

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇME SUYU TEMİN SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI
VE YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE ENERJİ OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Ufuk SEKMEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

MAYIS 2022

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇME SUYU TEMİN SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI
VE YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE ENERJİ OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

**Ufuk SEKMEN
(23616180002)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

MAYIS 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu çalışmanın en başından itibaren her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgmeden beni sabırla yönlendirip cesaretlendiren, geliştiren, mesleğime akademik bakış açısı kazandıran, çok kıymetli vefakâr büyüğüm değerli bilim insanı danışman hocam Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a;

Kurumsal ve akademik yöneticilik vizyonu ile çalıştığım kurum özelinde tüm ülkemize örnek olan çalışmaları ile bana ilham olan, bu konuda gerek kurumsal gerek bireysel anlamda çalışmamı destekleyerek ufkumu açan Genel Müdürümüz Doç. Dr. Özgür ÖZDEMİR'e ve himayelerinde çalışmama destek veren fedakâr meslektaşım Ahmet İNCE ile burada ismini saymadığım çok değerli mesai arkadaşlarıma;

Doktora eğitimine başlamam konusunda beni teşvik ederek her türlü akademik, bilimsel ve manevi desteği sağlayan tez izleme komitesi üyesi Prof. Dr. Mahmut FIRAT'a; ve tez izleme komitesi üyesi Prof. Dr. Rasim BEHÇET'e;

Geliştirdiği Yapay Arı Koloni Algoritmasının doktora tez çalışması kapsamında kullanılması ve kaptaj alanına uygulanması konusunda her türlü desteği bizzat veren Prof. Dr. Derviş KARABOĞA ve Prof. Dr. Bahriye AKAY'a; programlama ve kodlama dilinin SCADA'ya entegrasyonu konusunda katkı sağlayan Dr. Rifat KURBAN'a;

Fotovoltaik sistemlerin modellemesine yaptığı katkılar ve akademik yayın çalışmalarındaki tecrübe ve bilgi paylaşımı nedeniyle Dr. Ömer Faruk YILDIZ'a, pompa verimliliği çalışmalarına yaptığı katkılar nedeniyle Mak. Yük. Müh. Edip İMİK'e;

FKA-2020-10050 kodlu bilimsel araştırma projesi ile çalışmama destek sunan Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP);

Bugüne kadar verdiği tüm maddi manevi emeklerinden dolayı sevgili Babama, sevgili merhum Anneme ve her zaman olduğu gibi bu süreçte de beni sabırla destekleyerek yardımlarını esirgemeyen fedakâr Eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “İçme Suyu Temin Sistemlerinde Enerji Optimizasyonu” 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.

Ufuk SEKMEN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	iii
ONUR SÖZÜ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	xii
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Tezin Amaçları ve Kapsamı	2
1.3 Araştırma Yaklaşımı.....	4
1.4 Tezin Organizasyonu	5
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	8
2.1 Kontrol ve İzleme Sistemlerinin (SCADA) Kullanılması.....	10
2.2 Pompaların Verimli Çalışması.....	10
2.3 Daha Yüksek Verimli Pompalar, Motorlar ve Sürücülerin Kullanılması	11
2.4 Değişken Hızlı Sürücülerin (VSD) Kullanılması	11
2.5 Pompa Planlaması ve Optimizasyonu	13
2.6 Bakım ve Onarımın İyileştirilmesi	19
2.7 Alternatif Enerji Kaynakları Kullanarak Enerji Üretilmesi.....	20
2.7.1 Rüzgâr enerjisi.....	21
2.7.2 Hidroelektrik enerji.....	21
2.7.3 Güneş enerjisi	22
2.7.4 Hibrit sistemler	22
2.8 Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemleri	23
2.8.1 Su temin sistemlerinde fotovoltaik sistemler kullanılarak enerji üretilmesi	26
3. KURAMSAL TEMELLER	29
3.1 Optimizasyon.....	29
3.2 Optimizasyon Yöntemleri.....	29
3.2.1 Klasik algoritmalar	30
3.2.2 Sezgisel algoritmalar	30
3.2.2.1 Evrimsel algoritmalar (EA)	31
3.2.2.2 Sürü zekâsı tabanlı algoritmalar	32
3.3 Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony – ABC Algorithm)	33
3.3.1 Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi	34
3.3.2 İşçi arıların yiyecek kaynağı bölgelerine gönderilmesi.....	35
3.3.3 Gözcü arıların seleksiyonda kullanacakları olasılık değerlerinin hesaplanması.....	36
3.3.4 Gözcü arıların yiyecek kaynağı bölgesi seçmeleri	36
3.3.5 Kaynağı bırakma kriteri: limit ve kâşif arı üretimi.....	37
3.4 ABC Algoritmasının Özellikleri.....	38
4. MALZEME VE YÖNTEM	40
4.1 Malzeme	40
4.1.1 Kayseri, KASKİ ve kaptaj alanları için genel bilgilendirme.....	40
4.1.1.1 Kayseri.....	40
4.1.1.2 Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (KASKİ).....	41

4.1.1.3 KASKİ içme suyu kaptaj alanları	41
4.1.1.4 Germiraltı içme suyu kaptaj alanı.....	42
4.1.1.5 KASKİ SCADA sistemi	44
4.1.2 Kayseri iklimi	47
4.1.3 Germiraltı kaptaj alanında seçilen kuyuların ve pompaların özellikleri.....	47
4.1.4 Bağımsız laboratuvarında kurulan model deneysel sistem.....	48
4.1.5 Önerilen güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri.....	55
4.1.5.1 Hibrit güçlü su pompalama sistemi	56
4.1.5.2 Şebekeye-bağlı PV sistemi	57
4.1.6 PVsyst yazılımı.....	59
4.1.7 Meteorolojik data.....	59
4.2 Yöntem	60
4.2.1 Dalgıç pompalarda verim hesabı	60
4.2.2 Toplama deposu seviyesinin terfi pompalarının enerji tüketimine etkisi.....	61
4.2.3 Yapay arı kolonisi algoritması ile enerji verimliliği optimizasyonu	62
4.2.3.1 ABC algoritması	62
4.2.3.2 Pompa gruplarının ABC algoritması ile enerji verimliliği odaklı optimizasyonu	63
4.2.4 Fotovoltaik modüllerin yönlendirilmesi	66
4.2.5 PV sisteminin performans değerlendirmesi ve maliyet analizi	67
4.2.5.1 Performans değerlendirmesi	67
4.2.5.2 Maliyet analizi ve geri ödeme süresi	68
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	70
5.1 Daha Yüksek Verimli Pompalar, Motorlar ve Sürücülerin Kullanılması	70
5.1.1 Mevcut durum analizi	70
5.1.2 Revizyon önerisi	72
5.2 İçme Suyu Dağıtım Sistemlerindeki Terfi Pompalarının Enerji Tüketimine Toplama Deposu Seviyesinin Etkisinin Belirlenmesi	74
5.2.1 Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında kurulan deneysel sisteme ait sonuçlar... 75	
5.2.2 KASKİ merkezi pompa grubu için değerlendirmeler	78
5.3 Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) Algoritması Kullanılarak Enerji Verimliliği Optimizasyonu	81
5.3.1 Verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	82
5.3.2 Yapay arı kolonisi analizi bulguları	85
5.3.3 Verim esaslı müdahale yöntemi ile yapay arı kolonisi algoritması yönteminin karşılaştırması.....	89
5.4 Kentsel Su Temin Sistemlerinde Dalgıç Pompalarla Şebekeden Çekilen Net Gücü Azaltmak İçin Güneş Fotovoltaik Enerjisi Kullanmanın Teknik ve Ekonomik Fizibilitesi	91
5.4.1 Hibrit güçlü su pompalama sistemi	91
5.4.2 Şebekeye bağlı PV sistemi	97
5.4.3 Önerilen güneş PV su pompalama sistemlerinin Kayseri ili elektrik şebekesine entegrasyonu.....	101
5.4.4 Güneş PV su pompalama sistemlerinin performanslarının başka yerlerdeki diğer kurulumlarla karşılaştırılması.....	104
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	107
6.1 Sonuçlar	107
6.1.1 Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması	107
6.1.2 İçme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisinin belirlenmesi	107

6.1.3 Yapay arı koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanılarak enerji verimliliği optimizasyonu.....	109
6.1.4 Kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş fotovoltaik enerjisi kullanmanın teknik ve ekonomik fizibilitesi.....	110
6.2 Öneriler.....	111
KAYNAKLAR.....	114
EKLER.....	122
ÖZGEÇMİŞ.....	152



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Su temin sistemlerinde enerji tasarrufu fırsatları ve uygulanabilir potansiyel	10
Çizelge 4.1: Kayseri il merkezindeki içme suyu kaptaj alanları ve karakteristikleri.....	41
Çizelge 4.2: KASKİ Germiraltı kaptaj alanındaki derin kuyuların teknik özellikleri.	43
Çizelge 4.3: KASKİ Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların teknik özellikleri... ..	43
Çizelge 4.4: KASKİ Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların ve pompa hidrolik devrelerinin teknik özellikleri.	44
Çizelge 4.5: Seçilen kuyuların ve kuyularda bulunan dalgıç pompa hidrolik grubu ve dalgıç motorların karakteristikleri.	50
Çizelge 4.6: Seçilen PV modülünün teknik özellikleri.	56
Çizelge 4.7: Hibrit güçlü su pompalama sistemi için tasarlanmış PV dizilerinin ve kontrolörlerinin nominal güçleri.	57
Çizelge 4.8: Seçilen invertörün teknik özellikleri.....	58
Çizelge 4.9: Bazı kolon borusu malzemelerinin pürüzlülük değerleri.....	61
Çizelge 4.10: Önerilen her iki sistem konfigürasyonunun çeşitli maliyetleri.....	68
Çizelge 5.1: Seçilen kuyularda çalışan pompa ve motorların mevcut durum analizi.	71
Çizelge 5.2: Seçilen kuyular için mevcut durum ve revizyon önerisinin karşılaştırılması. ..	74
Çizelge 5.3: Önerilen revizyonun amortisman analizi.....	74
Çizelge 5.4: Toplama deposundaki su seviyesinin artması ile birim enerji tüketimi ve birim maliyette oluşan tasarruflar.....	77
Çizelge 5.5: Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğundaki içme suyu kaptaj alanlarında bulunan terfi istasyonlarının 2021 yılı su üretimi ve enerji tüketimi.....	78
Çizelge 5.6: Germiraltı kaptaj alanındaki terfi pompalarının teknik özellikleri.	81
Çizelge 5.7: Verim esaslı müdahale yöntemi ile işletim sonucu elde edilen yıllık maliyet raporu	83
Çizelge 5.8: Germiraltı akıllı havza yönetimi.....	86
Çizelge 5.9: ABC ile hesaplanan hedef depo seviyesine göre optimum pompa çalışma frekansları.....	86
Çizelge 5.10: Optimum çalışma frekanslarında değişkenlerin durumu.....	88
Çizelge 5.11: Yapay Arı Kolonisi algoritması yöntemi ile işletim sonucu elde edilen yıllık maliyet raporu	89
Çizelge 5.12: Verim esaslı müdahale yöntemi ile Yapay Arı Kolonisi algoritması yönteminin karşılaştırması.	89
Çizelge 5.13: Önerilen hibrit güçlü su pompalama sisteminin özellikleri.....	92
Çizelge 5.14: Önerilen hibrit güçlü su pompalama sistemi için geri ödeme süresi.....	96
Çizelge 5.15: Önerilen şebeke bağlantılı PV sisteminin özellikleri.....	97
Çizelge 5.16: Önerilen şebeke bağlantılı PV sistemi için geri ödeme süresi.....	100
Çizelge 5.17: Hibrit güçlü su pompalama sistemi ve şebekeye bağlı PV sistemi için sonuçların karşılaştırmalı özeti.	101
Çizelge 5.18: Birincil kaynaklara göre santral adedi ve kurulu güç	102
Çizelge 5.19: Güneş fotovoltaik su pompalama sistemlerine ilişkin araştırmalar.....	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Doğrudan bağlı bir fotovoltaik su pompalama sisteminin şematik resmi.	23
Şekil 2.2: Güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri.....	25
Şekil 3.1: ABC Algoritmasının akış diyagramı	38
Şekil 4.1: Google Earth'ten KASKİ Germiraltı kaptaj alanının görünümü.	42
Şekil 4.2: Pompa istasyonu.	43
Şekil 4.3: KASKİ SCADA sistemi.	46
Şekil 4.4: KASKİ SCADA sistemi.	46
Şekil 4.5: KASKİ SCADA sistemi.	47
Şekil 4.6: Kayseri için küresel yatay ışınım ve güneşlenme saatleri	49
Şekil 4.7: Germiraltı 14 kuyusu.	50
Şekil 4.8: Eğribucak 4 kuyusu.	50
Şekil 4.9: Germiraltı 14 kuyusunun pompa katalog değerlerine göre performans ve verim grafikleri.	51
Şekil 4.10: Eğribucak 4 kuyusunun pompa katalog değerlerine göre performans ve verim grafikleri.	52
Şekil 4.11: Bağımsız laboratuvarında kurulan model deney düzeneğinin şematik resmi.....	53
Şekil 4.12: Bağımsız laboratuvarında kurulan model deney düzeneğinin şematik resmi.....	53
Şekil 4.13: Bağımsız laboratuvarında kurulan model deney düzeneğinin genel bir görünümü.	54
Şekil 4.14: SCADA monitörünün genel görünümü.	55
Şekil 4.15: Hibrit güçlü su pompalama sistemi.	57
Şekil 4.16: Şebekeye-bağlı PV sistemi.	58
Şekil 4.17: ABC tabanlı optimizasyon yöntemi akış şeması.	645
Şekil 4.18: Kayseri için güneş yolu diyagramı.	66
Şekil 4.19: KASKİ Germiraltı kaptaj alanı için PV modüllerinin optimum eğim ve azimut açısı.	66
Şekil 5.1: Germiraltı 14 kuyusunun günlük veri grafikleri.	71
Şekil 5.2: Eğribucak 4 kuyusunun günlük veri grafikleri.	72
Şekil 5.3: Seçilen kuyular için önerilen pompaların performans verim grafikleri.....	73
Şekil 5.4: Toplama deposu seviyesinin birim enerji tüketimine etkisi.	76
Şekil 5.5: Toplama deposu seviyesinin birim maliyete etkisi.	77
Şekil 5.6: Toplama deposu seviyesinin birim enerji tüketimi ve birim maliyete etkisi.	77
Şekil 5.7: Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğundaki içme suyu kaptaj alanlarında bulunan terfi istasyonlarının su üretimi ve enerji tüketimi.	80
Şekil 5.8: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi yıllık bulguları.....	84
Şekil 5.9: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi yıllık bulguları	90
Şekil 5.10: Tipik bir kış günü boyunca PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji ve toplam pompa çalışma enerjisi.....	93
Şekil 5.11: Tipik bir yaz günü boyunca PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji ve toplam pompa çalışma enerjisi.....	93
Şekil 5.12: Tipik bir kış gününde pompalanan su, depolanan su ve kullanıcıların su ihtiyaçları.	94

Şekil 5.13: Tipik bir yaz gününde pompalanan su, depolanan su ve kullanıcıların su ihtiyaçları	95
Şekil 5.14: Dalgıç pompaların gerçek enerji tüketiminin ve PV sistemi tarafından şebekeye enjekte edilen enerjinin aylık değişimi.	98
Şekil 5.15: PV sistemi için performans oranı, kapasite faktörü ve nihai verimin aylık değişimi.....	99
Şekil 5.16: PV sistemi için yakalama ve sistem kayıplarının aylık değişimi.....	99
Şekil 5.17: Kaynaklara göre kurulu güç.....	102
Şekil 5.18: Türkiye'nin yıllara göre kurulu güç gelişimi	103
Şekil 5.19: 150 MW üzeri kurulu güce sahip iller	103
Şekil 5.20: Kayseri'deki GES kurulu gücün Türkiye'deki yeri	104
Şekil 5.21: Kayseri'deki GES sayısının Türkiye'deki yeri	104
Şekil A.1: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	123
Şekil A.2: Germiraltı kuyuları için Verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	124
Şekil A.3: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	125
Şekil A.4: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	126
Şekil A.5: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	127
Şekil A.6: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	128
Şekil A.7: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	129
Şekil A.8: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	130
Şekil A.9: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	131
Şekil A.10: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	132
Şekil A.11: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	133
Şekil A.12: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları	134
Şekil A.13: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi yıllık bulguları.....	135
Şekil B.1: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	137
Şekil B.2: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	138
Şekil B.3: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	139
Şekil B.4: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	140
Şekil B.5: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	141
Şekil B.6: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	142
Şekil B.7: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	143
Şekil B.8: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	144
Şekil B.9: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları	145
Şekil B.10: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları.....	146
Şekil B.11: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları.....	147

Şekil B.12: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları.....	148
Şekil B.13: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yıllık bulguları.....	149



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

C	: Boru Pürüzlülük Katsayısı
C_{elektrik}	: Önerilen Sistem Tarafından Yıllık Kaçınılan Elektrik Satınalma Maliyeti
CF	: Kapasite Faktörü
C_{sistem}	: Sistemin Toplam Birim Maliyeti
cm	: Santimetre
D	: Optimize Edilecek Parametre Sayısı
d	: Boru İç Çapı (m)
DB	: Depo Doldurma Bileşeni
DS	: Hedef Depo Seviyesi (m)
E	: Birim Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
EB	: Enerji Verimliliği Bileşeni
F_p	: Pompa Çalışma Frekansı (Hz)
GWh	: Gigawattsaat
h_f	: Boru Sürtünmesi (m)
H_m	: Basma Yüksekliği (m)
H_p	: Çalışma Noktası İçin Pompa Yüksekliği (m)
IoT	: Nesnelerin İnterneti
km	: Kilometre
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowattsaat
kW_p	: Kilowatt Pik
L	: Boru Uzunluğu (m)
lt	: Litre
m	: Metre
mm	: Milimetre
MWh	: Megawattsaat
MW_p	: Megawatt Pik
N	: Yiyecek Kaynağı Sayısı
N	: Güç (kW)
P	: Başlangıç Popülasyonu
P₀	: Önerilen PV Dizisinin Nominal Gücü
PR	: Performans Oranı
Q	: Hacimsel Debi (m ³ /h)

s	: Saniye
T_p	: Çalışma Süresi (saat)
W_p	: Watt Pik
Y_F	: Nihai Verim
Y_R	: Referans Verim
γ	: Özgül Ağırlık (N/m ³)
η	: Verim
η_m	: Mekanik Verim
η_p	: Pompa Verimi
AACO	: Uyarlanabilir Karınca Kolonisi Algoritması
ABC	: Yapay Arı Koloni Algoritması
AC	: Alternatif Akım
ACO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
ALO	: Karınca Aslan Optimizer
APN	: Erişim Noktası Adı
APSO	: Uyarlanabilir Parçacık Sürü Optimizasyonu
BA	: Batinspired Algoritması
BBO	: Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon
BKV	: Basınç Kontrol Vana Odası
CSA	: Guguk Kuşu Arama Algoritması
ÇŞİDB	: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DA	: Yusufçuk Algoritması
DC	: Doğru Akım
DE	: Diferansiyel Evrim
DMA	: İzole Alt Bölge
DPO	: Dolphin Partner Optimizasyonu
EA	: Evrimsel Algoritmalar
ES	: Evrim Stratejisi
FINS	: Haberleşme Protokolü Adı
FSPs	: Sabit Hızlı Pompalar
GA	: Genetik Algoritmalar
GES	: Güneş Enerji Sistemi
GP	: Genetik Programlama
GSA	: Yerçekimi Arama Algoritması
GSM	: Mobil İletişim İçin Küresel Sistem

GWO	: Gri Kurt Optimize Edici
HS	: Harmoni Arama Algoritması
HTS	: Isı Transferi Arama Algoritması
IGA	: Etkileşimli Genetik Algoritma
KASKİ	: Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KCETAŞ	: Kayseri ve Civarı Elektrik Türk Anonim Şirketi
LP	: Lineer Programlama
LSTM	: Uzun-Kısa-Sürekli Bellek
MPC	: Model Tahmine Dayalı Kontrol
MPPT	: Maksimum Güç İzleme Noktası
MVA	: Megavoltamper
NJ	: Haberleşme Protokolü Adı
NLP	: Lineer Olmayan Programlama
NSGA-II	: Tahakküm Temelli Olmayan Genetik Algoritma
OPC	: Açık İletişimi Platformu
PAT	: Pompa Türbin
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Kontrolör
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
PV	: Fotovoltaik
PVsys	: Fotovoltaik Sistem Simülasyon Programı
RTU	: Uzak Uç Birimi
SA	: Tavlama Simülasyonu (Simüle Edilmiş Isıl İşlem)
SCA	: Sinüs-Koinüs Algoritması
SCADA	: Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi
SCE	: Karıştırılmış Kompleks Evrim
SOS	: Simbiyotik Organizma Arama Algoritması
SPV	: Güneş Fotovoltaik
SPVAC	: AC Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi
SPVDC	: DC Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi
SPVWPS	: Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi
SQL	: Yapılandırılmış Sorgu Dili
SSA	: Salp Sürüsü Algoritması
STS	: Su Temin Sistemi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TL	: Türk Lirası

TLBO	: Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon
TMY	: Tipik Meteorolojik Yıl
TS	: Tabu Araştırması
UFD	: Uygunluk Fonksiyonu Değeri
VBA	: Sanal Arı Algoritması
VSD	: Değişken Hızlı Sürücü
VSPs	: Değişken Hızlı Pompalar
WDS	: Su Dağıtım Sistemi
WOA	: Balina Optimizasyon Algoritması
WWO	: Su Dalgası Optimizasyonu



ÖZET

Doktora Tezi

İÇME SUYU TEMİN SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTI LMASI VE YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİT MASI İLE ENERJİ OPTİMİZASYONU

Ufuk SEKMEN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

154 + xvii sayfa

2022

Danışman: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Küresel ısınma, mevsimsel değişiklikler ve yağış rejiminin değişmesinin yanısıra bilinçsiz tüketim, içme suyu kaynaklarının son yıllarda ciddi ölçüde azalmasına sebep olmuştur. İçme suyu temin sistemlerinde içme suyunun kaynağından temini ve nihai kullanıcıya ulaştırılmasında en önemli unsur enerjidir.

Bu tezde içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik dört ana konu ele alınmaktadır: (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 alanındaki dalgıç pompalar, 01.03.2019-29.02.2020 arasında SCADA üzerinden operatörlerce, 01.03.2020-28.02.2021 arasında ise Yapay Arı Koloni algoritması kullanılarak çalıştırılmıştır. Dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için yenilenebilir enerji kullanmak amacıyla "hibrit güçlü su pompalama sistemi" ve "şebeke-bağlantılı PV sistemi" olmak üzere iki farklı senaryo PVsyst v7.02 yazılımı kullanılarak modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Ayrıca toplama deposu seviyesinin içme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine etkisini incelemek amacıyla Kayseri'de bağımsız bir laboratuvar da model bir deney düzeneği kurulmuştur.

Kaptaj alanında kullanılan tüm sondaj kuyularında yapılacak dalgıç pompa revizyonları ile önemli enerji tasarrufu oluşacağı belirlenmiştir. Toplama deposu seviyesinin artması birim enerji tüketimi 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 karşılamının ekonomik olarak rekabetçi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su Temin Sistemleri, Dalgıç Pompa, Terfi Pompası, Enerji, Yapay Arı Kolonisi, PVsyst, Optimizasyon, Güneş Fotovoltaik.

ABSTRACT

PhD Thesis

REDUCING ENERGY CONSUMPTION IN DRINKING WATER SUPPLY SYSTEMS
AND ENERGY OPTIMIZATION WITH ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Ufuk SEKMEN

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

154 + xvii sayfa

2022

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

In addition to global warming, seasonal changes and changes in the precipitation regime, unconscious consumption has led to a serious decrease in drinking water resources in recent years. In drinking water supply systems, the most important element in supplying drinking water from its source and delivering it to the end user is energy.

In this thesis, four main issues are addressed to reduce energy consumption in drinking water supply systems: (i) installation of higher efficiency pump motors and drives, (ii) determination of the effect of collecting tank level on the energy consumption of lift pumps in drinking water distribution systems, (iii) energy efficiency optimization using Artificial Bee Colony (ABC) algorithm, and (iv) the technical and economic feasibility of using solar photovoltaic energy to reduce the net power drawn from the grid by submersible pumps in urban water supply systems. Kayseri Germiraltı drinking water catchment area was chosen as the research area. The submersible pumps in the catchment area were operated by the operators over SCADA between 01.03.2019-29.02.2020, and by using the Artificial Bee Colony algorithm between 01.03.2020-28.02.2021. In order to use renewable energy to reduce the net power drawn from the grid with submersible pumps, two different scenarios, "hybrid powered water pumping system" and "grid connected PV system", were modeled and simulated using PVsyst v7.02 software. In addition, a model experimental setup was set up in an independent laboratory in Kayseri to examine the effect of the collecting tank level on the energy consumption of the pumps in the drinking water distribution systems.

It has been determined that significant energy savings will occur with the submersible pump revisions to be made in all boreholes used in the catchment area. The increase in the collection tank level reduced the specific energy and specific cost. Significant gains in energy efficiency have been achieved when the pumps are operated with the artificial bee colony algorithm method. It has been determined that it is economically competitive to meet the energy needs of submersible pumps in urban water supply systems with solar PV energy.

Keywords: Water Supply Systems, Submersible Pump, Lifting Pump, Energy, Artificial Bee Colony, PVsyst, Optimization, Solar Photovoltaic.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Enerji, ülkeler için öncelikli kalkınma hedefleri arasındadır. Değişen çevre koşulları ve iklim şartları enerji ihtiyacının karşılanması noktasında ülkeleri çıkmaza sokmaktadır. Hızla artan enerji talebinin karşılanmasında enerjinin düşük maliyetli, sürdürülebilir ve güvenilir olması gerekmektedir. Enerji, bütün sektörlerin vazgeçilmez girdisi olduğundan bu alanda yapılacak iyileştirmeler tüm sektörleri doğrudan etkilemektedir (Çayır Ervural ve diğ, 2016). İçilebilir su, artan küresel tehditler nedeniyle gelecekte stratejik bir kaynak olacak; aşırı su kullanımı ve yüksek kayıp oranları sosyal, ekonomik, kültürel ve politik sonuçlar doğuracaktır. Kaynağından musluğa kadar yol alan içilebilir suyun bu süreçteki maliyeti daha da önemli hale gelecektir (Cabrera ve diğ, 2010). İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinin amacı, bir nüfusa kaliteli ve yeterli miktarda sürekli su sağlamaktır. Genel olarak, bir Su Temin Sistemi (STS) dört ana bölümden oluşur (Swamee ve Sharma, 2008):

- (i) Su kaynakları ve su alma yapıları: Su alma yapıları ve pompa istasyonları tarafından su çıkarılır.
- (ii) Arıtma işleri ve depolama.
- (iii) İletim hattı (pompalama ve/veya cazibe): Su, arıtma tesislerine ve ardından depolama rezervuarlarına taşınır.
- (iv) Dağıtım şebekesi: Şebeke boru hatları ve servis bağlantıları aracılığıyla tüketicilere su sağlar.

Su ve enerji toplumların refahı için vazgeçilmez unsurlardır. Dünyada su dağıtımını için tüketilen enerjinin, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %3 ile %7'si arasında olduğu tahmin edilmektedir (Vilanova ve Balestieri, 2014; Coelho ve Andrade-Campos, 2014; Zimoch ve Bartkiewicz, 2017). Sürdürülebilir kalkınma için STS'nde enerji verimliliğinin iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır. STS'nde enerji verimliliğindeki iyileştirmeler, kaçak kontrolü için basit izleme operasyonlarından tüketim analizleri, pompa sistemleri optimizasyonu, 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).

Su dağıtım sistemlerinin işletimi genellikle göz önüne alınan alanın özelliklerine, aynı zamanda tasarım ve yönetim tercihlerine göre değişen yüksek miktarlarda enerji gerektirir. Su dağıtım sistemlerindeki enerji verimliliği, basınçlandırılmış şebekelerdeki su-enerji ilişkisinin doğal yapısına kuvvetli şekilde bağlıdır. Bu ilişkiyi anlamak pompa istasyonlarının, şebeke ve su kaybının etkilerini ayrı ayrı değerlendirebilmek için sistematik enerji analizi gerektirir. Bu ilişkinin anlaşılması ayrıca hem su kaynakları, hem de enerji üzerine yansıyan tasarım ve yönetimdeki tutarsızlıkları aydınlatmaya olanak sağlayabilir (Gay ve Sinha 2010; Lenzi ve diğ, 2013; Bolognesi ve diğ, 2014).

Su temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasında olumlu etkisi olduğu kanıtlanmış birkaç yöntem vardır. Bunlar üç gruba ayrılabilir (Zimoch ve Bartkiewicz, 2017):

- (i) Kontrol ve izleme sistemlerinin (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) uygulanması;
- (ii) Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması;
- (iii) Su temin sistemlerinde alternatif enerji kaynakları kullanarak enerji üretilmesi.

1.2 Tezin Amaçları ve Kapsamı

Bu tezin amacı içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliği optimizasyonuna ilişkin araştırmalar yapmaktır. Bu amaca ulaşmak için içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik dört ana konu ele alınmıştır:

- (i) Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması;
- (ii) İçme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisinin belirlenmesi;
- (iii) Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanılarak enerji verimliliği optimizasyonu;
- (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 şehir merkezinin su ihtiyacını karşılamak için kullanılan 16 büyük içmesuyu kaptaj alanından birisi olan Germiraltı içme suyu kaptaj alanı seçilmiştir. Kayseri ili Melikgazi merkez ilçesinde bulunan Germiraltı kaptaj alanı, su temini için yıllık 2.5 milyon kWh'tan fazla enerji tüketerek yaklaşık 11,5 milyon m³ su üreten ve 16 adet dalgıç tip pompa içeren bir alandır (KASKİ 2021). Kayseri'deki kaptaj alanları arasında su temini için en yüksek enerji yoğunluğuna ve enerji maliyetine sahip olan kaptaj alanlarından biridir. Bu kaptaj alanı için yapay zekâ tabanlı arı koloni algoritması kullanılarak enerji verimliliği optimizasyonu yapılmıştır.

“İçme Suyu Temin Sistemlerinde Enerji Optimizasyonu” başlıklı bu tez kapsamında yapılan çalışmalar öz olarak aşağıda verilmiştir:

- (i) Su temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğine ilişkin ayrıntılı bir literatür taraması yapılmıştır.
- (ii) Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması kapsamında, KASKİ sorumluluk alanında bulunan 2 adet yeraltı içme suyu temin kuyusu pilot kuyular olarak seçilmiş ve mevcut pompaların hidrolik verimleri incelenmiştir. Kuyuların statik ve dinamik seviyeleri, pompaların ise basınç, debi, enerji tüketimleri SCADA sistemi üzerinden izlenerek, pompaların verimli hale getirilmesi için önerilen revizyon çalışmalarının enerji maliyetleri üzerindeki yansımaları detaylı olarak değerlendirilmiştir.
- (iii) İçme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisinin belirlenmesi amacıyla Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında sondaj kuyusu, toplama deposu, terfi pompası ve dağıtım deposundan oluşan model bir deney düzeneği kurulmuştur. Deneysel sisteme SCADA sistemi entegre edilerek içme suyu temin sistemlerinde kullanılan terfi pompalarının farklı toplama deposu seviyeleri için enerji tüketim davranışları incelenmiştir.
- (iv) Germiraltı kaptaj alanında içme suyu temininde kullanılan sondaj kuyularının verim esaslı müdahale yöntemi ve yapay zekâ - ABC algoritması olmak üzere 2 farklı işletme yöntemi ile çalıştırılması durumunda oluşan enerji tüketim ve maliyet karakteristikleri incelenmiştir.
- (v) Verim esaslı müdahale yöntemi, kaptaj alanındaki tüm sistem pompalarının SCADA üzerinden bir operatör vasıtasıyla kişisel olarak izlenerek ihtiyaca göre en verimli pompa veya pompaların öncelikle kullandırılması esasına dayanmaktadır. Verim

esaslı müdahale yönteminin uygulanması kapsamında Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompalar, 01 Mart 2019 - 29 Şubat 2020 arasında bir yıl boyunca SCADA üzerinden verim esaslı müdahale yöntemi kullanılarak çalıştırılmıştır. Pompalanan su miktarı, enerji tüketimi, birim enerji tüketimi ve birim maliyet belirlenmiştir.

- (vi) Enerji verimliliği optimizasyonunun uygulanması kapsamında Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompalar, 01 Mart 2020 - 28 Şubat 2021 arasında bir yıl boyunca ABC algoritması kullanılarak çalıştırılmıştır. Bu amaçla, toplama deposunun seviyesine göre anlık su ihtiyacı için en verimli pompanın seçilmesi ve frekans optimizasyonuna dayanan ABC algoritması oluşturulmuştur. Pompalanan su miktarı, enerji tüketimi, birim enerji tüketimi ve birim maliyet belirlenmiştir.
- (vii) Verim esaslı müdahale yöntemi ve ABC algoritması yöntemi bulguları karşılaştırılmış, yapay zeka yöntemi kullanılarak yapılan enerji optimizasyonunun kullanılmasıyla elde edilen kazanımlar belirlenmiştir.
- (viii) Dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için yenilenebilir enerji kullanmak amacıyla "hibrit güçlü su pompalama sistemi" ve "şebeke-bağlantılı PV sistemi" olmak üzere iki farklı senaryo analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Önerilen her iki sistemin tasarımı, modellemesi ve simülasyonu PVsyst v7.02 yazılımının ücretsiz deneme sürümü kullanılarak yapılmıştır.

1.3 Araştırma Yaklaşımı

Araştırma sahası olarak yıllık 2,5 milyon kWh'tan fazla enerji tüketerek yaklaşık 11,5 milyon m³ su üreten ve 16 adet dalgıç tip pompa içeren Kayseri Germiraltı içme suyu kaptaj alanı seçilmiştir.

KASKİ sorumluluğunda 16 adet kaptaj alanı ve bu alanlarda çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. Analiz edilmek üzere KASKİ'ye ait içme suyu temininde kullanılan sondaj kuyularından Germiraltı 14 ve Eğribucak 4 isimli kuyular seçilmiştir. Seçilen iki sondaj kuyusunun pompalarının mevcut durumları ve bu pompaların verimli hale getirilmesi sonucu elde edilecek olası kazanımlar analiz edilmiştir. Kuyuların statik ve dinamik seviyeleri, pompaların ise basınç, debi, enerji tüketimleri KASKİ SCADA sistemi üzerinden izlenerek, önerilen revizyon çalışmalarının enerji maliyetleri üzerindeki yansımaları detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Toplama deposu seviyesinin içme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine etkisini incelemek amacıyla Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında sondaj kuyusu, toplama deposu, terfi pompası ve dağıtım deposundan oluşan model bir deney düzeneği kurulmuştur. Deneysel sisteme bir SCADA sistemi entegre edilerek içme suyu temin sistemlerinde kullanılan terfi pompalarının farklı toplama deposu seviyeleri için enerji tüketim davranışları incelenmiştir.

Kaptaj alanındaki dalgıç pompaların birim enerji tüketimlerini ve birim maliyetlerini belirlemek amacıyla SCADA sistemi üzerinden yüksek verimli pompaların operatörlerce seçilerek çalıştırılması esasına dayanan “Verim Esaslı Müdahale” yöntemi” ve “Yapay Arı Kolonisi” algoritması yöntemi olmak üzere iki temel işletme yöntemi kullanılmıştır. Pompa istasyonu 01 Mart 2019 – 29 Şubat 2020 arasında bir yıl boyunca verim esaslı müdahale yöntemi kullanılarak çalıştırılmıştır. Enerji tasarrufu sağlamak, mali kazanımlar elde etmek amacıyla pompa istasyonundaki dalgıç pompaların işletilmesi için Yapay Arı Koloni algoritması kullanılması önerilmiştir. Bu kapsamda pompa istasyonu 01 Mart 2020 – 28 Şubat 2021 arasında bir yıl boyunca Yapay Arı Koloni algoritması yöntemi kullanılarak çalıştırılmıştır. Yapay Arı Koloni algoritması yazılımı SCADA sistemine entegre edilmiştir. Her iki işletim yöntemine ait sonuçlar SCADA sistemi üzerinden izlenerek kaydedilmiştir.

Dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için yenilenebilir enerji kullanmak amacıyla "hibrit güçlü su pompalama sistemi" ve "şebeke-bağlantılı PV sistemi" olmak üzere iki farklı senaryo analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Önerilen her iki sistemin tasarımı, modellenmesi ve simülasyonu PVsyst v7.02 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Pompa istasyonundaki SCADA sisteminden elde edilen gerçek veriler, simülasyon sonucunda bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Önerilen her iki sistemin enerji üretimi ve pompalanan su miktarı üzerindeki etkileri belirlenmiş ve değerlendirilmiştir.

1.4 Tezin Organizasyonu

Bu tezde, içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çeşitli araştırmalar yapılmış ve yapay arı kolonisi algoritması ile enerji verimliliği optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Tez 1. Giriş, 2. Literatür Taraması, 3. Kuramsal Temeller, 4. Malzeme ve Yöntem, 5. Bulgular ve Tartışma ve 6. Sonuç ve Öneriler olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır.

Tezin ilk ve şu anki bölümü, çalışmanın amacını ve kapsamını, araştırma yaklaşımını ve tezin organizasyonunu tanıtmaktadır.

İkinci bölümde, araştırma alanına ilişkin arka plan çalışmaları, tezin ana odağına göre değerlendirilmektedir. Bu bölüm su temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik ayrıntılı bir literatür taramasını içermektedir. Literatür taramasında kontrol ve izleme sistemlerinin (SCADA) kullanılması, pompaların verimli çalışması, daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması, değişken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılması, pompa planlaması ve optimizasyonu, bakım ve onarımın iyileştirilmesi ve alternatif enerji kaynakları kullanarak enerji üretilmesi konularında yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde kuramsal temellere ilişkin bilgilendirme yapılmıştır. İçme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasında kullanılan optimizasyon yöntemlerine genel olarak değinilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan optimizasyon çalışmalarında kullanılan gerçek arıların davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması (Artificial Bee Colony) yöntemi hakkında daha geniş olarak bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölüm, metodolojiyi eş zamanlı olarak tanımlamayı ve uygulamayı amaçlamaktadır. Bu bölümün amacı, önerilen metodolojiyi işlevsel çerçeve içinde göstermektir. Malzeme ve Yöntem başlığını taşıyan bu bölümün ilk altbölümü Kayseri, KASKİ ve Kaptaj Alanları İçin Genel Bilgilendirme, Kayseri İklimi, Germiraltı Kaptaj Alanında Seçilen Kuyuların ve Pompaların Özellikleri, Bağımsız Laboratuvarında Kurulan Model Deneysel Sistem, Önerilen Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemleri, PVsyst Yazılımı ve Meteorolojik Data alt bölümlerini içermektedir. Yöntem altbölümünde ise dalgıç pompalarda verim hesabı ile toplama deposu seviyesinin terfi pompalarının enerji tüketimine etkisinin belirlenmesine ilişkin metodoloji verilmiştir. ABC algoritması ve işlem basamakları verilmiş, algoritmanın havzadaki pompa sistemine uygulanma süreci detaylandırılmıştır. Ayrıca fotovoltaik modüllerin yönlendirilmesi, PV sisteminin performans değerlendirmesi ve maliyet analizine ilişkin metodoloji açıklanmıştır.

Tezin beşinci bölümünde tez kapsamında yapılan analizler ve elde edilen bulgular ayrıntılı olarak tartışılmış ve tezin amaçlarına ilişkin genel sonuçlar ve tartışma tamamlanmıştır. Elde edilen bulgular tezde çalışılan şu dört ana konu altında kategorize edilerek sunulmuştur: (i) daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması; (ii) içme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisinin

belirlenmesi; (iii) ABC algoritması kullanılarak enerji verimliliği optimizasyonu; (iv) kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş fotovoltaik enerjisi kullanmanın teknik ve ekonomik fizibilitesi.

Tezin altıncı, dolayısıyla son bölümü sonuçlara ve önerilere ayrılmıştır. Bu bölüm elde edilen bulguları öz olarak verir, bu çalışmada kullanılan metodolojiyi özetler ve tezin eksikliklerini ve ileri çalışma önerilerini tartışır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

İçme suyu temin ve dağıtım sistemleri, su temin yapıları, iletim hatları, depolar, ana borular, esas ve tali dağıtım boruları, basınç yükseltme pompaları, kontrol vanaları, yangın hidrantları, basınç kırıcılar, izolasyon vanaları ve abone bağlantılarından oluşmaktadır (Cabrera ve diğ., 2010). Bununla birlikte genel olarak, bir Su Temin Sistemi'nin (STS) dört ana bölümden oluştuğu kabul edilir (Swamee ve Sharma, 2008): (i) su kaynakları ve su alma yapıları, (ii) arıtma işleri ve depolama, (iii) iletim hattı (pompalama ve/veya cazibe), ve (iv) dağıtım şebekesi.

Enerji maliyetleri, STS'nin işletme maliyetlerinin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Su idareleri, yüksek miktarda elektrik tüketen çeşitli su arıtma ve iletim süreçlerini kullanırlar. Su dağıtım araçlarının dünya genelinde elektriğin %3 ile %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 şu faktörlere bağlıdır: pompalar, dağıtım sistemi, pompa sürücüleri ve enerji dağıtım planlaması (Guyer, 2021). Vilanova ve Balestieri'ye göre (2014), su dağıtımından kaynaklanan elektrik tüketiminin %80-90'ı pompa istasyonlarının çalışmasından kaynaklanmaktadır. Pompalama sistemleri, elektrik motorları tarafından kullanılan dünya enerjisinin yaklaşık %20'sini ve bazı endüstrilerde gerekli olan toplam elektrik enerjisinin %25 ila %50'sini kullanmaktadır (Europump and Hydraulic Institute, 2004). Watergy'ye (2009) göre, dünya çapındaki elektrik tüketiminin yaklaşık %2 ila %3'ü STS'nde pompalama için kullanılırken, bu tüketimin %80-90'ı motorlu pompa setleri tarafından emilmektedir (Sarbu, 2016). Copeland ve Carter (2017) STS'ndeki enerji tüketiminin %67'sinin musluk suyunun pompalanmasından, %14'ünün suyun arıtılmasından, %11'inin ham su pompalanmasından ve %8'inin tesis içi su pompalanmasından (örneğin filtrelerin geri yıkama suyu) kaynaklandığını belirtmektedir. Burada bahsedilen araştırmacılar ve daha birçok araştırmacı, pompa istasyonlarının elektrik tüketimine önemli katkı sağladığına dikkat çekmektedir. Bu nedenle, ilgili süreçlerdeki

herhangi bir verimlilik artışı oldukça önemlidir (Zimoch ve Bartkiewicz, 2017, Sekmen ve diğ., 2019; Sekmen ve diğ., 2021a).

STS'nde enerji tüketiminin azaltılmasını sağlayan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Feldman (2009) enerji verimliliğinde önemli iyileştirmelerin aşağıdaki yöntemlerle elde edilebileceğini belirtmektedir:

- (i) Pompa istasyonlarının ve sistem tasarımının iyileştirilmesi;
- (ii) Değişken Hızlı Sürücülerin (Variable Speed Drive, VSD) kullanılması;
- (iii) Pompaların verimli çalışması;
- (iv) Basınç kontrolü yoluyla su kayıplarının en aza indirilmesi.

Zimoch ve Bartkiewicz'e (2017) göre, enerji verimliliğindeki ana iyileştirmeler şunlarla sağlanabilir:

- (i) Kontrol ve izleme sistemlerinin (SCADA) kullanılması;
- (ii) Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması;
- (iii) Alternatif enerji kaynakları kullanarak STS'nde enerji üretilmesi.

Coelho ve Andrade-Campos (2014) STS'nin enerji verimliliğini artırmak için çeşitli stratejiler sunmuştur. Araştırmacılara göre STS'nin etkinliğini artırmak için şu önlemler uygulanabilir:

- (i) Pompa istasyonlarında akış kontrolü için baypas hatları, kısma valfleri veya pompa hız ayarlamalarının kullanılması;
- (ii) Pompanın yeniden boyutlandırılması, çark çaplarının küçültülmesi ve hatta pompanın yenisiyle değiştirilmesi;
- (iii) Verimsiz ekipmanın değiştirilmesi;
- (iv) Düzenli izleme ve bakım yoluyla kaçak yönetimi, hem su hem de enerji israfının önlenmesi;
- (v) Uygun bir enerji tarife sisteminin seçimi;
- (vi) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması.

Literatür taraması, STS'nde önemli enerji tasarrufu fırsatları ve uygulanabilir potansiyel olduğunu göstermektedir (Çizelge 2.1): (a) pompalar ve pompalama (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 uygun bir şekilde eşleştirilmesi (VSD'lerin kullanılması gibi): %30'a kadar.

Çizelge 2.1: Su temin sistemlerinde enerji tasarrufu fırsatları ve uygulanabilir potansiyel (Liu ve diğ, 2012).

Enerji-Tasarrufu Fırsatları	Tasarruf (%)
Pompalar ve pompalama (ortak potansiyel aralıklar)	5-30
Mevcut pompaların iyileştirilmesi	5-10
Yeni pompalama teknolojisinde iyileştirme	3-7
Bakım iyileştirilmesi ve pompaların görevleriyle daha uyumlu eşleştirilmesi (VSD'lerin kullanılması gibi)	30'a kadar

2.1 Kontrol ve İzleme Sistemlerinin (SCADA) Kullanılması

SCADA, su temin sisteminde, saha cihazları kullanılarak, su debileri ve basınçları, vana ayarları, depo su seviyeleri ve pompa çalışma durumları gibi verileri toplamak, izlemek ve yönetmek 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; Zimoch ve Bartkiewicz, 2017).

Kapsamlı SCADA veri tabanlarının kullanılabilirliğindeki artış, talep tahmini model formülasyonlarının geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Su temini sistemlerinin yönetimi su talep tahmini tasarımı, işletme ve işletme için temel bir araç haline gelmektedir. Uzun vadeli tahminler ağırlıklı olarak planlama ve tasarım için ilgi çekici iken, kısa vadeli tahminin operasyonda faydalı olduğu belirlenmiştir (Alvisi ve diğ, 2003).

2.2 Pompaların Verimli Çalışması

Dünyanın en büyük pompa üreticilerinden biri olan Grundfos'a göre, şu anda kullanılan pompaların üçte ikisinde, %60'a varan oranlarda enerji tasarrufu mümkündür (Nowak ve diğ, 2018).

Verimsiz pompa istasyonları, pompaların yetersiz kontrolünden veya hatta sistemlerin büyük olmasından kaynaklanabilir. Mevcut pompa sistemlerinin çoğu büyük boyutludur ve birçoğu %20'den fazla daha büyük boyutlandırılmıştır, bu da STS'nde enerji verimliliği için

bir fırsat teşkil etmektedir (Europump and Hydraulic Institute, 2004; Coelho ve Andarade-Campos, 2014).

2.3 Daha Yüksek Verimli Pompalar, Motorlar ve Sürücülerin Kullanılması

İçme suyu teminini ağırlıklı olarak yeraltı suları ile sağlayan su ve kanalizasyon idareleri için kuyulardaki dalgıç pompaların verimliliği oldukça önemlidir. İçme suyu temin sistemlerinde kullanılan pompaların tükettikleri enerji miktarları göz önüne alındığında, ilk yatırım maliyetleri ihmal edilebilecek düzeydedir. Diğer taraftan, teknolojik gelişmelerle beraber dalgıç pompa ve motorların verimleri her geçen gün daha da artmaktadır. Bu nedenle verimsizliğin tespiti ve sonrasında müdahale edilerek verimsizliğin giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Dalgıç pompalardaki verimsizliğin nedenleri dört ana grupta ele alınabilir (Sekmen ve diğ., 2019):

- a) İlk aşamada kuyuların devreye alınması sonrası seçilen yanlış pompa ve motorlar (boyutlandırma hatası),
- b) İşletme sırasında dalgıç pompa ve motorların yaşlanması (ve bu durumun izlenmemesi),
- c) Mevsimsel yağışların azalmasına karşın suya olan talebin artmasıyla yeraltı su seviyesinin değişmesi,
- d) Su temininden sorumlu olan idarelerin mevcut içme suyu kaynaklarını kullanmada birinci önceliklerinin işletme maliyetlerinden ziyade halka hızlı su dağıtımını olması.

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.

2.4 Değişken Hızlı Sürücülerin (VSD) Kullanılması

Pompaların enerji tüketiminin azaltılması için 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. Invertörün temel görevi, gerekli torku daha yüksek verimlilikle sağlarken motorun hızını değiştirmek için ana beslemeyi değiştirmektir. Sonuç olarak,

pompa hızı değıştikçe, pompa eğrisi farklı çalışma koşulları için ayarlanır. VSP'lerin ana avantajları, sistemdeki çalışma koşulları yüksek değışkenlik 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 değıştikçe pompa eğrisini etkin bir şekilde ölçeklendirerek yüksek verimliliği koruma olanağına sahiptir (Marchi ve diğ., 2012).

Günümüzde, birçok su temin sistemleri büyük boyutludurlar ve nadiren tam kapasitelerinde çalışırlar. Bu durum çoğu zaman pompaların optimum olmayan verimde çalışmasına neden olur. Bu gibi durumlarda genellikle kısma valfleri veya baypas hatları kullanılır. Bununla birlikte, bunların kullanımları en iyi çözüm değildir, çünkü kısma valfleri çalışma noktalarını optimum verimlilik seviyesinden uzağı kaydırarak pompa verimliliğini azaltır. Baypas hatları, akışın bir bölümünü yönlendirir, böylece pompaların çalışma noktası üzerine çok fazla etkisi olmaz. Bu çözümlere bir alternatif, pompanın dönüş hızını değıştirerek pompanın basıncını veya debisini kontrol edebilen değışken hızlı sürücülerin (VSD) kullanılmasıdır. VSD'ler, pompaların sabit basınç ve değışken debide veya sabit debi ve değışken basınçta çalışmasına olanak sağlar. Bu, pompaların açma/kapama sayısının azaltılmasını sağlar. Ayrıca, VSD'lerin kullanımı, pompaları değıştirirken 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.

Gibson'a (1994) göre, VSD'ler pompa debilerini kontrol etmek için enerji açısından verimli bir alternatiftir. VSD'lerin akış kontrolü üzerindeki etkinliği, karakteristik eğri (H-Q) ile sistem eğrisi arasındaki etkileşime bağlıdır. Bu, pompa eğrisinde genellikle nominal debinin %33'ünün altında yer alan kararsız bölgelere ek olarak maksimum ve minimum gerekli akış debilerini elde etmek için gereken hız değışiminin büyüklüğünün kullanımını içerir.

Sistem verimliliğini artırmanın ve dolayısıyla enerji tüketimini azaltmanın yollarına dair bir fikir sağlamak amacıyla değışken hızlı pompaları (elektrik motorları, invertörler ve pompaların kendileri dahil) 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 vurgulayarak, su tedarik sistemlerinin tasarımı ve işletimi için bir optimizasyon süreci ve genişletilmiş bir karar destek süreci sunmuştur. Bu süreçler, Almanya'nın Worms kentindeki su tedarik sisteminin bir modeline uygulanmıştır. Yıllık %18'e varan enerji tasarrufu öngören bir optimizasyon süreci kullanılarak farklı senaryolar karşılaştırılmıştır.

2.5 Pompa Planlaması ve Optimizasyonu

Pompaların kullandığı elektrik enerjisi su idarelerinin en büyük toplam elektrik faturasını oluşturur. STS işletmecisi, hangi pompa veya pompaların kullanılacağını bilmelidir ve şebekeyi beslerken günün hangi periyotlarının açık konumda olması gerektiğini hesaplamalıdır. Pompa istasyonunda hangi pompaların kullanılacağını seçilme sürecine bu süre içerisinde pompa planlaması denir. Pompa planlamanın ana 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 düşük basınçlarıdır, bu kısıtlamalar, pompa programını doğrudan etkilemektedir (Mäckle ve diğ, 1995).

Nüfusun ve endüstrinin artan su talebinin gecikmeden karşılanması gerektiğinden optimizasyon kullanılmadan STS'nin geliştirilmesi, optimal olmayan yapıların ortaya çıkmasına neden olur. Bu optimal olmayan yapılar, tasarım ve işletim açısından verimli olmayan sistemlere dönüşür. Bu nedenlerden dolayı STS'nde optimizasyon araçlarının

kullanımı çok önemlidir. Pompalama optimizasyonu yapılarak verimde oluşacak hafif bir artış, elektrik enerjisi ve giderlerinde önemli tasarruflara neden olabilir (Giustolisi, 2012).

Optimizasyon sorunları, geleneksel deneme yanılma yöntemleri veya daha etkili optimizasyon yöntemleri kullanılarak çözülebilir (Abiodun ve Ismail, 2013; Bolognesi ve diğ., 2014; Georgescu ve Georgescu, 2014; Mala-Jetmarova ve diğ., 2017; Luna ve diğ., 2019). 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. Bu nedenle, 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).

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).

Gelişmiş optimizasyon algoritmalarının arama süreci, doğal fenomeni, türlerin akıllı davranışını veya bazı fiziksel ilkeleri taklit eder (Patel ve Raja, 2020):

- (i) Farklı doğal fenomeni taklit eden algoritmalar: Genetik algoritma (Genetic algorithm, GA) (Holland, 1975), Diferansiyel evrim (Differential evolution, DE) (Storn ve Price, (1995), Evrim stratejisi (Evolution strategy, ES) (Beyer ve Schwefel, 2002), Genetik Programlama (Genetic Programming, GP) (Koza, 1992).
- (ii) Doğadaki farklı türlerin akıllı davranışlarını taklit eden algoritmalar: Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) (Kennedy ve Eberhart, 1995), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO) (Dorigo ve diğ., 1991), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) (Karaboga, 2005).
- (iii) Farklı fiziksel ilkeleri simüle eden algoritmalar: Tavlama Simülasyonu (Simulating annealing, SA) (Kirkpatrick ve diğ., 1983) ve Harmony arama algoritması (Harmony search algorithm, HS) (Geem ve diğ., 2001) farklı fiziksel prensibi simüle eden bazı tanınmış algoritmalarıdır.

Yukarıda bahsedilen tüm algoritmalar, kurulumları sırasında çeşitli gerçek hayat optimizasyon problemlerine uygulanmıştır (Patel ve Raja, 2020).

Son yıllarda araştırmacılar, meta-sezgisel algoritmaların keşfi ve kullanılmasıyla ilişkili etkinliği artırmak için çeşitli gelişmiş optimizasyon algoritmaları önerdiler (Patel ve Raja, 2020):

- (i) Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (Biogeography based optimization, BBO) (Simon, 2008).
- (ii) Isı transferi arama (Heat transfer search, HTS) algoritması (Patel ve Savsani, 2015).
- (iii) Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (Teaching-learning based optimization, TLBO) (Rao ve diğ., (2011).
- (iv) Simbiyotik organizma arama algoritması (Symbiotic organisms search algorithm, SOS) (Cheng ve Prayogo, 2014).
- (v) Yerçekimi arama algoritması (Gravitational search algorithm, GSA) (Rashedi ve

- diğ., 2009).
- (vi) El bombası patlama yöntemi (Grenade explosion method) (Ahrari ve Atai, 2010).
 - (vii) Lig şampiyonluğu algoritması (League championship algorithm) (Kashan, 2011).
 - (viii) Guguk kuşu arama algoritması (Cuckoo search algorithm, CSA) (Yang ve Deb, 2010).
 - (ix) Su dalgası optimizasyonu (Water wave optimization, WWO) (Zheng, 2015).
 - (x) Geçen araç arama (Passing vehicle search) (Savsani ve Savsani, 2016).
 - (xi) Sinüs-kosinüs algoritması (Sine–cosine algorithm, SCA) (Mirjalili, 2016).
 - (xii) Dolphin partner optimizasyonu (Dolphin partner optimization, DPO) (Shiqin ve diğ., 2009).
 - (xiii) Batinspired algoritması (Batinspired algorithm, BA) (Yang, 2010).
 - (xiv) Karınca aslan optimizasyonu (Ant lion optimizer, ALO) (Mirjalili, 2015).
 - (xv) Grasshopper optimizasyon algoritması (Grasshopper optimization algorithm) (Saremi ve diğ., (2017).
 - (xvi) Salp sürüsü algoritması (Salp swarm algorithm, SSA) (Mirjalili ve diğ., 2017).
 - (xvii) Yağış optimizasyonu (Rain-fall optimization) (Kaboli ve diğ., 2017).
 - (xviii) Yin-Yang-çifti Optimizasyonu (Yin-Yang-pair Optimization) (Punnathanam ve Kotecha, 2016).
 - (xix) Yusufçuk algoritması (Dragonfly algorithm, DA) (Mirjalili, 2016).
 - (xx) Yapay flora algoritması (Artificial flora algorithm) (Cheng ve diğ., 2018).
 - (xxi) Balina optimizasyon algoritması (whale optimization algorithm, WOA) (Mirjalili ve Lewis, 2016).
 - (xxii) Gri kurt optimize edici (Grey wolf optimizer, GWO) (Mirjalili ve diğ., 2014).

Bu algoritmaların mühendislik alanında az sayıda uygulaması vardır ve gittikçe kullanımları yaygınlaşmaktadır.

Bilim adamları ve araştırmacılar, su pompası sistemi planlama optimizasyon problemlerini çözmek için çeşitli optimizasyon algoritmalarını kullanmışlardır.

Pompaları pompa istasyonunda verimli bir şekilde çalıştırmak için pompa planlama işlemi yapılmalıdır. Mäckle ve diğ. (1995) yaptıkları araştırmada, pompa istasyonundaki pompaların enerji maliyetlerinin en aza indirgenmesinin asıl amaç olduğunu ve bu amaç için optimum pompa kontrol programı belirlenmesi gerektiğini belirterek, optimal kontrol formülasyonları ve farklı optimizasyon yöntemleri kullanarak optimal pompa programları geliştirmişlerdir.

Su pompası anahtarlama probleminin (water pump switching problem) optimizasyonu için meta-sezgisel algoritmaların uygulanması nispeten yetersizdir. Geem (2005) su pompası anahtarlama probleminin optimizasyonu için harmoni arama algoritmasını kullanmıştır.

Baron ve diğ. (2005) çok amaçlı pompa programlama optimizasyonu için evrimsel stratejiler kullandı.

Geem (2006, 2009) su dağıtım şebekelerinin maliyet optimal tasarımını gerçekleştirmek için harmoni arama ve hibrit parçacık sürü-harmoni arama algoritmalarını kullandı.

Wang ve diğ. (2009) su temininde iki amaçlı pompa programlama optimizasyonu gerçekleştirdi. Araştırmacılar optimizasyon için geliştirilmiş genetik algoritma kullandı.

Coelho ve Andrade-Campos (2014) STS'nin enerji verimliliğini artırmak için çeşitli stratejiler sunmuştur. Maliyetleri ve enerji tüketimini azaltmak için yatırım gerektiren ve yatırım gerektirmeyen önlemler sunulmuştur. Talep tahmini, ağ tasarımı, pompaların işletimi, gerçek zamanlı işlemler ve yenilenebilir enerji üretimi gibi konuları içeren su temin sistemlerinde hidrolik simülasyon ve optimizasyon stratejilerinin kullanımı araştırılmıştır. Su endüstrilerinin özel gereksinimlerini karşılamak için dikkate alınması gereken bazı önemli hususlar vurgulanmıştır.

Georgescu ve Georgescu (2014) basitleştirilmiş bir boru şebekesi modeli kullanarak 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.

DePaola ve diğ. (2016) uyarlamalı harmoni arama algoritmasını kullanarak pompa planlama probleminin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir.

Makaremi ve diğ. (2017) uyarlamalı bir NSGA-II algoritmasını kullanarak enerji maliyetini ve çalışan pompa sayısını en aza indirmek amacıyla su temin sistemlerinde pompa planlamasının optimizasyonunu gerçekleştirdi. Teori gerçek bir vaka için uygulandı.

Zheng ve diğ. (2017) bir Uyarlanabilir Yakınsama-Yörünge Kontrollü ACO Algoritması (Adaptive Convergence-Trajectory Controlled ACO Algorithm) geliştirdi. Geliştirilen algoritma, su dağıtım sistemi tasarım problemlerine uygulandı.

Luna ve diğ. (2019)'e göre, su temin sistemi operasyonunun verimliliğini artırmak için, genel olarak, depolama tanklarındaki su seviyelerinin optimizasyonu ve pompalama operasyonlarının planlamasının (pumping operations' scheduling) optimize edilmesi olmak üzere iki optimizasyon yaklaşımı göz önünde bulundurulur. Her iki yöntem de vaka çalışmasına bağlı olarak nispeten başarılı olabilir. Araştırmacılar enerji tüketimini ve maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir su tedarik şebekesinin pompalama zamanlamasını optimize etmek için hibrit bir genetik algoritma geliştirdi. Pompa planlamasını optimize etmenin, enerji verimliliğini gerçek çalışmaya göre ortalama %15 (maksimum %25) artırabileceğini buldular.

Terragrossa ve Capitanescu (2019), farklı meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarının (GA, SA ve PSO) performanslarını analiz etmiş ve karşılaştırmıştır. Bu algoritmalar su pompalama sistemlerinin çalışma ömrünü uzatmak ve enerji tasarrufu sağlamak için optimizasyon modelleri olarak kullanıldı.

Turci ve diğ. (2019) su pompası planlama optimizasyon problemini çözmek için İyileştirilmiş Genetik Algoritma (Improved Genetic Algorithm) kullanmıştır.

Dong ve Yang (2020) denetimli öğrenme IoT verileri ve PSO aracılığıyla uzun-kısa-sürelilik bellek (LSTM) ağının benimsenmesiyle model tahmine dayalı kontrol (MPC) çerçevesini kullanarak su yönlendirme ve drenaj pompa istasyonlarının optimum çalışma planlamasını gerçekleştirmek için veriye dayalı bir model önermiştir.

Turci ve diğ. (2020) su pompalama istasyonlarında minimum enerji harcayarak her bir pompa grubunun optimum çalışma planlamasını elde etmek amacıyla iki uyarlanabilir ve bir gelişmiş çoklu-popülasyon tabanlı doğadan ilham alan optimizasyon algoritmaları kullanmıştır. Amaç fonksiyonu birlikte çalışan tüm pompaların shaft güç tüketiminin minimum olması olarak belirlenmiştir. Algoritmalar Çin'de Şanghay'ın ana su pompa istasyonunda uygulanmış ve test edilmiştir. Genetik Algoritma (GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) gibi geleneksel çoklu

popülasyon tabanlı doğadan ilham alan optimizasyon algoritmalarına dayanan bu çalışma, modelleri karmaşık kısıtlamalara ve özelliklere uyacak şekilde uyarlamış ve geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak bu vaka çalışmasında kullanılan her yöntemin performansı karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. IGA tatmin edici bir performans göstermiş ve uyarlamalı mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak üretilen en umut verici yavruları bulmayı başarmıştır. Ancak, algoritmanın yürütme süresi nispeten yavaş olmuştur. AACO, doğadaki gerçek karıncaların davranışlarını simüle ederek çözüme ulaşmayı ve sistemin performansını iyileştirmeyi başarmıştır. APSO, çalışmada uygulanan en iyi yöntem olarak seçilmiştir.

Patel ve Raja (2020) su pompası anahtarlama probleminin optimizasyonu için yakın zamanda geliştirilen dokuz meta-sezgisel algoritmanın nitel ve nicel karşılaştırmalı analizini yapmıştır. Isı Transferi Arama Algoritması, Su Dalgası Optimizasyonu, Karınca Aslan Optimize Edici, Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Guguk Kuşu Arama Algoritması, Geçen Araç Arama, Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon ve Sinüs-Kosinüs Algoritması ele alınmıştır. Karşılaştırmalı algoritmaların sonuçları arasındaki istatistiksel anlamlılığı belirlemek için sonuçların istatistiksel analizi yapılmıştır. Çeşitli kısıt işleme tekniklerinin algoritmaların performansı üzerindeki etkisi de belirlenmiştir. En iyi algoritma için minimum enerji gereksinimi sağlayan bir dizi alternatif çözüm elde edilmiştir. En iyi performans gösteren algoritma için çalışan farklı sayıda pompa için çözümler elde edilmiştir. Ayrıca, minimum enerji çözümlerini elde etmede ele alınan algoritmanın yakınsaması sunulmuştur.

2.6 Bakım ve Onarımın İyileştirilmesi

Su dağıtım şebekelerinde maliyetin analiz edilmesi gerektiği, sistemi tasarlarken yatırım maliyeti ve bakım, işletme, onarım maliyetlerinin önemi ve özellikle kritik zamanlarda daha fazla önem kazandığı vurgulanmıştır (Suribabu ve Neelakantan, 2012). Çalışma kapsamında, sistemin ekonomik ömrü boyunca bakım ve onarım maliyetleri ve sistem performansını esas alan bir model geliştirilmiş ve önerilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen modelin, tasarım sırasında bakım ve onarım maliyetleri dikkate alındığında daha iyi bir sistem ortaya çıkacağı belirtilmiştir.

Sistemlerin toplam yükünü azaltarak enerji maliyetlerini en aza indirmek mümkündür (Tsutiya, 1997). Bu, geometrik yük ve yük kayıpları azaltılarak elde edilebilir. Yük kayıplarının azaltılması şöyle yapılabilir: (i) suyun ekonomik bir hızını elde etmek için boru

çaplarının doğru seçimi (düşük hızlar yük kayıplarını azaltır) veya (ii) boruları temizleyerek ve/veya kaplayarak boruların pürüzlülüğünü azaltma.

Bunların yanı sıra çok daha önemli tasarruflar, esas olarak bakımın iyileştirilmesi ve pompaların görevlerine daha uygun eşleştirilmesinden elde edilecektir. Yeni pompalama teknolojilerinden elde edilen enerji verimliliği kazanımları, teknoloji genellikle olgun olduğu için muhtemelen %5'ten az olacaktır. Ancak, hidrolik ve elektrik konfigürasyonlarının daha karmaşık olduğu dalgıç ve sondaj pompalarında daha önemli iyileştirmeler yapılabilir. Vaka çalışmaları ve örnekler bu iki alana odaklanma eğilimindedir, ancak dünya çapında kaçak azaltmadan yenilenebilir enerjiye kadar geniş bir faaliyet yelpazesi vardır (Brandt ve diğ., 2012).

2.7 Alternatif Enerji Kaynakları Kullanarak Enerji Üretilmesi

Hızla artan küresel enerji talebini karşılamak için alternatif enerji kaynakları arayışları artmakta ve fosil yakıtların yaydığı sera gazları küresel ısınmaya ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır (Yıldız ve diğ., 2020). Sulama, kentsel/kırsal su temini, hayvancılık ve diğer amaçlar için kullanılan mevcut su pompalama sistemlerinde konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanılması, fosil yakıt tüketimine ve sera gazı emisyonlarına önemli katkı sağlamaktan sorumludur (Chowdhury, 2018).

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 CO₂ 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 Helena Ramos, 2012).

Su temin sistemlerinde kullanılan yenilenebilir enerji çözümleri dört türe ayrılabilir: (a) rüzgâr, (b) hidroelektrik üretimi, (c) güneş ve (d) hibrit sistemler.

2.7.1 Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr endüstrisi 1990'ların başından beri sürekli artan bir oranda büyümektedir. Haziran 2014 itibariyle toplam rüzgâr enerjisi kapasitesi dünya çapındaki toplam elektrik kullanımının yaklaşık %4'üdür. Rüzgâr enerjisinin 2030 yılına kadar küresel elektrik arzının %20'sinden fazlasını sağlayacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, rüzgâr enerjisinin, enerji depolama ve kesinti sorunları bulunmaktadır. Fosil yakıtlı enerji santrallerinin rüzgâr enerjisiyle doğrudan değiştirilmesi doğru bir yöntem olmamasına rağmen yaşam döngüsü analizinin (LCA) yaygın olarak kullanıldığı bir şebekeye rüzgâr enerjisi üretim sistemi eklemenin toplam enerji maliyetini ölçmek yararlıdır (Yang ve Chen, 2016).

Mekanik olarak bağlı rüzgâr türbinlerini kullanarak rüzgâr enerjisi ile su pompalama, eski tarihten beri kullanılmaktadır. Ancak, daha yakın zamanlarda, türbinler de elektrikli olarak elektrik şebekesine bağlanmıştır. Elektrik kuplajının avantajı, rüzgâr türbininin konumunun su pompalama konumundan bağımsız olmasıdır (Muljadi, 1997).

Muljadi ve diğ. (2000) bir rüzgâr-türbini su pompalama sisteminin dinamiklerini analiz etmiş ve analiz sürecini sistemin simülasyon sonuçları ile göstermiştir. Rüzgâr türbininin çalışma noktasının motor ve su pompası karakteristiklerinden etkilendiği gözlemlenmiştir. Su pompası karakteristikleri (boyut gibi) ile uyumlu olmayan rüzgâr türbini karakteristikleri, verimlilik düşüşüne ve ayrıca çalışan rotor hızı aralığında bir azalmaya yol açmıştır.

2.7.2 Hidroelektrik enerji

Su temin sistemlerinde daha etkili ve daha ucuz diğer bir çözüm, türbinlerin pompalar olarak kullanılmasıdır (PAT). Su türbini, taşınan suyun basınç enerjisi ve hız enerjisine dayanan elektrik üretimi için kullanılan basit bir sistemdir. İki tür türbin vardır: (i) su akış yönünü değiştiren impulse türbinleri ve (ii) su basıncını ve kinetik enerjisini enerjiye dönüştüren reaksiyon türbinleri. Piyasada bulunan birçok pompa türbin olarak kullanılabilir (100 kW'a kadar kapasiteye sahip mikro hidroelektrik santrallerde) (Ramos ve diğ, 2009; Ramos ve diğ, 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).

Carravetta ve diğ. (2012) gerçek bir vaka çalışması sunmuşlar (akış debisi 1440 m³/h'den az)

ve elektrik enerjisi üretmek için mikro-hidro türbinler gibi davranan besleme borularına pompaların kurulmasını önermişlerdir. Bu türbinler, basınç kontrol valfleri kullanmak yerine basınç kontrolü sağlamak için kullanılabilir.

2.7.3 Güneş enerjisi

Tarımsal sulama ve kentsel/kırsal su temin sistemlerinde elektrikli veya dizelle çalışan su pompalama sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, şebekenin olmaması veya düzensiz olması ve yüksek dizel pompalama maliyetleri gibi temel sorunlar, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan pompalama sistemlerine odaklanmayı gerektirmektedir. Son yıllarda dünya çapındaki çevresel ve sürdürülebilir kalkınma endişeleri, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan su pompalama sistemlerine olan ilgiyi yeniden canlandırdı (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 popüler kılmaktadır (Verma ve diğ, 2021). Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi, su pompalama sistemlerinde en yaygın kullanılan enerjidir (Alshamani ve Iqbal, 2017). Su pompalama için güneş enerjisinin kullanılması, şebekeye veya dizele olan bağımlılığı azaltır.

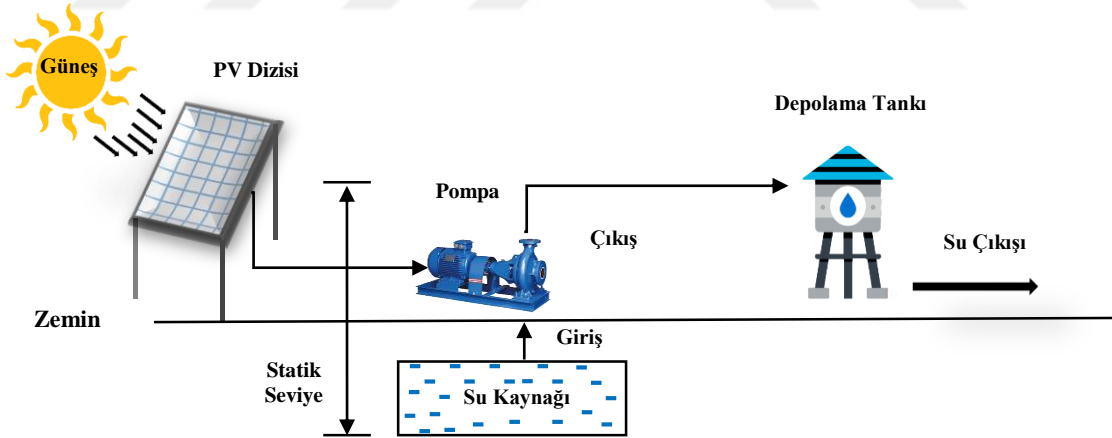
2.7.4 Hibrit sistemler

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, rüzgar türbinli şebekeli ve hidro ve rüzgar türbinli şebekeli ortak çözümlü senaryoları kullanır. YSA, bir hidrolik ve güç simülatörünün yanısıra 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.

2.8 Güneş Fotovoltaik Su Pompalama Sistemleri

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).

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 2.1'de gösterilmektedir.

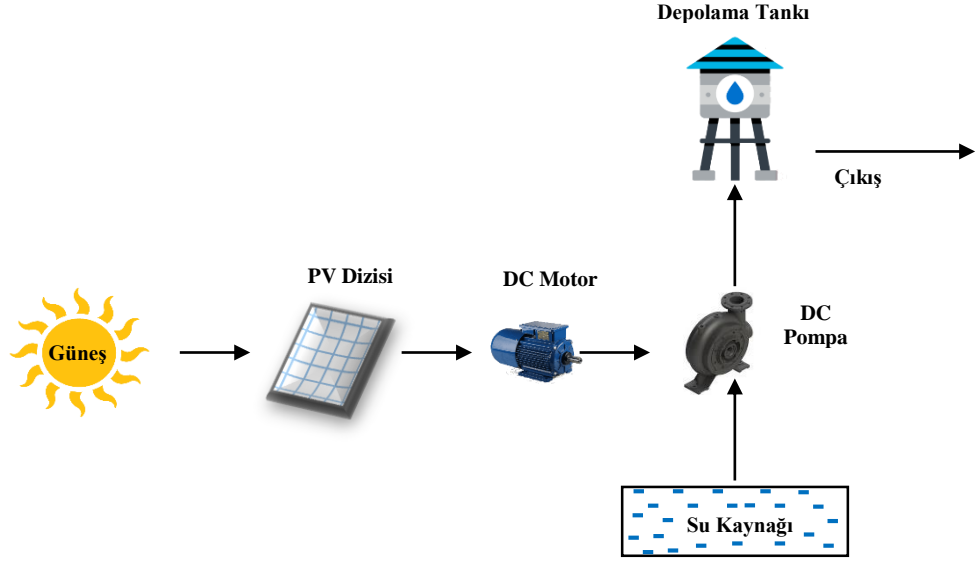


Şekil 2.1: Doğrudan bağlı bir fotovoltaik su pompalama sisteminin şematik resmi.

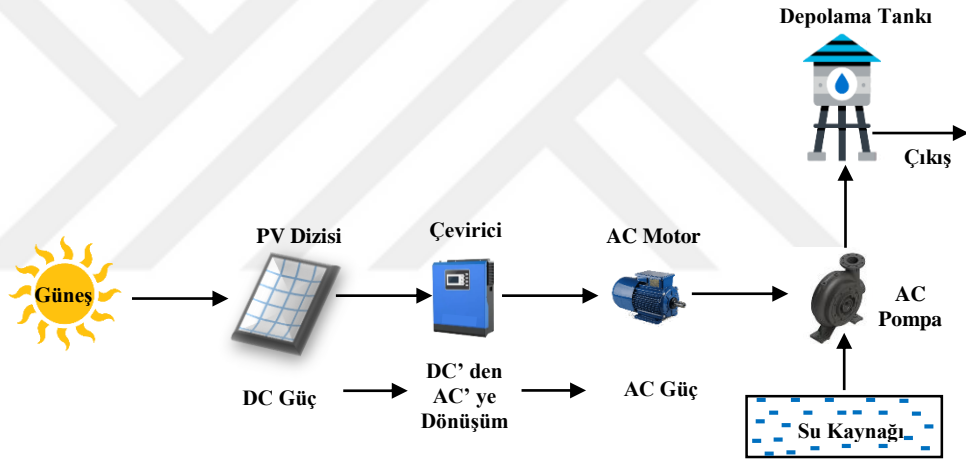
Üç tip güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPV) vardır: (i) doğrudan bağlı DC güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPVDC), (ii) AC güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPVAC) ve (iii) pil depolamalı güneş fotovoltaik su pompalama sistemi. SPV su pompalama sistemlerinin türleri Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Doğrudan bağlı DC güneş fotovoltaik su pompalama sistemlerinde, terminal voltajı ve armatür akımı, PV dizisi voltajına ve akımına eşittir (Şekil 2.2a). Pompa hızı, PV jeneratörüne düşen güneş ışınımı 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 arasına bir invertör kurulmalıdır (Şekil 2.2b). PV dizisinin çıkış gücü, güneş ışınımı 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 ışınımı mevcut olmadığına 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; Chandel ve diğ, 2017). Şekil 2.2c, 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.

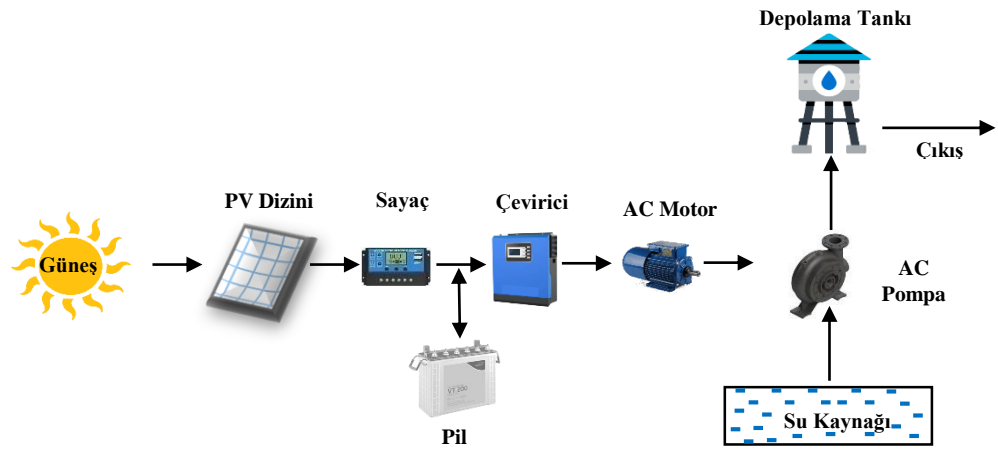




(a) Doğrudan bağlı DC güneş fotovoltaik su pompalama sistemi (SPVDC).



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



(c) Pil depolamalı güneş fotovoltaik su pompalama sistemi.

Şekil 2.2: Güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri.

Güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri sadece sulama için değil, aynı zamanda içme suyu temini, su arıtma ve tuzdan arındırma için de kullanılabilir. 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 bilincini de içeren birçok avantaja sahiptir (Allouhi ve diğ, 2019; Trace, 2021):

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

2.8.1 Su temin sistemlerinde fotovoltaik sistemler kullanılarak enerji üretilmesi

SPVWPS, güneş ışınımını elektriğe çevirerek suyu pompalayan PV teknolojisine dayanmaktadır. Bir SPVWPS, güç kaynağının güneş enerjisi olması dışında, diğer pompalama sistemlerine benzemektedir (Foster ve diğ, 2009). Günümüzde enerji kaynağı olarak PV sistemlerinin tercih edildiği uygulamalar arasında en çekici olanı su pompalama sistemleridir (Sharma ve diğ, 2020). Güneş enerjisiyle çalışan bir su pompalama sistemi, şebeke veya dizelle çalışan su pompalama sistemlerine rekabetçi bir alternatif sunar. Sistem, güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren bir PV dizisi, bir güneş enerjisi pompalama invertörü (alternatif akım (AC) ile çalışan motor için), bir motor-pompa seti ve bir su depolama tankından oluşmaktadır (Foster ve diğ, 2009; Ammar ve diğ, 2012; Chandel ve diğ, 2017). SPVWPS'nin ekonomik faydaları ve performansı, büyük ölçüde sistemin kurulduğu coğrafi konumun güneş enerjisi potansiyeline ve birçok yerel iklim parametresine bağlıdır (Allouhi ve diğ, 2019). SPVWPS, güneş ışınımı miktarının en yüksek olduğu ve suya en çok ihtiyaç duyulan saatlerde en fazla suyu sağlar. Sistem, geleneksel su pompalama sistemlerine göre ekonomik olmasının yanı sıra basit, güvenilir ve az bakım gerektirmesi gibi avantajlara sahiptir (Jamil ve diğ, 2012).

SPVWPS, Őebeke baęlantısının műmkűn olmadıęı kırsal alanlar için en iyi özűmdűr (Sharma ve dię, 2020). Ancak, kentsel su temini amacıyla kullanılan ve tamamı konvansiyonel elektrik Őebekesinden beslenen dalgıç pompaların Őebeke altyapısına ek bir yűk getirdięi de bilinen bir gerçektir (Chowdhury, 2018). GeliŐmekte olan űlkelerde su pompalama için enerji talebi artmakta ve elektrik Őebekesi altyapısı bu talebi karŐılayamamaktadır (Mantri ve dię, 2020). Bu nedenle, Őebeke baęlantısının műmkűn olduęu Őehir gibi kentsel alanlarda, pompalar tarafından Őebekeden tűketilen net gűcűn azaltılması sűrdűrűlebilirlik, enerji verimlilięi, ekonomik kalkınma ve çevresel faydalar açısından oldukça önemlidir. Kentsel su temin sisteminde geleneksel enerji kullanımının ve CO₂ emisyonlarının azaltılması, tűm kullanıcıların su ihtiyaçlarını karŐılayarak dűn vermeden gerçekleŐtirilmelidir.

Kırsal su temini, hayvancılık, sulama ve dięer amaçlar için kullanılan SPVWPS, araŐtırmacılar, politika yapıcılar, műhendisler ve yatırımcılar için bűyűk bir ilgi konusu olmuŐtur. Literatűrdeki çalıŐmaların bűyűk çoęunluęu, tamamen Őebekeden baęımsız SPVWPS'ni Őebeke elektrięi veya dizel bazlı pompalara bir alternatif olarak deęerlendirmektedir. Ancak, gűneŐ PV enerjisinin kentsel su temin sistemlerinde kullanımı ile ilgili sınırlı sayıda çalıŐma bulunmaktadır.

Elias-Maxil ve dię. (2014) su temininin kentsel su dűngűsűnűn bir parçası olduęunu belirtmiŐ, kentsel su ile ilgili literatűrű gűzden geçirmiŐ ve kentsel su dűngűsűnde enerji tűketimini azaltmak için dűnyanın farklı yerlerinde uygulanan önlemleri özetlemiŐtir.

Đurin ve Margeta (2014) kentsel su temininde kullanılan ana pompa istasyonlarını çalıŐtırmak için tek enerji kaynaęı olarak PV sistemlerinin uygulamasını analiz etmiŐtir. Sonuçlar, nerilen özűm ve tasarım metodolojisinin kentsel su temini için uygulanabilir olduęunu gűstermiŐtir.

Chandel ve dię. (2015) su pompalama sistemlerinde gűneŐ enerjisinin gű kaynaęı olarak kullanılmasına iliŐkin kapsamlı bir literatűr taraması sunmuŐ ve bu sistemlerin ekonomik fizibilitesini deęerlendirmiŐlerdir. SPVWPS'nin, kırsal, kentsel ve uzak alanlarda sulama ve su temini için dizel ve geleneksel elektrik Őebekesine dayalı pompalama sistemlerinden ekonomik olarak daha uygun olduęunu bulmuŐlardır.

Margeta ve Đurin (2017) gűneŐ enerjisinin kentsel su temin sistemine olası entegrasyonu için yeni ve yenilikçi kavramları tanımlamak ve analiz etmek amacıyla PV modűlű, invertűr,

pompa istasyonu, rezervuardan oluşan bir sistem önermiştir. Yerel enerji üretimi ve kullanımı için önerilen kavramların uygulanabilir ve sürdürülebilir olduğu gösterilmiştir.

Allouhi ve diğ. (2019), Fas'ın uzak bir bölgesinde bulunan beş evin kullanım suyu ihtiyaçlarını karşılamak için optimum bir PV sistem konfigürasyonunu araştırdı. Farklı sistem konfigürasyonlarına sahip iki PV sistemi; i) bir MPPT DC dönüştürücü içeren PV sistemi, ii) doğrudan-bağlantılı PV sistemi, analiz edildi ve değerlendirildi. Sonuçlar, MPPT DC dönüştürücülü PV sisteminin performansının doğrudan bağlantı sistemin performansından çok daha iyi olduğunu göstermiştir.



3. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde kuramsal temellere ilişkin bilgilendirme yapılmıştır. İçme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasında kullanılan optimizasyon yöntemlerine genel olarak değinilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan optimizasyon çalışmalarında kullanılan gerçek arıların davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması (Artificial Bee Colony) yöntemi hakkında daha geniş olarak bilgi verilmiştir.

3.1 Optimizasyon

Optimizasyon, genel anlamıyla, bir sistemi belirli kısıtlamalar çerçevesinde mümkün olduğunca en az maliyetle en verimli hale getirmek için uygulanması gereken, işlem veya metotların tümüdür. Kısaca, bir problemi en uygun şekilde çözmek veya bir sistemi mümkün olan en iyi duruma getirme işlemidir.

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. Bu nedenle, yenilikçi doğrusal olmayan optimizasyon algoritmaları, su temini sistemlerinin optimizasyon süreçlerinde gittikçe daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Coelho, 2016).

3.2 Optimizasyon Yöntemleri

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 zekâya dayanan algoritmalardır (Coelho ve Andrade-Campos, 2012).

3.2.1 Klasik algoritmalar

Klasik algoritmalar şunlardır:

- (i) Lineer Programlama (LP),
- (ii) Lineer Olmayan Programlama (NLP),
- (iii) Tam Sayılı Lineer Olmayan Programlama,
- (iv) 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).

3.2.2 Sezgisel algoritmalar

Tümleşik (kombinatorial) ve sayısal optimizasyon problemlerini çözmek için çeşitli modern sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir (Pham ve Karaboga, 2000). Bu algoritmalar, dikkate alınan kriterlere göre popülasyon tabanlı, iteratif tabanlı, stokastik, deterministik vb. gibi farklı gruplara ayrılabilir. Bir dizi çözümle çalışan ve bunları iyileştirmeye çalışan bir algoritmaya popülasyon tabanlı denir. Aranan çözüme yaklaşmak için birden fazla iterasyon kullanan algoritma iteratif algoritma olarak adlandırılır. Bir algoritma, bir çözümü geliştirmek için olasılık kuralı kullanıyorsa, buna olasılıksal veya stokastik denir. Algoritma tarafından simüle edilen olgunun doğasına bağlı olarak başka bir sınıflandırma yapılabilir. Bu tür sınıflandırmanın temel olarak iki önemli popülasyon tabanlı algoritma grubu vardır: evrimsel algoritmalar (EA) ve sürü zekası tabanlı algoritmalar (Karaboga ve Basturk, 2007).

Sezgisel algoritmalar grubundan, çoğunlukla, Genetik Algoritmaları (Genetic Algorithms, GA), 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).

3.2.2.1 Evrimsel algoritmalar (EA)

Evrimin temel ilkesi, çevre şartlarına en iyi uyum sağlayan bireylerin hayatta kalması olarak ifade edilebilir. Evrimin bu temel ilkesinden yola çıkılarak oluşturulmuş arama yöntemlerinin tümü, evrimsel algoritmalar olarak adlandırılmaktadır. Son yıllarda evrimsel algoritmalarla karşı yoğun bir ilgi söz konusudur. Evrimsel algoritmalar çok yönlü arama yöntemleridir. Parametrik yapıları nedeniyle geniş aralıkta problemlerin çözümü için kullanılabilir. Evrimsel algoritmaların, özellikle fen ve mühendislik alanlarında geniş uygulama alanları mevcuttur (Taşkın ve Emel, 2009).

Evrimsel algoritmaların çeşitli paradigmaları bulunmaktadır. Bu paradigmlar; evrimsel programlama, evrim stratejileri, genetik algoritmalar ve genetik programlama olarak sayılabilir. Ancak bu paradigmalardan başka birçok hibrit yöntem de bulunmaktadır (Taşkın ve Emel, 2009).

En popüler evrimsel algoritmalar, genetik algoritmadır. GA, doğal evrim olgusunu simüle etmeye çalışır. Doğal evrimde her tür, sürekli değişen bir çevrede faydalı adaptasyonlar arar. Türler geliştikçe, yeni özellikler bireysel üyelerin kromozomlarında kodlanır. Bu bilgi rastgele mutasyonla değişir, ancak evrimsel gelişimin arkasındaki gerçek itici güç, üreme sırasında kromozomal materyalin kombinasyonu ve değişimidir. 1960'ların başından beri bu ilkeleri optimizasyon rutinlerine dahil etmek için ara sıra girişimlerde bulunulmasına rağmen, GA'lar ilk olarak Michigan Üniversitesi'nin araştırmacılarından biri olan Holland (1975) tarafından sağlam bir teorik temel üzerine kurulmuştur (Karaboga ve Basturk, 2007). Genetik algoritmalar, doğal genetik metaforlardan ortaya çıkan arama ve optimizasyon algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar genel anlamda, dizilerden oluşan bir popülasyona çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir. Bu operatörlerin uygulanmasından sonra yeni bir popülasyon (yavru popülasyon) oluşur. Yeni popülasyon eski (ebeveyn) popülasyon ile yer değiştirir. Her dizinin bir uyum değeri vardır. Diziler uyum değerlerine göre seçilirler. Ortalama uyum değerinin üzerinde uyuma sahip dizilerin gelecek kuşaklarda temsil edilme olasılığı daha yüksektir.

3.2.2.2 Sürü zekâsı tabanlı algoritmalar

Sürü terimi, genel olarak, etkileşen ajanların veya bireylerin herhangi bir kısıtlanmış koleksiyonuna atıfta bulunmak için kullanılır. Bir sürünün klasik örneği, kovanlarının etrafında dolaşan arılardır, ancak metafor, benzer bir mimariye sahip diğer sistemlere kolayca genişletilebilir. Bir karınca kolonisi, bireysel ajanları karınca olan bir sürü olarak düşünülebilir; kuş topluluğu bir kuş sürüsüdür. Bir bağışıklık sistemi bir hücre ve molekül sürüsüdür, kalabalık ise bir insan sürüsüdür. Kuş sürüsü veya balık sürüsünün sosyal davranışını simüle eden parçacık sürü optimizasyonu (particle swarm optimization, PSO) algoritması, 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından tanıtılmıştır. PSO, popülasyon tabanlı bir stokastik optimizasyon tekniğidir ve çok boyutlu uzayda doğrusal olmayan fonksiyonların optimizasyonuna iyi adapte edilmiştir. PSO, farklı araştırma alanlarında çalışan araştırmacılardan büyük ilgi görmüş ve birçok gerçek dünya problemine uygulanmıştır. PSO algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonu, EA ve PSO'nun hibrit bir modeli olan Particle Swarm Inspired Evolutionary Algorithm (PS-EA)'dir (Srinivasan & Seow, 2003). Gerçek dünya sorunlarını çözerken PSO'nun sınırlamalarını telafi eder. Hatalı güncellemelerden kaynaklanan uygun olmayan bireylerden kaçınmak için PS-EA, PSO'nun çalışmalarını korurken popülasyon oluşturucu ve mutasyon operatöründe EA sezgisel yöntemleriyle PSO'yu birleştirir (Karaboga ve Basturk, 2007).

Bal arısı sürülerinin belirli akıllı davranışlarını modellemek için çeşitli yaklaşımlar önerilmiş ve kombinatoriyal tip problemlerin çözümü için uygulanmıştır. Tereshko ve Loengarov (2005), bir arı kolonisini, bir ortamdan bilgi toplayan ve davranışını buna göre ayarlayan dinamik bir sistem olarak gördüler. Arıların yiyecek arama davranışları hakkında robotik bir fikir oluşturdular. Deneyler, böcek benzeri robotların gerçek robotik görevlerde başarılı olduğunu gösterdi. Teodorovi'c (2003), trafik ve ulaşımdaki karmaşık sorunları çözmeyi amaçlayan yapay sistemlerin geliştirilmesinde arı sürüsü zekasının kullanılmasını önerdi.

Literatürde bal arısı sürüsünün akıllı davranışına dayalı çeşitli sayısal optimizasyon algoritmaları bulunmaktadır. Yang (2005) sayısal fonksiyon optimizasyonlarını çözmek için bir sanal arı algoritması (VBA) geliştirdi. Algoritma iki parametrelili fonksiyonlar için geliştirildi. Karaboğa (2005) çok değişkenli fonksiyonları optimize etmek için sanal arı algoritmasından farklı olarak bir Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony – ABC Algorithm) tanımlamıştır.

3.3 Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony – ABC Algorithm)

Doğada var olan zeki davranışlar içeren süreçlerin incelenmesi araştırmacıları yeni optimizasyon metotları geliştirmeye sevk etmiştir. Derviş Karaboğa, arıların yiyecek arama davranışını modelleyerek bir ABC algoritması geliştirmiştir (Karaboga, 2005). Karaboğa tarafından bal arısı sürüsünün akıllı yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilen ABC algoritması, sayısal optimizasyon problemleri için sürü zekası tabanlı bir algoritmadır. Optimum çözüme hızlı bir şekilde yaklaşması ile dikkat çeken ABC son zamanlarda oldukça sık kullanılmaktadır ve kullanılan alanların çoğunda da başarılı sonuçlar göstermiştir. ABC algoritması, nümerik problemler (Karaboga ve Basturk, 2008), kablosuz sensör ağları (Karaboga ve diğ., 2012), güç sistem denetleyicisi tasarımı (Eke ve diğ., 2011), fuzzy veri kümeleme (Karaboga ve Ozturk, 2011) ve görüntü analizi (Hancer ve diğ., 2012; Ozturk, ve diğ., 2014) gibi alanlarda başarılı bir şekilde uygulanmıştır. ABC algoritması bu tez çalışması kapsamında kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompaların optimizasyonu amacıyla kullanılmıştır. Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların optimum enerji verimliliği ile çalışması amacıyla 2020 yılından itibaren kullanılan ABC algoritması, Kayseri ilindeki diğer kaptaj alanlarında da uygulanmaya başlanmıştır (Sekmen ve diğ., 2021b).

ABC algoritmasında, yapay arılar kolonisi üç grup arı içerir: işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar. Yiyecek kaynağı seçmeye karar vermek için dans alanında bekleyen arıya gözcü arı, daha önce ziyaret ettiği yiyecek kaynağına giden arıya işçi arı denir. Rastgele arama yapan bir arıya kâşif arı denir. ABC algoritmasında koloninin ilk yarısı işçi yapay arılardan, ikinci yarısı ise gözcü arılardan oluşur. Her yiyecek kaynağı için sadece bir işçi arı vardır. Yani işçi arı sayısı, kovan çevresindeki yiyecek kaynaklarının sayısına eşittir. İşçi arıların sayısı aynı zamanda gözcü arıların sayısına eşittir. Nektarı tükenmiş kaynağın işçi arısı artık kâşif arı haline dönüşmektedir. Yiyecek kaynaklarının yerleri optimizasyon problemine ait olası çözümlere ve kaynakların nektar miktarları ise o kaynaklarla ilgili çözümlerin kalitesine (uygunluk) karşılık gelmektedir. ABC optimizasyon algoritması en fazla nektara sahip kaynağın yerini bulmaya çalışarak uzaydaki çözümlerden problemin minimumu ya da maksimumunu veren noktayı bulmaya çalışmaktadır (Karaboga ve Basturk, 2007; Karaboğa, 2011).

Bu modele ait süreç adımları aşağıdaki gibi verilebilir (Karaboğa, 2011):

- 1) Yiyecek arama sürecinin başlangıcında, kâşif arılar çevrede rastgele arama yaparak yiyecek aramaya başlarlar.
- 2) Yiyecek kaynakları bulduktan sonra, kâşif arılar artık görevli arı olurlar ve buldukları kaynaklardan kovana nektar taşımaya başlarlar. Her bir görevli arı kovana dönüp getirdiği nektarı boşaltır ve bu noktadan sonra ya bulunduğu kaynağa geri döner ya da kaynakla ilgili bilgiyi dans alanında sergilediği dans aracılığıyla kovanda bekleyen gözcü arılara iletir. Eğer faydalandığı kaynak tükenmiş ise görevli arı kâşif arı haline gelir ve yeni kaynak arayışına yönelir.
- 3) Kovanda bekleyen gözcü arılar zengin kaynakları işaret eden dansları izlerler ve yiyeceğin kalitesi ile orantılı olan dans frekansına bağlı olarak bir kaynağı tercih ederler.

Algoritmanın temel adımları aşağıda verilmiştir (Sekmen ve diğ, 2021b):

1. Tüm işçi arılar için olası çözümleri temsil eden ilk yiyecek kaynaklarını üret.
2. Gereksinimler karşılanana kadar aşağıdaki adımları tekrarla:
 - a. Her işçi arı bir yiyecek kaynağına gider ve bir komşu kaynağı belirler, ardından nektar miktarını (çözeltinin kalitesi) değerlendirir.
 - b. Her gözcü arı, işçi arıları izler ve birini seçer. Seçilen kaynağın etrafından bir komşu seçildikten sonra nektar miktarı da değerlendirilir.
 - c. Bazı yiyecek kaynakları terk edilmiş olarak işaretlenir ve bunların yerini kâşif arıların keşfettiği yeni yiyecek kaynakları almıştır.
 - d. Bulunan en iyi yiyecek kaynağı hafızada kaydedilir.

ABC algoritmasının temel adımları aşağıda açıklanmıştır. Bu kısım çoğunlukla Derviş Karaboğa tarafından yazılan kitaptan (Karaboga, 2011) yararlanılarak yazılmıştır.

3.3.1 Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi

ABC algoritmasında, bir yiyecek kaynağının konumu, optimizasyon probleminin olası bir çözümünü temsil eder ve bir yiyecek kaynağının nektar miktarı, ilgili çözümün kalitesine (uygunluğuna) karşılık gelir. İşçi veya gözcü arıların sayısı, popülasyondaki çözümlerin sayısına eşittir. İlk adımda, ABC, N çözümlerinin (yiyecek kaynağı konumları) rastgele dağıtılmış bir başlangıç popülasyonunu $P(G=0)$ oluşturur; burada N, popülasyonun

büyükliğini gösterir. Her çözüm (yiyecek kaynağı) x_i ($i=1, 2, \dots, N$) bir D -boyutlu vektördür. Burada D , optimizasyon parametrelerinin sayısıdır (Karaboga ve Basturk, 2007; Karaboga, 2011).

Arama uzayı yiycek kaynaklarını içeren kovan çevresidir ve algoritma arama uzayındaki çözümlere karşılık gelen rastgele yiycek kaynağı yerleri üretmek çalışmaya başlamaktadır. Rastgele yer üretme süreci her bir parametrelerinin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üretmek gerçekleşir:

$$x_{ij} = x_{minj} + rand(0,1) * (x_{maxj} - x_{minj}) \quad (3.1)$$

Burada $i=1 \dots N$, $j=1 \dots D$ ve N yiycek kaynağı sayısı ve D is optimize edilecek parametre sayısıdır. x_{minj} parametrelerin alt sınırındır (Karaboga ve Basturk, 2007; Karaboga, 2011).

3.3.2 İşçi arıların yiycek kaynağı bölgelerine gönderilmesi

Her bir kaynağın bir görevli arısı vardır. Dolayısıyla yiycek kaynaklarının sayısı görevli arıların sayısına eşittir. İşçi arı çalıştığı yiycek kaynağı komşuluğunda yeni bir yiycek kaynağı belirler ve bunun kalitesini değerlendirir. Yeni kaynak daha iyi ise bu yeni kaynağı hafızasına alır. İşçi bir arı, aşağıdaki denklemi kullanarak kaynak konumunu değiştirir ve yeni bir yiycek kaynağı konumunu keşfeder (Karaboga ve Basturk, 2007; Karaboga, 2011):

$$v_{ij} = x_{ij} + rand(0,1)(x_{ij} - x_{ij}) \quad (3.2)$$

burada x mevcut yiycek kaynakları, v yeni tespit edilen yiycek kaynağı, $k \in (1, 2, \dots, N)$ ve $j \in (1, 2, \dots, D)$ olmak üzere rasgele indis sayıları, N yiycek kaynağı sayısı ve D problemin boyutudur. k rastgele belirlense de, i 'den farklı olmalıdır.

Bu işlem sonucunda üretilen v_{ij} 'nin daha önceden belli olan parametre sınırları aşması durumunda j . parametreye ait olan alt veya üst sınır değerlerine ötelenmektedir:

$$v_{ij} = \begin{cases} x_j^{min} & , \quad v_{ij} < x_j^{min} \\ v_{ij} & , \quad x_j^{min} \leq v_{ij} \leq x_j^{max} \\ x_j^{max} & , \quad v_{ij} > x_j^{max} \end{cases} \quad (3.3)$$

Sınırlar dâhilinde üretilen v_i parametre vektörü yeni bir kaynağı temsil etmekte ve bunun kalitesi hesaplanarak bir uygunluk değeri atanmaktadır:

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & f_i \geq 0 \\ 1/abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Burada f_i , v_i kaynağının yani çözümünün maliyet değeridir. x_i ve v_i arasında nektar miktarlarına yani uygunluk değerlerine göre bir açgözlü (greedy) seçme işlemi uygulanır. Yeni bulunan v_i çözümü daha iyi ise görevli arı hafızasından eski kaynağın yerini silerek v_i kaynağının yerini hafızaya alır. Aksi takdirde görevli arı x_i kaynağına gitmeye devam eder ve x_i çözümü geliştirilemediği için x_i kaynağı ile ilgili geliştirememeye sayacı (failure) bir artar, geliştirdiği durumda ise sayaç sıfırlanır (Karaboga ve Basturk, 2007; Karaboga, 2011).

3.3.3 Gözcü arıların seleksiyonda kullanacakları olasılık değerlerinin hesaplanması

Tüm görevli arılar bir çevrimde araştırmalarını tamamladıktan sonra kovana dönüp buldukları kaynakların nektar miktarları ile ilgili gözcü arılara bilgi aktarırlar. Bir gözcü arı dans aracılığıyla paylaşılan bilgiden faydalanarak yiyecek kaynaklarının nektar miktarları ile orantılı bir olasılıkla bir bölge (kaynak) seçer. Olasılıksal seçme işlemi, algoritmada nektar miktarlarına karşılık gelen uygunluk değerleri uygulanarak yapılmaktadır. Bir gözcü arı, Denklem 3.5 ile hesaplanan, o yiyecek kaynağıyla ilişkili olasılık değerine (p_i) bağlı olarak bir yiyecek kaynağı seçer:

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^N fitness_i} \quad (3.5)$$

burada $fitness_i$ işçi arısı tarafından değerlendirilen i çözümünün uygunluk değeridir, i konumundaki yiyecek kaynağının nektar miktarı ile orantılıdır ve N , işçi arı sayısına eşit olan yiyecek kaynağı sayısıdır. Bu sayede işçi arılar, gözcü arılarla bilgi alışverişinde bulunurlar (Karaboga ve Basturk, 2007; Karaboga, 2011).

3.3.4 Gözcü arıların yiyecek kaynağı bölgesi seçmeleri

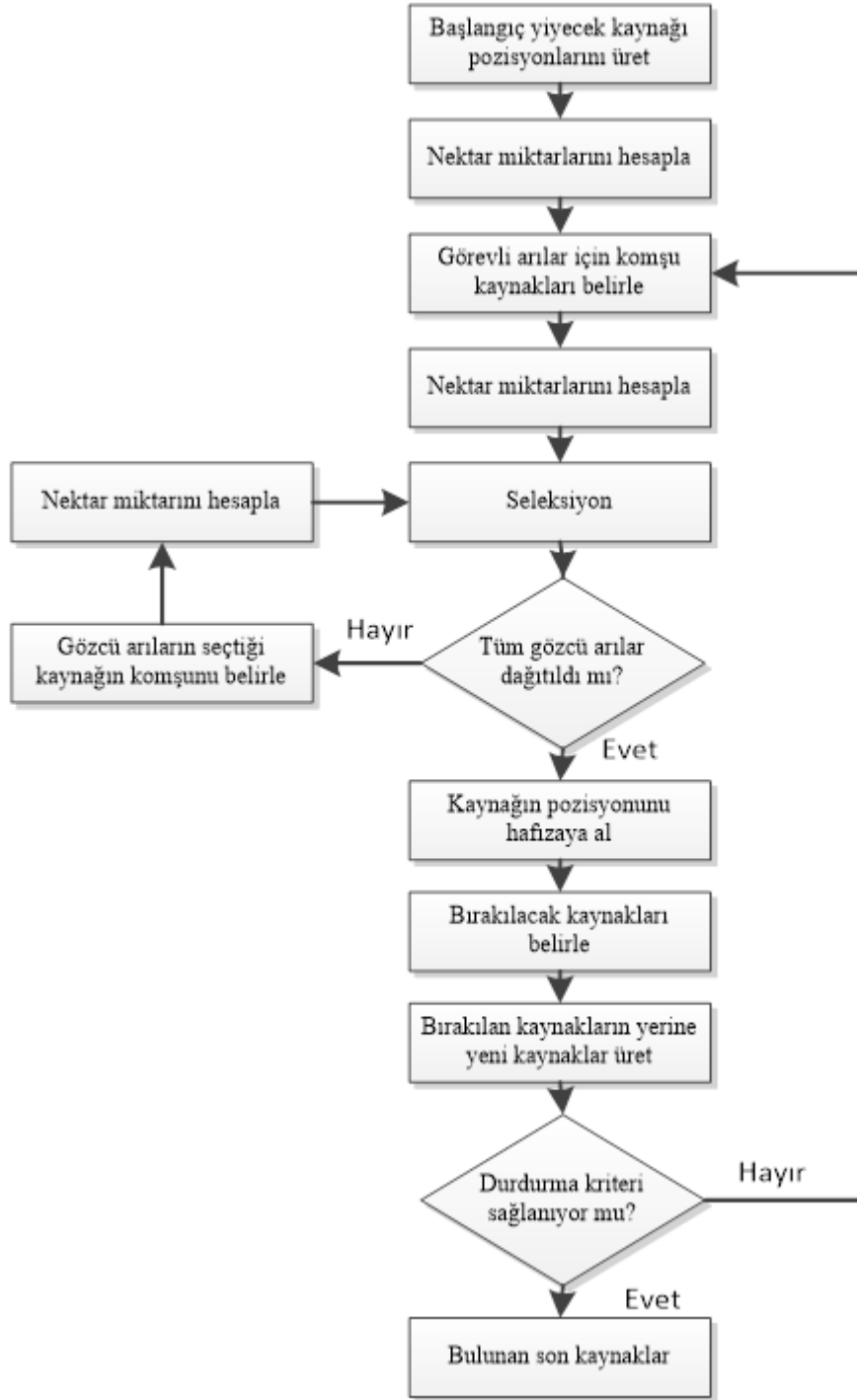
Algoritmada olasılık değerleri hesaplandıktan sonra bu değerler kullanılarak rulet tekerleğine göre seçim işlemi her bir kaynak için $[0-1]$ aralığında rastgele sayı üretilir ve p_i değeri bu üretilen sayıdan büyükse görevli arılar gibi gözcü arı da Denklem 3.2'yi kullanarak bu kaynak bölgesinde yeni bir çözüm üretir. Yeni çözüm değerlendirilir ve kalitesi hesaplanır. Sonra yeni çözümle eski çözümün uygunluklarının karşılaştırıldığı en iyi olanın seçildiği açgözlü seleksiyon işlemine tabi tutulur. Yeni çözüm daha iyi ise eski çözüm yerine bu çözüm alınır ve çözüm geliştirememeye sayacı (failure) sıfırlanır. Eski çözümün uygunluğu daha iyi ise bu çözüm muhafaza edilir ve geliştirememeye sayacı (failure) bir artırılır. Bu süreç, tüm gözcü arılar yiyecek kaynağı bölgelerine dağılına kadar devam eder.

3.3.5 Kaynağı bırakma kriteri: limit ve kâşif arı üretimi

Bir çevrim sonunda tüm görevli ve gözcü arılar arama süreçlerini tamamladıktan sonra çözüm geliştirememeye sayaçları (failure) kontrol edilir. Bir arının bir kayaktan faydalanıp faydalanmadığı, yani gidip geldiği kaynağın nektarının tükenip tükenmediği çözüm geliştirememeye sayaçları aracılığıyla bilinir. Bir kaynak için çözüm geliştirememeye sayacı belli bir eşik değerinin üzerindeyse, artık bu kaynağın görevli arısının tükenmiş olan o çözümü bırakıp kendisi için başka bir çözüm araması gerekir. Bu da biten kaynakla ilişkili olan görevli arının kâşif arı olması anlamına gelmektedir. Kâşif arı haline geldikten sonra, bu arı için rastgele çözüm arama süreci başlar (Denklem 3.1). Kaynağı terk ettiğinin belirlenmesi için kullanılan eşik değeri ABC algoritmasının önemli bir kontrol parametresidir ve “limit” olarak adlandırılmaktadır. Temel ABC algoritmasında her çevrimde sadece kâşif arının çıkmasına izin verilir.

Şekil 3.1’de ABC algoritmasının akış diyagramı verilmiştir.





Şekil 3.1: ABC Algoritmasının akış diyagramı (Karaboğa, 2018).

3.4 ABC Algoritmasının Özellikleri

ABC algoritması aslında dört farklı seçim sürecini kullanır (Karaboga ve Basturk, 2007):

- (1) Umut vaat eden kaynakları keşfetmek için Denklem 3.5 ile olasılık değerlerinin hesaplandığı yapay gözcü arılar tarafından kullanılan global seçim süreci,

(2) Denklem 3.2'de tanımlandığı gibi bellekteki kaynak çevresinde komşu yiyecek kaynağının belirlenmesi için yerel bilgiye dayalı olarak yapay işçi arılar ve gözcü arılar tarafından bir bölgede gerçekleştirilen yerel seçim süreci,

(3) Aday kaynağın nektar miktarı mevcut olandan daha iyiye, arının mevcut olanı unutup aday kaynağı ezberlediği tüm arılar tarafından yürütülen açgözlü seçim süreci adı verilen yerel bir seçim süreci. Aksi halde arı mevcut olanı hafızasında tutar.

(4) Kâşif arılar tarafından Denklem 3.1 kullanılarak gerçekleştirilen rastgele bir seçim süreci.

Temel ABC'de kullanılan üç kontrol parametresi bulunmaktadır: İşçi veya gözcü arıların sayısına eşit olan gıda kaynaklarının sayısı (N), limit değeri ve maksimum döngü sayısı (MCN).

ABC algoritmasının temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Karaboga ve Basturk, 2007):

- 1) Oldukça esnek ve basittir.
- 2) Gerçek yiyecek arayıcı arıların davranışlarına oldukça yakın şekilde simüle eder.
- 3) Sürü zekâsına dayalı bir algoritmadır.
- 4) Nümerik problemler için geliştirilmiştir ama ayrık problemler için de kullanılabilir.
- 5) Oldukça az kontrol parametresine sahiptir.
- 6) Kâşif arılar tarafından gerçekleştirilen küresel ve görevli ve gözcü arılar tarafından gerçekleştirilen bölgesel araştırma kabiliyetine sahiptir ve ikisi paralel yürütülmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Kayseri, KASKİ ve kaptaj alanları için genel bilgilendirme

4.1.1.1 Kayseri

Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Kayseri ili, 37°45' ve 38°18' kuzey enlemleri ile 34°56' ve 36°59' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kayseri ili, 16.917 km² yüzölçümü ile ülke topraklarının %2,2'sini kaplamaktadır. Ortalama yüksekliği 1.054 metredir. Merkez ilçelerle birlikte 16 ilçe bulunmaktadır. Kocasinan ve Melikgazi merkez ilçelerdir. Akkışla, Bünyan, Develi, Felahiye, Hacılar, İncesu, Özvatan, Pınarbaşı, Talas, Sarıoğlan, Sarız, Tomarza, Yahyalı ve Yeşilhisar diğer ilçelerdir (Kayseri Valiliği, 2021).

Bilinen tarihi, milattan önce 3.000'li yıllara kadar inen Kayseri, zengin su kaynakları ve verimli toprakları ile uygarlıkların cazibe merkezi bir kent olmuştur. Kıtalararası ticaretin ortaya çıktığı en eski dönemlerde, ticaret kolonilerinin hedefi haline gelen Kayseri'nin, bölgesel ticaretin kıtalararası ticarete dönüşmesindeki katkıları tarihe mal olmuştur. Kayseri, tarihinde savaşlarla bilinen zengin bir ticaret ve tarım kentidir. İmparatorlukların egemenlik kavgalarında su zenginliğinin de etkili olduğu ifade edilmektedir. Erciyes Dağı'nın kuzeye doğru uzanan eteklerindeki ovada kurulan Kayseri, arazisinin volkanik yapısı nedeniyle su kaynakları bakımından fakir izlenimi verebilir, ancak gerçekte durum bunun tersidir. Kızılırmak'ın Karasu ve Delisu kolları ile Zamantı ırmaklarından sulanan Kayseri, yer altı sularınca da zengin bir kenttir. Kayseri'ye hayat veren sular arasında Pınarbaşı Suyu, Sarız Suyu, Yahyalı Suyu, Develi Çayı, Sarımsaklı Suyu da başı çeker. Pervane deresi, Göz deresi, Hisarcık deresi ve Kesdoğan derelerinden de zengin sulara sahip olan Kayseri'de Sultan Sazlığı, Engir Gölü, Tuzhisar Gölü, İlbaşı Gölü, Çubuk Gölü, Sarı Göl ve Sazlık Gölü kente hayat verir. Ünlü seyyah Evliya Çelebi'nin Seyahatnamesinde suyundan söz ederken Turnagözünden daha berrak diye nitelendirdiği Kayseri şehri, çeşmeler zengini bir kenttir (Kayseri Valiliği, 2021).

4.1.1.2 Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (KASKİ)

Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (KASKİ), Kayseri Büyükşehir Belediyesi'nin su ve kanalizasyon hizmetlerini yürütmek ve bu amaçla gereken her türlü tesisi kurmak, kurulu olanları devralmak ve bir elden işletmek üzere, Bakanlar Kurulunun 14.12.1989 tarih ve 89/14886 sayılı kararı ile kurulmuştur. Hizmet alanı Kayseri Büyükşehir Belediyesi mücavir alanı ile sınırlı bulunan KASKİ, kentin yararlandığı ancak sınırlar dışında kalan su kaynaklarının korunmasına ilişkin çalışmaları da yürütmekle görevlidir. Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi, Kayseri Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı, müstakil bütçeli ve kamu tüzel kişiliğini haiz bir kuruluştur. KASKİ personeli 657 sayılı Devlet Memurları Kanunu hükümlerine tabidir.

4.1.1.3 KASKİ içme suyu kaptaj alanları

Kayseri şehir merkezinin su ihtiyacını karşılamak için kullanılan 16 büyük kaptaj alanı bulunmaktadır. Kayseri il merkezindeki içme suyu kaptaj alanları ve karakteristikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Kayseri il merkezindeki içme suyu kaptaj alanları ve karakteristikleri.

Kaptaj Alanı	Kuyu Sayısı	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Kapasite (lt/s)	Kapasite (lt/s) (%)
1 Anayurt	5	58,6	72,1	172	2,66
2 Anneler Parkı	18	11	25	900	13,92
3 Hacılar	7	32,50-120	33,30-124,50	227	3,51
4 Beştepeler	4	14,5	15,5	285	4,41
5 Çay Bağları	7	54	63,5	292	4,52
6 Dokuzpınar	24	15,53	17,32	1.440	22,27
7 Eğribucak	5	70,5	70,6	178	2,75
8 Gediris	4	51	55	160	2,47
9 Germiraltı	18	30	45	718	11,11
10 Mimarsinan	6	105	110	152	2,35
11 Karpuzatan	9	2	10	512	7,92
12 Keykubat	11	2,4	11,5	656	10,15
13 Erkilet	4	120	124,5	92	1,42
14 Mahrumlar	8	9,45	14	452	6,99
15 İncesu Sistem	4	51	55	160	2,47
16 TOKİ	5	128,5	162	69	1,07
Toplam	139			6.465	100,00

4.1.1.4 Germiraltı içme suyu kaptaj alanı

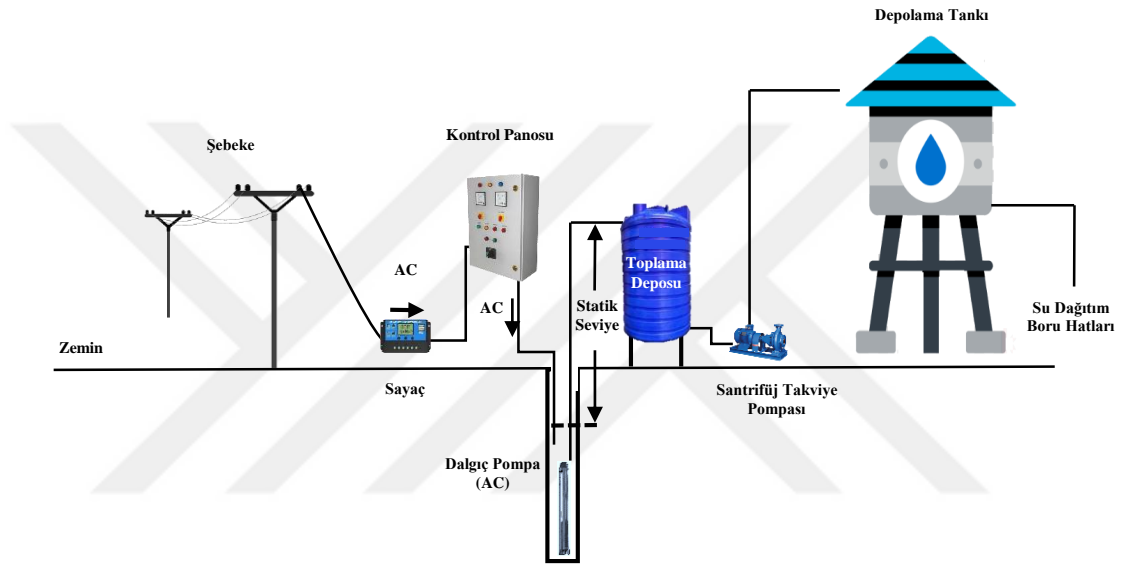
Tez çalışmasında, KASKİ'nin sorumluluk alanında bulunan Germiraltı içme suyu kaptaj alanı pilot bölge olarak seçilmiştir. KASKİ Germiraltı kaptaj alanı, Kayseri şehir merkezinin su ihtiyacını karşılamak için kullanılan 16 büyük kaptaj alanından biridir (Çizelge 4.1). Kayseri ili Melikgazi ilçesi merkez ilçesinde bulunmaktadır. KASKİ Germiraltı kaptaj alanının görünümü Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Kaptaj alanında on altısı aktif, ikisi yedek olmak üzere toplam on sekiz adet kuyu bulunmaktadır. Kuyulara ek olarak, kaptaj alanında bir su toplama deposu, bir pompa istasyonu ve bir dağıtım rezervuarı bulunmaktadır. Melikgazi ilçesi ve çevresinin su ihtiyacının önemli bir kısmı (yaklaşık %11'i) bu havzadan karşılanmaktadır (Çizelge 4.1). Kayseri'deki kaptaj alanları arasında su temini için enerji yoğunluğu ve enerji maliyeti en yüksek kaptaj alanlarından biridir.



Şekil 4.1: KASKİ Germiraltı kaptaj alanının görünümü.

Germiraltı pompa istasyonunun şematik resmi Şekil 4.2'de gösterilmiştir. KASKİ Germiraltı kaptaj alanında, yeraltı suyunu yüze çıkarmak için değişken frekans sürücülü 16 aktif dalgıç pompa kullanılmaktadır. Bu dalgıç pompalar, derin kuyulardan suyu, kuyuların yakınında ve yerden 3,4 m yükseklikte bulunan 500 m³ hacimli su toplama deposuna pompalamaktadır. Daha sonra su deposundaki su, zemin seviyesine yerleştirilmiş santrifüj pompalar vasıtasıyla 15.000 m³ hacimli rezervuara pompalanır. Rezervuarda toplanan su, yerçekimi akışı ile su dağıtım boru hatlarına aktarılır. Pompa istasyonunda pompaj işlemi 24

saat devam etmekte olup, tüm pompalar tamamen geleneksel elektrik şebekesinden güç almaktadır. Germiraltı su kaptaj alanındaki derin kuyularda kullanılan dalgıç pompalar, su debisi ve yüksekliğine göre seçilen AC motorlu pompalardır. Motor ve pompa, bir dalgıç pompada tek bir ünite olarak entegre edilmiştir. KASKİ Germiraltı kaptaj alanında bulunan kuyuların teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Dalgıç pompaların ve pompa hidrolik devrelerinin teknik özellikleri ise Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.2: Su temin sistemi genel görünümü.

Çizelge 4.2: KASKİ Germiraltı kaptaj alanındaki derin kuyuların teknik özellikleri.

Parametre	Değer
Toplam Kuyu Sayısı	18
Statik Seviye	30 m
En Düşük Dinamik Seviye	45 m
Kuyu Çapı	30 cm

Çizelge 4.3: KASKİ Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların teknik özellikleri.

Pompa	Derinlik (m) - Çap (mm)	Pompa	Tipi	Çapı (")	Debi (m ³ /h)	H _m (m)	Motor	Güç (kW)
P1		YEDEK KUYU						
P2	63 - 150	VANSAN	VSP.75/6	6	84	64	GRUNDFOS	22
P3	45 - 100	VANSAN	VSP.30/9	6	34	53	VANSAN	11
P4	54 - 150	ÜSTÜNEL	S95/5	7	85	59	MUTLU	30
P5	42 - 150	ÜSTÜNEL	S200/2	10	183	47	ÜSTÜNEL	45
P6	48 - 150	GRUNDFOS	SP.160/4A	8	173	56	GRUNDFOS	45
P7	54 - 200	VANSAN	VSP.95/5	7	105	48	VANSAN	37
P8	51 - 150	ÜSTÜNEL	S95/4	7	72	60	VANSAN	18,5
P9	45 - 125	GRUNDFOS	SP.125/3	8	126	53	İMPO	37

Çizelge 4.3: KASKİ Germiralıtı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların teknik özellikleri.
(devamı)

Pompa	Derinlik (m) - Çap (mm)	Pompa	Tipi	Çapı (")	Debi (m ³ /h)	H _m (m)	Motor	Güç (kW)
YEDEK KUYU								
P10								
P11	45 - 150	GRUNDFOS	SP.77/4	6	66	53	İMPO	18,5
P12	51 - 150	GRUNDFOS	SP.95/4	6	82	54	GRUNDFOS	18,5
P13	54 - 150	NEMUTLU	NMP.160/3	6	162	55	NEMUTLU	45
P14	54 - 150	GRUNDFOS	SP.160/4	8	201	58	ÜSTÜNEL	55
P15	78 - 150	ÜSTÜNEL	S135/4	8	129	77	ÜSTÜNEL	45
P16	60 - 150	VANSAN	VSP.75/6	6	72	65	VANSAN	22
P17	78 - 150	ÜSTÜNEL	S135/4	8	129	78	ÜSTÜNEL	45
P18	66 - 150	GRUNDFOS	SP.95/5	6	90	62	ÜSTÜNEL	22

Çizelge 4.4: KASKİ Germiralıtı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların ve pompa hidrolik devrelerinin teknik özellikleri.

Kuyu No	Dalgıç Pompanın Maksimum Gücü (kW)	Min-Maks Pompa Yüğü (m)	Pompa Seviyesi (m)	Boru Tipi – Boru Dış Çapı (mm)	Kuyu Birim Düşü (m/m ³ /h)
K2	22	33-101	63	PE - 200	0,17
K3	11	20-62	50	PE - 125	0,44
K4	30	30-51	54	PE - 200	0,17
K5	45	22-54	50	PE - 250	0,08
K6	45	22-54	48	PE - 250	0,08
K7	37	15-55	54	PE - 200	0,14
K8	18,5	27-82	51	PE - 200	0,21
K9	37	15-55	50	PE - 200	0,12
K11	18,5	27-82	50	PE - 160	0,22
K12	18,5	27-82	51	PE - 200	0,18
K13	45	22-54	54	PE - 225	0,09
K14	55	28-65	54	PE - 250	0,07
K15	45	22-54	78	PE - 225	0,11
K16	22	33-101	60	PE - 200	0,20
K17	45	22-54	78	PE - 225	0,11
K18	22	33-101	66	PE - 200	0,16

4.1.1.5 KASKİ SCADA sistemi

KASKİ faaliyet sahasında bulunan Germiralıtı su kaptaj alanındaki tüm kuyularda endüstriyel pompa kontrol ve su sistemleri izleme cihazları bulunmaktadır. Bu cihazlarda endüstriyel 3G GSM Router, PLC kontrolör ve giriş/çıkış üniteleri bulunmaktadır (Kurban ve diğ., 2020). Kuyulardaki pompaların ürettiği su miktarı elektromanyetik debimetre ile pompa ve motorun tükettiği enerji miktarı ise enerji analizörü ile ölçülmektedir. Ölçülen bu veriler her 10 saniyede bir 3G GSM Router üzerinden endüstriyel haberleşme protokolleri vasıtasıyla KASKİ bilgi işlem merkezinde bulunan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) yazılımına aktarılmaktadır. Tüm kuyularda bulunan

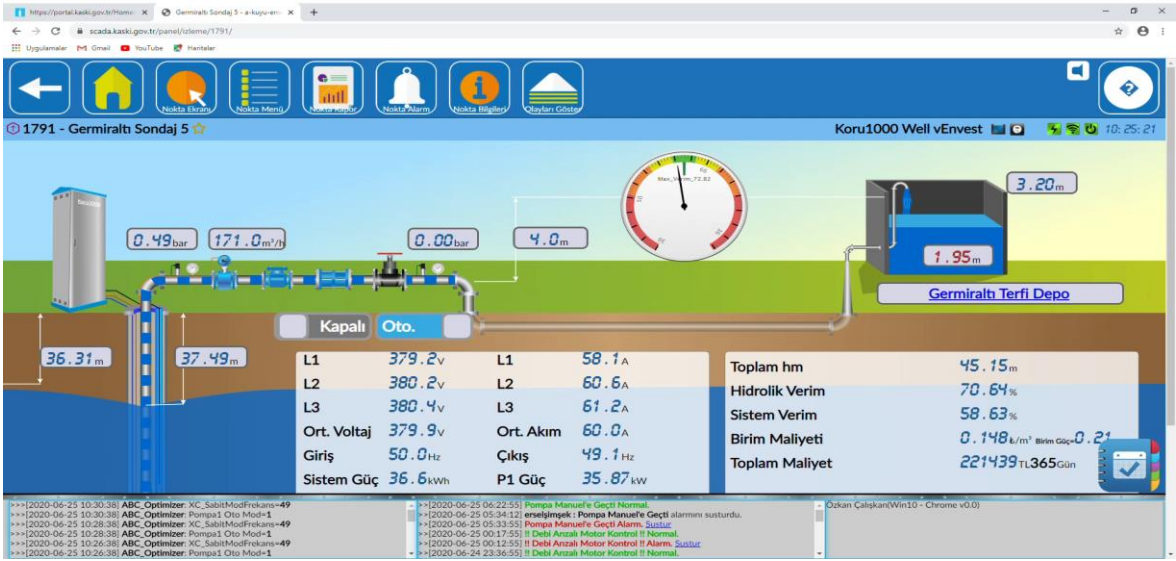
değişken hız kontrol sürücülerini, pompa kontrol cihazlarına bağlantılı olup, SCADA üzerinden motorların frekansları adaptif olarak ayarlanabilmektedir.

KASKİ bilgi işlem merkezinde bulunan SCADA sistemi aşağıdaki özelliklere sahiptir:

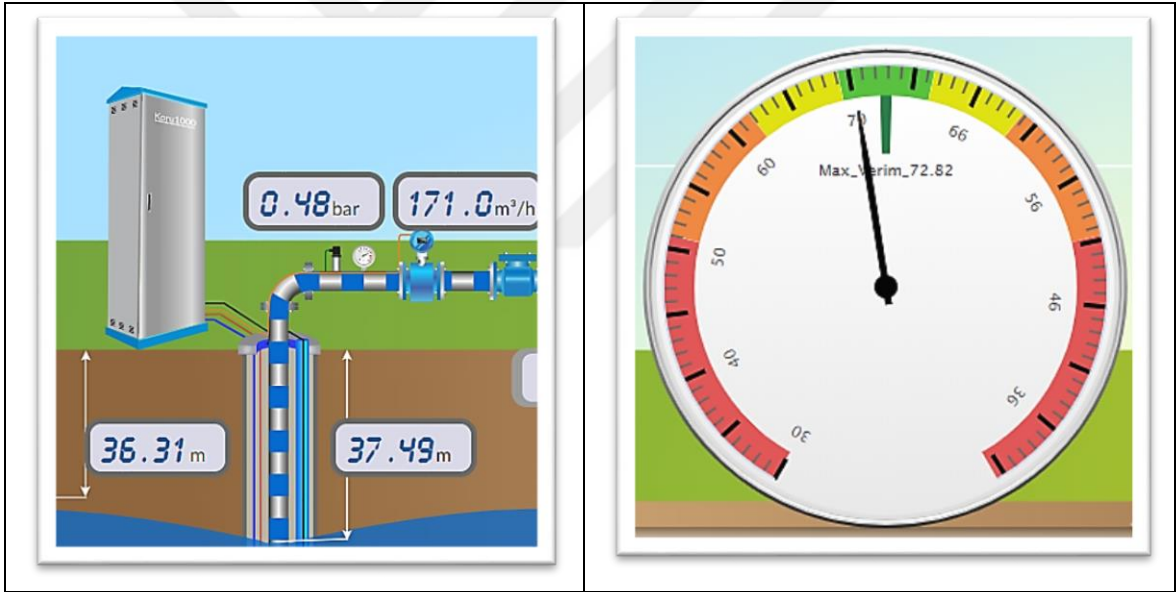
- (i) İçme suyu temin bileşenlerinin yönetimi (derin kuyu, terfi pompa merkezleri, su dağıtım depoları),
- (ii) İçme suyu dağıtım bileşenlerinin yönetimi (su şebekeleri, izole alt bölgeler (DMA) ve basınç kontrol vana (BKV) odaları),
- (iii) Klor dozajlama ve bakiye klor ölçüm istasyonları yönetimi,
- (iv) Katodik koruma redresörleri ve ölçü kutuları yönetimi,
- (v) Atık su arıtma tesisleri yönetimi,
- (vi) Kanal atık su terfi sistemleri yönetimi.

Web tabanlı olarak çalışan SCADA sistemi KASKİ faaliyet alanında bulunan yaklaşık 1.400 su istasyonunu tek bir merkezden yönetebilmektedir. Tüm saha cihazlarında bulunan 3G GSM Router'ler KASKİ APN sistemine dâhil olup güvenlik amacıyla KASKİ ağı dışından erişime kapalıdır. Modbus, Siemens, FINS, NJ vb. haberleşme protokollerine sahip pek çok farklı PLC/RTU cihazından elde edilen veriler OPC sunucusuna aktarılmakta ve buradan da SQL veri tabanı sunucusuna gönderilmektedir. Kullanıcı komutları da yine benzer şekilde OPC sunucusu üzerinden saha cihazlarına aktarılmaktadır (Kurban vd., 2020). Şekil 4.3-4.5'de KASKİ SCADA sistemine ait bazı ekran görüntüleri verilmiştir.

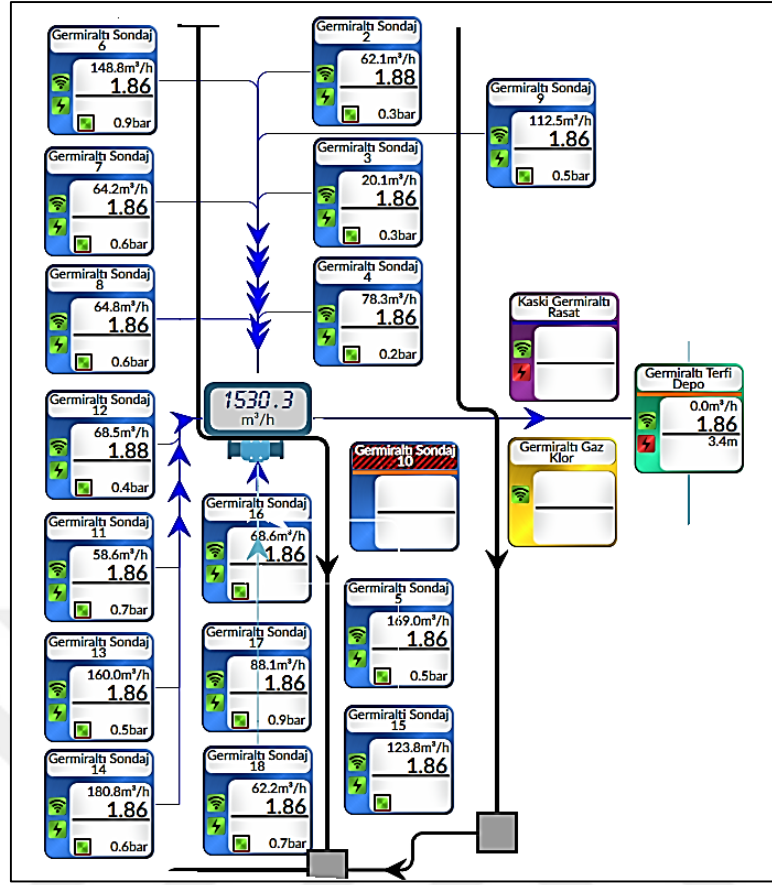
Kaptaj alanında bulunan sondaj kuyularından 30 yılı aşkın bir süredir su üretilmektedir. 2015 yılından itibaren SCADA personeli tarafından izle ve müdahale et yöntemi uygulanarak işletilmiştir. 2019 yılında havzada enerji verimliliği sağlamak amacıyla Yapay Arı Algoritması (ABC) kullanılmasına karar verilmiş ve 2020 yılı mart ayı itibarıyla bölge yapay zeka algoritması ile optimizasyon esasına dayanan işletme yöntemi ile işletilmeye başlanmıştır.



Şekil 4.3: KASKİ SCADA sistemi.



Şekil 4.4: KASKİ SCADA sistemi.



Şekil 4.5: KASKİ SCADA sistemi.

4.1.2 Kayseri iklimi

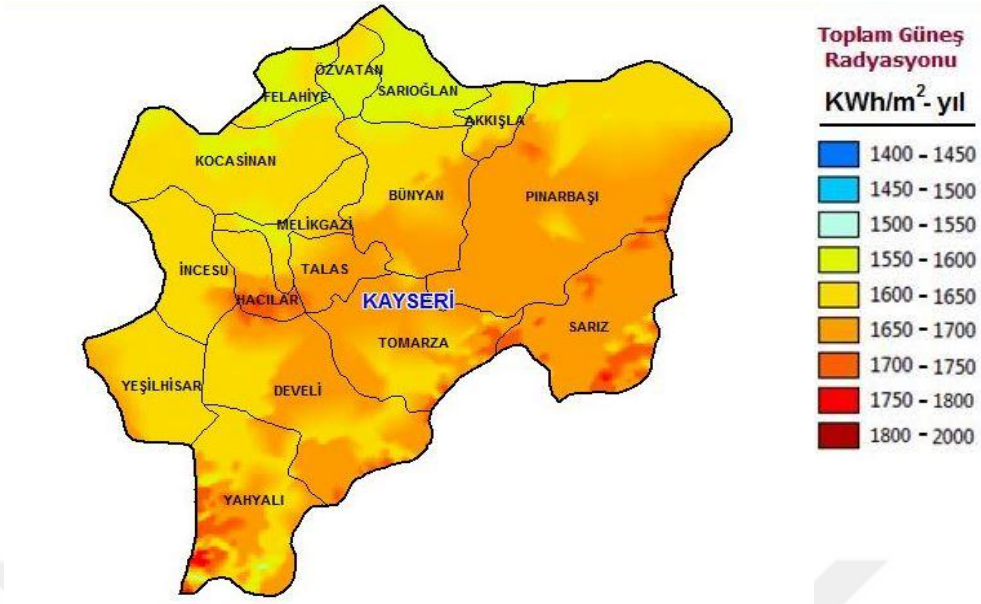
Kayseri soğuk yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Kayseri ilinde kışları soğuk ve karlı, yazları sıcak ve kurak ile İç Anadolu karasal iklimi hâkimdir (Tarım ve Orman, 2021). Kayseri için yıllık ortalama küresel yatay ışınım ve güneşlenme saatleri sırasıyla 4,36 kWh/m²-gün ve 7,8 sa/gün'dür (Şekil 4.6) (Merve ve Akkurt, 2017). Bu nedenle, güneş enerjisinin kullanımı için büyük bir potansiyel vardır.

4.1.3 Germiralıtı kaptaj alanında seçilen kuyuların ve pompaların özellikleri

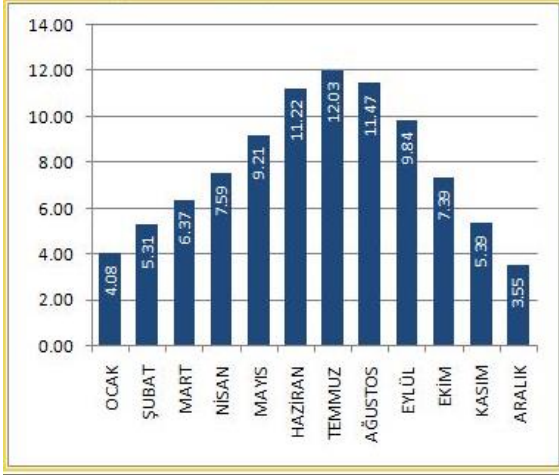
Derin kuyulardan içme suyu temininde pompa seçiminin enerji verimliliğine etkisini incelemek amacıyla KASKİ'ye ait içme suyu temininde kullanılan sondaj kuyularından Germiralıtı 14 ve Eğribucak 4 isimli kuyular seçilmiştir. Kuyuların koordinatları Şekil 4.7 ve 4.8'de verilmiştir. Seçilen kuyuların ve kuyularda bulunan dalgıç pompa hidrolik grubu ve dalgıç motorların karakteristikleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Germiralıtı 14 kuyusundaki pompanın performans ve verim grafiği Şekil 4.9'da, Eğribucak 4 kuyusundaki pompanın performans ve verim grafiği ise Şekil 4.10'da verilmiştir.

4.1.4 Bağımsız laboratuvarında kurulan model deneysel sistem

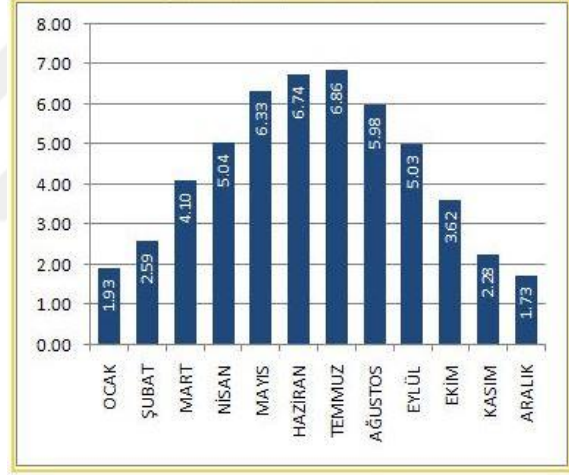
Terfi pompaları, suyu, suyun dalgıç pompalarla kuyulardan çekildiği bir orta seviye toplama deposundan bir üst besleme deposuna pompalar. Toplama deposu seviyesinin içme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine etkisini incelemek amacıyla Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında model bir deneysel sistem kurulmuştur. Deneysel sistemin şematik resmi Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Deneysel sistem 3 ana kısımdan oluşmaktadır: Kısım A, Kısım B ve Kısım C. Kısım A kuyu (1), derin kuyu pompası (dalgıç pompa) (2), frekans konvertörlü güç paneli (3), seviye sensörü (4), çekvalf (5), manometre (6), çıkış basınç sensörü (7), sürgülü vana (8), terfi hattı (9), SCADA kontrol paneli (10), elektromanyetik debi ölçer (11) ve hat basınç sensörü (12)'nden oluşmaktadır. Kısım B'nin temel elemanları şunlardır: toplama deposu (1), santrifüj pompa (2), frekans konvertörlü güç paneli (3), SCADA kontrol paneli (4), çekvalf (5), manometre (6), basınç sensörü (7), sürgülü vana (8), vakum ölçer (9), terfi hattı (10) ve elektromanyetik debi ölçer (11). Kısım C, 100 m³'lük bir dağıtım deposundan oluşmaktadır. Şekil 4.13, deney düzeneğinin genel bir görünümünü göstermektedir.



KAYSERİ Güneşlenme Süreleri (Saat)



KAYSERİ Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



Şekil 4.6: Kayseri için küresel yatay ışınım ve güneşlenme saatleri (Merve ve Akkurt, 2017).



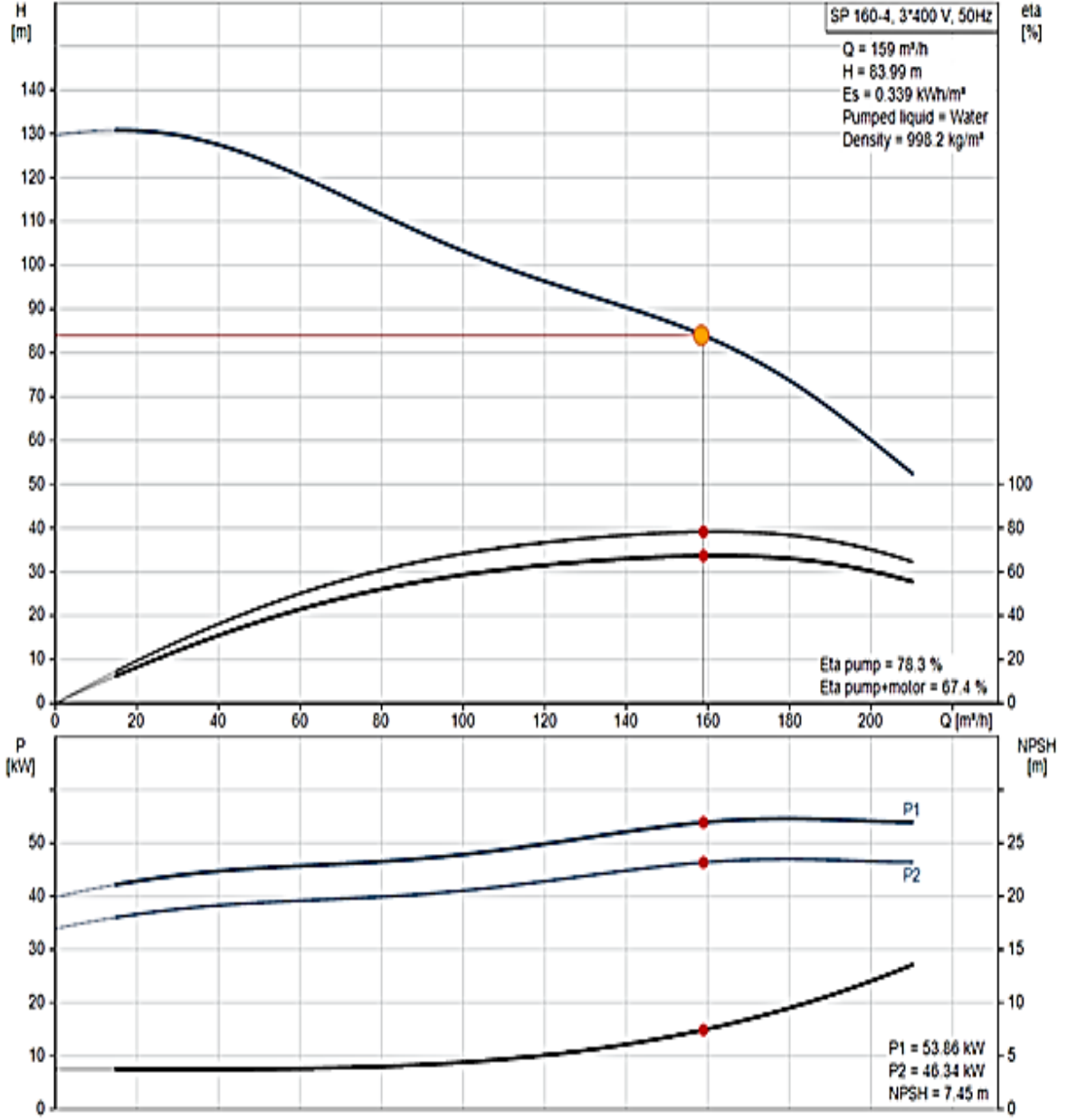
Şekil 4.7: Germiraltı 14 kuyusu.



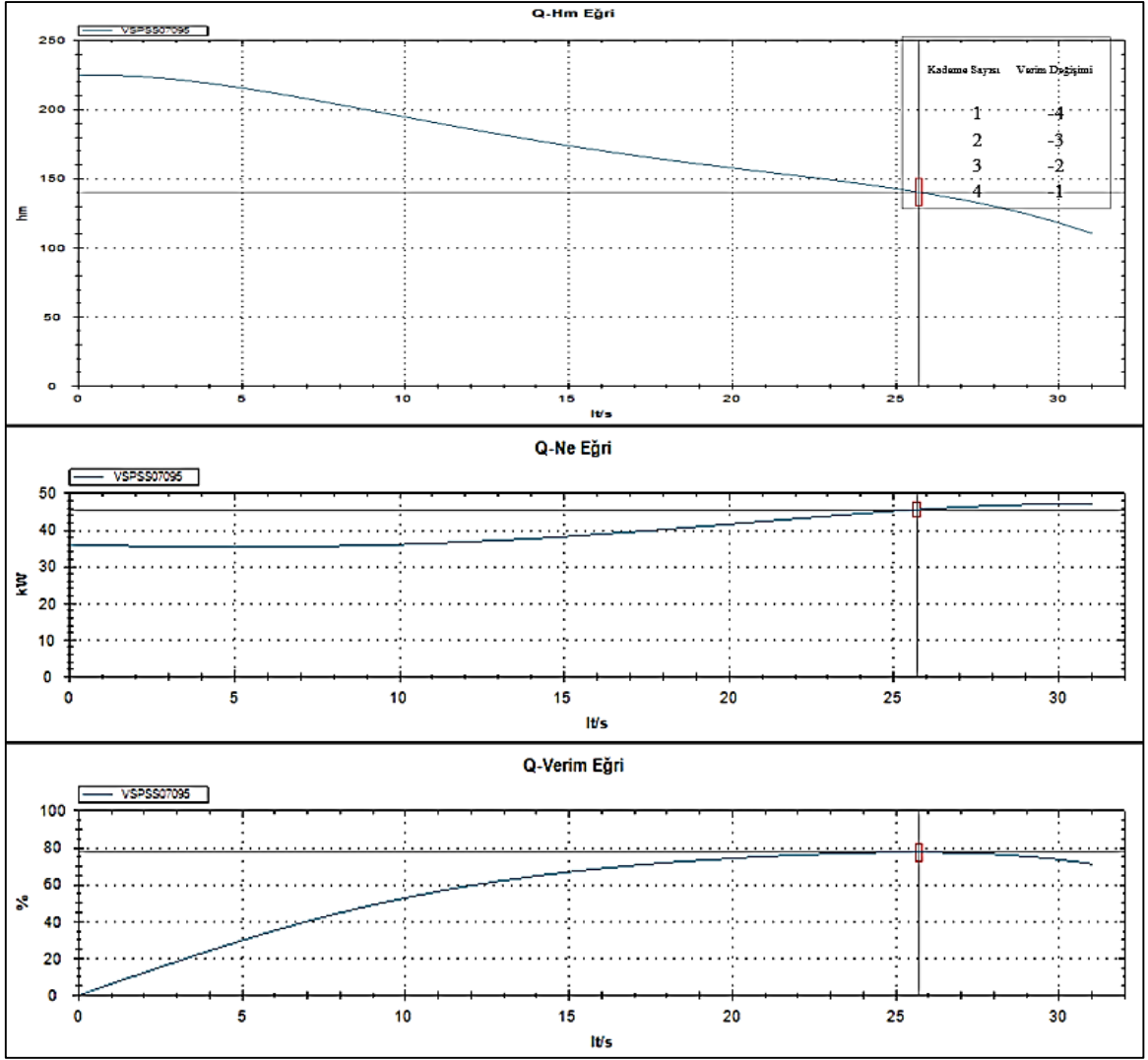
Şekil 4.8: Eğribucak 4 kuyusu.

Çizelge 4.5: Seçilen kuyuların ve kuyularda bulunan dalgıç pompa hidrolik grubu ve dalgıç motorların karakteristikleri.

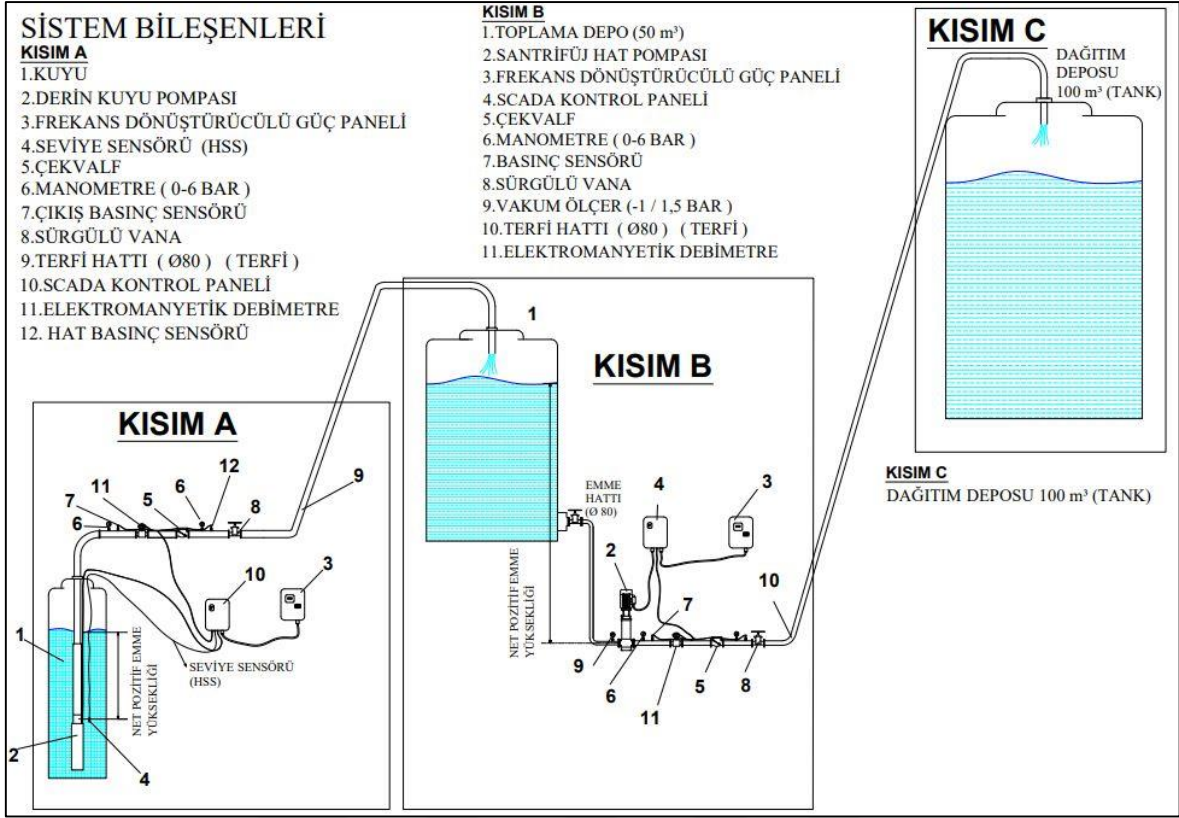
Tesis Adı	Montaj Derinliği (m)	Kuyu Çapı (mm)	Pompa Tipi	Pompa Çapı	Hidrolik Verim (%)	Debi (m ³ /h)	Hm (m)	Motor Çapı	Motor Gücü (kW)
Germiraltı 14	54	150	160/4	8"	78,3	159	84	8"	55
Eğribucak 4	84	150	95/9	7"	77,6	92,5	140	8"	45



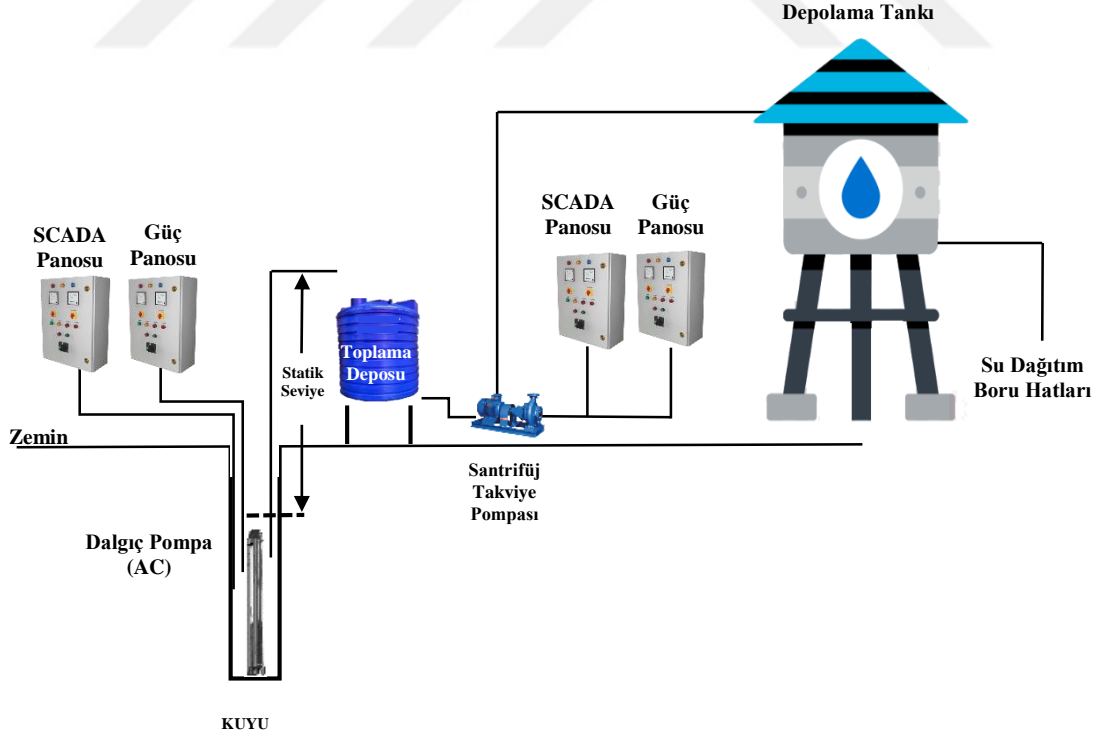
Şekil 4.9: Germiraltı 14 kuyusunun pompa katalog değerlerine göre performans ve verim grafikleri.



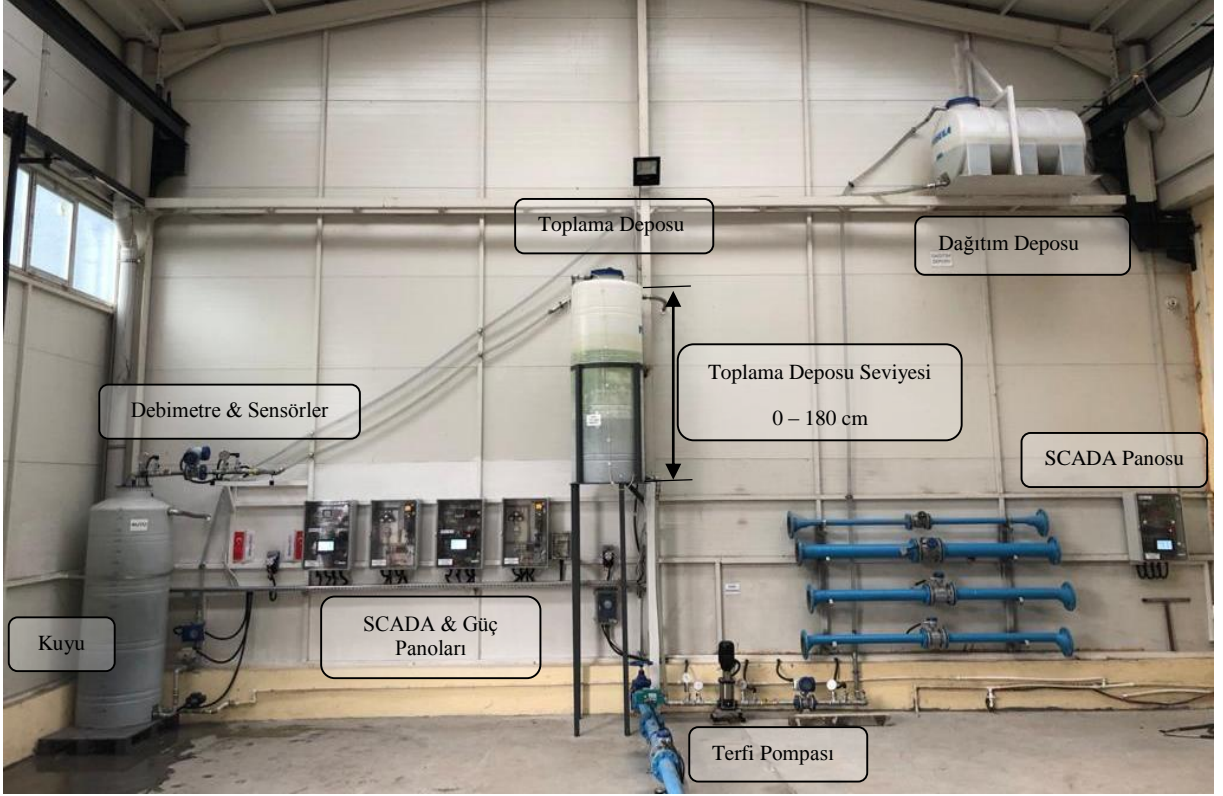
Şekil 4.10: Eğribucak 4 kuyusunun pompa katalog değerlerine göre performans ve verim grafikleri.



Şekil 4.11: Bağımsız laboratuvarında kurulan model deney düzeneğinin şematik resmi.



Şekil 4.12: Bağımsız laboratuvarında kurulan model deney düzeneğinin şematik resmi.



Şekil 4.13: Bağımsız laboratuvarında kurulan model deney düzeneğinin genel bir görünümü.

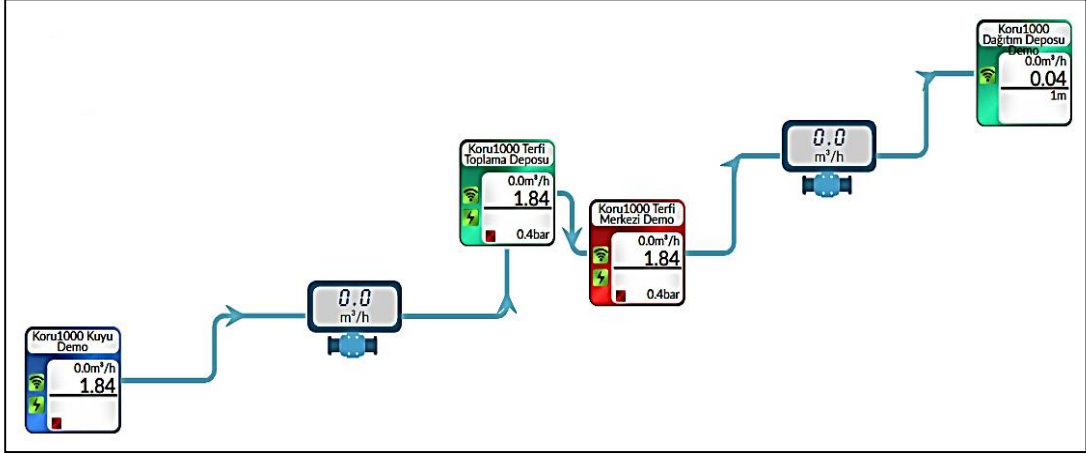
Enerji tüketimini izlemek ve değerlendirmek için deneysel sisteme bir SCADA sistemi entegre edilmiştir. Şekil 4.14, SCADA monitörünün genel görünümünü göstermektedir. SCADA sistemi kullanılarak ölçüm cihazlarının ölçtüğü anlık ölçüm değerleri kayıt altına alınmıştır. Ölçüm aletleri kullanılarak aşağıdaki veriler alınmıştır:

(i) Kuyu: su seviyesi, çıkış debisi, çıkış basıncı, hat basıncı, enerji bilgileri (gerilim, akım, güç),

(ii) Toplama deposu: giriş basıncı, çıkış basıncı, çıkış debisi, enerji bilgileri (voltaj, akım, güç),

(iii) Dağıtım deposu: su seviyesi, çıkış debisi.

Sunucular aracılığıyla her 10 saniyede bir sistemden veriler aktarılmış ve alınan veriler kayıt altına alınmıştır. Bu veriler kullanılarak kuyu kısmı, toplama deposu kısmı ve dağıtım deposu kısmı karakteristikleri değerlendirilmiştir. Enerji tüketimi ve maliyet karakteristikleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.14: SCADA monitörünün genel görünümü.

4.1.5 Önerilen güneş fotovoltaik su pompalama sistemleri

KASKİ Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompalar, tamamen geleneksel elektrik şebekesinden güç almaktadır. Tezin bu kısmının amacı, dalgıç pompalar tarafından şebekeden tüketilen net gücü azaltmak için güneş PV enerjisi kullanımının fizibilitesini araştırmaktır. Bu amaçla, hibrit güçlü su pompalama sistemi ve şebeke-bağlantılı PV sistemi olmak üzere iki farklı senaryo analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Hibrit güçlü su pompalama sisteminde, dalgıç pompalar hem PV sistemi hem de elektrik şebekesinden güç alır. Dalgıç pompalar, güneş ışınımının mevcut olduğu gündüz saatlerinde PV sistemlerinden beslenirken, güneş ışınımının olmadığı saatlerde elektrik şebekesinden beslenir. Şebeke-bağlantılı PV sistemde ise PV sistemi doğrudan elektrik şebekesine bağlıdır ve dalgıç pompalar tamamen şebekeden beslenir.

Kentsel su temin sistemlerinde güneş fotovoltaik enerji sistemlerinin kullanılmasının temel amaçları şunlardır: (i) Dalgıç pompaların enerji ihtiyacının tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması veya dalgıç pompaların enerji ihtiyacının bir kısmının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması, böylece dalgıç pompalar tarafından elektrik şebekesinden çekilen gücün azaltılması. (ii) Kullanıcıların su ihtiyaçlarının kesintisiz olarak karşılanması. Önerilen iki senaryo, bu hedeflere ulaşma yetenekleri açısından değerlendirilmiştir. Çizelge 4.6, her iki senaryo için seçilen PV modülünün teknik özelliklerini vermektedir.

Çizelge 4.6: Seçilen PV modülünün teknik özellikleri.

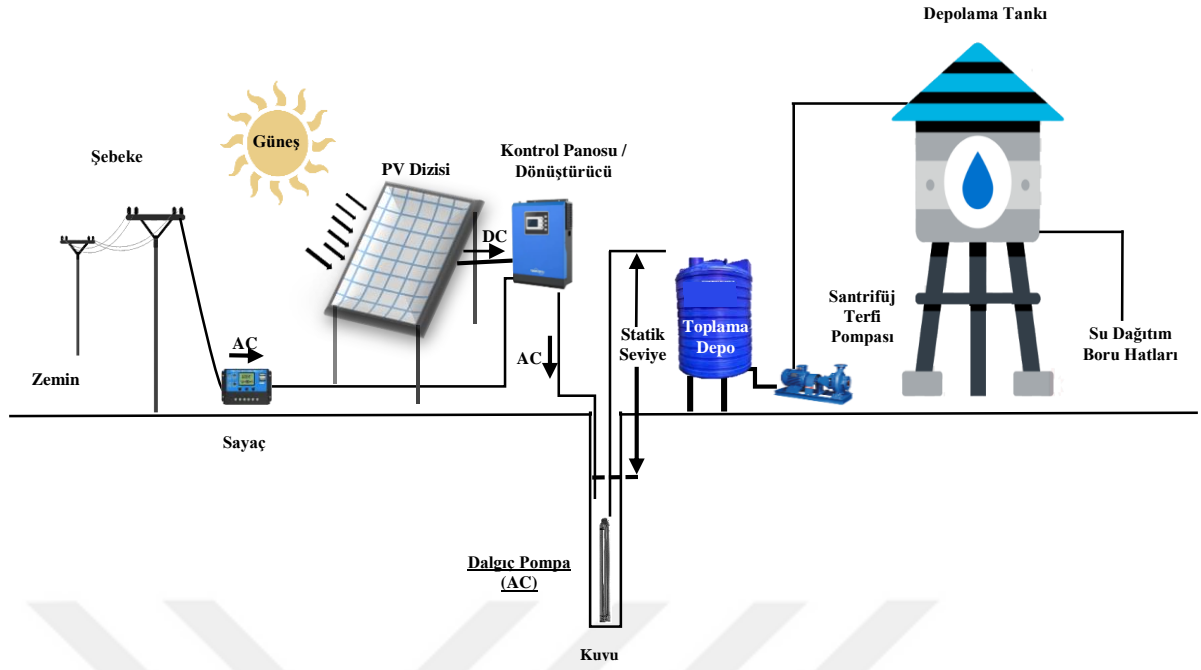
Parametre	Değer
İmalatçı	Jinksolar
Teknoloji	Si-mono
Model	JKM 300M-60-V
Nominal Güç (at STC)	300 Wp
Güç Toleransı	±3%
Kısa-Devre Akımı (I_{sc})	10,02 A
Açık Devre Voltajı (V_{oc})	39,1 V
V_{maks} güç noktası (V_{mpp})	32,60 V
I_{maks} güç noktası (I_{mpp})	9,22 A
Boyutlar	1650 mm x 992 mm x 40mm, 19 kg
Verim (at STC)	18,43%

4.1.5.1 Hibrit güçlü su pompalama sistemi

Dalgıç pompalar hem PV sistemi hem de elektrik şebekesinden güç almaktadır. Dalgıç pompalar, güneş ışınımının mevcut olduğu gündüz saatlerinde PV sistemlerinden beslenirken, güneş ışınımının olmadığı saatlerde elektrik şebekesinden beslenir. Hibrit sistemin şeması Şekil 4.15'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi hibrit sistem, PV dizisi ve kontrolörün mevcut pompalama sistemine entegre edilmesinden oluşur.

PV dizisi ve kontrolör, PVsyst yazılımı kullanılarak her bir dalgıç pompa için ayrı ayrı tasarlanmıştır. PV dizisi ve invertörün boyutunun değiştirildiği bir dizi simülasyon gerçekleştirilmiştir. Böylece, tamamen geleneksel elektrik şebekesinden beslenen su pompalama sistemi, hibrit güçlü su pompalama sistemine dönüştürülmüştür (Şekil 4.15).

Sistem, hibrit güçle çalışan bir su pompalama sistemine dönüştürüldüğünden, çok çeşitli olası çalışma koşullarını barındırır ve entegre sistem konfigürasyonlarının karmaşıklığını içerir. Bu nedenle, sistem akıllı bir enerji yönetimi stratejisi gerektirir. Ayrıca tesisteki mevcut dalgıç pompalar AC güçlü motorlar olduğu için PV dizilerin ürettiği DC gücü AC güce dönüştürmek için bir invertör kullanılması gerekmektedir. MPPT algoritmalı invertör/kontrolör, DC gücü AC güce dönüştürmenin yanı sıra, i) AC güçlü motor hızını ışınım miktarına göre ayarlar, ii) motorun kuru çalışmasını engeller, iii) su tankı dolduğunda sistemi kapatır (Meah ve diğ., 2008). Bu senaryonun simülasyonları, tüm PV ve pompalama sistemi simülasyon sürecine dahil edilerek ve meteorolojik veriler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Hibrit güçlü su pompalama sistemi için tasarlanmış PV dizilerinin ve kontrolörlerin nominal güçleri Çizelge 4.7'de gösterilmektedir. Böylece hibrit güçlü su pompalama sistemi için kurulacak PV dizisinin toplam gücü 670 kWp olarak bulunmuştur.



Şekil 4.15: Hibrit güçlü su pompalama sistemi.

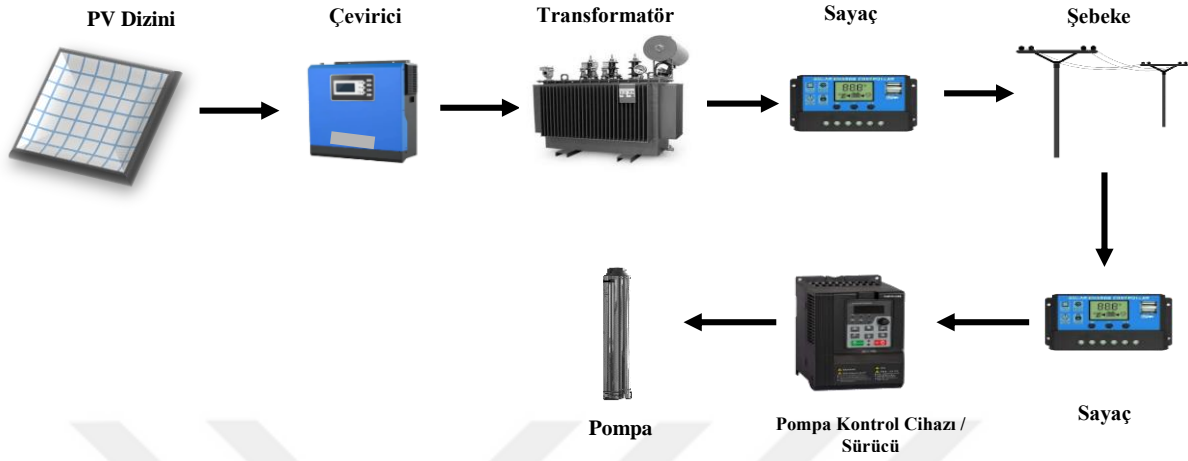
Çizelge 4.7: Hibrit güçlü su pompalama sistemi için tasarlanmış PV dizilerinin ve kontrolörlerinin nominal güçleri.

Kuyu No.	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	Toplam
Dalgıç pompaların maksimum gücü (kW)	22	13	30	45	45	37	18,5	37	18,5	18,5	45	55	45	22	45	22	519
PV dizisi (kWp)	28,8	16,2	38,4	58,5	58,5	45,6	24	45,6	24	24	58,5	72	58,5	28,8	58,5	28,8	670
Kontrolör (kW)	22	11	30	37	37	30	15	30	15	15	37	55	37	22	37	22	452
Kontrol modu	MPPT - AC invertör																

4.1.5.2 Şebekeye-bağlı PV sistemi

Şebekeye-bağlı PV sisteminin şeması Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Bu sistemde dalgaç pompalar şu anda olduğu gibi tümüyle şehir elektrik şebekesinden beslenmektedir. Önerilen şebekeye bağlı PV sistemi tarafından üretilen enerji, şebekeye enjekte edilir. Başka bir deyişle, üretim ve tüketim birbirinden tamamen bağımsızdır. Pompalar, şebekenin belirtilen voltajında çalışır ve sistem, akıllı bir enerji yönetimi stratejisi gerektirmez. Tasarım süreci, dalgaç pompalar tarafından tüketilen enerjinin tamamını şebekeye enjekte edecek nominal güce göre boyutlandırılmış bir merkezi PV sistemi ile ilgilidir. PV dizileri tarafından üretilen

DC gücü, bir invertör kullanılarak AC gücüne dönüştürülür ve ardından transformatöre yönlendirilir (Padmavathi ve Daniel 2011). Son olarak, AC gücü şebekeye iletilir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Şebekeye-bağlı PV sistemi.

Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların yıllık enerji tüketimi 2.764.124 kWh olarak ölçülmüştür (Çizelge 4-5). Buna göre, kaptaj alanındaki dalgıç pompaların günlük ortalama enerji tüketimi 7.573 kWh civarındadır. Pompaların günlük enerji tüketimi ve sistem verimliliği göz önünde bulundurularak, dalgıç pompaların tamamen güneş enerjisiyle çalışabilmesi için 1.620 kWp'lik bir PV santral kurulması gerekmektedir. Önerilen PV santrali, zemine monte olarak tasarlanmıştır ve PV santraller için ortalama arazi kullanım gereksinimi 8,3 dekar/MWp olduğu için yaklaşık 13.500 m²'lik bir alana kurulacaktır (Ong et al. 2013). Santral, 300 Wp gücünde 5.400 adet Si-mono PV modülü ve 27 adet 50 kW (300 – 950 V) invertörden oluşmaktadır. Bu senaryoda seçilen invertörün özellikleri Çizelge 4.8'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.8: Seçilen invertörün teknik özellikleri.

Parametre	Değer
İmalatçı	ABB
Model	TRIO-50_0-TL-OUTD-400
Nominal PV Gücü	51 kW
Maksimum PV Gücü	51 kW
Maksimum PV Akımı	160 A
Maksimum Verim	98,40%
Çalışma Voltajı	300-950 V
Nominal AC Gücü	50,0 kVA
Nominal AC Akımı	77 A
Maximum AC Akımı	92 A

4.1.6 PVsyst yazılımı

PVsyst, İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından PV sistemlerinin modellenmesi, simülasyonu, boyutlandırılması ve analizini gerçekleştirmek için geliştirilmiş bir simülasyon aracıdır (Özcan ve Ersöz 2019; Uyaver ve diğerleri 2020; Yıldız ve Yılmaz 2020). Şebekeye bağlı PV sistemleri, şebekeden bağımsız PV sistemleri, güneş PV su pompalama sistemleri ve DC-şebeke (toplu taşıma) PV sistemleriyle ilgilenir. PV pompalama sisteminde PVsyst, simülasyon sürecinde herhangi bir çalışma saati için basma yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak pompa tarafından sağlanan debiyi ve PV dizisi ile üretilen mevcut elektrik enerjisini belirler. Ayrıca simülasyon süreci, tankın dolu olduğu (kullanıcının çekişinde pompanın akışını sınırlamak ve kalan saat boyunca pompayı durdurmak) ve tankın boş olduğu (kullanıcının ihtiyaçlarının karşılanamadığı) durumları yönetir (PVsyst 2021). PVsyst yazılımı, sistem tasarımında kullanılan farklı parametrelerin sonuçları nasıl etkileyeceğini de gösterir. Yazılım sonuçları, sahada sistem kurulumundan önce sistemin performansını ve verimliliğini anlamaya yardımcı olur (Sharma ve diğ., 2020).

Önerilen PV sisteminin fiziksel olarak kurulum öncesinde simülasyon yazılımı kullanılarak optimum sistem tasarımının, performans analizinin, teknik ve ekonomik değerlendirmesinin yapılması çok önemlidir. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin tasarımı ve simülasyonu için birçok yazılım bulunmaktadır. PVsyst yazılımı, güneş fotovoltaik su pompalama sistemi tasarım optimizasyon simülasyonu için en uygun olması (Sharma ve diğ., 2020) ve uluslararası geçerliliği ve güvenilirliği (Yıldız ve Yılmaz, 2020) nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir.

4.1.7 Meteorolojik data

İklim koşulları, PV dizisinin performansı ve buna bağlı olarak güneş enerjili su pompası performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, bir SPVWP sistemi tasarlanırken PV jeneratörü tarafından dönüştürülen enerjiyi etkileyen ortam sıcaklığı ve ışınlam seviyesi gibi çevresel faktörlerin dikkatli bir şekilde ölçülmesi gerekir (Allouhi ve diğ., 2019). Bir PV sistemi tasarlanırken, coğrafi konumun yerel iklim verileri hakkındaki bilgileri kullanmak gerekir. Bu tez çalışmasında Kayseri ilinin meteorolojik verileri PVsyst yazılımına gömülü Meteonorm veri tabanından elde edilmiştir. Meteonorm veri tabanından elde edilen ve simülasyonlarda kullanılan Kayseri ili meteorolojik verileri, 1990-2011 yılları arasında toplam 21 yıllık veri bankasından üretilen tipik meteorolojik yıl (TMY) hava durumu verileridir. Bu veriler, güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı vb. gibi

meteorolojik unsurların saatlik değerlerini içerir. Simülasyonda kullanılan TMY hava durumu veri setinin, incelenen sahadaki hava durumu verileriyle tam olarak uyuşmadığına dikkat edilmelidir. Gerçek hava durumu verileri ile TMY hava durumu veri setleri arasındaki bu uyumsuzluk, nerilen PV sisteminin kurulması durumunda elde edilecek sonuçları bir dereceye kadar etkileyebilir.

4.2 Yöntem

4.2.1 Dalgıç pompalarda verim hesabı

KASKI'nin mevcut SCADA sisteminden, belirlenen sondaj kuyularına ait yeraltı suyunun dinamik seviyesi, hat basıncı, çalışma esnasında çekilen g ve üretilen suyun debisi kayıt altına alınmıştır. Elde edilen verilerden pompanın hidrolik verimi hesaplanmıştır. Dalgıç pompaların verimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$N = \frac{Q \times H_m}{367,2 \times \eta_m \times \eta_p} \quad (4.1)$$

N : Güç (kW)

Q : Hacimsel debi (m³/h)

H_m : Basma yüksekliği (m)

η_m : Mekanik verim

η_p : Pompa verimi

Denklem 4.1'deki η_m×η_p çarpımı toplam verimi vermektedir.

Derin kuyularda pompanın basma yüksekliği hesaplanırken kolon borusu sürtünmesi de dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada kolon borusu sürtünmesi Hazen-Williams denklemleri ile elde edilmiştir. Bu denklem, boru içinden geçen suyun miktarının borunun fiziksel özellikleriyle ilişkilendirilerek sürtünmeden dolayı gerçekleşen basıncı kaybını vermektedir. Hazen-Williams'ın avantajı denklemde bulunan ve boru pürüzlülüğünü belirten C katsayısının Reynolds sayısının bir fonksiyonu olmamasıdır. Dezavantajı ise sadece su için kullanılabilmesi ve suyun ısıl vizkozitesini dikkate almayışıdır (Walski, 2006). Ancak hesaplama yükünün kolaylığından dolayı bilgisayar sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir:

$$\frac{h_f}{L} = \frac{10,67Q^{1,852}}{C^{1,852}d^{4,8704}} \quad (4.2)$$

Burada; h_f boru sürtünmesi (metre), L boru uzunluğu (metre), Q debi (m^3/s), C boru pürüzlülük katsayısı ve d boru iç çapıdır (metre). Çizelge 4.9'da sık kullanılan kolon borusu malzemelerine ait en düşük ve en yüksek boru pürüzlük katsayı (C) değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9: Bazı kolon borusu malzemelerinin pürüzlülük değerleri.

Malzeme Türü	C Katsayısı (en düşük)	C Katsayısı (en yüksek)
Asbest	140	140
Döküm (yeni)	130	130
Döküm (10 yıllık)	107	113
Döküm (20 yıllık)	89	100
Döküm (30 yıllık)	75	90
Beton	100	140
Çelik	90	110
Galvanizli Demir	120	120
Polietilen	140	140
PVC	150	150

4.2.2 Toplama deposu seviyesinin terfi pompalarının enerji tüketimine etkisi

Tezin bu kısmında, içme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisini incelemek amaçlanmıştır. Deneyler Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında kurulan model bir deney sisteminde gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketimini izlemek ve değerlendirmek için deneysel sisteme bir SCADA sistemi entegre edilmiştir. Toplama deposu için 40, 80, 120, 160 ve 180 cm'lik beş farklı seviye kullanılmıştır. Toplama deposunun her bir seviyesi için 2 saat ölçüm yapılmıştır. Farklı toplama deposu seviyeleri için enerji tüketimi ve enerji maliyetleri analiz edilerek tasarruflar hesaplanmıştır.

Bir su temin sistemindeki bir pompa tarafından emilen güç (P), W cinsinden ve elektrik tüketimi (W), kWh cinsinden, aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir (Georgescu ve Georgescu, 2014; Sarbu, 2016):

$$P = \frac{\gamma Q H_p}{\eta} \quad (4.3)$$

$$W = P T_p \quad (4.4)$$

burada γ , N/m^3 cinsinden suyun özgül ağırlığıdır; Q , m^3/s cinsinden pompa debisidir; H_p , çalışma noktası için m cinsinden pompa yüksekliğidir; η pompa istasyonunun toplam verimidir; T_p , h cinsinden çalışma süresidir.

4.2.3 Yapay arı kolonisi algoritması ile enerji verimliliği optimizasyonu

Germiraltı kaptaj alanında bulunan sondaj kuyularından 30 yılı aşkın bir süredir su üretilmektedir. Kaptaj alanındaki pompa istasyonu, 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 itibariyle bölge yapay zeka algoritması ile optimizasyon esasına dayanan işletme yöntemi ile işletilmeye başlanmıştır. Bu bölümde yapay arı koloni algoritması (ABC) tanıtılmış ve işlem basamakları verilmiştir. Akabinde ABC Algoritmasının havzadaki pompa sistemine uygulanma süreci detaylandırılmıştır.

4.2.3.1 ABC algoritması

ABC, sayısal optimizasyon problemleri için sürü zekası tabanlı bir algoritmadır. Algoritma, bal arısı sürüsünün akıllı yiyecek arama davranışlarından esinlenmiştir (Karaboga ve Basturk, 2007). Algoritmanın temel adımları aşağıda verilmiştir:

1. Tüm işçi arılar için olası çözümleri temsil eden ilk besin kaynaklarını üret.
2. Gereksinimler karşılanana kadar aşağıdaki adımları tekrarla:
 - a. Her işçi arı bir besin kaynağına gider ve bir komşu kaynağı belirler, ardından nektar miktarını (çözeltinin kalitesi) değerlendirir.
 - b. Her gözcü arı, işçi arıları izler ve birini seçer. Seçilen kaynağın etrafından bir komşu seçildikten sonra nektar miktarı da değerlendirilir.
 - c. Bazı besin kaynakları terk edilmiş olarak işaretlenir ve bunların yerini kâşif arıların keşfettiği yeni besin kaynakları almıştır.
 - d. Bulunan en iyi besin kaynağı hafızada kaydedilir.

Algoritmada, bir besin kaynağının konumu, probleme olası bir çözümü temsil eder ve bir besin kaynağının nektar miktarı, bu çözümün kalitesine (uygunluğuna) karşılık gelir. Çözüm sayısı, popülasyonda istihdam edilen işçi arı sayısına eşittir. Adım 1'de, homojen olarak dağıtılmış rastgele bir ilk popülasyon (besin kaynağı pozisyonları) üretilir. 2. adımda, popülasyon, sırasıyla işçi, gözcü ve kâşif arıların arama süreçlerinin döngülerini tekrarlamak için değerlendirilir. Gözcü bir arı, aşağıdaki denklemin olasılığı ile bir besin kaynağı (i) seçer:

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_n^N fitness_n} \quad (4.5)$$

İşçi bir arı, aşağıdaki denklemi kullanarak kaynak konumunu değiştirir ve yeni bir besin kaynağı konumunu keşfeder:

$$v_{ij} = x_{ij} + rand(0,1)(x_{ij} - x_{kj}) \quad (4.6)$$

burada x mevcut yiyecek kaynakları, v yeni tespit edilen yiyecek kaynağı, $k \in (1,2, \dots, N)$ ve $j \in (1, 2, \dots, D)$ olmak üzere rasgele indis sayıları, N yiyecek kaynağı sayısı ve D problemin boyutudur.

Yeni kaynağın nektar miktarı öncekinden daha yüksekse, yeni kaynak konumu hafızaya alınır. Tüm işçi arılar arama sürecini tamamladıktan sonra kaynakların konum bilgileri izleyenlerle paylaşılır. Gözcü arılar, işçi arılardan aldıkları nektar bilgilerini değerlendirir ve kaynakların nektar miktarlarına bağlı olarak bir besin kaynağı seçerler. Limit parametresi ile belirlenen bazı kaynaklar terk edilerek kâşif arılar tarafından rastgele yeni kaynaklar üretilir (Aslantas ve Kurban, 2010).

4.2.3.2 Pompa gruplarının ABC algoritması ile enerji verimliliği odaklı optimizasyonu

Birden fazla derin kuyu pompası ile su temini yapılan kaptaj alanlarında pompa çalışma düzeninin enerji verimliliği odaklı yapılabilmesi amacıyla sistem bir minimizasyon problemi olarak tasarlanmalıdır. Kaptaj alanlarından su temininde birinci öncelik pompaların suyu bastığı deponun seviyesinin halkın su ihtiyacı da gözetilerek mümkün olduğunca dolu tutulmasıdır. İkinci öncelik ise birinci işlemi yaparken pompaları enerji tüketimi açısından en verimli noktalarda işletmektir. Burada, $F_p=x$ optimize edilecek olan ve 16 adet pompanın çalışma frekanslarını ifade eden parametre vektörü, DS hedef depo seviyesi, **PompaDebiEnerji** pompaların hangi frekansta hangi miktarda su üretimi ve enerji tüketimini gösterir veri matrisi, *HedefDebi* ise hedeflenen toplam su debisi olmak üzere minimize edilecek uygunluk fonksiyonu değeri

$$(UFD): arg \min\{UFD = mf(F_D)\} \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmıştır.

Şekil 4.17’de gösterilen ABC tabanlı optimizasyon yönteminin adımları şu şekildedir:

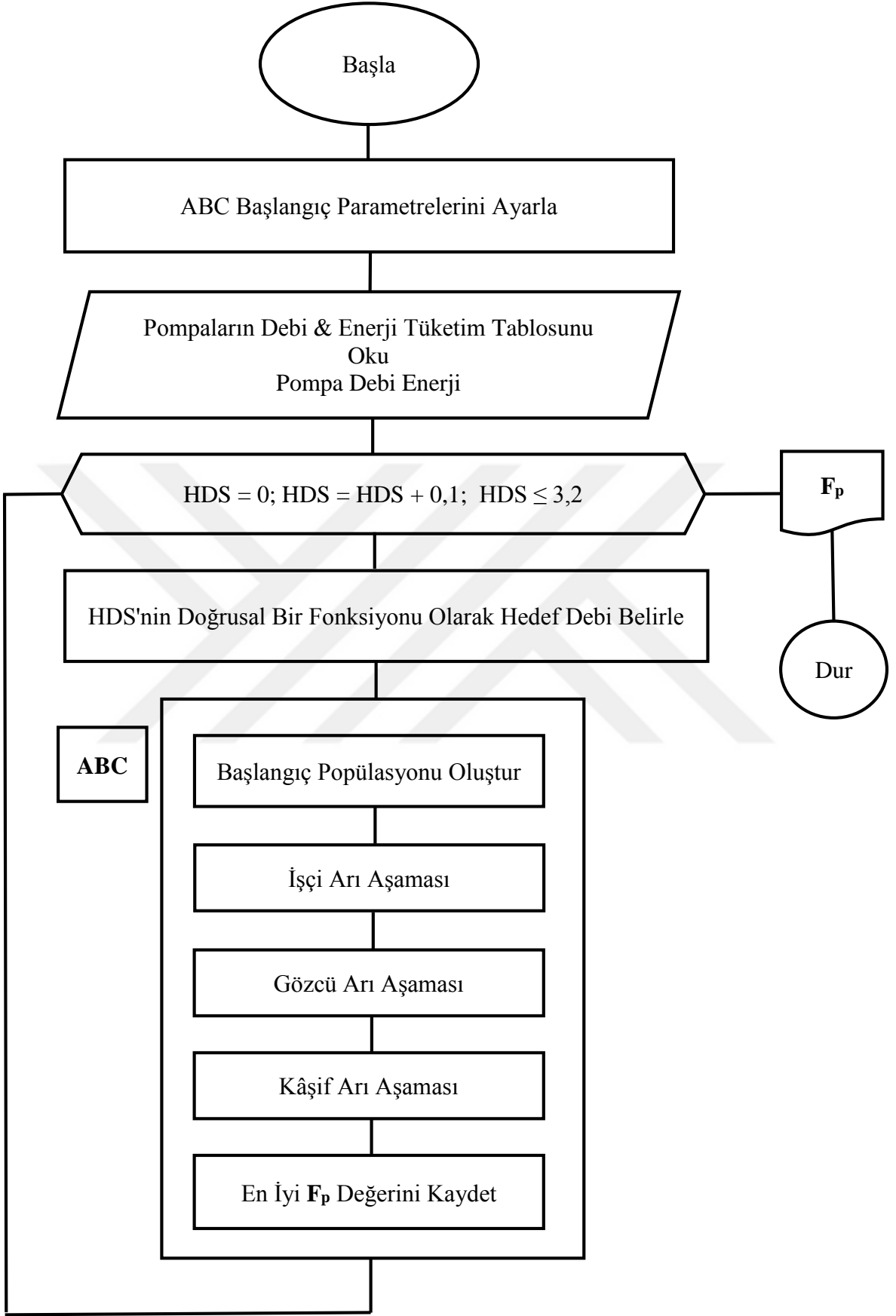
1. ABC algoritmasının başlangıç parametrelerini ayarla. ($N=40$, $limit=200$, $maxcycle=1.000$, $D=16$, $ub=55$, $lb=35$).

2. Gruptaki pompaların 1-60 Hz arası debi ve güç tablolarını oku (**PompaDebiEnerji**).
3. *HedefDebi*'yi hedef depo seviyesinin doğrusal bir fonksiyonu olarak belirle.
4. Hedef deponun 0 m'den 3,2 m'ye kadar 0,1 m aralıklar ile tüm seviye (*DS*) kombinasyonları için aşağıdaki adımları tekrarla:
 - a. Başlangıç popülasyonunu oluştur ve *maxcycle* kadar b-e adımlarını tekrarla.
 - b. İşçi arı aşamasını gerçekleştir (çözümlerin kalitesini maliyet fonksiyonu *mf* ile ölç).
 - c. Olasılıkları hesapla.
 - d. Gözcü aşamasını gerçekleştir (en iyi çözümü hafızada tut).
 - e. Kâşif aşamasını gerçekleştir.
 - f. Maliyet fonksiyonuna göre optimize edilen en iyi F_p değerini kaydet.
5. 0 m'den 3,2 m'ye kadar 0,1 m aralıklar *DS* için F_p değerlerine göre pompa gruplarını çalıştıracak tabloyu oluştur ve SCADA sisteminde işletilmesini sağla.

Pompaların çalışma/frekans bilgileri ve toplama deposunun su seviyesini parametre olarak alan maliyet fonksiyonu *mf* şu şekilde hesaplanmaktadır:

1. Üretilmesi gereken toplam su debisini (*HedefDebi*) toplama deposunun hedef seviyesinin (*DS*) doğrusal bir fonksiyonu olarak belirle.
2. ABC'nin ürettiği her bir F_p değeri için **PompaDebiEnerji** veri matrisini kullanarak hangi pompaların açık kapalı olduğunu (**PompaAcikKapali**) belirle, açık olan pompalar kullanılarak toplamda ne kadar su üretilebileceği (*AnlikTopDebi*), bu suyu üretirken ne kadar enerji tüketileceğini belirle (*AnlikTopEnerji*).
3. Ortalama birim su üretim maliyetini hesapla
($OrtBirimMaliyet = AnlikTopDebi / AnlikTopEnerji$).
4. $Penalty = |HedefDebi - AnlikTopDebi|$
5. $DB = \begin{cases} 0 & \text{Eğer } Penalty \leq HedefDebi * 0,20 \\ Penalty & \text{değilse} \end{cases}$
6. $EB = OrtBirimMaliyet$
7. $UFD = EB + DB$

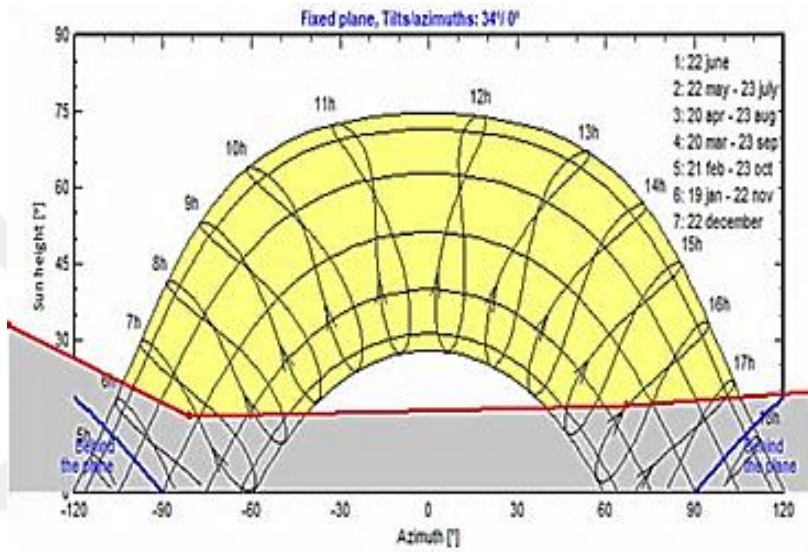
burada *UFD* minimize edilmek istenen uygunluk fonksiyonu değeri, *DB* depo doldurma bileşeni, *EB* ise enerji verimliliği bileşenidir.



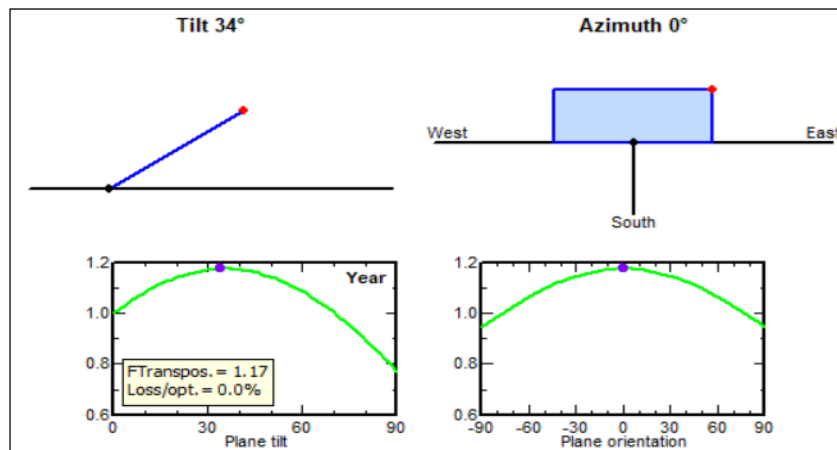
Şekil 4.17: ABC tabanlı optimizasyon yöntemi akış şeması.

4.2.4 Fotovoltaik modüllerin yönlendirilmesi

PV modüllerin eğim açısı maksimum güneş enerjisi alacak şekilde belirlenmelidir. Bu eğim açısı, optimuma göre kaybın %0 olduğu açıdır. KASKİ Germiraltı kaptaj alanının coğrafi konumu için güneş yolu diyagramı ve optimum eğim ve azimut açısı sırasıyla Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. 22 Haziran'da güneş gökyüzünde en yüksek konumdayken, 22 Aralık'ta güneş gökyüzünde en alçak konumdadır. Eğim açısı 34° olduğunda optimuma göre kayıp %0'dır, bu nedenle simülasyonlar güneş azimut açısının 0° ve eğim açısının 34° olduğu durum için yapılmıştır.



Şekil 4.18: Kayseri için güneş yolu diyagramı.



Şekil 4.19: KASKİ Germiraltı kaptaj alanı için PV modüllerinin optimum eğim ve azimut açısı.

4.2.5 PV sisteminin performans değerlendirmesi ve maliyet analizi

Bu kısımda, PV sisteminin performans değerlendirmelerinde kullanılan parametreler tanımlanmış ve maliyet analizi metodolojisi açıklanmıştır.

4.2.5.1 Performans değerlendirmesi

PV dizisinin çıkışındaki etkin enerji, PV dizisinden elde edilen DC enerjisidir. Gün, ay ve yıl gibi belirli bir dönem için tanımlanabilir. Denklem 4.8 yıllık toplam değeri temsil eder (Boughamrane ve diğ, 2016; Çubukçu ve Gümüş 2020; Adar ve diğ, 2020):

$$E_{(DC,y)} = \sum_{m=1}^{12} E_{(DC,m)} \quad (4.8)$$

Şebekeye enjekte edilen enerji (E_{AC}), PV sistemi tarafından şebekeye enjekte edilen AC enerjisidir. Denklem 4.9 ile yıllık bazda hesaplanır (Boughamrane ve diğ, 2016; Çubukçu ve Gümüş 2020; Adar ve diğ, 2020):

$$E_{(AC,y)} = \sum_{m=1}^{12} E_{(AC,m)} \quad (4.9)$$

Nihai verim, şebekeye enjekte edilen AC enerjisinin (belirli bir süre için (gün, ay ve yıl)) sistemin nominal gücüne bölünmesiyle elde edilir. Yıllık nihai verim Denklem 4.10 ile verilir (Boughamrane ve diğ, 2016; Çubukçu ve Gümüş 2020; Adar ve diğ, 2020):

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_0} \quad (4.10)$$

Burada (P_0), standart test koşullarında (STC) PV dizisinin nominal gücüdür (25°C 'de, $G_0=1.000 \text{ W/m}^2$, A.M.=1,5).

Referans verimi, dizi düzlemindeki toplam ışınım miktarının (G_{POA}) standart test koşullarındaki ışınım miktarına (G_0) oranıdır (Boughamrane ve diğerleri 2016; Çubukçu ve Gümüş 2020; Adar ve diğerleri. 2020) :

$$Y_R = \frac{G_{POA}}{G_0} \quad (4.11)$$

Performans oranı, tüm kayıpların (dizi ve sistem kayıpları) şebekeye enjekte edilen enerji üzerindeki etkisini gösteren bir parametredir. Aynı zamanda, kayıpsız bir PV sistemine yakınlığın bir ölçüsü olarak kabul edilir. Performans oranı Denklem 4.12 ile verilir (Boughamrane vd. 2016; Çubukçu ve Gümüş 2020; Adar vd. 2020):

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \times 100 \quad (4.12)$$

Burada, Y_F nihai verim ve Y_R referans verimdir.

PV sistemlerinin performans değerlendirmesinde kullanılan anahtar parametrelerden birisi de kapasite faktörüdür (CF). Kapasite faktörü (CF), PV sistemi tarafından şebekeye enjekte edilen yıllık AC enerjisinin (E_{AC}), PV dizisinin teorik olarak 24 saat boyunca tam nominal güçte üretebileceği maksimum yıllık enerjiye oranı olarak tanımlanır (Boughamrane et al. 2016; Çubukçu ve Gümüş 2020; Adar ve diğerleri. 2020):

$$CF = \frac{E_{AC}}{P_0 \times 8.760} \times 100 \quad (4.13)$$

4.2.5.2 Maliyet analizi ve geri ödeme süresi

Geri ödeme süresi, bir sistemin ilk yatırım maliyetinin yıllık finansal kazancına oranı olarak tanımlanır ve bir projenin uygulanabilir olup olmadığına karar vermek için kullanılan yöntemlerden biridir (Meah ve diğerleri 2008). Geri ödeme süresi, bir sistemin ekonomik faydasını değerlendirmek için kullanılan bir göstergedir ve bir şirketin bir sistem için nakit yatırımını ne kadar hızlı geri kazanacağını basitçe hesaplar (Campana ve diğerleri, 2016; Reniers ve diğerleri, 2016; Dinçer ve Abu-Rayash, 2019). Geri ödeme süresi, uzun vadeli nakit akışlarının tahmin edilmesinin zor olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılır, çünkü başabaş noktasının ötesinde hiçbir bilgiye ihtiyaç yoktur (Coker 2007). Çizelge 4.10, birinci ve ikinci senaryolarda önerilen PV sistemleri için Türkiye'deki ilgili maliyet rakamlarını sunmaktadır. Önerilen sistemlerin ilk yatırım maliyeti hesaplamasında kullanılan veriler (maliyet rakamları), T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan "2021 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları Kitabı"ndan (ÇŞİDB, 2021) alınmıştır. Kitapta yer alan tüm birim fiyatlar Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde ülke şartlarına göre işçilik, makine, malzeme ve imalat fiyatlarını temsil etmektedir. Ayrıca Kayseri için elektrik tarifesi günün saatinden bağımsız olarak yaklaşık 0,09 \$/kWh'dir.

Çizelge 4.10: Önerilen her iki sistem konfigürasyonunun çeşitli maliyetleri.

Eleman	Birim Maliyet (\$/Wp)
PV modülü	0,370
MPPT'li güneş pompa invertörü/kontrolörü	0,090
İnvertör	0,078
Yapı	0,113
Elektrikli ürünler ve ek aksesuarlar	0,075
Tasarım, proje ve mühendislik	0,003
Arazi	Serbest

Mevcut sistemdeki motor-pompa setleri, su toplama deposu ve rezervuar önerilen sistemde kullanılmaya devam edeceğinden, maliyet analizi sadece PV sisteminin kurulumunu içermektedir. Bu analiz ile önerilen PV sistem konfigürasyonlarının kurulumunun ilk yatırım maliyeti ve enerji gelirleri dikkate alınarak, geri ödeme süresi hesaplanır ve PV sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliği değerlendirilir.

Önerilen güneş PV kurulumunun geri ödeme süresi şu denklem ile hesaplanır:

$$PBP = C_{sistem} (\$/Wp) \times P_0 (Wp) \times C_{elektrik}^{-1} (yıl/\$) \quad (4.14)$$

Burada C_{sistem} sistemin toplam birim maliyeti, P_0 önerilen PV dizisinin nominal gücü ve $C_{elektrik}$, önerilen sistem tarafından yıllık kaçınılan elektrik satın alma maliyetidir (Dinçer ve Abu-Rayash, 2019). Geri ödeme süresi hesabında, önerilen sistemin işletme süresi boyunca şebekeden satın alınan elektrik tarifesinin sabit olduğu varsayılmaktadır. Elektrik tarifesindeki artışlar geri ödeme süresini daha da kısaltacaktır. Daha kısa bir geri ödeme süresi avantajlı ve daha caziptir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tezde içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik dört ana konu ele alınmıştır: (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 (Artificial Bee Colony, ABC) 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. Aşağıda bu ana konulara ait araştırmalar sonucunda elde edilen bulgular sunulmuş ve tartışılmıştır.

5.1 Daha Yüksek Verimli Pompalar, Motorlar ve Sürücülerin Kullanılması

KASKİ sorumluluğunda 16 adet kaptaj alanı ve bu alanlarda çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. Analiz edilmek üzere KASKİ'ye ait içme suyu temininde kullanılan sondaj kuyularından Germiraltı 14 ve Eğribucak 4 isimli kuyular seçilmiştir. Seçilen kuyuların ve kuyularda bulunan dalgıç pompa hidrolik grubu ve dalgıç motorların karakteristikleri için Çizelge 4.5'e, Germiraltı 14 kuyusundaki pompanın performans ve verimi için Şekil 4.9'a, Eğribucak 4 kuyusundaki pompanın performans ve verimi için Şekil 4.10'a bakılabilir. Seçilen kuyulardaki dalgıç pompaların hidrolik verimleri incelenmiş ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Hesaplanan verimler pompaların olması gereken verimleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, üretilen suyun debisi aynı kalmak kaydıyla aynı iş için olması gereken pompa hidrolikleri yeniden boyutlandırılmış ve bu olası revizyonun yapılması halinde elde edilecek yeni verim değerleri teorik olarak hesaplanmıştır. İlk yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri dikkate alınarak yatırımın uygulanabilir olup olmadığı irdelenmiştir.

5.1.1 Mevcut durum analizi

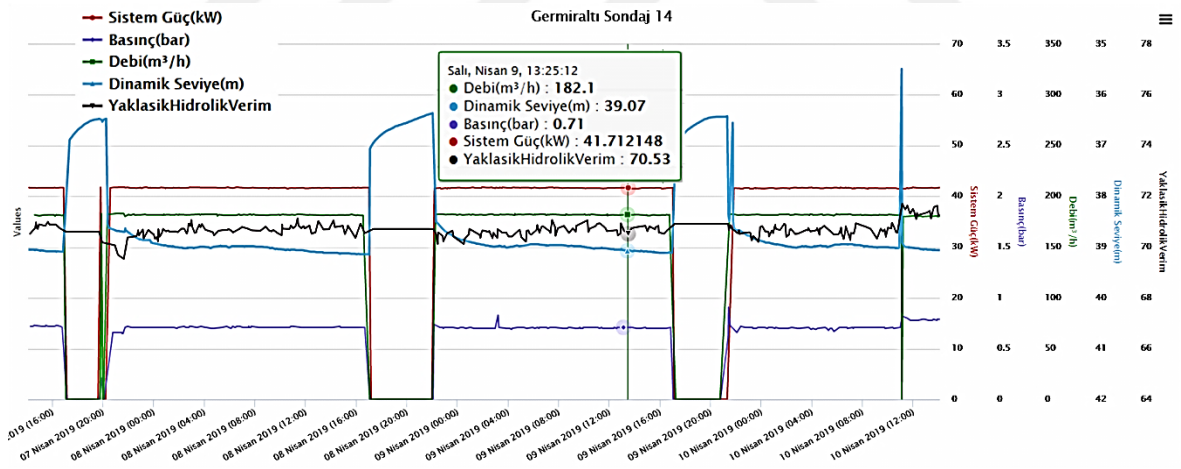
Çizelge 5.1'de seçilen kuyulardaki pompa ve motorların mevcut durumu verilmiştir. Çizelgeye göre Germiraltı 14 kuyusunda debimetreden ölçülen anlık debi $182,1 \text{ m}^3/\text{h}$, sistemden çekilen toplam güç (pompa + motor + sürücü) $41,7 \text{ kW}$, hat çıkış basıncı $0,71 \text{ bar}$, yeraltı suyu dinamik seviyesi $39,0 \text{ m}$, kolon borusu sürtünmesi $3,3 \text{ m}$ ve toplam basma

yüksekliği (H_m) 49,6 m'dir. Katalog verilerine göre sürücü kaybı %2 ve motor verimi %85,2 olarak alındığında hidrolik verim %70,7 olarak bulunmuştur.

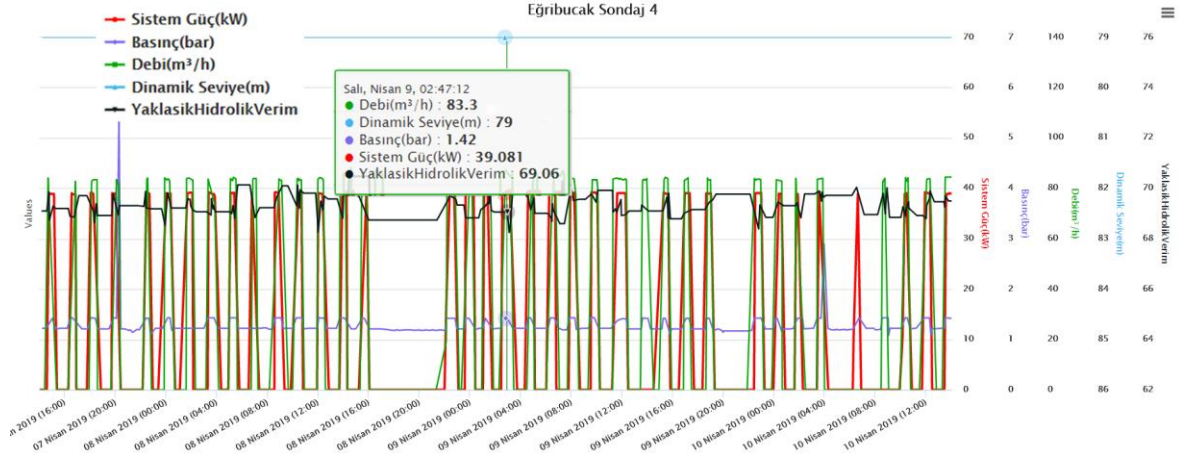
Çizelge 5.1: Seçilen kuyularda çalışan pompa ve motorların mevcut durum analizi.

Tesis Adı	Debi (m ³ /h)	Güç (kW)	Basınç (bar)	Dinamik Seviye (m)	Sürtünme (m)	Toplam H_m (m)	Sürücü Kaybı (%)	Motor Verimi (%)	Hidrolik Verim (%)
Germiraltı 14	182,1	41,7	0,71	39,0	3,3	49,6	2	85,2	70,7
Eğribucak 4	83,8	39,1	1,42	79,0	2,5	96,0	2	83,1	68,4

Eğribucak 4 kuyusunda debimetreden ölçülen anlık debi 83,8 m³/h, sistemden çekilen toplam güç (pompa + motor + sürücü) 39,1 kW, hat çıkış basıncı 1,42 bar, yeraltı suyu dinamik seviyesi 79,0 m, kolon borusu sürtünmesi 2,5 m ve toplam basma yüksekliği (H_m) 96,0 m'dir. Katalog verilerine göre sürücü kaybı %2 ve motor verimi %83,1 olarak alındığında hidrolik verim %68,4 olarak bulunmuştur. Germiraltı 14 kuyusu için 4 günlük ve Eğribucak 4 kuyusu için 3 günlük ölçülen verilerin (güç, debi, basınç, seviye) ve hesaplanan hidrolik verimlerin grafikleri sırasıyla Şekil 5.1 ve 5.2'de verilmiştir.



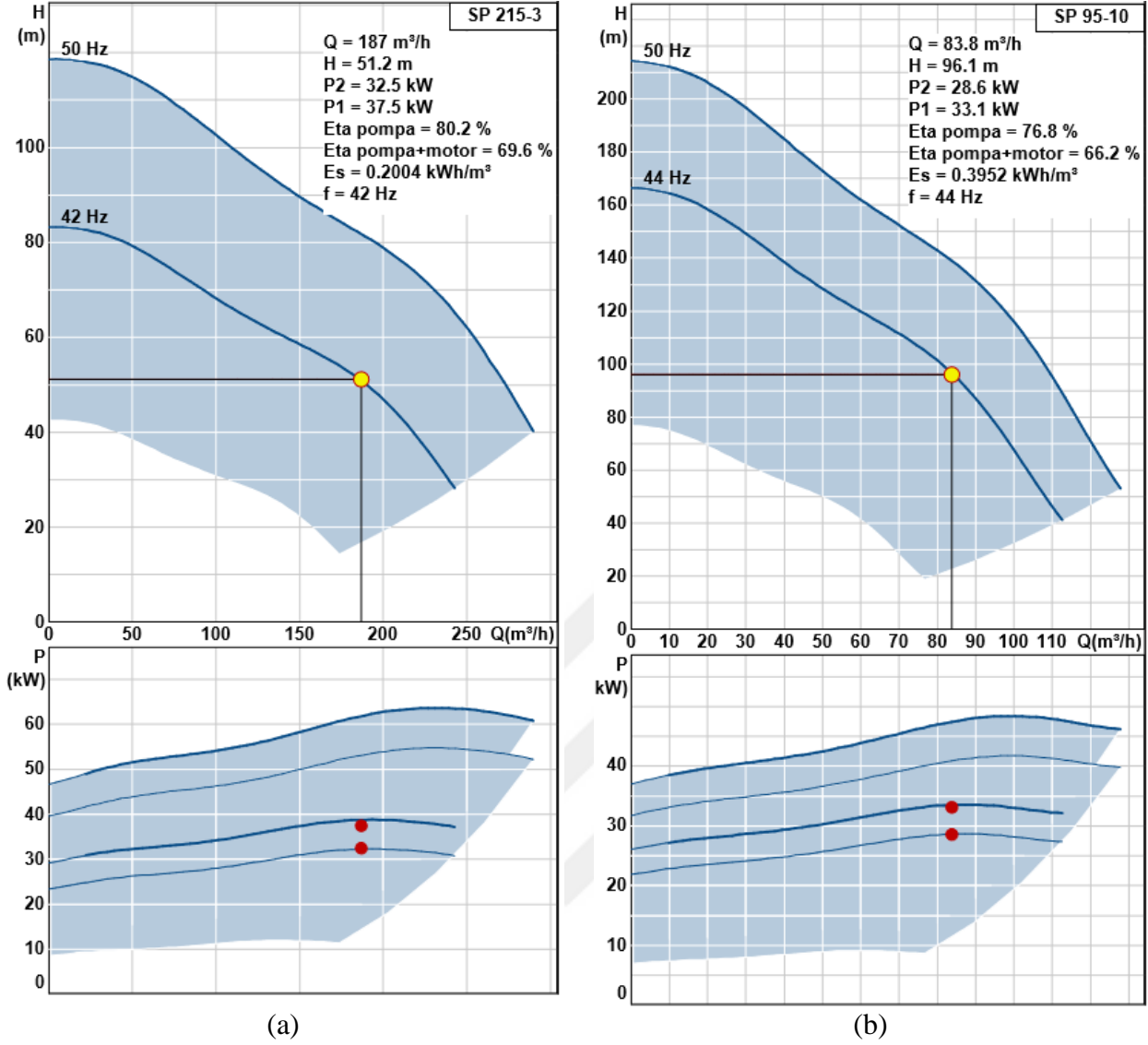
Şekil 5.1: Germiraltı 14 kuyusunun günlük veri grafikleri.



Şekil 5.2: Eğribucak 4 kuyusunun günlük veri grafikleri.

5.1.2 Revizyon önerisi

Paslanmaz çelik pompa üreticilerinin kataloglarından faydalanmak suretiyle sistemin sürücü (frekans konvertörü) ile çalışacağını öngörerek ihtiyaç duyulan debi ve basma yüksekliğinde Şekil 5.3'de grafikleri verilen pompalar seçilmiştir. Seçimde pompaların en verimli noktada çalışması öngörülmüştür. Germiraltı 14 kuyusu için 215-3 hidrolik grubunun sürücü ile 42 Hz'de arzu edilen 187 m³/h ve 51,2 m basma yüksekliğinde en yüksek verimde (%80,2) çalışacağı görülmektedir. Eğribucak 4 kuyusu için 95-10 hidrolik grubunun sürücü ile 44 Hz'de arzu edilen 83,8 m³/h ve 96,1 m basma yüksekliğinde en yüksek verimde (%76,8) çalışacağı görülmektedir.



Şekil 5.3: Seçilen kuyular için önerilen pompaların performans verim grafikleri: (a) Germiraltı 14 kuyusu için seçilen SP 215-3 pompa, (b) Eğribucak 4 kuyusu için seçilen SP 95-10 pompa.

Çizelge 5.2’de seçilen kuyular için kuyuların mevcut durumları ve olası revizyon sonrası durumlarının karşılaştırılması verilmiştir. Çizelgeye göre, Germiraltı 14 kuyusunda aynı debi ve basma yüksekliği için hidrolik verimin %70,7’den % 80,2’ye çıkması öngörülmekte, sistem gücünün ise 41,7 kW’den 36,7’ye inmesi öngörülmektedir. Sistem gücünde %12,0’lik bir iyileştirme ile 5 kW’lık bir tasarruf sağlanabileceği ortaya çıkmaktadır. Eğribucak 4 kuyusunda aynı debi ve basma yüksekliği için hidrolik verimin %68,4’den %76,8’e çıkması öngörülmekte, sistem gücünün ise 39,1 kW’den 34,8’ye inmesi öngörülmektedir. Böylece sistem gücünde %11,0’lık bir iyileştirme ile 4,3 kW’lık bir tasarruf sağlanabileceği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.2: Seçilen kuyular için mevcut durum ve revizyon önerisinin karşılaştırılması.

	Debi (m ³ /h)	Toplam H _m (m)	Sürücü Kaybı (%)	Mevcut Durum		Önerilen		Tasarruf Oranı (%)	Tasarruf Miktarı (kW)
				Hid. Verim (%)	Güç (kW)	Hid. Verim (%)	Güç (kW)		
Germiraltı 14	182,1	49,6	2	70,7	41,7	80,2	36,7	12,0	5,0
Eğribucak 4	83,3	96,0	2	68,4	39,1	76,8	34,8	11,0	4,3

Önerilen revizyonun amortisman hesabında elektrik enerjisi birim fiyatı 0,61 TL/kWh olarak alınmış, sistemde mevcut bulunan dalgıç motor ve sürücünün değiştirilmesine ihtiyaç olmadığından dolayı ilk yatırım maliyetine sadece önerilen pompaların hidrolik grubunun ortalama pazar fiyatı dahil edilmiştir. Çizelge 5.3'e göre Germiraltı 14 kuyusunun günlük ortalama 19,7 saat çalıştığı, bu çalışma saatine göre yıllık edilebilecek tasarruf miktarının 21.931 TL olduğu, ilk yatırım maliyeti 8.500 TL olarak belirlendiğinde ise yatırımın geri dönüş süresinin 4,7 ay olduğu hesaplanmıştır. Eğribucak 4 kuyusunun günlük ortalama 8,2 saat çalıştığı, bu çalışma saatine göre yıllık edilebilecek tasarruf miktarının 7.850 TL olduğu, ilk yatırım maliyeti 4.200 TL olarak belirlendiğinde ise yatırımın geri dönüş süresinin 6,4 ay olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3: Önerilen revizyonun amortisman analizi.

	Ortalama Çalışma Süresi (saat/gün)	Yıllık Tasarruf Miktarı (TL)	İlk Yatırım Maliyeti (TL)	Geri Dönüş Süresi (Ay)
Germiraltı 14	19,7	21.931	8.500	4,7
Eğribucak 4	8,2	7.850	4.200	6,4

5.2 İçme Suyu Dağıtım Sistemlerindeki Terfi Pompalarının Enerji Tüketimine Toplama Deposu Seviyesinin Etkisinin Belirlenmesi

Dalgıç pompalar ve terfi pompaları içme suyu temin sistemlerinin vazgeçilmez unsurları arasındadır. Bu mekanik ekipmanların yatırım maliyetleri kadar işletme maliyetleri de işletmeciler için büyük önem taşımaktadır. Su ve kanalizasyon idarelerinin harcama bütçelerinde önemli bir yer tutan enerji tüketim maliyetlerinin büyük bir kısmı sistemdeki pompalardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ülkemizde halka içme suyunun sağlanmasından sorumlu su ve kanalizasyon idareleri için bu sistemin elemanlarının verimliliği enerji maliyetleri açısından çok önemli bir yere sahiptir. Günümüzde enerjiye

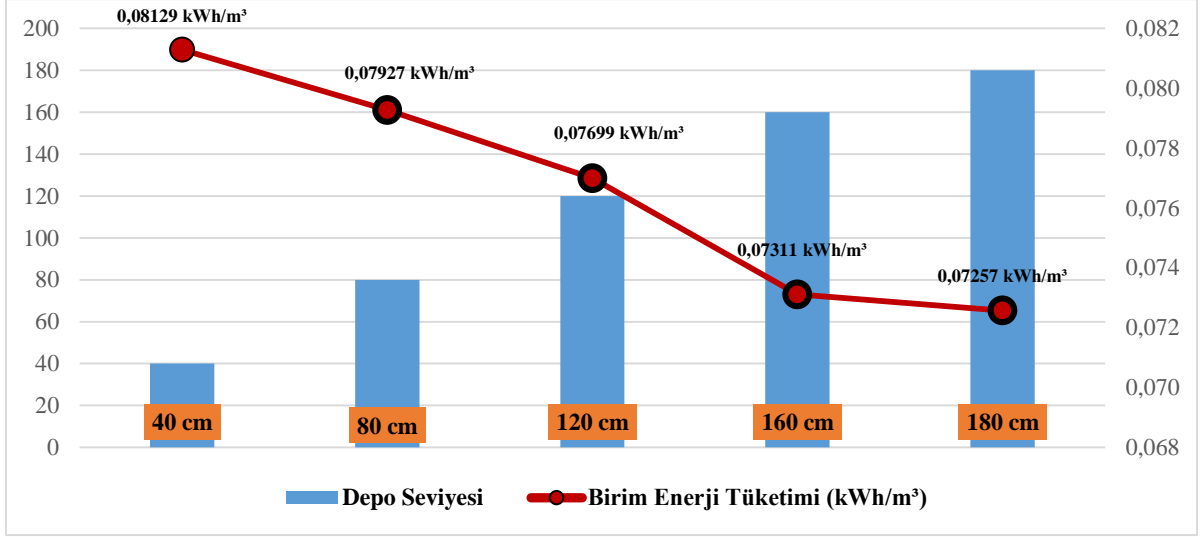
bağımlılık ve artan enerji tüketimi, enerji maliyetlerini düşürmeye yönelik önlemleri zorunlu kılmaktadır. Terfi pompaları, suyu, suyun dalgiç pompalarla kuyulardan çekildiği bir orta seviye toplama deposundan bir üst besleme deposuna pompalar. Tezin bu kısmının amacı, içme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisini araştırmaktır. Bu amaçla Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında sondaj kuyusu, toplama deposu, terfi pompası ve dağıtım deposundan oluşan model bir deney düzeneği kurulmuştur (Şekil 4.11-4.13). Enerji tüketimini izlemek ve değerlendirmek için deneysel sisteme bir SCADA sistemi entegre edilmiştir. Toplama deposunun 40, 80, 120, 160 ve 180 cm olmak üzere beş farklı seviyesi için deneyler yapılarak birim enerji tüketimi ve birim maliyet belirlenmiştir. Bu kısımda bu deneysel çalışmaya ait bulgular sunulmuş ve tartışılmıştır. Ayrıca Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğundaki içme suyu kaptaj alanlarında bulunan terfi istasyonları için değerlendirmeler yapılmıştır.

5.2.1 Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında kurulan deneysel sisteme ait sonuçlar

Toplama deposu seviyesinin birim enerji tüketimine etkisi Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Toplama deposu seviyesi 40 cm iken birim enerji tüketimi 0,08129 kWh/m³'dür. Depo seviyesi 120 cm olduğunda birim enerji tüketimi 0,07699 kWh/m³'e; depo seviyesi 180 cm olduğunda birim enerji tüketimi 0,07257 kWh/m³'e düşmektedir. Bu sonuçlar, depo seviyesinin birim enerji tüketimi üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Birim enerji tüketimi ile su seviyesi arasındaki ilişkiyi veren regresyon denklemi aşağıda verilmiştir:

$$E = 0,08427 - 0,00657h \quad (5.1)$$

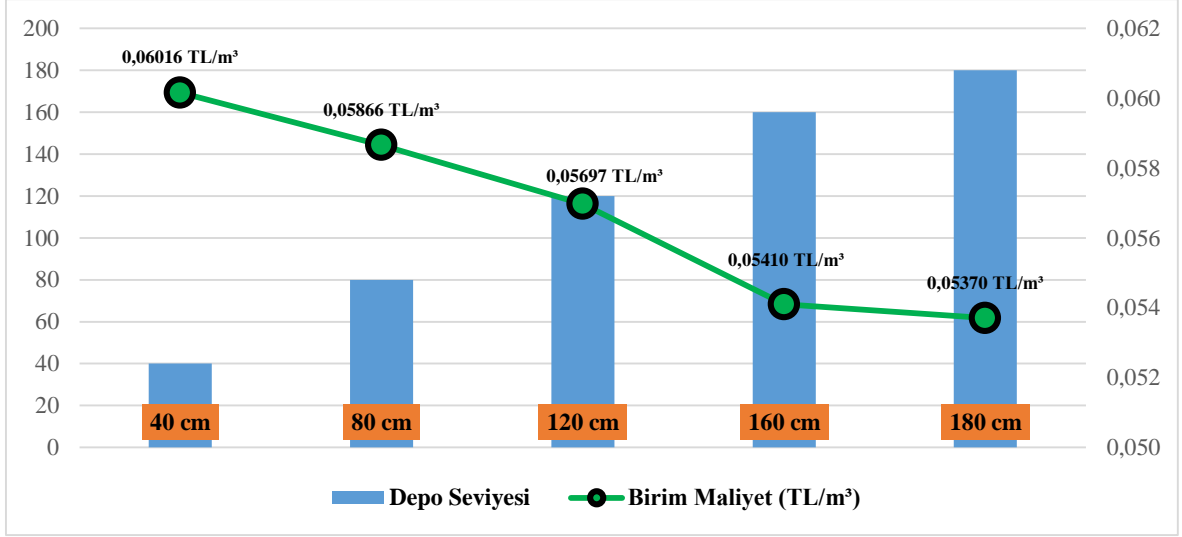
E, kWh/m³ cinsinden 1 m³ içme suyu üretmek için tüketilen enerji miktarıdır ve birim enerji tüketimi olarak adlandırılır. h, m cinsinden toplama deposu seviyesidir.



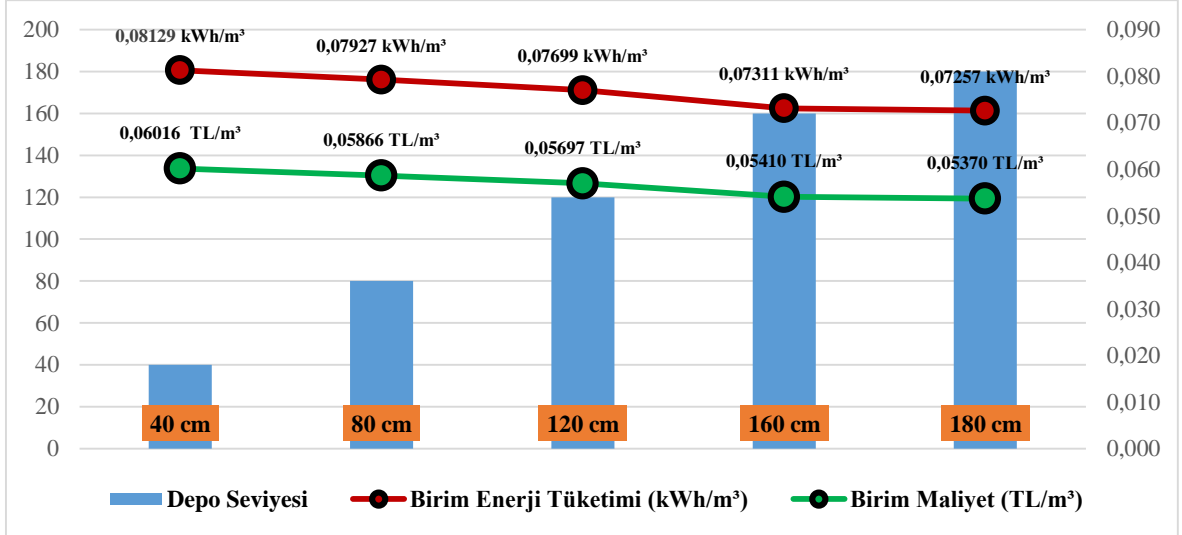
Şekil 5.4: Toplama deposu seviyesinin birim enerji tüketimine etkisi.

Şekil 5.5, toplama deposu seviyesinin birim maliyet üzerindeki etkisini göstermektedir. Toplama deposu seviyesi 40 cm iken birim maliyet 0,06016 TL/m³'dür. Depo seviyesi 120 cm olduğunda birim maliyet 0,05697 TL/m³'e, depo seviyesi 180 cm olduğunda birim maliyet 0,05370 TL/m³'e düşmektedir. Bu sonuçlar, depo seviyesinin birim maliyetler üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir.

Toplama depo seviyesinin hem birim enerji tüketimi hem de birim maliyete etkisi Şekil 5.6'da birlikte verilmiştir. Şeklin incelenmesi, depo seviyesinin artmasıyla hem birim enerji tüketiminin hem de birim maliyetin azaldığını ortaya koymaktadır. Çizelge 5.4, toplama deposundaki su seviyesi arttığında birim enerji tüketimi ve birim maliyette oluşan tasarrufları göstermektedir. Depodaki minimum su seviyesi 40 cm olarak alınmıştır. Su seviyesi 80 cm'ye yükseltildiğinde, birim enerji tüketiminde %2,48 tasarruf sağlanır. Su seviyesi 120 cm, 160 cm ve 180 cm olduğunda, 40 cm su seviyesine göre sırasıyla %5,29, %10,06 ve %10,73 oranında birim enerji tüketiminde tasarruf meydana gelir. Tüm bu sonuçlar, su seviyesinin artmasıyla terfi pompalarının tükettiği enerjide önemli ölçüde tasarruf sağlanacağını göstermektedir. Bu sonuçlar, su kaptaj alanlarında toplama depoları inşa ederken toplama depolarının yüksekliğinin mümkün olduğunca yüksek tutulmasının önemini ortaya koymaktadır. Ancak bu durumda, pompa istasyonları tarafından tüketilen enerjide oluşan tasarruf miktarını belirlemek için üç temel unsurun (dalgıç pompalar, toplama depoları/terfi pompaları ve dağıtım depoları) tümünü içeren simülasyonlar yapılmalıdır.



Şekil 5.5: Toplama deposu seviyesinin birim maliyete etkisi.



Şekil 5.6: Toplama deposu seviyesinin birim enerji tüketimi ve birim maliyete etkisi.

Çizelge 5.4: Toplama deposundaki su seviyesinin artması ile birim enerji tüketimi ve birim maliyette oluşan tasarruflar.

Depo Seviyesi (cm)	Birim Enerji Tüketimi (kWh/m³)	Birim Maliyet (TL/m³)	Tasarruf Oranı (%)	Toplam Tasarruf Oranı (%)
40	0,08129	0,06016	-	-
80	0,07927	0,05866	2,48	2,48
120	0,07699	0,05697	2,88	5,29
160	0,07311	0,05410	5,04	10,06
180	0,07257	0,05370	0,74	10,73

5.2.2 KASKİ merkezi pompa grubu için değerlendirmeler

Bu çalışmada, Kayseri’de bağımsız bir laboratuvarında içme suyu temin sistemlerinin temel unsurları olan kuyu, toplama deposu/terfi pompası ve dağıtım deposundan oluşan model bir deneysel sistem kurulmuştur. Toplama deposunun su seviyesinin terfi pompalarının işletme performanslarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Toplama deposunda 40 cm yerine 180 cm su olması durumunda terfi pompasının yaklaşık %10,73 enerji tasarrufu sağladığı belirlenmiştir.

Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğunda 16 adet içme suyu kaptaj alanı bulunmaktadır. Bu su kaptaj alanlarındaki yıllık su üretimi ve enerji tüketimi Çizelge 5.5 ve Şekil 5.7’de verilmiştir. KASKİ merkez grup pompalarının 01.01.2021-31.12.2021 tarihleri arasında ürettiği su ve tükettiği enerji değerleri KASKİ SCADA sisteminden alınarak Şekil 5.7 çizilmiştir. Görüldüğü gibi Kayseri il merkezinde yıllık 94.116.892 m³ su terfi ettirilmekte ve 38.638.500 kWh enerji tüketilmektedir.

Rakımı 1095 m olan Germiraltı kaptaj alanında 16’sı aktif olmak üzere 18 adet derin kuyu bulunmaktadır (Şekil 4.1). Germiraltı kaptaj alanında derinlikleri 200 metre civarında olan içme suyu kuyularının ortalama statik seviyeleri 34 metre, dinamik seviyeleri ise 36 metre civarındadır. 1.060 m kotunda bulunan kaptaj alanındaki yeraltı içme suyu, dalgıç pompalarla 1.095 m kotunda 9,5x15,50x3,40 m boyutlarında ve 500 m³ kapasiteli toplama deposuna terfi ettirilmektedir. Burada toplanan içme suyu, üç adet santrifüj pompa ile daha yüksek kotlardaki dağıtım depolarına terfi ettirilmektedir. Terfi pompalarının teknik özellikleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

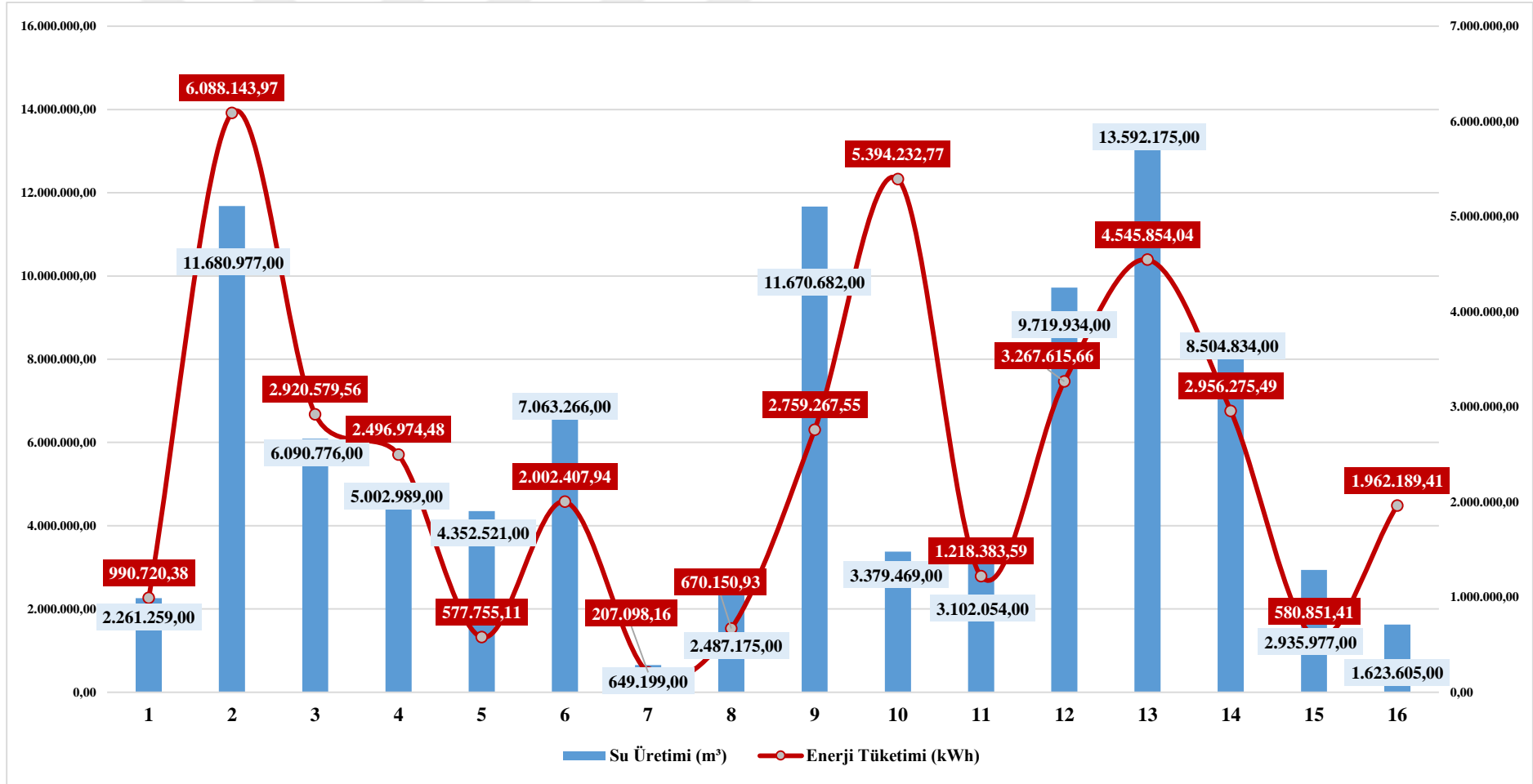
Çizelge 5.5: Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğundaki içme suyu kaptaj alanlarında bulunan terfi istasyonlarının 2021 yılı su üretimi ve enerji tüketimi.

Kaptaj Alanı	Su Üretimi (m ³)	Enerji Tüketimi (kWh)
1 Anayurt	2.261.259	990.720,38
2 Anneler Parkı	11.680.977	6.088.143,97
3 Beştepeler	6.090.776	2.920.579,56
4 Çaybağları	5.002.989	2.496.974,48
5 Dokuzpınarlar	4.352.521	577.755,11
6 Eğribucak	7.063.266	2.002.407,94
7 Erkilet	649.199	207.098,16
8 Gediris	2.487.175	670.150,93
9 Germiraltı	11.670.682	2.759.267,55
10 Hacılar	3.379.469	5.394.232,77

Çizelge 5.5: Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğundaki içme suyu kaptaj alanlarında bulunan terfi istasyonlarının 2021 yılı su üretimi ve enerji tüketimi. (devamı)

Kaptaj Alanı	Su Üretimi (m ³)	Enerji Tüketimi (kWh)
11 İncesu Sistemi	3.102.054	1.218.383,59
12 Karpuzatan	9.719.934	3.267.615,66
13 Keykubat	13.592.175	4.545.854,04
14 Mahrumlar	8.504.834	2.956.275,49
15 Mimarsinan	2.935.977	580.851,41
16 TOKİ	1.623.605	1.962.189,41
Toplam	94.116.892,00	38.638.500,45





Şekil 5.7: Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğundaki içme suyu kaptaj alanlarında bulunan terfi istasyonlarının su üretimi ve enerji tüketimi.

Çizelge 5.6: Germiraltı kaptaj alanındaki terfi pompalarının teknik özellikleri.

	Debi (m ³ /h)	Basma Yüksekliği (m)	Devir Sayısı (d/d)	Güç (kW)
Pompa - 1	1.080	34	1.500	132
Pompa - 2	400	101	1.500	200
Pompa - 3	100	90	2.900	37

Deneysel çalışma sonucunda, enerji tasarrufu için toplama deposundaki su seviyesinin mümkün olduğunca yüksek tutulması gerektiği belirlenmiştir. Bu sonuçla bir benzetme yapılırsa, enerji tasarrufu için Germiraltı kaptaj alanındaki toplama deposunun su seviyesinin yüksek tutulması gerektiği sonucuna varılır. Kaptaj alanındaki yüksek su üretimi ve yüksek enerji maliyeti nedeniyle, toplama deposundaki su seviyesi yüksek tutularak önemli finansal tasarruflar sağlanacaktır. Öte yandan toplama deposunu on altı dalgıç pompa beslediği için toplama deposunun doldurulması sırasında hangi pompaların kullanılacağına bir optimizasyon çalışması yapılarak karar verilmelidir.

5.3 Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) Algoritması Kullanılarak Enerji Verimliliği Optimizasyonu

Küresel ısınma, mevsimsel değişiklikler ve yağış rejiminin değişmesinin yanısıra bilinçsiz tüketim içme suyu kaynaklarının son yıllarda ciddi ölçüde azalmasına sebep olmuştur. Ülkemizde içme suyunun temini ve kullanıcılara kadar ulaştırılması yerel idarelerin sorumluluğuna girmektedir. Yerel idareler şehrin içme suyu ihtiyacını, bulunduğu coğrafyanın imkânları doğrultusunda göllerden, barajlardan, doğal kaynaklardan veya yeraltı sularından temin etmektedirler. Tüm temin yöntemlerinde içme suyunun kaynağından temini ve nihai kullanıcıya ulaştırılmasında en önemli unsur enerjidir. Yer altından içme suyu temin edilen sistemlerde kullanılan dalgıç pompaların ilk yatırım maliyeti önemli olmakla birlikte, pompaların tükettiği enerji miktarı göz önüne alındığında işletme maliyeti çok daha önemli görünmektedir. Bu durum pompaların işletme maliyetini azaltacak yöntemlerin önemini açığa çıkarmaktadır. Aynı depoyu dolduran birden fazla derin kuyunun bulunduğu havzalardaki pompaların işletilmesinde enerji verimliliği optimizasyonu gittikçe artan bir önem kazanmaktadır. Tezin bu kısmının amacı, Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanarak su temin sistemlerinde enerji verimliliği optimizasyonu yapmaktır. Optimizasyon çalışması, KASKİ sorumluluğunda bulunan Germiraltı içme suyu kaptaj alanı için yapılmıştır. Merkez ilçe nüfusunun %10'una hitap

eden ve yıllık 2,5 milyon kWh'tan fazla enerji tüketerek yaklaşık 11,5 milyon m³ su üretilen Germiraltı içme suyu kaptaj alanında 16 adet dalgıç tip pompa bulunmaktadır. Kaptaj alanındaki dalgıç pompaların enerji verimlilikleri iki farklı yönetim modeli kullanılarak incelenmiştir:

- (i) Verim esaslı müdahale yöntemi,
- (ii) Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi.

Kaptaj alanındaki dalgıç pompalar verim esaslı müdahale yöntemi kullanılarak bir yıl boyunca işletilmiştir. Bunu takiben dalgıç pompalar, toplama deposunun seviyesine göre anlık su ihtiyacı için en verimli pompanın seçilmesi ve frekans optimizasyonuna dayanan yapay arı koloni algoritması yöntemi kullanılarak bir yıl boyunca işletilmiştir. SCADA sistemi ile veriler izlenerek kayıt altına alınmış ve uygulanan iki farklı yönetim modelinin her biri için pompalanan su miktarı, enerji tüketimi, birim enerji tüketimi ve birim maliyet belirlenmiştir.

Aşağıda verim esaslı müdahale yöntemi ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi kullanılarak elde edilen bulgular sunulmuş ve tartışılmıştır.

5.3.1 Verim esaslı müdahale yöntemi bulguları

Verim esaslı müdahale yöntemi, kaptaj alanındaki tüm sistem pompalarının SCADA üzerinden bir operatör vasıtasıyla kişisel olarak izlenerek ihtiyaca göre en verimli pompa veya pompaların öncelikle kullandırılması esasına dayanmaktadır. Verim esaslı müdahale yöntemi kullanılarak kuyular 01 Mart 2019 – 29 Şubat 2020 arasında 1 yıllık süre boyunca çalıştırılmıştır. Bu 12 aylık veriye göre su üretim miktarları (m³) ve tüketilen enerji miktarları (kWh) üzerinden ortalama birim enerji tüketimi (kWh/m³) hesaplanmıştır. Kuyular, SCADA üzerinden kişisel olarak izlenip verim esaslı müdahale yöntemine göre çalıştırılarak (ihtiyaca göre en verimli pompa veya pompaların önceliklendirildiği) işletildiğinde elde edilen aylık bulgular Ek A'da verilmiştir. Mart 2019 ayı bulguları Şekil A.1'de, Nisan 2019 ayı bulguları Şekil A.2'de, Mayıs 2019 ayı bulguları Şekil A.3'de, Haziran 2019 ayı bulguları Şekil A.4'de, Temmuz 2019 ayı bulguları Şekil A.5'de, Ağustos 2019 ayı bulguları Şekil A.6'da, Eylül 2019 ayı bulguları Şekil A.7'de, Ekim 2019 ayı bulguları Şekil A.8'de, Kasım 2019 ayı bulguları Şekil A.9'da, Aralık 2019 ayı bulguları Şekil A.10'da, Ocak 2020 ayı bulguları Şekil A.11'de, Şubat 2020 ayı bulguları Şekil A.12'de verilmiştir.

Kuyular, SCADA üzerinden kişisel olarak izlenip verim esaslı müdahale yöntemine göre çalıştırılarak (ihtiyaca göre en verimli pompa veya pompaların önceliklendirildiği)

işletildiğinde elde edilen yıllık maliyetler Çizelge 5.7’de ve Şekil 5.8’de verilmiştir. Çizelge ve şekil, tesisteki dalgıç pompalar tarafından pompalanan su miktarı, elektrik tüketimi ve birim enerji tüketimi değerlerini vermektedir. Görüldüğü gibi derin kuyulardan toplama deposuna toplam 11.058.848 m³ su basılmıştır. Dalgıç pompalar yılda 2.777.687 kWh elektrik enerjisi tüketmiştir. Bu değer tesiste bir yılda tüketilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %50'sine tekabül etmektedir. Birim enerji tüketimi, bir m³ su pompalamak için gereken enerji miktarıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

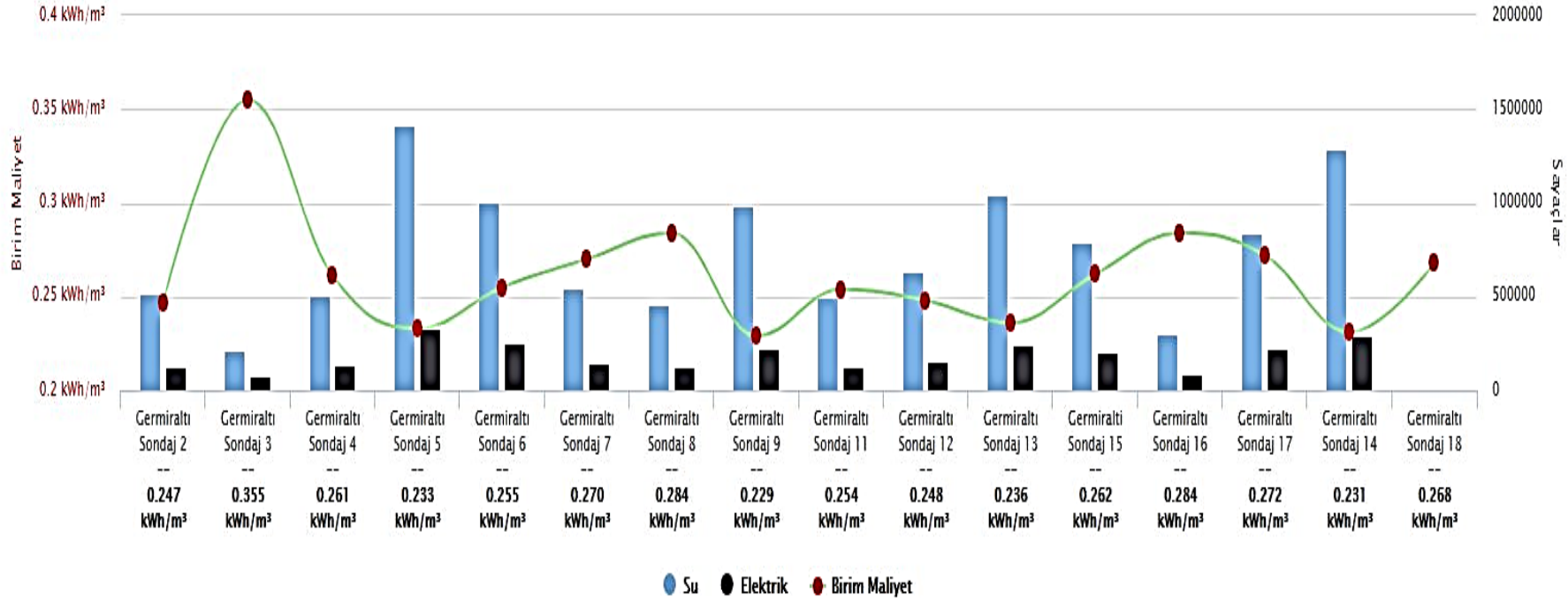
$$\text{Birim Enerji Tüketimi} = \frac{2.777.687 \text{ [kWh]}}{11.058.848 \text{ [m}^3\text{]}} = 0,251 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right]$$

Verim esaslı müdahale yöntemine göre işletildiğinde ortalama birim enerji tüketiminin 0,251 kWh/m³ olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7: Verim esaslı müdahale yöntemi ile işletim sonucu elde edilen yıllık maliyet raporu (01 Mart 2019 – 29 Şubat 2020).

Kuyu	Su Üretimi (m ³)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Birim Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
P2	515.604	127.147	0,247
P3	216.752	76.994	0,355
P4	504.993	131.826	0,261
P5	1.419.473	331.255	0,233
P6	1.006.066	256.553	0,255
P7	551.077	148.598	0,270
P8	454.528	129.243	0,284
P9	980.708	224.467	0,229
P11	501.884	127.269	0,254
P12	637.822	158.201	0,248
P13	1.042.199	246.107	0,236
P14	794.930	208.023	0,262
P15	301.834	85.727	0,284
P16	837.825	227.489	0,272
P17	1.288.625	297.574	0,231
P18	4.529	1.216	0,268
Toplam	11.058.848	2.777.687	0,251

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
 2019-03-01 00:00:04 - 2020-02-29 23:00:04
 Toplam
 Su: 11.057.498,67 m³
 Elektrik: 2.777.375,32 kWh
 Ort. Birim Maliyet: 0.251 kWh/m³



Şekil 5.8: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi yıllık bulguları (01 Mart 2019-29 Şubat 2020).

5.3.2 Yapay arı kolonisi analizi bulguları

Yapay Arı Kolonisi yönteminde tüm pompaların en verimli noktaları belirlenmiş ve bu verim noktalarını hangi frekansta gerçekleştirdikleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonra depo seviyesine bağlantılı olarak pompaların en verimliden en verimsiz doğru sıralamaları yapılarak depoyu dolu tutma önceliğine göre algoritma senaryosu oluşturulmuştur. Burada öncelikli olarak düşük depo seviyelerinde yüksek kapasiteli verimli pompaların, 2 m üzerindeki depo seviyelerinde ise en verimli pompaların istenilen debiye cevap verebilecek frekansta devreye girmesi planlanmıştır. Bu plan üzerine yazılan senaryo kurumsal SCADA sistemi içine entegre edilerek 01 Mart 2020 tarihinden itibaren Germiraltı pilot bölgesi yapay zeka algoritmasıyla yönetilmeye başlanmıştır ve devam etmektedir. Yine bu dönemde Germiraltı Pilot Bölgesinin Akıllı Havza Yönetim Ekranı oluşturulup;

- (i) Toplama deposu seviyesi,
- (ii) Her bir pompanın aktif pasif durumu,
- (iii) Debi, güç ve frekans değerleri,
- (iv) Anlık toplam debi, toplam güç ve birim maliyetleri,

on-line olarak izlenebilir hale getirilmiştir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.9'da hedef depo seviyesi (DS)'ne bağlı olarak 16 pompa için ABC algoritması ile elde edilen optimum pompa çalışma frekansları verilmiştir. Tamamen durdurulması gereken pompalar 0 Hz ile ifade edilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere depo seviyesi 0 m olması durumunda tüm pompalar olabilecek en yüksek frekanslarda çalışırken, depo seviyesi yükseldikçe pompalar sistem tarafından durdurulmakta ve/veya daha uygun frekanslarda çalıştırılmaktadır. ABC algoritması ile elde edilen ve Çizelge 5.9'da verilen Germiraltı su temin kaptajı için optimum işletim çizelgesinin gerçek-zamanlı olarak çalışabilmesini sağlamak amacıyla bir veri tabanı prosedürü oluşturulmuş ve bu prosedürün her 2 dakikalık periyotlarda mevcut depo seviyesinin güncel değerine göre çalışıp optimum çalışma frekanslarını saha cihazlarına göndermesi sağlanmıştır.

Çizelge 5.8: Germiraltı akıllı havza yönetimi.

Germiraltı Akıllı Havza Yönetimi

Depo Seviye: 2.1 m

ADI	Debi	Güç	POMPA OTO/MANUEL - DURUMU	Pompa Durumu	FREKANS
1381 - Germiraltı Sondaj 12	63.688 m ³ h	14.461 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	40 40hz 0
1386 - Germiraltı Sondaj 11	46.957 m ³ h	10.638 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	45 45hz 0
1787 - Germiraltı Sondaj 8	65.455 m ³ h	17.065 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	48 48hz 0
1788 - Germiraltı Sondaj 2	59.011 m ³ h	15.142 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	46 49hz 3
1789 - Germiraltı Sondaj 3	20.810 m ³ h	5.399 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	42 42hz 0
1790 - Germiraltı Sondaj 4	69.235 m ³ h	19.876 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	41 41hz 0
1791 - Germiraltı Sondaj 5	169.511 m ³ h	36.830 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	49 49hz 0
1793 - Germiraltı Sondaj 7	77.992 m ³ h	20.293 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	44 44hz 0
1794 - Germiraltı Sondaj 6	147.439 m ³ h	39.731 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	48 45hz -3
1796 - Germiraltı Sondaj 9	107.443 m ³ h	23.094 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	46 46hz 0
14056 - Germiraltı Sondaj 13	151.950 m ³ h	36.249 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	48 48hz 0
14229 - Germiraltı Sondaj 14	161.173 m ³ h	34.282 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	43 42hz -1
14230 - Germiraltı Sondaj 16	75.505 m ³ h	20.585 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	47 44hz -3
14259 - Germiraltı Sondaj 17	99.188 m ³ h	24.458 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	42 44hz 2
14297 - Germiraltı Sondaj 15	124.077 m ³ h	33.741 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	46 46hz 0
14688 - Germiraltı Sondaj 18	61.588 m ³ h	14.905 kWh	Ac Açık ✓	Çalışıyor	44 46hz 2

Toplam Debi : 1501.023 m³h

Toplam Güç : 366.749 kWh

Birim Maliyet : 0.2443 kWh/m³h

Çizelge 5.9: ABC ile hesaplanan hedef depo seviyesine göre optimum pompa çalışma frekansları.

DS (m)	F _p (Hz)															
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
0	49	49	50	50	50	50	49	50	50	48	50	50	49	48	48	49
0.1	49	50	47	50	48	49	50	49	50	46	50	50	49	50	49	50
0.2	49	49	46	50	50	49	49	50	48	48	49	50	50	49	46	49
0.3	49	49	48	50	50	48	48	47	50	48	50	50	47	48	49	48
0.4	50	49	48	50	49	49	50	50	50	44	49	50	46	49	46	47
0.5	49	49	42	50	49	50	49	50	49	48	49	50	44	49	46	49
0.6	49	49	44	49	50	49	49	49	49	46	50	43	49	47	48	50
0.7	49	46	46	49	48	46	49	49	50	45	50	46	46	48	49	49
0.8	49	45	47	50	50	46	49	46	48	48	49	48	48	48	44	46
0.9	50	49	44	49	50	49	48	48	49	49	49	47	44	44	44	50
1	49	45	42	49	50	50	49	46	50	46	49	47	46	45	45	45
1.1	45	49	44	49	46	46	48	46	50	45	49	48	47	47	46	48
1.2	50	47	42	49	47	46	49	46	48	49	50	49	43	43	47	44
1.3	44	45	42	49	48	50	48	49	48	48	50	45	46	46	43	45
1.4	48	49	44	49	47	45	49	46	50	45	49	47	47	39	43	47
1.5	49	41	44	49	48	44	48	46	48	46	50	43	47	45	42	46
1.6	48	46	40	49	46	46	48	46	49	43	50	48	46	44	41	44
1.7	44	43	44	49	45	44	48	49	48	45	48	46	45	43	42	49
1.8	46	43	42	49	48	47	48	50	49	42	49	43	39	48	40	48
1.9	44	43	42	49	45	41	48	50	49	45	49	45	44	48	40	44
2	44	49	42	50	45	49	49	47	49	43	49	39	40	48	38	48
2.1	44	41	42	49	48	42	48	46	45	39	46	39	40	43	37	48
2.2	44	0	42	49	40	39	49	46	50	40	46	39	41	39	42	0
2.3	44	0	40	49	40	38	47	46	44	39	44	38	37	39	40	0
2.4	44	0	0	49	40	38	0	46	44	39	45	38	38	39	39	0
2.5	0	0	0	49	40	38	0	43	44	38	44	38	37	39	36	0
2.6	0	0	0	49	40	0	0	43	43	38	44	38	37	39	0	0
2.7	0	0	0	49	0	0	0	45	44	39	0	38	37	39	36	0

Çizelge 5.9: ABC ile hesaplanan hedef depo seviyesine göre optimum pompa çalışma frekansları. (devamı)

DS (m)	F _p (Hz)															
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
2.9	0	0	0	49	0	0	0	43	0	39	0	37	0	0	0	0
3	0	0	0	49	0	0	0	43	0	0	0	37	0	0	0	0
3.1	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	37	0	0	0	0
3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0

Çizelge 5.10’da ABC ile 0.1 m’lik depo seviyeleri için elde edilen optimum çalışma frekansları kullanıldığında Enerji Bileşeni (*EB*), Depo Doldurma Bileşeni (*DB*), Ortalama Birim Maliyet (*OrtBirimMaliyet*), Anlık Toplam Debi (*AnlikTopDebi*), Anlık Toplam Enerji (*AnlikTopEnerji*) ve çalışan toplam pompa sayısı gibi sistem değişkenlerinin algoritma içinde hesaplanan değerleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere depo seviyesi 0 m iken yani depo tamamen boşken ortalama birim enerji tüketimi 0,260 kWh/m³, hedef deponun tam dolu olduğu 3,2 m seviyesinde ise 0,188 kWh/m³ olmaktadır. Depo seviyesi arttıkça toplam üretilmesi gereken su debisi de azalmaktadır. Depo seviyesi 0-2,1 m aralığında tüm pompalar çalışmaktayken, 2,1 m’den sonra pompalar verimsizden verimliye doğru durdurulmaktadır. 0-2,1 m aralığında tüm pompalar çalışıyor olsa da seviyeye göre motor çalışma frekansları da optimize edildiğinden dolayı birim enerji tüketimi de 0 m’de 0,260 kWh/m³’den 2,1 m’de 0,231 kWh/m³’e kadar düşmektedir.

Yapay Arı Kolonisi algoritması tabanlı optimizasyon kullanılarak kuyular 01 Mart 2020 – 28 Şubat 2021 arasında 1 yıllık süre boyunca çalıştırılmıştır. Bu 12 aylık veriye göre su üretim miktarları (m³) ve tüketilen enerji miktarları (kWh) üzerinden ortalama birim enerji tüketimi (kWh/m³) hesaplanmıştır. Kuyular, Yapay Arı Kolonisi algoritması tabanlı optimizasyon yöntemine göre işletildiğinde elde edilen aylık bulgular Ek B’de verilmiştir. Mart 2020 ayı bulguları Şekil B.1’de, Nisan 2020 ayı bulguları Şekil B.2’de, Mayıs 2020 ayı bulguları Şekil B.3’de, Haziran 2020 ayı bulguları Şekil B.4’de, Temmuz 2020 ayı bulguları Şekil B.5’de, Ağustos 2020 ayı bulguları Şekil B.6’da, Eylül 2020 ayı bulguları Şekil B.7’de, Ekim 2020 ayı bulguları Şekil B.8’de, Kasım 2020 ayı bulguları Şekil B.9’da, Aralık 2020 ayı bulguları Şekil B.10’da, Ocak 2021 ayı bulguları Şekil B.11’de, Şubat 2021 ayı bulguları Şekil B.12’de verilmiştir.

Kuyular, yapay arı kolonisi algoritması tabanlı optimizasyon kullanılarak işletildiğinde elde edilen yıllık maliyetler Çizelge 5.11’de ve Şekil 5.9’da verilmiştir. Çizelge ve şekil, tesisteki dalgiç pompalar tarafından pompalanan su miktarı, elektrik tüketimi ve birim enerji tüketimi

değerlerini vermektedir. Görüldüğü gibi derin kuyulardan toplama deposuna toplam 11.308.272 m³ su basılmıştır. Dalgıç pompalar yılda 2.710.263 kWh elektrik enerjisi tüketmiştir. Birim enerji tüketimi, bir m³ su pompalamak için gereken enerji miktarıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Birim Enerji Tüketimi} = \frac{2.710.263 \text{ [kWh]}}{11.308.272 \text{ [m}^3\text{]}} = 0,240 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right]$$

Yapay Arı Kolonisi yöntemine göre işletildiğinde ortalama birim enerji tüketiminin 0,240 kWh/m³ olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.10: Optimum çalışma frekanslarında değişkenlerin durumu.

DS (m)	Enerji Bileşeni (EB)	Depo Doldurma Bileşeni (DB)	Ortalama Birim Maliyet (OrtBirimMaliyet) (kWh/m ³)	Anlık Toplam Debi (AnlikTopDebi) (m ³ /h)	Anlık Toplam Enerji (AnlikTopEnerji) (kWh)	Çalışan Pompa Sayısı
0,0	0,26	0	0,260	1.840	479	16
0,1	0,26	0	0,259	1.827	473	16
0,2	0,26	0	0,257	1.813	466	16
0,3	0,26	0	0,256	1.800	462	16
0,4	0,25	0	0,255	1.786	455	16
0,5	0,25	0	0,252	1.773	447	16
0,6	0,25	0	0,252	1.760	444	16
0,7	0,25	0	0,251	1.747	438	16
0,8	0,25	0	0,250	1.733	434	16
0,9	0,25	0	0,249	1.719	428	16
1,0	0,25	0	0,246	1.705	420	16
1,1	0,25	0	0,246	1.692	417	16
1,2	0,25	0	0,246	1.679	413	16
1,3	0,25	0	0,245	1.667	409	16
1,4	0,24	0	0,243	1.654	402	16
1,5	0,24	0	0,241	1.638	395	16
1,6	0,24	0	0,241	1.625	392	16
1,7	0,24	0	0,241	1.611	388	16
1,8	0,24	0	0,239	1.598	382	16
1,9	0,24	0	0,238	1.584	378	16
2,0	0,24	0	0,237	1.561	369	16
2,1	0,23	0	0,231	1.437	332	16
2,2	0,23	0	0,225	1.313	296	14
2,3	0,22	0	0,221	1.195	264	14
2,4	0,22	0	0,217	1.069	232	12
2,5	0,21	0	0,214	954	204	11
2,6	0,21	0	0,212	835	177	9
2,7	0,21	0	0,209	698	146	8
2,8	0,21	0	0,206	580	119	6
2,9	0,20	0	0,200	450	90	4
3,0	0,20	0	0,197	391	77	3
3,1	0,19	0	0,189	214	41	2
3,2	0,19	0	0,188	117	22	1

Çizelge 5.11: Yapay Arı Kolonisi algoritması yöntemi ile işletim sonucu elde edilen yıllık maliyet raporu (01 Mart 2020 – 28 Şubat 2021).

Kuyu	Su Üretimi (m ³)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Birim Enerji Tüketimi (kWh/m ³)
P2	524.774	137.638	0,262
P3	159.403	39.276	0,246
P4	535.001	156.903	0,293
P5	1.377.222	296.974	0,216
P6	1.005.952	257.963	0,256
P7	545.776	142.404	0,261
P8	405.799	107.950	0,266
P9	942.070	194.846	0,207
P11	440.106	101.709	0,231
P12	539.262	124.728	0,231
P13	1.165.458	277.097	0,238
P14	807.740	203.779	0,252
P15	496.683	132.676	0,267
P16	742.220	181.952	0,245
P17	1.240.763	260.577	0,210
P18	380.035	93.784	0,247
Toplam	11.308.272	2.710.263	0,240

5.3.3 Verim esaslı müdahale yöntemi ile yapay arı kolonisi algoritması yönteminin karşılaştırması

Pilot bölge için uygulanan 2 farklı yöntemin her biri için hesaplanan birim enerji tüketimi ve birim maliyetler ile oluşan tasarruf oranlarının karşılaştırması Çizelge 5.12’de verilmiştir. Birim enerji tüketimi, verim esaslı müdahale ve ABC algoritması yöntemleri için sırasıyla 0,251 kWh/m³ ve 0,240 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Birim maliyet verim esaslı müdahale ve ABC algoritması yöntemleri için sırasıyla 0,1882 TL/m³ ve 0,1800 TL/m³ olarak bulunmuştur. Sonuçlar en düşük birim enerji tüketiminin ve birim maliyetin kuyular ABC algoritması yöntemi kullanıldığında elde edildiğini göstermektedir. ABC algoritması yöntemi verim esaslı müdahale yöntemine göre %4.38 tasarruf sağlamaktadır.

Çizelge 5.12: Verim esaslı müdahale yöntemi ile Yapay Arı Kolonisi algoritması yönteminin karşılaştırması.

Yöntem	Birim Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	Birim Maliyet* (TL/m ³)	Tasarruf (%)
Verim Esaslı İzleme	0,251	0,1882	-
Yapay Arı Kolonisi	0,240	0,1800	4,38

*Yerel elektrik tarife fiyatı 0.75 TL/kWh alınmıştır.

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

2020-03-01 00:00:27 - 2021-02-28 23:00:27

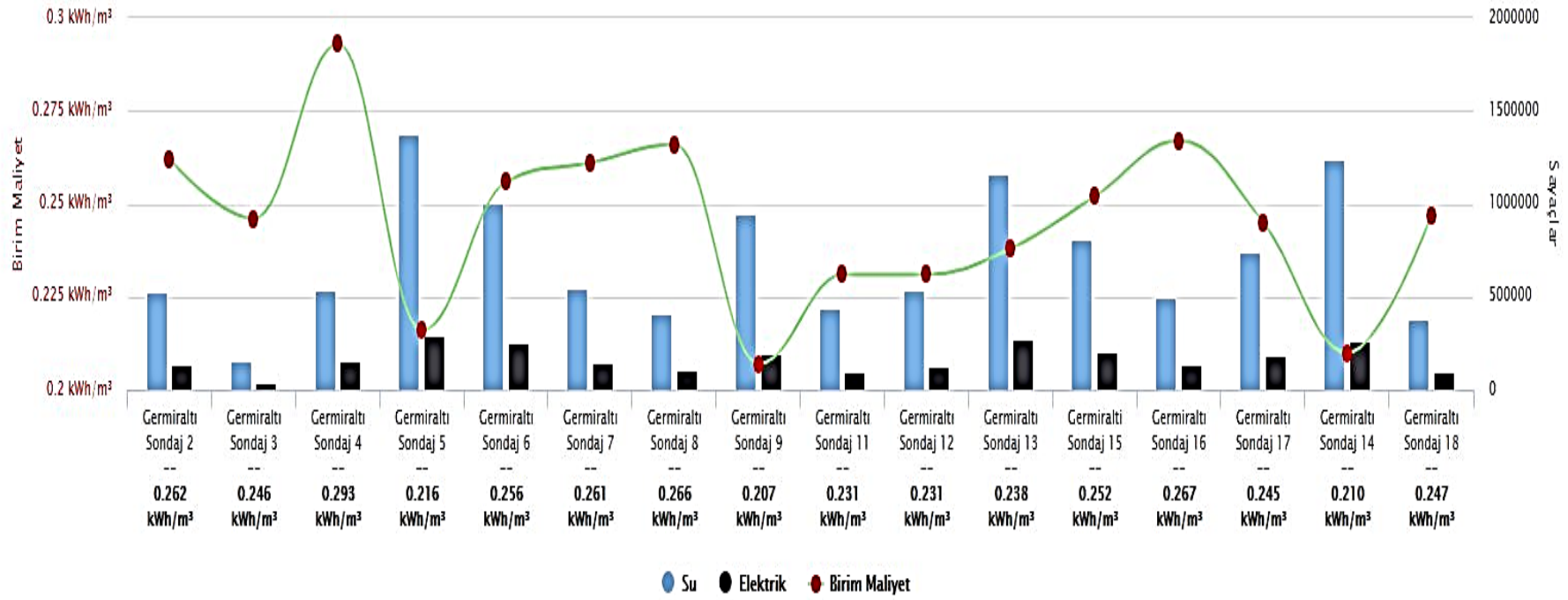
Toplam

Su: 11.307.035,18 m³

Elektrik: 2.709.979,16 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.240 kWh/m³

III



Şekil 5.9: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi yıllık bulguları (01 Mart 2020 -28 Şubat 2021).

5.4 Kentsel Su Temin Sistemlerinde Dalgıç Pompalarla Şebekeden Çekilen Net Gücü Azaltmak İçin Güneş Fotovoltaik Enerjisi Kullanmanın Teknik ve Ekonomik Fizibilitesi

Konvansiyonel elektrik şebekesinden beslenen ve önemli miktarda enerji tüketen dalgıç pompalar, kentsel alanlarda kullanıcıların su ihtiyaçlarını karşılamak için açılan derin kuyularda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu pompalar, geleneksel elektrik şebekesi altyapısına ek bir yük eklemektedir ve atmosferdeki sera gazı emisyonlarına önemli katkı yapmaktadır. Tezin bu kısmının temel amacı, kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompalar tarafından şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş PV enerjisi kullanmanın teknik ve ekonomik fizibilitesini araştırmaktır. Araştırma alanı olarak tüm enerji ihtiyacını şehir şebekesinden karşılayan Germiraltı kaptaj alanı seçilmiştir. Simülasyon çalışmasının yanı sıra, KASKİ Germiraltı kaptaj alanı izlenmiş ve Kasım 2019'dan Kasım 2020'ye kadar dalgıç pompaların pompaladığı su miktarı ve tükettiği enerjinin gerçek zamanlı verileri kaydedilmiştir. İki farklı senaryo, "hibrit güçlü su pompalama sistemi" ve "şebeke bağlantılı PV sistemi", önerilmiş ve analiz edilmiştir. Önerilen her iki sistemin tasarımı, modellemesi ve simülasyonu PVsyst v7.02 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmaya ilişkin bulgular aşağıda sunulmuştur.

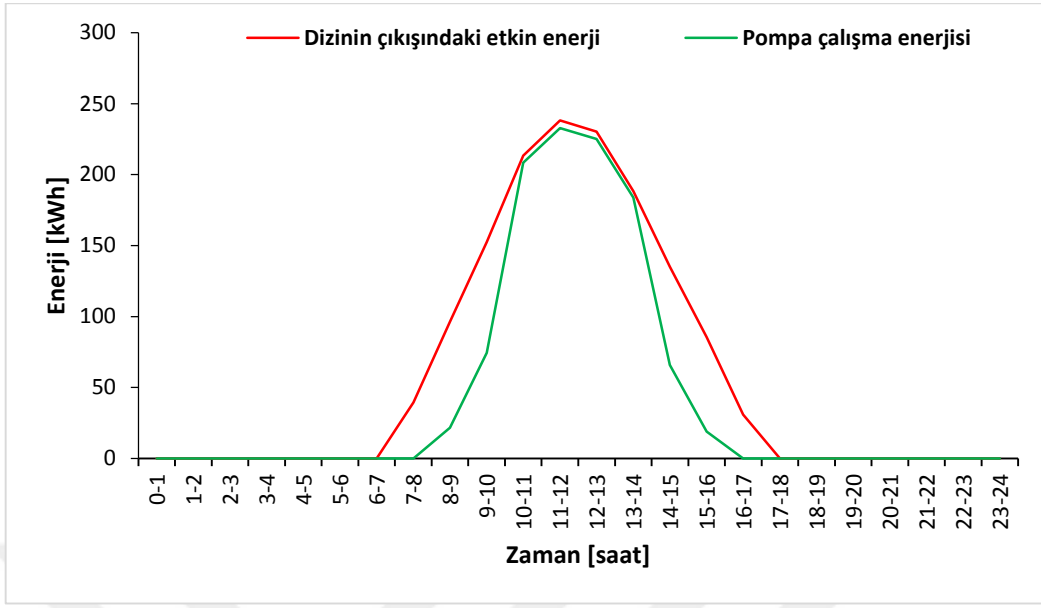
5.4.1 Hibrit güçlü su pompalama sistemi

Şehir elektrik şebekesinden mevcut dalgıç pompaların çektiği net elektrik gücünü azaltmak için bir hibrit güçlü su pompalama sistemi önerilmiştir. Ancak önerilen sistem, kullanıcıların gün boyunca tüm su ihtiyaçlarını karşılayarak bu amaca ulaşmalıdır. Bu nedenle, PV sistemi gündüz saatlerinde yeterli enerjiyi üretebilmelidir. Germiraltı kaptaj alanındaki mevcut dalgıç pompaların toplam gücü 519 kW'dır (Çizelge 4.7). Fotovoltaik sistemdeki kayıplar göz önünde bulundurularak, bu maksimum gücü sağlayacak PV düzeneğinin kapasitesini belirlemek için bir simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonucunda 670 kWp gücünde bir PV sisteminin uygun olacağına karar verilmiştir. Önerilen hibrit güçlü su pompalama sisteminin özellikleri Çizelge 5.13'de verilmiştir. Hibrit güçlü su pompalama sistemi için tasarlanan PV dizileri toplam 670 kWp kapasiteye sahiptir ve çeşitli nominal güçlere sahip 16 adet kontrolör içermektedir. PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji 1.121,53 MWh'dir. Bu, PV sistemlerinin bir yıllık dönemde dalgıç pompaların toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık %40,6'sını karşılayabileceği anlamına gelmektedir.

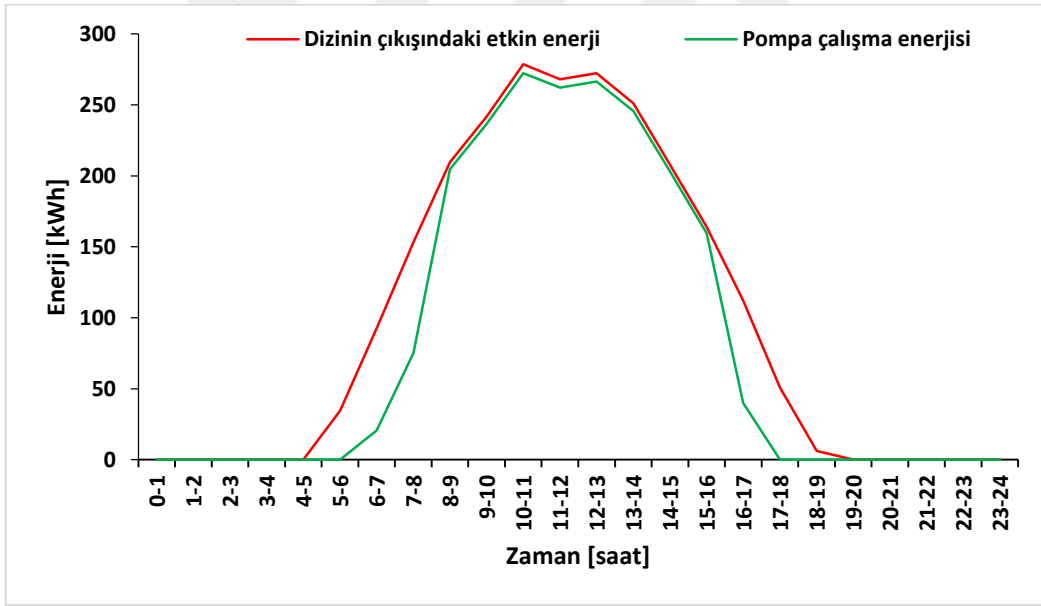
Çizelge 5.13: Önerilen hibrit güçlü su pompalama sisteminin özellikleri (670 kWp).

Parametre	Değer
Toplam Kapasite (kWp)	670
PV modül sayısı	2.230
PV modül gücü (Wp)	300
Kontrollör sayısı	16
Kontrollör gücü (kW)	11 ~ 55
PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji (MWh)	1121,53
PV sistemi tarafından karşılanan enerji tüketiminin yüzdesi	40,6%

Şekil 5.10, tipik bir kış günü boyunca PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerjiyi ve toplam pompa çalışma enerjisini göstermektedir. Tipik bir yaz günü boyunca PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji ve toplam pompa çalışma enerjisi Şekil 5.11'de gösterilmektedir. Tipik kış günü, ortam hava sıcaklığının, kullanıcıların su ihtiyaçlarının ve alınan güneş enerjisi miktarının tipik olarak en düşük olduğu gündür. Bu çalışmada 19 Şubat tipik bir kış günü olarak alınmıştır. Tipik yaz günü, ortam hava sıcaklığının, kullanıcıların su ihtiyaçlarının ve alınan güneş enerjisi miktarının tipik olarak en yüksek olduğu günü ifade eder. Bu çalışmada tipik bir yaz günü olarak 11 Temmuz alınmıştır. Tipik günler için sonuçların değerlendirilmesi, önerilen sistemin yıl boyunca üretilen enerjiyi ve pompalanan su miktarını nasıl etkileyeceği konusunda fikir verir. PV dizisi çıkışı, güneş enerjisi yoğunluğuna ve modül sıcaklığına göre değişir. PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji, tipik kış günü ve tipik yaz gününde sırasıyla 1.410 kWh ve 2.344 kWh'dir. Dalgıç pompalar, tipik bir kış gününde PV dizilerinin çıkışında toplam etkin enerjinin yaklaşık %73'ünü (1.031 kWh) ve tipik bir yaz gününde yaklaşık %85'ini (1.987 kWh) tüketir. Geriye kalan enerji, PV dizi tarafından pompa üretim eşiği (EPumpThr) altında üretilen enerji ve kuyuların düşük seviyeli aspirasyonu (derin kuyu, çekme emniyeti) (ELowLev) nedeniyle kontrolörün dalgıç pompaları durdurması sonucu kullanılmayan enerjidir. Kullanılmayan enerji, akıllı bir enerji yönetimi stratejisine sahip kontrolör tarafından şebekeye enjekte edilir. Tipik kış günü ve tipik yaz günü için elde edilen sonuçlar arasında küçük farklılıklar vardır. Bu farklılıklar, kış günlerinde daha az saatlik güneş radyasyonu ve gün ışığında güneş radyasyonundaki saatlik dalgalanmalardan kaynaklanmaktadır. PV sistemleri sadece gündüz saatlerinde enerji üretirken, dalgıç pompalar gün boyunca enerji tüketir. Bu nedenle, PV sistemlerinin tipik bir kış gününde dalgıç pompaların toplam enerji tüketiminin %19'unu ve tipik bir yaz gününde %29'unu üretebileceği belirlenmiştir.



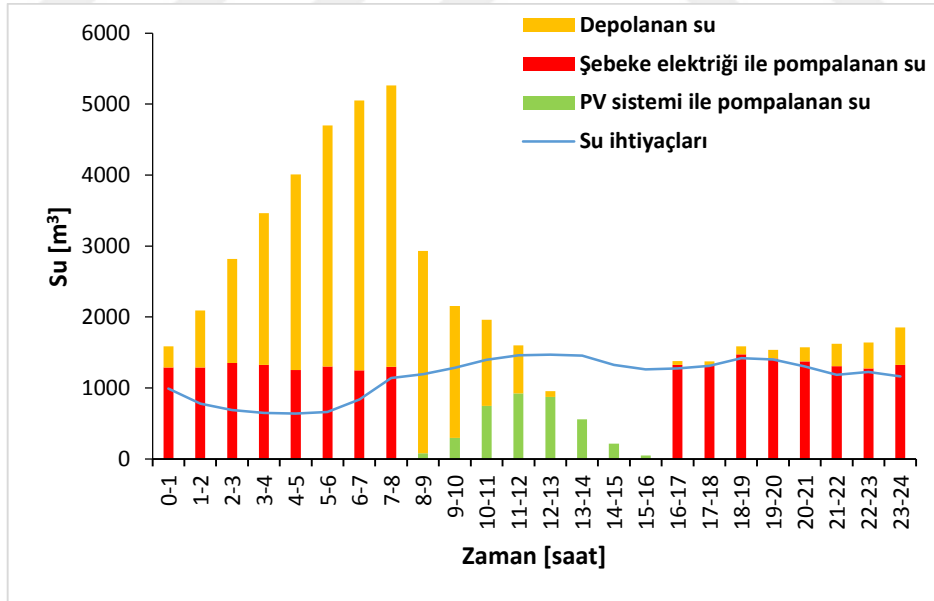
Şekil 5.10: Tipik bir kış günü boyunca PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji ve toplam pompa çalışma enerjisi.



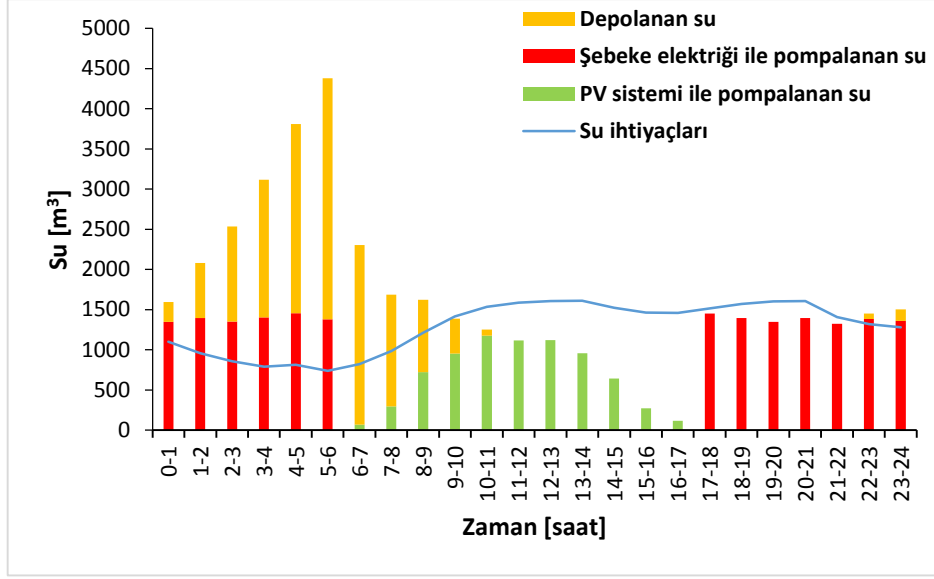
Şekil 5.11: Tipik bir yaz günü boyunca PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji ve toplam pompa çalışma enerjisi.

Önerilen sistemler değerlendirilirken enerji üretiminin yanı sıra kullanıcıların su ihtiyaçlarının karşılanıp karşılanmadığı da dikkate alınmalıdır. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13, sırasıyla tipik bir kış günü ve tipik bir yaz günü boyunca kullanıcıların su ihtiyaçlarını, pompalanan su miktarını (şebeke elektriği ile, PV sistemleri ile) ve toplama deposunda depolanan su hacmini göstermektedir. Dalgıç pompalar gece boyunca şehir elektrik şebekesinden elektrik çeker. Öte yandan, kullanıcıların gece su ihtiyacı düşüktür. Bu

nedenle, geceleri depolama için depoya daha fazla su pompalanır. Tipik bir kış gününde toplama deposunda depolanan su miktarı gece saatlerinde artmakta ve sabah saat 8:00'de maksimum değerine ulaşmaktadır. Öte yandan, tipik bir yaz gününde toplama deposunda depolanan su miktarı gece saatlerinde artmakta ve sabah 06:00'da maksimum değerine ulaşmaktadır. Bu saatlerden sonra toplama deposundaki su miktarı maksimum değerine ulaştığında dalgıç pompalar şebeke elektriği yerine PV sisteminden beslenmeye başlar. Alınan güneş enerjisi miktarının düşük olduğu saatlerde PV sistemleri tarafından daha az enerji üretildiğinden, dalgıç pompalar daha düşük devirde çalışmakta ve daha az su hacmi pompalamaktadır. PV sistem en fazla enerjiyi kullanıcıların su ihtiyacının en yüksek olduğu saatlerde üretse de yeterli miktarda su üretilmemektedir. Bu nedenle, kullanıcıların su ihtiyaçlarının bir kısmı toplama deposunda depolanan su ile karşılanmaktadır. Ancak, depodaki su tipik bir kış günü saat 14:00'te, tipik bir yaz günü ise saat 12:00'de bitmektedir. Ayrıca depodaki suyun tükendiği saatler sonrasında PV sistem tarafından pompalanan su miktarı su ihtiyacından daha azdır ve kullanıcıların su ihtiyacı karşılanamaz. Dalgıç pompaların PV sistemlerle beslendiği saatlerde pompalanan su miktarının az olması nedeniyle, pompa sistemi sadece gündüz saatlerinde değil, su talebinin yüksek olduğu bazı gece saatlerinde de kullanıcıların su ihtiyacını karşılayamaz.



Şekil 5.12: Tipik bir kış gününde pompalanan su, depolanan su ve kullanıcıların su ihtiyaçları.



Şekil 5.13: Tipik bir yaz gününde pompalanan su, depolanan su ve kullanıcıların su ihtiyaçları.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, önerilen kapasiteye (670 kWp) sahip hibrit güçlü su pompalama sisteminin, kullanıcıların su ihtiyaçlarını kısmen karşılayabildiğini, ancak tüm ihtiyaçları karşılayamayacağını göstermiştir. Aşağıdaki önerilerin uygulanması, hibrit güçlü su pompalama sisteminin kullanıcıların su ihtiyaçlarını büyük ölçüde veya tamamen karşılamasını sağlayabilir:

- (i) Su ihtiyacını daha fazla karşılamak için PV sisteminin kapasitesi artırılabilir. Ancak, daha yüksek kapasiteli PV dizileri kurmak daha maliyetli olacak ve daha büyük kurulum sahaları gerektirecektir. Bu nedenle farklı kapasite artışları için teknik ve ekonomik fizibilite yapılarak en uygun kapasite belirlenmelidir. Bunu yaparken, kaptaj alanlarında PV dizisinin kurulumu için yeterli saha olup olmadığı da dikkate alınmalıdır.
- (ii) PV dizisinin kurulumu için yeterli alan varsa, kullanıcıların tüm su ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir PV sistemi kurulabilir. Bu hibrit güçlü su pompalama sistemi, gündüz saatlerinde dalgıç pompalara gerekli tüm enerjiyi sağlayabilir.
- (iii) PV sistemi gündüzleri dalgıç pompaların çalışması için gereken tüm enerjiyi sağlasa bile, güneş ışınımının yeterli olmadığı gündüz saatlerinde ve gece saatlerinde gerekli enerjiyi sağlayamaz. Bu saatlerde ihtiyaç duyulan enerji şehir elektrik şebekesinden sağlanacaktır. Bu nedenle, hibrit güçlü su pompalama sisteminin optimum koşullarda çalışmasını sağlamak için akıllı bir enerji yönetim sistemi kullanılmalıdır.

Germiraltı kaptaj alanının toplam büyüklüğü 521.933 m²'dir. Bu alanın 454.702 m²'si yeşil alan olduğundan PV sistem kurulumuna uygun değildir. Ancak 67.231 m²'lik bir alan PV sistem kurulumuna uygundur ve şu anda atıl durumdadır. Önerilen 670 kWp PV sisteminin kurulumu için yaklaşık 5.600 m² alana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenlerle Germiraltı kaptaj alanında kullanıcıların tüm su ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir PV sisteminin kurulması için yeterli alan bulunmaktadır.

Hibrit güçlü su pompalama sistemi için bir ekonomik analiz yapılmıştır. Bu analizin amacı, PV sistem kurulumunun 25 yıl (sistem ömrü) boyunca maliyet etkin olup olmayacağını belirlemektir (Rehman ve Şahin 2016). Maliyet analizi ve geri ödeme süresi hesaplamaları "Malzeme ve Yöntemler" bölümünde açıklanan yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bu geri ödeme süresi yöntemi, belirlenen süreden sonra ortaya çıkan faydaları yok sayar ve karlılığı ölçmez (Reniers vd. 2016; Dinçer ve Abu-Rayash, 2019). Ayrıca yöntemde ne paranın zaman değeri ne de fırsat maliyetleri dikkate alınmamaktadır (Coker 2007; Reniers vd. 2016; Rout vd. 2021). Ekonomik hesaplamalar, iskonto oranı veya iskonto faktörünü içermez (Cheremisoff ve ark. 2008). Bu çalışmada kullanılan ekonomik parametreler Çizelge 5.14'de özetlenmiştir. Çizelge incelendiğinde PV sistemin yıllık 1.121.530 kWh enerji üretebildiği ve böylece enerji maliyetlerinde 92.306 \$ tasarruf sağladığı görülmektedir. Hibrit güçlü su pompalama sisteminin geri ödeme süresi, Denklem 4.14'de verilen formül uygulanarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$PBP = \frac{0,651 \left[\frac{\$}{kWp} \right] \times 670 [kWp]}{92.306 \left[\frac{\$}{yıl} \right]} = 4,7 [yıl]$$

Önerilen hibrit güçlü su pompalama sisteminin geri ödeme süresi 4,7 yıl olarak bulunmuştur. Geri ödeme süresi önerilen sistemin ömründen çok daha kısadır.

Çizelge 5.14: Önerilen hibrit güçlü su pompalama sistemi için geri ödeme süresi (670 kWp).

Parametre	Değer
Hibrit güçlü su pompalama sisteminin ilk yatırım maliyeti (\$)	436.170
Yıllık toplam enerji üretimi (kWh)	1.121.530
Yıllık enerji tasarrufu (\$)	92.306
Geri ödeme süresi (yıl)	4,7
Sistem ömrü (yıl)	25

5.4.2 Şebekeye bağlı PV sistemi

Bu senaryoda pompalama sisteminden tamamen bağımsız bir PV sistemi önerilmektedir. PV sistemi tarafından üretilen enerjinin tamamı doğrudan şehir elektrik şebekesine enjekte edilir. Pompalar tamamen şehir elektrik şebekesinden güç alır. Pompalanan su miktarı, güneş ışınımı ve diğer iklim koşullarındaki dalgalanmalardan etkilenmez. Böylece şebeke bağlantılı PV sistemi dalgıç pompaların şebekeden çektiği net gücü azaltır veya yeterli kapasiteye sahipse dalgıç pompaların ihtiyaç duyduğu tüm enerjisi karşılar.

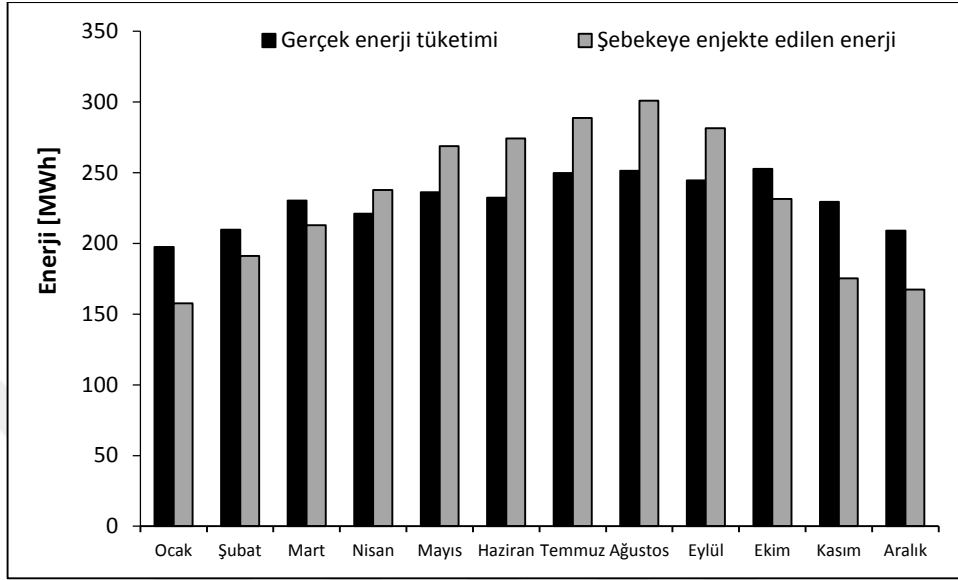
Germiraltı kaptaj alanındaki mevcut dalgıç pompaların toplam gücü 519 kW'dır (bkz. Çizelge 4.7). PV sistemdeki kayıplar göz önünde bulundurularak, dalgıç pompaların çalışması için gereken tüm enerjisi güneşten sağlayacak PV düzeneğinin kapasitesini belirlemek için bir simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonucunda 1.620 kWp gücünde bir PV sisteminin uygun olacağı belirlenmiştir. Önerilen şebekeye bağlı PV sisteminin özellikleri Çizelge 5.15'de verilmiştir. 5.400 PV modüllü ve 27 invertörlü 1.620 kWp'lik bir PV sistemi, şebekeye 2.787,8 MWh/yıl enerji enjekte etmektedir. Sistemin yıllık ortalama performans oranı (PR) %85,7 ve yıllık ortalama günlük nihai verim 4,71 saat/gün'dür. Dalgıç pompaların tükettiği enerji 2.764,1 MWh/yıl'dır. Bu sonuç, önerilen şebeke bağlantılı PV sisteminin dalgıç pompaların toplam elektrik talebini tam olarak karşılayabileceğini göstermektedir. Tüketim fazlası üretilen elektrik şebekeye satılabilir.

Çizelge 5.15: Önerilen şebeke bağlantılı PV sisteminin özellikleri (1620 kWp).

Parametre	Değer
Toplam Kapasite (kWp)	1.620
PV modül sayısı	5.400
PV modül gücü (Wp)	300
İnvertör sayısı	27
İnvertör gücü (kW)	50
Performans oranı, PR	85,7
Nihai verim, Y_F (saat/gün)	4,71
Şebekeye enjekte edilen yıllık toplam enerji (MWh)	2.787,8
PV sistemi tarafından karşılanan enerji tüketiminin yüzdesi	100%

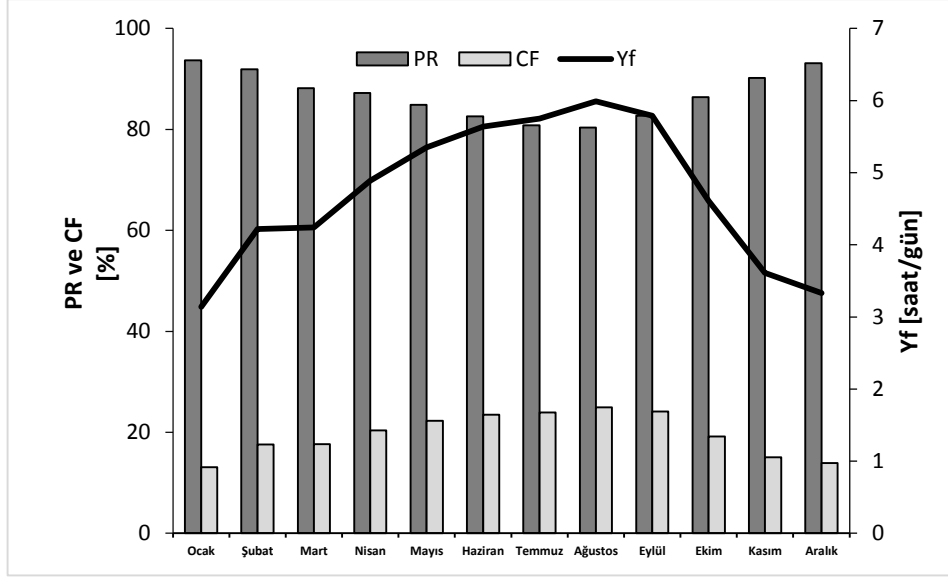
Şekil 5.14, dalgıç pompaların gerçek enerji tüketiminin ve PV sistemi tarafından şebekeye enjekte edilen enerjinin aylık değişimini göstermektedir. PV sistemi tarafından şebekeye enjekte edilen enerji, güneşlenmenin bir fonksiyonudur. Dolayısıyla güneşlenmenin arttığı yaz aylarında PV sistem tarafından daha fazla enerji üretilir. Güneşlenme süresinin ve alınan güneş enerjisi miktarının en yüksek olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında şebekeye enjekte

edilen enerji miktarı en fazladır. Diğer taraftan, dalgıç pompalar ise en yüksek enerjiyi Ağustos ve Ekim aylarında tüketmektedir. Şebekeye bağlı PV sisteminin şebekeye verdiği yıllık toplam enerji, dalgıç pompaların yıllık toplam enerji ihtiyacının tamamını karşılamaktadır.



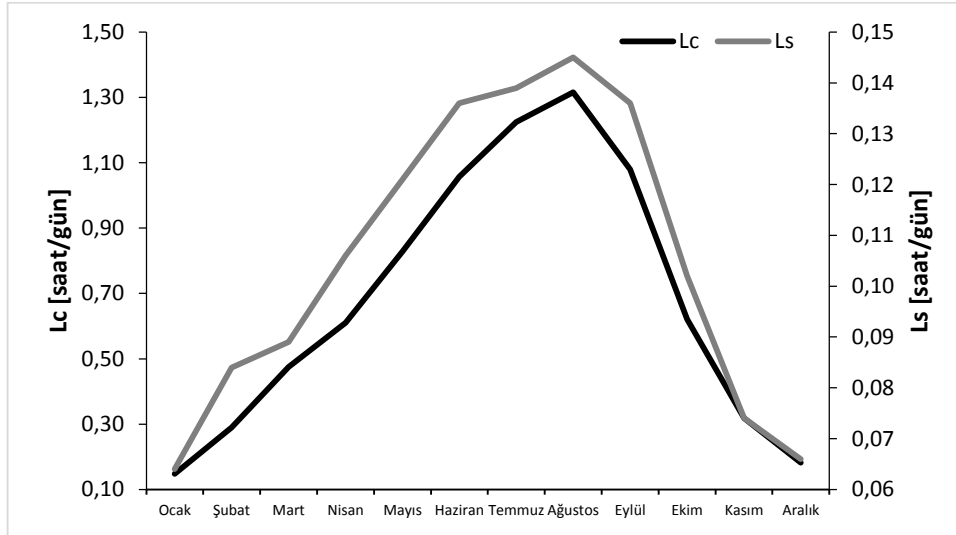
Şekil 5.14: Dalgıç pompaların gerçek enerji tüketiminin ve PV sistemi tarafından şebekeye enjekte edilen enerjinin aylık değişimi.

Şekil 5.15, PV sistemi için performans oranı, kapasite faktörü ve nihai verimin aylık değişimini göstermektedir. Kapasite faktörü ve nihai verim, şebekeye verilen enerjinin fonksiyonları olduğundan, hem kapasite faktörü hem de nihai verim, yazın artar, kışın düşer. Kapasite faktörü %13,1 (Ocak) ile %25 (Ağustos) arasında değişirken, nihai verim 3,14 saat/gün (Ocak) ile 5,99 saat/gün (Ağustos) arasında değişmektedir. En yüksek performans oranı Ocak (%93,7), en düşük performans oranı ise Ağustos (%80,4) ayında elde edilmiştir. Önerilen sistemin performans oranı, kapasite faktörü ve nihai veriminin yıllık ortalama değerleri sırasıyla %85,7, %19,6 ve 4,71 saat/gün'dür.



Şekil 5.15: PV sistemi için performans oranı, kapasite faktörü ve nihai verimin aylık değişimi.

Şekil 5.16, önerilen PV sisteminin günlük ortalama yakalama ve sistem kayıplarının aylık değişimini göstermektedir. Sistem kaybı Ocak'ta 0,064 sa/gün'den Ağustos'ta 0,145 sa/gün'e kadar değişirken, yakalama kaybı Ocak'ta 0,148 sa/gün'den Ağustos'ta 1,316 sa/güne değişmektedir. Özellikle soğuk ve az güneşli aylarda hem yakalama hem de sistem kayıpları en düşük değerleri almıştır. Yakalama ve sistem kayıplarının yıllık ortalama günlük değerleri sırasıyla 0,681 saat/gün ve 0,105 saat/gün'dür.



Şekil 5.16: PV sistemi için yakalama ve sistem kayıplarının aylık değişimi.

Şebekeye bağlı PV sistemi için bir ekonomik analiz yapılmıştır. Bu analizin amacı, şebeke bağlantılı PV sistem kurulumunun 25 yıl (sistem ömrü) boyunca maliyet etkin olup olmayacağını belirlemektir (Rehman ve Şahin 2016). Çizelge 5.16, bu çalışmada kullanılan

ekonomik parametreleri özetlemektedir. Çizelgenin incelenmesi, PV sisteminin yıllık enerji üretiminin 2.787.800 kWh ve yıllık enerji tasarrufunun 250.902 \$ olduğunu göstermektedir. Denklem 4.14'de verilen formüle göre, şebeke bağlantılı PV sisteminin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$PBP = \frac{0,639 \left[\frac{\$}{Wp} \right] \times 1620 [kWp]}{250.902 \left[\frac{\$}{yıl} \right]} = 4,1 [yıl]$$

Önerilen şebeke bağlantılı PV sisteminin geri ödeme süresi 4,1 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu kısa geri ödeme süresi, şebekeye bağlı PV sisteminin kurulmasının ekonomik olarak rekabetçi olduğunu göstermektedir. İşletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması PV sistemlerini daha da rekabetçi kılmaktadır.

Çizelge 5.16: Önerilen şebeke bağlantılı PV sistemi için geri ödeme süresi (1620 kWp).

Parametre	Değer
Şebekeye bağlı PV sisteminin ilk yatırım maliyeti (\$)	1.035.180
Yıllık enerji üretimi (kWh)	2.787.800
Yıllık enerji tasarrufu (\$)	250.902
Geri Ödeme süresi (yıl)	4,1
Sistem ömrü (yıl)	25

Çizelge 5.17, hibrit güçle çalışan su pompalama sistemi ve şebekeye bağlı PV sistemi için bulunan sonuçların karşılaştırmalı bir özetini vermektedir. Aşağıdaki sonuçları vurgulamak önemlidir:

- (a) Hibrit güçlü su pompalama sistemi, dalgıç pompaların yıllık enerji ihtiyaçlarının ancak bir kısmını karşılayabilir. Ancak şebeke bağlantılı PV sistemi yıllık enerji ihtiyaçlarının tamamını karşılayabilir.
- (b) Şebekeye bağlı PV sisteminin geri ödeme süresi, hibrit güçle çalışan su pompalama sisteminkinden daha kısadır.
- (c) Şebekeye bağlı PV sisteminin kapasitesi, hibrit güçlü su pompalama sisteminin kapasitesinden daha yüksek olduğundan, şebekeye bağlı PV sistemi için gereken kurulum alanı daha yüksektir. Su kaptaj alanlarında veya yakınında PV dizisinin kurulumu için yeterince uygun alan var ise, dalgıç pompaların tüm enerji ihtiyacının PV sisteminden karşılanacağı bir tasarım tercih edilmelidir.

(d) Hibrit güçlü su pompalama sistemi ve şebekeye bağlı PV sistemi, dalgıç pompaları çalıştırmak için gereken enerjiyi yerel olarak üretir. Yerel enerji üretimi, ulaşım kaynaklı enerji kayıplarını önleyerek enerji maliyetlerinden tasarruf sağlar.

(e) Yerel enerji üretimi, yerel ağ üzerindeki stresi azaltabilir. Ayrıca genel ağ, merkezi güneş enerjisi üretimini absorbe edecek kadar güçlüdür.

(f) Küçük sistemlerin yerel kullanım için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanacak şekilde uyarlanması veya güçlendirilmesi çoğu zaman ek kayıplara neden olur. Bu kayıplar, optimize edilmiş sistemler tasarlanarak ve akıllı bir enerji yönetimi stratejisi kullanılarak azaltılabilir/önlenebilir.

Çizelge 5.17: Hibrit güçlü su pompalama sistemi ve şebekeye bağlı PV sistemi için sonuçların karşılaştırmalı özeti.

Parametre	Hibrit güçlü su pompalama sistemi	Şebekeye bağlı PV sistemi
Dalgıç pompaların tükettiği yıllık enerji (MWh)	2.764,1	2.764,1
Toplam kapasite (kWp)	670	1.620
PV sistemi tarafından karşılanan enerji tüketiminin yüzdesi	40,6%	100%
PV sisteminin ilk yatırım maliyeti (\$)	436.170	1.035.180
Yıllık enerji üretimi (MWh)	1.121,53	2.787,8
Yıllık enerji tasarrufu (\$)	92.306	250.902
Geri ödeme periyodu (yıl)	4,7	4,1
Sistem ömrü (yıl)	25	25
PV sisteminin kurulumu için gerekli alan (m ²)	5.600 m ²	13.500 m ²

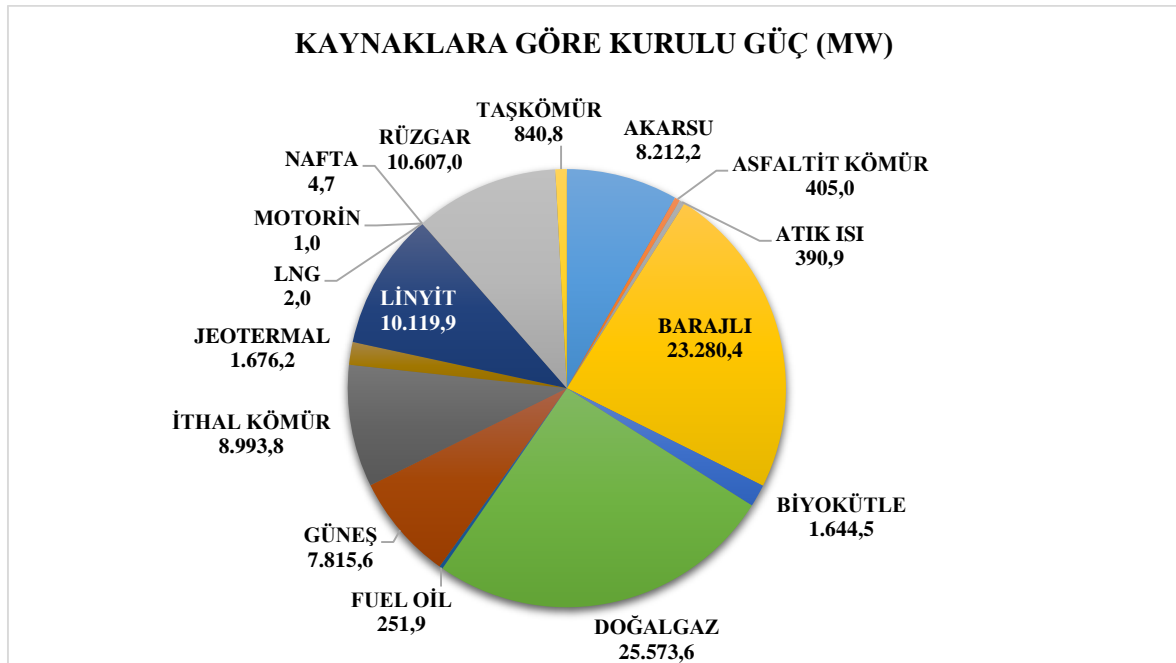
5.4.3 Önerilen güneş PV su pompalama sistemlerinin Kayseri ili elektrik şebekesine entegrasyonu

Türkiye'de toplam kurulu gücü 99.819,6 MW olan 10.457 santral bulunmaktadır (TEİAŞ, 2021). Birincil kaynaklara göre santral adedi ve kurulu güç dağılımları Çizelge 5.18 ve Şekil 5.17'de verilmiştir. Hızlı nüfus artışı ve endüstriyel gelişme nedeniyle Türkiye'nin enerji ihtiyacı artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına paralel olarak yıllara göre kurulu gücü de Şekil 5.18'de görüldüğü gibi sürekli büyümektedir. Türkiye'nin elektrik üretim ve dağıtım altyapısı güçlüdür. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimini fosil kaynaklı elektrik üretimine sorunsuz bir şekilde entegre edebilen bir şebeke yapısına sahiptir. Öte yandan, Kayseri ili 2020 yılı itibarıyla 2.688 MVA elektrik kurulu gücüne sahiptir. Toplam 26.008 km şebeke, 8.136 trafo, 6.785 km yer altı kablosu ve 19.223 km havai hat üzerinden 770.120 aboneye 2.353 GWh enerji dağıtımı yapılmıştır (KCETAŞ, 2020). Mevcut şebeke altyapısı ve kurumsal bilgi birikimi, Kayseri elektrik dağıtım şebekesinin güçlü olduğunu ve bu

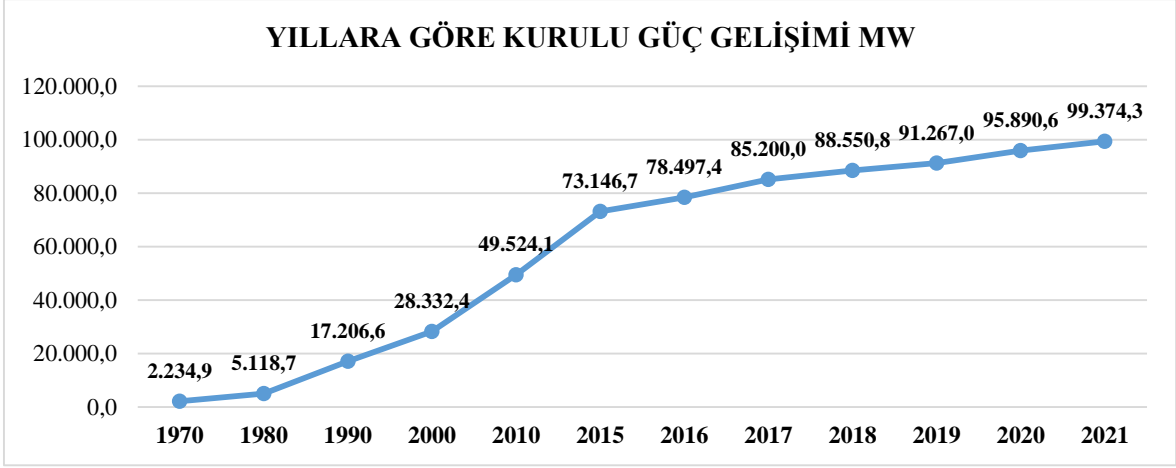
çalışmada önerilen PV sisteminin şehir elektrik şebekesine kolaylıkla entegre edilebileceğini göstermektedir.

Çizelge 5.18: Birincil kaynaklara göre santral adedi ve kurulu güç

BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADEDİ	KURULU GÜÇ (MW)
Akarsu	604	8.212,2
Asfaltit Kömür	1	405
Atık Isı	94	390,9
Barajlı	141	23.280,4
Biyokütle	380	1.644,5
Doğalgaz	352	25.573,6
Fuel Oil	9	251,9
Güneş	8.389	7.815,6
İthal Kömür	15	8.993,8
Jeotermal	63	1.676,2
Linyit	47	10.119,9
Lng	1	2
Motorin	1	1
Nafta	1	4,7
Rüzgar	355	10.607
Taşkömür	4	840,8
Toplam	10.457	99.819,60



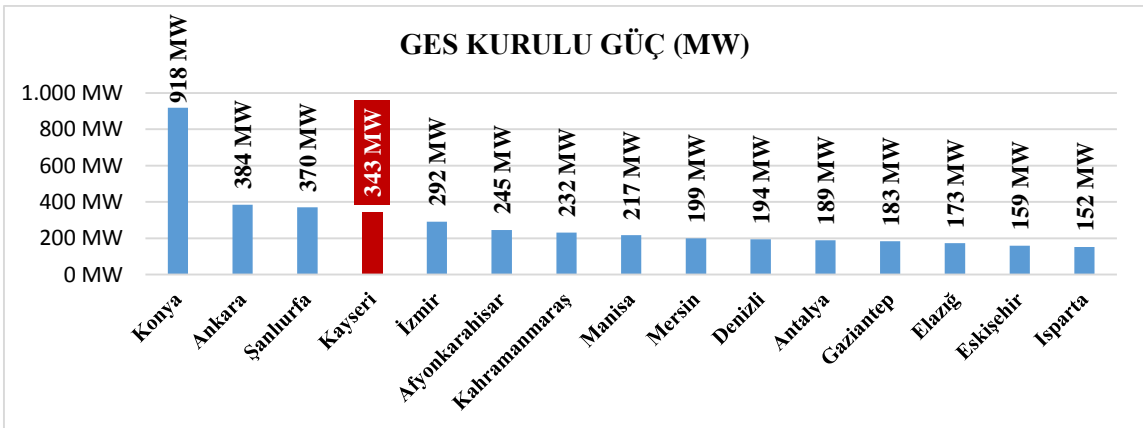
Şekil 5.17: Kaynaklara göre kurulu güç (Kaynak: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>)



(Kaynak: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>)

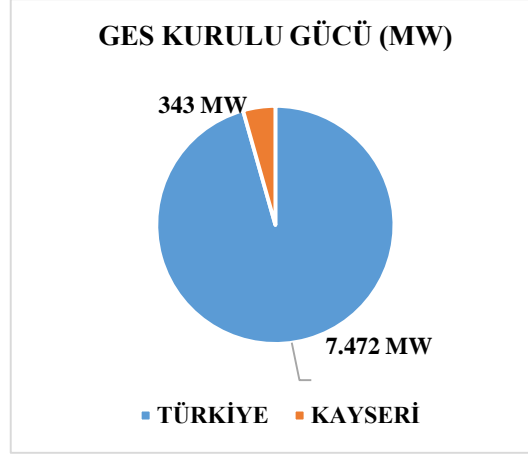
Şekil 5.18: Türkiye'nin yıllara göre kurulu güç gelişimi

Türkiye'de toplam kurulu gücü 7.815,6 MW olan 8.389 güneş enerjisi santrali (GES) bulunmaktadır (TEİAŞ, 2021). Öte yandan, bu çalışmanın yapıldığı Kayseri ilinin, Türkiye'deki 150 MW'ın üzerinde GES kurulu gücü olan iller arasındaki yeri, GES kurulu gücünün ve sayısının Türkiye'deki yeri sırasıyla Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 gösterilmektedir (Atlas of Energy, 2021). Türkiye'de ve Kayseri ilinde, GES santrallerinde gündüz saatlerinde üretilen yerel ihtiyaçtan daha fazla elektrik şehir şebekesine enjekte edilmektedir. GES santrallerinde elektriğin üretilmediği gece saatlerinde yerel elektrik ihtiyacı mevcut konvansiyonel elektrik şebekesinden karşılanmaktadır. Kayseri ilindeki mevcut GES'ler, güçlü şehir elektrik şebekesine entegrasyon açısından sorunsuz çalışmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Kayseri ilinin su kaptaj alanında kurulması önerilen GES diğer GES'ler gibi şehir elektrik şebekesine entegrasyon açısından sorunsuz çalışabilecektir.

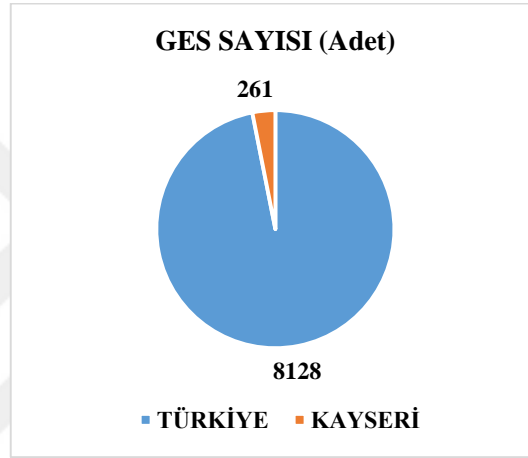


Kaynak : Enerji atlası (<https://www.enerjiatlas.com/gunes-enerjisi-haritasi/kayseri>)

Şekil 5.19: 150 MW üzeri kurulu güce sahip iller



Şekil 5.20: Kayseri'deki GES kurulu gücün Türkiye'deki yeri



Şekil 5.21: Kayseri'deki GES sayısının Türkiye'deki yeri

5.4.4 Güneş PV su pompalama sistemlerinin performanslarının başka yerlerdeki diğer kurulumlarla karşılaştırılması

Güneş PV su pompalama sistemlerine ilişkin bazı araştırmalar Çizelge 5.18'de verilmiştir. Nayar ve ark. (1993), Muljadi (1997), Kolhe ve diğerleri. (2004) ve Vongmanee (2005), makul derecede etkili PV su pompalama sistemleri ile ilgili çalışmalar yaptılar. Ghoneim (2006) Kuveyt'te bir fotovoltaik enerjili su pompalama sisteminin performans optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Sistem, kırsal bir alanda doğrudan bağlantılı bir PV su pompalama sistemi kullanarak günde 12 m³ su pompalamaktadır. Önerilen sistemin maliyeti, geleneksel yakıt sistemine göre daha ucuz bulunmuştur. Padmavathi ve Daniel (2011) Bangalore (Hindistan) şehrinde, büyük şehirlerdeki her eve güneş enerjili su pompaları kurmanın önemini ortaya çıkarmak için bir vaka çalışması yürütmüştür. 60 Wp ile 500 Wp arasında değişen PV panellerin, Bangalore Şehri konut binalarındaki üst depoları

güneş enerjisi kullanarak doldurmak için yeterli olduğu bulundu. Tek bir dağıtım trafosu ağındaki güç akışı çalışması (0,37 kW elektrikli su pompasına sahip yaklaşık 216 hane tüketicisi ile), güneş enerjili su pompalarının kullanımı nedeniyle günde 40 kWh şebeke elektriği tasarrufu sağladı. Böylece tüketici başına yılda 68 kWh enerji tasarrufu oluştu. Jamil ve diğ. (2012) Yeni Delhi, Hindistan'daki Jamia Millia Islamia Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi'nin su ihtiyaçlarını karşılamak için bir SPVWPS önermiştir. Önerilen sistemin tekno-ekonomik analizi sunulmuş ve mevcut sistemle karşılaştırılmıştır. Önerilen sistemin tahmini geri ödeme süresinin 4 yıldan az olduğu tespit edilmiştir. Đurin ve Margeta (2014), Hırvatistan'ın güney Akdeniz kesiminde yer alan bir kentsel alanın sürdürülebilir enerji arzı için varsayımsal bir örnek sunmuştur. Sonuçlar, önerilen yenilikçi çözümün, pompalara güvenilir ve sürekli olarak yenilenebilir enerji sağlayarak kullanıcılara güvenilir ve sürekli su temini sağlayabildiğini gösterdi. Rodriguez (2018) gelişmekte olan dünyadaki mega kentlerde yerel kentsel arzda yeraltı suyu pompalamak için geleneksel elektriğe güvenmeye alternatif olarak SPVWPS'yi kullanmayı önerdi. Mexico City'nin 528 kamu kentsel yeraltı suyu kuyusu çalışma vakası olarak seçilmiş ve SPVWPS'nin boyutu ve kapasitesi belirlenmiştir. 30 yıllık bir senaryo (2016-2045) yapılmış ve kapasite açısından SPVWPS kurulumu uygun bulunmuştur. Toplam 204.104.250 Wp kapasiteli sistem, Mexico City'deki 528 kamu şehir kuyusu için yıllık 299.595.632 kWh elektrik ihtiyacını karşılayabilecektir. Ayrıca, yatırımın finansal olarak yapılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.19: Güneş fotovoltaik su pompalama sistemlerine ilişkin araştırmalar.

Kaynak	Ülke/	Sistem tipi	Uygulama	PV gücü (kW)	Önerilen/ Mevcut	Ekonomik Durum	Performans	
1	Ramos and Ramos (2009)	Zambiya/Lusaka	SPVDC	İçmesuyu	0,195	Önerilen	Pompalama maliyeti=1,07 €/m ³	-
2	Gad and El-Gayar (2009)	Mısır/ Güney Sinai	SPVDC	İçmesuyu/Tarımsal	0,72	Önerilen	-	Yazlık debi= 24,06 m ³ /gün Kışlık debi= 12,12 m ³ /gün
3	Mokeddem et al. (2011)	Cezayir/ Bir El Djir	SPVDC	Tarımsal	1,5	Mevcut	-	Motor-pompa verimi=%30'dan az.
4	Jamil ve diğ. (2012)	Hindistan/Yeni Delhi	SPVAC/ SPVDC	İçmesuyu/ Tarımsal	2,5	Önerilen	Amorti süresi= 4 yıldan az	-
5	Đurin and Margeta (2014)	Hırvatistan	SPVAC	İçmesuyu	512,5	Önerilen	25 yılda sistem karı= 878.512 €	-
6	Setiawan ve diğ. (2014)	Endonezya/Gunungkidul	SPVAC	İçmesuyu	3,2	Mevcut	-	Üretilen su debisi= 0,4-0,9 l/s
7	Alshamani ve Iqbal (2017)	Suudi Arabistan/Riyad	SPVAC	Tarımsal	11,6	Önerilen	Pompalama maliyeti =0,04\$/m ³	-

Çizelge 5.19: Güneş fotovoltaik su pompalama sistemlerine ilişkin araştırmalar. (devamı)

Kaynak	Ülke/	Sistem tipi	Uygulama	PV gücü (kW)	Önerilen/ Mevcut	Ekonomik Durum	Performans	
8	Singh et al. (2017)	Hindistan /Jaipur	SPVDC	Tarımsal	4,8	Mevcut	-	Simule edilmiş PR=59,6%
9	Ali (2018)	Sudan	PTP CDP PVP	Tarımsal	3,75	Önerilen	Enerji Maliyeti (\$/kWh) PTP=0,033 CDP=0,062 PVP=0,075	-
10	Allouhi et al. (2019)	Fas	SPVDC	İçmesuyu	0,32	Önerilen	Amorti süresi = 1,89 yıl	L _c =0,98 [saat/gün] L _s =0,4 [saat/gün] PR=62%-82%
11	Sharma et al. (2020)	Hindistan /Jaipur	SPVDC	Tarımsal	4,8	Önerilen	Pompalama maliyeti =0,05 \$/m ³	PR= 0,631
12	Mevcut Çalışma	Türkiye/Kayseri	SPVAC	İçmesuyu	1.620	Önerilen	Amorti süresi = 4,1 yıl, 25 yılda sistem karı = 6.272.550 €	L_c=0,681 [saat/gün] L_s=0,105 [saat/gün] PR=80,4%-93,7%

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu tezde içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik dört ana konu ele alınmıştır: (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 (Artificial Bee Colony, ABC) 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. Aşağıda bu ana konulara ait araştırmalar sonucunda elde edilen bulgular öz olarak verilmiştir.

6.1.1 Daha yüksek verimli pompalar, motorlar ve sürücülerin kullanılması

KASKİ sorumluluğunda 16 adet kaptaj alanı ve bu alanlarda çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. Analiz edilmek üzere KASKİ'ye ait içme suyu temininde kullanılan sondaj kuyularından Germiraltı 14 ve Eğribucak 4 isimli kuyular seçilmiştir. Seçilen 2 sondaj kuyusunun pompalarının mevcut durumları ve bu pompaların verimli hale getirilmesi sonucu elde edilecek olası kazanımlar analiz edilmiştir. Pompalardan elde edilen veriler KASKİ SCADA ve Su Yönetim Sistemi yazılımından alınmıştır. Seçilen kuyularda sadece dalgıç pompaların hidrolik grubunun değiştirilmesiyle ortalama %11,5'lik tasarruf elde edilebileceği belirlenmiştir. Yapılacak ilk yatırım maliyeti ve enerji tasarrufu dikkate alındığında yatırımın geri dönüş süresinin ortalama 5,5 ay olduğu hesaplanmıştır. Kaptaj alanında içme suyu temininde kullanılan tüm sondaj kuyularında yapılacak dalgıç pompa revizyonları ile önemli enerji tasarrufu oluşacağı öngörülmektedir. KASKİ faaliyet alanı içinde içme suyu temininde kullanılan tüm sondaj kuyularında yapılacak revizyonlar, önemli ekonomik ve çevresel kazanımlar sağlayacaktır.

6.1.2 İçme suyu dağıtım sistemlerindeki terfi pompalarının enerji tüketimine toplama deposu seviyesinin etkisinin belirlenmesi

Tez kapsamında ayrıca içme suyu temin sistemlerinde kullanılan terfi pompalarının farklı

toplama deposu seviyeleri için enerji tüketim karakteristikleri incelenmiştir. Bu amaçla Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında sondaj kuyusu, toplama deposu, terfi pompası ve dağıtım deposundan oluşan model bir deney düzeneği kurulmuştur. Enerji tüketimini izlemek ve değerlendirmek için deneysel sisteme bir SCADA sistemi entegre edilmiştir. Toplama deposunun 40, 80, 120, 160 ve 180 cm olmak üzere beş farklı seviyesi için deneyler yapılarak birim enerji tüketimi ve birim maliyet belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- (i) Toplama deposu seviyesinin birim enerji tüketimi üzerinde önemli etkileri vardır. Artan depo seviyesi ile terfi pompasının birim enerji tüketimi azalmaktadır.
- (ii) Toplama deposu seviyesinin birim maliyet üzerinde önemli etkileri vardır. Terfi pompasının birim maliyeti, artan depo seviyesi ile azalmaktadır.
- (iii) Toplama deposundaki su seviyesindeki artış, terfi pompalarının tükettiği enerjide önemli ölçüde tasarruf oluşturmaktadır. Toplama deposunda 40 cm yerine 180 cm su olduğunda, terfi pompaları yaklaşık %10,73 enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- (iv) Terfi pompaları tarafından tüketilen enerjiyi azaltmak için kaptaj alanlarındaki toplama depolarının yüksekliği mümkün olduğunca yüksek yapılmalıdır.
- (v) Terfi pompalarının tükettiği enerjiyi azaltmak için kaptaj alanlarında bulunan toplama depolarındaki su seviyeleri mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır.
- (vi) Pompa istasyonları tarafından tüketilen enerji miktarında yapılabilecek gerçek tasarruf miktarlarını belirlemek için üç temel unsurun (dalgiç pompalar, toplama depoları/terfi pompaları ve dağıtım depoları) tümünü içeren simülasyonlar yapılmalıdır.
- (vii) Kayseri ilinde KASKİ sorumluluğundaki terfi istasyonlarının su üretimi ve enerji tüketimi çok yüksek olduğundan, toplama depolarındaki su seviyeleri yüksek tutularak önemli mali tasarruflar sağlanabilir.
- (viii) Türkiye'de şehirlerin su temin sistemlerinde birçok terfi pompası kullanıldığından, toplama depolarının uygun şekilde boyutlandırılması ve depolardaki su seviyesinin yüksek tutulması ile önemli miktarda enerji tasarrufu elde edilebilir. Bu ise önemli ekonomik ve çevresel kazanımlar sağlayacaktır.

6.1.3 Yapay arı koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanılarak enerji verimliliği optimizasyonu

Tezin temel amaçlarından birisi Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanılarak enerji verimliliği optimizasyonunun yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda enerji verimli bir su temin sistemi için Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanılarak pompa programlama optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon çalışması, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nün (KASKİ) sorumluluğunda bulunan ve 16 adet dalgıç tip pompa içeren Germiraltı içme suyu kaptaj alanı için yapılmıştır. Dalgıç pompalarda mekanik ve fiziksel hiçbir yenileme yapılmadan sadece ABC algoritması yazılımı KASKİ SCADA sistemine entegre edilmiştir. ABC algoritması kullanılarak optimum pompa çalışma frekansları belirlenmiştir. Toplama deposunun seviyesine göre anlık su ihtiyacı için en verimli pompanın seçilmesi ve frekans optimizasyonuna dayanan yapay arı koloni algoritması oluşturulmuştur. Germiraltı kaptaj alanında içme suyu temininde kullanılan sondaj kuyularının verim esaslı müdahale yöntemi ve yapay zekâ - ABC algoritması olmak üzere 2 farklı işletme yöntemi kullanılarak birer yıllık süre ile çalıştırılması durumunda oluşan birim enerji tüketimi ve birim maliyetler incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular şöyle özetlenebilir:

- (i) Pompalar verim esaslı müdahale ile işletim yöntemine göre işletildiğinde yıllık 11.058.848 m³ su üretilmiş ve 2.777.687 kWh enerji harcanmıştır. Ortalama birim enerji tüketimi 0,251 kWh/m³ olmuştur.
- (ii) Pompalar, yapay arı kolonisi algoritması tabanlı optimizasyon yöntemi kullanılarak işletildiğinde yıllık 11.308.272 m³ su üretilmiş ve 2.710.263 kWh enerji harcanmıştır. Ortalama birim enerji tüketimi 0,240 kWh/m³ olmuştur.
- (iii) Pompalar, yapay arı kolonisi algoritması tabanlı optimizasyon yöntemi kullanılarak işletildiğinde verim esaslı müdahale yöntemine göre birim enerji tüketiminde %4.38 oranında tasarruf elde edilmiştir. Germiraltı kaptaj alanındaki yıllık toplam tüketilen enerji göz önüne alındığında bu tasarruf önemli miktarda mali kazanımlar oluşturmuştur.
- (iv) Bu çalışmada pilot bölge olarak seçilen Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompalar yapay arı kolonisi algoritması tabanlı optimizasyon yöntemi kullanılarak işletildiğinde önemli miktarda enerji tasarrufu ve mali kazanımlar elde edilmiştir.
- (v) Kayseri il merkezinde KASKİ sorumluluğunda 16 adet içme suyu kaptaj alanı bulunmaktadır. Kayseri ilinde yıllık 96.622.443 m³ su terfi ettirilmiş ve 21.720.354

kWh enerji tüketilmiştir (01 Ocak 2019-31 Aralık 2019). Kayseri ilindeki Germiraltı kaptaj alanı dışındaki diğer 15 kaptaj alanındaki pompalar da yapay arı kolonisi algoritması tabanlı optimizasyon kullanılarak işletildiğinde çok yüksek miktarda enerji tasarrufu ve mali kazanımlar elde edilecektir.

6.1.4 Kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş fotovoltaik enerjisi kullanmanın teknik ve ekonomik fizibilitesi

Tez kapsamında ayrıca kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompalar tarafından şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş PV enerjisinin kullanılmasının teknik ve ekonomik fizibilitesi araştırılmıştır. Araştırma alanı olarak tüm enerji ihtiyacını şehir şebekesinden karşılayan KASKİ Germiraltı kaptaj alanı seçilmiştir. Simülasyon çalışmasının yanı sıra, Germiraltı kaptaj alanı izlenmiş ve Kasım 2019'dan Kasım 2020'ye kadar dalgıç pompaların pompaladığı su miktarı ve tükettiği enerjinin gerçek zamanlı verileri toplanmıştır. İki farklı senaryo, "hibrit güçlü su pompalama sistemi" ve "şebeke bağlantılı PV sistemi" analiz edilmiştir. Önerilen her iki sistemin tasarımı, modellemesi ve simülasyonu PVsyst v7.02 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bazı önemli bulgular aşağıda sunulmuştur:

- (i) Germiraltı kaptaj alanındaki dalgıç pompaların bir yılda pompaladığı su miktarı ve tükettiği enerjinin gerçek değerleri sırasıyla 11.517.283 m³ ve 2.764.124 kWh olarak ölçülmüştür. Birim enerji tüketimi 0,240 kWh/m³ olarak hesaplanmıştır.
- (ii) Germiraltı kaptaj alanındaki mevcut dalgıç pompaların toplam maksimum gücünü sağlayacak PV sistemin kapasitesi simülasyon sonucunda 670 kWp olarak belirlenmiştir. 670 kWp gücünde, 2.230 PV modül ve 16 konvertöre sahip hibrit güçlü su pompalama sistemi, bir yılda şebekeye 1.121,53 MWh enerji enjekte etmekte ve dalgıç pompaların bir yıllık toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık %40,6'sını karşılamaktadır.
- (iii) Hibrit güçlü su pompalama sistemi için, PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerji, tipik kış gününde ve tipik yaz gününde sırasıyla 1.410 kWh ve 2.344 kWh olarak bulunmuştur. Dalgıç pompalar, tipik bir kış gününde PV dizilerinin çıkışındaki toplam etkin enerjinin yaklaşık %73'ünü (1.031 kWh) ve tipik bir yaz gününde yaklaşık %85'ini (1.987 kWh) tüketmiştir. PV sistemleri sadece gündüz saatlerinde enerji üretirken, dalgıç pompalar tüm gün boyunca enerji tüketir. Bu

nedenle, PV sistemleri tipik bir kış gününde dalgıç pompaların toplam enerji tüketiminin %19'unu ve tipik bir yaz gününde %29'unu üretmiştir.

- (iv) Önerilen kapasiteye (670 kWp) sahip hibrit güçlü su pompalama sistemi, kullanıcıların su ihtiyaçlarını kısmen karşılayabilmekte, ancak tüm ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. PV dizisinin kurulumu için yeterli alan varsa, kullanıcıların tüm su ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir PV sistemi kurulabilir. Bu hibrit güçlü su pompalama sistemi, gündüz saatlerinde dalgıç pompalara gerekli tüm enerjiyi sağlayabilir. Diğer saatlerde ihtiyaç duyulan enerji şehir şebekesinden karşılanacaktır. Bu nedenle, hibrit güçlü su pompalama sisteminin optimum koşullarda çalışmasını sağlamak için akıllı bir enerji yönetim sistemi kullanılmalıdır.
- (v) 5.400 PV modüllü ve 27 invertörlü 1.620 kWp'lik şebekeye bağlı bir PV sistemi, şebekeye 2.787,8 MWh/yıl enerji enjekte etmektedir. PV sisteminin yıllık ortalama performans oranı (PR) %85,7, yıllık ortalama kapasite faktörü (CF) %19,6 ve yıllık ortalama günlük nihai verim 4,71 saat/gün olarak bulunmuştur. Önerilen sistem, dalgıç pompaların yıllık toplam enerji ihtiyacının tamamını karşılayabilecektir. Tüketim fazlası üretilen elektrik şebekeye satılabilir.
- (vi) Şebekeye bağlı PV sisteminin basit olması, pompalama sisteminden tamamen bağımsız olması ve pompalanan su miktarının PV sistemi tarafından üretilen enerji miktarından etkilenmemesi gibi avantajları vardır. Ancak, kentsel su temin sistemlerinin su kaptaj alanları, dalgıç pompaların yıllık tükettiği tüm enerjiyi sağlayacak kapasitede PV sisteminin kurulumu için yeterli kurulum alanına sahip olmalıdır.
- (vii) Hibrit güçlü su pompalama sisteminin geri ödeme süresi 4,7 yıl ve şebekeye bağlı PV sisteminin geri ödeme süresi 4,1 yıl olarak bulunmuştur. Her iki sistem için de geri ödeme süresi önerilen sistemlerin ömründen çok daha kısa olduğundan, güneş PV enerjisi ile kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompaların enerji ihtiyacının karşılanmasının ekonomik olarak rekabetçi olduğu sonucuna varılmıştır.

6.2 Öneriler

Bu doktora tezinde içme suyu temin sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik dört ana konu ele alınmıştır: (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 (Artificial Bee

Colony, ABC) 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.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda içme suyu kaptaj alanlarında daha yüksek verimli pompa, motorlar ve sürücülerin kullanılması; pompa planlaması ve optimizasyonunun yapılması; dalgıç pompalar tarafından şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş PV enerjisinin kullanılmasının yaygınlaştırılmasının önemli enerji tasarrufu oluşturacağı, mali ve çevresel kazanımlar sağlayacağı belirlenmiştir. Bu kazanımların gerçekleştirilmesi ve ülke çapına yaygınlaştırılması için aşağıdakilerin önerilmesi uygun bulunmuştur:

- (i) Tez kapsamında içme suyu temin sistemlerinde kullanılan terfi pompalarının farklı toplama deposu seviyeleri için enerji tüketim karakteristikleri Kayseri'de bağımsız bir laboratuvarında kurulan model bir deney düzeneği kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Terfi pompaları tarafından tüketilen enerjiyi azaltmak için kaptaj alanlarındaki toplama depolarının yüksekliğinin mümkün olduğunca yüksek yapılması ve kaptaj alanlarında bulunan toplama depolarındaki su seviyelerinin mümkün olduğunca yüksek tutulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ancak, pompa istasyonları tarafından tüketilen enerji miktarında yapılabilecek gerçek tasarruf miktarlarını belirlemek için üç temel unsurun (dalgıç pompalar, toplama depoları/terfi pompaları ve dağıtım depoları) tümünü içeren simülasyonlar yapılmalıdır.
- (ii) Ülkemizdeki belediyelerde kaptaj alanlarında SCADA kullanımının yaygınlaştırılması, SCADA kullanılan kaptaj alanlarının Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanılarak işletilmesi sağlanmalıdır.
- (iii) Tez kapsamında, Kayseri ili kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompalarla şebekeden çekilen net gücü azaltmak için güneş PV enerjisinin kullanılmasının teknik ve ekonomik fizibilitesini belirlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Kayseri için elde edilen sonuçlar, kentsel su temin sistemlerinde dalgıç pompaların enerjisinin PV sistemleri ile karşılanmasının önemli teknik, finansal ve çevresel kazanımlar oluşturacağını göstermiştir. Türkiye ise yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, Türkiye'de merkezi ve yerel yönetimlerin kentsel su temini tesislerinde PV sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırması büyük önem taşımaktadır. Türkiye 06.10.2021 tarihli ve 7335 sayılı Kanun ile "Paris

Anlaşması"nı onaylamıştır. Bu kanun Türkiye'ye önemli çevresel ve sosyal sorumluluklar yüklemektedir. Kentsel su temin sistemlerindeki dalgıç pompaların enerjisinin fosil yakıtlar yerine güneş fotovoltaik enerjisi kullanılarak sağlanması, Türkiye'nin "Paris Anlaşması" kapsamındaki taahhütlerinin yerine getirilmesine önemli katkı sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abiodun, F. T. & Ismail, F. S.** (2013). Pump Scheduling Optimization Model for Water Supply System Using AWGA, *2013 IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI)*, 12-17.
- Adar, M., Najih, Y., Gouskir, M., Chebak, A., Mabrouki, M. & Bennouna, A.** (2020) Three PV plants performance analysis using the principal component analysis method. *Energy* 207, 118315.
- Al-Ani, D. & Habibi, S.** (2014). Optimal operation of water pumping stations, *WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 178, Water and Society II*, 185- 198.
- Ali B.** (2018). Comparative assessment of the feasibility for solar irrigation pumps in Sudan, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 413-420.
- 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.
- Alvisi, S., Franchini, M. & Marinelli, A.** (2003). A stochastic model for representing drinking water demand at residential level. *Water Resources Management*, 17 (3), 197-222.
- Ammar, M., Fethi, M. R. & Ammar, B. B.** (2012). Prediction of hourly flow rate of a photovoltaic water pumping system in the desert of Tunisia, *International Journal of Green Energy* 9 (3), 202-217.
- Aslantas, V. & Kurban, R.** (2010). Multi-focus Image Fusion in Spatial Domain Using Artificial Bee Colony Optimization Algorithm, *In International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, Kayseri, Turkey.
- Atlas of Energy.** (2021). Erişim: 29 Aralık 2021, <https://www.enerjiatlasi.com/gunes-enerjisi-haritasi/kayseri>
- Bolognesi, A., Bragalli, C., Lenzi, C. & Artina, S.** (2014). Energy efficiency optimization in water distribution systems, *Procedia Engineering*, 70, 181-190.
- Boughamrane, L., Boulaid, M., Tihane, A., Sdaq, A., Bouabid, K. & Ihlal, A.** (2016). Comparative analysis of measured and simulated performance of the Moroccan first MV grid connected photovoltaic power plant of Assa, Southern Morocco. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7 (12), 4682-4691.
- Brandt, M.J., Middleton, R.A. & Wang, S.** (2012). Energy Efficiency in the Water Industry: A Compendium of Best Practices and Case Studies - Global Report, *UKWIR Report*, Ref. No. 10/CL/11/3.

- 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.
- Campana, P. E., Olsson, A., Li, H. & Yan, J.** (2016). An economic analysis of photovoltaic water pumping irrigation systems, *International Journal of Green Energy*, 13 (8), 831-839.
- 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.
- Cherchi, C., Badruzzaman, M., Gordon, M., Bunn, S. & Jacangelo, J. G.** (2015). Investigation of Cost and Energy Optimization of Drinking Water Distribution Systems, *Environ. Sci. Technol.*, 49, 13724–13732.
- Cherchi, C., Badruzzaman, M., Oppenheimer, J., Bros, C. M. & Jacangelo, J. G.** (2015). Energy and Water Quality Management Systems for Water Utility's Operations: A Review, *J. Environ. Manage.*, 153, 108–120.
- Cheremisinoff, N. P., Rosenfeld, P. & Davletshin, A. R.** (2008). P2 and best management practices in different industries, *Responsible Care*, 435-476.
- Chowdhury, S. A.** (2018). *Grid integration of solar irrigation pumps*, Final Report, Centre for Renewable Energy Services Ltd. (CERSAL), Dhaka, Bangladesh.
- 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.
- Coker, A. K.** (2007). Cost estimation and economic evaluation, *Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants 1*, 69-102.
- Copeland, C. & Carter, N.T.** (2017). Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use, *Congressional Research Service*, Washington DC-USA, 2-10.
- CSB.** (2021). Erişim: 9 Ağustos 2021, *Unit Prices of Construction and Installations, Republic of Turkey, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change*, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/bf-2021-ingilizce-20210809122118.pdf>
- Cubukcu, M. & Gumus, H.** (2020). Performance analysis of a grid-connected photovoltaic plant in eastern Turkey, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39, 100724.

- Çayır Ervural B., Ervural B. & Evren R.** (2016). Enerjide Optimizasyon Uygulamaları: Bir Literatür Araştırması, *Ege Akademik Bakış / Ege Academic Review*, 16, Özel Sayı, 51-70.
- Das, R., Singh, K., Akay, B., Gogoi, T.K.** (2018). Application of artificial bee colony algorithm for maximizing heat transfer in a perforated fin, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 232 (1), 38-48.
- Dincer, I. & Abu-Rayash, A.** (2019). *Energy sustainability*, Academic Press.
- Durin, B. & Margeta, J.** (2014). Analysis of the possible use of solar photovoltaic energy in urban water supply systems. *Water*, 6 (6), 1546-1561.
- Eke, I., Taplamacioglu, M. C. & Kocaarslan, I.** (2011). Design of robust power system stabilizer based on artificial bee colony algorithm, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26 (3), 683-690.
- Elías-Maxil, J. A., Van Der Hoek, J. P., Hofman, J. & Rietveld, L.** (2014). Energy in the urban water cycle: actions to reduce the total expenditure of fossil fuels with emphasis on heat reclamation from urban water. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 808-820.
- Energieeinsparung.** (2017). Grundfos Presstext: Erkrath, Germany.
- Europump and Hydraulic Institute.** (2004). Variable Speed Pumping – A Guide to Successful Applications, *Elsevier Advanced Technology*, Retrieved from https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/variable_speed_pumping.pdf (Executive Summary).
- 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.
- Foster, R., Ghassemi, M. & Cota, A.** (2009). *Solar energy: renewable energy and the environment*, CRC press.
- Gad H. E. & El-Gayar S. M.** (2009). Performance prediction of a proposed photovoltaic water pumping system at South Sinai, Egypt climate conditions, *13th International Water Technology Conference, IWTC13*.
- Gay L. F. & Sinha S. K.** (2010). Measuring the Energy Efficiency of Water Utilities, Pipelines 2010: Climbing New Peaks to Infrastructure Reliability—Renew, Rehab, and Reinvest, 669-680.
- 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.
- Ghoneim, A. A.** (2006). Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems, *Energy Conversion and Management*, 47 (11–12), 1449-1463.
- 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.

- Guyer, J. P.** (2012). Introduction to Pumping Stations for Water Supply Systems, *Course No: C04-027*, NY-USA.
- Hancer, E., Ozturk, C. & Karaboga, D.** (2012). Artificial Bee Colony Based Image Clustering Method, *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2012)*, Brisbane, Australia, 1-5.
- Jamil, M., Anees, A. S. & Rizwan, M.** (2012). SPV based water pumping system for an academic institution, *American Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 1 (1), 1-7.
- Karaboğa, D.** (2011). *Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları*. Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Karaboga, D.** (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Technical Report-TR06). Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
- Karaboga, D. & Basturk, B.** (2007). A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, *Journal of Global Optimization*, 39 (3), 459-471.
- Karaboga, D. & Basturk, B.** (2008). On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, *Applied Soft Computing*, 8 (1), 687- 697.
- Karaboga, D. & Gorkemli, B.** (2014). A Quick Artificial Bee Colony (Qabc) Algorithm and its Performance on Optimization Problems, *Applied Soft Computing*, 23, 227-238.
- Karaboga, D., Okdem, S. & Ozturk, C.** (2012). Cluster Based Wireless Sensor Network Routing Using Artificial Bee Colony Algorithm, *Wireless Networks*, 18 (7), 847-860.
- Karaboga, D. & Ozturk, C.** (2011). A Novel Clustering Approach: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, *Applied Soft Computing*, 11 (1), 652-657.
- KCETAŞ.** (2020). **Faaliyet Raporu 2020**, Erişim: 21 Aralık 2021, <https://www.kcetas.com.tr/faaliyet-raporlari>.
- Kolhe, M., Joshi, J. & Kothari, D.** (2004). Performance analysis of a directly coupled photovoltaic water-pumping system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19 (3), 613–618.
- 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.
- Kurek, W. & Ostfeld, A.** (2012). Multi-Objective Optimization of Water Quality, Pumps Operation and Storage Sizing of Water Distribution Systems, *Journal of Environmental Management*, 115, 189-197.
- Lenzi, C., Bragalli, C., Bolognesi A. & Artina S.** (2013). From energy balance to energy efficiency indicators including water losses, *Water Science and Technology: Water Supply*, 13 (4).
- 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.
- Mäckle, 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, GALESIA*.
- Mala-Jetmarova, H., Sultanova, N. & Savic, D.** (2017). Lost in Optimisation of Water Distribution Systems: A Literature Review of System Operation, *Environ. Model. Software*, 93, 209-254.
- Mantri, S. R., Kasibhatla, R. S. & Chennapragada, V. K. B.** (2020). Grid-connected vs. off-grid solar water pumping systems for agriculture in India: a comparative study, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 1-15.
- Margeta, J. & Đurin, B.** (2017). Innovative approach for achieving sustainable urban water supply system by using solar photovoltaic energy. *Ingeniería e Investigación* 37 (1), 58-67.
- Meah, K., Ula, S. & Barrett, S.** (2008). Solar photovoltaic water pumping-opportunities and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (4), 1162-1175.
- Menegaki, A.** (2008). Valuation for renewable energy: a comparative review, *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 12, 2422–2437.
- Merve, O. & Akkurt, Ş.** (2017). Kayseri İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli (Renewable Energy Potential of Kayseri), *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 362-374.
- Mokeddem, A., Midoun, A., Kadri, D., Hiadsi, S. & Raja, I. A.** (2011). Performance of a directly-coupled PV water pumping system, *Energy Conversion and Management*, 52 (10), 3089-3095.
- Moreira, D.F. & Ramos, H.M.** (2013). Energy Cost Optimization in a Water Supply System Case Study, *J. Energy* 1-9.
- Muljadi, E.** (1997). PV water pumping with a peak-power tracker using a simple six-step square-wave inverter, *IEEE Transactions on Industry Application*, 33 (3), 714–721.
- Muljadi, E., Nix, G., Bialasiewicz, J.T.** (2000). Analysis of the dynamics of a wind-turbine water-pumping system. In: Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Seattle, WA; 2000.
- Nayar, C., Vasu, E. & Phillips, S.** (1993). Optimised Solar Water Pumping System Based on an Induction Motor Driven Centrifugal Pump, *In Proceedings of the IEEE 10th Conference on Computer, Communication, Control and Power Engineering*, 5, 388–393.
- Nitivattananon, V., Sadowski, E. C. & Quimpo, R. G.** (1996). Optimization of Water Supply System Operation, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122 (5), 374–384.

- 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.
- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R. & Heath, G.** (2013). Land-use requirements for solar power plants in the United States (No. NREL/TP-6A20-56290), *National Renewable Energy Lab.(NREL)*.
- Ozcan, O. & Ersoz, F.** (2019). Project and Cost-Based Evaluation of Solar Energy Performance in Three Different Geographical Regions of Turkey: Investment Analysis Application, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (4), 1098-1106.
- Ozturk, C., Hancer, E. & Karaboga, D.** (2014). Improved Clustering Criterion for Image Clustering with Artificial Bee Colony Algorithm, *Pattern Analysis and Applications*, 18 (3), 587-599.
- 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.
- Padmavathi, K. & Daniel, S. A.** (2011). Studies on installing solar water pumps in domestic urban sector, *Sustainable Cities and Society* 1 (3), 135-141.
- PVsystem.** (2021). <https://www.pvsyst.com/help/> (accessed 06 October 2021)
- 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, J. S. & Ramos, H. M.** (2009). Solar Powered Pumps to Supply Water for Rural or Isolated Zones: A Case Study, *Energy for Sustainable Development* 13 (3), 151-158.
- Ramos, H. M., Vieira, F. & Covas, D. I. C.** (2010). Energy Efficiency in a Water Supply System: Energy Consumption and CO₂ Emission, *Water Science and Engineering*, 3 (3), 331–340.
- Rehman, S. & Sahin, A. Z.** (2016). A Wind-Solar PV Hybrid Power System With Battery Backup for Water Pumping in Remote Localities, *International Journal of Green Energy* 13 (11), 1075-1083.
- Reniers, G., Talarico, L. & Paltrinieri, N.** (2016). Cost-Benefit Analysis of Safety Measures, *Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry* 195-205.
- Rodriguez, L. N.** (2018). *Solar photovoltaic array sizing as an initial investment in SPVWPS in megacities: the case of Mexico City's groundwater wells* (Master's Thesis). Environmental Technology & International Affairs, Wien, Austria.
- Rout, A., Sahoo, S. S., Singh, S., Pattnaik, S., Barik, A. K. & Awad, M. M.** (2021). Benefit-cost analysis and parametric optimization using Taguchi method for a solar water heater, *Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems*, 101-116.
- Sarbu, I.** (2016). A Study of Energy Optimisation of Urban Water Distribution Systems Using Potential Elements, *Water*, 8, 593.

- Setiawan, A. A., Purwanto, D. H., Pamuji, D. S. & Huda, N.** (2014). Development of a solar water pumping system in Karsts Rural Area Tepus, Gunungkidul through student community services, *Energy Procedia*, 47, 7-14.
- Sekmen, U., Yılmaz, M. & İmik, 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.** (2021a). 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.
- Sekmen, U., Yılmaz, M., Özdemir, Ö., Karaboğa, D., Kurban, R., & Yıldız Ö. F.** (2021b). Su Temin Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması İle Enerji Verimliliği Optimizasyonu. In *ULIBTK'21 Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, (pp. 222-222). Gaziantep/Turkey: Gaziantep University, September 08-10.
- Sekmen, U., Yılmaz, M., Özdemir, Ö., & İnce, A.** (2021c). Effect of collection tank level on energy consumption of lifting pumps in drinking water distribution systems, *Turkish Journal of Electromechanics & Energy*, 6(1), 3-11.
- Sekmen, U., Yılmaz, M., Yıldız Ö. F., & Özdemir, Ö.** (2022). Using solar photovoltaic energy in urban water supply systems: a case study in Kayseri, Turkey. *Journal of Water and Climate Change* (Accepted).
- Senon, C., Badruzzaman, M., Contreras, A. J., Allen, M. S. & Jacangelo, J. G.** (2015). Drinking Water Pump Station Design and Operation for Energy Efficiency, Water Research Foundation Report 4308, Water Research Foundation: Denver, CO.
- Sharma, R., Sharma, S. & Tiwari, S.** (2020). Design optimization of solar PV water pumping system, *Materials Today: Proceedings*, 21, 1673-1679.
- Singh, H., Saxena, B. K. & Rao, K. V. S.** (2017). Performance study of a solar photovoltaic water pump used for irrigation at Jaipur in Rajasthan, India, *International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)* 1-6.
- Supply System Analysis.** Selected Topics, <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.
- Suribabu, C.R. & Neelakantan, T.R.** (2012). Sizing of Water Distribution Pipes Based on Performance Measure and Breakage-Repair-Replacement Economics, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 18 (3), 241-251.
- Swamee, P. K. & Sharma, A. K.** (2008). Design of Water Supply Pipe Networks, *JohnWiley & Sons*.
- TEİAŞ.** (2021). <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>.
- Trace.** (2021). <https://www.trace-software.com/blog/what-is-a-photovoltaic-solar-pumping-system/> (accessed 06 October 2021)
- Uyaver, S., Goruryılmaz, M. T., Kosma, E. B., Mercan, M. C., Unal, B. B., Karakas, Y. & Gul, F. B.** (2020). *ICSEEC: Sustainable Energy and Energy Calculations*, Turkish-German University.

- Verma, S., Mishra, S., Chowdhury, S., Gaur, A., Mohapatra, S., Soni, A. & Verma, P.** (2020). Solar PV powered water pumping system—A review, *Materials Today: Proceedings*, 46 (11), 5601-5606.
- Vieira, F. & Ramos, H.M.** (2008). Hybrid Solution and Pump-Storage Optimization in Water Supply System Efficiency: A case study. *Energy Pol.*, 36, 4142-4148.
- 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.
- Vongmanee, V.** (2005). The photovoltaic water pumping system using optimum slip control to maximum power and efficiency. *IEEE Russia Power Tech* 1–4.
- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W. M., Beckwith, S., & Koelle, E.** (2003). Advanced water distribution modeling and management. Haestad press.
- Walski, T. M.** (2006). A history of water distribution, *Journal of the American Water Works Association, American Water Works Association*, 98 (3), 110–121.
- 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.
- Yang, J. & Chen B.** (2016). Energy–water nexus of wind power generation systems, *Applied Energy*, 169, 1–13.
- Yildiz, O. F. & Yilmaz, M.** (2020). Design and simulation analysis of 1 MWp grid-connected photovoltaic system at Gaziantep Airport, Turkey, *Resource-Efficient Technologies*, 3, 37-49.
- Yildiz, O. F., Yilmaz, M., Celik, A. & Imik, E.** (2020). Havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması (Using Renewable Energy Sources in Airports). *Journal of Aviation*, 4 (1), 162-174.
- Zimoch, I. & Bartkiewicz, E.** (2017). Optimization of Energy Cost in Water Supply System, *E3S Web of Conferences*, 22, 00204, ASEE17, 1-8.
- Supply System Analysis - Selected Topics.** (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>).
- Anonim** (<http://mf.erciyes.edu.tr/abc/>)
- Anonim** (http://en.wikipedia.org/wiki/Rastrigin_function)
- Anonim** (http://www.digplanet.com/wiki/Evolutionary_multimodal_optimization)
- Anonim** (<http://eksisozluk.com/rastrigin-fonksiyonu-2163513>)
- Anonim** (<http://www.nuhazginoglu.com/2018/05/15/yapay-ari-koloni-algoritmasi-artificial-bee-colony-abc-algorithm/>) 0707/2020.

EKLER

EK A Verim Esaslı Müdahale Yöntemi Bulguları



Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)

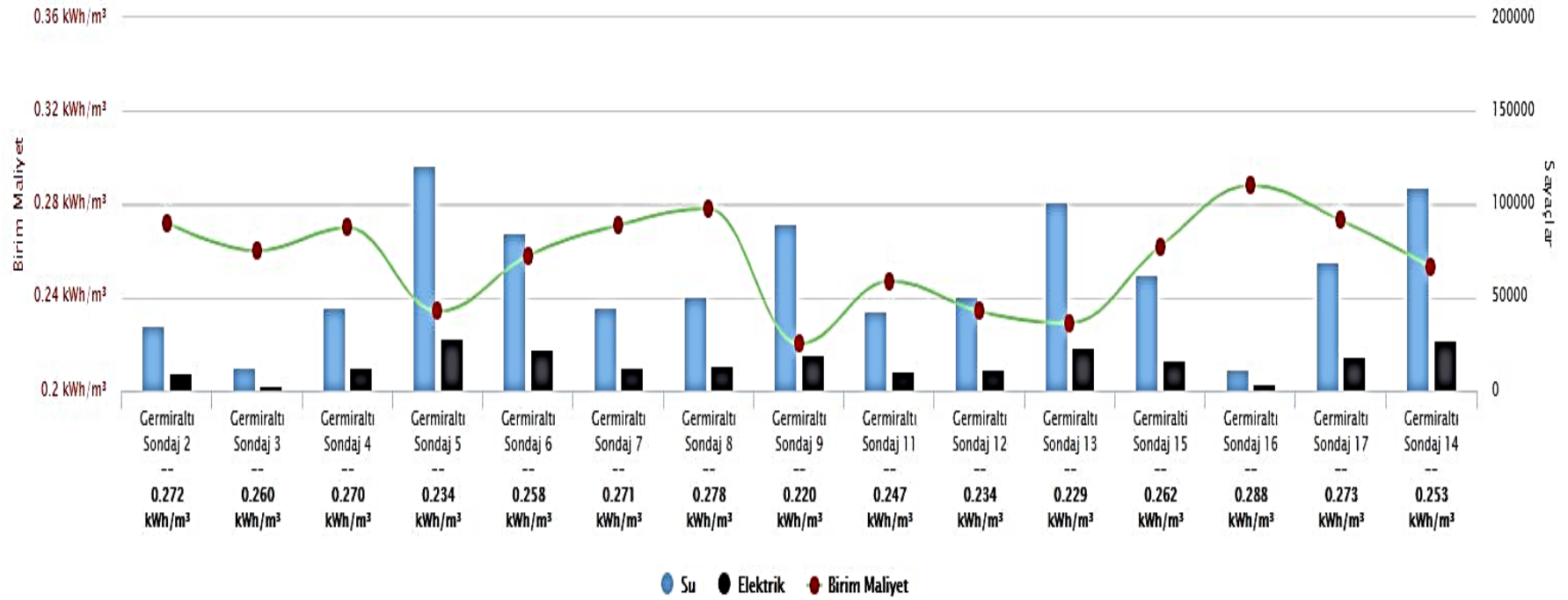
2019-03-01 00:00:23 - 2019-03-31 23:00:23

Toplam

Su: 932.928,78 m³

Elektrik: 233.367,05 kWh

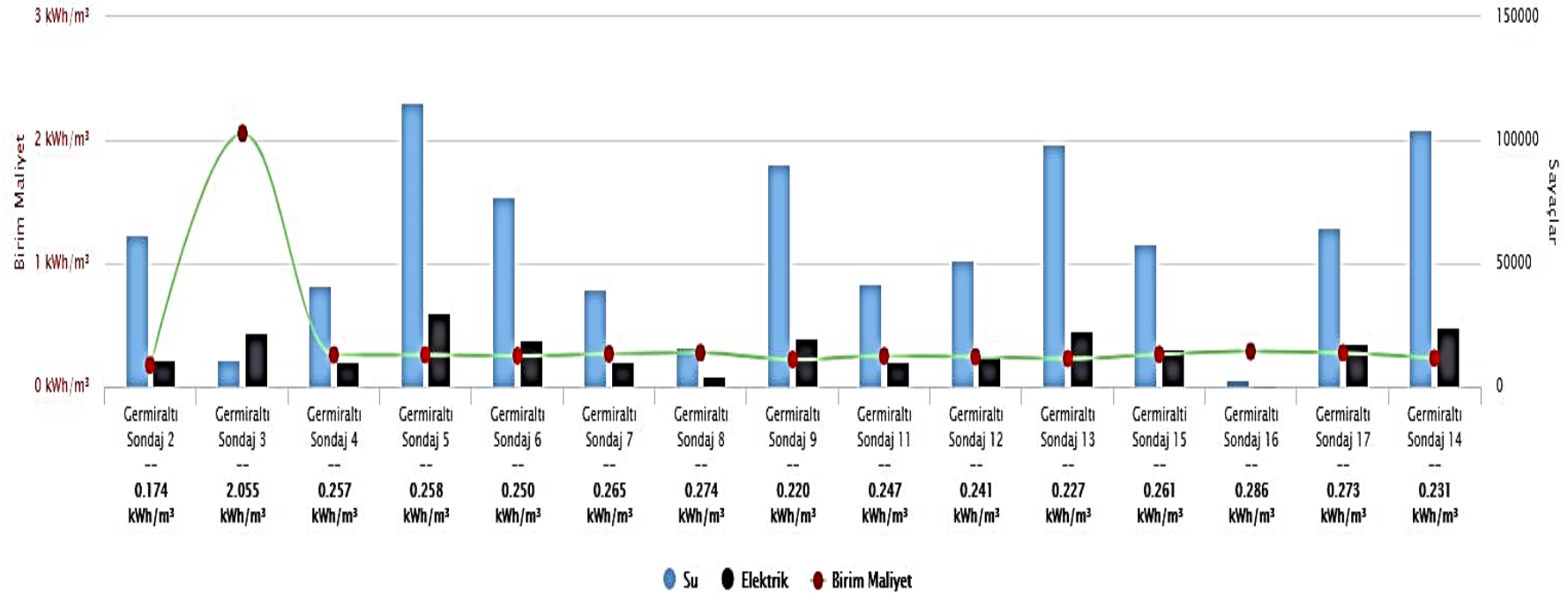
Ort. Birim Maliyet: 0.250 kWh/m³



Şekil A.1: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Mart 2019).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
2019-04-01 00:00:57 - 2019-04-30 23:00:57

Toplam
Su: 874.404,48 m³
Elektrik: 230.361,84 kWh
Ort. Birim Maliyet: 0.263 kWh/m³



Şekil A.2: Germiraltı kuyuları için Verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Nisan 2019).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)

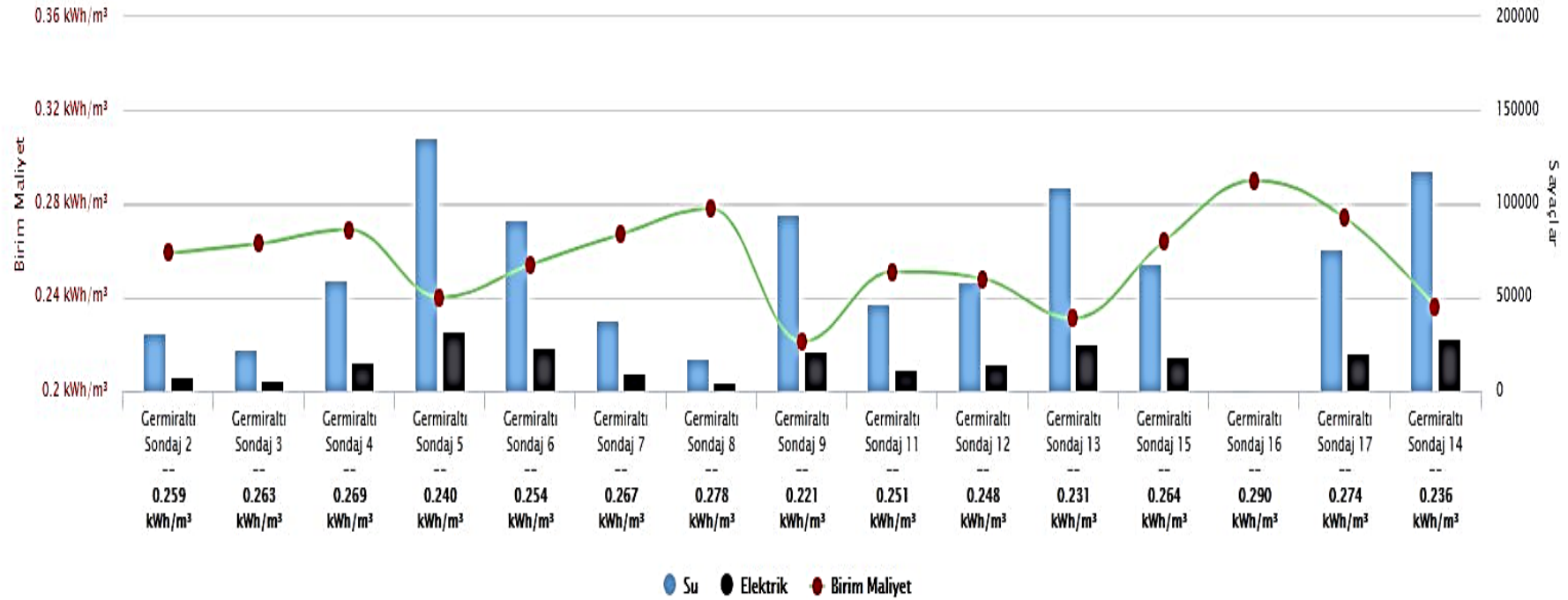
2019-05-01 00:00:34 – 2019-05-31 23:00:34

Toplam

Su: 969.289,37 m³

Elektrik: 240.484,61 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.248 kWh/m³



Şekil A.3: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Mayıs 2019).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)

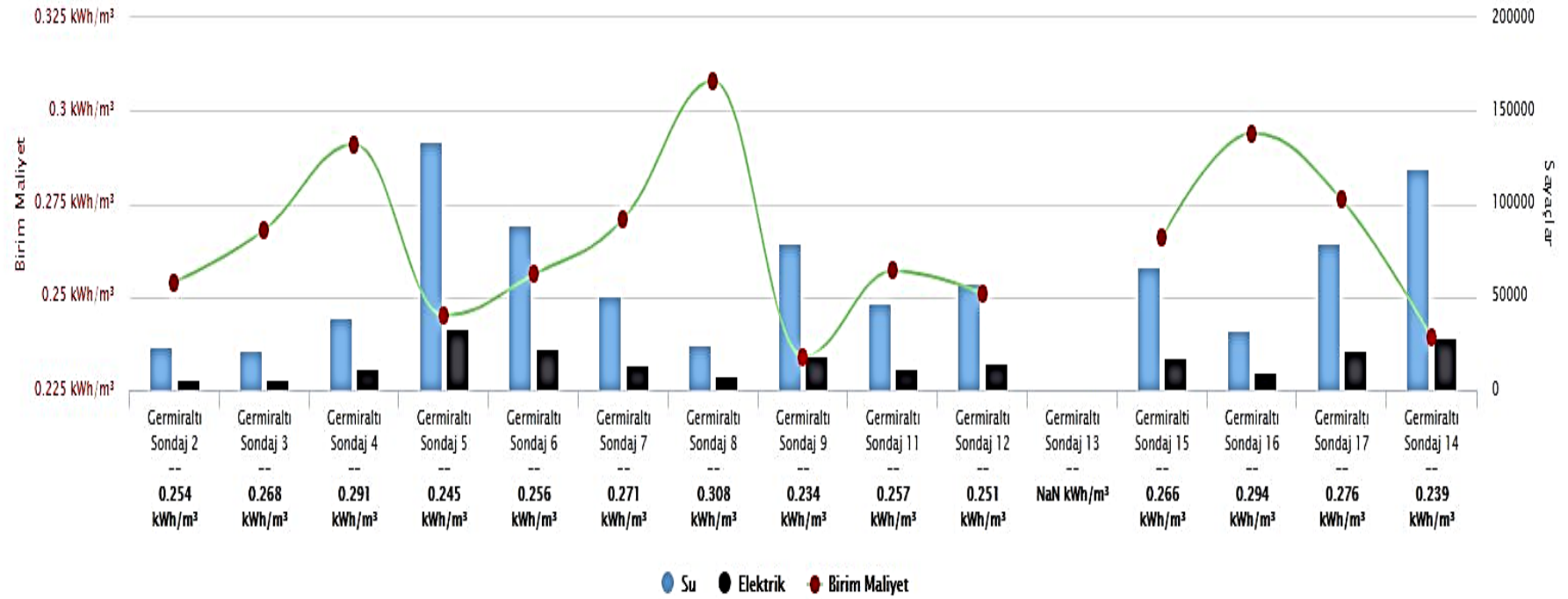
2019-06-01 00:00:41 - 2019-06-30 23:00:41

Toplam

Su: 863.086,71 m³

Elektrik: 222.378,21 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.258 kWh/m³



Şekil A.4: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Haziran 2019).

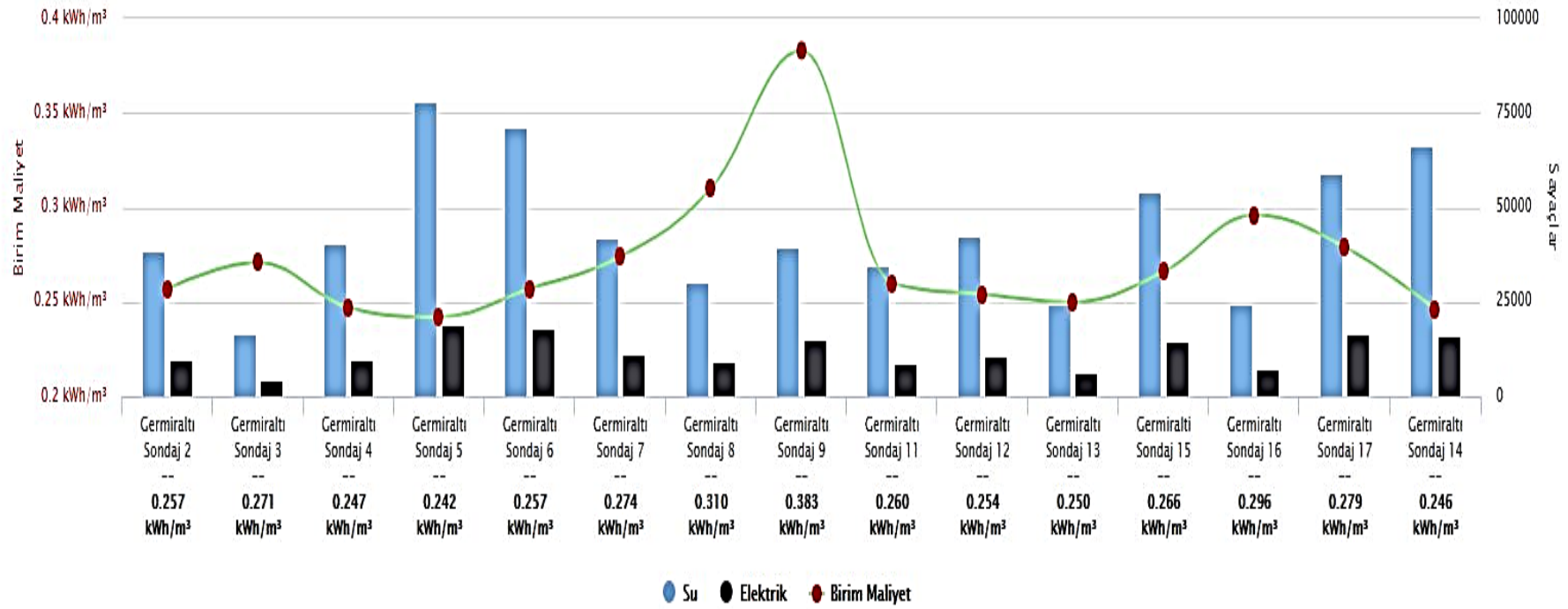
Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
2019-07-10 00:00:17 - 2019-07-31 23:00:17

Toplam

Su: 661.662,39 m³

Elektrik: 177.721,68 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.269 kWh/m³



Şekil A.5: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Temmuz 2019).

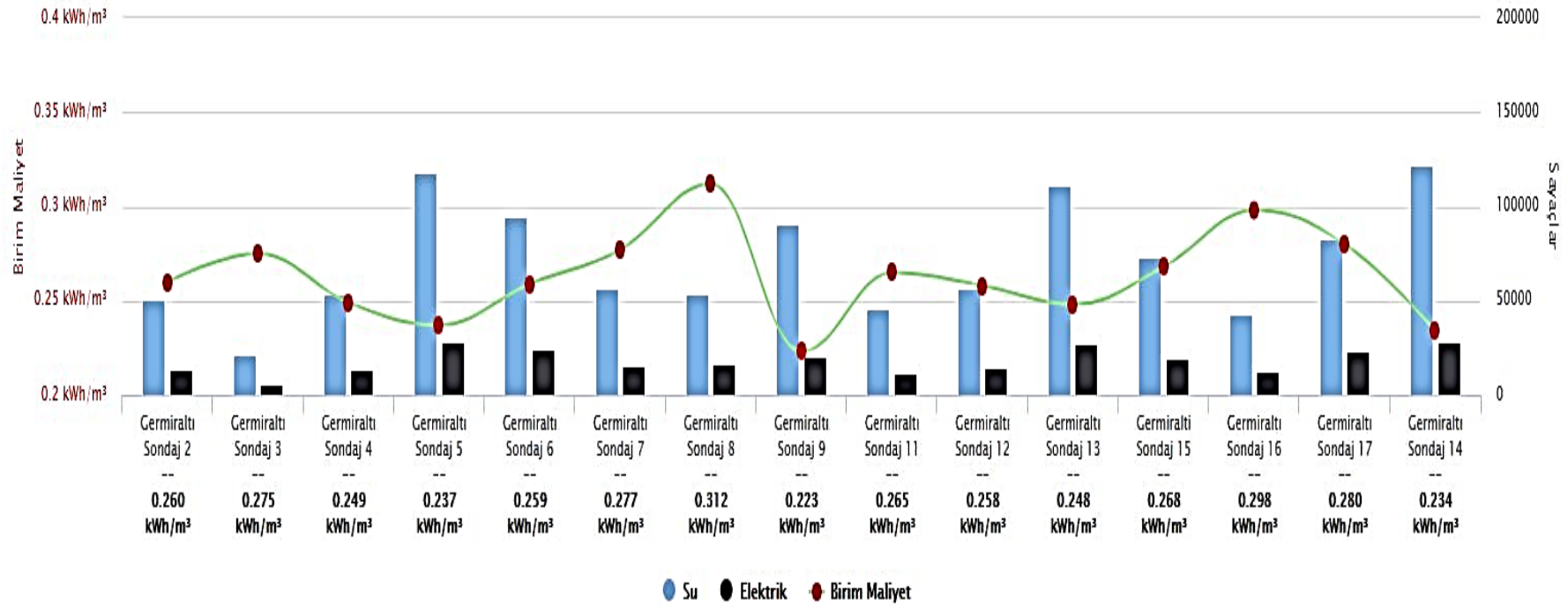
Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
2019-08-01 00:00:48 - 2019-08-31 23:00:48

Toplam

Su: 1.073.351,91 m³

Elektrik: 275.773,49 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.257 kWh/m³



Şekil A.6: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Ağustos 2019).

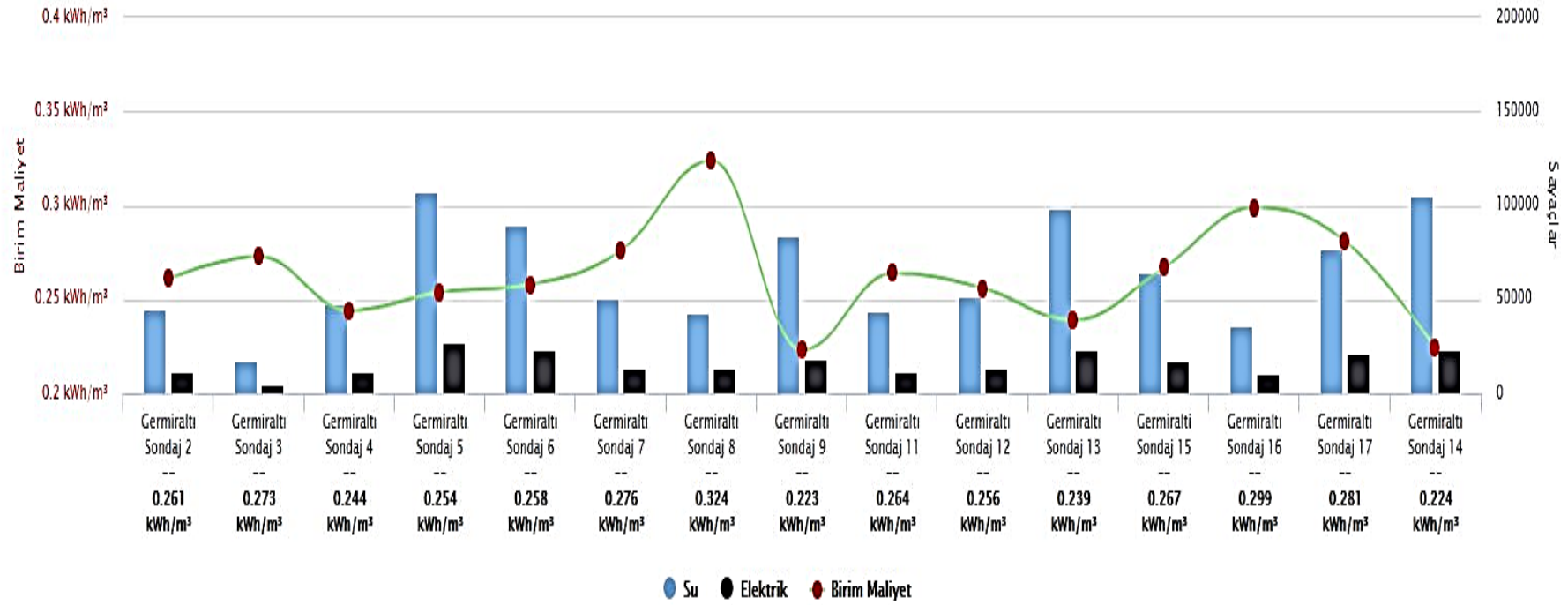
Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
2019-09-01 00:00:10 – 2019-09-30 23:00:10

Toplam

Su: 961.536,49 m³

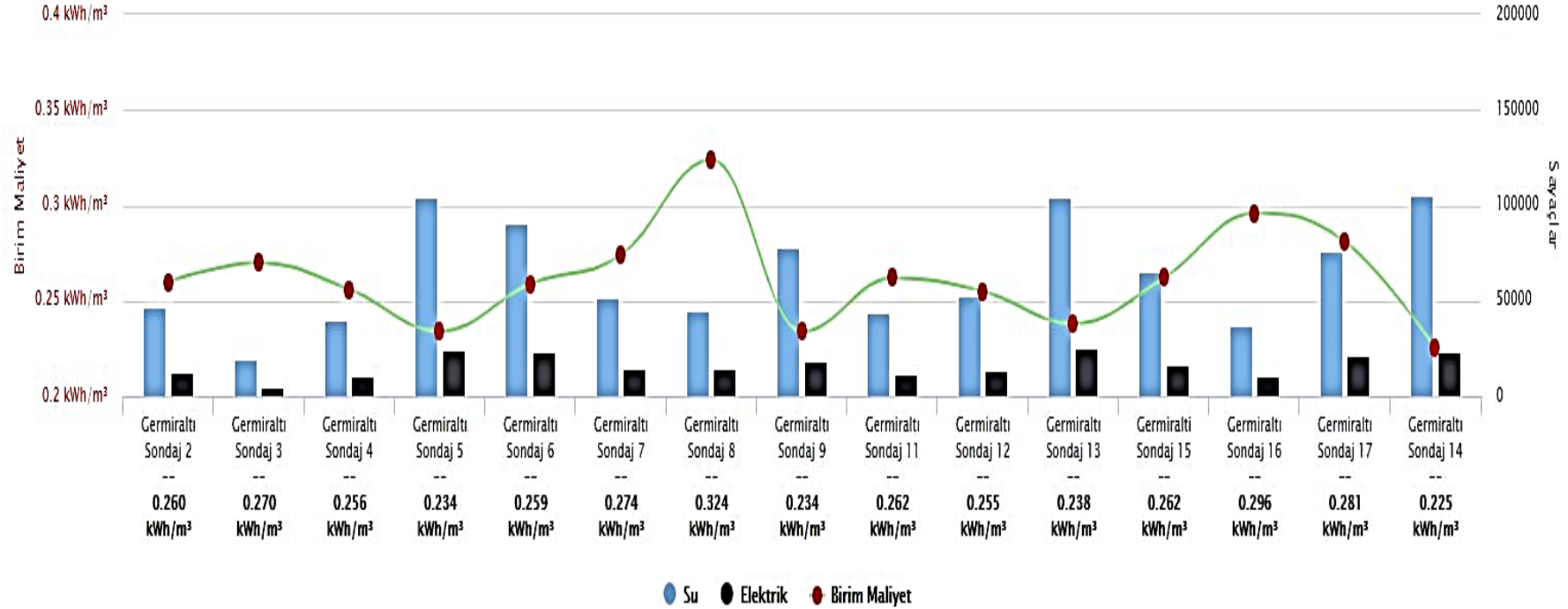
Elektrik: 246.753,93 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.257 kWh/m³



Şekil A.7: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Eylül 2019).

Germiralıtı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
 2019-10-01 00:00:22 - 2019-10-31 23:00:22
 Toplam
 Su: 960.953,12 m³
 Elektrik: 245.456,73 kWh
 Ort. Birim Maliyet: 0.255 kWh/m³



Şekil A.8: Germiralıtı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Ekim 2019).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)

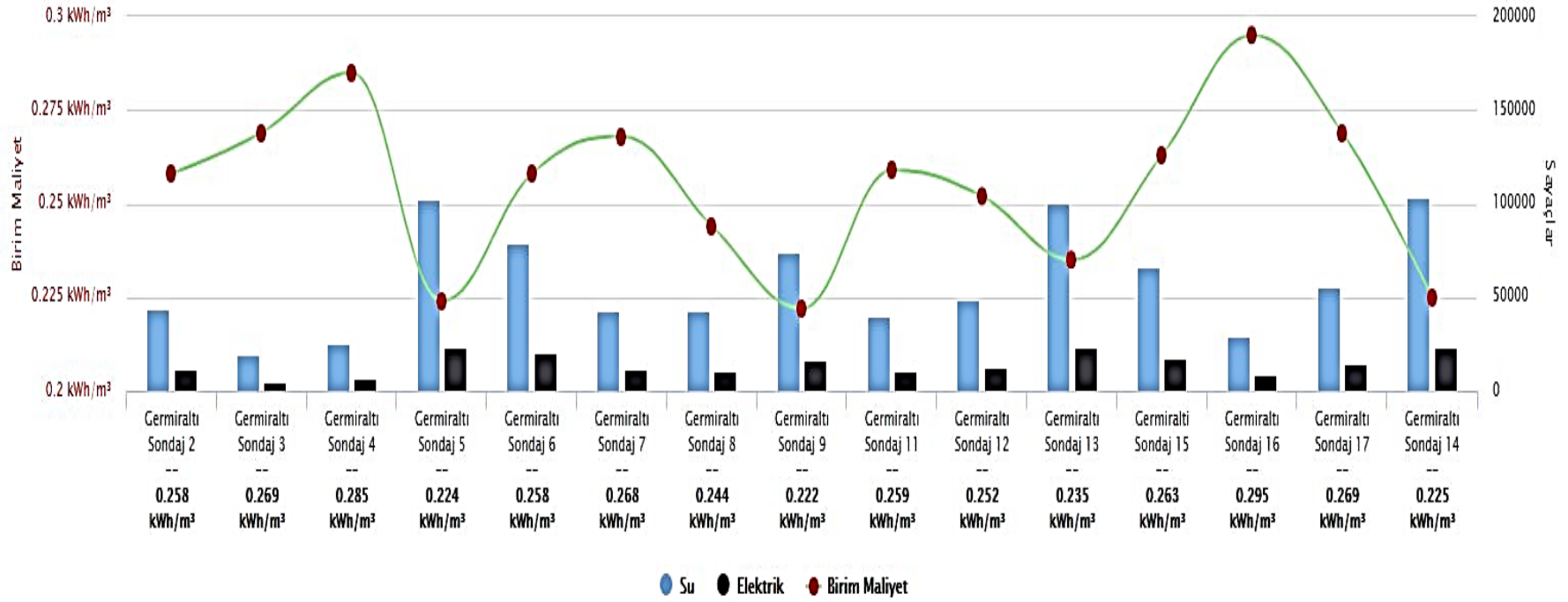
2019-11-01 00:00:30 - 2019-11-30 23:00:30

Toplam

Su: 875.571,33 m³

Elektrik: 216.396,07 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.247 kWh/m³



Şekil A.9: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Kasım 2019).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)

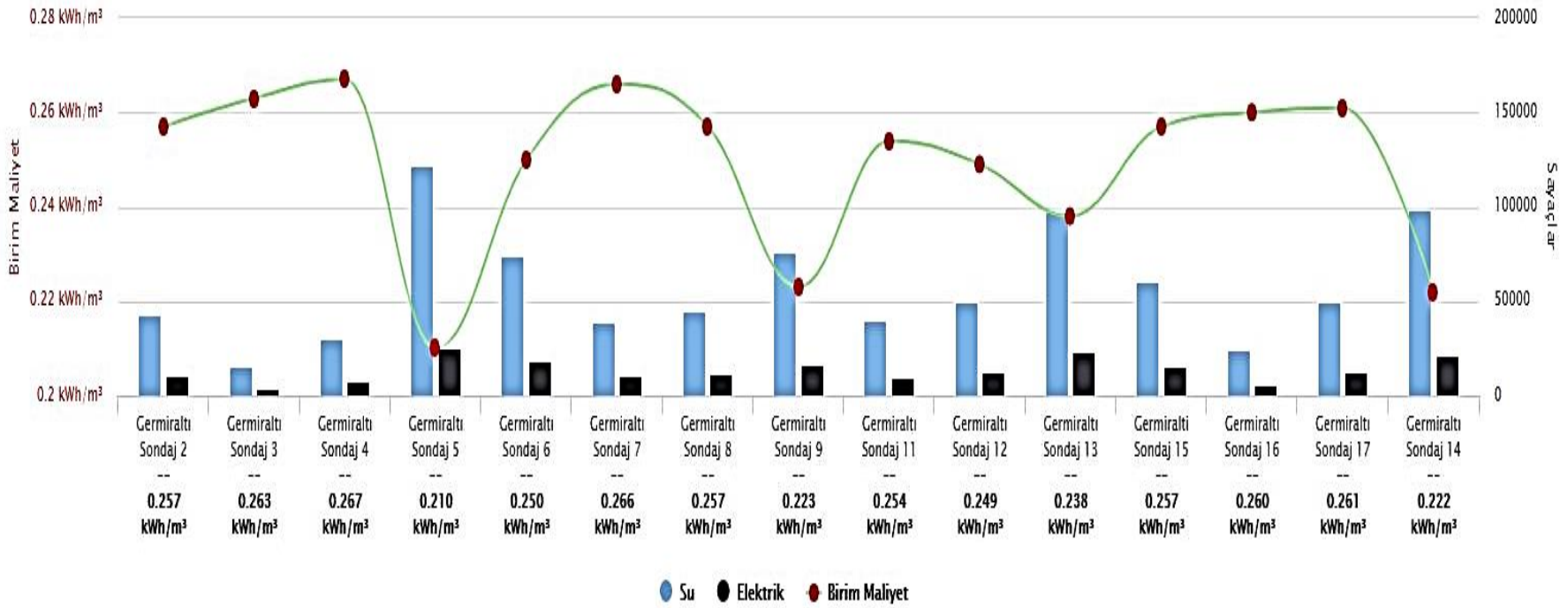
2019-12-01 00:00:08 - 2019-12-31 23:00:08

Toplam

Su: 866.579,18 m³

Elektrik: 209.047,16 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.241 kWh/m³



Şekil A.10: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Aralık 2019).

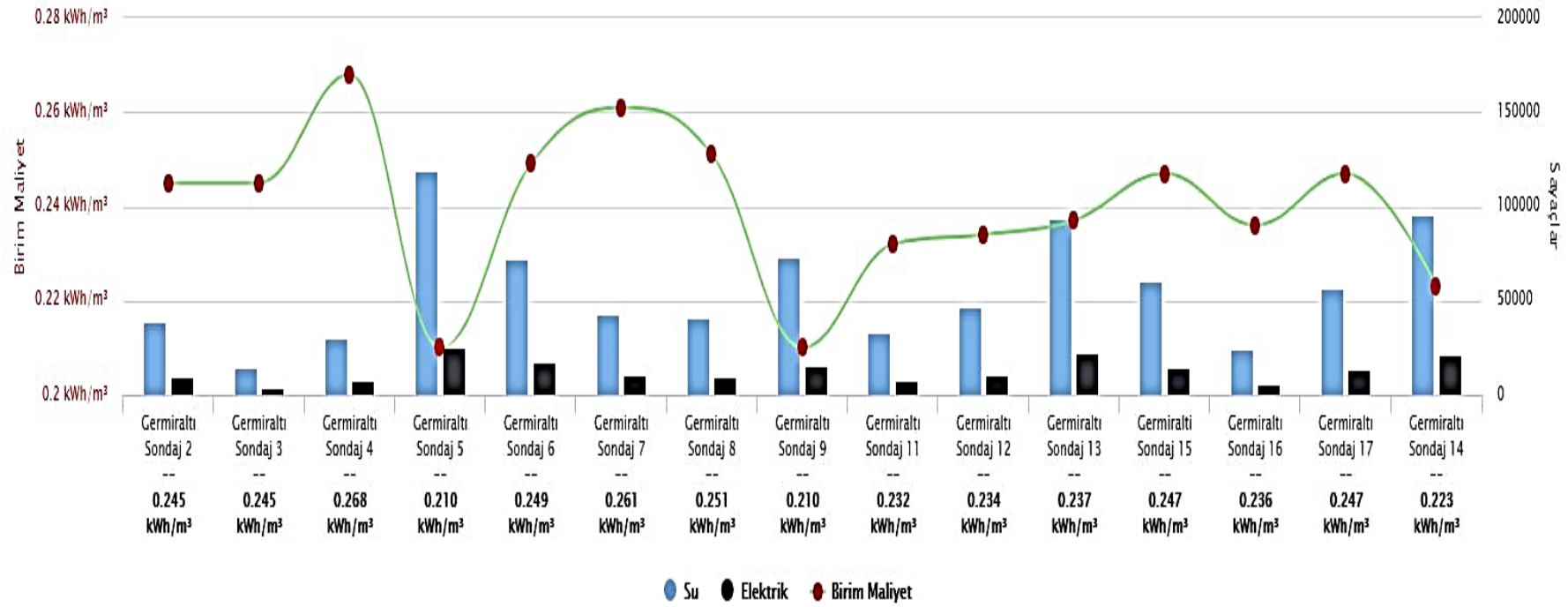
Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
2020-01-01 00:00:16 – 2020-01-31 23:00:16

Toplam

Su: 841.930,04 m³

Elektrik: 197.584,49 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.235 kWh/m³



Şekil A.11: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Ocak 2020).

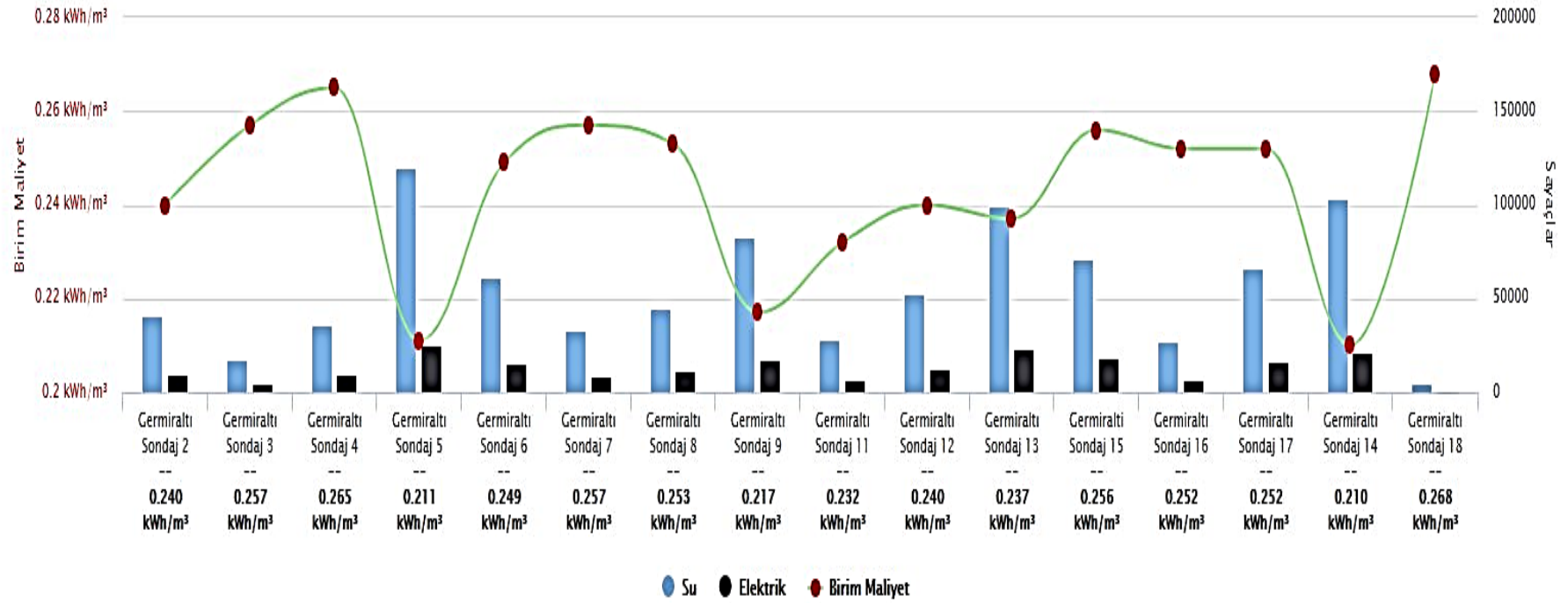
Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)
2020-02-01 00:00:40 – 2020-02-29 23:00:40

Toplam

Su: 889.202,87 m³

Elektrik: 209.728,01 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.236 kWh/m³



Şekil A.12: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi bulguları (Şubat 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu)

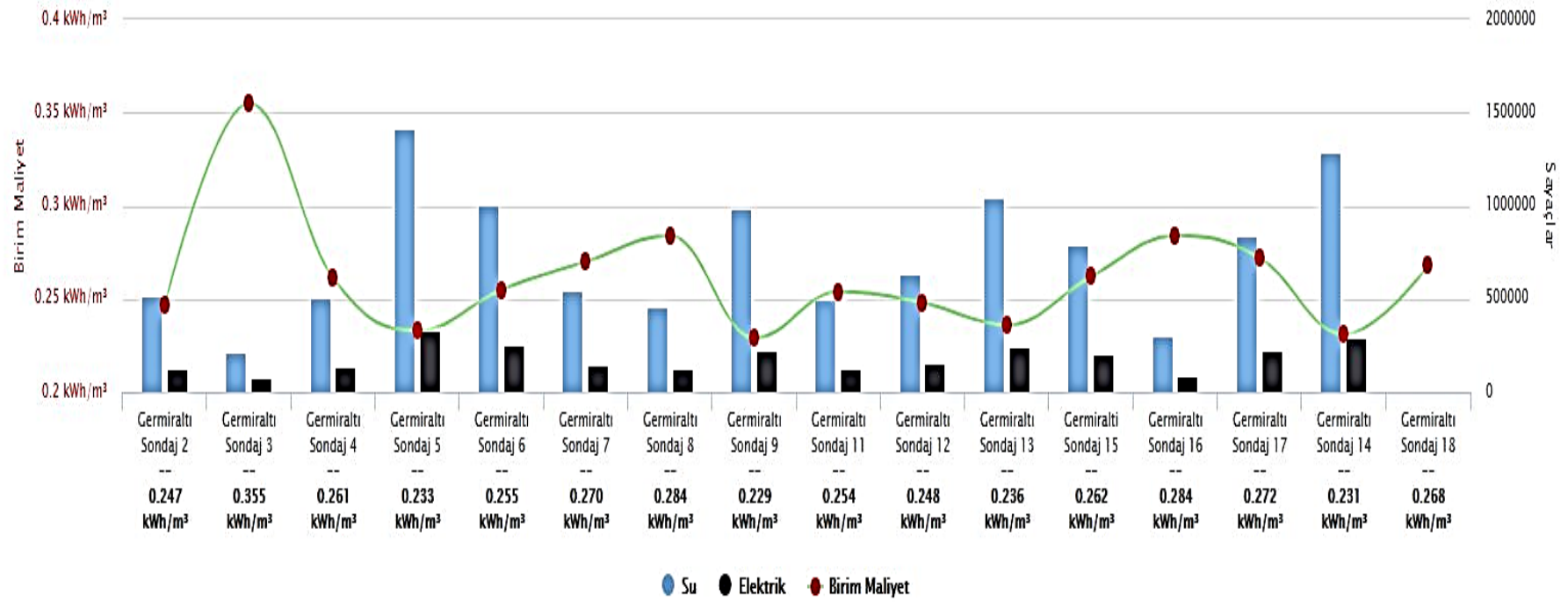
2019-03-01 00:00:04 - 2020-02-29 23:00:04

Toplam

Su: 11.057.498,67 m³

Elektrik: 2.777.375,32 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.251 kWh/m³



Şekil A.13: Germiraltı kuyuları için verim esaslı müdahale yöntemi yıllık bulguları (01 Mart 2019-29 Şubat 2020).

EK B Yapay Arı Kolonisi Algoritması Yöntemi Bulguları



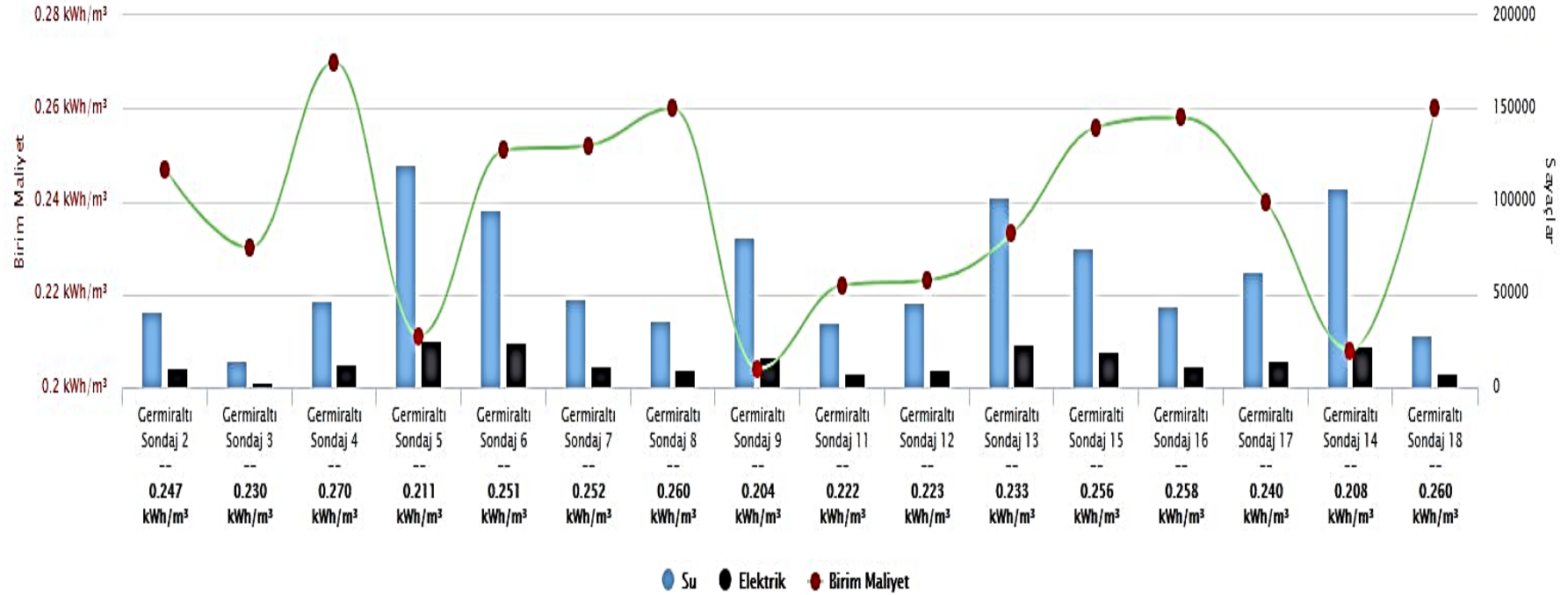
Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC
2020-03-01 00:00:26 - 2020-03-31 23:00:26

Toplam

Su: 982.829,65 m³

Elektrik: 230.370,87 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.234 kWh/m³



Şekil B.1: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Mart 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

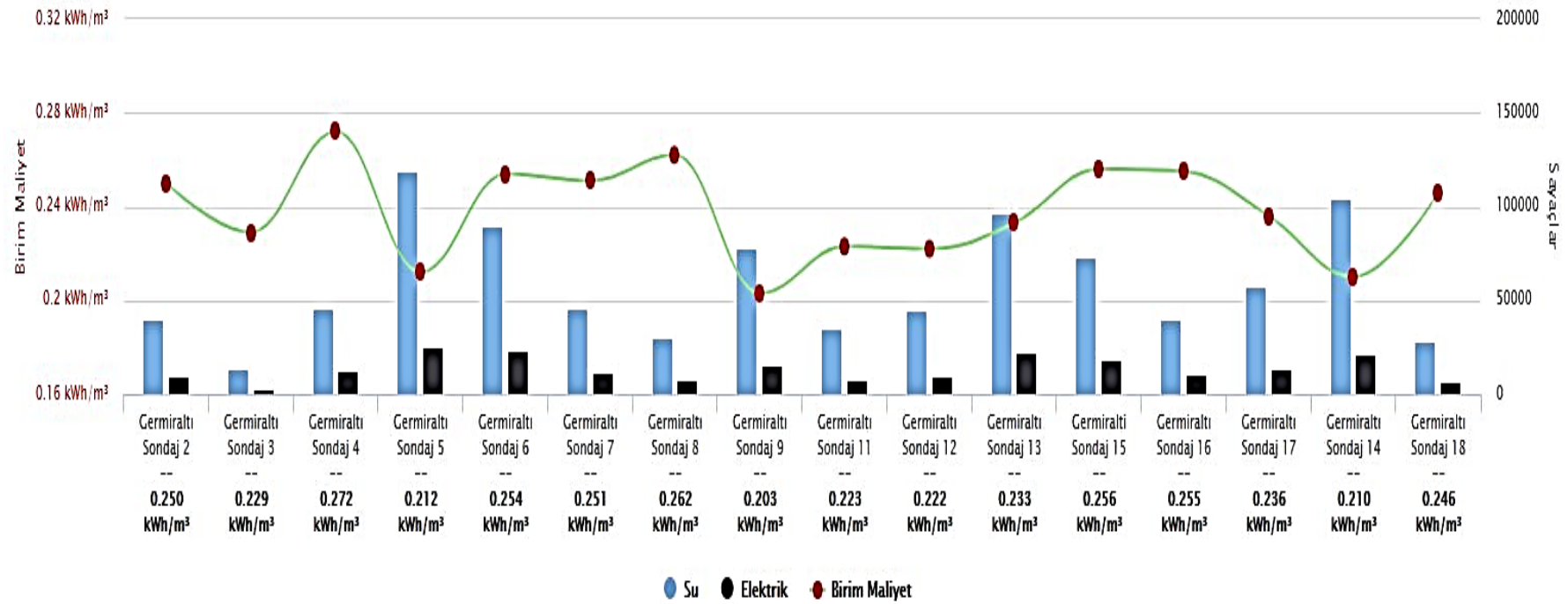
2020-04-01 00:00:36 - 2020-04-30 23:00:36

Toplam

Su: 944.522,77 m³

Elektrik: 221.053,61 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.234 kWh/m³



Şekil B.2: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Nisan 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

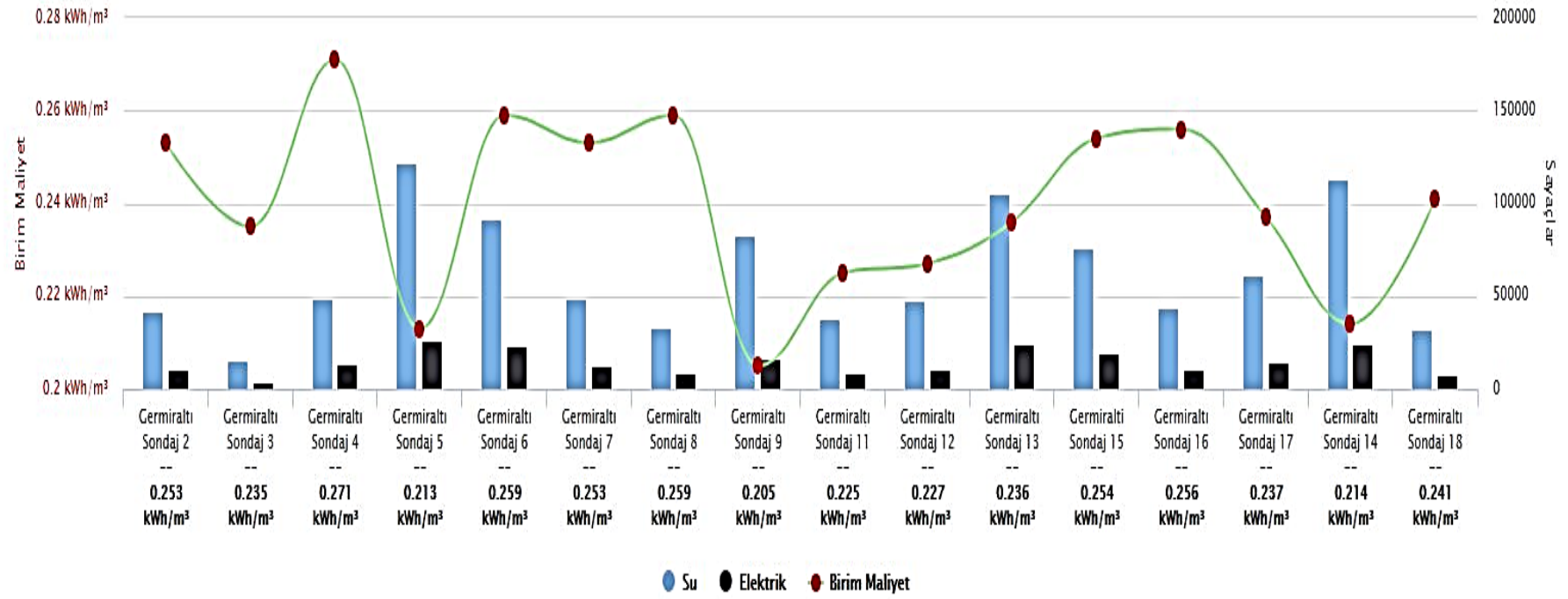
2020-05-01 00:00:47 - 2020-05-31 23:00:47

Toplam

Su: 1.001.086,81 m³

Elektrik: 236.192,79 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.236 kWh/m³



Şekil B.3: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Mayıs 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

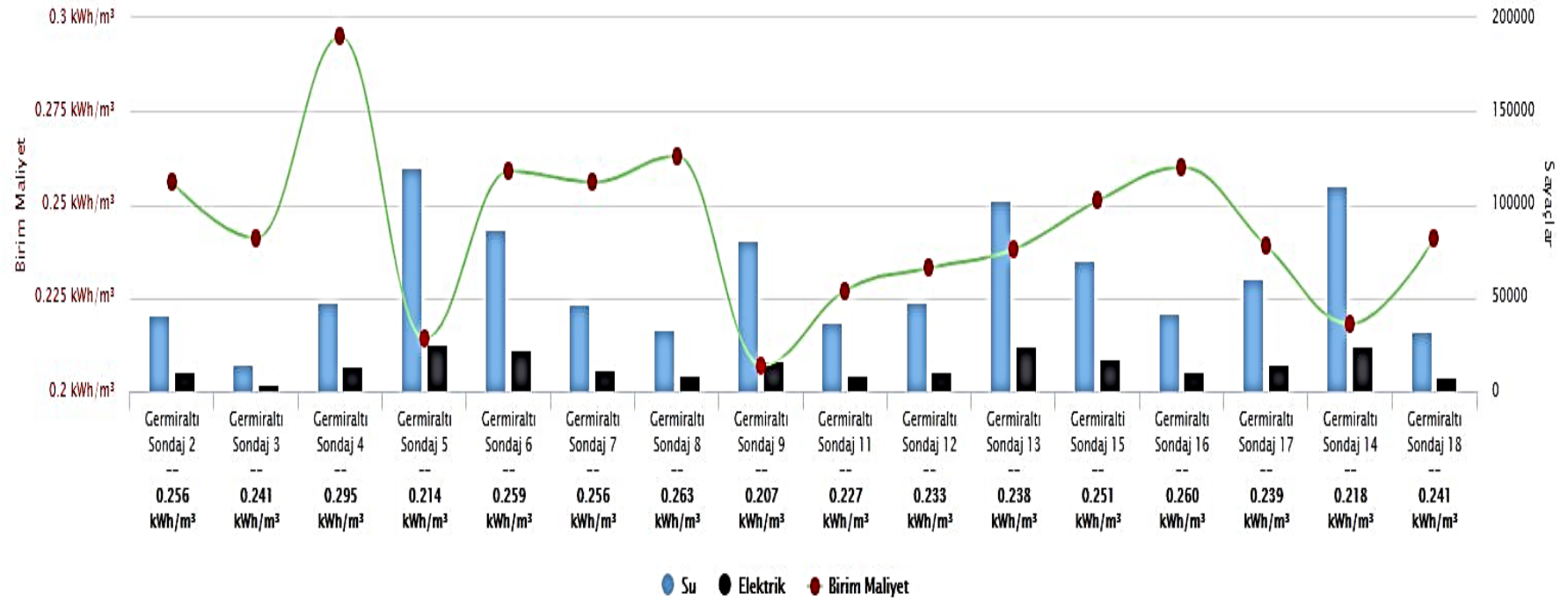
2020-06-01 00:00:50 – 2020-06-30 23:00:50

Toplam

Su: 972.880,82 m³

Elektrik: 232.314,25 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.239 kWh/m³



Şekil B.4: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Haziran 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

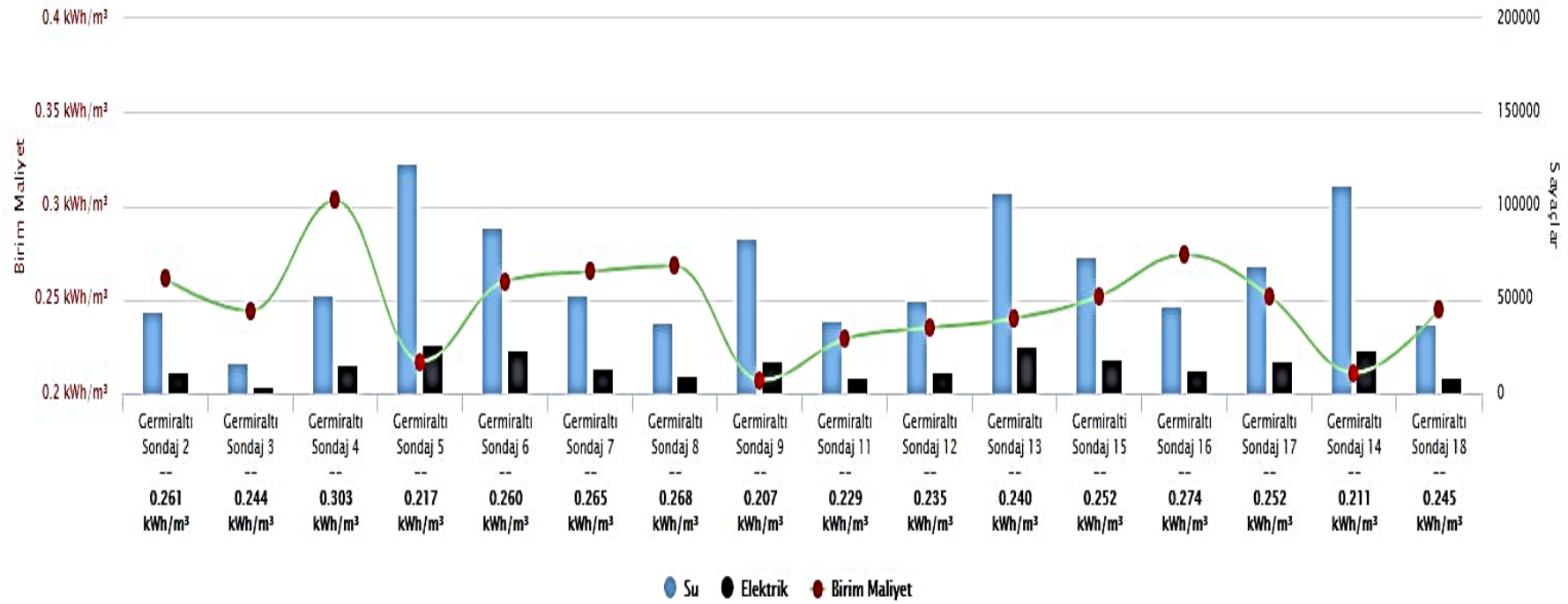
2020-07-01 00:00:52 – 2020-07-31 23:00:52

Toplam

Su: 1.030.559,91 m³

Elektrik: 249.768,68 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.242 kWh/m³



Şekil B.5: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Temmuz 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

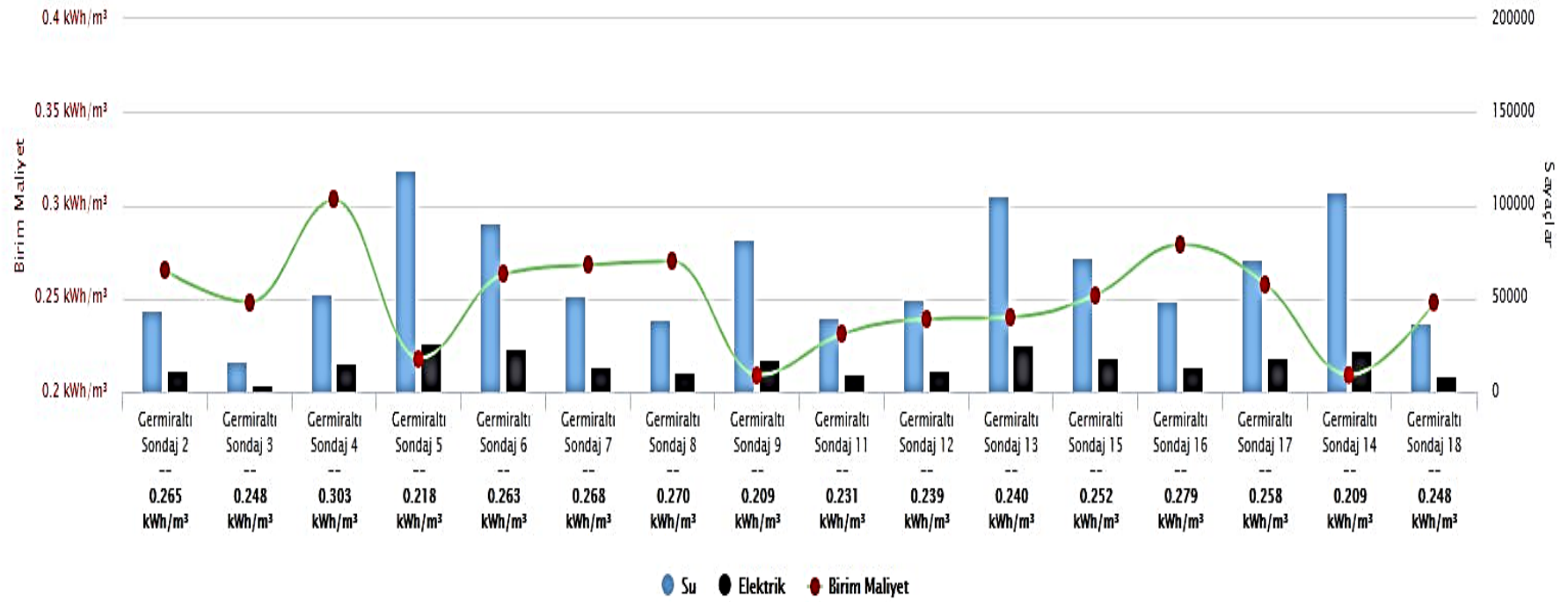
2020-08-01 00:00:00 - 2020-08-31 23:00:00

Toplam

Su: 1.027.963,75 m³

Elektrik: 251.384,29 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.245 kWh/m³



Şekil B.6: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Ağustos 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

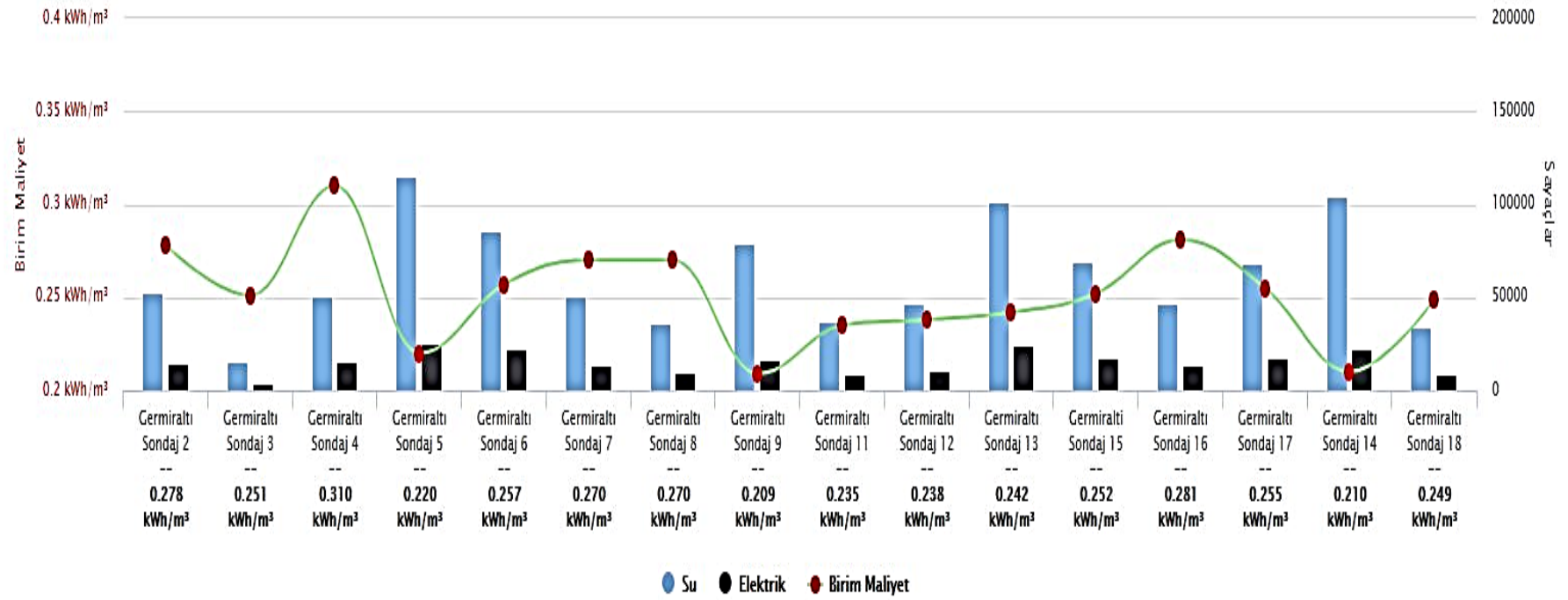
2020-09-01 00:00:06 - 2020-09-30 23:00:06

Toplam

Su: 995.186,72 m³

Elektrik: 244.609,7 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.246 kWh/m³



Şekil B.7: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Eylül 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

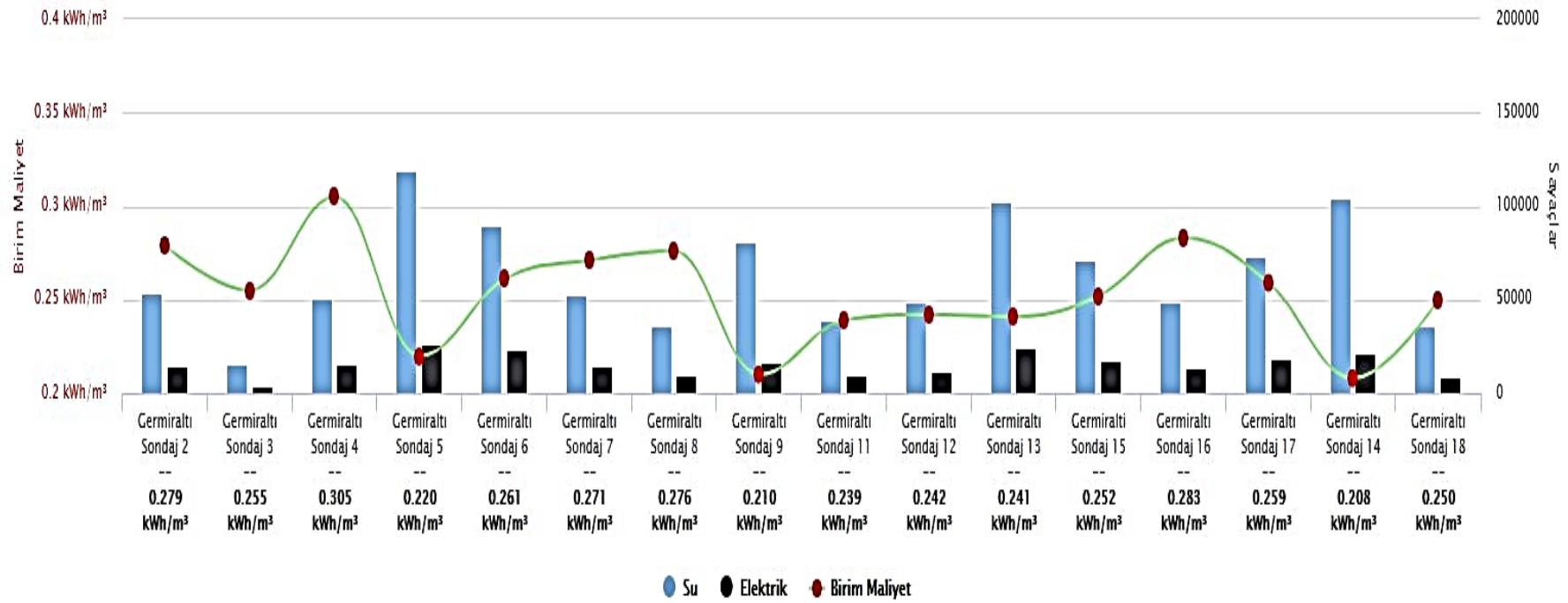
2020-10-01 00:00:21 - 2020-10-31 23:00:21

Toplam

Su: 1.022.726,06 m³

Elektrik: 252.702,37 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.247 kWh/m³



Şekil B.8: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Ekim 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

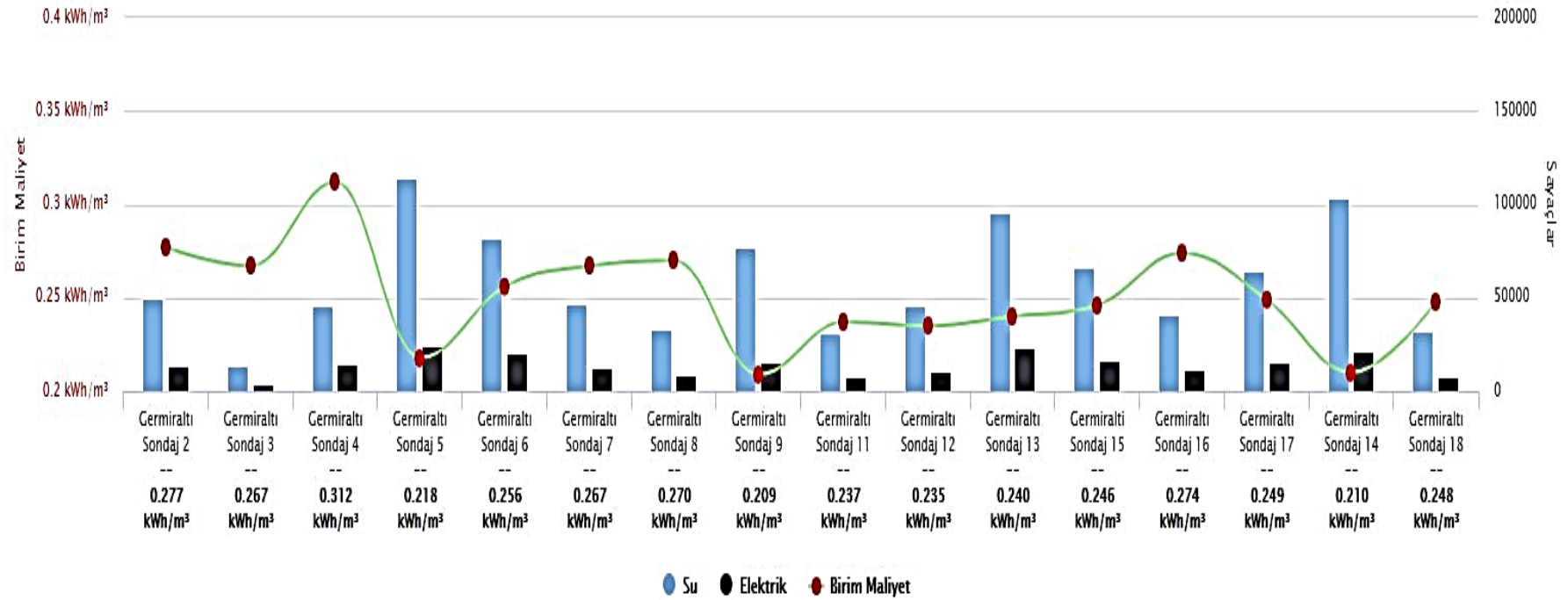
2020-11-01 00:00:37 - 2020-11-30 23:00:37

Toplam

Su: 941.821,38 m³

Elektrik: 229.374,74 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.244 kWh/m³



Şekil B.9: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Kasım 2020).

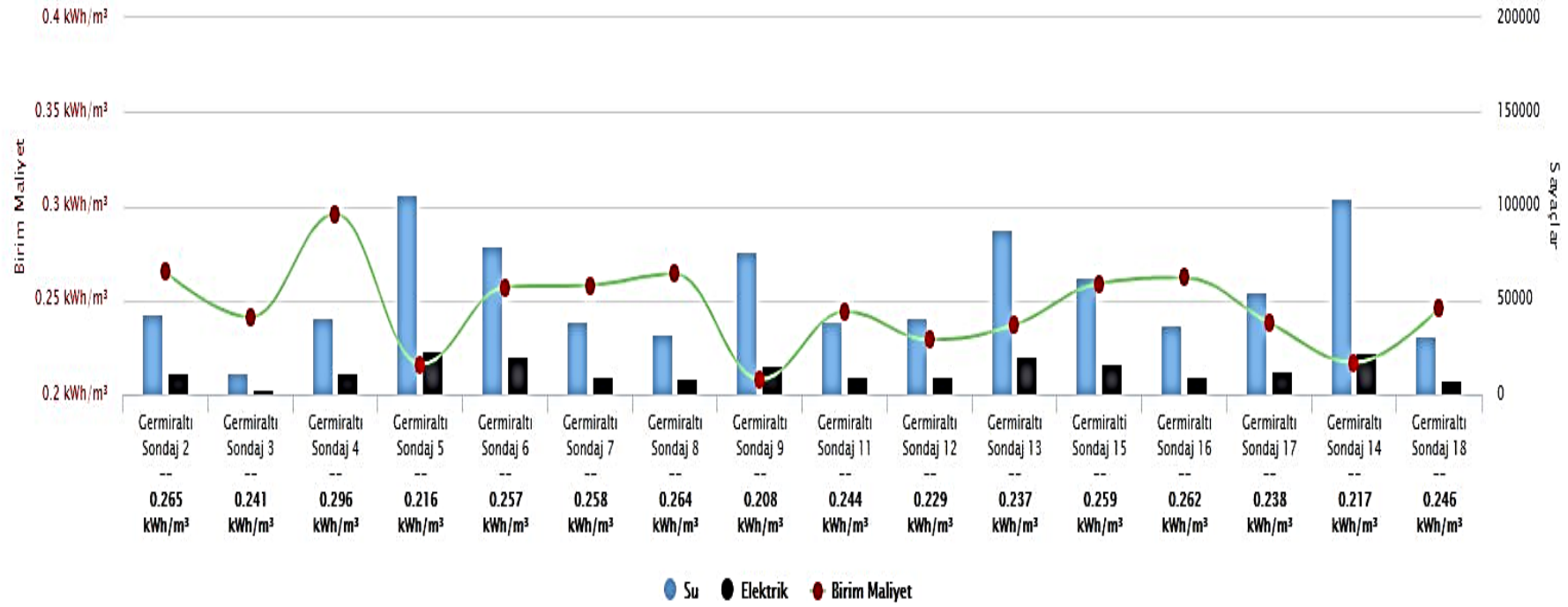
Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC
2020-12-01 00:00:38 - 2020-12-31 23:00:38

Toplam

Su: 887.066,6 m³

Elektrik: 213.245,44 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.240 kWh/m³



Şekil B.10: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Aralık 2020).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

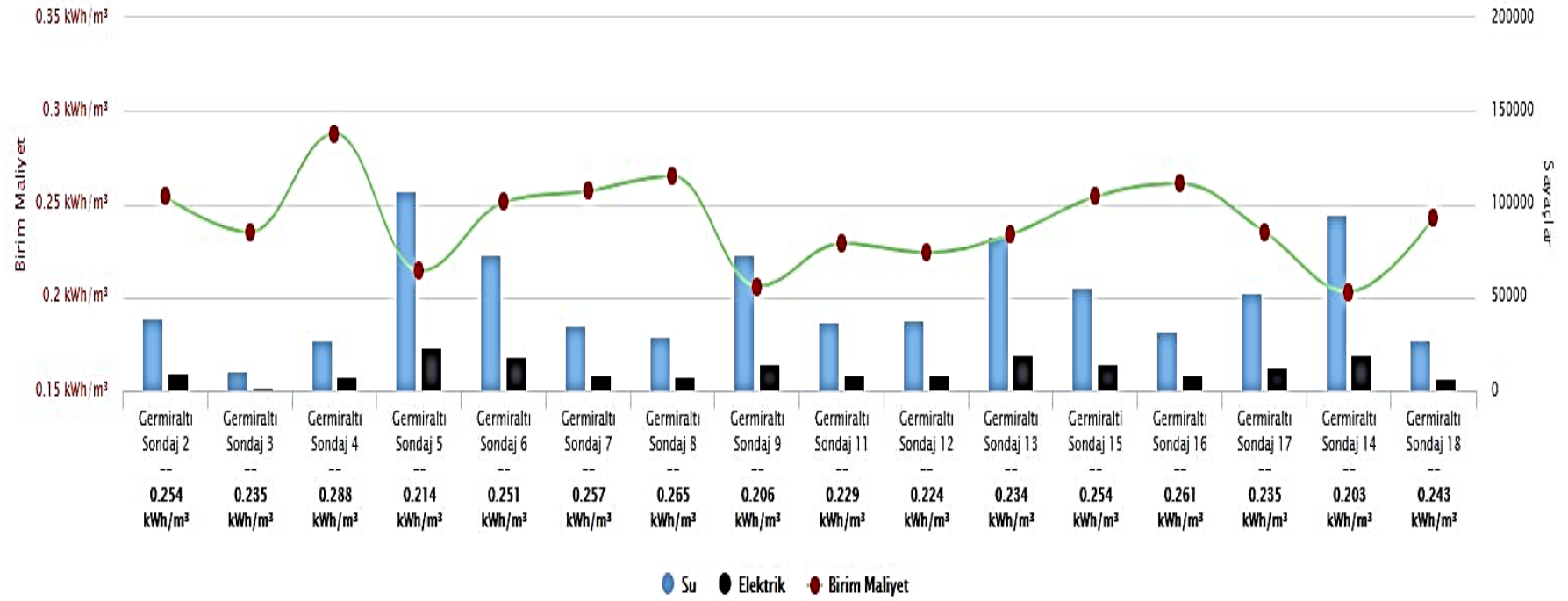
2021-01-01 00:00:21 - 2021-01-31 23:00:21

Toplam

Su: 816.802,94 m³

Elektrik: 191.042,75 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.234 kWh/m³



Şekil B.11: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Ocak 2021).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

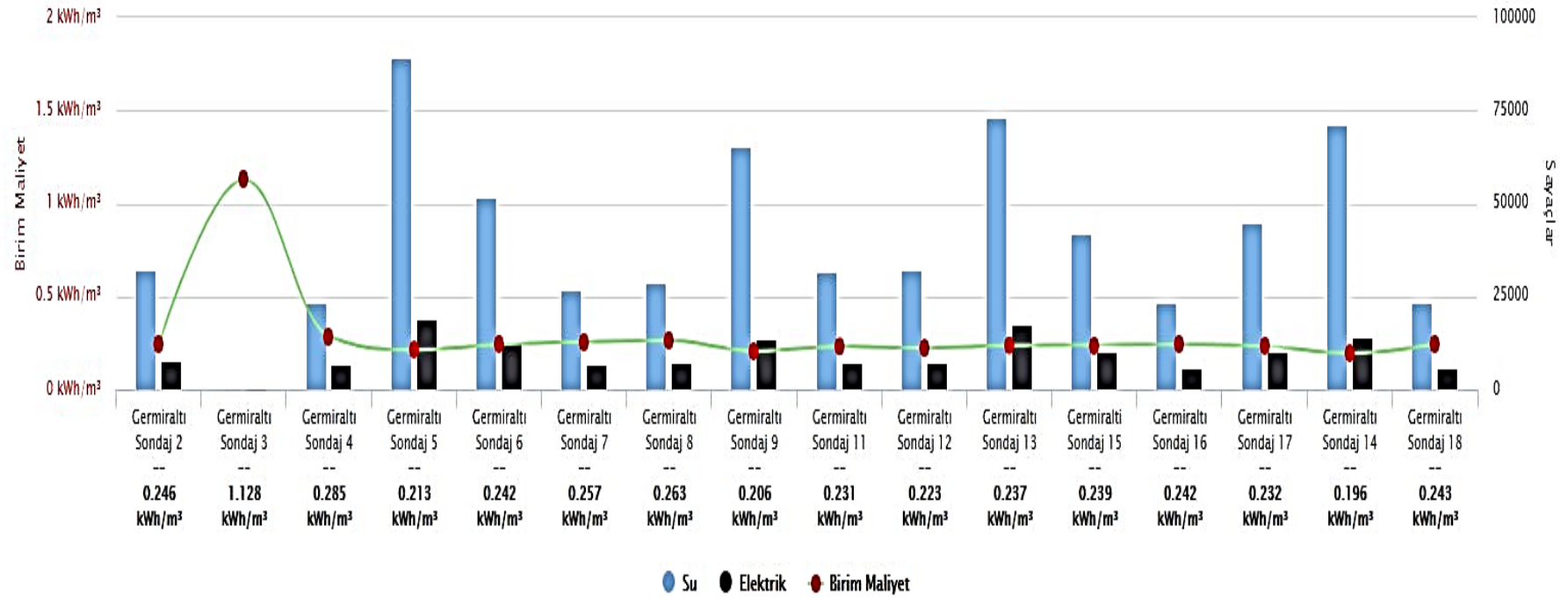
2021-02-01 00:00:25 - 2021-02-28 23:00:25

Toplam

Su: 660.505,98 m³

Elektrik: 152.329,94 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.231 kWh/m³



Şekil B.12: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi bulguları (Şubat 2021).

Germiraltı Kuyular Grup Raporu (Sunucu) ABC

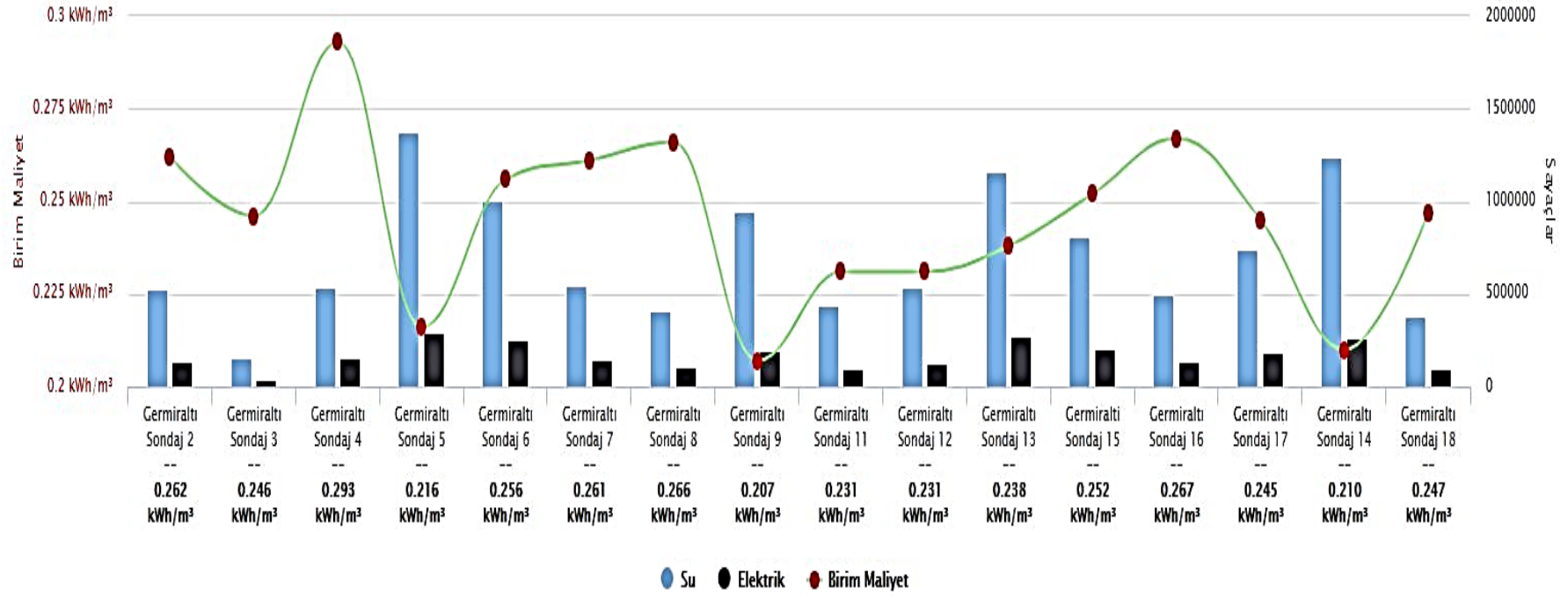
2020-03-01 00:00:27 - 2021-02-28 23:00:27

Toplam

Su: 11.307.035,18 m³

Elektrik: 2.709.979,16 kWh

Ort. Birim Maliyet: 0.240 kWh/m³



Şekil B.13: Germiraltı kuyuları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması yöntemi yıllık bulguları (01 Mart 2020 -28 Şubat 2021).

EK C ABC Algoritmasının Kodları

(Karaboğa, 2011)

ABC algoritmasının adımları ve her bir adımda yapılan işlemler, kod şeklinde aşağıdaki gibi yazılmıştır:

1. Eşitlik 1 aracılığıyla tüm $x_{i,j}$ $i=1 \dots SN, j=1 \dots D$, çözümlerine başlangıç değerlerinin atanması ve çözüm geliştirememeye sayaçlarının sıfırlanması $failure_i=0$
2. $f_i=f(x_i)$ fonksiyon değerlerinin ve bu değerlere karşılık gelen uygunluk değerlerin hesaplanması
3. Repeat
4. for $i=1$ to SN do
5. Eşitlik 2 kullanarak x_i çözümünün görevli arısı için yeni bir kaynak üret v_i ve $f(v_i)$ 'yi (4) eşitliğinde yerine koyarak bu çözümün uygunluk değerini hesapla
6. x_i ve v_i arasında açgözlü seleksiyon işlemi uygula ve daha iyi olanı seç
7. x_i çözümü gelişmemişse çözüm geliştireme sayacını bir artır $failure_i= failure_i+1$, gelişmemişse sıfırla, $failure_i=0$
8. End For
9. Eşitlik 5 ile gözcü arıların seçim yaparken kullanacakları uygunluk değerine dayalı olasılık değerlerini p_i hesapla
10. $t=0$ $i=1$
11. Repeat
12. if $random < p_i$ then
13. Eşitlik 2 'i kullanarak gözcü arı için yeni bir kaynak, v_i üret
14. x_i ve v_i arasında açgözlü seleksiyon işlemi uygula ve daha iyi olanı seç.
15. x_i çözümü gelişmemişse çözüm geliştirememeye sayacını bir artır $failure_i= failure_i+1$, gelişmemişse sıfırla, $failure_i=0$
16. $t=t+1$
17. End If
18. Until $t=SN$

19. if $\max(\text{failure}_i) > \text{limit}$ then

20. x_i eşitlik 1 ile üretilen rastgele bir çözümle değiştir.

21. End If

22. En İyi Çözümü hafıza da tut

23. Until Durma kriteri



ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Ufuk SEKMEN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2003, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- **Yüksek Lisans** : 2006, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı.
- **Doktora** : 2021, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı.

MESLEKİ DENEYİM:

Tarihler	01/08/2003 - 01/05/2004
Meslek veya konum	Makina Mühendisi
Ana faaliyetler ve sorumluluklar	Teknik Satış Departmanı / Ürün Danışmanı
İşverenin adı ve adresi	ISISAN A.Ş. Kayseri
İşletmenin veya sektörün türü	İmalat Sanayi / Özel Sektör
Tarihler	01/05/2004 - 01/05/2005
Meslek veya konum	Makina Mühendisi / Teknik Müdür
Ana faaliyetler ve sorumluluklar	Proje ve Satış Sorumlusu
İşverenin adı ve adresi	Akın Isı Doğalgaz ve Isıtma Sistemleri
İşletmenin veya sektörün türü	Taahhüt-Yapım / Özel Sektör

Tarihler 01/05/2005 - 01/05/2006
Meslek veya konum Proje Koordinatörü
Ana faaliyetler ve sorumluluklar AB Hibe Programları KOBİ Sorumlusu
İşverenin adı ve adresi Orta Anadolu Kalkınma Birliği / KAYSERİ
İşletmenin veya sektörün türü Birlik / Kamu Kurumu

Tarihler 01/05/2006 → 15/12/2012
Meslek veya konum Makina Yük. Mühendisi / Proje ve Kontrol Mühendisi
Ana faaliyetler ve sorumluluklar Yapı Denetim / Mekanik Kontrol Mühendisi
İşverenin adı ve adresi KASKİ Genel Müdürlüğü / KAYSERİ
İşletmenin veya sektörün türü Altyapı / Kamu Kurumu

Tarihler 15/12/2012 → 15/02/2016
Meslek veya konum Makina Yük. Mühendisi / Şube Müdürü
Ana faaliyetler ve sorumluluklar Kamu İhale Mevzuatı / İhale Şube Müdürü
İşverenin adı ve adresi KASKİ Genel Müdürlüğü / KAYSERİ
İşletmenin veya sektörün türü Altyapı / Kamu Kurumu

Tarihler 15/02/2016 → 30/09/2018
Meslek veya konum Makina Yük. Mühendisi / Daire Başkanı
Ana faaliyetler ve sorumluluklar Yatırım ve İnşaat Daresi Başkanı
İşverenin adı ve adresi MASKİ Genel Müdürlüğü / MALATYA
İşletmenin veya sektörün türü Altyapı / Kamu Kurumu

Tarihler 01/10/2018 →
Meslek veya konum Makina Yük. Mühendisi / Daire Başkanı
Ana faaliyetler ve sorumluluklar İlçe Hizmetleri Daresi Başkanı
İşverenin adı ve adresi KASKİ Genel Müdürlüğü / KAYSERİ
İşletmenin veya sektörün türü Altyapı / Kamu Kurumu

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

(Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- **Sekmen, U., Yılmaz, M., & İmİK, E. (2019, September).** Derin Kuyulardan İçme Suyu Temininde Pompa Seçiminin Enerji Verimliliğine Etkisi. In ULIBTK'19 22nd Congress on Thermal Sciences and Technology, Kocaeli-Turkey, vol. 2, (pp: 275- 285).
- **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. Turkish Journal of Electromechanics & Energy, 6(1), 3-11.
- **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, 24-26 March 2021 Karadeniz Technical University, Trabzon/Turkey.
- **Sekmen, U., Yılmaz, M., Özdemir, Ö., Karaboğa, D., Kurban, R., & Yıldız Ö. F. (2021).** Su Temin Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması İle Enerji Verimliliği Optimizasyonu. In ULIBTK'21 Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 08-10 Eylül 2021, GAZİANTEP.
- **Sekmen, U., Yılmaz, M., Yıldız Ö. F., & Özdemir, Ö. (2022).** Using solar photovoltaic energy in urban water supply systems: a case study in Kayseri, Turkey. Journal of Water and Climate Change, vol. 13, No 5, 2048, doi: 10.2166/wcc.2022.377.
- Tez çalışmasından elde edilen verilerle **100 Talep 100 Proje** kapsamında Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine “**Dalgıç Pompa Gruplarının Yapay Zeka Teknikleri İle Enerji Verimliliği Optimizasyonu Germiraltı Kaptajalanı Örneği**” adı altında 10050 proje numaralı dosya ile başvuru yapılmış ve kabul edilmiştir.
- Çalışmada geliştirilen uygulama modeline Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından **2020/22405** sayılı ve “**BİRDEN FAZLA POMPANIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ODAKLI OPTİMAL OLARAK BİR ARADA ÇALIŞTIRILMASI İÇİN YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI TEMELLİ BİR YÖNTEM VE BİR SU TEMİN SİSTEMİ**” başlıklı Patent Belgesi verilmesine karar verilmiştir.