



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

POMPAJ DEPOLAMALI SANTRALLERİN
BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÖN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS

Ali Peker

Danışman
Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

Nisan-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ali PEKER tarafından hazırlanan ‘‘Pompaj Depolamalı Santrallerin Bilgisayar Destekli n Tasarımı’’ 22/04/2022 tarihinde aŗağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğıtim Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiŗtir.

Jüri yeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

Danışman

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

ye

Dr. Öğr. Üyesi Sarper ÖZTÜRK

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğıtim Enstitüsü Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ali PEKER

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POMPA DEPOLAMALI SANTRALLERİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÖN TASARIMI

Ali PEKER

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

2022, 56 Sayfa

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

Üye: Doç. Dr. Üyesi Hakan KARAKAYA

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Sarper ÖZTÜRK

Fosil yakıtların tükenebilir bir enerji olması ve çevreye olan etkilerinden dolayı birçok ülke çare olarak yenilenebilir enerjiye yönelmektedir. Bu durumda var olan enerji potansiyelinin en iyi şekilde kullanılabilmesi ülkelerin enerji bağımlılığını daha aza indirebilmektedir. Enerji üretim ve tüketimindeki dalgalanmaların sert düşüş ve artışları gözlemlenebildiğinden enerjinin depolanması, enerji tüketiminin pik seviyede olduğu zamanlarda yeterli ve düzenli enerji arzını sağlayabilmektedir. Bir enerji depolama sistemi ve yenilenebilir olarak kabul edilen Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PDHES) Türkiye’de henüz inşa edilmemiştir. Oysaki Dünya genelindeki enerji depolama sistemlerinin %97’si PDHES santralleridir.

Pompalı hidroelektrik santrallerin, enerjide arz güvenliğini artırdığı ve doğa dostu bir enerji depolama çeşidi olduğu öne sürülmekle beraber, maliyet avantajı sağlayabilmesi gün içinde değişen elektrik fiyatlarına bağlıdır. Bu sebeple teknik olarak uygun olan bir santralin güncel enerji fiyatlarıyla ön tasarımını hızlı bir şekilde gerçekleştirerek fayda zarar analizini yapabilen bir bilgisayar programı karar vericilerin projenin gerçekleşme safhasına hızlı bir geçiş yapmasını sağlayacaktır.

Bu sebeple çalışma kapsamında Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin hidrolik ve ekonomik tasarımında yardımcı olacak STAP isminde bir program geliştirilmiştir. Analiz yapabilen, programın doğrulaması daha önce planlaması yapılan Aslantaş PDHES verileri kullanılarak yapılmış ve farklı elektrik tüketim tarifelerine göre analizler gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Hidrolik, Pompajlı Depolama, Pompajlı Hidroelektrik Santraller, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

MS THESIS

COMPUTER SUPPORTED PRELIMINARY DESIGN OF PUMPED HYDROPOWER PLANTS

Ali PEKER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN RENEWABLE ENERGY**

Advisor: Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

2022, 56 Pages

Jury

**Advisor: Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK
Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA
Asst. Prof. Dr. Sarper ÖZTÜRK**

In recent years, several countries are turning to renewable energy as a remedy to meet increasing energy being the facts that fossil fuels are exhaustible and have environmental effects. In this case, the best use of the existing energy potential can reduce the energy dependence of countries to a lesser extent. Since fluctuations in energy production and consumption can be observed with sharp decreases and increases, energy storage can ensure adequate and regular energy supply at times when energy consumption is at a peak level. Pump-Storage Hydroelectric Power Plants (PDHES) are accepted both energy storage systems and renewables, yet there have not been built in Turkey. On the other hand 97% of the energy storage systems worldwide are PDHES power plants.

Although it is claimed that pumped hydroelectric power plants increase the security of supply in energy and are an environmentally friendly type of energy storage, their ability to provide cost advantage depends on the electricity prices that change during the day. For this reason, a computer program that can quickly perform the preliminary design of a technically suitable power plant with current energy prices and analyze the benefit and cost will enable the decision makers to make a rapid transition to the realization phase of the project.

For this reason, a program called STAP has been developed to assist in the hydraulic and economic design of pumped storage hydroelectric power plants. Verification of the program was made by using Aslantaş PDHES data, which was planned before, and analyzes were carried out according to different electricity consumption tariffs.

Keywords: Energy Efficiency, Hydraulics, Pumped Storage, Pumped Hydroelectric Power Plants, Renewable Energy

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışma süreci boyunca yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yardımını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. **Şahnaz TİĞREK**'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama göstermiş oldukları katkılardan dolayı değerli jüri üyeleri Sayın Doç. Dr. Hakan KARAKAYA ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sarper ÖZTÜRK'e ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Yazılım ve Kodlama hakkında hiçbir bilgi ve yardımını benden esirgemeyen değerli Hocam Tevfik AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez hazırlama süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen başta annem Bedriye PEKER ve babam Naif PEKER olmak üzere Serhat PEKER, Leyla PEKER, Murat PEKER ve Helin PEKER'e minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Başta aile üyelerimiz Helin, Rojin, Eylül, Zeynep, Melisa, Esmâ ve Şeval olmak üzere hâla fırsat eşitliğine sahip olmayan tüm kız çocuklarına ithaf ediyorum.

Ali PEKER
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	vi
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özetleri.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE POMPAJ DEPOLAMA SANTRALLERİ.....	4
2.1 Yenilenebilir Enerji Çeşitleri	4
2.1.1 Güneş Enerjisi.....	4
2.1.2 Rüzgâr Enerjisi	5
2.1.3 Biokütle Enerjisi	6
2.1.4. Jeotermal Enerji	8
2.1.5 Hidrolik Enerji	9
2.2 Enerjinin Depolanması	10
2.3 Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santral ve Önemi	10
2.3.1. PDHES'in Çalışma Yöntemi	11
2.3.2 PDHES'in Avantaj ve Dezavantajları	13
2.3.2.1 Avantajları	13
2.3.2.2 Dezavantajlar	15
2.4 Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Maliyet ve Verimliliği	15
2.5 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Dünyadaki Durumu	17
2.6 Türkiye'nin Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santraller Potansiyeli	19
3. MATERYAL YÖNTEM	22
3.1. STAP Programı Hakkında Bilgi	22
3.2. Kullanılan Formüller.....	35
3.2.1 Hidrolik Hesaplar.....	35
3.2.2 Kurulu Güç	37
3.2.4 Maliyet Hesapları.....	37
3.3. Veri girişleri	38
3.3.1 Elektrik Ücreti Tablosu.....	38
3.3.2 Üst Rezervuar İmalatları.....	39

3.3.3 Tesis Bilgileri.....	39
3.3.4 Türbinleme Bilgileri	40
3.3.5 Optimizasyon Tabloları	41
4. BULGULAR.....	42
4.1 2020 yılı Piyasa Takas Fiyatları (PTF) ile Analiz	51
4.2 Piyasa Takas Fiyatları (PTF) ile 2015-2021 Yılı En yüksek Puant zaman günü için Analiz.....	52
4.3 EPDK verileri ile Analiz	54
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	5
Şekil 2.2. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası	6
Şekil 2.3. Anaerobik Çözünme Aşamaları	7
Şekil 2.4. Hayvansal Atık İşleyen Bir Biyogaz Tesisi	7
Şekil 2.5. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli Atlası	9
Şekil 2.6. Pompaj Depolamalı Hidrolik Santralin Temel Bileşenleri	11
Şekil 2.7. Yakınındaki Rezervuarlardan Beslenen Pdhes	12
Şekil 2.8. Barajlar Çalışma Grubunda Paylaşılan Veriler	14
Şekil 2.9. Japonya’da Denizi Alt Rezervuar Olarak Kullanan Okinawa Pdhes	18
Şekil 2.10. Çeşitli Ülkelerde Yapılmış Pdhes Örnekleri	18
Şekil 3.1. Program Arayüzü	22
Şekil 3.2. Elektrik Fiyatları Sekmesi	23
Şekil 3.3. Kurulum Sekmesi	23
Şekil 3.4. Optimizasyon Sekmesi	24
Şekil 3.5. Kaynaklar Sekmesi	24
Şekil 3.6. Veritabanında Oluşturulmuş Tablolar	25
Şekil 3.7. Epiaş’tan Alınmış Piyasa Takas Fiyatları (Ptf)	26
Şekil 3.8. Programda Elektrik Alış-Satış Fiyatlarını Belirleme Ekranı	26
Şekil 3.9. Ortalama Elektrik Alış-Satış Fiyatları	27
Şekil 3.10. Manuel Elektrik Fiyatı Girme Ekranı	28
Şekil 3.11. Hacim Hesabı Butonu	28
Şekil 3.12. Baraj Gövdesi Butonu	29
Şekil 3.13. Tesis Butonu	30
Şekil 3.14. Türbinleme Bilgileri Butonu	30
Şekil 3.15. Ön Tasarım Butonu	31
Şekil 3.16. Debi Optimizasyonu	32
Şekil 3.17. Optimum Cebri Boru Çapı Seçimi	32
Şekil 3.18. Optimum Tünel Çapı Ve Gelir / Gider Oranı	33
Şekil 3.19. Maliyetlerin Hesaplanması	34
Şekil 3.20. Net Bugünkü Değer Yöntemiyle Projeye Karar Verme	35
Şekil 3.21. Veritabanına Kullanıcının Gönderdiği Elektrik Fiyatları	38
Şekil 3.22. Veritabanına Kullanıcının Gönderdiği Üst Rezervuar İmalatları	39
Şekil 3.23. Veritabanında Tesis Tablosu	39

Şekil 3.24. Türbinleme Bilgileri Tablosu	40
Şekil 3.25. Optimizasyon Tabloları	41
Şekil 4.1. Pompajda Kullanılacak Elektrik Alış Fiyatının TL Olarak Girişi	42
Şekil 4.2. Elektrik Satış Fiyatının TL Olarak Girişi	43
Şekil 4.3. Yeni Yapılacak İmalatların Eklenmesi	44
Şekil 4.4. Tesis Veri Girişi	44
Şekil 4.5. Türbinleme Bilgileri Girişi	45
Şekil 4.6. Ön Tasarım Bilgileri	46
Şekil 4.7. Debi Optimizasyonu	47
Şekil 4.8. Cebri Boru Çap Optimizasyonu	47
Şekil 4.9. Tünel Çap Optimizasyonu Ve Gelir/Gider Oranı	48
Şekil 4.10. Yatırım Maliyetleri	48
Şekil 4.11. Net Bugünkü Değer Oranı	49
Şekil 4.12. Aslantaş PDHES Karşılaştırma Tablosu	50
Şekil 4.13. 2020 Yılı İçin Seçilen Kriterlerde Elektrik Alış Fiyatı	51
Şekil 4.14. 2020 Yılı İçin Seçilen Kriterlerde Elektrik Satış Fiyatı	51
Şekil 4.15. 2020 Yılı İçin Seçilen Kriterlerde PTF Fiyat Analizi	52
Şekil 4.16. Seçilen Tarihler Arasında En Yüksek Gerçekleşen PTF	52
Şekil 4.17. Seçilen Tarihler Arasında En Düşük Gerçekleşen PTF	53
Şekil 4.18. Gelir Gider Oranı	53
Şekil 4.19. Net Bugünkü Değer Oranı	54

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Bir Pompaj Depolama Santralinde Verimler (Zipparo ve Hasen, 1993)	16
Çizelge 2.2. Bazı Ülkelerin Kurulu PDHES Güçleri (Sertkaya ve Ark., 2015)	18
Çizelge 2.3. Ortalama Piyasa Takas Fiyatlarının Gün İçinde Değişimi, (TL/MWh), (Göktaş,2018)	20
Çizelge 2.4. EİE Tarafından Türkiye’de Planlanan PDHES’lerden Bazıları (Yorgancılar Ve Kürkçüoğlu 2009)	48
Çizelge 4.1. Aslantaş PDHES Karşılaştırma Tablosu	50
Çizelge 4.2. Nisan Elektrik Fiyatları Tarife Tablosu (EPDK,2022)	55
Çizelge 4.3. STAP İçin Düzenlenmiş EPDK Verileri	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C#	:Microsoft tarafından geliştirilen bir programlama dili
g	:Yer çekimi ivmesi
GW	:Gigawatt
GWh	:Gigawatt saat
h_{he}	:HES net düşü
kW	:Kilowatt
kWh	:Kilowatt saat
m	:Metre
m^3	:Metreküp
MW	:Megawatt
MWh	:Megawatt saat
P	:Güç
n	:Verim
ρ_w	:Su yoğunluğu
Q	:Debi

Kısaltmalar

AB	:Avrupa Birliği
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
BEPA	:Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
ÇED	:Çevresel Etki Değerlendirmesi
DSİ	:Devlet Su İşleri
EİE	:Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EİGM	:Enerji İşleri Genel Müdürlüğünü
EÜAŞ	:Elektrik Üretim A.Ş
EPDK	:Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EPİAŞ	:Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
GEPA	:Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına
HES	:Hidroelektrik Santral
IAE	:Uluslararası Eneji Ajansı
IRR	:İç Verim Oranı

JES	:Jeotermal Enerji Santralleri
JEPA	:Jeotermal Enerji Potansiyeli Atlası
JICA	:Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı
KÇED	:Kümülatif Çevresel Etki Değerlendirmesi
MTEP	:Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MWe	:Megawatt Elektrik
NBD	:Net Bugünkü Değer
OECD	:Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PHES	:Pompajlı Hidroelektrik Santral
PDHES	:Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santral
PTF	:Piyasa Takas Fiyatı
RES	:Rüzgar Enerji Santralleri
REPA	:Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
SÇD	:Stratejik Çevresel Değerlendirme
SQL	:Yapılandırılmış Sorgu Dili
TEDAŞ	:Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEK	:Türkiye Elektrik Kurumu
TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TETAŞ	:Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.
TÜİK	:Türkiye İstatistik Kurumu
YEGM	:Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEKDEM	:Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
YPK	:Yüksek Planlama Kurulu

1. GİRİŞ

Enerjide tasarrufun önemi yadsınamazken, halen enerji tüketim verileri gelişmişlik göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Artan nüfus ve teknolojik gelişmeler enerji ihtiyacını artırmaktadır. Pandemi krizi öncesi yayımlanan Uluslararası Enerji Ajansının raporuna göre 2019'dan 2030 yılına kadar enerji tüketiminde %12'lik bir artış öngörülmüştür. 2000'li yıllardan başlayarak, iklim değişikliği tartışmaları, toplumların çevresel farkındalığının artması, yerel kaynak arama ve bunlara paralel olarak teknolojik gelişmelerle yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyetlerinin düşmesi yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji üretimindeki payı artmıştır. Yenilenebilir enerji olarak adlandırılan enerji kaynaklarının azalan ve artan ihtiyaca cevap vermesi var olan kaynakların daha etkin ve verimli kullanılabilmesi ile ilişkilidir. Yenilenebilir enerji sistemlerinden üretilen enerjinin devamlı olmaması, kesintiye uğraması (güneş, rüzgâr vb.) mevsimsel, dönemsel veya anlık olması enerji sistemlerinde depolamayı gerekli kılmaktadır. Enerji depolama sistemlerinden, üretilen elektrik enerjisinin depolanarak ihtiyaç halinde kullanılmasını sağlayan araçlar halen çok maliyetlidir. Bu sebeple enerjiyi depolama yerine hammaddeyi depolamak tercih edilmektedir. Dünyada depolanan büyük enerjinin tamamına yakını PDHES'ler oluşturur.

PDHES'ler klasik olarak iki farklı kottaki su rezervuarlarından oluşur. Bu rezervuarlar birbirlerine üstünde türbin ve pompa olan boru hattı veya hatları ile bağlıdır. Elektrik tüketiminin ve fiyatının düştüğü zaman dilimlerinde su üst rezervuara pompalanmakta ve tüketim fiyatının arttığı zamanlarda ise su üst rezervuardan türbin hattına bırakılmaktadır. Pompaj depolamalı olarak isimlendirilen bu sistem güneş, rüzgâr vb. kesintiye uğrayan enerji kaynaklarından kaynaklı kesintileri absorbe etmeye yarayan, güvenli enerji ihtiyacını arz eden bir sistemdir. Üstelik bunu yaparken karbon salınımı gibi çevresel zararları en aza indirirken elektrikte arz ve pik saatlerdeki enerji fiyatlarını dengelemeye yardımcı olur (Zipparo ve Hasen, 1993; Saraç, 2009; Çetinkaya, 2014 ve Andrew vd., 2021).

1.1 Literatür Özetleri

İlk pompaj depolamalı santral 1909 yılında İsviçre, Schaffhausen'de işletmeye alınmış (Witt vd., 2015) ve bugün dünya çapında yaklaşık 375 tesisle kurulu güç 163 000 MW'a ulaşmıştır (Anonymous, 2021a). Ancak yeni proje geliştirme çalışmaları da

devam etmekte olup kapasite artırmak için yeni çalışmalar da yapılmaktadır, (Anonymous 2021a,-b ve Lacal Arantegui ve Tzimas 2012) Ülkemiz’de ise çalışmalar 2000’li yıllardan sonra başlamış ve ilk olarak Tokyo Elektrik İletim AŞ. ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), Türkiye Elektrik İletim AŞ. İş birliğiyle “Türkiye Pik Talebin Karşıllanması için Optimal Güç Üretimi” başlıklı çalışma kapsamında projeler önerilmiştir (Saraç, 2009). Önerilen projeler arasından Gökçekaya PHES (1400 MW) fizibilite çalışması DSİ tarafından YEGM-TEİAŞ-EÜAŞ iş birliği ile 2015 yılında tamamlanmış ve 2021 yılında ihale edilmiştir. (Saraç, 2009; Yorgancılar ve Kökçüoğlu, 2009 ve Anonim, 2018).

Buna paralel olarak da Pompaj Depolamalı Hidroelektrik santrallerle ilgili bilimsel çalışmalar artış göstermiştir. Genellikle vaka analizleri olan çalışmalarda verimlilik, karlılık gibi konular irdelenmiştir (Kaya 2012; Tuna 2012, Bozdemir 2013; Yıldırım 2014; Çetinkaya 2014; Göktaş, 2018; Saray 2019; Kocaman 2019 ve Turan 2019). Bunlardan bazılarının özeti aşağıda verilmektedir.

Kaya (2012), Yaptığı farklı melez sistemlerle PDHES’lerin önemli getiri sağlayabileceğini belirtmiştir.

Bozdemir (2013), yaptığı çalışmada Hazar Gölünü alt rezervuar olarak kullanılmak üzere tasarlanacak bir PDHES’in rantabilitesini 1,23 olarak bulmuştur.

Yıldırım (2014), PDHES’lerle alakalı yaptığı yüksek lisans tezinde EİE tarafından planlanan PDHES’lerden olan Bayram Hacılı PDHES üzerinde yaptığı çalışmada projenin rantabilitesini 1,87 olarak hesaplamıştır. Çalışma kapsamında üretilen senaryolarda pompajda da kullanılacak Rüzgâr Tarlaları senaryolarının hesaplama sonucunda yapılabilir olmadığını belirtmiştir.

Çetinkaya (2014) çalışmasında hidrolik ve ekonomik analiz yapabilen makrolarla yazılmış bir Excel programı hazırlamıştır. Aslantaş PDHES verileri kullanılarak oluşturulan farklı senaryolarla rantabiliteyi hesaplamış ve EİE’in sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Göktaş (2018), Dünyada ve Türkiye’de PDHES’lerin genel durumunu ve Türkiye için planlanan PDHES’lerle hakkında bilgiler vermiş olup PDHES’lerin Türkiye için faydalı olacağını belirtmiştir.

Ayrıca çeşitli bazı vaka analizlerinde hibrid sistemler çalışılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Kaya 2012; Büyükyıldız, 2012; Kocaman 2019).

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı Türkiye’de henüz örneği bulunmayan enerji depolama sistemlerinden biri olan Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin İnşasına karar verme sürecinde yardımcı olabilecek bir bilgisayar programı geliştirmektir. Enerji Depolama sistemlerinden biri olan Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral (PDHES) veya Pompajlı Hidroelektrik santral (PHES) olarak adlandırılan sistem gelişen ve artan dünya nüfusuna enerji arzında dünyanın birçok ülkesinde kullanılmaktadır. Enerji ihtiyacının pik olduğu saatlerde enerji arz güvenliği ve hızlı devreye girme konusunda PDHES’ler büyük enerji depolama sistemlerinde ilk sırayı almaktadır. Bu çalışmada hayati bir öneme sahip olan enerji arzında, sistem için yatırımın yapılıp yatırımın getirisinin hesaplandığı bir program yazılmıştır. Programda bir veri tabanı ve bir program ara yüzü oluşturulmuştur. SQL Lite Veri Tabanı sistemi kullanılmış olup veri tabanında ilgili tablolar oluşturulup programın ara yüzünden girilen veya gerçekleşmiş elektrik fiyatlarının veri tabanına çekilmesi sağlanmıştır. Visual Studio 2019 versiyonunda C# diliyle yazılan programda hidrolik ve ekonomik analizler yapılmaktadır. Türkiye Enerji Piyasası Denetleme Kurumundan alınmış üç tarifeli Elektrik fiyatlarının ve güncellenmiş bazı maliyet verilerinin kayıtlı olarak geldiği programda kullanıcı kendi güncel birim fiyatlarını girip enerji yatırımın karlı olup olmadığına enerji yatırımlarının karlılığında Fayda/Maliyet ve Net Bugünkü Değer oranını görebilmektedir.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE POMPAJ DEPOLAMA SANTRALLERİ

2.1 Yenilenebilir Enerji Çeşitleri

Karbon esaslı kömür, doğalgaz ve petrol ve nükleer enerji dışındaki enerji kaynakları yenilenebilir olarak kabul edilmektedir. Güneş, rüzgâr, biokütle, jeotermal ve hidrolik yenilenebilir enerji çeşitlerinden başlıcalarıdır.

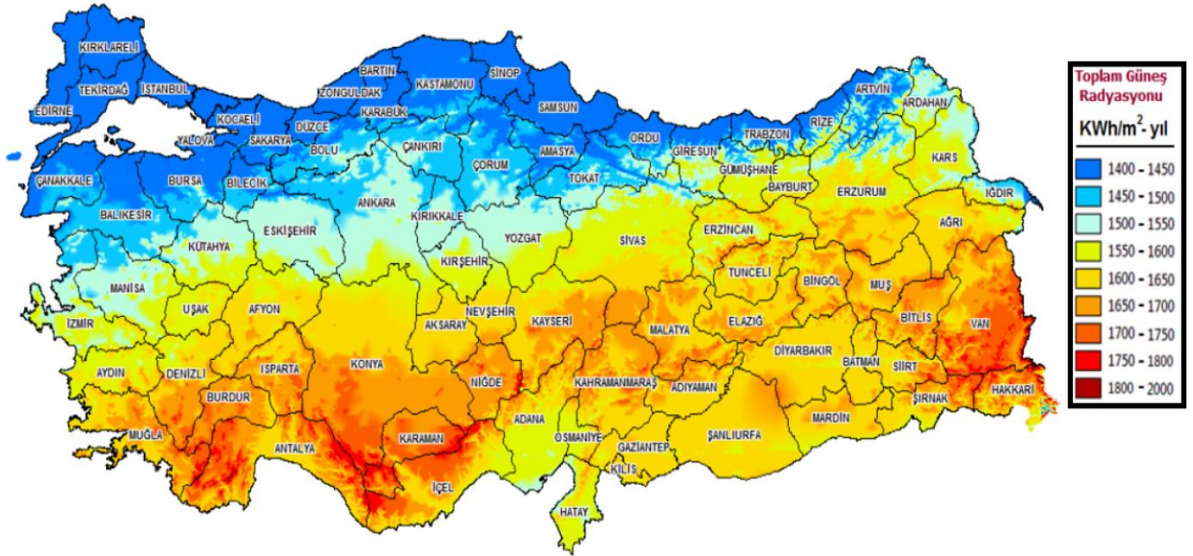
2.1.1 Güneş Enerjisi

Güneş Enerjisi, Güneşteki patlamalardan açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneşten Dünya'ya ve atmosferi geçene kadar bu enerji 1370 Watt/m^2 seviyesinden $0-1100 \text{ Watt/m}^2$ dolaylarına kadar düşmektedir. Güneş enerjili teknolojik sistemler farklı yapıda olabilirler. Başlıca fotovoltaiik veya ısı güneş teknolojileri kullanılır. Fotovoltaiik panel, fotovoltaiik led veya güneş pili olarak adlandırılan bu sistemler yarı-iletken olarak fotovoltaiik hücre denen malzeme üzerine düşen güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çevirebilmektedir.

Güneş enerjisi sadece elektrik üretmede değil hayatımızda aydınlatma, çatı kolektörleriyle sıcak su, bina sıcaklıkları için soğutma-ısıtma sistemlerinde veya bazı hesap makineleri gibi gündelik olarak kullandığımız araç gereçlerde kullanılan bir enerji çeşididir. Son zamanlarda da ulaşım araçlarında güneş panellerinden üretilen elektrikten yararlanılmaktadır. Suyun hidrolizi için gereken enerji ucuz olan güneş enerjisinden sağlanarak hidrojen elde edilip yakıt olarak kullanılmaktadır. Yine su pompaları için gerekli olan enerji güneş panellerinden sağlanabilmektedir.

Güneş tarafından bir dakikada dünyaya düşen enerji dünyamızın bir yıllık enerji ihtiyacından çok daha fazla olduğu T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmî web sayfasında paylaşılmıştır. (Anonim, 2021a)

Yine bakanlığın hazırladığı, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre Türkiye'de ortalama güneşlenme süresi yıl bazında 2741,07 saat olarak hesaplanmıştır. Bu da toplam elektrik üretiminde payı %3,6 olduğu anlamına gelmektedir.

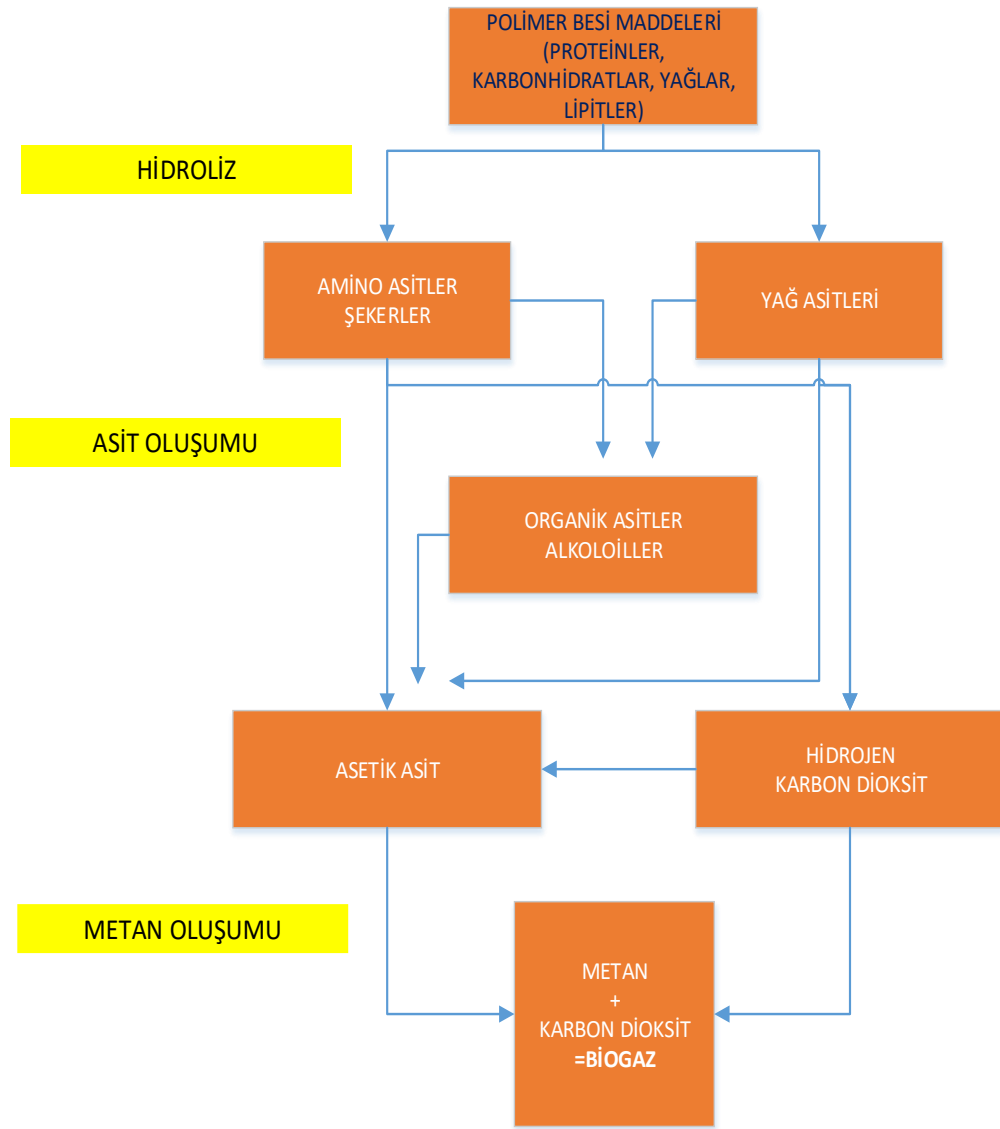


Şekil 2.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

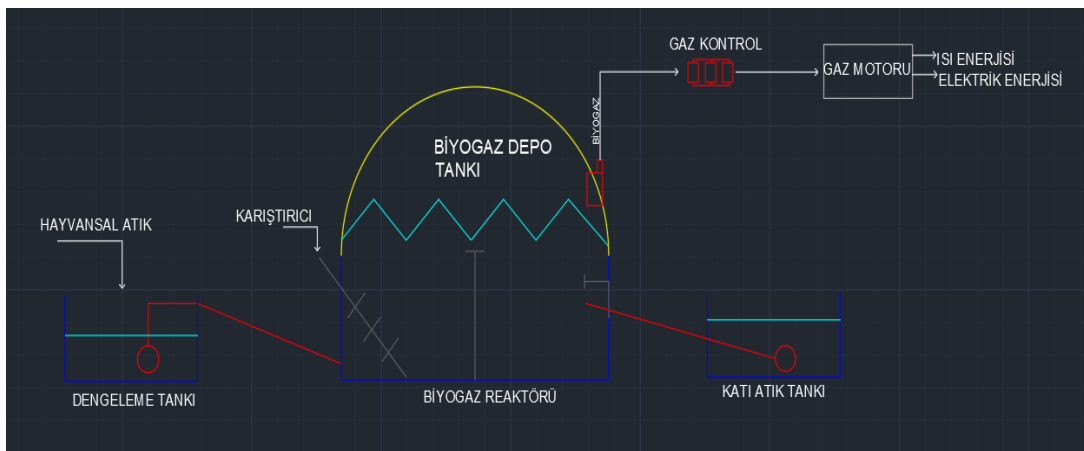
2.1.2 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi gücünü sonsuz enerji kaynağı olarak belirtilen güneşten alır. Güneşteki patlamalardan sekiz dakika sonra Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin %1-2 kadarlık kısmı rüzgâr enerjisine kaynaklık eder. Yeryüzünün ve atmosferin gelen bu enerjiyle homojen olmayarak ısınması sıcaklık ve basınç farkını oluşturur. Bu durum da hafif olan sıcak havanın yükselmesine, daha ağır olan soğuk havanın ise yükselmiş olan havanın açtığı alana doğru yatay ekseninde hareket etmesine rüzgâr denir. Diğer tanımlarından biri de iki farklı basınç merkezlerinde yüksek basınçtan alçak basınca doğru akan hava olarak tanımlanır. Rüzgâr'da iki temel belirteç vardır: hız ve yön. Rüzgârın hızı yükseltinin artmasıyla artar ve rüzgârın gücü hızın küpü ile doğru orantılıdır.

Toplumlar geçmişten günümüze rüzgârın gücünden başta tahıl öğütmek, yeraltından su çıkarmak için ve ulaşımda kullanmışlardır. Bu kullanım alanlarında rüzgârın sürekli, sonsuz ve maliyetlerinin çok düşük olmasının etkisi büyüktür. Rüzgâr enerjisinden elektrik elde etme fikri ilk olarak 1888'de ortaya çıktı. Gelişen teknolojiyle Rüzgâr Enerji Santralleri (RES) kurulması artarak devam etmektedir. Türkiye 2016'da Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) haritası yayınlamıştır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı sayfasında 2020 Mayıs ayı itibari ile atlasın güncellendiğini belirtmiştir. Bakanlığın sitesine göre Türkiye'de kurulabilecek rüzgârlı elektrik santrallerinin (RES) toplamda potansiyelinin 47 849,44 MW olduğunun belirlendiğini söylemiştir. Hesaplama deniz seviyesinin 50 metre yüksekliğinde, rüzgârın 7,5 m/s



Şekil 2.3. Anaerobik Çözünme Aşamaları



Şekil 2.4. Hayvansal Atık İşleyen Bir Biyogaz Tesisi

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırladığı Ülkemizin biokütle enerji potansiyelinin belirlenmesinde kullanılacak Biokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre atıklardan elde edilebilecek toplam ekonomik enerji eşdeğer olarak 3,9 MTEP/yıl civarındadır. Toplam elektrik üretimindeki payı 2020 yılı itibarıyla %1,8'dir, (Anonim, 2021c)

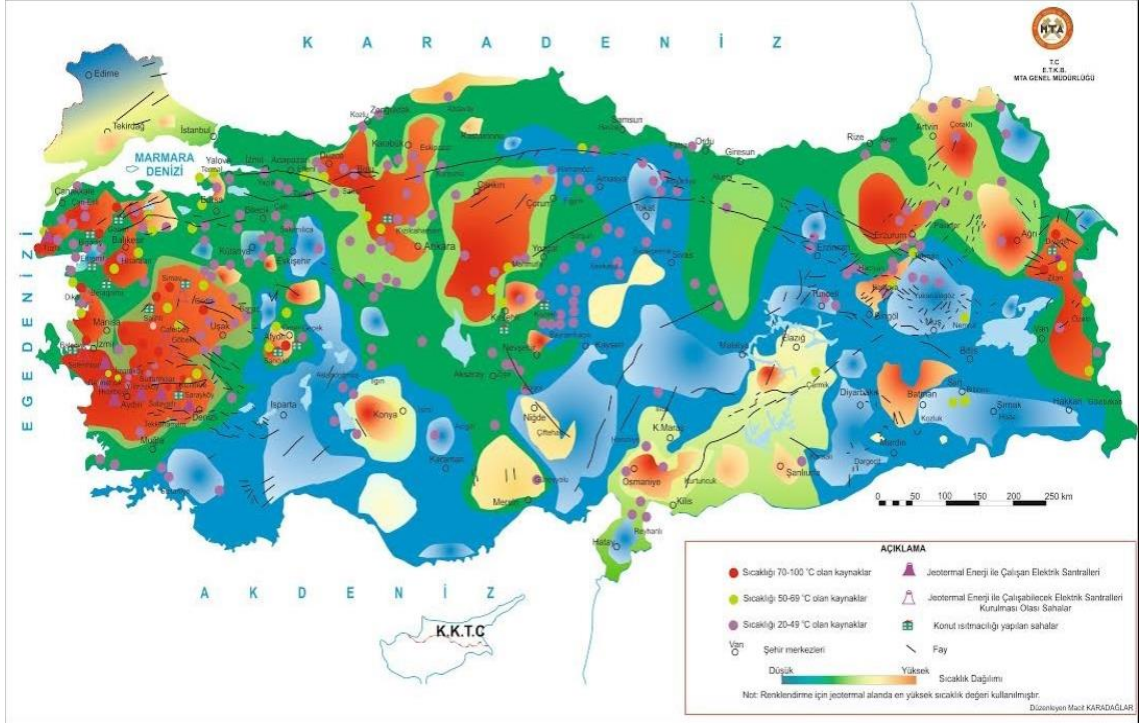
2.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer yüzeyinin altında bulunan sıcak magma tarafından ısınan yeraltı suyunun yeryüzüne yakın yerlerde dışarı çıkmasıyla jeotermal tesisler ve jeotermal enerji santralleri (JES) olarak insanoğluna hizmet etmektedir. Elektrik, ısı veya sağlık sektöründe kullanılan içerisinde bolca çözünmüş minerallerin, tuzların veya gazların olduğu sıcak su veya buharın oluşturduğu yüzeye taşınan ısı enerjisi olarak da tanımlanmaktadır.

Türkiye jeotermal enerji potansiyeli bakımından Avrupa'da birinci, Dünyada ise ABD, Endonezya ve Filipinler'in ardından dördüncü sırada yerini almaktadır. Türkiye'de jeotermalin %90'ı düşük veya orta sıcaklık kategorisinde yer aldığından termal, sağlık veya ısı elde etmek için direkt uygulanabilecek duruma sahiptir. %10 ise yüksek sıcaklık kategorisinde yani 69°C derecenin üzerinde olduğundan elektrik üretimi için dolaylı olarak kullanılabilir.

Gelişen teknolojiyle 28 bin metreye kadar sondaj yapılabildiğinden 35.000 MWe potansiyel öngörülmüştür.

Özellikle Ege Bölgesinde ısınma amaçlı olarak kullanılan jeotermal enerjinin 2020 yılı itibarıyla toplam elektrik üretimindeki payı %3,25 ve kurulu güç 1613 MW olarak bildirilmiştir (Anonim 2021d).



Şekil 2.5. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli Atlası

2.1.5 Hidrolik Enerji

Türkiye'de ilk küçük hidroelektrik santral 1902 Tarsus'ta kurulmuştur. Ülkemizin ilk önemli barajı ise içme suyu ihtiyacı için 1936 yılında Ankara'da kurulan Çubuk-1 Barajı'dır. Seyhan Barajı ise 1956'da kurulan ilk HES (HidroElektrik Santrali) olma özelliği taşımaktadır. 1972'de Gökçekaya, 1975'de Keban, 1981'de Hasan Uğurlu, 1984'de Oymapınar, 1987'de Karakaya, 1988'de Altınkaya, 1989'da Menzelet, 1992'de Atatürk Barajı öne çıkan büyük barajlarıdır. 2018 yılı sonu itibarıyla ülkemizde toplam kurulu gücü 28,423 MW (megawatt) olan 644 adet HES bulunmaktadır. Ortalama yıllık üretimi ise 99.1 milyar kW olup, bu değer toplam geliştirilen potansiyelin yaklaşık %55'ine karşılık gelmektedir. Bunların dışında inşaat halinde 55, inşaatı henüz tamamlanamamış 554 adet HES projesi bulunmaktadır, (DSİ, 2018). 2022 Mart ayı sonu itibarıyla elektrik üretimi kurulu gücü 100, 334 MW'a ulaşmıştır. Kaynaklara göre dağılım ise %31,4'ü hidrolik enerji, %25,4'ü doğal gaz, %20,4'ü kömür, %10,8'i rüzgâr, %8,0'i güneş, %1,7'si jeotermal ve %2,4'ü ise diğer kaynaklar şeklindedir (Anonim, 2022).

2.2 Enerjinin Depolanması

Enerjinin üretilmesi kadar depolanabilmesi de önemlidir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili olması ve zamana göre değişiklik göstermesiyle beraber talebin de zamana göre değişiklik göstermesi sebepleriyle depolamanın önemi artmaktadır.

Elektrik enerjisi birçok formda depolanabilir. Başlıcaları elektromanyetik, mekanik veya elektrokimyasal depolamadır. Elektromanyetik depolama sistemlerine örnek olarak; Ultra kapasitörler ve süper İletken manyetik enerji depolama sistemleri verilebilir. Mekanik depolama sistemlerine örnek olarak; sıkıştırılmış hava enerji depolama Sistemi, volanlı enerji depolama sistemi ve PHES. Elektrokimyasal depolama sistemlerine örnek olarak; Bataryalar, akışlı bataryalar ve yakıt Pilleri örnek olarak gösterilebilir (İbrahim, Ilinca ve Perron, 2018).

Enerji depolama sistemlerinde elektrik arz zaman dilimlerini değiştirmek, elektrik arzında kapasite artışı, yenilenebilir enerji sistemlerinde hizmet zamanını kaydırabilmek gibi amaçlar bulunmaktadır.

Çeşitli teknolojilerin kullanıldığı bu depolama sistemlerinden dünyada en büyük depolama sistemi olarak kullanılan sistem PHES'tir. PHES'ler 135.000 MW'ın üzerinde kurulu güç olarak 39 ülkede işletilirken, Japonya 25.000 MW üzerinde kurulu gücüyle ilk sırayı almaktadır (Sertkaya vd. 2015).

2.3 Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santral ve Önemi

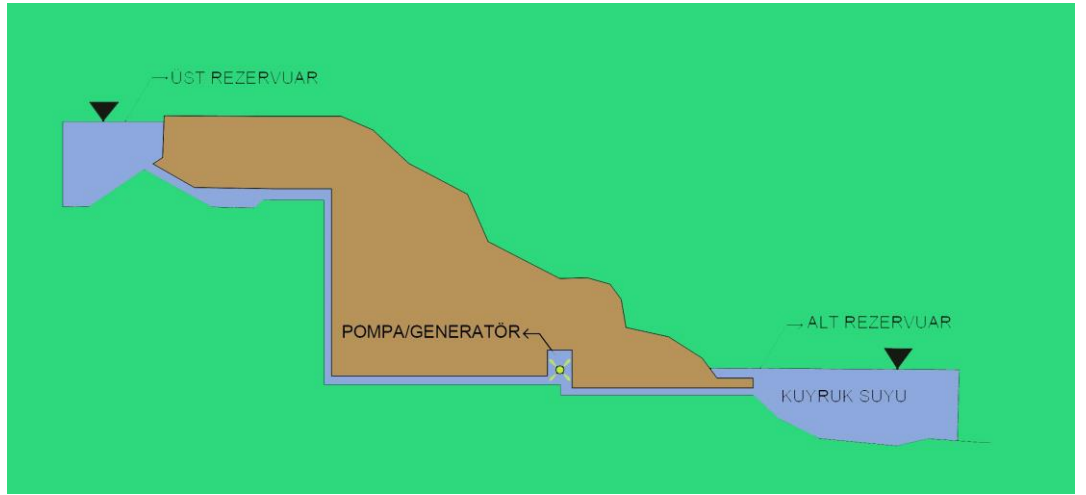
Enerji çeşidi olarak kullanılan elektrik enerjisinin depolanması halen çok pahalıdır. Bundan dolayı üretilen elektrik yerine elektrik üretilecek kaynağı elektrik üretilebilir formlarda depolamak daha ucuzdur. Enerji depolamada; kısa süreli depolayarak aniden yüksek güç üretimi için farklı sistemler, uzun süreli depolama ve yük dengesini sağlamak için farklı sistemler kullanılmaktadır. Uzun süreli ve yük dengesi için kullanılabilen ekonomik ve yeni yapılacak sistemlere kolay entegre olabilen sistemlerden en ucuz maliyeti pompa depolamalı hidroelektrik santrallerdir (PDHES).

PDHES'ler hidroelektrik santrallerinin bir çeşididir. PDHES'lerin amacı enerji ihtiyacının az olduğu zamanda suyu üst rezervuara taşımak ve gün içerisinde enerji

ihtiyacının pik olduğu saatlerde arz güvenliğini artırmaktır. Gün içerisinde değişen elektrik ihtiyacına anlık olarak cevap verebilecek kadar büyük bir enerjiyi PDHES'lerle sağlamak mümkündür. Nükleer santraller gibi santraller günler sonra tam kapasite devreye alınabildiği göz önüne alınırsa PDHES'lerin önemi daha da göze çarpmaktadır.

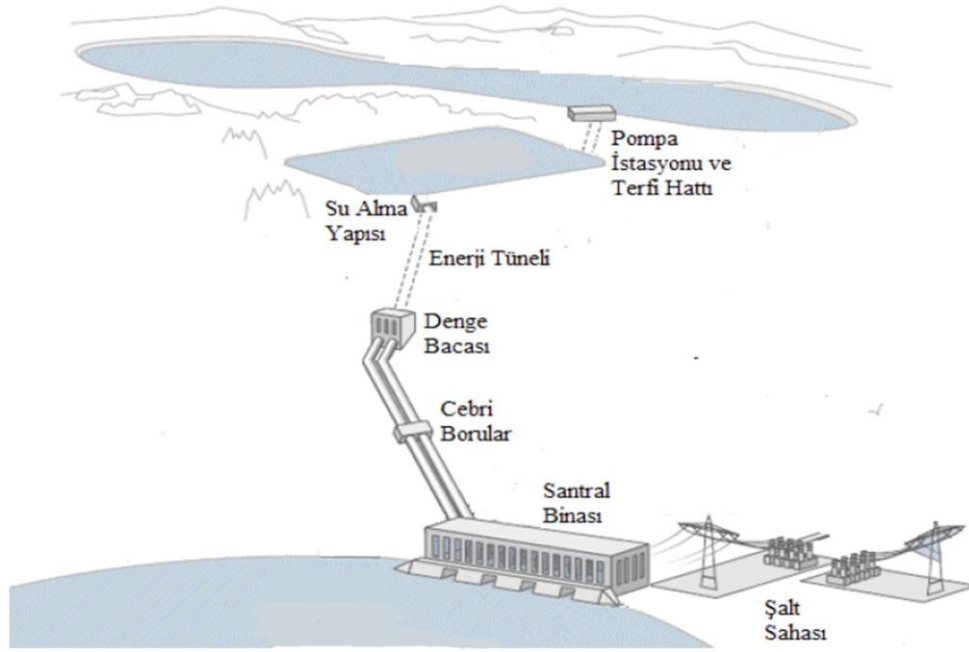
2.3.1. PDHES'in Çalışma Yöntemi

Pompa depolamalı hidroelektrik santraller, elektrik talebinin az, elektrik fiyatının düşük olduğu saatlerde suyun pompayla farklı bir üst rezervuara pompalanması ve elektrik ihtiyacının pik noktada olduğu saatlerde suyu pompalayan pompanın tersinir olarak motor gibi çalışıp elektrik üreterek hem ihtiyaca cevap verme hem de bu saatlerdeki elektrik fiyatlarının düşmesini sağlayan, bunu yaparken de 3-5 dk. gibi kısa zamanda devreye alınıp, devreden çıkartılabilen bir enerji depolama sistemidir (Zipparo ve Hasen, 1993).



Şekil 2.6. Pompaj Depolamalı Hidrolik Santralin Temel Bileşenleri

Bu depolama sistemi; yeni inşa edilerek veya geleneksel hidroelektrik santrallerine bir üst rezervuar inşa edilerek suyun pompalanması ve ihtiyaç anında düşü farkından yararlanılarak elektrik üretme prensibine dayanır.



Şekil 2.7. Yakınındaki Rezervuarlardan Beslenen PDHES (Tuna,2012)

Pompaj depolamalı santraller yapı tipine ve işletim sistemine göre sınıflandırılmaktadırlar. Yapı sistemine göre geleneksel olarak nehir dışı veya kapalı devre olanlarda iki rezervuardan bir tanesi nehir dışında olup enerji üretimi tamamen pompaja bağlıdır. Bunlara saf pompaj depolamalı da denmektedir. Rezervuarlardan bir tanesi ve genellikle aşağı rezervuar bir doğal kaynaktan beslenmektedir. Bu doğal kaynak nehir, mevcut baraj gölü, doğal göl, yeraltı suyu veya deniz suyu olabilmektedir. İkinci tip ise nehir üstünde art arda inşa edilmiş santrallerde geri beslemeyi sağlayacak pompa sisteminin yerleştirmesiyle olan yapılardır. Bu yapılara karışık pompaj depolama denilmektedir (Anonymous1985 ve Zipparo ve Hasen (1993)).

PDHES'in kısımları; alt rezervuar, üst rezervuar, su iletim tesisleri (cebri boru, tünel, su alma yapısı, kapaklar, vanalar, vb.), güç tesisleri ve yardımcı ekipmanlardan oluşur (Zipperman ve Hasen, 1993, Çetinkaya 2014):

Alt Rezervuar: Alt rezervuar doğal bir yapı olabildiği gibi baraj gölü olarak da inşa edilebilir. İnşaat kısmının en ekonomik olacağı, kazı ve dolgunun minimum olmasına dikkat edilmelidir.

Üst Rezervuar: Suyun pompalanarak yüksek kotta biriktirildiği genellikle yapay olan göllerdir. Üst rezervuarın düşü yüksekliğinin en az 100 m olması tavsiye edilir (Zipparo ve Hasen, 1993) Yatayda da borulardaki sürtünmenin daha az olması için en kısa mesafeyi seçmek önemlidir.

Su İletim Tesisleri: En önemli bileşeni yüksek basınçta dayanaklı borulardır. Enerji kayıplarını önlemek amacıyla çap değişikliğinden kaçınılır ve sistemin ekonomik olması için kısa tutulmaya özen gösterilir. Bunun dışında su alma yapısı, tüneli, kapaklar ve vanalar da sistemde bulunurlar.

Güç Tesisleri: Pompa, türbin, motor ve jeneratör ve bazı yardımcı aksamaları kapsar. Pompa ve türbinin ayrı ayrı olduğu ve her birinin ayrı bir hatta sahip olan PHES’lerde pompa ve türbin ayrı ayrıdır. Ancak enerji üretimi ve pompajlamanın tek bir hat üstünde konuşlandığı zaman çift işlevli (reversible) pompa-türbinler kullanılır. (Anonymous, 1981, Zipparo ve Hasen, 1993).

Yardımcı Ekipmanlar: Trafo, güç panelleri, kontrol sistemlerini vb. yapıları kapsar.

2.3.2 PDHES’in Avantaj ve Dezavantajları

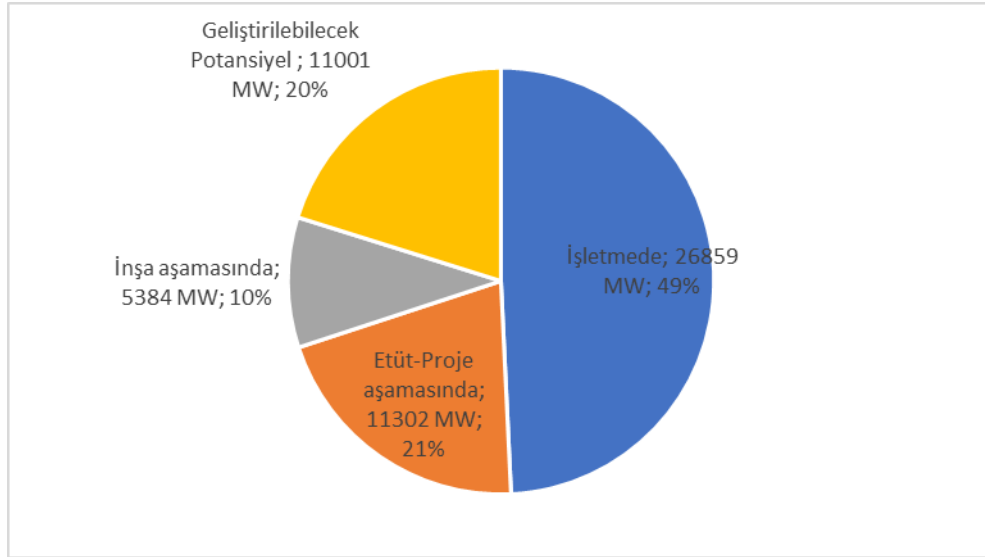
2.3.2.1 Avantajları

Hidroelektrik santraller 3-5 dk. gibi kısa zamanda devreye alınabilirler. PHES’ler büyük yük depolar ve yük dengelemek için kullanılabilirler. Bir PDHES, 90 saniye içinde çevrimiçi duruma getirilebilir ve 120 saniye içinde tam güçte çalışabilir. Ayrıca pompalamadan üretime veya üretimden pompalama moduna 180 ila 240 saniyede geçebilir. (Göktaş,2018)

Diğer bir faydaları da yenilenebilir enerjilerin üretiminde çok ani değişimler enerji arzını tehlikeye sokar, bu durumlarda enerjinin üretilebildiği saatlerde kullanım fazlasının depolanması enerji arzındaki devamlılığı sağlar. Üretim ile tüketim arzındaki zaman farkını kapatmayı amaçlar. Enerjide arz güvenliği ve enerjide dışa bağımlılığı azaltıcı gibi görevler görür.

2017 yılında yapılan 2. Ormancılık ve Su Şurasındaki barajlar çalışma grubunun taslak raporunda “Enerji ve su kaynakları bakımından zengin bir ülke olmayan Türkiye nüfusunun 2030 yılında Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’ e göre 100 milyona ulaşması ön görülmekte olup bu durumda kişi başına düşen su miktarının 1120 m³/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla, ülkemizde yaşayan vatandaşlarımızın refah seviyesinin artırılabilmesi için küresel ısınma, iklim değişikliği, kuraklık ve taşkın ile mücadele maksadıyla çevre ve kültürel varlıklarımıza da gereken hassasiyet gösterilerek

teknik ve ekonomik açıdan yapılabilir olan her büyüklükteki depolama tesisimizin inşa edilerek bir an önce işletmeye alınması suretiyle su kaynaklarımızın geliştirilmesi ve mevcut envanterimizin servis ömrünün korunması ve uzatılması Türkiye için hayati öneme sahiptir.” diye ibare telaffuz edilmiş olup aşağıdaki grafik yine DSI’nin verilerinden elde edilerek paylaşılmıştır, (Anonim,2017).



Şekil 2.8. Barajlar Çalışma Grubunda Paylaşılan Veriler

Elektrik sistemi açısından ise voltajı kontrol edebilme, elektriğin kalitesini artırma, yenilenebilir enerji sistemlerine kolay entegre olabilmesi, yenilenebilir enerji sistemlerindeki iletim ve dağıtım masraflarını azaltması gibi faydaları öngörülmektedir. Depolama sistemlerinin genel faydalarından da frekans düzeltme, arz-talep dengesini kurma, üretim kapasitesinin zamanını geciktirebilme gibi faydalar söz konusudur. Genel olarak diğer sistemler elektrik üretimine geçebilmeleri için şebekeden enerjiye ihtiyaç duyarlar hidroelektrik santraller ise kendiliğinden üretime geçebilme yeteneğine sahiptirler.

Tüketici için fayda olarak elektrik fiyatlarını düşürür ve enerji kalitesizliğinden kaynaklanan zararları en aza indirir. Tesis sahipleri için de gün öncesi elektrik piyasasında kâr marjını artırır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmış olur.

2.3.2.2 Dezavantajlar

Pompaalı hidroelektrik santrallerin en önemli dezavantajı yatırım bedelinin uzun sürede geri dönebilmesidir. Bu durum da özel sektörün buna yönelmesinde devletin teşviklerinin veya muafiyetlerin tanınması gibi yönlendirmelerin yapılması gerekir. İnşaat sürecinde de topoğrafya durumu, heyelan riski ve rezervuarlar arası ulaşım da diğer teknik detaylardır.

2.4 Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Maliyet ve Verimliliği

Pompa depolamalı hidroelektrik santrallerde; var olan hidroelektrik santrallere entegre olması veya yeni bir pompa depolamalı hidroelektrik santrali (PDHES) mi inşa edilecek sorusunun cevabı maliyeti ve verimliliği doğrudan etkileyen bir seçim olacaktır. Suyun gücü özgül ağırlık, debi ve netdüşünün çarpımıyla elde edilir:

$$P = \rho g Q H \quad (4.1)$$

Bir türbinden elde edilecek güç:

$$P_p = \frac{\rho g Q H}{n_p} \quad (4.2)$$

Bir Pompadan elde edilecek güç:

$$P_T = n_i \rho g Q H \quad (4.3)$$

Burada:

P : Güç,

n : Verim (pompa veya türbin)

ρ : Suyun özkütlesi yoğunluğu,

g : Yer çekimi ivmesi,

H : Net düşü,

Q : Debi.

Ancak bir santralin verimi hesaplanırken iletim tesisleri, mekanik aksam, jeneratör oluşacak tüm kayıplar dikkate alınarak hesaplanır. Chen (1993) işletmedeki bazı santrallerin verimliliğini inceleyerek olası alt ve üst limitleri tanımlamıştır (bkz. Zipparo ve Hasen, 1993, sayfa):

Çizelge 2.1 Bir Pompaj Depolama Santralinde Verimler (Zipparo ve Hasen, 1993).

	En düşük (%)	En yüksek (%)
Üretim Bileşenleri		
Su İletimi Tesisleri	97,4	98,5
Pompa-Türbin	91,5	92
Jeneratör	98,5	99
Trafo	99,5	99,7
Üretim toplam verimliliği	87,35	89,44
Pompaj Bileşenleri		
Su İletim Tesisleri	97,6	98,5
Pompa	91,6	92,5
Jeneratör	98,7	99
Trafo	99,5	99,8
Pompaj toplam verimliliği	87,80	90,02
İşletme verimliliği	98	99,5
Toplam tesis verimliliği	75,15	80,12

Tabloya göre tesisin toplam verimliliği %70-80 arasında değişmektedir. Ancak gelişen teknolojiyle beraber verimlilik %80'in üstüne çıkmıştır. Gelişen teknolojiyle verimlilik %80 civarlarını aşmıştır. Verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden biri üst rezervuarın santralle olan düş yüksekliği ile cebri borunun uzunluğu ve türü olarak gösterilebilir. 2017 yılında yapılan 2. Ormancılık ve Su Şurasındaki barajlar çalışma grubunun taslak raporunda yapılacak olan mevzuatın, PDHES'in enerji tüketicisi olmasından dolayı pompajda kullanılacak enerjinin ancak rüzgâr türbinleri, güneş paneli veya nükleerden beslenmesi şartıyla izin verilmesi gerektiği belirtilmiştir.

PDHES'lerde verimlilik çok değişkenli seçeneklerden yapılan seçimlere göre belirlenir. Alt rezervuar ve üst rezervuar seçimleri, rezervuarlar arası mesafe, rezervuarlar arası kot farkı hidrolik performansı etkileyen önemli özelliklerdir. Yeni bir PDHES yapılabilirdiği gibi mevcut HES'lere eklemeler yapılarak da PDHES'e dönüşüm sağlanabilir (Lacal Arantegui ve Tzimas, 2012, Sertkaya vd. 2015, Çetinkaya 2014). Yapının tipi ve alt ve üst rezervuarların seçimi, mekanik aksamın seçimine göre farklı

tesisler yapılabilir. Yapısal olarak olası seçenekler ((Lacal Arantegui ve Tzimas, 2012) şunlardır:

1. Enerji santrali olmayan mevcut rezervuarın cebri boruyla bağlanması
2. Mevcut bir baraj veya doğal göl rezervuarlardan biri olarak kullanılırken ikincisini eklemek.
3. Her iki rezervuarı da nehir dışında bir yerde inşa etmek.
4. Denizi alt rezervuar olarak kullanmak ve bir üst rezervuar yapmak.
5. Geleneksel hidroelektrik ardışık barajlara pompaj kapasitesi ekleyerek çoklu sistem yapmak.
6. Yeterince su hacmi olan bir nehri alt rezervuar olarak kullanmak.
7. Terkedilmiş maden sahalarında yer altında bir alt rezervuar yapmak.

Bunlara ek olarak pompa ve türbin birimlerinin ayrı ayrı mı yoksa tersinir çalışan pompa/türbin kullanılabilmesi seçenekleri artırır. Öte yandan üretim ve pompajın günlük, haftalık, aylık veya mevsimlik olup olmayacağı da bir başka seçenektir. Tüm bunlara ilaveten pompaj enerjisinin kaynağı da (rüzgar, güneş vb) maliyet ve verimliliği etkileyecektir.

2.5 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Dünyadaki Durumu

Dünyadaki en önemli yenilenebilir enerji kaynağı hidroelektrik enerjidir. Hidroelektrik enerjinin dünya üzerinde 159 ülkede tam kapasite ile kullanılıyor olması, elektrik üretiminde hidroelektrik enerjinin önemini göstermektedir. Dünya ülkelerinin ortalamalarına baktığımızda enerjilerinin %67,2'sini fosil yakıtlardan, %16,3'ünü hidroelektrik enerjiden, %12,8'ini nükleer enerjiden, %3,6'sını rüzgâr, güneş, jeotermal ve diğer enerji kaynaklarından sağladıkları görülmektedir (Bozan, 2019).

En uzun ömürlü depolama şekli olan PDHES'lerin maliyetinin de düşük ve en yüksek verimli depolama çeşidi olmasından dolayı dünya ülkelerinde geniş uygulama alanları bulmuştur. Enerji depolama sistemlerinde uluslararası yenilenebilir enerji ajansı verilerine göre küresel depolama gücü kapasitesinin yaklaşık %96'sını ve küresel depolamanın enerji hacminin %99'u PDHES vasıtasıyla gerçekleşmektedir. (Blakers vd., 2021). Çizelge 2.1 ülkelerin kurulu güçlerini göstermektedir. Yapılan bazı tahminlere göre 2020 yılına kadar Avrupa ülkelerinde toplam kurulu gücün 218 000 MW olduğu

bunun 51 000 MW'ının yani 1/4'ünü PHES'lerin oluşturduğunu belirtmiştir” (Anonim,2018).

Japonya’da denizden beslenen Okinava PDHES (Şekil 2.9) santral tipi, üç tarafı deniz olan ülkemiz için araştırılması gereken PDHES tiplerindendir. Bu tipin avantajı alt rezervuar inşa edilmesine gerek olmamasıdır. Dezavantajlarından bazıları ise deniz mahsullerinin pompaya yapışma türü zararlar verebilmesi, üst rezervuardan su sızıntılarının yeraltı sularına karışabilmesi ve tuzluluk nedeniyle oluşabilecek korozyonlardır. Tabi bu riskleri gelişen teknolojiyle, özel üretimlerle bertaraf etmek mümkün olabilmektedir. Şekil 2.10 ise bazı PDHES’leri göstermektedir.

Çizelge 2.2. Bazı Ülkelerin Kurulu PDHES Güçleri (Sertkaya ve ark.,2015)

ÜLKE	PDHES KURULU GÜCÜ (MW)	ÜLKE	PDHES KURULU GÜCÜ (MW)
Çin	33 199	Portekiz	3 547
Japonya	28 652	İngiltere	3 428
Amerika	26 645	Ukrayna	3 173
İspanya	7 903	G.Afrika	2 912
İtalya	7 485	Tayvan	2 608
Hindistan	6 772	Avusturalya	2 542
Almanya	6 688	Rusya	2 196
İsviçre	6 427	Tayland	1 391
Fransa	5 894	Bulgaristan	1 052
G.Kore	4 700	İran	1 040
Avusturya	4 820	Norveç	967



Şekil 2.9. Japonya’da Denizi Alt Rezervuar Olarak Kullanan Okinawa PDHES



Şekil 2.10. Çeşitli Ülkelerde Yapılmış PDHES Örnekleri

2.6 Türkiye’nin Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santraller Potansiyeli

Türkiye’de henüz pompa depolamalı hidroelektrik santrali (PDHES) bulunmamaktadır. Gelişmişlikle beraber gün içerisinde puant enerji farkının artması enerji depolama sistemine geçilmesini zorunlu kılmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Ortalama Piyasa Takas Fiyatlarının Gün İçinde Değişimi, (TL/MWh), (Göktaş, 2018)

Yıllar	Saatler		Fark (%)
	02:00-06:00	09:00-16:00	
2012	104,46	171,88	60,77
2013	104,90	175,04	59,92
2014	126,04	184,99	68,13
2015	89,34	165,65	53,96
2016	84,46	174,14	48,50
2017	126,04	189,26	66,59

PDHES yapımı konusunda somut adımlar atılmıştır. İlk olarak Tokyo Elektrik İletim AŞ. ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), Türkiye Elektrik İletim AŞ. iş birliği ile “Türkiye Pik Talebin Karşılınması için Optimal Güç Üretimi” başlıklı çalışma kapsamında Çizelge 2.4’te verilen projeler önerilmiştir, (Saraç,2009). Önerilen projeler arasından Gökçekaya PHES (1400 MW) fizibilite çalışması DSİ tarafından YEGM-TEİAŞ-EÜAŞ iş birliği 2015 yılında tamamlanmış ve 2021 yılında ihale edilmiştir. (Anonim, 2018, Saraç, 2009 Yorgancılar & Kökçüoğlu, 2009,). PDHES’lerin enerji sektöründeki yerinin netleştirilmesine yönelik düzenlemelerin ve izlenecek yöntemin ve modelin belirlenmesinde fayda sağlayacak yol haritasının oluşturulması çalışmaları YEGM, EİGM, DSİ, EPDK, TEİAŞ, EÜAŞ, EPIAŞ katılımlarıyla 2017 yılında tamamlanmış ve 2018’de yapılan PHES yol çalıştayında konu şöyle açıklanmıştır: “Mülga EİE döneminde JICA ile yapılan çalışmalar sonucunda toplam 38 sahadan 24 tanesinin önerildiğini açıklamıştır. Bu noktaların elenmesinde çevresel etkiler, yerleşim yerlerine yakınlığı, jeolojik durumlar vb. kriterler baz alarak bir puanlama sisteminin yapıldığı ve bu kriterlere göre eleme yapıldığını belirtmiştir. Toplam 28 saha önerisinin; saha ziyaretleri ve yerinde yapılan incelemeler sonucunda 10 sahaya düştüğünü bu sahalardan enerji tüketimi ve iletimin ön planda tutulduğu Gökçekaya, Altınkaya ve Karacaören’e öncelik verilmesi tavsiye kararı çıkmıştır.

Ancak halen PDHES’ler için bir yasal düzenleme mevcut değildir. Yenilenebilir enerji sitemleriyle entegre olmasının, kamu eliyle mi özel sektör eliyle mi yapılacağı, yap işlet devret modeliyle mi yoksa uygulama alanı bulduğu ülkelerdeki gibi vergi muafiyetleriyle mi destekleneceği, YEKDEM tarafından desteklenip desteklenmeyeceği, pompalama kullanılacak enerjinin sistemden alınması durumunda

fiyatının nasıl belirleneceği ve talep bölgesine yakınlığının avantajlarının olup olmaması gibi konuların aydınlatılacağı bir mevzuatın da hazırlanması gerekmektedir.

Çizelge 2.4. EİE Tarafından Türkiye’de Planlanan PDHES’lerden Bazıları (Yorgancılar ve Kürkçüoğlu 2009)

Proje	Yeri	Kurulu Güç (MW)	Poje debisi (m ³ /s)	Düşü (m)
Kargı	Ankara	1000	238	496
Sarıyar	Ankara	1000	270	434
Gökçekaya	Eskişehir	1600	193	962
İznik-I	Bursa	1500	687	255
İznik-II	Bursa	500	221	263
Yalova	Yalova	500	147	400
Demirköprü	Manisa	300	166	213
Adıgüzel	Denizli	1000	484	242
Burdur Gölü	Burdur	1000	316	370
Eğridir Gölü	Isparta	1000	175	672
Karacaören-II	Burdur	1000	190	615
Oymapınar	Antalya	500	156	372
Aslantaş PHES	Osmaniye	500	379	154
Bayramhacılı	Kayseri	1000	720	161
Yamula	Kayseri	500	228	260
Hasan Uğurlu	Samsun	1000	204	570

3. MATERYAL YÖNTEM

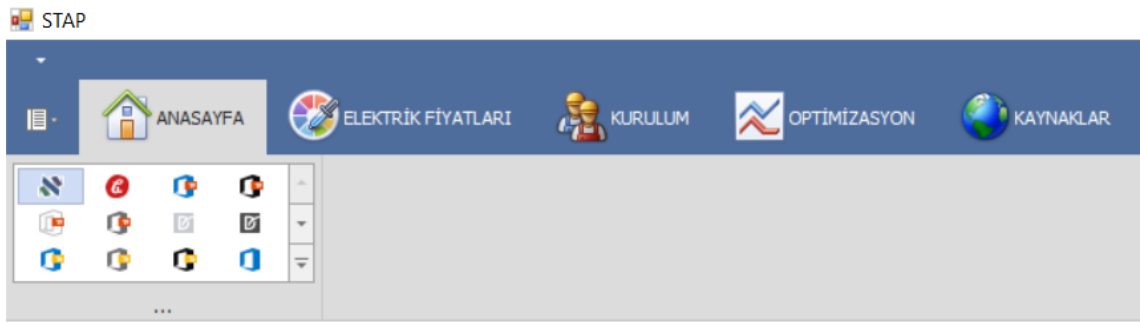
3.1. STAP Programı Hakkında Bilgi

Bu çalışmada sistem verimliliği enerji fiyatlarındaki farka dayalı olduğundan gerek hidrolik gerekse ekonomik analizlerin hızlı bir şekilde farklı oluşumlar veya senaryolar için hesaplayabilen bir bilgisayar programı (STAP) geliştirilmiştir. Programın amacı yapılması düşünülen bir proje için ön tasarım yapıp farklı seçenekler arasından kullanıcının seçim yapmasını kolaylaştırmaktır.

Microsoft Visual Studio 2019 kodlama paket programı (Aydemir, 2020) kullanılarak oluşturulan programda SQL Lite veri tabanı sistemi kullanılmıştır . Büyük verilerin saklandığı veri tabanı sistemlerinden SQL veri tabanı sisteminin kullanılmamasının nedeni, SQL Lite veri tabanı programının farklı bilgisayarlarda kurulumuna SQL'in aksine ihtiyacın olmamasıdır. Böylece oluşturulan program herhangi bir bilgisayarda masaüstüne indirilip kurulumu tamamlanarak veri tabanı programı kurulmadan buna gerek duymadan kullanılabilir ve veri tabanından veri çekilebilmektedir.

Oluşturulan programda beş ana sekme bulunmaktadır.

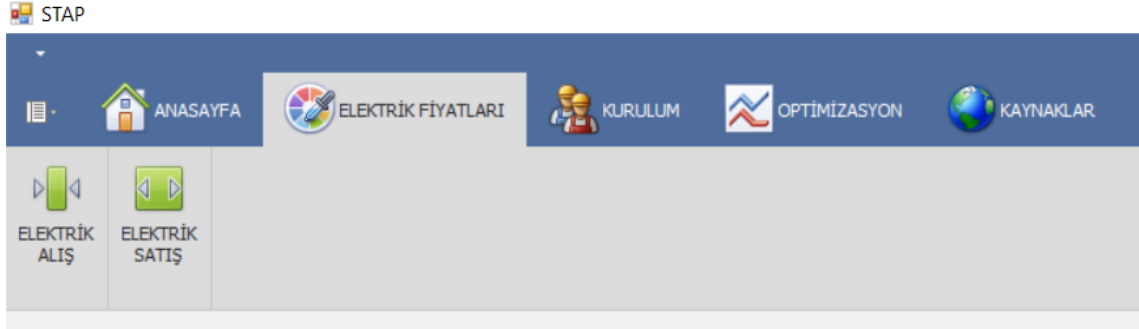
1. Anasayfa: Kullanıcının programı kullanacağı veya kullanmak istediği temalar bulunmaktadır (Şekil 3.1). Kullanıcı kendi ışıklandırmasına göre tema seçiminde göz konforuna göre seçim yapabilmektedir.



Şekil 3.1. Program Arayüzü

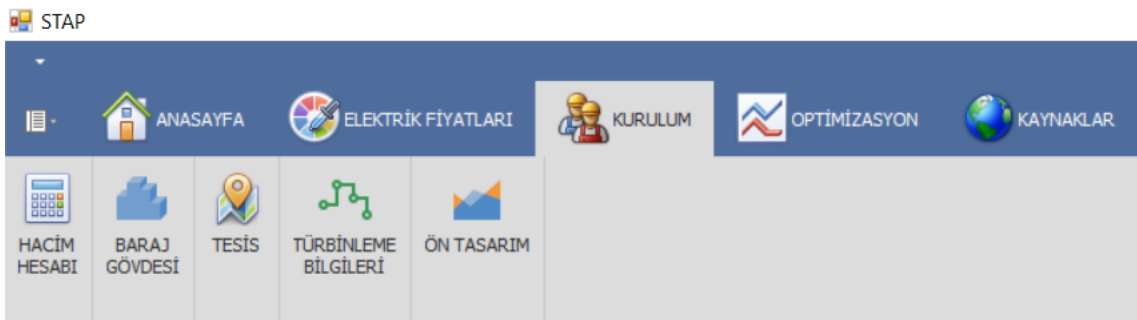
2. Elektrik Fiyatları: İkinci sekme pompajda tüketilecek elektrik için alış fiyatı belirleme ve türbinlemede satılacak elektrik fiyatlarını belirleme içindir. Elektrik Alış butonu veya Elektrik Satış butonu (Şekil 3.2) tıklandığında ilgili form açılmaktadır.

Kullanıcının istediği tarih aralığı, saat aralığı ve hafta içi mi? hafta sonu mu? Veya genel ortalama fiyatlarını mı? Filtrelerini yaparak gerçekleşmiş elektrik fiyatları ortalama olarak kullanıcıya program tarafından gösterilmektedir. Gerçek fiyatları kullanmak istemeyen kullanıcı manuel olarak da fiyat belirleyebilmektedir.



Şekil 3.2. Elektrik Fiyatları Sekmesi

3.Kurulum: Bu Sekmen'in altında beş buton bulunmaktadır (Şekil 3.3). Hacim hesabı butonu hacim hesabı yapmaktadır. Baraj gövdesi butonu yapılacak yeni baraj gövdelerinin bilgilerinin girilip maliyetinin belirlendiği butondur. Tesis butonu tünel bilgileri, cebri boru bilgileri, iletim hattı bilgileri, türbinleme ve pompaj saat sayısı, inşaat bilgileri, faiz bilgileri gibi bilgilerin girildiği formu açmaktadır. Türbinleme bilgileri butonu üst rezervuar hakkındaki bilgilerin girildiği ve enerji üretiminde kullanılacak brüt yüksekliğin manuel olarak girildiği formu açmaktadır. Ön tasarım butonu girilmiş olan verilerin Üretebileceği kurulu gücün taslak olarak belirlenmesini sağlayan formu açmaktadır.



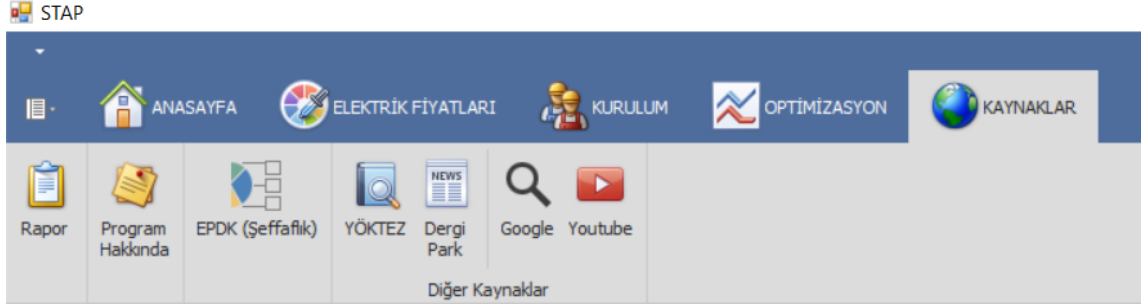
Şekil 3.3. Kurulum Sekmesi

4. Optimizasyon: Hidrolik (Optimum debi, optimum cebri boru çapı, optimum tünel çapı) ve ekonomik analizlerin program tarafından yapıldığı formu açmaktadır (Şekil 3.4).



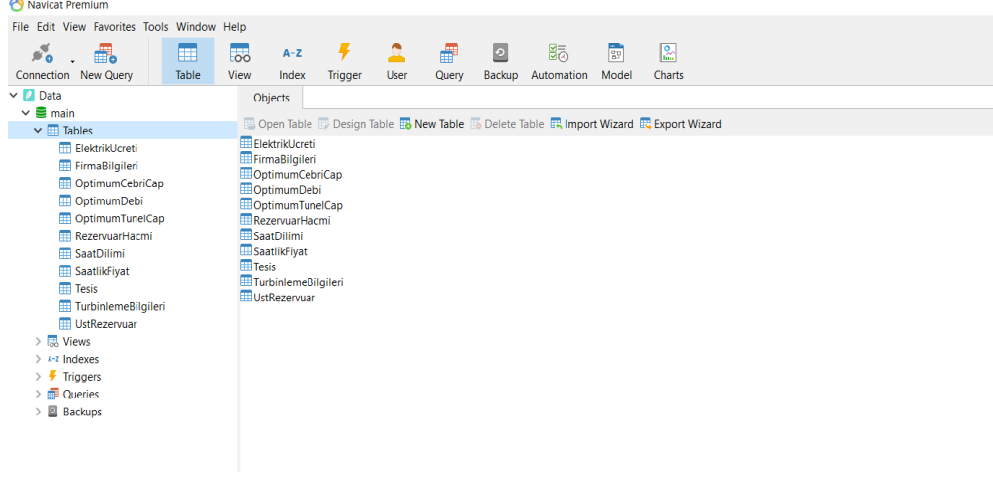
Şekil 3.4. Optimizasyon Sekmesi

5. Kaynaklar: Yardımcı olabilecek kaynakların ve linklerinin bulunduğu butonlar ve programın kullanımı hakkında bilgilere erişilebilecek kullanıcıya yardımcı olacak sekmedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kaynaklar Sekmesi

Kullanıcının program ara yüzünde girdiği veriler veri tabanında oluşturulmuş olan ilgili tabloya aktarılıp diğer formlarda kullanılmak üzere program tarafından okunmaktadır. (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Veritabanında Oluşturulmuş Tablolar

EPIAŞ Şeffaflık Platformu Resmi internet sitesinden 2015-2020 arası Piyasa Takas Fiyatı (PTF) ilgili tabloya (Şekil 3.7) aktarılmasıyla oluşturulan tabloda programımızda kullanabileceğimiz bazı yeni sütunlar da oluşturulmuştur. EPIAŞ şeffaflık Platformu Verilerinden gelen; tarih, saat, TL (MW), dolar (MW), ve Euro (MW) sütunları olduğu gibi alınmış veri tabanında ilgili tabloya aktarılmıştır. İnternet sitesinden çekilen verilerde hafta içi olup olmadığı belli değildir. Elektrik üretim ve tüketiminde belirleyici bir role sahip olan bu ölçüt için yeni bir sütun eklenmiştir (HiS). Hafta içi veya hafta sonu elektrik fiyatlarını çekmek isteyen kullanıcının ihtiyacını karşılayarak, programın kullanılabilirliği artmıştır. Yeni oluşturulan sütunda (HiS) hafta içi veya hafta sonunun 0 veya 1 şeklinde Excel'den yardım alınarak oluşturulmuş ve Excelden alınan yeni sütunumuz da veri tabanındaki tabloya yapııştırılmıştır. Böylece kullanıcının açılır kutudaki hafta içi, hafta sonu ve genel ibaresini seçmesinde veri tabanı arkada 0 veya 1 veya tümünün ortalamasını alarak kullanıcıya gerçekleşmiş elektrik fiyatlarının ortalamasını göstermektedir. Kullanıcı istediği filtrelemeyi yaparak PTF fiyatlarını görebilmektedir (Şekil 3.8). Kullanıcı elektrik alış-satış için; tarih aralığını, saat aralığını, hafta içi olup olmadığına karar verdikten sonra program veri tabanında kullanıcının filtrelerine göre ilgili tablodan elektrik fiyatlarını kullanıcıya gösterir. Ve yine program bu oluşturulmuş filtrelere göre oluşan bu fiyatı daha sonra

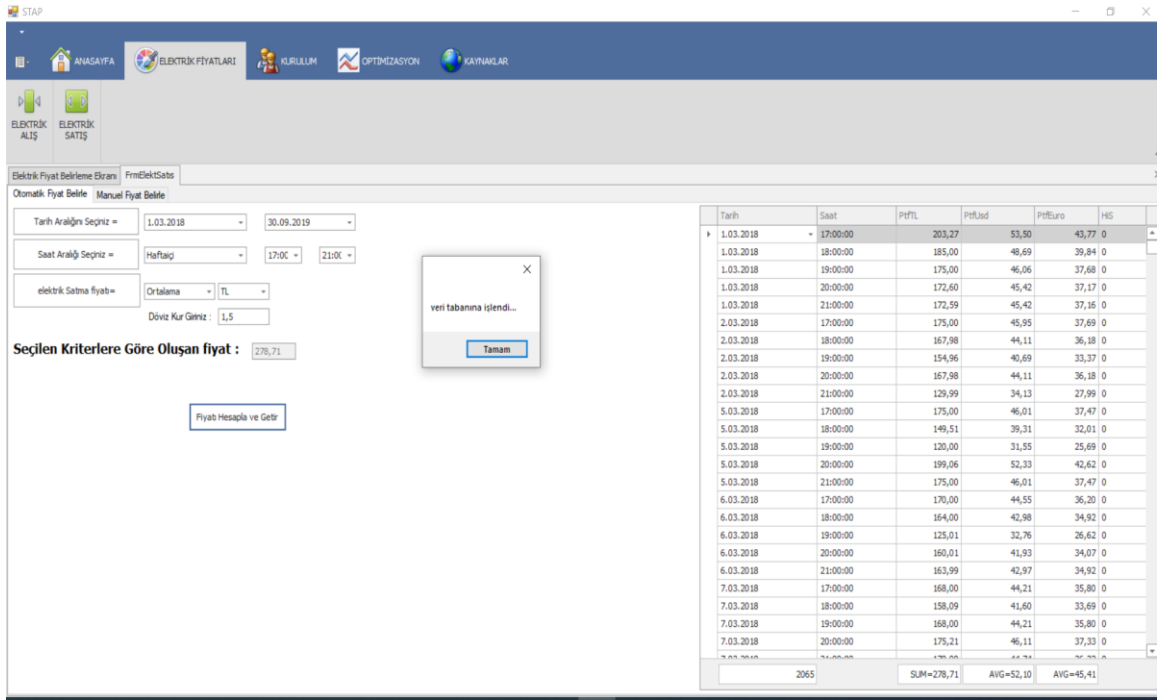
kullanılmak üzere veri tabanında oluşturulmuş olan ilgili tabloda da yerine otomatik olarak yazar (Şekil 3.9).

Tarih	Saat	PFTL	PFTUSD	PFEuro	HIS
01.01.2015	00:00:00	70,23	30,29	24,90	0
01.01.2015	01:00:00	20,02	8,63	7,10	0
01.01.2015	02:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	03:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	04:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	05:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	06:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	07:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	08:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	09:00:00	0,00	0,00	0,00	0
01.01.2015	10:00:00	0,24	0,10	0,09	0
01.01.2015	11:00:00	90,02	38,82	31,91	0
01.01.2015	12:00:00	88,20	38,04	31,27	0
01.01.2015	13:00:00	125,08	53,94	44,34	0
01.01.2015	14:00:00	122,98	53,03	43,60	0
01.01.2015	15:00:00	125,00	53,90	44,32	0
01.01.2015	16:00:00	165,00	71,15	58,50	0
01.01.2015	17:00:00	165,00	71,15	58,50	0
01.01.2015	18:00:00	160,00	69,00	56,72	0
01.01.2015	19:00:00	150,01	64,69	53,18	0
01.01.2015	20:00:00	125,09	53,94	44,35	0
01.01.2015	21:00:00	151,58	65,37	53,74	0
01.01.2015	22:00:00	165,00	71,15	58,50	0
01.01.2015	23:00:00	150,00	64,69	53,18	0
02.01.2015	00:00:00	122,98	52,85	43,50	0
02.01.2015	01:00:00	94,57	40,64	33,45	0
02.01.2015	02:00:00	0,00	0,00	0,00	0
02.01.2015	03:00:00	0,00	0,00	0,00	0
02.01.2015	04:00:00	0,00	0,00	0,00	0
02.01.2015	05:00:00	0,00	0,00	0,00	0

Şekil 3.7. Epiaş'tan Alınmış Piyasa Takas Fiyatları (PTF)

Tarih	Saat	PFTL	PFTUSD	PFEuro	HIS
3.01.2015	02:00:00	95,85	41,19	33,90	1
3.01.2015	03:00:00	20,02	8,60	7,08	1
3.01.2015	04:00:00	20,10	8,64	7,11	1
3.01.2015	05:00:00	30,07	12,92	10,64	1
3.01.2015	06:00:00	100,94	43,38	35,70	1
4.01.2015	02:00:00	140,00	59,70	49,54	1
4.01.2015	03:00:00	122,78	52,36	43,45	1
4.01.2015	04:00:00	104,99	44,77	37,15	1
4.01.2015	05:00:00	125,05	53,33	44,25	1
4.01.2015	06:00:00	122,99	52,45	43,52	1
10.01.2015	02:00:00	124,00	53,74	45,59	1
10.01.2015	03:00:00	116,36	50,42	42,78	1
10.01.2015	04:00:00	115,49	50,05	42,46	1
10.01.2015	05:00:00	115,89	50,22	42,61	1
10.01.2015	06:00:00	125,04	54,19	45,97	1
11.01.2015	02:00:00	193,31	84,03	71,15	1
11.01.2015	03:00:00	190,03	82,60	69,94	1
11.01.2015	04:00:00	190,03	82,60	69,94	1
11.01.2015	05:00:00	187,86	81,66	69,14	1
11.01.2015	06:00:00	185,01	80,42	68,10	1
17.01.2015	02:00:00	216,13	94,78	80,84	1
17.01.2015	03:00:00	216,03	94,74	80,80	1
17.01.2015	04:00:00	216,03	94,74	80,80	1
17.01.2015	05:00:00	216,15	94,79	80,84	1
17.01.2015	06:00:00	216,15	94,79	80,84	1
30.06.2021	06:00:00	216,15	94,79	80,84	1
3390		SUM=170,68	AVG=35,17	AVG=30,89	

Şekil 3.8. Programda Elektrik Alış-Satış Fiyatlarını Belirleme Ekranı



Şekil 3.9. Ortalama Elektrik Alış-Satış Fiyatları

Gerçek fiyatları kullanmak istemeyen kullanıcı otomatik gelen elektrik fiyatlarını kullanmak zorunda değildir. Elektrik fiyatı belirleme ekranında iki sekme mevcut olup, manuel elektrik fiyatı gir sekmesinden istenilen elektrik fiyatını girebilmektedir (Şekil 3.10) ve daha sonraki aşamalarda program son girilen veriyi otomatik veya manuel olması fark etmeksizin onu veri tabanında ilgili tabloya daha sonra kullanmak üzere aktarmaktadır.

Şekil 3.10. Manuel Elektrik Fiyatı Girme Ekranı

Bir sonraki sekme olan Kurulum sekmesinde hacim hesabında yardımcı olacak hacim hesabı butonu bulunmaktadır. Cross metodu ile alan hesabı yapan programda kesit alanı bulunup genişlik ile çarpımı sonucunda oluşturulacak, kullanılacak veya imalatı yapılacak malzemenin veya baraj gövdesinin hacmi hesaplanmaktadır. Bu hacim hesabı sadece kullanıcıya bir sonraki yardımcı olmak amacıyla oluşturulmuştur. Programda veya veri tabanında bu sonuç doğrudan kullanılmamaktadır.

Şekil 3.11. Hacim Hesabı Butonu

Kurulum ana sekmesi altındaki diğer buton baraj gövdesi butonudur (Şekil 3.12). Yeni yapılacak baraj gövdesi, havuz veya yapıların miktarlarının, birim fiyatlarının belirlendiği formdur. Bazı baraj gövdesi tiplerinin ve birim fiyatlarının otomatik olarak geldiği programda kullanıcının Gövde tipi açılır kutusundan Diğer Malzemesini seçtiğinde istediği malzemenin birim fiyatını girerek yeni yapılacak yapıların veya kullanılacak malzemelerin maliyetini girebilmektedir. Kullanıcı optimizasyonda üst rezervuar maliyeti başlığı altında bu girmiş olduğu bir veya birden fazla gövde veya malzemenin toplam maliyetini görebilmektedir.

Tesis butonu altında tünel bilgilerini, cebri boru bilgilerini, iletim hattı bilgilerini, inşa süreci bilgilerini ve faiz bilgileri girilerek enerji yatırım optimizasyonunda maliyetlerin belirlenmesinde kullanılacak kriterler belirlenir (Şekil 3.13).

Türbinleme bilgileri butonunda yeni yapılacak rezervuarın elektrik üretiminde kullanılacak bilgileri girilir (Şekil 3.14).

Diğer formlarda girilmiş olan veriler neticesinde ön tasarım butonu optimizasyon öncesi tasarım sonuçlarının görüldüğü kısımdır (Şekil 3.15).

No	Adet	Gövde Tipi	Miktar	Birim	Birim Mali...	ParaBirimi	Maliyet
1	1	CFRD	450000	m3	15	DOLAR	6750000
2	1	CFRD	300000	m3	13	DOLAR	3900000

Toplam = 10650000

Şekil 3.12. Baraj Gövdesi Butonu

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

HACİM HESABI BARAJ GÖVDESİ TESİS TÜRBİNLEME BİLGİLERİ ÖN TASARIM

FrmTesis

Tünel Bilgileri

Tünel Adet = 1

Maks. Hız (m3/sn) = 3

Tünel Uzunluğu (mt) =

Birim Maliyeti = DOLAR

İLETİM

İletim Hattı Uzunluğu =

İletim Hattı Tipi (kV) = 380

Birim Fiyatı (mt) = DOLAR

E/M maliyeti (kV) = DOLAR

Şalt Sahası Maliyeti (kV) =

İnşaat Bilgileri

İnşaat Süresi (yıl) =

İşletme/Bakım faktörü =

yenilenme faktörü =

Yıllık Gider Oranı =

Cebri Boru Bilgileri

Cebri Boru Adet = 1

Maks. Hız (m3/sn) = 5

ebri Boru Uzunluğu (mt) =

Birim Maliyeti = DOLAR

Türbinleme Saat =

Pompaj Saati =

Faiz Bilgileri

Yatırım Periyodu =

Proje Kontrolü =

Beklenmedik Durumlar =

Faiz Oranı =

amortisman = 0

boş alanları doldurunuz...

Tamam

Verileri Kaydet ve Optimizasyona Geç

Şekil 3.13. Tesis Butonu

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

HACİM HESABI BARAJ GÖVDESİ TESİS TÜRBİNLEME BİLGİLERİ ÖN TASARIM

Frmproje FrmTesis FrmTürbinleme

Üst Rezervuar Maks. Su Kotu =

Üst Rezervuar Min. Su Kotu =

Üst Rezervuar Su Hacmi (m3) =

Türbinleme için Brüt Yükseklik (m) =

Proje Debisi (m3) =

Kaydet

Şekil 3.14. Türbinleme Bilgileri Butonu

The screenshot shows the STAP software interface. The top navigation bar includes icons for ANASAYFA, ELEKTRİK FİYATLARI, KURULUM, OPTİMİZASYON, and KAYNAKLAR. Below this, there are icons for HACİM HESABI, BARAJ GÖVDESİ, TESİS, TÜRBİNLEME BİLGİLERİ, and ÖN TASARIM. The 'ÖN TASARIM' button is highlighted. The main window displays a form for 'FrmTürbinleme' with various input fields and a 'KAYDET' button.

Proje Debisi (m3)		Toplam Kurulu Güç (MW)	
Ünite Sayısı	4	Tünel Çapı	
Türbinleme Saat sayısı	1	Cebri Boru Çapı	
Pompaj Saat Süresi	1	Pompaj Debisi (m3)	
Toplam Üst Rez. Hacmi			
Türbinleme Brüt Yüksekliği			
Ünite Kapasitesi			

Pompa Verimliliği	Yüksek
Türbin Verimliliği	Düşük
Operasyonel Verimlilik	Yüksek
Toplam Verimlilik (%)	0

KAYDET

Şekil 3.15. Optimizasyon Öncesi Ön-Tasarım Butonu

Optimizasyon ana sekmesi altında hidrolik optimizasyon grubundaki debi optimizasyonu butonu kullanıcının bir başlangıç debisi seçmesi ve artış miktarını belirledikten sonra optimizasyonu başlat butonuna tıklandığında önceki formlarda girilmiş bilgiler veri tabanından çekilerek grid nesnesindeki başlığın altında sonuçları tablo halinde kullanıcı görebilmektedir. Yeni oluşturulmuş olan rezervuar hacmini geçemeyecek şekilde Program tarafından manuel girilmiş olan debi artış miktarına göre debi artırılarak optimizasyonun sonucu maksimum fayda debisi kutusu içinde kullanıcıya otomatik olarak gösterilmektedir.

STAP

Şekil 3.16. Debi Optimizasyonu

Optimum debi bulunduğundan sonra Cebri boru çapı seçiminde ise cebri boru hızı ölçüt olarak alınmaktadır. Cebri boru üst sınırı 7 m/s olarak tavsiye edildiğinden bu hızın altında kalan en büyük hız ve dolayısıyla en küçük cebri boru çapı belirlenir. Kullanıcının girdiği başlangıç çapı ve çapı artırma miktarı girildikten sonra optimizasyonu başlat butonu tıklanır ve program tarafından seçilen çap kullanıcıya gösterilir (Şekil 3.17).

STAP

<

Şekil 3.17. Optimum Cebri Boru Çapı Seçim

Hidrolik optimizasyon grubundaki son buton tünel çapı belirleme butonudur. Optimum debi ve optimum cebri boru çapı belirlendikten sonra kullanıcı optimum tünel çapı için bir başlangıç çapı girer ve artış miktarını manuel olarak belirler. Optimizasyonu başlat butonu tıklandıktan sonra program cebri boru çapını, optimum debiyi sabit tutarak ilgili hesaplamaları yapar. Tünel hızı programda maksimum 5 m/s olarak belirlenmiştir. Kullanıcının girmiş olduğu artış miktarına göre tünel çapı arttırılır ve tünel hızının en büyük olduğu çap program tarafından bulunup kullanıcıya Seçilen Çap kutusunda gösterilir. Ayrıca seçeneklerin tamamı kararlaştırıldığı için proje maliyetleri kesinleşmiş olur. Gelirler, giderler ve oranı ilgili kutulara yazılmış olur (Şekil 3.18).

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

Debi Cebri Boru Çapı Tünel Çapı Proje Yatırım Maliyeti Net Bugünkü Değer İç Verim Oranı

Hidrolik Optimizasyon Proje Karar Yöntemleri

FrmTesis	FrmDebi	OptimumCebriCapı	FrmTunelCap	Tünel Hız	CebriBoruCapı	TunelCapı	Türbin Deşarj(m3)	Tüneldaki Kayıp	Cebri Borudaki Kayıp	Net Yükseklık	Pompaç Deşarj(m3)	Kurulu Güç (MW)	Pompaç Güç (MW)	Üretilen Toplam Enerji(GWh)	Tüketilen Toplam Enerji(GWh)
		6,5	8	4,58	6,5	8	230	0,49	1,81	139,7	230	275,18	359,01	502,2	655,19
		6,5	8,5	4,06	6,5	8,5	230	0,35	1,81	139,84	230	275,44	359,35	502,68	655,82
		6,5	9	3,62	6,5	9	230	0,26	1,81	139,93	230	275,62	359,59	503,02	656,25
		6,5	9,5	3,25	6,5	9,5	230	0,2	1,81	139,99	230	275,75	359,76	503,25	656,56
		6,5	10	2,93	6,5	10	230	0,15	1,81	140,04	230	275,85	359,88	503,42	656,78
		6,5	10,5	2,66	6,5	10,5	230	0,11	1,81	140,08	230	275,91	359,97	503,54	656,94
		6,5	11	2,42	6,5	11	230	0,09	1,81	140,1	230	275,96	360,03	503,63	657,06
		6,5	11,5	2,22	6,5	11,5	230	0,07	1,81	140,12	230	276	360,08	503,7	657,15

←

Başlangıç Çapı seçiniz = 1 Artırma Miktarı = 0,5 Optimizasyonu Başlat Seçilen Çap = 8

GELİRLER = 77.569.683,33
GİDERLER = 562.507.786,97
GELİR / GİDER ORANI = 0,14

Şekil 3.18. Optimum Tünel Çapı ve Gelir/Gider Oranı

Optimizasyon sonucunda belirlenen maliyetlere faiz, amortisman ve diğer işletim masraflarının eklenmesiyle daha doğru sayılara ulaşılabilir (Şekil 3.19). Proje yatırımlarında, yatırımın uzun bir süre alması ve işletme ömrü de düşünüldüğünde paranın değerlemeleri önemli bir yer tutmaktadır. Bugünkü yatırdığımız paranın veya borçlanmaların gelecek zamanda elde edeceğimiz gelirlerden daha düşük veya daha yüksek olduğunu paranın zamanla değişiminin göz önünde bulundurulmasıyla doğrulanacaktır. Bu sebeple programa Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi hesabı da eklenmiştir (Şekil 3.20).

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

Debi Cebri Boru Çapı Tünel Çapı Proje Yatırım Maliyeti Net Bugünkü Değer İç Verim Oranı

Hidrolik Optimizasyon Proje Karar Yöntemleri

FrmMaliyet

(a) Beklenmedik Durum maliyetleri % = (f) Yıllık Gider Oranı = (h) İşletme Bakım Faktörü (o/m) =

(b) Proje kontrol maliyetleri % = (g) Amortisman = (i) Yenileme Faktörü =

(j) Yıllık Faiz =

OPTİMİZASYONDAN GELEN TAHMİNİ MALİYETLER

(optimizasyon/f)

Üst Rezervuar Maliyeti :

Tünel Maliyeti :

Cebri Boru Maliyeti :

Santral Maliyeti :

İletim Hattı Maliyeti :

Elektromekanik Maliyeti :

(c) TOPLAM =

Toplam Bakım Maliyeti (h*d)

Toplam Yenileme Maliyeti (i*d)

TOPLAM =

İnşaat Süresince Faiz (j*maliyet)

Toplam Amortisman (g X İSF)

DÜZELTİLMİŞ MALİYETLER

(d) BEKLENMEDİK DURUM MALİYETLERİ ((1+a)*c) :

(e) Proje Maliyetleri (d*b/100)=

(d+e) TOPLAM İNŞAAT MALİYETLERİ =

Maliyetleri Getir

Şekil 3.19. Maliyetlerin Hesaplanması

Şekil 3.20. Net Bugünkü Değer Yöntemiyle Projeye Karar Verme

3.2. Kullanılan Formüller

Bu bölümde Cofcof (1992, 1996, ve 2008) ve Çetinkaya (2014) kaynaklarından sağlanan formüller ve kabuller verilecektir.

3.2.1 Hidrolik Hesaplar

Tünel ve cebri boru çapları aynı formül kullanılarak hesaplanır. Tünel ve cebri boruların çapı, D (m), yapıların yaklaşık maliyetleri ile doğrudan ilişkilidir. Çapın artırılması hızları ve maliyetleri de değiştirir.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{N \cdot \pi \cdot v}} \quad (3.1)$$

D : Çap (m)

Q : Debi (m^3/s)

V : Hız (m/s)

N : Boru veya Tünel Adet Sayıları

Tünel ve cebri borudaki yük kayıpları Manning pürüzlülük katsayısı sırasıyla 0.014 ve 0.01 alındığı zaman aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$h_t = 2.018 \times 10^{-3} \frac{Q^2}{D_t^{16/3}} \times L_t \quad (3.2)$$

Burada,

h_t : Tüneldeki Kayıp

D_t : Tünel Çapı

L_t : Tünel Boyu

$$h_p = 1.482 \times 10^{-3} \frac{Q^2}{D_p^{16/3}} \times L_p \quad (3.3)$$

Burada,

H_p : Cebri Borudaki Kayıp

D_p : Cebri Boru Çapı

L_p : Cebri Boru Boyu

Toplam enerji üretilebilecek net düşü brüt düşüden kayıpların çıkarılması ile bulunur.;

$$H_{net} = H_{Brüt} - (h_t + h_p) \quad (3.4)$$

3.2.2 Kurulu Güç

Kurulu güç hesaplamalarında suyun özgül ağırlığı (kN/m^3) olarak alındığında,

$$P=9,81 \times n_g \times Q \times H_{net} \quad (3.5)$$

P : Kurulu Güç (MW)

n_g : Jeneratör verimliliği

Q : Debi (m^3/s)

h_{net} : Net Yükseklik(m)

3.2.4 Maliyet Hesapları

Kurulum maliyetleri olarak üst rezervuar, tünel, cebri boru, santral ve şalt sahası, elektromekanik ekipmanlar ve iletim hattı maliyetleri olarak sayılabilir. Genel olarak ifade edilirse inşası veya montajı yapılacak öğenin birim maliyetinin ilgili boyutuyla çarpımı ve eğer birden fazlaysa adetiyle çarpılarak maliyet hesaplanır.

Maliyet= Birim Maliyet * Büyüklük (3.6)

Üst rezervuar gövdesinin birim maliyeti birim hacim için, iletim hatlarının ise birim uzunluk olarak tanımlanmıştır. Şalt sahası için ise birim maliyet kurulu güce göre tanımlanmıştır. Cebri boru birim maliyeti birim ağırlık başına tanımlanmıştır.

Kullanıcı tarafından girilmiş olan veriler çekildikten sonra optimizasyondan gelen maliyetlere paranın faiz hesabı, bakım-onarım giderleri ve amortisman gibi giderler hesaplanır. Ve paranın bugünkü değeri belirlenir.

Paranın zamanla değer değişimini göz önünde bulunduran NBD yöntemi; yatırım ömrü boyunca gelecek gelirlerin bugünkü değerleri ile yatırım ömrü boyunca yapılacak harcamaların bugünkü değerlerinin farkının hesaplanması mantığına dayanmaktadır. Bugünün değerine paranın değeri getirilirken belirli bir iskonto oranı üzerinden hesaplama yapılır.

$$NBD = \frac{A}{(1+r)} + \frac{A}{(1+r)^2} + \dots + \frac{A}{(1+r)^n} - I \quad (3.6)$$

A = Anapara

r = Iskonto oranı/Beklenen kâr

I = İlk yatırım gideri

Bugünkü değerlere indirgenen gelirler ve giderler, gelirlerin daha büyük olması durumunda kârlı bir yatırım olduğu anlamını taşımaktadır. Paranın zamana göre değişimi ve proje ömrünün nakit akışı planlaması bu yöntemin avantajı olmasına karşın iskonto oranının sabit tutulması bu yöntemin dezavantajıdır.

3.3. Veri girişleri

Programlarda girilen veriler aslında programda depolanamamaktadır. Bir veri tabanı ile haberleşme yapamayan, veri gönderip veri çekemeyen bir programın gelişmesinden söz edilemez. Bizim de oluşturduğumuz programda uygun bir veri tabanı programı kullanılmıştır. Büyük veya çok sayıda verilerimizin olmaması kurulumunun kolay olduğu ve hızlı çalışan bir veri tabanı programına bizi itmiştir. SQL Lite veri tabanı bizim için uygun veri tabanı programı olarak seçilmiştir. Bilindiği üzere veri tabanlarında tablolama sistemi kullanılmaktadır. Kullanıcı verilerinin saklanacağı tabloları veri tabanı üzerinde oluşturur. Programda da veri tabanı ile haberleşme yapabilecek ilgili kodları yazarak veri gönderip tabloları doldurma veya tablolardaki veriyi programı kullanan kullanıcıya gösterebilmektedir.

3.3.1 Elektrik Ücreti Tablosu

Programda kullanıcının otomatik olarak veya manuel olarak girdiği elektrik alış ve satış fiyatları veri tabanında Oluşturulmuş elektrik ücreti tablosuna (Şekil 3.21) program tarafından gönderilir.

OtoElektrikÜcretiAlis Birim	OtoElektrikÜcretiSatis Birim
162,17	210(DOLAR)

Şekil 3.21. Veritabanına Kullanıcının Gönderdiği Elektrik Fiyatları

3.3.2 Üst Rezervuar İmalatları

Kurulum ana sekmesi altındaki baraj gövdesi formunda kullanıcı tarafından girilen adet, gövde tipi, birim ve birim maliyeti Yeni gövde tipi ekle butonu tıklandığında Veritabanında üstrezervuar tablosunda (Şekil 3.22) ilgili satırlara program tarafından işlenmektedir.

No	Adet	GovdeTipi	Miktar	Birim	BirimMaliyeti	ParaBirimi	ProjeDebisi	UniteSayisi	Maliyet	ToplamMaliyet
1	1	1 ECRD	500 m3	17,56 DOLAR	300	1	878000	13974611		
2	2	1 CFRD	5533 m3	23,67 DOLAR	(Null)	(Null)	13096611	13974611		

Şekil 3.22. Veritabanına Kullanıcının Gönderdiği Üst Rezervuar İmalatları

3.3.3 Tesis Bilgileri

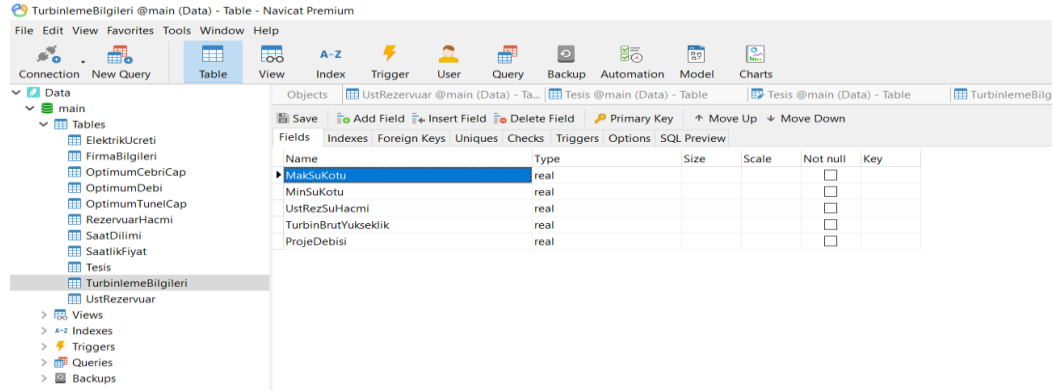
Tesis Butonu tıklanarak açılan formda kullanıcının girmiş olduğu bilgiler veritabanında oluşturulmuş ilgili tabloda ilgili satırlara işlenmektedir.

Name	Type	Size	Scale	Not null	Key
TunelAdet	integer				
TunelHiz	real				
TunelUzunluk	integer				
BirimMaliyetTunel	real				
BirimTunel	TEXT				
CebriBoruAdet	integer				
CebriBoruHiz	integer				
CebriBoruUzunluk	integer				
CebriBoruKorozyon	integer				
BirimFiyatCebri	real				
BirimCebri	TEXT				
IletimUzunluk	integer				
IletimTipi	real				
BirimFiyatIletim	real				
BirimIletim	TEXT				
EMmaliyeti	real				
EMBirim	TEXT				
SaltSahasi	real				
BirimSaltSahasi	TEXT				
InsaatSuresi	integer				
omfaktori	real				

Şekil 3.23. Veritabanında Tesis Tablosu

3.3.4 Türbinleme Bilgileri

Kullanıcı tarafından girilen türbinleme bilgileri formundan gelen veriler oluşturulmuş olan türbinleme bilgileri tablosunda ilgili satırlara otomatik olarak doldurulur (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Türbinleme Bilgileri Tablosu

3.3.5 Optimizasyon Tabloları

Programda kullanıcının başlattığı değerlerden hesaplanan verilerin formlarda kayıtlı kalabilmesi ve kullanılabilmesi için veritabanında optimum debi, optimum cebri boru ve optimum tünel çapı tabloları oluşturulmuştur (Şekil 3.25).

Name	Type	Size	Scale	Not null	Key
TunelCapi	text			☐	
CebriBoruCapi	text			☐	
TuneldekiKayip	text			☐	
CebriBorudakiKayip	text			☐	
NetYulseklik	text			☐	
TurbinDesarz	text			☐	
PompaDesarz	text			☐	
KuruluGuc	text			☐	
PompaGuc	text			☐	
UretilenToplamEnerji	text			☐	
TuketilenToplamEnerji	text			☐	
EnerjiSantrali	text			☐	
Evm	text			☐	
iletimHattiGiderleri	text			☐	
TunelMaliyeti	text			☐	
CebriMaliyeti	TEXT			☐	
BarajGorudeMaliyetleri	text			☐	
PompaGiderleri	text			☐	
ToplamGiderler	text			☐	
TurbinlemeGelirleri	text			☐	
PlkFayda	text			☐	
DigerFaydalar	integer			☐	
ToplamGelirler	integer			☐	
NetFayda	integer			☐	

Şekil 3.25. Optimizasyon Tabloları

4. BULGULAR

Daha önce yapılmış çalışmada (Çetinkaya, 2014) geliştirilen PXSC adlı programda, Aslantaş PDHES farklı senaryolar için test edilmiştir. STAP programının güvenilirliğini test etmek için proje özellikleri ve birim maliyetler aynen kullanılarak iki program arasında karşılaştırma yapılmıştır. PXSC programında optimum, debi ve çap kullanıcı tarafından verilen tablolardan seçilerek sonraki aşamalara geçmektedir. STAP Programının da ise tüm en iyilimler program tarafından yapılmaktadır. STAP programına veri girişi sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

Öncelikle Pompajda kullanılacak pompanın kullanacağı elektriğin maliyetini belirlemek gerekir. EPIAŞ'tan alınmış son beş yılın gerçekleşmiş gerçek fiyatları istenilen saat aralığında ortalama fiyatların da belirlenebildiği STAP'ta fiyatlar manuel olarak girilmiştir. Dolar bazlı hesaplama yapılacağından kullanıcı eğer TL olarak veri girişinde bulunmak isterse dolar kurunu program kullanıcıdan isteyecektir. Daha önce yapılmış senaryoları test edeceğimizden yapılmış çalışmalardaki veriler girilecektir. Elektrik Alış Formundan manuel fiyat belirleme sekmesi seçilerek veri girişi yapılır (Şekil 4.1).

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

ELEKTRİK ALIŞ ELEKTRİK SATIŞ

Elektrik Fiyat Belirleme Ekranı

Geçmiş Fiyatlardan Yararlan : Manuel

Manuel Fiyat Gir = 60 TL

Döviz Kur Giriniz : 2

Manuel Fiyat Kaydet

veri tabanına işlendi...

Tamam

Şekil 4.1. Pompajda Kullanılacak Elektrik Alış Fiyatının TL Olarak Girişi

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

ELEKTRİK ALIŞ ELEKTRİK SATIŞ

Elektrik Fiyat Belirleme Ekranı FrmElektSats

Otomatik Fiyat Belirle Manuel Fiyat Belirle

Manuel Satış Fiyatı Gir = 210 TL

Döviz Kur Giriniz : 2

Manuel Fiyatı Kaydet

veri tabanına işlendi...

Tamam

Şekil 4.2. Elektrik Satış Fiyatının TL Olarak Girişi

Elektrik alış fiyatı belirlendikten sonra üretilecek olan elektriğin satış fiyatı Elektrik Satış Formundan yine manuel olarak doldurulur. Elektrik alış ve satış fiyatları girildikten sonra Elektrik Fiyatları Sekmesinden Kurulum Sekmesine geçilir.

Herhangi bir malzemenin alan veya hacim hesaplamasına yardımcı olacak hacim hesabına elimizde veri olduğu için bir hesaplama yapmadan Baraj Gövdesi Butonuna veriler doldurulur.

Yeni yapılacak imalatların verileri girildikten sonra Yine Kurulum sekmesi altındaki Tesis butonu tıklanır ve elimizdeki veriler formda ilgili kutucuklara doldurulur.

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

HACİM HESABI BARAJ GÖVDESİ TESİS TÜRBİNLEME BİLGİLERİ ÖN TASARIM

Elektrik Fiyat Belirleme Ekranı FrmElektSats FrmÜstrezervuar 1

Drag a column header here to group by that column

No	Adet	Gövde Tipi	Miktar	Birim	Birim Mali...	ParaBirimi	Maliyet
7	1	CFRD	59800	m3	13	DOLAR	777400

Toplam = 777400

Baraj Gövde Bilgisi Giriniz

ADET = 1

GÖVDE TİPİ = CFRD

MİKTAR = 59800

BİRİM = m3

BİRİM MALİYETİ = 13 DOLAR

SEÇİLİ SATIRI SİL YENİ GÖVDE TİPİ EKLE

Şekil 4.3. Yeni Yapılacak İmalatların Eklenmesi

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

HACİM HESABI BARAJ GÖVDESİ TESİS TÜRBİNLEME BİLGİLERİ ÖN TASARIM

Frmtesis

Tünel Bilgileri

Tünel Adet = 2

Maks. Hız (m3/sn) = 3

Tünel Uzunluğu (m) = 225

Birim Maliyeti = 250 DOLAR

Cebri Boru Bilgileri

Cebri Boru Adet = 2

Maks. Hız (m3/sn) = 5

ebri Boru Uzunluğu (m) = 875

Birim Maliyeti = 3,3 DOLAR

İLETİM

İletim Hattı Uzunluğu = 30000

İletim Hattı Tipi (kV) = 380

Birim Fiyatı (m) = 180 DOLAR

E/M maliyeti (kV) = 240 DOLAR

Salt Sahası Maliyeti (kV) = 90 DOLAR

Türbinleme Saat = 3

Pompaj Saati = 5

İnşaat Bilgileri

İnşaat Süresi (yıl) = 4

İşletme/Bakım faktörü = 0,02

yenilenme faktörü = 0,001

Yıllık Gider Oranı = 0,1560

Faiz Bilgileri

Yatırım Periyodu = 50

Proje Kontrolü = 5

Beklenmedik Durumlar = 10

Faiz Oranı = 9,5

amortisman = 0,0960

Veriler Kaydet ve Optimizasyona Geç

Veriler Başarıyla Kaydedilmiştir.

Tamam

Şekil 4.4. Tesis Veri Girişi

Verileri kaydet butonuna basıldıktan sonra Türbinleme Bilgileri doldurulur. Kaydet butonuna basılır.

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

HACİM HESABI BARAJ GÖVDESİ TESİS TÜRBİNLEME BİLGİLERİ ÖN TASARIM

Elektrik Fiyat Belirleme Ekranı FrmElektSats FrmUstrezervuar1 FrmTesis FrmTurbineleme

Üst Rezervuar Maks. Su Kotu = 300

Üst Rezervuar Min. Su Kotu = 130

Üst Rezervuar Su Hacmi (m3) = 4100000

Türbinleme için Brüt Yükseklik (m) = 159

Proje Debisi (m3) = 300

Kaydet

Kayıt Başarılı

Tamam

Şekil 4.5. Türbinleme Bilgileri Girişi

Daha sonra Kurulum Sekmesindeki son buton olan Ön Tasarım verileri daha önceden girilen veriler sonucunda kontrol edilir.

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

HACİM HESABI BARAJ GÖVDESİ TESİS TÜRBİNLEME BİLGİLERİ ÖN TASARIM

Elektrik Fiyat Belirleme Ekranı FrmElektSats FrmUstrezervuar1 FrmTesis FrmTurbinleme Frmproje

Proje Debi (m3)	300	Toplam Kurulu Güç (MW)	403576,493809...
Ünite Sayısı	4	Tünel Çapı	7,98086884467...
Türbinleme Saat sayısı	3	Cebri Boru Çapı	6,18195442473...
Pompaj Saat Süresi	5	Pompaj Debi (m3)	180
Toplam Üst Rez. Hacmi	4100000		
Türbinleme Brüt Yüksekliği	159		
Ünite Kapasitesi	100894,1234523		

Pompa Verimliliği	Düşük
Türbin Verimliliği	Düşük
Operasyonel Verimlilik	Düşük
Toplam Verimlilik (%)	0,75153803102...

KAYDET

Şekil 4.6. Ön Tasarım Bilgiler

PDHES veri girişi tamamlandıktan sonra Optimizasyon sekmesine geçilir. İlk optimizasyon olan debi optimizasyonu butonu tıklanır. Kullanıcı tarafından bir başlangıç debisi belirlenir ve optimizasyonda debinin kaçar kaçar artırılacağı kullanıcı tarafından ilgili kutucuklara doldurulur. Optimizasyonu Başlat butonu tıklanır. Program kullanıcısının dikkat etmesi gereken eğer optimizasyonu başlat butonu tıklandıktan sonra veri görüntülenmiyorsa sınır değerler aşılmış olabilir ve kullanıcı başlangıç verilerini değiştirip tekrar butona basmalıdır.

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

Debi Cebri Boru Çapı Tünel Çapı Proje Yatırım Maliyeti Net Bugünkü Değer İç Verim Oranı

Hidrolik Optimizasyon Proje Karar Yöntemleri

FirmDebi	FirmTesis	Türbin Değeri(m3)	TünelÇapı	CebriBoruÇapı	Tüneldeki Kayıp	Cebri Borudaki Kayıp	Net Yüksekl.	Pompaç Değeri(m3)	Kurulu Güç (MW)	Pompaç Güç (MW)	Üretilen Toplam Enerji(GWh)	Tüketilen Toplam Enerji(GWh)	Enerji Santrali & Satış Sahası	E / M	İçerik Hattı Gösterisi	Tünel İ Maliyeti
360	8,74	6,77	0,14	1,56	187,3	216	515,8	403,76	564,8	736,87	7241873,82469327	19311663,5325154				842400
361	8,75	6,78	0,14	1,55	187,31	216,6	517,27	404,91	566,42	738,97	7262533,70437422	19366756,5449979				842400
362	8,77	6,79	0,14	1,55	187,31	217,2	518,69	406,02	567,96	740,99	7282379,1135964	19419677,5362624				842400
363	8,78	6,8	0,14	1,54	187,32	217,8	520,16	407,17	569,57	743,09	7303037,74949585	19474767,5318899				842400
364	8,79	6,81	0,14	1,55	187,31	218,4	521,57	408,28	571,12	745,11	7323894,90235159	19527693,0729376				842400
365	8,8	6,82	0,14	1,54	187,33	219	523,04	409,43	572,73	747,21	7343542,30580323	19582779,4821419				842400
366	8,82	6,83	0,14	1,54	187,32	219,6	524,46	410,54	574,28	749,23	7363391,18638381	19635709,8303568				842400
367	8,83	6,84	0,14	1,53	187,33	220,2	525,93	411,69	575,89	751,33	7384047,36856291	19690792,9828344				842400
368	8,84	6,85	0,14	1,54	187,33	220,8	527,34	412,8	577,44	753,35	7403897,96119256	19743727,8965135				842400
369	8,85	6,86	0,14	1,53	187,34	221,4	528,81	413,95	579,05	755,45	7424552,93311116	19798807,8216298				842400
370	8,86	6,87	0,14	1,53	187,33	222	530,23	415,05	580,6	757,47	7444405,22234043	19851747,2595745				842400
371	8,88	6,87	0,14	1,52	187,34	222,6	531,7	416,21	582,21	759,58	7465058,99485258	19906823,9862736				842400
372	8,89	6,88	0,14	1,53	187,34	223,2	533,11	417,31	583,76	761,6	7484912,9645387	19959767,907877				842400
373	8,9	6,89	0,14	1,51	187,35	223,8	534,58	418,46	585,37	763,7	7505565,5492587	20014841,4646899				842400
374	8,91	6,9	0,14	1,52	187,34	224,4	536	419,57	586,92	765,72	7525421,18622193	20067789,8299252				842400
375	8,92	6,91	0,14	1,51	187,36	225	537,47	420,72	588,53	767,82	7546072,59186668	20128660,2449778				842400
376	8,93	6,92	0,14	1,51	187,35	225,6	538,88	421,83	590,08	769,84	7565929,88039502	20175813,0143867				842400
377	8,95	6,93	0,13	1,5	187,36	226,2	540,35	422,98	591,69	771,94	7586580,11827798	20230880,3154079				842400
378	8,96	6,94	0,14	1,51	187,36	226,8	541,77	424,09	593,24	773,96	7606439,04378372	20283837,4500899				842400
379	8,97	6,95	0,13	1,5	187,37	227,4	543,24	425,24	594,85	776,06	7627088,12415712	20338901,664419				842400

Bag. Debi (m3) 360 Artma Miktar = 1 Optimizasyonu Başlat Makamun Fayda Debi (m3) 379 *NOT = Veri Gösterilmezse başlama değerleri değişmiştir

Şekil 4.7. Debi Optimizasyonu

Debi Belirlendikten sonra Cebri Boru Çap hesaplama butonuna basılır. Kullanıcı tarafından yine başlangıç çapı ve artış miktarı istenir. Debi optimizasyonunda belirlenmiş olan Debi artık sabit olarak otomatik getirilmiştir ve değişmeyecektir.

STAP

ANASAYFA

ELEKTRİK FİYATLARI

KURULUM

OPTİMİZASYON

KAYNAKLAR

Debi

Cebri Boru Çapı

Tünel Çapı

Proje Yatırım Maliyeti

Net Bugünkü Değer

% İç Verim Oranı

Hidrolik Optimizasyon

Proje Karar Yöntemleri

FirmDebi	FirmTesis	OptimumCebriÇapı										
Cebri Boru Hz	CebriBoruÇapı	TünelÇapı	Türbin Değeri(m3)	Tüneldeki Kayıp	Cebri Borudaki Kayıp	Net Yükseklik	Pompaç Değeri(m3)	Kurulu Güç (MW)	Pompaç Güç (MW)	Üretilen Toplam Enerji(GWh)	Tüketilen Toplam Enerji(GWh)	
7,43	5,7	8,97	379	0,14	4,33	164,53	227,4	534,04	418,04	584,77	762,92	
6,71	6	8,97	379	0,14	3,3	165,57	227,4	537,41	420,67	588,46	767,73	
6,08	6,3	8,97	379	0,14	2,54	166,32	227,4	539,86	422,59	591,14	771,23	

Baglantı Çapı seçiniz = 3

Artırma Miktarı = 0,3

Optimizasyonu Başlat

Seçilen Çap = 5,7

Şekil 4.8. Cebri Boru Çap Optimizasyonu

Debi ve cebri boru çapı belirlendikten sonra son optimizasyon olan Tünel optimizasyonuna geçilir. Debi ve cebri boru çapı program tarafından sabit bir şekilde optimize edilir. Uygun çap belirlenir.

STAP

ANASAYFA

ELEKTRİK FİYATLARI

KURULUM

OPTİMİZASYON

KAYNAKLAR

Debi

Cebri Boru Çapı

Tünel Çapı

Proje Yatırım Maliyeti

Net Bugünkü Değer

İç Verim Oranı

Hidrolik Optimizasyon

Proje Karar Yöntemleri

FrmlDebi

OptimumCebriCap

FrmlTünelCap

FrmlÜstRezervuar1

FrmlTesis

FrmlMaliyet

NED

	Tünel Hız	CebriBoruCapı	TünelCapı	Türbin Değer(m/s)	Tüneldeki Kayıp	Cebri Borudaki Kayıp	Net Yükseklik	Pompaaj Değer(m/s)	Kurulu Güç (kW)	Pompaaj Güç (kW)	Üretilen Toplam Enerji(GWh)	Tüketilen Toplam Enerji(GWh)	Enerji Santrali & Satı Sahası	E / M	Betim Hattı Giderleri	Tür Mal
4,93	5,7	7	379	0,51	4,33	164,16	227,4	532,83	417,09	583,45	761,19	7480954,34719117	19949211,5925098		842400	49
4,29	5,7	7,5	379	0,35	4,33	164,32	227,4	533,34	417,49	584,01	761,92	7488069,69917841	19968185,8644758		842400	51
3,77	5,7	8	379	0,25	4,33	164,42	227,4	533,67	417,75	584,37	762,39	7492728,36382731	19980608,9702062		842400	57
3,34	5,7	8,5	379	0,18	4,33	164,49	227,4	533,89	417,92	584,61	762,71	7495860,83399503	19988962,2238667		842400	6
2,98	5,7	9	379	0,13	4,33	164,53	227,4	534,05	418,04	584,78	762,93	7498017,10033645	19994712,2675639		842400	70
2,67	5,7	9,5	379	0,1	4,33	164,57	227,4	534,15	418,13	584,9	763,08	7499532,64207708	19998753,7122055		842400	76
2,41	5,7	10	379	0,08	4,33	164,59	227,4	534,23	418,19	584,98	763,19	7500617,88009492	20001647,6802531		842400	83
2,19	5,7	10,5	379	0,06	4,33	164,61	227,4	534,29	418,23	585,05	763,28	7501408,12207944	20003754,9922118		842400	90
2	5,7	11	379	0,05	4,33	164,62	227,4	534,33	418,27	585,09	763,33	7501992,34234849	20005312,9129293		842400	98
1,83	5,7	11,5	379	0,04	4,33	164,63	227,4	534,36	418,29	585,13	763,38	7502430,24094479	20006480,6425195		842400	10
1,68	5,7	12	379	0,03	4,33	164,64	227,4	534,38	418,31	585,15	763,41	7502762,61822794	20007366,9766078		842400	11
1,54	5,7	12,5	379	0,02	4,33	164,64	227,4	534,4	418,32	585,17	763,44	7503017,81909693	20008047,5175918		842400	12
1,43	5,7	13	379	0,02	4,33	164,65	227,4	534,42	418,33	585,19	763,46	7503215,85435868	20008575,6118231		842400	12
1,32	5,7	13,5	379	0,02	4,33	164,65	227,4	534,43	418,34	585,2	763,47	7503371,03754039	20008989,433441		842400	13

4

Başlangıç Çapı seçiniz = 3

Atma Miktarı = 0,5

Optimizasyonu Dağılat

Seçilen Çap = 7

GEİRLER = 61.445.875,00

GİDERLER = 58.184.023,03

GEİRL / GİDER ORANI = 1,06

Şekil 4.9. Tünel Çap Optimizasyonu ve Gelir/Gider oranı

Optimizasyon işlemi bittikten sonra Kesin Yatırım Maliyeti butonunu tıklanır. Açılan formda maliyetleri getir butonuna basılır ve otomatik Bir şekilde girilen değerlere göre hesaplamalar yapılır ve sonuçlar gösterilir.

STAP

ANASAYFA ELEKTRİK FİYATLARI KURULUM OPTİMİZASYON KAYNAKLAR

Debi Cebri Tünel Proje Yatırım Net Bugünkü İç Verim
Boru Çapı Çapı Maliyeti Değer Oranı

Hidrolik Optimizasyon Proje Karar Yöntemleri

FrmlMaliyet

(a) Beklenmedik Durum maliyetleri % = 10 (f) Yıllık Gider Oranı = 0,156 (h) İşletme Bakım Faktörü (o/m) = 0,02
(b) Proje kontrol maliyetleri % = 5 (g) Amortisman = 0,0912 (i) Yenileme Faktörü = 0,001
(j) Yıllık Faiz = 9,5

OPTİMİZASYONDAN GELEN TAHMİNİ MALİYETLER

(optimizasyon/f) İnşaat Süresince Faiz (i'maliyet)

Üst Rezervuar Maliyeti : 4.991.666,67 6.912.828,76
Tünel Maliyeti : 2.945.961,27 Toplam Bakım Maliyeti (h'd) 3.725.830,87
Cebri Boru Maliyeti : 30.530.939,58 4.833.465,22 42.281.500,61
Santral Maliyeti : 47.954.835,56 Toplam Yenileme Maliyeti (i'd) 66.411.398,95
İletim Hattı Maliyeti : 5.400.000,00 241.673,26 6.829.515,00
Elektromekanik Maliyeti : 127.879.561... 177.097.063...
(c) TOPLAM = 219.702.964,58 TOPLAM = 303.258.138,04

DÜZELTİLMİŞ MALİYETLER

(d) BEKLENMEDİK DURUM MALİYETLERİ ((1+a)*c) 241.673.261,03
(e) Proje Maliyetleri (d'b/100)= 12.083.663,05
(d+e) TOPLAM İNŞAAT MALİYETLERİ = 253.756.924,08

Maliyetleri Getir

Şekil 4.10. Yatırım Maliyetleri

Son olarak Net Bugünkü Değer yöntemi butonuna tıklanır. Oluşan fiyatlar belirli bir yenilenme oranları belirlendikten sonra verileri hesaplama butonuna tıklanılır ve maliyetler de hesaplanır. Proje süresince nakit akışının otomatik olarak program tarafından belirli bir oranda bölünmüş olmasına rağmen kullanıcı isterse yıllık yatırım ücretlerini toplam maliyetleri geçmeyecek şekilde değiştirebilmektedir.

NBD oranını görmek için ise NBD Hesapla butonuna tıklanılır. STAP, NBD orana göre kullanıcıya bu giriş verileriyle yatırımın kârlı veya zararlı olacağını açacağı mesaj kutusuyla söyleyecektir.

The screenshot shows the STAP software interface with the 'NBD Hesapla' window open. The window displays the following data:

Projenin İnşa Maliyetleri	Onarım Oranları	Toplam Onarım Maliyetleri
Üst Rezervuar Maliyeti : 5.490.833,33	0,02	109.816,67
Tünel Maliyeti : 3.240.557,40	0,02	64.811,15
Cebri Boru Maliyeti : 33.584.033,54	0,5	16.792.016,77
Santral Maliyeti : 52.750.319,11	0,1	5.275.031,91
İletim Hattı Maliyeti : 5.940.000,00	0,8	4.752.000,00
Elektromekanik Maliyeti : 140.667.517,...	0,8	112.534.014,...
TOPLAM (\$) : 241.673.261,03		

Below the table, there are input fields for 'İnşa Yılı' (4), 'Yatırım Ömrü' (50), and 'Faiz' (9,5). A '1.Adım -Verileri Hesapla' button is visible. At the bottom, there are four columns for 'Tamanların Miktarı (\$): Toplam / 4' with values: 48.334.652,21; 72.501.978,31; 72.501.978,31; 48.334.652,21. A '2.Adım -Yıllık İmalat giderlerini Belirle / Değiştir' button is also present. A pop-up message box titled 'ANALİZ SONUCU' (Analysis Result) is displayed, stating: 'Kullanıcı Olarak Girdiğiniz Verilerle Yapılan Analiz Sonucunda Projeniz Uygulanabilir, Kârlı Bir Yatırımdır.' (The analysis result of the project you entered as a user is applicable, it is a profitable investment.)

Şekil 4.11. Net Bugünkü Değer Oranı

Yapılan çalışma sonucunda elde olan sonuçlar Çetinkaya (2014) ve EİE çalışmalarıyla kıyaslanmıştır (Çizelge girilen veriler ve sonuçları aşağıdaki Çizelge gösterilmiştir. Sonuçlar Çetinkaya'nın sonuçlarına yakındır. Her iki çalışmanın sonuçlarının EİE idaresinin değerlerinden farklı olmasının kaynağının kullanılan elektrik fiyatlarındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.1 Aslantaş PDHES Karşılaştırma Tablosu

		EİE	PXSC	STAP
SABİT VERİLER (EİE)	Rezervuar hacmi	4100000	4100000	4100000
	Cebri Boru (adet)	2	2	2
	Cebri Boru Uzunluk (m)	875	875	875
	Tünel (adet)	2	2	2
	Tünel Uzunluğu (m)	225	225	225
	İletim Hattı Uzunluk (km)	30	30	30
SENARYOLAR	Türbinleme Maliyeti TL/MWh	-	210	210
	Pompaj Maliyeti TL/MWh	-	60	60
	Türbinleme (saat)	3	3	3
	Pompaj (saat)	5	5	5
	Jeneratör verimliliği	-	Düşük	Düşük
SONUÇLAR	Proje Debisi (m ³)	379	379	379
	Pompaj debisi	227,4	227,9	227,4
	Cebri Çapı (m)	7	5,7	5,7
	Cebri Hızı (m/s)	5	7,43	7,43
	Tünel Çapı (m)	7,8	7	7
	Tünel Hızı (m/s)	4	4,93	4,93
	Net Yükseklik (m)	151,4	165,53	164,16
	Kurulu Kapasite MW	500	536,36	532,83
	Yıllık Üretilen Enerji (GWh)	547,5	587,31	583,45
	Yıllık Tüketilen Enerji (GWh)	722	768,85	761,19
EKONOMİK SONUÇLAR	Toplam Gelirler (\$)	144.637.500,00	61.667.552,00	61.445.875,00
	Toplam Giderler (\$)	93.962.856,00	57.065.878,00	58.184.023,03
	Gelir / Gider	1,54	1,08	1,06
	NBD yöntemiyle Gelir/Gider	-	1,16	1,12

4.1 2020 yılı Piyasa Takas Fiyatları (PTF) ile Analiz

STAP Programı, EPİAŞ Şeffaflık Platformundan Piyasa Takas Fiyatları (PTF) alınarak veri tabanına işlenen verileri analizde kullanabilme becerisine sahiptir. STAP ile 2020 yılı verileri ve analiz sonucu aşağıda verilmiştir.

Geçmiş Fiyatlardan Yararlan : Manuel

Tarih Aralığını Seçiniz =	1.01.2020	31.12.2020
Saat Aralığı Seçiniz =	Genel	01:00 06:00
elektrik alma fiyatı =	Ortalama	DOLAR

Seçilen Kriterlere Göre Oluşan fiyat : 35,82

Fiyatı Hesapla ve Getir

Şekil 4.13. 2020 yılı için seçilen kriterlerde elektrik alış fiyatı

STAP ile 2020 yılı PTF, saat verileri 01.00 ile 06.00 arasındaki zamanda gerçekleşen fiyatlar pompajda kullanılacaktır.

Tarih Aralığını Seçiniz =	1.01.2020	31.12.2020
Saat Aralığı Seçiniz =	Genel	18:00 21:00
elektrik Satma fiyatı =	Ortalama	DOLAR

Seçilen Kriterlere Göre Oluşan fiyat : 45,98

Fiyatı Hesapla ve Getir

Şekil 4.14. 2020 Yılı İçin Seçilen Kriterlerde Elektrik Satış Fiyatı

STAP ile 2020 yılı PTF Elektrik satış fiyatı, 3 saat için seçilen saatlerde türbinleme yapılarak satılan elektrik fiyatı çekilerek daha önce dolar bazında girilen değerler de kullanılarak elde edilen optimizasyon sonuçları Şekil 4.15'te verilmiştir. Net Fayda kolonunda seçilen veriler için yapılan debi optimizasyonu sonucu negatif yönde çıkmıştır. Gerçekleşmiş Piyasa Takas Fiyatları ile yapılan analizde 2020 yılı gece saatlerindeki fiyatlardan ortalaması ile puant saatlerdeki fiyat ortalamaları alınarak yapılan analizde kârlı bir yatırım olmadığı sonucunu STAP Programı ortaya koymuştur.

Toplam (h)	Tüketilen Toplam Enerji (GWh)	Enerji Santral & Şalt Sahası	E / M	Batın Harcı (Gideriler)	Tünel İnşaat Maliyeti	Cebeli Boru Maliyeti	Ust Rezervuar Baraj Gövde Maliyeti	Pompaç (Gideriler)	Toplam Gideriler	Türbinleme Gideriler	Pik Fayda	Diğer Faydalar	Toplam Gelir	NetFayda
563,44	735,09	7224088,26546014	19265035,3745604	842400	2595230,35803534	6026759,36588865	778700	26463167,8274259	63195680,1913...	25354024,2	0	0	25354824	-37840855
565,06	737,2	7245128,79719319	19320343,4991819	842400	2601277,33554247	6042872,3402678	778700	26539141,0658392	63369862,9980...	25427615,49	0	0	25427615	-37942247
566,6	739,21	7264861,2318623	19372963,2849661	842400	2607321,6167957	6058885,4499929	778700	26611421,612109	63536653,1937...	25496888,75	0	0	25496888	-38039784
568,21	741,32	7285600,2241233	19428267,2643288	842400	2613363,21044051	6075997,69267175	778700	26687389,2113863	63710817,6029...	25569654,63	0	0	25569654	-38141162
569,75	743,32	7305334,81694293	19480892,8451812	842400	2619402,12507091	6091209,07784907	778700	26759677,6630312	63877616,5280...	25638915,46	0	0	25638915	-38238701
571,37	745,43	7326072,38376494	19536192,7567065	842400	2625438,36922991	6107319,60707072	778700	26835639,6745762	64051762,6913...	25713696	0	0	25713696	-38340066
572,91	747,44	7345809,01504686	19588824,0401249	842400	2631471,95140996	6122429,28385192	778700	26907835,594777	64218570,2499...	25780964,33	0	0	25780964	-38437605
574,53	749,55	7365444,97029398	19644115,9206917	842400	2637502,88005337	6139538,1168391	778700	26963892,439482	6432658,3166...	25853739,56	0	0	25853739	-38538958
576,07	751,56	7386283,82060113	19696756,8549363	842400	2643531,16355274	6155646,09403415	778700	27056196,4810343	64539514,4141...	25923015,33	0	0	25923015	-38636499
577,68	753,67	740718,27783415	19753048,7408911	842400	2649056,81025147	6171753,23434656	778700	27132147,4683576	64733624,5316...	25995785,3	0	0	25995785	-38737839
579,22	755,68	7426759,22811345	19804691,2749692	842400	2655579,8284389	6187859,53604175	778700	27204459,2075828	64900449,0731...	26065088,44	0	0	26065088	-38835380
580,84	757,79	7447492,20080138	19859979,2021137	842400	2661800,2837621	6203965,00251724	778700	27280404,7569694	65074541,3888...	26137833,2	0	0	26137833	-38936708
582,38	759,8	7467235,23217052	19912627,285788	842400	2667618,0122464	6220069,63714765	778700	27352724,119294	65241374,2866...	26207123,65	0	0	26207123	-39034250
584	761,91	7487966,73355602	19967911,2894027	842400	2673633,19420487	6236173,44328496	778700	27428664,2762522	65415448,9397...	26279883,25	0	0	26279883	-39135565
585,54	763,92	7507711,82743653	20020564,8731641	842400	2679645,78035485	6252276,42425869	778700	27500991,1966227	65582290,1018...	26349180,93	0	0	26349180	-39233109
587,15	766,03	7528441,87037427	20075844,9881981	842400	2685655,77875273	6268378,58337611	778700	27576926,0149722	65756347,2358...	26421935,41	0	0	26421935	-39334411
588,69	768,04	7548189,0865163	20128504,023071	842400	2691863,19740248	6284479,9239246	778700	27649260,4030318	65923196,5733...	26491240,27	0	0	26491240	-39431956
590,31	770,14	7568917,60641182	20183780,2837651	842400	2697868,04428605	6300580,44916115	778700	27725189,9441869	66097236,3378...	26563889,68	0	0	26563889	-39533246
591,85	772,15	7588666,77963044	20236444,7216812	842400	2703670,32730777	6316680,16333398	778700	27797531,7713372	66264093,7532...	26633301,65	0	0	26633301	-39630792
593,47	774,26	7609393,9357028	20291717,1618741	842400	2709670,05433469	6332779,0666613	778700	2787456,0472401	66438116,2458...	26706046,02	0	0	26706046	-39732070

Şekil 4.15. 2020 Yılı İçin Seçilen Kriterlerde PTF Fiyat Analizi

4.2 Piyasa Takas Fiyatları (PTF) ile 2015-2021 Yılı En yüksek Puant zaman günü için Analiz

Piyasa takas fiyatları için 01.01.2015- 27.09.2021 tarihine kadar veri tabanında olan verilerden en yüksek PTF Fiyatının 23.12.2016 Tarihinde saat 14.00'da 542 dolar olarak gerçekleştiği bulunmuştur.

Tarih Aralığı Seçiniz =

1.01.2015

27.09.2021

Saat Aralığı Seçiniz =

Genel

01:00

23:00

elektrik alma fiyat=

Ortalama

DOLAR

Seçilen Kriterlere Göre Oluşan fiyat :

46,27

Fiyat Hesapla ve Getir

Tarih	Saat	PtfTl	PtfIsd
23.12.2016	14:00:00	1899,99	542,00
23.12.2016	15:00:00	1500,05	427,91
22.12.2016	17:00:00	1169,55	333,21
23.12.2016	11:00:00	1159,18	330,67
23.12.2016	12:00:00	999,98	285,26
23.12.2016		999,99	285,26
11.09.2017		967,15	283,95
23.12.2016		799,99	228,21
23.12.2016		800,00	228,21
23.12.2016		799,99	228,21
23.12.2016		777,00	221,65
23.12.2016		699,18	199,45

veri tabanına işlendi...

Tamam

Şekil 4.16. Seçilen Tarihler Arasında En Yüksek Gerçekleşen PTF

23.12.2016 tarihinde gerçekleşen PTF için aynı tarihteki en düşük PTF saat 04.00'da 59,92 dolar olarak gerçekleşmiştir.

Tarih Aralığı Seçiniz =

23.12.2016

24.12.2016

Saat Aralığı Seçiniz =

Genel

00:00

10:00

elektrik alma fiyatı=

Ortalama

DOLAR

Tarih	Saat	PTF	PTF USD	PTF Euro
23.12.2016	04:00:00	210,04	59,92	57,35
23.12.2016	03:00:00	210,30	59,99	57,42
23.12.2016	05:00:00	210,33	60,00	57,43
24.12.2016	05:00:00	211,97	60,43	57,84
24.12.2016	04:00:00	213,71	60,93	58,32

Şekil 4.17. Seçilen Tarihler Arasında En Düşük Gerçekleşen PTF

Bu tarihte pompaj için gece alınan en düşük elektrik fiyatı ve türbinleme için en yüksek gerçekleşen elektrik fiyatı analiz edilmiştir. Analiz sonucu Şekil 4.18'de gösterilmiştir. aşağıda gösterilmiştir. Veri tabanındaki en yüksek puant fiyatlarıyla yapılan analiz gece fiyatıyla yaklaşık 9 kat fark olduğundan STAP Programıyla yapılan analizde sonuç kârlı olarak çıkmıştır, bu farkın çok yüksek olması sebebiyle sonuç gerçekçi değildir.

	Üst Rezervuar Baraj Gövde Maliyetleri	Pompaj Giderleri	Toplam Giderler	Türbinleme Gelirleri	Pik Fayda	Diğer Faydalar	Toplam Gelirler	NetFayda
09928	778700	44584869,4728133	79640858,2783...	313937744,72	0	0	313937744	234296886
09928	778700	44675711,5982916	79920031,5989...	314577396,07	0	0	314577396	234657364
09928	778700	44746204,317157	80170079,3717...	315073760,09	0	0	315073760	234903680
09928	778700	44801443,3907618	80399163,8646...	315462717,84	0	0	315462717	235063553
09928	778700	44845122,95265	80613191,9142...	315770280,99	0	0	315770280	235157089
09928	778700	44879953,3518367	80816487,7860...	316015534,08	0	0	316015534	235199046
09928	778700	44907945,3995195	81012250,8630...	316212635,93	0	0	316212635	235200385
09928	778700	44930606,4470162	81202871,3326...	316372200,34	0	0	316372200	235169329

GELİRLER =	316.372.200,34
GİDERLER =	81.202.871,33
GELİR / GİDER ORANI =	3,90

Şekil 4.18. Gelir Gider Oramı

ANALİZ SONUCU

Kullanıcı Olarak Girdiğiniz Verilerle Yapılan Analiz Sonucunda Projeniz Uygulanabilir, Kârlı Bir Yatırımdır.

Tamam

Gelirler 2.263.248.259,...

Giderler 554.929.449,06

NBD = 4,08

Fayda / Gider (NBD) Hesapla

Şekil 4.19. Net Bugünkü Değer Oranı

4.3 EPDK verileri ile Analiz

Gerçekçi sonuçlar için EPDK tarafından paylaşılan güncel elektrik fiyatları ile STAP Programında analiz yapılması. EPDK tarafından 01.04.2022 tarihinden itibaren geçerli elektrik fiyatları tablosu Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Gece fiyatları ile alınan elektrik pompajda kullanılacak ve puant fiyatları ile satılacağından kâr/kWh dönüşümü yapıp STAP Programında elektrik fiyatları sekmesine manuel olarak fiyatlar girilerek ve daha önce girilmiş olan inşaat birim maliyetleri kullanılarak analiz yapılmıştır. Bu analizin sonuçları da karlı çıkmıştır.

Çizelge 4.2 Nisan Elektrik Fiyatları Tarife Tablosu (EPDK,2022)

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Nisan 2022 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/4/2022		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Orta Gerilim Çift Terimli						Orta Gerilim Çift Terimli			
	Sanayi	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	14,7972	210,2937	212,7006	327,7742	119,8248
	Ticarethane	179,3849	181,2074	285,5953	98,1502	23,0611	202,4460	204,2685	308,6564	121,2113
	Mesken	129,8706	132,0379	210,9765	68,9122	22,8419	152,7125	154,8798	233,8184	91,7541
	Tarımusal Sulama	134,4881	135,8913	215,9899	71,8848	18,9925	153,4806	154,8838	234,9824	90,8773
	Aydınlatma	165,1451				22,1336	187,2787			
	Tek Terimli						Tek Terimli			
	Sanayi	202,1130	204,6035	323,6222	108,5434	16,3448	218,4578	220,9483	339,9670	124,8882
	Ticarethane	182,5837	184,4062	288,7941	101,3485	28,7660	211,3497	213,1722	317,5601	130,1145
	Mesken	130,9038	133,0713	212,0088	69,9448	28,2039	159,1077	161,2752	240,2127	98,1487
	Tarımusal Sulama	135,9633	137,3665	217,4653	73,3592	23,6477	159,6110	161,0142	241,1130	97,0069
	Aydınlatma	168,1114				27,6100	195,7214			
	Alçak Gerilim Tek Terimli						Alçak Gerilim Tek Terimli			
	Sanayi	204,8204	207,1843	320,2166	115,9563	25,2888	230,1092	232,4731	345,5054	141,2451
	Ticarethane (30 kWh/gün ve altı)	133,1871	190,2848	294,6726	107,2275	34,2716	167,4587	224,5564	328,9442	141,4991
Ticarethane (30 kWh/gün üstü)	188,4627	190,2848	294,6726	107,2275	34,2716	222,7343	224,5564	328,9442	141,4991	
Mesken (8 kWh/gün ve altı)	78,9190	136,5075	215,4457	73,3809	33,5187	112,4377	170,0262	248,9644	106,8996	
Mesken (8 kWh/gün üstü)	134,3397	136,5075	215,4457	73,3809	33,5187	167,8584	170,0262	248,9644	106,8996	
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	30,8956				22,7335	53,6291				
Tarımusal Sulama	139,4434	143,1182	220,9458	76,8394	28,1603	167,6037	171,2785	249,1061	104,9997	
Aydınlatma	173,6784				32,8247	206,5031				
Genel Aydınlatma	204,7600				32,8247	237,5847				

Çizelge 4.3. STAP İçin Düzenlenmiş EPDK Verileri

EPDK-NİSAN 2022	EPDK TABLOSU (kr/kWh)		STAP VERİ TİPİ (TL/MW)		STAP VERİ TİPİ (\$/MW)		Oran (P/G)
	GECE	PUANT	GECE	PUANT	GECE	PUANT	
İletim Sistemi Kullanıcıları	105,0276	312,977	₺1.050,28	₺3.129,77	\$ 70,02	\$ 208,65	2,98
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları (Faaliyet Bazlı-Perakende-Tek Terimli-Ticarethane)	101,3485	288,7941	₺1.013,49	₺2.887,94	\$ 67,57	\$ 192,53	2,85
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları (Güç bedeli Hariç-Tek Terimli-Ticarethane)	130,1145	317,5601	₺1.301,15	₺3.175,60	\$ 86,74	\$ 211,71	2,44

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir bir enerji çeşidi olan hidrolik enerjisi daha iyi tasarımlarla ve daha doğru yatırımlarla var olan kurulu gücün çok daha üstünde bir enerji üretimi elde etmek mümkündür. Enerji üretiminde yeni yatırımlar yapılabileceği gibi var olan santrallere yeni sistemler entegre ederek kârlı, güvenli ve temiz bir enerji üretimi kılmak mümkündür. Kurulu gücü artırma, ithal edilen enerjiyi azaltma, ihracatı yapılan enerjiyi artırma ve dolayısıyla ülkemizin cari açığı noktasında en büyük kalemi oluşturan enerji açığını kapatmanın bir yöntemi olarak görülen enerjiyi depolamak fikri onlarca yıldır dünya ülkelerinin uğraştığı alanlardan biridir. Dünya ülkeleri var olan enerjisini depolamanın birçok yöntemini uygulamıştır. Enerji üretiminde, üretim kaynaklarının çeşitliliğini artırmaya çalışan ülkemizde, enerji kaynakları çeşitliliği artırılırken dünya ülkelerinde enerji depolamanın en ucuz yolu olarak kullanılan sistem hala maalesef ülkemizde uygulamaya konulmamıştır. Pompa depolamalı hidroelektrik santraller olarak adlandırılan bu kolay ve yerli enerji depolama sistemi ülkemizin yapmayı planladığı sistemlerdendir.

Bu çalışmada bir Pompa depolamalı hidroelektrik santral tasarımında yardımcı olacak bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. STAP adı verilen bu masaüstü program kolayca bilgisayarlara kurulabilmekte ve proje yatırımına karar verebilmektedir. Hidrolik ve ekonomik analiz yapabilen STAP programı mühendislik hizmeti veren kişi, kurum veya yatırımcıların rahatlıkla kullanabileceği basit ve Türkçe olan bir ara yüzle tasarlanmıştır.

Yapılan örnek analizde programın geçerliliği doğrulanmış olup programın tasarımında ileri düzey kod ve veri tabanı sistemi kullanıldığından güncellemelere ve geliştirilmeye açık ve kullanımı pratiktir.

KAYNAKLAR

- Aydemir, E., 2002. Visual Studio ile C# Uygulamaları, Nobel Yayıncılık.
- Aydın, B. E., 2010, Feasibility study of multiple hydropower project: case study of Baltacı stream, Trabzon, Turkey, M.S. - Master of Science, *Middle East Technical University*, 2010.
- Blakers, A., Stocks, M., Lu, B. ve Cheng, C., 2021, A review of pumped hydro energy storage, *Progress in Energy*, 3 022003.
- Anoim, 2017, 2. Ormancılık ve Su Şurası, Barajlar Çalışma Grubu Taslak Raporu, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 4-6 Mayıs 2017.
- Anonim, 2018, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller Yol Haritası Çalıştayı, Çalıştay Çalışma Raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü, 28 Şubat 2018, Ankara.
- Anonim, 2021a, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> 15.12.2021.
- Anonim, 2021b, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>, (1 Aralık Ocak 2021).
- Anonim 2021c, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle> (5 Aralık 2022).
- Anonim 2021d, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal> (15 Kasım 2021).
- Anonim 2022, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>. Erişim tarihi: 30 Nisan2022.
- Anonymous, 1981, An Assessment of Hydroelectric Pumped Storage, Washington: US Government U.S. Army Engineer Institute for Water Resources. Printing Office.
- Anonymous, 2021a, Pumped Storage Hydropower Capabilities and Costs, Capabilities, Cost and Innovation Working Group, Pumped Storage Hydropower International Forum. <https://www.hydropower.org/publications/international-forum-on-pumped-storage-hydropower-executive-summary-september-2021>.
- Anonymous, 2021b, Executive Summary, International Forum on Pumped Hydropower, Hydropower International Forum. <https://www.hydropower.org/publications/international-forum-on-pumped-storage-hydropower-executive-summary-september-2021>.
- Bozdemir, M., 2013. Hazneli Pompalı Hidroelektrik Santrallerin Türkiye Açısından Değerlendirilmesi Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, 74.
- Büyükyıldız, D. 2012. Wind Powered Pumped Hydro Storage Systems and Aslantaş Case Study, *Master's Thesis. İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Çetinkaya, S. 2014, Capacity Determination of Pumped Storage Projects Using Market Electricity Prices, Yüksek Lisans, Master of Science, *Middle East Technical University*, 2014.
- Cofcof, Ş. 1992. Tünel Maliyetleri ve Enerji Tünellerinde Ekonomik Çap Seçimi ile İlgili Bir Çalışma. *DSİ Teknik Bülten*, 77, 69-79.
- Cofcof, Ş. 1996. *Kanal Santrallerinde Genel Boyutlandırma Esasları*. <http://www.dsi.gov.tr/docs/yayinlarimiz/kanal-santrallar%C4%B1nda-genel-boyutland%C4%B1rma-esaslar%C4%B1.pdf?sfvrsn=2>.
- Cofcof, Ş., 2008. *Kanal Santrallerinde Su İletim Hattı ve Yükleme Havuzları*. <http://www.dsi.gov.tr/docs/yayinlarimiz/kanal-santrallar%C4%B1nda-su-iletim-hatt%C4%B1.pdf?sfvrsn=4>.
- DSİ, 2018, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2018 yılı Faaliyet Raporu, Ankara, 36.
- Göktaş, H. 2018, Türkiye İçin Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Önemi Ve Durum Analizi, Yüksek Lisans, *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırklareli, 92-110.

- İbrahim, H. Ilinca, A. ve Perron, J., 2008, Energy storage systems-Characteristics and comparisons, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 1221-1250.
- Kaya, M.(2012), Rüzgâr enerjisi- pompaj depolamalı hidrolik hibrit güç sisteminin tasarımı ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Konya, 92.
- Kocaman, A.S., 2019, Pompaj depolamalı hibrid enerji sistemi optimizasyonu, Türkiye için vaka analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(1), 53-67.
- Lacal Arántegui, R., Tzimas, E., 2012, SETIS expert workshop on the assessment of the potential of pumped hydropower storage, *Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport*, .: Petten, the Netherlands, 2nd and 3rd April 2012, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2790/53924>.
- Saraç, M., 2009, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller. *Forum 2009-Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri*,13-15.
- Saray, E. (2019), Yenilenebilir Enerji Üretim ve Yatırım Maliyetleri Karşılaştırması: Ege Bölgesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Denizli, 36.
- Sertkaya, A.A, Maksut Saraç ve Omar, M.A., 2015, *Pompaj Depolamalı Hidroelektrik SantrallerininTürkiye İçin Önemi*,” Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(3),369–382.
- Tuna, M. C.,2012, Hazar Gölü Cansuyu Ve Pompaj Depolamalı Hes Projesi . *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 14 (2) , 29-42 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/deumffmd/issue/40821/492525>.
- Turan, A. 2019, Operation Strategies of Pumped Storage Hydropower Plants Under Electricity Spot Market: Case Study Of Uluabat Hydropower Plant, Master of Science, *Middle East Technical University*, Ankara.
- Witt, A., Hadjerioua, B., Bishop, N., and Uriá-Martínez, R. 2015, Evaluation of the Feasibility and Viability of Modular Pumped Storage Hydro (m-PSH) in the U.S., *Oak Ridge National Laboratory*, Oak Ridge, Tennessee.
- Yang, C.-. Ve Jackson, R. B.,2011,. Opportunities and Barriers to Pumped-Hydro Energy Storage in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 839-844.
- Yıldırım, E. (2014), Enerji Depolanması, Verimliliği, Pompaj Depolamalı Hidro-Elektrik Santraller Ve Türkiye’deki Uygulamaları: Bayramhacılı Pompajlı Hibrit Destekli Hes Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aksaray, 69.
- Yorgancılar, N. S., ve Kökçüoğlu, H. (2009). Pompaj Depolamalı Santrallerin Türkiye’de Geliştirilmesi. *Turkey 11th Energy Congress*.
https://www.emo.org.tr/ekler/3a7373fd2bfa6c3_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=7
- Zipparro, V. J., & Hasen, H. (1993). *Davis’ Handbook of Applied Hydraulics*, (4 ed.). New York: McGraw Hill.

ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Ali PEKER
Uyruğu : T.C

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Melik Ahmet Lisesi, Sur, Diyarbakır	2012
Üniversite	: Bingöl Üniversitesi, Merkez, Bingöl	2016
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2022

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-2017	Dev-Mak Çelik İnş.	İnşaat Mühendisi
2017-2018	Revan İnşaat Ltd. Şti	İnşaat Mühendisi
2021-Devam ediyor	Muş Aile Sosyal Hizmetler	Büro Personeli

YABANCI DİLLER: