Sistem boruları (dağıtım ağı),

- Arıtılmış atık suyun yerel geri dönüşümü ve yeniden kullanımı (uzun mesafeli pompalama gerekliliklerinden kaçın),
- Sistem otomasyonu, ölçüm ve izleme.

Tasarım aşamasında, ilgili belediye mühendisleri, yetkilileri veya danışmanları, gelecekteki su temini ihtiyaçlarının karşılanmasında esnekliğe izin verecek modüler bir yaklaşım önermelidir. Pompalama sistemlerinin esnekliğinin enerji verimliliği üzerinde doğrudan bir etkisi olmasa da esnek bir sistem, tesisin ömrü boyunca pompa istasyonlarının çalışma kapasitesinde uygun değişikliklerin yapılmasına olanak sağlayarak uzun vadeli verimliliği artırabilir (CCFC, 2021).

### **3.1.2 Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tasarrufu stratejileri ve faydaları**

Literatür taraması, su temin sisteminde önemli enerji tasarrufu fırsatları ve uygulanabilir potansiyel olduğunu göstermektedir (Liu ve diğ, 2012):

- a) Pompalar ve pompalama (ortak standart potansiyel aralıkları): %5-30;
- b) Mevcut pompaların iyileştirilmesi: %5-10;
- c) Yeni pompalama teknolojisinde iyileştirme: %3-7;
- d) Bakımın iyileştirilmesi ve pompaların görevleri ile daha uyumlu eşleştirilmesi (VSD'lerin kullanılması gibi): %30'a kadar.

Zimoch ve Bartkiewicz (2017) su temin sistemlerinde enerji optimizasyonu için bir yöntem sunmuş ve seçilen bir su temin sistemindeki enerji tüketiminin analizini yapmıştır. Pompa istasyonlarında enerji maliyetlerine ilişkin analizler yapılmış, pompa hız kontrolü kullanıldığında enerji maliyetinde ortalama yaklaşık %18 azalma meydana gelmiştir. Pompaların yenileriyle değiştirilmesinin iyi sonuçlar verdiği ancak en iyi sonuçları vermediği belirlenmiştir. Enerji üretmek için pompaların türbin olarak kullanılması gibi sistem iyileştirmelerinin diğer unsurları kullanılarak da benzer iyileştirmeler elde edilebileceği ifade edilmiştir.

Kentsel su temini ve atık su arıtımında enerji verimliliği tedbirleri, şehir genelindeki mevcut su şebekelerinde enerji maliyetlerinde %35'e varan tasarrufla, yeni şebekelerde ise geleneksel şebekelere göre %50'den fazla tasarrufla uygulanabilir (CCFC, 2021). Geleneksel su temin sistemlerine uygulanabilen enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatifler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2:** Geleneksel su tedarik sistemlerine uygulanabilen enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatifler (Vilanova ve Balestieri, 2014; Karadirek ve diğ, 2016)

| <b>Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Teknolojik Alternatifleri</b> | <b>Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Eylemi</b>                                                                                                  | <b>Tahmini Enerji Tasarrufu</b>                            |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Yenilenebilir enerji kaynaklarının pompalamada kullanılması      | Rüzgâr veya güneş enerjisi pompalama sistemlerinin kullanımı                                                                                   | Yerel potansiyele göre oldukça değişken                    |
| Hidroelektrik geri kazanımı                                      | Mevcut su temin sistemlerine hidrolik türbin ve jeneratörlerin montajı                                                                         | Sistem düzenine ve yerel potansiyele göre oldukça değişken |
| Basınç ve su kayıpları yönetimi                                  | Basınç düşürme (basınç düşürücü vanalar kullanılarak), boru tamiri veya yenileme, aktif kaçak kontrolü                                         | Enerji tasarrufu su tasarrufuyla orantılıdır. %25-50       |
| Operasyonel optimizasyon                                         | Gerçek-zamanlı enerji izleme                                                                                                                   | %5-20                                                      |
|                                                                  | Pompalama sistemlerinin operasyonel optimizasyonu                                                                                              | %15-30                                                     |
|                                                                  | Doğru pompa boyutlandırması                                                                                                                    | %15-25                                                     |
| Verimli motor-pompa setlerinin kullanımı                         | Pompaların sistemin çalışma noktasıyla uyumlu, en verimli pompa veya en iyi verimli çalışma noktasına sahip gerçek pompalar ile değiştirilmesi | %2-10                                                      |
|                                                                  | Kayışların doğrudan kuplaj ile değiştirilmesi                                                                                                  | %1                                                         |
|                                                                  | Aşınmış çarkların değiştirilmesi. Rulmanların, mekanik contaların ve diğer contaların kontrol edilmesi.                                        | %1-6                                                       |
|                                                                  | Yüksek verimli motorların kullanılması                                                                                                         | %5-10                                                      |
| Değişken hızlı motor-pompa setlerinin kullanımı                  | Valfler yerine değişken hızlı sürücülerin kullanılması                                                                                         | %30-80                                                     |
| Depolama kapasitesinin ve rezervuar işletiminin optimizasyonu    | Akış kontrolü ve depolama için tankların kullanımı                                                                                             | %10-20                                                     |
| Optimize edilmiş boru ve şebeke tasarımları                      | Baypas döngülerinin ve diğer gereksiz akışların ortadan kaldırılması                                                                           | %10-20                                                     |
|                                                                  | Boru çaplarının artırılması                                                                                                                    | %5-20                                                      |
|                                                                  | Sistem kapasitesini tanımlamak için aşırı boyutlandırma tasarım parametresi limitlerinde azalmalar                                             | %5-10                                                      |

Kentsel su temin sisteminde enerji verimliliği önlemlerinin uygulanması, yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda aşağıda sıralandığı gibi belediye idaresine çeşitli niteliksel faydalar da sağlar (CCFC, 2021):

- %20 ila %50 tasarruf potansiyeli.
- 2 ila 3 yıllık geri ödeme süresi.

- Ulusal/eyalet düzeyinde azaltılmış enerji ve su talebi ve arz açığı.
- Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, yeni enerji üretim kapasitesi ekleme baskısını azaltır.
- Enerji yoğunluğunun azaltılması iklim değişikliğini hafifletme çabalarına yardımcı olacaktır.
- Tesis yönetimi için azaltılmış maliyetler.
- Artan nüfusa yiyecek-içecek desteği.
- Bu temel hizmetin uzun vadeli mali istikrarının sağlanmasına yardımcı olması.

Çizelge 3.3 farklı enerji verimliliği tedbirlerinin uygulanmasının maliyet ve faydalarını açıklamaktadır.

**Çizelge 3.3:** Enerji tasarrufu stratejileri ve faydaları (CCFC, 2021).

| Stratejiler                                                                                       | Tasarruf Potansiyeli (%)              | Maliyet   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| Aşırı yüklemeyi önlemek için depolama ve dağıtım noktalarının planlanması (Azaltılmış Yük & Debi) | % 25 e kadar                          | En düşük  |
| Hidrolik modelleme ve önleyici bakım                                                              | % 30 a kadar                          | Düşük     |
| Enerji maliyetinin en yüksek olduğu saatlerde pompalamayı önlemek için suyun depolanması          | % 15 e kadar                          | Düşük     |
| Güç faktörünü iyileştirmek için kapasitörlerin kullanılması                                       | % 10 a kadar                          | Orta      |
| Mikro-Hidro ve Güneş Pompalama gibi yenilenebilir enerjilerin kullanılması                        | Net Sıfır Potansiyel                  | En yüksek |
| Su kaynağında enerji yakalama (Suyun yokuş aşağı veya eğimli bir şekilde hareket etmesi)          | % 10 a kadar                          | Düşük     |
| Etkin pompalama (pompalar ve motorlar)                                                            | % 45 e kadar                          | Yüksek    |
| Değişken frekanslı sürücülerin kullanılması                                                       | % 15 e kadar                          | Orta      |
| SCADA gibi izleme sistemlerinin kullanılması                                                      | % 20 ye kadar                         | Yüksek    |
| Sistem performansı takibi, kıyaslama ve hedefleme                                                 | Net Sıfır'a kadar sürekli iyileştirme | En düşük  |

Bu tezin temel amaçlarından birisi su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına ilişkin yöntemleri araştırmaktır. Bu bölümde, yapılan literatür taraması temel

alınarak su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemleri yedi kategori olarak sınıflandırılmıştır:

- Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemlerinin (SCADA) kullanılması
- Pompaların ve motorların verimli çalışması,
- Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması,
- Değişken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılması,
- Pompa planlaması (pump scheduling) ve optimizasyonu,
- Bakım ve onarımın iyileştirilmesi ve kayıp kaçakların tespiti,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması.

Bu yöntemlerden “Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemlerinin (SCADA) Kullanılması” yöntemi ayrıntılı olarak tezin 5., 6., 7. ve 8. bölümlerinde incelenmiştir. Diğer yöntemlere ilişkin bilgiler aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

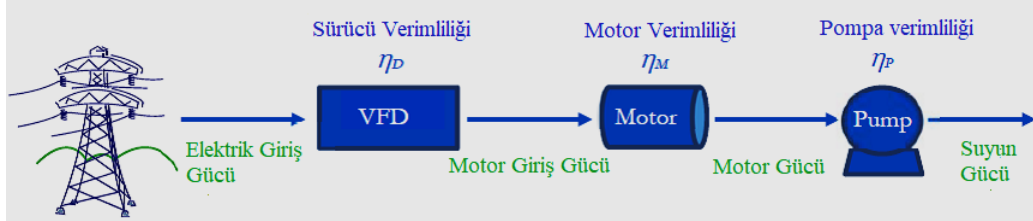
### **3.2 Pompaların ve Motorların Verimli Çalışması**

#### **3.2.1 Pompalama temelleri**

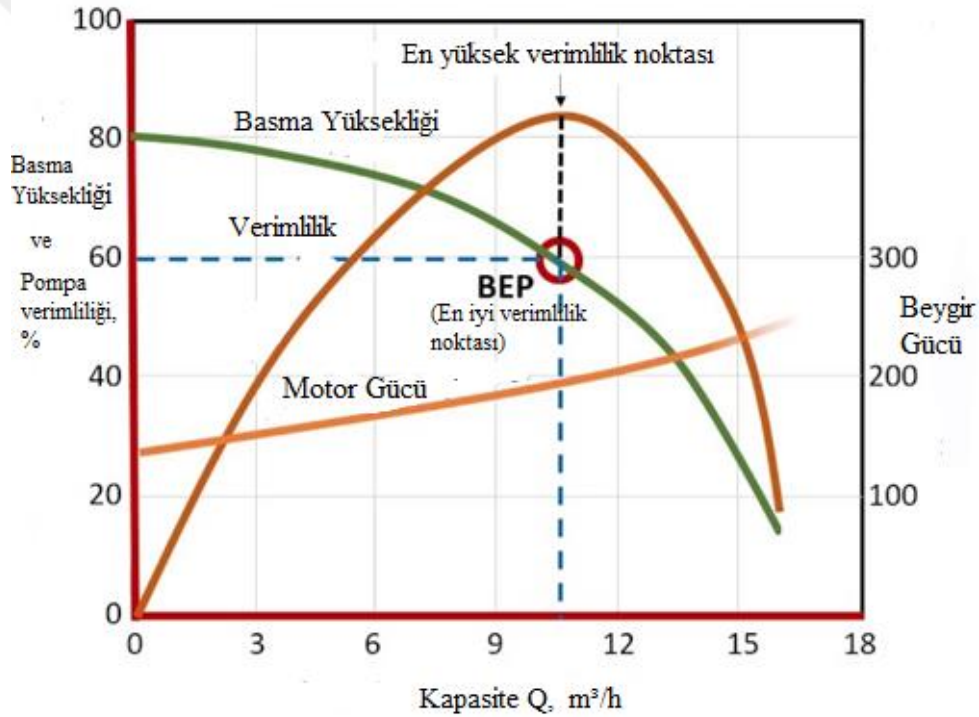
Su doğal olarak yerçekimine tepki verse de, dünyada yalnızca birkaç su temin sistemi bu avantajdan faydalanabilmektedir. Çoğu sistemde, su kaynaklarımız genellikle göllerden, nehirlerden ve yeraltı suyu kaynaklarından elde edilmektedir. Suyu yerçekimi kuvvetinin tekrar akışı yönlendirebileceği daha yüksek rakımlara yükseltmek için pompalama gereklidir. Su tesislerinde en yaygın kullanılan pompalar genellikle endüksiyon motorlarıyla çalıştırılan rotodinamik tip pompalardır. Bu pompalarda motor, elektrik gücünü dönel mekanik güce dönüştürerek pompayı döndürür ve bu da suyun daha yüksek bir basınçta iletilmesini sağlar. Diğer bir ifadeyle, pompalama üniteleri elektrik enerjisini su akışı ve basıncı yoluyla hidrolik enerjiye dönüştürür (HydraTek, 2013).

Şekil 3.1’de tipik bir enerji ve pompa düzenlemesi, Şekil 3.2’de tipik pompa performans karakteristik eğrileri gösterilmiştir. Şekil 3.2’deki yük eğrisi (H-Q), bir pompanın debisi ve basıncı (yükü) arasındaki genel ilişkiyi göstermektedir. Güç eğrisi, pompa gücünün debi ile değişimini karakterize etmektedir. Bir pompanın karakteristik verim eğrisi, bir en iyi verim noktasının (BEP) yanı sıra verimliliklerin genellikle bu seviyeye yakın olduğu aralıkları da gösterir. Pompanın çalışma noktası, hidrolik sisteme (yani iletim, dağıtım vb.) verdiği

enerjinin hidrolik sistem tarafından üzerine uygulanan dirençle dengelendiği yük eğrisi üzerindeki bir konumda yer alır. Pompanın çalışma noktasını belirleyen, keyfi olarak "seçilen" nokta olmaktan ziyade, pompa ile birlikte hidrolik sistemdir. Bu, bir pompanın hidrolik özellikleri ve gereksinimlerinin belirli bir sisteme uygun olması gerektiği gerçeğini vurgular (HydraTek, 2013).



Şekil 3.1: Tipik pompa düzenlemesi (HydraTek, 2013).



Şekil 3.2: Tipik pompa performans karakteristik eğrileri.

En genel ve uygulanabilir haliyle, elektriksel giriş gücü ile pompa çıkışı arasındaki ilişki aşağıdaki denklemle tanımlanır:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_D \cdot \eta_M \cdot \eta_P} \quad (3.1)$$

$P$  : Giriş elektrik gücü (W)

$\gamma$  : Özgül ağırlık ( $N/m^3$ )

- $Q$  : Hacimsel debi ( $m^3/s$ )
- $H$  : Pompalama yüksekliği, pompa yükü ( $m H_2O$ )
- $\eta_D$  : Mekanik veya değişken frekanslı tahrik verimi
- $\eta_M$  : Motor verimi
- $\eta_P$  : Pompa verimi

Yukarıdaki denklemdeki üç verim teriminden motor ve tahrik verimleri genellikle oldukça yüksektir ve zaman içinde tutarlıdır. Dahası, bu değerler pompa eğrisindeki tipik çalışma aralığında (yani tipik elektrik yüklerinde) nispeten sabittir. Ancak pompa verimi, büyük ölçüde enerjiyi doğrudan sıvıya uyguladığı için mekanik bileşenlerin hareketi ve sıvı ile bileşenler arasındaki kimyasal etkileşim nedeniyle bozulmaya maruz kalır. Sonuç olarak, pompa verimsizlikleri ürün/bileşen tarafındaki potansiyel enerji tasarruflarının çoğunu oluşturur (HydraTek, 2013).

Pompanın karakteristik eğrisi (H-Q), birçok olası çalışma kombinasyonu sağlasa da, pompanın gerçek çalışma noktası pompalamanın yapıldığı sisteme bağlıdır. Sistemin karakteristikleri, sistem eğrisi ile temsil edilir. Sistem eğrisi, pompanın suyu ilettiği boru şebekesinin hidrolik tepkisini karakterize eder ve akış debisi arttıkça pompaya karşı etki eden direnci (yani toplam dinamik yükü) artırır. Bir pompa, pompa yükünün toplam dinamik yük ile dengede olduğu noktada çalışacaktır. Grafiksel olarak, bu, pompa karakteristik eğrisinin (H-Q) sistem eğrisiyle kesiştiği konumdur (HydraTek, 2013).

Bir sistemin toplam dinamik yükü statik yük, sürtünme yükü ve hız yükü olmak üzere üç yükün toplamından oluşur. Statik yük, pompa girişinden amaçlanan nihai yüksekliğe suyu taşımak için olan yüküdür. Sürtünme yükü, boru sistemindeki sürtünme kayıplarını yenmek için gerekli yüküdür; bu yük debinin artması ile artar. Hız yükü, suyun hareketini sürdürmek için gerekli yüküdür (pompa boyunca olan hız yükü farkı, bu da çıkış kaybına eşittir (HydraTek, 2013).

Sistem eğrisi uygun pompa ve pompa kombinasyonu seçimini belirler. Çalışırken, çalıştıkları sisteme uygun olmayan pompalar ile yaygın şekilde karşılaşılır. Bunun çeşitli nedenleri olabilir: (a) fazla büyük boyutlandırılmış pompalar, (b) henüz gerçekleşmemiş olabilecek bir servis alanındaki nüfusa dayalı talepler, (c) zaman içinde sistemde meydana gelen değişiklikler, (d) planlanandan farklı pompa kombinasyonları vb. Bir pompa

kurulduktan sonra, pompanın nerede çalışacağını ve buna bağlı olarak ne kadar enerji verimliliği sağlayabileceğini büyük ölçüde sistem belirler (HydraTek, 2013).

Genellikle, pompayı çalıştığı sisteme daha iyi uyacak şekilde uyarlamak için çok az şey yapılabilir. Fan tıraşlama veya değişiklikleri ve VFD'lerin kurulumu, daha uygun bir pompa (ve muhtemelen motor) ile değiştirilmesini gerektirmeyen potansiyel çözümlerdir. Ayrıca, pompalar en yüksek verimlilik aralıklarının dışında çalıştırıldığında daha hızlı bozulma eğilimindedir. Bu nedenle, ilk pompa seçimi, pompa kombinasyonlarının çalıştırılması ve hem pompa hem de sistem koşullarının zaman içinde izlenmesi, enerji açısından verimli çalışmayı ve uzun vadeli ilk yatırım ve işletme maliyetlerini desteklemek için önemlidir (HydraTek, 2013).

### **3.2.2 Pompalama sistemlerinde enerji tasarrufu**

Pompalama sistemleri, elektrik motorları tarafından kullanılan dünya enerjisinin yaklaşık %20'sini ve belirli endüstriyel tesislerdeki toplam elektrik enerjisi kullanımının %25 ila %50'sini oluşturur. Akıllı tasarım, yeniden donatma ve işletme uygulamaları yoluyla pompalama sistemi enerji tüketimini azaltmak için önemli fırsatlar bulunmaktadır. Özellikle, değişken görev gereksinimleri olan birçok pompalama uygulaması büyük tasarruf potansiyeline sahiptir. Tasarruflar genellikle enerjinin çok ötesine geçer ve gelişmiş performans, gelişmiş güvenilirlik ve azaltılmış yaşam döngüsü maliyetlerini içerebilir (Hydraulic Institute, 2004).

Dünyanın en büyük pompa üreticilerinden biri olan Grundfos'a göre, şu anda mevcut olarak kullanılan pompaların üçte ikisinde, %60'a varan oranlarda enerji tasarrufu mümkündür (Nowak ve diğ., 2018). Verimsiz pompa istasyonları, pompaların yeterli olmayan kontrollerinden ya da, sistemlerin büyük olmasından kaynaklanabilir. Mevcut olan pompa sistemlerinin birçoğu büyük boyutludur ve birçoğu %20'den fazla daha büyük boyutlandırılmıştır, bu da su temin sistemlerinde enerji verimliliği için büyük bir fırsat ve aynı zamanda daha büyük bir işletme potansiyeli teşkil etmektedir (Hydraulic Institute, 2004; Coelho ve Andrade-Campos, 2014).

Akış kontrolü gerektiren mevcut sistemlerin çoğu, baypas hatları, kısma vanaları veya pompa hızı ayarlamaları kullanır. Bunların en verimlisi pompa hızı kontrolüdür. Bir pompanın hızı düşürüldüğünde, sıvıya daha az enerji verilir ve daha az enerjinin kısılması veya baypas edilmesi gerekir. Hız, çeşitli şekillerde kontrol edilebilir; en popüler değişken hızlı sürücü türü değişken frekanslı sürücüdür (Hydraulic Institute, 2004).

Kuyu sahasındaki maksimum akışa karşılık gelen maksimum basınç seviyesi için en iyi verimliliğe sahip tasarım noktası seçilmektedir. Enerji gereksinimlerini optimize etmek için su tedarikçilerinin günlük pompa kullanım rutinlerinin yanı sıra yıllık ham su talebini ve kuyu sahası operasyonunun öncelikli senaryolarını analiz etmesi gerekir. Kuyu sahasının bir parçası olan her bir pompa, en sık meydana gelen kuyu sahası çalışma senaryosuna doğrudan bağlı olan en iyi verim noktasında çalışacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu, her pompanın talebin zirve noktalarını karşılamak için maksimum basınç seviyesinde, ancak optimum verimlilikten daha düşük bir verimlilikte çalışabilmesi gerektiği gerçeğini de içerir (Beck ve diğ, 2018).

Karakaya (2018) genel olarak pompalarda aşağıdaki ana yöntemler kullanılarak verimlilik/optimizasyon ve tasarruf sağlanabileceğini ifade etmektedir:

- Fan tıraşlama/küçültme (trimming),
- Senaryo değişiklikleri-değişken çalışma koşulları (VFD),
- Kaplama (coating),
- Dinamik pompa optimizasyonu (pump scheduling),
- Pompa yenileme/değiştirme,
- Bakım onarım,
- Tesisat revizyonları,
- Hidronik balanslama.

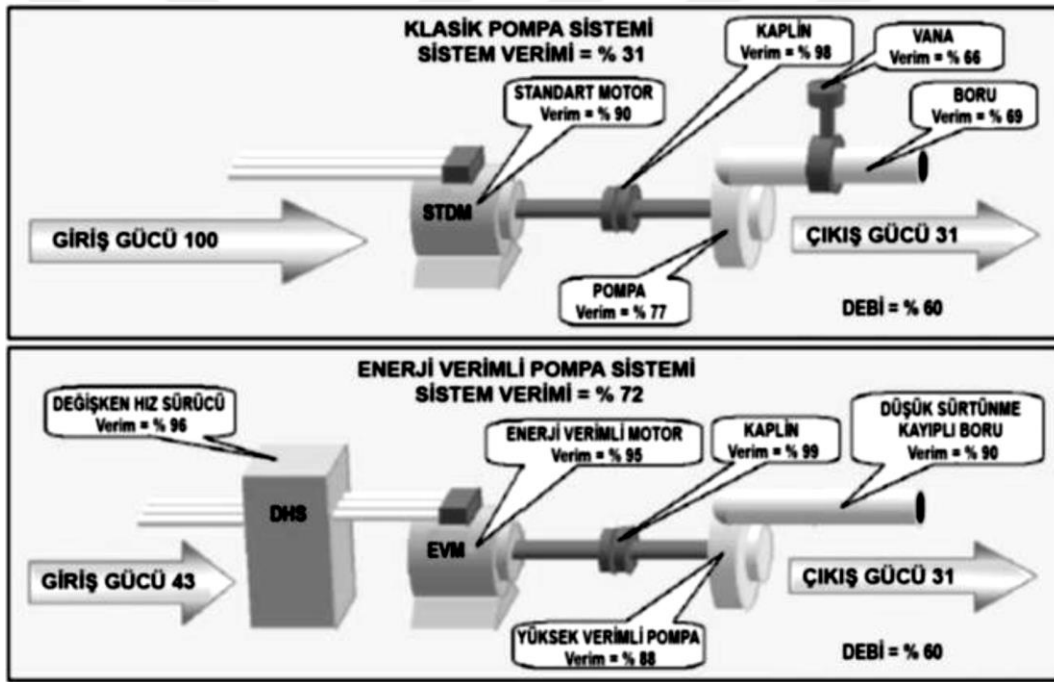
### **3.3 Daha Yüksek Verimli Pompalar, Motorlar ve Sürücülerin Kullanılması**

Pompalar gibi akış üreten cihazlar genellikle hız ayarı olmadan kullanılmaktadırlar. Bunun yerine akış, geleneksel metot ile regülatörler, valfler veya supaplar yardımı ile kontrol altına alınmaktadır. Akış değişken motor hızıyla kontrol edilmediğinde, motor sürekli tam hızda çalışır. Pompaların hizmet verdikleri sistemlerin azami debiye nadiren ihtiyaç duymaları yüzünden, hız ayarsız bir sistem çoğu zaman önemli miktarda enerjiyi boşa kullanmaktadır. Şekil 3.3’de klasik pompa sistemi ile verimli teknolojilerle birleştirilmiş enerji-verimli pompa sisteminin veriminin karşılaştırılması gösterilmiştir. Enerji verimli pompa sisteminde değişken hızlı sürücü, yüksek verimli motor, yüksek verimli pompa ve düşük sürtünme kayıplı boru kullanılmıştır. Klasik pompa sisteminin toplam verimi %31 iken verimli

teknolojilerle birleştirilmiş enerji-verimli pompa sisteminin toplam verimi %72 olmaktadır (Korkmaz, 2017).

Dünya elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %10'u pompalama sistemleri tarafından harcanmaktadır. Bu nedenle pompaların veriminin iyileştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Pompalarda aşağıdaki yöntemleri kullanarak enerji tasarrufu yapılabilir (ETNA, 2024):

- Optimum pompa seçimi,
- Motor devir frekansının ayarlanması,
- Çark çapının ayarlanması,
- Yüksek verimli motor kullanımı.



**Şekil 3.3:** Klasik pompa sistemi ile verimli teknolojilerle birleştirilmiş enerji-verimli pompa sisteminin veriminin karşılaştırılması (Yumurtacı ve Sarıgül, 2011; Korkmaz, 2017).

Yeni model pompalar daha verimli olduğu için bazen mevcut pompayı kullanmak yerine, basit bir çözüm gibi görünse de, yeni bir pompa satın almak daha verimli ve etkili bir çözüm olabilir. Pompaların dünyadaki elektrik enerjisi tüketimindeki payı %10-12 civarındadır. (Waide ve Brunner, 2011). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yüksek verimli motopomp sistemi sayesinde bu oran azalabilir.

STS'nde pompaların yeniden boyutlandırılması, çark çaplarının küçültülmesi ve hatta pompanın yenisiyle değiştirilmesi ile önemli enerji tasarrufları sağlanabilir. Gellings'e (2009) göre bazı verimsiz ekipmanların yüksek verimli pompa/motor sistemleriyle değiştirilmesi, pompalama enerji tasarrufunun yaklaşık %10-30'unu sağlayabilir.

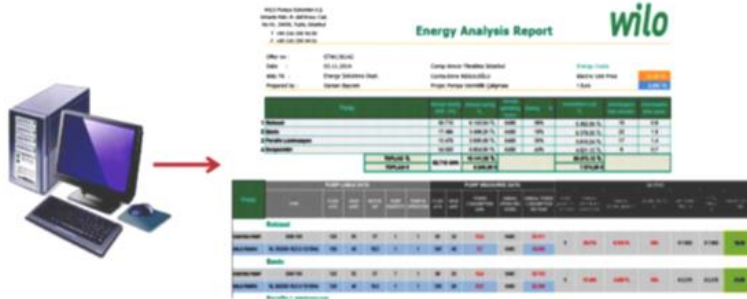
Bir pompa değişim programı şu aşamalardan oluşmaktadır (Şekil 3.4):

- Mevcut pompalarda ölçüm yapılması: Debi, enerji tüketimi ve basma yüksekliği ölçümleri,
- Ölçülen değerlerin analiz edilmesi ve rapor hazırlanması,
- Eski pompaların verimli pompalar ile değiştirilmesi.

#### 1. Mevcut pompaların ölçümü



#### 2. Ölçülen değerlerin analizi ve rapor hazırlama



#### 3. Eski pompaların verimli pompalarla değişimi



Şekil 3.4: Pompa değişim programı.

### 3.4. Değişken Hızlı Sürücülerin (VSD) Kullanılması

Motorların büyük çoğunluğu, sabit bir hızda çalışacak ve sabit bir çıkış sağlayacak şekilde tasarlanmıştır; ancak modern teknolojiyle birlikte, elektrik motorlarının kullanıldığı birçok uygulamada, farklı hızlar gerekmektedir. VSD, mekanik ekipmanın hızını ve dönme kuvvetini veya çıkış torkunu düzenleyen bir cihazdır. VSD'lerin uygulanmasının etkileri, pompalarda, fanlarda, kompresörlerde ve diğer ekipmanlarda hem üretkenliğin artmasında hem de enerji tasarrufunda olumlu olarak görülmektedir (Saidur ve diğ, 2012). Bununla birlikte, motorların çoğu kısa süreler için yalnızca %100 hızda çalışır. Bu genellikle birçok

sistemin uzun süre verimsiz çalışmasına neden olur. Sonuç olarak, çalışma süresi boyunca önemli enerji kayıpları vardır. Motorun hızını ilgili yüklerle eşleştirmek için VSD sistemleri kurularak sistem kaybının azaltılması sağlanabilir. VSD, geleneksel kontrol yöntemlerine göre avantajları nedeniyle çok popüler hale gelmiştir. VSD kullanılarak, bir motorun veya jeneratörün hızı kontrol edilebilir ve istenen herhangi bir hıza ayarlanabilir. VSD, bir elektrik motorunun hızını ayarlamanın yanı sıra, yükün değişken olduğu durumlarda bir elektrik motorunun hızını sabit bir seviyede tutabilir (Saidur ve diğ, 2009).

Pompaların enerji tüketiminin azaltılması amacıyla dikkat çekici bir alternatif, sabit hızlı pompaların (Fixed speed pumps, FSPs) yerine değişken hızlı pompaların (Variable Speed Pumps, VSPs) kullanılmasıdır. VSP'ler, bir invertör (değişken hız kontrolörü) tarafından kontrol edilen bir motora bağlı pompalardır. İnvertörün temel görevi, gerekli torku daha yüksek verimlilikte sağlarken motorun hızını değiştirmek için ana beslemeyi değiştirmektir. Sonuç olarak, pompa hızı değiştikçe, pompa eğrisi farklı çalışma koşulları için ayarlanır. VSP'lerin en temel avantajları, sistemdeki çalışma şartları yüksek değişkenlik ile karakterize edildiğinde ortaya çıkar. Bu durumda, bir FSP'nin çalışma noktası, pompa verimliliğinde olası bir düşüşle birlikte, sabit pompa hızı için pompa eğrisi üzerinde kalmaya zorlanırken, VSP'ler, pompa hızı değiştikçe pompa eğrisini etkin bir şekilde ölçeklendirerek yüksek verimliliği koruma olanağına sahiptir (Marchi ve diğ, 2012).

### **3.4.1 Hız kontrol yöntemleri ve VSD temel bileşenleri**

VSD ve VFD'ler elektronik motorların yönetilmesine izin veren hız kontrolörleri olarak bilinirler. Herhangi bir elektrik motorunun hızı bu sürücüler sayesinde değiştirilebilir. Endüstriyel sektörde kullanılan çeşitli hız kontrol yöntemleri üç ana kategori altında sınıflandırılabilir: (a) mekanik hız kontrol yöntemleri, (b) hidrolik hız kontrol yöntemleri, (c) elektrikli hız kontrol yöntemleri.

Mekanik VSD'ler hala birçok mühendis tarafından kullanım basitliği, verimi ve düşük maliyetleri sebebiyle tercih edilmektedir. Mekanik değişken hız kontrolü; kayış tahrikleri, tekerlek tahrikleri, zincirli tahrik ve dişli kutusu ve rölantri dahil olmak üzere bir dizi yöntemle sahiptir. Bu yöntemlerin tümü benzer özellikler göstermektedir. Motor sabit hızda çalışır ve kuplaj oranı tahrik edilen yükün hızını değiştirir. Kuplaj cihazının çıkışındaki tork yükünün artırılması, motor üzerindeki tork yükünü artıracaktır (ABB, 2010).

Hidrolik kuplajın çalışma prensibi türbinlere dayanır. Kuplajdaki yağ hacminin değiştirilmesi hızı değiştirir. Tahrik ve tahrik milleri arasındaki hacim farkı; yağ, pompalar ve valfler ile kontrol edilir (ABB, 2010).

Tipik elektrikli VSD sistemleri üç temel bileşenden oluşur: elektrik motoru, güç dönüştürücü ve kontrol sistemi. Elektrik motoru doğrudan veya dolaylı olarak (dişliler aracılığıyla) yüke bağlanır. Güç dönüştürücü, güç yarı iletken anahtarlarının uygun kontrolüyle bir AC kaynağından (genellikle bir besleme trafosu aracılığıyla) motora giden güç akışını kontrol eder (Rashid, 2001).

Değişken hızlı sürücüler doğrultucu, regülatör ve invertör olmak üzere 3 ana bileşenden oluşur. Doğrultucular, alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) dönüştürmek için kullanılır. Tipik olarak bir regülatör VSD'yi kontrol eder, veri alışverişini sağlar. VSD ve çevre birimleri arasında hata mesajlarını toplar ve raporlar ve VSD'nin koruyucu fonksiyonlarını yerine getirir (Mustaffah ve Azma, 2006). İnvvertörler, bir DC'yi yük boyunca alternatif yönlerde sırayla değiştirerek bir AC üretir.

### **3.4.2 VSD kullanılması ile enerji tasarrufu**

Devir hızı kontrollü pompa sistemlerinin başlıca avantajları şunlardır:

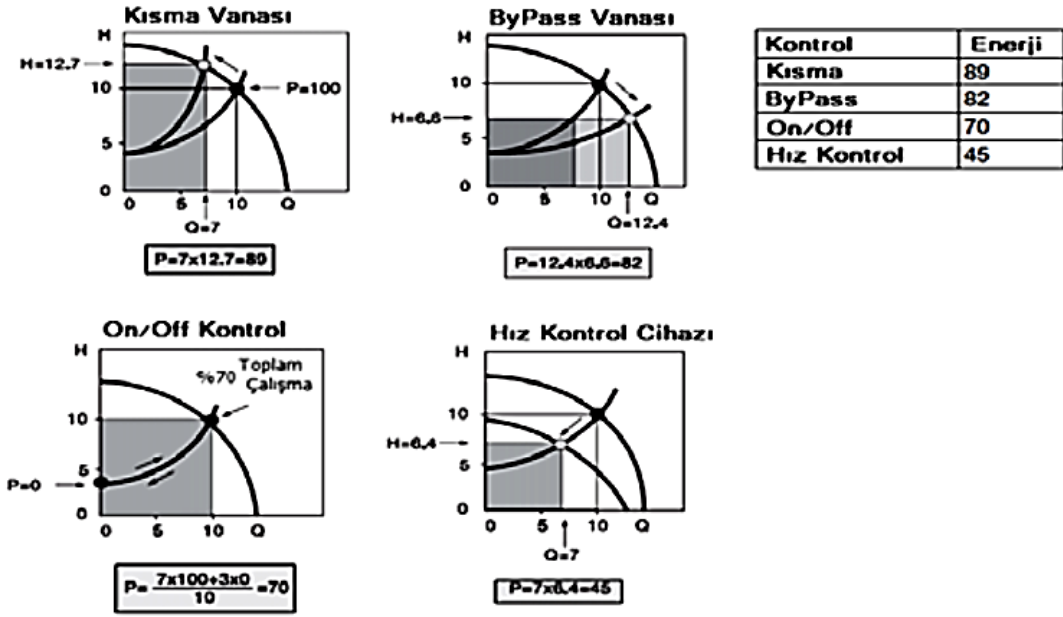
- Elektrik enerjisi tasarrufu,
- İşletim ve kullanım konforunun yükselmesi,
- Proje, seçim ve uygulama hatalarının telafi edilmesi,
- Çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı,
- Ömür boyu maliyetinin düşük oluşu.

Değişken hızlı sürücüler enerji tasarrufu sağlamanın en etkili yollarından birisidir. Diğer enerji tasarrufu yöntemleri genel tüketimden tekil yüzdelik puanlar azaltabilirken, değişken hızlı bir sürücü genellikle pompa ve fan kullanan uygulamalarda %50 veya daha fazla enerji tasarrufu sağlayabilir. Bu ise çok önemli bir miktardır. VSD'ler motorun hızını kontrol ederek pompa veya fan gibi bir uygulama bileşeninin çıkışını azaltır ve motorun ihtiyaç duyduğundan daha hızlı çalışmamasını sağlar. Diğer kontrol yöntemleri kullanıldığında, motor tam hızda çalışır ve çıkış debisi kısıılır; örneğin bir boru hattındaki akış debisi bir vana ile azaltılabilir. Motor, gereksinim ne olursa olsun nominal hızında çalışmaya devam ettiğinden önemli miktarda enerji boşa harcanmış olur (Tolvanen, 2008).

Bir sistem üzerinde 10 birimlik debinin 7 birime düşürülmesi için farklı debi kontrol yöntemleri denenmiştir (Şekil 3.5). Kısmi vanası ile debi kontrol yönteminin, 89 birim ile en yüksek enerji harcandığı görülür iken değişken hızlı sürücü ile sistemin kontrolünde bu oran 45 birim olarak gerçekleşmektedir. Debi kontrolünde en verimsiz yöntemin kısmi vanası, en verimli yöntemin değişken hızlı sürücü olduğu görülmektedir (Şenol ve Karakuş, 2017).

### **3.4.3 İçme suyu temin sistemlerinde değişken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılması**

Günümüzde, birçok su temin sistemleri oldukça büyük boyutludur ve nadiren tam kapasitelerinde çalışırlar. Bu durum çoğu zaman pompaların en uygun şartlarda çalışmamasına sebep olur. Böyle durumlarda çoğu zaman kısmi valfleri veya baypas hatları kullanılır. Bunların kullanımları en etkili yöntem değildir. Çünkü kısmi valfleri çalışma noktalarını en iyi verimlilik seviyesinden uzağa kaydırarak pompa verimliliğini azaltır. Baypas hatları, akışın bir bölümünü yönlendirir, böylece pompaların çalıştığı bölge üzerine çok fazla etkisi olmaz. Bu çözümlere bir alternatif olarak pompanın dönüş hızını değiştirerek pompanın basıncını veya debisini kontrol edebilen değişken hızlı sürücülerin kullanılması söylenebilir. VSD'ler, pompaların sabit basınç ve değişken debide veya sabit debi ve değişken basınçta çalışmasına olanak sağlar. Bu, pompaların açma/kapama sayısının azaltılmasını sağlar. Ayrıca, VSD'lerin kullanımı, pompaları değiştirirken sıkça meydana gelen boru kırılmalarının azalmasına olanak sağlar. Bu sürücüler, bazı kaynaklara (Ramos ve diğ., 2010) göre %30-50, Coelho ve Andrade-Campos'a (Copeland ve Carter, 2017) göre %10-20 arasında enerji tasarrufu sağlayabilir (Zimoch ve Bartkiewicz, 2017). Gellings'e (2009) göre, VSD'ler toplam pompalama enerjisinin %10-20'sini tasarruf etme potansiyeline sahiptir. Kiselychnyk ve diğ. (2009) sadece %10'luk bir pompa hızı düşüşü ile %27'lik olası bir enerji azalmasına işaret eder.



**Şekil 3.5:** Debi kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerle sağlanabilecek enerji tasarrufu oranları (Şenol ve Karakuş, 2017).

Sistem verimliliğini artırmanın ve dolayısıyla enerji tüketimini azaltmanın yollarına dair bir fikir sağlamak amacıyla değişken hızlı pompaları (elektrik motorları, invertörler ve pompaların kendileri dâhil) içeren su dağıtım sistemi bileşenleri hakkında kapsamlı bir tartışma yapılmıştır (Marchi ve diğ., 2012). Ayrıca motor sürücü/pompa sisteminin verimliliğini etkileyen motor tipi seçimine, boyutlandırmaya, pompanın görev döngüsüne (zaman ve süre oranı), kurulumdan kaynaklanan kayıplara ve motor arızalarına odaklanılmıştır. Sarbu (2016) şebekelerin farklı konfigürasyonlarını içeren ve değişken hızlı pompaları kullanan su dağıtım sistemlerinde enerji verimliliğine ilişkin birkaç karşılaştırmalı çalışma sunmuştur. Su pompalamanın enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, temsili bir gerçek vaka çalışması sunularak kısaca gözden geçirilmiştir. Su pompalamanın enerji verimliliğini artırmak için dört strateji açıklanmıştır: su talebine göre pompa hızını değiştirmek için kontrol sistemlerinin kullanılması, depolama tanklarına pompalama, ağa entegre aracı pompa istasyonlarının kullanılması ve sistem üzerinde yüzen yükseltilmiş depolama tanklarının kullanılması. İşletme maliyetlerinde önemli tasarruflar elde etmenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Nowak ve diğ. (2018) değişken hızlı pompaların kullanımını öne çıkararak, su tedarik sistemlerinin tasarımı ve işletimi için bir optimizasyon süreci ve genişletilmiş bir karar destek süreci sunmuştur. Bu süre, Almanya'nın Worms kentindeki su tedarik sisteminin bir modeline uygulanmıştır. Yıllık %18'e varan enerji tasarrufu öngören bir optimizasyon süreci kullanılarak farklı senaryolar karşılaştırılmıştır (Sekmen, 2022)

### 3.5 Pompa Planlaması (Pump Scheduling) ve Optimizasyonu

STS'nin belirli bir optimum seviyede çalışması ve talep gereksinimini minimum işletme maliyetiyle karşılamasını sağlayacak şekilde işletilmesi oldukça önemlidir. Pompalama istasyonlarında bulunan pompalar genel olarak farklı kapasitelerdedir ve tüketicilere iletmek amacıyla aynı veya farklı su kaynağından gelen suyu ana boru hattından yükseltilmiş üst rezervuara iletmek için birlikte çalışırlar. Bu pompalar yüksek işletme maliyeti oluşturan önemli miktarda elektrik enerjisi tüketirler. Pompa planlaması, gerekli miktarda suyu iletmek için belirli bir aralıkta çalıştırılacak pompa kombinasyonlarının setlerinin seçilmesi sürecini ifade eder. Ancak seçilen pompaların kombinasyonu, tüketilen elektrik enerjisi miktarını en aza indirmek gibi belirli hedefleri karşılamalıdır ve ayrıca hidrolik ve teknik kısıtlamalar gibi sistem gereksinimlerini ve talep gereksinimlerini de karşılamalıdır (Abiodun ve Ismail, 2013).

İstasyondaki pompaların operasyonlarını planlayarak işletme maliyetini düşürmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Abdelmeguid ve Ulanicki, 2012). Bu yöntemler genel olarak pompa planlaması (pump scheduling) olarak adlandırılır ve sistemin kendisinde herhangi bir altyapı değişikliği yapmadan en verimli ve güvenilir yöntemi sunar. Bu nedenle, enerji ve diğer ilgili maliyetlere ilişkin yıllık harcamalarda yaklaşık %10'a kadar azalma sağlayan pompa planlamasının optimize edilmesi, su endüstrileri için büyük önem taşımaktadır (Abiodun ve Ismail, 2013). Pompa planlamasının optimizasyonu, verimliliği artırarak veya tüketimi düşük tarifeli dönemlere kaydırarak %10-20 tasarruf sağlayabilir (Menke ve diğ, 2015).

Pompaların kullandığı elektrik enerjisi maliyeti, su idarelerinin en büyük toplam elektrik faturasını oluşturur. Dünya üzerinde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık yüzde 25'i pompalar tarafından tüketilmektedir. Bu nedenle bir pompa planlaması yapılırken bu hususlar kesinlikle göz ardı edilmemelidir. İşletmeci, hangi pompa ya da pompaların kullanılacağını iyi bilmelidir ve hidroliği doyururken günün hangi zaman dilimlerinde açık konumda olması gerektiğini hesaplamalıdır. Pompa planlamanın temel amacı zamanlama ve pompalama enerji maliyetlerini en aza indirmektir. Ancak, pompalama enerji maliyetini en aza indirirken, fiziksel ve operasyon kısıtlamaları dikkate alınmalıdır. Bu kısıtlamaların bazıları tüketici talepleri, depolama kapasiteleri ve su temini sistemlerinin düğüm basınçlarıdır; bu kısıtlamalar, pompa programını doğrudan etkilemektedir (Mäckle ve diğ, 1995; Sekmen, 2022). Toplumun ve endüstrinin su talebi gittikçe arttığından optimizasyon

yapılmadan su temin sistemlerinin geliştirilmesi, optimal olmayan verimsiz sonuçların ortaya çıkmasına neden olur. Bu optimal olmayan yapılar da tasarım ve işletim açısından verimsiz sistemlere dönüşür. Bu nedenlerle optimizasyon araçlarının kullanımı oldukça önemli ve gereklidir. Pompalama optimizasyonu yapılarak sistem veriminde meydana gelecek küçük bir iyileşme, elektrik enerjisi ve giderlerde önemli tasarruflar elde edilmesini sağlar (Giustolisi ve diğ, 2012; Sekmen, 2022). Optimizasyon sorunları, geleneksel deneme yanılma yöntemleri veya daha etkili optimizasyon yöntemleri kullanılarak çözülebilir. Ancak su temin sistemlerinde deneme yanılma yoluyla optimizasyon işlemi, bu sistemlerin karmaşıklığından dolayı zorluklar ortaya çıkarabilir: birden çok pompa, vanalar ve rezervuarlar, yük kayıpları, basınç değerlerinde büyük değişiklikler, çeşitli talep yükleri vb. (Sekmen, 2022).

Optimizasyon için dikkate alınan en belirgin ve önemli hedef, elektrik enerjisi maliyeti ve pompaların bakım maliyetinden oluşan işletme maliyetidir. Temel olarak enerji maliyeti talep ve elektrik tüketim ücretlerinden oluşur. Bakım maliyeti, pompalar çalışırken aşınma ve yıpranmanın giderilmesiyle ilişkilidir (Abiodun ve Ismail, 2013). Pompa çalışma planlaması, kullanılan enerji miktarı ve maliyeti, güç talebi miktarı ve maliyeti, kirlilik emisyonu miktarı ve enerji kullanımının dış maliyeti gibi çeşitli hedefleri karşılamak için optimize edilebilir. Bu hedefler her zaman uyumlu değildir. Örneğin, enerji kullanımındaki azalmalar (a) daha yoğun (daha kısa süreli) enerji tüketimine, (b) daha yüksek enerji ücreti dönemlerinde tüketime ve/veya (c) "daha kirli" jeneratörlerden tüketime yol açabilir; bu da sırasıyla daha yüksek güç talebi maliyetleri, daha yüksek enerji maliyetleri veya daha yüksek kirlilik emisyonu ve dış maliyetlerle sonuçlanır (Sadatiyan Abkenar, 2016).

Yenilikçi doğrusal olmayan optimizasyon algoritmaları, su temini sistemlerinin optimizasyon süreçlerinde gittikçe daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Coelho, 2016). Doğrusal olmayan optimizasyon algoritmaları genel olarak klasik algoritmalar ve sezgisel algoritmalar olmak üzere iki genel sınıfa ayrılmaktadır. Klasik algoritmalar temel olarak amaç fonksiyonu gradyanı ve/veya fonksiyon değerlendirmelerinin hesaplanmasını temel alır. Sezgisel algoritmalar ise esas olarak keşifsel aramadan oluşan ve genellikle doğada meydana gelen fenomenlere veya hatta yapay zekâyâ dayanan algoritmalarlardır (Coelho ve Andrade-Campos, 2012). STS optimizasyonunda uygulanan klasik algoritmalar şunlardır: Lineer Programlama (LP), Lineer Olmayan Programlama (NLP), Tam Sayılı Lineer Olmayan Programlama ve Dinamik Programlama. Bu tür algoritmalar, optimal çözümün tam konumunu bulmayı sağlar. Ancak, genellikle küresel optimum olamayacak yerel

optimal çözümlere yakınsarlar. Ek olarak, türev değerlendirmelerine duyulan ihtiyaç, bazı durumlarda optimizasyon sürecini daha karmaşık hale getirebilir (Coelho, 2016) (Sekmen, 2022). Sezgisel algoritmalar grubundan, çoğunlukla Genetik Algoritmaları (Genetic Algorithms, GA) ve Evrimsel Algoritmaları (Evolutionary Algorithms, EA) uygulayan çalışmalar bulmak olağandır. Bununla birlikte, Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimisation, PSO), Tabu Araştırma (Tabu Search, TS), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimisation, ACO), Simüle Edilmiş Isıl İşlem (Simulated Annealing, SA), Karıştırılmış Kompleks Evrim (Shuffled Complex Evolution, SCE) ve Uyum Arama (Harmony Search, HS) gibi başka teknikler de kullanılmaktadır. Bu teknikler, türev hesaplamaları gerektirmemesi ve başlangıç karar değişkenlerine güvenmeme gibi avantajlar sağlar. Sezgisel algoritmaların keşfedici doğası nedeniyle, bu ileri teknikleri kullanarak global optimal çözümler bulma olasılığı daha yüksektir. Öte yandan, bu yöntemlerin temel dezavantajı, daha yüksek hesaplama çabası gerektirmesidir (Coelho ve Andrade-Campos, 2012, 2014; Coelho, 2016; Sekmen, 2022).

Son zamanlarda, özellikle Genetik Algoritma (GA) olmak üzere evrimsel hesaplama algoritmalarının optimum planlama sistemi oluşturmak için kullanımı, yüksek performanslı işlemci ve hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi nedeniyle artmıştır. Basit tek amaçlı GA, elektrik enerjisi maliyetinin en aza indirilmesi için önerilmiştir (Mays, 2000). GA kullanan çok amaçlı algoritmalar, ayrıca, bakım maliyeti, tepe gücü, seviye değişimi (Savic ve diğ., 1997; Barán ve diğ., 2005) ve çevresel faktör (Wang ve diğ., 2009) gibi diğer hedefleri dikkate alarak STS sistemini optimize etmek için de geliştirilmiştir (Abiodun ve Ismail, 2013).

Georgescu ve Georgescu (2014) dört pompa istasyonu, üç tank ve sabit seviyeli bir su kaynağı için pompa planlamasını optimize etmek amacıyla bir Bal Arıları Çiftleşme Optimizasyon Algoritması (Honey Bees Mating Optimization Algorithm) kullanmıştır. Vaka çalışmaları, pompalama enerji tasarruflarının koşullara bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğini, ancak mevcut enerji talebinin %5 ila %30'u arasında bir toplam tasarrufun elde edilebilir görüldüğünü göstermiştir. Luna ve diğ. (2019) tarafından enerji tüketimini ve maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir su tedarik şebekesinin pompalama zamanlamasını optimize etmek için hibrit bir genetik algoritma geliştirildi. Pompa planlamasını optimize etmenin, enerji verimliliğini gerçek çalışmaya göre ortalama %15 (maksimum %25) artırabileceği belirlendi.

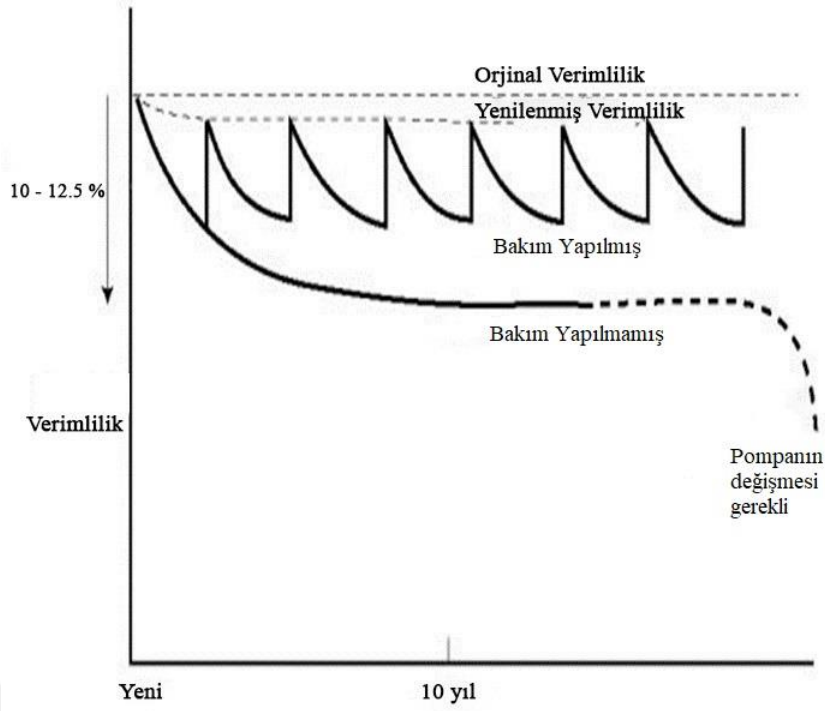
### **3.6. Bakım ve Onarımın İyileştirilmesi, Kayıp ve Kaçakların Tespiti**

#### **3.6.1 Bakım ve onarımın iyileştirilmesi**

Periyodik bakım, dalgıç pompalara ve performanslarına olan güvenilirliğini artırmak, verimini maksimum hale getirmek ve ömrünü uzatmak için önemlidir. Düzenli bakım ve onarım çalışmaları sayesinde dalgıç pompaların verimli çalışması ve ömürlerinde iyileştirme sağlanacaktır. Pompalar her makina gibi zamanla aşınır, debisi ve basma yüksekliği azalır. Bu durumdaki pompa onarılarak tekrar devreye alındığında ve onarılmadığı durumda pompa veriminin değişimi Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

Yaman ve Karadayı’ya (2014) göre, pompalar endüstride oldukça sık bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle sanayilerde oldukça önemli işlevleri vardır. Pompalar ve pompaj sistemlerinde meydana gelecek herhangi bir arıza, işletmeler için genelde beklenmedik üretim kayıplarına ve duraksamalarına sebep olmaktadır. Yaşanan bu planlı olmayan arızalardan kaynaklanan durmalar, işletme maliyetlerini arttırmaktadır.

Su temin sistemlerinin periyodik bakımlarının yapılması sistemdeki enerji verimliliğine doğrudan katkı sağlar. Sistemin parçaları olan rezervuarlar, tanklar, borular ve boru hattının tamamının kontrolü, panolar ve pano bileşenleri, kablolar, şamandıralar ve vanalar gibi sistem bileşenlerinin bakımlarının yapılması hem sistemin enerji verimliliği hem de sürdürülebilirliği açısından iyileştirmeleri sağlar. Özellikle pompa sisteminin sürekli bakımının yapılması son derece önemlidir. Pompalardaki sızdırmazlık, pompaların iç kısım temizliği, pompaların içindeki yağ değişimi, filtrelerin temizlenmesi, kabloların kontrolü vb. motorun ana bileşenlerinin maksimum verimde çalıştırılması gerekmektedir. Motor fanının temiz tutulması ise yine enerji verimliliğine önemli katkılar sağlar. Motor kapaklarının temizliği ve yağ değişiminin de periyodik olarak yapılması gerekmektedir. Hidroforlarda ise belirli aralıklarla kontrol yapıp, pompaların havalarının alınması önemlidir. Ayrıca sistemin tamamındaki vidaları periyodik bir biçimde kontrol ederek, gevşek olanları sıkmak gerekmektedir.



**Şekil 3.6:** Pompa periyodik bakımlarının pompa verimine etkisi.

Pompa verimliliği, kullanım ömrü boyunca %10 ila %25 oranında düşebilir. Bununla birlikte, yeni modeller daha verimli olduğu için bazen mevcut pompayı yenisiyle değiştirmek daha avantajlı olabilir (Hasanbeigi ve Price, 2010). Tabi bu karara varmadan önce motor ve pompalar detaylı bir şekilde kontrol edilmeli ve verimliliğin düştüğü ispatlandıktan sonra değişim yapılmalıdır. Bazen eski modellerin de bakımı ve revizesi yapılırsa verimliliği artırmak mümkün olabilir.

### 3.6.2 Kayıp ve kaçakların tespiti

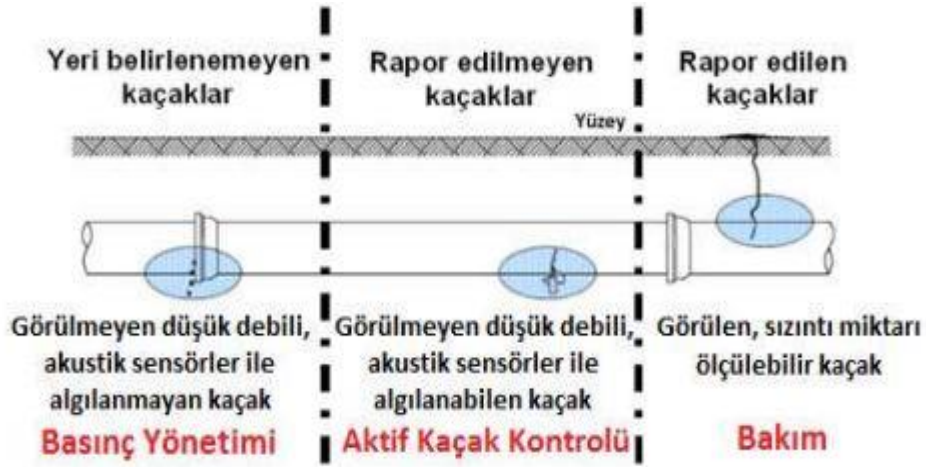
Uluslararası Su Birliği (IWA) su kayıplarını gerçek (fiziki) ve idari kayıplar olmak üzere iki ana kategoride tanımlar. Gerçek (fiziki) kayıplar üç bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.7):

1- Rapor Edilen Kaçaklar ve Sızıntılar: Müşteriye rahatsızlık verdiklerinden dolayı, (basınç kaybı veya ikmal kesintisi) müşteri veya yardımcı personel tarafından bildirilmektedir (Lambert ve diğ, 1999).

2- Rapor Edilmemiş Kaçaklar ve Sızıntılar: Genellikle sızma şeklinde olur, yer üstünde görünmezler ve onlardan haberdar olmak için uzun bir çalışma süresi gerekir. Çalışanlar bu kaçakları aramak ve bulmak zorundadır (Grigg, 2007).

3- Yeri Belirlenemeyen Kaçaklar: Boru bağlantılarındaki küçük sızma ve süzülmelerin olduğu yerlerdir. Debileri çok çok düşüktür. Yalnızca ses dinleme cihazları ile tespit

edilebilirler. Bu tip kaçakları azaltmanın yöntemi, basınç düzenleme veya boruların değiştirilmesidir (American Water Works Association, 2008).



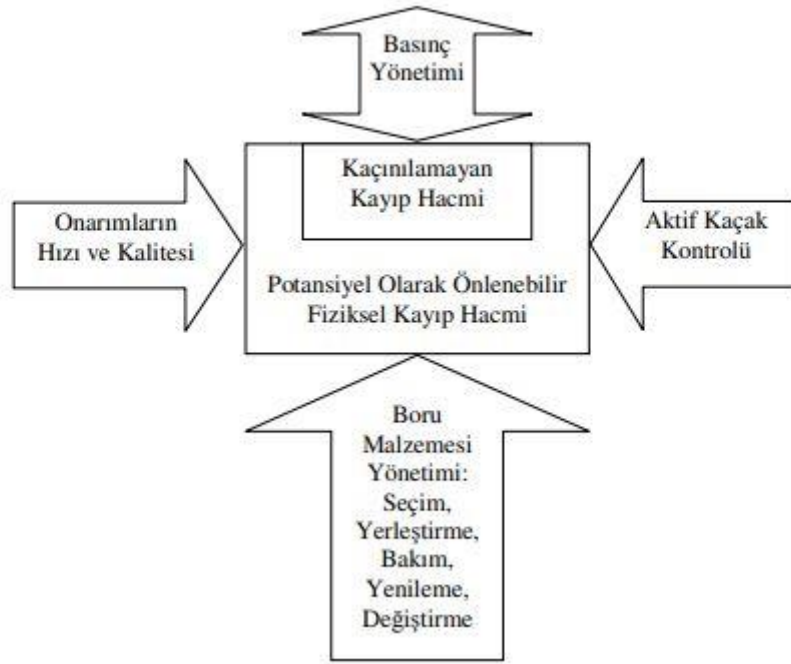
**Şekil 3.7:** Fiziki su kayıplarının bileşenleri (American Water Works Association, 2008).

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde kayıp ve kaçakları tespit edip bunları en aza indirmek oldukça önemli bir husustur. Kaçak kullanımının önüne geçilmesi için bütün kullanıcıların kullandığı suyun kontrol edilmesi gerekir. Böylece suyun kontrolünü yapan kurumlar suyun kullanım miktarına doğru veriler ile sahip olur. Ayrıca sızıntıların tespitinin yapılması, enerji kullanımı ve verimliliği açısından önemlidir. Sızıntıların önüne ne kadar geçilirse o kadar çok enerjide verimlilik elde edilir. Buna bir örnek verilebilir: İsale hattında bir patlak varsa, içme suyu boşa gitmiş olur, suyun oldukça önemli olduğu günümüzde bu ciddi bir problemdir. Motopomp sistemi de verimli çalışmaz, çünkü pompa suyun bir kısmına boşa bastığından burada bütün sistemde ekstra bir enerji kullanımı ortaya çıkar. Eğer bu zamana yayılırsa örneğin bir senede ciddi maliyetler ortaya çıkabilir.

Bir su kuruluşunun kayıp kaçak yönetim personelinin kaçakların meydana gelme karakteristiklerinin temellerini anlaması ve onları kontrol etmek için ne manaya geldiklerini bilmesi gerekir. Bazı yaygın kaçak tipleri şu şekilde sıralanabilir: (a) Ana boru veya boru kırıklar, (b) atlak, (c) Delik, (d) Sızma, (e) Pompalar veya vanaların kaçağı, (f) Boru bağlantı kaçakları, (g) Servis bağlantı borularında sızma (Songur, 2016).

Şebekede sızıntının nerede meydana geldiğini tespit etmek için çok sayıda teknik vardır. Bazı teknikler, bir sızıntının konumunu tahmin edebilir veya lokalize edebilirken, diğerleri tam yerleri bulabilir. Bu sızıntıları tespit etmek için kullanılan yöntemler aşığıdaki gibi sıralanabilir: (a) gaz enjeksiyon metodu, (b) manuel dinleme metodu, (c) akustik kaydediciler, (d) diğer yöntemler (Yeraltı Radarı (YR), GPS temelli sistemler).

Su kayıplarını azaltmak için kayıp türüne göre ayrı tedbirler alınması gereklidir. Şekil 3.8 kaçak yönetiminin dört ana bileşenini göstermektedir.



**Şekil 3.8:** Kaçak yönetiminin dört ana bileşeni (Toprak ve diğ, 2007).

### 3.7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması

Yenilenebilir enerji teknolojileri uzun zamandır su temini uygulamaları için kullanılmaktadır. Kuyulardan su pompalamak veya terfi pompalarına güç sağlamak ve su arıtma sistemleri için kullanılabilirler. Yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel veya konvansiyonel su arıtma teknolojilerinin yanı sıra yeni ortaya çıkan teknolojiler (UV dezenfeksiyonu, tuzdan arındırma tesisleri ve patojenleri yok etmek için damıtma, doğrudan ısı veya fotokatalitik oksidasyon) için güç sağlayabilir (Argaw, 2003).

İçme suyu geliştirme için enerji ihtiyaçları iki kategoriye ayrılabilir: pompalama enerjisi ve arıtma enerjisi. Pompalama işlemleri ağırlıklı olarak elektriksel veya mekaniktir, oysa arıtma işlemleri elektriksel, termal veya doğrudan foton kullanımı olabilir. Su temin ve arıtım sistemlerinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4:** Su temin, dağıtım ve arıtım sistemlerinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları (Niewoehner ve diğ, 1997)

| Yenilenebilir Enerji Kaynağı          | İşlev                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rüzgâr                                | Pompalama veya arıtma süreçleri için elektrik üretir veya mekanik olarak su pompalar.                                                                          |
| Hidroelektrik                         | Pompalama veya arıtma süreçleri için elektrik üretir veya mekanik olarak su pompalar.                                                                          |
| Güneş-Fotovoltaik                     | Pompalama veya arıtma süreçleri için elektrik üretir.                                                                                                          |
| Güneş-Termal                          | Düz plaka kolektörleri, güneş havuzları ve güneş yoğunlaştırıcıları gibi teknolojileri kullanarak dezenfeksiyon ve tuzdan arındırma için termal enerji üretir. |
| Biyokütle                             | Dezenfeksiyon ve tuzdan arındırma için termal enerji üretir.                                                                                                   |
| Fotonlar                              | Güneş ışığı veya yapay UV ışığı, suyu dezenfekte etmek için patojenleri yok eder.                                                                              |
| Okyanus Termal Enerji Dönüşümü (OTEC) | İşlem suyu yoğunlaştırıldığında tatlı su üretir.                                                                                                               |
| Kojenerasyon                          | Dezenfeksiyon, damıtma ve tuzdan arındırma için termal enerji üretir.                                                                                          |

Vietnam Tarım ve Kırsal Kalkınma Bakanlığı (MARD) ile Birleşmiş Milletler Çocuk Fonu (UNICEF) arasında, ülkedeki kırsal su teminleri için yenilenebilir enerji (YE) ve enerji verimliliğinin (EV) uygulamalarını araştıran beş yıllık bir ortaklığın parçası olarak Mart-Temmuz 2023 tarihleri arasında yürütülen araştırma sonucunda bir rapor yayınlanmıştır (UNICEF, 2023). Çalışma, kırsal su temin sistemleri için enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji çözümlerinin mevcut durumunu ve potansiyelini değerlendirmeyi, temiz enerji kullanımını teşvik etmeyi ve kırsal alanlarda temiz su üretimi ve operasyonlarının maliyetini düşürmeyi hedeflemiştir. Bulguların ayrıca kırsal su projeleri için EV-YE yönergelerinin geliştirilmesini de destekleyeceği vurgulanmıştır. Kırsal su temin sistemlerinde yenilenebilir enerji teknolojilerinin en iyi uygulamalarının şunlar olduğu belirtilmiştir:

- Güneş enerjili pompalama,
- Güneş enerjili su kiosk/su atm'si,
- Mevcut elektromekanik pompaların güneş enerjili pompalara dönüştürülmesi,
- Ek ekipman (Bazı güneş pompalama tesislerinde, güneş enerjisi gerekli su talebini karşılamaya yetmediğinde dizel veya şebekeye bağlı bir güç kaynağı gibi başka bir güç kaynağının sorunsuz ve otomatik bir şekilde harmanlanmasını sağlamak için yardımcı ekipman kullanılır.)
- Yazılım uygulamaları.

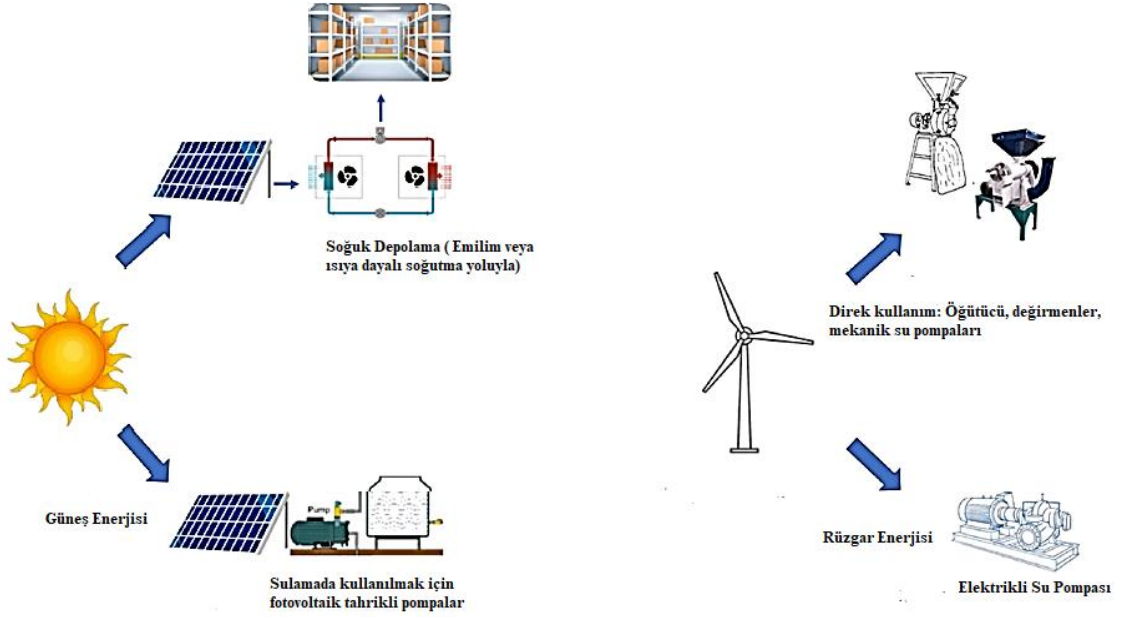
Su temin sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak gittikçe yaygınlaşmaktadır. Uygulama maliyetleri hariç, bu sistemler birçok çevresel ve ekonomik avantaja sahiptir. Su temin sistemlerinde yenilenebilir enerjinin kullanılması; çevresel iyileştirme (sera emisyonlarının, hava ve gürültü kirliliğinin azaltılması), fosil enerjinin siyasi istikrarsızlıklara, ticari anlaşmazlıklara, ambargolara ve diğer aksamalara karşı savunmasız olması nedeniyle enerji fiyatlarındaki oynaklığın ekonomi üzerindeki etkilerinin azaltılması ve ulusal ekonominin iyileştirilmesi gibi birçok kamu yararı sağlar. Buna karşılık, yenilenebilir enerji daha verimli üretim süreçleri aracılığıyla ekonomik üretkenliği artırır (Menegaki, 2008). Yenilenebilir kaynaklar, bazı coğrafi ve çevresel kısıtlamalar olmasına rağmen, elektrik üretimi için uygun bir seçeneği temsil etmektedir. Yerel olarak bulunurlar ve kullanımları CO<sub>2</sub> ve diğer kirleticilerin emisyonlarını azaltarak önemli çevresel faydalar sağlar; istihdam yaratılmasına katkıda bulunur, sosyal faydalar sağlar ve ekonomik uyum sağlar; endüstride rekabeti teşvik eder, merkezi olmayan enerji arzında güvenlik ve istikrarı artırır ve ithalatı azaltır (Gonçalves ve Ramos, 2012; Sekmen, 2022).

Bu bölümde su temin ve dağıtım sistemlerinde yaygın kullanılan rüzgâr enerjisi, güneş fotovoltaik enerjisi, hidroelektrik enerji ve biyogaz sistemlerinden öz olarak bahsedilecektir. Şekil 3.9 farklı tarım makinelerini çalıştırmak için yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgâr ve güneşin kullanımını göstermektedir. Şekil 3.10'da ise su pompalama sistemiyle yenilenebilir enerjinin entegrasyonu gösterilmiştir.

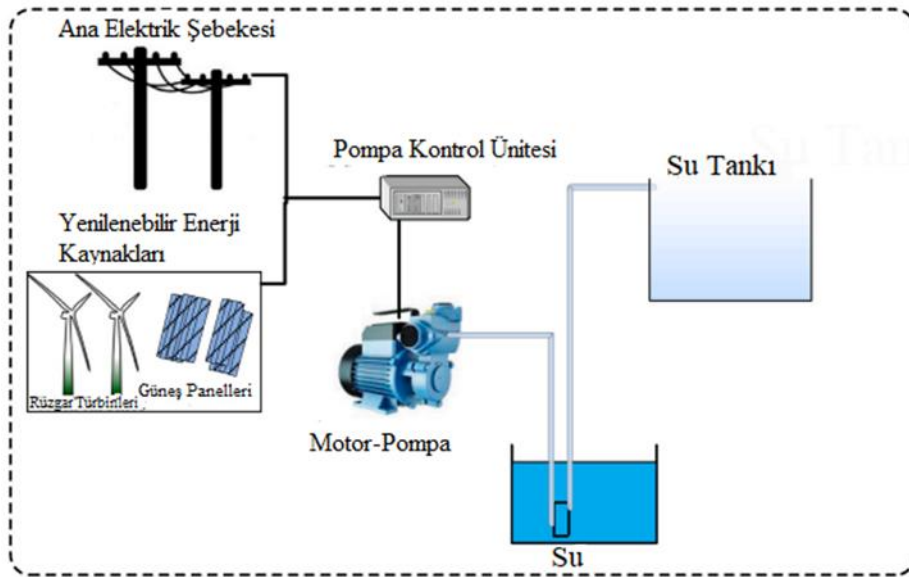
### **3.7.1 Rüzgâr enerjisi**

Rüzgar enerjisi suyu mekanik olarak (yel değirmenleri kullanılarak) pompalamak için kullanılabilir veya rüzgar türbininden üretilen elektrik suyu pompalamak, arıtmak veya dezenfekte etmek için kullanılabilir. Mekanik rüzgâr pompaları (yel değirmenleri), elektrikli rüzgâr türbinlerine kıyasla daha düşük rüzgâr hızlarında çalışır. Rüzgâr değirmenleri 2,5 ila 3,5 m/s arasındaki hızlarda pompalamaya başlarken, elektrikli rüzgâr türbinlerinin su pompalama uygulamaları için rüzgâr değirmenleriyle rekabet edebilmeleri için ortalama 5-6 m/s rüzgâr hızına ihtiyaçları vardır. Ancak, rüzgâr türbini rotorunun boyutu arttıkça başlangıç rüzgâr hızı daha da yükselir. Öte yandan, elektrikli rüzgâr türbinleri çok yönlülükleri ve elektrik üretimleri nedeniyle rüzgâr değirmenlerine göre çeşitli avantajlara sahiptir. Türbin daha yüksek bir rüzgâr rejimine yerleştirilebilir ve üretilen güç pompalama alanına kablo ile bağlanabilir. Türbinden üretilen elektrik pillerde depolanabilir veya su

arıtma sistemlerinde kullanılabilir. Rüzgâr türbinlerinin kullanılabileceği bazı alanlar su pompalama, aydınlatma ve su arıtma sistemleridir (Argaw, 2003).



**Şekil 3.9:** Farklı tarım makinelerini çalıştırmak için yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar ve güneşin kullanımı (Majeed ve diğ., 2023).



**Şekil 3.10:** Su pompalama sistemiyle yenilenebilir enerji entegrasyonu (Zakariazadeh ve diğ., 2024).

Rüzgâr enerjisi, elektrik üretimi, tarım ürünlerinin işlenmesi ve tarımsal su pompaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Tarımsal üretimde, özellikle sulama suyunun elektrikli veya dizel motorlarla yer altından çıkarıldığı bölgelerde, enerji maliyetleri çiftçilere ekonomik olarak önemli bir yük getirmekte ve üretim maliyetlerini artırmaktadır. Genellikle elektrik

üretimi amacıyla kullanılan rüzgâr enerjisi sistemlerinin tarımsal sulama alanlarında kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Yelmen ve diğ. (2021) Sinop ilindeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla rüzgâr enerjisi sistemlerinin tarımsal sulamada kullanımını araştırmışlardır. Çeşitli rüzgâr kuvvetlerine bağlı olarak su pompalama kapasiteleri Visual Basic 6.0 bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Rüzgâr pompası elemanlarının seçiminde rüzgâr pompası kanat sayısının artmasının pompalama yüksekliğini artırdığı ve su debi değerini azalttığı belirlenmiştir. Bu tür sistemlerde toprak tabakasının derinliklerinden daha yüksek noktalara suyu çıkarabilmek için; sistemin rotor yarıçapı ve kanat sayısının artırılmasının önemli bir kriter olduğu, pompalanan suyun sistemin bir parçası olan su deposunda depolanması ve gerektiğinde kullanılmasının önem arz ettiği vurgulanmıştır.

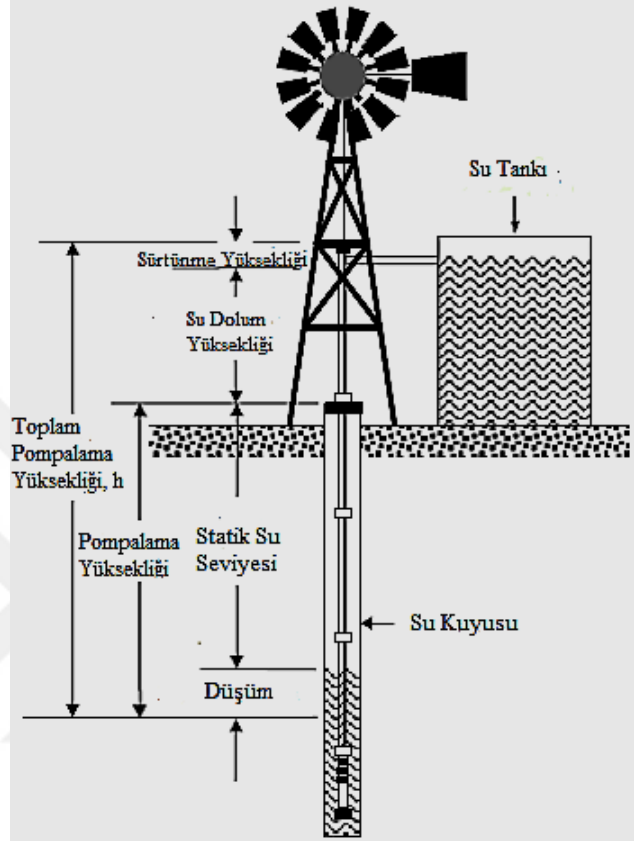
Su temin ve dağıtım sistemlerinde rüzgâr enerjisinin kullanımı (a) mekanik rüzgâr pompaları (yel değirmenleri) ve (b) elektrikli rüzgâr pompaları ile olmaktadır.

#### **3.7.1.1 Mekanik rüzgâr pompaları (yel değirmenleri)**

Rüzgâr pompaları, rüzgâr enerjisi kaynağı kullanarak mekanik veya elektrikli yollarla çalışır. Yel değirmenleri olarak bilinen mekanik rüzgâr pompaları, 13. yüzyılın başlarından beri Hollanda'da polderleri boşaltmak için kullanılmaktadır. Küçük ahşap yel değirmenleri ayrıca Fransa, Portekiz ve İspanya'da tuz üretmek için deniz suyunu pompalamak için kullanılmıştır. Çok kanatlı, fan benzeri bir rotora sahip çelikten yapılmış Amerikan yel değirmeni, 1860 ile 1900 yılları arasında tanıtılmış ve demiryollarına su sağlamak ve evsel kullanımlar için kullanılmıştır. Son 100 yılda, yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde 8 milyondan fazla yel değirmeni üretilmiştir. Bugün, çoğunluğu Amerika Birleşik Devletleri, Arjantin ve Avustralya'da olmak üzere 1 milyondan fazla yel değirmeninin kullanımda olduğu tahmin edilmektedir. Ancak geleneksel yel değirmenleri, modern rüzgâr türbinlerine göre çok daha az verimlidir; çünkü kanatları gerçek kanat profilleri değildir ve genel işletme verimliliği yalnızca %4-8 civarındadır (Argaw, 2003). Şekil 3.11, piston pompasına sahip bir yel değirmeninin şematik diyagramını göstermektedir.

Ticari mekanik rüzgâr pompaları, piston pompası hızını dakikada 40 veya 50 vuruştan fazla olmayacak şekilde sınırlayan yüksek sağlamlıktaki rotorları nedeniyle düşük rüzgâr hızları için iyidir. Ortalama rüzgâr hızı kullanan mekanik pompaların genel dönüşüm verimliliği %7-27'dir. Yel değirmenleri hala hantal olup, pompa çubuğunun doğrudan yükselen ana boruya ve pompaya bağlanacak şekilde doğrudan sondaj deliğinin üzerine kurulmaları

gerekir. Öte yandan, en iyi su kaynağı normalde rüzgârlar için kötü bir yer olan daha alçak zeminde bulunur, bu nedenle en iyi rüzgâr yeri ile en iyi su kaynağı arasında bir uzlaşma olması gerekir. Bu nedenle, mekanik rüzgâr pompaları düz ova alanlarla sınırlıdır (Argaw, 2003).

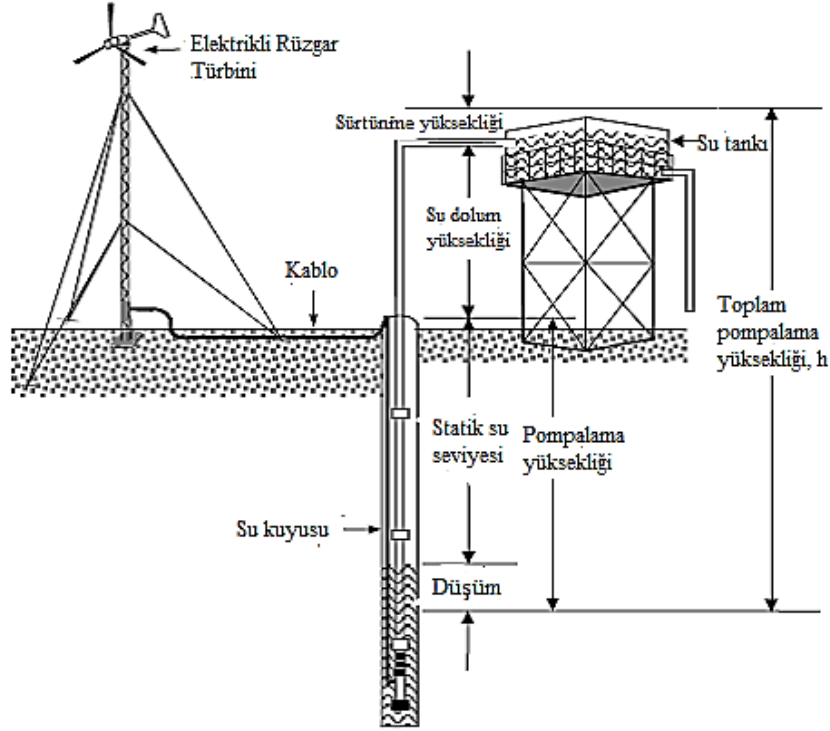


**Şekil 3.11:** Piston pompasına sahip bir yel değirmeninin şematik diyagramı (Argaw, 2003).

### 3.7.1.2 Elektrikli rüzgâr pompaları

Elektrikli rüzgâr türbinleri, AC veya DC elektrik çıkışı üretmek üzere tasarlanmıştır ve doğrudan AC veya DC motorlara bağlanarak su pompalamak için kullanılabilir. Elektrikli rüzgâr türbinleri, düşük sağlamlıktaki rotorlar için tasarlanmıştır ve santrifüj pompalar için en uygundur. Su pompalamak için kullanılan tipik bir elektrikli rüzgâr türbini, Şekil 3.12'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu teknoloji, rüzgâr türbinini doğrudan bir AC motorla birleştirerek pil ve invertör kullanımını ortadan kaldırır ve bu da santrifüj pompayı değişen hızlarda çalıştırır. Bu teknoloji, yükü mekanik olarak değiştirmek yerine elektriksel olarak değiştirerek (yani, rüzgâr değirmenlerinde olduğu gibi stroku değiştirerek) rüzgâr türbinlerini uygun su pompasıyla eşleştirme sorununu basitleştirir. Ancak, rüzgâr değirmenlerinden farklı olarak, bu teknoloji ayrıca rüzgâr türbinlerini su kuyuları üzerine yerleştirme sorununu da çözer. Çünkü rüzgâr tepelerin zirvesinde en iyi şekilde eser ve su daha alçak yerlerde bulunur.

Bu nedenle rüzgar türbinleri kuyudan itibaren optimum maliyetli kablo uzunluğunda rüzgarların en güçlü olduğu yerlere yerleştirilebilir (Argaw, 2003).



**Şekil 3.12:** Bir dalgıç santrifüj pompasına bağlı elektrikli bir rüzgar türbininin şematik diyagramı (Argaw, 2003).

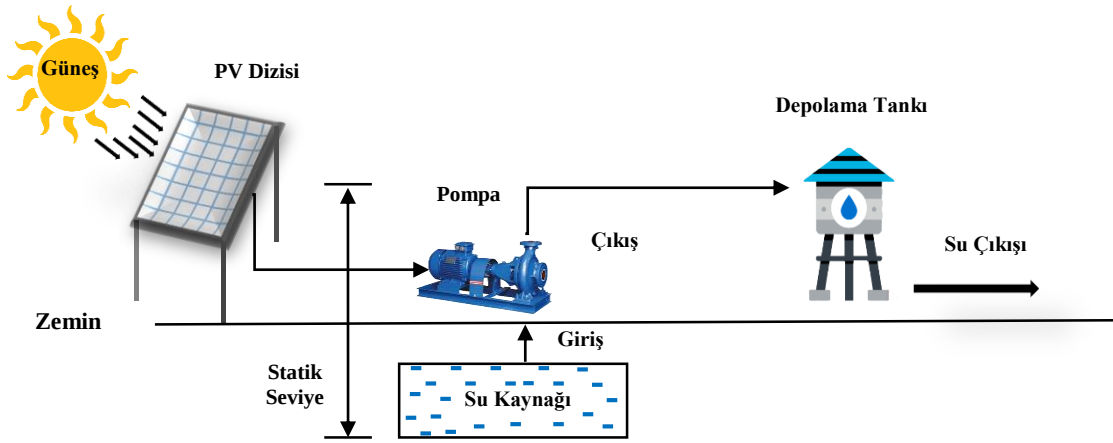
Ticari elektrikli rüzgâr türbinleri 50 Watt'tan birkaç Megawatt'a kadar mevcuttur. Elektrikli rüzgar türbinleri genellikle yüksek rüzgar hızı gerektirir (örneğin, yaklaşık 1,5 kW nominal çıkışlı küçük bir rüzgar türbini, pompalamaya başlamak için ortalama 4-5 m/s rüzgar hızı gerektirir). Öte yandan, mekanik rüzgâr pompaları yaklaşık 2,5 m/s ila 3,5 m/s'de pompalamaya başlayabilir. Elektrikli rüzgâr türbini büyüdükçe, ihtiyaç duyulan başlangıç rüzgâr hızı daha yüksek olacaktır. Genellikle, elektrikli rüzgâr türbinleri, su pompalama uygulamaları için ortalama 5-6 m/s rüzgâr hızının üzerindeki rüzgâr değirmenleriyle rekabet edebilir hale gelir. Bu nedenle, pompalama yerinin rüzgâr rejimi, mekanik veya elektrikli rüzgâr pompalarının kullanılıp kullanılmayacağını belirler. Elektrikli rüzgâr türbinlerinin mekanik rüzgâr türbinlerine göre birkaç potansiyel avantajı vardır. Çok yönlüdürler: fazla elektrik gücü pillerde depolanabilir ve aydınlatma veya diğer amaçlar için kullanılabilir. Rüzgâr türbininin doğrudan sondaj deliğinin üzerine veya hatta güce ihtiyaç duyulan yerin yakınına yerleştirilmesi gerekmez. En iyi rüzgâr rejimi lokasyonuna yerleştirilebilir ve üretilen güç sahaya kabloyla taşınabilir (Argaw, 2003).

### 3.7.2 Güneş enerjisi

Kentsel/kırsal su temin sistemlerinde elektrikli ya da dizelle çalışan su pompalama sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, şebekenin olmaması veya düzensiz bir biçimde olması ve yüksek dizel pompalama maliyetleri gibi belli problemler, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan pompalama sistemlerine yönelmeyi gerektirmektedir. Son yıllarda dünya çapındaki çevresel ve sürdürülebilir kalkınma endişeleri, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan su pompalama sistemlerine olan ilgiyi yeniden hayata geçirdi (Chandel ve diğ, 2017; Wu ve diğ, 2020). Su pompalama için birçok yenilenebilir enerji kaynağı kullanılabilir. Ancak güneş enerjisinin çoğu yerde mevcut olması ve sınırsız olması onu daha çok öne çıkarmaktadır (Verma ve diğ, 2021). Bu sebepten ötürü yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi, su pompalama sistemlerinde en yaygın biçimde kullanılan enerjidir (Alshamani ve Iqbal, 2017). Su pompalama için güneş enerjisinin kullanılması, şebekeye ve dizele olan bağılılığı azaltarak fayda sağlar (Sekmen, 2022).

Güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları, su temini ve atık su arıtma uygulamaları için giderek daha çekici hale gelmektedir. Güneş enerjisi, suyu ve atık suyu pompalamak veya arıtmak için doğrudan veya dolaylı olarak (termal veya elektriksel olarak) kullanılabilir. Güneş termal enerjisi, tuzlu veya acı suyun tuzdan arındırılması, pastörizasyon, çeşitli damıtma yöntemleri veya dolaylı olarak su pompalama uygulamaları için en iyi şekilde kullanılabilir. PV ile üretilen elektrik, su pompalamak için en basit teknolojilerden biridir. PV, tuzdan arındırma tesislerine, UV sistemlerine ve diğer birçok uygulamaya güç sağlamak için uygundur (Argaw, 2003).

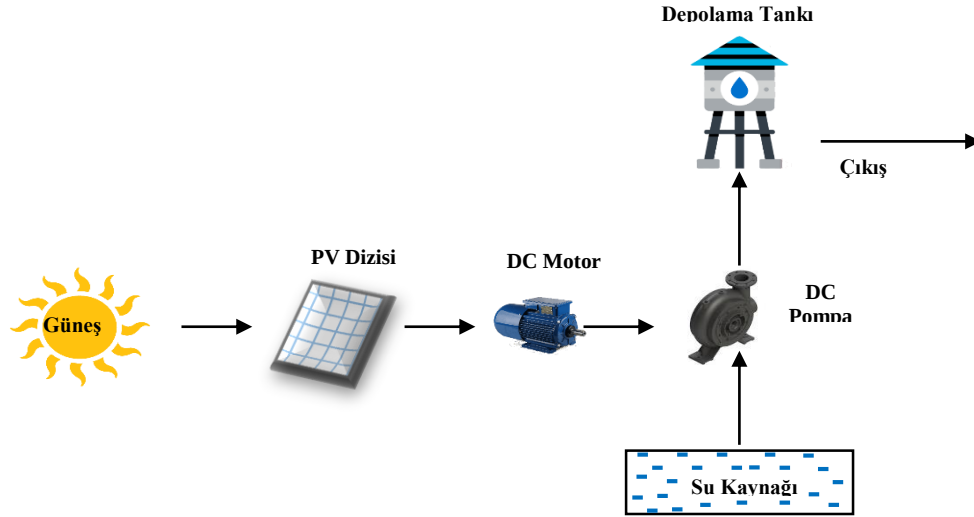
Güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri (Solar Photovoltaic Water Pumping Systems, SPVWPS), sulama, kentsel/kırsal su temini, hayvancılık ve diğer amaçlar için yeraltı veya yüzey suyu pompalayan ve bu görevi gerçekleştirmek için gereken gücü PV paneller aracılığıyla sağlayan sistemlerdir. Güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri, elektrikli pompalara güç sağlama misyonuyla güneş ışınımını PV paneller aracılığıyla elektriğe dönüştürürler. PV modülleri tarafından üretilen elektrik enerjisi, DC motorları beslemek veya invertör tarafından alternatif akıma dönüştürülmek için kullanılır. Kurulumla bağlı olarak, pillerde enerji depolamak mümkündür. Ancak üretilen enerjinin depolanması her zaman gerekli değildir, çünkü pompa çıkışına bir rezervuar yerleştirilmesi, suyun depolanmasını ve böylece güneş olmadan da kullanılabilir bir rezerv elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Trace, 2021).



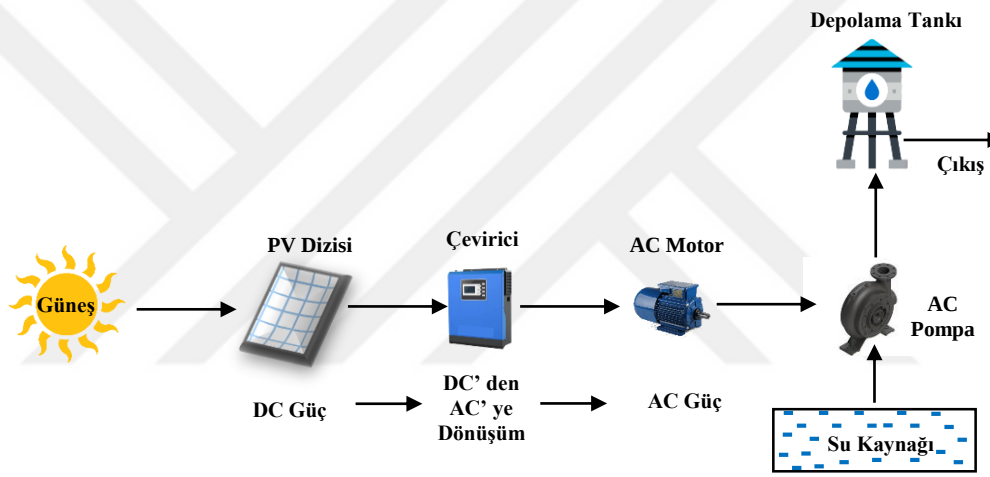
**Şekil 3.13:** Doğrudan bağlı bir fotovoltaik su pompalama sisteminin şematik resmi (Sekmen, 2022).

Tipik bir SPVWPS, bir PV dizisi, bir DC/AC yüzeye monte / dalgıç / yüzer motor-pompa seti, su depolama tankı, kontrol devreleri, uygun montaj yapısı, manuel veya otomatik izleme sistemi, ara bağlantı kabloları, koruma cihazları ve borulardan oluşur. Doğrudan bağlı bir güneş fotovoltaik su pompalama sisteminin şeması Şekil 3.13'de gösterilmektedir.

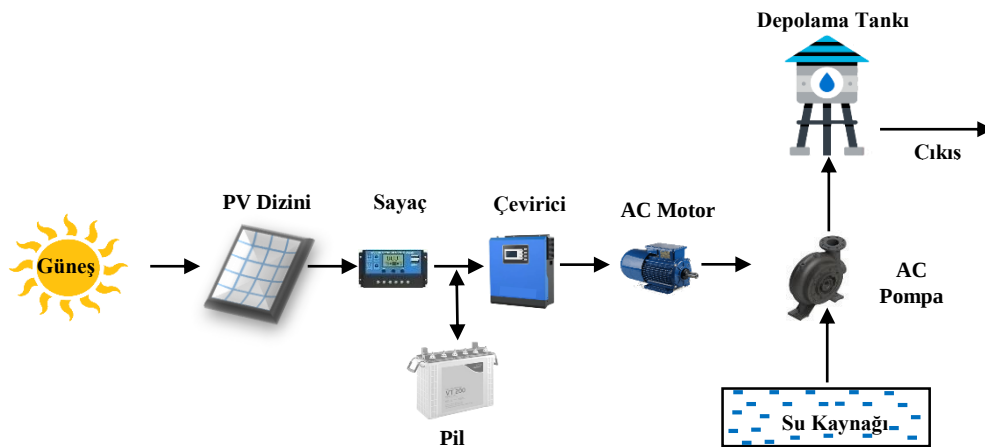
Üç tip güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPV) vardır: (i) doğrudan bağlı DC güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPVDC), (ii) AC güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPVAC) ve (iii) pil depolamalı güneş fotovoltaik su pompalama sistemi. SPV su pompalama sistemlerinin türleri Şekil 3.14'de gösterilmektedir. Doğrudan bağlı DC güneş fotovoltaik su pompalama sistemlerinde, terminal voltajı ve armatür akımı, PV dizisi voltajına ve akımına eşittir (Şekil 3.14a). Pompa hızı, PV jeneratörüne düşen güneş ışınlamı şiddetine göre değişir. Bununla birlikte, SPVWPS'ne bir MPPT dâhil edilirse, PV hücrelerinin çıktısı örneklenir ve uygun direnç (yük) uygulanır ve böylece tüm çevresel koşullar altında elde edilen güç maksimize edilir. AC güneş fotovoltaik su pompalama sistemlerinde, PV dizisi ile motor arasında bir invertör kurulmalıdır (Şekil 3.14b). PV dizisinin çıkış gücü, güneş ışınlamı şiddetine ve modül sıcaklığına göre değişir ve PV ile çalışan DC motor-pompa performansını etkiler. Sistemin daha fazla enerji üretmesi durumunda, tesisata bağlı olarak kullanılmayan enerji akülerde depolanabilir veya pompa çıkışına pompalanan suyu depolamak için bir rezervuar yerleştirilebilir. Böylece güneş ışınlamı mevcut olmadığında rezervuarda depolanan su kullanılır (Trace, 2021). SPVWPS'ne pil depolama dâhil edilerek, tüketim gerektiğinde güneş enerjisiyle üretilen güç kullanılır, ancak bu, sistemin maliyetini artırır (Chandel ve diğ., 2015, 2017). Şekil 3.14c, pil depolamalı bir SPV su pompalama sistemini göstermektedir. PV modülleri, güneş fotovoltaik su pompalama sisteminin bir bileşeni olan ve su kullanıcılarına gerekli basınç ve su akışını sağlayan motor-pompa setine güç sağlamak için seri ve paralel olarak bağlanır.



(a) Doğrudan bağlı DC güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPVDC).



(b) AC güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPVAC).



(c) Pil depolamalı güneş fotovoltaik su pompalama sistemi.

Şekil 3.14: Güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri (Sekmen, 2022).

Güneş fotovoltaiik su pompalama sistemleri yalnızca sulama sistemleri için değil, aynı zamanda içme suyu temini, su arıtma ve tuzdan arındırma için de kullanılabilir. İçme suyu kaptaj alanlarına da entegre edilebilir. Elektrik şebekelerine bağlantısı olmayan veya sınırlı olan kırsal alanlarda suya erişim sağlamak için en kritik çözümler arasındadır. Güneş PV ile çalışan su pompalama sistemleri, işletme güvenliği, sağlamlık ve çevre bilincinin de farkına varılmasını içeren birçok avantaja sahiptir (Allouhi ve diğ, 2019; Trace, 2021; Sekmen, 2022):

- SPVWP sistemleri, dizel veya benzinli pompalama sistemlerine nispeten uzun vadede daha düşük maliyetlidir.
- İşletme sırasında bir görevlinin sahada bulunmasını gerektirmediklerinden güvenilirler ve daha az bakım gerektirirler.
- Su kendi kendine depolanabildiğinden enerji depolamasına gerek yoktur.
- Yüksek modülerliğe sahip fotovoltaiik su pompalama sistemleri, nihai büyüme ihtiyaçlarına uyum sağlayabilir.
- Çevre dostudurlar, su, hava ve gürültü kirliliği gibi olumsuz etkilere neden olmazlar.

### 3.7.3 Hidroelektrik enerji

Su temin sistemlerinde pompalama için küresel elektrik tüketimi, toplam tüketimin %2-3'ünü oluşturmaktadır (Xu ve diğ, 2015). Su dağıtım şebekelerinde enerji tüketiminin yanı sıra bir diğer önemli konu su kaybıdır. Su dağıtım şebekelerindeki su kayıplarının yönetimi dört temel yönetime dayanmaktadır (Şekil 3.8): (a) basınç yönetimi, (b) aktif kaçak kontrolü, (c) hızlı ve kaliteli onarım, (d) boru malzemesi seçimi ve bakımı (Karadirek ve diğ, 2012, 2016). Su dağıtım şebekelerinde basınç arttıkça, borulardan sızan su miktarı artar. Basınç azaldığında ise su kaçağı miktarı azalır. Su temin ve dağıtım sistemlerindeki aşırı su basıncını kontrol etmek ve azaltmak için bazı önlemlere ihtiyaç vardır. Bu amaçla genellikle Basınç Düşürücü Tanklar (Break Pressure Tanks, BPT), dengeleme rezervuarları ve Basınç Azaltma Vanaları (Pressure Reducing Valves, PRV) kullanılır. Su temin ve dağıtım sistemlerindeki aşırı su basıncı, boru patlamaları riskini artırır ve yüksek su kayıplarına neden olur. Tersine, çok düşük su basıncı durumunda, su tüketicilere ulaşamaz ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olur. Cazibeli tip su iletim hatlarında, su yüksek kotlardan düşük kotlara aktarılır. Bu iletim sırasında, su borularındaki basınç önemli ölçüde artar ve aşırı basıncı azaltmak için birkaç BPT, dengeleme rezervuarı veya PRV yerleştirilir. BPT'lerde

ve dengeleme rezervuarlarında, su tankta depolanırken atmosfer basıncına maruz kalır. Bu uygulamada, aşırı su basıncı ve kinetik enerji dağıtılır ve buna bağlı olarak aşırı su basıncının oluşması önlenir (Karadirek ve diğ, 2016).

Su temin ve dağıtım sistemlerindeki mevcut aşırı basınç ve yüksek basınçlar tarafından oluşturulan enerji, PRV'ler yerine türbinler veya Türbin Olarak Pompa (Pump as Turbine, PAT) kullanılarak geri kazanılabilir. Açıklanan uygulamalara küçük ölçekli hidroelektrik üretim sistemleri denir. Küçük ölçekli hidroelektrik sistemlerinin sınıflandırılmasında, kurulum gücü dikkate alınır (Çizelge 3.5). Mikro-hidro sistemler, 100 kW'a kadar güç üreten sistemler olarak sınıflandırılır. Türbin veya PAT'lerin seçimi, mevcut basınç veya aşırı basınca ve akış hızına göre yapılır. Mikro-hidro sistemlerde türbin kullanımı yüksek maliyetleri nedeniyle tercih edilmez ve genellikle bu sistemler için PAT'ler önerilir. Su dağıtım şebekelerinde mevcut aşırı basınçtan enerji geri kazanımı için PAT'lerin kullanımı uygulanabilir bir alternatif olmaktadır (Karadirek ve diğ, 2016).

**Çizelge 3.5:** Hidroelektrik sistemlerinin sınıflandırılması (Gaius-Obaseki, 2010).

| Tip         | İstasyon Kapasitesi | Ünite Kapasitesi |
|-------------|---------------------|------------------|
| Mikro-hidro | 100 kW'a kadar      | 100 kW'a kadar   |
| Mini-hidro  | 101-2.000 kW        | 101-1.000 kW     |
| Küçük-hidro | 2001-25.000 kW      | 1.001-5.000 kW   |

### 3.7.3.1 Hidrolik türbinler

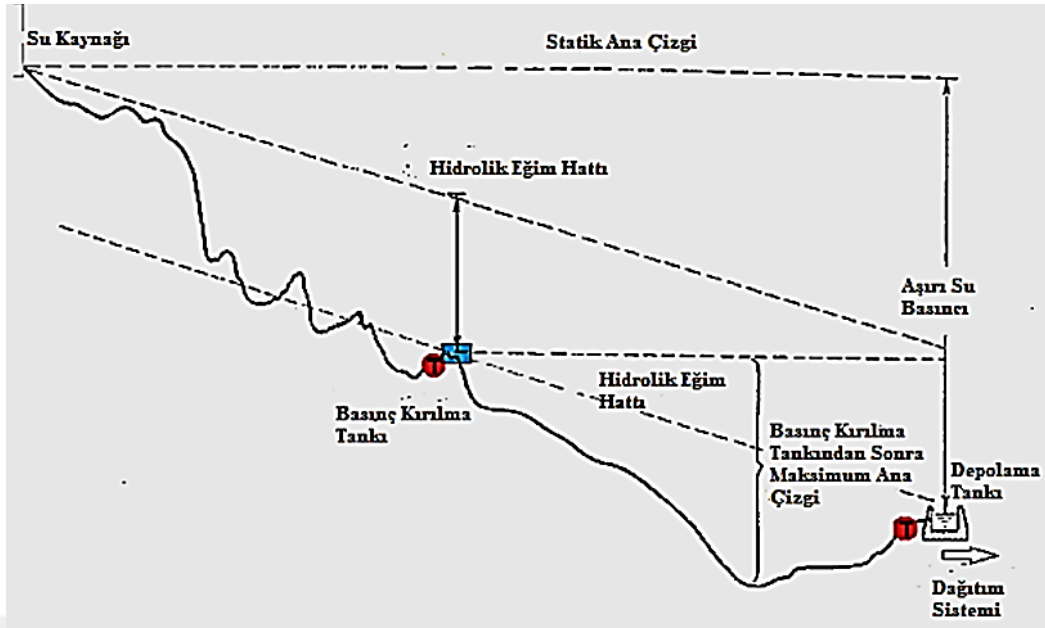
Hidroelektrik güç tesislerinde kullanılan türbinlere hidrolik türbinler veya su türbinleri adı verilir. Su türbini, taşınan suyun basınç enerjisi ve hız enerjisine dayanan elektrik üretimi için kullanılan oldukça basit ama etkili bir sistemdir. Hidrolik türbinler, tasarımları, çalışma prensipleri ve belirli uygulamaları dâhil olmak üzere çeşitli faktörlere göre sınıflandırılır. Çizelge 3.6'da hidrolik türbinlerin sınıflandırılması verilmiştir. Enerji tipine göre iki tür türbin bulunmaktadır: (i) su akış yönünü değiştiren aksiyon türbinleri ve (ii) su basıncını ve kinetik enerjisini enerjiye dönüştüren reaksiyon türbinleri.

**Çizelge 3.6:** Hidrolik türbinlerin sınıflandırılması (Ergür ve Pancar, 2000).

|                       |                      |                                    |
|-----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Yük                   | Yüksek Yüklü         | $H > 300 \text{ m}$                |
|                       | Orta Yüklü           | $400 \text{ m} > H > 20 \text{ m}$ |
|                       | Düşük Yüklü          | $H < 50 \text{ m}$                 |
| Türbin Şaft Pozisyonu | Yatay                |                                    |
|                       | Düşey                |                                    |
|                       | Eğimli               |                                    |
| Akış Yönü             | Eksenel Akışlı       | Kaplan, Uskur                      |
|                       | Radial Akışlı        | Francis                            |
|                       | Çapraz Akışlı        | Yüksek Hızlı Francis               |
|                       | Teğetsel Akışlı      | Pelton, Banki                      |
|                       | Karmaşık Akışlı      |                                    |
| Enerji Tipi           | Aksiyon Türbinleri   | Pelton, Turgo, Banki               |
|                       | Reaksiyon Türbinleri | Francis, Kaplan, Uskur, Boru       |

Cazibeli tip su iletim hatlarında, dengeleme rezervuarlarının önüne aşırı basınçtan enerji geri kazanımını sağlayabilen bir türbin yerleştirilebilir. Cazibeli tip su iletim hattında aşırı su basıncının oluşumu ve türbinlerin olası konumları Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Cazibeli tip su iletim hatlarında BPT'lerin ve dengeleme rezervuarlarının kullanımı dünya çapında çok yaygındır ve bu ünitelerin girişine türbinlerin yerleştirilmesi enerji üretimi için büyük bir potansiyel sağlar ve sürdürülebilir su temin hizmetlerine katkıda bulunur. BPT'lerin ve dengeleme rezervuarlarının girişine türbinlerin kurulması çeşitli avantajlar sağlar: enerji üretimi, karbondioksit emisyonlarının azaltılması ve para geliri. Bu nedenle, cazibeli tip su iletim hatlarında türbinlerin kullanımı dikkat çekmektedir (Carravetta ve diğ, 2014; Xu ve diğ, 2015; Karadirek ve diğ, 2016).

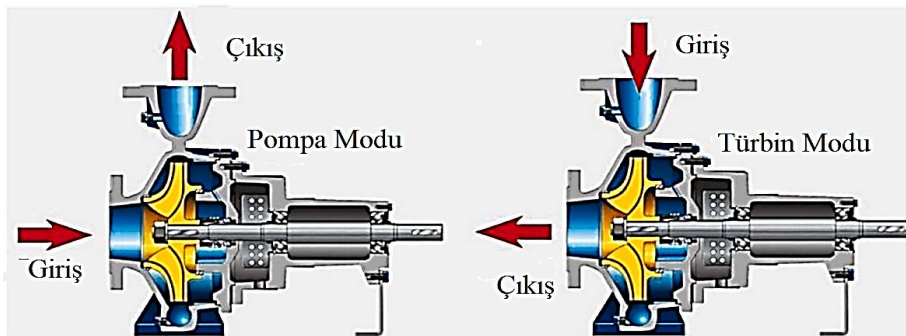
Ülkemizde de cazibeli tipi su iletim hatlarında enerji üretmek için türbinlerin kullanıldığı çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamalardan birisi Malatya ilinde kurulmuş olan Kuyuönü Hidroelektrik Santrali (Kuyuönü HES) dir. Kuyuönü mevkiinde mevcut içme suyu şebekesi üzerine 3 MW gücünde bir hidroelektrik santrali kurulmuş ve santral 2022 yılında elektrik üretmeye başlamıştır. Ayrıca yine Malatya ilinde Yeşilyurt Yapraklı içme suyu tesisinin üzerine 1,13 MW gücünde hidroelektrik santrali (Yapraklı HES) kurulması öngörülerek ihalesi yapılmıştır. Yapraklı HES'in 2024 yılı itibari ile devreye alınması planlanmıştır. Bu tesislere ilişkin ayrıntılı bilgi Bölüm 4'te verilmiştir.



**Şekil 3.15:** Aşırı basıncın olduğu bir cazibeli tip su iletim hattı için örnek şema ve enerji üretmek için türbinlerin olası konumları (T: türbin) (Gray, 2010; Karadirek, ve diğ., 2016).

### 3.7.3.2 Türbin olarak pompa (Pump as Turbine, PAT)

Pompalar ve türbinler zıt amaçlara hizmet edebilir, ancak temelde aynı prensiplerle çalışırlar. Her iki ekipman da kullanılabilir iş ile akışkan enerjisi arasında dönüşüm yapar ve her ikisi de dönüşümü yapmak için genellikle bir çark kullanır. Bir pompa çarkı, akışkana enerji eklemek için yüksek hızda döner - önce kinetik enerjiye ve daha sonra basınç enerjisine dönüştürülür. Bir türbin çarkı, yüksek hızda dönmek ve akışkandan enerji çıkarmak için yüksek hızlı bir akışkan akışını (veya bir akışkandaki büyük bir basınç farkını) kullanır. Her bir ekipman parçasındaki çark, biraz farklı bir görev için tasarlanmıştır ve genellikle bu görev için oldukça uzmanlaşmıştır. Ancak, bir pompa çarkı yine de bir türbin olarak kullanılabilir ve bunun tersi de geçerlidir. Şekil 3.16'da PAT'in pompa olarak ve türbin olarak çalışma modları gösterilmiştir.



**Şekil 3.16:** PAT'ın akış yönü, (a) Pompa olarak çalışma (b) Türbin olarak çalışma. (Ali ve diğ., 2023).

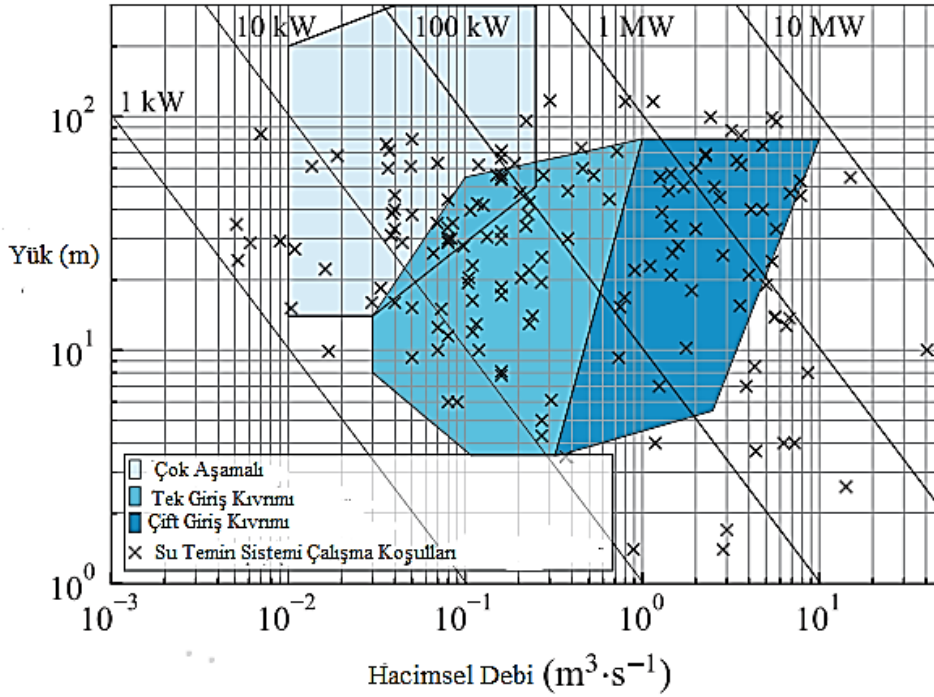
Tüm yenilenebilir kaynaklar arasında, piko ve mikro-hidroelektrik (1-500 kW) en uygulanabilir, merkezi olmayan, çevresel olarak uygun ve sürdürülebilir enerji kaynakları olarak kabul edilir. Büyük hidroelektrik projelerinin aksine, piko/mikro-hidroelektrik kaynakları nispeten küçük bir alanı kaplar ve toplulukların orijinal yerlerinden önemli ölçüde yer değiştirmesine neden olmaz. Bu nedenle, bu enerji kaynakları, uluslararası tartışmalı konulara yol açmadan dünyanın birçok bölgesinde oldukça uygun kabul edilir. Ancak, piko/mikro-hidroelektrik projeleri için geleneksel türbinlerin kullanılması, gelişmekte olan ülkelerde ekonomik olarak uygulanabilir değildir. Düşük maliyetli bir alternatif olarak, pompalar özel olarak yapılmış türbinlerin yerini almak üzere ters modda kullanılabilir (Nasir ve diğ, 2024).

Hidrolik pompalar, sıvı taşıma, tarımsal sulama ve evsel ve endüstriyel uygulamalar dâhil olmak üzere çeşitli amaçlara hizmet eder. Ek olarak, ters modda çalışırken, pompalar elektrik gücü üretmek için kullanılabilir. PAT teknolojisi, piko/mikro-hidroelektrik projeleri, su temini/dağıtım sistemleri, ters ozmos sistemleri, basınç düşürücü sistemler ve sulama ve endüstriyel boru şebekelerinde güç geri kazanımı dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulama bulmaktadır. PAT'ler, daha düşük yatırım ve bakım maliyetleri, kolay bulunabilirlik ve çok çeşitli hidrolik koşullara uygunluk gibi geleneksel türbinlere kıyasla çok sayıda avantaj sunar. Ekonomik bir bakış açısından, piko/mikro-hidroelektrik projelerinde kullanılan PAT'lerin, özel olarak yapılmış türbinlere kıyasla önemli ölçüde daha düşük olan yaklaşık 2 yıllık yatırım geri ödeme sürelerine sahip olduğu yaygın olarak görülmektedir (Nasir ve diğ, 2024).

PAT'ler, elektrik üretmek amacıyla bir pompayı ters yönde çalıştırmak için aşırı akış ve basınç kullanmanın bilinen bir konseptidir. PAT, hem pompalama hem de elektrik üretme olanağı sağlayan ikili moda sahiptir. Bir pompa türbin modunda kullanıldığında, genellikle pompa olarak çalıştığında olduğundan yalnızca %3-5 daha az verimlidir. Türbin olarak pompalar, yalnızca pompalardan daha zor çalıştırılan ve bakımı yapılan türbinlere değil, aynı zamanda basınç düşürücü vanalara da uygulanabilir bir alternatif olarak kullanılabilir. Geri ödeme süresi 3 yıl kadar kısa olabilirken, türbinler 15 yıla kadar sürebilir ve bakımı daha karmaşıktır. Bu, pompaları, kalifiye işgücüne ve makineye erişimin zor olabileceği gelişmekte olan ülkeler için daha ideal bir çözüm haline getirir.

Türbin olarak çalışan pompalar, diğer türbinler arasında, STS'de enerji geri kazanımı için uygun maliyetli bir çözüm olarak gösterilmektedir. STS'de enerji geri kazanımı için PAT'lerin kullanımı, türbin modu tahmini, kontrol stratejileri ve performans geliştirme gibi

konularda kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır. Başlıca avantajları, küçük sermaye yatırımı, geniş bir yük ve debi aralığında hemen kullanılabilirlik ve en iyi verimlilik noktasında (BEP) önemli verimliliğidir. Gerçekten de, PAT'lerin uygulama aralığı, Şekil 3.17'de gösterildiği gibi, STS ortalama çalışma koşullarının çoğunu kapsar. Yine de, PAT'ler tasarım dışı çalışmada düşük bir verimliliğe sahiptir. Bu, debinin BEP'deki değerden daha küçük veya daha yüksek olduğu zamandır, sırasıyla sözde kısmi yük ve tam yük çalışma koşulları (Delgado, 2018).



**Şekil 3.17:** PAT çalışma aralığı ile STS'deki enerji geri kazanım potansiyeli arasındaki karşılaştırma. Eşçizgiler, mevcut hidrolik gücü temsil eder (Delgado, 2018).

Su temin sistemlerinde etkin ve ucuz olan diğer bir çözüm, türbinlerin pompalar olarak kullanılmasıdır (PAT). Piyasada bulunan birçok pompa türbin olarak kullanılabilir (100 kW'a kadar kapasiteye sahip mikro hidroelektrik santrallerde) (Ramos ve diğ, 2009, 2010). Bununla birlikte, PAT özellikle yük gibi değişen parametrelere karşı çok hassastır ve %30 ile %60 arasında düşük verim ile karakterize edilirler (Coelho, 2016; Zimoch ve Bartkiewicz, 2017, Sekmen ve diğ, 2019).

Karadirek ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada içmesuyu temin sistemlerindeki fazla basınçtan enerji üretim potansiyeli için mevcut uygulamalar irdelenmiş ve Antalya içmesuyu dağıtım şebekesinde türbin pompa kullanılarak fazla basınçtan enerji üretimi için pilot bir uygulama anlatılmıştır. Aşırı su basıncının olduğu çalışma alanına PAT kurulmasının gerçekleştirilmesi planlanmış; PAT sisteminin performansının, sistemin enerji geri kazanım

verimliliği ve su basıncı ve akış hızlarının izlenmesiyle test edilmesi amaçlanmıştır. Pilot çalışma alanında PAT sisteminin uygulanmasıyla yenilenebilir enerji üretimi ve fiziksel su kayıplarında azalma elde edilmesi hedeflenmiştir.

#### **3.7.4 Biyogaz enerjisi**

Biyogaz kırsal bölgelerde su pompalamak için de kullanılabilir. Biyokütle sindiricilerden üretilen biyogaz (metan), su pompalamak için yakıt olarak kullanılmasının yanı sıra yemek pişirme ve aydınlatma için de uygundur. Diğer popüler biyogaz yakıtı, araçlara yakıt sağlamak için giderek daha popüler hale gelen etanoldür. Biyo-yakıtlar, bir dizel motorun yakıt ihtiyacının %80'ine kadar tasarruf sağlayabilen kanıtlanmış bir teknolojidir. Yeni ortaya çıkan bir biyokütle teknolojisi, herhangi bir tarımsal atığı kullanarak elektrik veya termal ısı üretebilen Küçük Modüler Biyogüç Sistemleri'nin geliştirilmesidir. Bu teknoloji, su pompalarına, su arıtma sistemlerine güç sağlayabilir veya hatta küçük ila orta ölçekli köylerin ve kent merkezlerinin tüm güç ihtiyaçlarını karşılayabilir. Şu anda, bu teknoloji 100 kW'a kadar güç sağlayabilir ve gelecekte büyük kapasitelerde mevcut olacaktır (Argaw, 2003).

#### **3.7.5 Hibrit sistemler**

Hibrit sistemler de günümüzde, özellikle uzak bağımsız uygulamalar için daha çekici hale gelmektedir. Hibrit sistem, fotovoltaiik, yedek jeneratörlü veya jeneratörsüz rüzgâr türbini ve batarya depolama kombinasyonundan oluşabilir (Argaw, 2003).

Gonçalves ve Ramos (2012) tipik bir su tedarik sisteminde uygulanacak en iyi hibrit enerji konfigürasyonunun belirlenmesi için yenilenebilir enerji kavramlarına, hidrolik sistem davranışına, basınç kontrolüne ve sinir ağlarına dayalı yeni bir metodoloji ve hesaplama algoritması sunmuştur. En iyi hibrit sistemi belirlemek için oluşturulan yapay sinir ağı (YSA), sadece şebeke beslemeli, hidro türbinli şebekeli, rüzgâr türbinli şebekeli ve hidro ve rüzgâr türbinli şebekeli ortak çözümlü senaryoları kullanır. YSA, bir hidrolik ve güç simülatörünün yanı sıra bir konfigürasyon ve ekonomik simülatör modelinden elde edilen değerlere dayalı olarak eğitilir. Elde edilen sonuçlar, bu ANN gelişmiş hesaplama modelinin, su temin sistemlerinde veya küresel enerji verimliliğinin iyileştirilmesine izin veren diğer mevcut hidro sistemlerde uygulanabilen sürdürülebilir hibrit enerji sistemleri planındaki karar destek çözümleri için faydalı olduğunu göstermiştir.

#### **4. SU VE KANALİZASYON İDARELERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI: MALATYA ÖRNEĞİ**

Malatya ili içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla kullanılabilecek yöntemleri incelemek ve enerji tasarrufu sağlayacak önerileri sunmak amacıyla yapılan tezin bu kısmında: (a) Malatya ili su temin sistemleri hakkında bilgi verilmiştir; (b) Hâlihazırda Malatya ilinde su temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan çalışmalar incelenmiştir; (b) Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

##### **4.1 Malatya İli Su Temin Sistemleri**

###### **4.1.1 Malatya**

Malatya; Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Havzasında ve Adıyaman, Elazığ, Bingöl, Muş, Van çöküntü alanının güneybatı ucunda yer almaktadır. Çevresini doğuda Elazığ ve Diyarbakır, güneyde Adıyaman, batıda Kahramanmaraş, kuzeyde Sivas ve Erzincan illeri çevirir.

Malatya, Sultansuyu ve Sürgü çayı vadileri ile Akdeniz'e, Tohma Vadisi ile İç Anadolu'ya, Fırat Vadisi ile Doğu Anadolu'ya açılarak bu bölgeler arasında bir geçiş alanı oluşturur. Malatya'nın yüzölçümü 12,313 km<sup>2</sup> olup nüfusu 812,589 kişidir. Merkez olarak bilinen Yeşilyurt ve Battalgazi ilçelerinde ise nüfus 649,132 kişidir (2022 yılı). 6360 sayılı yasayla büyükşehir statüsüne kavuşan Malatya'da İl Özel İdaresinin kapatılması sonucu 494 Köy ve 1105 bağlısı ile kapatılan Belde Belediyeleri ve bağlı mahalleleriyle beraber toplamda 780 ünite mahalle statüsüne dönüştürülerek Büyükşehir Belediyesine bağlanmıştır (MASKİ, 2024).

###### **4.1.2 Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ)**

Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü, Bakanlar Kurulu'nun 13.03.2014 tarih ve 2014/6072 sayılı kararının, 31.03.2014 tarih ve 28958 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanması ile kurulmuştur. MASKİ, Malatya Büyükşehir Belediyesine bağlı olarak görev yapan, farklı bir tüzel kişiliğe sahip, bağımsız bütçeli bir

kuruludur. MASKİ Genel Müdürlüğü, 2560 Sayılı İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun, 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu, 5393 Sayılı Belediye Kanunu ve diğer ilgili mevzuat hükümlerine çalışmalarını yürütmektedir.

#### 4.1.3 MASKİ Su Temin Sistemleri

##### 4.1.3.1 Pınarbaşı gözesi

Malatya şehrinde içme suyu herhangi bir arıtma yapmadan doğal kaynaktan ve yeraltı suyundan temin edilmekte ve şebekeye sadece klorlama yapılarak verilmektedir. İl merkezini oluşturan toplamda 649,132 nüfuslu Yeşilyurt ve Battalgazi ilçelerinin içme suyu ihtiyacını karşılayan tek su kaynağı Gündüzbey sınırları içerisinde çıkan Pınarbaşı gözesidir (Şekil 4.1). Pınarbaşı gözesi, Malatya şehir merkezine 19 km mesafede, 1110 m yükseltide, Yeşilyurt İlçesi Gündüzbey beldesinin güneyindeki Kozluk Köyü sınırları içerisinde, Beydağı eteklerinden çıkan su kaynağıdır. Roma İmparatorluğu döneminden bugüne Malatya'nın içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılayan ana kaynaktır (MASKİ, 2024).

Suyun doğal akış güzergâhı Gündüzbey ve Yeşilyurt ilçelerinden geçen Büyükçay'dır. Beylerderesi ve Tohma üzerinden Fırat'a ulaşır. Ancak Gündüzbey'den itibaren başlayan kanallarla su daha yükseğe alınmış ve sırasıyla Gündüzbey, Yeşilyurt, Yakınca, Bostanbaşı, Tecde, il merkezindeki Kernek'ten akarak şehri terk etmiştir.



**Şekil 4.1:** Malatya Pınarbaşı içme suyu kaptaj alanı (MASKİ, 2024).

Pınarbaşı'na Malatya Büyükşehir Belediyesi'nin yapıp MASKİ'nin işlettiği kaptaj vasıtasıyla suyun önemli bir kısmı şebekeye alınmıştır. 1995 yılından itibaren suyun tamamı

içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kanala Çat barajından gelen su verilmektedir. Gayet soğuk olan suda yengeç balık ve kurbağa gibi hayvanlar yaşamamaktadır. Cumhuriyetin kuruluşu ile birlikte başlatılan sanayi faaliyetlerinden Sümerbank'ın elektrik ihtiyacını karşılamak için bu sudan yararlanarak Gündüzbey'de hidroelektrik santrali kurulmuştur. Bu santral günümüzde üretim yapmamaktadır.

Tesislerde üretilen içme suyu MASKİ laboratuvarında periyodik olarak analizleri yapılmak suretiyle sürekli olarak kontrol edilmektedir. Su üretim merkezlerinde periyodik analizler yapılmasına rağmen, şebekedeki herhangi bir kirlenme ihtimaline karşı bölgelerde şebekelerden düzenli olarak numuneler alınarak analizleri yapılmak suretiyle oto kontrol yapılmaktadır. Malatya'da su altyapısının yetersiz kaldığı bazı bölgelerde yerleşim yerlerine içme suyu, sondaj kuyuları yoluyla sağlanmaktadır (MASKİ, 2024).

#### **4.1.3.2 Diğer içme suyu tesisleri**

Gündüzbey içme suyu kaptaj alanından gelen su miktarı, şehir merkezinin tamamına yetmektedir. Fakat su kullanımının arttığı ve suya daha çok ihtiyaç duyulduğu dönemlerde merkezde bulunan sondajlardan da destek alınarak su temininin devamlılığı sağlanmaktadır. Malatya ilinde 2 merkez ilçe olmak üzere toplamda 13 ilçe vardır ve bu ilçelerin tamamında depolar ve pompa istasyonları olmak üzere toplam 2290 adet tesis bulunmaktadır. Tesislerin ilçe bazında dağılımı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

#### **4.2 MASKİ SCADA Sistemi**

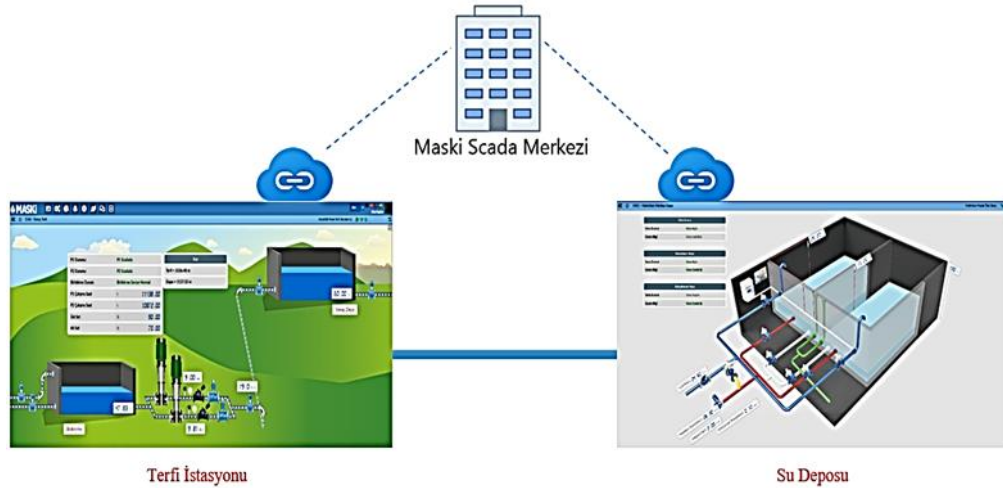
MASKİ SCADA Şube Müdürlüğü, SCADA sistemi ile Malatya merkez başta olmak üzere kırsal ilçelerde bulunan içme suyu depolarını anlık olarak izlemektedir. Sistem sayesinde sular, 7/24 kontrol altında tutulmaktadır. İçme suyu depoları başta olmak üzere terfi merkezleri, depolar ve arıtma tesisleri anlık izlenmektedir. Bu sayede arızalar ve su seviyeleri rahatlıkla izlenebilmekte ve anormal bir durumda hemen müdahale edilmektedir. Şekil 4.2, MASKİ SCADA sisteminin genel yapısını göstermektedir. Codesys destekli PLC'ler ile MASKİ ekipleri tarafından yapılan yazılımlar tesislerin ihtiyaç ve durumlarına göre değişmekte olup yazılım geliştirmeleri de yine ekipler tarafından yapılmaktadır. SCADA sisteminin su temin sistemlerinde enerji tasarrufu hususunda birçok avantajı vardır. Oldukça fazla veriyi aynı anda kontrol edebilme imkânı veren bu sistem aynı zamanda 7/24 bu verilere vakıf olabilme olanağını da sağlamaktadır. Suyun debisi, depo seviyesi, vanaların takibi, Soft Starterler (Yumuşak Yol Verici), şebeke elektriğinin olup olmadığı, panoda

oluşan arızaların takibi, suyun basınç değeri, pil sıcaklığı, suyun PH değeri, verim, su sayaçları vb. birçok önemli sistem bileşeninin takibi SCADA sistemi sayesinde yapılabilmektedir.

**Çizelge 4.1:** Malatya merkez ilçeler ve diğer ilçelerdeki içme suyu tesisleri (MASKİ, 2024).

| No | İlçe Adı   | Depo Sayısı | Pompa İstasyonu | Toplam |
|----|------------|-------------|-----------------|--------|
| 1  | Akçadağ    | 174         | 123             | 297    |
| 2  | Arapgir    | 82          | 36              | 118    |
| 3  | Arguvan    | 100         | 81              | 181    |
| 4  | Battalgazi | 111         | 104             | 215    |
| 5  | Darende    | 113         | 86              | 199    |
| 6  | Doğanşehir | 72          | 45              | 117    |
| 7  | Doğanyol   | 39          | 19              | 58     |
| 8  | Hekimhan   | 167         | 79              | 246    |
| 9  | Kale       | 55          | 28              | 83     |
| 10 | Kuluncak   | 69          | 49              | 118    |
| 11 | Pütürge    | 211         | 100             | 311    |
| 12 | Yazıhan    | 59          | 58              | 117    |
| 13 | Yeşilyurt  | 102         | 128             | 230    |
|    | Toplam     | 1,354       | 936             | 2,290  |

**MASKİ SCADA SİSTEMİ GENEL YAPISI**



**Şekil 4.2:** MASKİ SCADA sistemi genel yapısı (MASKİ, 2024).

Çizelge 4.1’deki tesislerin SCADA sistemi ile içme suyu depoları, içme suyu terfi merkezleri ve DMA’lar (District Metered Area, Alt Ölçüm Bölgeleri) olmak üzere toplam 353 noktası çevrimiçi olarak takip edilmekte ve kontrolü yapılmaktadır. Çizelge 4.2’de Malatya merkez ilçeler ve diğer ilçelerde SCADA sistemi ile kontrol edilen tesisler verilmiştir. 604 tanesinin

depoları ve terfilerinin kontrolü RTU (Remote Terminal Unit) ve GSM teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır. Geriye kalan diğer tesisler, şebeke ve internet altyapısı zayıf olduğundan ya da hiç olmadığından veyahut başka nedenlerden ötürü izlenemiyor olup, bu hususta araştırmalar devam etmektedir. Daha güçlü antenlerle ya da donanımlarla ileride uzaktan izleme yapılması hedeflenmektedir. Şimdilik SCADA ve RTU-GSM sistemi olmadan kontrol edilmektedir (MASKİ, 2024).

**Çizelge 4.2:** Malatya merkez ilçeler ve diğer ilçelerde SCADA sistemi ile kontrol edilen tesisler (MASKİ, 2024).

| No            | İlçe Adı          | SCADA ile Kontrol Edilen Tesis Sayısı |
|---------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1             | Akçadağ           | 59                                    |
| 2             | Arapgir           | 7                                     |
| 3             | Arguvan           | 4                                     |
| 4             | Darende           | 36                                    |
| 5             | Doğanşehir        | 29                                    |
| 6             | Doğanyol          | 1                                     |
| 7             | Hekimhan          | 26                                    |
| 8             | Kale              | 6                                     |
| 9             | Kuluncak          | 1                                     |
| 10            | Pütürge           | 2                                     |
| 11            | Yazıhan           | 22                                    |
| 12            | Yeşilyurt Kırsal  | 33                                    |
| 13            | Merkez SCADA      | 51                                    |
| 14            | Merkez Sondaj     | 3                                     |
| 15            | Battalgazi Kırsal | 46                                    |
| 16            | DMA               | 27                                    |
| <b>Toplam</b> |                   | <b>353</b>                            |

#### 4.2.1 Kuyu suyu takip sistemi

Malatya’da su altyapısının yetersiz kaldığı bazı bölgelerde yerleşim yerlerine içme suyu, sondaj kuyuları yoluyla sağlanmaktadır. Temiz içme suyunun sağlıklı biçimde temini ve dağıtımı için, kuyulardaki su seviye ve durumunun takibi büyük önem taşır. Kuyudaki suyun durumuna ilişkin verilerin takibi, donanımlarda yaşanabilecek arızalara karşı önlem almayı veya arıza durumunda müdahaleyi de kolaylaştırır. Kuyu suyunun takibi amacıyla SCADA sistemine entegrasyonu, su dağıtım sistemlerinde enerji tasarrufu, verimlilik artışı, zaman ve emek tasarrufu sağlar. Kuyu basıncı, su debisi, sudaki klor miktarı gibi bilgilerin izlenmesi ile kuyunun verimli bir şekilde çalışması sağlanır. 2019-2023 yılları arasında MASKİ Kuyu Suyu Takip Sistemi projesi geliştirilmiştir (GSL, 2024).

#### 4.2.2 RTU (Remote Terminal Unit) ve GSM teknolojisi ile su temin sistemleri kontrolü

Teknolojinin de gelişmesiyle birlikte, pompaların manuel olarak açıp kapatılması yerine, uzaktan kontrol sistemlerinin kullanılması, çok uzun süreler önce başlamış ve 30 yılı aşkın süredir de kullanılmaktadır. Depoda enerji olup olmadığı, depodaki su seviyesini cm olarak görme imkânı, pompa motorunda termik atma durumu, termiğin otomatik olarak yeniden kurulması, izinsiz depo ve pompa binalarına giriş durumları hakkında bilgi alma gibi imkânlar sunar. Amacı, bir bilgisayar ekranı ya da insan ile makine arasında görsel olarak hizmet veren bir “HMI” panel ekran üzerinde durum bilgilerin görülmesini sağlar. Su seviyesinin, alarm durumları ve bunlar gibi birçok bilginin, görsel olarak izlenmesini ve gerekir ise yönetilmesini sağlayan yazılım destekli donanımdır (DelcomRF, 2024). MASKİ 604 adet pompa istasyonu ve deponun kontrolünü RTU ve GSM teknolojisi ile yapmaktadır (MASKİ, 2024). Çizelge 4.3’de bu tesislerin ilçelere göre dağılımı verilmiştir.

**Çizelge 4.3:** Malatya ilinde RTU-GSM teknolojisi kullanılan tesis sayısı (MASKİ, 2024).

| No            | İlçe Adı   | RTU-GSM Teknolojisi Kullanılan Tesis Sayısı |
|---------------|------------|---------------------------------------------|
| 1             | Akçadağ    | 74                                          |
| 2             | Arapgir    | 44                                          |
| 3             | Arguvan    | 68                                          |
| 4             | Battalgazi | 24                                          |
| 5             | Darende    | 58                                          |
| 6             | Doğanşehir | 22                                          |
| 7             | Doğanyol   | 6                                           |
| 8             | Hekimhan   | 62                                          |
| 9             | Kale       | 20                                          |
| 10            | Kuluncak   | 68                                          |
| 11            | Pütürge    | 88                                          |
| 12            | Yazıhan    | 32                                          |
| 13            | Yeşilyurt  | 38                                          |
| <b>Toplam</b> |            | <b>604</b>                                  |

#### 4.3 Malatya İli İçme Suyu Temin Sistemlerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması Amacıyla Yapılan Çalışmalar

Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla yapılan çalışmalar şöyle özetlenebilir:

- Uygun ekipmanların seçimi,
- Arızalara müdahale ve önleyici bakım,
- SCADA sistemi ile elde edilen kazanımlar,
- RTU ve GSM teknolojisi ile elde edilen kazanımlar,
- Kuyuönü Hidroelektrik Santrali

- f) Yapraklı Hidroelektrik santrali,
- g) Yaka Mahallesi ve MASKİ Ana Bina Güneş Enerjisi Santralleri (GES).

#### **4.3.1 Uygun ekipmanların seçimi**

İçme suyu temin sistemlerinde en uygun ekipman seçilerek fazla enerji tüketiminin önüne geçilebilir. Bu hususta özellikle sondajlardaki motor ve pompaların özellikle basma yüksekliği ve akışkan debisi yanında diğer kriterleri göz önünde bulundurarak en verimli motopomp seçimi yapılmaktadır. Motopomplar temin edilirken akredite laboratuvarlarda verim testleri yapıldıktan sonra teslim alınmaktadır. Panolardaki elektrik malzemeleri ve içme suyu temin sistemlerini oluşturan diğer tüm elektrik ve mekanik malzemelerin de en uygun seçim yapılarak montajı yapılmaktadır. Böylelikle fazla enerji tüketiminin önüne geçilmektedir.

#### **4.3.2 Arızalara müdahale ve önleyici bakım**

Su temin sistemlerinde meydana gelen arızalara mümkün olan en kısa sürede müdahale edilerek oluşabilecek enerji kaybı, vatandaşın mağduriyeti vs. problemlerin önüne geçilmektedir. İçme suyu temin sistemlerinde tesislerde meydana gelen elektrik arızalarına, mekanik arızalara, pompa ve motor arızalarına, motor ya da pompa arızasından kaynaklı değişimin gerekli olduğu durumlara hızlı ve planlı bir biçimde müdahale edilerek enerji tüketiminin her zaman dengeli bir biçimde olması sağlanmaktadır. Tesislerde önleyici periyodik bakım yapıp, oluşabilecek arızaların önüne geçilerek verim kaybı önlenmekte ve su temin sistemlerindeki aksaklıkların önüne geçilmektedir. İsale hatlarında meydana gelen kayıp-kaçakların tamirâtı, gerektiğinde hattın yenilenmesi gibi işlemler yapılarak hem su israfının önüne geçilmekte hem de terfi istasyonlarında meydana gelecek enerji kaybı engellenmektedir.

#### **4.3.3 SCADA sistemi ile elde edilen kazanımlar**

SCADA sistemi sayesinde arızalarda önemli oranda bir düşüş gerçekleşmiştir. Enerji maliyeti giderleri %35 azalmıştır. Bu da yatırım maliyetlerinin %70 oranında azalmasına yol açmaktadır. Sistem sürekli olarak takip edilmekte ve sistemden gelen uyarı ve ikazlar anında arızanın muhatabı olan arıza ekiplerine haber verilmektedir. Tespit edilen bölgeye hızlıca gidilerek arızaya ve sızıntıya anında müdahale edilip, yaşanan problem en kısa sürede çözüme kavuşturulmaktadır. Böylelikle, hem iş gücü hem de maliyet açısından ciddi bir kazanç sağlanmaktadır.

#### **4.3.4 RTU ve GSM teknolojisi ile elde edilen kazanımlar**

Bu SCADA sisteminde 16 adet giriş-çıkışlı PLC, RTU'da 6 adet giriş-çıkışlı PLC kullanıldığı için SCADA sistemi kadar teferruatlı olmasa da enerji yönetimi anlamında kazanımları vardır. Özellikle SCADA panosuna göre daha az maliyetlidir. Bu sistemin kurulu olduğu içme suyu temin sistemlerinde uzaktan arızalara müdahale edilerek iş gücü anlamında tasarruf sağlanabilir. Faz kaybı, elektrik olup olmadığı, sistemin ne zaman çalışıp ne zaman durduğu, depoların su seviye durumu vs. önemli bilgilere bu sistem ile ulaşılabilir. Sistemlerin, motor ve pompaların boş çalışmasına uzaktan müdahale edilerek enerji tüketimi anlamında tasarruf sağlanır. Birçok arızaya ekrandan ulaşabilme imkânı verir. Örneğin 2023 yılında GSM modül sistemi sayesinde Pütürge ilçesinde elektrik tüketiminde %19 civarında bir tasarruf sağlanmıştır.

#### **4.3.5 Kuyuönü hidroelektrik santrali**

Malatya'da içme suyunu sağlayan Gündüzbey kaptaj tesislerinden gelen su ana isale hattından vatandaşların kullanımı için abone bağlantılarına ulaşmakta idi. Bu alanda bulunan kot farkı değerlendirilerek bir HES Projesi planlaması gerçekleştirilmiştir. Bu tesislerden gelen içme suyu il merkezinde Kuyuönü mevkiinde bulunan su deposunda önce enerjiye dönüşmekte, ardından şehir şebekesine sunulmaktadır.

Kuyuönü mevkiinde mevcut içme suyu şebekesi üzerine 3 MW gücünde bir hidroelektrik santrali (Kuyuönü HES) kurulmuş ve santral 2022 yılında elektrik üretmeye başlamıştır. Tesis, tam kapasiteyle çalıştığı zaman tüketime bağlı olarak yaklaşık 25-30 bin hanenin elektrik aydınlatma ihtiyacını karşılayacak bir tesistir. Kuyuönü HES, mevcut ana isale hattı üzerine kurulan, şehir şebekesinden gelen suyun kullanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının maksimum seviyede değerlendirildiği bir tesistir. Trambüslerde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı hatta çoğu santralde üretilerek, trambüs sisteminde kullanılmaktadır.

#### **4.3.6 Yapraklı hidroelektrik santrali**

Yeşilyurt Yapraklı içme suyu tesisinin üzerine 1,13 MW gücünde hidroelektrik santrali (Yapraklı HES) kurulması planlanmış, ihalesi yapılmıştır. Bu proje Malatya içme suyunu sağlayan Gündüzbey Kaptaj Tesislerinden gelen içme suyunun il merkezindeki su depolarında enerjiye dönüştürülmesi projesi kapsamında Kuyuönü HES'den sonraki ikinci HES projesidir. 2024 yılı itibari ile devreye alınması planlanan Yapraklı Su Deposu 1,13

MW Hidroelektrik Santrali Tesisinin devreye alınması ile üretim değeri yıllık olarak 7,000,000 kWh olması planlanmaktadır. Kurulan bu tesisin 4 yıl içerisinde kendini amorti etmesi hedeflenmektedir.

#### **4.3.7 Yaka Mahallesi ve MASKİ ana bina güneş enerjisi santralleri (GES)**

MASKİ, enerji tüketiminin azaltılması için mümkün olan yerlere güneş panelleri ya da farklı sistemler kurup enerji tasarrufu elde etmek için her zaman çaba sarf etmektedir. MASKİ artan enerji maliyetlerini en aza indirmek amacıyla Yeşilyurt ilçesine bağlı Yaka Mahallesinde Güneş Enerjisi Santralleri (GES) kurarak çalışmalarına devam etmektedir (Şekil 4.3). Tesisin tam kapasite çalışmasıyla 17 milyon kWh elektrik üretimi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. 10 MW'lık (1 MW = 1.7 milyon kWh) enerji gücü, MASKİ'nin elektrik ihtiyacının %30'dan fazlasını karşılamaktadır. Aynı zamanda MASKİ'nin ana bina yerleşkesinde de bina çatısında bulunan bir GES sistemi bulunmaktadır (MASKİ, 2024).



**Şekil 4.3:** Yaka Mahallesi Güneş Enerjisi Santrali (MASKİ, 2023).

#### **4.4. Malatya İli İçme Suyu Temin Sisteminde Enerji Tüketiminin Azaltılmasına Yönelik Öneriler**

Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik aşağıdaki önerilerin yapılması uygun bulunmuştur:

- (a) Değişken basınçlı yerlerdeki sistemlerde değişken frekanslı sürücülerin kullanılması,
- (b) Enerji maliyetinin en yüksek olduğu saatlerde pompalamayı önlemek için suyun depolanması,
- (c) Mikro-hidro ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerjilerin kullanımının

yaygınlaştırılması,

- (d) Malatya ilinde RTU-GSM teknolojisi kullanılan tesis sayısının uygulanabilirlik ve enerji tasarrufu çerçevesinde artırılması,
- (e) Henüz çevrimiçi olarak takip edilmeyen tesislerin de çevrimiçi takip edilebilir hale getirilerek SCADA otomasyonuna entegre edilmesi,
- (f) Kuyu suyu takip sisteminin kullanımının yaygınlaştırılması,
- (g) Soft Starter kullanımının yaygınlaştırılması ve bakımlarının periyodik yapılması,
- (h) Hidrolik modelleme ve önleyici bakımın yaygınlaştırılması,
- (i) Aşırı yüklemeyi önlemek için depolama ve dağıtım noktalarının planlanması (Azaltılmış Yük & Debi),
- (j) Güç faktörünü iyileştirmek için kapasitörlerin kullanılması,
- (k) Verimli pompalama yapmak için doğru motopomp seçimi (pompalar ve motorlar),
- (l) Sistem performansı takibi, kıyaslama ve hedefleme,
- (m) Teknolojinin gelişmesi yakından takip edilerek, enerji tüketiminin azaltılması için su temin sistemlerine uygun olan teknolojinin entegre edilmesi.

Malatya ili içme suyu temin sistemi için enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatiflerin değerlendirilmesi Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4:** Malatya ili içme suyu temin sistemi için enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatiflerin değerlendirilmesi.

| <b>Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Teknolojik Alternatifleri</b> | <b>Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Eylemi</b>                                                          | <b>Mevcut Durum / Öneriler</b>                                              |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Yenilenebilir enerji kaynaklarının pompalamada kullanılması      | Rüzgâr veya güneş enerjisi pompalama sistemlerinin kullanımı                                           | Yaka Mahallesi ve MASKİ Ana Bina GES / Kullanımın yaygınlaştırılması        |
| Hidroelektrik geri kazanımı                                      | Mevcut su temin sistemlerine hidrolik türbin ve jeneratörlerin montajı                                 | Kuyuönü HES, Yapraklı HES / Var ise diğer potansiyellerin değerlendirilmesi |
| Basınç ve su kayıpları yönetimi                                  | Basınç düşürme (basınç düşürücü vanalar kullanılarak), boru tamiri veya yenileme, aktif kaçak kontrolü | DMA bölgeleri var / DMA bölgelerinin sayısının artırılması                  |

**Çizelge 4.4 (devam):** Malatya ili içme suyu temin sistemi için enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatiflerin değerlendirilmesi.

| Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Teknolojik Alternatifleri     | Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Eylemi                                                                                                         | Mevcut Durum / Öneriler                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operasyonel optimizasyon                                      | Gerçek-zamanlı enerji izleme                                                                                                                   | SCADA sistemi ile izlenmekte / SCADA sistemi ile kontrol edilmeyen tesislerin SCADA sistemine entegrasyonu                                |
|                                                               | Pompalama sistemlerinin operasyonel optimizasyonu                                                                                              | Çalışmaların yapılması önerilir.                                                                                                          |
| Verimli motor-pompa setlerinin kullanımı                      | Doğru pompa boyutlandırması                                                                                                                    | Seçim parametrelerine uygun pompa ve motor seçimi yapılmaktadır. Bu konu daha özenli yapılırsa enerji tüketimi kontrolü daha iyi yapılır. |
|                                                               | Pompaların sistemin çalışma noktasıyla uyumlu, en verimli pompa veya en iyi verimli çalışma noktasına sahip gerçek pompalar ile değiştirilmesi | Herhangi bir sistemde değişen şartlara bağlı olarak pompa değişimi yapılmaktadır.                                                         |
|                                                               | Aşınmış çarkların değiştirilmesi. Rulmanların, mekanik contaların ve diğer contaların kontrol edilmesi.                                        | Rutin kontroller yapılmaktadır. / Kontroller artırılabilir.                                                                               |
|                                                               | Yüksek verimli motorların kullanılması                                                                                                         | Kullanılmaktadır / Teknolojinin gelişmesi takip edilerek daha yüksek verimli motorlar temin edilebilir.                                   |
| Değişken hızlı motor-pompa setlerinin kullanımı               | Valfler yerine değişken hızlı sürücülerin kullanılması                                                                                         | Özellikle değişken basıncın olduğu sistemlere uygulanabilir.                                                                              |
| Depolama kapasitesinin ve rezervuar işletiminin optimizasyonu | Akış kontrolü ve depolama için tankların kullanımı                                                                                             | Çalışmaların yapılması önerilir.                                                                                                          |
| Optimize edilmiş boru ve şebeke tasarımları                   | Baypas döngülerinin ve diğer gereksiz akışların ortadan kaldırılması                                                                           | Çalışmaların yapılması önerilir.                                                                                                          |
|                                                               | Boru çaplarının artırılması                                                                                                                    | Çalışmaların yapılması önerilir.                                                                                                          |
|                                                               | Sistem kapasitesini tanımlamak için aşırı boyutlandırma tasarım parametresi limitlerinde azalmalar                                             | Çalışmaların yapılması önerilir.                                                                                                          |

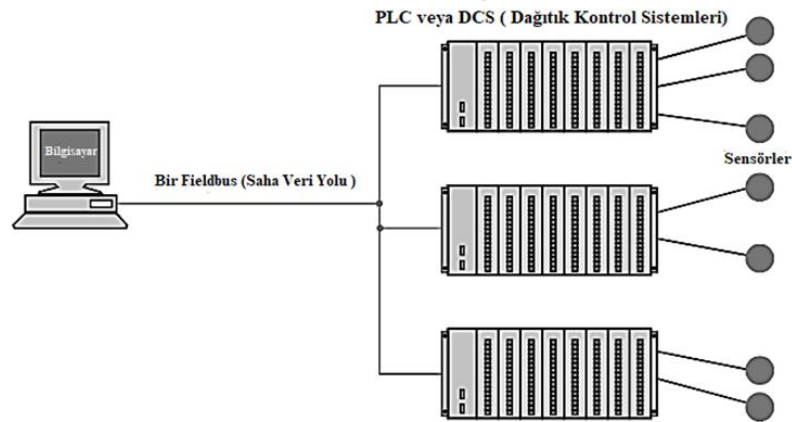
## 5. VERİ TABANLI İZLEME VE KONTROL (SCADA) SİSTEMLERİ

### 5.1 SCADA Sistemlerinin Temel Prensipleri

Modern üretim ve endüstriyel süreçlerde, madencilik endüstrilerinde, kamu ve özel hizmetlerde, eğlence ve güvenlik endüstrilerinde büyük mesafelerle ayrılmış ekipman ve sistemleri birbirine bağlamak için telemetriye sıklıkla ihtiyaç duyulur. Bu birkaç metreden binlerce kilometreye kadar değişebilir. Telemetri, bu uzak konumlardan komutlar, programlar göndermek ve izleme bilgilerini almak için kullanılır (Bailey ve Wright, 2003).

SCADA, telemetri ve veri toplamanın birleşimini ifade eder. SCADA, bilginin toplanmasını, merkezi sahaya geri gönderilmesini, gerekli analiz ve kontrolün yapılmasını ve daha sonra bu bilginin çeşitli operatör ekranlarında veya göstergelerinde görüntülenmesini kapsar. Gerekli kontrol eylemleri daha sonra prosese geri aktarılır (Bailey ve Wright, 2003).

Veri toplamanın ilk günlerinde üretim ve tesis sistemlerini kontrol etmek için röle mantığı kullanılmakta idi. CPU ve diğer elektronik cihazların ortaya çıkışıyla birlikte üreticiler dijital elektronikleri röle mantık ekipmanına dâhil etti. PLC veya programlanabilir mantık denetleyicisi hala endüstride en yaygın kullanılan kontrol sistemlerinden biridir. Tesiste daha fazla cihazın izlenmesi ve kontrol edilmesi ihtiyacı arttıkça PLC'ler dağıtıldı ve sistemler daha akıllı ve boyutları daha küçük hale geldi. PLC'ler ve DCS (dağıtık kontrol sistemleri) Şekil 5.1'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır (Bailey ve Wright, 2003).



**Şekil 5.1:** Fieldbus ve sensör ile PC'den PLC'ye veya DCS'ye bağlantı (Bailey ve Wright, 2003).

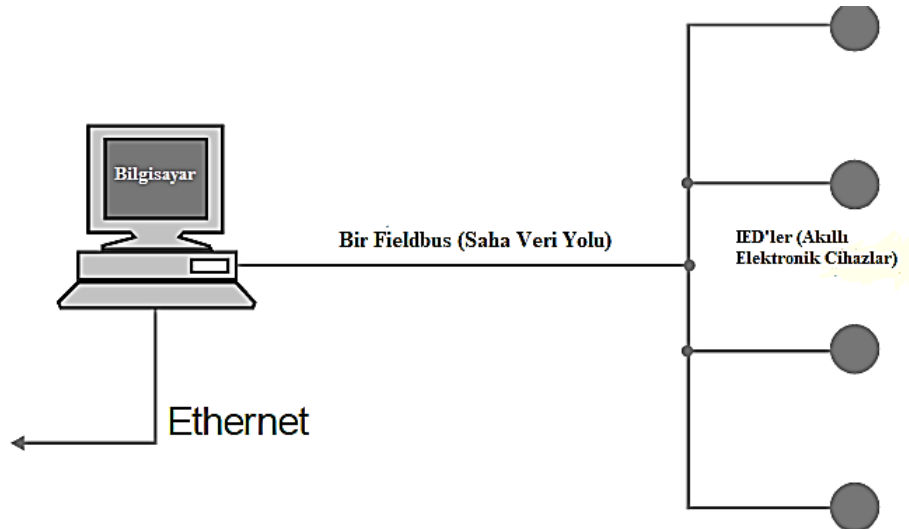
PLC/DCS SCADA sisteminin avantajları şunlardır (Bailey ve Wright, 2003):

- Bilgisayar çok büyük miktarda veri kaydedebilir ve saklayabilir.
- Veriler kullanıcının ihtiyaç duyduğu herhangi bir şekilde görüntülenebilir.
- Sisteme geniş bir alanda binlerce sensör bağlanabilmektedir.
- Operatör gerçek veri simülasyonlarını sisteme dâhil edebilir.
- RTU'lardan birçok türde veri toplanabilmektedir.
- Veriler yalnızca siteden değil her yerden görüntülenebilir.

PLC/DCS SCADA sisteminin dezavantajları şunlardır (Bailey ve Wright, 2003):

- Sistem sensörden panele tipinden daha karmaşıktır.
- Sistem analistleri ve programcı gibi farklı işletim becerileri gereklidir.
- Binlerce sensör varken hâlâ ilgilenilmesi gereken çok fazla kablo bulunmaktadır.
- Operatör yalnızca PLC'ye kadar görebilir.

Daha küçük ve daha akıllı sistemlere olan gereksinim arttıkça sensörler, PLC'lerin ve DCS'lerin zekâsıyla tasarlandı. Bu cihazlara IED (akıllı elektronik cihazlar) adı verilmektedir. IED'ler Profibus, Devicenet veya Foundation Fieldbus gibi bir fieldbus üzerinden bilgisayara bağlanır (Şekil 5.2). Veri elde etmek, diğer cihazlarla iletişim kurmak ve genel programın kendi paylarına düşen kısmını tutmak için yeterli zekâyâ sahiptirler. Bu süper akıllı sensörlerin her birinde birden fazla sensör bulunabilmektedir. Tipik olarak bir IED, analog giriş sensörünü, analog çıkışı, PID kontrolünü, iletişim sistemini ve program belleğini tek bir cihazda birleştirebilir (Bailey ve Wright, 2003).



**Şekil 5.2:** Fieldbus kullanarak PC'den IED'ye bağlantı (Bailey ve Wright, 2003).

PC - IED fieldbus sisteminin avantajları şunlardır (Bailey ve Wright, 2003):

- Minimum düzeyde kablolamaya ihtiyaç vardır.
- Operatör sensör seviyesine kadar görebilir.
- Cihazdan alınan veriler seri numaraları, model numaraları, ne zaman kurulduğu ve kim tarafından kurulduğu gibi bilgileri içerebilir.
- Tüm cihazlar tak ve çalıştır özellikli olduğundan kurulum ve değiştirme kolaydır.
- Daha küçük cihazlar, veri toplama sistemi için daha az fiziksel alan anlamına gelir.

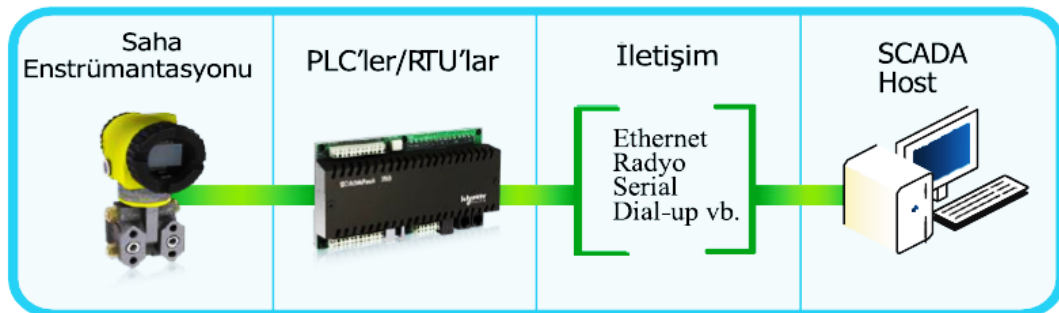
Bir PC - IED sisteminin dezavantajları şunlardır (Bailey ve Wright, 2003):

- Daha karmaşık sistem, daha iyi eğitilmiş çalışanlar gerektirir.
- Sensör fiyatları daha yüksektir (ancak bu, PLC'lerin olmayışı nedeniyle bir miktar dengelenmektedir).
- IED'ler iletişim sistemine daha çok güvenir.

## 5.2. SCADA Donanımı

Bir SCADA sistemi, saha verilerini toplayan ve bu verileri bir iletişim sistemi aracılığıyla ana istasyona geri gönderen bir dizi uzak terminal ünitesinden (RTU) oluşur. Ana istasyon, elde edilen verileri görüntüler ve operatörün uzaktan kontrol görevlerini gerçekleştirmesine olanak tanır (Bailey ve Wright, 2003).

SCADA sistemleri dört düzeyde bileşen/iletişimden oluşur: (a) Saha Enstrümantasyonu, (b) Programlanabilir Mantık Denetleyicileri (PLC) / Uzaktan Telemetri Birimleri (RTU), (c) İletişim / Telemetri Ağları ve (d) SCADA Ana Bilgisayarı (Şekil 5.3). Lokal bir alanda çalışan bir SCADA sistemi de bu bileşenleri içerir.



**Şekil 5.3:** SCADA sisteminin genel bileşenleri (Martyusheva, 2014; Yaralı, 2020).

Daha karmaşık bir SCADA sisteminde esas olarak beş seviye veya hiyerarşi vardır (Bailey ve Wright, 2003):

- Saha düzeyinde enstrümantasyon ve kontrol cihazları,
- Düzenlenmiş terminaller ve RTU'lar,
- İletişim sistemi,
- Ana istasyon(lar),
- Ticari veri işleme departmanlı bilgisayar sistemi.

RTU, her uzak bölgede bulunan analog ve dijital saha sensörlerine bir arayüz sağlar. İletişim sistemi, ana istasyon ile uzak alanlar arasındaki iletişim yolunu sağlar. Bu iletişim sistemi kablolu, fiber optik, radyo, telefon hattı, mikrodalga ve hatta uydu olabilir. Verilerin verimli ve optimum şekilde aktarılması için özel protokoller ve hata tespit felsefeleri kullanılmaktadır. Ana istasyon (veya alt ana istasyonlar) çeşitli RTU'lardan veri toplar ve genellikle bilgilerin görüntülenmesi ve uzak alanların kontrolü için bir operatör arayüzü sağlar. Büyük telemetri sistemlerinde, alt ana alanlar uzak bölgelerden bilgi toplar ve kontrol ana istasyonuna geri dönüş görevi görür (Bailey ve Wright, 2003).

### **5.2.1 Saha enstrümantasyonu**

SCADA sisteminin yapısını oluşturan ve ayrılmaz bir parçası olan saha enstrümantasyonu, kontrol edilen ve izlenen sistemin saha elemanlarına bağlanan sensörler ve çeşitli mekanizmalardır. Saha enstrümantasyonu sistemin hız, basınç, seviye gibi elektriksel parametrelerini ölçerek bunları uzaktan izleme ve kontrol üniteleri adı verilen RTU'lar yardımıyla elektrik sinyallerine dönüştürür (Endüstri Okulu, 2024). Birçok endüstriyel proseste enstrümantasyon otomatik hale getirilerek operasyonel değişikliklere veya anormal olaylara yanıt verme süresi kısaltılır. Ancak otomatik veya gelişmiş enstrümantasyon, uygun bilgi ve eğitim gerektirir. Saha enstrümantasyonunun yerleştirileceği lokasyona ve ortama göre tasarlanması gerekmektedir. Enstrümantasyonun zorlu ortamlarda çalışmaya devam etmesi gerektiğinden çevresel koşullar da dikkate alınmalıdır. Bazı durumlarda tasarlanan enstrümantasyon muhafaza gerektirerek gelecekteki bakım maliyetlerini artırır. Bir diğer önemli gereklilik ise elektromanyetik uyumluluk (EMC) standartlarına uygunluktur. Tasarlanan ekipmanın çevreye veya diğer elektrikli cihazlara olumsuz etkisi olmamalıdır (Martyusheva, 2014).

### 5.2.2 PLC/RTU'lar

SCADA sisteminde cihazları uzaktan kontrol etme ve etkinleştirme, PLC'ler ve RTU'lar kullanılarak yapılır. Saha cihazları, bu bilgileri işlemeyen veya cihazları kontrol etmeden bilgileri SCADA ana bilgisayarına aktaran RTU'ya bağlanır. Enstrümantasyon PLC'ler kullanılarak kontrol edilir. Günümüzde RTU, ilave kontrol programlama yetenekleriyle PLC'lere benzer şekilde çalışmaktadır. PLC'lerin/RTU'ların enstrümantasyonun yakınına yerleştirilmesi gerekebileceğinden çevre koşullarını akılda tutmak da önemlidir (Martyusheva, 2014).

Tipik RTU donanım modülleri şunları içerir (Bailey ve Wright, 2003):

- Kontrol işlemcisi ve ilgili hafıza,
- Analog girişler,
- Analog çıkışlar,
- Sayaç girişleri,
- Dijital girişler,
- Dijital çıkışlar,
- İletişim arayüz(ler)i,
- Güç kaynağı,
- RTU rafı ve muhafaza.

Modern RTU, aşağıdakiler gibi birden fazla iletişim ortamını yönetebilecek kadar esnek olmalıdır (Bailey ve Wright, 2003):

- RS-232/RS-442/RS-485
- Çevirmeli telefon hatları/özel sabit hatlar,
- Mikrodalga/MUX,
- Uydu,
- X.25 paket protokoller,
- Ana hat/VHF/UHF/900 MHz üzerinden radio.

### 5.2.3 Uzaktan iletişim ağı

Uzaktan iletişim ağı çok önemli bir bileşendir ve bir SCADA sisteminin ne kadar başarılı olduğunu tanımlar. Saha enstrümantasyonu ve PLC'ler/RTU'lar sahada bulunurken SCADA ana bilgisayarı ofis veya kontrol merkezinde bulunur. Uzaktan iletişim ağı, toplanan bilgileri iletebilmeli ve herhangi bir operasyonel değişikliğe yanıt olarak enstrümantasyonu kontrol edebilmelidir (Martyusheva, 2014). SCADA sistemindeki birimlerin birbirleriyle haberleşebilmesi için bir iletişim hattına ihtiyaç vardır. İki tür iletişim hattı vardır: kablolu iletişim ve kablosuz iletişim. Kablolu iletişim hatlarına örnek olarak fiber optik hatlar ve enerji hatları verilebilir. Diğer iletişim türlerine örnek olarak modem, radyo vericisi vb. verilebilir. SCADA sistemi ile haberleşmek için birden fazla haberleşme ünitesi kullanılabilir (Endüstri Okulu, 2024).

### 5.2.4 SCADA ana bilgisayarı

SCADA sisteminin son bileşeni, ana terminal ünitesi olarak da adlandırılan, grafiksel gösterimler, alarmlar ve trendlerden oluşan SCADA ana bilgisayarıdır. Geleneksel olarak bu bilgiler operatörlerin, mühendislerin ve teknisyenlerin kullanımına açıktır. Bu ağ ve geniş veri tabanı, bakım yapmak ve veri arayüzünü ve erişimi izlemek için eğitimli personel gerektirir (Martyusheva, 2014). Ana terminal biriminin görevleri şu şekilde sıralanabilir (Endüstri Okulu, 2024): (a) Toplanan veriler yorumlanır ve yazılım programı oluşturulur; (b) Verilerin yorumlanmasıyla sonuç elde edilir ve bu sonuca göre komut gönderilir; (c) İzlenen değerlerde bir değişiklik olduğunda alarm (uyarı) oluşturur; (d) Oluşturulan alarmlar kullanıcıya gönderilir; (e) RTU'lardan veri toplar; ve (f) Toplu verileri rapor eder.

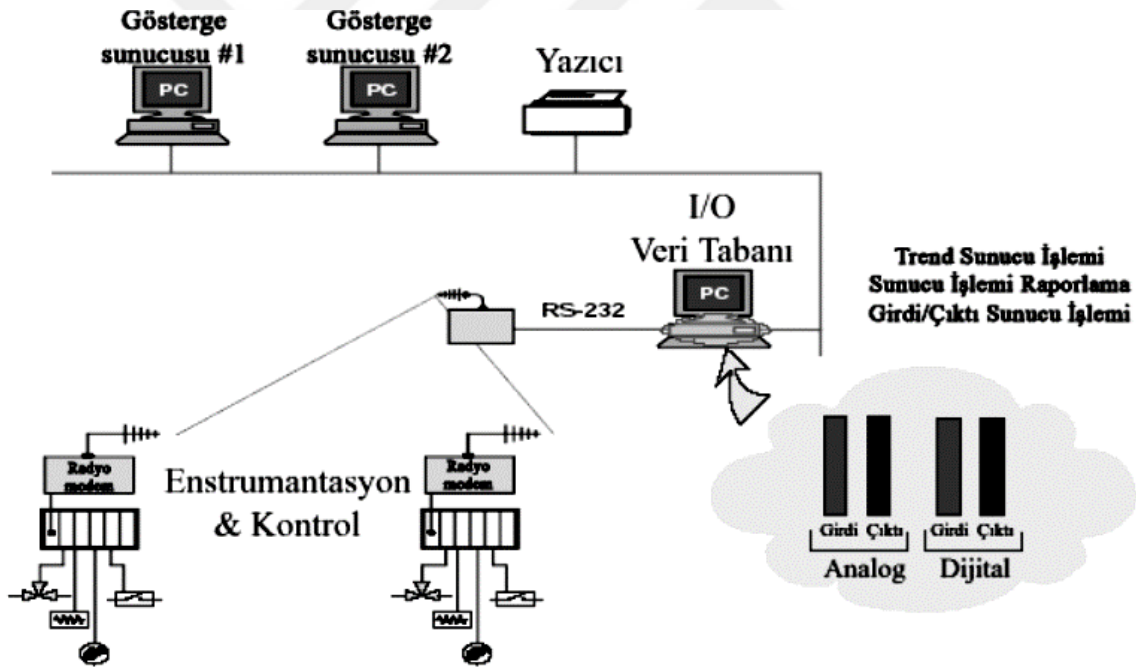
Merkezi site/ana istasyon, modem ve radyo alıcısı/vericisinden oluşan bir iletişim sistemine bağlı bir veya daha fazla operatör istasyonuna (bir yerel alan ağı ile birbirine bağlanmış) sahip olarak resmedilebilir. Radyo sistemi yerine sabit hat sisteminin kullanılması mümkündür, bu durumda modem doğrudan sabit hat ile arayüz oluşturacaktır. Normalde ana istasyonlara doğrudan bağlı giriş/çıkış modülleri bulunmaz, ancak ana kontrol odasının yakınında bir RTU bulunabilir. Kullanılması gereken özellikler şunlardır:

- RTU'ların durumunu görüntülemek ve operatör kontrolünü etkinleştirmek için operatör arayüzü
- RTU'lardan gelen verilerin günlüğe kaydedilmesi
- RTU'dan gelen verilerin alarma geçirilmesi

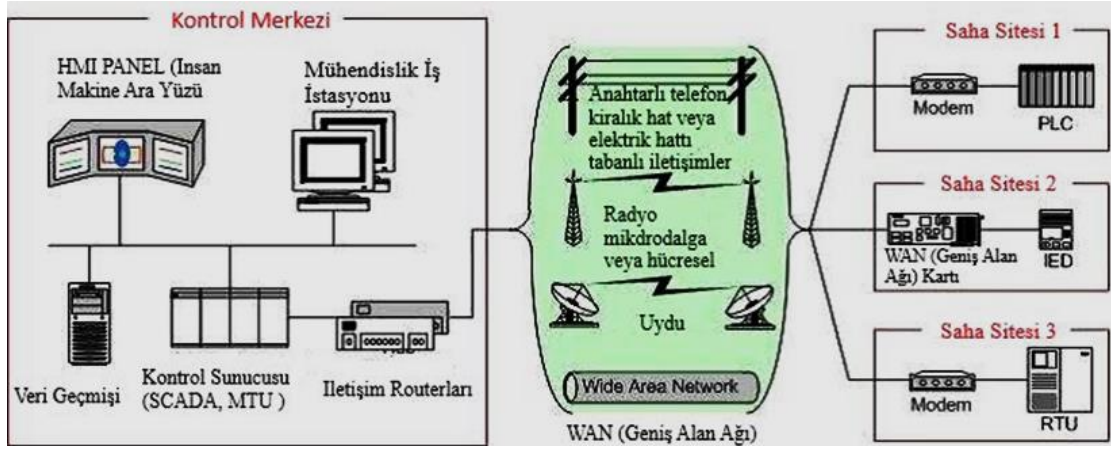
### 5.3. SCADA Yazılımı

SCADA yazılımı tescilli ve açık olmak üzere iki türe ayrılabilir. Şirketler donanımlarıyla iletişim kurmak için özel yazılımlar geliştirir. Bu sistemler ‘anahtar teslimi’ çözümler olarak satılmaktadır. Bu sistemin temel sorunu, sistemin tedarikçisine olan aşırı bağımlılıktır. Açık yazılım sistemleri, sisteme getirdikleri birlikte çalışabilirlik nedeniyle popülerlik kazanmıştır. Birlikte çalışabilirlik, farklı üreticilerin ekipmanlarını aynı sistem üzerinde karıştırma yeteneğidir (Bailey ve Wright, 2003).

**Citect** ve **WonderWare**, SCADA sistemleri için piyasada bulunan açık yazılım paketlerinden sadece ikisidir. Bazı paketler artık SCADA sistemine entegre varlık yönetimini de içermektedir (Bailey ve Wright, 2003). Bir SCADA sisteminin tipik bileşenleri Şekil 5.4’te gösterilmiştir. En çok kullanılan **SCADA** yazılımlarına örnek olarak; **WinCC**, **Citect**, **ICONICS**, **iFIX**, **Indusoft**, **Entivity Studio** verilebilir (Elektrik Port, 2015).



Şekil 5.4: Tipik SCADA sistemi (Bailey ve Wright, 2003).



**Şekil 5.5:** SCADA sistemi genel yerleşimi (Stouffer ve diğ, 2006; Imam ve diğ, 2016)

SCADA yazılımının temel özellikleri şunlardır:

- Grafik ekranlar,
- Alarmlar,
- Trendler,
- RTU (ve PLC) arayüzü,
- Ölçeklenebilirlik,
- Verilere erişim,
- Veri tabanı,
- Ağ oluşturma,
- Hata toleransı ve artıklık,
- İstemci/sunucu dağıtılmış işleme.

Bu, belirli SCADA sistemi satıcısı tarafından bir araya getirilen ve daha sonra belirli bir kullanıcı tarafından yapılandırılan yazılımı ifade eder. Genel olarak dört ana modülden oluşur:

- Veri toplama
- Kontrol
- Arşivleme veya veritabanı depolama
- İnsan makine arayüzü (MMI)

## 5.4 SCADA Standartları ve Protokolleri

SCADA sistemi içerisinde iletişim yollarına dağıtılmış kontrol sistem ögeleri ve Uzak Terminal Birimlerinin haberleşebilmeleri belirli standartlar ve iletişim protokolleri sayesinde gerçekleşir. Ayrıca sistemde kullanılan her bir sensör ve aktüatör özel protokole sahiptir. Sensörlerin ve aktüatörlerin tasarım ve üretim özellikleri, özel endüstriyel elemanların (vana, ölçüm ekipmanları gibi) mühendislik ihtiyaçlarıyla ilgilidir. Ekipmanların güvenlik toleransı, ölçüm aralıkları, çevresel önlemler gibi parametreler tipik olarak ISO ve IEC tarafından yayınlamıştır. RTU'ların tasarım ve programlarına ait genel standartlar, IEC'nin iki çalışma grubu olan "Endüstriyel Proses Ölçüm ve Kontrol Grubu" ile "IT Uygulama Grubu", tarafından geliştirilmiştir (Gündoğdu ve Şahin, 2008).

SCADA sistemlerinde kullanılan bazı temel protokoller aşağıda verilmiştir:

- IEC-60870-5-101 (T101),
- DNP3 (Distributed Network Protokol,
- HDLC (High Level Data Link Control),
- MODBUS,
- Profibus protokolü.

## **6. SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SCADA KULLANILMASI**

SCADA, denetim, kontrol ve veri toplamayı kapsayan bir teknolojidir. Tüm sistemin veya bir kısmının uzaktan izlenmesine ve kontrol edilmesine olanak tanır ve işletme ve bakım için gerekli olan alarmları, raporları, grafikleri veya diğer çıktıları oluşturmak için bilgileri işler. Su temini sistemlerinde SCADA, su kaynağından müşterinin musluğuna kadar, iletim boruları, arıtma tesisleri, tanklar ve dağıtım ağları da dahil olmak üzere çok çeşitli ekipman ve süreçleri izleyebilir ve kontrol edebilir. Kentsel su döngüsünde, atık su ve yağmur suyu sistemlerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla da SCADA sistemleri kullanılabilmektedir.

Bu bölümde, su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanılmasına ilişkin literatür tarama sonuçları verilmiştir. İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde gerçek zamanlı izleme ve su temin/dağıtım kontrol sistemi için uygun olan enstrümantasyonlar belirlenmiş, SCADA sisteminin kullanılmasının faydaları açıklanmıştır.

### **6.1 Literatür Taraması**

Büyük ve karmaşık bir su temin sisteminin yönetimi büyük bir iştir. Günümüzde, tecrübeleri ve yargıları olan vasıflı personel, müşterilerin ihtiyaç duyduğu hizmet seviyesini sağlamak için pompa ve vanaların çalışmasını kontrol edebilmektedir. Bununla birlikte, su dağıtım ağının artan karmaşıklığı ve kullanıcı talebine bağlı belirsizlik, uygun bir alternatif olarak optimal kontrol sisteminin (OCS) uygulanmasına yol açmıştır (Leon ve diğ, 2000).

SCADA coğrafik olarak geniş alana yayılmış su temin ve dağıtım sistemlerinde izleme ve kontrol fonksiyonlarını yerine getiren, sahadaki olaylara anında tepki verebilen geniş veri tabanlı bilgisayar sistemi olarak tanımlanmaktadır. SCADA sistemleri dağıtımda kullanılan şebeke hatları, vanalar, depolar ve pompa istasyonlarında kurulu olan sensörlerden bilgi toplamak, operatörler tarafından istenen kumanda işlemlerini uzak terminaller aracılığıyla gerçekleştirmek ve istasyonlardan alınacak ölçümlerle ilgili istatistiksel bilgiler elde etmek için kullanılmaktadır (Akıllı ve Özasan, 2017).

### **6.1.1 Dünyada su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanılmasına ilişkin araştırmalar**

Yurt dışında içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanılmasına ilişkin çok sayıda araştırmalar yapılmakta ve çeşitli ülkelerin su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır (Cardoso ve diğ, 2002; Barry, 2007; Dobriceanu ve diğ, 2008; Stancel ve diğ, 2008; Maity ve diğ, 2013; Rajasekhar ve diğ, 2013; Pabi ve diğ, 2013; Temido ve diğ, 2014; Bande ve Bande, 2016; Imam ve diğ, 2016; Adrian-Lucian ve diğ, 2017; Zimoch ve Bartkiewicz, 2017; Aburawe, 2019; Papoutsidakis ve diğ, 2019).

Gellings'e göre, SCADA sistemlerinin kullanımından elde edilecek potansiyel tasarruf, toplam su temin sistemi enerji tüketiminin %10 ila %20'si arasındadır. Sistemin otomatik hale getirilmesiyle verimlilik artar ve maliyetlerde azalma meydana gelir (Coelho ve Andrade-Campos, 2014).

SCADA, su temin sisteminde, saha cihazları kullanılarak, su debileri ve basınçları, vana ayarları, depo saklama seviyeleri ve pompa çalışma durumları gibi verileri toplamak için kullanılır. SCADA'nın verileri, enerji tüketimini en aza indirmek için pompaların çalışma durumlarının optimum parametrelerini belirlemek amacıyla kullanılabilir. Bu veriler gerçek zamanlı olarak analiz edilip pompaların ve vanaların çalışma parametreleri kontrol edilirse tüm su temin sistemi en yüksek verimlilik seviyesinde çalışabilir. Bu eylemlerle su tesisleri %5 ila %10 arasında enerji tasarrufu sağlayabilir (Pabi ve diğ, 2013; Bande ve Bande, 2016; Zimoch ve Bartkiewicz, 2017).

Cardoso ve diğ. (2002) kentsel su temin sistemlerinin çevrimiçi operasyon yönetimi için yüksek düzeyde dağıtılmış bir SCADA platformunun hem mimarisine hem de altında yatan teknolojilere bir yaklaşım sunmuş, sistem İsviçre'nin Martigny şehir şebekesine uygulanmış ve test edilmiştir.

Dobriceanu ve diğ. (2008) su dağıtım istasyonlarındaki teknolojik parametrelerin izlenmesi ve kontrolü için, pompalama sisteminin optimum işleyişine, ekipman ve tesislerde güvenlik ve dayanıklılığın artmasına olanak sağlayacak ve böylece verimli enerji kullanımı ve içilebilir suyun optimum yönetimi elde edilmesini sağlayacak bir SCADA sistemi geliştirmiştir. Geliştirilen SCADA sistemi, Craiova'da uygulanan su temini parametreleri için karmaşık bir izleme ve kontrol sistemidir.

Stancel ve diğ. (2008) su dağıtım şebekesi için uzak terminal ünitelerini, geniş bir coğrafi alana dağıtılmış özel transdüserleri, aktüatörleri ve pompa istasyonları için kontrol ve güç panellerini içeren PLC ve SCADA sistemlerini kullanmışlardır.

Maity ve diğ. (2013) tarafından SCADA bazlı komple bir su temin sistemi önerilmiş ve geniş bir su şebekesi sınıfına uygulanabilir olan sistemin simülasyonla diğer sistemlerden daha etkili olduğu gösterilmiştir.

Rajasekhar ve diğ. (2013) Vijayawada Municipal Corporation (Andhra Pradesh, India) için SCADA kullanan etkin bir su dağıtım sistemi tasarlamıştır. SCADA prosesini başarı ile gerçekleştirmek için debimetre, seviyemetre, klor analizörü, Intelligent Electronic Devize (IED) ve Front End Processor (FEP) kullanılmıştır.

Bir su temin sistemindeki parametrelerin izlenmesi ve kontrolü için bir SCADA sisteminin örnek olay incelemesi sunulmuştur (Bande ve Bande, 2016). Çalışmada Doğu Makedonya'da bulunan küçük bir şehrin su şebekesindeki parametrelerin izlenmesi ve kontrolü için bir SCADA sistemi mimarisi önerilmiştir. Önerilen sistemin, pompalama sistemlerinin optimum şekilde çalışmasına, ekipman ve tesisatın güvenliğine ve verimli su kullanımına olanak sağladığı vurgulanmıştır.

Imam ve diğ. (2016) suyun kaynaktan bazı noktalara dağılımını ve akışını izlemek için radyo telemetri tekniklerine sahip bir SCADA izleme sistemi tasarlamıştır. Suyun kaynağından varış noktasına kadar dağıtımını ve akışını izlemek için verimli SCADA sisteminin kullanılmasının önemi vurgulanmıştır.

Adrian-Lucian ve diğ. (2017) tarafından Timis County'de (Romania) su temin sisteminin SCADA sistemi aracılığıyla uzaktan izlenebilmesini ve kontrol edilebilmesini sağlamak amacıyla su sondajının rehabilitasyonu / ekipmanı / modernizasyonu / otomasyonuna yönelik öneri ve çözümleri içeren bir vaka çalışması sunulmuştur.

Aburawe (2019) tarafından coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve SCADA sistemlerinin genel bir incelemesi ve su hizmetleri yönetimindeki potansiyelleri ve iki sistemden birini ayrı ayrı kullanarak çözülmesi zor sorunları çözmek için birbirleriyle entegrasyon olasılığı sunulmuştur.

Atina şehrinin su şebekesi altyapılarının denetlenmesine yönelik SCADA uygulamaları konusunda bir çalışma yapılmıştır (Papoutsidakis ve diğ, 2019). Su şebekesinin verimli çalışması, teknik yardımın etkin olması ve su şebekesinin denetimi için SCADA sisteminin önemi vurgulanmıştır.

### 6.1.2 Ülkemizde su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanılmasına ilişkin araştırmalar

2014 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yayımlanan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik hükümleri ile belediyelerin su kayıplarına yönelik teknolojik altyapılarını geliştirmeleri hedeflenmiş, bu çerçevede içme-kullanma suyu temin ve dağıtım sistemlerinin yönetimine ilişkin aşağıdaki esas ve ilkeler belirlenmiştir (5. madde):

- a) Su kaynağından temin edilen ve içme-kullanma suyu sistemine verilen su hacminin ve debisinin her bina bağlantısında uygun cihazlar ile sürekli ölçülmesi,
- b) İçme-kullanma suyu sistemindeki kritik noktalarda su basıncının sürekli ölçülmesi ve izlenmesi,
- c) İçme-kullanma suyu temin ve dağıtım sistemi planlarının sayısallaştırılması ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) veri tabanının oluşturulması,
- ç) İdarelerce uygun izleme sistemlerinin (SCADA vb.) kurulması,
- d) Sistemde ana basınç bölgesi ve alt bölgelerin oluşturulması.

2014 yılında yayımlanan Onuncu Kalkınma Planı Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu’nda da su kayıp ve kaçaklarının önemine değinilerek Yönetmelikte olduğu gibi su kayıplarının azaltılması için gerekli veri setlerinin teminini sağlayan bir sistem olan SCADA’nın kullanılması önerilmiştir. Yasal yükümlülükler çerçevesinde Türkiye’de büyükşehir belediyelerinin akıllı su yönetimi araçları ve etkin su dağılımı yöntemleri arasından tercih etmiş oldukları sistemlerden biri SCADA’dır (Akıllı ve Özaslan, 2017).

İller Bankası tarafından yayımlanan “İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname” de SCADA sisteminin, su şebekesinde yer alan ve sisteme dâhil edilen istasyonlarla ilgili olarak hangi ana işlevlerin kontrol merkezinden yerine getirilmesini sağlaması gerektiği ayrıntılı olarak açıklanmıştır (İLBANK, 2013).

Ülkemizde içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanılmasına ilişkin çeşitli araştırmalar yapılmakta ve su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır (Gündoğdu ve Şahin, 2007, 2008; Akıllı ve Özaslan, 2017; Başa ve Kurt, 2017; Şen, 2018; Kurban ve diğ., 2020; Akbal ve diğ., 2020; Songur ve diğ., 2021; Sekmen, 2022).

Gündoğdu ve Şahin (2007) tarafından yapılan bir çalışmada bir su dağıtım sistemi ele alınmış ve bu sistemin kurulacak SCADA'sı için haberleşme altyapıları tasarlanmaya çalışılmıştır. Gündoğdu ve Şahin (2008) tarafından yapılan diğer bir çalışmada şehir suyu şebeke sisteminde kullanılan su dağıtım bileşenleri araştırılmış ve teknik özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. SCADA sistemleri ve temel bileşenleri, bir SCADA sistemi planlaması için gerekli kontrol ekipmanları ve sensörleri ve RTU'ların standart ve teknik özellikleri açıklanmıştır. Dört adet motor-pompa ve birçok algılayıcı donanıma sahip bir pompa istasyonu modelinin planlaması yapılmıştır. Model içindeki motor-pompalara kumanda etmek ve algılayıcılardan geri besleme bilgilerini almak için mikroişlemci tabanlı bir RTU kullanılmıştır.

Akıllı ve Özaslan (2017) büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin kullanılması ile elde edilen kazanımları ve ortaya çıkan sorunları belirlemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerince yayınlanan su kayıpları yıllık raporları, faaliyet raporları ve stratejik planlar incelenmiş, ayrıca yetkili birimlerle iletişim kurulmuştur. Su ve Kanalizasyon İdareleri'nin teknoloji kullanımı ve SCADA uygulaması çerçevesinde elde ettikleri kazanımlar; “veri arşivi”, “tek merkezden kontrol”, “hızlı müdahale” ve “tasarruf-verimlilik” kategorileri altında sınıflandırılmıştır.

Su ve kanalizasyon idarelerinde su ve atıksuyla ilgili akıllı yönetim uygulamaları Tekirdağ örneğinde incelenerek bir değerlendirme yapılmıştır (Başa ve Kurt, 2017). Tekirdağ İli'nde akıllı su yönetimi kapsamında yürütülen çalışmalara yer verilerek, uygulamalarda gelinen nokta ortaya konulmaya çalışılmıştır. Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından gerçekleştirilmekte olan Bilgi İşlem Altyapı Uygulamaları, EBYS (Elektronik Belge Yönetim Sistemi), CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Uygulamaları, Abone Yönetim Sistemi ve SCADA Uygulaması örneklerle anlatılmıştır. Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından gerçekleştirilen akıllı su yönetimi uygulamalarının, hızlı ve kaliteli hizmetin halka ulaştırılmasında etkili bir araç olduğu görüldüğü vurgulanmıştır.

Şen (2018) tarafından içme suyu tesislerinde SCADA sistemlerine sezgisel yaklaşımların uygulanması konusunda bir yüksek lisans tez çalışması yapılmıştır. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ISU Genel Müdürlüğündeki 222 istasyonlu İçme Suyu SCADA sisteminin veri tabanındaki geçmiş verilerden faydalanılarak, SCADA sistemi veri haberleşmesindeki kayıpların oluşması durumlarında, sistemin sürekliliğinin devamı için sezgisel yaklaşımlar kullanıldığında işletme kolaylığı ve sürekliliği sağlanabileceği belirlenmiştir.

Kurban ve diğ. (2020) 4 adet derin kuyusu bulunan İç Anadolu Bölgesindeki bir belediyenin içme suyu temin sisteminin SCADA sistemleri ile uzaktan kontrolü ve pompaların hidrolik analizi konusunda bir çalışma yapmıştır. Dalgıç pompalarla yüzeye çıkartılan yeraltı suyu, 3 kuyu ile doğrudan dağıtım deposuna basılırken farklı bir bölgedeki bir kuyu ile de iki pompalı bir terfi istasyonu ile aynı dağıtım deposuna basılmaktadır. Yapılan çalışma ile kuyular, terfi merkezi ve depoya otomasyon cihazları yerleştirilmiş ve bulut üzerinde çalışan web tabanlı bir SCADA ve Su Yönetimi uygulamasına entegre edilmiştir. Kuyularda yer altı su seviyesi, kuyu çıkış basıncı ve kuyu kolon borusu sürtünmesi dikkate alınarak basma yüksekliği hesaplanmış, anlık debi ve enerji tüketimi ile kuyulardaki pompaların hidrolik verimleri hesaplanmıştır. Terfi pompalarında ise basma yüksekliği; emme ve basma hatlarındaki anlık basınç değerleri, pompaların anlık debisi, enerji ve güç tüketimleri ile hesaplanmıştır. Böylelikle, içme suyu temin sisteminin hem uzaktan izlenmesi ve yönetimi sağlanmış hem de enerji verimliliği ve hidrolik analize temel teşkil edecek parametreler belirlenmiştir. Ayrıca, belediyenin su ihtiyacı gözetilerek mevcut durum ile olası bir revizyon ile elde edilebilecek kazanımlar da değerlendirilmiştir. İçme suyu temin sistemlerinin SCADA veya su yönetim sistemleri ile izlenmesi ve yönetilmesi sonucu; personelden, arızalardan ve enerjiden tasarruf edilmiştir. Ayrıca olası, depo taşmaları ve boş kalmaları önlenerek hem su verimliliği sağlanmış hem de eskimiş dağıtım şebekelerinin daha uzun süre kullanılabilmesi hedeflenmiştir.

Akbal ve diğ. (2020) tarafından iki kuyu ve bir havuzdan oluşan bir su kuyusu sisteminin kablosuz haberleşme ile otomasyonu yapılmıştır. Su kuyularının otomasyonu için 2 adet PLC ve kablosuz haberleşme için 2 adet Wi-Fi modül kullanılmıştır. SCADA ekranı tasarlanarak uzak mesafelerde kablosuz veri iletimi ile arızaların önlenmesi ve su sürekliliğinin sağlanması için gerekli otomasyon sağlanmıştır.

Songur ve diğ. (2021) tarafından Ankara ili Gölbaşı ilçe sınırlarında oluşturulan bir DMA bölgesinde su kayıp ve kaçak çalışmaları yapılmıştır. SCADA olmadan yapılan iyileştirmelerde sürekli ölçüm yapılmadığı durumlarda su kayıplarının tekrar ettiği, bir yıl ara ile iki farklı periyotta yapılan ölçümlerle fiziki su kayıplarının tekrar aynı seviyelere yükseldiği gözlemlenmiştir. Su kayıplarını sürdürülebilir olarak önlemek için izole edilmiş bir DMA oluşturmanın ötesinde su temininin mutlaka SCADA tarzı bir sistem ile sürekli izlenmesinin son derece önemli olduğu vurgulanmıştır.

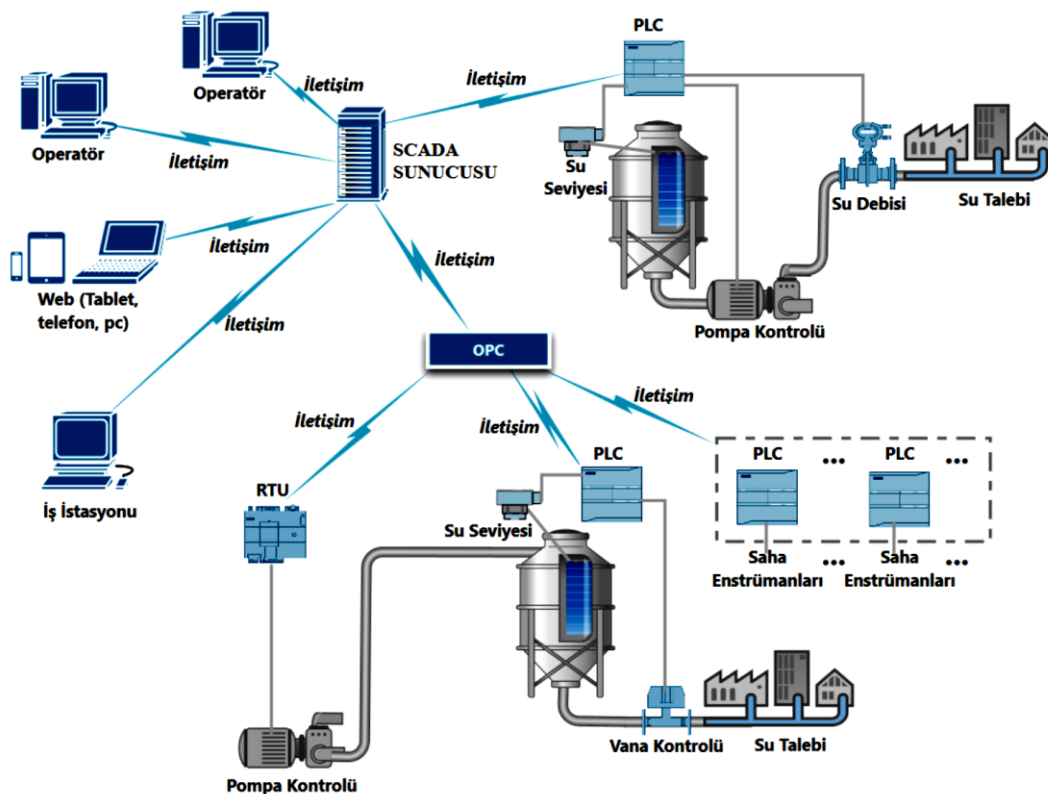
Sekmen (2022) yaptığı doktora tezinde içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik dört ana konuyu incelemiştir: (i) daha yüksek verimli pompalar,

motorlar ve sürücülerin kullanılması, (ii) içme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisinin belirlenmesi, (iii) Yapay Arı Koloni algoritması kullanılarak enerji verimliliği optimizasyonu ve (iv) kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş fotovoltaik enerjisi kullanmanın teknik ve ekonomik fizibilitesi. Araştırma sahası olarak Kayseri Germiraltı içme suyu kaptaj alanı seçilmiştir. Kaptaj alanında kullanılan tüm sondaj kuyularında yapılacak dalgıç pompa revizyonları ile önemli enerji tasarrufu oluşacağı belirlenmiştir. Toplama deposu seviyesinin artması birim enerji tüketimini ve birim maliyeti azaltmıştır. Pompalar yapay arı kolonisi algoritması yöntemi ile işletildiğinde enerji verimliliğinde önemli kazanımlar elde edilmiştir. Kentsel su temin sistemlerinde güneş PV enerjisi ile dalgıç pompaların enerji ihtiyacını karşılamanın ekonomik olarak rekabetçi olduğu belirlenmiştir.

## **6.2 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Kullanılması**

İçme suyu tesislerinde SCADA sistemi şu özelliklerde olmalıdır [36]: (a) SCADA sistemi, sistemde alarm durumu oluştuğunda, merkezdeki operatörü uyarmalı ve operatörün gerekli önlemleri almasına imkân tanınmalıdır. (b) SCADA sistemi, mevcut pompa istasyonlarını, mevcut ve yeni yapılan depoları, hidrolik model ile optimum sistem tanımlamasında çıkabilecek yeni depolar ile bölgesel ölçüm alanı ekipmanlarını kapsayacak şekilde inşa edilmelidir. (c) Yeni yapılan su depolarına ve mevcut depolara su seviyesi ölçümü için gerekli alet ve ekipmanlar tasarlanarak yerleştirilmelidir. Pompalar bu seviye sensörlerinden aldıkları bilgilere göre çalışmalıdır. (d) Depo çıkışlarındaki debiler ölçülmelidir. (e) Yeni ve mevcut depolarda, giriş/çıkış hatları üzerinde aktüatörlü vanalar yerleştirilmeli ve kontrol SCADA merkezinden yapılmalıdır. (f) Yeni yapılan pompa istasyonlarında, pompa ve motorlara ait veriler (voltaj, akım, güç, sıcaklık vb.) SCADA merkezine aktarılmalı ve bu pompaların çıkışlarında bulunan aktüatörlü vanalar SCADA sistemi tarafından kontrol edilmelidir. (g) Pompa istasyonları ile depolar arasında haberleşme sistemi sağlanmalı ve SCADA sistemine entegre edilmelidir. (h) SCADA sistemi tüm ekipmanları ile (kontrol merkezi donanım ve yazılımı, istasyonlardaki RTU'lar ve haberleşme sistemi) kurulmalıdır. (i) Şebekenin kritik noktalarında (rögar ve ölçüm odalarının yapılması, bakiye klor ölçümü, debimetre ve basınç transdüserlerinin temini ve montajı, elektrik beslemesinin yapılması, RTU ve haberleşme donanımının kurulması) ölçüm noktaları tesis edilmelidir. Tüm bu gereksinimler önemli teknik zorluklar içermektedir ve sistemin maliyetini artırmaktadır.

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde kullanılan en yaygın kontrol otomasyonu türü SCADA sistemidir. İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde su temin kaynaklarından, suyun tüketicilere ulaştırılmasına kadarki süreç SCADA sistemi ile izlenerek kontrol edilebilmektedir. Aynı zamanda suyun kanalizasyon sisteminden akışı ve deşarja kadar olan süreci SCADA ile takip edilebilmektedir. Ayrıca içme suyunun fiziksel ve kimyasal parametreleri de (depo seviyeleri, basınç, bulanıklık, klor, pH vb.) izlenebilmektedir. SCADA, su depolarının mevcut hacimleri, su seviyeleri, su depolarından dağıtım şebekesine verilen su miktarları, motor ve vanaların durum pozisyonları, terfi istasyonlarındaki hat basınç değerlerini merkezden izleme ve anında müdahale edebilme imkânı sağlamaktadır. Şekil 6.1’de bir su temin sistemi SCADA mimarisi örneği gösterilmiştir.



**Şekil 6.1:** Su temin sistemi SCADA mimarisi örneği (Yaralı, 2020).

Su kaynakları, pompa istasyonları, arıtma tesisleri, rezervuarlar ve su dağıtım ağını içeren su temin ve dağıtım tesislerinde SCADA sistemi aşağıdaki işlevleri yapmak amacıyla kullanılır (Aburawe, 2019):

- (a) İhtiyaç duyulan performansa sürekli erişimin sağlanması için operasyonel süreçlerin izlenmesi ve kontrolü.
- (b) Sistemi tek bir merkezi konumdan çalıştırmak ve otomasyon yoluyla operasyonlar için ihtiyaç duyulan insan gücüne bağımlılık düzeyini azaltmak.
- (c) Varlık yönetimine yönelik etkili prosedürler yoluyla sistem davranışı ve performansı hakkında veri sağlamak.
- (d) Erişim sağlanabilecek operasyonel hedeflerin gelişimini izlemek için bir sistem sağlamak.
- (e) Arızaların merkezi bir lokasyondan uzaktan teşhis edilmesini sağlayacak bir uyarı sistemi sağlamak ve bu sayede bakım işlemlerini zamanında yürütmek üzere uzman bir ekip göndermek.

Bir su/temin dağıtım SCADA sistemi iki temel işlev görmektedir. Birinci temel işlev, depolardaki seviyelerin, pompa istasyonları ve su dağıtım depolarının çıkışlarındaki debi ve basınçların izlenmesi, klorlama prosesinin kontrolü vb. gibi su temin/dağıtım sistemi için izleme, alarm verme ve raporlama fonksiyonlarını içermektedir. İkinci temel işlev ise su temin/dağıtım sisteminin manuel/otomatik çalışmasını içermektedir (Bande ve Bande, 2016).

Bir su temin/dağıtım SCADA sistemi temel olarak; sahada bulunan kontrolörler (PLC, RTU), seviye sensörleri, debimetreler, vana aktüatörleri, sürücüler, enerji analizörleri, basınç ölçerler, klorlama cihazları vb. gibi bir veya daha fazla saha veri arabirim cihazından oluşan bir sistemdir. Sahada bulunan PLC'ler sensörler ve diğer veri arabirim cihazlarından topladıkları verileri işleyerek lokal olarak ekipmanları kontrol edebilmelerinin yanı sıra, topladıkları verileri bir merkez sunucuya gönderebilir ve merkez sunucudan veri alabilirler. Bir SCADA ara yüzü kullanılarak merkez sunucuda toplanan veriler görselleştirilerek sistemin anlık olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi sağlanır (Walski ve diğ, 2007; Küçük 2020)

### 6.3 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Bileşenleri

İller Bankası tarafından yayımlanan “İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname” ye göre SCADA Sistemi, su şebekesinde yer alan ve sisteme dâhil edilen istasyonlarla ilgili olarak, aşağıdaki ana işlevlerin kontrol merkezinden yerine getirilmesini sağlamalıdır (İLBANK, 2013):

- a) Vana ve pompa motorlarının konumlarının izlenmesi (açık-kapalı, çalışıyor-duruyor-arızalı),
- b) Vana ve pompa motorlarına kumanda edilmesi (aç-kapa, çalış-dur),
- c) Depo su seviyelerinin izlenmesi, alçak ve yüksek su seviyesi alarmlarının verilmesi,
- d) Belirli noktalardaki basınçların izlenmesi ve alçak ve yüksek basınç alarmlarının verilmesi,
- e) Tespit edilen noktalardaki su akışının (debi) ve geçen su miktarının izlenmesi,
- f) Şebekede en uzak noktalarda su kalitesinin izlenmesi, gerektiğinde klor dozaj pompalarının otomasyonunun yapılması,
- g) Pompaların su talebine göre (depo seviyelerinden takip edilecek) çalıştırılması,
- h) Pompa istasyonlarındaki elektriksel verilerin (akım, gerilim, enerji tüketimi gibi) izlenmesi ve normal olmayan değerler için alarm verilmesi,
- i) İstasyonlardan elde edilen verilerin saklanması, grafik ve tablolar halinde sunulması.

Sensörler ölçümleri, aktüatörler ise kontrol işlemlerini gerçekleştirirler. Sensörler seviye, basınç, debi, akım, gerilim, sıcaklık, binary durumlar veya bazı dıştan gelen uyarıcı tepkilerini ölçerler. Elde edilen veri sayısal veya örneksel olabilir. Gerçek zamanlı izleme ve su dağıtım kontrol sistemi için uygun olan enstrümantasyonların bazıları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Seviye bilgileri (kullanılan depolar için),
- Debi akış bilgisi (hat üzerinden geçen anlık ve toplam debi değerleri için),
- Basınç bilgileri,
- Suyun kalite ölçümleri (klor, pH, iletkenlik vb.),
- Motor sıcaklık bilgileri,

- Vana pozisyonu,
- Elektriksel değerler (akım, gerilim ve güç),
- Enerji bilgileri (aktif, reaktif),
- Pozisyon bilgileri (açık/kapalı bilgileri).

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemi temel olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır: kontrol merkezi, dış istasyonlar ve kontrol merkezi ile dış istasyonlar arasındaki haberleşme ortamlarıdır. Dış istasyonlar pompa istasyonları, su depoları, arıtma tesisleri, su dağıtım şebekesi ve yardımcı işler için gerekli tesisler vb. birimlerden oluşmaktadır. Dış istasyonlarda şebekenin işletilmesi için gerekli ölçümleri yapan elektronik cihazlar monte edilmektedir. Bu cihazlar yaptıkları ölçümleri iletişim sistemi üzerinden kontrol merkezine ulaştırmaktadır. Kontrol merkezine ulaştırılan bilgiler, burada operatörler tarafından değerlendirilip gerekli işlemler yapılmaktadır. Kontrol merkezindeki bilgisayarlardan, vanalar ve pompalara komutlar (kapama, açma ve çalıştırma, durdurma) gönderilerek bu ekipmanlara kumanda edilmektedir. Dış istasyonlarda yapılan ölçümlerin tamamı kontrol merkezinde anlık olarak izlenmektedir. Bunun yanında anlık olarak görülen değerler bilgisayarlara tarihsel olarak kaydedilmekte ve istenildiği zaman bu değerlere ulaşmak mümkün olmaktadır. Çizelge 6.1’de içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA ile yapılan ölçümler ve işlemler özetlenmiştir. Şekil 6.2 bir içme suyu SCADA’sını göstermektedir.

**Çizelge 6.1:** İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA ile yapılan ölçümler ve işlemler (ASKİ, 2024)

| Dış İstasyon                           | Ölçümler/İşlemler                                                      |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Pompa İstasyonlarında Yapılan Ölçümler | Pompa istasyonu giriş ve çıkış basıncı ölçümü                          |
|                                        | Her zona ait anlık su akımı değerleri takibi                           |
|                                        | Vana pozisyonları kontrolü                                             |
|                                        | İstasyona ve her bir pompaya ait akım, gerilim ve güç değerleri ölçümü |
|                                        | Pompa istasyonu giriş klor değerleri ölçümü                            |
|                                        | Pompa istasyonu güvenlik ve su baskını alarmı takibi                   |
|                                        | Hat basıncı ölçümü, PH ve bulanıklık ölçümü                            |
|                                        | Depodaki su seviyelerinin takibi                                       |
| Su Depolarında Yapılan İşlemler        | Vana pozisyonları kontrolü                                             |
|                                        | Güvenlik ve su baskını alarmı takibi                                   |
|                                        | Pompaların çalışma, dinlenme ve arıza durumlarının takibi              |
| Terfi İstasyonlarında İzlenen Veriler  | Anlık veya toplam debi ölçümü                                          |
|                                        | Enerji analizör bilgisi takibi                                         |
|                                        | Uzak, yakın ve kapalı mod bilgisinin takibi                            |
|                                        | Tüm verilerin kaybedilerek incelenmesi                                 |
|                                        | Barajlardan gelen su debisi ölçümü                                     |
| Arıtma Tesislerinde Yapılan İşlemler   | Şehre verilen su debisi ölçümü                                         |
|                                        | Depolardaki su seviyesinin takibi                                      |



**Şekil 6.2:** İçme suyu SCADA'sı (Başa ve Kurt, 2017)

Bir SCADA yönetim sistemi ile aşağıdaki bileşenlerin yönetimi yapılmaktadır (Sekmen, 2022):

- (a) İçme suyu temin bileşenlerinin yönetimi (derin kuyu, terfi pompa merkezleri, su dağıtım depoları),
- (b) İçme suyu dağıtım bileşenlerinin yönetimi (su şebekeleri, DMA'lar ve basınç kontrol vana (BKV) odaları),
- (c) Klor dozajlama ve bakiye klor ölçüm istasyonları yönetimi,
- (d) Katodik koruma redresörleri ve ölçü kutuları yönetimi,
- (e) Atık su arıtma tesisleri yönetimi,
- (f) Kanal atık su terfi sistemleri yönetimi.

#### 6.4 Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Uygulamasının Faydaları

Su pompalama için uygun şekilde tasarlanmış bir SCADA sistemi, hizmeti iyileştirirken zamandan ve paradan tasarruf sağlar. Pek çok faydadan bazıları şunlardır (Barry, 2007):

- (a) Pompalama işlemine ilişkin eksiksiz bilgilerin gerçek zamanlı olarak sağlanması,
- (b) Pompa çalışmasının güvenilir su temini sağlayacak şekilde otomatik olarak ayarlanması,

- (c) Servis personelinin inceleme, veri toplama veya ayarlamalar için sahaları ziyaret etme ihtiyacının büyük oranda azalması,
- (d) Acil durumlarda merkezi kontrol noktasına alarmlar gönderilmesi,
- (e) Su temin şebekesinde optimum basıncın korunması, böylece servis kesintilerinin en aza indirilmesi ve su darbesinin ortadan kaldırılması,
- (f) Elektrik tüketiminin azalması ve pompa verimliliğinin artması,
- (g) Sorun gidermenin kolaylaştırılması,
- (h) Ekipman ömrünün artması,
- (i) Raporların otomatik olarak oluşturulması.

SCADA sisteminin aşağıda sıralanan yararlarından sıklıkla söz edilmektedir (Ramana, 2013; Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017; Akıllı ve Özaslan, 2017):

- (a) Su kaynaklarının korunması,
- (b) Şebeke üzerinde yapılan debi ve basınç ölçümleriyle kaçak su tespiti,
- (c) Su kayıplarının azaltılması ile üretilen ve temin edilen su miktarının ve maliyetinin azalması (suyun maliyeti içinde su alma, arıtma, terfi vb. tüm masraflar yer almaktadır),
- (d) Gerçek zamanlı, tek bir merkezden, kolay, sürekli izleme ve kontrol,
- (e) Kısa sürede müdahale (suyun boşa akmasının önlenmesi),
- (f) Kirlilik risklerinin azaltılması ve tüketicilere daha kaliteli su ve hizmet verilmesi,
- (g) Sürekli ölçüm sayesinde üretilen ürün ve hizmetin belirli kalite standartlarına uygun olması,
- (h) Tüketicie ulaşan ürün ve hizmetin standartlaşması,
- (i) Halk sağlığının korunması (içme suyu dağıtım şebekesi kaynaklı hastalık risklerinin azalması),
- (j) Sistemin iyileştirilmesi ve modernizasyonu,
- (k) Sistemin verimli çalıştırılması,
- (l) Sistemin kısa sürede kendini amorti etmesi,
- (m) Sabit ve gezici personel sayısının azalması,
- (n) Personelin daha verimli çalışacağı alanlara yönlendirilmesi,

- (o) Elektrik, benzin, su ve ısınma gibi işletme giderlerinden tasarruf,
- (p) Üretilen hizmetin maliyetinin azalması, daha ucuza satılması,
- (q) İhmalden doğan arızaların en aza indirgenmesi, su, enerji, zaman ve ekipman tasarrufu,
- (r) Arıza doğurabilecek durumların önceden algılanarak gerekli önlemlerin otomatik olarak alınması ve ekipmanın korunması, yatırım maliyetlerinin ertelenmesi,
- (s) İşletilen sistemle ilgili istatistiki bilgilerin düzenli ve güvenilir bir şekilde tutulması, üst yönetime hızlı bilgi akışının sağlanması, geçmiş bilgilere erişebilirlik.

İzleme ve komuta sisteminin, kullanıcılara aşağıdakileri sağlayan güçlü bir çalışma aracı sağladığı vurgulanmıştır (Dobriceanu ve diğ, 2008):

- (a) Pompa istasyonlarının işleyişinde üretkenliğin artması;
- (b) Pompaların kumanda edilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması;
- (c) Performans seviyeleri ve su kalitesi iyileştirmeleri;
- (d) Nüfusa su sağlama konusunda sürekli çalışma;
- (e) Teknolojik parametrelerin durumu ve enerji tüketiminin sürekli gerçek zamanlı izlenmesi;
- (f) Teknik analizin ve analiz sonrası ayrıntıların hazırlanmasında kullanıcı yardımı;
- (g) Optimum kararların alınması için karar faktörlerine bilgi sunmak;
- (h) Yönetim için gerekli bilişim akışlarının sağlanması.

Su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin kullanılmasının pek çok faydaları bulunmaktadır. Bu faydalar şöyle kategorize edilebilir (Temido et al., 2014): (a) İşletmede daha fazla etkinlik ve verimlilik; (b) Bakımda daha fazla etkinlik ve verimlilik; (c) Su kayıplarının azaltılması; (d) Satışların ve müşteri ilişkileri yönetiminin iyileştirilmesi; (e) Altyapılarda ilk yatırım maliyetinin ertelenmesi, küçültülmesi veya ortadan kaldırılması; (f) Sistemin güvenilirliğinin ve dayanıklılığının iyileştirilmesi.

## **7. SU VE KANALİZASYON İDARELERİNDE VERİ TABANLI İZLEME VE KONTROL SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI – BÜYÜKŞEHİR BELEDİYELERİ**

Günümüzde, su temin ve dağıtım sistemlerinin işleyişini iyileştirmek için birçok su idaresi, ağın mevcut durumunu tanımlayan ve bu verileri düzenli ve kısa zaman aralıklarında bir kontrol merkezine ileten SCADA sistemlerini benimsemiştir. Bu tür sistemler, operatörlerin dağıtım ağı boyunca basınçları ve akış debilerini izlemesine ve çeşitli kontrol elemanlarını (yani pompalar ve vanalar) merkezi bir konumdan çalıştırmasına imkân verir.

Bu bölümde sunulan çalışmanın temel amacı ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin kullanılma durumlarını belirlemek, etkinliklerini incelemek ve kapsamı genişletecek öneriler sunmaktır. Çalışma yapılırken büyükşehir belediyelerinin faaliyet raporları, performans programları ve stratejik planları incelenmiş, bazı büyükşehir belediyelerinin yetkili birimleri ile iletişim kurulmuştur. Çalışmalar sonucunda, SCADA sistemi kullanan su ve kanalizasyon idareleri belirlenmiş ve bu SCADA sistemlerinin karakteristikleri açıklanmıştır. Su ve kanalizasyon idarelerindeki SCADA faaliyetleri irdelenmiş ve SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımlar belirlenmiştir. Su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA kullanılmasının etkinliklerini artıracak ve kapsamı genişletecek öneriler sunulmuştur.

### **7.1 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Uygulaması**

Ülkemizde 30 büyükşehir bulunmaktadır: Adana, Ankara, Antalya, Aydın, Balıkesir, Bursa, Denizli, Diyarbakır, Erzurum, Eskişehir, Gaziantep, Hatay, Mersin, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Konya, Malatya, Manisa, Kahramanmaraş, Mardin, Muğla, Ordu, Sakarya, Samsun, Tekirdağ, Trabzon, Şanlıurfa, Van. Yapılan araştırma sonucunda 30 büyükşehirin tümünün içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemi kullanıldığı belirlenmiştir. Çizelge 7.1’de ülkemizdeki büyükşehirler, nüfusları, ilçe sayıları ve ilgili su ve kanalizasyon idaresi verilmiştir.

## 7.2 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Kullanılan SCADA Sistemlerinin Karakteristikleri

Su ve Kanalizasyon İdareleri'nde kullanılan SCADA sistemleri farklı karakteristiklere sahip olabilmesine rağmen temel olarak su yönetimine ilişkin aşağıda belirtilenleri sağlayabilirler (Sekmen, 2022):

- (a) İçme suyu temin bileşenlerinin yönetimi (derin kuyu, terfi pompa merkezleri, su dağıtım depoları),
- (b) İçme suyu dağıtım bileşenlerinin yönetimi (su şebekeleri, izole alt bölgeler (DMA) ve basınç kontrol vana (BKV) odaları),
- (c) Klor dozajlama ve bakiye klor ölçüm istasyonları yönetimi,
- (d) Katodik koruma redresörleri ve ölçü kutuları yönetimi,
- (e) Atık su arıtma tesisleri yönetimi,
- (f) Kanal atık su terfi sistemleri yönetimi.

**Çizelge 7.1:** İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanan büyükşehir belediyeleri.

| No | Plaka Kodu | İl            | Nüfus      | İlçe Sayısı | SCADA Mevcudiyeti | Kurum |
|----|------------|---------------|------------|-------------|-------------------|-------|
| 1  | 1          | Adana         | 2 270 298  | 15          | Var               | ASKİ  |
| 2  | 6          | Ankara        | 5 803 482  | 25          | Var               | ASKİ  |
| 3  | 7          | Antalya       | 2 696 249  | 19          | Var               | ASAT  |
| 4  | 9          | Aydın         | 1 161 702  | 17          | Var               | ASKİ  |
| 5  | 10         | Balıkesir     | 1 273 519  | 20          | Var               | BASKİ |
| 6  | 16         | Bursa         | 3 214 571  | 17          | Var               | BUSKİ |
| 7  | 20         | Denizli       | 1 059 082  | 19          | Var               | DESKİ |
| 8  | 21         | Diyarbakır    | 1 818 133  | 17          | Var               | DİSKİ |
| 9  | 25         | Erzurum       | 749 993    | 20          | Var               | ESKİ  |
| 10 | 26         | Eskişehir     | 915 418    | 14          | Var               | ESKİ  |
| 11 | 27         | Gaziantep     | 2 164 134  | 9           | Var               | GASKİ |
| 12 | 31         | Hatay         | 1 544 640  | 15          | Var               | HATSU |
| 13 | 33         | Mersin        | 1 938 389  | 13          | Var               | MESKİ |
| 14 | 34         | İstanbul      | 15 655 924 | 39          | Var               | İSKİ  |
| 15 | 35         | İzmir         | 4 479 525  | 30          | Var               | İZSU  |
| 16 | 38         | Kayseri       | 1 445 683  | 16          | Var               | KASKİ |
| 17 | 41         | Kocaeli       | 2 102 907  | 12          | Var               | İSU   |
| 18 | 42         | Konya         | 2 320 241  | 31          | Var               | KOSKİ |
| 19 | 44         | Malatya       | 742 725    | 13          | Var               | MASKİ |
| 20 | 45         | Manisa        | 1 475 716  | 17          | Var               | MASKİ |
| 21 | 46         | Kahramanmaraş | 1 116 618  | 11          | Var               | KASKİ |
| 22 | 47         | Mardin        | 888 874    | 10          | Var               | MARSU |
| 23 | 48         | Muğla         | 1 066 736  | 13          | Var               | MUSKİ |
| 24 | 52         | Ordu          | 775 800    | 19          | Var               | OSKİ  |

**Çizelge 7.1 (devam):** İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA kullanan büyükşehir belediyeleri.

| No | Plaka Kodu | İl        | Nüfus     | İlçe Sayısı | SCADA Mevcudiyeti | Kurum |
|----|------------|-----------|-----------|-------------|-------------------|-------|
| 25 | 54         | Sakarya   | 1 098 115 | 16          | Var               | SASKİ |
| 26 | 55         | Samsun    | 1 377 546 | 17          | Var               | SASKİ |
| 27 | 59         | Tekirdağ  | 1 167 059 | 11          | Var               | TESKİ |
| 28 | 61         | Trabzon   | 824 352   | 18          | Var               | TİSKİ |
| 29 | 63         | Şanlıurfa | 2 213 964 | 13          | Var               | ŞUSKİ |
| 30 | 65         | Van       | 1 127 612 | 13          | Var               | VASKİ |

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA uygulaması sayesinde iletim noktalarına elektronik sensörler yerleştirilerek aşağıda belirtilen ölçümler anlık olarak yapılabilmektedir:

- (a) Su Depoları: Depodaki su seviyeleri, su giriş ve çıkışlarının yönetimi, giriş ve çıkış su debilerinin anlık takibi, güvenlik ve su baskını alarmı, suyun kalite verileri (bulanıklık, klor, pH, iletkenlik).
- (b) Pompa İstasyonları: Derinkuyu giriş-çıkış basınçları, hat basıncı, anlık su debileri, vana pozisyonları, istasyona ve her bir pompaya ait gerilim, akım ve güç değerleri, pompa istasyonu güvenlik ve su baskını alarmı.
- (c) Ölçüm noktaları: Anlık su debisi, hat basıncı, suyun kalite verileri (bulanıklık, klor, pH, iletkenlik).

Büyükşehir belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdareleri'nde Kurulu bulunan SCADA sistemlerinin karakteristikleri Çizelge 7.2'de verilmiştir.

**Çizelge 7.2: Büyükşehir belediyeleri Su ve Kanalizasyon idarelerinde kurulu bulunan SCADA sistemlerinin karakteristikleri.**

| İl         | SCADA Sistemlerinin Karakteristikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adana      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sisteminde arıtma tesisinde fiber optik yöntemle, arıtma tesisi ve depolar arasında telsizle kontrol ve veri alma sağlanmaktadır.</li> <li>❖ SCADA ile Yapılan İşlemler: Dağıtım odalarından durultuculara debi girişleri; filtre geri yıkamaları; çamur tahliye üniteleri ve çamur susuzlaştırma ünitelerinde seviye ya da akış kontrolü; kimyasal dozlama (klor, demirklorür ve polielektrolit vb.) (ASKİ, Stratejik Plan, 2011-2015).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                |
| Ankara     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ankara merkez ilçe sınırları içinde kalan ve 905 m kotundan artırılmış bir biçimde alınan içme ve kullanma suyu, 7 adet ana pompa istasyonu olmak üzere toplamda 71 adet pompa istasyonu ve 14 adet depo içi terfi pompası vasıtasıyla 1.433 m kotuna kadar yükseltilerek dağıtımı yapılmaktadır. Su depolarından şebeke besleme hattına verilen suyun fazlası yeni devreye alınan depolarla birlikte toplam 814.525 m<sup>3</sup> kapasiteli 142 adet su deposunda biriktirilmektedir. S/3 SCADA yazılımı üzerinden 187 adedi merkezde, 71 adedi ilçelerde olmak üzere toplam 258 noktadan veri akışı sağlanmaktadır (ASKİ, 2022).</li> </ul>                           |
| Antalya    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Antalya kenti içme suyu şebekesi merkez SCADA sistemi 2006 yılında kurulmuştur (ASAT, 2022).</li> <li>❖ SCADA Sistemi Bulunan Bölgeler: Antalya Merkez, Elmalı, Kemer – Kiriş, Kumluca – Kuzca, Manavgat – Belenovası, Akseki – Süleymaniye, Korkuteli – Manay (ASAT, 2022).</li> <li>❖ SCADA Sistemine Bağlı İstasyon Sayıları: 356 adet (Terfi:28, Depo:61, Kuyu:159, Ölçüm:108) (ASAT, 2022)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Aydın      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Aydın’da içme suyu ve atık su SCADA Sistemi 2016 yılında kurulmuştur.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Balıkesir  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 20 ilçenin 1.134 Mahalle, 1.314 Adet Su Deposu, 1.700 Adet Terfi istasyonunda üretilen suyun izleme, raporlama, müdahale, enerji verimliliği ve çalışma kontrolünün SCADA üzerinden takibi sağlanmaktadır (BASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Bursa      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ BUSKİ SCADA Sistemi Kuruluş Tarihi: 2008</li> <li>❖ SCADA ile Yönetilen Sistemler: İçme Suyu SCADA Sistemi, Enerji Üretim Santralleri, Güvenlik Kamera ve Kayıt Sistemi.</li> <li>❖ SCADA Sistemindeki Toplam Tesis Sayısı: 848 adet (İçme suyu depoları:206, Pompa, istasyonları:64, Kuyular:293, Altbölge debi ölçüm istasyonları:194, Toplu su satışı debi ölçüm istasyonları:10, Kaynak suları debi ölçüm istasyonları:33, Yer altı suyu debi ölçüm istasyonları:6, Baraj seviye ölçüm istasyonları: 2, Şebeke vana kontrol istasyonları:16, İçme suyu arıtma tesisi ölçüm noktaları 3, Diğer ölçüm kontrol istasyonları: 21 (BUSKİ, 2022)</li> </ul>                |
| Denizli    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ DESKİ İçme Suyu SCADA Sistemi 2016 yılında kurulmuştur.</li> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Tesisler: İçme suyu depoları:97, Sondaj kuyusu:88, İçme suyu terfi merkezi:13, Hidrofor:3, GES:2, Paket atıksu arıtma tesisi:17, Arıtma terfi tesisi:9, Betonarme atıksu arıtma tesisi:1, İçme suyu ölçüm odası:62, Debimetre:145, Motorlu vana:138, Basınç sensörü:102, Toplam: 681 adet (DESKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Diyarbakır | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ DİSKİ SCADA Sistemi 2006 yılında kurulmuştur.</li> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Merkezler: İçme suyu depoları:11, İçme suyu terfi merkezi:3, Debi ölçüm istasyonları:12, On/Off vana:17, Klor analizör cihazı:3, Bulanıklık analizör cihazı:2, pH analizör cihazı:3) (DİSKİ, 2022).</li> <li>❖ Arıtma tesisinin bütün üniteleri ile su arıtma aşamaları SCADA merkezinden izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Hata veya arıza durumunda anında müdahale edilmektedir. Su kalitesini denetlemek için proseste klor, PH ve bulanıklık analizör cihazları tarafından 24 saat sürekli ölçüm yapılmakta ve SCADA sisteminde izlenmektedir (DİSKİ, 2022).</li> </ul> |
| Erzurum    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Erzurum’da SCADA Sistemi 2015 yılında kurulmuştur.</li> <li>❖ Arıtma Tesisi Sistemi de SCADA ile işletilmektedir.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Eskişehir  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ ESKİ SCADA Sistemi 2008 yılında kurulmuştur.</li> <li>❖ SCADA sistemi güncellenmiştir. 2022 yılında haberleşme sistemleri yenilenerek güncel işletim sistemleri ile uyumlu hale getirilmiştir (ESKİ, 2022).</li> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Noktalar: 13 depo, terfi merkezinin deposu, hatların debi ölçümleri, vanalar ve pompalar, nehir seviyesi ve nehir bulanıklıkları, klor seviyesi ve suyun kalitesi, içme suyu depolarına giren ve çıkan su miktarları (ESKİ, 2024)</li> </ul>                                                                                                                                                                     |

**Çizelge 7.2 (devam):** Büyükşehir belediyeleri Su ve Kanalizasyon idarelerinde kurulu bulunan SCADA sistemlerinin karakteristikleri.

| İl        | SCADA Sistemlerinin Karakteristikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gaziantep | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ GASKİ SCADA sistemi 2009 yılında tamamlanıp devreye alınmıştır.</li> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Noktalar: Şehir içi içme suyu şebekesi depo ve pompa istasyonları ile şebeke vana ve debi kontrollü ölçüm noktaları; Oğuzeli, Araban, Karkamış, Yavuzeli ve İslahiye İlçeleri içme suyu depo ve terfi istasyonları (GASKİ, 2022).</li> <li>❖ SCADA sistemi ile kontrol edilen nokta sayısı: 2014:144; 2015:157; 2016:160; 2017:170; 2018:174; 2019:175; 2020:176; 2021:177; 2022:191 (GASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Mersin    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Merkezler: Toplam 1.009 tesis (87 depo-terfi ve terfi istasyonu, 166 adet içme suyu deposu, 43 kuyu, 238 ölçüm noktası (debi, basınç), 25 DMA, 4 yağmur suyu pompa istasyonu, 9 arıtma tesisi ve 7 atık su pompa istasyonu, 430 tesisin enerji yönetimi) (MESKİ, 2022).</li> <li>❖ Mersin'deki tüm atık su arıtma tesisleri ve katlı kavşaklardaki yağmur suyu pompaları Atıksu SCADA'sı MESKİ'nin kullandığı enerji de Enerji SCADA'sı ile takip edilmektedir (MESKİ, 2022)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| İstanbul  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ İSKİ SCADA Sistemi, 2008 yılında kurulmuştur. İçme suyu SCADA sistemi artan nüfusun taleplerini daha hızlı karşılamak amacıyla gelişmiş teknolojilere sahip SCADA sistemiyle yenilenmiştir (İSKİ, 2024).</li> <li>❖ SCADA sistemleri: Su İsale SCADA Sistemleri, Temiz Su Arıtma SCADA Sistemleri, Atık Su Arıtma SCADA Sistemleri, Yer Altı Suları SCADA Sistemleri.</li> <li>❖ SCADA Sistemi ile İzlenen Tesisler: İSKİ'ye ait barajlar, ana isale hatları, terfi merkezleri ve depolardaki seviye, basınç, debi, meteorolojik bilgiler, su kalitesi vb.</li> <li>❖ SCADA Sistemlerinde VSAT Uydu Haberleşme Sistemi de kullanılmaktadır. 90 adet istasyondan uydu haberleşmesi ile debimetre, basınç sensörü, su kalite sensörlerinden alınan bilgiler Akıllı Şebekeler katmanına aktarılmaktadır (İSKİ, 2024).</li> </ul> |
| İzmir     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ İzmir il sınırları içerisindeki 30 ilçe ve büyük yerleşim yerlerinin su dağıtım sistemleri, Halkapınar'da kurulu SCADA Merkezinden denetlenip yönetilmektedir (İZSU, 2024).</li> <li>❖ 30 ilçe üzerinde belirlenen 641 noktaya montajı yapılan ölçüm/kontrol cihazları ve bu bilgileri işleyip karar veren cihazlar ile su dağıtımı, kontrol altına alınmaktadır (İZSU, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Kayseri   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Noktalar: Toplam: 1483 adet (Sondaj kuyusu:460, Depo:469, Terfi pompası:365, DMA:76, Diğer (Arıtma, Kanal terfi, Basınç kontrol, Branşsan):113 (KASKİ; 2022).</li> <li>❖ Kaptaj alanında bulunan sondaj kuyularından 30 yılı aşkın bir süredir su üretilmektedir. 2015 yılından itibaren SCADA personeli tarafından izle ve müdahale et yöntemi uygulanarak işletilmiştir. 2019 yılında havzada enerji verimliliği sağlamak amacıyla Yapay Arı Algoritması (ABC) kullanılmasına karar verilmiş ve 2020 yılı mart ayı itibarıyla bölge yapay zeka algoritması ile optimizasyon esasına dayanan işletme yöntemi ile işletilmeye başlanmıştır.</li> </ul>                                                                                                                                       |
| Kocaeli   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen İçme Suyu İstasyonları: Toplam: 349 tesis (İçme suyu deposu:223, İçme suyu terfi merkezi:114, İçme suyu arıtma tesisi:12 (İSU, 2022).</li> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Atık Su İstasyonları: Toplam: 150 adet (Atık su terfi merkezi:59,Yağmur suyu terfi merkezi:14, Atık su arıtma tesisi:22, Kanalizasyon kolektör hattı:26, Yağmur suyu kolektör hattı:4, Sanayi tesisi çıkışı:25 (İSU, 2022).</li> <li>❖ SCADA Sistemi ile Yağmur ve Dere Seviye Ölçümü: Yağmur ölçümü: 21, Dere seviye ölçümü: 5 (İSU, 2022)</li> <li>❖ SCADA Sistemi ile Güvenlik Kontrolü: İçme suyu istasyonu: 119 kamera güvenlik sistemi, Tesis ve binalar: 682 kamera güvenlik sistemi, Atıksu istasyonu: 77 kamera güvenlik sistemi (İSU, 2022).</li> </ul>                                          |
| Konya     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Konya'da tesislerin uzaktan ve tek merkezden kontrol ve kumandası amacıyla 2003 yılında SCADA Sistemi yapım çalışmalarına başlanmıştır. 2022 yılı Haziran ayı itibarıyla 2938 tesisin 1983'üne SCADA Sistemi kurularak merkez ve bölgelerden izlenebilir hâle getirilmiştir. Kalan 955 tesisin SCADA Sistemi temin ve tesisi için çalışmalar devam etmektedir (Akıllı Şehirler, 2024).</li> <li>❖ Mavi Tünelden sağlanarak 5.400 km uzunluğunda bir şebeke ile tüketicilere dağıtmakta olan içme suyunun yönetimi merkezi SCADA sistemi ile yapılmaktadır (KOSKİ, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                           |

**Çizelge 7.2 (devam):** Büyükşehir belediyeleri Su ve Kanalizasyon idarelerinde kurulu bulunan SCADA sistemlerinin karakteristikleri.

| İl            | SCADA Sistemlerinin Karakteristikleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Malatya       | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Malatya merkez ilçeler ve diğer ilçelerde toplam 2290 içme suyu tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden 353 adedi (içme suyu depoları, içme suyu terfi merkezleri ve DMA'lar) çevrimiçi olarak SCADA sistemi ile takip edilmekte ve kontrolü yapılmaktadır (MASKİ, 2024).</li> <li>❖ İçme suyu tesislerinden 604 tanesinin depoları ve terfilerinin kontrolü RTU (Remote Terminal Unit) ve GSM teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır (MASKİ, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                         |
| Manisa        | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2019 yılı itibarıyla pilot bölge olarak seçilen Manisa Merkez ilçelerinde içme suyu SCADA sistemi kurulum ve işletme çalışmalarına başlanmış, 2020 yılında sistem kurulup devreye alınmıştır. Manisa merkezdeki içme suyu depoları, sondajlar ve Gürle İçme Suyu Ana İsale Hattındaki değişimler SCADA sistemi üzerinden takip edilmektedir. Sistemin il geneline yayılması için çalışmalar devam etmektedir (MASKİ, 2021).</li> <li>❖ SCADA sistemi ile kontrol edilen noktalar: Toplam: 155 ( Sondaj: 41, Depo: 79, Terfi:8, Arıtma, çöktürme depo ve pompaları: 27) (MASKİ, 2024).</li> </ul>                                                     |
| Kahramanmaraş | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Kahramanmaraş'ta SCADA sistemi 2018 yılında kurulmuştur (KASKİ, 2022).</li> <li>❖ SCADA sisteminde Göksun, Ekinözü, Pazarcık ilçe merkezleri izlenmekte ve kumanda edilmektedir. Bu 3 ilçe dışında Dulkadiroğlu ilçesinde bulunan Yedikuyular, Yenikent ve Pazarcık Evri terfi sistemleri de sistemde aktif durumdadır. Su Kayıp Kaçak (DMA) olarak Onikişubat Haydarbey DMA odası aktif izlenmektedir. İçmesuyu kaynaklarından Karasu (DM23 branşmanı öncesinde) ve Pınarbaşı (DM13 deposu girişinde) izlenmektedir (KASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                       |
| Mardin        | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mardin ve ilçelerine suyun dağıtımı ve kontrolünü MARSU yapmaktadır. İsale ve şebeke hatlarıyla şehre ulaştırılan su, SCADA sistemiyle MARSU tarafından tek merkezde kumanda edilmektedir (MARSU, 2016).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Muğla         | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Noktalar: Toplam: 644 adet (Sondaj kuyusu:460, Depo:469, Terfi pompası:365, DMA:76, Diğer (Arıtma, Kanal terfi, Basınç kontrol, Branşsan):113 (MUSKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Ordu          | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen İstasyonlar: Toplam: 436 adet (İçme suyu arıtma:21, İçme suyu kuyu:67, İçme suyu depo:189, İçme suyu terfi:119, Atık su arıtma:4, Atık su terfi:25, DMA:11 (OSKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Sakarya       | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen İstasyonlar: Toplam: 514 adet (İçme suyu depoları:186, İçme suyu terfi merkezi:108, İçme suyu sondaj (Kuyu):115, Atık su terfi merkezi:57, Debimetre:21, Diğer (Su fabrikası, Arıtma, Fabrika deşarj...):27 (SASKİ, 2022).</li> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Uç Noktalar: Toplam: 1278 adet (Depo seviye:320, Pompa kontrol:499, Oransal vana:27, On/Off vana:50, Debimetre:185, Klor ölçümü:84, Klorlama cihazı:57, Bulanıklık, pH, İletkenlik, Klorofil, Basınç:56).</li> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Atıksu Arıtma Tesisleri: Akyazı, Hendek, Kocaali, Karaman, Karasu ve Geyve.</li> </ul> |
| Samsun        | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA Sistemi İle Kontrol Edilen Merkezler: Toplam: 250 adet (İçme suyu depoları ve terfi merkezleri:180, İçme suyu terfi merkezi:13, İçme suyu sondajı:37, İçme suyu kesonu:20) (SASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Tekirdağ      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ TESKİ bünyesinde toplam 11 ilçe merkezi ve muhtelif mahalleler SCADA kapsamına alınmış, 309 otomasyon panosu kurulmuş olup; içme suyu SCADA sistemi nüfusun %92'sine hizmet etmektedir.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Trabzon       | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Trabzon genelinde 200'den fazla kuyu, depo ve pompa istasyonunda kurulu RTU ve PLC ürünleri, TİSKİ SCADA sistemi üzerinden yönetilmektedir. Klor, pH metre, bulanıklık gibi parametreleri izleyerek su kalitesi kontrolü yapılmaktadır (TİSKİ 2024).</li> <li>❖ 2 adet atık su arıtma tesisi SCADA üzerinden izlenebilmektedir (TİSKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Van           | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ VASKİ Genel Müdürlüğü, 4 yerde kurulan atık su terfi merkezini uzaktan takip sistemi olan "Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi (SCADA)" ile kontrol altına aldı (VASKİ, 2018).</li> <li>❖ Türkiye Belediyeler Birliği, ASELSAN, VASKİ üçlü protokol ile 2022 yılında SCADA sistemi kurulmuştur. 1 terfi merkezi 2 sondaj 4 depoda pilot uygulama olarak devreye alınmış, izleme ve kontrol istasyonunda gerekli uzaktan bağlantı işlemleri yapılmıştır (VASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                 |

### 7.3 Büyükşehir Belediyeleri Su Ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Kapsamında Yürütülen Faaliyetler

Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdareleri'nde genel olarak içme suyu temin sistemi, içme suyu dağıtım sistemi ve atık su arıtma tesisleri SCADA sistemi ile yönetilmekte, SCADA sisteminin yazılım ve donanım olarak kurulumu ve işletilmesi faaliyetleri sürdürülmektedir. SCADA kapsamında genel olarak şu faaliyetler yürütülmektedir:

- (a) Şehrin su kaynakları, su depoları, terfi istasyonları, arıtım sistemi ve dağıtım sistemi SCADA sistemi ile yönetilmektedir. Bu tesisler çevrim içi 7/24 takip edilmekte, veri toplanmakta ve toplanan veriler değerlendirilmekte ve denetlenmektedir.
- (b) Tesisler ve şebeke ölçüm noktalarında ölçülen debi, basınç, pompa verileri, su kalitesi vb. parametreler uzaktan izlenmekte ve kontrol edilmektedir.
- (c) Depolardaki su seviyeleri takip edilmekte, gerçek zamanlı kimyasal su analizleri (bulanıklık, klor, pH, iletkenlik vb.) yapılmakta ve otomatik olarak merkezi bilgisayarlara aktarılmaktadır.
- (d) Su depolarında bulunan vana ve motorların (aç/kapa) kontrolü uzaktan kumanda ile yapılmaktadır.
- (e) Depo girişlerinde debiye bağlı klorlama desteği verilmektedir.
- (f) Pompa istasyonlarının elektriksel (aktif, kapasitif, reaktif enerji, akım, gerilim vb.) değerleri ölçülmektedir.
- (g) Terfi/kuyularda çalışan tüm motorlar enerji tasarrufu gözetilerek ve ilgili birimle koordineli olarak SCADA sistemi ile yönetilmektedir.
- (h) Kuyular ve terfi pompaları depo seviyelerine göre çalıştırılarak yaşanabilecek taşma ve seviye düşüklüklerinin önüne geçilmektedir.
- (i) Su depolarına giren/çıkan su miktarları ölçülmekte ve şebekelerdeki kaçaklar ve arızalar SCADA kontrol merkezinden takip edilmektedir. Böylece kapsamlı fiziki kaçak arama ve su kayıpları çalışmaları yapılmaktadır.
- (j) Hidrolik modelleme ve su kalitesi modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Hidrolik modelleme ve basınç bölgelerinin oluşturulması konusunda gelen talepler karşılanmaktadır.

- (k) SCADA sistemine entegreli kameralı elektronik güvenlik sistemi ile su depoları takip edilmektedir.
- (l) Su açma/kesme operasyonları SCADA sisteminden uzaktan kumanda ile sağlanmaktadır.
- (m) 7/24 su, elektrik ve mekanik arıza bildirimleri yapılmaktadır.
- (n) SCADA ekipmanı üzerinde bakım ve onarım çalışmaları yapılmaktadır.
- (o) İlgili birimlere SCADA veri akışı sağlanmaktadır.
- (p) Günlük, aylık, yıllık su faaliyet raporları hazırlanmaktadır.
- (q) Kayıp kaçak takibi yapılarak önlemler alınmakta, enerji, iş gücü tasarrufu sağlanmakta, talep tahmini ve yatırım planlama için veri analizi yapılmaktadır.

Yukarıda açıklanan genel faaliyetlere ilaveten büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA kapsamında yürütülen faaliyetler Çizelge 7.3’de özetlenmiştir. Çizelgedeki bilgiler çoğunlukla idarelerin son yıllardaki faaliyet raporlarından alınmıştır.

**Çizelge 7.3: Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdareleri’nde SCADA kapsamında yürütülen faaliyetler.**

| İl      | SCADA Faaliyetleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adana   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Basınçla ilgili kontrolü yapay zekânın gerçekleştireceği sistemin kurulması ve böylece hata yapma riskinin minimuma indirilmesi planlanmıştır (ASKİ, 2022).</li> <li>❖ Pilot bölgede, alt bölgede hidrolik modelleme çalışmaları başlamıştır.</li> <li>❖ Seyhan ve Yüreğir ilçelerinde oluşturulan 40 Adet DMA bölgesinde yılda 7 milyon metreküp, Adana’nın tamamı sisteme alındığında ise yılda 40 milyon metreküp su tasarrufu elde edilmesi planlanmıştır (ASKİ, 2021).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ankara  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2023 yılı içinde 1.516 adet SCADA sistemi bakım, onarım ve revizyon faaliyeti gerçekleştirilmiştir (ASKİ, 2023).</li> <li>❖ SCADA sisteminin yenileme çalışmalarına başlanmıştır (ASKİ, 2023)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Antalya | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2022 yılı içerisinde SCADA Sistemi ile 4.694 müdahale ve manevra yapılmış olup 79 adet toplam 7.402 m<sup>3</sup>/saat’lik arıza tespit edilmiş olup su kaybı önlenmiştir (ASAT, 2022).</li> <li>❖ SCADA sistemi işletme ve bakım çalışmaları, 2008 yılından itibaren ASAT mühendis, tekniker ve teknisyenleri tarafından yapılmakta olup SCADA sistemi ekipmanları üzerinde 2022 yılı içinde toplam 791 adet bakım ve onarım çalışması gerçekleştirilmiştir.</li> <li>❖ 2022 yılında SCADA sisteminden alınan verilere göre 1.411 m<sup>3</sup>/saat’lik su kaybı şebekeye geri kazandırılmıştır. Böylece bir yılda 12.360.360 m<sup>3</sup>/yıl suyun kaybedilmesi önlenmiştir (ASAT, 2022).</li> <li>❖ Birçok merkezi arıtma tesisinde bulunan SCADA ve otomasyon sistemi sayesinde birim elektrik tüketimleri kontrol altında tutulmaktadır. Yeni yapılan tesislerde ve mevcut tesislerin ekipman revizyonlarında yeni nesil blowerler tercih edilmekte ve otomasyon sisteminde yapılan revizyonlar ile birlikte birim tüketimler azaltılmaktadır.</li> </ul> |
| Aydın   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sistemi ile su dağıtımını izleme, işletme, modernleştirme ve geliştirme hizmetleri yapılmaktadır. Periyodik olarak sistemin bakımı yapılarak, izleme, kontrol ve kumanda işlevine sahip olan içme suyu ve atık suyu SCADA sisteminin daha verimli kullanılması sağlanmaktadır (ASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

**Çizelge 7.3 (devam): Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdareleri'nde SCADA kapsamında yürütülen faaliyetler.**

| İl         | SCADA Faaliyetleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Balıkesir  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Kepsut, Susurluk, Gönen, Balya, Bigadiç, Altıeylül D2 hattı otomasyona alınarak SCADA sisteminden izlenmesi sağlanmıştır (BASKİ, 2022).</li> <li>❖ İvrindi, Bandırma ilçeleri otomasyon sistemi kurularak SCADA'ya aktarıma hazır hale gelmiş 2023 yılı içerisinde entegrasyonu sağlanacaktır (BASKİ, 2022).</li> <li>❖ Mevcut Planlamanın ilk yarısında merkezi SCADA'ya entegrasyonu sağlanması planlanan Manyas Atıksu Arıtma Tesisi ve Salur Atıksu Arıtma Tesisi için öncelikli olarak tesisler ile bağlantılı 10 adet terfi istasyonu arasında izleme bağlantı oluşturmaları işi tamamlanmıştır (BASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                             |
| Bursa      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2022 yılında SCADA kapsamında 117 istasyon işletmeye alınmıştır (BUSKİ, 2022)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Denizli    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2022 yılı içerisinde fiziki ve idari kayıpların azaltılması projesi kapsamında Denizli ili genelinde içme suyu depolarının SCADA Sistemine eklenmesi için yapılan AR-GE çalışmaları sonucunda 29 adet içme suyu deposu ve 1 adet terfi istasyonu SCADA sistemine eklenmiştir.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Diyarbakır | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Sistem verimliliğini artırmak amacıyla Kayapınar ilçesi Talaytepe mahallesinde yeni bir SCADA sistemi kontrol merkezi oluşturulmaktadır (DİSKİ, 2023).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Erzurum    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ İçme suyu şebeke sistemini sürekli kontrol altında tutmak için SCADA sistemi ekipmanlarının bakım ve onarımları yapılmakta ve kurulu sistemin geliştirilmesi için teknolojik yeniliklerden faydalanmak üzere gerekli çalışmalar yapılmaktadır (ESKİ, 2022).</li> <li>❖ Atıksu Arıtma Tesisi SCADA Sistemi ile kontrol edilmekte olup, bu sistemle birlikte çalışabilen Bakım Programı (ACRON) mevcuttur (ESKİ, 2017).</li> <li>❖ Arıtma Tesisi Sistemi SCADA yazılımına destek verilmektedir (ESKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Gaziantep  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mizmilli pompa-1 istasyonuna yeni otomasyon ve SCADA sistemi kurum bünyesindeki personeller tarafından kuruldu (GASKİ, 2022).</li> <li>❖ Q=6700 m<sup>3</sup>/h proje kapasiteli 3. Etap tesisin 2800 m<sup>3</sup>/h debi artırımı ile Q=9500 m<sup>3</sup>/h arıtma kapasitesine ulaştırılması çalışmaları yapılmıştır (GASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Hatay      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Antakya ilçesine bağlı Saraycık Mahallesi'nde yeni terfi merkezi inşası gerçekleştirilmiş ve yapay zekâ otomasyon sistemi devreye alınmıştır (HATSU, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Mersin     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ İçme ve kullanma sularının dezenfeksiyonu ve sahada ölçüm işleri personeller ile beden gücü ile yapılmakta idi. Klor dozlamasının otomatik olarak yapılması ve ölçümlerinin SCADA sisteminde anlık olarak izlenebilmesi için 2022 yılında 24 adet istasyonun SCADA sistemine entegrasyonu tamamlanmıştır (MESKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| İstanbul   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ İçme suyu arıtma tesisleri çıkışı ve ana isale hattı üzerindeki 15 adet elektromanyetik debimetre ile 17 adet ultrasonik debimetrenin değişimi ile mevcut odaların elektromekanik ölçüm ve kontrol sistemi altyapısı iyileştirilerek mevcut SCADA sistemine aktarılmış ve yeni altyapı tesislerinin yapımı ile revizyon çalışmaları yapılmıştır (İSKİ, 2022).</li> <li>❖ İçme suyu arıtma tesisleri çıkışında ve ana isale hatları üzerinde bulunan mevcut ancak arızalı durumda olan ya da ölçme hassasiyetini kaybetmiş olan büyük çaplı debimetreler yeni debimetreler ile değiştirilerek SCADA sistemine entegre edilmiş ve böylece etkin ve verimli bir işletme sağlanmıştır (İSKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                  |
| İzmir      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Yıl içinde SCADA sistemine entegre edilen istasyon sayısı 11 adettir (İSU, 2023).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Kayseri    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2022 Yılında SCADA Sistemine Dâhil Edilen İstasyonlar: 17 adet sondaj kuyusu; 21 adet depo, 10 adet yatay pompa, 17 adet DMA odası, 12 adet atıksu terfi.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kocaeli    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 311 adet motor, 224 adet enerji analizörü, 601 adet su seviye sensörü, 56 adet giriş debimetresi, 292 adet çıkış debimetresi, 212 adet uzaktan kumandalı vana, 90 adet su kalite ölçüm analizörü, 54 adet manometrenin bakım onarımları ve işletmesi yapılmaktadır (İSU, 2022).</li> <li>❖ 2022 yılında 7 adet Su Kalite Cihazı revize edilerek toplam 93 Su Kalite Cihazı ile içme suyundaki pH, bulanıklık ve klor değerleri kontrol edilmekte ve olağan dışı durumlar için zamanında müdahalede bulunmaktadır.</li> <li>❖ 2022 yılı içerisinde mevcut cihazlara 741 adet bakım ve kalibrasyon işlemi yapılmıştır.</li> <li>❖ Yıl içerisinde SCADA dâhilindeki haberleşme sistemi ve kamera hizmetleri için; 897 SCADA haberleşme, 431 kamera olmak üzere toplam 1.328 adet bakım ve onarım çalışması yapılmıştır (İSU, 2022).</li> </ul> |

**Çizelge 7.3 (devam): Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdareleri’nde SCADA kapsamında yürütülen faaliyetler.**

| İl            | SCADA Faaliyetleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Konya         | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sistemi ilaveleri kapsamında 14 adet tesis için SCADA panosu malzemeleri temin ve tesisi, ihtiyaç olan tesislere 18 adet debimetre temin ve tesisi sağlandı. Konya genelinde 9 adet yeni kuyu, 2 adet yeni terfi, 3 adet yeni depo SCADA sisteminde devreye alındı.</li> <li>❖ Konya İl merkezinde 1239 adet, diğer bölgelerde 2311 adet SCADA Sistemi, sensör ve otomasyon sistemi elektronik donanım arızası giderildi (KOSKİ, 2022).</li> </ul>                                                                              |
| Malatya       | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2022 yılı içerisinde 13 ilçede toplam 65 tesis SCADA sistemine dâhil edilmiş ve 506 tesiste yazılım güncellemesi yapılmıştır (MASKİ, 2022).</li> <li>❖ Codesys destekli PLC’ler ile MASKİ ekipleri tarafından yapılan yazılımlar tesislerin ihtiyaç ve durumlarına göre değişmekte olup yazılım geliştirmeleri de yine ekipler tarafından yapılmaktadır (MASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                     |
| Kahramanmaraş | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Pazarcık ilçesine kaynaktan terfi yapan merkez yenilenerek devreye alınmıştır. Sistem biriktirme deposu üzerinden ilçenin su talebini ve kesonların su seviyesini izleyerek motopompları uygun çalışma rejiminde çalıştırarak şebekeyi beslemektedir (KASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Muğla         | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 90 adet yeni istasyon kurulumu yapıldı. 901 adet istasyon arızası giderilmiştir. 5 adet istasyon revize edilerek çalışır hale getirildi. Database üzerinde düzenleme çalışmalarına başlandı (MUSKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Sakarya       | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2023 yılında SCADA Sistemine Dâhil Edilen İstasyonlar: 5 adet sondaj kuyusu; 3 adet içme suyu depo, 3 adet içme suyu terfi merkezi, 1 adet debimetre istasyonu, 2 adet diğer (Su fabrikası, Fabrika deşarj...) (SASKİ, 2024).</li> <li>❖ 2023 yılı içinde 434 adet SCADA sistemi bakım, onarım ve revizyon faaliyeti gerçekleştirilmiştir (SASKİ, 2024)</li> <li>❖ 2023 yılı içerisinde Baraj hattı ve Hidroelektrik Santraller (HES) için SCADA projesinde izleme, üretim ve tüketim sayfası tasarlanmıştır (SASKİ, 2024)</li> </ul> |
| Samsun        | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 3.905 alarm oluşmuş olup uzaktan müdahale ile çözülen arızalar dâhil 635 tesiste otomasyon arızası giderilmiştir.</li> <li>❖ 2022 yılı içerisinde istasyonlarda arızalı durumda olan 68 PLC’ye müdahale edilip arızaları giderilmiştir (SASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Tekirdağ      | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ TESKİ bünyesinde toplam 11 ilçe merkezi ve muhtelif mahalleler SCADA kapsamına alınmış, 309 otomasyon panosu kurulmuş olup; içme suyu SCADA sistemi nüfusun %92’sine hizmet etmektedir (TESKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Trabzon       | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Trabzon genelinde 200’den fazla kuyu, depo ve pompa istasyonunda kurulu RTU ve PLC ürünleri, TİSKİ SCADA sistemi üzerinden yönetilmektedir. Klor, pH metre, bulanıklık gibi parametreler izlenerek su kalitesi kontrolü yapılmaktadır (TİSKİ 2024).</li> <li>❖ 2 adet atık su arıtma tesisi SCADA sistemine dâhil edilmiştir (TİSKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                |
| Van           | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Birimler arası (su depoları, terfi istasyonları, arıtma tesisleri vb.) anten sistemi ile kamera güvenlik sistemleri, İnternet, SCADA ve VOİB telefon santrallerinin haberleşme ağı kurularak gerekli sistemler devreye alınmıştır (VASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                           |

#### 7.4 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Uygulaması Çerçevesinde Elde Edilen Kazanımlar

Büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sistemi kullanılmadan önce pompa istasyonları, su depoları, terfi istasyonları, arıtım sistemi ve dağıtım sistemi manuel olarak işletilmekte idi. Örneğin derin kuyu pompalarının işletim ve kontrolü, debi ölçümleri, depolar arası su transferleri, su terfi istasyonlarının işletim ve kontrolü, suyun klorlanması, atıksu arıtma tesislerinde arıtılan suyun analizleri gibi birçok işlem ilgili tesise gidilerek manuel olarak yapılmaktaydı. Bu durum özellikle işgücünden ve zamandan büyük

kayıplara neden olmaktadır. Ülkemizdeki büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sistemlerinin kullanılması ile pek çok kazanım elde edilmiştir. Büyükşehir belediyelerinde SCADA uygulanması sonucunda elde edilen ortak kazanımlar aşağıda verilmiştir:

- (a) SCADA sistemi, çok geniş bir alana yayılmış olan içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinin işletilmesini, bakım/onarım çalışmalarının yapılmasını, su yönetiminin daha etkin kılınmasını ve kayıp/kaçakların azaltılmasını sağlamaktadır.
- (b) SCADA sistemi kapsamında, derin su kuyuları, su depoları, pompa terfi istasyonları, arıtma istasyonları, dağıtım şebekesi gibi çok sayıda unsur çevrim içi 7/24 saat izlenebilmekte ve bu unsurlara uzaktan müdahale edilebilmektedir.
- (c) SCADA sayesinde su kaynakları, su depoları, iletim pompa istasyonları, terfi pompa istasyonları arıtma tesisleri, su dağıtım şebekesi gibi birçok tesislerde tüm noktalarda (pompalar, motor ve vanalar, iletim hatları, kontrol noktaları vb.) merkezden izleme ve veri takibi yapılabilmektedir. SCADA aracılığıyla toplanan verilerden rapor ve grafikler üretilmekte ve arşivlenmektedir.
- (d) SCADA ile su temin ve dağıtım sistemlerinde iletim hatlarının en uygun basınç, su depolarının en uygun seviyelerde çalışmaları ve çevrimiçi kontrol yapılması sonucunda sistemin en verimli şekilde çalışması sağlanmaktadır.
- (e) SCADA ile yönetilen tüm istasyonlarda merkezi izleme/kontrol ile operasyonel kolaylıklar ve güvenilirlik sağlanmaktadır. Su iletim/dağıtım şebekesi üzerindeki bilgiye anlık erişim doğru karar verme sürecini hızlandırmaktadır.
- (f) SCADA sistemi şebekedeki kayıp/kaçakların önlenmesinde son derece önemli olan “fiziki kaçak arama” çalışmalarına önemli katkı sağlamaktadır. Tespit edilen su kaçaklarına zamanında müdahale edilebilmekte, böylece su ve enerji kayıplarının önüne geçilmektedir.
- (g) SCADA sistemi ile içme suyu şebekesine verilen su miktarı ile fatura edilen su miktarı arasındaki fark daha kolay belirlenebilmekte ve böylece kaçak su kullanımı daha kolay tespit edilebilmektedir.
- (h) SCADA ile hat basınçları, debiler, enerji tüketim bilgileri gibi kritik veriler izlenmekte, bu veriler (saatlik, günlük, haftalık, aylık, yıllık) depolanarak gerektiği zaman kullanılabilir. Bunun sonucunda kontrol maliyetleri azalmakta, arıza sıklıkları

gözlemlenerek daha büyük problemlerin ortaya çıkması önlenmektedir.

- (i) Depolar ve pompalarda işgücü kaybı oluşması azalmakta ve işletme zamanından tasarruf edilmektedir. Bakım kolaylığı ve erken uyarı sistemleri ile problemlere interaktif müdahaleler yapılabilmektedir.
- (j) SCADA ile yönetilen istasyonlarda gelecekte ortaya çıkabilecek olası problemler, erken uyarı ve algılama avantajları ile önlenebilmektedir.
- (k) Su analiz cihazları kullanılarak pH, iletkenlik, bulanıklık ve klor seviyeleri ölçülebilmektedir.
- (l) Seviye sensörlerinin bulunmadığı su depolarında çok fazla su ve enerji kayıpları yaşanmakta idi. SCADA sistemi ile derin kuyu ve depolararası su transferleri otomatik olarak yapılabilmekte, böylece cazibeli suya öncelik verilerek enerji tasarrufu maksimum seviyeye çıkarılmaktadır.
- (m) SCADA kontrol merkezinden vana ve pompalara gerekli komutlar (açma/kapama/çalıştırma/durdurma) gönderilerek sisteme anlık müdahaleler yapılabilmektedir.
- (n) Arızalara anında müdahale yapılabilmekte, böylece vatandaşlar mağdur edilmeden olumsuzlukların önüne geçilmektedir.
- (o) SCADA sistemi işletme ve ekonomi açısından idarelere pek çok katkı sağlamakta, özellikle pompa istasyonlarında ve depolarda oluşan sorunlar hızlı bir şekilde tespit edilmekte ve bu problemler giderilerek üretim kayıpları en aza indirilmektedir.
- (p) SCADA sistemi sayesinde tesisler arası koordinasyon yapılabilmekte ve tüketicilere kesintisiz, sürekli ve yeterli su sağlanabilmektedir. SCADA sistemi sayesinde abonelerin suya olan değişken talebini karşılayacak model ve planlamalar yapılarak uygulamaya geçirilmektedir.
- (q) Uzaktan müdahale ile zaman ve çeşitli giderlerden tasarruf elde edilmektedir.

Yukarıda açıklanan ortak kazanımlara ilaveten büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA uygulaması çerçevesinde elde edilen özel kazanımlar Çizelge 7.4’de verilmiştir.

**Çizelge 7.4: Büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA uygulaması çerçevesinde elde edilen özel kazanımlar.**

| İl        | SCADA Kazanımları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adana     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sistemi ile Adana ilinde ilk etapta 12 DMA bölgesinde bir yılda yaklaşık olarak 1,7 milyon metreküp su tasarrufu gerçekleştirilmiştir (ASKİ, 2021).</li> <li>❖ Adana iline alınan göç ve artan nüfusa oranla, Çatalan'dan gelen suyun artık yetmeyeceği, yeni arıtmalarla içme suyunun artırılması konusu gündemde idi. Yeni SCADA sistemiyle bu şekilde bir projeye en azından bir müddet gerek duyulmayacaktır. SCADA sistemi ile yeni bir arıtma yapma ihtiyacına da gerek kalmamıştır. Bugün arıtmanın maliyetinin 500-600 milyon lira olduğu göz önünde bulundurulursa SCADA kontrol merkezinin önemi daha iyi ortaya çıkmaktadır (ASKİ, 2021).</li> </ul>                                                                                                             |
| Antalya   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sisteminden alınan verilere göre 1.411 m<sup>3</sup>/h'lik su kaybı şebekeye geri kazandırılmıştır. Böylece bir yılda 12.360.360 m<sup>3</sup>/yıl suyun kaybedilmesi önlenmiştir (ASAT, 2022).</li> <li>❖ 900 m<sup>3</sup>/saat debi değerinde kaçak ve su israfı önlenerek 2019 yılında 27 594 000 TL'lik kazanç elde edilmiştir. Su üretimi için olan elektrik tüketimi de modem ile haberleşme sisteminden takip edilip bu sayede toplam 14 906 TL tasarruf sağlanmıştır. Toplam olarak, SCADA sistemi ve fiziki kaçak arama çalışmaları sonucunda 2019 yılında 281 000 000 TL'nin üzerinde tasarruf elde edilmiştir (ASAT, 2020).</li> </ul>                                                                                                                          |
| Denizli   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA'nın su yönetiminde kullanılmaya başlanması ile son 4 yılda milyonlarca lira değerinde su ve enerji tasarrufu sağlanmıştır (DESKİ, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Gaziantep | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Q=6700 m<sup>3</sup>/h proje kapasiteli 3. Etap tesisin 2800 m<sup>3</sup>/h debi artırımı ile Q=9500 m<sup>3</sup>/h arıtma kapasitesine ulaştırılması sağlanmıştır. Kullanılan kimyasallardan mevsimsel olarak % 30-50 oranında tasarruf sağlanmıştır (GASKİ, 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Hatay     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sistemi ile veriler analiz edilerek pompaların maksimum verimde çalışması sağlanmakta, sistemlerdeki sensörler yardımıyla tesisler 7/24 izlenerek su taşkınları önlenmekte ve su iletim hatlarındaki kayıp ve kaçaklar tespit edilerek arızalara hızlı bir şekilde müdahale edilmektedir (HATSU, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| İstanbul  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Modern SCADA sistemi sayesinde yağış durumlarında barajlardaki yükselme oranı kısa sürede ölçülebilmekte, çıkabilecek bir arıza anında görülüp müdahale edilerek su kaybının önemli ölçüde önüne geçilmektedir (İSKİ, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Konya     | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 2012 yılı 2007 yılı ile mukayese edildiğinde, 1 m<sup>3</sup> su üretebilmek için tüketilen enerji miktarında %16.48; şebeke arızalarında %19.1; pompa ve motor arızalarında ise %57.5 tasarruf elde edilmiştir (KOSKİ, 2016).</li> <li>❖ SCADA sistemi sayesinde tesislerdeki pompalar üç tarifeli sayaç uygulamasına göre ucuz tarife saatleri gözetilerek çalıştırılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır (KOSKİ, 2016).</li> <li>❖ KOSKİ SCADA Sistemi İle Elde Edilen Tasarruf Miktarları: Elektrik enerjisi: %15, personel ve ulaşım giderleri: %40, istasyonlarda ortaya çıkan arızalar: %45, şebekede ortaya çıkan arızalar: %25. Kayıp-kaçak su oranı %40'dan %28 seviyesine düşürülmüştür. Toplam işletme maliyetinde %25 kazanç elde edilmiştir (KOSKİ, 2024).</li> </ul> |
| Malatya   | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sistemi sayesinde arızalarda önemli oranda bir düşüş gerçekleşmiştir. Enerji maliyeti giderleri %35 azalmıştır. Bu da yatırım maliyetlerinin %70 oranında azalmasına yol açmaktadır.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Manisa    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Sondajlar gerekli durumlarda aktif veya pasif edilerek, enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Sondaj arızalarına anında ve nokta atışı yaparak zaman ve personelden tasarruf sağlanmaktadır. Depo seviyesi ve bölgesel patlaklar anında görülüp müdahale edilerek elektrik ve su tasarrufu sağlanmaktadır (MASKİ, 2024).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Samsun    | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ SCADA sayesinde SASKİ'nin performansında önemli bir artış yaşanmıştır. Su kayıp kaçakları azalmıştır. Arızalara online bağlantı ile de uzaktan anında müdahale edilerek yaşanan arıza giderilmektedir. İçme suyu dağıtımında süreklilik sağlanmıştır (SASKİ, 2023).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

## **7.5 Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA Kullanılmasının Etkinliklerini Artıracak ve Kapsamı Genişletecek Öneriler**

Su temin/dağıtım sistemleri ve atık su uzaklaştırma sistemlerinde enerji verimliliği sağlanabilmesi için belediyeler SCADA sistemlerine geçmektedir. Yapılan araştırma sonucunda ülkemizdeki 30 büyükşehirden tümünün içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemi kullanıldığı belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular göz önüne alındığında su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA kullanılmasının etkinliklerini artıracak ve kapsamı genişletecek aşağıdaki önerilerin tavsiye edilmesi uygun bulunmuştur:

- (a) SCADA sisteminin etki alanının genişletilmesi kapsamında planlı biçimde çalışmalar yapılmalıdır. SCADA sistemleri ile yönetilmeyen içme suyu temin ve dağıtım sistemleri istasyonları/bileşenleri için SCADA sistemi kurulmalıdır.
- (b) Kapsam genişletme çalışmalarında İller Bankası tarafından yayımlanan “İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname” göz önüne alınmalı ve SCADA sisteminin su şebekesinde yer alan ve sisteme dâhil edilen istasyonlarla ilgili ana işlevleri kontrol merkezinden yerine getirmesi sağlanmalıdır.
- (c) Kırsal bölgelerdeki içme suyu depo ve terfi merkezlerinin uzaktan erişimle SCADA sistemine entegrasyonu yapılmalıdır. Bu istasyonların saha ekipmanlarının testleri, donanımsal ve yazılımsal yapılarının kontrolleri ve istasyon tasarımları yapılmalı ve saha ortamında entegrasyon sağlanmalıdır.
- (d) Atıksu arıtma tesislerinin SCADA sistemi ile kontrol edilmediği idarelerde atıksu arıtma tesisleri için SCADA sistemi kurulmalı ve devreye alınmalıdır.
- (e) SCADA sistemi tarafından takip edilen tüm cihazlar ve yazılımsal arızalara zamanında müdahale edilmesi sağlanmalıdır.
- (f) SCADA sistemlerinin siber saldırılara karşı güvenli hale getirilmesi için çalışmalar yapılmalı ve önlemler alınmalıdır.
- (g) SCADA sistemini uygun bir şekilde işletilmesi, sistemin bakım ve onarımının yapılması, sistemin geliştirilmesi ve yenilenmesi amacıyla çalışmalar yapılmalıdır.
- (h) Mevcut SCADA sistemleri teknolojik gelişmeler doğrultusunda yenilenmeli, iyileştirilmeli ve kapsamı genişletilmelidir.

- (i) SCADA sisteminin yazılım ve donanım olarak kurulumu ve işletilmesi çalışmaları daimi olarak sürdürülmelidir.

2014 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yayımlanan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği”, “Onuncu Kalkınma Planı Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu” ile Türkiye iklim Değişikliği Stratejisi’nde (2011-2023) içme-kullanma suyu temin ve dağıtım sistemlerinin yönetimine ilişkin “idarelerce uygun izleme sistemlerinin (SCADA vb.) kurulması hedefi belirlenmiştir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014). Bu çalışmada tavsiye edilen önerilerin gerçekleştirilmesi büyükşehir belediyelerinin bu hedeflere ulaşmasına önemli katkılar yapabilir.



## **8. SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE VERİ TABANLI İZLEME VE KONTROL (SCADA) SİSTEMLERİNİN KULLANIMI: ÖRNEK BİR UYGULAMA**

### **8.1 Giriş**

Su temin ve dağıtım sistemleri genel olarak tüketicilere iyi bir hizmet sunmak amacıyla belirli basınç seviyelerinde suyu tedarik alanlarından talep noktalarına taşıyan çok sayıda birbirine bağlı sondaj kuyusu, boru, rezervuar, pompa, vana ve diğer hidrolik elemanlardan oluşur (Maity ve diğ, 2013).

Tezin bu kısmında İç Anadolu bölgesinde üç sondaj kuyusu, bir toplama deposu, iki terfi pompası, bir dağıtım deposu ve iki dağıtım bölgesinden oluşan bir su temin ve dağıtım sistemi incelenmiştir. İncelenen sistemin SCADA bileşenleri detaylandırılmış ve maliyet analizi yapılmıştır. SCADA sisteminin kullanılmasının faydaları açıklanmıştır. Ülkemizdeki su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemlerinin uygulanmasına ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacak öneriler sunulmuştur.

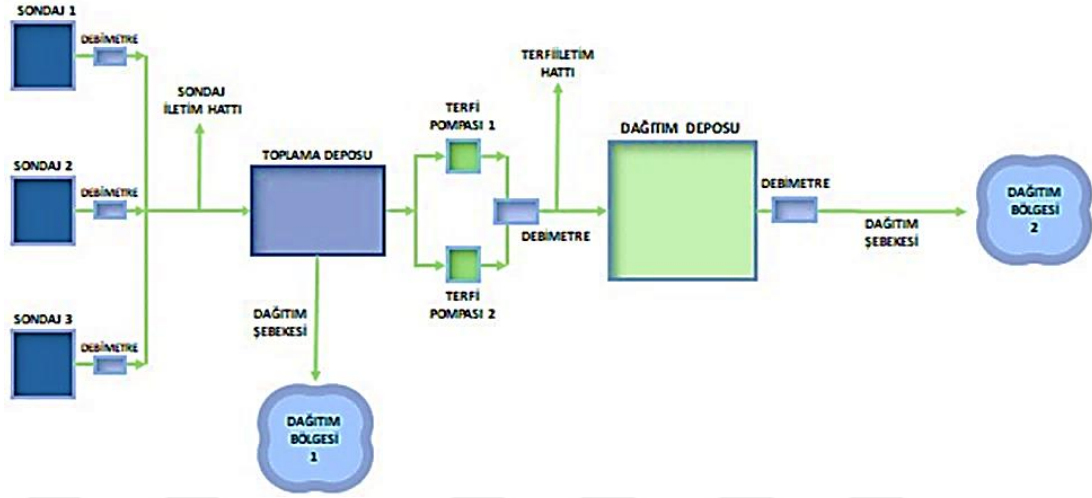
### **8.2 Malzeme ve Yöntem**

#### **8.2.1 Su temin ve dağıtım sisteminin yapısı**

İçme suyunun kaynaktan son kullanıcıya ulaşana kadar olması gereken su alma yapısı, iletim hatları, arıtma tesisi, depolar, dağıtım şebekesi ve şebeke üzerinde mevcut olan tüm enstrümanların (vanalar, vantuzlar, hidrantlar, ölçüm odaları) kapsadığı sistemler, içme suyu temin ve dağıtım sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada İç Anadolu bölgesinde üç sondaj kuyusu, bir toplama deposu, iki terfi pompası, bir dağıtım deposu ve iki dağıtım bölgesinden oluşan bir su temin ve dağıtım sistemi incelenmiştir (Şekil 8.1). İncelenen sistemde hâlihazırda kurulu bir SCADA sistemi bulunmaktadır. Kuyular, terfi merkezi ve toplama deposu ile dağıtım depolarına otomasyon cihazları yerleştirilmiş ve bir SCADA ve Su Yönetimi uygulamasına entegre edilmiştir.

3 adet dalgıç pompa ile yüzeye çıkartılan yeraltı suyu doğrudan toplama deposuna basılmaktadır. Toplama deposundan terfi pompalarına (iki adet) ve Dağıtım Bölgesi 1'e olmak üzere iki çıkış bulunmaktadır. Terfi pompalarında basıncı yükseltile su, dağıtım

deposuna basılmaktadır. Dağıtım deposundaki su, dağıtım şebekesi vasıtasıyla Dağıtım Bölgesi 2'ye iletilmektedir.



**Şekil 8.1:** Su temin ve dağıtım sisteminin yapısı.

#### 8.2.1.1 Sondaj kuyuları

1101 m kotunda ve statik seviyesi 57.35 m olan kuyulardan dalgıç pompa ile çekilen su 1251 m kotunda bulunan 3.50 m yüksekliğindeki toplama deposuna basılmaktadır. Kuyudan dalgıç pompa ile çekilen suyun basıncı basınç sensörü, debisi flowmetre ile ölçülmekte ve sırasıyla çekvalf, filtre ve vanadan geçerek toplama deposuna akmaktadır.

#### 8.2.1.2 Toplama deposu

Toplama deposu, şebekeye verilmeye hazır hale getirilebilecek depo suyunun bulunduğu konteynerdir. Yüksekliği 3.2 m olan toplama deposu, iki alt depodan oluşmaktadır. Toplama deposunun çıkışında klor dozajlama makinesi ile suya klorlama yapılmaktadır.

#### 8.2.1.3 Terfi pompaları

Toplama deposundan çıkan su terfi istasyonuna girmektedir. İstasyonda düşey milli bir pompa kullanılarak suyun basıncı yükseltilmektedir. Terfi pompasının girişinde ve çıkışında basınç sensörü ile suyun basıncı ölçülmekte, akış debisi flowmetre ile ölçüldükten sonra sırasıyla çekvalf, filtreden geçtikten sonra tekrar basıncı ölçülmekte ve ardından 1411 m kotta bulunan dağıtım deposuna basılmaktadır.

#### 8.2.1.4 Dağıtım deposu

Dağıtım deposunun yüksekliği 3.2 m, genişliği 2.77 m'dir.

## 8.2.2 SCADA sistemi ve ekipmanları

Su temin ve dağıtım sistemindeki SCADA ekipmanları şunlardır: (a) kompakt tip pompa kontrol sistemi, (b) elektromanyetik debimetre, (c) enerji analizörü ve akım trafoları, (d) SMPS güç kaynağı, (e) slim röle, (f) hidrostatik seviye sensörü, (g) basınç sensörü. Bu ekipmanlara ilişkin aşağıda bilgi verilmiştir.

### 8.2.2.1 Kompakt tip pompa kontrol sistemi

Kompakt Tip Pompa Kontrol ve Su İzleme Cihazı içme suyu temini ve dağıtımı için derin kuyu dalgıç pompa ve terfi istasyonu pompa kontrolü, su dağıtım deposu izleme, DMA ölçüm bölgesi basınç ve debi izleme, tarımsal sulama ve endüstriyel pompa kullanımına özgü yazılım algoritmaları içeren bir kontrol cihazıdır (Şekil 8.2). 100F modelinde DN50-700 çaptaki borular için uyumlu dahili (gömülü) ultrasonik debimetre modülü bulunmaktadır. 100S serisinde dahili debimetre yoktur ancak harici elektromanyetik ve ultrasonik debimetreler bağlanabilmektedir. AQUA CNT cihazları, MODBUS TCP uyumlu tüm paket SCADA yazılımlarına kolayca entegre edilebilmektedir (Envest, 2024).



Şekil 8.2: Kompakt tip pompa kontrol sistemi.



**Şekil 8.3:** Elektromanyetik debimetre

#### **8.2.2.2 Elektromanyetik Debimetre**

Debi ölçer (debimetre), akan suyun hızını ölçmek için kullanılır ve böylece hız bilinerek akış hesaplanabilir. Debi ölçümü temel olarak su üretim tesislerinde, servis depolarında ve toplu su tedarik hatlarında gereklidir. Elektromanyetik debimetreler 20  $\mu$ S üzerinde iletkenliğe sahip tüm sıvılarda rahatlıkla kullanılabilir. Farklı maddelere göre korozif özelliğe sahip sıvılarda sensör seçimi değiştirilerek sağlıklı ve uzun ömürlü ölçüm imkânı sağlarlar. İç yüzeyi kauçuk veya PTFE olarak tercih edilebilir.

SCADA sisteminde çevirici birimi sensör tüpüne tümleşik elektromanyetik debimetre kullanılmıştır (Kompakt Elektromanyetik Debimetre EF100) (Şekil 8.3). Yoğunluk ayarı, debi birim ayarı, sıcaklık ayarına imkân veren cihaz her türlü yoğunluğa sahip, farklı sıvılarda güvenle kullanılabilir. Cihaz menüsü kullanıcı dostu ve 4 farklı şifreleme ile güvenlik ayarı yapmaya imkân veren kullanıma sahiptir. Tek ekranda debi, iletkenlik ve toplam çalışma saati izlenebilir. Elektromanyetik debimetre -12...+12 m/s ölçüm aralığı,  $\pm 0.5\%$  ölçüm hassasiyeti ve 4-20 mA analog ve MODBUS 485 çıkış özelliklerine sahiptir (Envest, 2024).

#### **8.2.2.3 Enerji analizörü ve akım trafoları**

Enerji analizörleri, elektrik sistemlerinde enerji tüketimini, enerji kalitesini ve diğer elektriksel parametreleri ölçmek, kaydetmek ve analiz etmek için kullanılır. Bu analizörler bir binanın, tesisin veya cihazın enerji tüketimini ölçmek için kullanılır. Bu, enerji maliyetlerinin izlenmesi, enerji tasarrufu fırsatlarının belirlenmesi ve enerji verimliliği çözümlerinin değerlendirilmesi için gereklidir (Kraftek, 2024). Enerji analizörü 3 fazlı gerilim ve akım ölçümü, güç faktörü ve harmonik ölçümü, MODBUS 485 çıkış özelliklerine

sahiptir. Şekil 8.4'te SCADA sisteminde kullanılan enerji analizörü ve akım trafoları gösterilmektedir (Envest, 2024).



(a) Enerji Analizörü



(b) Akım Trafosu

Şekil 8.4: Enerji analizörü ve akım trafoları.

#### 8.2.2.4 Anahtarlama güç kaynağı (Switch Mode Power Supply, SMPS)

Anahtarlama (Switch Mode Power Supply, SMPS) Güç Kaynağı, standart yöntemlerle gerekli çıkış voltajlarını elde etmek yerine bu voltajı yarı iletkenli anahtarlama tekniklerini kullanarak sağlayan bir sistemdir. Temel olarak, enerji dönüşümü ve regülasyonunun, sürekli olarak yüksek frekansla “açıp” “kapanan” güç yarı iletkenleri tarafından sağlandığı cihazlar SMPS olarak adlandırılır. SCADA sisteminde kullanılan SMPS güç kaynağı, 2 adet 24 V DC çıkış terminali (negatif faz için 3 adet) ve evrensel giriş özelliklerine sahiptir (Şekil 8.5).



Şekil 8.5: SMPS güç kaynağı



**Şekil 8.6:** Slim röle

#### **8.2.2.5 Slim röle**

Slim röleler, AC/DC yükünü sürmek için ve ayrıca otomatik anahtarlama amacıyla kullanılan elemanlardır. Röle elektrikle çalıştırılan bir anahtardır. Rölenin bobininden akan akım, bir kolu çeken ve anahtar kontaklarını değiştiren bir manyetik alan oluşturur. Bobin akımı açık veya kapalı olabilir, dolayısıyla rölelerin iki anahtar konumu vardır. Röleler bir devrenin, birincisinden tamamen ayrı olabilen ikinci bir devreyi anahtarlamasına olanak tanır. Örneğin, düşük voltajlı bir akü devresinde 230V AC ana devreyi anahtarlama için bir röle kullanılabilir. Rölenin içinde iki devre arasında elektrik bağlantısı yoktur, bağlantı manyetik ve mekaniktir (Kinge ve diğ, 2017).

Slim röleler (veya PLC röleler), modern endüstriyel otomasyon sistemlerinin gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmıştır. Bu röleler, proses çevre birimleri ile üst düzey merkezi kontrol sistemleri arasındaki sinyal alışverişini sağlamak için kullanılır. Şekil 8.6’da SCADA sisteminde kullanılan slim röle gösterilmiştir.

#### **8.2.2.6 Hidrostatik seviye sensörü**

Tüm servis depolarında ve tüm yer altı kuyularında suyun seviye ölçümü gereklidir. Hidrostatik seviye sensörü sıvı basıncı yardımıyla seviye ölçümü yapan bir cihazdır (Şekil 8.7). Sıvı seviyesinde oluşan basınç değerini analog sinyale dönüştürerek bilgileri kontrol ekipmanlarına aktarır. Sıvıların seviyelerini ucuz ve kolay bir şekilde ölçmek için kullanılabilir. Seviye ölçümü sürekli veya nokta değerleri olabilir. Sürekli seviye sensörleri, belirli bir aralıktaki seviyeyi ölçerek belirli bir konumdaki maddenin kesin miktarını belirlerken, sınır seviye sensörleri yalnızca maddenin tespit noktasının üstünde mi yoksa altında mı olduğunu gösterir. Genellikle ikincisi aşırı yüksek veya düşük seviyeleri tespit

eder (Kinge ve diğ, 2017). SCADA sisteminde kullanılan hidrostatik seviye sensörü 0-500 m'ye kadar ölçüm aralığına, %0,3 ölçüm doğruluğuna ve 4-20 mA analog çıkışa sahiptir (Şekil 8.7).



Şekil 8.7: Hidrostatik seviye sensörü.



Şekil 8.8: Basınç sensörü.

#### 8.2.2.7 Basınç sensörü

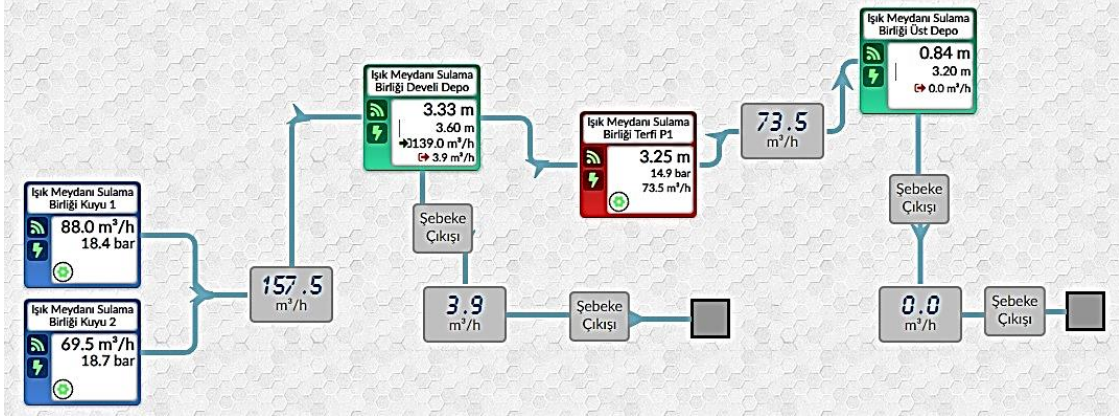
Basınç sensörü, giriş mekanik basıncını elektriksel çıkış sinyaline dönüştüren bir dönüştürücü olarak tanımlanır. Boyut, kapasite, ölçüm yöntemi, algılama teknolojisi ve çıkış gereksinimlerine bağlı olarak çeşitli basınç sensörleri türleri vardır. SCADA sisteminde kullanılan basınç sensörü 0-60 bar ölçüm aralığına, %0,3 ölçüm doğruluğuna ve 4-20 mA analog çıkış özelliğine sahiptir. Şekil 8.8 SCADA sisteminde kullanılan basınç dönüştürücüyü göstermektedir (Envest, 2024).

### 8.2.3 Ölçülen ve izlenen parametreler

SCADA sistemi ile ölçülen ve izlenen parametreler Çizelge 8.1’de verilmiştir. Çizelge 8.1’de gösterilen parametrelere ilaveten ayrıca dalgıç ve terfi pompalarının elektriksel büyüklükleri (voltaj, akım, güç), klor miktarı, valf konumu (açık-kapalı) da ölçülmektedir. Örnek bir SCADA ekranı Şekil 8.9’da verilmiştir.

**Çizelge 8.1:** SCADA sistemi ile ölçülen ve izlenen parametreler.

| S/N | Nokta           | Ölçülen Parametre         | Ölçüm Cihazı              |
|-----|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| 1   | Kuyu 1          | Statik seviye             | Seviye sensörü            |
|     |                 | Dinamik seviye            | Seviye sensörü            |
|     |                 | Kuyu çıkış su basıncı     | Basınç sensörü            |
|     |                 | Su debisi                 | Elektromanyetik debimetre |
|     |                 | Vana çıkış basıncı        | Basınç sensörü            |
| 2   | Kuyu 2          | Statik seviye             | Seviye sensörü            |
|     |                 | Dinamik seviye            | Seviye sensörü            |
|     |                 | Kuyu çıkış su basıncı     | Basınç sensörü            |
|     |                 | Su debisi                 | Elektromanyetik debimetre |
|     |                 | Vana çıkış basıncı        | Basınç sensörü            |
| 3   | Kuyu 3          | Statik seviye             | Seviye sensörü            |
|     |                 | Dinamik seviye            | Seviye sensörü            |
|     |                 | Kuyu çıkış su basıncı     | Basınç sensörü            |
|     |                 | Su debisi                 | Elektromanyetik debimetre |
|     |                 | Vana çıkış basıncı        | Basınç sensörü            |
| 4   | Toplama Deposu  | Su seviyesi               | Seviye sensörü            |
|     |                 | Giriş debisi              | Elektromanyetik debimetre |
|     |                 | Çıkış debisi              | Elektromanyetik debimetre |
| 5   | Terfi Pompası 1 | Pompa giriş basıncı       | Basınç sensörü            |
|     |                 | Pompa çıkış basıncı       | Basınç sensörü            |
|     |                 | Su debisi                 | Elektromanyetik debimetre |
|     |                 | Terfi odası çıkış basıncı | Basınç sensörü            |
| 6   | Terfi Pompası 2 | Pompa giriş basıncı       | Basınç sensörü            |
|     |                 | Pompa çıkış basıncı       | Basınç sensörü            |
|     |                 | Su debisi                 | Elektromanyetik debimetre |
|     |                 | Terfi odası çıkış basıncı | Basınç sensörü            |
| 7   | Dağıtım Deposu  | Su seviyesi               | Seviye sensörü            |
|     |                 | Giriş debisi              | Elektromanyetik debimetre |
|     |                 | Çıkış debisi              | Elektromanyetik debimetre |



Şekil 8.9: Örnek bir SCADA ekranı (Envest, 2024).

### 8.3 Bulgular ve Tartışma

#### 8.3.1 Maliyet Analizi

1, 2 ve 3 Nolu Sondaj Kuyuları için otomasyon ve enstrümanları Çizelge 8.2’de, Toplama Deposu için otomasyon ve enstrümanları Çizelge 8.3’de, 1ve 2 Nolu Terfi Merkezi Pompaları için otomasyon ve enstrümanları Çizelge 8.4’de, Dağıtım Deposu için otomasyon ve enstrümanları Çizelge 8.5’de verilmiştir. Bir adet sondaj kuyusu otomasyon ve enstrümanlarının maliyeti 4.182,00 USD, toplama deposu otomasyon ve enstrümanlarının maliyeti 5.850,00 USD, bir adet terfi merkezi pompası otomasyon ve enstrümanlarının maliyeti 3.527,00 USD, dağıtım deposu otomasyon ve enstrümanlarının maliyeti 5.850,00 USD olarak bulunmuştur. Toplam maliyet ise Çizelge 8.6’da verilmiştir. Sistemin toplam maliyeti 31.300,00 USD olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 8.2: 1, 2 ve 3 Nolu Sondaj Kuyuları için otomasyon ve enstrümanları.

| S / N                  | Malzemenin Cinsi                                     | Miktar | Birim | Birim Fiyat (USD) | Net Tutarı (USD) |
|------------------------|------------------------------------------------------|--------|-------|-------------------|------------------|
| 1                      | Kompakt Tip Pompa Kontrol Sistemi                    | 1      | Adet  | 1.289,00          | 1.289,00         |
| 2                      | 0-10 mSS 15 m Kab. Hid. Statik Seviye Sensörü        | 1      | Adet  | 743,00            | 743,00           |
| 3                      | 0-25 Basınç Sensörü 24V 4-20                         | 2      | Adet  | 92,00             | 184,00           |
| 4                      | 5A SMPS Güç Kaynağı                                  | 1      | Adet  | 53,00             | 53,00            |
| 5                      | Enerji Analizörü ve Akım Trafoları                   | 1      | Adet  | 249,00            | 249,00           |
| 6                      | 24 VDC Slim Role                                     | 1      | Adet  | 7,00              | 7,00             |
| 7                      | Kumanda ve Sinyal Kablosu                            | 1      | Adet  | 46,00             | 46,00            |
| 8                      | Sistem Topraklama Malzemesi ve İşçiliği              | 1      | Adet  | 72,00             | 72,00            |
| 9                      | 380*220 120 VA İzolasyon Trafosu                     | 1      | Adet  | 39,00             | 39,00            |
| 10                     | DN 100 PN 16 Elektromanyetik Debimetre               | 1      | Adet  | 1.100,00          | 1.100,00         |
| 11                     | Elektrik, Otomasyon, Montaj ve Devreye Alma İşçiliği | 1      | Adet  | 400,00            | 400,00           |
| <b>KDV Hariç Tutar</b> |                                                      |        |       |                   | <b>4.182,00</b>  |

**Çizelge 8.3:** Toplama Deposu için otomasyon ve enstrümanları.

| S / N                  | Malzemenin Cinsi                                     | Miktar | Birim | Birim Fiyat (USD) | Net Tutarı (USD) |
|------------------------|------------------------------------------------------|--------|-------|-------------------|------------------|
| 1                      | Kompakt Tip Pompa Kontrol Sistemi                    | 1      | Adet  | 1.289,00          | 1.289,00         |
| 2                      | 0-10 mSS 15 m Kab. Hid. Statik Seviye Sensörü        | 2      | Adet  | 742,00            | 1.484,00         |
| 3                      | 5A SMPS Güç Kaynağı                                  | 1      | Adet  | 53,00             | 53,00            |
| 4                      | Kumanda ve Sinyal Kablosu                            | 1      | Adet  | 46,00             | 46,00            |
| 5                      | DN 100 PN 16 Elektromanyetik Debimetre               | 2      | Adet  | 1.289,00          | 2.578,00         |
| 6                      | Elektrik, Otomasyon, Montaj ve Devreye Alma İşçiliği | 1      | Adet  | 400,00            | 400,00           |
| <b>KDV Hariç Tutar</b> |                                                      |        |       |                   | <b>5.850,00</b>  |

**Çizelge 8.4:** 1 ve 2 Nolu Terfi Merkezi Pompaları için otomasyon ve enstrümanları.

| S / N                  | Malzemenin Cinsi                                     | Miktar | Birim | Birim Fiyat (USD) | Net Tutarı (USD) |
|------------------------|------------------------------------------------------|--------|-------|-------------------|------------------|
| 1                      | Kompakt Tip Pompa Kontrol Sistemi                    | 1      | Adet  | 1.289,00          | 1.289,00         |
| 2                      | -1..+1 Basınç Sensörü 24V 4-20                       | 1      | Adet  | 88,00             | 88,00            |
| 3                      | 0-25 Basınç Sensörü 24V 4-20                         | 2      | Adet  | 92,00             | 184,00           |
| 4                      | 5A SMPS Güç Kaynağı                                  | 1      | Adet  | 53,00             | 53,00            |
| 5                      | Enerji Analizörü ve Akım Trafoları                   | 1      | Adet  | 249,00            | 249,00           |
| 6                      | 24 VDC Slim Role                                     | 1      | Adet  | 7,00              | 7,00             |
| 7                      | Kumanda ve Sinyal Kablosu                            | 1      | Adet  | 46,00             | 46,00            |
| 8                      | Sistem Topraklama Malzemesi ve İşçiliği              | 1      | Adet  | 72,00             | 72,00            |
| 9                      | 380*220 120 VA İzolasyon Trafosu                     | 1      | Adet  | 39,00             | 39,00            |
| 10                     | DN 100 PN 16 Elektromanyetik Debimetre               | 1      | Adet  | 1.100,00          | 1.100,00         |
| 11                     | Elektrik, Otomasyon, Montaj ve Devreye Alma İşçiliği | 1      | Adet  | 400,00            | 400,00           |
| <b>KDV Hariç Tutar</b> |                                                      |        |       |                   | <b>3.527,00</b>  |

**Çizelge 8.5:** Dağıtım Deposu için otomasyon ve enstrümanları.

| S / N                  | Malzemenin Cinsi                                     | Miktar | Birim | Birim Fiyat (USD) | Net Tutarı (USD) |
|------------------------|------------------------------------------------------|--------|-------|-------------------|------------------|
| 1                      | Kompakt Tip Pompa Kontrol Sistemi                    | 1      | Adet  | 1.289,00          | 1.289,00         |
| 2                      | 0-10 mSS 15 m Kab. Hid. Statik Seviye Sensörü        | 2      | Adet  | 742,00            | 1.484,00         |
| 3                      | 5A SMPS Güç Kaynağı                                  | 1      | Adet  | 53,00             | 53,00            |
| 4                      | Kumanda ve Sinyal Kablosu                            | 1      | Adet  | 46,00             | 46,00            |
| 5                      | DN 100 PN 16 Elektromanyetik Debimetre               | 2      | Adet  | 1.289,00          | 2.578,00         |
| 6                      | Elektrik, Otomasyon, Montaj ve Devreye Alma İşçiliği | 1      | Adet  | 400,00            | 400,00           |
| <b>KDV Hariç Tutar</b> |                                                      |        |       |                   | <b>5.850,00</b>  |

**Çizelge 8.6:** Toplam maliyet.

| S / N                  | Malzemenin Cinsi                                           | Miktar | Birim | Birim Fiyat (USD) | Net Tutarı (USD) |
|------------------------|------------------------------------------------------------|--------|-------|-------------------|------------------|
| 1                      | 1 Nolu Sondaj Kuyusu İçin Otomasyon ve Enstrümanları       | 1      | Adet  | 4.182,00          | 4.182,00         |
| 2                      | 2 Nolu Sondaj Kuyusu İçin Otomasyon ve Enstrümanları       | 1      | Adet  | 4.182,00          | 4.182,00         |
| 3                      | 3 Nolu Sondaj Kuyusu İçin Otomasyon ve Enstrümanları       | 1      | Adet  | 4.182,00          | 4.182,00         |
| 4                      | Toplama Deposu İçin Otomasyon ve Enstrümanları             | 1      | Adet  | 5.850,00          | 5.850,00         |
| 5                      | 1 Nolu Terfi Merkezi Pompa İçin Otomasyon ve Enstrümanları | 1      | Adet  | 3.527,00          | 3.527,00         |
| 6                      | 2 Nolu Terfi Merkezi Pompa İçin Otomasyon ve Enstrümanları | 1      | Adet  | 3.527,00          | 3.527,00         |
| 7                      | Dağıtım Deposu İçin Otomasyon ve Enstrümanları             | 1      | Adet  | 5.850,00          | 5.850,00         |
| <b>KDV Hariç Tutar</b> |                                                            |        |       |                   | <b>31.300,00</b> |

### 8.3.2 SCADA sisteminin geri ödeme süresi

Su temini ve atık su arıtımında verimliliğin artırılmasına yönelik çeşitli önlemler önerilmiş ve bu önlemlere ilişkin örnek geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Bu önlemlerden birisi de şebekelerdeki basıncı ve debiyi kontrol etmek ve pompalama ekipmanının çalışmasını optimize etmek için otomasyonun (telemetri, SCADA ve modülasyon valflerindeki elektronik kontrolörler gibi) kullanılmasıdır. Bu sistemlerin kullanılması durumunda tipik geri ödeme sürelerinin 0-5 yıl olduğu verilmiştir (Barry, 2007).

İncelenen su temin ve dağıtım sistemindeki 2 derin kuyuda çalışan dalgıç pompalar daha verimli pompalarla değiştirilmiş, elektrik panolarına sürücüler eklenmiş ve SCADA yönetim modeli benimsenmiştir. Revizyonlar SCADA yönetim modeli altyapısını, pompaları ve sürücülerini kapsamakta idi. Sistem revizyonunun ilk yatırım maliyeti yaklaşık 21.000 USD olmuştur. Yenilenen sistem bileşenleri ve SCADA yönetim modeli yılda 45.000 USD tasarruf sağlamıştır. Sonuçlar sistem revizyonunun, SCADA modelinin ve iş durumu revizyon maliyetlerinin 5,6 ayda amorti edildiğini göstermektedir (Envest, 2024).

### 8.3.3 SCADA sisteminin faydaları

Kesin sayılar koşullara bağlı olarak büyük ölçüde değişse de, bir kontrol sistemi için tipik tasarruf aralıkları aşağıda verilmiştir (Barry, 2007): (a) su tasarrufu: yaklaşık %10, (b) elektrik tasarrufu: %12-30, (c) azaltılmış arıza süresi: %30'a kadar, (d) bakım ve personel maliyetlerinde azalma: %15-30. "Enerji Verimli Su Temini Sistemi" kılavuzu, su tedarik sistemlerinde farklı enerji verimliliği önlemlerinin uygulanmasının maliyet ve faydalarını açıklamaktadır (CCFC, 2021). Buna göre SCADA gibi izleme sistemlerinin kullanımıyla %20'ye varan oranda tasarruf sağlamak mümkündür.

## 8.4 Ülkemizdeki Su Temin ve Dağıtım Sistemlerinde SCADA Sistemlerinin Uygulanmasına ve Yaygınlaştırılmasına Katkı Sağlayacak Öneriler

Tezin bu kısmında İç Anadolu bölgesinde üç sondaj kuyusu, bir toplama deposu, iki terfi pompası, bir dağıtım deposu ve iki dağıtım bölgesinden oluşan bir su temin ve dağıtım sistemi incelenmiştir. Maliyet analizi sonucunda su temin ve dağıtım sisteminin sistem revizyonunun, SCADA modelinin ve iş durumu revizyon maliyetlerinin çok kısa bir sürede (5,6 ay) amorti edildiğini göstermektedir.

2015 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” yayımlanmıştır (OSB, 2015). Bu tebliğe göre idareler, içme suyu temin ve dağıtım sisteminin uzaktan sevk ve kontrolü için uygun veri tabanı altında ve uygun göreceği iletişim sistemini kullanarak veri tabanlı izleme ve kontrol sistemini (SCADA) kurarlar. Bu yükümlülük kapsamında belediyeler, su temini/dağıtım sistemlerinde ve atık su giderim sistemlerinde enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla SCADA sistemlerine geçiş yapmaktadır. Araştırma sonucunda ülkemizdeki 30 büyükşehirin tamamının Su ve Kanalizasyon İdarelerinde SCADA sistemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. İl belediyelerinde de SCADA sisteminin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Katılımcı sulama yönetimi mantığıyla sulama tesislerinin işletme, bakım ve yönetim sorumluluklarını üstlenen su kullanıcı kuruluşları arasında ise sulama birlikleri, sulama kooperatifleri, belediyeler, köy tüzel kişilikleri, üniversiteler ve bazı tarım kooperatifleri yer almaktadır. Çiftçiler, sulama kooperatiflerinin yanı sıra 6172 sayılı Sulama Birlikleri Kanununa esasen kurulan sulama birliklerine de üye olmaktadır. Daha önceki yıllarda Mahalli İdare Birlikleri Kanununa göre kurulan sulama birlikleri, 2011 yılından itibaren yeniden yapılanılmışlar ve şu anda 611 bin çiftçinin üyesi olduğu 386 sulama birliğine dönüşmüşlerdir. Ocak 2021 itibarıyla toplam net sulama alanı 2 303 584 ha olan toplam 183 sulama birliği bulunmaktadır (Tekiner, 2023).

Bu çalışmanın bulguları dikkate alınarak SCADA sistemlerinin su temini ve dağıtım sistemlerinde kullanılması, yaygınlaştırılması ve kapsamının genişletilmesine yönelik aşağıdaki önerilerin yapılması uygun görülmüştür:

- (a) Halihazırda SCADA sistemi bulunan büyükşehir belediyelerinin su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin etkinliğinin artırılmasına ve kapsamının genişletilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.
- (b) SCADA sistemi bulunmayan il belediyelerinin su ve kanalizasyon idarelerinde içme suyu temini/arıtma/dağıtım şebekeleri için SCADA sistemi kurulmalıdır. Halihazırda SCADA sistemi bulunan il belediyelerinin su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin etkinliğinin artırılmasına ve kapsamının genişletilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.
- (c) Henüz SCADA sistemlerini kullanmayan sulama birliklerinin su temin/dağıtım sistemlerini SCADA sistemleriyle izlemeleri ve yönetmeleri teşvik edilmelidir.

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 9.1 Sonuçlar

Tezde su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması konusu araştırılmıştır. Bu kapsamda dört ana konu ele alınmıştır: (i) Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemlerinin incelenmesi; (ii) Malatya ili su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla kullanılan/kullanılabilecek yöntemlerin incelenmesi ve enerji tasarrufu sağlayacak önerilerin sunulması; (iii) Ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA sistemlerinin karakteristiklerinin belirlenmesi, SCADA faaliyetlerinin irdelenmesi, SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımların belirlenmesi ve kapsamı genişletecek önerilerin sunulması; (iv) Su temin sistemlerinde SCADA sistem bileşenlerinin detaylandırılması, maliyet analizinin yapılması ve geri ödeme süresinin belirlenmesi.

Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması konusunda ayrıntılı bir literatür taraması yapılmıştır. Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması yöntemleri yedi kategori olarak sınıflandırılarak incelenmiştir: (i) Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemlerinin (SCADA) kullanılması; (ii) Pompaların ve motorların verimli çalışması; (iii) Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması; (iv) Değişken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılması; (v) Pompa planlaması ve optimizasyonu; (vi) Bakım ve onarımın iyileştirilmesi ve kayıp kaçakların tespiti ve (vii) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması. Kentsel su temini ve atık su arıtımında enerji verimliliği tedbirlerinin, şehir genelindeki mevcut su şebekelerinde enerji maliyetlerinde %35'e varan tasarrufla, yeni şebekelerde ise geleneksel şebekelere göre %50'den fazla tasarrufla uygulanabildiği; birçok enerji verimliliği tedbirinin geri ödeme süresi beş yıldan kısa olduğu göz önüne alınarak bu konuda yapılacak çalışmaların önemine vurgu yapılmıştır.

Malatya ili içme suyu temin sistemleri tanıtılmış, mevcut sistemin enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan çalışmalar belirlenmiştir. Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur. Malatya il merkezini oluşturan Yeşilyurt ve Battalgazi ilçelerinin içme suyu

ihtiyacının tümü Pınarbaşı gözesinden karşılanmaktadır. Su kullanımının arttığı ve suya daha çok ihtiyaç duyulduğu dönemlerde merkezde bulunan sondajlardan da destek alınarak su temininin devamlılığı sağlanmaktadır. Malatya ilinde 2 merkez ilçe olmak üzere toplamda 13 ilçe vardır ve bu ilçelerin tamamında depolar ve pompa istasyonları olmak üzere toplam 2290 adet tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin içme suyu depoları, içme suyu terfi merkezleri ve DMA'lar olmak üzere toplam 353 noktası SCADA sistemi ile çevrimiçi olarak takip edilmekte ve kontrolü yapılmaktadır. 604 tanesinin depoları ve terfilerinin kontrolü RTU-GSM teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır. Geriye kalan diğer tesisler şimdilik SCADA ve RTU-GSM sistemi olmadan kontrol edilmektedir. Malatya ili içme suyu temin ve dağıtım sistemi için enerji verimliliği ve tasarruf eylemlerine yönelik teknolojik alternatiflerin değerlendirilmesi kapsamında şu eylemlerin gerçekleştirildiği belirlenmiştir: (a) Uygun ekipmanların seçimi, (b) Arızalara müdahale ve önleyici bakım, (c) SCADA sistemi ile elde edilen kazanımlar, (d) RTU ve GSM teknolojisi ile elde edilen kazanımlar, (e) Kuyuönü Hidroelektrik Santrali, (f) Yapraklı Hidroelektrik santrali, (g) Yaka Mahallesi ve MASKİ Ana Bina Güneş Enerjisi Santralleri (GES). Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının pompalamada kullanılması, hidroelektrik geri kazanımı, basınç ve su kayıpları yönetimi, operasyonel optimizasyon, verimli motor-pompa setlerinin kullanımı, değişken hızlı motor-pompa setlerinin kullanımı, depolama kapasitesinin ve rezervuar işletiminin optimizasyonu ile optimize edilmiş boru ve şebeke tasarımları teknolojik alternatifleri kapsamında farklı enerji verimliliği ve tasarrufu eylemlerinin gerçekleştirilebileceği önerilmiştir. Bu eylemlerin gerçekleştirilmesinin Malatya ilindeki su temini sistemlerinde enerji verimliliği tedbirlerinin uygulanmasına ve yaygınlaştırılmasına önemli katkı sağlayacağı vurgulanmıştır.

Su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA uygulaması konusu ayrıntılı olarak incelenmiştir. SCADA sistemleri, ekipmanları, uygulama alanlarına yer verilmiştir. İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde kullanılan SCADA sistemlerinin bileşenleri ve karakteristikleri detaylandırılmıştır. Ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA uygulaması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışma yapılırken büyükşehir belediyelerinin faaliyet raporları, performans programları ve stratejik planları incelenmiş, bazı büyükşehir belediyelerinin yetkili birimleri ile iletişim kurulmuştur. Ülkemizdeki 30 büyükşehirin tümünün içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemi kullanıldığı belirlenmiştir. Büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA sistemlerinin karakteristikleri açıklanmış, SCADA faaliyetleri

irdelenmiş ve SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımlar belirlenmiştir. Su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA kullanılmasının etkinliklerini artıracak ve kapsamı genişletecek öneriler sunulmuştur.

İç Anadolu Bölgesi'nde üç sondaj kuyusu, bir toplama deposu, iki terfi pompası, bir dağıtım deposu ve iki dağıtım bölgesinden oluşan bir su temin ve dağıtım sistemi incelenmiştir. İncelenen sistemin SCADA bileşenleri detaylandırılarak maliyet analizi yapılmıştır. Maliyet analizi su temin ve dağıtım sisteminin sistem revizyonunun, SCADA modelinin ve iş durumu revizyon maliyetlerinin çok kısa bir sürede (5,6 ay) amorti edildiğini göstermiştir. Bu bulgular dikkate alınarak şu öneriler de bulunulmuştur: (a) Hâlihazırda SCADA sistemi bulunan büyükşehir belediyelerinin su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin etkinliğinin artırılmasına ve kapsamının genişletilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. (b) SCADA sistemi bulunmayan il belediyelerinin su ve kanalizasyon idarelerinde içme suyu temin/arıtma/dağıtım şebekeleri için SCADA sistemi kurulmalıdır. Hâlihazırda SCADA sistemi bulunan il belediyelerinin su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sisteminin etkinliğinin artırılmasına ve kapsamının genişletilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. (c) Henüz SCADA sistemlerini kullanmayan sulama birliklerinin su temin/dağıtım sistemlerini SCADA sistemleriyle izlemeleri ve yönetmeleri teşvik edilmelidir.

## 9.2 Öneriler

Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması konusunun incelendiği bu tezde su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemleri konusunda bir literatür taraması yapılmış; su temin ve dağıtım sistemlerinde SCADA sistemlerinin kullanılması konusu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu konuda aşağıdaki alanlarda araştırmalar yapılması önerilmektedir:

- (a) Tez kapsam ve içeriğinin sınırlamaları nedeniyle su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılma yöntemleri öz olarak açıklanmıştır. Bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Söz konusu yöntemler daha detaylı incelenmeli, bu yöntemlere ilişkin tahmini enerji tasarrufları ile mali ve çevresel kazanımlar açıklanmalıdır.
- (b) Su temin ve dağıtım sistemlerinde enerji verimliliği ve tasarrufu teknolojik alternatiflerin ülkemizdeki durumu ayrıntılı olarak incelenmeli ve enerji tasarrufları ile

mali ve çevresel kazanımların gerçekleştirilmesi ve ülke çapına yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmalıdır.

- (c) Tez kapsamında Malatya ili içme suyu temin sistemleri tanıtılmış, mevcut sistemin enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan çalışmalar belirlenmiştir. Malatya ili içme suyu temin sisteminde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur. Malatya ili için yapılan bu çalışma diğer illerin içme suyu temin ve dağıtım sistemleri için de yapılabilir.
- (d) Tez kapsamında ülkemiz büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde kullanılan SCADA sistemlerinin karakteristikleri açıklanmış, SCADA faaliyetleri irdelenmiş ve SCADA kullanılması ile elde edilen kazanımlar belirlenmiştir. Benzer bir çalışma, büyükşehir olmayan diğer il belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerinde SCADA sistemlerinin kullanılma durumlarını belirlemek, etkinliklerini incelemek ve kapsamlarını genişletecek öneriler sunmak amacıyla yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- ABB.** (2010). A Guide To Using Variable Speed Drives And Motors In Hospitals And Healthcare.
- Abdelmeguid, H., Ulanicki, B.** (2012) Feedback rules for operation of pumps in a water supply system considering electricity tariffs. *Tucson, AZ, pp. 1188-1205.*
- Abiodun, F. T. & Ismail, F. S.** (2013). Pump Scheduling Optimization Model for Water Supply System Using AWGA, *IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI)*, 12-17.
- Aburawe, S.M.** (2019). GIS – SCADA Integration for Water Utilities Management, Benefits and Challenges. *Journal of Academic Research, Issue 13, January 2019*, 27-32.
- Adrian-Lucian, C., Ioana-Alina, C., Eugen, C.M.T., Narcis, P.G.** (2017). Water Wells Monitoring Using SCADA System for Water Supply Network, Case Study: *Water Treatment Plant Urseni, Timis County, Romania. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 245, 022025 doi:10.1088/1757-899X/245/2/022025.*
- Akbal, B., Yavuz, Ş., Köse, F.F.** (2020). Kablosuz Haberleşme ile Su Kuyuları Otomasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı, S. 257-261.*
- Akıllı, H., Özaslan R.K.** (2017). Su Kayıplarının Önlenmesinde Teknoloji Kullanımı: Büyükşehir Belediyelerinde SCADA Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 22, Kayfor15 Özel Sayısı, 1599-1618.*
- Ali, A., Yuan, J., Javed, H., Si, Q., Fall, I., Ohiemi, I.E., Osman, F.K. Islam, R.** (2023). Small hydropower generation using pump as turbine; a smart solution for the development of Pakistan's energy. *Heliyon 9, e14993, 1-16.*
- Allouhi, A., Buker, M. S., El-houari, H., Boharb, A., Amine, M. B., Kousksou, T. & Jamil, A.** (2019). PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: Sizing process, simulation and economic evaluation, *Renewable Energy, 132, 798-812.*
- Alshamani, A., Iqbal, T.** (2017). Feasibility of using a large deep water PV water pumping system: A case study for an average farm in Riyadh, Saudi Arabia, *8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 154-159.
- American Water Works Association.** (2008). Water Audits and Loss Control Programs: *M36 (Vol. 36). American Water Works Association.*
- Argaw, N.** (2003). Renewable Energy in Water and Wastewater Treatment Applications. *National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR-500-30383.*
- Bailey, D., Wright, E.** (2003). Practical SCADA for Industry. *Newnes, An imprint of Elsevier.*
- Bande, C.M., Bande, G.** (2016). SCADA System for Monitoring Water Supply Network: A Case Study. *International Journal of Software & Hardware Research in Engineering. Volume 4 Issue 1, ISSN-2347-4890.*

- Barán, B., von Lüken, C., Sotelo, A.** (2005). Multi-objective pump scheduling optimisation using evolutionary strategies. *Advances in Engineering Software*, vol. 36, pp. 39-47.
- Barry J.A.** (2007). WATERGY: Energy and Water Efficiency in Municipal Water Supply and Wastewater Treatment. Cost-Effective Savings of Water and Energy. The Alliance to Save Energy.
- Başa, Ş., Kurt, S.** (2017). Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Akıllı Su Yönetimi Uygulamaları: Tekirdağ Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Y.2017, C.22, Kayfor15 Özel Sayısı, s.1519-1532*.
- Beck, M., Sperlich, A., Blank, R., Meyer, E., Binz, R., & Ernst, M.** (2018). Increasing energy efficiency in water collection systems by submersible PMSM well pumps. *Water*, 10(10), 1310.
- Cabrera, E., Pardo, M. A. & Arregui, F. J.** (2010). Measuring the Energy Efficiency of Water Utilities, Pipelines, *Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability—Renew, Rehab and Reinvest*, 669-680.
- Cardoso, F.J.A., Sá Marques, J.A.A., Francisco, F.F., Sousa, J.J.O., Matas, C., Storelli, S.** (2002). Highly Integrated Management of Urban Water Supply Systems. *DMinUCE London*.
- Carravetta, A., Fecarotta, O., Del Giudicea, G., Ramos, H.** (2014). Energy recovery in water systems by PATs: a comparison among the different installation schemes, *Procedia Engineering*, 70, 275-284.
- CCFC (Climate Centre for Cities).** (2021). Energy Efficient Water Supply System. *Training Manual. Climate Centre for Cities, National Institute of Urban Affairs (NIUA)*.
- Chandel, S. S., Naik, M. N. & Chandel, R.** (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084-1099.
- Chandel, S. S., Naik, M. N. & Chandel, R.** (2017). Review of performance studies of direct coupled photovoltaic water pumping systems and case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 163-175.
- Coelho, B.** (2016). Energy Efficiency of Water Supply Systems Using Optimisation Techniques and Micro-hydro Turbines (Ph.D. Thesis). *Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Portugal*.
- Coelho, B. & Andrade-Campos, A.** (2012). Using Different Strategies for Improving Efficiency in Water Supply Systems, *In Proceedings of the First Eccomas Young Investigators Conference on Computational Methods in Applied Sciences*.
- Coelho, B. & Andrade-Campos, A.** (2014). Efficiency Achievement in Water Supply Systems - A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 59-84.
- Copeland, C. & Carter, N.T.** (2017). Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use, *Congressional Research Service, Washington DC-USA*, 2-10.

- Delgado, J.** (2018). Pumps running as turbines for energy recovery in water supply systems. PhD Thesis. *À L'Instituto Superior Técnico (Ist) Da Universidade De Lisboa. Suisse.*
- Dobriceanu, M., Bitoleanu, A., Popescu, M., Enache, S., Subtirelu, E.** (2008). SCADA System for Monitoring Water Supply Networks. *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS. Issue 10, Volume 7, 1070-1079.*
- Elektrik Port.** (2015). <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/scada/8051#ad-image-0>.
- Endüstri Okulu.** (2024). <https://endustriokulu.com/2021/10/03/scada-nedir-ne-ise-yarar-nerelerde-kullanilir/>
- Envest Enerji ve Su Teknolojileri Ltd. Şti.** (2024). Ürün Kataloğu. <https://koru1000.com/>.
- Ergür, S., Pancar, Y.** (2000) Hidrolik makinalar ve uygulamaları, *İstanbul, Birsen Yayınevi.*
- ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program).** (2012). A Primer on Energy Efficiency for Municipal Water and Wastewater Utilities. *Technical Report 001/12.*
- ETNA.** (2024). ALP Pompa Teknolojileri Tic. ve San. A.Ş. <https://www.etna.com.tr/faydali-bilgiler/pompalarda-enerji-tasarrufu-nasil-saglanir>
- Feldman, M.** (2009). Aspects of Energy Efficiency in Water Supply Systems. *In Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference, Cape Town-South Africa.*
- Gaius-Obaseki, T.** (2010). Hydropower Opportunities in the Water Industry, *International Journal of Environmental Sciences, 1(3), 392-402.*
- Gellings, C.W.** (2009). Program on technology innovation: electric efficiency through water supply technologies—a roadmap. technical report. Palo Alto, California: EPRI Electric Power Research Institute (EPRI).
- Georgescu, S. C. & Georgescu, A. M.** (2014). Application of HBMOA to Pumping Stations Scheduling for a Water Distribution Network with Multiple Tanks, *Procedia Eng., 70, 715–723.*
- Giustolisi, O., Laucelli, D. & Berardi, L.** (2012). Operational optimization: water losses versus energy costs, *J. Hydr. Engng. 139 (4), 410–423.*
- Gonçalves, F. & Ramos, H.** (2012). Hybrid energy system evaluation in water supply systems:artificial neural network approach and methodology, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 61 (2), 59-72.*
- Gökdereli, B.** (2016). Su Kayıplarının Önlenmesi, *T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, İstanbul, http://suyonetimi.ormansu.gov.tr/Libraries/su/1.*
- Gray, N.F.** (2010). Water Technology: an Introduction for Environmental Scientists and Engineers, *3rd edition, Oxford, Butterworth-Heinemann.*
- Grigg, N. S.** (2007). Main break prediction, prevention, and control. *Denver, CO: American Water Works Association, 75.*
- GSL Mühendislik Sanayi ve Ticaret A.Ş.** (2024). MASKİ Kuyu Suyu Takip Sistemi. <https://gsl.com.tr/maski-kuyu-suyu-takip-sistemi>.

- Guyer, J. P.** (2012). Introduction to Pumping Stations for Water Supply Systems, *Course No: C04-027, NY-USA*.
- Gündoğdu, S.** (2008). Automation of the Water Distribution Systems Using SCADA. MSc Thesis. Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences. İzmir.
- Gündoğdu, S., Şahin, Ö.** (2007). Su Dağıtım Sistemi için SCADA Sistem Haberleşmesi Planlaması, *Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu*, s. 121-127.
- Gündoğdu, S., Şahin, Ö.** (2008). Su Dağıtım Sistemlerinde SCADA Uygulaması. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. Cilt: 10 Sayı: 3*, 23-32.
- Hasanbeigi, A., & Price, L.** (2010). Industrial energy audit guidebook: Guidelines for conducting an energy audit in industrial facilities (No. LBNL-3991E). Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States).
- HydraTek.** (2013). Toward Municipal Sector Conservation: A Pump Efficiency Assessment and Awareness Pilot Study. *Toronto, Ontario, Canada*.
- Hydraulic Institute, Europump, and U.S. Department of Energy.** (2004). Variable Speed Pumping: A Guide to Successful Applications. May, DOE/GO-102004-1913, [https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/variable\\_speed\\_pumping.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/variable_speed_pumping.pdf).
- Imam, A.M., Tampul, H.M., Bako, A., Mohammed, J., Gana, S.M.** (2016). Design of a SCADA-Based Water Flow and Distribution Monitoring System. *African Journal of Science and Research*, (5)2:56-59.
- İller Bankası.** (2013). İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname.
- Karadirek, İ.E., Kara, S. Özen, Ö. Gülaydın, O., Beştaş, E., Boyacılar, M., Muhammetoğlu, M., Güngör, A., Muhammetoğlu, H.** (2016). Energy Recovery Potential From Excess Pressure in Water Supply and Distribution Systems. *Mugla Journal of Science and Technology, Vol 2, No 1*, 70-76.
- Karadirek, İ.E., Kara, S., Yılmaz, G., Muhammetoğlu, A., Muhammetoğlu, G.** (2012). Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management, *Water ResourManage*, 26, 2555-2568.
- Karakaya, T.** (2018). Pompalarda Tasarruf-Optimizasyon Yöntemleri. <https://www.recton.com.tr/post/pompa-tasarruf-optimizasyon-yontemleri>.
- Kinge, S.R., Nibhoria, N., Singh, P., Kumar, R.** (2017). Automatic Water Distribution System. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). Volume 4, Issue 05*, 31-35.
- Kiselychnyk O, Bodson M, Werner H.** (2009). Overview of energy efficient control solutions for water supply systems. In: Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University. 2009;3(56): part 1, p. 40–5.
- Korkmaz, E.** (2017). Pompalı Sistemlerde Enerji Tasarruf Potansiyelleri. *1st International Conference on Energy Systems Engineering, November 2-4, KBU—Karabük, Turkey*.
- Kraftek.** (2024). <https://www.kraftek.io/en/energy-analyzer/>.

- Kurban, R., Güner, M. & Kütük, A.** (2020). İçme Suyu Temin Sistemlerinin SCADA Sistemleri ile Uzaktan Kontrolü ve Pompaların Hidrolik Analizi, *10. Pompa, Vana ve Kompresör Kongresi, Ankara*, 113-117.
- Küçük, H.** (2020). İçme Suyu Terfi İstasyonlarının Enerji Verimli İşletimi İçin Bir Tasarım, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D.** (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 48(6), 227-237.
- Liu, F., Ouedraogo, A., Manghee, S. & Danilenko, A.** (2012). A Primer on Energy Efficiency for Municipal Water and Wastewater Utilities, *ESMAP Technical Report*, 001/12.
- Luna, T., Ribau, J., Figueiredo, D. & Alves, R.** (2019). Improving Energy Efficiency in Water Supply Systems with Pump Scheduling Optimization, *Journal of Cleaner Production*, 213, 342-356.
- Mäcke, G., Savic, D.A. & Walters, G.A.** (1995). Application of genetic algorithms to pump scheduling for water supply, *Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, IEE Conference, GALEZIA*.
- Maity, K., Chakraborty, P., Goswami, B., Ali, Sk. E., Sarkar, A.** (2013). Control of Urban Water Systems using SCADA System. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 76– No.16, August*, 21-27.
- Majeed, Y., Khan, M.U., Waseem, M., Zahid, U., Mahmood, F., Majeed, F., Sultan, M. & Raza, A.** (2023). Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports*, 10, 344–359.
- Marchi, A., Simpson, A.R., Ertugrul, N.** (2012) Assessing variable speed pump efficiency in water distribution systems, *Drink. Water Eng. Sci. Discuss.*, 5, 47–65, 2012.
- Martyusheva, O.**, (2014). Smart Water Grid, Colorado State University, Department Of Civil And Environmental Engineering, MSc Thesis, 2014.
- MASKİ.** (2024). Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü. İkizce Mah. Ankara Yolu Cd. No: 39 Yeşilyurt / MALATYA.
- Mays, L. W.** (2000). Water distribution systems handbook: New York: McGraw-Hill.
- Menegaki, A.** (2008). Valuation for renewable energy: a comparative review, *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 12, 2422–2437.
- Menke, R., Abraham, E., Parpas, P., Stoianova, I.** (2015). Approximation of system components for pump scheduling optimization. *Procedia Engineering* 119, 1059 – 1068.
- Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu, A.** (2017). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı, *Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara (Türkiye)*, 1-164.
- Mustaffah, S. A. S., & Azma, S.** (2006). Variable speed drives as energy efficient strategy in pulp and paper industry (Doctoral dissertation, *Universiti Teknologi Malaysia*).

- Nasir, A., Dribssa, E., Girma, M.** (2024). The pump as a turbine: A review on performance prediction, performance improvement, and economic analysis. *Heliyon* 10, e26084, 1-14.
- Niewoehner, J., Larson, R., Azrag, E., Hailu, T., Horner, J., and Arsdale, P.V.** (1997). Opportunities for Renewable Energy Technologies in Water Supply in Developing Country Villages. NREL technical monitor-Water for People, Denver, Colorado, NREL/SR-430-22359.
- Nowak, D., Krieg, H., Bortz, M., Geil, C., Knapp, A., Roclawski, H. & Böhle, M.** (2018). Decision Support for the Design and Operation of Variable Speed Pumps in Water Supply Systems, *Water*, 10, 734.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı.** (2015). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği. *Resmi Gazete, Tarih: 15 Temmuz, Sayı: 29418*.
- Pabi, S., Amarnath, A., Goldstein, R. & Reekie, L.** (2013). Electricity Use and Management in the Municipal Water Supply and Wastewater Industries, *Electric Power Research Institute*, 1–194.
- Papoutsidakis, M. Theocharis, E., Piromalis, D., Sort, A.** (2019). SCADA Implementations to Supervise the Water Networks Infrastructures in the City of Athens. *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 178 – No. 25, June 2019, 14-19.
- Pradhikaran, M.J.** (2012). Basics of Water Supply System- Training Module for Local Water and Sanitation Management. *Training Module for Local Water and Sanitation Management. PAS Project, CEPT University, India*.
- Rajasekhar, B., Ramana, G.V., Giridihar, M.V.S.S., Viswanadh, G.K.** (2013). Effective Water Distribution System Using SCADA: A Case Study of Vijayawada Municipal Corporation, *Andhra Pradesh, India. Technology Spectrum, Vol. 6, No. 1&2, 95-102*.
- Ramana, G.V.** (2013). “Efficient Water Distribution System Using Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA): A Case Study of Vijayawada Municipal Corporation”, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 2(5): 1055-1061.
- Ramos H. M., Borga A. & Simao M.** (2009). New Design Solutions for Low-Power Energy Production in Water Pipe Systems, *Water Science and Engineering*, 2(4), 69–84.
- Ramos, H. M., Vieira, F. & Covas, D. I. C.** (2010). Energy Efficiency in a Water Supply System: Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emission, *Water Science and Engineering*, 3 (3), 331–340.
- Rashid, M. H.** (2001). Power electronics handbook (Engineering). *Academic Press*.
- Sadatiyan Abkenar, S. M.** (2016). Enhanced Pump Schedule Optimization For Large Water Distribution Networks To Maximize Environmental And Economic Benefits. *Wayne State University, PhD Thesis. 1481*.
- Saidur, R., Mekhilef, S., Ali, M. B., Safari A., Mohammed, H. A.** (2012). Applications of Variable Speed Drive (VSD) in Electrical Motors Energy Savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 543-550.

- Saidur, R., Rahim, N. A., Ping, H. W., Jahirul, M. I., Mekhilef, S., & Masjuki, H. H.** (2009). Energy and emission analysis for industrial motors in Malaysia. *Energy Policy*, 37(9), 3650-3658.
- Sarbu, I.** (2016). A Study of Energy Optimisation of Urban Water Distribution Systems Using Potential Elements, *Water*, 8, 593.
- Savic, D. A.** (1997). Schwab, M., Walter, G. A. Multiobjective Genetic Algorithm for Pump scheduling in water supply. *Journal of Water Resources Planning & Management - ASCE*, vol. 123, pp. 67-77.
- Sekmen, U.** (2022). İçme Suyu Temin Sistemlerinde Enerji Optimizasyonu. *Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.*
- Sekmen, U., Yılmaz, M. & İmİK, E.** (2019). Derin Kuyulardan İçme Suyu Temininde Pompa Seçiminin Enerji Verimliliğine Etkisi. *In ULIBTK'19 22th Congress of Thermal Sciences and Technology*, vol. 2, (pp. 275-285). Kocaeli-Turkey, September 17-19.
- Sekmen, U., Yılmaz, M., Özdemir, Ö., & İnce, A.** (2021). Effect of collection tank level on energy consumption of lifting pumps in drinking water distribution systems. *In 5th International Anatolian Energy Symposium*, (pp. 275-285). Trabzon/Turkey: Karadeniz Technical University, March 24-26.
- Songur, M.** (2016). İçmesuyu şebekelerindeki fiziksel kayıpları önlemeye yönelik Diyarbakır için örnek bir model geliştirilmesi (*Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)*)
- Songur, M., Dabanlı, A., Yılmaz, B., Şenel Kürkçüoğlu, M.A.** (2021). Su Dağıtım Şebekelerindeki Fiziki Kayıpların Önlenmesinde SCADA'nın Önemi: ASKİ Örneği. *AKÜ FEMÜBİD* 21, 065602 (1424-1433). DOI: 10.35414/akufemubid.947662.
- Stancel, E, Stoian, I, Kovacs, I, & Gyurka, B.Z.** (2008). "Urban water supply distributed control system", *IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2008, Vol.3, pp.316-320.*
- Stouffer, K., Falco, J., Kent, K.** (2006). Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security. *National Institute of Standard and Technology, U.S.A. Special Publication 800-82.*
- Swamee, P. K. & Sharma, A. K.** (2008). Design of Water Supply Pipe Networks, *John Wiley & Sons.*
- Şen, C.** (2018). İçme suyu Tesislerinde SCADA Sistemlerine Sezgisel Yaklaşımların Uygulanması. *YL Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD, Sakarya.*
- Şenol, G. K., & Karakuş, C.** (2017). Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 58(687), 1-16.
- T.C. Adana Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü – ASKİ.** Adana. <https://www.adana-aski.gov.tr/web/default.aspx>
- T.C. Ankara Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - ASKİ.** Faaliyet Raporları. Ankara. <https://www.aski.gov.tr/TR/Anasayfa>
- T.C. Antalya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - ASAT.** Faaliyet Raporları. Antalya. <https://www.asat.gov.tr/tr/1>

- T.C. Aydın Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - ASKİ.** Faaliyet Raporları. Aydın. <https://www.aydinaski.gov.tr/>
- T.C. Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - BASKİ.** Faaliyet Raporları. Balıkesir. BASKİ. <https://www.balsu.gov.tr/>
- T.C. Bursa Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - BUSKİ.** Faaliyet Raporları. Bursa. <https://www.buski.gov.tr/>
- T.C. Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - DESKİ.** Faaliyet Raporları. Denizli. <https://www.deski.gov.tr/>
- T.C. Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - DİSKİ.** Faaliyet Raporları. Diyarbakır. <https://diski.gov.tr/>
- T.C. Erzurum Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - ESKİ.** Faaliyet Raporları. Erzurum. <https://www.eski.gov.tr/>
- T.C. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - ESKİ.** Faaliyet Raporları. Eskişehir. <https://www.eski.gov.tr/>
- T.C. Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - GASKİ.** Faaliyet Raporları. Gaziantep. <https://gaski.gov.tr/>
- T.C. Hatay Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - HATSU.** Faaliyet Raporları. Hatay. <https://www.hatsu.gov.tr/index.php>
- T.C. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - İSKİ.** Faaliyet Raporları. İstanbul. <https://iski.istanbul/>
- T.C. İzmir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - İZSU.** Faaliyet Raporları. İzmir. <https://www.izsu.gov.tr/tr/Anasayfa>
- T.C. Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü-KASKİ.** Faaliyet Raporları. Kahramanmaraş. <https://www.maraskaski.gov.tr/>
- T.C. Kalkınma Bakanlığı (2014).** 10. Kalkınma Planı 2014-2018, Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- T.C. Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - KASKİ.** Faaliyet Raporları. Kayseri. <https://www.kaski.gov.tr/>
- T.C. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - İSU.** Faaliyet Raporları. Kocaeli. <https://www.isu.gov.tr/>
- T.C. Konya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - KOSKİ.** Faaliyet Raporları. Konya. <https://www.koski.gov.tr/>
- T.C. Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - MASKİ .** (2024). Malatya. <https://www.maski.gov.tr/>
- T.C. Manisa Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - MASKİ.** Faaliyet Raporları. Manisa. <https://www.manisasu.gov.tr/>
- T.C. Mardin Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - MARSU.** Faaliyet Raporları. Mardin. <https://marsu.gov.tr/>
- T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - MESKİ.** Faaliyet Raporları. Mersin. <https://www.meski.gov.tr/>

- T.C. Muğla Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - MUSKİ.** Faaliyet Raporları. Muğla. <https://www.muski.gov.tr/>
- T.C. Ordu Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü – OSKİ.** Faaliyet Raporları. Ordu. <https://www.oski.gov.tr/>
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.** (2014). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarih: 8 Mayıs, Sayı: 28994.
- T.C. Sakarya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - SASKİ.** Faaliyet Raporları. Sakarya. <https://www.sakarya-saski.gov.tr/>
- T.C. Samsun Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - SASKİ.** Faaliyet Raporları. Samsun. <https://www.saski.gov.tr/>
- T.C. Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - TESKİ.** Faaliyet Raporları. Tekirdağ. <https://www.teski.gov.tr/>
- T.C. Trabzon Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü - TİSKİ.** Faaliyet Raporları. Trabzon. <https://www.tiski.gov.tr/>
- T.C. Van Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü – VASKİ.** Faaliyet Raporları. Van. <https://www.vaski.gov.tr/>
- Tekiner, M.** (2023). Türkiye’de Uygulanan Tarımsal Su Kullanım Hizmet Bedeli Algoritmaları ve Tarifelerinin Değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 10(3): 681–691.
- Temido, J., Sousa, J., Malheiro, R.** (2014). SCADA and Smart Metering systems in water companies. *A perspective based on the value creation analysis. Procedia Engineering* 70 (2014) 1629-1638.
- Tolvanen, J.** (2008). Saving energy with variable speed drives. *World pumps*, 2008(501), 32-33.
- Toprak, S., Koç, A.C., Bacanlı, Ü.G., Dikbaş, F., Fırat, M., Dizdar, A.** (2007), İçme Suyu Dağıtım Sistemlerindeki Kayıplar, *III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 10-14 Eylül, Gümüşdüz, İzmir.*
- Trace.** (2021). <https://www.trace-software.com/blog/what-is-a-photovoltaic-solar-pumping-system/>
- UNICEF.** (2023). Assessment Report of Renewable Energy and Energy Efficiency Solution for Rural Water Supplies in Vietnam. *UNICEF for every child.* <https://www.unicef.org/vietnam/reports/renewable-energy-and-energy-efficiency-solution>.
- Verma, S., Mishra, S., Chowdhury, S., Gaur, A., Mohapatra, S., Soni, A. & Verma, P.** (2021). Solar PV powered water pumping system–A review, *Materials Today: Proceedings*, 46 (11), 5601-5606.
- Vilanova, M.R.N., Balestieri, J.A.P.** (2014). Energy and Hydraulic Efficiency in Conventional Water Supply Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30 (10), 701–714.

- Vujnović, G., Perišić, J., Božilović, Z., Milovanović, M., Getman, R. V., Radovanović L.** (2019). Using SCADA System for Process Control in Water Industry. *ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering Tome XII, Fascicule 2* [April – June].
- Waghmare, S.S., Waghmare, A.P.** (2017). Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA). *IJSRST, Volume 3, Issue 8, 1308-1311.*
- Waide, P., & Brunner, C. U.** (2011). Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems.
- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W.** (2007). Advanced Water Distribution Modeling and Management. *İçinde: Operation, 2. Baskı, Haestad Press, Waterbury, 417-498.*
- Wang, J. Y., Chang, T. P., Chen, J. S.** (2009). An enhanced genetic algorithm for bi-objective pump scheduling in water supply. *Expert Systems with Applications, vol. 36, pp. 10249-10258.*
- Watergy.** (2009). <http://www.watergy.net/-overview/why.php>.
- Wu, W., Maier, H. R., Dandy, G. C., Arora, M. & Castelletti, A.** (2020). The changing nature of the water–energy nexus in urban water supply systems: *a critical review of changes and responses, Journal of Water and Climate Change, 11* (4), 1095-1122.
- Xu, Q., Chen, Q., Qi, S., Cai, D.** (2015). Improving Water and Energy Metabolism Efficiency in Urban Water Supply System Through Pressure Stabilization by Optimal Operation on Water Tanks, *Ecological Informatics, 26, 111-116.*
- Yaman, G., & Karadayı, H. M.** (2014). Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım için örnek bir çalışma. *Tesisat Mühendisliği, 140(140), 37-51.*
- Yaralı, K.** (2020). Çok Pompalı Su Terfi İstasyonları İçin Enerji Verimli Bir Kontrol Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya*
- Yelmen, B., Kurt, C., Çakır, M T.** (2021). Water Pumping Systems with Wind Turbines in Sinop. *European Journal of Science and Technology, 31, 515-522.*
- Yumurtacı, Z., Sarıgül, A.** (2011). Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları, *Tesisat Mühendisliği Dergisi, Mart-Nisan, 49-58.*
- Zakariazadeh, A., Ahshan, R., Al Abri, R., Al-Abri, M.** (2024). Renewable energy integration in sustainable water systems: A review. *Cleaner Engineering and Technology 18, 100722, 1-16.*
- Zimoch I. and Bartkiewicz E.** (2017). Optimization of Energy Cost in Water Supply System. *E3S Web of Conferences 22, 00204, DOI: 10.1051/e3sconf/20172200204 ASEE17.*

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı-Soyadı** : Ahmet Emre GÖKÇEK

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2015, Malatya Akmercan Anadolu Lisesi.
- **Lisans** : 2021, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- **Yüksek Lisans** : 2024, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı.

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2023'den beri Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresinde makine mühendisi olarak çalışıyor.

### YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

(Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- **Gökçek, A.E., Yılmaz, M., Sekmen, U., Toptaş, M., & Sancakoğlu, M.** (2024). Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Enerji Tüketiminin Azaltılması: Malatya Örneği. 5th. International Congress on Contemporary Scientific Research, 21-22 April 2024 Kayseri/Türkiye. (pp. 1377-1399). ISPEC Institute.
- **Gökçek, A.E., Yılmaz, M., Sekmen, U. & Toptaş, M.** (2024). Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemleri (SCADA) Uygulaması: Büyükşehir Belediyeleri. Alpha Journal of Engineering and Applied Sciences. Accepted.
- **Sekmen, U., Gökçek, A.E., Yılmaz, M., Toptaş, M. & Kütük, A.** (2024). SCADA Application in Water Supply and Distribution Systems: A Case Study. International Journal of Innovative Research and Reviews. Submitted.