T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERFİ MERKEZLERİ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ENERJİ İHTİYACINI DESTEKLEYECEK GÜNEŞ-RÜZGAR HİBRİT SİSTEMİNİN TASARIMI-OPTİMİZASYONU; KAĞITHANE TERFİ MERKEZİ ÖRNEĞİ

İhsan Mustafa DOĞAN

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA

EDİRNE-2022

İHSAN MUSTAFA DOĞAN'ın hazırladığı "**TERFİ MERKEZLERİ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ENERJİ İHTİYACINI DESTEKLEYECEK GÜNEŞ-RÜZGAR HİBRİT SİSTEMİNİN TASARIMI-OPTİMİZASYONU; KAĞITHANE TERFİ MERKEZİ ÖRNEĞİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir **Doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA

Prof. Dr. Ayşegül CAN

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Dr. Öğr. Üyesi Rembiye KANDEMİR

Tez Savunma Tarihi: ...../……./……

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onay

……
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

04/04/2022
İhsan Mustafa DOĞAN

Doktora Tezi

Terfi Merkezleri Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi Ve Enerji İhtiyacını Destekleyecek Güneş-Rüzgar Hibrit Sisteminin Tasarımı-Optimizasyonu; Kağıthane Terfi Merkezi Örneği

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

İçme suyu terfi merkezleri düşük kotlardaki içme suyunun yüksek kotlardaki depolara terfi ettirilmesini veya yüksek rakımlı yerleşim birimlerine istenen şebeke basıncında içme suyu ulaştırılmasını sağlayan ve pompa binası, pompalar, vanalar, elektrik panoları, trafodan oluşan tesislerdir.

Bu tez çalışmasında, özellikle temiz bir çevre ile sürdürülebilir bir gelecek için Kağıthane Terfi Merkezinde enerji verimliliğin artırılmasını amaçlayan enerji etütleri yapılmış ve enerji ihtiyacının desteklenmesinde kullanılacak hibrit sistem, rüzgâr türbini olarak helisel savonius rüzgâr türbini ile çanak kollektörlü stirling motorlu güneş santralinden oluşacak şekilde özgün olarak tasarlanmıştır. Terfi merkezlerinin Güneş-rüzgâr hibrit türbin sistemi ile desteklenmesi ve tesis enerji verimliliğinin sürekli takibi sonucu verimsizlikleri azaltacak proje yaklaşımları ile fosil yakıtların olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması da göz önünde bulundurularak, su tüketim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

Kağıthane Terfi Merkezi'nde bu tez çalışmasına özgü bir yöntemle titreşim ve sıcaklık ölçümlerine bağlı olarak verim tespitinin araştırılması amacıyla oluşturulan deneysel motor ve pompa düzeneğinde ölçümlemeler ve analizler yapılmıştır. Sonrasında Kağıthane Terfi Merkezi'nde su debisi ve pompa giriş çıkış basıncı ölçümü ile klasik yöntem üzerinden yapılan verim tespitleri ile sıcaklık ve titreşim ölçümleri tekrarlı olarak yapılmasıyla ve titreşim ölçümlerinin Abaqus programında yapılan analizleri sonucu titreşimin ağırlık merkezine indirgenmesi ile oluşturulan istatistiksel

veri tabloları kullanılarak Matlab programı marifetiyle enerji verimliliğini özgün yöntemle yaklaşık tahmin eden paket program oluşturulmuştur.

Tez çalışmasının son bölümünde çoklu olarak konulmaları ile terfi merkezlerinin enerji ihtiyacını destekleyecek, güneş ve rüzgâr türbinlerinin özgün şekilde ortak şaftta birleştirilmesi şeklinde tasarlanan güneş-rüzgâr hibrit türbini araştırılmıştır. Güneş türbini kısmında güneş takip sistemine sahip noktasal odaklı çanak güneş kolektörü ve entegre stirling motoru ile enerji üreten güneş türbini tasarımı yapılmıştır. Rüzgâr türbini kısmında ise özgün PVC köpük arası poliüretan köpük sandviç kompozit kanat malzemesiyle 3D olarak dizayn edilen ve malzeme dayanım testleri İTÜ Uçak mühendisliği laboratuvarında fiziki olarak yapılan, HAD/CFD programıyla ise rüzgâr-akış analizleri yapılan helisel savonius rüzgâr türbini tasarlanmış ve kısmi imalatı yapılmıştır.

Sonuç olarak Kağıthane Terfi Merkezi örneğinde %14,6 enerji tasarrufu potansiyeli tespit edilmiş ve Kâğıthane terfi merkezi için 8 ayrı noktadan titreşim, 13 ayrı noktadan sıcaklık ölçümlerinin veri olarak girilmesiyle motopomp verimini özgün bir yöntemle tahmin eden paket program elde edilerek terfi merkezi için enerji verimliliğinin alternatif bir metotla takibine imkan sağlanmıştır. Güneş-rüzgâr hibrit türbini tasarım, test ve imalat aşamalarında; rüzgâr türbini iskelet malzemesi olarak özgün olarak belirlenen PVC köpük arası poliüretan köpük sandviç kompozit malzemenin 24,83 MPa dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr ve güneş türbinlerinin bu tez çalışmasında özgün olarak ortak şaft üzerinde hibrit çalışmasının; 7-20 m/sn rüzgâr hızlarında verimi %2,3-%18,1 arasında artıracağı görülmüştür. Güneş-Rüzgâr Hibrit Santralinin 20 m/sn rüzgâr anma hızı için klasik yatay eksenli rüzgâr türbinine göre %36, dikey eksenli rüzgâr türbinine göre %25,5 daha ekonomik olacağı ortaya konmuştur. Özgün özellikleri ile tasarlanan ve kısmen imalatı yapılan Güneş-Rüzgâr Hibrit Santralinin 1 kW'lık çoklu uygulamasının diğer türbin uygulamaları ile karşılaştırıldığında 60 kW'a kadar maliyet açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 257

Anahtar Kelimeler : Terfi Merkezleri, Enerji Verimliliği, Güneş Türbini, Savonius Rüzgâr Türbini, , Hibrit Santral

PhD Thesis

Evaluation of Energy Efficiency of Pump Station and Design-Optimization of Solar-Wind Hybrid System to Support Energy Need; The Case of Kağıthane Pump Station

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Department Of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Potable water pumping station is a facility, that provide a channel from water storage at low grade to water storage at high grade which help networks to get water with desired pressure.

In this thesis, the the Solar-Wind Hybrid System is designed originally as a wind turbine consisting of a helical savonius wind turbine and a "mixer motor" with solar collector for a sustainable future with clean enviroment. Combining renewable energy sources such as solar and wind to increase overall efficiency in a new compact hybrid system will reduce the unit energy costs of solar and wind power supporting the energy needs of pumping stations with solar-wind hybrid turbine system, conducting projects to reduce inefficiency determined by monitoring energy efficiency by measurements, will reduce water consumption costs in the light of decreasing negative impacts of fossil fuels on the environment.

The energy efficiency of the plant was determined after continuous monitoring at Kağıthane Pump Station. In order to, illustrate relationship between energy inefficiency and motopump vibration and temperature values with methods specific to this thesis study, measurements and analyzes were carried out in the experimental motor and pump assembly. Afterwards, motopump efficiency measurements and temperature and vibration measurements were repeated with original method based on water flow, pump inlet pressure and pump outlet pressure measurements at The Pump Station. As a result of the application of vibration measurement values in Abaqus program, vibration values were reduced to the center of gravity.

In last part, the hybrid turbine design which uniquely combines solar turbine and wind turbines in a common shaft is designed to support the energy needs of multi-location elevation centers. The solar part integrates a solar turbine design that generates energy with a stirling engine and a solar collector with tracking system. In the wind part, a unique composite material consisting of polyurethane-PVC foam was used; and durability evaluation tests were conducted for this composite material. Helical-saving wind turbine part, whose 3D solid model is produced, wind analysis and optimization is done with CFD (Computational Fluid Dynamics) program and partial tests at ITU Aeronautical Engineering Laboratory.

As a result, 14.6% energy saving rate is detected in kağıthane pumping station example. In the process of producing wind and solar hybrid turbine, It has been determined that the polyurethane foam and PVC foam sandwich composite has a strength of 24.83 MPa. Hybrid operation of solar and wind turbines on a common shaft; It has been observed that it will increase the efficiency between 2.3% and 18.1% at 7-20 m/s wind speeds. It has been revealed that the Solar-Wind Hybrid Power Plant will be 36% and 25.5% more affordable than the classical horizontal axis wind turbine and the vertical axis wind turbine for 20 m/sec wind rated speed respectively.In addition, it has been determined that the 1 kW multiple application of the designed and partially manufactured Solar-Wind Hybrid Power Plant with spesific feature is more advantageous in terms of cost up to 60 kW when compared to other turbine applications.

Year : 2022

Number of Pages : 257

Keywords : Pumping Station, Energy Efficiency, Savonius, Solar-Wind Hybrid Power Plant

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca vermiş oldukları desteklerden dolayı değerli danışman hocam Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA'ya, İTÜ Uçak Mühendisliği Laboratuvarında yapılan kompozit malzeme testlerindeki desteklerinden dolayı Prof. Dr. Erkan AYDER'e, laboratuvar sorumlusu Müslüm ÇAKIR'a, doktora tez çalışmamda kullanılan; "ABAQUS" programı için çalışmalarıma destek veren MESH Mühendislik ve Yazılım A.Ş.'ye, "CFD Design" programı kullanımında gösterdikleri anlayış için Autodesk'e, "Matlab" programı kullanımında gösterdikleri anlayış için FİGES AŞ.'ye, "NX" programı kullanımında gösterdikleri anlayış için Üçgen Yazılım LTD. ŞTİ'ye, "SPSS" programı (IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.) kullanımında gösterdikleri anlayış için IBM'e Kağıthane Terfi Merkezinde tezin uygulama bölümü için yapılan çalışmalarda kurumsal olarak destek sağlayan ve tezdeki verilerin yayınlanmasıyla ilgili gerekli izinleri veren İSKİ'ye, yardımlarını esirgemeyen tüm İSKİ çalışanlarına ve tez çalışmasına 2011/33 Proje numarası ile olan mali desteklerinden dolayı Trakya Üniversitesi kuruluşu TÜBAP'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv

ABSTRACT vi

ÖNSÖZ viii

İÇİNDEKİLER ix

SİMGELER DİZİNİ xv

KISALTMALAR DİZİNİ xix

ŞEKİLLER DİZİNİ xxi

ÇİZELGELER DİZİNİ xxix

EKLER DİZİNİ xxxii

BÖLÜM 1 1

GİRİŞ 1

1.1. Literatür Araştırması 5

BÖLÜM 2 16

GENEL BİLGİLER VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE 16

2.1. Enerji Verimliliği 16

2.1.1. Enerji Verimliliğinin Tanımı 18

2.1.2. Enerji Verimliliği Uygulamaları 21

2.1.3. Enerji Verimliliğinin Önemi 22

2.2. Terfi Merkezleri 23

2.2.1. Terfi Merkezlerinin Kurulumu 23

2.2.2. Terfi Merkezlerinin Enerji Tüketimindeki Yeri 24
2.2.3. Terfi Merkezleri Tesis Hesaplamaları 24
2.3. Elektrik Motorları ve Pompalar (Motopomplar) 25
2.3.1. Elektrik Motoru ve Pompalarının Genel Tanımı 25
2.3.2. Elektrik Motoru ve Pompa Türleri 27
2.3.3. Motopomplarda Klasik Verim Ölçüm Metodu 29
2.3.4. Motopomplarda Termodinamik Metotla Alternatif Verim Ölçümü 31
2.4. Verimsizlik 34
2.4.1. Verimsizliğin Sebepleri 34
2.4.2. Verimsizlik Türleri 35
2.4.2.1. Mekanik Verimsizlik 35
2.4.2.2. Isıl Verimsizlik 36
2.4.2.3. Titreşim ve Isı Oluşumu 36
2.4.3. Kullanılan Bilgisayar Programlarının Tanıtılması [Matlab, Abaqus, NX, CFD, SPSS] 38
2.4.3.1. Matlab Programı 38
2.4.3.2. Abaqus Programı 39
2.4.3.3. NX 3D Çizim Programı 39
2.4.3.4. CFD Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Programı 40
2.4.3.5. SPSS Programı 40
2.5. Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Sistemleri 40
2.5.1. Güneş Enerjisi 41
2.5.1.1. Güneş Enerjisinin Tanımı 42
2.5.1.2. Güneş Enerjisinin Özellikleri 43
2.5.1.3. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli 44
2.5.1.3.1. İstanbul'da Güneş Enerjisi Potansiyeli 47

2.5.2. Güneş Enerji Sistemleri 49
2.5.2.1. Fotvoltaikler ve Yoğunlaştırıcılı Sitemler 49
2.5.2.2. Noktasal Odaklamalı Sistemler 50
2.5.2.3. Stirling Motoru 50
2.5.2.3.1.Stirling Motoru Soğutma Sistemi 56
2.5.2.4. Güneş Takip Sistemleri 58
2.5.3. Rüzgâr Enerjisi 62
2.5.3.1. Rüzgâr Enerjisinin Tanımı 62
2.5.3.2. Rüzgâr Enerjisinin Özellikleri 64
2.5.3.3. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli 64
2.5.3.3.1. İstanbul'da Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli 66
2.5.3.4. Rüzgâr Gücünün Hesaplanması 68
2.5.3.5. Rüzgâr Türbini Türleri 70
2.5.3.5. Rüzgâr Türbini Kontrol Sistemleri 72
2.5.3.6. Rüzgâr Türbini Güç Sistemleri 73
2.5.3.7. Rüzgâr Türbinleri Kavrama ve Fren Sistemleri 76
2.5.3.8. Hidrolik Sistemler 78
2.5.3.8.1. Hidrolik Ekipmanlar 78
2.5.3.8.2. Hidromotor ve Hidrolik Pompa 79
2.5.3.9. Helisel Savonius Rüzgâr Türbini 81
2.5.3.9.1. Güç ve Performans Değerlendirme 82
2.5.3.9.2. Tasarım Kriterleri ve Analizleri 86
2.5.3.9.3. Savonius Türbini Ekipman ve Malzemeleri 89
2.5.3.10. Sandviç Kompozit Teorisi 90
2.5.3.11. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonları (CFD) 92

BÖLÜM 3.....94

MATERYAL YÖNTEM 94

3.1. Pilot Terfi Merkezi Enerji Verimliliği Ölçüm Çalışmaları 94

3.1.1. Pilot Terfi Merkezi Enerji Etütüdü Yöntemi Bileşenleri 94

3.1.2.Enerji Etüt Çalışmasının Hedefleri.....95

3.1.3. Enerji Etüt Çalışmalarının Kapsamı.....95

3.1.4. Yapılan Enerji Etüdü ve Verim Ölçüm Çalışmaları.....98

3.1.4.1. Debi Üretim ve Enerji Tüketim Analizleri.....102

3.1.5. Ekipman Durumu ve İsale Hatları Basınç Kayıpları 105

3.1.6. Kâğıthane Terfi İstasyonu Verimlilik Artırıcı Revizyonların Değerlendirilmesi 106

3.2. Deneysel Çalışma Ortamında Sıcaklık ve Titreşim Ölçümleriyle Motopomp Verimlerinin Tayini.....110

3.2.1. Verim ile Motor Pompa Sıcaklıkları İlişkisi.....110

3.2.2. Verim ile Motor Pompa Titreşim İlişkisi.....110

3.2.3. Motopomp Deneysel Çalışma Test Düzeneği.....111

3.2.3.1. Motopomp Deneysel Çalışma Düzeneği Veri Analizi.....117

3.2.3.1.1.Deneysel Çalışma Test Düzeneğinde Farklı Kaplin-Denge Ayarları İçin Titreşim Ölçümleri SPSS Analizleri 118

3.3. Kâğıthane Terfi İstasyonunda Sıcaklık ve Titreşim Ölçüm Değerleri İle Motopomp Verimleri Tespiti 133

3.3.1. Kâğıthane Terfi Motopompları için Isıl Ölçüm Modelleri 133

3.3.1.1. Sıcaklık Ölçüm Noktalarının Belirlenmesi 134

3.3.1.2.Termokupl ve Titreşim Ölçerle Yapılan Ölçüm Sonuçları.....137

3.3.2. Titreşim Ölçüm Modeli 138

3.3.2.1. Titreşim Ölçüm Noktalarının Belirlenmesi.....139

3.3.2.2. Titreşim Ölçüm Sonuçları.....141

3.3.3.Kütlesel Titreşimin Ağırlık Merkezlerine Abaqus Programı İle İndirgenmesi 143
3.3.4.Isı ve Titreşime Dayalı Amprik Verim Tahmin Denkleminin Oluşturulması 150
3.3.5. Ampirik Denklemi Kullanan Enerji Verimliliği Tahmin Eden Program Eldesi 151
3.4. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Tasarımı ile CFD Analizi ve Kısmi İmalatı 153
3.4.1. Güneş-Rüzgâr Hibrit Sisteminin Amaçlanan Çalışması ve Çalışma Prensipleri.... 154
3.4.2. Hibrit Türbinin Terfi Merkezi ve Sisteminde Kullanılacağı Yerler..... 156
3.4.3. Gerekli Türbin Gücüne Karar Verilmesi 157
3.4.4. Kesit Tasarım Parametreleri Tanıtımı 159
3.4.5. Modelin İmportu Sonrası Meşlenmesi ile Kesit Tayini ve CFD Analizi 160
3.4.5.1.Modelin İmport Edilmesi ve Sınır Şartlarının Oluşturulması 160
3.4.5.2. Modelin Meşlenmesi ve Motion Menüden Hareket Verilmesi..... 161
3.4.5.2.1.Motion Menüden Hareket Verilmesi 161
3.4.5.3. Kesit Tayini ve HAD/CFD Analizi..... 162
3.4.6. Azami Rüzgâr Yükünde Asgari Kanat Mukavemet Değerlerinin Belirlenmesi 165
3.4.7. Kesit Optimizasyonu Nihai Kesitin Tespiti ile Hibrit ve Ayrık Çalışma Analizi..... 167
3.4.8. Kanat Malzemesi Seçimi..... 172
3.4.9. PVC Arası Sandviç Kompozit Tercih Edilmesinin Sebepleri[Hafif, İnnovatif, Her İki Plakanında Köpük Olması]..... 173
3.4.10. Sandviç Malzeme Testleri..... 174
3.4.11. Çanak Kollektörlü Stirling Motoru ve Yardımcı Ekipmanlardan Oluşan Güneş Türbini Kısmı..... 183
3.4.11.1. Kolektör İç Yüzeyine Uygulanacak Yansıtıcı Film Seçimi Ve Özellikleri ... 183
3.4.11.2. Çanak Kolektör Seçimi ve Ebatlarına Karar Verilmesi 183
3.4.11.3. Yoğunlaştırma Alanı ve Isıl Güç Hesabı 184
3.4.12. Kullanılacak Stirling Motorun Seçimi ve Özellikleri..... 186
3.4.12.1. Çalışma Teorisi ve Güç Performans Özellikleri 187

3.4.13. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin Teknik Resimleri ve Kısmi İmalatı 189

3.4.13.1. Montaj ve İmalat Teknik Resimlerinin Hazırlanması 189

3.4.13.2. Güneş- Rüzgâr Hibrit Türbini Kısmi İmalatlarının Yapılması 192

3.5. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Maliyet Analizi ve Diğer Rüzgâr Türbinleri İle Maliyet Karşılaştırması 201

BÖLÜM 4..... 204

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR 204

4.1. Tartışmalar ve Bulgular..... 204

4.1.1. Literatür Çalışmaları ile Karşılaştırma..... 204

4.1.2. Bulgular..... 207

4.2. Sonuçlar 210

KAYNAKLAR 212

EKLER..... 222

EK-I Rüzgâr Türbini Kısmı Montaj Teknik Resmi 223

EK-II Güneş Türbini Kısmı Stirling Motor Montaj Teknik Resmi [ve//ingenieure GmbH] 224

ÖZGEÇMİŞ 225

SİMGELER DİZİNİ

A_1 : İlk kesit alanı (m^2)

A_2 : İkinci kesit alanı (m^2)

A_{kritik} : Kritik kesit alanı (m^2)

A_T : Çarkın süpürme alanı (m^2)

$A_{süpürme}$: Savonius rüzgar türbini süpürme alanı (m^2)

a_X : Motopomp ağırlık merkezinin x eksenindeki ivmesi (mm/s)

a_Y : Motopomp ağırlık merkezinin y eksenindeki ivmesi (mm/s)

a_Z : Motopomp ağırlık merkezinin z eksenindeki ivmesi (mm/s)

b : Numunenin genişliği (m)

BD : Bu günkü parasal değer (USD)

BTK : Hat başındaki(terfi merkezi çıkışındaki) boru taban kotu, (m)

c_1 : İç bükey yüzeyin direnç katsayısı (-)

c_2 : Dış bükey yüzeyin direnç katsayısı (-)

C_p : Güç katsayısı (-)

d : Numunenin kalınlığı (m)

d_b : Boru çapı (m)

$d_ç$: Çark çapı (m)

d_m : Mil sızdırmazlık çapı (m)

DD : Düzeltilen debi (m^3/h)

e : Kayma mesafesi (m)

E_x : Spesifik enerji dış kaybı (J/kg)

E	: Toplam enerji (J)
F	: Yayılı kuvvet (N)
F_{max}	: Maksimum yayılı kuvvet (N)
f_f	: Pürüzlülük faktörü (-)
F_r	: Kanatlarda meydana gelen kuvvet (N)
GB	: Hat sonundaki depoda istenen giriş basıncı (m)
GBK	: Hat sonundaki deponun giriş boru kotu (m)
H	: Çark yüksekliği (m)
Hm	: Manometrik yükseklik (terfi basma yüksekliği) (m)
H_L	: Hat basınç kaybı (mSS)
H_g	: Statik yükseklik (mSS)
Ho	: Hat başındaki normal işletme basıncı (mSS)
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
İO	: İskonto oranı (-)
JxL	: Boruda oluşan yük kaybı (m)
K	: Kinetik enerji (J)
k	: Yay katsayısı (-)
k_x	: Kayıp katsayısı (-)
L_{dam}	:İki destek arasındaki mesafe (m)
$L_{kuvvet\ kolu}$	: Kuvvet kolu uzunluğu. (m)
L	: Hat uzunluğu. (m)
μ	: Akışkanın dinamik viskozitesi (Pa.s)
N	: Devir sayısı (dev./dak)
ÖDB	: Ölçülen Debi (m^3/h)
P	: Basınç veya kırılma anındaki maksimum gerilim (kPa)

$P_{hidrolik}$: Hidrolik güç (W)

$P_{elektrik\ verilen}$: Motopompa verilen elektriksel güç (W)

P_{opt} : Optimum rüzgâr gücü (W)

P_r : Rüzgâr gücü (W)

$P_{r\,max}$: Maksimum güç (W)

$P_{r\,net}$: Net güç (W)

P_x : Pompa harici güç kaybı (W)

Re : Reynolds sayısı (-)

S : Bükme dayanımı (MPa)

T_p : Pompanın durması veya vananın kapanması için geçen zaman (s)

$T_{R1\ldots7}$: Ortalama sıcaklıklar (°C)

V : Su Hızı (m/sn)

V_X : Motopomp ağırlık merkezinin x eksenindeki hızı (mm/s)

V_Y : Motopomp ağırlık merkezinin y eksenindeki hızı (mm/s)

V_Z : Motopomp ağırlık merkezinin z eksenindeki hızı (mm/s)

V_1 : A_1 kesiti rüzgâr hızı (m/s)

V_2 : A_2 kesiti rüzgâr hızı (m/s)

V_r : Rüzgâr hızı (m/s)

V_T : Ortalama rüzgârın hızı (m/s)

V_{opt} : Rüzgârın optimum hızı (m/s)

v : Çark hızı (m/s)

U : Potansiyel enerji (J)

u : Akışkan hızı (m/s)

yeö : Yatırımın ekonomik ömrü (yıl)

Qp : Pompa debisi (lt/s)

q_m : Kütlesel debi (kg/s)

X : Hat başındaki depoya ait krepin kotu, (m)

x : Yay uzama mesafesi (m)

W : Güç, iş (W)

$W_{\text{karşı iş kuvvet}}$: Rüzgâr türbini için karşılama kuvveti işi (W)

γ : Yer çekimi ivmesi ve yoğunluğun çarpımı (kg /m^2 s^2)

ε : Mutlak pürüzlülük (-)

ε_R : Bağıl pürüzlülük (-)

η_{mp} :Motopomp verimi (-)

η_{tesis} :Tesis verimi (-)

λ : Uç Hız Oranı (-)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

σ_{kritik} : Kritik alan gerilmesi (kPa)

φ : Sabit açı (°)

ω_0 : Başlangıç açısı (°)

ω : Açısal hız (rad/s)

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AWEA	: Amerikan Rüzgâr Enerjisi Birliği
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli İmalat
CNC	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CSP	: Concentrating Solar Power
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
GRHES	: Güneş-Rüzgâr Hibrit Enerji Santrali
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GW	: Giga Watt
GWh	: Giga Watt Saat
HAD/CFD	:Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HRES	:Hibrit Rüzgâr Enerji Santrali
IEA	: International Energy Agency
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
MW	: Mega Watt
NEL	: İngiliz Ulusal Mühendislik Laboratuarı
NREL	: National Renewable Energy Laboratories

PV	: Fotovoltaik Güneş Pili
PVC	: Polivinil Klorür
REDS	: Rüzgâr Enerji Dönüşüm Sistemi
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
SES	: Stirling Energy Systems
SS	: Standart Sapma
SVR	: Destek Vektör Regresyonu
TW	: Tera Watt
TWh	: Tera Watt Saat
WEC	: Dünya Enerji Konseyi (World Energy Council)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kunijima Arıtma Tesisi 150 kW PV Ünitesi (Foster, 2005). 8
Şekil 2.1. Dünya Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklar Bazında Değişimi (1993 – 2017) (KPMG, 2019). 17
Şekil 2.2. 1971-2005 Yılları Arasında AB Ülkelerinde Birincil Enerji Tüketimi ve Sağlanan Tasarruf (İpek vd., 2012). 19
Şekil 2.3. 1000 $'lık Milli Hasıla Üretmek İçin Tüketilen Enerji Miktarı (Karabal, 2014). 20
Şekil 2.4. Birincil Enerji Yoğunluğunun Döviz Kuru ve Satın Alma Gücü Paritesi Kullanılarak Hesaplanması (WEC, 2016). 22
Şekil 2.5. Elektrik Motoru ve Ekipmanları (Sarıgül, 2010). 26
Şekil 2.6. Motopomplarda Özgül Hız Çark Yapısı İlişkisi (Aydoğan, 2013). 29
Şekil 2.7. Devir Hızı İle Kapasite İlişkisi (Seyhan, 1994). 31
Şekil 2.8. Pompa Düzeni ve Kılavuz Çekme Konumları (Thorne & Neal, 2016). 33
Şekil 2.9. Abaqus Modül Seçim Bölümü. 39
Şekil 2.10. Örnek Bir Montajlı 3D Model Resmi (NX 7.5). 39
Şekil 2.11. Dünyada Güneş Enerjisi Kurulu Gücünün Gelişimi (2000 - 2019) (POWERWEB Forecast International's Energy Portal, 2020). 42
Şekil 2.12. Türkiye'de Birincil Enerji Üretiminin Tüketimi Karşılama Oranı - Dışa Bağımlılık (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2017). 45
Şekil 2.13. Türkiye'nin Güneş Enerji Atlası (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 45
Şekil 2.14. Türkiye Global Radyasyon Değerleri (kWh/m2-gün) (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 46
Şekil 2.15. Türkiye için PV Tipi- Alan-Üretilebilecek Enerji (kWh-Yıl) (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 47
Şekil 2.16. İstanbulda Güneş Enerjisi Potansiyeli (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 48

Şekil 2.17. İstanbul İli Aylara Göre Güneşlenme Süreleri (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 48
Şekil 2.18. Stirling Çevrimi (a) P-V ve (b) T-S diyagramları (Zilanlı, 2013). 52
Şekil 2.19. Stirling Çevrimi Şematik Gösterimi (Zilanlı, 2013). 54
Şekil 2.20. Kovuklu Alıcıda Enerji Dengesi. (Zilanlı, 2013). 58
Şekil 2.21. Parabolik Çanak Kesiti. 59
Şekil 2.22. Güneşten Açıklık Alanı (Zilanlı, 2013). 59
Şekil 2.23. Güneşin Mevsimsel Olarak Açısal Değişimi (Öztürk, Duru, 2005). 60
Şekil 2.24. Güneş Paneli Açısı Tespit Dıyagramı (Acar & Kılınçdemir, 2010). 61
Şekil 2.25. Dünyada Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücünün Gelişimi (POWERWEB Forecast International's Energy Portal, 2020). 62
Şekil 2.26. Türkiye'de Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Yıllara Göre Dağılımı (TÜREB, 2019). 65
Şekil 2.27. Türkiye'de Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Olarak Bölgelere Göre Dağılımı (Pınar, Buldur, Tuncer, 2020). 66
Şekil 2.28. İstanbulda Ortlama Rüzgâr Hızları (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 67
Şekil 2.29. Bir Rüzgâr Çakında, Çarkın Önünde ve Arkasında Rüzgâr Hızının Gösterimi (Çatalorman, 2015). 68
Şekil 2.30. Rüzgâr Türbin Konfigürasyonları (Anonim, 2013). 71
Şekil 2.31. Yatay ve Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (Anonim, 2013) 71
Şekil 2.32. REDS Kontrol Sistemi (Mutlu & Akpınar, 2009). 73
Şekil 2.33. Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Aşamaları (Anonim, 2013). 74
Şekil 2.34. Rüzgâr Hızı İle Güç Arasındaki İlişki (Tanrıöver, 2011). 75
Şekil 2.35. Rüzgâr Enerjisi Santrali'nin (a) Tam Modellenmesi, (b) Bütünleşik Modellenmesi (Mutlu & Akpınar, 2009). 76
Şekil 2.36. Rüzgâr Türbinleri Kavrama ve Fren Sistemi (Anonim, 2013). 77
Şekil 2.37. Rüzgâr Türbinleri Kavrama ve Fren Sistemi (Karacan, 2003). 79
Şekil 2.38. Hidrolik Devre Şeması (Karacan, 2003). 79
Şekil 2.39. Hidrolik Pompa (Karacan, 2003). 80
Şekil 2.40. Hidrolik Dişli Motor (Karacan, 2003). 80
Şekil 2.41. Hidrolik Motor (Karacan, 2003). 81

Şekil 2.42. Savonius Rüzgâr Çarkı ve Çark Parametreleri (Atılgan, Deda Altan & Atlıhan, 2009), (Díaz, Pajaro, Salas, 2014).....81
Şekil 2.43. Savonius Rüzgâr Çarklarında Performansı Artırabilmek Amacıyla Uygulanan Perdeleme (Atılgan, Deda Altan & Atlıhan, 2009). 82
Şekil 2.44. Kepçeli Kanatlı Rüzgâr Çarklarındaki İç ve Dış Bükey Yüzeylerdeki Hızlar (Le Gourieres,1982). 83
Şekil 2.45. Kepçeli Kanatlı Rüzgâr Çarklarındaki İç ve Dış Bükey Yüzeylerdeki Hızlar Savonius Rüzgâr Çarkı Tasarım Parametreleri (Le Gourieres,1982). 86
Şekil 2.46. Savonius Türbininin Ağ ve Izgara Yapısı (Lee, Lee, Y. & Lim, 2014). 87
Şekil 2.47. Geleneksel Bir Savonius Rotorunun Şematik Gösterimleri: (a) 2D gösterimi; (b) 3B Gösterimi; (c) Rotoru Akış Şekli (Sedaghat, Hassanzadeh, Jamali, 2017). 87
Şekil 2.48. Savonius Türbininin 2D Şeması (Tian, Song, VanZwieten & Pyakurel, 2015).88
Şekil 2.49. Hız Kontürleri (m / s) ve Türbin Yakınındaki Akım Çizgileri ($\lambda = 0.8$ ve $\theta = 60°$ (a) n = 0.5; (b) n = 0.75; (c) n = 1.0; (d) n = 1.5; (e) n = 2.0; (f) n = 2.5; ve (g) n = 3.0) (Tian, Song, VanZwieten & Pyakurel, 2015). 89
Şekil 2.50. Saç Kanat ve Metal Destekli Savonius Rüzgâr Türbini.....89
Şekil 2.51. Rüzgâr Tünelindeki Savonius Rüzgâr Türbini Kompanentleri (Jeon, Jeong, Pan & Ryu, 2015). 90
Şekil 2.52. Sandviç Kompozit Malzeme İçin Çeşitli Dolgu Tipleri. 91
Şekil 2.53. Pompa Türbini ve Pervane Örnek Akış Analizi (CFD Analiz, 2018), (Bren, 2018). 93
Şekil 3.1. Kağıtane Terfi Merkezi Girişi.....95
Şekil 3.2. Pilot Tesiste Uygulanan Enerji Etüdü Çalışma Sistematiği.....96
Şekil 3.3. Kâğıthane Terfi Merkezi İsale Hatları Uydu Görüntüsü. 97
Şekil 3.4. Kâğıthane Terfi Merkezi Bina İçi Görüntüsü. 97
Şekil 3.5. Kağıthane Terfi Merkezi Aylara Göre Elektrik Tüketim Miktarları. 98
Şekil 3.6. Kağıthane Terfi Merkezi Aylara Göre Elektrik Tüketim Maliyetleri.....98
Şekil 3.7. Motor Kumanda Panosu Üzerinden Okunan Motor Çekilen Güç Değeri. 99
Şekil 3.8. Pompa Giriş ve Çıkışından Basınç Ölçümü Yapılan Manometre ve Basınç Sensörleri. 99
Şekil 3.9. Debi Ölçüm Çalışmasına Ait Görüntü.....99
Şekil 3.10. Saatlik Debi İhtiyacı Grafiği.....100

Şekil 3.11. Saatlik Enerji Tüketimi (kWh), Debi Üretimi (m^3/h). 102
Şekil 3.12. Birim Enerji Başına Transfer Edilen Debi Miktarları..... 103
Şekil 3.13. Kâğıthane Terfi Merkezi'nde Ölçülen Debi Basınç Değerleri Üzerinden Sistem Eğrisi. 103
Şekil 3.14. Motor Sıcaklıklarının Termal Kamera ile Ölçümü. 104
Şekil 3.15. Motopomp Kaplin ve Yatak Sıcaklıklarının Termal Kamera ile Ölçümü. . 104
Şekil 3.16. Kâğıthane Terfi Merkezi'nde Önerilen Bileşik Revizyon Önerisinin Şematik Gösterimi. 107
Şekil 3.17. Çalışmada Üretilen Klasik Yöntemle Motopomp Verimi Hesaplama Programı Ekranı..... 109
Şekil 3.18. Deneyde Kullanılan Motopomp Ölçüleri ve Değerleri. 112
Şekil 3.19. Motopomp Test Düzeneğine Ait LCD Kontrol Paneli. 112
Şekil 3.20. Deneysel Motopomp Test Düzeneği. 113
Şekil 3.21. Motopomp Test Düzeneğinde Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü..... 113
Şekil 3.22. Motopomp Test Düzeneğinde Titreşim Ölçümü. 114
Şekil 3.23. Pompa Test Düzeneğinin Örnek Termal Görüntüsü..... 115
Şekil 3.24 Farklı Sıcaklıklarda Alınan Motopomp Test Düzeneği Termal Resimleri. . 115
Şekil 3.25. Termal Resimlerde Birim Güç Başına Sıcaklığı Artan Alanın Verimsizlikle İlişkisi. 116
Şekil 3.26. Denge Ayarlı Kaplin Titreşim Verim Arasındaki İlşkiye Uyrarlanan Lineer Fonksiyon Grafiği. 118
Şekil 3.27. Verim Değişkeninin Ortalamsı İle Ölçüm Grupları Arasındaki İlişki..... 121
Şekil 3.28. Verim Değişkeninin Aralığı İle Denge Ölçüm Grupları İlişki. 122
Şekil 3.29. Değişkeninin 2 Hareketli Aralığı ile Denge Ayarlı Kaplin Arasındaki İlişki. 122
Şekil 3.30. Kaplin Ayar Kaçıklıkları ve Dengeli Kaplin Arası İlişki İncelemesi. 123
Şekil 3.31. Verim Değişkeninin Denge Ayarlı Kaplin İçin Sıklığı..... 125
Şekil 3.32. Kaplinin 0,5 mm X ve 0,6 mm Y Ekseninde Kaçık Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı..... 126
Şekil 3.33. Kaplinin 0,1 mm Z ve 0,1 mm Y Eksenlerinde Kaçık Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı. 126

Şekil 3.34. Kaplinin 0,1 mm Üç Eksende Kaçık Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı. 127
Şekil 3.35. Kaplinin Üç Eksende 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motor Tek Ayak 0,1 mm Düşük Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı. 128
Şekil 3.36. Kaplinin Üç Eksen 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motorun iki Ayak 1 mm Düşük Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı. 128
Şekil 3.37. Denge Ayarlı Kaplin Q-Q Grafiği. 129
Şekil 3.38. Kaplinin 0,6 mm X ve 0,5 mm Y Eksenlerinde Kaçık Olduğu Durumda Q-Q Grafiği. 130
Şekil 3.39. Kaplinin 0,1 mm Z ve 0,1 mm Y Eksenlerinde Kaçık Olduğu Durumda Q-Q Grafiği. 130
Şekil 3.40. Kaplinin 0,1 mm Üç Eksende Kaçık Olduğu Durumda Q-Q Grafiği. 131
Şekil 3.41. Kaplinin Üç Eksende 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motor Tek Ayak 0,1 mm Düşük Olduğu Durumda Q-Q Grafiği. 132
Şekil 3.42. Kaplinin Üç Eksen 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motor iki Ayak 1 mm Düşük Olduğu Durumda Q-Q Grafiği. 132
Şekil 3.43. Veri Ölçüm Gruplarına Göre ve Verim Değerleri Kutu Grafiği..... 133
Şekil 3.44. Motopomp Üzerindeki Sıcaklık Ölçümlerini Ortalama Sıcaklığa Dönüştürme. 134
Şekil 3.45. Motor Üzerinde Sıcaklık Ölçüm Noktaları Planı Ölçeklendirmesi. 135
Şekil 3.46. Motor Üzerinde İşaretlenen Sıcaklık Ölçüm Noktaları. 136
Şekil 3.47. Motor Üzerinde “T10” Termokupul ve Termal Kamera İle Yapılan Ölçüm. 136
Şekil 3.48. 1-2-3-4 Nolu Motopompların 3D Katı Modeli (Tip-1). 138
Şekil 3.49. 5-6 Nolu Motopompların 3D Katı Modeli (Tip-2). 139
Şekil 3.50. Titreşim Ölçüm Küpleri Yerleşim Planı. 139
Şekil 3.51. Ölçüm İçin Sabitlenen Küplerin Görüntüsü. 140
Şekil 3.52. Ölçüm İçin Sabitlenen Metal Küpler Üzerinden Titreşim Ölçümleri..... 140
Şekil 3.53. Ağırlık Merkezine Göre Basitleştırılen Titreşim Modeli (Kıral, 2013)..... 141
Şekil 3.54. KSB Pompa Kaide Motopomp Yerleşim Planı. 142
Şekil 3.55. Motopomp Kaidesi Montajını Yapan KSB’ye Göre Model Ölçülendirme. 142

Şekil 3.56. Abaqus Programında Motopomp Titreşim Modeli Yüklemeler Altında Görüntüsü. 143
Şekil 3.57. Seçilen Noktada Sonuçları Gösteren XY Data From Odb Field Output Komut Ekranı 144
Şekil 3.58. Seçilen Noktada Frekansa Bağlı Titreşim Değerleri Grafiği. 145
Şekil 3.59. Load Sekmesinde Yükleme Açılması. 145
Şekil 3.60. Ağırlık Merkezi Noktası. 146
Şekil 3.61. Load Manager Tüm Yükleme Noktalarının Yük Değerleri Değişitirme. 146
Şekil 3.62. Job Manager Çözüm İçin İş Oluşturma. 147
Şekil 3.63. Yeni Dosya İsmi Verme. 147
Şekil 3.64. Job Menüsünü Sonlandırma. 148
Şekil 3.65. Çözdürme İşlemine Onay Verme. 148
Şekil 3.66. Motopomp Verim Tahmin Programı Oluşturulan Arayüzü. 152
Şekil 3.67. Güneş-Rüzgâr Hibrit Enerji Sistem Donanımı. 155
Şekil 3.68. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin Kullanılabileceği Terfi Merkezi Su Deposu Alanı Üzerinde Örnek Çoklu Yerleşimi. 157
Şekil 3.69. Farklı Tür Rüzgâr Türbinlerinde C_P-Λ Değişimi (Karadağ, 2009). 159
Şekil 3.70. Savonius Kanat Kesiti Tasarım Parametreleri. 160
Şekil 3.71. Mesh İşlemi Sonrası Meshlenmiş Hazır Model. 161
Şekil 3.72. Rüzgâr Türbini CFD Analiz Programında Çözümleme Sırasında Görüntüsü. 163
Şekil 3.73. CFD Ön Tork Değeri Girilecek Modelde Döner Hacmin Seçilmesi. 164
Şekil 3.74. CFD Ön Tork Değeri Girilen Ekran. 164
Şekil 3.75. Analyze Ekranında İterasyonların Seçilerek Çözdürmenin Başlatılması. 165
Şekil 3.76. Hibrit Türbin Rüzgâr Kısmı İçin Rüzgâr Yükü Alanı F_{max} Yayılı Kuvvet Gösterimi. 166
Şekil 3.77. Tork-Rüzgâr Hızı Grafiği. 169
Şekil 3.78. Devir-Rüzgâr Hız Grafiği. 169
Şekil 3.79. 2 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model). 171
Şekil 3.80. 7 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model). 171

Şekil 3.81. 10 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model). 172
Şekil 3.82. 20 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model). 172
Şekil 3.83. Hazırlanan Sandviç Panel Malzeme Test Numuneleri. 174
Şekil 3.84. Sandviç Kompozit Bükme Dayanımı Test Düzeneği (Aydın & Ekmekçi, 2002). 175
Şekil 3.85. Test Sonucu Deforme Olan Test Numunesi-1. 176
Şekil 3.86. Sac Arası Poliüretan Köpük Sandviç Kompozit Test Numunesi-1 Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği. 176
Şekil 3.87. Sac Arası Poliüretan Kompozit Test Numunesi-1 Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği. 177
Şekil 3.88. Test Numunesi-2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme). 178
Şekil 3.89. Test Numunesi- 2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme) Eksenel Yer Değiştirme-Test Süresi Grafiği. 179
Şekil 3.90. Test Numunesi-2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme) Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği 179
Şekil 3.91. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu). 181
Şekil 3.92. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu) Eksenel Yer Değiştirme-Test Süresi Grafiği. 181
Şekil 3.93. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu) Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği. 182
Şekil 3.94. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininde Kullanılacak Çanak Anten Malzemesi. . 184
Şekil 3.95. Çanak Kollektörün Toplayıcı Isıyı Yansıtarak Üzerine Yoğunlaştırması Gösterimi (solaire-chauffe-eau.info, 2008). 186
Şekil 3.96. ST05G 05 kW Stirling Proje Katı Model. 187
Şekil 3.97. ST05G 05 kW Stirling Motoru Çalışma Sistemi. 188
Şekil 3.98. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin Montajlı Proje (Render İşlemi Uygulanmış). 189
Şekil 3.99. Güneş-Rüzgar Hibrit Türbinine Ait Örnek Altarnatör Teknik Resmi. 190

Şekil 3.100. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Montaj Detaylı Teknik Resmi. 190
Şekil 3.101. Rüzgâr Trübini Kısmı İskelet Yapısının Poliüretanla Kabuklanmış Görüntüsü. 191
Şekil 3.102. Poliüretan Köpük ve Çelik Saçlarla İskelet Hâline Getirilecek Rüzgâr Türbin Kısmı Modeli. 191
Şekil 3.103. Sandviç Kanat Bileşenlerinin Yapıştırılması İçin Yapılan Ahşap Aparatların Görüntüsü. 193
Şekil 3.104. Elde Edilen PVC Arası Poliüretan Sandvic Kompozit Kanat Profili. 193
Şekil 3.105. Rüzgâr Türbini Mil Malzemeleri İşlem Öncesi. 195
Şekil 3.106. Teknik Resime Göre Üretilen Alt Tabla Mil Yatağı Desteği Örnek Gösterimi. 196
Şekil 3.107. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Destek Platformu. 196
Şekil 3.108. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin İmalatı Tamamlanan Destek Ayağı ve Mili. 197
Şekil 3.109. Destek Ayağı Dış Rulman Bağlantısı Yakından Görünümü. 197
Şekil 3.110. İmalatı Tamamlanan İç Mil ve Dış Mil Yakından Görünümü. 198
Şekil 3.111. İmalat Aşamasındaki Rüzgâr Türbin Kanat İskeleti Parçaları. 198
Şekil 3.112. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Kanat Göbek Geçme Şeklindeki Montaj Görünümü. 199
Şekil 3.113. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Dış Kabuğu Fiberglastan Yapılmış Örnek Kısmi Kanat İmalatı. 200
Şekil 3.114. Rüzgâr Türbini Kendinden Yağlamalı Yataklama Detay Resmi. 200
Şekil 3.115. Terfi Merkezi Su Deposu Alanı Üzerinde RES, PV ve GRHES Yerleşimi. . 202

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Isıl Değerler ile Elektrik Devresi Arasındaki Benzeşim Parametreleri. 8
Çizelge 2.1. Avrupa Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği İmalatçıları Komitesi (CEMEP)'e Göre Motor Verim Sınıfları (Ercan, 2014). 37
Çizelge 2.2. Mekanik Titreşimi Değerlendirme Standartlarını Belirtmek İçin Temel Esaslar (Çağlayan, 2013). 38
Çizelge 2.3. İstanbul için Kurulabilecek Rüzgâr Enerji Santrali Güç Kapasitesi (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019). 67
Çizelge 2.4. Büyüklüklerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması (Nurbay & Çınar, 2005). 71
Çizelge 2.5. Rüzgârı Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması (Nurbay & Çınar, 2005). 72
Çizelge 2.6. Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması (Nurbay & Çınar, 2005). 72
Çizelge 3.1. Kağıthane Terfi İstasyonu Saatlik Debi Değerleri (2018-2021). 100
Çizelge 3.2. Kağıthane Terfi Merkezinde Etütler Sonucu Tespit Edilen Motopomp Verimleri. 101
Çizelge 3.3. Kağıthane Terfi Merkezi Tespit Edilen Pompa Ortalama Motopomp Verim Değerleri. 102
Çizelge 3.4. Motopomplarda Termal Kamera Ölçümlerinin Yapıldığı Noktalarda Ortalama Değerler ve Analizler. 105
Çizelge 3.5. Hat Basınç Kaybı Hesapları. 106
Çizelge 3.6. Verimlilik Artırıcı Revizyonların Uygunluk Değerlendirmesi. 107
Çizelge 3.7. Kâğıthane Terfi Merkezi'nde Önerilen Verimlilik Artırıcı Çözümlerin Liste Gösterimi. 108
Çizelge 3.8. Motopomp Deneysel Çalışma Düzeneği Ölçüm Verileri. 114
Çizelge 3.9. Motor Test Düzeneği Sıcaklıklar ve Verimsizlik Değerleri. 116
Çizelge 3.10. SPSS Lineer Regresyon Analizi Sonuç Verileri. 117

Çizelge 3.11. Normalite Testleri. 119
Çizelge 3.12. Verim Bağlı Değişkeni İçin Ölçüm Grupları arasında One-Way ANOVA Testi Sonuçları. 119
Çizelge 3.13. Verim Bağlı Değişkeni İçin Ölçüm Gruplarının Demografik Bilgileri. . 120
Çizelge 3.14. Verim Bağlı Değişkeni İçin Ölçüm Gruplarının Arasındaki İlişki. 120
Çizelge 3.15. Verim ve Farklı Ölçüm Grupları İçin Değişkenlerin Demografik Bilgileri. 123
Çizelge 3.16. Sıcaklık Ölçüm Noktalarından Motorlara Göre Alınan Değerler Örnek Gösterim. 137
Çizelge 3.17. Titreşim Ölçümlerinin Kayıtları Çoklu Veriler Örnek Gösterim. 141
Çizelge 3.18. Motopomp Verim Tahmin Programı Klasik Ölçüm ile Programın Tahmin Karşılaştırması..... 152
Çizelge 3.19. Türbin Bileşeninin Ağırlığı ve Maliyeti (Ancona, D. & McVeigh, 2001). 153
Çizelge 3.20. CFD Analizleri Yapılan Rüzgâr Türbini Modellerinin Devir Tork Değerleri. 168
Çizelge 3.21. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Rüzgâr Türbini Kısmı İçin Rüzgâr Hızlarına Göre Verim Değerleri. 170
Çizelge 3.22. 2 m/sn - 20 m/sn için Toplam Güç - Güneş Türbini (GT) İlave Güç (optimum model)..... 170
Çizelge 3.23. Poliüretan Köpük Malzeme Özellikleri (Aydın & Ekmekçi, 2002). 173
Çizelge 3.24. PVC Köpük Malzeme Özellikleri (Dekota, 2019)..... 173
Çizelge 3.25. Test Numunesi-1 Test Cihazı Yük Sehim Ekranı (Deformasyon Yükü İşaretli). 175
Çizelge 3.26. Numune-1 Sac Arası Poliüretan Kompozit Test Numunesi. 177
Çizelge 3.27. Test Numunesi-2 Test Cihazı Yük Sehim Ekranı (Deformasyon Yükü İşaretli). 178
Çizelge 3.28. Test Numunesi-2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme) 180
Çizelge 3.29. Numune-3 Test Cihazı Yük Sehim Ekranı (Deformasyon Yükü İşaretli). 180
Çizelge 3.30. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu)..... 182

Çizelge 3.31. 3M™ Solar Mirror Film 1100 Ürünün Özellikler (3M Renewable Energy Division, 2012).....183
Çizelge 3.32. Çanak Kollektörün Odak Merkezi Formulasyon (Sartre, 2018).....184
Çizelge 3.33. Çanak Kollektörün Toplayıcıda Elde Edilecek Maksimum Güç Tespit Parametreleri (solaire-chauffe-eau.info, 2008). 185
Çizelge 3.34. Çanak Kollktör Çapına Göre Maksimum Isıl Güç (solaire-chauffe-eau.info, 2008). 185
Çizelge 3.35. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Ekipman Maliyetleri (İşçilik Hariç). 201
Çizelge 3.36. 3 kW'lık Rüzgâr Türbinleri Maliyet (20 m/sn Rüzgâr Hızında Anma Gücü). 201
Çizelge 3.37. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Yert Tipi Rüzgâr Türbini İle Yatırım Maliyeti Karşılaştırması.....202
Çizelge 3.38. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Yert Tipi Rüzgâr Türbin PV ve Klasik Hibrit Sisteme Göre Enerji Birim Maliyeti Karşılaştırması [Ekonomik Solar, (2018), Cimo, (2019), Uyar, (2019)].....203

EKLER DİZİNİ

EK-I Rüzgâr Türbini Kısmı Montaj Teknik Resmi…….....223

EK-II Güneş Türbini Kısmı Stirling Motor Montaj Teknik Resmi……...224

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Modern dünyada hayatın devamlılığını sağlayacak tüm insani faaliyetler ve işletmeler enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Ancak Dünyanın enerji ihtiyacını karşılayan yegâne bir teknoloji bulunmamaktadır. Hibrit enerji sistemleri, alternatif enerji kaynaklarının süreklilik ve verim gibi problemlerini azaltacak şekilde birbirleriyle desteklenmesini amaçlayan daha verimli ve sürekli elektrik enerjisi üretimi ve kullanımı için tasarlanmış ve merkezi elektrik şebekesinden bağımsız veya entegre sistemlerdir. Teorik olarak hibrit enerji santrallerinin büyüklükleri, bir kaç MW veya evsel kullanım için bir kaç kW'lık güç aralığına kadar değişebilir. Her ne kadar güneş ve rüzgâr enerjisi en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarından ikisi olsa da, tamamlayıcı karakterlerinden yararlanmak için her iki enerji kaynağını da yan yana kullanmak daha sürdürülebilir bir çözüm olmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji, ekosistem etrafında inşa edilmiş bir gelecek için zarurî bir ihtiyaçtır.

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 304,2 milyar kWh; elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 304,8 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019).

2018 yılında Türkiye elektrik üretiminin %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 90.720 MW'a ulaşmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019).

2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,4'ü hidrolik enerji, yüzde 28,6'sı doğal gaz, yüzde 22,4'ü kömür, yüzde 8,1'i

rüzgâr, yüzde 6,2'si güneş, yüzde 1,6'sı jeotermal ve yüzde 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklindedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019).

Türkiye'de elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2019 yılı Eylül ayı itibarıyla 8.069'a (Lisanssız santraller dâhil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 669 adedi hidroelektrik, 68 adedi kömür, 262 adedi rüzgâr, 52 adedi jeotermal, 330 adedi doğal gaz, 6.435 adedi güneş, 253 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019).

Kasım 2020 itibarıyla, Türkiye Toplam Kurulu Gücünde 2019 yılı sonuna göre; Doğalgaz ve Linyit Kömür yakıtlı santralların kurulu güçlerinde toplam 244,8 MW'lık eksi yöndeki değişimine karşı, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu güçte 3.778,6 MW artış gerçekleşmiştir. Böylelikle 2019 yılına göre kurulu güç toplamında 3.533,8 MW 'lık bir artış söz konusu olmuştur (EMO, 2020).

2022 Ocak ayında toplam elektrik kurulu güç kapasitesi 99.734 MW seviyesine ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji kurulu gücü de 10.119 santralle 53787 MW'a yükselirken yenilenebilir santraller toplam kurulu gücün %53,93'nü oluşturmuştur. Güneş enerji santrallerinin kurulu gücü 7.881,1 MW seviyesine yükselmiştir. Toplam güneş enerji santral sayısı 8.482 MW'tır. Türkiye'de güneş enerjisi kurulu gücü toplam kurulu gücün %7,9'u olurken, rüzgâr enerji kurulu gücünün toplam kurulu güçteki oranı da %10,71 olmuştur. Toplam kurulu güçte ilk sırada 25.305,3 MW ile doğalgaz yer alırken, onu 23.280,4 MW ile hidroelektrik santralleri takip etmiştir. Fosil yakıtlı santrallerin kurulu gücü de 2022 yılı Ocak ayı sonu itibariyle 45.947 MW olmuş ve toplam kurulu güce oranı %46,06 seviyesine gelmiştir (GENSED, 2022).

Elektrik tüketiminin 2023 yılında baz senaryoya göre yıllık ortalama % 4,8 artışla 375,8 milyar kWh seviyesine ulaşması beklenmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019).

Kirlilik gibi olumsuz çevresel etki yapan problemler nedeniyle fosil yakıtların uzun vadede kullanılamayacağı öngörülmektedir. Türkiye'nin enerji sorununun temelinde enerji tüketiminde, yüksek oranda fosil yakıtlara bağımlı olmasından kaynaklandığı görülmektedir. Diğer taraftan, fosil yakıtları kullanmak daha fazla maliyete sahip olduğundan diğer enerji kaynaklarından enerji tedariki üzerine bir çok yeni araştırmalar yapılmaktadır.

Dünyadaki petrol rezervlerinin azalması nedeniyle yeni fosil yakıt rezervlerinin buluması veya yeni enerji kaynaklarının ortaya çıkarılması gerekmektedir. Enerji darboğazı ve artan enerji ihtiyacı, ekonomik krizlerin en büyük nedeni olabilir. Gelişmiş ülkelerde fosil yakıt kullanmak yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanma tercihi ile mevcut rezervler gelecek planlarında dikkate alınmıştır. Türkiye her mevsim güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunduğu önemli coğrafi bölgelerinden birinde olduğu açıktır. Bu yüzden bu yenilenebilir enerji kaynaklarını fosil yakıt rezervleri yerine kullanmak ülke menfaatine olarak stratejik ve ekonomik taraftan oldukça önemlidir. Dünyada ise ekonomik büyümenin oluşturduğu enerji ihtiyacını karşılayacağına dair güvence veren nükleer ve alternatif enerji alanında önemli teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır.

Rüzgâr sürekli değildir, güneş ise günün her saati bulunmaz, bu yönüyle güneş ve rüzgâr enerjisi tek başına zayıf güç kaynaklarıdır. Güneş ve rüzgârın (min. Rüzgâr hızı 4-6 m/s) hibritize olması, güneş veya rüzgâr olmadan geçen süreleri kapsayacak şekilde akülerle birlikte depolanarak daha efektif bir enerji kullanım imkanı sunar. Hibrit sistemler, güneş-rüzgâr hibrit sistemi olarak adlandırılan, hem güvenli hem de tutarlı bir enerji kaynağı oluşturur. Genel olarak güneş rüzgâr hibrit sistemleri küçük güçlere sahip olarak tipik güç üretim kapasiteleri 1 kW ile 10 kW aralığındadır.

Yenilenebilir enerji gelişiminin ön saflarında güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi vardır. Bununla birlikte rüzgâr ve güneş enerjisi olarak birbirlerini iyi bir şekilde tamamlarlar. Bu denklemin üçüncü ve kritik unsuru, enerji depolamasıdır. Son yıllarda, gelecek için önemli soru işaretleri devam etmekle birlikte önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Gün içindeki sınırlı güneş ışığından dolayı 24 saat enerji sağlamak için tasarlanan bir güneş sisteminin yaklaşık olarak günün 1/5'inde enerji üretmesi gerekir. Bu nedenle, sistemin en az 19 saatlik kullanımı karşılayacak enerji depolamasına ihtiyacı bulunur.

Güneş kollektör sistemine günün her saatinde güç verebilecek bir rüzgâr türbini eklendiğinde, depolama sistemi önemli ölçüde azaltılabilir, diğer taraftan daha yüksek enerji yoğunluğu ve daha düşük karbon ayak izi ile daha düşük maliyetle sonuçlanabilir. Yani güneş rüzgar hibrit kullanımı daha az kimyasal depolama ve daha temiz çevre demek olacaktır.

Rüzgâr ve güneş enerjisi hibrit sistemlerinde bataryalarla birlikte akü şarj ünitesi inverter gibi ortak ekipmanlar kullanılacağından sistemlerin ayrı ayrı kullanılmasında her biri için ayrı alınacak ekipman maaliyetlerinden tasarruf edilecektir.

Bazı bölgelerde güneş enerjisi potansiyeli yüksek iken, bazı bölgelerde rüzgâr enerjisi potansiyeli vardır. Bundan dolayı hibrit sisteme sahip olmak, enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak için geçerli hava koşullarından en iyi şekilde yararlanmamızı sağlamaktadır. Kaynaklardan biri yetersiz olduğunda (bulutlu gökyüzü veya sakin hava), sistem diğer alternatif enerji kaynaklarından enerji sağlamaya devam edecektir. Temiz, emisyonsuz enerji, güvenilir bir yedekleme veya ek enerji kaynağı olarak işlev görmektedir. Bununla birlikte hibrit sistemlerde hem güneş hem de rüzgâr mevcut olduğunda ise aküler daha da hızlı şarj olmaktadır.

Birim güç başına maliyet temelinde güneş panelleri rüzgâr türbinlerinden daha yüksek başlangıç maliyetine sahiptir. Bu nedenle hibrit sistemde, gerekli güneş panellerinin sayısını dengelemek ve aynı çıktıyı elde etmek için rüzgâr gücüne daha fazla harcama yapılabilir. Güneş panelleri çok az bakım gerektirir. Rüzgâr türbinleri sadece periyodik rotasyon kontrolü ve hareketli parçaların yağlanması gibi servis işlerini gerektirir.

Fosil yakıtların olumsuz çevresel etkileri göz önüne alındığında, tüketim maliyetinin artması ve ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları açısından son derece uygun olması, bu kaynakları kullanarak elektrik üretimi için verimli sistemlere ihtiyaç duyulması gerekliliği ile bu sistemleri kullanacak terfi merkezlerinde enerji verimliliğinin takibi ve verimliliğin artırılması ihtiyacı bu tez çalışmasının başlatılmasının başlıca nedenidir. Bu amaçla rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları için yeni bir hibrit sistemden faydalanılacaktır. Hibrit sistem, rüzgâr türbini ve güneş çanak kollektörlü stirling motoru birlikteliği tasarlanacaktır. Anlatıldığı gibi hibrit sistem kurulumu geleneksel sistemlere göre üstünlük sağlamakta ve kurulumu ile kullanımı dar alanlarda daha kolay olmaktadır. Bu yeni hibrit sistemin kompakt ve estetik yapısı geleneksel sistemlere göre avantaj sağlamaktadır.

Trafo ve diğer elektrik aksamı ile motor ve pompadan oluşan terfi istasyonu içme suyu veya atık suyu uzak alanlara veya yüksek kotlara terfi için kullanılmaktadır. Ancak terfi istasyonları sadece bu amaçlarla kullanılmayıp; ticari merkezler, su yönetimi, oteller ve madencilik gibi kurumsal ve endüstriyel gruplarda, ayrıca alçak seviye bir

yerleşim kanalizasyonundan daha yüksek seviyede olan ana işleme sistemine pompalama için kullanıldığı da görülmektedir.

Bu tezde; öncelikle test ortamındaki motor ve pompa üzerinden ölçümleri motopomp ile titreşim ve sıcaklık ilişkisi analiz edilmesi sonrasında mototpomp sıcaklık ve titreşimi değerleri ile verim arasındaki ilişkiye dair kanıtlar ortaya konduktan sonra Terfi Merkezinde sıcaklık ve titreşim ölçümlerine dayalı enerji verimliliği belirleme yöntemi bulunması ve çok sayıda ölçüm verileri kullanarak sıcaklık ve titreşim ölçümüne dayalı olarak verimliliği tahmin eden formulasyon ve üzerine kurulu paket program yapılması hedeflenmiştir. Bununla birlikte çalışmanın sonuçlarının tablo ve çizelgelerle ortaya konulabilmesi planlanmıştır.

Terfi merkezlerinde ve içme suyu sistemlerinde enerji verimliligi ne kadar artarsa, su maliyetleri o ölçüde düşer. Bu tezde, enerji verimliliğinin sürekli takibi ve verimlilik artırıcı revizyonların uygulanmasıyla daha verimli hale getirilen ve daha az enerji tüketen terfi merkezlerinin güneş-rüzgâr hibrit santrali ile desteklenmesi, su maliyetlerinin azaltılması için başta İstanbul ve Türkiye şartlarında uygulanabilecek adımları örnek çalışmada ortaya konulması hedeflenmektedir. Çalışmanın sonunda enerji verimliliğini artırıcı proje revizyonları tespit edildikten sonra enerji verimliliğinin sıcaklık ve titreşim ölçümlerine dayalı takip edilen terfi istasyonunun güneş-rüzgâr hibrit sistemi ile, enerji maliyetlerinin optimize edilmiş Terfi Merkezi önerilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Literatür Araştırması

Thorne & Neal (2016) çalışmalarında, doğrudan termodinamik yönetemle pompa verim testini deneysel olarak yapmışlardır. Doğrudan termodinamik yöntem ve pompa probu kalibrasyon prosedürü ile pompa verim testi üzerine bir uygulama prosedürü geliştirdiklerini iddia etmişlerdir.

Nikolenko & Shvagrev (2018) çalışmalarında, modern pompa istasyonlarının enerji verimliliğini artırma üzerine yaptığı çalışma sonucunda pompa istasyonlarındaki enerji kaybını pompa birimlerinden anlık operasyon bilgi akışı olmamasına bağlamış ve pompa istasyonlarında otomatik kontrol ve veri akışını sağlayacak ekipmanlar ile sorunların çözüleceğinin altını çizmiştir.

Tiony (2012) Nairobi'de yaptığı çalışmada, pompa istasyonlarında ki enerji verimliliğini ortalama %49 bulmuş bunu çözüm olarak pompalama operasyonun tekrar koordinasyonu, en verimli pompa noktası (BEP) ayarlaması ve pompa yataklarından soğutma suyu kayıpları üzerine gidilmesini önermiştir.

Papa, Radulj ve Nault (2018) pompa verimliliği testleri üzerine yaptıkları çalışmalarda, yaygın olarak kullanılan konvansiyonel debi ölçümü ve termodinamik pompa testleri üzerine eğilmişlerdir. Sonuç olarak konvansiyonel ölçüm metodunun hatalı ölçüme daha yatkın olduğunu ve çoğunlukla termodinamik ölçümün daha tutarlı sonuçlar verdiğini bulmakla birlikte pompa istasyonu tesisinin tasarım ve yapısına göre test metodunun kararlaştırılmasını tavsiye etmişlerdir.

Abraham, Plourde, Mowry ve Sparrow (2012) çalışmalarında, savonius rüzgâr türbininin farklı türleri ve farklı rotor büyüklükleri üzerine deneyler ve çalışmalar yapmışlar ve savonius rüzgâr türbinin gelişimini kronolojik olarak incelemişlerdir. Bunun yanında farklı türdeki savonius rüzgâr türbinlerinin avantaj ve dezavantajları üzerinde durmuşlardır.

Pinninti, Vejitha ve Stephen (2019) çalışmalarında, hibrit enerji üretimi üzerine çalışma yapmış bunun için de rüzgâr ve güneş enerji sistemlerinin birlikte hibrit edildiği sistem kurarak çeşitli simülasyonlar yapmışlardır. Bulgularına göre hibrit enerji sistemi tek enerji kaynağına (rüzgâr veya güneş) göre daha verimli enerji üretim sonuçları vermiştir.

Rehman (2021) Suudi Arabistan'da yaptığı çalışmada, farklı hibrit enerji türlerini karşılaştırmıştır. Güneş-dizel, rüzgâr-dizel, güneş-rüzgâr hibrit sistemlerinin enerji potansiyellerini incelediğinde güneş-rüzgâr hibrit sistemin en verimli sistem olduğunu ortaya koymuştur.

Qun, Jiayuan, ve Chao (2017) çalışmalarında, BIM software sisteminin yaygınlaştırılarak tesis yada yerel dağıtım merkezleri kurulmadan önce bunun BIM ile simule edilerek olası sorunların çözümleri üzerine giderek yapım öncesi sorunların çözümüne ulaşılabileceğini ortaya koymuşlar ve su dağıtım şebekesinde deneylerini yaparak olası enerji kayıplarını hesaplamışlardır.

Salem, Chaouali, Mezghani ve Mami (2021) çalışmalarında pompa istasyonlarındaki enerji talebinin hibrit enerji sistemiyle karşılanmasının ve enerji yönetim stratejisi ile bunun kontrolü üzerine yaptıkları çalışmada PV-lityum hibrit enerji sisteminin pompa istasyonunun enerji talebini ihtiyacını karşılamada umut verici bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ssenyimba, Kiggundu ve Banadda, (2020) Uganda'nın Kalangala bölgesinde sulama sistemi için gereken enerji kaynağını güneş-rüzgâr hibrit sistemi olarak belirlemişler ve bu yönde kurdukları sistem sonucunda kurulan sistemin yıllık getiri oranını %3,5 bulmuşlar ve projenin uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Prabowo ve Prabowoputra (2020) yaptıkları çalışmada, savonius rüzgâr türbininin rotor ve şekilsel olarak en verimli türünü araştırmışlar ve hibrit sistemin su ve rüzgâr enerjisinin ikamesi olup olamayacağını araştırmışlardır. Araştırma sonucunda dikey savonius rüzgâr türbinini daha verimli bulmuş ve özellikle bol rüzgâr alan ülkeler için hibrit savonius rüzgâr türbini teknolojisinin daha verimli olacağı sonucuna varmışlardır.

Laamari, Zghal, ve Kchaou (2015) çalışmalarında, hibrit olan güneş-rüzgâr sistemi enerjisinin pompa istasyonundaki optimizasyonu üzerine durmuşlardır. Yaptıkları matlab simülasyonu sonucunda güney Tunus bölgesinde rüzgâr ve güneş uygulamaları için en ideal kullanımın hibrit uygulama ile mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Foster (2005) Kunijima arıtma tesisinde pompaların ihtiyaç duyduğu elektriğin bir kısmı ve tesis içindeki büro kısımlarının aydınlatılmasında kullanılan elektrik PV panelleri ile karşılanmaktadır. Tesiste toplam 1104 adet güneş pilinden 150 kW/h kapasite ile elektrik üretilmektedir. Şekil 1.1'de Kunijama arıtma tesisinde kurulu PV üniteleri görülmektedir.



Şekil 1.1. Kunijima Arıtma Tesisi 150 kW PV Ünitesi (Foster, 2005).

Uçar (2011), çalışmasında sirkülasyon pompası termal model çalışması motor modellemesi ve analizi termal network yöntemi kullanan bir yazılım programı ile yapılmıştır. Termal network yöntemi birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılan elektriksel benzeşim metoduna dayanır. Çizelge 1.1'de ısıl değerler ile elektrik devresi arasındaki benzeşim gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Isıl Değerler ile Elektrik Devresi Arasındaki Benzeşim Parametreleri.

Termal Network	**Elektrik Devresi**
Sıcaklık (°C)	Voltaj (V)
lsı (W)	Akım (A)
lsıl Direnci (°C/W)	Elektrik Direnci (Ohm)
lsı İletkenliği (W/m°C)	Elektrik İletkenliği (S/m)

Araştırmanın bir amacı da analizler sonucunda girilen parametrelerdeki değişim ile sıcaklık dağılımının nasıl değiştiğidir. Bu sayede sıcaklığın hangi parametrenin değiştiğine ne kadar duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Bazı motor bileşenlerinin sıcaklığının sirkülasyon pompalarının kullanıldığı tesisatın su sıcaklığına ne kadar duyarlı olduğu analiz edilerek eğriler elde edilmiştir. Araştırmada sirkülasyon pompasında motor dışında ısınmanın ikinci nedeninin sıcaklığı 110°C'ye yükselen ve rotorda dolaşan su olduğu belirlenmiştir.

Şimşek & Mergen (2006) çalışmalarında elektrik simülasyon yöntemi örneği incelenmiştir. Elektrik simülasyonu, birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılan etkili ve basit bir matematiksel modelleme yöntemidir. Termal olarak analiz edilecek sistem, ısı iletimi açısından homojen parçalara ayrılır ve her bir parçanın ısı akışına ve kondenser elemanlarının bağlı olduğu düğümlere karşı ısıl direncini ve ısıl kapasitesini temsil eden elektriksel direnç ile temsil edilir. K tipi termokupl, motorun farklı bölümlerindeki sıcaklık artışını algılamak için sensör olarak kullanılır. Sensörleri sargılara ve sarım başlarına yerleştirmek için motor tekrar sarılmış, oluklara toplam 8 sensör ve sarım kafalarına iki sensör yerleştirilmiştir. Boyunduruk sıcaklığı, gövde üzerinde uygun derinlikte açılan iki yuvaya yerleştirilen sensörler ile ölçülmüştür. Şaft ve gövde sıcaklıklarını ölçmek için bir kızılötesi termometre ve soğutma havasının hızını belirlemek için bir anemometre kullanılmıştır. Modelde motorun dış yüzeyindeki 36 soğutma kanalının giriş ve çıkışındaki hava hızı değeri belirlenmiştir.

Ölçülen değerlerin ortalaması kullanılmış ve farklı yük koşulları için, motor son sıcaklığına ulaşana kadar sabit yük altında çeşitli noktalarda sıcaklık değerleri ölçülerek sıcaklık datalogger ile kayıt altına alınmıştır. Modele göre ısı değişimi, 8 düğümlü bir model ile temsil edilebilir. Termik eşdeğer devre parametrelerinin bulunması ve ilgili denklemin çözülmesi ile asenkron motorun geçici termik rejimi ve kararlı hal sıcaklık artışı ve dağılımı elde edilmiştir.

Anicic vd. (2016) çalışmalarında, rüzgâr türbininde gürültünün azaltılması için yapay zeka (soft computing) yönteminin kıyaslamalı çalışmasını yapmışlardır. Çalışmada rüzgâr türbinleri üzerinden analitik ve deneysel olarak yapılan akustik çalışmalarında destek vektör regresyon (Suppported Vector Regression-SVR) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada SVR yöntemine uygun rüzgâr türbini tasarımı için polinomal ve radyal bazlı

fonksiyon (RBF) yöntemleri kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre SVR yöntemi ile radyal bazlı (RBF) seçimi, polinomal seçime göre daha etkili sonuçlar vermektedir.

Antonutti vd. (2019) çalışmalarında, yarısı su altında kalan rüzgâr türbinlerinde rüzgârın neden olduğu eğilimin etkisini incelemişlerdir. Çalışmada kısmen su altında kalan rüzgâr türbinlerinde, hizalanmış ve hizalanmamış rüzgâr ve dalgalar incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre eğilimler hareketi artırmakta olup, hareketin modu daha çok eğilim rüzgârı ile dalga doğrultusuna bağlı olarak değişmektedir.

Azevedo vd. (2016) çalışmalarında, rüzgâr türbinlerinin yatak koşullarının takip edilmesinde mevcut durumu ve ortaya çıkan problemleri incelemişlerdir. Çalışmada öncelikle rüzgâr türbini yatak koşullarının takibinin önemi incelenmiş, daha sonra veri toplama yöntemleri incelenmiştir. Yine çalışmada hata tespiti ve teşhisi için motor yataklarına ilişkin öne çıkan parametreler rapor edilmiştir.

Branlard vd. (2016) çalışmalarında, türbülans üzerinde rüzgâr türbininin etkisini incelemiş, basit vorteks partikül yaklaşımını değerlendirmişlerdir. Çalışmada kanatlar aeroelastik olarak seçilmiş ve Mann modeli kullanılmıştır. İlk olarak deneysel ölçümler yapılmış, daha sonra sistemin simülasyonu yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre türbülans için başlangıç kuvvetinin verilmemesi, türbülansın sürekli bir yavaşlamaya neden olduğunu göstermiştir. Rüzgâr türbini ve kanatlarının kaynak yönlü türbülans üzerinde önemli etkisinin olmadığı ortaya konmuştur.

Afungchui vd. (2014) çalışmalarında, savonius rüzgâr türbininde ayrık vorteks yöntemi kullanarak, vorteks yapısını incelemişlerdir. Araştırmada savonius rotor deneysel olarak görselleştirilmiş ve yer değiştirme ile geometrik anlamda vorteks yapısı incelenmiştir. Hesaplamada newmann bağlayıcı koşulları, Kutta-Joukowsky ve Kelvin teoremleri kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre savonius türbininde girdap yapısı için düşük tipteki hız oranlarında girdap üç ayrık vorteks yapısını içerecek şekildeyken, yüksek hızlarda ise girdabın karakteristik özelliği merkezi vorteks tarafından belirlenmektedir.

Cardoso vd. (2012) çalışmalarında, morfolojik filtreler kullanarak, standart sincap kafesli indüksiyon jeneratörlü rüzgâr türbinlerinin enerji kalitesinin sağlanmasında kablosuz kontrol yöntemini incelemişlerdir. Çalışmada sincap kafesi indüksiyonlu rüzgâr türbininin basit bir güç gridi ile bağlandığı sistemin kablosuz yöntemle kontrol edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre rüzgâr türbinlerinde

güç denge ve kalitesinin kontrolü için, basit grid yönteminin kablosuz ya da uzaktan kontrole izin verdiği ortaya konmuştur.

Gao vd. (2008) çalışmalarında, alçaltma, yükseltme kontrolü (pitch control-PI) aracılığıyla rüzgâr türbin sistemlerinin optimizasyonu, tahmini ve hata düzeltmelerini incelemişlerdir. Çalışmada optimal bir alçaltma yükseltme tasarımı için ideal aksaksız model kullanılmıştır. Kanat, tepe dinamiği için 1.5 MW, 275 kW ve 50 kW motor üzerinde inceleme yapılmıştır. Daha sonra araştırmada 4.8 MW rüzgâr enerji dönüşüm sistemi üzerinden, önerilen sistemin performans üzerindeki olumlu etkileri rapor edilmiştir.

Goh vd. (2016) çalışmalarında, dik bir gövde üzerinde yerleşmiş olan savonius türbininin çekme testini BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) yöntemi ile analiz etmiştir. Çalışmada bir savonius türbin tasarlanmış ve dik bir gövde üzerinde yerleştirilmiştir. Daha sonra türbinin 8, 10 ve 12 m/s hızlarında, uç hız oranı 0.6-1.1 aralığındayken analizleri yapılmıştır. Daha sonra elde edilen veriler üzerinden güç katsayısı (cp) hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre serbest akışın hızı ile rüzgâr hızölçerin pozisyonu arasında da anlamlı ilişki görülmüştür. Araştırmada rüzgâr hızölçerden elde edilen değerler, serbest akış ölçüm değerlerine göre %9 daha yüksek bulunmuştur. Çalışmada aynı zamanda hesaplanan (cp) katsayısının 12 m/s hızda %25 arttığı rapor edilmiştir.

Göçmen vd. (2016) çalışmalarında, Danimarka Teknik üniversitesinde yapılan rüzgâr türbini modellerini incelemişlerdir. Çalışmada, üretilen rüzgâr türbinleri için giriş akımı üretimi, vorteks oluşumu ve rotor, rüzgâr hızı hesaplamalarında, farklı rüzgâr türbinleri için hesaplamalar yapılmıştır. Araştırmada daha sonra Sexbierum ile Lilgrund rüzgâr tarlası üzerinde uygulama yapılmış ve sonuçlar teorik sonuçlarla kıyaslanmıştır. Araştırmada verilen teorik bilgiler ile deneysel uygulamalar paralellik göstermektedir.

Driss vd. (2011) çalışmalarında, geleneksel olmayan savonius türbinlerinde ve rüzgâr rotorlarında partikül tasarım yönteminin türbülans akışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada Navier-Stokes denklemi ile türbülans modeli kurulmuş ve sonlu hacim yöntemi ile çözülmüştür. Deneysel sonuçlar, kavisli savonius rüzgâr rotoru ile desteklenmiş açık rüzgâr türbinleri üzerinde uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen nümerik yöntem ile deneysel sonuçlar örtüşmektedir.

El-Askary vd. (2015) çalışmalarında, savonius rotorlarda performans artırarak daha fazla rüzgâr enerjisi elde etmeyi araştırmıştır. Çalışmada rüzgâr türbini üzerine konkav tarafından rüzgâr jeti uygulayarak, rüzgâra karşı oluşan konveks yüzdeki vorteks oluşumunun azaltılması ve performansın artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada SST (Kesme Gerilimi Taşıma) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada önerilen model, bu şekilde rüzgâr türbinindeki verimin artığını göstermektedir.

Akwa vd. (2012) çalışmalarında, savonius türbinlerin performansına ilişkin bir literatür taraması yapmışlardır. Araştırmada öncelikle bu türbinler hakkında bilgi verilmiş, ardından performansı etkileyen parametreler incelenmiş savonius türbinlerin performansını etkileyen faktörler tespit edilmiştir.

Elhadidy & Shaahid, (2000), çalışmalarında hibrit yenilenebilir enerji sistemini (HRES) araştırmışlardır. Çalışmaya göre HRES'in amacı işletme özelliklerinden uygun şekilde faydalanmak için iki veya daha fazla yenilenebilir enerji üretim teknolojisini birleştirmek ve tek bir güç kaynağından elde edebileceğinden daha yüksek verimlilik elde etmektir. Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemi normalde bağımsız veya şebekeye bağlı şekilde çalışır, ancak bu kaynakların verimliliği güneş ve rüzgâr kaynaklarının stokastik yapısı nedeniyle daha düşüktür. Izgara entegrasyonlu hibrit yenilenebilir enerji kaynakları, doğada öngörülemeyen dezavantajın üstesinden geldiğinden bahsedilmiştir.

Nema & Agnihotri (2010) çalışmalarında PV hücresi, PV modülü ile PV dizisinin Matlab-Simulink tabanlı bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiş ve sunulmuştur. Ayrıca, kısaca tartışılan PC tabanlı bir veri toplama sistemi geliştirilerek laboratuvarda deneysel bir doğrulama yapılmıştır.

Chong vd. (2011), kentsel yüksek irtifa uygulamaları için yağmur suyu toplama özelliklerine sahip GRHES'lerinin önlenebilirlik analizini sunmuştur. Ekonomik analiz, sistem ömrünün sistematik üretim ve koruma maliyetlerini içerir. Sistem güvenlik, görsel etki ve gürültü kirliliği açısından analiz edilmiştir.

Sinha vd. (2013), karmaşık bir engebeli arazi için güneş-rüzgâr hibrit sistemlerinin ön fizibilite analizini sunmuştur. Bu çalışma, Hindistan'ın Kuzeyindeki Hamirpur kasabası için bir güneş-rüzgâr hibrit sisteminin potansiyelini değerlendirmek için yapılmıştır. Ön fizibilite çalışması, engebeli bölgelerde enerji ihtiyaçlarını desteklemek için güneş-mikro rüzgâr hibrit sistemini kullanma potansiyelinin kalitesini göstermektedir.

Aydin vd. (2013), batı Türkiye'de HRES'ler için coğrafi bilgi sistemi (GIS) tabanlı alan tahsisini araştırmıştır. Bu araştırmada bulanık mantık ile coğrafi bilgi sistemi aracı olarak kullanılarak finansal ve ekolojik kriterlere uygun hedef alanın en iyi ve alternatif yerini aramak için kullanılmıştır.

Ma vd. (2014), izole edilmiş bir ada için batarya enerji depolaması olan uzak güneş-rüzgâr hibrit enerji sisteminin kapsamlı bir fizibilite çalışması ve teknolojik ekonomik değerlendirmesini sunmuşlardır. Ön fizibilite analizinden bir sonraki adım, yük talebini ekonomik olarak karşılayabilecek bireysel bileşenlerin boyutunu doğru bir şekilde değerlendirmişlerdir.

Kellogg vd. (1998) basit aritmetik algoritma geliştirerek HRES'in birim boyutlandırmasını belirlemişlerdir. Üretim ve depolama sistemi, yıllık yükü karşılayacak ve müşteriye toplam yıllık maliyeti düşürecek şekilde boyutlandırılmıştır.

Lopez vd. (2007) çalışmalarında güç dönüştürücü kayıpları değerlendirmesinin, bir HRES'in boyutlandırılmasındaki etkisini sunmuşlarıdır. Statik konvertörün kayıp hesaplanmasında geliştirilmiş bir teknik, birim boyutlandırma işlemi sırasında sistemdeki enerji kayıplarını değerlendirmek amacıyla ortaya konmuştur.

Belfkira vd. (2008) çalışmalarında bağımsız bir rüzgâr-fotovoltaik-dizel hibrit enerji sisteminin boyutlandırılması ve optimize edilmesi için bir yöntem sunmuşlardır.

Paudel vd. (2011) Nepal'in yalıtılmış bir yeri için güneş, rüzgâr kimyasal enerji deposunu birleştiren hibrit yenilenebilir enerji sisteminin fizibilite çalışmasını ve birim büyüklüğünü belirlemişlerdir.

Nagabhushana vd. (2011), mevcut sermaye değerini ve işletme maliyetini en aza indirmek için doğrusal programlama tekniği kullanarak bir HRES'in optimum boyutunu tahmin etmektedir.

Diaf vd. (2008), elektrik şebekesi ile kesişen noktalarda enerji depolaması ve yük tüketimi ile şebekeye bağlı güneş-rüzgâr entegre konvansiyonel olmayan enerji sistemini şebekeden bağımsız analiz etmişlerdir.

Marchetti vd. (1991), yıllık maliyet, pil bağımsız fonksiyonu, boyutlandırma kriterleri ve ekolojik istatistiksel faktöre dayalı HRES'in istatistiksel modellemesini

vermiştir. HRES modelinin uygun sonucunu bulmak için adım adım optimizasyon uygulaması kullanmışlardır.

Consoli vd. (1995), uzun vadeli simülasyonlara dayanan güneş rüzgâr hibrit sistem modeli geliştirmişlerdir. Bu sistem dizel jeneratör setlerini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birleştirmiştir.

Bonanno vd. (1997), yakıt ve enerji tasarrufunu değerlendirmek için HRES'in lojistik modelini sunmuş ve birleşik yenilenebilir ve geleneksel enerji kaynaklarının kullanımıyla ilgili sorunu bildirmişlerdir.

Potamianakis & Vournas (2003), küçük hibrit güç sisteminin modellenmesini ve simülasyonunu göstermiştir. Hibrit sistem küçük sinyal, frekans, gerilim ve geçici kararlılık bakış açısıyla incelenmiştir.

Haque vd. (2006), elektrikle ısıtılan tipik bir ev için bir hibrit enerji sisteminin en uygun konfigürasyonunu araştırmışlardır. Çalışma neticesinde çok portlu doğru akım (DC-DC) dönüştürücünün istenen hibrit enerji sistemi için uygun olduğu bulunmuştur.

Lynch (1986), kontrol tekniğinin sistem verimliliğini ve bir türbinin istenen verimini arttırmada rolünü araştırmıştır. Buna göre hibrit sistemden gelen güç kullanılabilirliği, sistem tasarım sürecinde uygun kontrol tekniği seçilerek ekonomik olarak en üst düzeye çıkarılabilmektedir. Batarya şarj durumuna göre kontrol kararlarını izleyen ve kesin karar veren diğer yöntemlere göre önemli avantajlar sağlayan bir kontrol teknolojisi sunmuşlardır.

Akerlund & Ottosson (1987), bir veri kaydediciyi kullanmışlar ve güneş, rüzgâr ve dizel tesisi bulunan bir uzak hibrit enerji santralinin enerji üretimi ve performansının detaylı analizini yapmışlardır.

Nogaret vd. (1994), HRES için yeni bir uzman sistem tabanlı kontrol sistemi aracı geliştirmişlerdir. Buna göre fotovoltaik ve rüzgâr bazlı orta büyüklükteki güç sisteminin optimum çalışması ve denetimi için gelişmiş bir kontrol sistemi kullanmış-lardır. Çalışmalarında güvenilirlik, çalışma süresi boyunca amacını yeterince yerine getiren bir cihaz-ekipman veya sistemin normal çalışma olasılığı olarak tanımlanmıştır. Elektrik güç sisteminin güvenilir ve süreklilik arz eden tedarik kalitesine sahip sistem

yükünü sağlama yeteneği olarak da belirtilmiştir. Çalışmada, güvenilirlik analiz endeksleri sunulmuştur.

Billinton & Karki (2001), küçük izole edilmiş yenilenebilir enerji sisteminin güvenilirlik analizini deterministtik ve olasılıksal teknikle ele almıştır.

Zhao vd. (2009), yatırım maliyeti ile birlikte sistemin güvenilirliğini ve optimum çalışmasını da içeren kapsamlı objektif fonksiyonlarla ilgilenen bir çalışma sunmuşlardır. Buna göre rüzgâr türbini ile PV sistemin güvenilirlikle birlikte hesaplanabilecek yatırım maliyetini ortaya koymuşlardır.

Ardakani vd. (2010), çalışmanın amacı, rüzgâr türbini yatırımı, PV sisteme güvenilirlikle hesaplanabilecek enerji kaybı maliyetini ortaya koymaktır. Bunun için finansal ve bilimsel kısıtlamalara tabi olan güvenilirlik endekslerini dikkate alarak optimum bir HRES tasarımını geliştirmişlerdir. Sistem güvenilirliği ve ilgili teknik kısıtlar, eşdeğer kayıp faktörü ile ifade edilmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Çalışmanın bu bölümünde, genel bilgiler ile uygulamada kullanılan yöntem ve teknikler için gerekli olan kavramsal bilgilere yer verilmiştir.

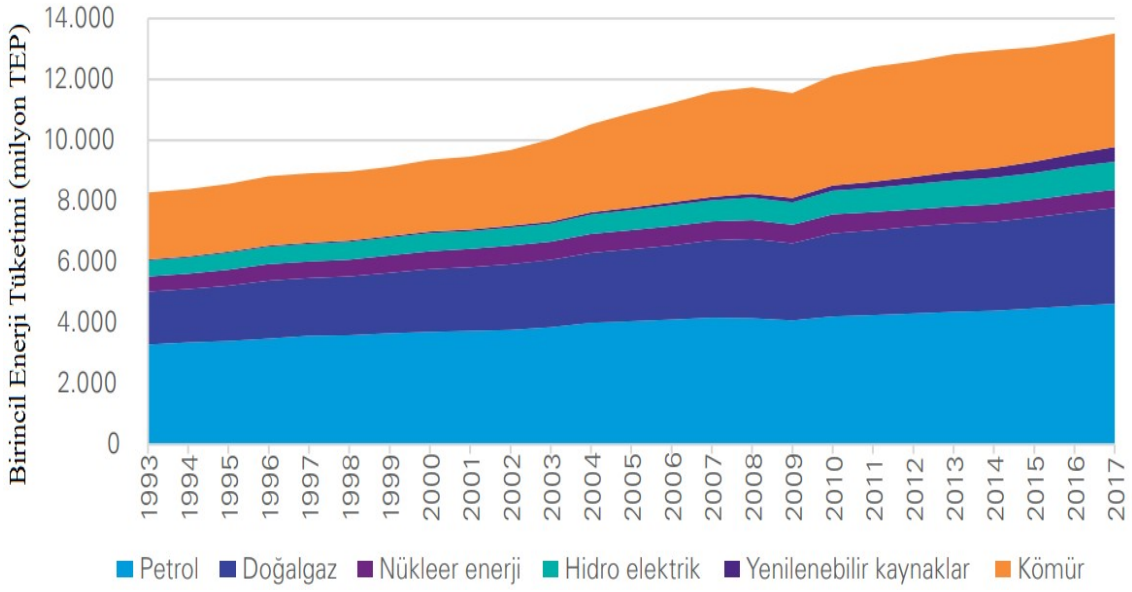
2.1. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, aynı düzeyde işi sağlamak için daha az enerji kullanmak anlamına gelir. Enerji verimliliğini arttırmak için birçok motivasyon bulunmaktadır. Enerji kullanımının azaltılması, enerji maliyetlerini düşürür ve enerji tasarrufu ile teknoloji uygulamaları ilave maliyetleri dengeleyerek tüketiciler için finansal maliyet tasarrufunu sağlar. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji, sürdürülebilir enerji politikasının iki başlığı olduğu ve sürdürülebilir enerji hiyerarşisinde yüksek öncelikler olduğu söylenmektedir. Birçok ülkede, enerji verimliliğinin ulusal güvenlik avantajına sahip olduğu görülmektedir. Enerji verimliliği uygulamaları özellikle yabancı ülkelerden enerji ithalatı seviyesini azaltmak için kullanılabilir ve yerel enerji kaynaklarının tükenme oranını yavaşlatabilmektedir (Prindle & Eldridge & Eckhardt & Frederick, 2007).

Enerji tüketicisi bakış açısına göre, enerji verimliliğinin temel motivasyonu, genellikle enerji satın alma maliyetini düşürerek para tasarrufu yapmaktır. Ek olarak, bir enerji politikası açısından, enerji verimliliğinin maliyetsiz "ilk yakıt" olarak tanımlanması daha geniş kitlelerce tanınmasında etkili olmuştur. Bu tanımlama daha açık bir anlatımla gerçek yakıtların tüketimini değiştirme veya önleme yeteneği anlamına gelmektedir. Ayrıca, enerji verimliliğinin, enerji tüketiminin azaltılmasına ek olarak çevresel yararlar gibi başka faydalar sağladığı da uzun zamandır bilinmektedir. Genellikle enerji dışı faydalar olarak adlandırılan bu diğer yararların toplamına dair tahminlerde doğrudan enerji faydaları değerinden daha da yüksek tutulmuştur. Enerji verimliliğinin bu çoklu faydaları arasında,

iklim değişikliğinin etkisinin azaltılması, hava kirliliğinin azaltılması ve sağlık durumunun iyileştirilmesi, iç mekan koşullarının iyileştirilmesi, gelişmiş enerji güvenliği ve enerji tüketicileri için fiyat riskinin azaltılması gibi etmenler bulunmaktadır (Baatz, Barrett, 2018).

Günümüzde üretim sektöründe enerji temin etme maliyeti en yüksek maliyetlerden biridir. Fosil yakıtlar bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılar ancak enerjiye duyulan talep her geçen gün artmakta ve fosil yakıtların rezervleri tükenmeye yüz tutmuş hâldedir. Bu yüzden enerjiye olan talebi karşılamak için alternatif enerji kaynakları aranması ve fosil kaynakların daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi mühendislerin yeni odak noktası hâline gelmiştir (Beyond Petroleum, 2011). Dünya birincil enerji tüketiminin 1993-2017 yılları arasındaki değişimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dünya Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklar Bazında Değişimi (1993 – 2017) (KPMG, 2019).

Şekil 2.1'de görüleceği gibi, enerji türleri arasında farklılaşma görülse de ortak nokta, enerjiye olan ihtiyacın artması, enerji kaynaklarının kullanımının artışıyla birlikte, kaynakların azalmasıdır. Bu nedenle, enerjinin verimli kullanılması konusu ön plana çıkmıştır.

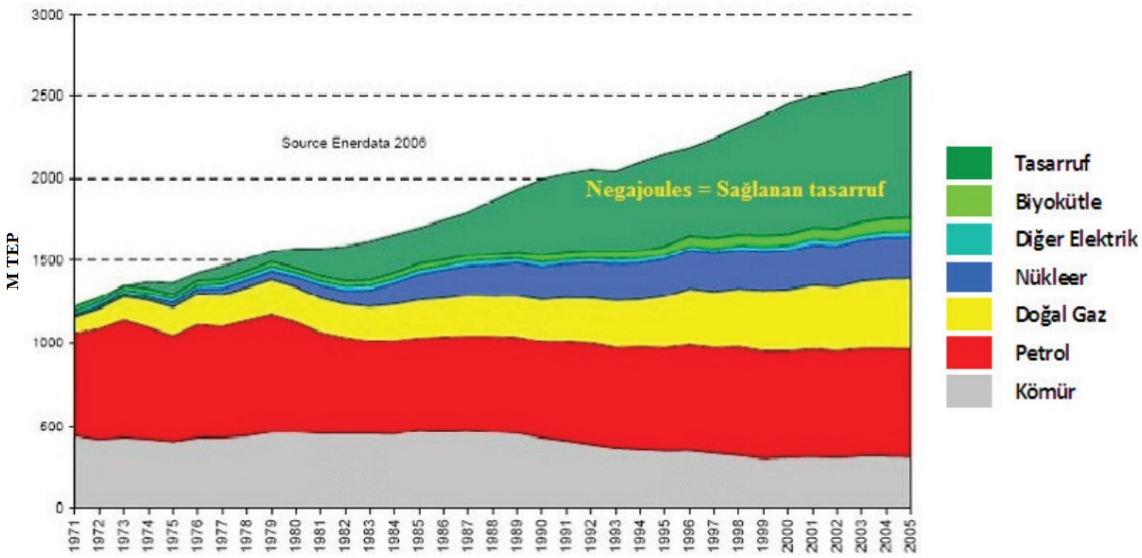
2.1.1. Enerji Verimliliğinin Tanımı

Batı ülkeleri 1970'li yıllardaki petrol krizi sonrası koyulan petrol ambargoları sonucu enerji konusunda önlemler almaya başlamıştır. Bu yıllarda elektrik enerjisi üretim için alternatif yöntemler aramaya başlamıştır. Bu yöntemlerin başından nükleer santraller vardır (İpek vd., 2012).

Aynı şekilde 1970'lerin başında enerji Verimliliği politikaları adı altında sanayi enerjisi kullanımında azalmaya gidilmiştir. Bunu tetikleyen en önemli faktör bu yıllarda yaşanan enerji krizi olmuştur. Bunun yanısıra firmalar piyasadaki rekabetin artması sonucu üretim maliyetlerini düşürmeye başlamıştır. Bu yıllarda enerji verimliliği adı altında çok sert önlemler alınmıştır. Ancak yine de GSYIH %32 gibi bir yüzdeyle büyürken yine de enerji üretime sadece %5 artmıştır ve birim GSYİH başına tüketimine %25 düşmesine neden olmuştur. Enerji verimliliğindeki bu artış, yüksek enerji fiyatları nedeniyle devletlerin kararlı politikaları hayata geçirmesi ile ve tabii ki halkın istekli davranışları ile mümkün olmuştur.

Enerji verimliliği' ibaresi çoğu zaman herhangi bir enerji tasarrufu önlemi tanımlamak için kısa yol olarak kullanılır, ancak teknik olarak enerji tasarrufundan ayırt edilmesi gerekir. Bununla birlikte verimliliği artırmak yerine bir hizmet vermeyi de içerebilen daha geniş bir terim anlamı sağlamaktadır. Enerji tasarrufu örnekleri arasında, kışın bir termostatın derecesini düşürmek veya araçla gitmek yerine iş yerlerine yürüyerek gitmek sayılabilir. Enerji verimliliğinin artırılması genellikle bir yatırım maliyetine mal olur, ancak çoğu durumda bu sermaye harcaması kısa bir süre içinde düşük enerji maliyetleri şeklinde geri ödenir. Bu verimlilik artışlarını karbon emisyonlarını azaltmak için çekici bir başlangıç noktası yapar. Ev dışı binalarda artan verimlilik, aydınlatma, ısıtma ve cihazların yanı sıra, genellikle havalandırma ve iklimlendirmeye odaklanma anlamına gelir. Bu tür binaların çoğu, verimliliği artırmak için bir yenileme yaptıktan sonra yaklaşık % 25 tasarruf sağlamıştır. Enerji verimliliği terimi daha geniş anlamda da kullanılabilir. Tek bir öğenin enerji verimliliğine odaklanmak yerine, tüm binaların enerji verimliliğine de odaklanabiliriz. Isı oluşturmak için iki binaya aynı miktarda enerji verildiğinde ısıyı daha fazla tutabilen bina veya daha az ısı kaybeden enerji verimliliği açısından daha iyi binadır.

Enerji verimliliği, aile bütçesi, işsizlik, ülke ekonomisi ve çevrenin korunması gibi konuları kendinde bulunduran çok genel bir kavramdır. Birçok sektörde işlevselliğini korur. Örneğin; sanayide üretim, iletim, dağıtma, konut sektöründe ofis cihazları, ısıtma ve soğutma aletleri ve aydınlatma gibi sonuçları nüfus artışı ile mevcut üretim yani arz, talep miktarını karşılamakta zorlanmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak amaçlı yeni yatırımlar yapılmıştır. Oysa enerji verimliliğini artırarak bu talep miktarını karşılamak mümkündür (İpek vd., 2012). Enerji verimliliğinin ilk uygulamaları, enerji tasarrufu şeklinde ortaya çıkmıştır. 1971–2005 yılları arasında AB ülkelerinde birincil enerji tüketimi ve sağlanan tasarruf düzeyleri Şekil 2.2'deki gibidir.



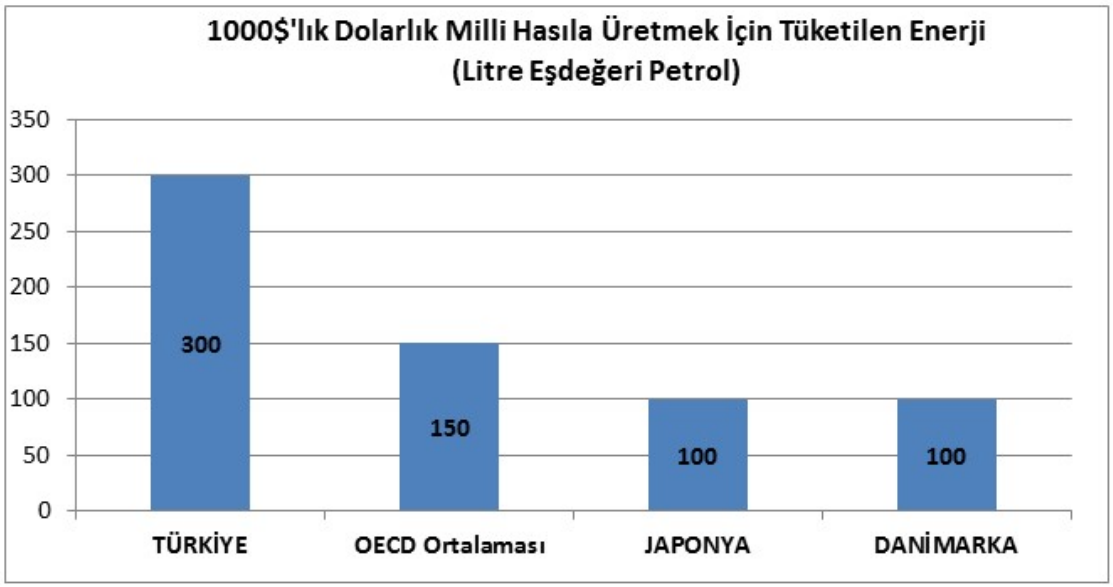
Şekil 2.2. 1971-2005 Yılları Arasında AB Ülkelerinde Birincil Enerji Tüketimi ve Sağlanan Tasarruf (İpek vd., 2012).

Şekil 2.2'de görüleceği gibi, geçmişe göre enerji kaynakları daha tasarruflu kullanılmaktadır. Öte yandan artan nüfus ve ihtiyaçlar, üretimdeki artışlar, bu tasarrufun yetersiz kaldığını ve alternatif enerji kaynaklarının ön plana çıktığını göstermektedir.

Enerji verimliliğini sağlamak Türkiye'nin orta vadeli ekonomi planlarından birisidir ve bu planları gerçekleştirebilmesi için 2015-2017 yıllarında somut projelere ihtiyaç duyulmaktaydı. Türkiye'de de nüfus artışı sonucu enerji gereksinimi artmaktadır. Bu enerji gereksinim miktarını karşılayabilmek için yapılan işlemler yetersiz olduğundan halen gelişmiş ülkelere göre, enerji savurganı bir ülke olarak tanınıyoruz. Türkiye enerji konusunda dışa bağlı bir ülkedir. Ancak buna rağmen yine de enerjinin verimli kullanımını sağlayamamaktadır. Türkiye'nin her yıl elektrik ve birincil enerji ihtiyacını

sırasıyla %7-8 ve %3-4 oranlarında artmaktadır. Bu durum, ülkenin enerji ithalinin ve dolayısıyla dışa bağlılığının artmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak, enerji verimliliğini artırmada elde edilecek tasarruf miktarının çok önemli olduğu söylenebilir. Enerji tüketimi yüksek olmasına rağmen enerji yoğunluğunu düşük tutabilmek bir ülkenin gelişmişliğini göstermektedir. Bu gelişmişliğe ulaşabilmek için enerji tasarrufu ve verimliliğini artırmak bir kültür hâline gelmek zorundadır.

Planlanan amaçlara ve sonuca ulaşabilmek, kaynaklar yeterli olmadığında bile söz konusu tutumu zamana yayarak en başta geri dönüş süreleri kısa olan enerji verimliliği yatırımlarını tamamlamaktan geçmektedir. Sonuç olarak ülke ödeneklerinin gereksiz kullanımının önüne geçmek için toplumsal bir enerji ve enerji verimliliği artırma seferberliği ilan edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi Türkiye 1000 dolarlık milli hasıla üretmek için yaklaşık 300 litre petrol tüketmektedir. Bu miktar OECD ülkelerinin tükettiği miktarın iki ve Japonya ve Danimarka ülkelerinin üç katıdır.



Şekil 2.3. 1000 $'lık Milli Hasıla Üretmek İçin Tüketilen Enerji Miktarı (Karabal, 2014).

Bu parametre, günümüzün dünya politikasının önemli şekillendiricilerinden birisidir. Örneğin iklim değişiklikleri tersine çevirmek için CO2 emisyonunu azaltmak üzere son yıllarda enerji verimliliğini iyileştirecek önemli miktarda enerji ve CO2 tasarrufu sağlanmıştır (Karabal, 2014).

1990-2008 yılları arasında kayda geçen Türkiye'deki milli gelir ve nihai enerji yoğunluğunda azalma, diğer ülkelere kıyasla çok kayda değer değildir. Yine de bu durum ülkede büyük bir potansiyelin var olduğunu gösterir.

2.1.2. Enerji Verimliliği Uygulamaları

Enerji yoğunluğu, enerji verimliliğinin de önemli göstergelerden biridir. Bu gösterge gayrisafi yurt içi hasıla başına tüketilen birincil enerji miktarını (GSYİM) temsil eder. Enerji verimliliği uygulamalarında gelişim hakkında ülkeleri fikir verdiği için tüm dünyada kullanılır. Enerji yoğunluğunun düşük ve enerji tüketiminin yüksek olması ülkenin enerji konusundaki gelişmişliğini gösterir (İpek vd., 2012).

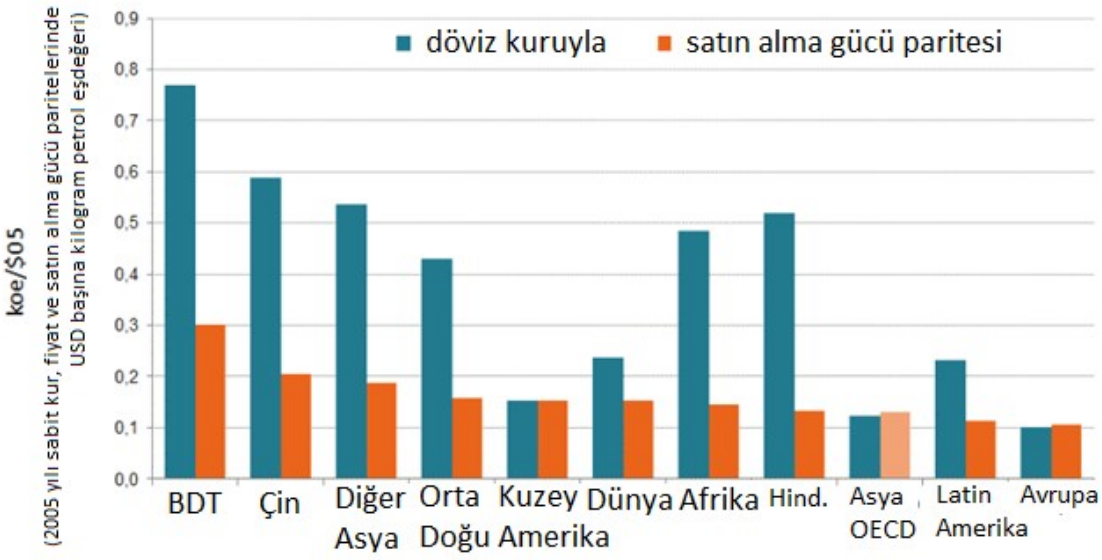
Türkiye, aşağıdaki hususlar için yasal ortam hazırlamak adına gerekli kanunlar yürürlüğe girmiştir.

- Enerji verimliliği koordinasyonunu sağlamak amacıyla bir kurul oluşturulması,
- EİE (Mülga) için görev ve yetki belirlenmesi,
- EVD ve kurumların çalışma esaslarının belirlenmesi,
- Sertifika şartları belirlenmesi ve enerji yöneticisi seçilmesi,
- Etüt proje kursları düzenlenmesi,
- Enerji yöneticilerinin enerji tüketimi ve inşaat alanı boyutuna göre görev ve sorumluluklarının tanımlanması,
- Enerji verimliliğine teşvik ve destek sağlanması,
- Kamu kuruluşlarında uygulama gereken programların hazırlanması,
- Programlardaki para cezaları protokollerinin belirlenmesi,
- 25 Ekim 2005 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından enerji kaynakları ve enerji verimliliğini artırmayı hedefleyen farklı yönetmin ardından üç yıl sonra yenilenmiştir ve düzenlenen hususlar aşağıdakilerdir:
  - Enerji verimliliği adına etütler, eğitimler ve danışmanlık hizmetleri sağlanması,
  - Gönüllü anlaşmalar ve projelere destek verme şartlarının belirlenmesi,

- 100 MW veya daha fazla kurulu güce sahip santrallere enerji yöneticisi atanması ve yıllık rapor gereksinimi,
- Zorunlu enerji verimliliği önlemleri alınarak kamu binalarının sayısının çoğaltılması,
- Isı pompası, kojenerasyon, yenilenebilir enerji ve güneş enerjisi istemli toplu konut projeleri,
- Ev aletlerinin etiketlenmesi,
- Elektrik santrallerinin verimlilikle ilgili hususları,
- Sokak aydınlatıcılarının enerji verimliliği artırma amacına daha uygun yapılması.

2.1.3. Enerji Verimliliğinin Önemi

Enerji verimliliği, doğal ve çevresel gereklilikler ile gelecekte kısıtlama yaşamama gibi pek çok zorunluluktan kaynaklanıyor olsa da, günümüzde en akut ve etkili olan, bu alanda çalışmalara yön veren etken ekonomidir. Enerji kaynaklarındaki azalmaya karşın enerji talebinin artması, beraberinde enerji birim fiyatlarının da artmasına neden olmuştur. Birincil enerji yoğunluğunun döviz kuru ve satın alma gücü paritesi kullanılarak hesaplanması Şekil 2.4'te gösterilmiştir (WEC, 2016).



Şekil 2.4. Birincil Enerji Yoğunluğunun Döviz Kuru ve Satın Alma Gücü Paritesi Kullanılarak Hesaplanması (WEC, 2016).

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi, enerji satın alma gücü paritesi düşük olan ülkeler, yüksek olan ülkelere göre daha gelişmiştir. Diğer bir ifadeyle, gelişmiş ülkelerde gerek döviz kuruyla, gerekse satın alma gücü paritesiyle enerji yoğunlukları daha yüksek bir seyir izlemektedir.

2020 yılında KOVID-19 etkileri enerji sektöründe oldukça fazla hissedilmiştir. Pandemi sonucunda ortaya çıkan ekonomik kargaşa, küresel enerji piyasalarında daha önce yaşanmamış bir kararsızlık meydana getirmiştir. Birincil enerji tüketimi 2020'de %4,5 düşerek 1945'ten bu yana en büyük düşüş olarak gerçekleşmiştir. Ülkelere göre, enerji tüketiminde en büyük düşüş ABD, Hindistan ve Rusya'da görülmektedir. Çin, 2020 yılında enerji talebinin arttığı birkaç ülkeden biri olarak en büyük artışı (%2,1) kaydetmiştir. 2020 yılındaki bu düzensizliğe rağmen, rüzgâr ve güneş enerjisinin öncülüğünde yenilenebilir enerji sektörü üretken bir şekilde büyümeye devam etmiştir. Rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi geçen yıl 238 GW gibi muazzam bir artış göstermiş ve bu büyüme önceki yıllara göre %50 fazla olmuştur. (WEC Turkey, 2021a).

2.2. Terfi Merkezleri

İçme suyu kaynağının su kullanıcısı abonelerin bulunduğu konumdan daha aşağı kotlarda olması ve/veya abone işletme basıncının cazibe ile sağlanamayacak olması durumunda 24 saatlik ihtiyacı karşılayabilecek kapasitedeki depo ile kullanıcıların ihtiyacı olan servis basıncı ile debi ihtiyacını değerini karşılayacak pompa grubundan oluşan tesistir. Bununla birlikte atıksu terfi için atıksu pompa istasyonları da mevcuttur.

2.2.1. Terfi Merkezlerinin Kurulumu

Bir terfi merkezinin hazırlanmasında, ön raporda İdare ile birlikte pompa istasyonu yerinin kesin olarak belirlenmesinden sonra mühendis, hazırlanan jeoteknik rapor ve plan çalışmaları ile ön boyutlandırmada gerekli hidrolik, stabilite ve statik hesaplara dayalı olarak yapılan etüt proje çizimlerini ön rapor aşamasında hazırlar ve İdare'nin onayına sunar. Bu ön raporda aşağıdakilerin olması gerekir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2006):

a) Pompa istasyonu genel yerleşim planı (1/500),

b) Çevre duvarı en kesidi ve detayları (1/20),

c) Pompa istasyonu teknolojik planı ve kesitleri (1/100,1/50),

d) Mimari plan, en ve boy kesitleri (özellik arz eden yerlerden geçen en az üç kesit) ön, arka ve yan cephe görünüşleri (1/50),

e) Kapı ve pencere detayları (demir, ahşap, alüminyum, PVC vb. doğrama detayları) (1/1, 1/2, 1/5, 1/10 ve 1/20),

f) Batardo plan ve kesitleri (var ise) (1/50),

g) Cebri boru hattı planı, boy ve en kesitleri (1/1000, 1/500, 1/50, 1/20),

h) Enerji Nakil Hattı'nın pompa istasyonuna geliş yönü ve binaya giriş yerini gösterir kroki çizimi,

i) Pompa istasyonunda trafo veya trafoların, O.G (Orta Gerilim) elektrik hücrelerinin kontrol ve kumanda panolarının ve kablo kanallarının teknolojik plan üzerinde yerleşimi (1/100, 1/50),

j) Pompa istasyonu genel yerleşim planı üzerinde şalt sahası yerinin gösterilmesi (var ise) (1/500).

2.2.2. Terfi Merkezlerinin Enerji Tüketimindeki Yeri

Terfi merkezleri büyük içme suyu kütlesel debilerindeki içme sularının veya atık sularının istenen yükseklik ve mesafelere ulaştırılması sırasında özellikle İstanbul gibi metropolerde yüz milyonlarca kWh enerji tüketimine sebep olurlar. Terfi merkezleri için anlık bilgilerin gözlemleneceği ve müdahale edilebileceği bir sistem kullanılmadığında; pompa arızası oluşması, terfi deposu su seviyesinin uygun tutulmaması ve vana kapamaları istenen sürelerde yapılmadığında suların terfi deposundan dışarıya taşması en önemlisi de abonelerin susuz kalması gibi sorunlara neden olmaktadır. Bununla birlikte terfi merkezlerinde sorunların belirlenmesinin uzun sürmesi, teknik personelin o bölgedeki yeterli uzaktan veya yerinden denetim yapamaması önemli enerji kayıplarına sebep olacaktır (Akça, 2005).

2.2.3. Terfi Merkezleri Tesis Hesaplamaları

Terfi merkezlerinde enerji verimliliğinin sağlanmasının en temel koşulu, ilk olarak enerjinin kayıplarının hesaplanması ve tayinidir. Bir terfi merkezinde yapılan başlıca

hesaplamalar ve ilgili parametreler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Yang, Wei & Chengzhi, 2009):

Monometrik Yüksekliğin Hesaplanması

Manometrik yüksekliğin hesaplanması Denklem 2.1'e göre yapılır.

$$\text{Hm} = \text{GBK} - \text{X} + \text{JxL} + \text{GB dir.} \tag{2.1}$$

Pompa Güçlerinin Hesaplanması

Pompa güçleri hesaplaması Denklem 2.2'ye göre yapılır.

$$P_{hidrolik} = \frac{Q_P \, . H_m}{101{,}936} \tag{2.2}$$

Normal İşletme Basıncının Hesaplanması

Normal işletme basıncının hesaplanması Denklem 2.3'den yapılır:

$$\text{Ho} = \text{GBK} - \text{BTK} + \text{JxL} + \text{GB dir.} \tag{2.3}$$

Tp, Pompanın Durması İçin Geçen Zamanı Hesaplama:

Tp, Pompanın durması için geçen zamanı Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'ten hesaplanır:

$$\text{Tp} = (1 + \text{K}) \text{ x } (\text{V x L}) / (\text{g x Ho}) \tag{2.4}$$

$$\text{K} = 2 - (L / 2{,}000) \tag{2.5}$$

2.3. Elektrik Motorları ve Pompalar (Motopomplar)

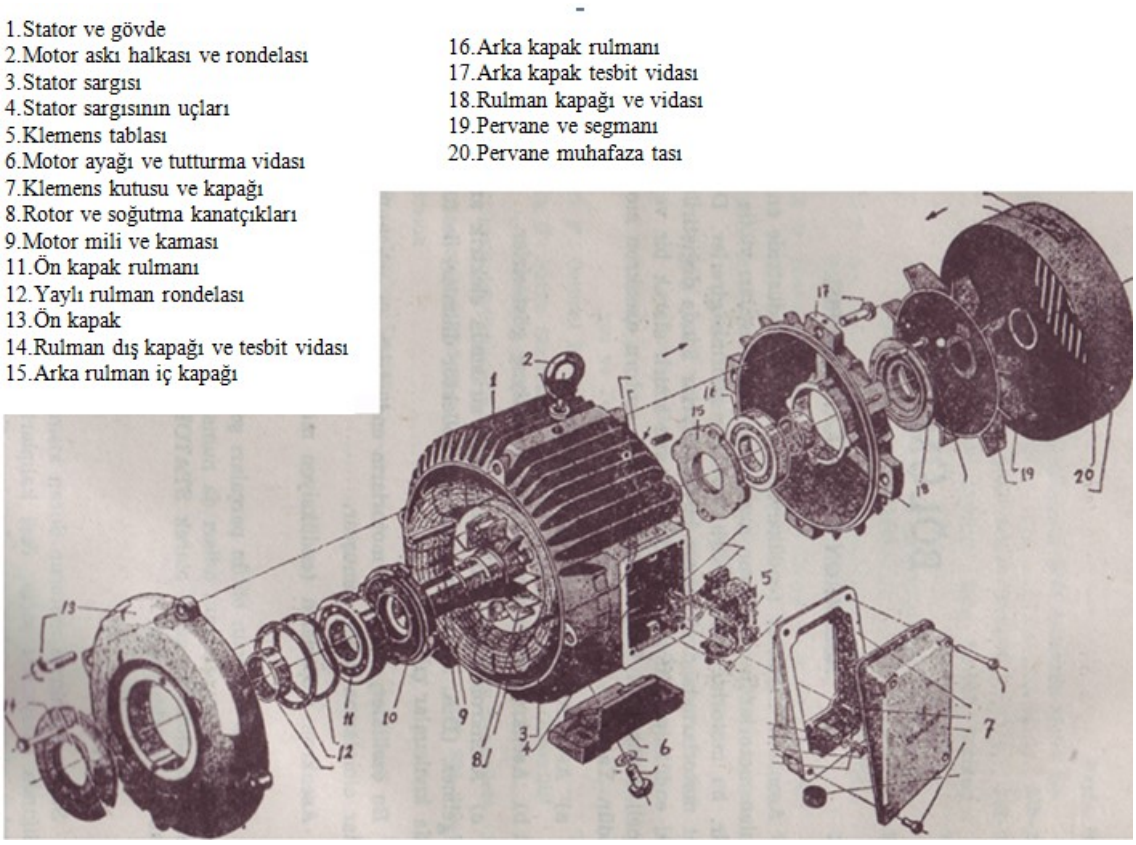
2.3.1. Elektrik Motoru ve Pompalarının Genel Tanımı

Bir elektrik motoru ve pompadan oluşan makine sistemine kısaca motopomp denir. Sistemin enerji gereksinimini karşılayan elektrik motoru, elektrik enerjisinden mekanik enerji üreten makinenin adıdır. Asenkron motorlarında sargılardan oluşan döner manyetik alan hızı ile rotor dönme hızı aynı olmaz. Bu motorlar endükleme prensibine göre çalıştığı için endüksyon motoru adı da verilir. Bu alanda Veinot bilgisayarı tabanı yönetimleri de önerilmiştir. Tasarım optimasyonu 1960'lı yıllarda yapılmıştır (Yetgin & Akbilek, 2005).

Birçok endüstride kullanılan elektrik makineleri, sürekli hız değiştirilebilen ya da birçok dönme sayısı olan makinelerdir. Asenkron motorlarda bir kaç kademe dışında devir diğiştirmek istenirse ilave cihaz ekleyerek mümkün olurken doğru akım motorlarda devir sayısını istenen sınırlar içersine ayarlamak kolaylıkla gerçekleşir.

Asenkron motorlarda kutup sayıları, kurulan gerilimin frekansını değiştirerek devir sayısı ayarlanabilir. Aynı sargıda yapılan farklı kutup sayılı ya da farklı kutup bağlantıları ile frekansın sabit olduğu hâlde değişik devir hızları elde edilebilinir (Görkem, 1999).

Endüstride az bakım gerektirmeleri, ucuz olmaları ve çalışma sırasında ark oluşturmadıkları için asenkron motorları daha çok tercih görür. Ayrıca yük ne kadar olursa olsun devir sayısı nadiren değişkenlik gösterir. Bu nedenle de sabit devirli motor olarak kabul edilir. Yeni eklenen devir sayılarının farklı frekanslarda değişme opsiyonu verimliliğini daha da artırmıştır. Şekil 2.5'te elektrik motorunun demontaj resmi üzerinden motor ekipmanları tanımlanmıştır.



Şekil 2.5. Elektrik Motoru ve Ekipmanları (Sarıgül, 2010).

Brezilyalı asker ve aynı zamanda bilim tarihçisi olan Reti'ye göre santrifüj pompa olarak ifade edilebilecek ilk makinenin bahsine 1475 yılının ilk zamanlarında rönesans çağı mühendislerinden italyan Francesco ve Giorgio Martini' nin bilimsel bir tezinde rastlanmaktadır. Gerçek santrifüj pompalara 1600' lü yılların sonlarına, Denis Papin düz çarklı bir tane yapana dek rastlanmamıştır. Açılı çark ilk olarak 1851 yılında İngiliz mucit John Appold tarafından bulunmuştur (Orchard & Klos, 2009).

Pompalar nasıl bir ihtiyaçtan doğmuş ise derin kuyu pompaları da bu ihtiyaçların bir ürünüdür. Açılan basit keson kuyularda su, önceleri santrifüj pompalar ile çekilmektedir. Mevsimler gereği kuyularda fazla su çekiminden su seviyeleri aşağıya seviyeye düşme göstermiş ve bu düşüme paralel olarak santrifüj pompalar kuyuların içine indirilir hale gelmiştir. Sondaj tekniği ve avadanlıklardaki gelişmeler, borulu kuyuların ucuz ve kolay açılması daha derin yeraltı suyunu alabilme imkânları, bu kuyuların hızla artması ve kuyularda daha düzenli su alınabilmesine neden olmuştur. Ancak sınırlı emme yüksekliğine sahip santrifüj pompalar bu sahada iş göremez duruma gelmiştir. Kuyuların dar çaplı olmaları nedeniyle de kuyu içerisine indirilme imkânı ortadan kalkmıştır. Bu sefer borulu kuyu başlarına basit keson kuyuları açılarak suya ulaşmaya çalışılmışsa da enerji iletim güçlükleri dar çaplı borulu kuyularda önceleri hava ile su çekilmeye, daha sonra derin kuyu pompalarının inkişafı ile kuyulardan su çekimi derin kuyu pompaları yardımı ile sağlanmıştır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2015).

2.3.2. Elektrik Motoru ve Pompa Türleri

Aynı stator oluklarına, birbirinden bağımsız, farklı kutup sayılı iki ayrı sargı sarılırsa iki sargı iki devirli elektrik motoru yapılmış olur. Bu sargıların birbirleri ile hiçbir elektriki bağlantısı yoktur. Böyle bir motorda, hangi sargıya üç fazlı gerilim uygulanırsa o sargıya ait kutup sayısına uygun devir hızı elde edilir. Bu tip sarımlarda, sargının yıldız (Y) veya üçgen (Δ) bağlantısı, stator içinde yapılır. Klemens tablosuna, her sargıya ait üçer uç çıkarılır. Örneğin 6/4 kutuplu iki sargılı iki devirli motor için 6 kutuplu sargı uçları 6U-6V-6W, 4 kutuplu uçları 4U-4V-4W gibidir (Görkem, 1999).

Bir Fazlı Asenkron Motorlar: Bu motorlar düşük gerilimli üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlara göre daha az yaygın elektrik motorlarıdır (Yetgin, Turan & Çanakoğlu, 2012). Normalde evlerde bulunan küçük su pompaları, küçük iş tezgahları, çamaşır makinesi, buzdolabı, mikser, vantilatör, teyp, tıraş makinesi aspiratör, gibi

yerlerde, ev aletlerinde ve üç fazlı alternatif akımın bulunmadığı işyerlerinde küçük güçlü makinelerde kullanılırlsr ve küçük güçle imal edilirler çünkü kalkış akımları fazladır.

Elektrik motorları döner alan prensibine göre çalışır. En az iki tane manyetik alana ihtiyaç duyar çünkü döner manyetik alanın meydana getirebilmesi gerekir. Bunu sağlayabilmek için bir yardımcı sargı kullanılır. Asıl sargı ve bu yardımcı sargı birbirine paralel bağlanıp aralarında 90 derece faz farkı olacak şekilde stator oyuklarına yerleştirilirler (Görkem, 1999).

Üç Fazlı Asenkron Motorlar: Bu motorlarda sargılar arası 120 derecelik bir faz farkı uygulandığında bir manyetik alan oluşur. Döner bir şekli olan bu manyetik alanın içinde bulunan sargılardan birinde elektro motor kuvvet indüklenmiştir. Bu rotorların ucu kısa devre edilir ve içinden kısa devre akımı geçer. Söz konusu akım rotorda kutuplar oluşturur. Böylece kutuplar ve statorlarda oluşan aynı yüklü kutuplar birbirini iter. Dönen stator kutupları bu itim gücü ile rotor kutuplarını da kendileriyle beraber döndürürler. Aynı anda zıt kutuplar rotor kutuplarını çeker ve rotor, döner alanla paralel bir şekilde döner.

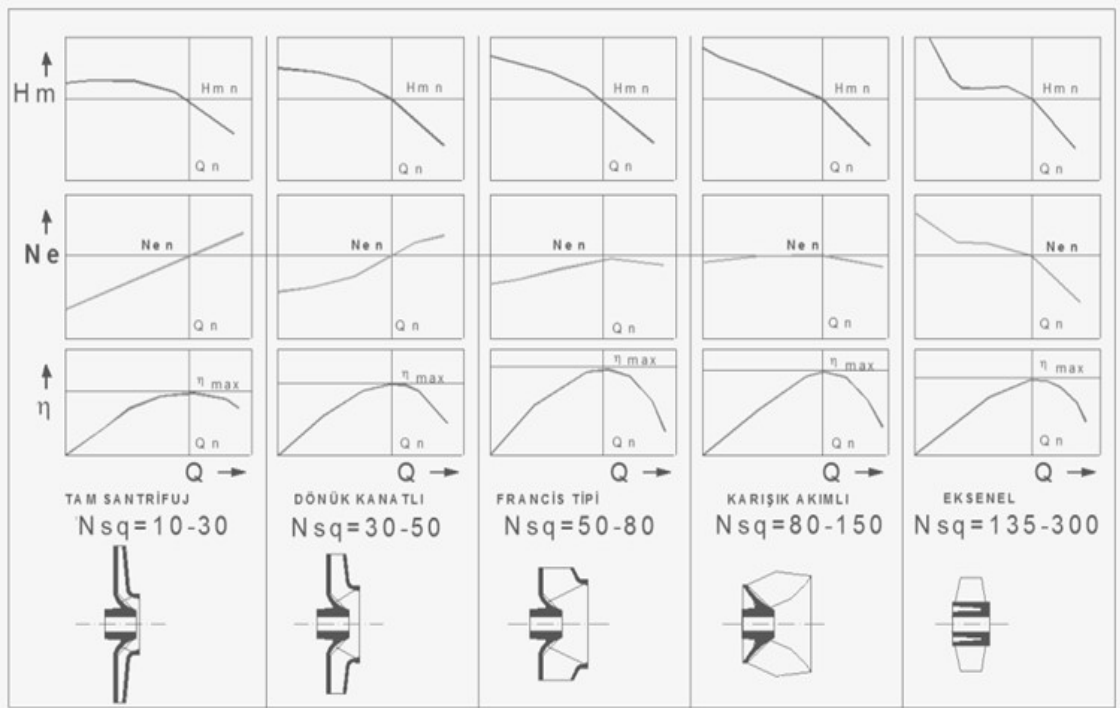
Hacimsel (Volümetrik – Pozitif Deplasmanlı) Pompalar: Bu pompa akışkanı kapalı hacimler hâlinde düşük basınç alanından yüksek basınç alanına taşır. Yani bir emme basma işlemi gerçekleştirir ve içi iki bölüme ayrılır. Pistonlu ve membranlı doğrusal harektli bölge ve dişli vidalı, paletli dönel hareketli gibi çeşitleri vardır. Bu pompalarda genel amaç manometrik yükseklik sisteminin kendiliğinden oluşmasıdır. Teorik olarak bu olay sonsuza kadar devam eder ve debi olarak birim zamanında taşınan kapalı akışkan hacmi değerlendirilir (Aydoğan, 2013).

Rotodinamik (Santrifüj-Karışık Akımlı-Eksenel) Pompalar: Bu popmalar akışkanın içindeki bir çark ile çalışır ve kapalı hacim diye bişey yoktur. Basitçe anlatılması gerekirse bu pompa hızlı hareket eden kanatlar ve belirli düzenekler yardımıyla akışkana hız ve momentum kazandırmaya çalışır. Akışkan kanallardan geçerken momentum hızlanmasına uğrar ve yayıcı bölümden geçerken yüksek hızı basınç artışına dönüşür (Aydoğan, 2013).

2.3.3. Motopomplarda Klasik Verim Ölçüm Metodu

Verimlilik, bir sistemde üretilmek istenen amaç için kaynakların ne kadar iyi kullandığının ifadesidir. Motopomplarda işletme sırasında pompalanan sıvının bir miktarı pompanın emme kısmına kaçar ki bu alan gövde ve dönen elemanın arasıdır. Söz konusu alan pistonlu pompalarda supaplar yada piston ve silindir arasıdır. Bu durum hakiki kapasitenin teorik kapasiteden daha az olmasına neden olur.

Bunun yanı sıra zaman geçtikçe pompaların aşınma halkası gibi parçaları aşınır ve kör bölgelere kaçan sıvı miktarı artar ve pompa gün geçtikçe kapasitesi azalır. Bu nedenle pompanın parçalarını muhafaza edebilmek için düzenli şekilde bakım ve revizyona gerek duyar Şekil 2.6'da çark yapısı ile özgül hız arasındaki ilişki Hm, Q ve verim eğrileri ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Motopomplarda Özgül Hız Çark Yapısı İlişkisi (Aydoğan, 2013).

Pompanın verimi, kapalı bir vanadan (Q = 0) başlayarak akış debisi arttıkça artar ve maksimum değere ulaştıktan sonra azalır. Pompa veriminin en yüksek olduğu nokta "optimum nokta" veya "maksimum verim noktası" olarak tanımlanır. Pompada kullanıcı tarafından talep edilen garantili çalışma noktasına "nominal nokta" denir. Pompa etiketinde belirtilen değerler bu pompanın nominal kapasiteleridir. Pompa

Çalışma noktası enerji verimliliği ve teknik nedenlerle, optimum pompa akışına mümkün olduğunca en yakın akış noktası olarak seçilmelidir (Aydoğan, 2013).

Bir pompanın hidrolik gücü, debisi ve manometrik yüksekliği onun verim ölçümü yapılması gerekirken dikkat edilmesi gereken kavramlardır. Piyasada pompa alımı sırasında pompa tipi ve çalışma koşullarına göre farklı üretici debi ve basma yüksekliği seçenekleri sunulur. Ancak bazı yanlış uygulamalar pompa seçiminde sıkıntılar doğurabilir. İşleme uygun pompa türünü bulabilmek için yukarıda adı geçen parametrelere dikkat edilmesi gerkir. Ancak bu şekilde en verimli şekilde bir pompa alımı sağlanabilir. Bu kavramlardan birisi hidrolik güçtür. Bu kavram sıvıya birim zamanında verilen enejiyi gösterir. Dikkate alınması gereken bir diğer kavram pompa debisidir. Pompa debisi birim zamanında basılan akışkan hacimini belirler. Manometrik yükseklik ise pompanın 1kg ağırlığındaki akışkana pompanın kazandırdığı enerjiyi belirler. Manometrik yükseklik aşağıdaki formüller vasıtasıyla hesaplanır (Aydoğan, 2013):

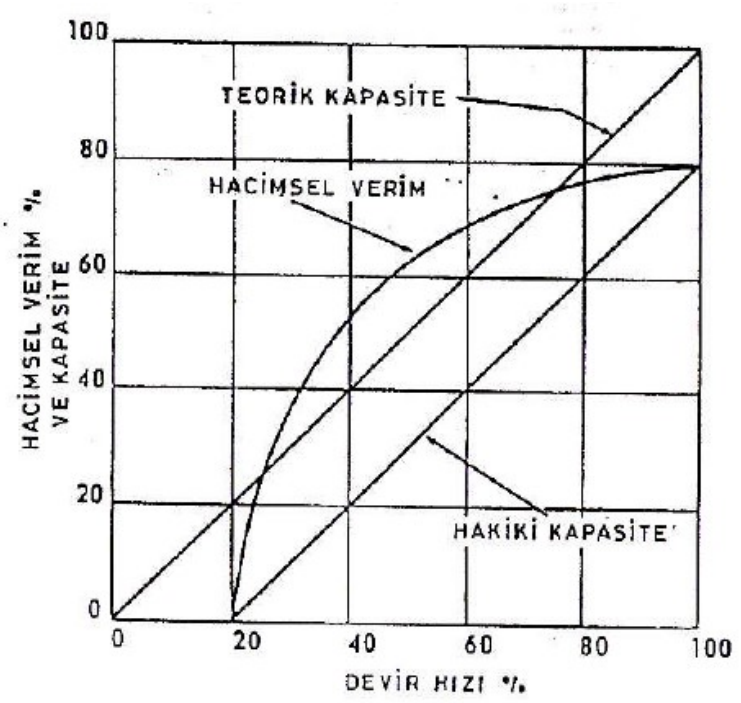
$$Hm = Hg + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \tag{2.6}$$

Bir pompa, mile bağlı hareket verici motor tarafından çalıştırılır. Hareket verici motorun güç birimi olarak kilowatt (kW) veya beygir gücü (H.P.) kullanılır. Pompada gücün bir bölümü sıvıya gerekli basıncı ve hareketi vermek için kullanılır. Buna sıvı gücü denir. Gücün bir bölümü de sürtünmeleri yenmek ve hacimsel kayıplar için kullanılır. Pompanın verimi sıvı gücünün toplam güce oranı ile bulunur. Buna göre sıvı gücü Denklem 2.2 ile hesaplandıktan sonra, Motor ve pompadan oluşan sistemin verimi ise Denklem 2.7 ile hesaplanabilir:

$$\eta_{mp} = \frac{P_{hidrolik}}{P_{elektrik\ \ verilen}} \tag{2.7}$$

Burada "η_{mp}" motopomp sisteminin verimidir.

Şekil 2.7'de gösterilen biçimde, örnek bir pompa tam devirde çalışırken hacimsel verim % 80'dir. Yani pompanın emdiği hacmin %20'si pompa içinden emme tarafına geri kaçmaktadır. Tam devrin %20'sinde pompa çıkışı sıfırdır. Emilen tüm sıvı sızıntılarla kaybolmaktadır. Hacimsel verim sıfırdır (Seyhan, 1994).



Şekil 2.7. Devir Hızı İle Kapasite İlişkisi (Seyhan, 1994).

2.3.4. Motopomplarda Termodinamik Metotla Alternatif Verim Ölçümü

Termodinamik pompa testi, bir pompanın verimliliğini bulmak için yalnızca sıcaklık artışı, tüketilen güç ve fark basıncı ölçümünü kullanan bir pompa test yöntemidir. Bu ölçümler tipik olarak, pompanın giriş ve çıkışındaki kılavuz noktalarına takılan sıcaklık probu ve basınç probu ile yapılır. Ölçümler sonucunda yapılan hesaplama ile, pompanın ürettiği debi miktarı elde edilebilir. Termodinamik metot 1960'lı yılların başlarında geliştirilmiştir ve o zamandan beri artan bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca termodinamik yöntemle ilgili ISO 5198 gibi yüksek hassasiyetli hidrolik test standartları da tanımlanmıştır. Termodinamik yöntem, pompaların performans testi, debimetre kalibrasyonu, sistem eğrisi testleri ve diğer uygulamalar için kullanılır. Diğer geleneksel pompa test yöntemlerinin doğru sonuçlar veremediği durumlarda boru konfigürasyonlarını test edebilirken, pompa verimliliğinde % 1'den az ve akışta % 1.5'ten daha az belirsizlikler ile sonuçlar elde edilebilir. Doğrudan terdmodinamik yöntemle motopomp (motor ve pompa grubu) verim testi 1991 yılında ingiltere ulusal mühendislik laboratuarı (NEL) tarafından çalışmaları başlatılan ve 1995 yılında bir konsorsiyum halinde hazırlanarak şartnamesi çıkarılan geniş çevrelerce kabul görmüş bir pompa

verimi belirleme yöntemidir. Şartnameye göre pompadaki difransiyel sıcaklıkların ölçümü ±1.5 mK hassasiyetle yapılabilmelidir.

Doğrudan termodinamik yöntemle pompa verim testi, pompa tarafından alınan sıvının birim kütle başına enerjinin, termodinamik özelliklerinin kullanılmasıyla pompadaki değişen difransiyel yükseklik ve diferansiyel sıcaklık farkının yatesmeter denilen ölçü aletleriyle ölçülmesine dayanır. Yöntemin belirlediği pompa verimliliğindeki belirsizlik, diferansiyel yüksekliğin belirsizliğine ve sıcaklık ölçümlerine bağlıdır. Pompanın içinden geçen kütle debisinin ölçülmesine gerek yoktur.

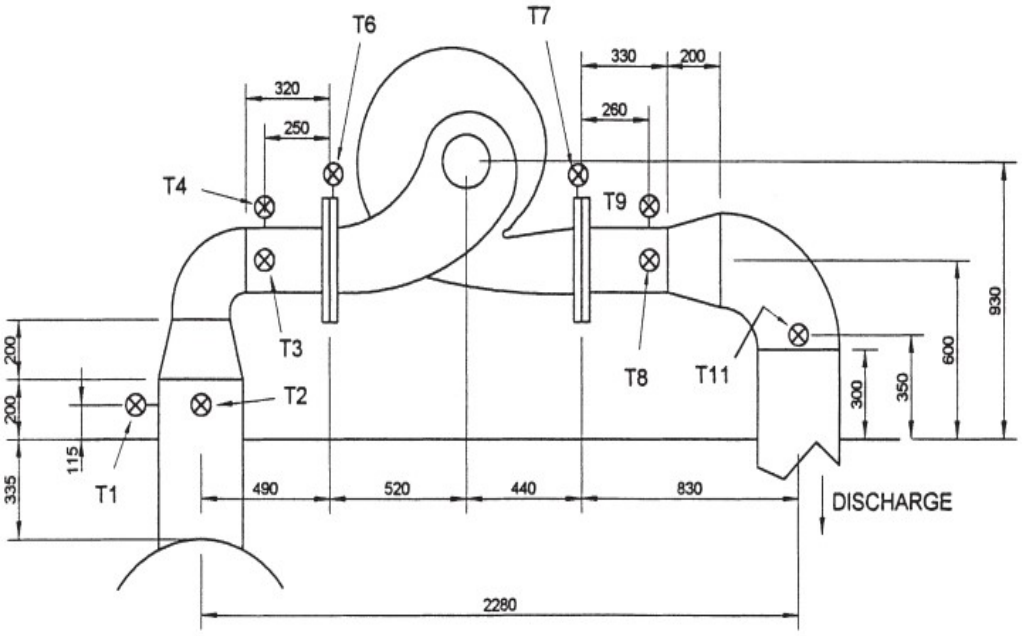
Uygulama prosedürü yaklaşık olarak şaft yatakları ve rulmanlarda meydana gelen enerji kayıplarının kombinasyonları için katsayıları vermiştir. Bu katsayılar pompa harici kayıplarının hesaplanmasında kullanıması için aşağıdaki gibi verilmiştir. Bu katsayılar için aşağıdaki formül kullanılarak harici güç kaybı hesaplanır:

$$P_x = k_x . N . d_m^2 \tag{2.8}$$

d_m, mil sızdırmazlık çapı ve N ise dakikadaki devir hızı olarak ifade edilmektedir. Spesifik enerji kaybı daha sonra ele alınır.

$$\mathrm{E_x} = \frac{P_x}{q_m} \tag{2.9}$$

Kayıp katsayısı conta sürtünmesinden çıkan ısının çoğunun pompa sızıntısından çıktığı için pompa civarındaki ısı yükselme ölçütüne dahil edilemeyeceğini kabul eder. Bu kayıp katsayısı conta sürtünmesinden çıkan ısının çoğunun pompa sızıntısından çıktığı için pompa civarındaki ısı yükselme ölçütüne dahil edilemeyeceğini kabul eder. Boru hattı ve bağlantıları düzeneği bağlantı ağzı konumları Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Pompa Düzeni ve Kılavuz Çekme Konumları (Thorne & Neal, 2016).

Giriş çıkış ölçüm kesitleri hıza bağlı belirsizlikten kaçınmak için aynı boyuttadır. Tabanın altındaki giriş manifoldunu takip eden 1,5 çaplık düz boru ve T1,T2 bağlantı ağızlarına rağmen hiçbir bağlantı ağzı 4 çaplık boru uzunluğu şeklinde yerleştirilmemiştir.

Bu yönteme göre yapılan bir örnek etütde nominal verimlilik noktasında akış hızı 180 l/s, 300 mm çap için hız 2,54 m/s ve 200 mm çap için 5,73 m/s (yüksek giriş bir pompa için hız) olarak belirlenmiştir. Pompa için gerekli net pozitif kesit başı (NPSH) bilinmemektedir, ancak boru konumu yaklaşık 15 m olası NPSH sağlamıştır ve bu herhangi bir kavitasyona bağlı pompa etkisini engellemek için neredeyse yeterlidir. Giriş çıkış debileri kavislerinde kayıp olmasına rağmen bu düzenleme ile, T2'den T11'e kadarki bağlantı ağızları iyi sonuç vermeye yatkındır. Normale en yakın bir test teçhizatı T6'dan T8'e kadar olan bağlantı ağızlarını kullanacaktır. T7 bağlantı ağzı yerine T8'i kullanmak daha doğru çıkış yüksekliği ve eşit hızı için daha uygundur.T3 bağlantı ağzı giriş kavisine çok yakındır. İstasyon gücü ölçme ekipmanının bu testler için uygun olmadığına karar verilmiştir. Pompa tarafından absorbe edilen güç motor girişinden ve motor verimliğinden elde edilmiştir. Motor tekrar kurulmuş, ancak yeni, üreticilerin katalog verimlilik rakamları 200 kW motor olarak varsayılmıştır. Buna göre; tam yük 93.5%, üç çeyrek yük 93.0%, yarım yük 91.5%, olarak genel motor veriminin yüzde 93'te

sabit olduğu kabul edilmiştir. İstasyon 150 mm çaplı bir dall tüp ile donatılmıştır. Tüm testler sadece test pompasını çalıştırarak yapılmıştır. Küçük ölçekli olması nedeniyle, okumaların 5 l / s den daha iyi olması muhtemel değildir.

Termodinamik yöntemde akış hızı; ölçülen yükseklikten, sıcaklık artışı ve motor giriş gücü ve hesaplanmış verimlilikten türetilir. Yükseklik ya da verimlilik yanlışsa akış hızı da yanlıştır.

Test serisinde, T2 / T11 bağlantı ağızlarında, gerçek pompa performansına en yakın sonuçlar veriliyor gibi görülmektedir. Diğer bağlantı ağzı çiftlerinden alınan ve su hızının 5 m/s den büyük olduğu durumda yanlış sıcaklık diferansiyeli mil titreşimi kaynaklı olacaktır. Pompa milleri testte meydana gelebilecek maksimum değere en azından eşit hızlarda kalibre etmek önemlidir. Elektrik gücünün, diferansiyel yüksekliğin ve diferansiyel sıcaklığının ölçümlerinden hesaplanan bir akış hızının, termodinamik ölçümlere ve motor verimliliğine çok bağlı olduğunu bilmek önemlidir. İyi koşullar altında, diferansiyel sıcaklıklar 1,5 mK belirsizlikle ölçülebilir. Pompa verimliliği testi için doğrudan termodinamik yöntemi kullanıcılarına rehberlik etmek için bir şartname mevcuttur. NEL'de farklı sıcaklık ölçüm sistemlerini kanıtlamak ve / veya kalibre etmek için bir tesis yapılabilir. Daha fazla araştırma için ana konu, iki ölçüm kesitindeki eşit olmayan akışkan hızlarının diferansiyel sıcaklık ölçümü üzerindeki etkisinin değerlendirilmesidir (Thorne & Neal, 2016).

2.4. Verimsizlik

Verimsizlik tanım olarak bir amacın gerçekleşmesi için ideal bir referans değer kadar yapılması gereken meta veya iş harcamasının üzerine çıkarak yapılan harcama miktarıdır.

2.4.1. Verimsizliğin Sebepleri

Verimsizlik temelde iki şekilde meydana gelebilir; İdeal olarak kurulan bir sistemde zamanla oluşan arızalardan ve yıpranmalardan veya sistemin ilk kurulumunun ihtiyacın gerektirdiği ideal referans dışında amaca uygun olmayan şekilde yapılmış olmasından kaynaklanan durumlarda veya başlangıçtaki aynı amaç için harcanan enerjide arıza ve sistem yıpranmasından kaynaklanan verilen iş veya harcanan metadaki artıştır.

2.4.2. Verimsizlik Türleri

Verimsizlik makinalarda ısının mekanik veya elektrik enerjisinin ısıya dönüşmesi sırasında meydana gelen ısıl kayıplar ve mekanik enerjide sürtünmeler nedeniyle meydana gelen mekanik kayıplardır. Bunun dışında pompalarda suyun emme bölgesine kaçmasından kaynaklanan hacimsel verimde verimsizlik türlerine örnek teşkil eder. Verimsizliği pompa sistemi üzerinden irdelemek gerekirse; bir pompa seçerken, çalışma noktası yüksek verimlilik alanında olan bir pompa seçmek verim açısından önemlidir. Ancak bazen sistem ihtiyaçlarının değişkenlik göstermesi veya sistem eğrisinin zamanla değişmesi gibi durumlarda, optimum çalışma noktasına uyan pompayı seçmenin mümkün olmaması verimsiz çalışmaya sebep olabilir. Dolayısıyla, değişen ihtiyaçlara göre pompa performansını ayarlamak gerekebilir. Pompa performansını değiştirmek için kısma kontrolü, bypass kontrolü, çark çapını değiştirmek, hız kontrolü ile popma çalışma şartları için performans ayarlaması verimsizliğin sebeplerini gidermek için gerekebilir, ancak bu durumda pompa ve motorda optimum noktanın dışında çalışmaktan kaynaklanan ısıl ve mekanik verimsizlik meydana gelir. Bununla birlikte pompa ve motorda meydana gelen arızalarda verimsizliğe sebep olmaktadır.

2.4.2.1. Mekanik Verimsizlik

Mekanik enerji çok nadir koşullarda doğrudan doğruya kaynak enerjiden %100 kapasite ile üretilebilir. Bu kaynakların çoğu petrol ve kömür gibi iç enerjileri olan yakıtlardır. Yanma işlemi bu kaynakların iç enerjisinin serbest kalmasına neden olur ve elde edilen enerji, meskenlerinin ısıtıllması ve yemeklerin pişirilmesi için ya da başka kimyasal, fiziksel işlemleri gerçekleştirebilmek için fırının ısısını artırmak için kullanılır. Ancak ısı biçimli bu enerji bir makineyi çalıştırmak veya yürütmek veya bir mermiyi fırlatmak için gerekli enerji tipine dönüştürülerek de kullanılabilir. Söz konusu dönüştürme işlemini en fazla vermlilikle sağlayabilmek makine mühendislerinin asıl amaçlarından birisidir. Kimyasal tepkimeye girecek cisimlerin elektronik bir pilde terkib olduğu hâl, iç enerjinin doğrudan doğruya mekanik enerjiye dönüştüğü tek işlemdir. Diğer tip işlemlerin hepsi iç enerjinin ısıyla dönüşümü ara adımını ihtiva eder (Sarıkurt & Hocaoğlu, 2011).

2.4.2.2. Isıl Verimsizlik

Sadi Carnot, genç fransız mühendisi, 1824 yılında ısı makinesinin verimini ilk temelden ele alan kişi olmuştur. Carnot bu yıllarda yaptığı çalışmalarda, buhar makinelerini geliştirmeye dayalı bir çalışma yönetmiştir. Carnot yaptığı çalışmalar pratiğe geçmemiştir ancak 19 uncu yüzyılda tesiri kendisinden önceki "tatbiki" adamların yaptığı çalışmalardan daha fazla olmuştur. Carnot dikkatini bir ısı makinesinin hakikaten ehemmiyetli olan taraflarına verip, çalışmasının teferruatını bir tarafa bırakmıştır. Bu önemli taraflardan ilki makinenin aldığı enerjinin ısı şeklinde ve yüksek miktarda olmasıdır. İkincisi, makine mekanik iş yapar kavramını benimsemek olmuştur. Üçüncüsü, makinenin dışarı mekana daha az miktarda ısı kaybı olmasıdır. Bunların üzerine 19'uncu yüzyılda ısının tahrip edilemez bir akışkan olduğuna inanılıyordu. Carnot yayınladığı makalelerinde ısı ve işin tabiatı hakkındaki inanışlarının ne olduğunu açıklayıp, bilhassa kullandığı terimler hakkında kestirmeye imkân bırakmamıştır bunun nedeni açık bir tarifini vermemiş olmasıdır (Sarıkurt & Hocaoğlu, 2011).

2.4.2.3. Titreşim ve Isı Oluşumu

Çalışan makinalarda tahrikli motor hareketinden kaynaklanan titreşim ve sürtünmelerden kaynaklanan veya elektrik motorounda elektriksel gücün mekanik enerjiye dönüşü sırasında sargılarda meydana gelen sıcaklık artışına bağlı ısı oluşumudur.

Pompa içinde genelde akış açısı ile giriş açıları ve çark kanadı arasında debilerde çalışan pompada uyumsuzluk oluşur. Bu uyumszuluk kanadın ön yanağına yakın yerlerde daha belirginleşir. Böyle durumlarda bir resirkülasyon akımı, emme borusuna doğru başlar. Debi kısıldıkça bu sirkülasyon daha da artar. Böylece düşük basınç alanlarında kavitasyon ortaya çıkmaktadır. Emme hattına doğru ilerleyen buhar fazına geçen akışkan gittikçe daha düşük basınç gradyenleriyle karşılaşır ve kavitasyon bulutunun büyümesine neden olur, ancak çok sonra bir çökme gerçekleşir ve bu sırada 2-10 Hz frekans aralığında bir titreşim bu kararsızlığın tipik frekansı olacaktır (Kaya, 2014). Çizelge 2.1'de motor verim sınıfları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Avrupa Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği İmalatçıları Komitesi (CEMEP)'e Göre Motor Verim Sınıfları (Ercan, 2014).

Çıkış Gücü (kW)	2 Kutuplu Motorlar (%)			4 Kutuplu Motorlar (%)		
	EFF1	EFF2	EFF3	EFF1	EFF2	EFF3
1,1	>= 82,8	>= 76,2	< 76,2	>= 83,8	>= 76,2	< 76,2
1,5	>= 84,1	>= 78,5	< 78,5	>= 85,0	>= 78,5	< 78,5
2,2	>= 85,6	>= 81,0	< 81,0	>= 86,4	>= 81,0	< 81,0
3	>= 86,7	>= 82,6	< 82,6	>= 87,4	>= 82,6	< 82,6
4	>= 87,6	>= 84,2	< 84,2	>= 88,3	>= 84,2	< 84,2
5,5	>= 88,6	>= 85,7	< 85,7	>= 89,2	>= 85,7	< 85,7
7,5	>= 89,5	>= 87,0	< 87,0	>= 90,1	>= 87,0	< 87,0
11	>= 90,5	>= 88,4	< 88,4	>= 91,0	>= 88,4	< 88,4
15	>= 91,3	>= 89,4	< 89,4	>= 91,8	>= 89,4	< 89,4
18,5	>= 91,8	>= 90,0	< 90,0	>= 92,2	>= 90,0	< 90,0
22	>= 92,2	>= 90,5	< 90,5	>= 92,6	>= 90,5	< 90,5
30	>= 92,9	>= 91,4	< 91,4	>= 93,2	>= 91,4	< 91,4
37	>= 93,3	>= 92,0	< 92,0	>= 93,6	>= 92,0	< 92,0
45	>= 93,7	>= 92,5	< 92,5	>= 93,9	>= 92,5	< 92,5
55	>= 94,0	>= 93,0	< 93,0	>= 94,2	>= 93,0	< 93,0
75	>= 94,6	>= 93,6	< 93,6	>= 94,7	>= 93,6	< 93,6
90	>= 95,0	>= 93,9	< 93,9	>= 95,0	>= 93,9	< 93,9

Hacimsel yer değiştirmeli akım iletim cihazları çok çeşitli olduğundan bunların ortak özelliklerinin toplanması zordur, ancak bazı özellikler büyük bir çoğunluk için ortaktır (Beşergil, 2006):

(a) yüksek basınç için uygundurlar,

(b) çıkış akımlarında bir titreşim ve salınım mutlaka vardır; bunun önlenmesi isteniyorsa salınım söndürücü cihazların konulması gerekir,

(c) mekanik yapılarından dolayı kapasite kısıtlamaları vardır,

(d) düşük akımlarda daha verimli çalışırlar.

Herhangi bir nesnenin bir referans eksenine göre bulunduğu doğal pozisyondan farklı periyot ve genlikle geçerek, tekrarlamış olduğu yer değiştirmelere titreşim veya vibrasyon denir. Vibrasyon tekrarlanan bir çevrim şeklinde ve süreklidir. Aksi takdirde bu dinamizm vibrasyon değil sadece hareket olarak tanımlanır. Vibrasyonun oluşması için gerekli olan kuvvetler vibrasyonun şiddetini ifade ederler. Bu kuvvetler ne kadar büyük olursa yer değiştirme miktarı yani vibrasyonun toplam genliği de o kadar büyük olur. Dolayısıyla vibrasyonun toplam genliği vibrasyonun toplam şiddeti hakkında bilgi verir (Yaman & Karadayı, 2014).

Titreşim basitçe sinüsoidal bir hareket dalgası olarak tanımlanırsa, y = (sinwt) ifadesi ve türevleri sırasıyla hız ve ivmeyi verir. Yer değiştirme birimi µm (mikron), hız birimi mm/s ve ivme birimi mm/s^2'dir. Bu ifadeler ya etkin düzey ya da tepe düzeyi olarak ifade edilir. Avrupa ve ISO sistemi, titreşimi ifade etmek için geniş bant etkin titreşim hızını kullanırken, Amerikan sistemi rms titreşim hızı seviyesi yerine 0 tepe seviyesi olarak kullanır. Çizelge 2.2'de titreşim değerlendirme esasları verilmiştir. Her ne kadar uluslararası standartlar, örneğin ISO 2372 (tercümesi Türk Standardı TS 2879 olarak yayınlanmıştır) özellikle balans bozukluğuna bağlı titreşim seviyelerini sınırlayıcı standartlar koymuşsa da, bu standartlar çok genel ve sadece bir başlangıç referansı olarak kullanılabilir (Yaman & Karadayı, 2014).

Çizelge 2.2. Mekanik Titreşimi Değerlendirme Standartlarını Belirtmek İçin Temel Esaslar (Çağlayan, 2013).

ISO2372-TS2782 Standardı Çalıştırma hızlan 10Hz^2-200Hz olan Makinelerin Mekanik Titreşimi Değerlendirme Standartlarını Belirtmek için Temel Esaslar				
Kabul edilebilirlik limitleri	Geniş Bant Efektif Titreşim Genliği (mm/sn rms)			
	I. Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf	IV. Sınıf
İyi	<0.7	<1.1	<1.8	<2.8
Kabul Edilebilir	0.7-1.8	1.1-2.8	1.8-4.5	2.8-7.1
Sınırda	1.8-4.5	2.8-7.1	4.5-11.2	7.1-18.0
Kabul Edilemez	>4.5	>7.1	>11.2	>18.0

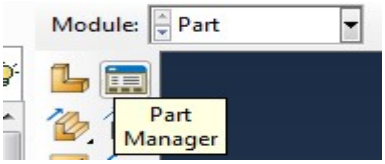
2.4.3. Kullanılan Bilgisayar Programlarının Tanıtılması [Matlab, Abaqus, NX, CFD, SPSS]

2.4.3.1. Matlab Programı

Önceleri matlab programı problemlerin çözümüne matris temelli teknikleri kullanarak yardımcı olmaktaydı. Bugün ise geliştirilen yerleşik kütüphanesi ve uygulama ve programlama özellikleri ile gerek akademik alanda (başta matematik ve mühendislik olmak üzere tüm bilim dallarında) gerekse sanayi çevresinde yüksek verimli araştırma, geliştirme ve analiz aracı olarak yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Temel olarak nümerik hesaplama, grafiksel veri gösterimi ve programlamayı içeren teknik ve bilimsel hesaplamalar için yazılmış bir yazılımdır. Matlab programının tipik kullanım alanları; matematik ve hesaplama işlemleri, algoritma geliştirme, modelleme, simülasyon (benzetim) ve öntipleme, veri analizi ve görsel efektlerle destekli gösterim, bilimsel ve mühendislik grafikler oluşturma, uygulama geliştirme şeklinde özetlenebilir. Bu tezde motopomp verimini tahmin eden paket program ve arayüzünün oluşturulmasında kullanılmıştır.

2.4.3.2. Abaqus Programı

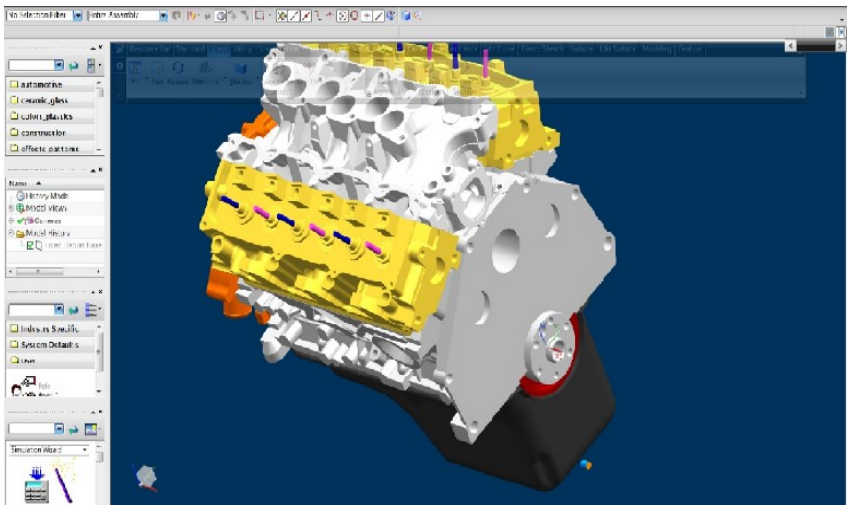
Abaqus programı bir katı modelin destek noktaları ile birlikte modellenmesi sonucunda meydana gelen titreşimin hız ve ivme olarak değerlendirilmesi ve özellikle tasarlanan makinaların doğal frekans noktasında çalıştırılmasını önlemek için tasarım kontrollerinde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında birden çok noktadan alınan titreşim ölçümlerinin değişken sayısının artışıyla titreşim modelinin istatistiki değerlendirilmesini zorlaştıracağı ve daha çok veri ölçümüne neden olacağı bilindiğinden titreşim ölçümlerinin ağırlık merkezine indirgenmesi için kullanılmaktadır. Şekil 2.8'de Abaqus programı "modül seçim bölümü" görülmektedir.



Şekil 2.9. Abaqus Modül Seçim Bölümü.

2.4.3.3. NX 3D Çizim Programı

Program iki boyutlu kesitlerin entegrasyonu ile üç boyuta dönüştürülmesi şeklinde çalışır. Oluşturulan üç boyutlu parçalar montaj modülü ile sanal montaj yapılabilir. 3D modellerin ölçülü drawing teknik resimleri oluşturulabilir. Şekil 2.10'da NX programında birçok parçadan meydana gelen araç motoru örnek 3D katı modeli görülmektedir. Bu tez çalışmasında incelenen motopompların modellerinin oluşturulmasında ve güneş rüzgar hibrit türbininin tasarlanmasında kullanılmıştır.



Şekil 2.10. Örnek Bir Montajlı 3D Model Resmi (NX 7.5).

2.4.3.4. CFD Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Programı

Program rüzgâr türbini gibi akışkanla temas halindeki nesne veya sistemlerin akıştan nasıl etkilendiği veya akışı nasıl etkilediğini gösterir ve basınç, akışkan hızı dönüş hızı, tork, açısal hız ve çizgisel hız gibi değerlerin tespit edilmesini sağlamaktadır. Böylece büyük maliyeti olan deneyler yapılmadan bazı öngörüler elde edilmekte ve optimizasyonlar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında güneş rüzgar hibrit türbininin optimizasyonu aşamasında oluşturulan farklı modellerin analizinde kullanılmıştır.

2.4.3.5. SPSS Programı

SPSS programı istatiksel değerlendirme ve regresyon analizinde kullanılır. Regresyon analizi, bir ya da birden fazla bağımsız değişkenin, bağımlı bir değişkenle arasındaki ilişkiyi matematiksel bir denklem olarak orataya koymak için kullanılır. Burada; A:Bağımlı değişken, B: Bağımsız değişken, C: Katsayılar, D: Sabitler olmak üzere A=C0+C1+C2B2+Z…+CkBk +Di şeklinde bir tahmini denklem elde edilir. Böylece "şu "B" verisi için "A" değeri bu olacaktır." şeklinde tahminler yapılabilir. Programda “Adjusted R Square” değeri denklemin yüzdesel doğruluk oranını ve “Sig”<0,05 denklemin anlamlı olduğunu belirtir. Bu tez çalışmasında motopomp verimini tahmin eden paket programın ihtiyaç duyduğu formüllerin eldesinde ve regresyon analizlerinde kullanılmıştır.

2.5. Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Sistemleri

Mevcut enerji kaynaklarının devamlı artan enerji gereksinimini karşılamada yetersiz kalması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının bulunması ve geliştirilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. Bunun nedeni klasik yöntemlerle yapılan fosil yakıta dayalı enerji üretim ve tüketiminin doğada onarılamaz zararlara neden olmasıdır. Dünyadaki tüm insanların sorumluluğu yaşanabilir ortamları korunmasını sağlamak, enerji tüketiminden kaynaklanan çevre tahribatının azaltılması yanı sıra, enerji üretimi gibi konulara dikkat çekmek ve iklim değişikliğinin sebep olduğu zararlı etkileri azaltmaktır. İnsanların bu sorumluluklarının gerçekleşmesi için, enerji üretim teknolojisinde ve kaynak seçiminde çevresel etkilerin dikkate alınması, düzenlemelerin yapılması enerji kullanımında verimliliğe azami özenin gösterilmesi şeklinde hususların giderek öncelik elde etmesi ve bu konulardaki işlemlere ağırlık verilmesi gerekmektedir (WEC Turkey, 2009).

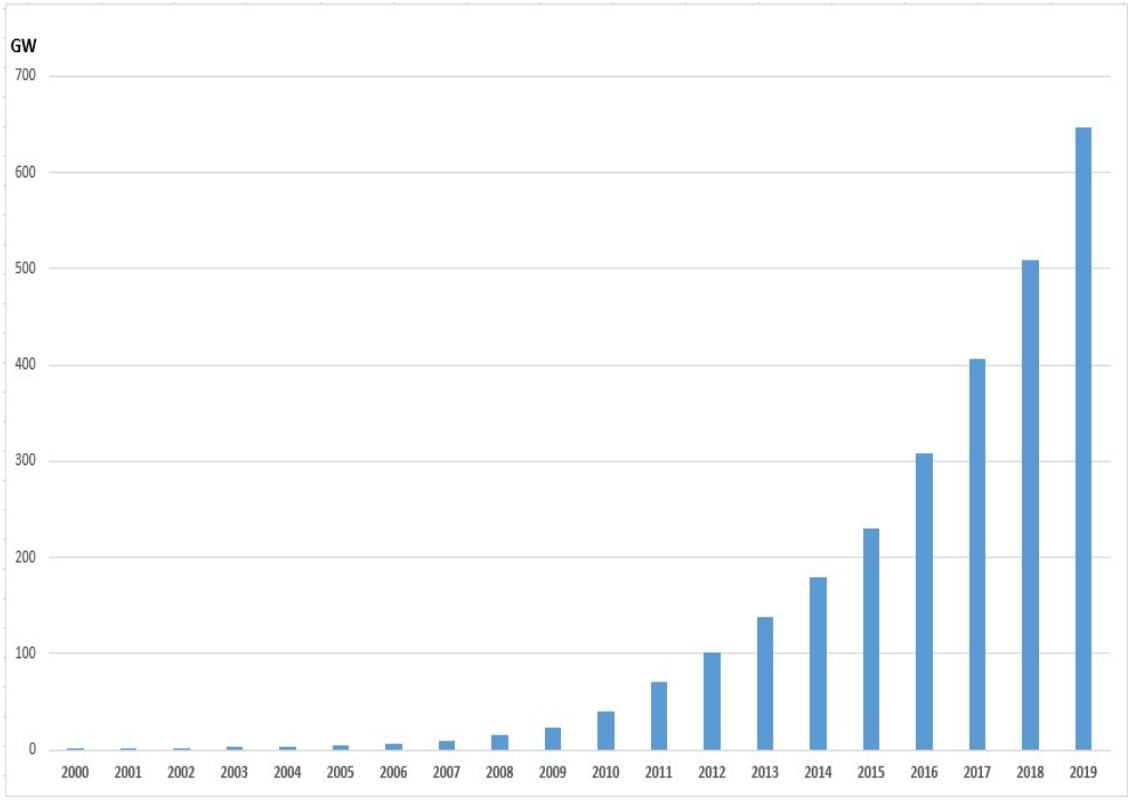
Yenilenebilir enerji ve yakıtlara (50 MW'tan daha büyük hidroelektrik projeleri hariç) yapılan küresel yeni yatırım 2020'de toplam 303,5 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Gelişmekte olan ve yükselen ekonomiler, yenilenebilir enerji kapasitesi yatırımında gelişmiş ülkeleri altıncı yılda da geride bırakarak 153,4 milyar ABD dolarına (daha küçük bir rakam) ulaşmış bulunmaktadır. 2020 yılı yatırımları gelişmiş ülkelerde %13 artarken, gelişmekte olan ve yükselen ülkelerde %7 azalmıştır. (WEC Turkey, 2021b).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım, rüzgâr ve güneş enerjisine odaklanmaya devam etmiştir ve güneş enerjisi 2020'de 148,6 milyar ABD doları (%12 artış) ile küresel yenilenebilir enerji yatırımının neredeyse yarısını temsil etmektedir. (WEC Turkey, 2021b).

Yenilenebilir enerji kaynakları, 2021'de küresel elektrik arzındaki artışın yarısından fazlasını sağlayacağı tahmin edilmektedir. Güneş PV santralleri ve rüzgârın santralleri olarak yenilenebilir enerjinin büyümesinin üçte ikisine katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının, 2021'de, Sanayi Devrimi'nin başlangıcından bu yana en yüksek payı alarak %30'un üzerinde olması beklenmektedir. (WEC Turkey, 2021c). 2021 yılında rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji üretiminde en büyük artışı kaydetme yolunda ilerlemektedir. Rüzgar enerji santralleri kapasitesini 2020 yılına oranla 275 TWh veya yaklaşık %17 büyütürek en büyük yenilenebilir enerji üretim artışını kaydetme yolunda ilerlemektedir. 2021 yılında Güneş PV santralleri ile elektrik üretimi 145 TWh veya %18 artacaktır. (WEC Turkey, 2021c).

2.5.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi çeşitli nedenlerden dolayı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha kolay yaygınlaşabilecek durumdadır. Bu nedenler şunlardır; kullanım kolaylığı, temizliği, potansiyeli, çevre dostu olması ve yenilenebilir olmasıdır. Ancak bu enerji türünün gelecekte daha cazib hâle gelebilmesi için, düşük verim, kurulum maliyetlerinin yüksekliği, düşük kapasite faktörü gibi bazı ekonomik ve teknolojik sorunların aşılması gerekecektir. Güneş enerjisi konusunda Türkiye, son derece elverişli bir konumdadır ancak yinede sahip olduğu bu potansiyel doğru şekilde kullanılmamaktadır (WEC Turkey, 2009). Şekil 2.11'de Dünya güneş enerjisi kurulu gücündeki yıllara göre olan gelişim gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Dünyada Güneş Enerjisi Kurulu Gücünün Gelişimi (2000 - 2019) (POWERWEB Forecast International's Energy Portal, 2020).

2.5.1.1. Güneş Enerjisinin Tanımı

Füzyon süreci yanı sıra güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi sürecinde meydana gelen ışıma enerjisine güneş enerjisi adı verilir . Çeşitli dalga boylarında (62 MW/m^2) enerji termonükleer bir reaktör olan güneşten yayılır ancak bu yayılan miktarın 150 milyon km kat ederek yanlızca iki milyarda biri yeryüzüne ulaşır. Hesaplamalara göre bu enerji dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır (WEC Turkey, 2009).

Geleneksel yakıtların kullanımından meydana gelen çevresel sorunların çoğu güneş enerjisi üretiminde oluşmaz. Ayrıca güneş enerjisi sürekli, yenilenebilir ve ücretsiz, temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Karbondioksit (CO2) yayılımı, Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz zararlı yan ürünüdür. Bu emisyonun salınımı sonucu bilindiği üzere, atmosferdeki CO2 miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmasına neden olmuştur ve önümüzdeki 50 yıl içinde, bu miktarın, bugüne oranla 1,4 kat artacağı öngörülmüştür. Bu gaz atmosferde sera etkisi meydana gelmesine neden olmaktadır. Sera etkisi sonucu son yüzyıl içinde dünya ortalama

sıcaklığını 0,7 °C artmıştır. Bu sıcaklığın 1°C yükselmesi hâlinde, dünya iklim kuşakların gözle görülür ve ciddi şekilde değişimlere uğrayacaktır, 3 °C düzeyine varacak artışın gerçekleşmesi ise, göllerde kurumalara, tarımsal kuraklık, kutup buzulların erimesi ve denizlerin yükselmesine neden olacaktır. Bu durumda enerji kullanımından vazgeçilmesi söz konusu olmayacağına göre, güneş gibi doğal ve alternatif olabilecek kaynaklara yönelmek mantıklı bir strateji olacaktır (Varınca & Gönüllü, 2006).

2.5.1.2. Güneş Enerjisinin Özellikleri

1.370 W/m^2 Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışınımı yaklaşık değeridir. Dünyanın şekli nedeniyle, güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı büyük farklılıklar gösterir, 1.100 W/m^2 dünyaya gelen güneş enerjisinin ortalama miktarıdır. Güneş radyasyonunun enerjisini spektrumunlarına ayıracak olursak % 45'i görünür ışık bölgesinde, % 46'sı kızılötesi bölgesinde ve geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur. Güneş ışınımının % 30 kadarı geriye yansıtılır bunu dünya atmosferi sağlamaktadır. Ancak % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşabilir. Işınların % 20'si ise, atmosfer ve bulutlarda kırılıma uğrar. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselmesini sağlayarak yeryüzünde yaşamı mümkün kılar ve rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da neden olur. Işınımların % 1'den azı bitkiler tarafından fotosentez için kullanılır. Fotosentez işleminde bitki güneş ışığıyla birlikte su ve karbondioksit kullanarak, şeker ve oksijen üretilir. Bitkisel yaşamın kaynağı Fotosentezdir. Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı uzaya geri dönmeden önce, yeryüzünde ısıya dönüşür (WEC Turkey, 2009).

Güneş enerjisinin sınırsız potansiyeli vardır. Güneşten dünyaya gelen enerji atmosferin üzerinde m^2 başına 1,35 kW yoğunluğunda yayılır. Bu şiddet ile dünya çapının kapladığı alana gelen güneş gücü, dünyadaki kurulu elektrik santrallerinin toplam gücünün 100 bin katıdır. Bu değer, 1,22 x 10^{14} TET (Ton Eşdeğer Taş Kömürü) ya da 0,814 x 10^{14} TEP (Ton Eşdeğer Petrol) kadardır. Yılda gelen güneş enerjisi Dünya petrol rezervinin 800 katı, kömür rezervinin ise 50 katıdır (Yeşil Bina, 2014).

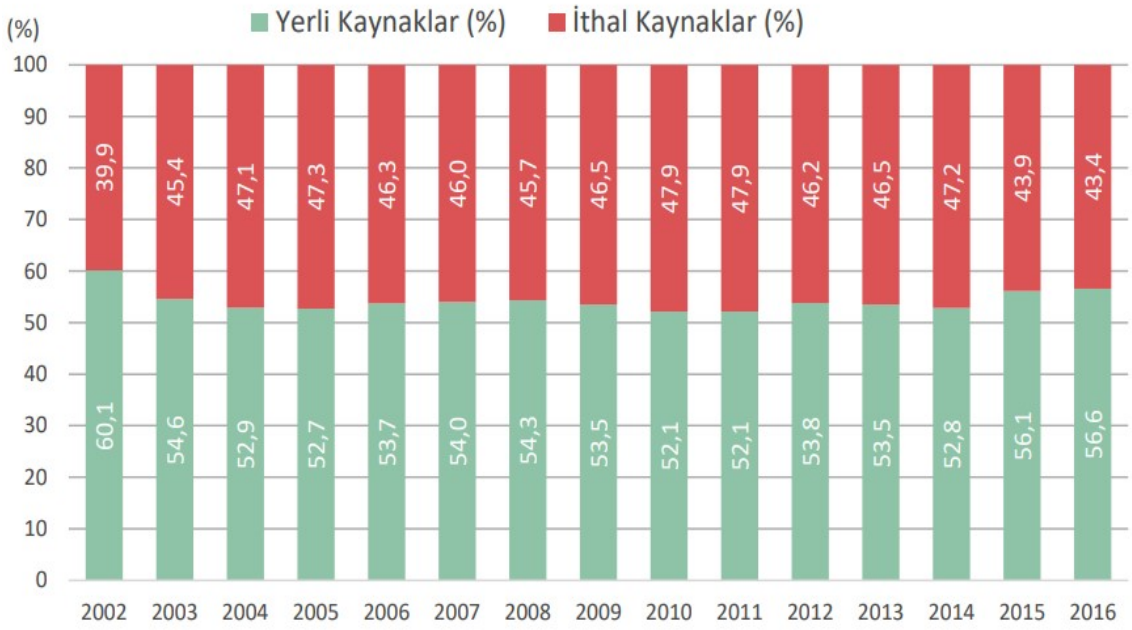
4 Hidrojen atomunun 1 Helyum atomuna dönüşmesi güneşin enerji kaynağını doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olmasını sağlar. 1 Helyum atomu 4,003 birim ağırlıkta ancak 4 hidrojen atomu 4,032 birim ağırlıktadır. Bu olay sonucu Einstein'ın madde-enerji bağıntısı formülüne göre 0,029 birim ağırlık enerjiye dönüşmektedir. Hesaplamalara göre

güneş yüzeyinde her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı 3,86 x 10^{26} J enerji üretilmekte ve bu enerji ışınım olarak uzaya yayılmaktadır. Güneşimiz daha milyonlarca yıl ışımasını sürdürecektir. Bunun nedeni toplam enerji rezervi 1,785 x 10^{47} J olmasıdır. Bu durum Güneş'i Dünya için sonsuz bir enerji kaynağı yapar. Dünya'nın çapına 178 trilyon kW düzeyine eşit bir dairesel alan üzerine yansır. Elektromanyetik ışınım (radyasyon) Güneş enerjisinin uzaya ve gezegenlere yayılma biçimidir. Dünya'da bir yılda kullanılan enerji Dünya'ya Güneş'ten gelen enerjinin 20 binde biridir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneş'in Yüzey sıcaklığı çeşitli yöntemler ile ölçülmüştür bunun sonucunda ulaşılan sonuç 5.800 santigrat derecedir. Bu sıcaklığın bir saniyede yaydığı ışıma enerjisi, nerdeyse 4 x 10^{23} kW'tır. Bu güç 100 W'lık 400 trilyon çarpı bir trilyon ampul gücüne denk olmaktadır. Güneş yaklaşık küre şeklindedir ancak eğer şeklini bir tam küre olarak düşünürsek bu durumda enerjisinin tüm yönlerde homojen bir şekilde yayacaktır. Dünyamıza yaklaşık 1.000 W/m^2 olarak ulaşan güneş enerjisinin bu değeri, atmosferde soğurulduktan sonra yeryüzüne düşen güç ortalamasıdır (WEC Turkey, 2009).

2.5.1.3. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

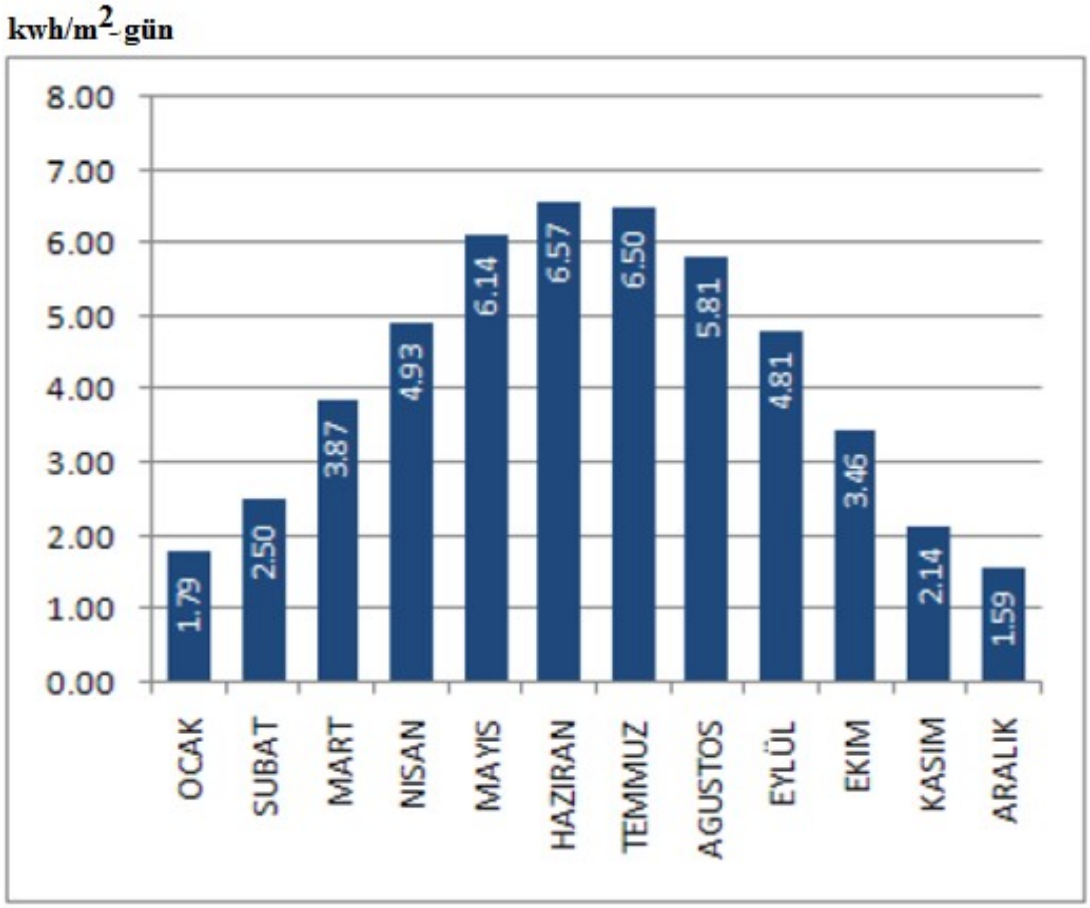
Türkiye, Güneş enerjisi potansiyeli açısından coğrafi konumu nedeniyle birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Dünya'ya saniyede yaklaşık 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 291,5 milyon MW/h olduğu varsayılırsa ülkemizin enerji üretimi iki saniyede dünyaya gelen güneş enerjisinden daha azdır. Şekil 2.12'de Türkiye'de birincil enerji üretiminin tüketimi karşılama oranı verilmiştir. 1966-1982 yıllarında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen ışınım şiddeti ve güneşlenme süresi verilerinden yararlanıp EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ışınım şiddeti günlük toplam 3,6 kWh/m² ve ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi günlük toplam 7,2 saat olduğu hesaplanmıştır. Şekil 2.13'te Türkiye Güneş enerjisi atlası gösterilmiş, Şekil 2.14'te Türkiye'de aylara göre radrasyon değerleri verilmiştir. Türkiye yılda ortalama 110 günlük güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılırsa yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir (Varınca & Gönüllü, 2006).



Şekil 2.12. Türkiye'de Birincil Enerji Üretiminin Tüketimi Karşılama Oranı - Dışa Bağımlılık (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2017).

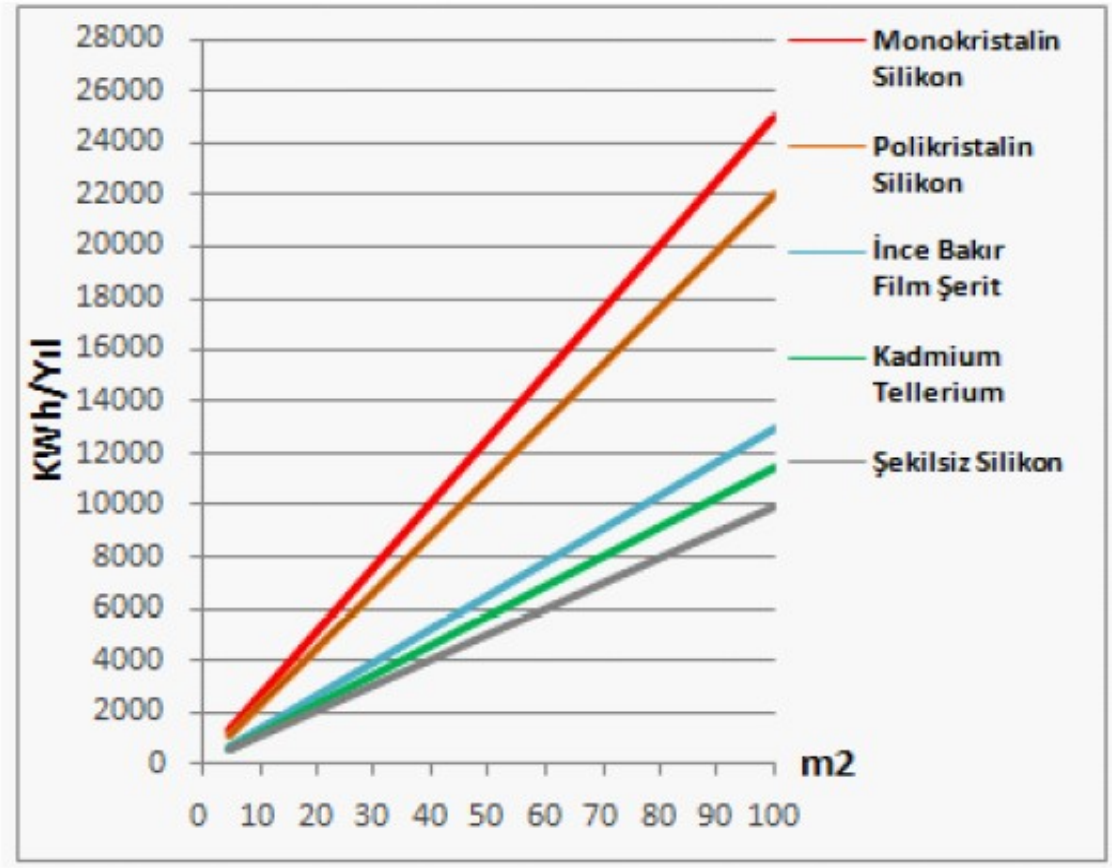


Şekil 2.13. Türkiye'nin Güneş Enerji Atlası (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).



Şekil 2.14. Türkiye Global Radyasyon Değerleri (kWh/m2-gün) (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).

Temel karakterisitik değişkenlerden yararlanılarak, Coğrafi Bilgi Sistemi'nde kullanılan "ESRI Solar Radiation Model" ile Türkiye Güneş Modeli oluşturulmuştur. Eğim-Bakı-Gölgelenme hesapları için, Türkiye 1/100.000'lik topoğrafik haritadan meydana getirilen yatayda 500 m x 500 m grid boyutlarında olan Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) Türkiye 36–42 derece enlem değerlerinde ait alanlar, 32 yönde zenit ve azimut açıları, açık ve kapalı gökyüzü hesaplama yöntemleri, modelde kullanılacak parametrelerin hesaplanması ve model kalibrasyonun yapılması için EİE ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü istasyonlarına ait ölçüm yapılan 22 yıllık saatlik Güneş ölçüm verileri, Gökyüzü Işık İletim Katsayısı (Transmittivity) ve Gökyüzü Açıklılığı (Diffuse Proportion) ölçümleri ile elde edilmiştir. Şekil 2.15'te Türkiye'de güneş pilleri ile üretilebilecek enerji potansiyeli gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Türkiye için PV Tipi- Alan-Üretilebilecek Enerji (kWh-Yıl) (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).

2.5.1.3.1. İstanbul'da Güneş Enerjisi Potansiyeli

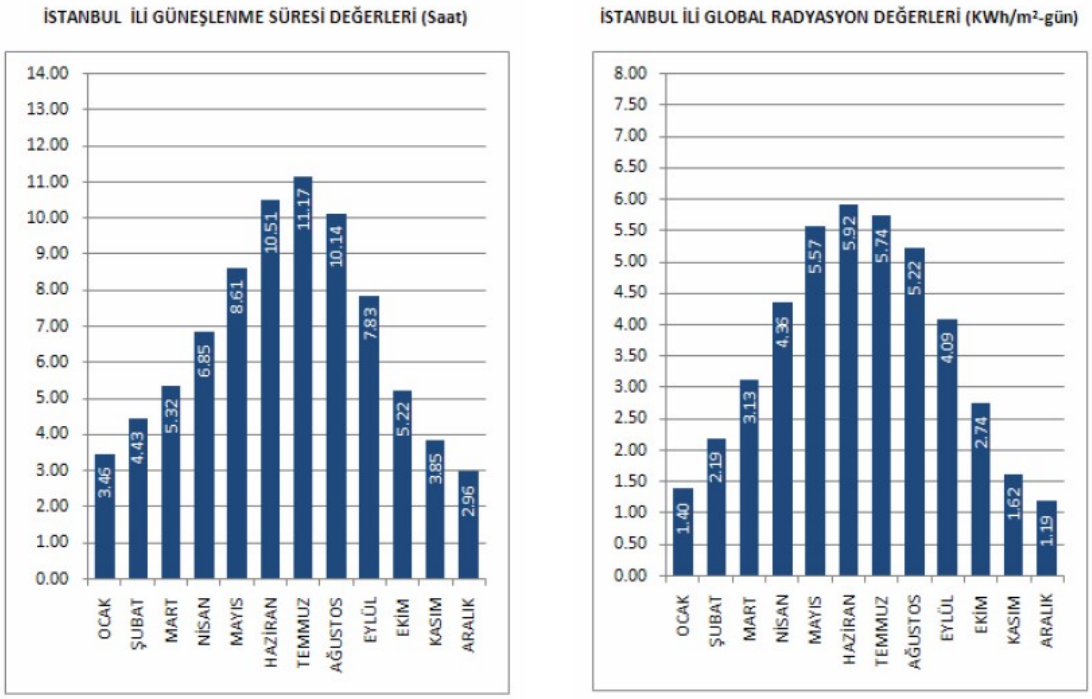
İstanbul'da fiziksel olarak güneşlenmeye engel teşkil eden;

- Arazi eğimi 3 dereceden büyük olan alanlar,
- Yerleşim alanları ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlar,
- Kara ve demir yolları ile 100 m emniyet şeridi içindeki alanlar,
- Havaalanları ile 3 km emniyet şeridi içindeki alanlar,
- Çevre Koruma, Milli Parklar ve Tabiat Alanları ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlar,
- Göller, nehirler, baraj gölleri ile sulak alanlar,

- Koru ormanları, ağaçlandırma alanları, özel ormanlar, fidanlıklar, sazlık ve bataklıklar, muhafaza ormanları ve arboratum alanları dışında, güneş santrali kurulması 1425 kWh/m^2 yıl ortalaması ile uygun olmaktadır (Şekil 2.16 ve Şekil 2.17).



Şekil 2.16. İstanbulda Güneş Enerjisi Potansiyeli (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).



Şekil 2.17. İstanbul İli Aylara Göre Güneşlenme Süreleri (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).

2.5.2. Güneş Enerji Sistemleri

Modern anlamda Güneş enerjisinde ilk gelişmeler 18. ve 19. yüzyıllarda olmuştur. Ancak eski çağlardan beri insanlar tarafından kullanılmaktadır. Dünyanın ilk güneş kolektörü 1767'de Horace de Saussure adlı İsviçreli bilim adamı tarafından yapılmıştır. Sonrasında 1830'larda Sir John Herschel Güney Afrika seferinde bu güneş kolektörünü yemek pişirmek için kullanmıştır. 27 Eylül 1816'da, bir İskoç bilim adamı olan Robert Stirling bir icadı için patent başvurusunda bulunmuştur. İcat edilen bu makine sonraları Güneş'in ısıl enerjisini elektrik üretmek için Çanak/Stirling Sistemi olarak yoğunlaştıran Güneş ısıl elektrik teknolojisinde değerlendirilmiştir. 1839 yılında fransız fizikçi Alexandre-Edmund Becquerel fotovoltaik etkiyi keşfetmiştir. Bu cihaz iki metal plaka arasındaki elektrik akımı şiddetini gözlemleme yoluyla ışık şiddetini ölçebilmektedir. Bu cihaz şu şekilde elektrik üretir. Güneş ışığı aygıt tarafından emildiğinde, güneş enerjisi elektronları atomlardan koparıp malzeme içerisinde akmasına sebep olmakta ve bu şekilde elektrik üretimi meydana gelmektedir. Fotovoltaik (veya fotoelektrik), Işığın yani fotonların elektriğe dönüştüğü sürecin adıdır (WEC Turkey, 2009).

2.5.2.1. Fotvoltaikler ve Yoğunlaştırıcılı Sitemler

Fotovoltaik pil Güneş ışınlarını elektrik akımına dönüştürür ve bu teknolojinin önemi her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisinin çevre dostu olması ve fosil yakıt enerji maliyetlerinin artması, güneş enerjisi üretimi için işletim maliyetlerinin çok düşük olması güneş pillerini ciddi bir seçenek haline getirmiştir. Bu piller elektrik üretim, iletim ve dağıtım sisteminden bağımsız bir şekilde dağ başından çiftliklere kadar her yerde elektrik üretebilirler. Güneş panellerinden Ege, Akdeniz ve Marmara kıyılarındaki yazlıklar ve turistik tesisler soğutma havalandırma aydınlatma sistemlerinde kullandıkları elektriğin tümünü sağlayabilir. Güneş pilleri özellikle mezra gibi iletim şebekesinden uzakta bulunan yerleşim birimlerinin kullanımı için ideal bir seçenek olmaktadır. Güneş ışınımı yoğunluğunun çok düşük olduğu kuzey ülkelerinde bile Güneş enerjisinden yararlanma yolları aranırken bu enerji kaynağından Türkiye'nin faydalanması çok daha verimli bir seçenek olacaktır (WEC Turkey, 2009).

Günümüzde yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde Güneş pillerinden ekonomik yönden uygun olduğu için faydalanılmaktadır. Ayrıca kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması sinyalizasyon, vb. gibi uygulamalarda istenen güçte kurulabilmeleri nedeniyle kullanılımı yaygındır (Varınca & Gönüllü, 2006).

Şebeke ölçeğinde PV panellerinden elde edilen elektrik maliyetleri 2010 ile 2020 arasında %85 düşmüştür. 2021 yılı itibariyle monokristal silikon piller için hücre verimi %27,6 modül verimi ise %24,4 seviyesine ulaşmıştır. Bununla birlikte güneş enerjisi sektörü 2020 yılı hedefi olan 0,06 $/kWh tutarındaki PV panel maliyeti hedefine 0,046 $/kWh ile ulaşılmıştır. 2025 yılına kadar kWh başına 0,03 $/kWh tutarında ve 2030 yılına kadar ise 0,02 $/kWh olarak yeni bir maliyet hedefi belirlemiştir. (Energy.Gov, 2021)

2.5.2.2. Noktasal Odaklamalı Sistemler

Bu sistemde çeşitli ayna düzenekleri vasıtasıyla Güneş'ten gelen enerjiyi sıcaklıkta ısı enerjisini tek bir odak noktaya yoğunlaştırarak yüksek güneş enerjisini bilinen yöntemlerle elektrik enerjisine dönüştürür. Bu sistemleri iki ana kısım oluşturmaktadır. Öncelikle Güneş enerjisi ısı enerjisine dönüşür. İkinci aşamada ise ısı elektrik enerjisine dönüşür. Yoğunlaştırılmış Güneş enerjili güç sistemleri ihtiyaca göre tasarlanıp kullanıma sunulabilir. Örneğin hem merkezi enerji nakil sistemini besleyecek şekilde 100 MW büyüklüğünde veya evsel enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde düşük güçler için (10 kW) her iki durumda da düzenekleri değiştirerek yeterli enerji miktarına ulaşmak mümkündür. Bu sistemde güneşli günlerde fazla gelen güneş enerjisi depolanıp geceleri veya bulutlu havalarda kullanıma sunan opsiyonlar da eklenmiştir. "hibrit güç sistemleri" olarak da bilinen sistemler doğal gaz gibi diğer enerji kaynaklarıyla birlikte çalışır ve yüksek güç verir (WEC Turkey, 2009).

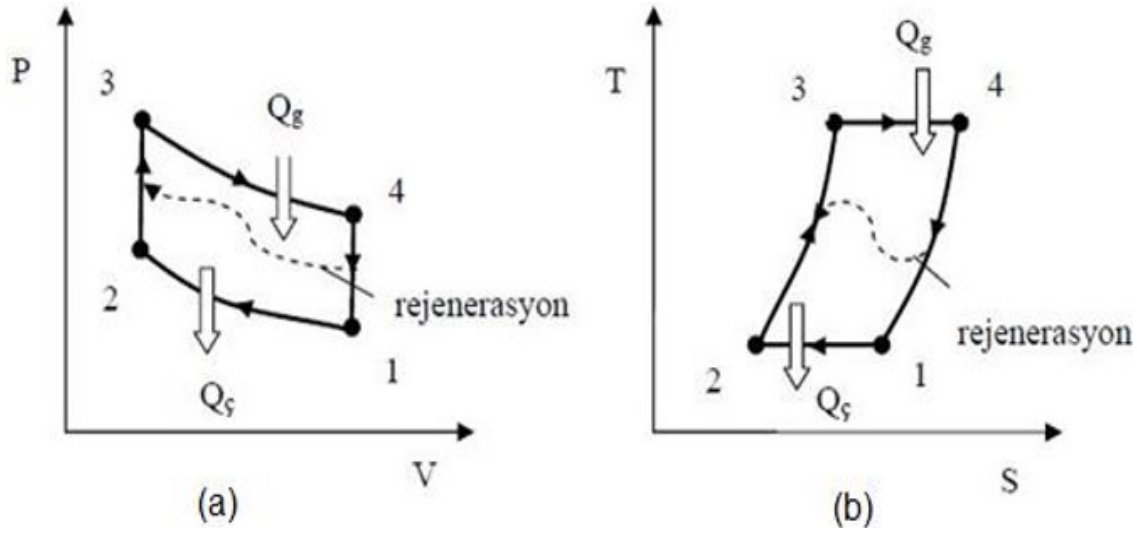
2.5.2.3. Stirling Motoru

Güneş enerjisi ile çalışan termal elektrik üretimi, bilindik elektrik üretim yöntemlerine çok benzerdir. Bu enerji dönüşüm sistemlerinde, ya bir stirling motoru bir pistonun ileri geri şeklindeki hareketi sayesinde çalışır veya gaz veya buhar yardımıyla türbinleri döndürmeye çalışılır. Bununla birlikte bu sistemlerde direkt gelen Güneş ışınımı yoğunlaştırılarak buhar ya da sıcak gaz üretilir. Genel olarak termal güç teknolojileri şu şekilde gerçekleşmektedir (WEC Turkey, 2009):

- Bir kolektör sistemi yardımıyla Güneş radyasyonları toplanılır,
- Toplayıcı adı verilen bir bölgede Güneş radyasyonları yoğunlaştırılma işlemi gerçekleşir,
- Toplayıcı Güneş radyasyonunu termal enerjiye çevirir,
- Elde edilen ısı enerji bir güç dönüşüm sistemine transfer edilir,
- Transfer edilen yerde ısı enerjisi elektrik enerjisine çevrilir,

Dört tersinir hâl değişim çevriminin (izotermal sıkıştırma, izotermal genleşme, sabit hacimde rejenerasyon, sabit hacimde rejenerasyon) sonucu stirling motorlarında, güç elde edilir. Bu motorlar genel olarak iki bölmeden oluşur bu iki bölge farklı sıcaklıklara sahiptir. Hal değişimleri akışkanının bu iki bölme arasındaki pistonlar tarafından sağlanan hareketler sayesinde oluşur. Bu motorlarda bölme girişlerine yerleştirilen soğutucu ve ısıtıcılar tarafından ısı transferi sağlanır. Seramik bir örgü veya regeneratör tel veya ısıl kapasitesi yüksek gözenekli bir tapa bu iki bölme arasında ısıl enerjinin geçici olarak depolanması işlevini sağlarlar (WEC Turkey, 2009).

Isı enerjisi yoğunlaştırılmış güneş ışınımından elde edilir, elde edilen bu enerji stirling motorundaki stirling çevrimi sistemi ve çevrime bağlı bir jeneratör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Stirling motoru aynı çalışma akışkanının motor içinde devamlı çalıştırıldığı kapalı termodinamik süreçleri kullandığı için bir sıcak gaz motorudur. Ancak diğer bir tür sıcak gaz motoru olup Diesel çevrimi ve Otto çevrimi kullanan içten yanmalı motorların aksine, bu motor türünde ısı enerjisi, dış kaynaktan sağlanır, bu özelliğinin yanısıra egzoz gazı salınımı yoktur ve bu onu güneş enerjili uygulamalar için uygun kılar. Stirling motoru net iş üretir. Yani motorda düşük basınçlı ve düşük sıcaklıklı gazın sıkıştırılması esnasında kullanılan enerji, yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı gazın genleşmesi sırasında üretilen enerjiden daha azdır ve bu şekilde jeneratör elektrik üretimi için çalıştırılmış olmaktadır. Şekil 2.18'de bir stirling sıcak hava motorundaki stirling çevrimi gösterilmektedir.

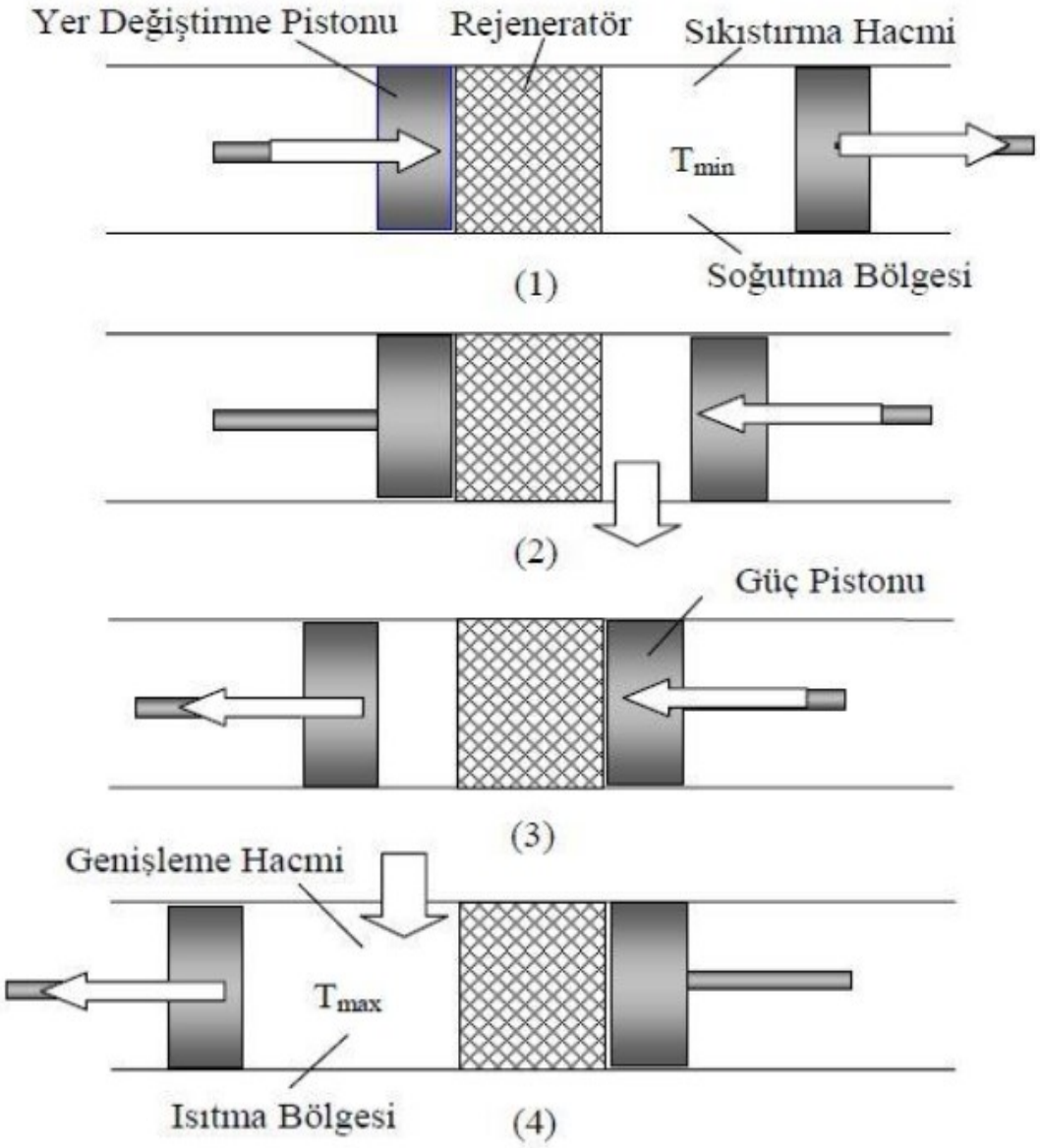


Şekil 2.18. Stirling Çevrimi (a) P-V ve (b) T-S diyagramları (Zilanlı, 2013).

Görüldüğü gibi ikili bir piston sistemi kurulmuştur. Pistonlardan birine yer değiştirme pistonu adı verilir. Görevi ise çalışma akışkanının sıcak ve soğuk bölge arasında taşımaktır. Öteki pistonun görevi ise motorda güç üretimidir. Stirling çevrimi rejeneratör kullanarak sıcak ve soğuk bölgeler arasındaki sıcaklık farkının artırımını sağlamaktır. Rejeneratörün gözenekli metal yapısında ısı kapasitesi oldukça yüksektir. Çalışma akışkanınından gelen ısıl enerjisi burada depolanır ama bu süreç geçicidir. Rejeneratör kullanım hâlinde stirling motorunda %98'den fazla ısıl verim sağlayabilir (Urieli & Berchowitz, 1984) ve bu verimi sağlama metodu şu şekildedir birincisi sıkıştırılma alanından genişleme alanına giderken akışkana ön ısıtma yapılır, ikincisi de genişleme alanından sıkıştırılma alanına geçerken ön soğutma yapılarak motorun verimi artırılır. Carnot çevrimine göre, sıcak ve soğuk ısı kaynaklarının sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça ısıl verim artacaktır. Aslında rejeneratör kullanımının içindeki basınç kayıplarından dolayı motor çıkış gücünü artırmadığı, aksine küçük bir düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte motor veriminde sağlayacağı artış göz önünde bulundurulduğunda bu azalma ihmal edilebilir düzeydedir (Urieli & Berchowitz, 1984).

Genişleme bölgesi en yüksek sıcaklığa ulaşılan, sıkıştırma bölgesi değeri en düşük sıcaklık değerinin elde edildiği ve rejeneratör ve pistonlar arasında kalan bölgelerdir. Genleşme hacmi ısıtılma işlemini dış kaynakla karşılarken, sıkıştırma hacmini soğutmak için başka bir çevrim kullanılır. Bu soğutma çevrimi genelde bir fan ve radyatör vasıtasıyla zorlanmış taşınımla hava soğutularak gerçekleştirilir (Fraser, 2008).

Şekil 2.19'da stirling çevrimi şematik şekilde tümüyle gösterilmiştir. Stirling çevriminde başlangıç pozisyonunda, çalışma akışkanının tamamının sıkıştırma hacminde olduğu farz edilir. Sıkıştırma sürecinde sıkıştırma pistonu rejeneratöre doğru hareket eder ama bu süreçte genişleme hacmi tarafındaki piston konumu sabit kalır. Akışkanı sıkıştırma bölgesinde sıkıştırınca bölgedeki basınç artar. Bu durumda basınç parametresine bağlı olan sıcaklığın artışıda gerçekleşmesini önlemek için bu bölgede bir soğutma işlemi yaparak sıcaklık sabitlenmeye çalışılır. 2-3 durumda ise sıkıştırma pistonu rejeneratöre doğru hareket ederken genleşme pistonu rejeneratörden uzaklaşır. Bu işlem sırasında çalışma akışkanı sıkıştırma hacminden rejeneratörden geçer ve rejeneratörde depolanan ısı enerjisi çevrime girecek olan genişleme hacmine doğru ilerleyerek çalışma akışkanına ısı verir. Akışkanın ısısının artması ile basıncın artması da gerçekleşir.



Şekil 2.19. Stirling Çevrimi Şematik Gösterimi (Zilanlı, 2013).

Durum 3'den 4'e geçerken, genişleme pistonu rejeneratörden uzak bir noktaya doğru ilerletilir. Bu durum sıkıştırma pistonun rejeneratöre en yakın olduğu konumdur. Genişleme işleminde ise, hacim arttığından sıcaklık basınca bağlı bir şekilde düşer ve yine bu sıcaklık kaybını karşılamak için dış bir kaynaktan sisteme ısı enerjisi transferi gerçekleşir ve bu şekilde akışkan sıcaklığı sabitlenir. 4-1 durum değişimine gelindiğinde ise, sabit hacimde iki piston eş zamanlı hareket ederek akışkanının genişleme hacminden rejeneratörden geçerek sıkıştırma hacmine doldurulmasını sağlar. Çalışma akışkanı rejeneratörden geçerken ısı enerjisini çalışma akışkanından rejeneratöre aktarır.

Böylece elde edilen en düşük sıcaklık değerine sahip çalışma akışkanı piston hacmine dolar. 2-3 durum değişiminde ise rejeneratörde depolanan ısı, izleyen çevrimin sonunda çalışma akışkanına transfer edilmektedir.

Genişleme ve sıkıştırma bölgeleri sıcaklıkları, stirling motor verimini yakından ilgilendirir, motor çıkış gücü hesabının daha doğru yapılabilmesi için Denklem 2.12'deki ifadeye sıcaklık düzeltme katsayısı eklenilir. Genelde kompresyon bölümü sıcaklığı gün boyunca ortam sıcaklığı ve güneş ışınım seviyesine bağlı olarak değişkenlik gösterirken deneysel verilerde, genişleme bölümü sıcaklığı genellikle sabit kalır (Fraser, 2008).

Stirling motorda genellikle hava, Helyum veya Hidrojen çalışma akışkanı olarak kullanılır. Akışkanın akıcılığı (viskozite), yoğunluk ve ısıl iletkenlik katsayısı gibi özellikler çalışma akışkanının seçiminde önemlidir. Seçilen akışkanın ısıl iletkenlik katsayısı ve yoğunluğu yüksekse ısı transfer kapasitesini ve ısı değiştiricilerin verimini artıracaktır. Yoğunluk konusunda Havanın, Hidrojen ve Helyumdan daha yüksek bir mertebede olması onu çalışma akışkanı olarak daha kullanışlı kılar. Ancak çalışma akışkanı olarak Hava kullanılması durumunda içerdiği oksijen nedeniyle contalarda meydana gelecek sızıntılar önlenebilmesine karşın, malzemelerde bozulmalar sıcaklık artıkça meydana gelerek bir süre sonra motor verimini düşürecektir. Ayrıca yüksek motor hızlarında, havanın zayıf bir ısıl iletkeni olmasından, motor veriminde artış sağlamak zor olup yüksek verimli stirling motorlarında iyi bir tercih değildir bu nedenle onun yerine bu motorlarda hidrojen veya helyum gazı tercih edilmektedir (Fraser, 2008).

Çalışma akışkanının akıcılığı ve yoğunluğu bulunduğu bölgeler ve rejeneratörde meydana gelebilecek basınç kayıplarını etkiler. Basınç düşüşlerini azaltmak için akıcılığı ve yoğunluğu düşük olan bir akışkan tercih edilmesi gerekir ve böyle bir akışkan seçimi motor verimini artırıcı bir etkendir. Hidrojenin bazı malzemelerce soğurulup oksijen ile karşılaştığında yanıcı etkisi olması, contalarda meydana gelebilecek sızıntıları kontrol etmenin zor olması nedeniyle hidrojen kullanımı tehlikeli olabilir ve bu çalışma akışkanı kullanım dâhilindeki dezavantajıdır. Stirling motoru kullanılan parabolik çanaklı güç sistemlerinde jeneratör, stirling motorun ürettiği mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. İndüksiyon jeneratörleri ise çoğunlukla elektrik şebekesine bağlanan kinematik stirling motorlarında kullanılır. Bu jeneratörler, %94 verimle tek veya üç fazlı

olarak şebeke ile koordineli olup şebekeye, 230 V veya 400 V gerilimde elektrik sağlayabilir (Fraser, 2008).

2.5.2.3.1.Stirling Motoru Soğutma Sistemi

Bu sistem stirling motorunda motor verimini yükseltmek amaçlı sıkıştırma bölgesinin sıcaklığını düşürür. Parabolik çanak stirling sistemlerinde bulunan soğutma, radyatör fan sistemi ve pompadan oluşan bir ısı değiştiricisinden oluşur. Fan bir soğutma sistemi elemanıdır, konumu radyatör üzerindedir ve akışkanı soğutmak için kullanılır (Fraser, 2008). Kabuk tüp (shell-and-tube) tipi ısı değiştiricili Stirling motoru soğutucularının genel soğutma sistemidir. Çalışma akışkanı tüplerin içinden geçerken, aynı anda kabuk kısmından soğutma çevrimi akışkanı geçer. Bir adet soğutucu çalışma, akışkanının bulunduğu her silindire yerleştirilmiştir. Soğutma sisteminde çalışma akışkanı, kullanılan plakalı (plate-finned) radyatörün içinden geçerken fandan gelen hava dik bir şekilde soğutma sistemi akışkanının akış yönüne yansıtılır. Stirling motorunun soğutulma mekanizmasında soğutma akışkan sıcaklığı gittikçe artmaktadır (Urieli & Berchowitz, 1984).

Pompa, soğutma sisteminin bir diğer elemanıdır, işlevi ise soğutucu ve radyatör arasında bulunan soğutma çevrimi içinde soğutma akışkanını pompalayarak ilerletmektir. Ancak yine de boru duvarları, boruların içindeki çap değişimleri, vanalar soğutma akışkanı çevrim içinde ilerlerken sürtünme kayıpları oluşabilir. Bu kayıpların sistemde kullanılan pompa sayesinde etkisi azaltılır.

Uygulanan basınca göre akışkanın iç enerjisini basınç yüksekliği adı verilen ölçütü belirler. Pompanın güç uyarlanması, çevrimdeki basınç düşüşü ve soğutma akışkanı akış hızına dikkat edilerek yapılması gerekmektedir.

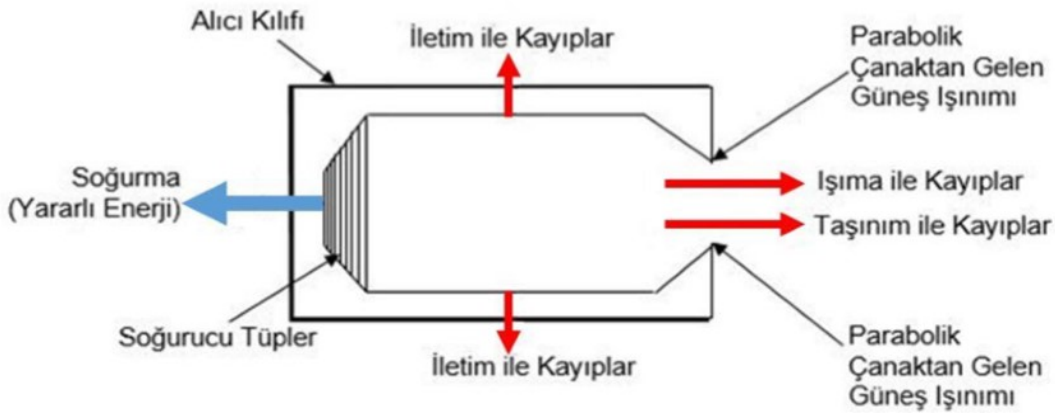
Pompa hızı, çanak stirling sisteminde faaliyet sırasında bir sıcaklıkta sabit tutulur. Soğutma akışkanının yoğunluğu değiştirilmediği kabul edilirse, pompada harcanan güç de sabit kalacaktır.

Buna göre pompa hızı azalırsa pompa gücü ve buna bağlı olarak, soğutucu ve radyatör etkinlikliği ile motor performansı düşecek ve sonuçta değişken hızlı bir pompa kullanmak çok da elverişli olmayacaktır. Diğer taraftan fan, soğutma sisteminde en fazla güç harcayan bileşendir.

Stirling motor kayıpları hakkındaki bilgiler, ısıl kayıplar ve mekanik kayıplar olarak iki bölümde incelenebilir. Isıl kayıplar, iletim kayıpları, boşluk kayıpları "appendix gap losses", verimsiz rejenerasyondan kaynaklanan kayıplar şeklinde sıralanabilir. Stirling motorunda bulunan ısınma-genişleme ve soğuma-sıkıştırma bölgeleri arasında doğrudan oluşabilecek ısı iletimlerinden ısı kayıpları meydana gelir. Soğutucu ve ısıtıcı üzerinde ısı yükü doğrudan ısı iletimi sonucunda birikir ve motor verimini düşürür. Gözenekli metal rejeneratör yapısından dolayı bu kayıplara azaltıcı yönde etki yapar. Buna karşın sistem motor üzerinde veya içinde sıcak ve soğuk bölgeler arasında doğrudan bir yol şeklinde tasarlandığı halde iletim kayıpları kaçınılmaz olacaktır. Genellikle yer değiştirme pistonunun uzun olması tercih edilir. Bunun nedeni contaları çalışma akışkanının sıcaklığından korumaktır. Piston uzun olduğu hâlde sıcak kısımdan contaya kadar bir boşluk kayıpları adı verilen kayıpları meydana getiren boşluk oluşur. Yer değiştirme pistonu silindirde çıkabileceği en üst noktaya (üst ölü nokta) çıktığı durumda silindirin yüzeyi ve piston yüzeyi arasında sıcaklık farkı olacağı için silindir yüzeyinden pistona ısı aktarımı gerçekleşecektir. Piston silindir içinde en alt noktaya (alt ölü nokta) indiğinde ise iki duvar arası sıcaklık farkı tam tersine dönüp bu kez de pistondan silindir yüzeyine ısı aktarımı gerçekleşecektir. Bu şekilde piston hareketi ısıyı sıcak bölgeden soğuk bölgeye, silindirden alınan ısı, tekrar silindire aktaracağı için bu işlem sonucu (Shuttle heat transfer) ısı kayıpları meydana gelir. Akışkanın entalpi transferi bir diğer boşluk kaybıdır. Bu akışkanın hareketi, boşluk içinde, boşluğun alt kısmına doğru entalpi transferi olur ve pompalama kaybı olarak da bilinir. Bunun nedeni akışkanın basıncı ve sıcaklığıdır. Stirling motoru için rejeneratör önemli bir bileşendir. Bir rejeneratör içinden geçen akışkanın ısı kapasitelerinin ve gözenekli metal malzemenin yüksekliği oranı verimliliği sağlar. Isı kapasitesi artan motor hızı ile akışkan hareketinin ters yöne dönme frekansı artığında veya basınç artışı ile çalışma akışkanının yoğunluğu arttığında artacak ve sonuçta rejeneratör verimliliğini düşecektir. Bu durum verimsiz bir rejenerasyonda verimliliğin düşmesinden kaynaklanan kayıplara neden olacaktır. Stirling motorunda meydana gelen kayıplardan birisi de sürtünme kaybıdır ve adından da belli olduğu gibi motorun mekanizmaları arasındaki sürtünmeler sonucu meydana gelir. Basınç motor hızına bağlı bir şekilde artarak yükselecek ve sonuçta sürtünmeler artacak motor çıkış gücü ve verimi düşecektir (Urieli & Berchowitz, 1984).

Güneş enerjisiyle çalışan Stirling motorlarında ise ısı enerjisi parabolik çanaktan alıcıya yansıtılır, ve ışıma, iletim ve taşınım süreçlerinde günün saatleri ve sistemin bulunduğu yere bağlı olarak toplam sistem kayıplarının önemli bir bölümünü oluşturan bu kayıplar meydana gelebilir. Bu kayıpların doğru bir şekilde gösterilmesi ve hesaplanması uzun dönem enerji tahmini için de önemlidir.

Alıcıda meydana gelen ısıl kayıp mekanizmaları; alıcı açıklığından ışıma yolu ile ve alıcı kılıfından ısı iletimi ve kovuktan ısı taşınımı şeklinde sıralanabilir. Şekil 2.20'de alıcı enerji dengesi kayıplar ile birlikte gösterilmiştir (Zilanlı, 2013).



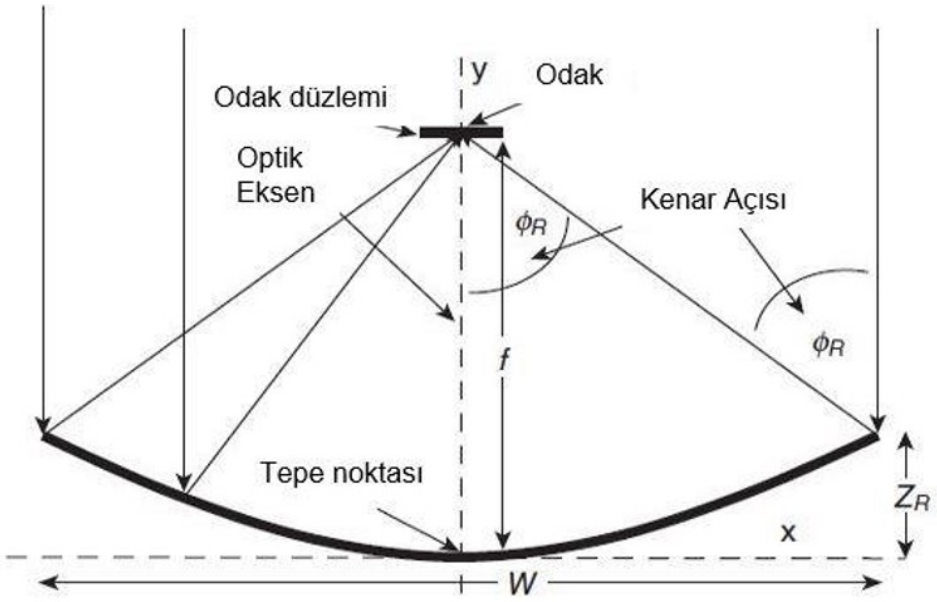
Şekil 2.20. Kovuklu Alıcıda Enerji Dengesi (Zilanlı, 2013).

Alıcı sıcaklığına, yalıtımına ve termal iletkenliğe ve ortam sıcaklığına göre değişen iletim kayıpları, toplam kaybın küçük bir kısmını oluşturur. Alıcı ve soğurucu yüzey sıcaklığı arttıkça alıcı yüzeyden çevreye olan ısı transferi hızla artar. Alıcı kabuktan dışarıya doğru olan ısıl iletkenlik, kabuğun dışında oluşacak ısı taşınımına da bağlı olacağından, toplam ısıl iletkenliği ve ısı kaybını belirlemek için bir seri direnç modeli kullanılır (Zilanlı, 2013).

2.5.2.4. Güneş Takip Sistemleri

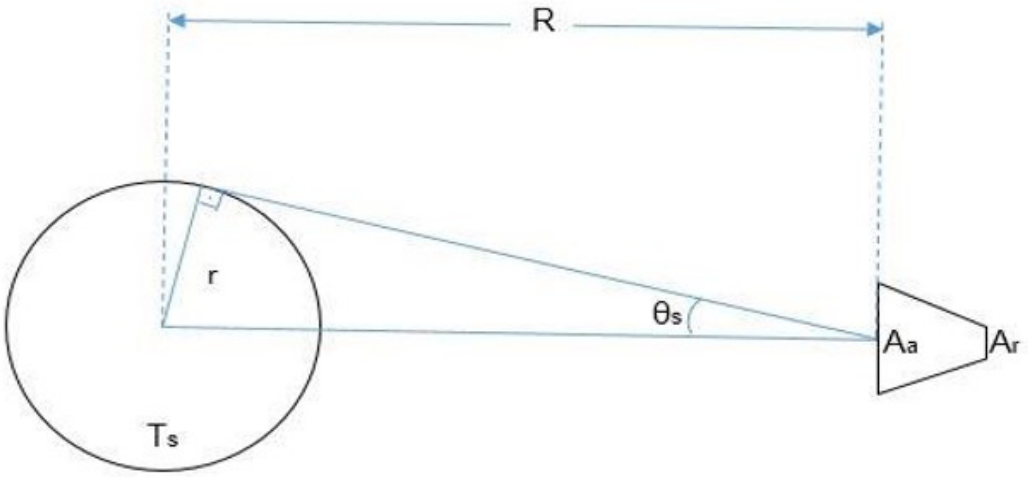
Güneş enerjisini yoğunlaştırmak için kullanılan parabolik yapının ana görevi, güneş ışınımını kendisine dik olarak parabolik çanağın tepesinden (f) uzaklıkta odaklamaktır.

Şekil 2.21 bir parabolik çanak kesitini göstermektedir. Şekil 2.21'de görüldüğü gibi, kenar açısı, ΦR, optik eksen ile parabolün fiziksel kenarından odak noktasına çizilecek doğru arasındaki açıdır. Odak uzaklığı ve kenar açısı kullanılarak parabolik kasenin enine kesit geometrisi hakkında tam bilgi elde edilebilir.



Şekil 2.21. Parabolik Çanak Kesiti.

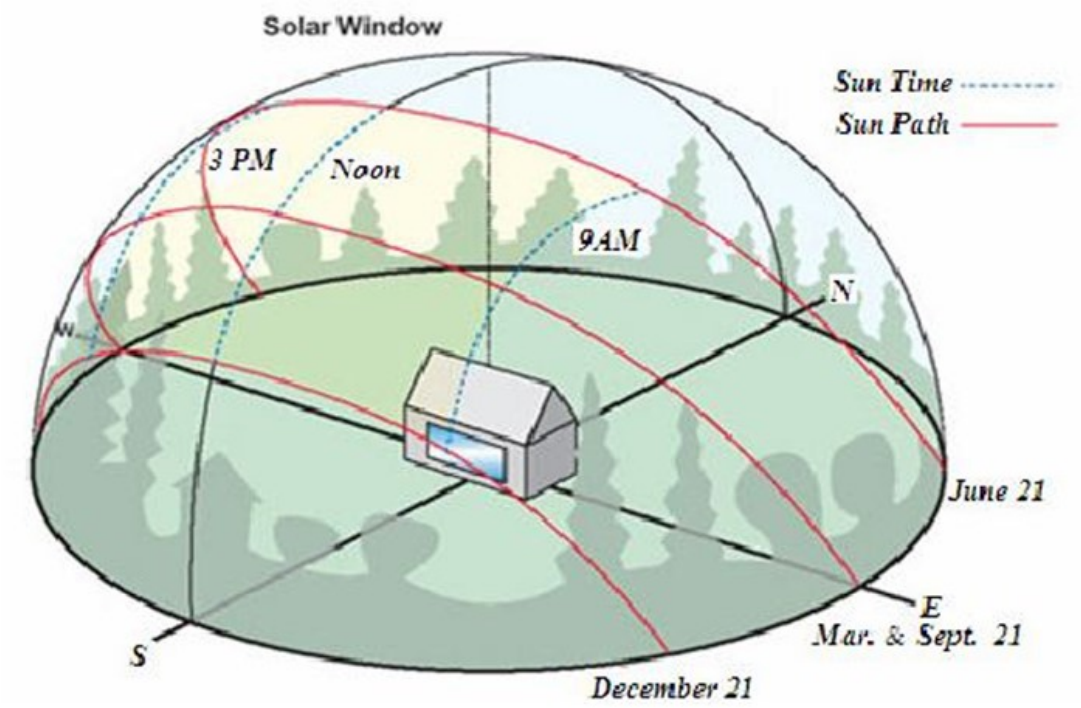
Şekil 2.22'de güneşten açıklık alanı Aa olan yoğunlaştırıcı yüzey aracılığıyla açıklık alanı Ar olan alıcıya yapılan ışınım transferi gösterilmiştir. Burada yüzey sıcaklığı Ts olan bir siyah cisim benzeri ışıma yapan ve yarıçapı r olan küresel bir kaynak olarak kabul edilen Güneş, kendisinden R kadar uzaklıktaki yoğunlaştırıcı yüzey ve yoğunlaştırıcı tarafından yoğunlaştırılarak ışınımın düşürüldüğü daha küçük yüzey olan alıcı ele alınmıştır.



Şekil 2.22. Güneşten Açıklık Alanı (Zilanlı, 2013).

Eğer yoğunlaştırıcı mükemmel ise ve kayıpları yoksa açıklığa kaynaktan gelen ışınım, kaynağın yaydığı ışınımın açıklık tarafından tutulan kısmı kadar olacaktır.

Türkiye 42-36 kuzey enleminde yer alır, bu nedenle kış ve yaz aylarında Güneş ışığında ortalama 300 derece açı değişikliği olur. Güneş ışınları yaz mevsiminde 21 Haziran'da en dik açıyla yere ulaşır ve 21 Aralık'ta bu açı azalarak değişir. Her iki tarihte de gündüz, 12-13 saat boyunca panelin güneş ışınlarına dik olarak ayarlanması gerekmektedir, aksi takdirde verim düşük olacaktır. Güneş'in mevsimlere göre açısal değişimi Şekil 2.23'te gösterilmiştir. Karlı alanlarda panelleri kardan temizlenmesi gerekir. Açı ayarı ve yüzey temizliği en az 6 ayda bir yapılmalıdır (Öztürk & Duru, 2005).



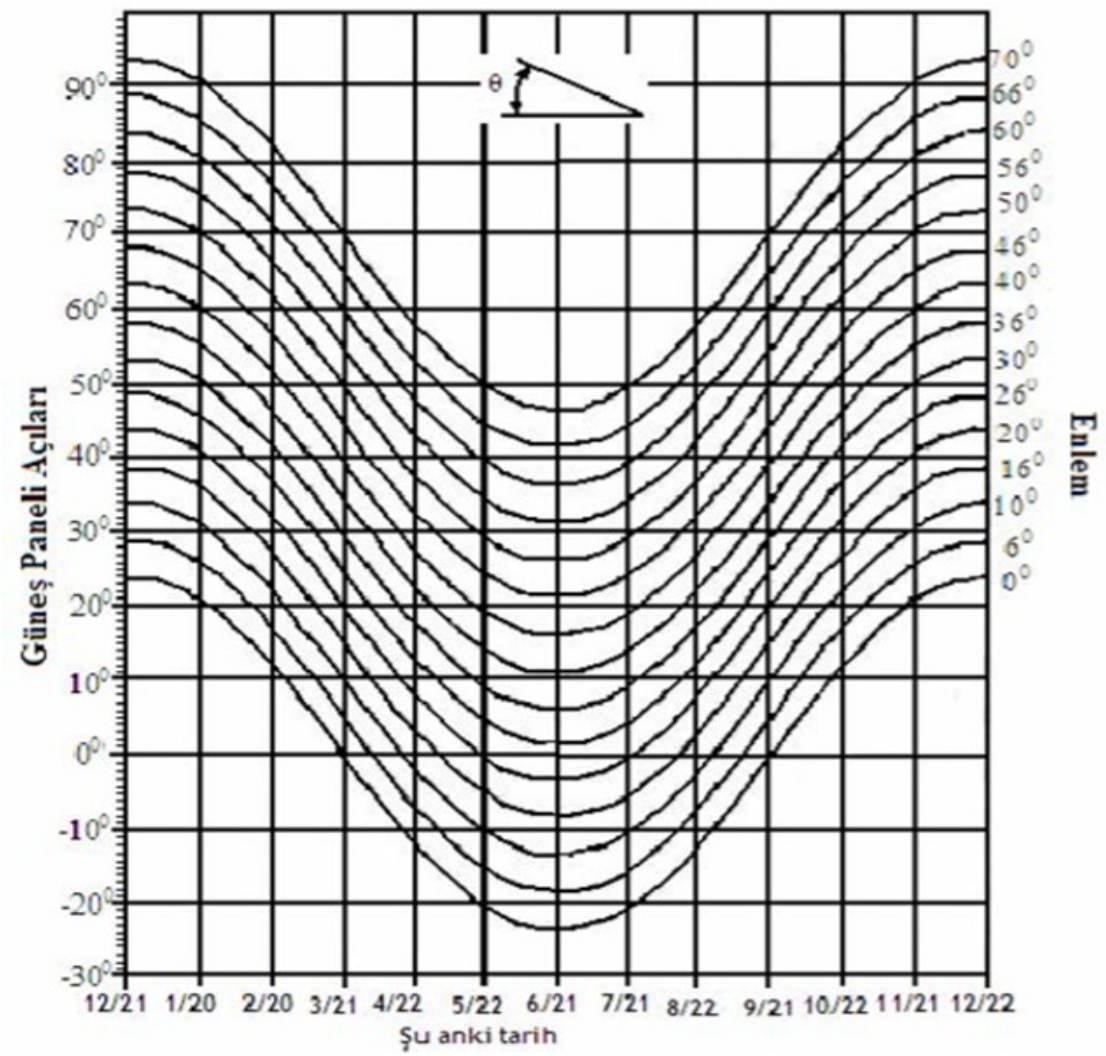
Şekil 2.23. Güneşin Mevsimsel Olarak Açısal Değişimi (Öztürk & Duru, 2005).

Sabit montajlı güneş panellerinin güneşe göre düzenli ayarlanması ile yıllık %10-%40 arası daha fazla enerji çıkışı alınması anlamına gelir. Eğer panel izleyici veya güneş takip sistemi adı verilen düzenek kullanılır ise güneşin günlük hareketini takip eden panel %25-%35 arası daha fazla güç sağlayabilir (Kulaksız, 2001).

Güneşin mevsimlere bağlı olarak kuzeyden güneye hareketi takip edilmek istenirse elle yapılacak bir ayarlama PV güç üretimini %10'a kadar artıracaktır (Öztürk, Duru, 2005).

Güneş panelinin eğim açısını belirleme diyagramı Şekil 2.24'te gösterilmiştir. Bu diyagram, panelin güney tarafın doğrultusunda tutulduğu kabulu ile yapılmıştır.

Grafiğin "y" ekseni, güneş panelinin yüzeyi ile zemin arasındaki açıyı gösterir. Yılın günleri apsis üzerinde işaretlenmiştir. Her biri 5 ° aralıkla on beş eğri çizilmiştir. Grafik önce geçerli konuma en yakın enlemi arar, ardından eğriyi x ekseninde geçerli tarihe karşılık gelen konuma kadar izler. Y eksenindeki karşılık gelen açı, güneş panelinin yüzeyi ile zemin arasındaki açıdır. Bu açı, o gün öğle saatlerinde güneş ışınlarının güneş paneline dik olarak geçeceği açıyı temsil eder. Güneş panelinin eğim açısının hesaplanması, güneşin gökyüzündeki en yüksek konumunda olduğu öğle saatlerinde panelin güneş ışınlarına dik olacağı varsayımına dayanmaktadır. Mevcut konumdan güneşe çizilen çizgi ile ufuk arasındaki açı maksimum açıdır. (Khan, Ali, 2005).



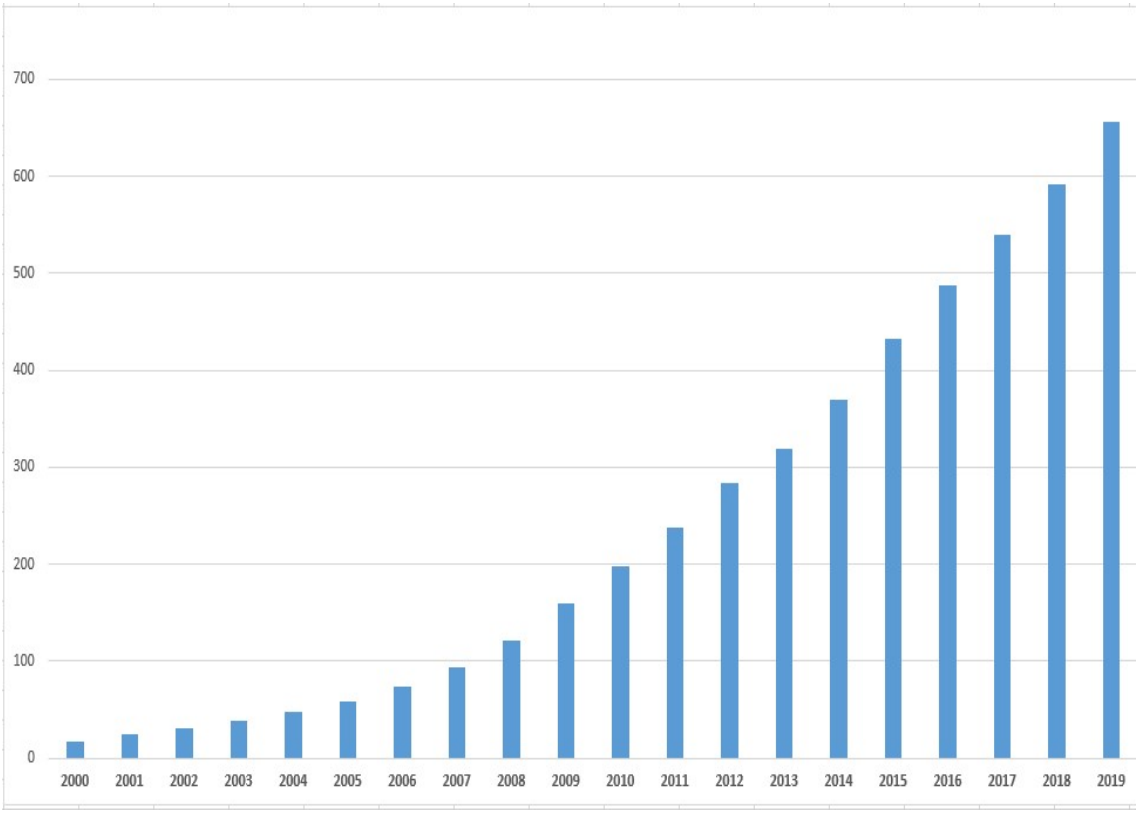
Şekil 2.24. Güneş Paneli Açısı Tespit Dıyagramı (Acar & Kılınçdemir, 2010).

Bu hesapta iki parametre kullanılmaktadır. Bunlar bulunulan yerin enlemi ve güneş enlemidir (declination). Güneş enlemi, güneşin öğle vakti direkt yukarda olduğu enlemdir.

Bu, yaz gündönümündeki (21 Haziran) 23,5° kuzey enleminden, kış gündönümündeki (21 Aralık) 23,5° güney enlemine kadar değişir. Güneşin ekvator ekseni üzerinde olduğu ekinoks durumlarında (21 Mart ve 21 Eylül) Güneş 0° enlemdedir.

2.5.3. Rüzgâr Enerjisi

2000 yılında dünya genelinde toplam 17 GW rüzgâr kurulu gücü 2010 yılına gelindiğinde,198 GW'a ulaşmıştır. Toplam rüzgâr kurulu gücü 2015 yılında 230 GW ve 2018 yılı sonunda 509 GW olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2.25'te Dünya'da rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesinin değişimi görülmektedir.



Şekil 2.25. Dünyada Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücünün Gelişimi (POWERWEB Forecast International's Energy Portal, 2020).

2.5.3.1. Rüzgâr Enerjisinin Tanımı

Rüzgârdan yararlanarak enerji üretiminin geçmişi 7. yüzyıla kadar uzanır. İlk olarak İranlıların rüzgâr değirmenleri yaptıkları bilinmektedir. Rüzgâr türbinleri Avrupa'ya 11-13 yüzyıllar arasında meydana gelen haçlı seferleri sırasında geçmiştir. Danimarka'da ilk türbin 1259 tarihinde inşa edilmiştir. Daha sonra çok büyük bir kullanım

sahası bulan bu türbinler sayesinde Hollanda yel değirmenleri ülkesi olarak anılmaya başlanmıştır. Modern türbinler konusunda ilk çalışmalar Danimarkalı Dane Paul La Cour tarafından 1890 yılında başlatılmış ve bu sayede Danimarka rüzgâr türbinlerinin kâşifi sayılmıştır (Taşgetiren, 1998).

Dünya atmosferindeki toplam enerji, kinetik ve potansiyel enerji olarak iki kısma ayrılır. Bu olay temelde basınç kuvvetlerinin etkisiyle potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün bir sonucudur. Ekvator civarında yerle temas halinde bulunan sıcak ve nemli hava konveksiyonla yükselir, yükseldikçe soğur, belli bir düzeye yükseldikten sonra daha soğuk olan kuzey enlemlerine doğru hareket eder ve 30º kuzey enlemleri civarında yeniden yeryüzüne doğru yaklaşır. Burada güneye göre daha soğuk ve kuru olan hava ekvatora doğru yönelir. Buna "Hadley Sirkülasyonu" adı verilir. Dünyanın dönüşüyle meydana gelen "Coriolis Kuvveti" sebebiyle havanın ilerleme yönü, hareket yönünün sağına doğru saptırıldığından 0º-30º enlemleri arasında yer yüzeyinde oluşan rüzgârlar temel olarak Kuzey–Doğu hareket karakterli olurlar. Benzer olarak fakat bu defa dalgalar halinde bir karakteristik gösteren ve "Rossby Sirkülasyonu" diye isimlendirilen sirkülasyonda ise 30º-90º enlemleri arasında meydana gelir. Bu sirkülasyonun gerçekleşmesiyle 30º-60º enlemleri arasında Güney- Batı yönlü ve 60º-90º enlemleri arasında ise Kuzey-Doğu yönlü rüzgârlar oluşur (Özgener, 2002).

Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerjinin sonucunda oluşan doğal hava hareketleri ile meydana gelen rüzgârlar, rüzgâr türbinlerinde elektrik enerjisine çevrilerek hali hazırda mevcut olan elektrik şebekelerine verilmektedir. Şebekeye bağlı rüzgâr enerjisi uygulamalarında temel olarak üç konu önemlidir. Bunlardan ilki, elektrik şebekesine güvenli en yakın bağlantıdır. Bu konu rüzgâr santralinin bağlantısı için şebekede yeterli kapasitenin olup olmadığı ve bağlantının o bölgedeki şebeke ve diğer müşteriler üzerinde yapacağı etkilerin ortaya konmasıdır. İkincisi, rüzgâr santralinin sisteme dâhil edilmesi hâlinde şebekenin işletilmesi ile ilgili olup; genellikle rüzgâr enerjisinin kesintili yapısı ve rüzgâr enerjisinin şebekenin işletimini olumsuz etkilememesinin sağlanması konusundadır. Üçüncüsü, planlamada stratejik yaklaşımdır. Bu husus ise en fazla sayıda rüzgâr santralinin sisteme bağlanmasını sağlayacak hususların değerlendirilmesidir (Altuntaşoğlu, 2011).

2.5.3.2. Rüzgâr Enerjisinin Özellikleri

Rüzgâr yeryüzünün her tarafının aynı miktarda ısınmamasından dolayı meydana gelir. Yeryüzünün farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, farklı basınçta havanın hareketine neden olur. Birçok yerde mevsime bağlı farklılıklar bulunur. Rüzgâr hızı genel olarak kışın daha yüksek olmakla birlikte bazı bölgelerde topografik yapıya bağlı olarak yazın daha yüksek olabilmektedir (Taşgetiren, 1998).

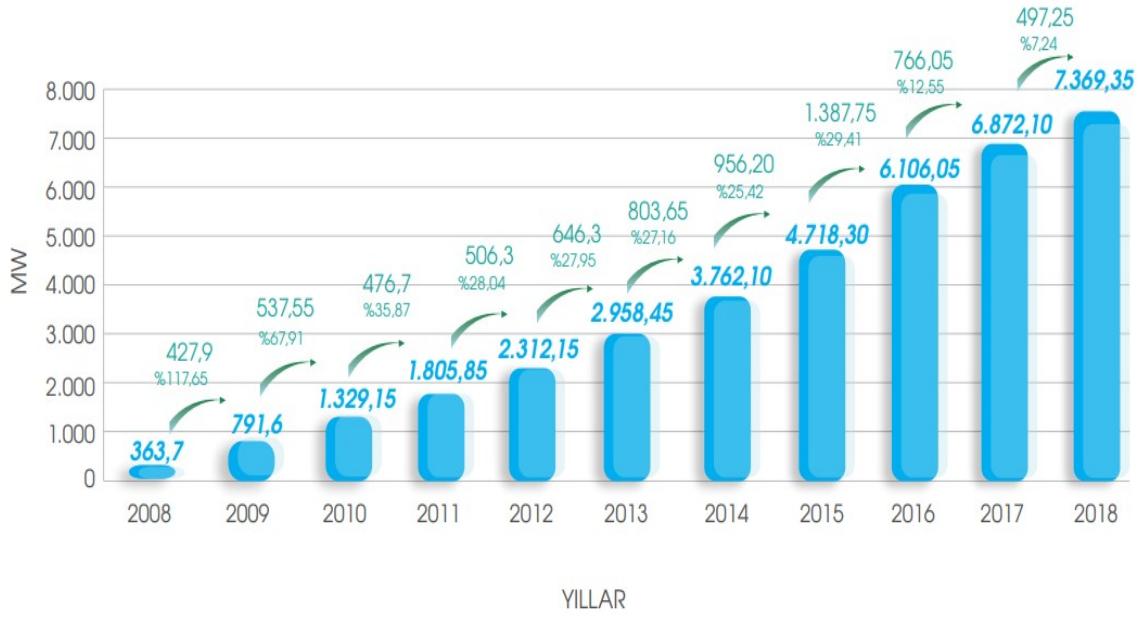
BTM consult (yenilenebilir enerji ticarileştirme ile ilgili hizmetlerde uzmanlaşmış bağımsız bir danışmanlık şirketi) kuruluşu tarafından geliştirilen senaryolara göre de, şayet Dünya genelinin elektrik ihtiyacının %10'u 2025 yılına kadar rüzgâr enerjisinden sağlanabilirse, yılda 1,41 G ton CO2 emisyonu azaltılabilecektir. Bu değere ulaşılabilmesi için bazı kabuller yapılmış olup, bunlar 2002 yılı sonuna kadar 20.000 MW kümülatif tesis, 2012 yılına kadar büyüme ilk on yılda her yıl % 25 ve sonrasında büyüme %20 ve %15 olduğu taktirde, kümülatif kapasite 2028 yılında 1,07 milyon kW'a ulaşabilecektir. Avrupa Birliği çalışmalarına göre ise, elektrik enerjisinin %10'luk kısmı rüzgâr enerjisinden sağlanabildiği takdirde, Avrupa kıtası 170 milyon ton CO2 ve ayrıca 2 milyon ton da kükürt ve azot oksitlerinin (SO_x ve NO_x) atmosfere atılmasından kurtulabilecektir (Özgener, 2002).

Rüzgâr enerjisi yakın dönemde dünyada en hızlı büyüyen enerji sektörü alanı olmuştur ve rüzgâr enerjisinin kullanımı özellikle 1997-2007 yılları arasında oldukça hızlı bir şekilde büyümüştür. 2007 yılı sonu itibariyle dünyadaki toplam rüzgâr enerjisi kullanımı 94,1 GW'a ulaşmıştır. Bu rakam 1994 yılında 3,5 GW, 2004 yılında ise 47 GW idi. Dünyada rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllık büyümesi yıllık %30-35 civarındadır. Almanya ve Danimarka rüzgâr enerjisi kullanımında Dünya'nın önde gelen ülkeleridir. 2007 itibariyle Danimarka enerjisinin %20'sini rüzgârdan alırken, Portekiz ve İspanya'da bu oran %9 ve Almanya'da ise %7'dir. Ancak Almanya, toplam kurulu rüzgâr gücü açısından Dünya lideridir. (Eroğlu, 2016).

2.5.3.3. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

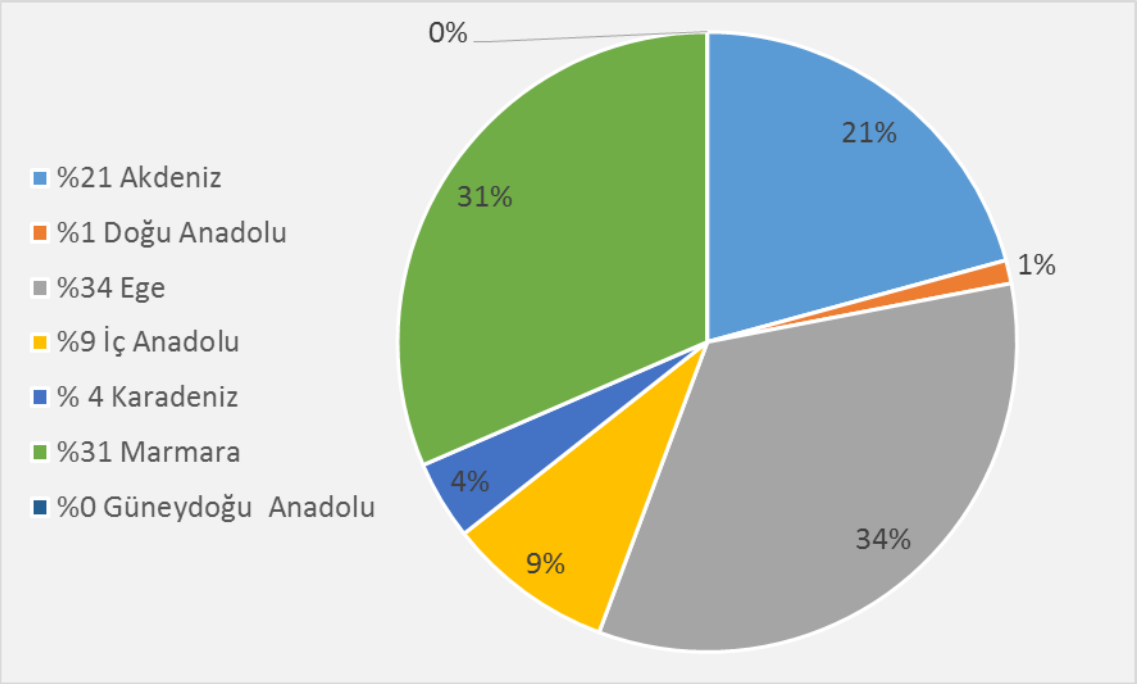
Türkiye'de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine yönelik yatırımlar 1998 yılından sonra küçük ölçekli yap-işlet-devret modeli ile artmaya başlamıştır. Türkiye'de rüzgâr enerjisinin payı 2014 yılı itibariyle %1 seviyesinin altındadır (Eroğlu, 2016).

2019 yılı itibariyle Türkiye'de rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç olarak yıllara göre dağılımı Şekil 2.26'da verilmiştir.



Şekil 2.26. Türkiye'de Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Yıllara Göre Dağılımı (TÜREB, 2019).

Şekil 2.26'da da görüldüğü gibi, rüzgâr enerjisi yatırımlarının yıllara sari miktarı artmıştır. Bunun yanında, artış hızının azaldığı da görülmektedir. Türkiye'de rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç olarak bölgelere göre dağılımı Şekil 2.27'de verilmiştir.

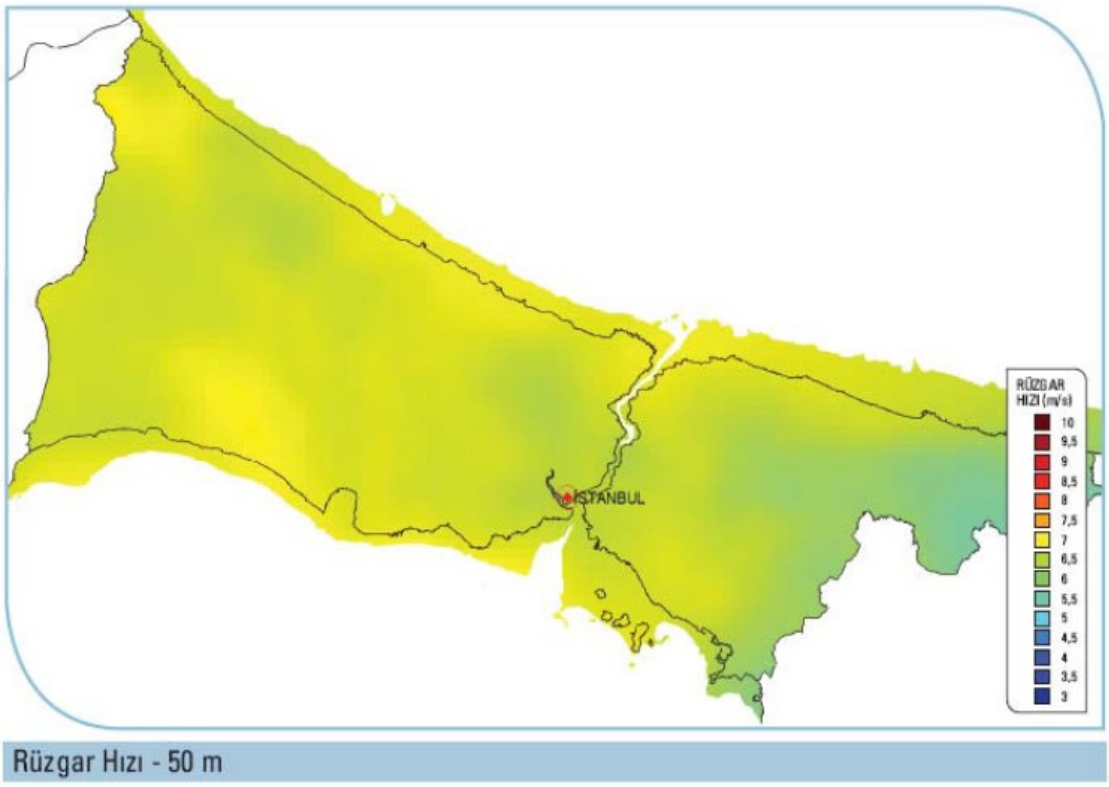


Şekil 2.27. Türkiye'de Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Olarak Bölgelere Göre Dağılımı (Pınar, Buldur, Tuncer, 2020).

Şekilde 2.27'de görüldüğü gibi, Ege bölgesi Türkiye'de en fazla rüzgâr potansiyelinin olduğu il olup, bunu Marmara ve Akdeniz bölgeleri izlemektedir.

2.5.3.3.1. İstanbul'da Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

İstanbul'da 7 m/s ortalama rüzgâr hızı ile ekonomik RES yatırımı için gerekli 7 m/s veya üzerinde rüzgâr hızı gerekliliğini alt sınırla sağlanmaktadır. Bununla birlikte yıl içinde verimli rüzgâr zamanının tüm yıldaki zamana oranını ifade eden kapasitif faktör İstanbul için %35 olarak kabul edilebilir bir orandır. Şekil 2.28'de İstanbulda bölgelere göre ortalama rüzgâr hızları görülmektedir.



Şekil 2.28. İstanbulda Ortlama Rüzgâr Hızları (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).

Ortalama rüzgâr hızlarına göre İstanbulda kurulabilecek rüzgâr türbini toplam kurulu güçleri Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

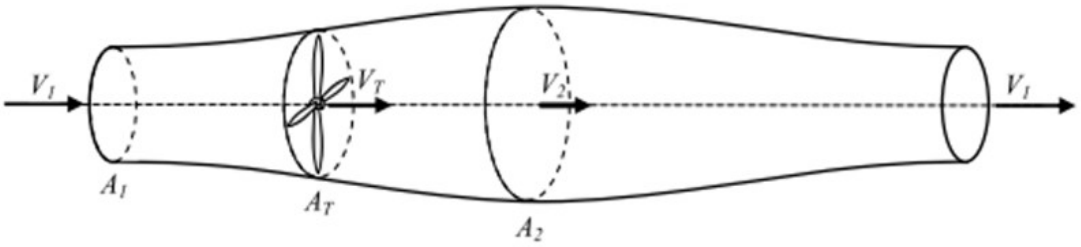
Çizelge 2.3. İstanbul için Kurulabilecek Rüzgâr Enerji Santrali Güç Kapasitesi (T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).

50 m'de Rüzgar Gücü (W/m^2)	**50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)**	**Toplam Alan (km^2)**	**Toplam Kurulu Güç (MW)**
300 – 400	6.8 – 7.5	832,91	4.164,56
400 – 500	7.5 – 8.1	2,48	12,40
500 – 600	8.1 – 8.6	0,00	0,00
600 – 800	8.6 - 9.5	0,00	0,00
> 800	> 9.5	0,00	0,00
		835,39	**4.176,96**

2.5.3.4. Rüzgâr Gücünün Hesaplanması

Rüzgâr çarkları ile ilgili ilk teorik çalışma, Göttingen Üniversitesinde Betz tarafından yapılmıştır. Betz; rüzgâr çarkının, göbeksiz ve sonsuz kanatlı olduğunu ya da diğer bir ifadeyle ideal olduğunu varsayarak hesaplarını yapmıştır. Betz'in teorisine göre, rüzgâr çarklarının güç ve performans hesapları aşağıda açıklanmıştır (Le Gourieres, 1982).

Şekil 2.29'da görüldüğü gibi; çarkın önünde ve çarktan yeteri kadar uzaktaki serbest rüzgâr hızı $V_1 = V_{r1}$ dır. Kanada yaklaştıkça rüzgâr hızı azalarak, enerjinin bir kısmını rüzgâr çarkına bıraktıktan sonra yoluna devam edecek ve çarkın arkasında V_2 gibi minimum bir değere ulaşacaktır. Daha sonra rüzgâr çarktan yeteri kadar uzaklaştıktan sonra tekrar $V_r = V_1$ serbest rüzgâr hızına erişecektir. Rüzgâr çarkı tarafından mekanik enerjinin üretimi, ancak havanın kinetik enerjisinin azaltılması ile mümkündür. Bu durumda V_2 hızının V_1 hızından daha düşük olması gerekir. Sonuç olarak, A_1 kesit alanı, A_2 kesit alanından küçüktür (Çatalorman, 2015).



Şekil 2.29. Bir Rüzgâr Çakında, Çarkın Önünde ve Arkasında Rüzgâr Hızının Gösterimi (Çatalorman, 2015).

Havanın sıkıştırılamayacağı varsayılırsa süreklilik denkleminden;

$$V_1.A_1 = V_2.A_2 = V_T.A_T \tag{2.10}$$

olarak bulunur. Rüzgâr tarafından; rüzgâr çarkına uygulanan kuvvet, Euler hareket miktarı teoremine aşağıda Denklem 2.11'd e verilmiştir;

$$F_r = \rho.A_T.V_T.(V_1 - V_2) \tag{2.11}$$

Böylece çark kanatları tarafından yutulan güç;

$$P_r = F_r.V_T = \rho.A_T.V_T.(V_1 - V_2).V_T = \rho.A_T.V_T^2.(V_1 - V_2) \tag{2.12}$$

olarak bulunur.

Bu enerji, rüzgârın kinetik enerjisinden alınmıştır. Hava akımı yönünde kinetik enerjinin değişimi;

$$\Delta T = 1/2.\rho.A_T.V_T.(V_1^2 - V_2^2) \tag{2.13}$$

şeklinde olur. (2.10) ve (2.11) denklemlerini eşitlemek suretiyle;

$$V_T = \frac{V_1 + V_2}{2} \tag{2.14}$$

olarak elde edilir. Böylece çarka uygulanan kuvvet ve sağlanan güç; yukarıda verilen denklemlerin tekrar düzenlenmesiyle aşağıda ifade edildiği gibi bulunur. Buna göre uygulanan kuvvet;

$$F_r = \rho.A_T.V_T.(V_1 - V_2) = \rho.A_T.\frac{V_1 + V_2}{2}.(V_1 + V_2) \tag{2.15}$$

$$F_r = 1/2\rho.A_T.(V_1^2 - V_2^2) \tag{2.16}$$

şeklinde elde edilir. Buradan güç ifadesi de;

$$P_r = \rho.A_T.V_T^2.(V_1 - V_2) = \rho.A_T.\frac{(V_1 + V_2)^2}{4}.(V_1 + V_2) \tag{2.17}$$

$$P_r = 1/4.\rho.A_T.V_T^2.(V_1^2 - V_2^2).(V_1 + V_2) \tag{2.18}$$

olarak elde edilir. Sabit bir $V_r = V_1$ rüzgâr hızı için, V_2 hızının hangi değerlerinde maksimum güç elde edilebileceğini belirlemek için, güç ifadesinin V_2 hızına göre türevi alınırsa;

$$\frac{dP_r}{dV_2} = 1/4.\rho.A_T(V_1 + V_2).(V_1 - 3V_2) \tag{2.19}$$

$\frac{dP_r}{dV_2} = 0$ denkleminin iki çözümü vardır. Birinci çözüm;

$V_2 = -V_1$ şeklinde elde edilir. Fiziksel bir anlamı yoktur. İkinci çözüm;

$V_2 = V_{1/3}$ şeklinde elde edilir ve maksimum gücün elde edildiği değeri verir. Buna göre güç ifadesinde

$V_2 = V_{1/3}$ değeri yerine konulduğunda, maksimum gücü veren ifade şu şekilde elde edilir:

$$P_{rmax} = \frac{8}{27}\rho.A_T.V_1^3 \tag{2.20}$$

Burada; P_{rmax} için, Güç; (W) ρ: Havanın yoğunluğu (kg/m^3) V_1: Rüzgârın hızı (m/s) A_T: Çarkın süpürme alanı (m^2) dır.

V hızındaki rüzgârın A_T alanını geçerken, birim zamanda sahip olduğu toplam kinetik enerjisi şu şekilde elde edilir.

$$T = 1/2.\rho.V_1.A_T.V_1^2 \tag{2.21}$$

$$T = 1/2.\rho.A_T.V_1^3 \tag{2.22}$$

eklinde elde edilir. Burada (2.20) ve (2.22) denklemleri taraf tarafa bölündüğünde;

$\frac{P_{rmax}}{T} = \frac{\frac{8}{27}\rho.A_T.V_1^3}{\frac{1}{2}\rho.A_T.V_1^3} = \frac{16}{27} = 0.5926$ olarak Betz Limiti adı verilen değer elde edilir (Le Gourieres, 1982).

Buradan; bir rüzgâr çarkı ile ideal bir şekilde enerji alınabilmesi hâlinde, ancak mevcut kullanılmaya hazır enerjinin 16/27 = 0.5926 kadarının teorik olarak faydalı enerji hâline dönüştürülebileceği anlaşılmaktadır.

2.5.3.5. Rüzgâr Türbini Türleri

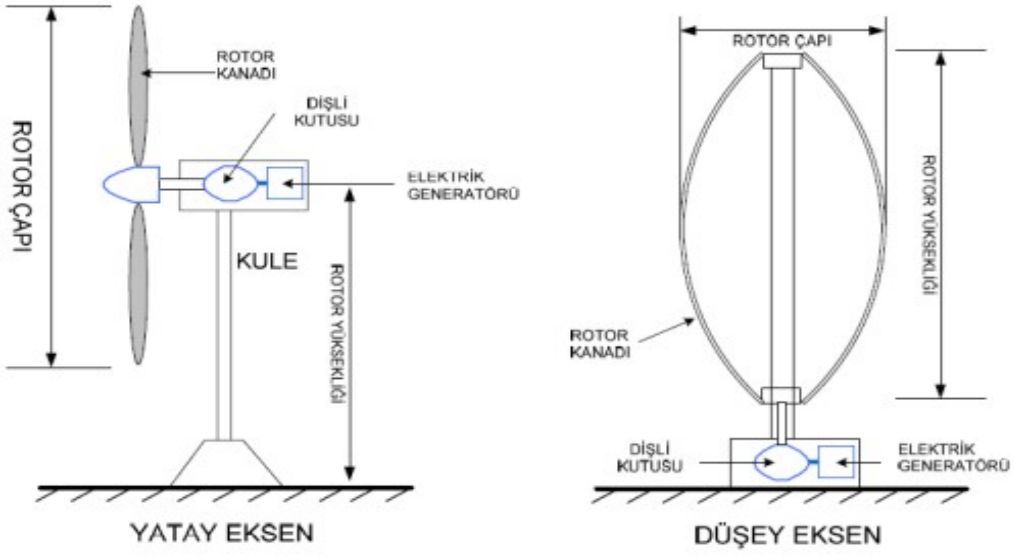
Rüzgâr türbinleri gelişimine yönelik farklı belgelere rastlanmakla birlikte, ilk rüzgâr kuvvet makinesi olarak yel değirmenlerinin icadı 3000 yıl önceye dayanmaktadır ve İskenderiye etrafında yapıldığı düşünülmektedir. M.S. 640 itibariyle Türklerin ürettiği yel değirmeni tipleri, hac yolculuklarında Avrupa'ya ulaşmıştır. Ancak, rüzgâr ile çalışan kuvvet makinelerin gelişimi Fransa'da 1105'de, İngiltere'de 1143 yıllarında, Almanya'da 19. yüzyılın sonlarında ve Hollanda'da ise 18. yüzyıl başlarında ortaya çıkmıştır (Ozgener, 2010).

Modern rüzgâr türbinlerinin türleri yatay eksenli ve düşey eksenli olmak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Bu türbinlerde sahip oldukları aerodinamik yapılarından dolayı rüzgâr enerjisinden yararlanmak mümkündür. Türbinlerde alt sistemleri aşağıda özetlenmiştir (Taşgetiren, 1998):

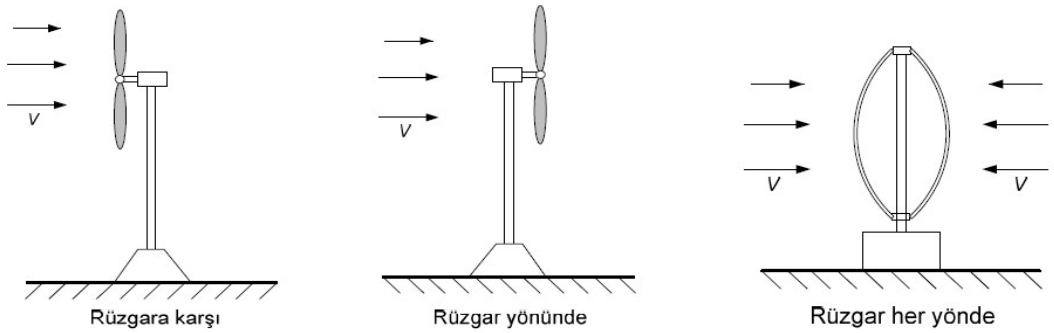
- Kanatların, göbek ve şaftın yerleştiği bir rotor,
- Dişli kutusu ve jeneratörün mekanizması,

- Rotor sisteminin bulunduğu kule,
- Denetim sistemleri,
- Diğerleri (Elektriksel bağlantılar, servis kolaylığı sağlayan donatımlar, taşıyıcı yapı)

Türbinler kanat sayısı bakımından ise tek kanatlı, çift kanatlı ve çok kanatlı olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır. Bu bilgiler Şekil 2.30 ve Şekil 2.31'de gösterilmiştir.



Şekil 2.30. Rüzgâr Türbin Konfigürasyonları (Anonim, 2013).



Şekil 2.31. Yatay ve Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (Anonim, 2013).

Çizelge 2.4, Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da rüzgâr türbinlerinin büyüklük, rüzgâr alış yönleri ve maliyet karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Büyüklüklerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması (Nurbay & Çınar, 2005).

	Kullanım Alanı	*Bir Tek Türbin Gücü*	*Üretilen Enerjinin Verildiği Yer*	*Akü İhtiyacı*	*Bakım Masrafı*	*Kurulum Masrafı*
Büyük RT'ler	Endüstriyel	50kW-2MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük RT'ler	Kişisel	50W-20kW	Çiftlik evleri, Telekominikasyon alıcısı, Radyo kulesi, Seralar, Acil Telefonları vb.	Var	Yok	Düşük

Çizelge 2.5. Rüzgârı Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması (Nurbay & Çınar, 2005).

	Yaw Mekanizma İhtiyacı	*Kanat Malzeme Yapısı*	*Kuleye Binen Yük*	*Rüzgârın Türbine Verdiği Zarar*
Rüzgârı Önden Alan RT	Var	Sert	Ağır	Az
Rüzgârı Arkadan Alan RT	Yok	Esnek	Hafif	Çok

Çizelge 2.6. Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması (Nurbay & Çınar, 2005).

	YERT				**DERT**	
	Tek Kanatlı	*İki Kanatlı*	*Üç Kanatlı*	*Çok Kanatlı*	*Savonius*	*Darrierus*
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Estetik Görünüm	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
Çalışma Hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule İhtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım Amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama
Günümüzde Kullanım	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
Rotorun Dönmesi İçin Rüzgâr	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler

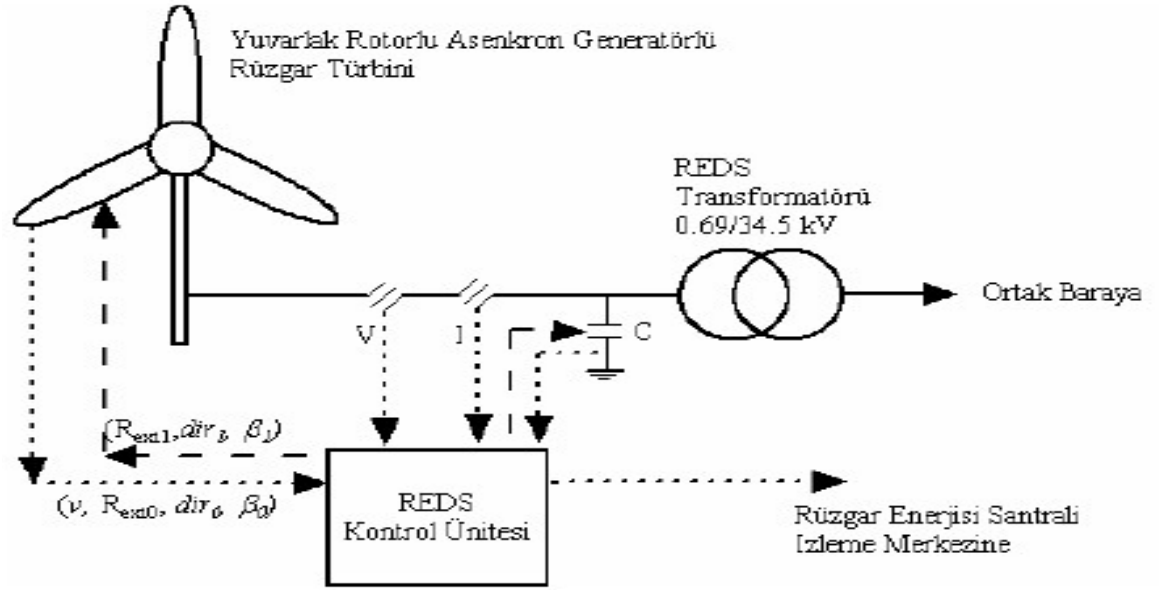
2.5.3.5. Rüzgâr Türbini Kontrol Sistemleri

Bu sistemlerinin hedefi parametreleri denetleyerek, türbin çalışmalarını herhangi bir iklim ve rüzgâr şartlarında, en verimli enerji üretecek biçimde iyileştirmesini sağlamaktır. Örnek olarak, her ne kadar bir orkestra güçlü ve kaliteli müzik aletleri ve yetenekli bir müzisyen kadrosuna sahip olsa da, orkestra şefi olmadan çalınan müziğin mükemmellik gibi bir özelliği olmayacaktır. Kontrol sisteminin rüzgâr türbinlerinin yapısındaki işlevi de aynı şekilde değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, kaliteli ve uygun birimlerin kullanılmasına rağmen, rüzgâr türbinlerinin performansı ve verimli elektrik enerjisini üretilmesi bütün türbin bileşenlerinin karşılıklı olarak uyumlu ve verimli çalışmalarını gerektirmektedir. Senkron olarak işlev yapan bir rüzgâr türbinindeki

kontrol sistemleri temel işlem birimine dayalı olarak faaliyet göstermektedir. Bunlar aşağıda verildiği gibi sıralanabilir:

- Açı kontrol sistemi: Kabin üzerinde yer alan meteorolojik verileri algılayan sensörlerden elde edilen bilgiye dayalı olarak kanat açısını belirlemektedir,
- Yön kontrol sistemi: Türbin kabinini rüzgâr yönüne bağlı olarak yönlendirmektedir.
- Fırtına kontrol sistemi: Yüksek hızlı rüzgâr veya fırtına koşullarında türbini güvenli bir biçimde devre dışı bırakmaktadır.
- Şebeke kontrol sistemi: Elektrik şebekesinin durumunu tespit ederek, sisteme giriş - çıkışı denetlemektedir,
- Üreteç kontrol sistemi: Üretecin oluşturduğu elektriğin voltaj, akım ve frekansını kontrol etmektedir,
- Uzaktan erişim kontrol sistemi: Dünya kapsamında kontrol imkanı ve türbinlerin kendi kendine arıza bildirimini sağlamaktadır (Atasever, 2016).

Şekil 2.32'de REDS kontrol sistemi kısımları gösterilmiştir.



Şekil 2.32. REDS Kontrol Sistemi (Mutlu & Akpınar, 2009).

2.5.3.6. Rüzgâr Türbini Güç Sistemleri

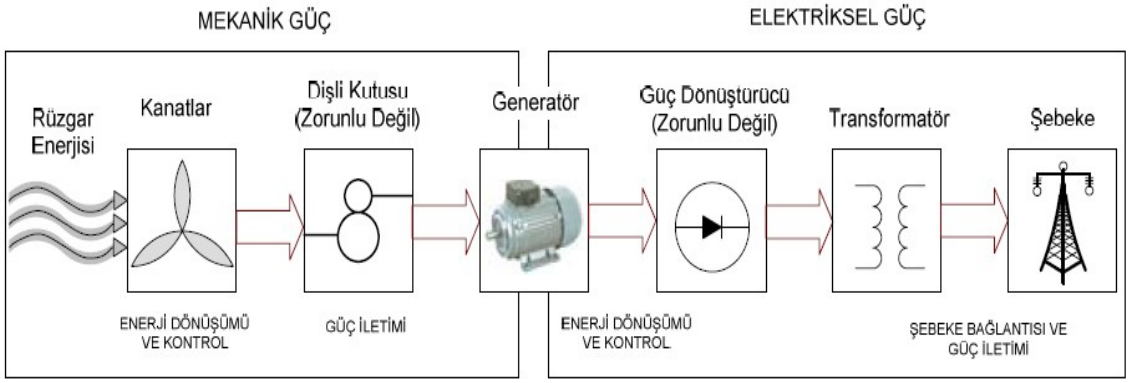
Türbinlerin rotor birimi aerodinamik yapılı kanatları ile rüzgârın dalga enerjisini kısmen yakalar ve mekanik enerjiye dönüştürür. Üretilen bu düşük hızlı mekanik enerji dişli kutusu aracılığıyla yüksek jeneratör hızı düzeyine ulaştırılır. Ancak, jeneratörün

yüksek kutup sayısına sahip olduğu durumlarda dişli kutusuna gerek duyulmayabilir. Böylece, yüksek dönüş hızlı bu mekanik enerji ardından jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir. Devamında transformatör ve iletim hatları aracılığıyla yerel elektrik ağına elektrik sayacı ile kesici üzerinden bağlantısı yapılır. Dizayn edilmiş rüzgâr enerjisi sisteminin topolojisine dayalı transformatörden önce güç elektroniği birimleriyle elektrik enerjisi değişik formlarda ayarlanır (Eroğlu, 2016).

Rüzgâr türbinlerinin güç mahiyeti, elektrik üretimindeki performansı ortaya koymaktadır. Şebekeye bağlı rüzgâr türbinleri için şebekenin gücü ve gerilim kalitesi üzerinde yaptığı etki önemlidir. Özellikle şebekenin zayıf olduğu yerlerde rüzgâr türbinlerinin artan sayılarda şebekeye bağlanmasında kısıtlayıcı faktör olabilir. Rüzgâr türbinlerinin güç niteliği dört esas faktörden etkilenmektedir (Altuntaşoğlu, 2011).

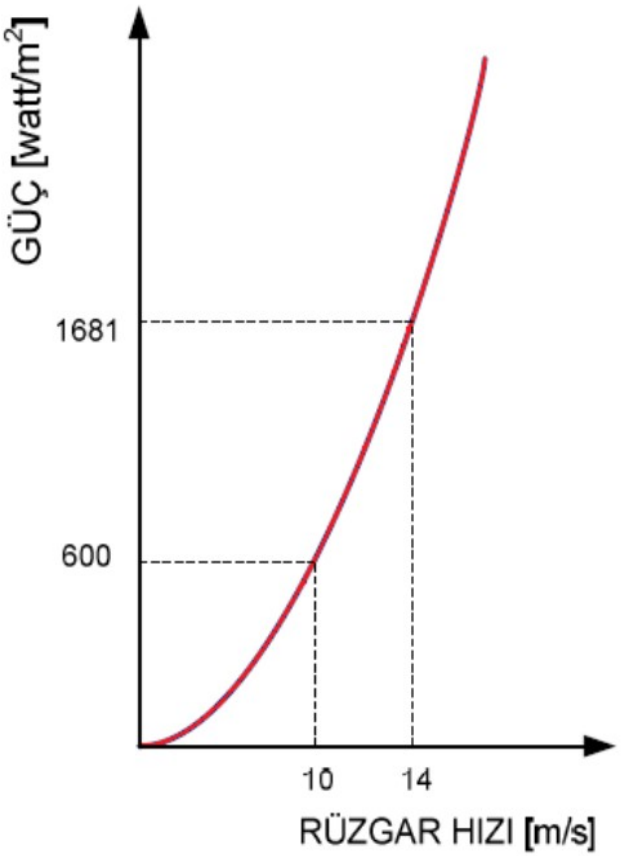
- Ani Gerilim Değişimleri,
- Kırpışma (Fliker),
- Harmonik Bozulma,
- Gerilim Dengesizliği.

Şekil 2.33'te rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine sırasıyla dönüştüğü aşamalar görül-mektedir.



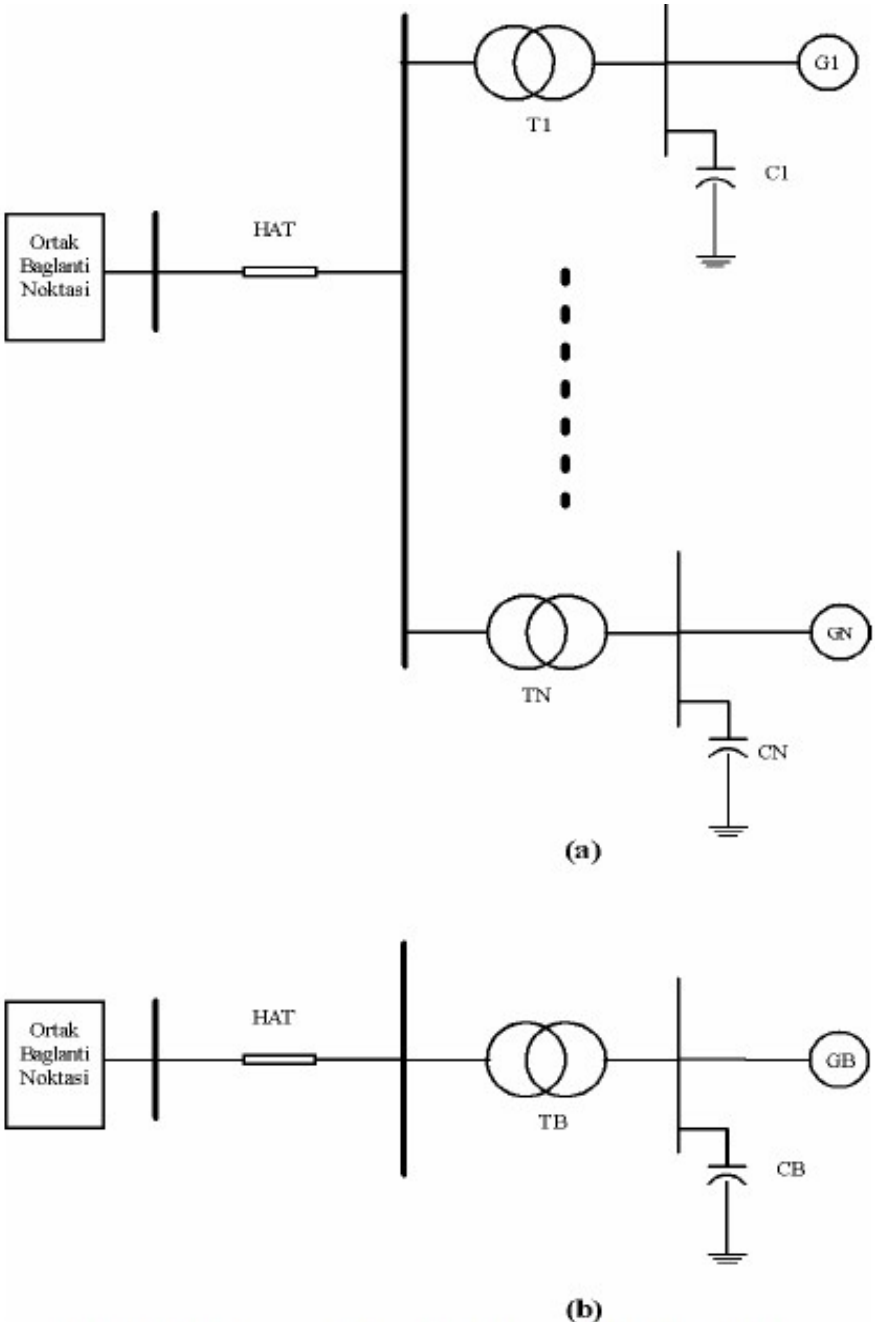
Şekil 2.33. Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Aşamaları (Anonim, 2013).

Şekil 2.34'te rüzgâr hızı ile güç arasındaki ilişki grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.34. Rüzgâr Hızı İle Güç Arasındaki İlişki (Tanrıöver, 2011).

Rüzgâr Enerjisi Santrali'nin (a) Tam Modellenmesi (b) Bütünleşik Modellenmesi olarak da Şekil 2. 35'te gösterilmiştir (Mutlu & Akpınar, 2009).

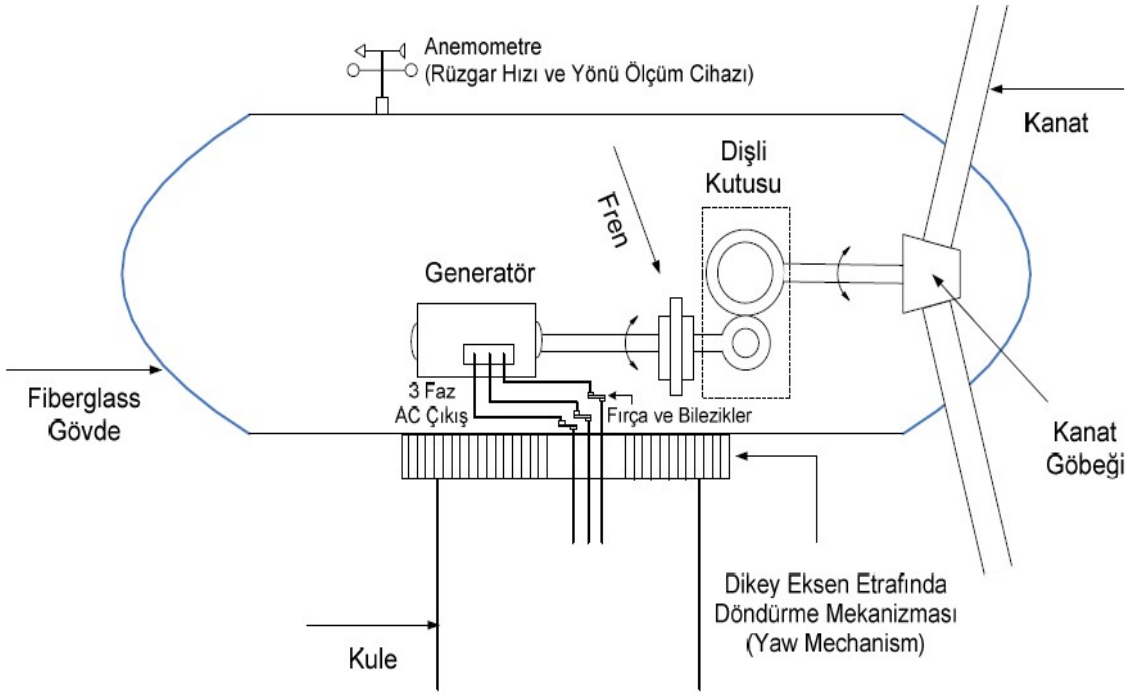


Şekil 2.35. Rüzgâr Enerjisi Santrali'nin (a) Tam Modellenmesi, (b) Bütünleşik Modellenmesi (Mutlu & Akpınar, 2009).

2.5.3.7. Rüzgâr Türbinleri Kavrama ve Fren Sistemleri

Modern rüzgâr türbinlerinin fren teçhizatı aerodinamik fren sistemi ve mekanik fren sistemi olarak iki temel şekilde gerçekleşmektedir. Aerodinamik fren sistemi, aktif kontrollü türbinlerde rotor kanatlarının boyuna eksen çevresinde 90^o civarı döndürülmesini veya rotor kanat uçlarının 90^o döndürülmesini temel almaktadır. Elektrik enerjisinin

üretimi için kullanılan rüzgâr türbinleri, 1-2-3 kanatlı şeklinde yüksek hızda işlev yapan makinelerden oluşmaktadır. Ayrıca, türbin kanatları sabit veya değişken açılı şeklinde tasarlanabilmektedir. Bazı türbin dizaynlarında rotor frenlediği durumlarda açıyı artıran özel bir düzenleyici aracılığıyla başlatma sürecinde kolaylık sağlanır. Sabit kanat açılı yüksek hızlı rüzgâr türbinlerinde, jeneratör başlama zamanında motor gibi işlev yapar ve dönme hızı nominal hıza eşleştiğinde jeneratöre dönüşür. Söz konusu sistemler elektriksel güç yetersizliklerinin ortaya çıktığında faaliyetlerini sürdürmeleri ve türbinlerdeki basınç düşüşlerinde hidrolik sisteminin otomatik aktifleşmesi için kullanılmaktadır. Çoğunlukla döndürme problemlerinin ortaya çıktığında sistem türbinin durmasını sağlayacaktır. Mekanik frenleme sistemi türbinin yavaşlatıcı denetimde durmasını sağlamak için aerodinamik frenleme sistemlerine takviye ve güçlendirme niteliğinde bulunmaktadır. Bu kapsamda, devir sayısının malum bir sınır sonrası değişmemesini ve belirli bir limiti geçmemesini sağlamak çarkın korunması açısından büyük ehemmiyet taşımaktadır. Özellikle fırtınalı hava koşullarında rüzgâra karşı küçük bir yüzey eksiltmek veya işlem dışı bırakmak, hatta tesisten faydalanamayacaksa tamamen durdurulması gerekmektedir. Mekanik fren sistemi, dişli kutusuna monte edilen bir diskten teşkil olmaktadır. Rüzgâr türbini kavrama ve fren sistemi Şekil 2.36'da gösterilmiştir.



Şekil 2.36. Rüzgâr Türbinleri Kavrama ve Fren Sistemi (Anonim, 2013).

2.5.3.8. Hidrolik Sistemler

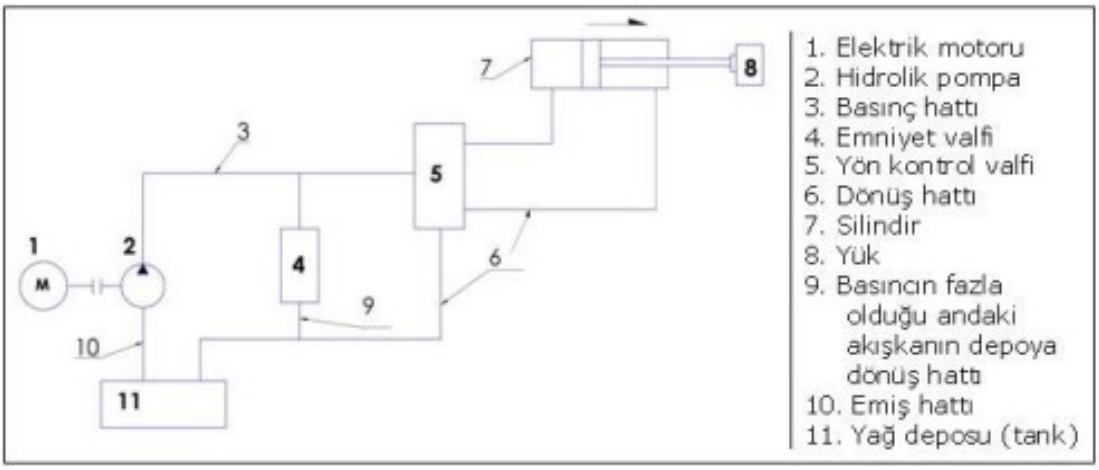
Rüzgâr türbininin hidrolik sistemi, rüzgâr türbininin aerodinamik frenlerini meydana getirir. Soğutma ünitesi, jeneratörü soğutmak için kullanılan bir soğutma sistemi içerir. Ayrıca şanzıman yağını soğutmak için kullanılan bir soğutma bloğu bulunur. Rüzgâr türbininin kulesi, makine koltuğunu ve pervaneyi taşır. Genel olarak, yerden ne kadar uzak olursa rüzgâr hızı o kadar yüksek olduğundan, daha uzun bir direk bir avantajdır. Tipik modern bir 600 kW rüzgâr türbini, 40 ila 60 metrelik bir kuleye sahiptir. Kuleler yuvarlak veya kafes olabilir. Yuvarlak kuleler, türbinin tepesine erişmek için dahili bir merdiven olabileceğinden, personelin türbinlere bakması için daha güvenlidir. Kafes kulelerin avantajı, esas olarak daha ucuz olmalarıdır. Eğim mekanizması (yaw mekanizması) tilt mekanizması, pervane ile birlikte elektrik motorları makineyi rüzgâra karşı döndürmek için kullanılır. Eğim mekanizması, yelkovanı kullanarak rüzgâr yönünü algılayan bir elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilir. Tipik olarak, rüzgâr yön değiştirdiğinde türbin bir seferde sadece birkaç derece eğilir. Rüzgâr hızını ve yönünü ölçmek için anemometre ve yelkovan kullanılır. Anemometreden gelen elektronik sinyaller, rüzgâr hızı 5 m/s'ye yaklaştığında rüzgâr türbinini kontrol etmek için rüzgâr türbini elektronik kontrol ünitesi tarafından kullanılır. Rüzgâr türbinini ve çevreyi korumak için rüzgâr hızı 25 m/s'yi aştığında bilgisayar türbini otomatik olarak durduracaktır. Yelkovan rüzgâr türbini elektronik kontrol ünitesi tarafından rüzgâr türbinini rüzgârın tersine çevirmek için kullanılır**.**

2.5.3.8.1. Hidrolik Ekipmanlar

Hidrolik sistem ekipmanları; yağ deposu, filtreler, hidrolik pompalar, hidrolik motorlar, hidrolik silindirler, valfler, hidrolik akümülatörler, bağlantı elemanları ve sızdırmazlık elemanlarından meydana gelir. (Şekil 2.37 ve Şekil 2.38).



Şekil 2.37. Rüzgâr Türbinleri Kavrama ve Fren Sistemi (Karacan, 2003).



Şekil 2.38. Hidrolik Devre Şeması (Karacan, 2003).

2.5.3.8.2. Hidromotor ve Hidrolik Pompa

Pompalar hidrolik akışkan deposundan sisteme belirli bir basınç ve debide hidrolik akışkanı gönderen veya mekanik enerjiyi hidrolik enerjiye dönüştüren devre elemanlarıdır. Pompa, elektrik motorundan dönme hareketi alır ve doğrudan basınç oluşturmaz. Hidrolik akışkan sistemdeki bir engelle karşılaştığında basınç oluşur. Bir pompa seçerken, kullanılan sistemin işlevini yerine getirebilmesi için yeterli akış ve basınç sağlayacak kadar büyük olmasına özen gösterilmelidir. Pompa çalışırken elektrik motorunun dönüş yönü ile pompa milinin dönüş yönü uyumlu olmalıdır.

Bununla birlikte pompanın içindeki koruyucu yağların düzenli olarak temizlenmesi gereklidir. İlk hareket başlatılırken tahliye hattı havalandırılmalı ve emme hattı hidrolik yağ ile doldurulmalıdır. Yağ seviyesi de sık sık kontrol edilmelidir. (Şekil 2.39).

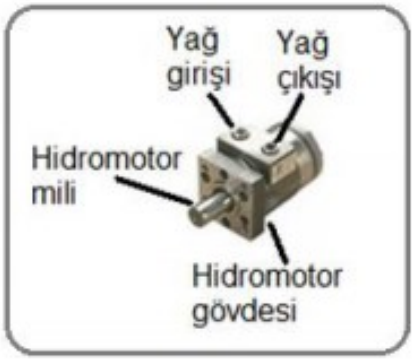


Şekil 2.39. Hidrolik Pompa (Karacan, 2003).

Hidrolik sistemlerde basınç altındaki bir sıvıdan dairesel hareket üretmekte kullanılan devre elamanlarına hidrolik motorlar denir. Hidrolik motorlar ile yüksek basınçlı sıvılar kullanılarak yüksek tork elde edilir. Hidrolik motorlar; güçlü bir dairesel hareketin gerekli olduğu inşaat makinelerinde, takım tezgahlarında vb. yerlerde kullanılır. Hidrolik motorlar yardımıyla kademesiz hız kontrolü de yapılabilmektedir. Hareket anında hızları kolayca ayarlanabilir ve dönüş yönü değiştirilebilir. Hidrolik motorlar, giriş ve çıkıştaki basınç farkından dolayı hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürürler. (Şekil 2.40 ve 2.41).



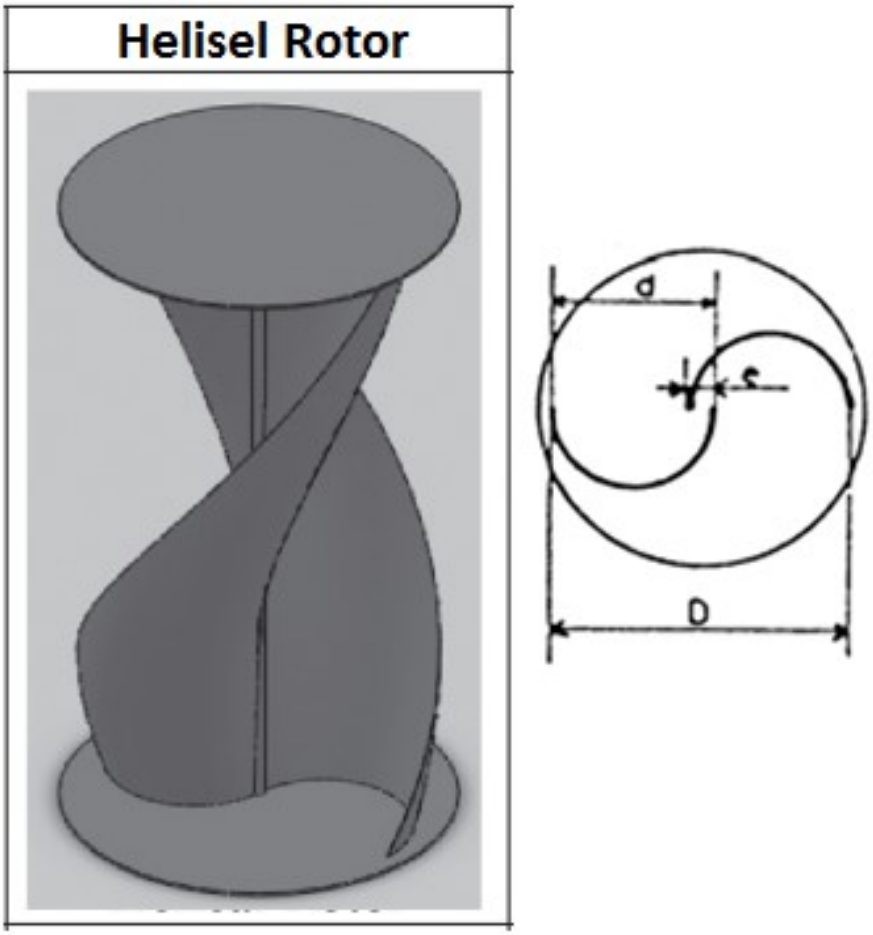
Şekil 2.40. Hidrolik Dişli Motor (Karacan, 2003).



Şekil 2.41. Hidrolik Motor (Karacan, 2003).

2.5.3.9. Helisel Savonius Rüzgâr Türbini

Bir helisel savonius rüzgâr türbininin genel olarak şeması Şekil 2.42'de gösterilmiştir.



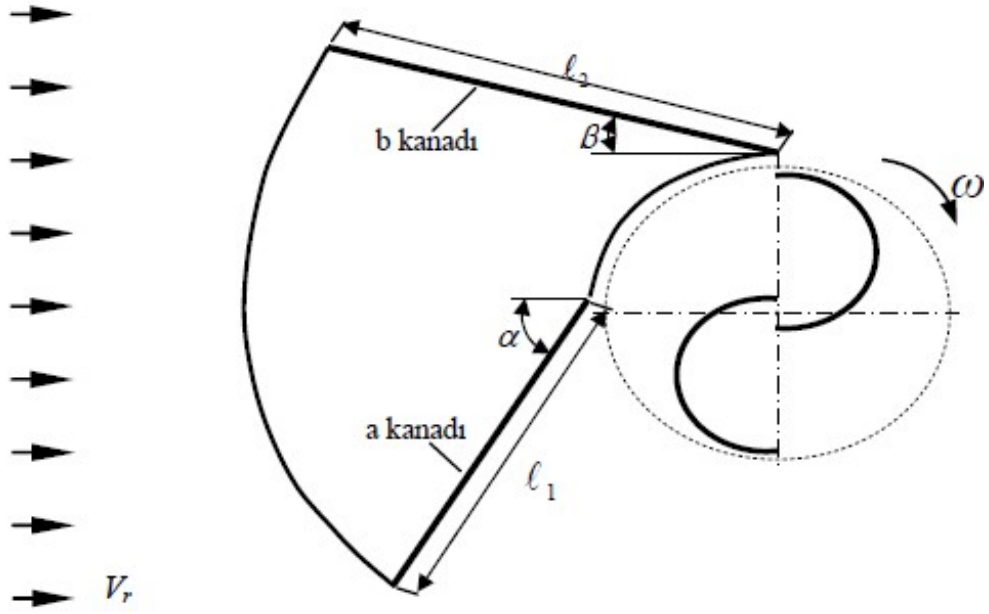
Şekil 2.42. Savonius Rüzgâr Çarkı ve Çark Parametreleri (Atılgan, Deda Altan & Atlıhan, 2009), (Díaz, Pajaro, Salas, 2014).

Şekil 2.42'de görüldüğü gibi türbin, helisel şeklide kanatlardan oluşan, bu sayede açık kanat türbinlere göre avantaj sağlayan, yüksek rüzgâr düzeylerinde dahi daha stabil sonuç alınan şekilde tasarlanmıştır.

2.5.3.9.1. Güç ve Performans Değerlendirme

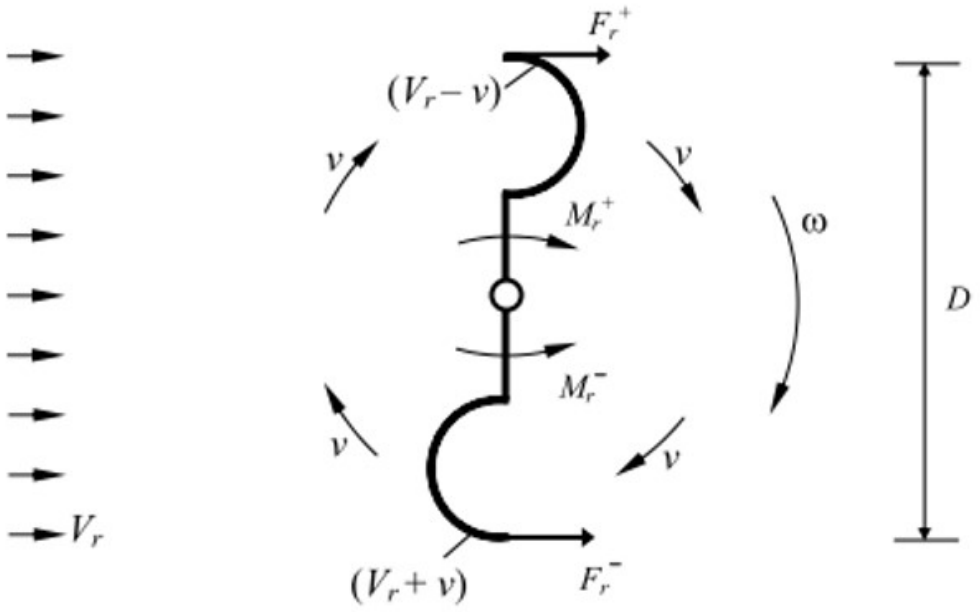
Savonius rüzgâr çarklarında performansı artırabilmek amacıyla uygulanan perdeleme Şekil 2.43'te verilmiştir.

Savonius rüzgâr çarklarının performansı artırarak düşük rüzgâr hızlarında türbin verimliliğini artırmak mümkündür. Çarka gelmeden önce rüzgâr hızında kısmi bir artış rüzgârın geliş yönüne uygun perdeleme yapılarak gerçekleşir.



Şekil 2.43. Savonius Rüzgâr Çarklarında Performansı Artırabilmek Amacıyla Uygulanan Perdeleme (Atılgan, Deda Altan & Atlıhan, 2009).

Şekil 2.44'te kepçeli kanatlı rüzgâr çarkları üzerindeki hız vektörleri gösterilmiştir. Vr rüzgâr hızı altında, çark kanat merkezlerinin sabit lineer ν hızı ile döndüğü düşünülerek, kepçe üzerine gelen kuvvetler şu şekilde hesaplanabilir:



Şekil 2.44. Kepçeli Kanatlı Rüzgâr Çarklarındaki İç ve Dış Bükey Yüzeylerdeki Hızlar (Le Gourieres,1982).

Kanatlarda meydana gelen kuvvet,

$$F_r = 1/2.c.\rho.A.V_r^2 \qquad (2.23)$$

olarak ifade edilir.

Burada; Fr : Kuvvet (N) ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3) A : Çarkın süpürme alanının dik kesit alanı (m^2) c : Direnç katsayısı r V : Rüzgârın hızı (m/s) dır.

Burada; yarım küre için c1 = 1,4 (İç bükey yüzey için), c2 = 0,4 (Dış bükey yüzey için), yarım silindir için c1 = 2,3 (İç bükey yüzey için), c2 = 1,2 (Dış bükey yüzey için) olarak belirlenmiştir (White, 2004).

Güç = Kuvvet x hız olarak ifade edildiğine göre;

$$P_r = F_r.v \qquad (2.24)$$

olur. Burada; çarkın hızı v (m/s)' dir.

(2.23) denklemi, (2.24) denkleminde yerine konulursa;

$$P_r = 1/2.c.\rho.A.V_r^2.v \qquad (2.25)$$

İç bükey yüzey için;

$$P_r^+ = 1/2.\rho.A.\left[c_1.\left(V_r - v\right)^2\right].v \tag{2.26}$$

Dış bükey yüzey için;

$$P_r^- = 1/2.\rho.A.\left[c_2.\left(V_r - v\right)^2\right].v \tag{2.27}$$

şeklinde ifade edilirse ve bu ifadeler birleştirilirse;

$$P_{rmax} = P_r^+ + P_r^- \tag{2.28}$$

olur. (2.28) denkleminde, (2.26) ve (2.27) denklemleri yerlerine yazıldığında;

$$P_{rmax} = 1/2.\rho.A.\left[c_1.\left(V_r - v\right)^2\right].v - 1/2.\rho.A.\left[c_2.(V_r - v)^2\right].v \tag{2.29}$$

$$P_{rmax} = 1/2.\rho.A.v\left[c_1.\left(V_r^2 - 2V_r v + v^2\right) - c_2.\left(V_r^2 + 2V_r v + v^2\right)\right] \tag{2.30}$$

(2.30) denklemi elde edilir ve bu denklem tekrar düzenlenirse;

$$P_{rmax} = 1/2.\rho.A.v\left[v_r^2.\left(c_1 - c_2\right) - 2V_r.v.\left(c_1 + c_2\right) + V^2.\left(c_1 - c_2\right)\right] \tag{2.31}$$

ifadesi elde edilir. Burada; $\left(c_1 - c_2\right) = E$ ve $\left(c_1 + c_2\right) = F$ ile gösterilirse net güç ifadesi şu şekilde oluşur;

$$P_{rmax} = 1/2.\rho.A.v\left[E.V_r^2 - F.2.V_r.v.E.v^2\right] \tag{2.32}$$

Sabit bir rüzgâr hızı düşünüldüğünde, optimum güç elde etmek için değişken olan v çark hızına göre alınan türevin sıfıra eşit olması gerekir. Bundan dolayı güç ifadesinin hıza göre türevi alınırsa, $\frac{dP_r}{dv} = 0$ olur. Buna göre;

$$1/2.\rho.A.v.E.V_r^2 - 1/2.\rho.A.F.2.V_r.v^2 + 1/2.\rho.A.E.v^3 = 0 \tag{2.33}$$

$$1/2.\rho.A.E.V_r^2 - 1/2.\rho.A.F.4.V_r.v + 1/2.\rho.A.3.E.v^2 = 0 \tag{2.34}$$

$$3E.v^2 - 4.F.V_r.v + E.v_r^2 = 0 \tag{2.35}$$

ν çark hızına göre ikinci dereceden denklemin kökleri aşağıdaki gibi olur.

$$v_{1.2} = \frac{-(-4.F.V_r) \pm \sqrt{\left(4.F.V_r\right)^2 - 4.3.E.E.V_r^2}}{2.3.E} \tag{2.36}$$

Buradan da ν_1 ve ν_2 hızları belirlenebilir;

$$v_1 = \frac{+4.F.V_r - \sqrt{16F^2.V_r^2 - 12E^2.V_r^2}}{6.E} = \frac{2F.V_r - V_r\sqrt{4F^2 - 3E^2}}{3E} \quad (2.37)$$

$$v_1 = \frac{-4.F.V_r - \sqrt{16F^2.V_r^2 - 12E^2.V_r^2}}{6.E} = \frac{2F.V_r - V_r\sqrt{4F^2 - 3E^2}}{3E} \quad (2.38)$$

Dış bükey yüzeyin en az etkisi olduğu noktada, güç optimumdur. Dolayısıyla, $c_2 = 0$ alınmalıdır.

$$F = c_1 + c_2 \rightarrow F = c_1 \quad (2.39)$$

$$E = c_1 - c_2 \rightarrow E = c_1 \quad (2.40)$$

$$v_{opt1} = \frac{2c_1.V_r - V_r.\sqrt{4c_1^2 - 3c_1^2}}{3c_1} = \frac{2c_1.V_r - V_r.c_1}{3c_1} = \frac{1}{3}V_r \quad (2.41)$$

$$v_{opt2} = \frac{2c_1.V_r - V_r.\sqrt{4c_1^2 - 3c_1^2}}{3c_1} = \frac{2c_1.V_r - V_r.c_1}{3c_1} = V_r \quad (2.42)$$

Denklem elde edilen hız değeri, çarkın rüzgâr hızı ile aynı hızda dönmesi anlamını taşır ve dolayısıyla güç üretilmez, fiziksel bir anlamı yoktur. Bu nedenle, optimum güç için,

$v_{opt} = \frac{1}{3}V_r$ olmalıdır. Denklem (2.39) ve (2.40)'da E ve F yerine değerleri

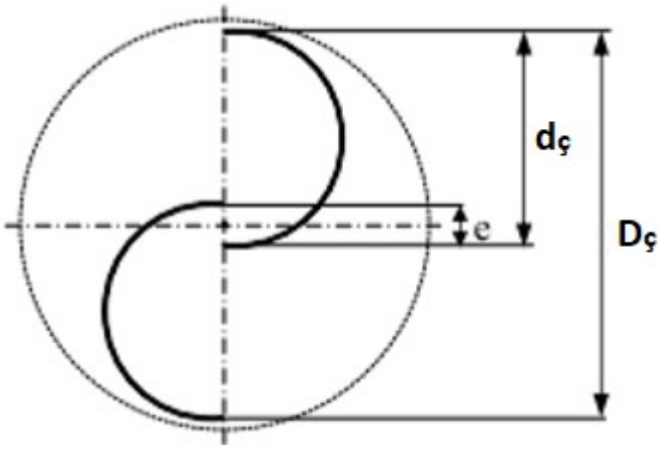
konulur ve c_2=0 olarak alınırsa, net güç denklemi şu şekilde elde edilir:

$$P_{r_{net}} = 1/2\rho.A.v.c_1.(V_r^2 - 2V_r.v + v^2) \quad (2.43)$$

Optimum güç elde etmek için, denkleminden elde edilen çark hızının $v_{opt} = \frac{1}{3}V_r$ olduğu değeri, Denklem (2.44)'de yerine konulduğunda optimum güç için aşağıdaki ifade elde edilir: (Çatalorman, 2015)

$$P_{r_{net}} = 2/27\rho.A.c_1.V_r^3 \quad (2.44)$$

Şekil 2.45'te savonius rüzgâr türbini kesit tasarım ölçüleri ile gösterilmiştir.



Şekil 2.45. Kepçeli Kanatlı Rüzgâr Çarklarındaki İç ve Dış Bükey Yüzeylerdeki Hızlar Savonius Rüzgâr Çarkı Tasarım Parametreleri (Le Gourieres,1982).

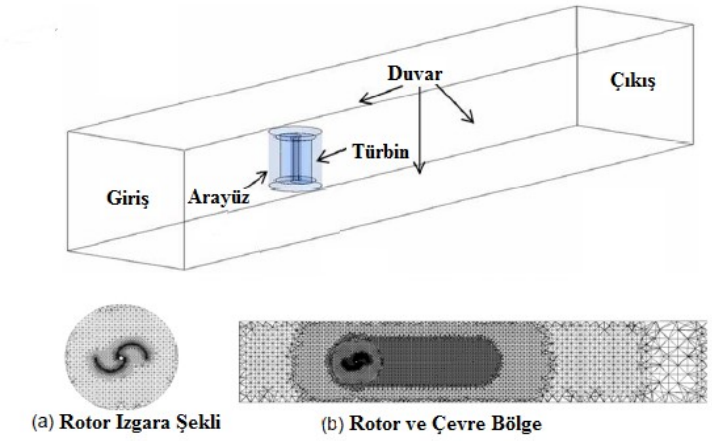
Elde edilen optimum güç değerinde A süpürme alanının değeri Şekil 2.35'den elde edilebilir buna göre; süpürme alanı; A = ($2d_ç$ – e) .H dir ve bu değer Denklem (2.45)'de yerine konulduğunda,

$$P_{opt} = \frac{2}{27}.\rho.c_1.\left(2d_ç - e\right).H.V_r^3 \quad (2.45)$$

olarak elde edilir. Burada; e: Kayma mesafesi (m) d: Kanat çapı (m) H: Çark yüksekliği (m)'dir.

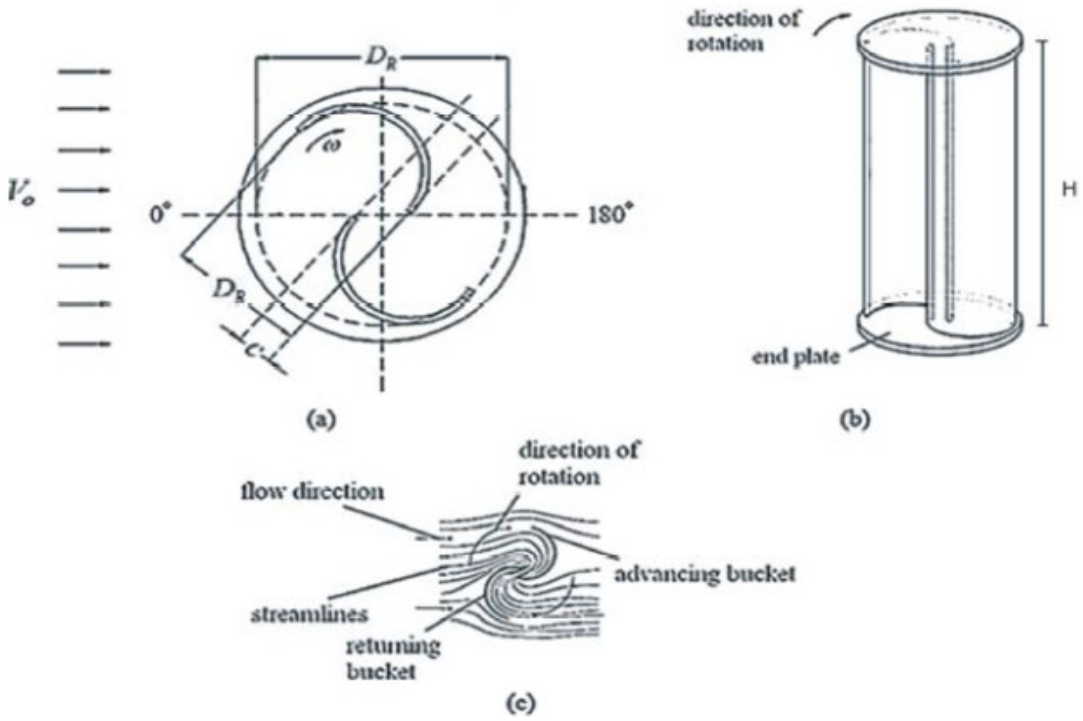
2.5.3.9.2. Tasarım Kriterleri ve Analizleri

Kayma mesafesi (e), Kanat çapı (d) ve Çark yüksekliği (H) temel tasarım kriterleridir. Tasarım kriterlerine karar verilen rüzgâr türbininin düzlemsel uygun bir analizi için, genel alan iki alt alana bölünebilir. Bu alanlar sabit rüzgâr hızındaki dış alan ve iç döner alanlardan oluşur. Şekil 2.46 (a) ve (b), dönen rotorun ve etrafındaki dış alanın temel ızgara biçimli şeklidir. İç döner alan ve dış sabit alanı bağlamak için arayüz koşulu, döner alan ve çevresindeki bölgeyi etkileyen ayrık akış hareketinin detayını tarif etmek için kullanılmaktadır. Ek olarak, kayan örgü modeli, dönen kanatları simüle eden ağ için kullanılmaktadır. Sürgülü ağ, ağın deforme olmaması durumunda etkili bir şekilde kullanılabilir (Lee, Lee, Y. & Lim, 2014).



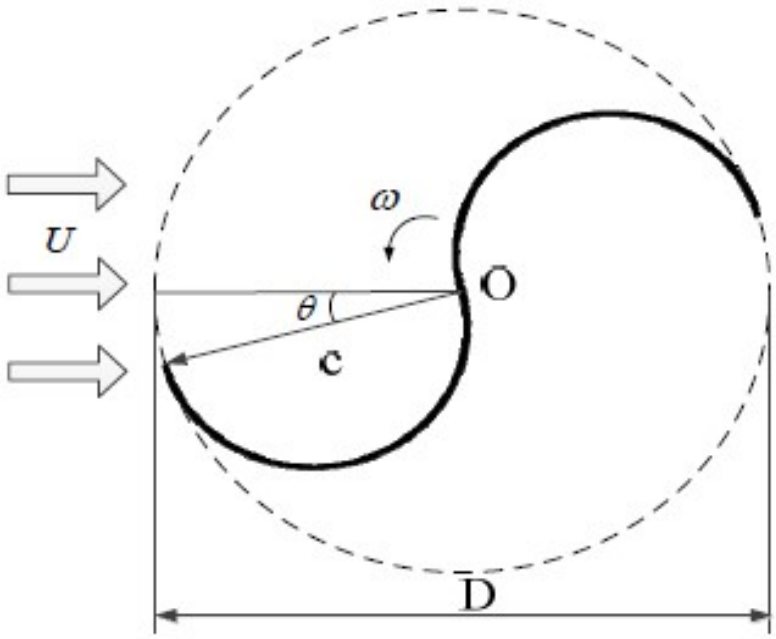
Şekil 2.46. Savonius Türbininin Ağ ve Izgara Yapısı (Lee, Lee, Y. & Lim, 2014).

Şekil 2.47'de, su hızı V olan bir akıma maruz bırakılmış yarım daire biçimli bir profilden iki kanada sahip geleneksel bir savonius deniz akıntısı türbininin karakteristik faktörlerini ve "w" ile temsil edilen dönme hızını göstermektedir. Statik ve dinamik moment ve işlem için herhangi bir akımı kabul edebilir. Helisel savonius, geleneksel savonius ile karşılaştırılabilir, ancak dikey eksen etrafında 0 dereceden 180 dereceye kadar bir bükülme vardır (Sedaghat, Hassanzadeh, Jamali, 2017).



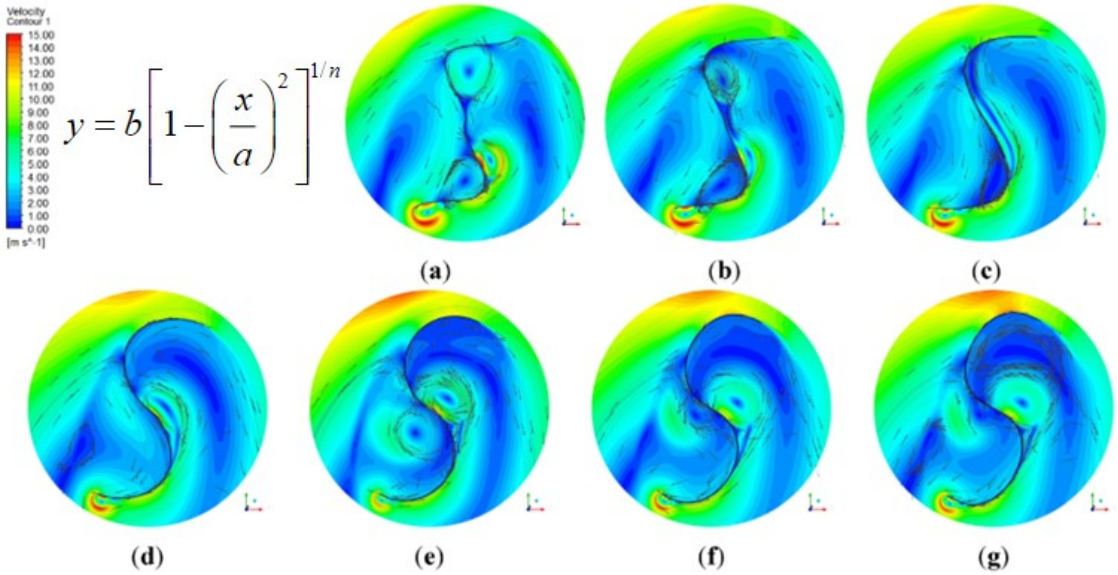
Şekil 2.47. Geleneksel Bir Savonius Rotorunun Şematik Gösterimleri: (a) 2D gösterimi; (b) 3B Gösterimi; (c) Rotoru Akış Şekli (Sedaghat, Hassanzadeh, Jamali, 2017).

İki kanatlı Savonius rüzgâr türbininin sıfır boşluk mesafeli iki boyutlu şematik görünüşü ve geometrik parametreleri, Şekil 2.48 'de sunulmuştur; burada U rüzgâr hızı, türbinin dönme hızıdır, c; kanat, D türbinin çapıdır ve θ kanadın, akış yönü ile kanat ucundan dönüş merkezine doğru olan çizgi arasındaki açı olarak tanımlanan kanat kesitinin azimut açısıdır.



Şekil 2.48. Savonius Türbininin 2D Şeması (Tian, Song, VanZwieten & Pyakurel, 2015).

Şekil 2.49, λ = 0.8 ve θ = 60 ° için yedi kanat kesiti tasarımının yakınında hız hatlarını ve düzeneğini göstermektedir. N = 0,5 durumunda saat yönünün tersine dönen bir girdap, kanadın basınç tarafının üzerinde gözlenebilir. N artıkça bu girdap zayıflar (n = 0.75 ve n = 1), n> 1 için kaybolur. Bu girdap iç bükey tarafta düşük basınca neden olur. Başka bir girdap, n> 1 olduğunda rotor merkezinin yakınında meydana gelir, bununla birlikte, bu girdap, kanadın bası etkisinden uzaktır ve basınç üzerinde çok az etkisi vardır.



Şekil 2.49. Hız Kontürleri (m / s) ve Türbin Yakınındaki Akım Çizgileri (λ = 0.8 ve θ = 60° (a) n = 0.5; (b) n = 0.75; (c) n = 1.0; (d) n = 1.5; (e) n = 2.0; (f) n = 2.5; ve (g) n = 3.0) (Tian, Song, VanZwieten & Pyakurel, 2015).

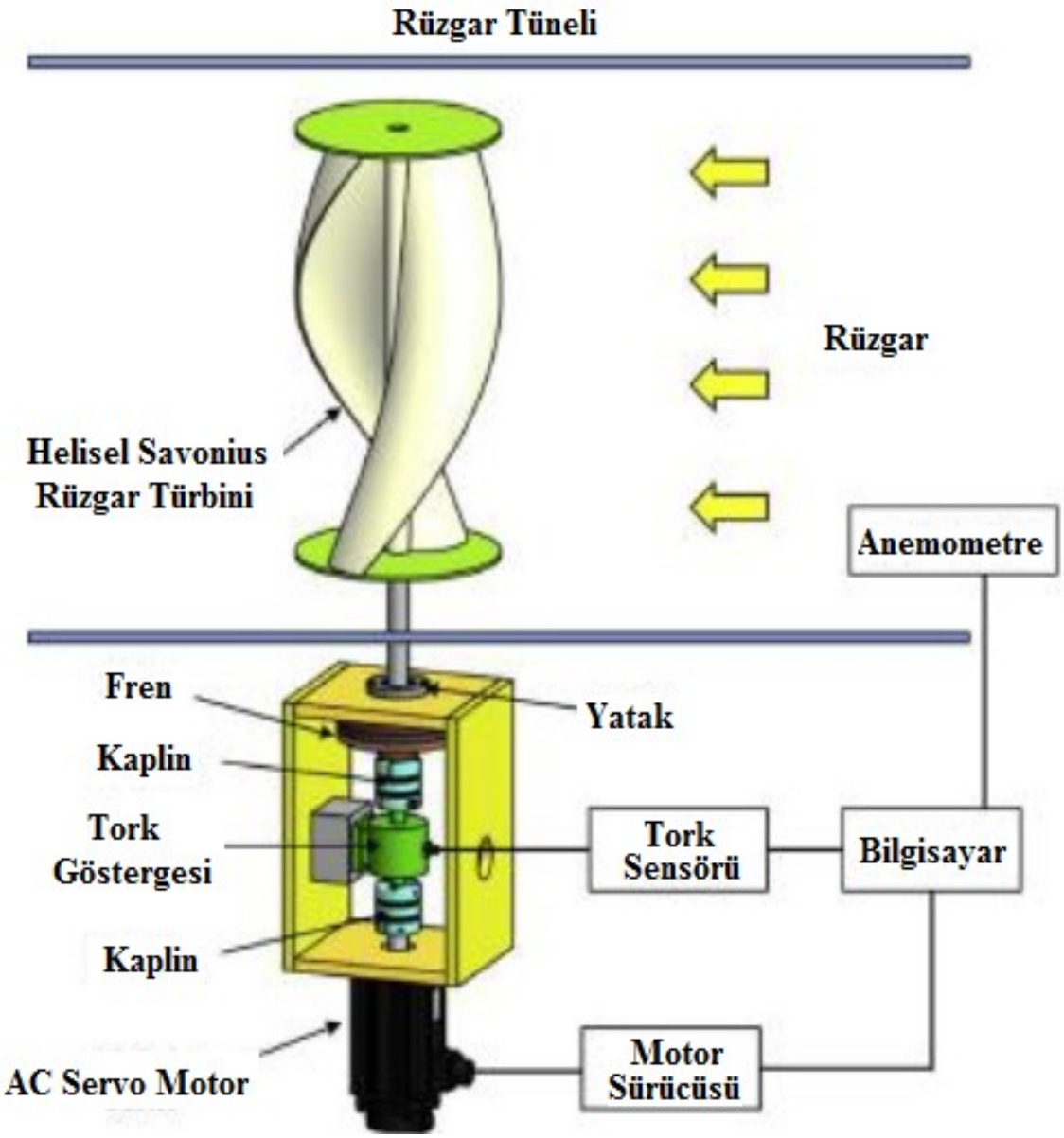
2.5.3.9.3. Savonius Türbini Ekipman ve Malzemeleri

Savonius türbini kanat örnek malzemeleri Şekil 2.50'de gösterilmektedir.



Şekil 2.50. Saç Kanat ve Metal Destekli Savonius Rüzgâr Türbini.

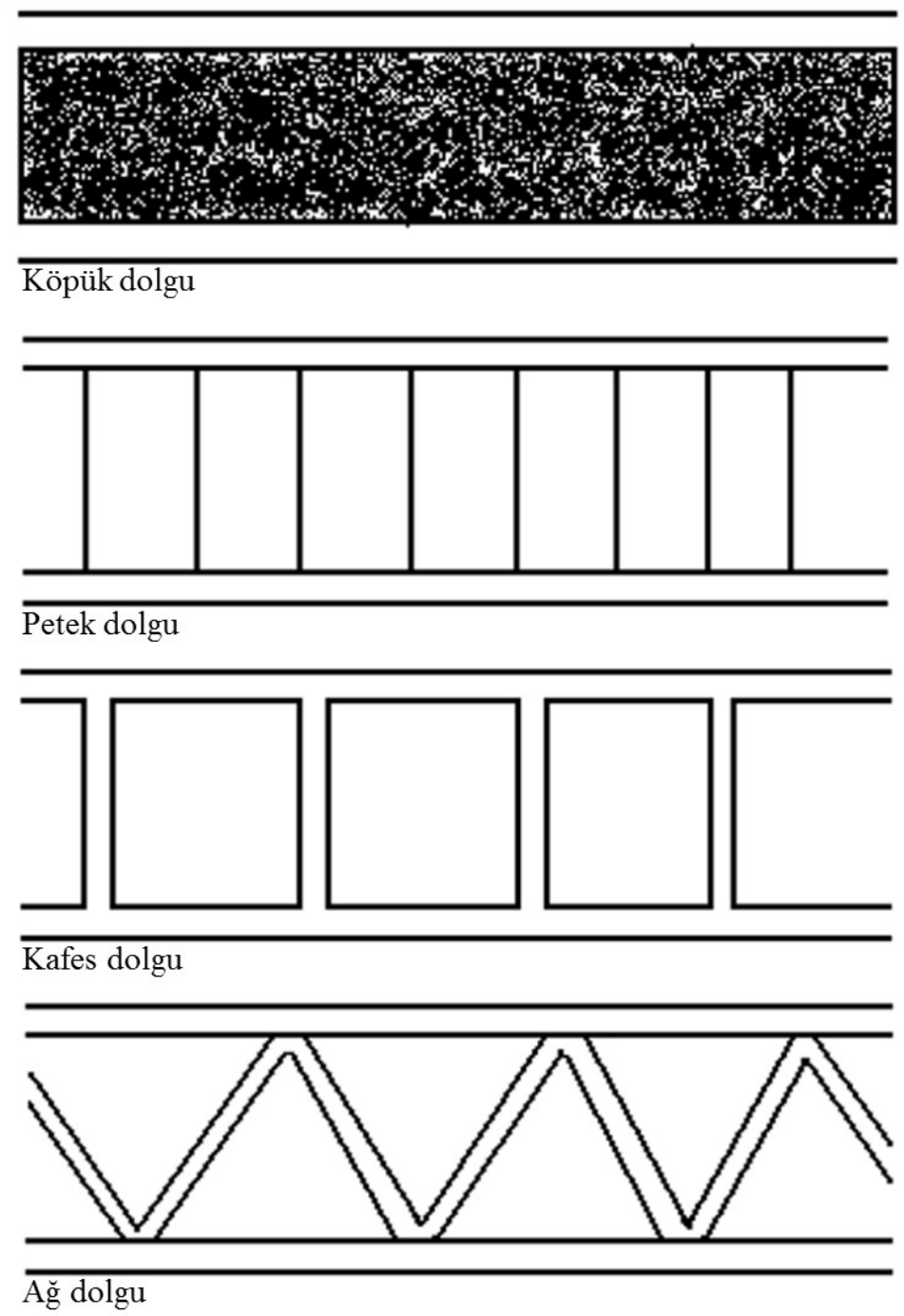
Şekil 2.51'de şematik olarak deney düzeneği ekipmanları ve açık devre ses altı rüzgâr tünelinde denenmiş hali göserilmiştir (Jeon, Jeong, Pan & Ryu, 2015).



Şekil 2.51. Rüzgâr Tünelindeki Savonius Rüzgâr Türbini Kompanentleri (Jeon, Jeong, Pan & Ryu, 2015).

2.5.3.10. Sandviç Kompozit Teorisi

Sandviç kompozit teorisi farklı mekanik özelliklere sahip malzemelerin, yüksek malzeme ve hafif yapıların yapılmasını destekleyen teoridir. Bu teoriyle yapılan yapılar uydu, uçak sanayi, rüzgâr enerji sistemleri gibi yerlerde kullanılmaktadır ve kullanımı günden güne artmaktadır. Kullanılan dört çeşit temel yapı vardır. Bunlar köpük dolgu, kafes dolgu, ağ dolgu ve petek dolgudur. Şekil 2.52'de farklı tip sandviç kompozitler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.52. Sandviç Kompozit Malzeme İçin Çeşitli Dolgu Tipleri.

Köpük dolgu ve petek dolgu ile elde edilen kompozit yapılarda malzeme üzerine etki eden yükler genellikle yanal eğilme yükleri ile levha içerisinde taşınır. Ancak bu tür yükler kafes ve ağ dolgu kompozitlerde dolgu ile taşınır. Köpük dolgu yapıları diğer dolgu yapılarına göre daha ucuz olduğu için daha yaygın bir kullanım alanına sahiptirler.

Sandviç kompozit yapıların genel özelliklerini tanımlayan denklemler genel olarak ince cidarlı kompozit malzemelerden üretilmiş malzemeler için kullanılan denklemlerle uygunluk göstermektedir (Tunca, 2009).

Kompozitlerin sanayi ve teknoloji uygulamalarında gittikçe artan oranlarda kullanımının nedeni malzeme teknolojisindeki gelişmelerdir. Kompozitler özellikle uçak sanayisinde ve daha pek çok sektörde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu teknoloji hakkındaki yapılan bilimsel çalışmalar daha yoğun bir şekilde devam etmektedir. Ayrıca malzemeler; özellikleri, yapıları ve ürün esneklikleri nedeniyle çeşitli sektör alanlarında farklı ihtiyaçları ve beklentileri karşılamaları açısından oldukça önemlidir. Kompozitler, farklı sektörlerde hem imalat yardımcı ekipmanları olarak hem de hammadde olarak kullanılırlar. Bu malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı başlıca sektörler ve bu sektörlerde kullanılan ürün tipleri; uzay teknolojisi, denizcilik sektörü, tıp alanı (Tıbbi cihazların imalatı), robot teknolojisi, kimya sanayisi, elektrik-elektronik teknolojisi, müzik aletleri endüstrisi, inşaat ve yapı sektörü, otomotiv sektörü, savunma sanayi ve havacılık sektörü, gıda ve tarım sektörü spor malzemeleri imalatı (yüksek atlama sırıkları, tenis raketleri, sörf, yarış tekneleri, kayak vs.) gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca hafif ve sağlamlığından dolayı rüzgâr türbinlerinde de kullanılmaktadır (Zor, 2018).

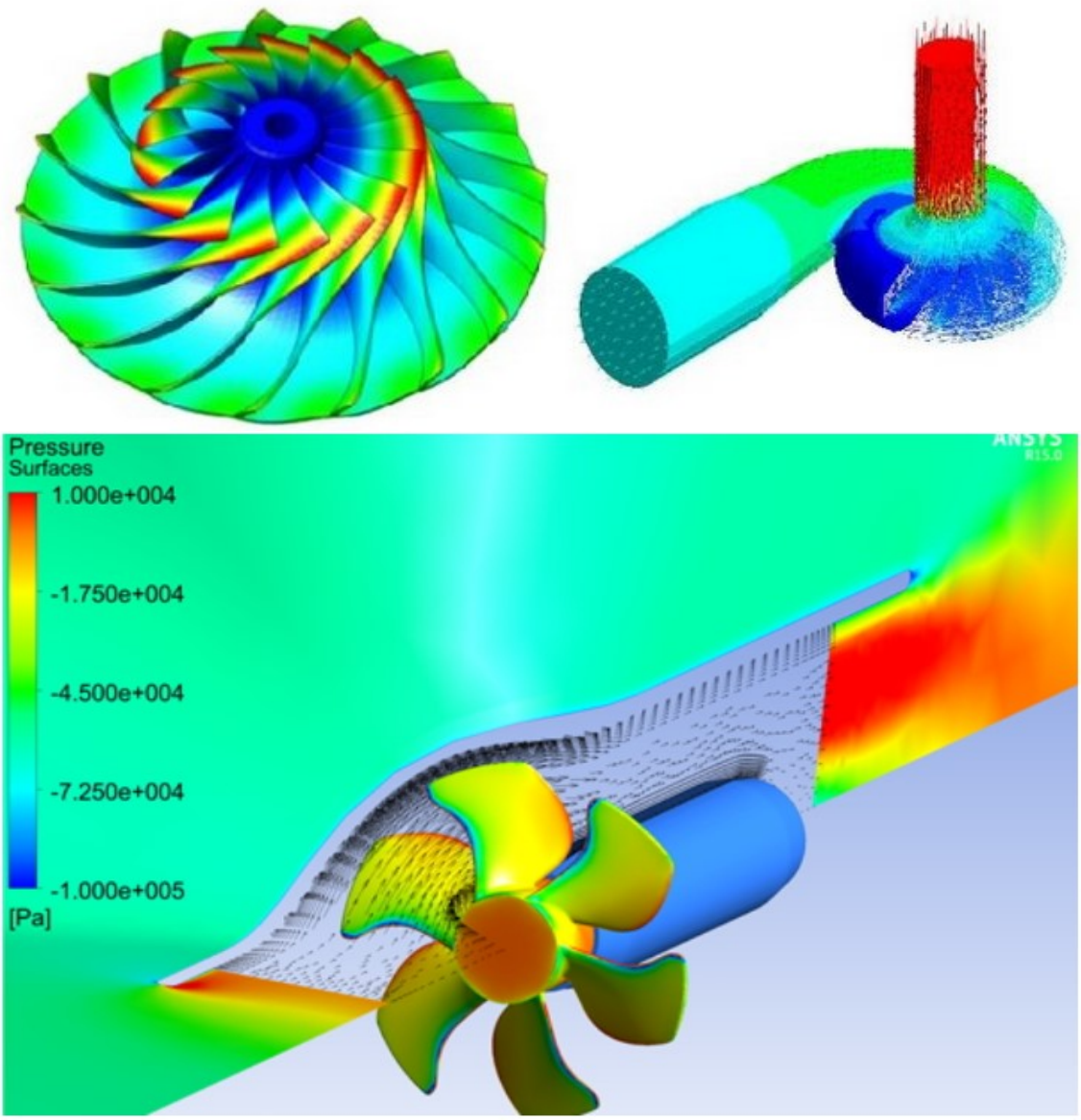
2.5.3.11. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonları (CFD)

Herhangi bir nesnenin veya yapının etrafından geçen akışkanın modellenmesine CFD analizi adı verilir. Sayısal yöntemlerle çözümü yapılarak matematiksel modellemeleri kullanıp akışkanın özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Sıvı-katı, sıvı-sıvı veya sıvı - gaz akışkanlarının etkileşimini içeren karmaşık problemleri analizi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD/CFD) sayesinde gerçekleşir. Bu analiz türü mühendislik alanlarında sıkça kullanılanılır. Çalışma şeklini anlayabilmek için örnek olarak otopark içerisinde yanan bir aracın jetfanların çalışmasıyla ortamdan dumanın uzaklaşma ve güvenli alan oluşturma süreci, hesaplamalı akışkanlar dinaiği hesaplamalarıyla mümkün olabilmektedir.

HAD/CFD analizi ve simülasyonları tasarımı oldukça kolaylaştırır ve tasarım sürecinin kısalmasına ve ciddi zaman tasarrufuna neden olur ayrıca veri elde etmek için geleneksel testlerle karşılaştırıldığında daha ucuz sonuçlar elde edilir dolayısıyla

mühendisler için oldukça önemli bir teknolojidir. HAD/CFD analizleri yardımı ile gerçekte yapılması gereken testleri farklı parametreler kullanarak istenilen sayıda analizler yapılabilir.

Üretim öncesi HAD/CFD analizi prototip aşamasına kadar tasarım, analiz, montaja alma ve uygulama konularında yardımcı olmaktadır. Bu analiz türü adaptif ağ inceltme (adaptive mesh refinement) çözüm yöntemi ile analiz hızını artırmakta ve daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 2.53'te örnek bir HAD/CFD analizi gösterilmiştir.



Şekil 2.53. Pompa Türbini ve Pervane Örnek Akış Analizi (CFD Analiz, 2018), (Bren, 2018).

BÖLÜM 3

MATERYAL YÖNTEM

3.1. Pilot Terfi Merkezi Enerji Verimliliği Ölçüm Çalışmaları

3.1.1. Pilot Terfi Merkezi Enerji Etütüdü Yöntemi Bileşenleri

Pilot terfi merkezinin seçiminde İSKİ'nin enerji tüketimindeki ilk 15 terfi istasyonu incelenerek çalışma şartlarının uygunluğu, tesis yaşı, kurulum aşamasından sonra tesisin hizmet verdiği şartların değişip değişmemesi gibi kriterlere göre değerlendirme yapılarak "İSKİ Yıldırım Beyazıthan Arıtma Tesisleri Temiz Su Terfi İstasyonu (Kâğıthane Terfi Merkezi) pilot tesis olarak seçilmiştir.

Kâğıthane terfi merkezi, Kâğıthane artıma tesisinde üretilen içme suyunun yüksek kot su depolarına veya içme suyunun cazibeyle verilemediği yüksek kotlara şebeke basıncında (3-8 bar) su iletimini sağlayan basınçlandırma istasyonudur. Tesis kurulu kapasitesi 330.000 m^3/gün' dür. Tesis bir pompa yedek bekletilerek işletildiğinde kabaca günlük 260.000 m^3 ve yıllık 95.000.0000 m^3 besleme kapasitesine sahiptir. Şekil 3.1'de kağıthane terfi merkezi giriş bölümü görülmektedir.



Şekil 3.1. Kağıtane Terfi Merkezi Girişi.

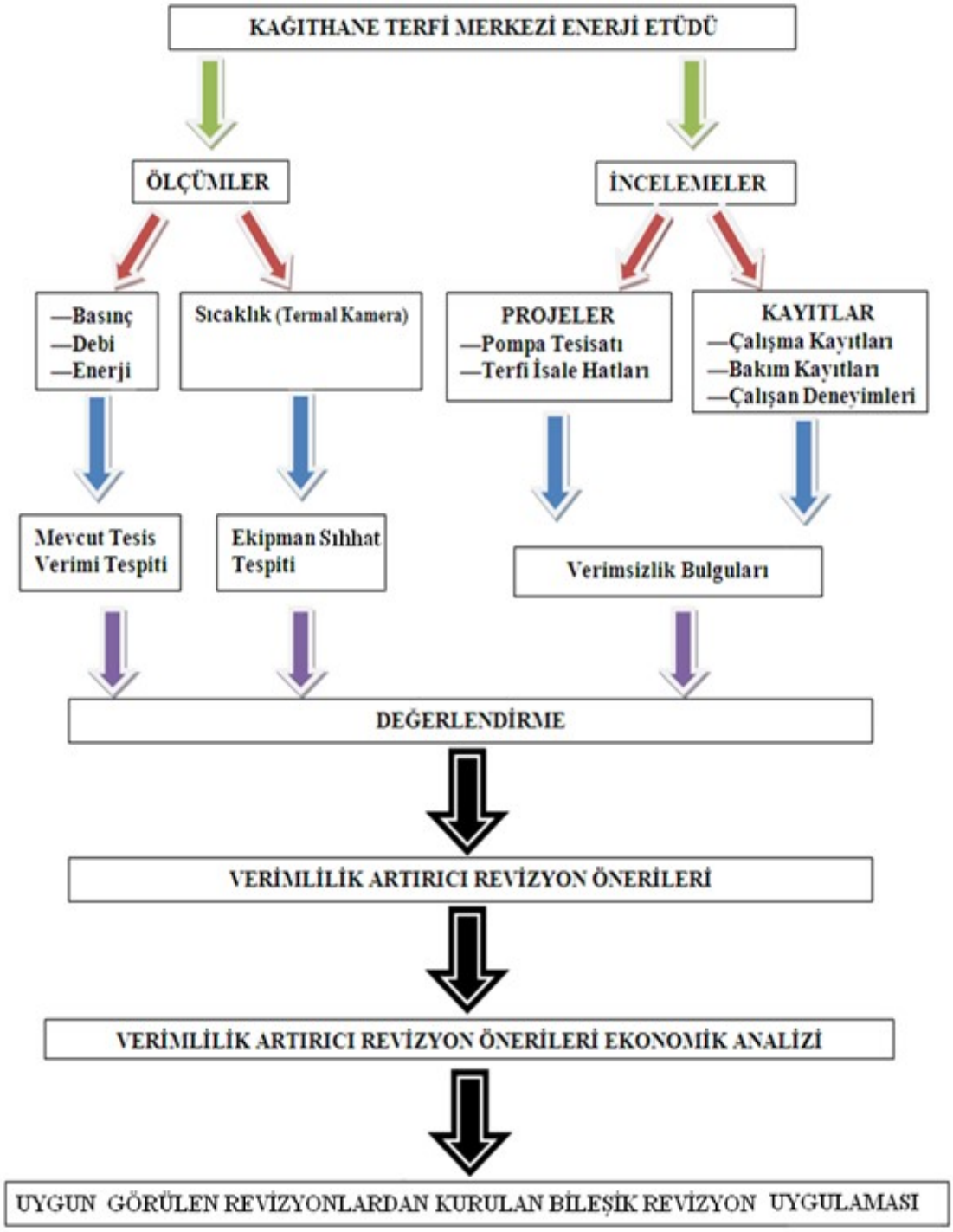
3.1.2.Enerji Etüt Çalışmasının Hedefleri

Kâğıthane Terfi Merkezi'nde yapılan pilot enerji verimliliği izleme ve etüt çalışmasının hedefleri; tesisin enerji tasarruf rezervinin belirlenmesi, mevcut enerji verimliliğinin tespiti, tesislerde kullanılan ekipmanın enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi ile enerji verimliliğini artıracak revizyonların proje hâline getirilmesidir. Bununla birlikte Kâğıthane terfi istasyonunda yapılan enerji etütleri sonucunda tespit edilen verimsizlik nedenleri diğer terfi merkezlerinde de irdelenerek terfi merkezlerinin genelinde verimliliğin artırılmasına yönelik adımların belirlnmesi olacaktır.

Burada yapılan çalışma ile tez çalışmasının terfi merkezi enerji verimliliğini klasik yönetemler dışında ölçümü ve izlenebilmesi için motopomp verimlilik tespitine yönelik kullanılabilecek alternatif yöntemlerin araştırılması hedeflenmiştir.

3.1.3. Enerji Etüt Çalışmalarının Kapsamı

Etüt çalışması sırasında anlık veri toplama ve tesissin yıllık enerji veri çıktıları da kullanılarak değerlendirme ve rapor çalışması olarak yapılmıştır. Etüt çalışması kapsamında terfi merkezinde kullanılan elektrik enerjisi bilgileri ve pompa hidrolik değerleri tesiste mevcut enerji analizörleri, barometre ve debimetre cihazları ile tespit edilmiş ve enerji verimliliği esas alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca mevcut hatların planlarının ve motopomp düzeninin verimliliğe etkisi araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Kâğıthane Terfi Merkezi enerji etüdü çalışma sistematiği özet şablon hâlinde Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Pilot Tesiste Uygulanan Enerji Etüdü Çalışma Sistematiği.

Kâğıthane terfi merkezi Alibeyköy-Kâğıthane, Hasdal, Levent ve Bomonti olmak üzere 4 kollektör çıkışına sahiptir. İsale hatlarının İSKABİS (İstanbul Su Kanal Bilgi Sistemi) programı üzerinden alınan uydu görüntüleri Şekil.3.3'te tesis motopomp yerleşimi Şekil 3.4'te görülmektedir. Kağıthane terfi merkezinde motopomplar Mp1-6 olarak numaralandırılmıştır.



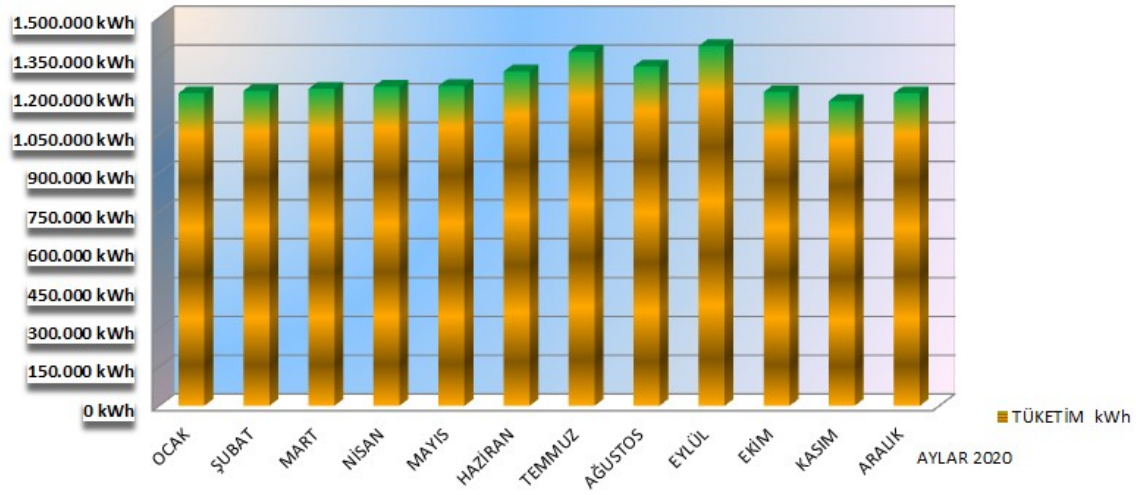
Şekil 3.3. Kâğıthane Terfi Merkezi İsale Hatları Uydu Görüntüsü.



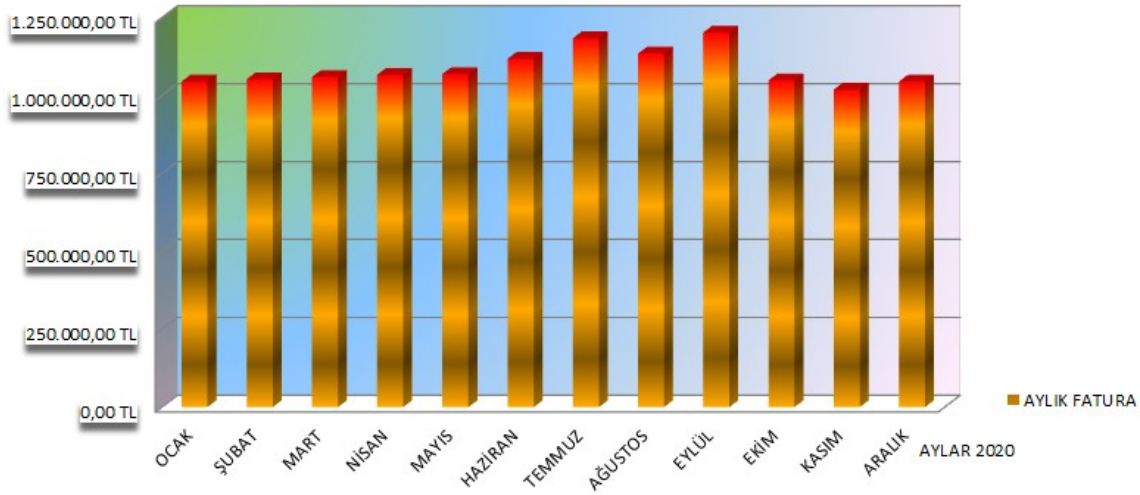
Şekil 3.4. Kâğıthane Terfi Merkezi Bina İçi Görüntüsü.

3.1.4. Yapılan Enerji Etüdü ve Verim Ölçüm Çalışmaları

Tesiste debi ölçümleri enerji ölçümleri ve basınç ölçümleri yapılarak mevcut motopompların verimleri ile sistem verimi ölçümü yapılmıştır. Kağıthane Terfi Merkezi enerji tüketimleri (İSKİ kurumsal verileri ile) yılda 15.85.324 kWh olarak aylara göre Şekil 3.5 ve maliyetleri ise 2021 yılına göre güncellenmiş olarak Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.5. Kağıthane Terfi Merkezi Aylara Göre Elektrik Tüketim Miktarları.



Şekil 3.6. Kağıthane Terfi Merkezi Aylara Göre Elektrik Tüketim Maliyetleri.

Şekil 3.7'de terfi merkezindeki motor kumanda panosu üzerinden okunan güç değeri verilmiştir.



Şekil 3.7. Motor Kumanda Panosu Üzerinden Okunan Motor Çekilen Güç Değeri.

Şekil 3.8'de terfi merkezindeki pompa giriş ve çıkışlarındaki basınç sensörleri ve manometre gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Pompa Giriş ve Çıkışından Basınç Ölçümü Yapılan Manometre ve Basınç Sensörleri.

Tesiste debi ölçümleri pompa emme ağızlarına yakın noktadan Şekil 3.9'da görülen şekilde yapılmıştır.



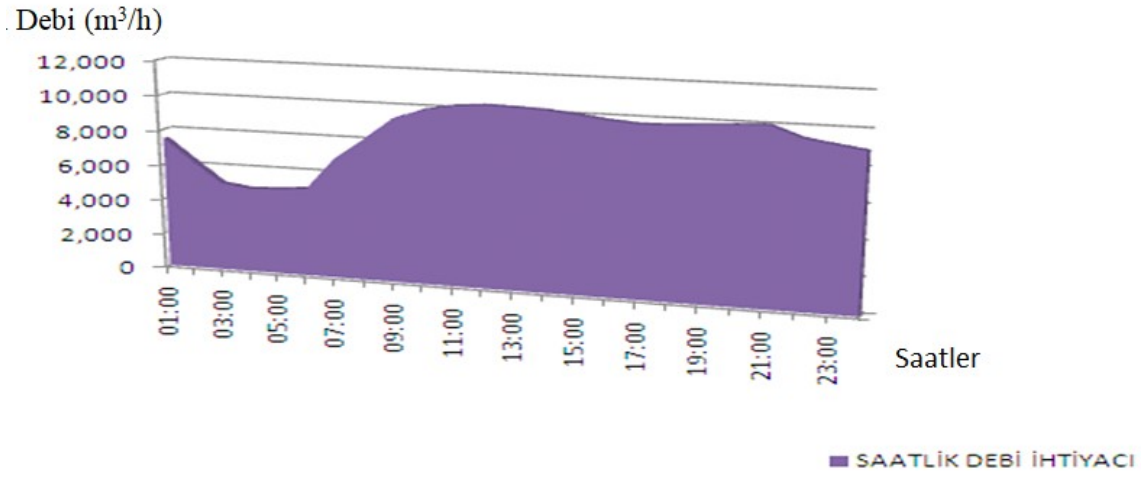
Şekil 3.9. Debi Ölçüm Çalışmasına Ait Görüntü.

Tesiste yapılan debi ölçümü sonuçları Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Kağıthane Terfi İstasyonu Saatlik Debi Değerleri (2018-2021).

SAAT	DEBİ (m^3)							
	27 MAYIS	28 MAYIS	29 MAYIS	30 MAYIS	31 MAYIS	1 HAZİRAN	2 HAZİRAN	Ort.Debi
01:00	7863	7049	6915	8147	8047	7202	7346	7510
02:00	6699	6272	5969	6120	6303	6236	6217	6259
03:00	5011	5685	4902	5151	4673	4917	5175	5073
04:00	5145	4712	4690	4783	4779	4890	5033	4862
05:00	5087	4965	4733	5049	4834	4997	5002	4952
06:00	5177	4783	4535	5276	4982	5433	5306	5070
07:00	7656	6437	5112	7205	6792	7634	7456	6899
08:00	8152	7392	5540	8581	8383	9769	8580	8057
09:00	9658	9139	7664	9522	9460	9872	9990	9329
10:00	10223	9700	9501	10003	9662	10263	9916	9896
11:00	10385	10090	10093	10259	9994	10328	10201	10193
12:00	10429	11030	10244	10189	9898	10340	10132	10323
13:00	10471	10825	10199	10148	9835	10334	10147	10280
14:00	10046	10400	10067	10404	10154	10110	10344	10218
15:00	9927	10147	9883	10397	9836	10049	10066	10044
16:00	9949	10021	9370	10126	9693	10076	9705	9849
17:00	9739	9492	9371	9961	9573	10055	9849	9720
18:00	9886	9265	9233	10093	10018	9908	9916	9760
19:00	10085	9340	9203	10089	9883	10343	10071	9859
20:00	10094	8979	9802	10331	10073	10080	10334	9956
21:00	10065	8562	9684	10495	10415	10335	10563	10017
22:00	9689	8201	9543	9971	9145	9637	9790	9425
23:00	9037	7668	9572	9849	9124	9531	9347	9161
00:00	8806	7120	9274	8969	9246	9464	9698	8939

Yapılan debi ölçümleri kullanılarak elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Saatlik Debi İhtiyacı Grafiği.

Yapılan debi ve basınç ölçümleri sonucunda tesis çıkış debisi kullanılarak, denklem 3.1'göre elde edilen düzeltilen debi değerleri ve ölçülen basınç değerleri ve motor giriş gücü değerleri kullanılarak; Şekil 3.4'deki motopomp numaraları (MP1-6) verilen farklı günlerde çalışan farklı motopomp grupları için Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 kullanılarak Çizelge 3.2'de görülen motopomp verim değerleri elde edilmiştir.

Debi düzeltme formülü;

$$DD = (\sum_{\text{Terfi Debisi}} / \sum_{\text{ÖDB}}) \text{ x ÖDB} \quad (3.1)$$

Düzeltilen debi Denklem 3.1'den hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2. Kağıthane Terfi Merkezinde Etütler Sonucu Tespit Edilen Motopomp Verimleri.

ÖLÇÜLEN MOTOPOMP VERİMLERİ						
SAAT 10:15-10:30						
	VERİM	**ÖLÇÜLEN DEBİ(ÖDB) (m3/h)**	**DÜZELTİLEN DEBİ(DD) (m3/h)**	**GİRİŞ BASINCI mSS**	**ÇIKIŞ BASINCI mSS**	**ÇEKİLEN GÜÇ kW**
MP2	0,69	1980	2318,6	6.8	59,3	476
MP3	0,69	2230	2611,3	6.8	59,3	538
MP4	0,76	2200	2576,2	6.8	60	488
MP5	0,74	2215	2593,76	6.8	60,1	503
∑debi		8625	10100*			
ÖLÇÜLEN MOTOPOMP VERİMLERİ						
SAAT 10:15-10:30						
	VERİM	**ÖLÇÜLEN DEBİ(ÖDB)**	**DÜZELTİLEN DEBİ(DD)**	**GİRİŞ BASINCI**	**ÇIKIŞ BASINCI**	**ÇEKİLEN GÜÇ**
MP1	0,64	2000	2342	6,6	57,6	506
MP2	0,68	1980	2318.58	6,6	57,7	476
MP4	0,75	2300	2693.3	6,6	58,1	500
MP6	0,62	1700	1990.7	6,6	57,3	440
∑debi		7980	9344.58*			
ÖLÇÜLEN MOTOPOMP VERİMLERİ						
SAAT 10:00-10:30						
	VERİM	**ÖLÇÜLEN DEBİ(ÖDB)**	**DÜZELTİLEN DEBİ(DD)**	**GİRİŞ BASINCI**	**ÇIKIŞ BASINCI**	**ÇEKİLEN GÜÇ**
MP1	0,67	1907	2222	6,7	59	470
MP2	0,66	1920	2237	6,5	59,3	485
MP4	0,76	2250	2620	6,6	59,8	495
MP5	0,72	2163	2520	6,5	60	510
MP6	0,60	1550	1811	6,5	59	430
∑debi		9790	11410*			2390
*:$\sum_{\text{Terfi}}$ Debisi						

Çizelge 3.2'de görülen pompa verim değerlerinin tesis verimi ile denklem 3.2 kullanılarak düzeltilmesi ile nihai pompa verimleri Çizelge 3.3'deki haliyle elde edilmiştir.

Verim düzeltme formülü;

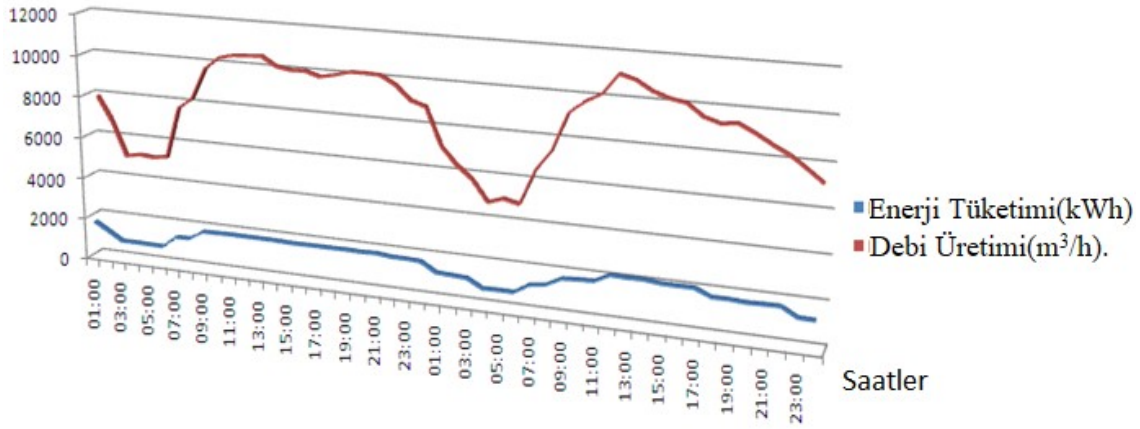
$$[(\eta_{mp}+\eta_{tesis})/2+\eta_{mp}]/2 \quad (3.2)$$

Çizelge 3.3. Kağıthane Terfi Merkezi Tespit Edilen Pompa Ortalama Motopomp Verim Değerleri.

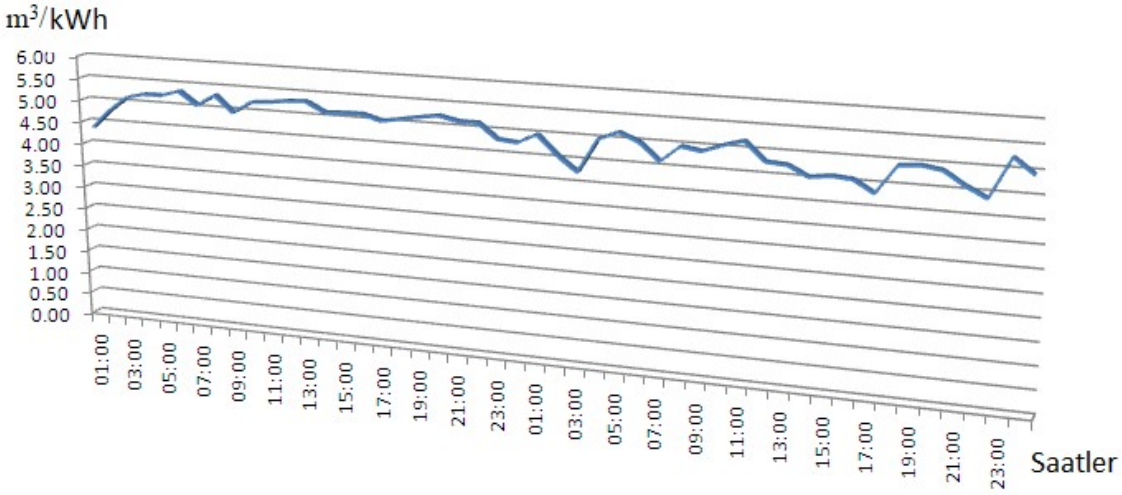
ÖLÇÜLEN ORTALAMA MOTOPOMP VERİMLERİ						
MP1	**MP2**	**MP3**	**MP4**	**MP5**	**MP6**	**TESİS VERİMİ**
0,66	0,68	0,69	0,75	0,73	0,62	0,715
Not:ölçülemeyen debi değerleri interpolasyon ve gerçek debi üzerinden ölçülen toplam debi ile düzeltilmesiyle bulunmuştur.						
ÖLÇÜLEN POMPA VERİMLERİNİN TESİS VERİMİ İLE DÜZELTİLMİŞ VERİM DEĞERLERİ						
MP1	**MP2**	**MP3**	**MP4**	**MP5**	**MP6**	**TESİS VERİMİ**
0,67	0,68	0,69	0,74	0,72	0,64	0,715
Açıklama: Ortalama tesis verim değeri (η_{tesis}) motor verim değeri (η_{mp}) arasında ölçülen motor değerine yakınsayarak düzeltilmiş değer oluşturulmuştur. (virgülden sonra üçüncü hane ihmal edilmiştir)						

3.1.4.1. Debi Üretim ve Enerji Tüketim Analizleri

Kağıthane terfi merkezine ait Üretim – Tüketim grafiklerinin analizi Şekil 3.11, Şekil 3.12'de görülmektedir.

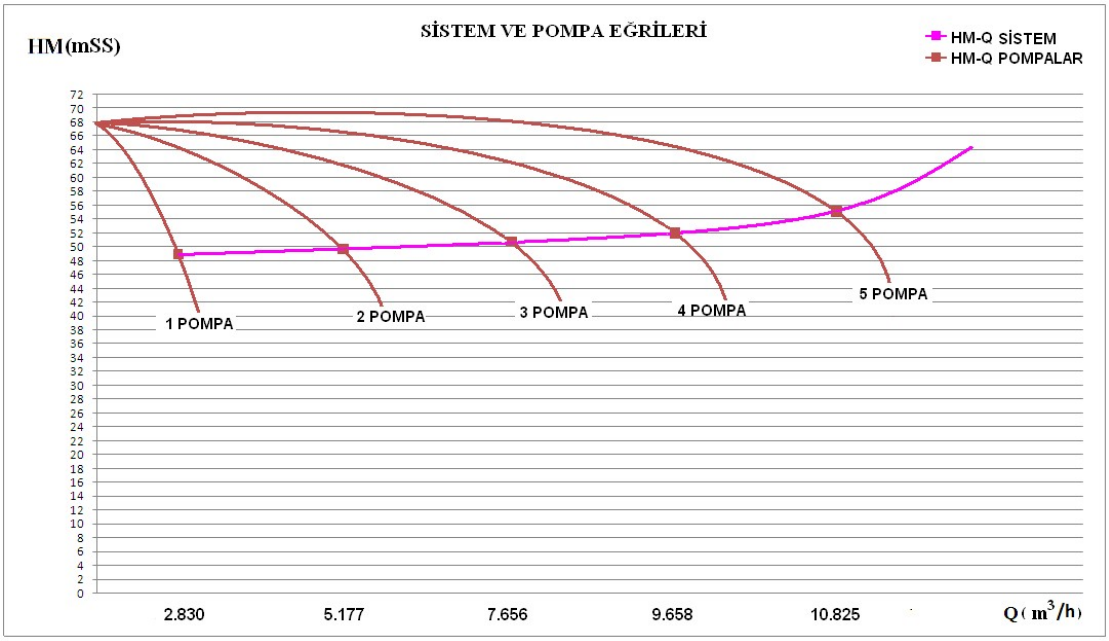


Şekil 3.11. Saatlik Enerji Tüketimi (kWh), Debi Üretimi (m^3/h).



Şekil 3.12. Birim Enerji Başına Transfer Edilen Debi Miktarları.

Tek pompalı tesis çalışmasından 5 pompalı tesis çalışmasına kadar çıkış kollektör basıncı ve çıkış debisi ölçümleri üzerinden iki noktadan geçen eğriler oluşturularak tesis sistem eğrisi ve Hm-Q grafiği Şekil 3.13'de gösterilen biçimde elde edilmiştir.



Şekil 3.13. Kâğıthane Terfi Merkezi'nde Ölçülen Debi Basınç Değerleri Üzerinden Sistem Eğrisi.

Kâğıthane Terfi Merkezi'nde motopomplarda termal kamera ile verimsizlik noktalarını tespit etmeye yönelik sıcaklık ölçümleri Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te görülen şekilde yapılmış ve analiz edilmiştir. İnceleme sonuçları Çizelge 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.14. Motor Sıcaklıklarının Termal Kamera ile Ölçümü.



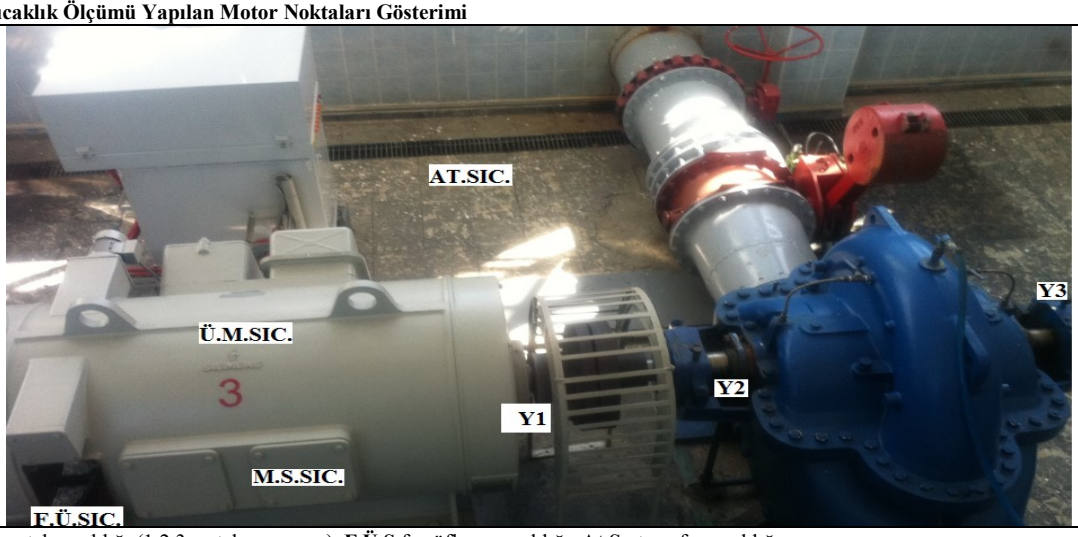
Şekil 3.15. Motopomp Kaplin ve Yatak Sıcaklıklarının Termal Kamera ile Ölçümü.

Çizelge 3.4. Motopomplarda Termal Kamera Ölçümlerinin Yapıldığı Noktalarda Ortalama Değerler ve Analizler.

	ORTALAMA MOTOPOMP SICAKLIK YEREL DEĞERLERİ							
	Y1	**Y2**	**Y3**	**F.Ü.S.**	**At.S.**	**Ü.M.S.**	**M.S.S.**	**GÜÇ(KW)**
MP1	44,6	53,8	50	54,4	32,3	53,5	61,6	480
MP2	43,5	68,25	47,8125	52,625	32,75	50	56,12	468
MP3	43,7	38,8	44,78	55,7	32,14	52,28	63,35	533
MP4	46,2	42,5	54	48,875	33,25	52,75	59,25	472,25
MP5	49,2	35,25	40,91667	53	35,12	57	86,3	496,42
MP6	51	40,17	42,25	51,625	34,04	53,46	67,5	431,17
Nominal	40	38	38	50	33	50	-	-

Kırmızı:Astronomik değer. Turuncu: nominal değerden uzak mavi:nominal değerden küçük

Sıcaklık Ölçümü Yapılan Motor Noktaları Gösterimi



Y:yatak sıcaklığı (1.2.3 yatak numarası). **F.Ü.S**:fan üfleme sıcaklığı. **At.S:**atmosfer sıcaklığı
Ü.M.S:motor üst sıcaklığı.**S.S:**motor sargı sıcaklığı

Kırmızı renkli hücrelerin ait olduğu yataklarda balans ayar ve rulman değişimi gözden geçirilmelidir.

3.1.5. Ekipman Durumu ve İsale Hatları Basınç Kayıpları

Kâğıthane terfi merkezi 1970 yılında 4 motopomp ile projelendirilmiş ve 1974 yılında devreye alınmıştır. Daha sonra 1998 yılında kollektör hattına yapılan tadilatla 5. ve 6. Pompalar sisteme eklenmiştir. Tesiste iki tip motopomp grubu olup tip-1 grubu 1, 2, 3, 4, numaralı motopomplardır. 1973 yılı üretimli olan tip-1 motopomplar 48 yıldır hizmet vermektedir. Tip-2 grubu 5 ve 6 numaralı motopomplar 1991 yılı üretimli olup devreye alma tarihinden başlayarak 2022 tarihi itibariyle 21 yıldır kullanılmaktadırlar. Tesiste kurulu trafolarda yapılan tadilat ve parça yenilemeler dışında kurulum tarihinde alınan ekipmanlarla hizmet vermektedir.

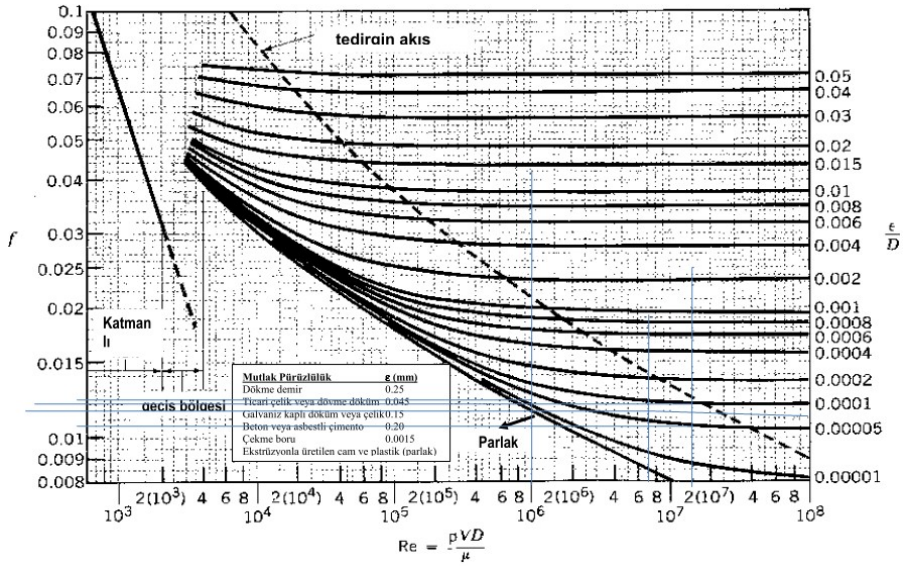
Kâğıthane terfi merkezi su isale hatların İSKİ Su Proje Müdürlüğü'nden alınan hat uzunlukları üzerinden moody diyagramı ve Denklem 3.3 kullanılarak;

$$H_L = f_f \frac{L}{d_b}, Re = \frac{u.d_b.\rho}{\mu}, \varepsilon_R = \frac{\varepsilon}{d_b} \tag{3.3}$$

hesaplanan hat basınç kayıpları Çizelge 3.5'de görülmektedir. Hat basınç kayıpları ve hatların maksimum kotları Denklem 2.1'de kullanılarak her bir hat için gerçek Hm değerleri belirlenmiştir. Basınç kaybı hesabında iletim hatları dışındaki şebeke dağıtım hatlarındaki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.

Çizelge 3.5. Hat Basınç Kaybı Hesapları.

	Levent	Bomonti	Alibeyköy-Kâğıthane	Hasdal
Mat çapı (mm)	Ø1600	Ø1000	Ø600+Ø400	Ø1000+Ø600
Ortalama hız (m/s)	0,59	0,98	1,65	0,45
İsale hat uzunluğu (m)	2578	3680	3450	900
Max. Hat Kotu	140	119	93	95
Reynold Sayısı	1.046.750,28	1.739.985,53	2.070.799,21	791.157,95
εr (bağıl pürüzlülük)	0,0000281	0,0000450	0,0001125	0,0000750
Sürtünme katsayısı	0,0125	0,0110	0,0125	0,0120
(JxL) Hat Basınç kaybı (mSS)	0,36	1,98	4,97	0,18
Ortalama Debi (m3)	4262	2767	823	453



Moody Diyagramı

Hm = GBK – X + JxL + GB dir.

JxL : Boruda oluşan yük kaybı (Q35'e göre hesaplanacaktır) (m).
GBK : Hat sonundaki deponun giriş boru kotu (m)
GB : Hat sonundaki depoda istenen giriş basıncı (m)
X : Hat başındaki depoya ait krepin kotu, (m)

3.1.6. Kâğıthane Terfi İstasyonu Verimlilik Artırıcı Revizyonların Değerlendirilmesi

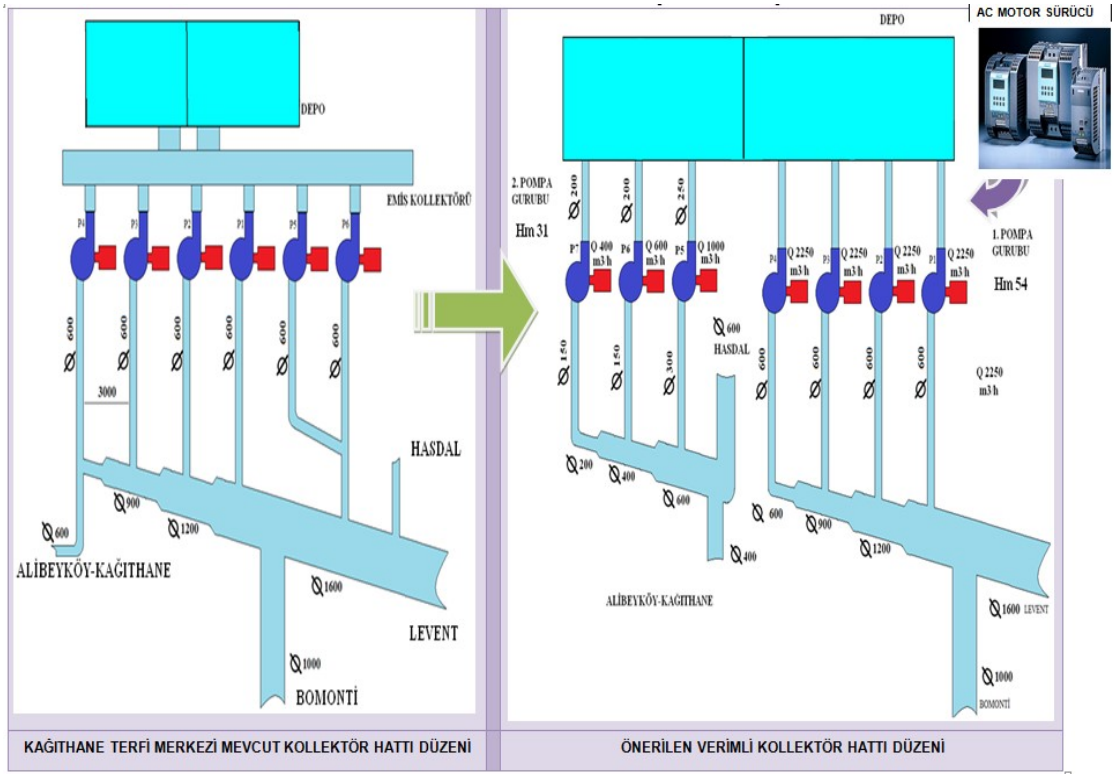
Kâğıthane Terfi Merkezi'nde belirlenen enerji verimliliğini artıcı revizyonlar Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin bugünkü değer yöntemine göre Denklem 3.4'de verilen biçimde yatırım değerlemesine tabi tutularak Çizelge 3.6'da sonuçları verilmiştir.

$$BD = \left[\text{Yıllık getiri x } ((1+\text{İO})^{\text{yeö}} - 1)\right] + \left[\text{Hurda değeri x}(1/1+\text{IO}^{\text{yeö}})\right] \quad (3.4)$$

Çizelge 3.6. Verimlilik Artırıcı Revizyonların Uygunluk Değerlendirmesi.

NO	REVİZYON ÖNERİ ADI	YILLIK GETİRİ (USD)	HURDA DEĞERİ (USD)	EKONOMİK ÖMRÜ (YIL)	İLK YATIRIM MALİYETİ (USD)	BD (USD)	UYGUNLUK
1	Kolektör Hattının Düzenlenmesi	30.784,42	2.025,06	15	3.801,20	293.836,13	UYGUN
2	Tesis Uygun Çalışma Basıncının Belirlenmesi ve Değiştirilmesi	12.241,57	0,00	15	0,00	116.768,93	UYGUN
3	Çalışma Basıncı Farklı Hatların Ayrılması Basınçlarına Göre Uygun Pompa Çalıştırılması	15.801,98	40.940,08	15	30.705,27	154.615,39	UYGUN
4	Çelebi Mehmet Han Arıtma Tesisi Terfi Merkezi Atıl Kapasitesinin Kullanımı	105.008,57	396.410,45	15	1.223.026,32	1.039.262,13	UYGUN DEĞİL
5	Depoların Büyütülmesiyle Gece Puantında Çalışma	174.358,20	47.111,95	15	1.926.355,44	1.667.624,67	UYGUN DEĞİL
6	Motor Ve Pompaların Yenilenmesi	113.085,86	56.373,54	15	376,90	1.084.043,69	UYGUN
7	AC Motor Sürücü Kullanımı	166.323,20	5.548,74	10	1.111,84	634.318,24	UYGUN
8	**Bileşik Revizyon Önerisi**	227.805,77	49.210,01	15	415.933,64	2.177.645,22	UYGUN
BD= [Yıllık getiri x ((1+IO)^{Yeö} -1)] +[Hurda değeri x(1/1+IO^{Yeö})] (EİE yayınları)							
BD: Bugünkü değer							
IO: Iskonto oranı= 0,17 (http://www.tcmb.gov.tr/yeni/reeskont/reeskont.html)							
Yeö:yatırımın ekonomik ömrü (http://www.gib.gov.tr/fileadmin/user_upload/Yararli_Bilgiler/amortisman_oranlari2011.html)							
DEĞERLEME							
BD > Yatırım Maliyeti olduğunda ➔Uygun							
BD < Yatırım Maliyeti olduğunda ➔Uygun Değil							

Değerlendirme sonucunda yapılması uygun olarak tespit edilen verimlilik artırıcı revizyonların birlikte uygulandığı "Bileşik Revizyon Önerisi" Şekil 3.16'da şematik olarak gösterilmiştir,



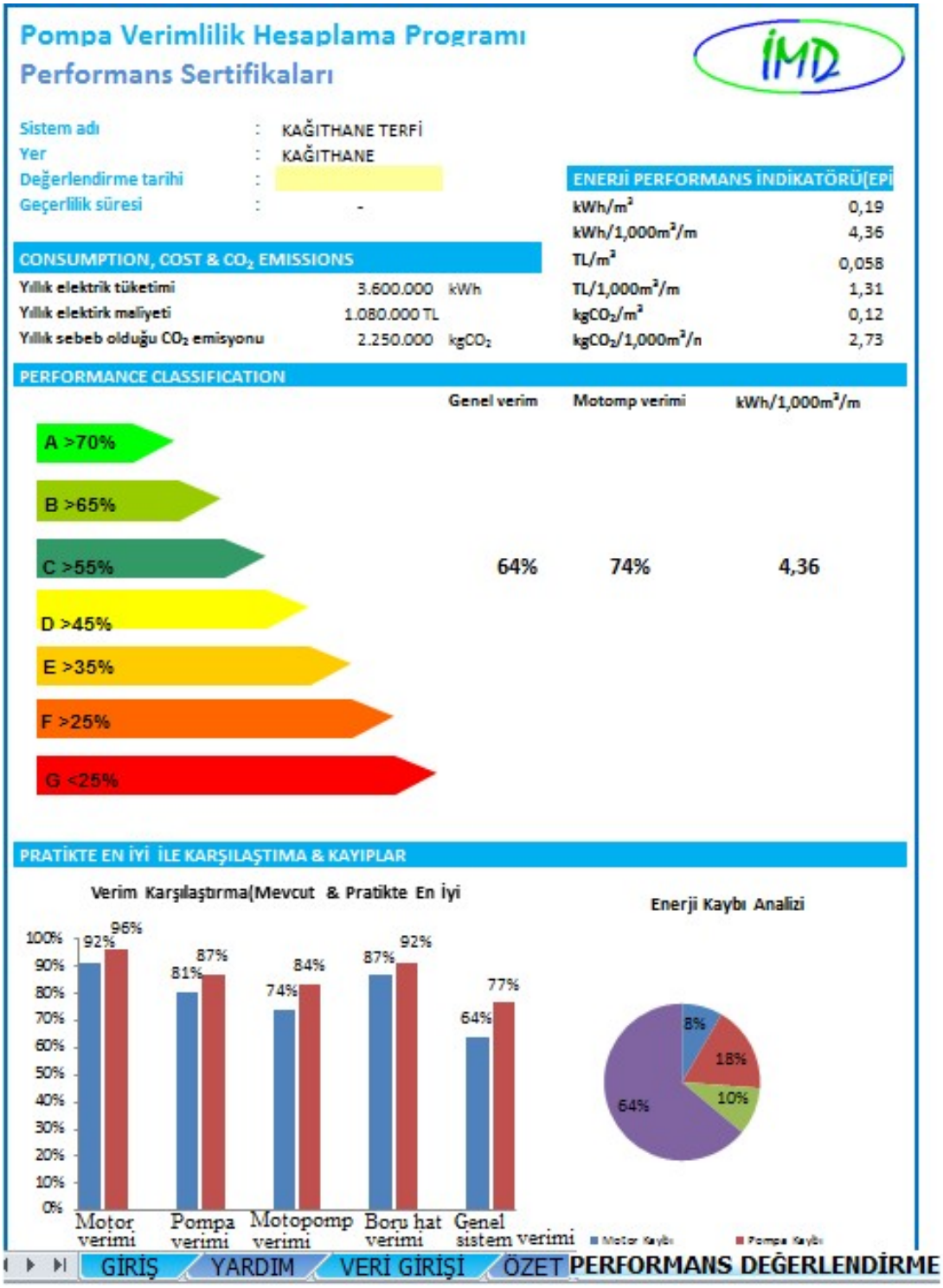
Şekil 3.16. Kâğıthane Terfi Merkezi'nde Önerilen Bileşik Revizyon Önerisinin Şematik Gösterimi.

Verimlilik artırıcı revizyon ihtiyacının sebebi ile revizyon önerilerinin kısa açıklamaları Çizelge 3.7'de sırasıyla "Açıklama" ve "Önerilen Çözüm" sütunu altında anlatılmıştır. Çizelge 3.7'de gösterilen biçimde; yılda yaklaşık 2.198.000 kWh yani yılda 227.806 USD tasarruf sağlayacağı ve 415.933 USD ve ilk yatırım maliyetini 1,6 yılda karşılayacağı ortaya konmuştur.

Çizelge 3.7. Kâğıthane Terfi Merkezi'nde Önerilen Verimlilik Artırıcı Çözümlerin Liste Gösterimi.

	VERİMSİZLİK TESPİTLERİ	AÇIKLAMA	ÖNERİLEN ÇÖZÜM	YATIRIM MALİYETİ	SAĞLANACAK YILLIK TASARRUF	GERİ ÖDEME SÜRESİ
Problem–1	Kollektör Hatlarında Yapılan Ve Terfi Merkezi Yapım Projesine Uygun Olmayan Tadilatlar	Kollektör hatları 1998'de 2 adet yeni pompa eklenmesiyle değiştirilmiş yine yakın zamanda pompa istasyonu deposunda yapılan tadilat nedeniyle projede olması gereken tesisat bozulmuştur. Oluşan yeni tesisat birçok dirsek içermesi nedeniyle basınç ve enerji kaybına yol açmaktadır.	—Kollektör hattında dirsek oluşumu asgariye indirilerek ilk yapım projesindeki şekliyle depolara her bir pompanın doğrudan bağlanması —Farklı çalışma basınçlarındaki pompaların guruplara ayrılması ve her gurupta ihtiyaç duyulan çalışma basıncına uygun pompaların yerleştirilmesi —(Tüketim / harcanan enerji) değerinin verimli seviyede sabit tutulmasının sağlanması için her pompa gurubunda birer adet AC motor sürücü(frekans konverteri kullanılması)	415.933 USD (2021))	227.806 USD (2021)	1,6 YIL
Problem–2	Çalışma Basıncı (HM) Değerleri Farklı Hatların Tek Kollektörle Çalıştırılması	İSKABİS üzerinden su isale hatları incelenen Kâğıthane terfi merkezinin hatlarının farklı çalışma basıncı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Buna göre Kâğıthane-Alibeyköy ve Hasdal hatları 31 mSS iken bomonti ve levent hatları 54 mSS bu hatları aynı kollektörle çalıştırmak ihtiyaç olmayan bir basıncın oluşturulmasıyla verimsizliğe neden olmaktadır.				
Problem–3	Motor ve Pompaların Değişken Yüklerde Çalışması	Basınç ihtiyacı aynı olan hatların debi ihtiyacının gün içinde saatlik farklı olması nedeniyle değişmektedir paralel pompa çalışması ile kısmen ayarlanabilmekle birlikte kararlı ve verimli bir (birim tüketim / harcanan enerji) grafiği (m3/kwh) oluşmamaktadır.				

Çalışmada debi, basınç ve enerji ölçümlerine dayalı klasik yöntemlerle yapılan terfi merkezi verimlilik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu yöntemin diğer terfi istasyonları için de uygulanabilir "motopomp verimlilik hesaplama programı" microsoft excel tabanlı olarak ve temelde *Tipperary Enerji Ajansı, Midlands Enerji Ajansı ve Kerry County Konseyi* tarafından geliştirilen bir program üzerinden üretilmiştir. Şekil 3.17'de klasik yöntemle mototpomp verim hesaplama programı sonuç özet ekranı gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Çalışmada Üretilen Klasik Yöntemle Motopomp Verimi Hesaplama Programı Ekranı.

3.2. Deneysel Çalışma Ortamında Sıcaklık ve Titreşim Ölçümleriyle Motopomp Verimlerinin Tayini

Kâğıthane Terfi Merkezi'nde yapılan enerji verimliliği tespitleri ve verimlilik artıcı revizyonların ortaya konması sonucunda aynı yıllarda kurulan farklı verimlerdeki motor ve pompalar (motopomplar) için farklı sıcaklık ve tireşim değerleri görülmüştür. Verimsizlik sonucu kaybolan enerjinin temel olarak titreşim ve ısıl kayıplarla meydana gelmesi nedeniyle verimsizlik miktarının istatistik temelli olarak;

$$\text{Verim}=\frac{\text{Motopompa verilen elektriksel güç - verimsizlikle kaybolan titreşim ve ısı}}{\text{Motopompa verilen elektriksel güç}} \quad (3.5)$$

Şeklinde tespitine yönelik bir değerlendirme yönteminin kullanılıp kullanılamayacağının araştırılması amaçlanmıştır.

3.2.1. Verim ile Motor Pompa Sıcaklıkları İlişkisi

SPSS programında termal resimlerin matlab programında sayısallaştırılması sonucunda verimle termal resimler arasında doğrudan bir ilşki bulunamamıştır. Bunun yerine motopomp üzerindeki belli noktaların;

- Motor üstü noktasal sıcaklıklar,
- Fan üfleme sıcaklığı,
- Kaplin sıcaklığı,
- Çevre sıcaklığı.

Ölçümleri alınarak bir model üzerinden oluşturulacak bağıntıların matlab arayüzüne işlenmesi şeklinde istatiski olarak bağıntı kurularak formülize edilebileceği değerlendirilmiş ve bu konuda yapılmış olan örnek modellerden elektriksel benzeşim metodu ayrıca incelenmiştir. Oluşturulacak bir deney düzeneği üzerinde farklı verimlerde motopomp için sıcaklıkların incelenmesine karar verilmiştir.

3.2.2. Verim ile Motor Pompa Titreşim İlişkisi

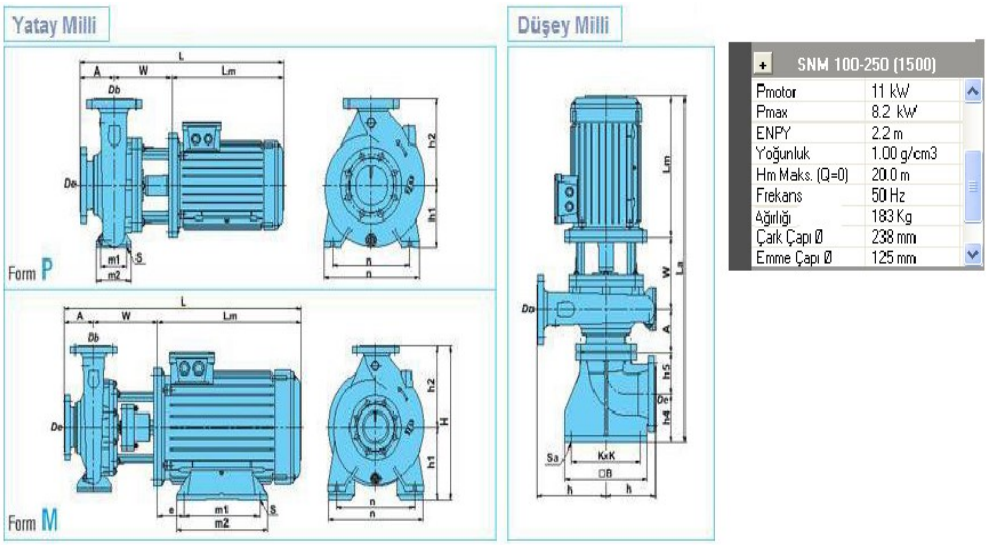
Titreşim bir kütlenin birim zamanda yapmış olduğu periyodik harekettir. Bu hareketi yapan kütlenin hız ve ivmesiyle doğru orantılı olarak enerji kaybı enerjinin korunumu presiplerine göre tespit edilebilecek bir olgudur. Bu çalışmada motor ve

pompa ile üzerinde bulundukları yerleşik kaide kütlesel hareketin x, y ve z yönlerindeki hareketleri sabitleme ayakları üzerinden ölçülecek titreşim değerleri ile verim arasında istatistiki olarak bir bağıntının formülize edilebileceği değerlendirilmiştir. Oluşturulacak bir deney düzeneği üzerinde farklı verimlerde deney motopomp düzeneği için titreşimlerin incelenmesine karar verilmiştir.

3.2.3. Motopomp Deneysel Çalışma Test Düzeneği

Kâğıthane terfi istasyonu sürekli hizmete dönük çalışmakta olan bir tesis olması nedeniyle, motor ve pompaların farklı basınçlarda test amaçlı çalıştırılması mümkün olmamıştır. Bu nedenle İSKİ Kâğıthane tesisleri atölyeler bölümünde oluşturulan motopomp test düzeneği üzerinden verimlilik ile termal kamera görüntüsü ve titreşim arasındaki ilişiki varlığı irdelenmeştir.

İSKİ Kâğıthane yerleşkesi atölyeler kısmında bulunan ve İSKİ kuyularına konulan dalgıç pompaların test edildiği pompa test düzeneği üzerine Şekil 3.18'de ölçü ve detayları görülen 11 kW elektrik motoru ile 90 m^3/h, 18 mSS etiket değerlerine sahip yatay milli santrifüj pompa gerekli testlerin yapılması için adapte edilmiştir. Sürgülü vanalar ile 0-19 mSS basınç ve 37-0 l/sn debiler arasında pompa ve motor gurubu üzerinden X-Y-Z yönlerinde titreşim ölçümü ve termal görüntüleme yapılmıştır. Test düzeneği kontrol paneli Şekil 3.19'da, test düzeneği ekipmanları Şekil 3.20'de verilmiştir.



Model	SNM 100-250	A	140	m1	120	La	1163
kw	11	W	247	m2	160	KxK	280
rpm	1500	Lm	476	n1	315	B	340
De	125	L	863	n2	400	Sa	19
Db	100	H	505	S	19	kg-Form V	247
kg	183	h1	225	h3	200		
Motor IEC	160M	h2	280	h4	155		
Form	P	e	-	h5	145		

Şekil 3.18. Deneyde Kullanılan Motopomp Ölçüleri ve Değerleri.



Şekil 3.19. Motopomp Test Düzeneğine Ait LCD Kontrol Paneli.



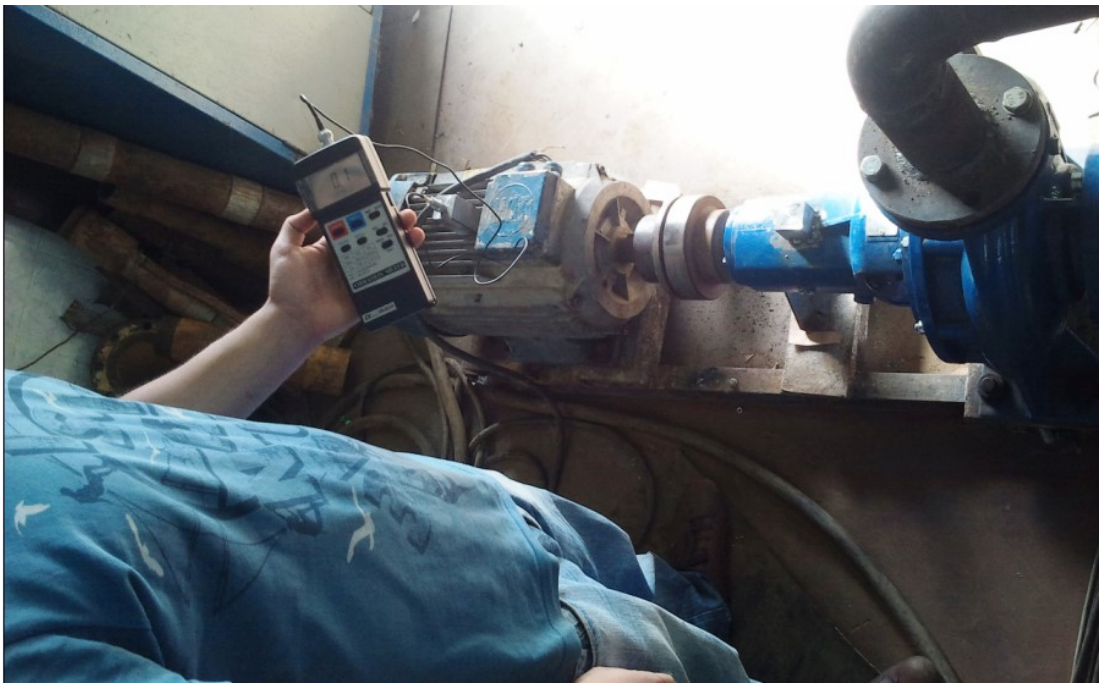
Şekil 3.20. Deneysel Motopomp Test Düzeneği.

Motopomp test düzeneğinde konumlaması yapılan termal kamera ile sıcaklık ölçümü örneği Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Motopomp Test Düzeneğinde Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü.

Motor ve pompa üzerinden alınan örnek titreşim ölçümü Şekil 3.22'de verilmiştir. Ölçüm verilerinin toplanmış olduğu tablo Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

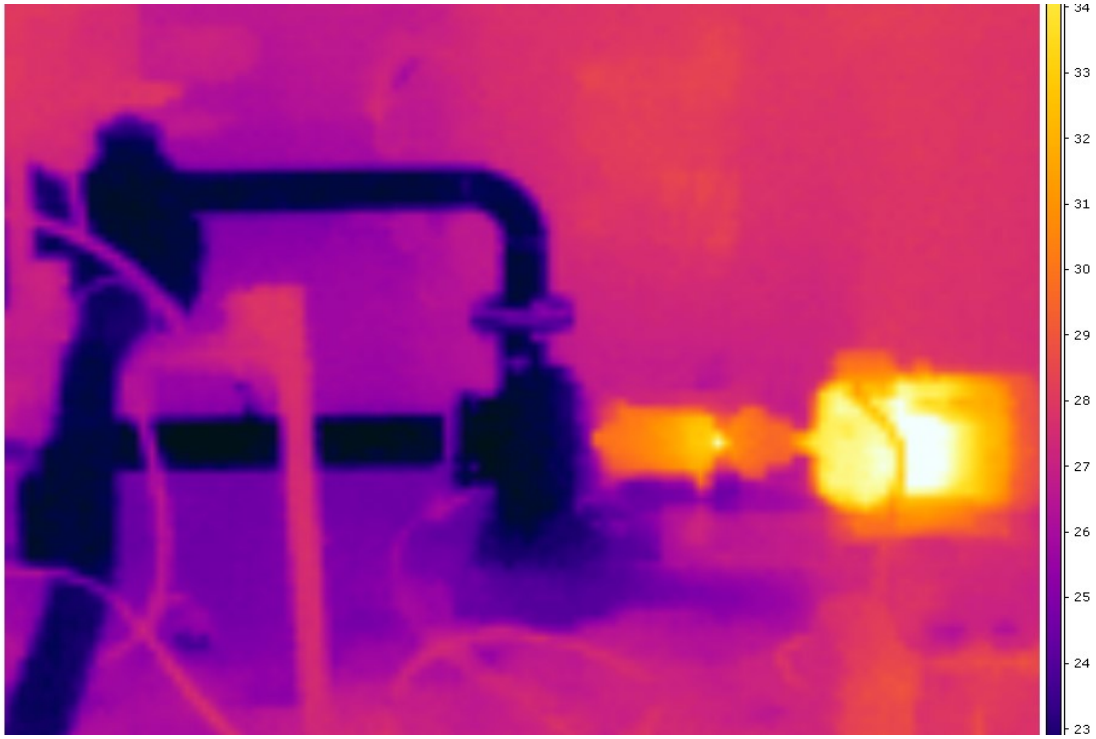


Şekil 3.22. Motopomp Test Düzeneğinde Titreşim Ölçümü.

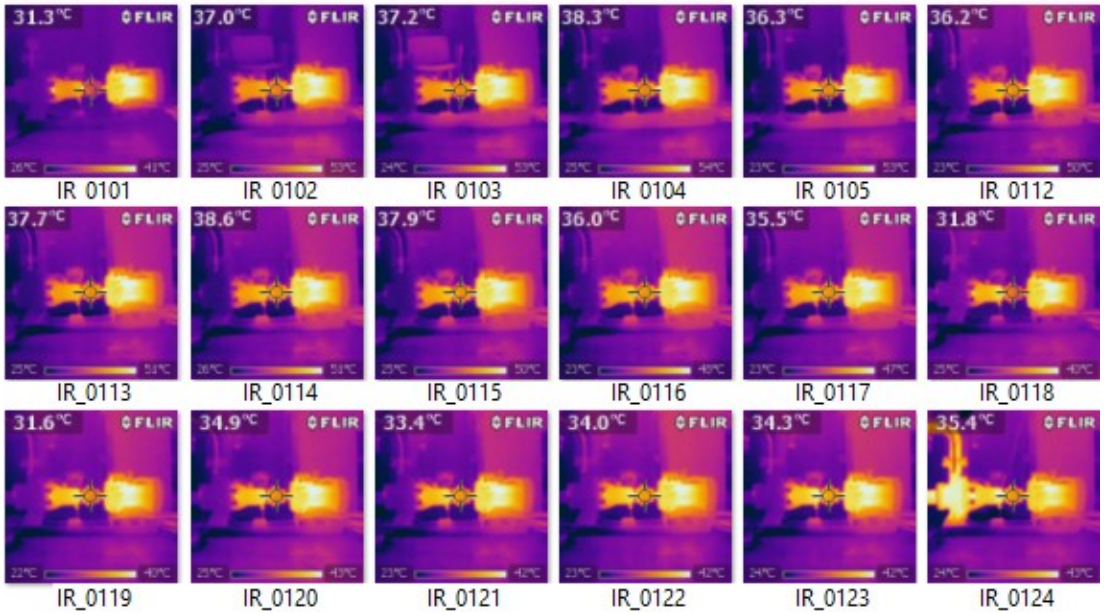
Çizelge 3.8. Motopomp Deneysel Çalışma Düzeneği Ölçüm Verileri.

NO	SAAT	GÜÇ	ELEKTRİK MOTOR TİTREŞİMİ						POMPA TİTREŞİMİ						GİR.BAS.	ÇIK.BAS.	DEBİ	VERİM	TERMAL RESİM NO
			X		Y		Z		X		Y		Z						
			İVME	HIZ	İVME	HIZ	İVME	HIZ	İVME	HIZ	İVME	HIZ	İVME	HIZ					
		KW	mm/S2	mm/s	mm/s2	mm/s	mm/s2	mm/s	mm/s2	mm/s	mm/s2	mm/s	mm/s2	mm/s	mSS	mSS	L/s		
1	16:30	9	7	12.6	4.7	15	8	6	4	3.7	3.8	12.4	3.9	2.5	-6	6.1	37	0.48799683	100
2	10:00	8.95	3.4	10.5	5	15	2.1	2	4.1	4.8	3.8	10.2	3.7	2.1	-5.5	6.2	36.9	0.47321838	101
3	11:00	8.75	3.5	11.2	3.2	13	1.8	3.1	3.1	3.7	3.5	11.8	2.9	2	-5.1	7	35.2	0.47752091	102
4	11:30	8.62	3.4	11.3	3.2	13.2	1.6	2.6	2.3	2.5	3	12.5	2.3	2.2	-5	8	34	0.50302251	103
5	12:00	8.5	3.6	10.7	3.2	12.8	2.3	3	1.9	2.1	2.8	12.4	2	2.4	-4.75	9	32.6	0.51733729	104
6	13:00	8.4	3.6	10.9	3.5	12.6	1.7	2.4	2.5	3.3	2.7	12.3	1.8	2.4	-4.5	10	31.1	0.52664931	105
7	13:15	8.12	3.5	10.4	3.2	12.4	1.5	2.5	2.2	2.9	2.4	11.8	1.9	2.3	-4.2	11	29.4	0.53989251	106
8	14:00	8	3	9.7	3.6	14	1.8	3	1.9	2.4	2.25	11.2	1.9	1.7	-3.8	11.5	28.8	0.53940095	108
9	14:15	7.95	3.4	10.1	3.9	13.2	1.3	2.8	1.8	1.5	2.2	11.3	1.6	2.3	-3.5	12	28	0.53554382	109
10	14:30	7.7	2.95	9.6	3	12.3	1.7	2	2	1.9	2.4	10.7	1.9	2.5	-3.3	13	26.1	0.54201312	110
11	15:00	7.56	3	9.6	3.4	12.2	1.9	2.3	2.1	2.5	2.3	10.2	1.9	2.1	-3.2	13.5	25.2	0.54609428	111
12	16:00	7.42	2.95	9.2	3.45	13.2	1.4	2.15	1.9	1.35	2.2	9.5	1.6	1.9	-3	14	24.3	0.54616479	112
13	16:15	7.25	2.9	8.9	3.55	12.9	2.2	1.6	1.75	2.3	2.15	9.55	1.7	1.8	-2.85	14.5	23.2	0.54465547	113
14	16:30	7.09	3.5	9.2	3.4	13	1.2	2.1	1.85	2.15	2.1	9.25	1.4	1.6	-2.75	15	22.3	0.5470866	114
15	16:45	6.88	3.5	9.1	3.6	12.6	1.2	1.75	1.45	1.6	2.1	8.65	1.6	1.75	-2.6	15.5	21	0.54197823	115
16	17:00	6.72	3.1	9.2	3.4	12.5	2.1	2.1	1.4	2.6	2	8.7	1.6	1.65	-2.5	16	20.1	0.54283885	116
17	17:15	6.41	3.15	8.8	3.5	12.4	2.5	2.1	1.6	3.2	2.05	8.3	1.65	1.5	-2.3	16.5	18.4	0.52940746	117
18	12:00	6.24	2.9	8.4	4.1	10.95	1.6	2.7	1.5	3.3	2.5	8.15	2	1.5	-2.1	17	17.3	0.51857733	118
19	12:15	5.91	2.95	8.25	3.65	11.4	1.65	1.65	1.6	2.6	2.05	8	1.55	1.45	-2	17.5	15.8	0.51141873	119
20	12:30	5.6	3	7.95	3.9	12.1	1.2	1.5	1.25	2.3	2.05	8.25	1.45	1.35	-1.85	18	14.2	0.49377971	120
21	12:45	5.13	2.8	7	4.8	13.65	1.25	1.65	1.25	2.1	1.95	7.85	1.45	1.35	-1.7	18.5	11.8	0.45658737	121
22	13:00	4.56	2.3	5.95	4	12.85	1.4	1.8	1.1	2.25	2.3	8.45	1.1	1.35	-1.5	19	8.94	0.39427474	122
23	13:30	3.82	2.2	5.3	4.8	14.08	1.55	2.15	1.1	1.85	1.8	7.1	1	1.1	-1.2	19.5	4.6	0.24453286	123
24	14:00	3.17	2.5	5.1	5.75	15.3	1.7	2.1	1.3	2.75	2.9	9.85	1	1.1	-1	20	0	0	124

Motopomp test düzeneği üzerinden örnek termal kamera görüntüsü Şekil 3.23'de verilmiş, kısma vanasının tam açık konumundan tam kapalı konumuna kadar farklı debiler için termal kamera görüntüleri Şekil 3.24'te birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Pompa Test Düzeneğinin Örnek Termal Görüntüsü.



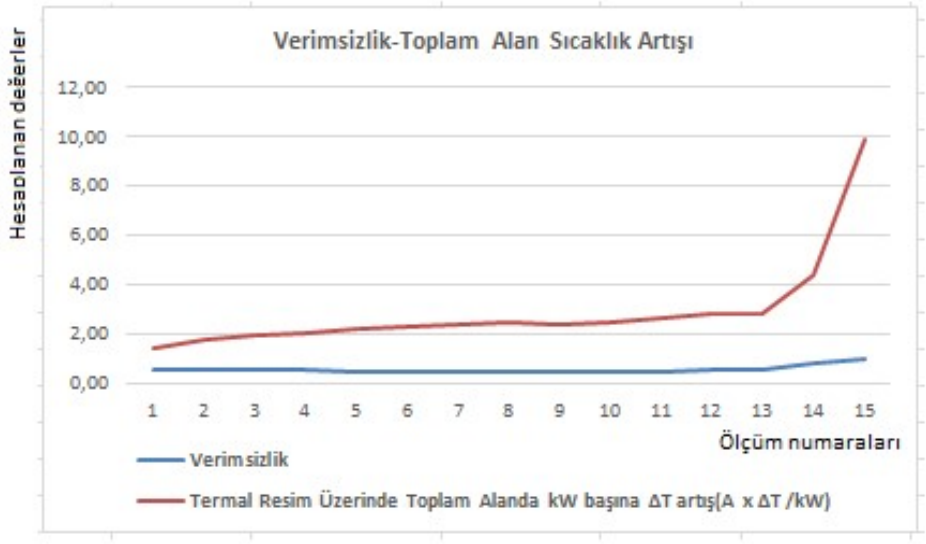
Şekil 3.24 Farklı Sıcaklıklarda Alınan Motopomp Test Düzeneği Termal Resimleri.

Termal resimler üzerinde motor çalışması sonucu ortaya çıkan ısının atıldığı ve sıcaklığı yükselmiş noktalara ait alanların oransal olarak belirlenmesi yardımıyla verimsizliğe neden olan sıcaklık artışının sonuçları Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Motor Test Düzeneği Sıcaklıklar ve Verimsizlik Değerleri.

NO	Çekilen Güç (kW)	Verimsizlik	Kaplin Sıcaklığı(C^0)	Motor Üst sıcaklığı(C^0)	Zemin Sıcaklığı(C^0)	Dış Ortam Sıcaklığı(C^0)	Termal Resim Sıcak alan(oransal)	Termal Resim Üzerinde Toplam Alanda kW başına ΔT artış(A x ΔT /kW)
1	9,09	0,530	34,9	41	21	27,95	1	1,44
2	8,89	0,502	35,2	44	21	28,1	1	1,79
3	8,66	0,501	36,1	45	21	28,55	1	1,90
4	8,5	0,493	36,5	46	21	28,75	1	2,03
5	8,3	0,484	36,7	47	21	28,85	1	2,19
6	8,1	0,476	36,2	47	21	28,6	1	2,27
7	7,89	0,466	37	48	22	29,5	1	2,34
8	7,55	0,463	35	46	20	27,5	1	2,45
9	7,28	0,467	36,4	46	21	28,7	1	2,38
10	6,84	0,475	35,9	45	21	28,45	1	2,42
11	6,35	0,485	35	44	20	27,5	1	2,60
12	5,74	0,515	34,2	43	20	27,1	1	2,77
13	5	0,573	34,7	42	21	27,85	1	2,83
14	3,64	0,821	33,5	40	20	26,75	1,2	4,37
15	3,22	1,000	34,6	41	22	28,3	2,5	9,86

Verimsizlik ile sıcaklık artışı arasında her nokta için birebir uyum görülmemiştir. Bununla birlikte verimsizlikle sıcaklık artışının genel anlamda trend olarak ilişkili olduğu Şekil 3.25'te görülmektedir.



Şekil 3.25. Termal Resimlerde Birim Güç Başına Sıcaklığı Artan Alanın Verimsizlikle İlişkisi.

3.2.3.1. Motopomp Deneysel Çalışma Düzeneği Veri Analizi

Titreşime göre verim analizi yapılırken, ilk aşamada, lineer regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarında denge ayarlı kaplin yani balans ayarı yapılmış kaplin için aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Bu çalışmada, titreşim ve sıcaklıktan verimliliği, değerlendirme ve analizi için SPSS programı kullanılmıştır. Deneysel motopomp test düzeneğinde herhangi bir ısı veya titreşim modeli kullanılmamış olup titreşimle verim ilişkisi regresyon analizleri ile araştırılmıştır. Çizelge 3.10'da SPSS liner regresyon analizleri görülmektedir. Analizin temel önermesinde "bağımsız değişkenlerin katsayıları 0'dır" önermesidir. İkinci önerme ise "bağımsız değişkenlerin katsayıları sıfır değildir" önermesidir. Burada "p" değeri ise temel önermenin gerçekleşme olasılığını vermekte olup kritik değeri 0,05 olan modelimiz de "p" değeri 0,05'den büyük olduğunda doğru kabul edilir ve değişken katsayısınınnın istatiksel olarak önemsiz olduğu kabul edilir. Diğer taraftan "t" değeri ise katsıyının standart sapmaya yaptığı etki değerini verir ve "t" değeri arttıkça değişken katsayısının önemli hale geldiği sonucu çıkarılır.

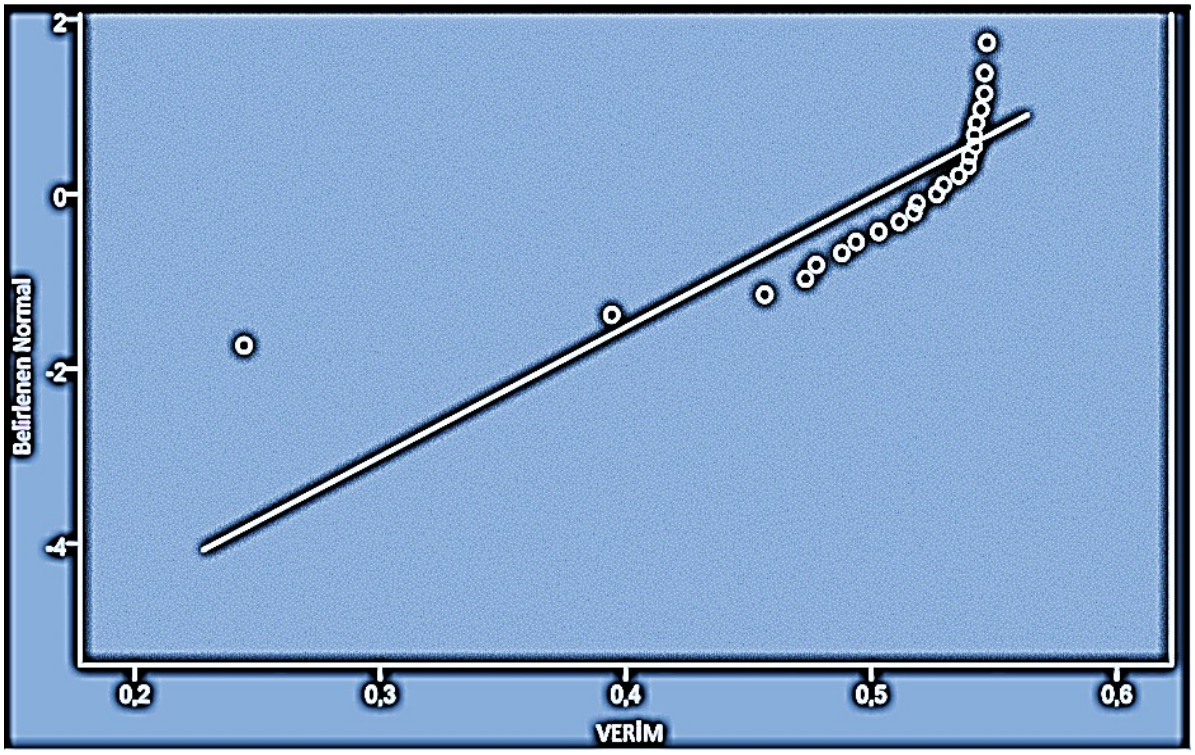
Çizelge 3.10. SPSS Lineer Regresyon Analizi Sonuç Verileri.

Model	Unstandardized Coefficients (Standartlaştırılmamış katsayılar)		Standardized Coefficients (Standartlaştırılmış katsayılar)	t	Sig. (p değeri)
	B	Std. Error (Standart hata)	Beta		
1 (Constant)	,532	,038		14,051	,000
Motor_ax	-,004	,014	-,077	-,299	,766
Motor_Vx	,010	,006	,407	1,702	,093
Motor_ay	-,005	,014	-,076	-,359	,721
Motor_Vy	,007	,005	,296	1,599	,114
Motor_az	-,039	,011	-,577	-3,536	,001
Motor_Vz	-,041	,013	-,597	-3,031	,003
Pompa_ax	-,008	,026	-,052	-,308	,759
Pompa_Vx	-,023	,017	-,148	-1,403	,164
Pompa_ay	-,042	,032	-,327	-1,297	,198
Pompa_Vy	-,002	,004	-,062	-,382	,703
Pompa_az	,052	,037	,376	1,400	,165
Pompa_Vz	,038	,019	,234	1,984	,051

SPSS programında yapılan analizde X ve Y yönündeki ivme değişiminin verim ilişkisinin daha az olduğu verimliliğin daha çok Z yönündeki titreşimle paralel gittiği anlaşılmıştır. SPSS programında yapılan verim titreşim ilişkisi Denklem 3.6 ile açıklanmıştır.

Verim=0,532-0,004(Motor_ax)+0,010(Motor_Vx)-
0,005(Motor_ay)+0,007(Motor_Vy)-0,039(Motor_az)-0,041(Motor_Vz)-
0,008(Pompa_ax)-0,023(Pompa_Vx)-0,042(Pompa_ay)-
0,002(Pompa_Vy)+0,052(Pompa_az)+0,038(Pompa_Vz) (3.6)

SPSS program analizlerinde verileri biribirine bağlayan amprik bir denklem oluşturulmuş ve verilerin birbiriyle artan azalan şeklinde tutarlı ilişkisi olup olmadığına bakılmıştır. Programda alınan titreşim ve ısıl verilerin verimlilik hesabı yapan programa girilmesiyle verimi önenmli bir aralıkta gerçek verimden %5 farkla doğru olarak tahmin edebildiği Şekil 3.26'da görülmektedir.



Şekil 3.26. Denge Ayarlı Kaplin Titreşim Verim Arasındaki İlşkiye Uyrarlanan Lineer Fonksiyon Grafiği.

3.2.3.1.1.Deneysel Çalışma Test Düzeneğinde Farklı Kaplin-Denge Ayarları İçin Titreşim Ölçümleri SPSS Analizleri

Öncelikle test çalışması sonucunda regresyon analizi ile elde edilecek ve yaklaşık olarak motopomp verimini tahmin edecek formülasyonun, farklı yerleşim ve kaplin denge ayarları için geçerli olup olmayacağının belirlenmesi amacıyla test düzeneği üzerinde motopomp yerleşim ayarları ve kaplin ayarları değiştirilerek 6 farklı

ölçüm grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan ölçüm gruplarının (data setleri) her birinin dağılımlarının normal olup olmadığının anlaşılması için Çizelge 3.11'de sonuçları verilen Kolmogorov Smirnov Testi farklı kaplin ve denge ayarları için yapılmıştır. Bu testler ölçüm gruplarının normal dağılımlı olup olmadığına karar verilmesi için yapılmıştır. Burada temel önerme "ölçüm grupları normal dağılımlıdır" önermesidir. İkinci önerme ise "ölçüm grupları normal dağılımlı değildir" önermesi olup "sig." değeri temel önermenin olma ihtimalidir. Temel önermenin kabul edilme şartı için krtik değer 0,05 olarak kabul edilmektedir. Yani sig.>0,05 önerme doğru iken sig.< 0,05 olduğunda önerme doğru değildir. Testler sonucunda ölçüm gruplarının normal dağılımları olmadığı görülmüş buradan sonraki aşamalardaki test ve analizlerde bu durum göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 3.11. Normalite Testleri.

Bağlı Değişken	Ölçüm	**Kolmogorov-Smirnov[a] testi**			**Shapiro-Wilk testi**		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Verim	Denge Ayarlı Kaplin	,255	23	,000	,650	23	,000
	0,6 mm ve 0.5 mm y kaçık	,197	14	,146	,801	14	,005
	1 mm z ve 1 mm y kaçık	,277	15	,003	,617	15	,000
	Üç eksen 1 mm kaçık	,274	14	,005	,604	14	,000
	Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	,285	14	,003	,600	14	,000
	üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	,306	14	,001	,572	14	,000

İstatistik testinde One-Way ANOVA testi kullanılmıştır. Test öncesinde Levene Testi ile varyansların homojen olup olmadığına bakılmıştır. Sonuca göre varyansların homojen olmadığı gözlemlenmiş ve buna göre one-way ANOVA testi yapılarak gruplar arasındaki ilişki analiz edilmiştir (Çizelge 3.12). One-Way ANOVA testinde ölçüm gruplarının ortalamaları arasında anlamlı bir farkın olup olmadığına bakılmaktadır. Burada ortalamalar arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Çizelge 3.12. Verim Bağlı Değişkeni İçin Ölçüm Grupları arasında One-Way ANOVA Testi Sonuçları.

Report/Rapor			
Verim (Bağlı değişken)			
Ölçüm	Mean (Ortalama)	N (Gözlem sayısı)	Std. Deviation (Standart sapma)
Denge Ayarlı Kaplin	,5026	23	,06748
0,6 mm ve 0.5 mm y kaçık	,5067	14	,04737
1 mm z ve 1 mm y kaçık	,4791	15	,08677
Üç eksen 1 mm kaçık	,4818	14	,09023
Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	,4781	14	,09367
üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	,4821	14	,09223
Toplam	,4896	94	,07886

Verim Bağlı Değişkeni İçin Ölçüm Gruplarının Demografik Bilgileri Çizelge 3.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13. Verim Bağlı Değişkeni İçin Ölçüm Gruplarının Demografik Bilgileri.

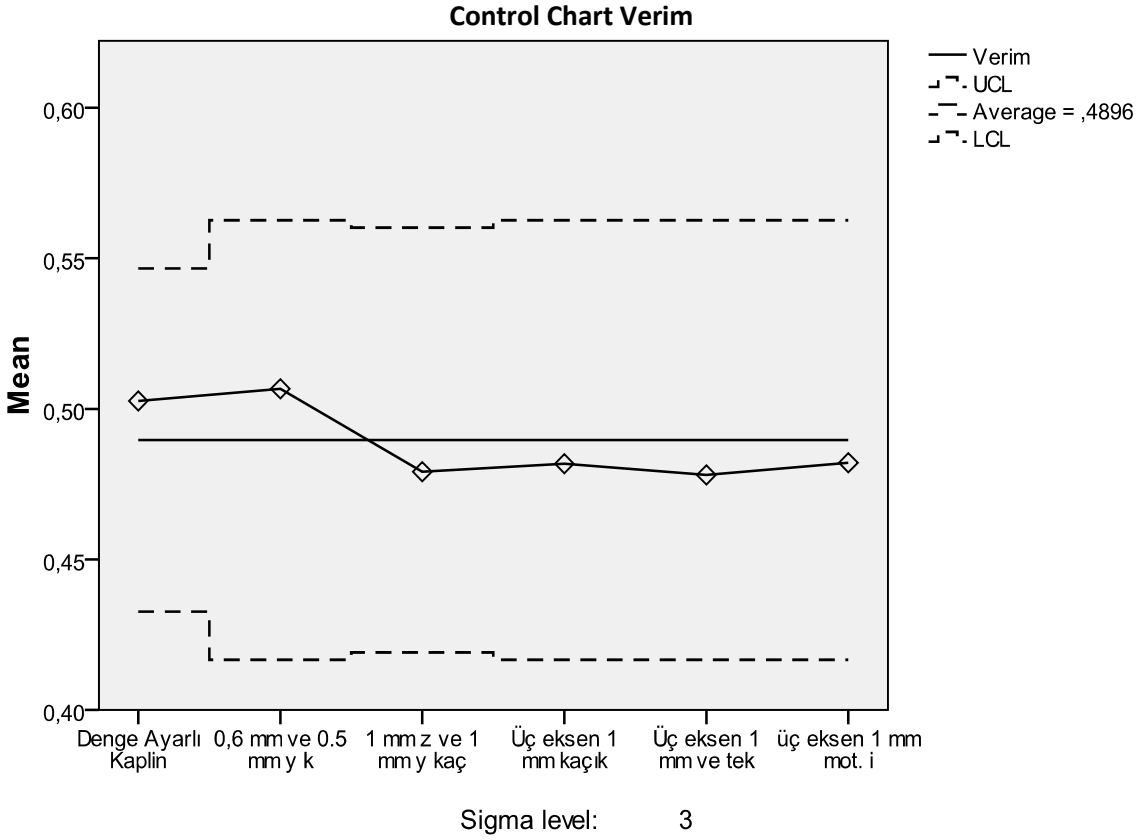
Descriptives/Betimlemeler								
Verim (Bağlı değişken)								
					(%95 doğrulukla ortalama aralığı)			
	N (Gözlem sayısı)	Mean (Ortalama.)	Std. Deviation (Stan. Sapma)	Std. Error (Stand. Hata)	Lower Bound (Alt sınır)	Upper Bound (Üst sınır)	Minimum (Asgari)	Maximum (Azami)
Denge Ayarlı Kaplin	23	,5026	0,06748	,01407	,4734	,5318	,24	,55
0,6 mm x ve 0.5 mm y kaçık	14	,5067	,04737	,01266	,4793	,5340	,37	,55
1 mm z ve 1 mm y kaçık	15	,4791	,08677	,02240	,4310	,5271	,19	,54
Üç eksen 1 mm kaçık	14	,4818	,09023	,02411	,4297	,5339	,19	,54
Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	14	,4781	,09367	,02503	,4240	,5322	,17	,54
üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	14	,4821	,09223	,02465	,4288	,5353	,18	,54
Total(Toplam)	94	,4896	,07886	,00813	,4735	,5058	,17	,55

Verimler ile titreşim değerleri arasındaki istatistiksel ilişki denge ayarlı kaplin ve diğer ölçüm grupları için oluşturulmuş, ölçümlere göre ayrı ayrı Çizelge 3.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Verim Bağlı Değişkeni İçin Ölçüm Gruplarının Arasındaki İlişki.

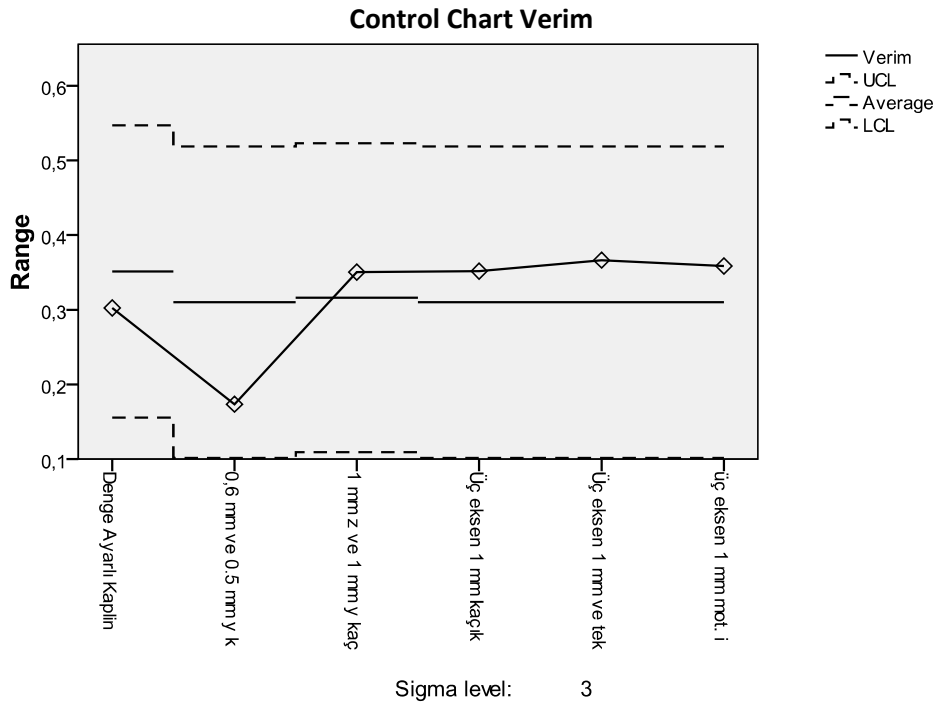
(I) Ölçüm Grubu	(J) Ölçüm	Mean Diffrnce. (I-J) (Ort. ile fark)	Std. Error (Stand. Hata)	Sig. (P değeri)	(%95 lik güvenlik aralığı)	
					Lower Bound (Alt sınır)	Upper Bound (Üst sınır)
Denge Ayarlı Kaplin	0,6 mm ve 0.5 mm y kaçık	-,00407	,02717	1,000	-,0832	,0751
	1 mm z ve 1 mm y kaçık	,02351	,02660	,949	-,0540	,1010
	Üç eksen 1 mm kaçık	,02080	,02717	,973	-,0583	,1000
	Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	,02453	,02717	,945	-,0546	,1037
	üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	,02055	,02717	,974	-,0586	,0997
0,6 mm x ve 0.5 mm y kaçık kaplin	Denge Ayarlı Kaplin	,00407	,02717	1,000	-,0751	,0832
	1 mm z ve 1 mm y kaçık	,02759	,02978	,939	-,0592	,1144
	Üç eksen 1 mm kaçık	,02488	,03029	,963	-,0634	,1131
	Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	,02860	,03029	,934	-,0597	,1169
	üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	,02462	,03029	,964	-,0636	,1129
1 mm z ve 1 mm y kaçık kaplin	Denge Ayarlı Kaplin	-,02351	,02660	,949	-,1010	,0540
	0,6 mm ve 0.5 mm y kaçık	-,02759	,02978	,939	-,1144	,0592
	Üç eksen 1 mm kaçık	-,00271	,02978	1,000	-,0895	,0841
	Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	,00102	,02978	1,000	-,0858	,0878
	üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	-,00297	,02978	1,000	-,0897	,0838
Üç eksen 1 mm kaçık kaplin	Denge Ayarlı Kaplin	-,02080	,02717	,973	-,1000	,0583
	0,6 mm ve 0.5 mm y kaçık	-,02488	,03029	,963	-,1131	,0634
	1 mm z ve 1 mm y kaçık	,00271	,02978	1,000	-,0841	,0895
	Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	,00373	,03029	1,000	-,0845	,0920
	üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	-,00026	,03029	1,000	-,0885	,0880
Üç eksen 1 mm kaçık kaplin ve motor tek ayak 1 mm düşük	Denge Ayarlı Kaplin	-,02453	,02717	,945	-,1037	,0546
	0,6 mm ve 0.5 mm y kaçık	-,02860	,03029	,934	-,1169	,0597
	1 mm z ve 1 mm y kaçık	-,00102	,02978	1,000	-,0878	,0858
	Üç eksen 1 mm kaçık	-,00373	,03029	1,000	-,0920	,0845
	üç eksen 1 mm mot. iki ayak düşük	-,00398	,03029	1,000	-,0922	,0843
üç eksen 1 mm kaçık kaplin ve motor iki ayak 1mm düşük	Denge Ayarlı Kaplin	-,02055	,02717	,974	-,0997	,0586
	0,6 mm ve 0.5 mm y kaçık	-,02462	,03029	,964	-,1129	,0636
	1 mm z ve 1 mm y kaçık	,00297	,02978	1,000	-,0838	,0897
	Üç eksen 1 mm kaçık	,00026	,03029	1,000	-,0880	,0885
	Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	,00398	,03029	1,000	-,0843	,0922

İstatistiksel süreç kontrolü özetle zaman içinde süreçte yaşanan değişikleri takip etme işidir. Söz konusu çalışma kontrol grafikleri ile yapılır. Tüm kontrol süreçlerinde alınan veri değerlerinin beklenen nitelikleri karşılayıp karşılamadığını gözlemlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 3.27'de kontrol grafiği kullanılarak verim değerinin ortalaması ile ölçüm grupları için, titreşim ölçüm değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Kontrol grafiğine göre verim değişkenindeki sapmalar beklenen değerler arasında kalmıştır.



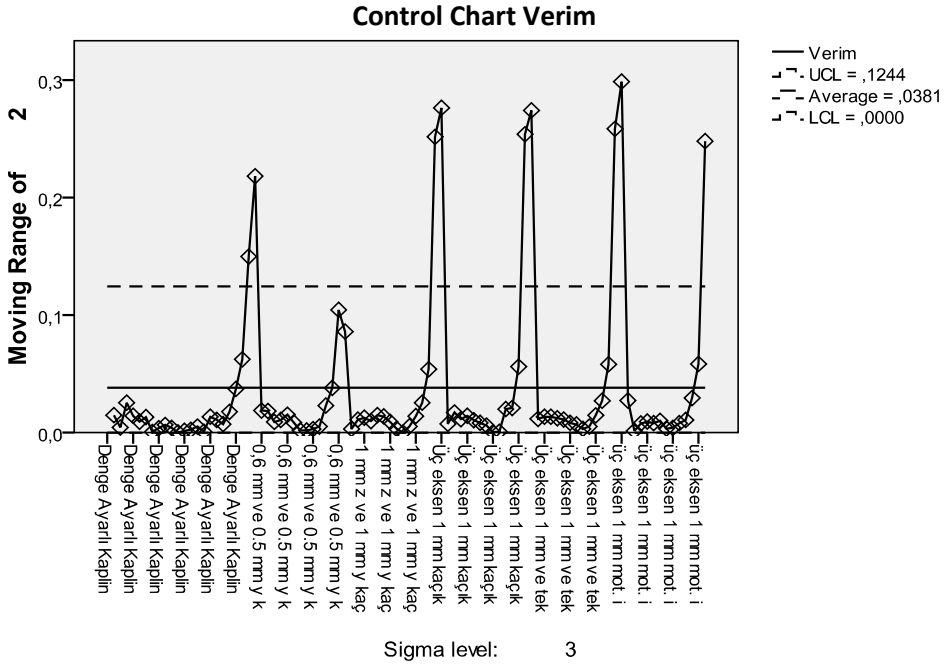
Şekil 3.27. Verim Değişkeninin Ortalamsı İle Ölçüm Grupları Arasındaki İlişki.

Şekil 3.28'de aralık (range), bir veri setinin minumum değeri ile maksimum değeri arasındaki farka denilmektedir. Kontrol grafiği kullanılarak verim değişkeninin aralığı ile denge ayarlı kaplin ve diğer ölçüm grupları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Ayrı ayrı gösterilen beklenti aralıklarında ölçümlerin yine bu aralıkta seyrettiği görülmektedir.



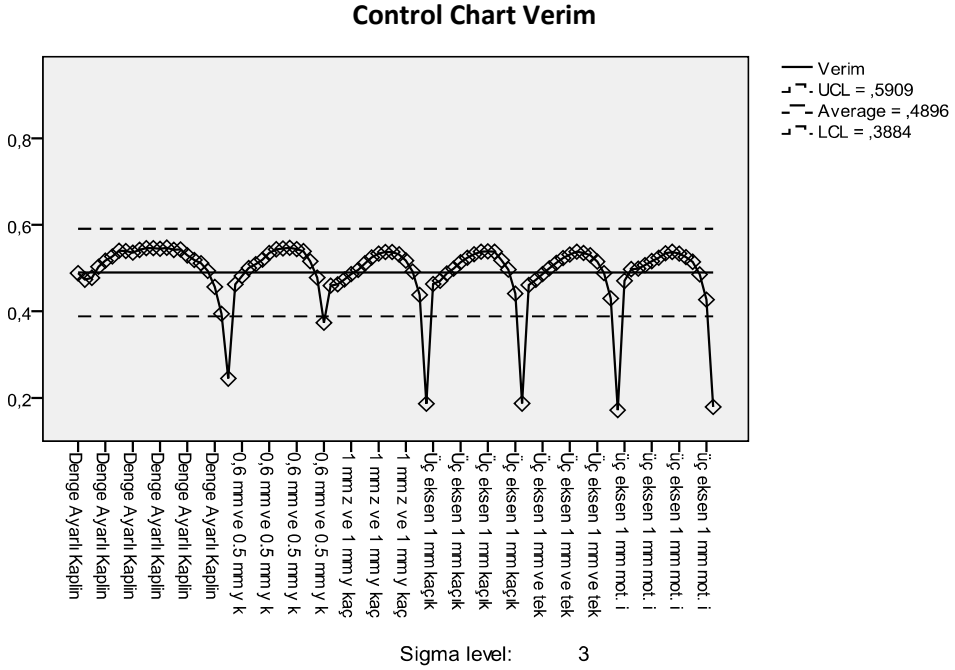
Şekil 3.28. Verim Değişkeninin Aralığı İle Denge Ölçüm Grupları İlişki.

Şekil 3.29'de Ölçüm grupları içersinde alt gruplar oluşturularak onlar arasındaki kontrol grafiği kullanılarak verim değişkeninin 2 hareketli aralığı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Buna göre bazı değerlerin beklenen aralığın yukarısında seyrettiği görülmüştür. Ancak bu kontrol grafiği tekil ölçümlü veriler için geçerli olup tüm veri setleri için ihmal edilebilir seviyededir.



Şekil 3.29. Değişkeninin 2 Hareketli Aralığı ile Denge Ayarlı Kaplin Arasındaki İlişki.

Şekil 3.30'da Ölçüm grupları içinde alt gruplar oluşturularak ve kontrol grafiği kullanılarak verim değişkeninin ölçüm grupları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Burada bazı değerlerin beklenen aralıktan saptığı görülmüştür. Fakat bu kontrol grafiği tekil ölçümlü veriler için geçerli olup tüm veri setleri için ihmal edilebilir seviyededir.



Şekil 3.30. Kaplin Ayar Kaçıklıkları ve Dengeli Kaplin Arası İlişki İncelemesi.

Çizelge 3.15'te verim ve farklı ayardaki kaplin istatistiki değişkenlerinin demografik bilgileri ve açıklamaları gösterilmiştir.

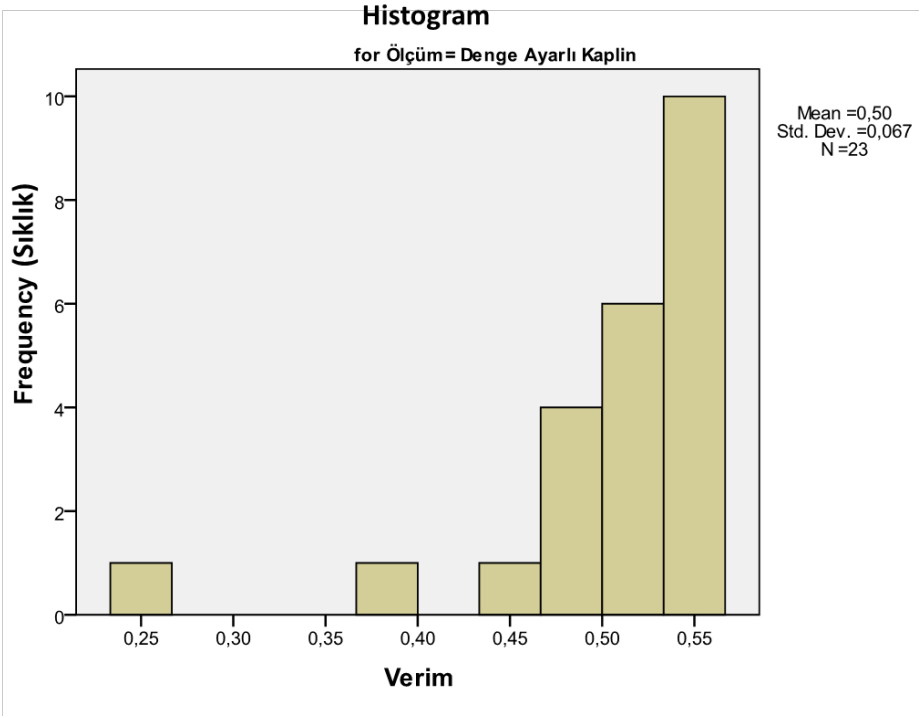
Çizelge 3.15. Verim ve Farklı Ölçüm Grupları İçin Değişkenlerin Demografik Bilgileri.

Descriptives (Betimler)					
Bağımlı Değişken	Ölçüm			Statistic (İstatistik)	Std. Error (Standart hata)
Verim	Denge Ayarlı Kaplin	Mean (Ortalama)		,5026	,01407
		95% Confidence Interval for Mean (%95 lik güvenlik aralığı)	Lower Bound (Alt sınır)	,4734	
			Upper Bound (Üst sınır)	,5318	
		5% Trimmed Mean (%5 lik kesilmiş ortalama)		,5134	
		Median (Medyan)		,5266	
		Variance (Varyans)		,005	
		Std. Deviation (Standart sapma)		,06748	
		Minimum (Asgari)		,24	
		Maximum (Azami)		,55	
		Range (Açıklık)		,30	
		Interquartile Range (Çeyreklik açıklığı)		,05	
		Skewness (Çarpıklık)		-2,902	,481
		Kurtosis (Basıklık)		9,818	,935

	0,6 mm X ve 0.5 mm Y kaçık	Mean(Ortalama)		,5067	,01266
		95% Confidence Interval for Mean (%95 ortalama için güvenlik aralığı)	Lower Bound (Alt sınır)	,4793	
			Upper Bound (Üst sınır)	,5340	
		5% Trimmed Mean (%5 lik kesilmiş ortalama)		,5118	
		Median (Medyan)		,5178	
		Variance (Varyans)		,002	
		Std. Deviation (Standart sapma)		,04737	
		Minimum (Asgari)		,37	
		Maximum (Azami)		,55	
		Range (Açıklık)		,17	
		Interquartile Range (Çeyreklik açıklığı)		,06	
		Skewness (Çarpıklık)		-1,863	,597
		Kurtosis (Basıklık)		4,193	1,154
	1 mm Z ve 1 mm Y kaçık	Mean (Ortalama)		,4791	,02240
		95% Confidence Interval for Mean (%95 ortalama için güvenlik aralığı)	Lower Bound (Alt sınır)	,4310	
			Upper Bound (Üst sınır)	,5271	
		5% Trimmed Mean(%5 lik kesilmiş ortalama)		,4921	
		Median (Medyan)		,4960	
		Variance (Varyans)		,008	
		Std. Deviation (Standart sapma)		,08677	
		Minimum (Asgari)		,19	
		Maximum (Azami)		,54	
		Range (Açıklık)		,35	
		Interquartile Range (Çeyreklik açıklığı)		,07	
		Skewness (Çarpıklık)		-3,055	,580
		Kurtosis (Basıklık)		10,513	1,121
	Üç eksen 1 mm kaçık	Mean (Ortalama)		,4818	,02411
		95% Confidence Interval for Mean (%95 ortalama için güvenlik aralığı)	Lower Bound (Alt sınır)	,4297	
			Upper Bound (Üst sınır)	,5339	
		5% Trimmed Mean(%5 lik kesilmiş ortalama)		,4950	
		Median (Medyan)		,5061	
		Variance (Varyans)		,008	
		Std. Deviation (Standart sapma)		,09023	
		Minimum (Asgari)		,19	
		Maximum (Azami)		,54	
		Range (Açıklık)		,35	
		Interquartile Range (Çeyreklik açıklığı)		,07	
		Skewness (Çarpıklık)		-3,045	,597
		Kurtosis (Basıklık)		10,224	1,154
	Üç eksen 1 mm ve tek ayak 1 mm düşük	Mean (Ortalama)		,4781	,02503
		95% Confidence Interval for Mean (%95 ortalama için güvenlik aralığı)	Lower Bound (Alt sınır)	,4240	
			Upper Bound (Üst sınır)	,5322	
		5% Trimmed Mean(Çeyreklik açıklığı)		,4918	
		Median (Medyan)		,5057	
		Variance (Varyans)		,009	
		Std. Deviation (Standart sapma)		,09367	
		Minimum (Asgari)		,17	
		Maximum (Azami)		,54	
		Range (Açıklık)		,37	
		Interquartile Range Range (Çeyreklik açıklığı)		,06	
		Skewness (Çarpıklık)		-3,060	,597
		Kurtosis (Basıklık)		10,265	1,154

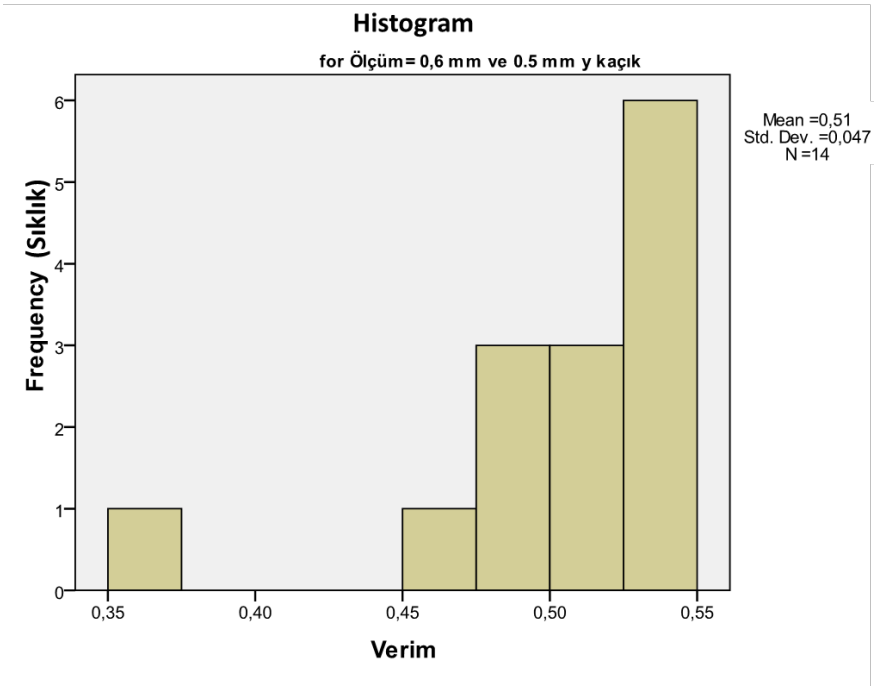
	üç eksen 1 mm motor iki ayak düşük	Mean(Ortalama)		,4821	,02465
		95% Confidence Interval for Mean (%95 ortalama için güvenlik aralığı)	Lower Bound (Alt sınır)	,4288	
			Upper Bound (Üst sınır)	,5353	
		5% Trimmed Mean (Çeyreklik açıklığı)		,4958	
		Median (Medyan)		,5106	
		Variance (Varyans)		,009	
		Std. Deviation (Standart sapma)		,09223	
		Minimum (Asgari)		,18	
		Maximum (Azami)		,54	
		Range (Açıklık)		,36	
		Interquartile Range (Çeyreklik açıklığı)		,05	
		Skewness (Çarpıklık)		-3,131	,597
		Kurtosis (Basıklık)		10,543	1,154

Histogramlar gruplandırılmış bir veri dağılımının sütun grafiğiyle gösterimidir. Burada verim ve denge ayarlı kaplin değişkenlerinin sıklık bilgileri Şekil 3.31'de histogramla gösterilmiştir. Buna göre 0,50 ve 0,55 değerlerinde bir yığılım gözlenmiştir.



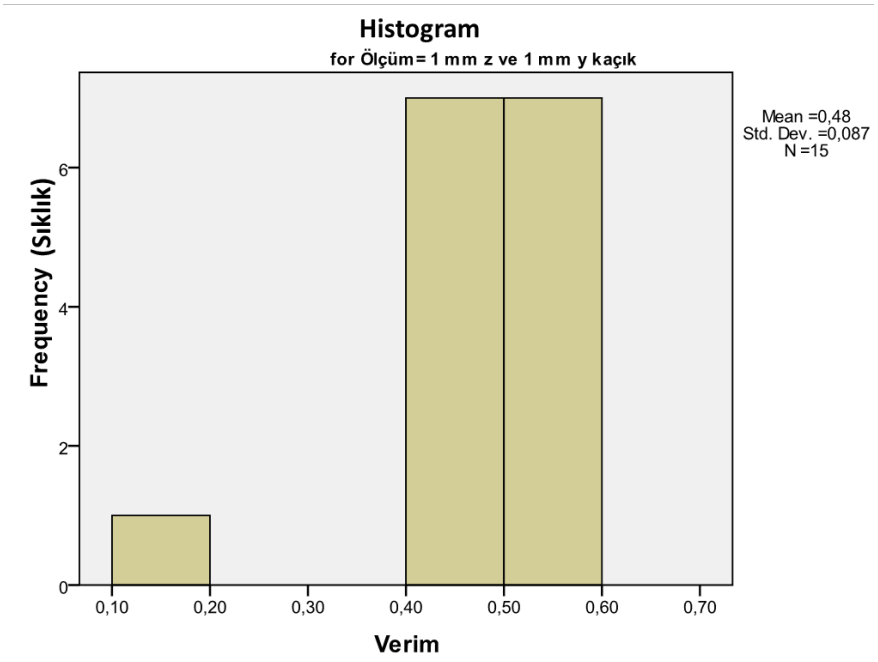
Şekil 3.31. Verim Değişkeninin Denge Ayarlı Kaplin İçin Sıklığı.

Şekil 3.32'da kaplinin 0,6 mm X ve 0,5 mm Y kaçık olduğu durum için verim değişkeninin sıklığı gösterilmiştir. Buna göre 0,50 ve 0,55 değerlerinde bir yığılım gözlenmiştir.



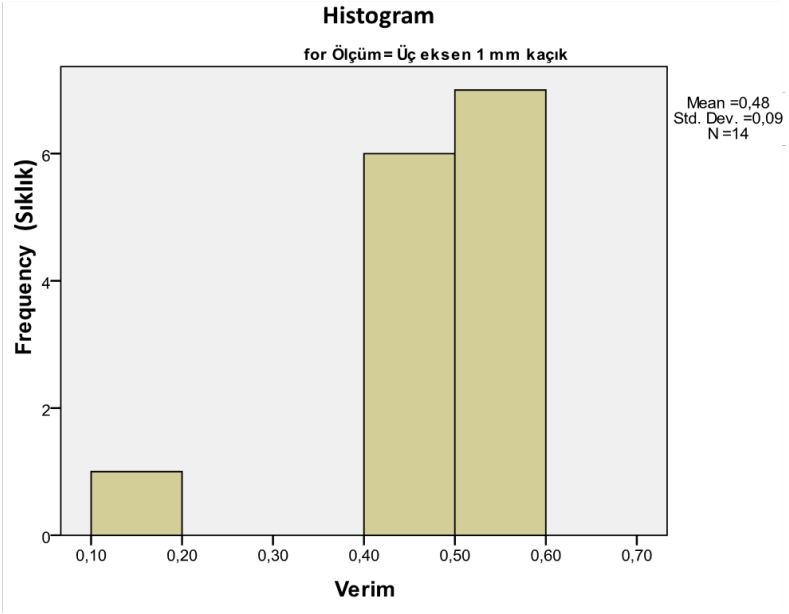
Şekil 3.32. Kaplinin 0,5 mm X ve 0,6 mm Y Ekseninde Kaçık Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı.

Şekil 3.33'te kaplinin 0,1 mm Z ve 0,1 mm Y eksenlerinde kaçık olduğunda verim değişkeninin sıklığı gösterilmiştir. Şekil 3.33'de tespitler çerçevesinde, verilerin %93,3'ü 0,4-0,6 aralığındadır.



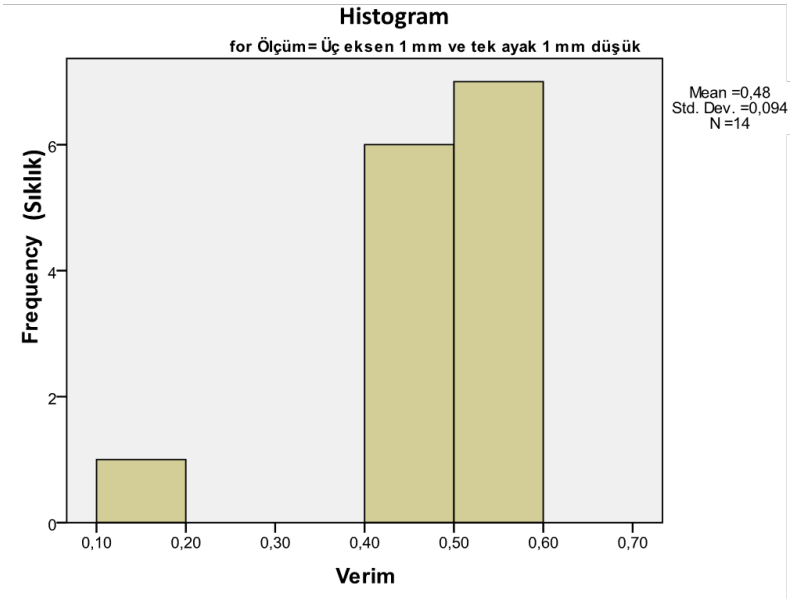
Şekil 3.33. Kaplinin 0,1 mm Z ve 0,1 mm Y Eksenlerinde Kaçık Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı.

Kaplinin 0,1 mm üç eksende kaçık olduğu durumda verim değişkeninin sıklığını gösteren Şekil 3.34'te; tespitler çerçevesinde, verilerin %92,8'ü 0,4-0,6 aralığında olmaktadır.



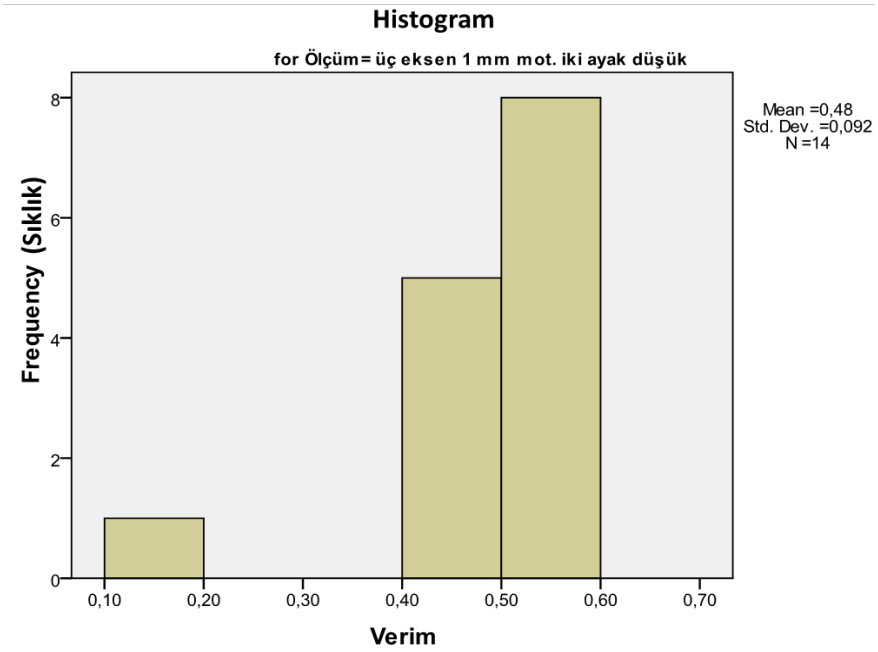
Şekil 3.34. Kaplinin 0,1 mm Üç Eksende Kaçık Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı.

Şekil 3.35'te kaplinin üç eksende 0,1 mm ve motopomp tek ayak 0,1 mm düşük olduğu durumda verim değişkeninin sıklığı gösterilmiştir. Şekil 3.35'te tespitler çerçevesinde, verilerin %92,8'ü 0,4-0,6 aralığındadır.



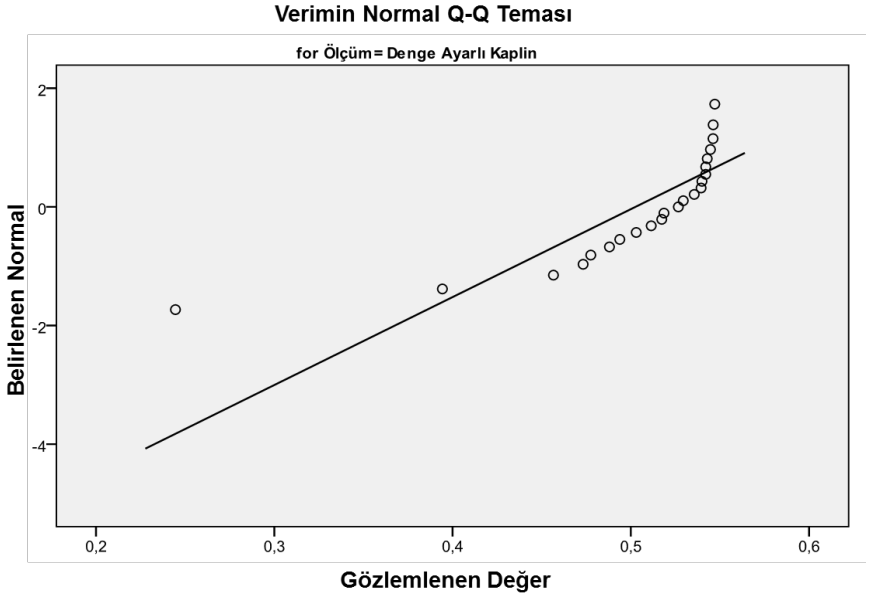
Şekil 3.35. Kaplinin Üç Eksende 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motor Tek Ayak 0,1 mm Düşük Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı.

Şekil 3.36'da kaplinin üç eksen 0,1 mm kaçık olduğu motorun iki ayak 0,1 mm düşük olduğu durumda verim değişkeninin sıklığı gösterilmiştir. Şekil 3. 36'da tespitler çerçevesinde, verilerin %92,8'ü 0,4-0,6 aralığında, %35,7'ü 0,4-0,5 aralığında ve %57,1'i 0,5-0,6 aralığında olduğu tespit edilmiştir.



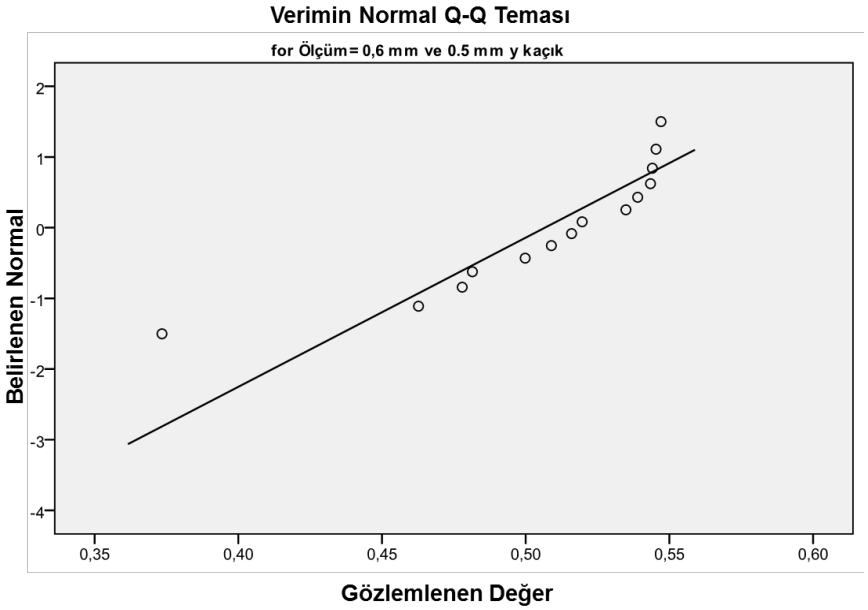
Şekil 3.36. Kaplinin Üç Eksen 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motorun iki Ayak 1 mm Düşük Olduğu Durumda Verim Değişkeninin Sıklığı.

Q-Q grafikleri veri seti dağılımının belirlenen olasılık dağılımında olup olmadığını göstermek için kullanılır. Buna göre Q-Q Normal grafiği veri setinin normal dağılıma ne kadar yakınsadığını gösterir çizgi normal dağılımı gösterirken, noktalar karşılaştırılmak istenen veri topluluğu değerlerini göstermektedir. Şekil 3.37'de denge ayarlı kaplin değişkeninin Q-Q Normal çizimi gösterilmiştir. Denge ayarlı kaplinde verim değerinin dağılımının genel olarak normal doğrusalına yakın olduğu olduğu görülmektedir. Sonuç olarak farklı kaplin ayarları ve motopomp ayak düşüklükleri için farklı veri yığılımları meydana geldiği görülmektedir.



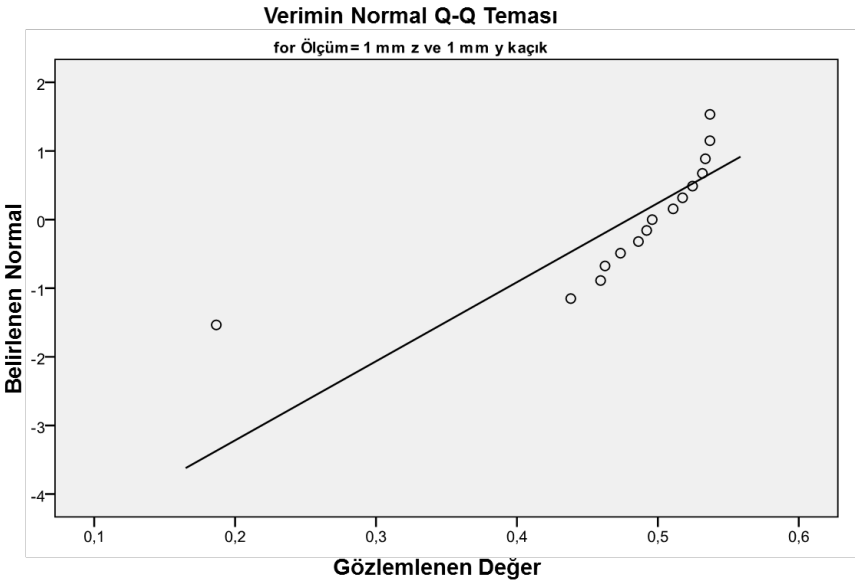
Şekil 3.37. Denge Ayarlı Kaplin Q-Q Grafiği.

Şekil 3.38'de kaplinin 0,6 mm x ve 0,5 mm y eksenlerinde kaçık olduğu durumda Q-Q normal çizimi gösterilmiştir. Buna göre verim değerinin dağılımının genel olarak doğrusala yakın olduğu olduğu görülmektedir.



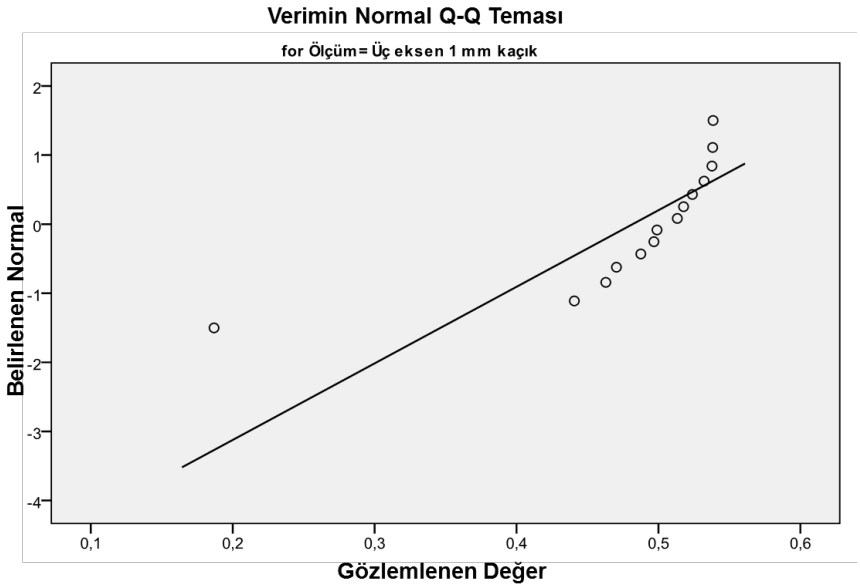
Şekil 3.38. Kaplinin 0,6 mm X ve 0,5 mm Y Eksenlerinde Kaçık Olduğu Durumda Q-Q Grafiği.

Şekil 3.39'da kaplinin 0,1 mm z ve 0,1 mm y eksenlerinde kaçık olduğu durumda Q-Q normal çizimi gösterilmiştir. Buna göre verim değerinin dağılımının genelinin belli aralıkta doğrusala yakın olduğu olduğu görülmektedir.



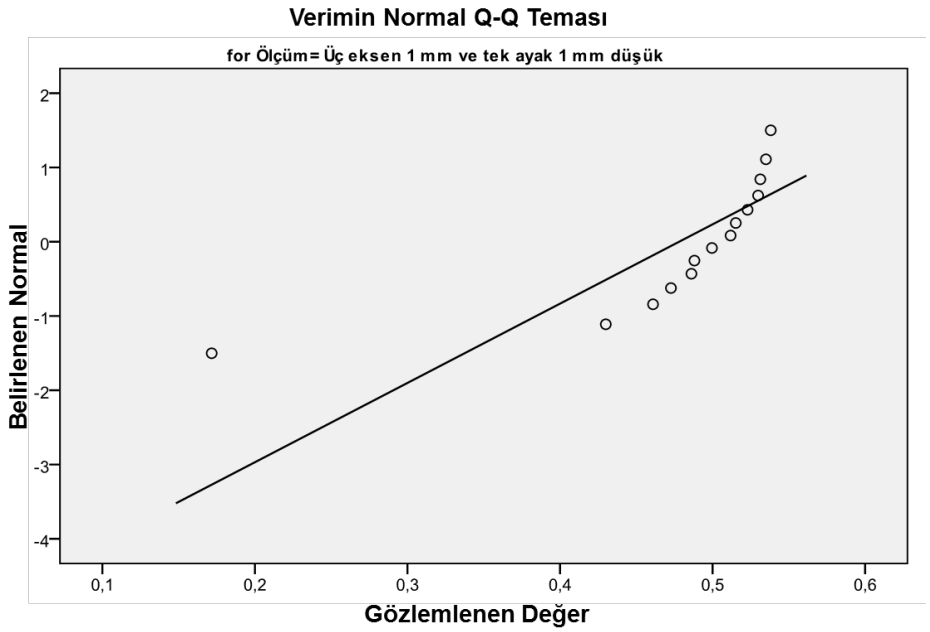
Şekil 3.39. Kaplinin 0,1 mm Z ve 0,1 mm Y Eksenlerinde Kaçık Olduğu Durumda Q-Q Grafiği.

Şekil 3.40'ta kaplinin üç eksende 0,1 mm kaçık olduğu ve motor tek ayak 0,1 mm düşük olduğu durumda Q-Q normal çizimi gösterilmiştir. Buna göre verim değerinin dağılımının belli aralıkta doğrusala yakın olduğu olduğu görülmektedir.



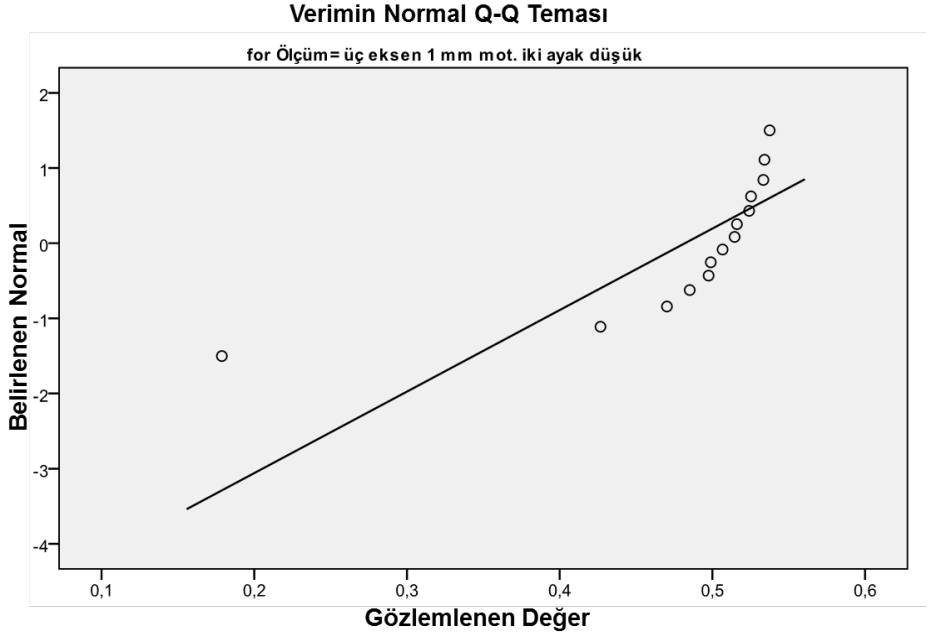
Şekil 3.40. Kaplinin 0,1 mm Üç Eksende Kaçık Olduğu Durumda Q-Q Grafiği.

Şekil 3.41'de kaplinin üç eksende 0,1 mm kaçık olduğu ve motor tek ayak 0,1 mm düşük olduğu durumda, Q-Q normal çizimi gösterilmiştir. Buna göre verim değerinin dağılımının belli aralıkta doğrusala yakın olduğu görülmektedir.



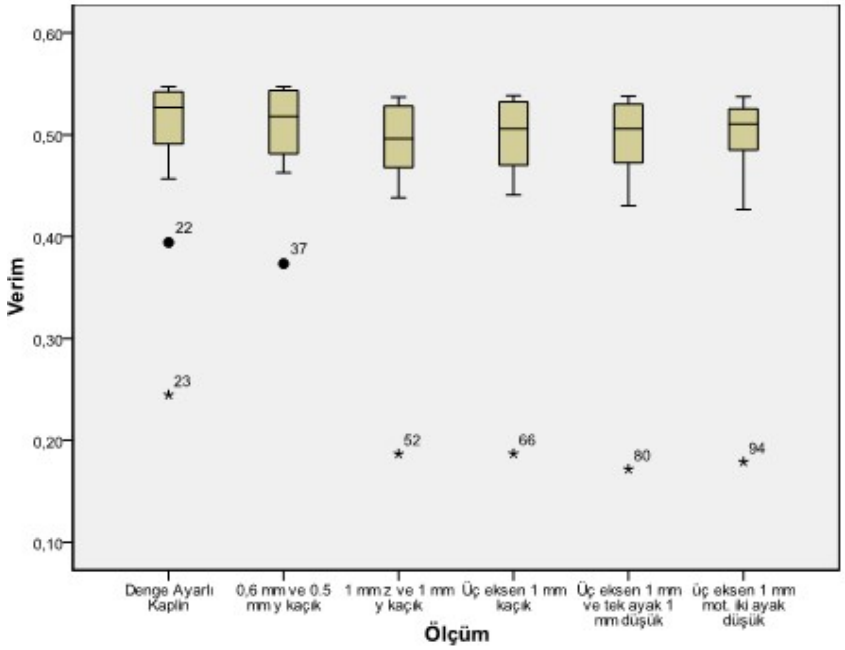
Şekil 3.41. Kaplinin Üç Eksende 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motor Tek Ayak 0,1 mm Düşük Olduğu Durumda Q-Q Grafiği.

Şekil 3.42'de kaplinin üç eksen 0,1 mm kaçık olduğu ve motopomp iki ayak 1 mm düşük olduğu durumda Q-Q normal çizimi gösterilmiştir. Buna göre verim değeri dağılımının belli aralıkta az bir alanda doğrusala yakın olduğu olduğu görülmektedir.



Şekil 3.42. Kaplinin Üç Eksen 0,1 mm Kaçık Olduğu ve Motor iki Ayak 1 mm Düşük Olduğu Durumda Q-Q Grafiği.

Şekil 3.43'te her bir ölçüm grubunun verim değerlerinin veri aralığı aşağıdan yukarı doğru sıralanmak üzere 4 çeyrek halinde kutu grafiği olarak verilmiştir. Burada çeyreklere ayrılmış genel dağılım verilerinin arasındaki aralıklar ile çeyreklere ait alanlar dışındaki aykırı değerler görülmektedir. Buna göre değerlerin hepsinde ortalama kutucuğunun yukarı sınıra yakın olmakla birlikte farklı gruplarda farklı medyan değeri olduğu görülmüştür. Bununla birlikte 1. Çeyrek sınırı ile ortalama kutusu arasındaki fark ve 4. Çeyrek sınırı ortalama kutusu arasındaki farkın aynı olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.43. Veri Ölçüm Gruplarına Göre ve Verim Değerleri Kutu Grafiği.

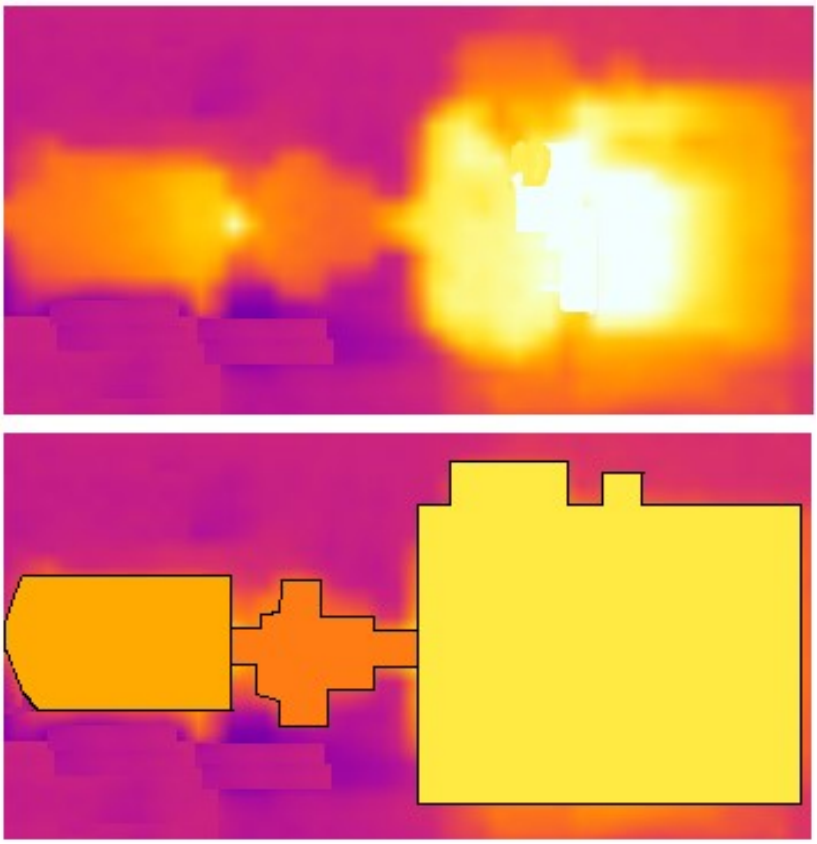
Motopomp test düzeneğinde yapılan öncelikle sıcaklık izlemeleri ve titreşim ölçümlerinin regresyon analizleri, istatistik testleri ile değerlendirilmesi sonucu verim ile titreşim değişimleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenerek Kağıthane Terfi Merkezi için titreşim ve sıcaklık parametreleri ile verimi yaklaşık olarak hesaplayan amprik denklem haline getirilmesi ve bir yazılım üzerine uygulanarak paket program haline getirilmesinin araştırılması benimsenmiştir.

3.3. Kâğıthane Terfi İstasyonunda Sıcaklık ve Titreşim Ölçüm Değerleri İle Motopomp Verimleri Tespiti

3.3.1. Kâğıthane Terfi Motopompları için Isıl Ölçüm Modelleri

Motor yüzeyi basit bir silindir veya dikdörtgen olarak ele alınarak ortalama yüzey sıcaklıkğının tespiti için motor yüzeyi ölçeklendirilmiş ve sıcaklık ölçümü için noktasal İşaretlemeler yapılmıştır. Belirlenen motor yüzeyinde belirlenen ölçüm noktalarından termokupullarla ve termal kamera ölçümleri için kayıt dosyaları hazırlanmıştır. Motor yüzey sıcaklıkları ile birlikte motor fan giriş ve çıkış sıcaklık değerleri ve motopomp yatak sıcaklıkları olarak ölçülecek tüm değerler belirlenmiştir. Böylece yüzey alanından ortalama sıcaklık değeri ile iletimle ve doğal taşınımla ısı kaybı, fan üzerinden ise zorlanmış taşınımla ısı kayıpları ile verim değerinin ölçülen sıcaklık değerleri üzerinden

kıyaslanabileceği istatistiki veri altlığı için sistematik oluşturulmuştur. Şekil 3.44'te motopomp termal resiminin ortalama sıcaklıklarla dönüşümü temsili olarak gösterilmiştir.

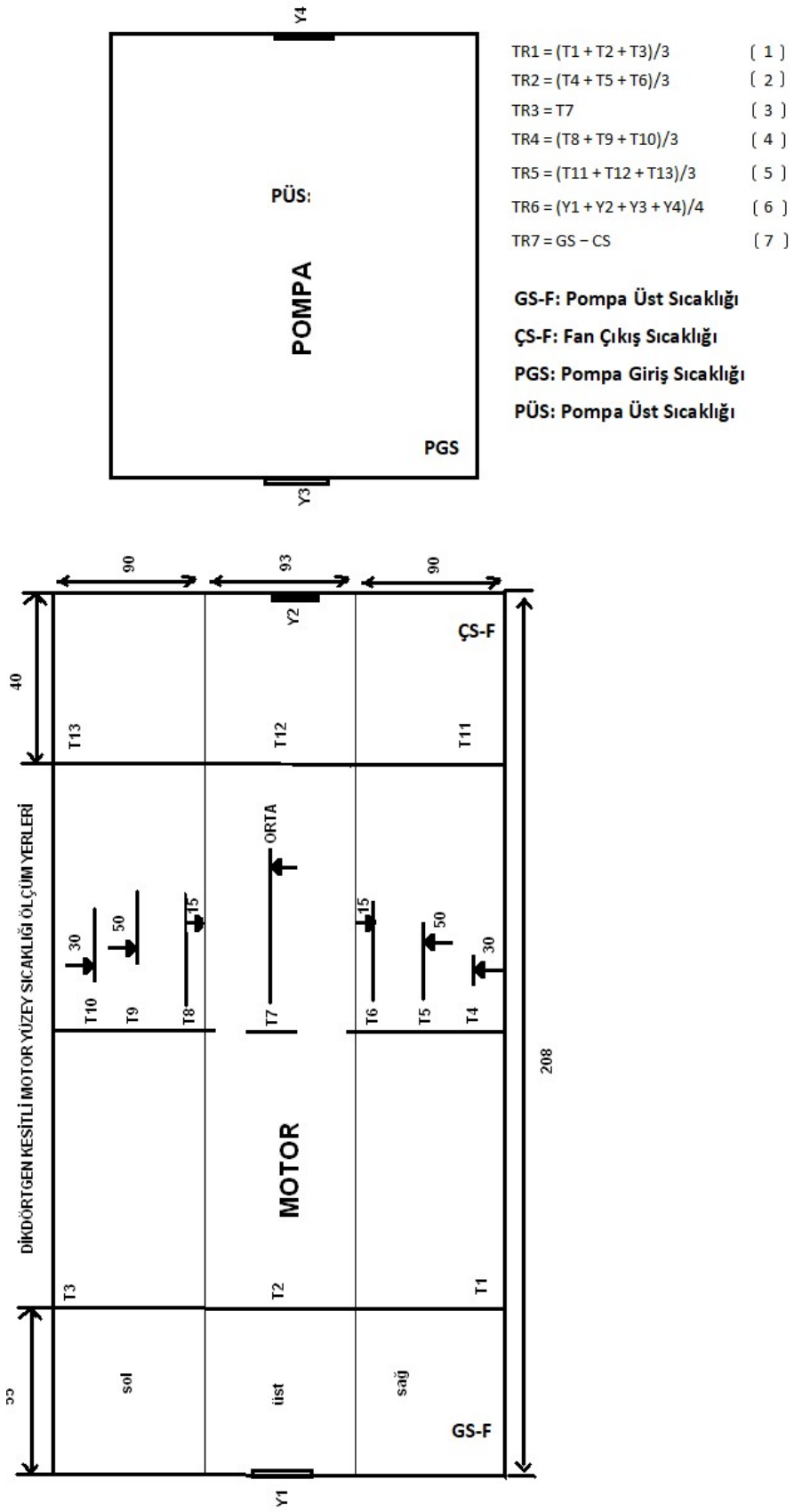


Şekil 3.44. Motopomp Üzerindeki Sıcaklık Ölçümlerini Ortalama Sıcaklığa Dönüştürme.

Buradan fan giriş çıkış sıcaklıkları ve arayüzdeki temsili motopomp model resmi üzerindeki ölçüm noktalarının (T1,T2…T13) ortalama sıcaklık değerlerinin girileceği bir motopomp verim tahmin programında veri girişinde kullanılması amaçlanmıştır.

3.3.1.1. Sıcaklık Ölçüm Noktalarının Belirlenmesi

Motopomp grupları dış yüzeyleri üstüne uygulanmak için sıcaklık ölçüm noktaları planı Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'da verilen haliyle oluşturulmuştur.



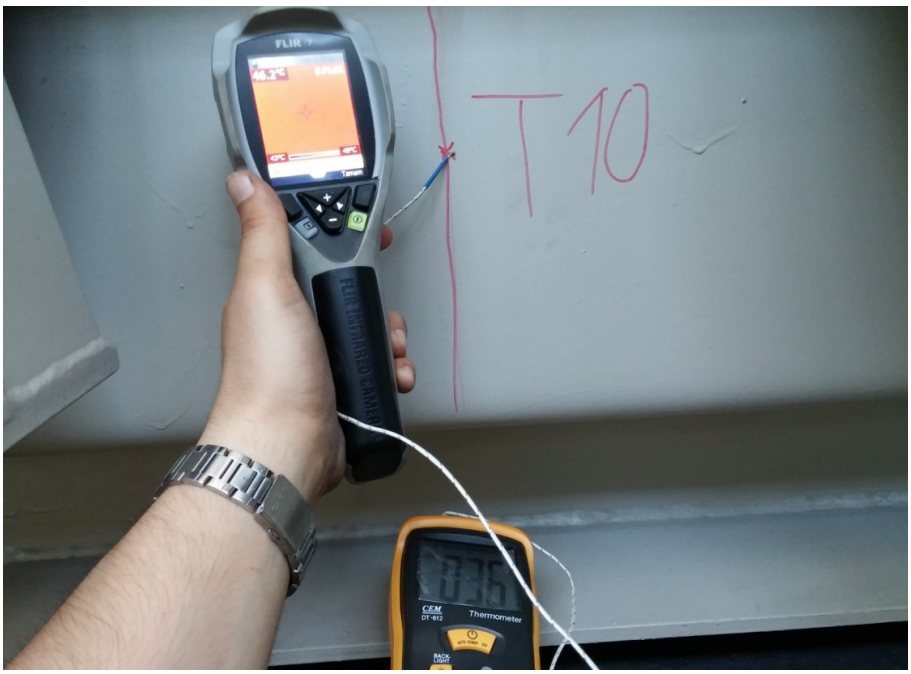
Şekil 3.45. Motor Üzerinde Sıcaklık Ölçüm Noktaları Planı Ölçeklendirmesi.

Planı yapılan sıcaklık ölçüm noktaları motorlar üzerine kırmızı silinebilir tahta kalemi ve metre yardımıyla Şekil 3.46'da gösterilen biçimde oluşturulmuştur.



Şekil 3.46. Motor Üzerinde İşaretlenen Sıcaklık Ölçüm Noktaları.

İşaretlenen noktalar üzerinden, motor fan giriş-çıkış sıcaklıkları, yatak sıcaklıkları termal kamera (FLİR–İ7) ve termokupul (CEM DT–612) ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır (Şekil 3.47).



Şekil 3.47. Motor Üzerinde "T10" Termokupul ve Termal Kamera İle Yapılan Ölçüm.

3.3.1.2.Termokupl ve Titreşim Ölçerle Yapılan Ölçüm Sonuçları

Her bir motopomp için Şekil 3.45'deki noktalardan termal kamera ve termokupul ile birlikte sıcaklık ölçümleri aynı zaman diliminde tekrarlı olarak yapılarak ve format halde oluşturulan sıcaklık ölçüm tablolarına işlenmesiyle Çizelge 3.16'da örnek gösterimi bulunan tablo haline getirilmiştir.

Çizelge 3.16. Sıcaklık Ölçüm Noktalarından Motorlara Göre Alınan Değerler Örnek Gösterim.

		SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ																	
NO	Motopomp No	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	Y1	Y2	Y3	YS4	GS-F
1	6	39,7	40,1	39,9	49,6	47,1	43,3	59,6	43,8	48	50,9	47,8	51,9	47,1	42,4	55,6	41,7	64,8	37,8
1	6	39,7	40,1	39,9	49,6	47,1	43,3	59,6	43,8	48	50,9	45,1	51,9	47,1	42,4	55,6	41,7	64,8	37,8
2	5	37,1	40,4	41,2	47,8	44,7	41,6	58,3	41,1	45,8	51,8	45,3	54,2	47,3	38,8	51,4	37	58,8	36,1
2	5	37,1	40,4	41,2	47,8	44,7	41,6	58,3	41,1	45,8	51,8	45,3	54,2	47,3	38,8	51,4	37	58,8	36,1
3	5	39,5	41,1	39,8	50,3	48,5	43,3	64,4	42,6	48,4	53,8	51,6	57	50,2	39,5	52,9	38,6	55,7	37,5
3	5	39,5	41,1	39,8	50,3	48,5	43,3	64,4	42,6	48,4	53,8	51,6	57	50,2	39,5	52,9	38,6	55,7	37,5
4	1	40,8	42,8	41,3	48,3	50,9	53,1	55,7	50,8	50,6	41	53,5	58	52,4	46,5	52,1	67,7	46,5	37,1
4	1	40,8	42,8	41,3	48,3	50,9	53,1	55,7	50,8	50,6	41	53,5	58	52,4	46,5	52,1	67,7	46,5	37,1
5	3	35,3	36,6	36,3	43,5	44,6	46,3	48,5	44,9	44,8	42,7	45,9	49,5	48	45,3	41,7	35,7	38,9	31,5
5	3	35,3	36,6	36,3	43,5	44,6	46,3	48,5	44,9	44,8	42,7	45,9	49,5	48	45,3	41,7	35,7	38,9	31,5
6	2	39,6	42,2	40,8	45,3	49,4	50,4	53,5	50,4	49,8	45,9	47,9	53,6	49	41,8	46,1	72,8	47,1	35,6
6	2	39,6	41,9	41,9	48,5	49,2	48,6	57,2	48,1	50,3	49,5	49,5	55	49,8	43,1	50,1	57,9	56,5	37
7	4	40,4	42,9	43,5	52,1	49,5	45,5	62,5	45,2	49,8	54,5	50	56,6	50,5	43,8	57,3	42,2	65,8	39,7
7	4	40,4	42,9	43,5	52,1	49,5	45,5	62,5	45,2	49,8	54,5	50	56,6	50,5	43,8	57,3	42,2	65,8	39,7

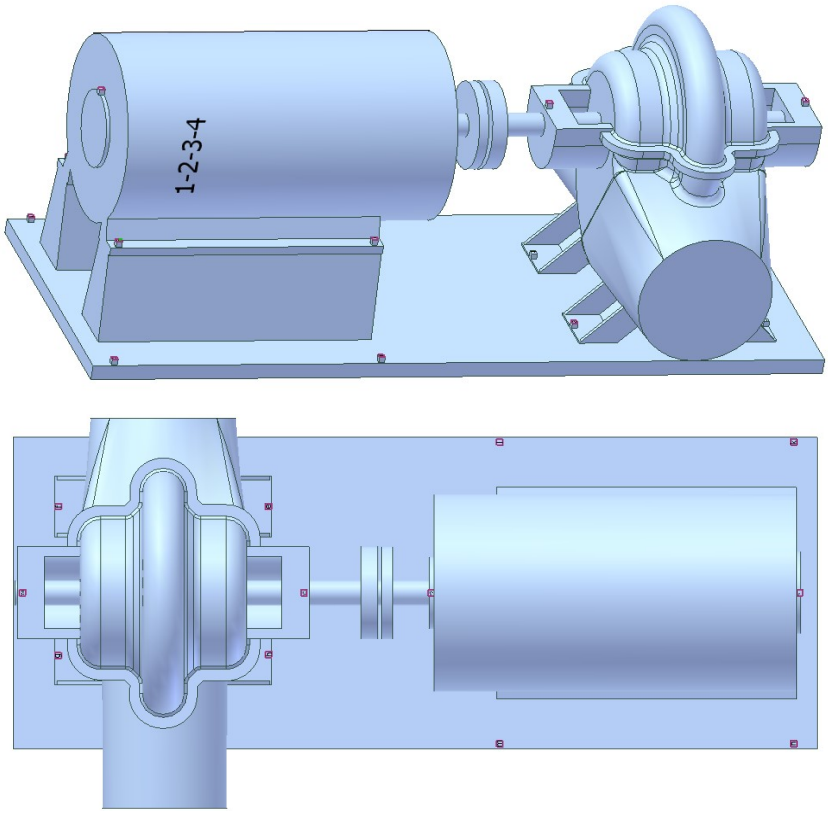
Yapılan ölçüm sonuçları ortalama sıcaklık değeri olarak belirlenerek her motorun yüzeyden iletimle ve taşınımla ısı kaybı olacağı için ortalama yüzey sıcaklıklarındaki değişimin test düzeneğine pararlel olarak regresyon analizi ile verim farklılığını açıklayacağı öngörülmüştür. Motor içi hava akışı ile taşınımla olan ısı kaybı hesabı için ise motor fan giriş ve çıkış sıcaklıkları özellikle ölçülmüştür. Böylece sıcaklık karşılaştırmasının aynı model motopompların hava akış şartlarının aynı olduğu kabulüyle motopomp verimlerinin sıcaklık değer ölçümlerinin regresyon analizi ve sonrasında elde edilecek formülle eldesi amaçlanmıştır.

Kağıthane terfi merkezinde kullanılan iki tip motopomp için; Tip-1 grubu 1, 2, 3, 4 numaralı motopomplar için hava ile temas eden dış yüzeyleri (ısıl taşınım yüzeyi) 4,17 m^2, beton kaide ile temas eden ayaklarla destek yüzeyi (iletim temas yüzeyi) 1,07 m^2 dir. Tip-2 grubu 5,6 numaralı motopomplar için ısıl taşınım yüzeyi 4,718 m^2 ısıl iletimindeki temas yüzeyi 1,07 m^2 olarak tespit edilmiştir. Motor pompa fan gücü, ortamın ısıl taşınım katsayısı, ısıl iletim katsayısı literatürden ve ortamda yapılacak hava hızı ve hava geçiş açıklığı ölçüleriyle belirlenebilir ancak taşınım ve iletim katsayıları kullanılmaksızın yeterli istitastiksel veri analizi ile verimin tahmini hedeflenmiştir. Fan debisi, fan giriş çıkış scaklıkları ve arayüzdeki temsili motopomp model resmi üzerindeki ölçüm noktalarının

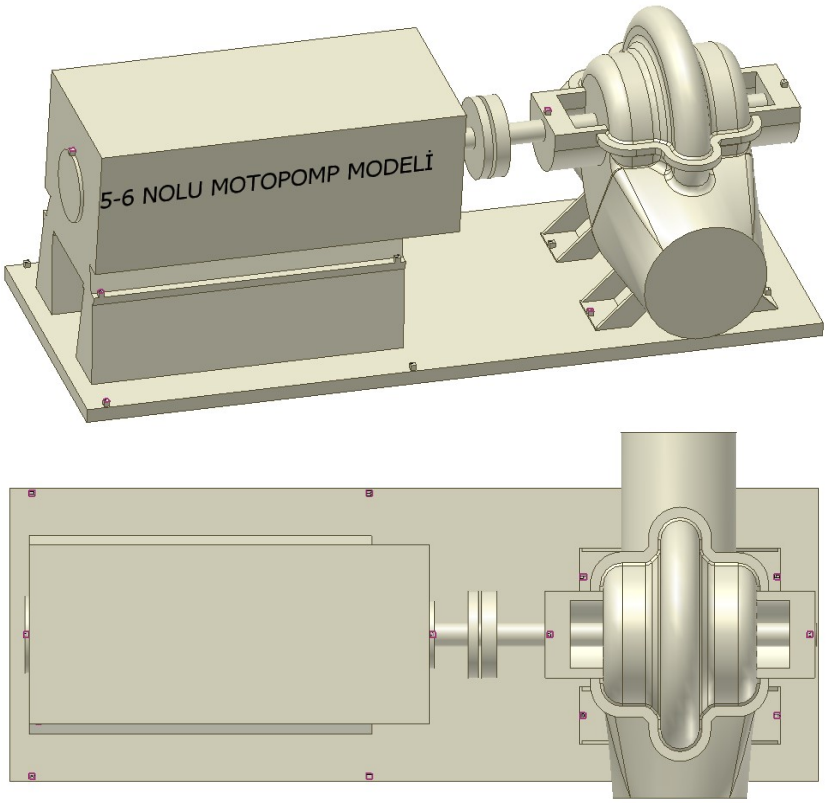
(T1,T2…T13) sıcaklık değerlerinin girileceği bir program arayüzünde veri girişinde kullanılması öngörülmüştür. Sonuç olarak iletim ve taşınımla ısı transferi ile kayıp enerji ile titreşimle kaybolan enerjinin veri analizine dayalı olarak istatistiki tespiti üzerinden motor ve pompanın enerji kaybı ile motopomp verimini tahmin eden paket programın eldesi amaçlanmıştır.

3.3.2. Titreşim Ölçüm Modeli

Kâğıthane Terfi Merkezi'nde bulunan SİEMENS ve ABB 500 kW elektrik motorları ile KSB pompalardan oluşan 1, 2, 3, 4 numaralı tip-1 motopomplar ile 5, 6 numaralı tip-2 motopompların 3D katı modelleri Şekil 3.48 ve Şekil 3.49 gösterilen biçimde oluşturulmuştur.



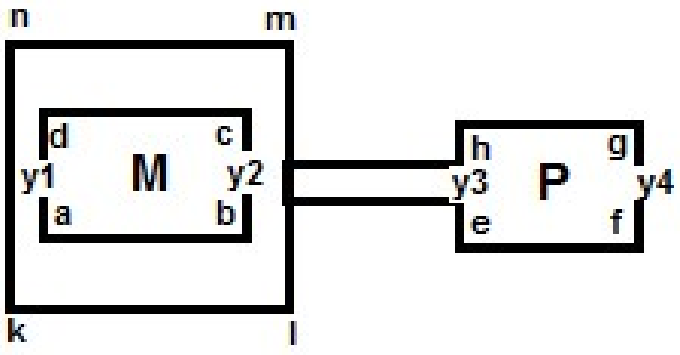
Şekil 3.48. 1-2-3-4 Nolu Motopompların 3D Katı Modeli (Tip-1).



Şekil 3.49. 5-6 Nolu Motopompların 3D Katı Modeli (Tip-2).

3.3.2.1. Titreşim Ölçüm Noktalarının Belirlenmesi

Kağıthane Terfi Merkezi'nde motor ile pompa ve kaide üzerine 30 mm x 30 mm x 30 mm metal küpler Şekil 3.50'de gösterilen titreşim noktası ölçüm planına göre yerleştirilerek titreşim ölçüm noktaları oluşturulmuş her bir küp üzerinde x, y, z eksenleri ayarlanmıştır.



Şekil 3.50. Titreşim Ölçüm Küpleri Yerleşim Planı.

Titreşim ölçüm küplerinin motor, pompa ve kaide üzerine titreşim ölçüm noktasını sabitlemek ve her 3 eksende ayrı ölçüm almak amaçlı titreşim ölçüm küpleri sert yapıştırıcı ile eksenel şekilde yerleştirilmiştir. Burada motopompların uzunluk yönü x ekseni, motopomp genişlik ekseni y ekseni ve düşey eksen z ekseni olarak tanımlanmıştır. Küpler üzerinde ölçümde herhangi bir hata olmaması için kırmızı kalemle eksenler Şekil 3.51'de gösterilen biçimde işaretlenmiştir.



Şekil 3.51. Ölçüm İçin Sabitlenen Küplerin Görüntüsü.

Motopomplar ve kaide üzerine yerleştirilen küplerden titreşim ölçümleri VB-5210 model titreşim ölçerle 3 eksende hız ve ivme ölçümleri şeklinde alınmıştır (Şekil 3.52).



Şekil 3.52. Ölçüm İçin Sabitlenen Metal Küpler Üzerinden Titreşim Ölçümleri.

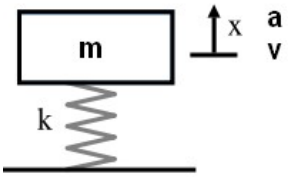
3.3.2.2. Titreşim Ölçüm Sonuçları

Titreşim ölçüm sonuçları her motopomp için Çizelge hâline getirilmiştir. Bu veri kayıt biçimi Çizelge 3.17'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.17. Titreşim Ölçümlerinin Kayıtları Çoklu Veriler Örnek Gösterim.

		TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ																		
NO	Motopomp No	ÖLÇÜLEN BÜYÜKLÜK	k			l			m			n			a			b		
			x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	6	İVME(mm/sn^2)	0,49	0,76	0,68	1,18	2,24	1,67	1,48	1,78	1,77	0,29	0,78	0,49	0,1	1,02	0,2	1,3	1,44	1,1
1	6	HIZ(mm/sn)	1,09	0,72	0,98	0,58	1,97	0,84	0,68	0,77	0,78	0,68	1,45	0,98	11,72	17,45	6,41	4,71	8,13	5,11
2	5	İVME(mm/sn^2)	0,42	0,64	0,52	1,04	1,98	1,27	1,30	1,57	1,56	0,26	0,70	0,39	2,15	2,55	1,14	0,8	0,86	0,36
2	5	HIZ(mm/sn)	0,94	0,65	0,74	0,52	1,73	0,75	0,61	0,68	0,69	0,61	1,28	0,78	1,28	8,11	1,43	0,16	0,51	0,29
3	5	İVME(mm/sn^2)	0,38	0,62	0,47	0,96	1,82	1,17	1,20	1,44	1,44	0,23	0,63	0,36	0,29	1,05	0,27	0,94	1,73	1,15
3	5	HIZ(mm/sn)	0,86	0,58	0,68	0,47	1,59	0,69	0,55	0,62	0,63	0,55	1,18	0,74	4,5	10,75	3,23	3,85	4,05	3,44
4	1	İVME(mm/sn^2)	0,49	0,81	0,64	1,25	2,37	1,53	1,56	1,88	1,88	0,31	0,84	0,44	0,31	0,74	0,26	0,51	0,45	0,44
4	1	HIZ(mm/sn)	1,16	0,83	0,92	0,62	2,08	0,90	0,73	0,82	0,83	0,73	1,54	0,90	0,51	3,26	1,06	1,74	1,77	0,88
5	3	İVME(mm/sn^2)	0,58	0,93	0,66	1,39	2,66	1,70	1,74	2,11	2,10	0,34	0,94	0,43	0,34	0,82	0,34	0,67	0,5	0,34
5	3	HIZ(mm/sn)	1,26	0,88	0,94	0,70	2,32	1,00	0,81	0,91	0,92	0,81	1,72	0,88	1,12	3,1	1,36	3,94	1,22	1,53
6	2	İVME(mm/sn^2)	0,52	0,88	0,70	1,33	2,53	1,62	1,66	2,01	2,00	0,32	0,89	0,49	2,64	4,39	2,37	2,34	2,02	1,4
6	2	HIZ(mm/sn)	1,08	0,83	0,90	0,60	2,00	0,86	0,69	0,78	0,80	0,69	1,48	0,89	10,45	14,18	9,82	7,52	7,07	9,03
7	4	İVME(mm/sn^2)	0,36	0,61	0,45	0,89	1,69	1,09	1,11	1,34	1,34	0,22	0,59	0,36	1,69	2,08	1,04	0,54	0,56	0,43
7	4	HIZ(mm/sn)	0,78	0,56	0,65	0,44	1,48	0,63	0,51	0,58	0,59	0,51	1,09	0,73	1,01	7,15	1,47	0,14	0,44	0,31

Motopomp üzerinde farklı noktalardan alınan titreşim hız ve ivme değerleri kütle merkezine indirgenerek kütle merkezinin bileşke hareketi şeklinde ifade edildiğinde motopomp Şekil 3.53'te görülen noktasal kütle olarak tanımlanabilmektedir. Böylece noktasal kütlenin titreşim hareketi enerji formülleri daha basit hale gelmiş olarak titreşimle kaybolan enerji değeri ile istatistiki olarak daha kolay kıyaslanabilir hale getirilmektedir.



Şekil 3.53. Ağırlık Merkezine Göre Basitleştırılen Titreşim Modeli (Kıral, 2013).

Basit harmonik harekette Mekanik enerji dengesi;

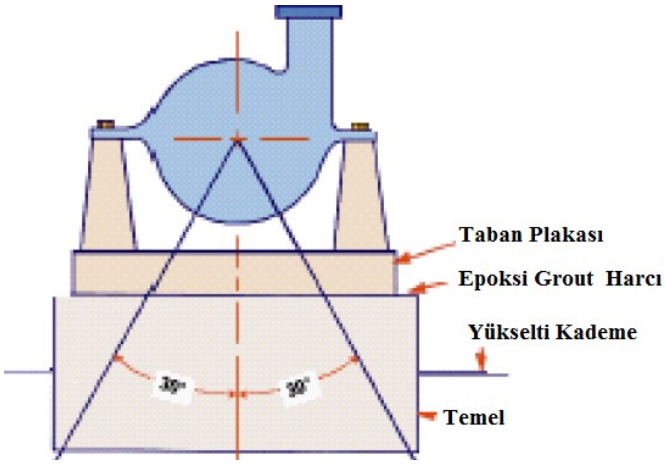
$$E = U + K = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 \tag{3.7}$$

$$U = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega_0 t + \varphi) \tag{3.8}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega_0^2 A^2\sin^2(\omega_0 t + \varphi) = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega_0 + \varphi) \tag{3.9}$$

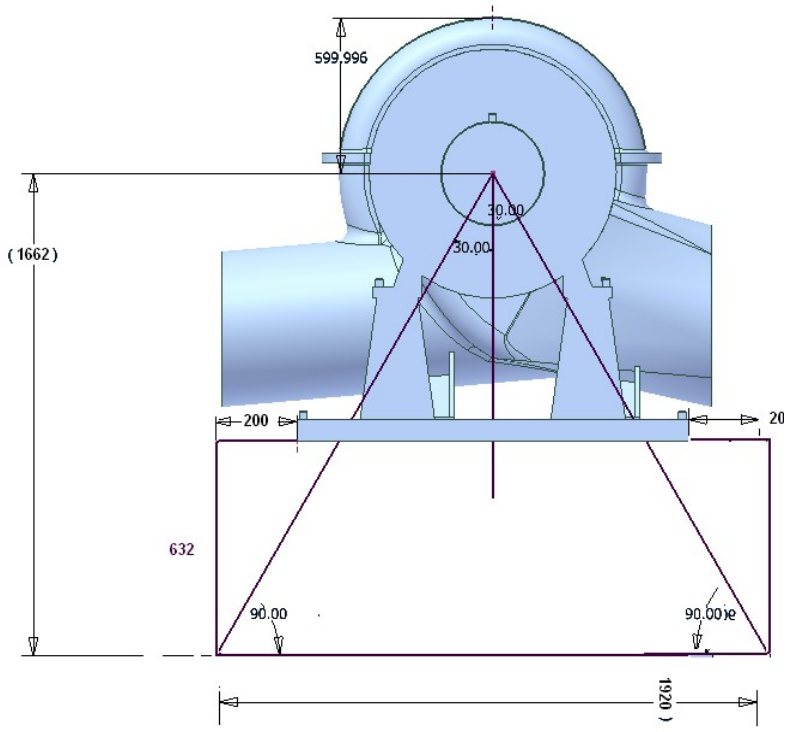
Motopompların ve kaidelerinin kütle merkezine indirgenen titreşim hareketi için motor ve pompaların ağırlıkları ayrı ayrı etiket değerlerinden alınmıştır. Buna göre

pompa ağırlığı: 2967 kg, motor ağırlığı: 3300 kg olarak tespit edilmiştir. Kaide kesit ölçüleri için Şekil 3.54'teki KSB pompa kaide ölçüleri baz alınmıştır. Buna göre pompa mil eksenine göre 30^0 lik açıyla kaide kenarlarının kesiştiği nokta arasında kalan dikdörgen kesit alanı olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.54. KSB Pompa Kaide Motopomp Yerleşim Planı.

KSB pompa kaide modeli Kâğıthane terfi merkezindeki motopomp modeline Şekil 3.54'te gösterilen biçimde uygulandığında her motopomp için 0,632 m x 1,920 m x 3,860 m ölçülerinde bir kaide elde edilmektedir.



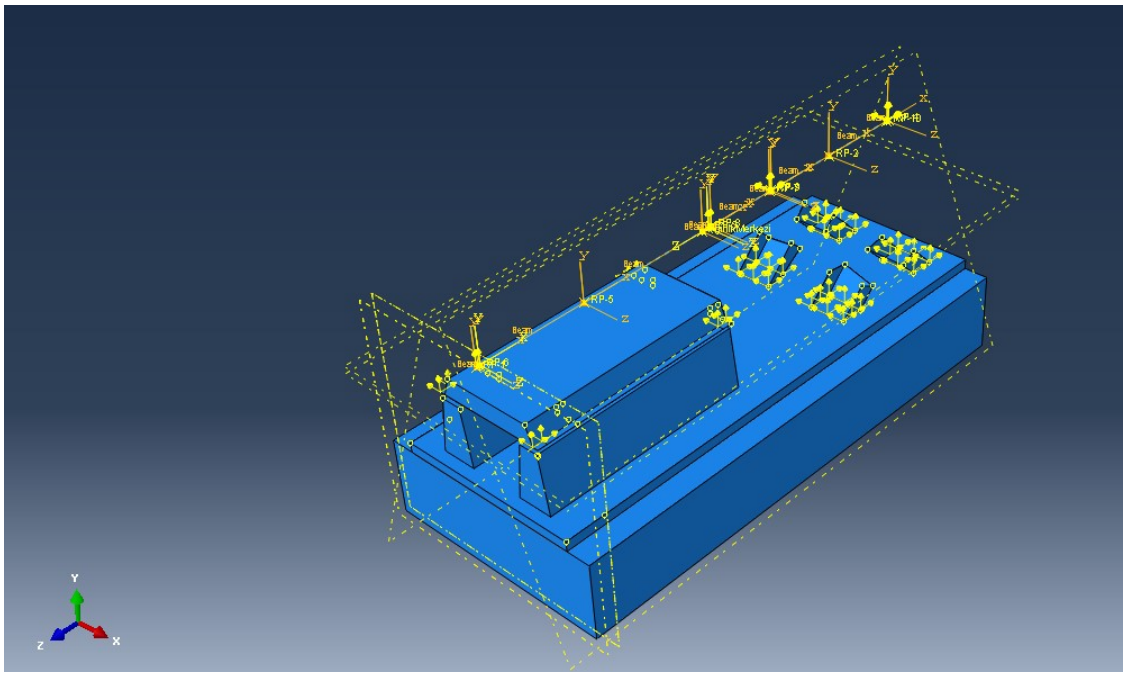
Şekil 3.55. Motopomp Kaidesi Montajını Yapan KSB'ye Göre Model Ölçülendirme.

Ortaya çıkan kaide ölçülerine göre ve beton yoğunluğu 2500 kg/m^3 alındığında motopomp kaide ağırlığı 9.888 kg olmaktadır.

Daha önce tip-1 ve tip-2 olarak oluşturulan motopomplara ait katı modeller için Abaqus programında motopomp ve kaide kütleleri ile noktasal titreşim değerleri girilerek ağırlık merkezlerinin titreşim bileşke değerleri her bir noktasal ölçüm için ayrı ayrı belirlenmiştir. Abaqus programından bağımsız çalışabilmek için Kâğıthane terfi merkezi motopomplarından ölçülen noktasal titreşim değerlerini kütle merkez titreşimine çeviren bir fonksiyonun regresyon analizi ile elde edilmesini sağlayan veri seti elde edilecektir. Böylece motopomp kütle merkezi titreşim değerleriyle motopomp ortalama sıcaklık değerlerinin regresyon analizi sonucu motopomp verimini yaklaşık tahmin eden amprik formüle dayalı paket programın elde edilmesi amaçlanmıştır.

3.3.3.Kütlesel Titreşimin Ağırlık Merkezlerine Abaqus Programı İle İndirgenmesi

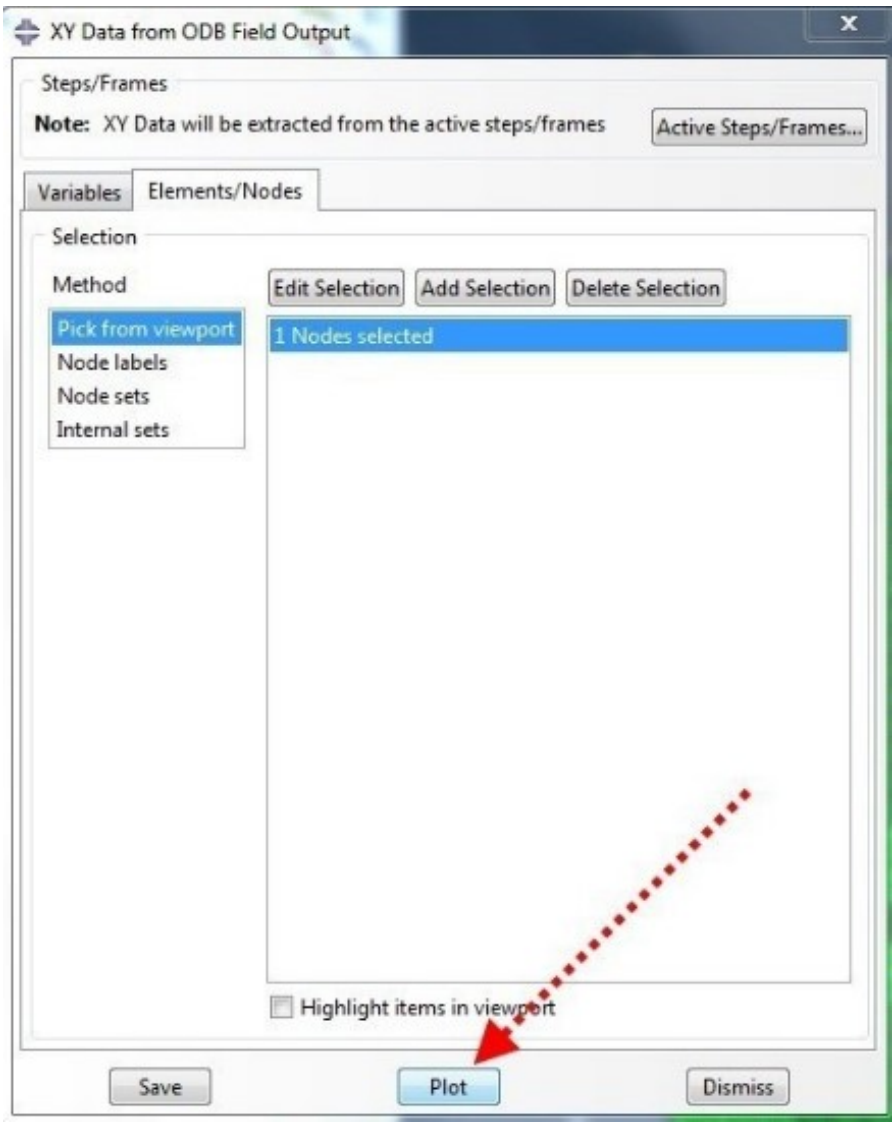
Üç boyutlu katı modelleri hazırlanan motopomp modelleri bağlantı noktaları Abaqus programına alınmış ve motopomp üzerinden ölçüm yapılan noktaların titreşim değerlerinin girilebileceği hâlde Şekil 3.56'daki gibi oluşturulmuş ve motopompun ağırlık merkezindeki titreşim, açıklanan adımlar izlenerek elde edilmiştir.



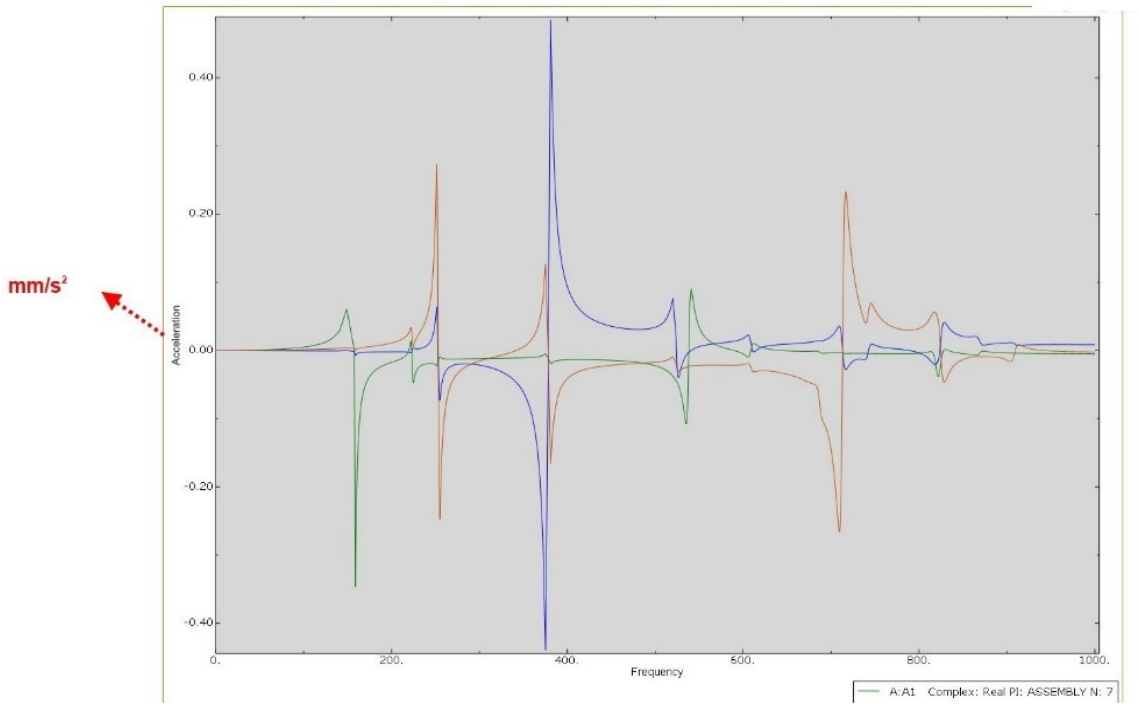
Şekil 3.56. Abaqus Programında Motopomp Titreşim Modeli Yüklemeler Altında Görüntüsü.

Buna göre; Module job reate'de job tıklanarak ve analiz ismi yazılarak sonrasında continiue komutu ile "submit" seçilerek program analizi çözmeye başlatılmıştır. Yeniden değer değiştirerek çözüm yaptırmak için load managerdan değer değiştirilerek ve "save as" seçilerek farklı bir dosya oluşturulmuştur. Submit adımına kadar gelinirek yeni bir çözdürme yapılmıştır.

Sonuçların görülmesi için; "ODB display options"tan show connector/ODB field output unigque/nodal seçilmiş A1,A2,A3 işaretlenmiştir. Şekil 3.57'deki adımlar izlenerek XY DATA from ODB field out put plot yapılarak Şekil 3.58'deki gibi istenen ağırlık merkezi noktası titreşim değerlerine ulaşılmıştır.

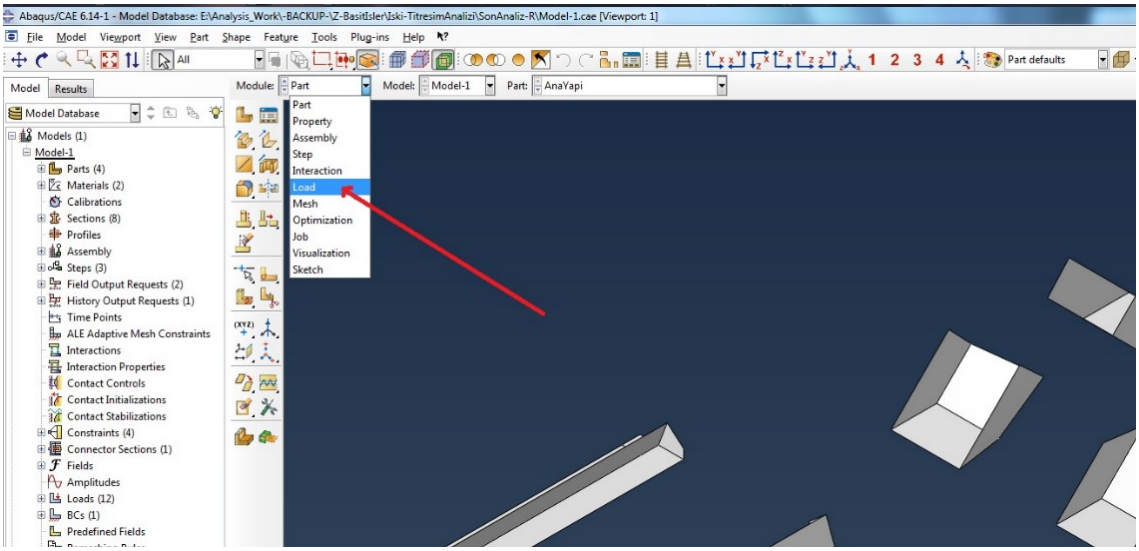


Şekil 3.57. Seçilen Noktada Sonuçları Gösteren XY Data From Odb Field Output Komut Ekranı.



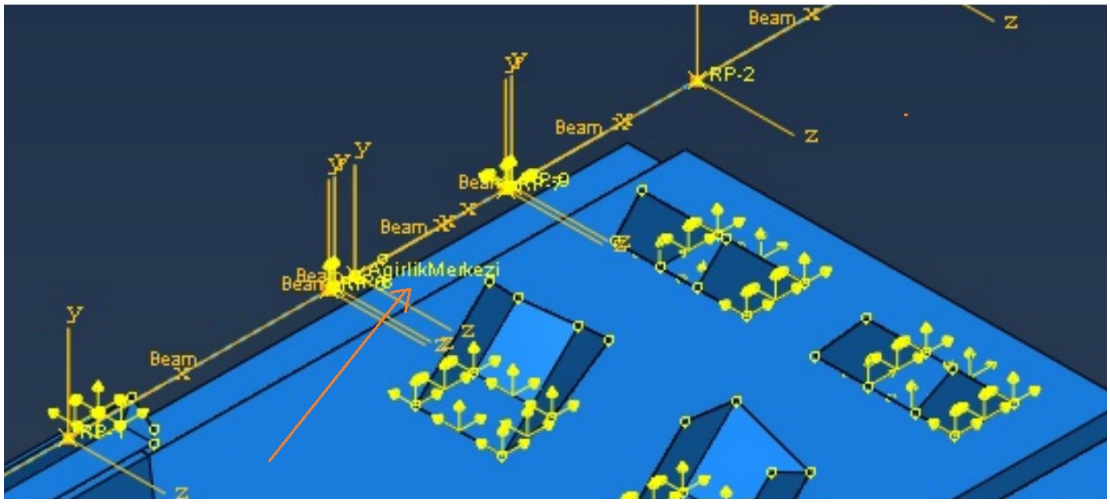
Şekil 3.58. Seçilen Noktada Frekansa Bağlı Titreşim Değerleri Grafiği.

Farklı veri örneklemeleriyle Abaqus programında ağırlık merkezinin ölçüm noktalarının ilişkisini belirlemeye yönelik titreşim yükü veri girişleri yapılmıştır. Titreşim yükü veri girişi açılması için load komutunun seçilmesi Şekil 3.59'da gösterilmiştir.



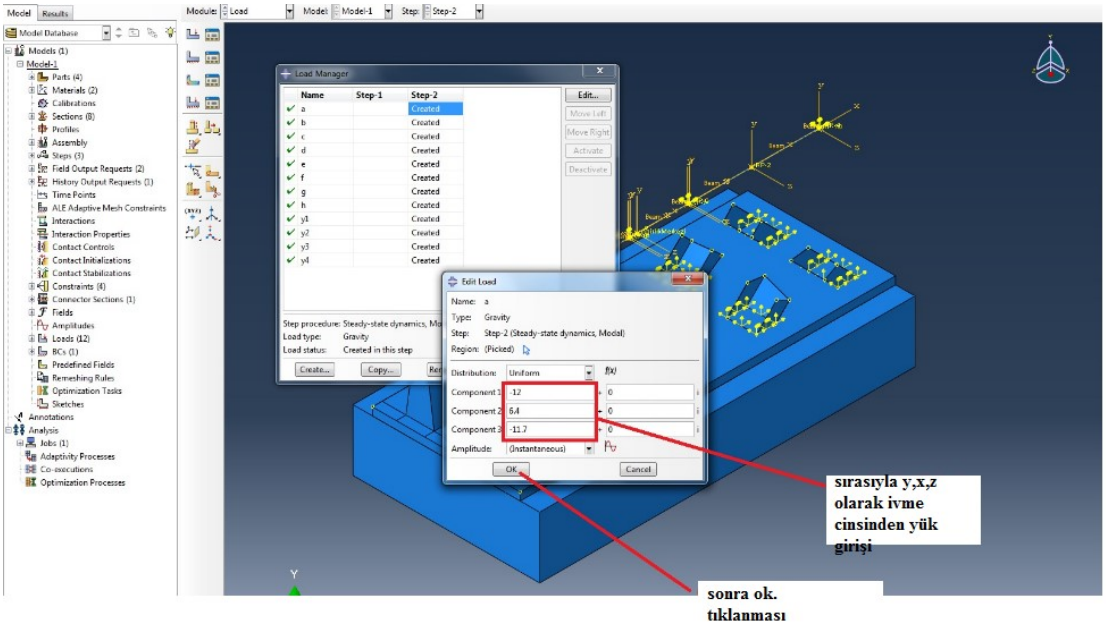
Şekil 3.59. Load Sekmesinde Yükleme Açılması.

Titreşim yükü veri girişleri sonrası titreşim çözümü yapılmış modelde isimlendirilen ağırlık merkezi noktası Şekil 3.60'da gösterilmiştir.



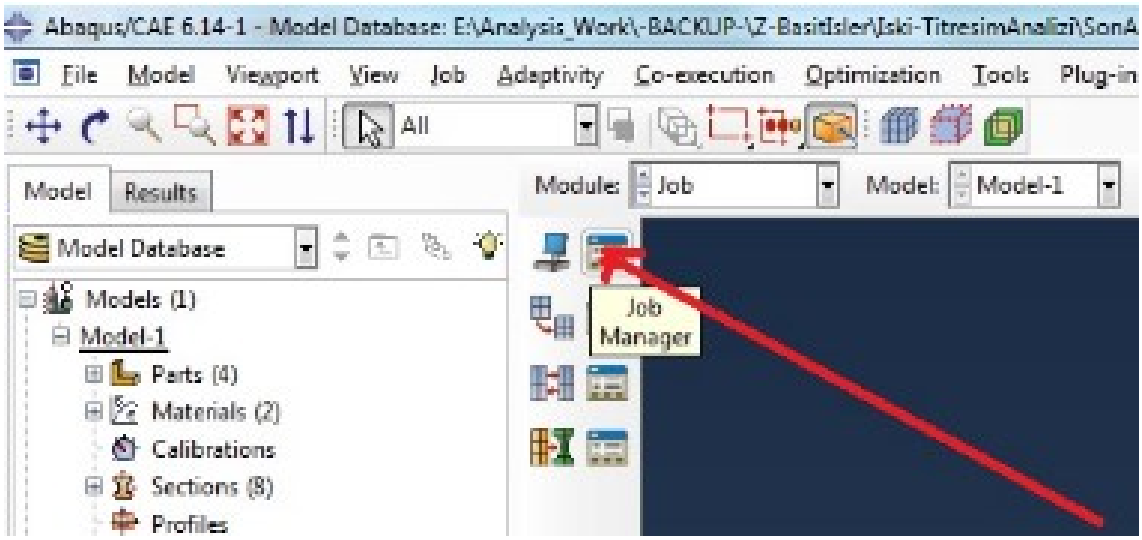
Şekil 3.60. Ağırlık Merkezi Noktası.

Ölçülen titreşim verilerinin farklı veriler olarak programda çözdürülmesi için yükleme ekranından açılan "load manager" ekranında yük değerleri Şekil 3.61'deki görülen biçimde değiştirilirmiştir.

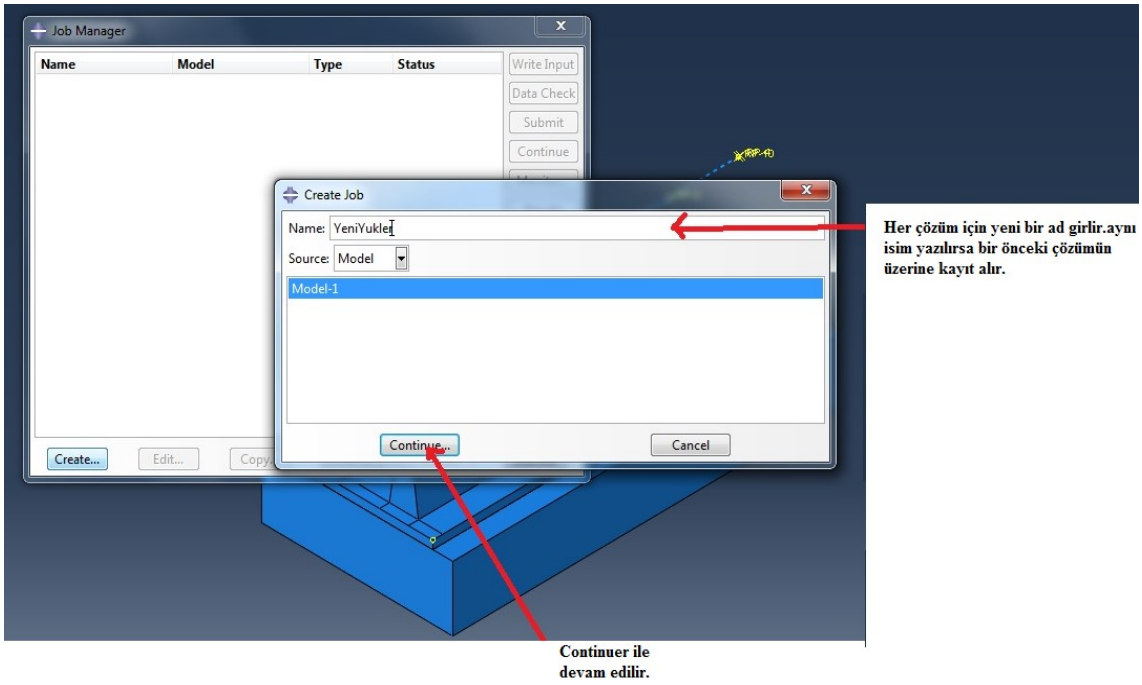


Şekil 3.61. Load Manager Tüm Yükleme Noktalarının Yük Değerleri Değişitirme.

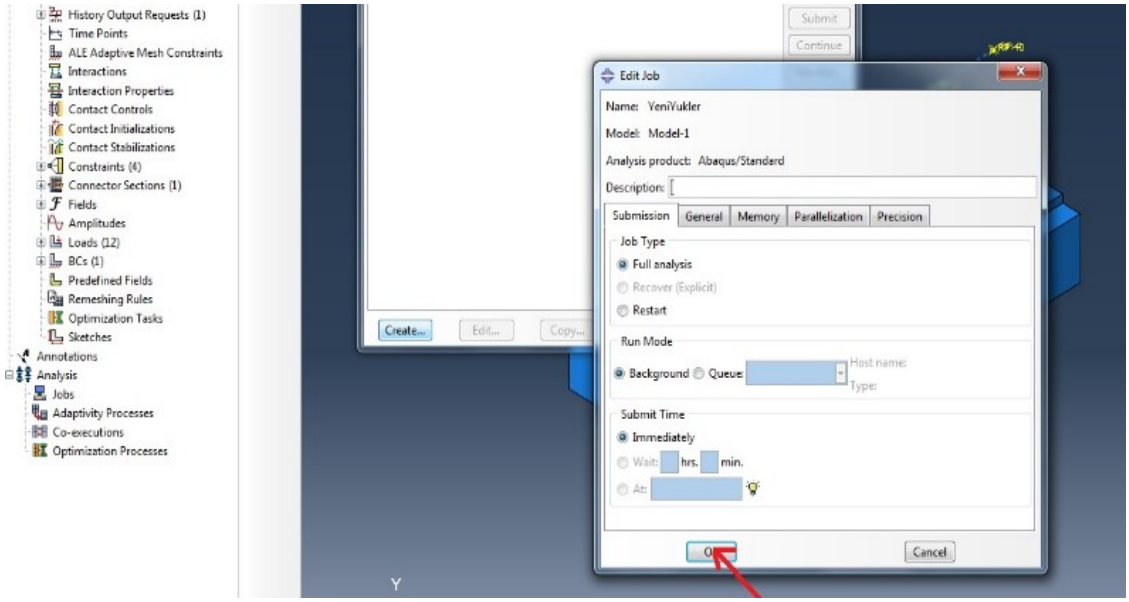
Yapılacak yeni çözümlemeler için yeni bir iş oluşturulması gerektiğinden Job manager ekranından yeni iş başlatma Şekil 3.62'de görüldüğü biçimde yapılmıştır. Yeni dosya ismi Şekil 3.63'teki haliyle verilmiş ve Şekil 3.64'te gösterilen biçimde yeni iş dosyası oluşturma aşaması tamamlanmıştır.



Şekil 3.62. Job Manager Çözüm İçin İş Oluşturma.

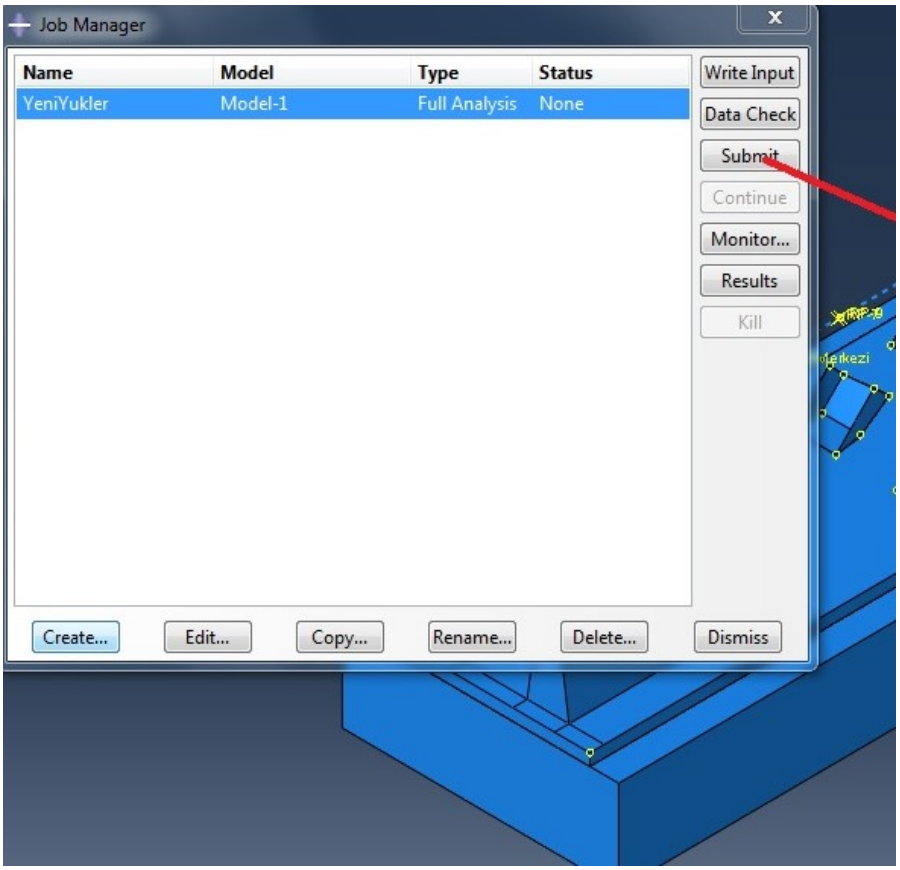


Şekil 3.63. Yeni Dosya İsmi Verme.



Şekil 3.64. Job Menüsünü Sonlandırma.

"Job manager" ekranında iş dosyasına "submit" şeklinde çözdürme onayı verilerek analiz başlatılmıştır (Şekil 3.65).



Şekil 3.65. Çözdürme İşlemine Onay Verme.

Farklı zamanlarda yapılan titreşim ölçümlerinin her biri için Abaqus programında çözdürülmesi ile ağırlık merkezi için “X”, “Y” ve “Z” eksenlerinde titreşim değeri her bir ölçüm için ayrı ayrı elde edilmiştir. Yapılmış olan simülasyonlarla elde edilen ağırlık merkezi titreşim değerleri, titreşim ölçümleri veri tablosuna yeni bir sutun eklenerek kaydedilmiştir.

Şekil 3.50’de verilen motopomp noktalarının x,y,z eksenlerindeki titreşimin hızı ve ivmesi şeklinde çoklu olarak ölçülmüş değerler kullanılarak SPSS programında yapılan regresyon analizi sonucunda ağırlık merkezindeki titreşim değerlerini tahmin eden formül elde edilmiş ve Denklem 3.10’da verilmiştir.

$$Vx = \begin{pmatrix} 0,4 \\ 0,288 \\ 0,17 \\ -0,997 \\ -0,015 \\ 0,605 \\ -0,085 \\ 0 \\ 0 \\ 1,342 \\ 0,773 \\ 0 \\ -3,454 \\ -0,02 \\ 0,09 \\ 0 \\ 0,384 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 1 \\ V_{aX} \\ V_{bX} \\ V_{cX} \\ V_{dX} \\ V_{eX} \\ V_{fX} \\ V_{gX} \\ V_{hX} \\ V_{kX} \\ V_{lX} \\ V_{mX} \\ V_{nX} \\ V_{Y1X} \\ V_{Y2X} \\ V_{Y3X} \\ V_{Y4X} \end{pmatrix} \quad Vy = \begin{pmatrix} -1,078 \\ 0,044 \\ -0,287 \\ 0,233 \\ -0,007 \\ 0 \\ 0 \\ -0,748 \\ 0,427 \\ -5,028 \\ 16,431 \\ 7,729 \\ -22,745 \\ -0,154 \\ 0,433 \\ 0 \\ 0,41 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 1 \\ V_{aY} \\ V_{bY} \\ V_{cY} \\ V_{dY} \\ V_{eY} \\ V_{fY} \\ V_{gY} \\ V_{hY} \\ V_{kY} \\ V_{lY} \\ V_{mY} \\ V_{nY} \\ V_{Y1Y} \\ V_{Y2Y} \\ V_{Y3Y} \\ V_{Y4Y} \end{pmatrix} \quad Vz = \begin{pmatrix} 10,784 \\ 0 \\ 1,025 \\ 0,156 \\ -1,024 \\ 0 \\ 0,081 \\ -0,497 \\ 0,106 \\ 17,422 \\ 0,571 \\ -0,087 \\ -31,78 \\ 0,245 \\ 0,691 \\ 0 \\ 0,674 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 1 \\ V_{aZ} \\ V_{bZ} \\ V_{cZ} \\ V_{dZ} \\ V_{eZ} \\ V_{fZ} \\ V_{gZ} \\ V_{hZ} \\ V_{kZ} \\ V_{lZ} \\ V_{mZ} \\ V_{nZ} \\ V_{Y1Z} \\ V_{Y2Z} \\ V_{Y3Z} \\ V_{Y4Z} \end{pmatrix}$$

$$a_x = \begin{pmatrix} -0{,}255 \\ -0{,}032 \\ -0{,}062 \\ -0{,}588 \\ -0{,}163 \\ 0{,}161 \\ 0{,}121 \\ 0 \\ 0 \\ 0{,}424 \\ -1{,}103 \\ 0{,}745 \\ -0{,}872 \\ 1{,}432 \\ 0{,}116 \\ 0{,}051 \\ 0{,}558 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 1 \\ a_{aX} \\ a_{bX} \\ a_{cX} \\ a_{dX} \\ a_{eX} \\ a_{fX} \\ a_{gX} \\ a_{hX} \\ a_{kX} \\ a_{lX} \\ a_{mX} \\ a_{nX} \\ a_{Y1X} \\ a_{Y2X} \\ a_{Y3X} \\ a_{Y4X} \end{pmatrix} \quad a_y = \begin{pmatrix} 12{,}478 \\ 42{,}388 \\ 37{,}448 \\ -17{,}921 \\ -26{,}318 \\ 0 \\ -7{,}367 \\ 0 \\ -6{,}959 \\ -3{,}418 \\ 0 \\ 120{,}364 \\ -255{,}88 \\ -90{,}06 \\ 20{,}287 \\ -0{,}563 \\ -13{,}392 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 1 \\ a_{aY} \\ a_{bY} \\ a_{cY} \\ a_{dY} \\ a_{eY} \\ a_{fY} \\ a_{gY} \\ a_{hY} \\ a_{kY} \\ a_{lY} \\ a_{mY} \\ a_{nY} \\ a_{Y1Y} \\ a_{Y2Y} \\ a_{Y3Y} \\ a_{Y4Y} \end{pmatrix} \quad a_z = \begin{pmatrix} -0{,}15 \\ -0{,}304 \\ -0{,}172 \\ 0{,}256 \\ 0{,}414 \\ 0{,}055 \\ 0 \\ 0{,}494 \\ 0 \\ 8{,}997 \\ 0{,}462 \\ -3{,}05 \\ -1{,}453 \\ 0{,}161 \\ 0 \\ 0{,}207 \\ -0{,}324 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 1 \\ a_{aZ} \\ a_{bZ} \\ a_{cZ} \\ a_{dZ} \\ a_{eZ} \\ a_{fZ} \\ a_{gZ} \\ a_{hZ} \\ a_{kZ} \\ a_{lZ} \\ a_{mZ} \\ a_{nZ} \\ a_{Y1Z} \\ a_{Y2Z} \\ a_{Y3Z} \\ a_{Y4Z} \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

3.3.4.Isı ve Titreşime Dayalı Amprik Verim Tahmin Denkleminin Oluşturulması

Sıcaklık ölçümleri ve ağırlık merkezine indirgenen titreşim değerleri ile aynı ölçümlerde tespit edilen motopomp verimleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda titreşim ve sıcaklık değerleri ile ampirik motopomp verim formülü elde edilmiş ve Denklem 3.11'de verilmiştir.

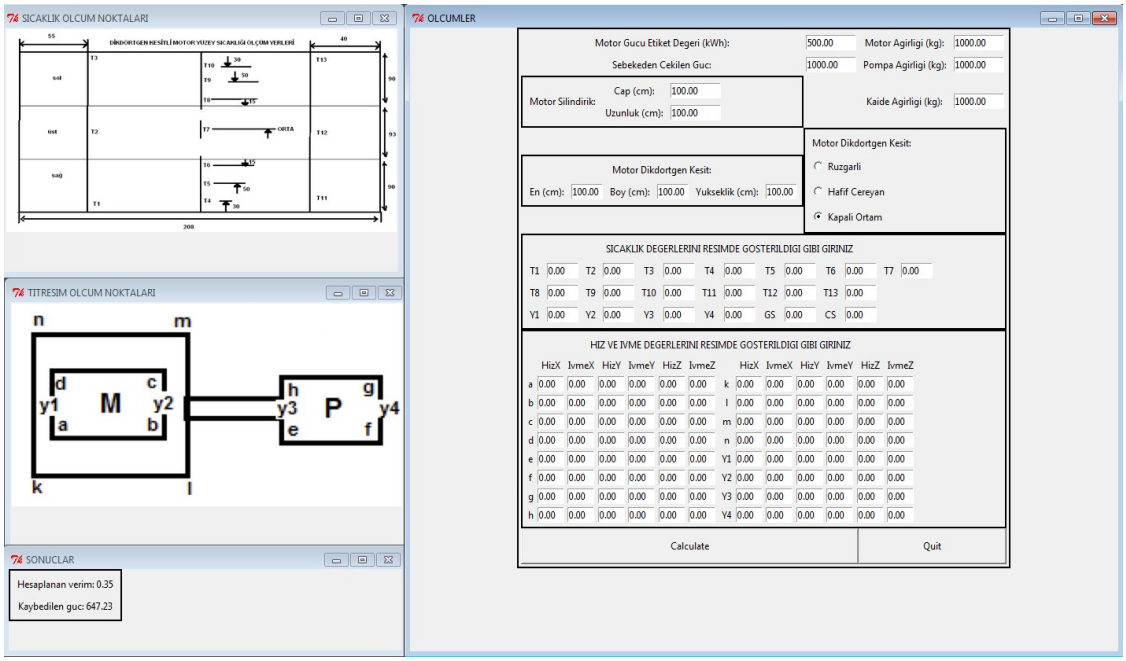
$$\text{Verim} = \begin{pmatrix} 0{,}558 \\ -0{,}012 \\ -0{,}002 \\ 0{,}007 \\ 0{,}086 \\ -1{,}94E\text{-}06 \\ -0{,}063 \\ 0{,}001 \\ 0{,}006 \\ 0 \\ 0{,}004 \\ -0{,}004 \\ -0{,}008 \\ -0{,}002 \end{pmatrix}^{T} \times \begin{pmatrix} 1 \\ V_X \\ V_Y \\ V_Z \\ a_X \\ a_Y \\ a_Z \\ T_{R1} \\ T_{R2} \\ T_{R3} \\ T_{R4} \\ T_{R5} \\ T_{R6} \\ T_{R7} \end{pmatrix}$$

$$TR1 = (T1 + T2 + T3)/3 \quad (1)$$
$$TR2 = (T4 + T5 + T6)/3 \quad (2)$$
$$TR3 = T7 \quad (3)$$
$$TR4 = (T8 + T9 + T10)/3 \quad (4)$$
$$TR5 = (T11 + T12 + T13)/3 \quad (5)$$
$$TR6 = (Y1 + Y2 + Y3 + Y4)/4 \quad (6)$$
$$TR7 = GS - CS \quad (7)$$

(3.11)

3.3.5. Ampirik Denklemi Kullanan Enerji Verimliliği Tahmin Eden Program Eldesi

Oluşturulucak programa girilmesi gereken değişkenlere ait semboller program arayüzünde tanımlanarak ve matlab programında Denklem 3.10 ve Denklem 3.11 yazılımda kullanılarak Şekil 3.66'da arayüzü verilen motopomp verimini tahmin eden paket program elde edilmiştir. Çizelge 3.18'de paket program verim tahmin değerleri ile ölçülen değerler arasında hata payının %1'den az olduğu görülmektedir.



Şekil 3.66. Motopomp Verim Tahmin Programı Oluşturulan Arayüzü.

Çizelge 3.18. Motopomp Verim Tahmin Programı Klasik Ölçüm ile Programın Tahmin Karşılaştırması.

MOTOPOMP NO	ÖLÇÜLEN VERİM	PROGRAMIN TAHMİN ETTİĞİ VERİM DEĞERİ	SAPMA DEĞERİ (%)
6	0,65	0,648	0,27
5	0,72	0,718	0,32
5	0,73	0,732	-0,26
1	0,68	0,676	0,64
3	0,69	0,685	0,69
2	0,68	0,684	-0,65
4	0,73	0,731	-0,18
6	0,63	0,630	0,03
5	0,73	0,737	-0,98
5	0,72	0,720	0,05
1	0,65	0,655	-0,72
3	0,68	0,679	0,11
2	0,69	0,686	0,53
4	0,74	0,737	0,47
4	0,64	0,643	-0,39
6	0,72	0,718	0,33
5	0,73	0,728	0,28
5	0,69	0,691	-0,15
1	0,69	0,694	-0,62
3	0,68	0,679	0,17
2	0,73	0,730	0,02

3.4. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Tasarımı ile CFD Analizi ve Kısmi İmalatı

Güneş santralleri genel olarak odaklayıcı sistemler veya güneş enerjisinden doğrudan elektrik üreten PV sistemlerden meydana gelir. Odaklamalı sistemler ısı enerjisinin termodinamik çevrim ve mekanik hareket sonucunda elektrik üretimi gerçekleştirirler. PV sistemlerde elektrik üretimi öncesi herhangi bir makro hareket meydana gelmezken odaklamalı sistemlerde odaklayıcıdan çıkan akışkandan itibaren başlayan ve türbinde enerji eldesini sağlayan mekanik hareket söz konusu olmaktadır.

Rüzgâr türbinleri birçok boyut ve konfigürasyonda oluşur ve çok çeşitli malzemelerden üretilir. Basit olarak, bir rüzgâr türbini, bir göbeğe bağlı kanatlara sahip bir rotordan oluşur; şanzıman, bağlantı milleri, destek yatakları, jeneratör ve diğer makinelerden oluşan bir aktarma organını barındıran bir makine dairesi; bir kule ve yere monteli elektrikli ekipmanından meydana gelir. Rotora bağlı kanatlar, rüzgâr akımındaki enerjiyi toplar. Rotor, rüzgârdaki kinetik enerjiyi, aktarma organları yoluyla jeneratöre iletir ve elektrik enerjisine dönüştürür. Üretilen elektrik doğrudan kullanıma sunulabilir veya besleme şebekesini doğrudan besleyebilir (U.S. Department of Energy, Wind Power Today, 2001).

Türbinin ağırlığının ve maliyetinin azaltılması, rüzgâr enerjisini diğer enerji kaynakları ile rekabetçi hâle getirmenin en önemli anahtarıdır. Günümüzde birincil türbin bileşenlerinin tipik ağırlığı ve maliyeti Çizelge 3.19'da gösterilmektedir. Ek olarak, transformatörler, anahtarlama ve diğer güç ekipmanı dahil geleneksel ve yere monteli sistemler bulunmaktadır (Ancona, D. & McVeigh, 2001).

Çizelge 3.19. Türbin Bileşeninin Ağırlığı ve Maliyeti (Ancona, D. & McVeigh, 2001).

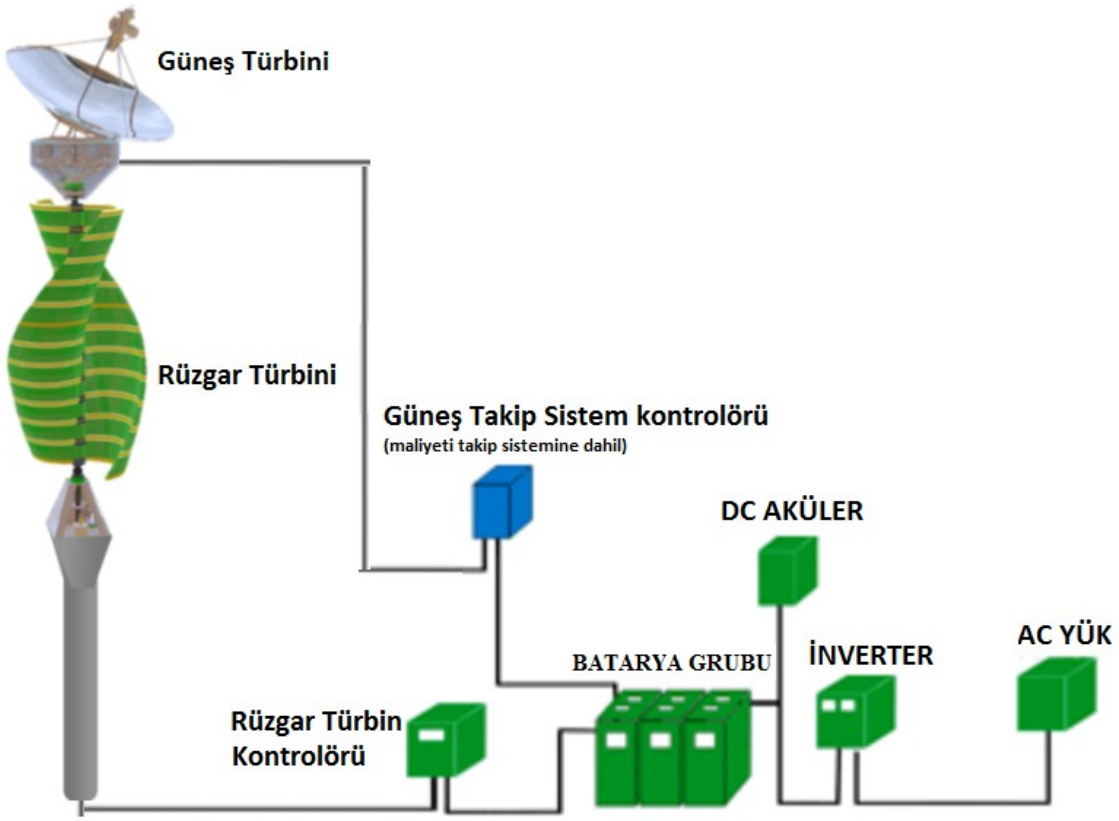
Kompanent	**% Makine Parçası Ağırlığı**	**% Makine Parçası Maliyeti**
Rotor	10-14	20-30
Makine gövdesi	25-40	25
Jeneratör sistemi	5-15	10-15
Dişli kutusu ve aktarma	2-6	5-15
Kule denge ağırlığı	35-50	N/A
Kule	30-65	10-25

Bu tezde güneş-rüzgâr hibrit santrali tasarımı öncesi temelde iki hareketin birleştirilmesi ve ayrık çalışan sistemlere göre verim açısından avantaj sağlanması fikri temel çıkış noktası olmuştur.

3.4.1. Güneş-Rüzgâr Hibrit Sisteminin Amaçlanan Çalışması ve Çalışma Prensipleri

Alternatif enerji kaynaklarından yararlanılması, ilk tarihten beri kayıtlara geçmiştir. Yenilenebilir enerji, kaynakları her bölgede bulunur, ücretsizdir ve kirletici olmayan özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynakları hava şartarına dayanır ve istikrarlı güç kaynağını engelleyen kalıtsal aralıklı yapıya sahiptir. Birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının birleştirilmesi ile oluşan hibrit sistemler yalnızca güvenilir güç sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ihtiyaç olan depolama kapasitesini azaltarak kurulum maliyetlerinin düşürülmesinde de bir çözüm olabilir. Büyük boyutlu bir hibrit sistem yük talebini karşılasa da, yatırım maliyetini artırabilir. Küçük boyutlu bir hibrit sistem ise ekonomiktir ancak yük talebini karşılayamayabilir. Yenilenebilir enerji güç sisteminin optimal boyutlandırılması, sistem bileşenlerinin matematiksel modeline bağlıdır. Bir hibrit enerji sistemi, rüzgâr türbini, PV dizisi ve hidro türbinler gibi çeşitli yenilenebilir enerji dönüşüm bileşenlerinin yanı sıra dizel jeneratörler, mikro türbin ve batarya, depolama aygıtları gibi geleneksel güç üreteçlerinden de oluşabilir. Tüm sistemin en uygun şekilde boyutlandırılması için bileşenler ile alt sistemlerin doğru seçilmesi ve modellenmesi yapılmalıdır.. Modelleme süreci, bileşenlerin özelliklerini ve karar vermedeki prensipleri tanımaya yardımcı olur (Bhandari, Poudel, Lee,& Ahn, 2014).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr kombinasyonu güneş-rüzgâr hibrit sistemini oluşturarak enerji üretmek için kullanılır. Bu hibrit sistemler çoğu zaman elektrik üretmek için güneş panelleri ve küçük rüzgâr türbinleri kullanılarak tasarlanmıştır. Güneş-rüzgâr hibrit sisteminin çalışmasını daha iyi anlamak için, güneş enerjisi sisteminin ve rüzgâr enerjisi sisteminin çalışma prensipleri bilinmelidir. Güneş-rüzgâr hibrit sisteminin bileşenlerini gösteren blok şeması Şekil 3.67'de gösterilmiştir.



Şekil 3.67. Güneş-Rüzgâr Hibrit Enerji Sistem Donanımı.

Rüzgâr enerjisi ayrıca, jeneratörlerle birleştirilmiş rüzgâr türbinleriyle elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr türbini, rüzgâr esintisi nedeniyle dönen, dönme ekseninin esen rüzgâr yönüne hizalanması gereken 2 veya 3 kanattan oluşan bir kanat sistemi olarak tanımlanabilir. Rüzgar türbinleri rotorda elde edilen mekanik enerjiyi diğer aktarma organlarına iletmek için yüksek hassasiyetli dişli kutuları kullanır.

Güneş Enerjisi sistemi, güneş PV hücreleri ve enerji depolamak için bataryalar olmak üzere iki ana bloktan oluşur. Güneş panelleri kullanılarak üretilen elektrik enerjisi (DC güç), bataryalarda depolanabilir, DC yüklerini beslemek için kullanılabilir veya bir inverter ile AC yüklerin beslemesi için kullanılabilir. Güneş enerjisi yalnızca gündüz saatlerinde kullanılırken, atmosferik koşullara bağlı olarak gün boyunca rüzgâr enerjisi kullanılabilir. Rüzgâr ve güneş enerjisi birbirlerini tamamlar ve bu da sistemin neredeyse yıl boyunca elektrik üretmesini sağlar. Güneş-rüzgâr hibrit türbini ana bileşenleri; rüzgâr türbini ve kulesi, güneş panelleri veya kollektörü, aküler, kablolar, şarj regülatörü ve invertördür. Güneş-rüzgâr hibrit sistemi, aküleri şarj etmek için

kullanılabilecek elektriği üretir ve invertör kullanımıyla AC cihazları çalıştırabilir. Rüzgâr türbini, tavsiye edilen minimum yüksekliği 18 m olan bir kuleye kurulabilir. Zemin seviyesinden daha yüksek kurulması rüzgâr türbini için yüksek hızda rüzgâr alarak daha fazla güç üretebilmesini sağlar (Maharashtra Energy Development Agency, 2017).

Bu tez çalışmasında üzerinde çalışılan güneş-rüzgâr hibrit türbini güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisini ortak dönel şaftta birleştirilmesi ile aynı şaft üzerinden ayrık sisteme göre daha fazla enerji elde edilmesi amacının araştırılması doğrultusunda tasarlanması benimsenmiştir. Bununla birlikte güneş-rüzgâr hibrit türbini rüzgâr enerjisinin olmadığı zamanlarda güneş enerjisi ve güneşsiz akşam saatlerinde rüzgâr türbininin enerji üretmesi ile enerji üretimindeki sürekliliği artırmak amaçlanmıştır. Güneş-rüzgar hibrit türbininin, güneş türbini kısmında yüksek verim elde etmek için güneş takip sistemine sahip noktasal odaklı çanak güneş kolektörü ve entegre stirling motoru ile enerji üreten güneş türbini tercih edilmiştir. Rüzgâr türbini kısmında ise kolay imal edilebilirlik ve İstanbul şartlarında düşük rüzgâr hızlarında harekete geçebilme gibi özellikleri nedeniyle helisel savonius rüzgâr türbini seçilmiştir.

3.4.2. Hibrit Türbinin Terfi Merkezi ve Sisteminde Kullanılacağı Yerler

Terfi istasyoları İstanbul şartlarında yüzey alanları 6 bin m^2'ye kadar olan depolar ile birlikte yapılmaktadır. Bu alanlarda İstanbul şartlarında düşük rüzgâr hızlarında enerji üretebilmesi için hibrit 1kw'lık türbinlerin 3 m aralıklarla türbinler konumlandırılacak şekilde yerleştirilmesi ile 660 türbin ile 660 kW'a kadar potansiyel olarak elektrik üretilebileceği değerlendirilmiştir. Şekil 3.68'de güneş- rüzgâr hibrit türbininin terfi merkezi depoları üzerine temsili yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 3.68. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin Kullanılabileceği Terfi Merkezi Su Deposu Alanı Üzerinde Örnek Çoklu Yerleşimi.

3.4.3. Gerekli Türbin Gücüne Karar Verilmesi

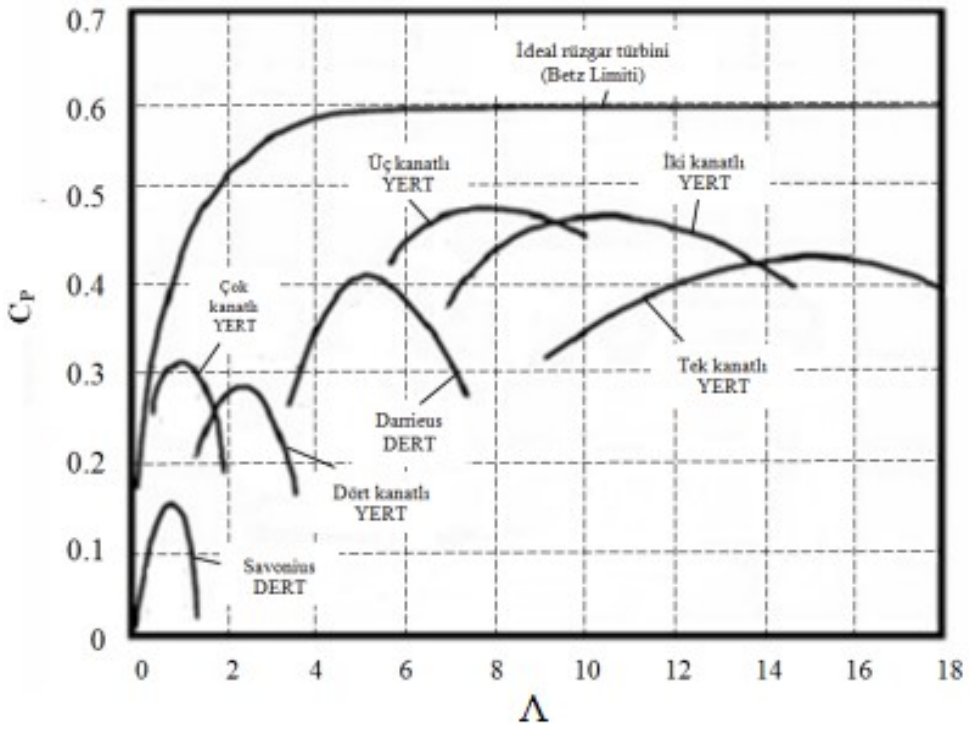
Proje değerlendirme ve yönetim konuları, araştırma ve geliştirme kalite yönetimi (Loch & Kavadias, 2002), çevre enerji yönetimi (Bolinger, 2005), vb. gibi çeşitli yönetim fonksiyonlarında tartışılmış ve uygulanmıştır. Son yıllarda, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişmesi oldukça aktif hâle gelmiştir. Bunun nedeni yenilenebilir enerjinin yalnızca petrol ve kömür tüketimini azaltmakla kalmaması, aynı zamanda ekonomik kalkınmayı ve çevre korumayı dengeleme için genel talebi karşılamasıdır (Yang & Hsiao, 2007). Rüzgâr çiftliği, aynı konumda bulunan ve rüzgârla çalışan elektrik üretmek için kullanılan rüzgâr türbinleri topluluğudur. Bireysel türbinler, orta gerilim toplama sistemiyle birbirine bağlanır. Bu orta voltajlı elektrik daha sonra bir yüksek gerilim iletim sistemine ve bir elektrik şebekesine bir transformatör ile yükseltilir. Rüzgâr teknolojisindeki gelişme, hem maliyet hem de kapasite değerleri açısından geleneksel birimlerle karşılaştırılabilir olan rüzgâr türbinlerinin üretilmesi sonucunu ortaya çıkarmıştır. Güvenilirlik, kapasite faktörü, güç faktörü, teknik kullanılabilirlik ve gerçek kullanılabilirlik gibi parametreler rüzgâr türbinlerinin performansını etkileyen önemli

faktörlerdir (Yang & Hsiao, 2007). Rüzgâr hızının değişmesi ekonomi, yaşam süresi ve rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminin sorunsuz çalışması üzerinde etkilidir. (Baker, Walker & Wade, 1990).

Ortalama rüzgâr hızının uzun vadeli eğilimini incelemek için, rüzgâr hızı ve rüzgâr gücü yoğunluğunun yıllık ortalaması ölçülmeli, hesaplanmalı ve analiz edilmelidir. Elektrik şebekeleri ile bağlantı, yerden yükseklik, seçilen kurulum yükseklik, rüzgâr perdahının etkisi, yıllık enerji üretimini etkileyen temel parametrelerdir (Herbert, Iniyan, Sreevalsan & Rajapandian, 2007). Ek olarak, rüzgâr çiftliği yatırım maliyetleri, kuruluş maliyetleri, elektrik bağlantı maliyetleri, şebeke bağlantı maliyetleri, arazi satın alma, planlama maliyetleri, onaylar, altyapı, rüzgâr türbinleri ve yönetim becerilerinden oluşmaktadır (Bolinger, 2005). Değiştirilebilir tarife, rüzgâr enerjisinin mevsimsellik, elektrik enerjisi ve elektrik fiyat hareketindeki talebin koordine edilmesinde opsiyonel değer sağlar. Güç elektroniği dönüştürücülerindeki son gelişmelerle birlikte değişken hız üretimi uygulanabilir ve uygun maliyetli görünmektedir. 12 Ekim 2005'ten bu yana Çin, temiz kalkınma mekanizmalarının uygulanmasının yasal yöntemlerini düzenleyen bazı tedbirlere karar vermiştir (Zhang, 2006). Rüzgâr enerjisi imtiyaz programı, garantili bir tarife ve imtiyaz operasyonu sözleşmesi de dâhil olmak üzere rüzgâr enerjisi geliştirme haklarını açıklamıştır. Bu tür bir rüzgâr enerjisi şebekesi tarifesine ihale ile karar verilir. Tarifenin referans verilen kükürt giderilmiş kömürle çalışan elektrik santral gücünden daha yüksek olması durumunda, fark il ve ulusal şebeke seviyelerinde satış fiyatlarına paylaştırılmaktadır (Zhang, 2007).

Bir rüzgâr çiftliği inşa etmedeki en önemli adımlar: rüzgâr kaynağının varlığını tespit etmek, mevcut iletim hatlarına yakınlığı belirlemek, araziye erişimi güvence altına almak, sermayeye erişimi sağlamak, güvenilir enerji alanını veya pazarını belirlemek, saha ve projeyi ele almak, fizibilite hususları, rüzgâr enerjisinin ekonomisini tespit etmek, imar ve uzmanlık kazanmak, türbin üreticileri ile diyalog kurmak ve anlaşmayı güvence altına almaktır (AWEA, 2006). Yenilenebilir kaynaklara dayalı santraller, yüksek maliyetler ve belirsizlikler nedeniyle çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Bu sistemlerin performansını artırmanın bir yolu da bir dereceye kadar tamamlayıcılık sağlamak için birden fazla türde kaynak kullanmaktır. Büyük orta ve küçük ölçekte olmak üzere farklı büyüklüklerde güç üretmek için farklı rüzgar türbinleri tipleri tercih edilmelidir.

Şekil 3.69'da rüzgâr türbinlerinin güç katsayısı (Cp) yani türbin verimi ile kanat uç hızının rüzgar hızına oranı olan uç hız oranı (Λ) değişimi gösterilmiştir.



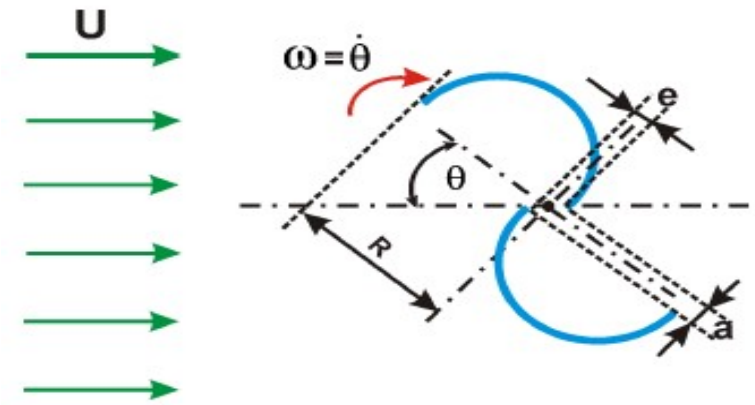
Şekil 3.69. Farklı Tür Rüzgâr Türbinlerinde C_P-Λ Değişimi (Karadağ, 2009).

Savonius rüzgâr türbinleri 5 kW'a kadar diğer rüzgâr türbinlerine göre maliyet avantajını koruyabilirken bu gücün üzerinde genellikle rantabl olmamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında imalat kolaylığı, çoklu uygulamalarında daha kısa aralıklarla uygulanabilirlik, daha az yer kaplaması ile kolay taşınabilirlik, kolay kurulum, elektrik hatlarının bulunmadığı sahalarda debimetre ve basınç ölçer cihazları ile vana aktüatörlerinin güç ihtiyaçlarının karsılanması amaçlanarak İstanbul şartlarında optimum 10 m/s rüzgâr hızında rüzgâr türbini kısmından 0,5 kW ve ortalama güneş ışığında güneş türbini kısmından 0,5 kW olmak üzere toplam yaklaşık 1 kW enerji üreten güneş-rüzgâr hibrit türbini imal edilmesine karar verilmiştir.

3.4.4. Kesit Tasarım Parametreleri Tanıtımı

Güneş-rüzgâr hibrit türbini savonius kanat tasarım parametreleri temel hâliyle Şekil 3.70'de görülmektedir. Burada; θ:dinamik açısal pozisyon, R: kanat yarıçapı, e:kanat ucu geçme aralığı, a:kanat eksen boşluğu olarak adlandırılabilir. U rüzgâr hızı olmak üzere ω hızında dönen türbin için R,e ve a temel kanat parametreleridir.

Kanatlar kalınlıklı malzemelerden yapıldığından dış kısımda bu parametrelerle tasarım yapılırken iç kısımda rüzgâr durma alanını artırmak için düz kenar uzunluğu diğer bir tasarım kriteri olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.70. Savonius Kanat Kesiti Tasarım Parametreleri.

3.4.5. Modelin İmportu Sonrası Meşlenmesi ile Kesit Tayini ve CFD Analizi

3.4.5.1.Modelin İmport Edilmesi ve Sınır Şartlarının Oluşturulması

NX programında kesit tasarım parametrelerine göre oluşturulan savonius türbin kanadı CAD data HAD/CFD import kütüphanesindeki ortak uzantılardan birine çevrilerek farklı kaydedilmiştir. HAD/CFD programı açılarak geometri ikonu tıklanmış ve açılan ekranda "Edge merge" çok ince açılı köşeleri programa hesaplama zorluğundan kurtaran bir ihmal ve yuvarlatma seçimi yapılmıştır. Burada köşe açısı 0,5 mm verilmiştir.

"Small object" tıklanarak programın ihmal etmesi ve hesaplaması için mesh dışında tutması istenen sicim boyutlarını vermektedir. Burada "voit file" tıklanırak CAD data üzerinde içinde akışkan istenmeyen boşluklar kapatılmıştır.

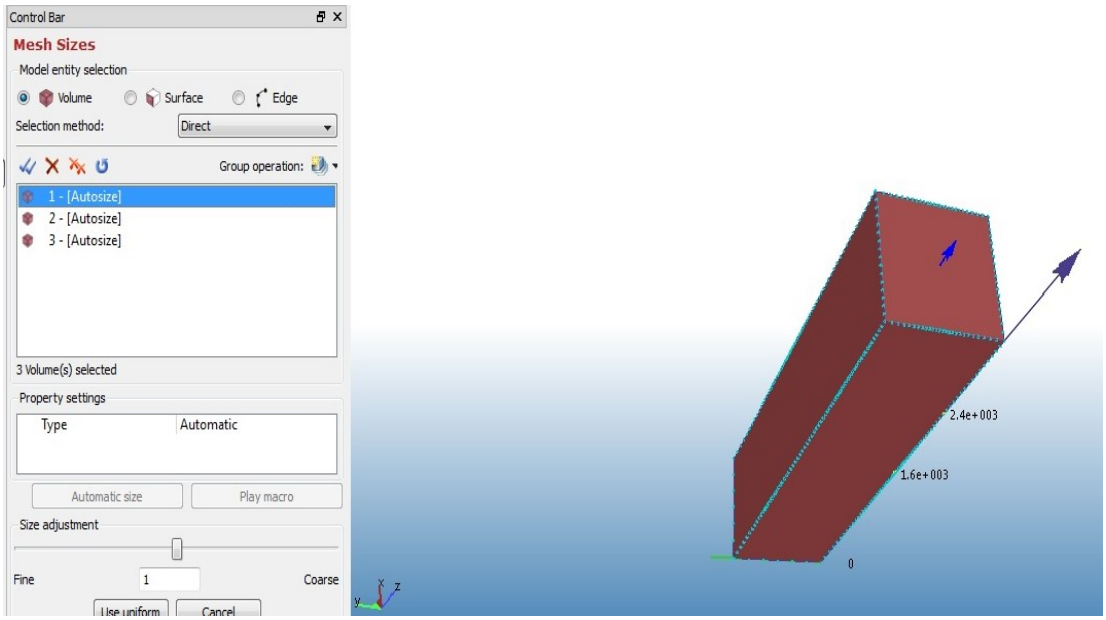
Extract volume tıklanarak cisim etrafındaki kontrol hacminin sınırları belirlenmiştir. "Boundry Condition" sınır şartları atanmış ve type kısmından verilecek olan sınır şartının basınç rüzgar hızı vb. seçilmiştir. Burada önemli olan giriş şartında verilen kesin değerin çıkışta kesin bilinen değerle örtüşmesidir. Bu nedenle giriş şartında basınç olarak verilen bir sistemde sınır şartı hızdır.

Unit bölümünde tipi seçilen sınır değerinin birimi belirlenir. Time bölümüne: "steady state" girilir. "Steady state" zamanla sabit kalan büyüklüğü ifade eder örneğin hız saatte 90 km sabitse "steady state" olarak girilir "Transient" zamanla değişim ve

turbilansın yoğunluğunu ifade eder. “Time curve” ile zamanla olan değişimin de seçimleri istenirse yapılabilmektedir. Giriş ve çıkış olmayan kontrol hacim yüzeyleri ise “slip simetri” olarak seçilmiştir.

3.4.5.2. Modelin Meşlenmesi ve Motion Menüden Hareket Verilmesi

3D modelin import edilmesi sonrası HAD/CFD analizleri öncesi 3D model “automatic mesh” seçeneği ile meshlenmiştir. Bu ekranda istenirse mesh sizden mesh ağı istenen noktalarda inceltilebilebilmektedir. Mesh işlemi sonrası kontrol hacmi Şekil 3.71’de görülmektedir.



Şekil 3.71. Mesh İşlemi Sonrası Meshlenmiş Hazır Model.

Malzeme seçim ekranında kontrol hacmini dolduran malzeme akışkan fluid ve “air boyancy” olarak seçilmiştir. Hava problemlerinde bu seçenek kullanılmaktadır. Ardından “apply” tıklanarak onay işlemi gerçekleştirilmiştir. Tekrar “material” bölümünden türbin kanat malzeme seçimi yapılmak için “solid” tıklanarak ve “pop menü”den alüminyum vb. çalışılan malzeme seçilmiştir.

3.4.5.2.1.Motion Menüden Hareket Verilmesi

CFD programında Type kısmında "angular" açısal dönme olarak belirlenmiştir. “Axis of rotationdan” dönme ekseni olarak verilecek eksen x, y veya z olarak seçilebilmektedir burada eksen z ekseni seçilmiştir. “Center of rotation” yani dönüş

ekseninin geçtiği bir nokta seçilerek belirlenen bu eksen üzerinde eğer analiz öncesi akış etkisi dışında bir hareket varsa "initial position" kısmında başlangıç pozisyonu olarak girilebilmektedir.

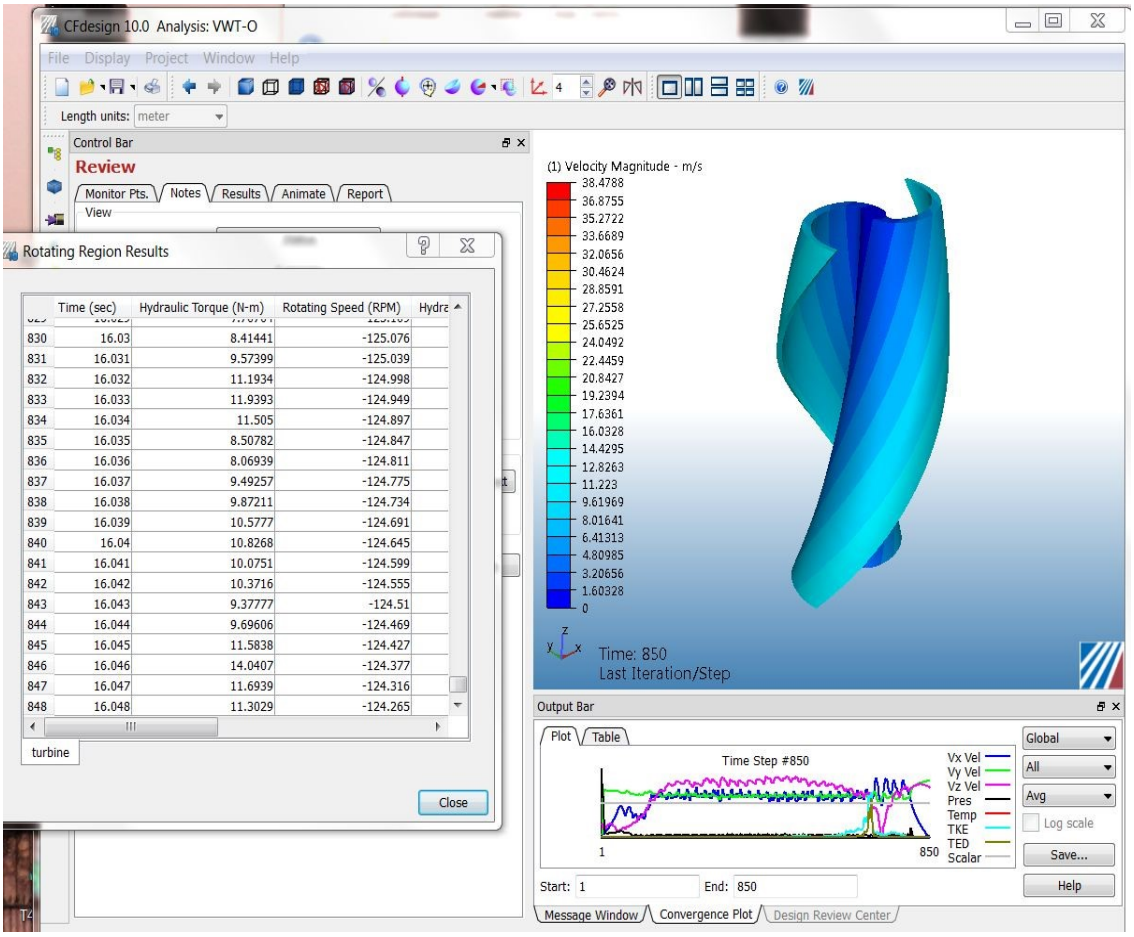
"Flow driven" seçeneğinin tıklanılması ile modelin akış tesirinde olduğu ifade edilmiştir. Aksi durumda model akışa tesirli olmaktadır. Minimum bounded ve maksimum bounded hareketin açısal veya uzunluk olarak sınırlarıdır. Herhangi bir sınır yoksa "unbounded" girilmektedir. Ardından "edit motion" işaretlenerek başlangıçta hareketi etkileyen direnç tork değeri resistant tork bölümüne girilmiş ve birimi seçilerek "apply" ile onaylanmıştır.

İşlemler sonrası Analyze menüsüne girilerek "options"dan "flow" seçeneği seçilmiş ve akış hava olduğundan "compressible" sıkıştırılabilir alınmıştır. Analyze mode türbülanslı akış olacağından transient seçilerek "time step size calculate" ile hesaplatılmış ve değer oluşturulmuştur. "Time stop to run" menüden kaç adımda işlemin sonlanacağı yazılarak ardından "go" denilerek analiz başlatılmıştır. **"**Motion" bölümünden kaydedilen adım hareketlerini "down" işaretlenerek animasyon hazırlanmış ve "animate" kısmında indirilen adım simülasyonları birleştirilerek bir animasyon meydana getirilmiştir. İstenirse "dynamic image" adı altında videolar kaydedilebilmektedir.

"Result" bölümünde sonuçlar "Global" dağılımlar incelenmiş ve "Cut" tıklanarak kesit görüntüleri incelenmiştir**.** Daha sonra "add" tıklanarak ve ilgili yüzey seçilmiş ve bu yüzeyi "move" kısmında hareket ettirerek istenen kesite doğru gidilmiştir. Bu ekranda istenirse kesitler gezilebilmekte ve "Wall" komutu ile seçeneği ile istenen yüzeylerde oluşan basınç ve hız değerleri görüntülenmektedir.

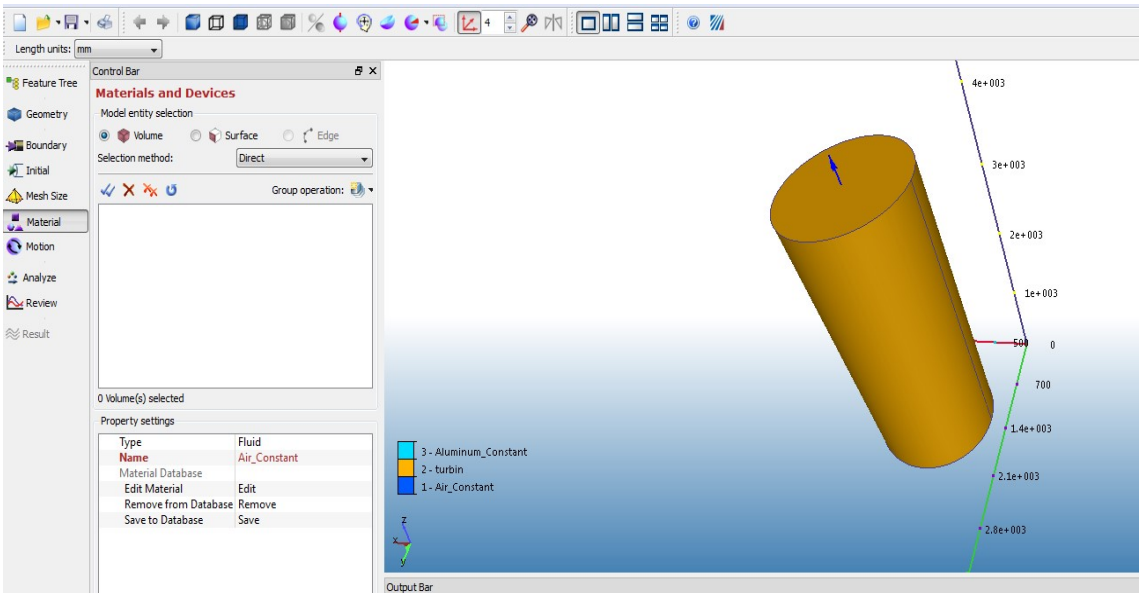
3.4.5.3. Kesit Tayini ve HAD/CFD Analizi

Güneş-rüzgâr hibrit türbini rüzgâr kısmı kesit tasarımı için, 10 adet farklı kanat kesiti Şekil 3.70'te savonius tipi rüzgâr türbinleri için verilen parametrelerin değiştirilmesiyle elde edilen 10 adet farklı kesite sahip modelin ve HAD/CFD programı üzerinde 2, 7, 10, 20 m/s rüzgâr hızlarında denemesi ile birlikte yapılan değerlendirme sonucu optimizasyon yapılarak 11. kanat kesiti belirlenmiştir. Şekil 3.72'de örnek bir HAD/CFD analizi görülmektedir.



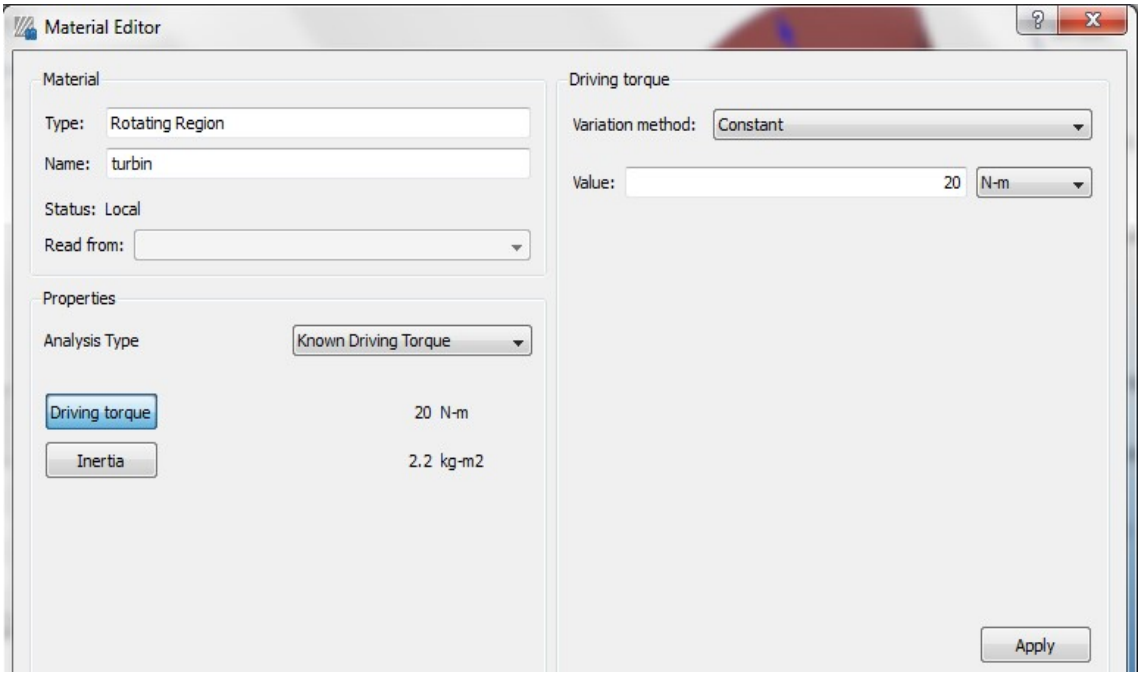
Şekil 3.72. Rüzgâr Türbini CFD Analiz Programında Çözümleme Sırasında Görüntüsü.

Yapılan HAD/CFD analizlerinde çözüm dosyaları içerisinde bulunan ".cfd" uzantılı dosyalar kopyalanarak farklı bir klasör içerisinde açılmış ve "cfd" uzantılı dosyaya farklı bir isim verilmiştir. Daha sonra dosya çift tıklanarak program açılmış ve meterial kısmında üç hacim şeklinde görülen (kontrol hacmi-dikdörtgenler prizmasıı, döner hacim- silindirik ve rüzgâr türbini modeli hacmi) hacimlerden silindirik olanı seçilmiştir (Şekil 3.73).



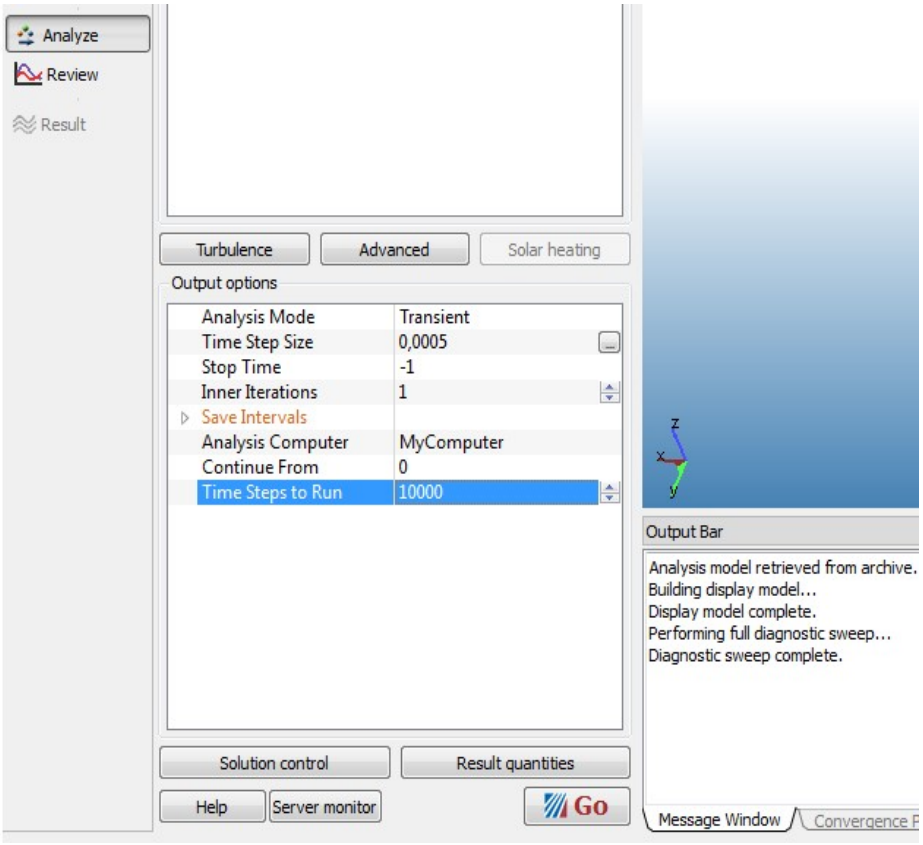
Şekil 3.73. CFD Ön Tork Değeri Girilecek Modelde Döner Hacmin Seçilmesi.

"Edit/meterial editor/free spinning/known driving tork" seçimleriyle Şekil 3.74'de gösterilen ekrana gidilerek "torque" satırına "nm" cinsinden tork değeri girilmiştir.



Şekil 3.74. CFD Ön Tork Değeri Girilen Ekran.

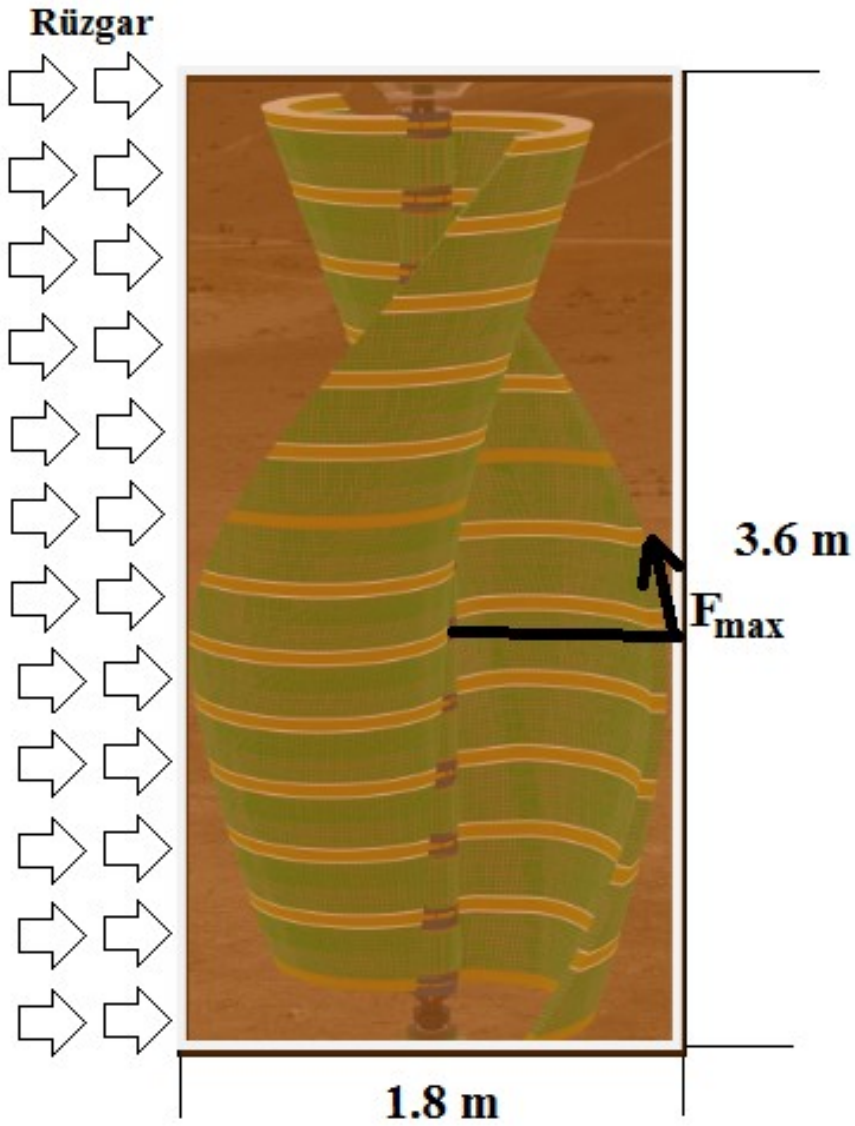
Tork değeri girildikten sonra "analyze" kısmına gelinerek ve kanatlar döndüğü için "transient" (hareketli analiz modeli şekli) seçilmiş ve diğer analizlerde kullanılan "time step size" yani iteresyaon sayısı Şekil 3.75'te gösterilen biçimde 10.000 olarak veri girişi yapılmış ve "go" işaretlenerek analiz çalıştırılmıştır.



Şekil 3.75. Analyze Ekranında İterasyonların Seçilerek Çözdürmenin Başlatılması.

3.4.6. Azami Rüzgâr Yükünde Asgari Kanat Mukavemet Değerlerinin Belirlenmesi

1 kW olarak karar verilen güneş-rüzgâr hibrit türbininin 0,5 kW'lık gücünün rüzgâr türbini kısmından üretileceği daha önce planlanmıştır. Denklem 2.45 kullanılarak ve yaklaşık c_1=1 alınarak 10 m/sn rüzgâr hızı şartlarında yaklaşık 0,5 kW güç üretecek model türbin için yaklaşık $A_{süpürme}$ = 6,5 m^2 olmaktadır. Burada belirlenen $A_{süpürme}$ değerini karşılayacak şekilde ve imalat kolaylığı düşünülerek rüzgâr türbini kanat yüksekliği (H) yaklaşık 3,6 m ve kanat çapı (2d) 1,8 m olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte güneş-rüzgar hibrit türbininin her 1 m'de 4 kanat iskelet katmanı olacak şekilde ve iskelet katmanları üstünde asgari kesit alanı 10 mm x 10 mm olmak üzere, iskelet üstü poliüretan kabuk yapıda üretilmesi planlanmıştır. Rüzgâr türbini kısmında rüzgâr tarafından üretilecek işin kanat ucundan uygulanan yayılı kuvvetle karşılandığı durumda rotor mil ekseni merkez olmak üzere "F_{max}" yayılı kuvvetle karşılanan maksimum rüzgâr işi Denklem 3.12 ile ifade edilmiştir. Şekil 3.76'da rüzgârca yapılacak maksimum işin kuvvet kolu ile karşılanması gösterilmiştir.



Şekil 3.76. Hibrit Türbin Rüzgâr Kısmı İçin Rüzgâr Yükü Alanı F_{max} Yayılı Kuvvet Gösterimi.

$$W_{\text{iş karşı kuvvet}} = F_{max} \text{ x } L_{\text{kuvvet kolu}} \text{ x } H_{\text{türbin}} \quad (3.12)$$

Maksimum rüzgâr işi rüzgâr türbini kesit alanının mil ekseni boyunca süpürdüğü alanda savonius rüzgâr türbinleri için Betz sabiti ile ;

$$W_{\text{rüzgâr iş}} = 8 / 27 \, A_{\text{süpürme}} \cdot \rho_{\text{hava}} \cdot V^3 \quad (3.13)$$

Maksimum rüzgar hızı 23,811 m/sn rüzgâr hızı ile maksimum üretilecek iş;

$$W_{\text{rüzgâr iş}} = 8/27 \text{ x } (3.6 \text{ x } 1.8) \text{ x } (1.225) \text{ x } (23,811)^3$$

$$W_{\text{rüzgâr iş}} = 31.752 \text{ w}$$

Maksimum rüzgâr işi üretilmesi durumunda

$$W_{\text{iş karşı kuvvet}} = W_{\text{rüzgâr iş}} = 31.752 \text{ w}$$

$$W_{\text{iş karşı kuvve}} = F_{max} \text{ x } 3,6 \text{ x } 0,9$$

F_{max} = 9.800 N olarak bulunur,

Model rüzgâr türbini iskeletinde;

Kritik kesit alanı = 10 mm x 10 mm'dir. Bununla beraber F_{max} yayılı kuvveti uzunluk boyunca her bir metredeki maksimum kuvvet alınmıştır. Rüzgâr türbini iskeletinde her bir metrede 4 adet iskelet katmanı bulunduğu için,

$$A_{\text{kritik}} = 4 \text{ x } (0,01 \text{ x} 0,01) \text{ m}^2 \quad (3.14)$$

$$\sigma_{\text{kritik}} = F_{max} / A_{\text{kriti}} \quad (3.15)$$

$$\sigma_{\text{kritik}} = 9800 / 4\text{x } (0,01 \text{ x } 0,01) \text{ N/m}^2$$

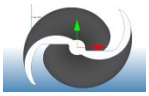
$$\sigma_{\text{kritik}} = 24,5 \text{ Mpa}$$

kritik kesitteki gerilme olarak bulunmuştur.

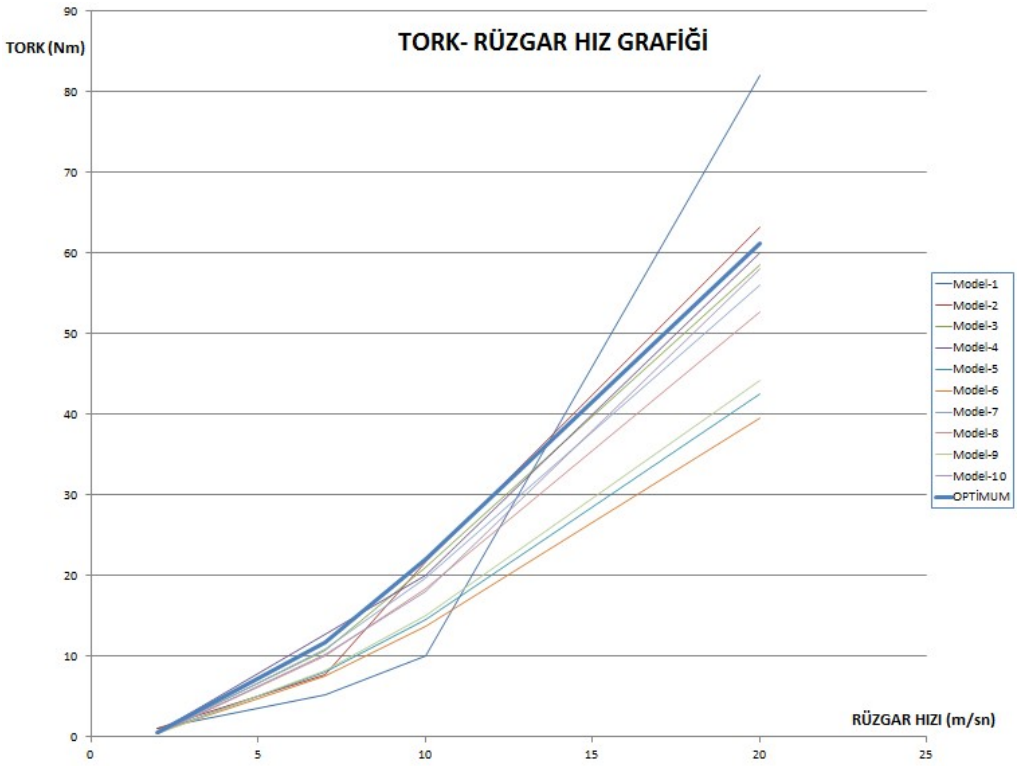
3.4.7. Kesit Optimizasyonu Nihai Kesitin Tespiti ile Hibrit ve Ayrık Çalışma Analizi

Rüzgar türbini kısmı kesit optimizasyonu için tanıtılan kesit tayin parametrelerine farklı değerler verilerek çeşitli modeller oluşturulmuş ve HAD/CFD analizleri yapılmıştır. HAD/CFD analizleri yapılan modellerin devir ve torku artıran özellikleri birleştirilerek optimum model elde edilmiştir. Çizelge 3.20'de karşılaştırmalı olarak analizleri yapılan savonius rüzgâr türbini model kesitleri ve optimum model kesiti ile bu kesitlere ait tork ve devir değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.20. CFD Analizleri Yapılan Rüzgâr Türbini Modellerinin Devir Tork Değerleri.

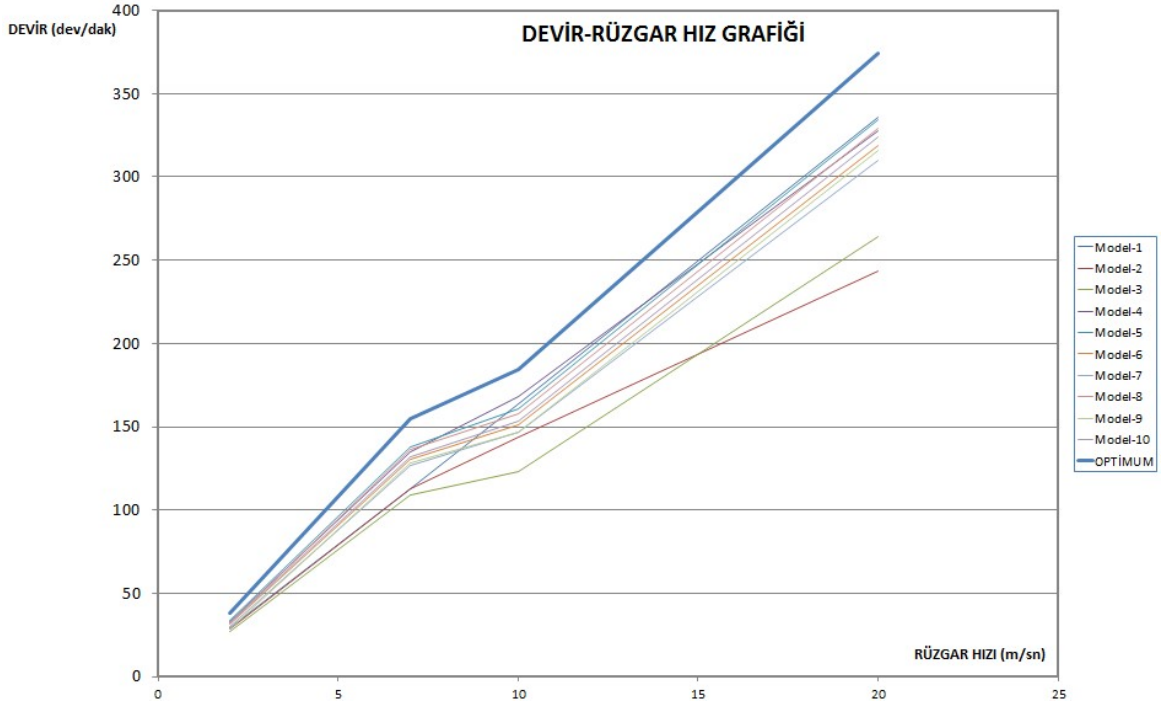
MODEL NO	a	e	R	Kesit Resmi	HIZ:2 m/sn		HIZ:7 m/sn		HIZ:10 m/sn		HIZ:20 m/sn	
					TORK (Nm)	DEVİR (rpm)	TORK (Nm)	DEVİR (rpm)	TORK (Nm)	DEVİR (rpm)	TORK (Nm)	DEVİR (rpm)
MODEL1	45	10	80		1	29,5	5,2	112,6	10	164	82	336
MODEL2	42	12	80		1	28,4	7,8	112,6	21,7	144	63,2	243,7
MODEL3	41	14	80		0,51	27	10,8	109	21	123	58,5	264
MODEL4	30	11	95		0,56	32,7	12,7	135	20	168	66,5	328
MODEL5	23	10	95		0,6	33,3	8	137,8	14,6	160,4	42,5	334,2
MODEL6	24	12	95		0,61	31,5	7,55	130,63	13,68	151	39,6	319
MODEL7	25	13	95		0,45	30,2	10,9	127	19,8	146,9	56	310
MODEL8	50	15	95		0,42	32,4	10,14	136	18,4	157,6	52,8	328,8
MODEL9	20	10	95		0,48	28,8	8,2	127,9	15,1	146,8	44,3	316,2
MODEL10	42	10	95		0,47	32,4	10,3	132	18	153,5	61,3	324,3
OPTİMUM	45	10	95		0,51	37,8	11,8	155	22	184	61,3	374,2

Optimum model ve diğer deneme modellerinin tork rüzgâr hızı grafiği Şekil 3.77'de gösterilmiştir.



Şekil 3.77. Tork-Rüzgâr Hızı Grafiği.

Optimum model ve diğer deneme modellerinin devir rüzgâr hızı grafiği Şekil 3.78'de gösterilmiştir.



Şekil 3.78. Devir-Rüzgâr Hız Grafiği.

$$P(kW)= [T_t (N\text{-}m) \times N (rpm)]/9550 \quad (3.16)$$

Denklem 3.13 kullanılarak maksimum rüzgâr işi ve Denklem 2.45 kullanılarak ve yaklaşık c_1=1 alınarak optimum savonius rüzgâr işi değerleri elde edilmiştir. Denklem 3.16 ile Çizelge 3.20'de verilen tork ve devir değerleri kullanılarak güneş- rüzgâr hibrit türbini rüzgâr kısmı güç değerleri belirlenmiştir. Maksimum rüzgâr işine ve maksimum savonius rüzgâr işine göre hibrit türbinin rüzgâr kısmına ait verim değerleri Çizelge 3.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.21. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Rüzgâr Türbini Kısmı İçin Rüzgâr Hızlarına Göre Verim Değerleri.

RÜZGÂR HIZI	TURBIN GÜCÜ (W)	MAKSIMUM RUZGAR İŞİ (W)	MAKSİMUM RÜZGÂR İŞİNE GÖRE VERİM (η)	OPTİMUM SAVİNOUS RÜZGÂR İŞİ (W)	OPTİMUM SAVİNOUS TÜRBİN GÜCÜNE GÖRE VERIM (η)
2 m/sn	1	18,81	%5,3	4,7	%21,2
7 m/sn	194	806	%24	201,5	%96
10 m/sn	423	2352	%18	588	%72
12 m/sn	921	5645	%16,3	1411,25	%65,2
20 m/sn	2389	18816	%12,69	4704	%50,78

Çizelge 3.21'de elde edilen rüzgâr türbini kısmı güç değerlerine güneş türbini (GT) kısmından gelen ilave güç değerlerinin 100 W kademeli olarak eklenmesi ile ayrık çalışma değerleri elde edilmiştir. HAD/CFD programında güneş türbini kısmından 100 W kademeli olarak gelen güç değerlerinin ön tork şeklinde hibrit türbin şaftına etki ettirilmesi yapılan analizler sonucunda 2-20 m/sn hızları arasında güneş- rüzgâr hibrit türbininin ortak şaftta hibrit edilmiş çalışma gücü elde edilmiştir. Böylece hibrit ve ayrık çalışmanın karşılaştırması Çizelge 3.22 gösterilmiştir.

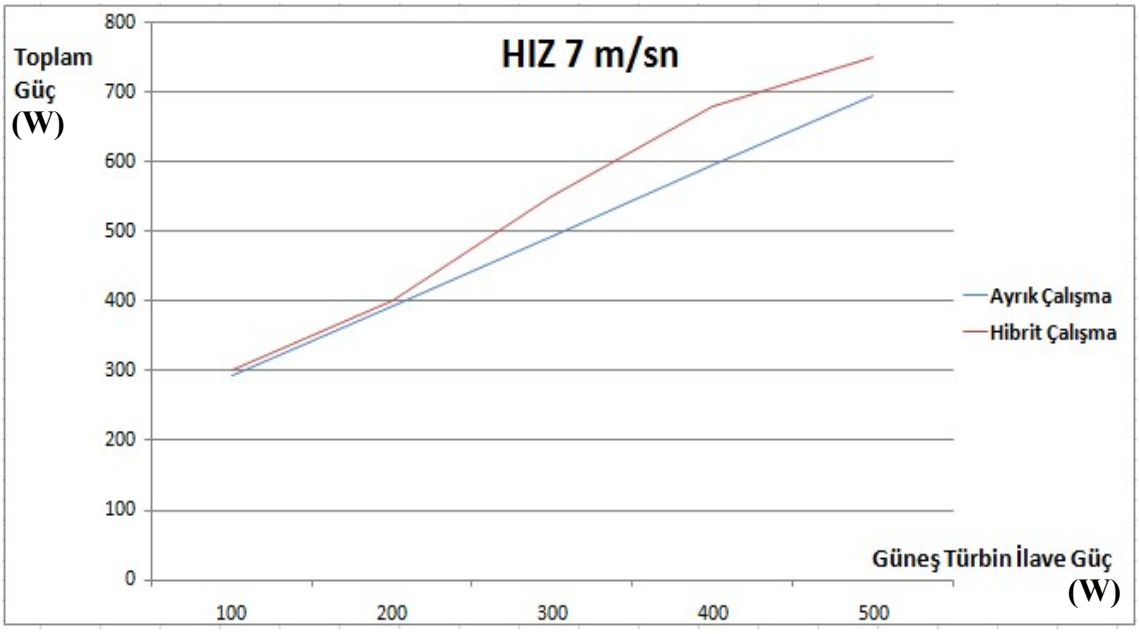
Çizelge 3.22. 2 m/sn - 20 m/sn için Toplam Güç - Güneş Türbini (GT) İlave Güç (optimum model).

	HIZ 2 m/sn		HIZ 7 m/sn		HIZ 10 m/sn		HIZ 20 m/sn	
	Optimum Model Rüzgâr Gücü (W)							
GT İlave Güç (W)	Ayrık Çalışma	Hibrit Çalışma	Ayrık Çalışma	Hibrit Çalışma	Ayrık Çalışma	Hibrit Çalışma	Ayrık Çalışma	Hibrit Çalışma
100	101	90	294	301	523	550	2489	2505
200	201	150	394	402	623	710	2589	2608
300	301	260	494	550	723	820	2689	2811
400	401	350	594	680	823	900	2789	3206
500	501	420	694	750	923	1000	2889	3412

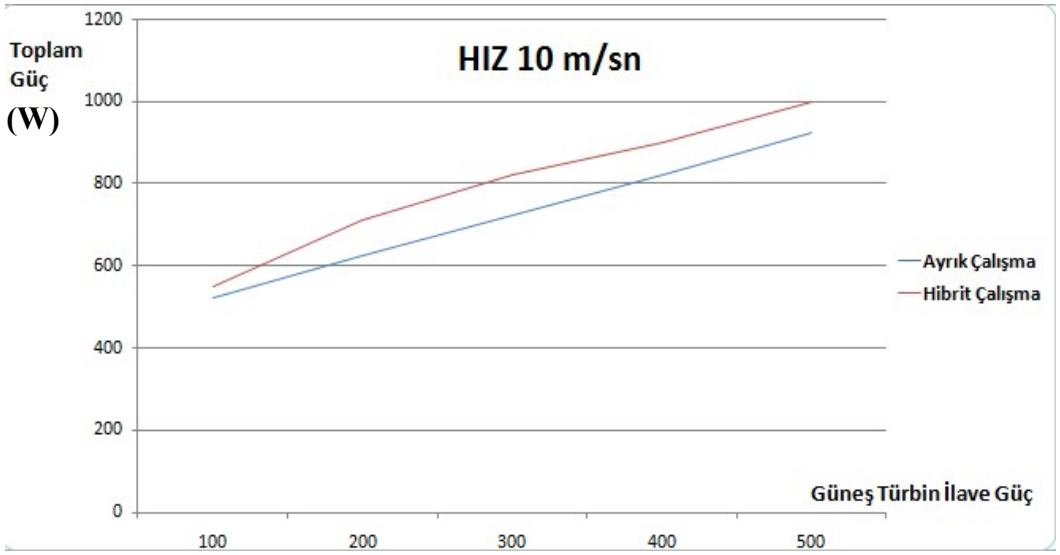
Şekil 3.79, Şekil 3.80, Şekil 3.81, Şekil 3.82'de 2,7,10 ve 20 m/sn rüzgâr hızlarında hibrit ve ayrık çalışmada toplam güç için karşılaştırma grafikleri görülmektedir.



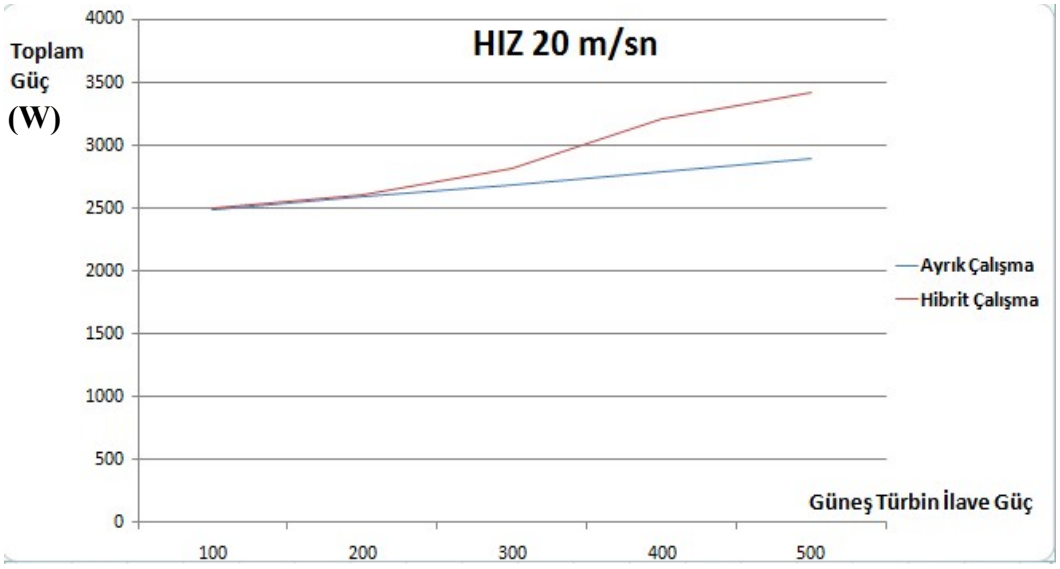
Şekil 3.79. 2 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model).



Şekil 3.80. 7 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model).



Şekil 3.81. 10 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model).



Şekil 3.82. 20 m/sn İçin Toplam Güç-Güneş Türbini İlave Güç Grafiği (Optimum Model).

3.4.8. Kanat Malzemesi Seçimi

Endüstriyel malzemeler genel yapısı itibariyle dayanımı yüksek metal malzemeler (titanyum gibi pahalı istisnalar dışında) olurken dezavantaj olarak yüksek yoğunluk ve ağırlıklara da sahip olmaktadır. Bu nedenle rüzgâr türbinlerinde ve havacılık sektöründe sağlamlık ve hafifliği aynı anda sağlanması gerekliliği bir mühendislik problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Hafiflik ve sağlamlığın aynı anda gerektiği durumlarda pahalı alaşımlar veya kompozit malzeme bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Temel olarak sandviç malzemeler

yırtılma dayanımı yüksek esnek malzemeler ile basma dayanımı yüksek hafif kor (iç çekirdek katman) malzemelerin her iki yüzeye de yüksek mukavemette yapışma dayanı-mına sahip yapıştırıcılarla birleştirilerek istenen eğilme dayanımı ve basma dayanımını aynı anda karşılayan hafif malzemelerdir. Bu tez çalışmasında kanat malzemesi seçiminde hafifliği ve imalat kolaylığı açısından sandviç kompozit malzeme tercih edilmesi benimsenmiştir.

3.4.9. PVC Arası Sandviç Kompozit Tercih Edilmesinin Sebepleri[Hafif, İnnovatif, Her İki Plakanında Köpük Olması]

Sandviç malzeme tekniğinde dış katmanda yırtılma dayanımı yüksek olması bakımından daha çok metal malzemeler veya karbon fiber gibi pahalı malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada çoğunlukla kor malzemede kullanılan köpük poliüretan malzeme ile ile birlikte dış katmanda ana iskelet hariç PVC köpük malzeme kullanılmasıyla kullanılabilirlği daha hafif kanat malzemesi elde edilmesi araştırılarak dayanım testleri yapılmıştır. Sandviç kompozit yapımında kullanılan PVC köpük ve poliüretan köpük malzeme mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 3.23 ve Çizelge 3.24'te görülmektedir.

Çizelge 3.23. Poliüretan Köpük Malzeme Özellikleri (Aydın & Ekmekçi, 2002).

TEKNİK ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞER
Yoğunluk	kg/ m^3	60-90
Basma Dayanımı	MPa	05-0,9
Bükme Dayanımı	MPa	1-1,8

Çizelge 3.24. PVC Köpük Malzeme Özellikleri (Dekota, 2019).

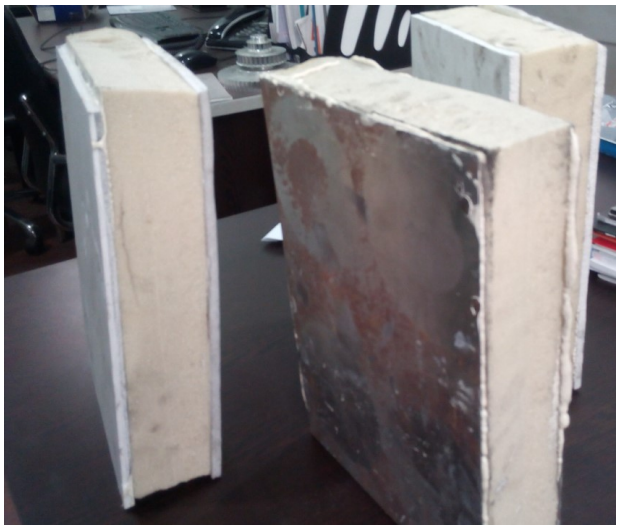
TEKNİK ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞER	STANDART
Özgül Ağırlık	g/cm3	0,50 - 0,70	DIN EN ISO 1183
E-Modüllü	Mpa	1100	ISO 527 (50mm/min)
Darbe Dayanımı	kj/m2	17,2	ISO 179/1 Eu
Darbe Dayanımı, Çentikli	kj/m2	3,1	ISO 179/1 Ea
Gerilme Dayanımı	Mpa	19,5	ISO 527 (50mm/min)
Esneme Dayanımı	Mpa	32,9	ISO 178 (2mm/min)

Sandviç yapımı öncesi malzemelerin ayrı ayrı mekanik özellikleri bükme ve basma dayanımları oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte rüzgâr güneş hibrit türbini kanat iskeleti için kullanılacak sandviç kanat malzemesi için en alt, orta ve en üst katmanlarda, ana iskeleti oluşturması ve rijitliği sağlaması açısından 2 mm saç arası 50 mm poliüretan köpük malzeme kullanılması benimsenmiştir. Böylece iskelet katmanlarında ana

iskelette saç arası polüretan köpük ve diğer katmanlarda 8 mm PVC arası 50 mm poliüretan köpük malzeme olmak üzere iki tip sandviç malzeme kullanılmasına karar verilmiştir.

3.4.10. Sandviç Malzeme Testleri

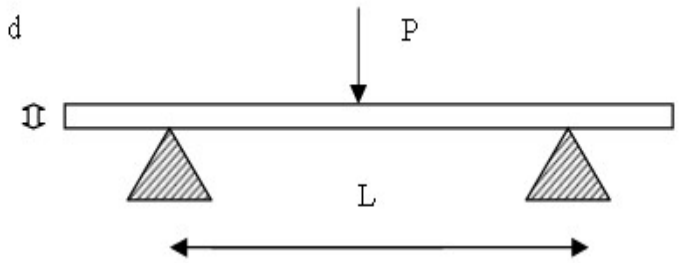
Poliüretan sert köpük malzeme üretici purtiz kimyanın yoğunluk değerlerine göre incelenmiştir. Burada 180 cm boy için ortadan tutulduğunda uçlara doğru sehim olmaması benimsenmiş ve 60 kg/m^3 köpüklerde istenen sonuç elde edilmiştir. Daha sonra 70 kg/m^3 poliüretan köpük malzeme tercih edilerek 15 cm x 60 cm plakalardan sandviç panel yapıştırıcısı ile PVC köpük dekota 8 mm kalınlıktaki aynı ebattaki malzemelerle sandviç uygulama yapılarak aşağıda belirtilen sandviç kompozit malzemeye özgü test 100 kg ağırlıkla ön test olarak uygulanmış başarılı dayanım izlenmiştir.Bundan sonra malzemeye profesyonel testlerin yapılması için PVC arası poliüretan köpük ve ana iskeleti meydana getiren sac arası poliüretan köpük malzemeler için 30 cm x 30 cm ebadında test numuneleri test için hazırlanmıştır. Hazırlanan test malzemeleri Şekil 3.83'te gösterilmiştir.



Şekil 3.83. Hazırlanan Sandviç Panel Malzeme Test Numuneleri.

Test numunelerine (Aydın & Ekmekçi, 2002) makalelerinde yer verilen ve ISO 1209'da belirtilen ve Şekil 3.84'de gösterilen testin uygulanması malzemelerin kritik olan bükme dayanımlarının belirlenmesi için çok numuneli teste tabi tutulması benimsenmiştir. Test sonuçlarına göre malzemelerin mekanik özellikleri tablosu oluşturulması hedeflenmiştir.

Sandvich kompozit uygulamalarında en önemli mekanik özellikler basma ve bükme dayanımıdır. Basma dayanımı kare veya daire şeklinde kesilmiş numunelerle ölçülür. Ölçüler kullanılan test metoduna bağlıdır. Köpük iki paralel plaka arasında sıkıştırılır. Şekil 3.84'te görüldüğü gibi P kuvveti yüzde olarak farklı sıkıştırma değerlerinde ölçülür. Bükme dayanımı uzun dikdörtgen şeklinde kesilen numunelerle ölçülmektedir. Hazırlanan numunelere testler İTÜ Uçak mühendisliği labratuarında yapılmıştır.



Şekil 3.84. Sandviç Kompozit Bükme Dayanımı Test Düzeneği (Aydın & Ekmekçi, 2002).

İlk test numunesi 2'şer mm sac arası 50 mm poliüretan köpük sandviç kompozit test numunesine Çizelge 3.25'de gösterilen biçimde yapılmış ve numune 925 kg yük altında deforme olmuştur.

Çizelge 3.25. Test Numunesi-1 Test Cihazı Yük Sehim Ekranı (Deformasyon Yükü İşaretli).

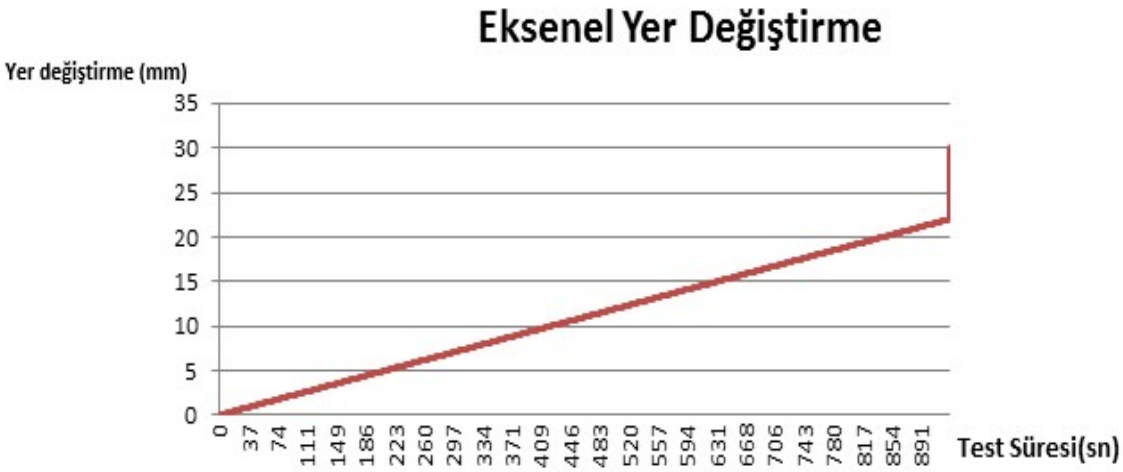
Süre (Sn)	Yer Değiştirme (mm)	Yük(N) ⇩
928.26367	-22.016848	-9249.2324
928.27344	-22.024992	-9248.2305
928.2832	-22.033524	-9248.8047
928.29297	-22.041824	-9248.5215
928.30273	-22.04948	-9247.8398
928.3125	-22.057425	-9250.0889
928.32227	-22.066284	-9247.6611
928.33203	-22.07408	-9249.0879
928.3418	-22.082651	-9247.4365
928.35156	-22.090719	-9247.4082
928.36133	-22.098555	-9247.3701
928.37109	-22.107534	-9247.8789

Deforme olan Test numunesi-1 Şekil 3.85'te gösterilmiştir.



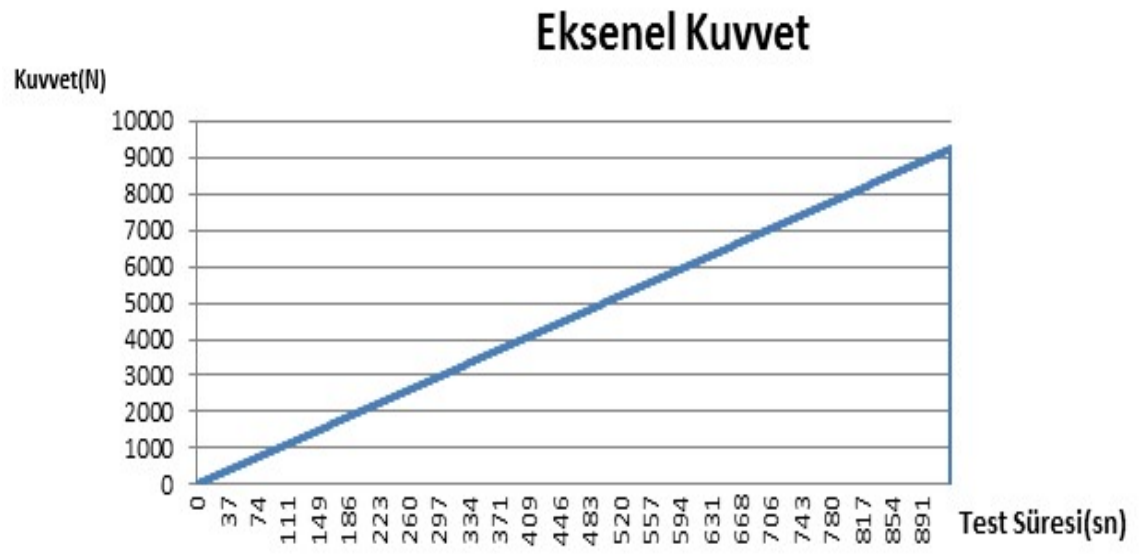
Şekil 3.85. Test Sonucu Deforme Olan Test Numunesi-1.

Test Numunesi-1'e ait eksenel yer değiştirme, zaman grafiği Şekil 3.86'da gösterilmiştir.



Şekil 3.86. Sac Arası Poliüretan Köpük Sandviç Kompozit Test Numunesi-1 Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği.

Test Numunesi-1'e ait eksenel kuvvet, zaman grafiği Şekil 3.87'de gösterilmiştir.



Şekil 3.87. Sac Arası Poliüretan Kompozit Test Numunesi-1 Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği.

Testler sonucunda Denklem 3.17'nin uygulanmasıyla Test numunesi-1'e ait eksenel dayanım değeri Çizelge 3.26'da gösterilmiştir.

$$S = \frac{3.P.L_{dam}}{2.b.d^2} \tag{3.17}$$

Çizelge 3.26. Numune-1 Sac Arası Poliüretan Kompozit Test Numunesi.

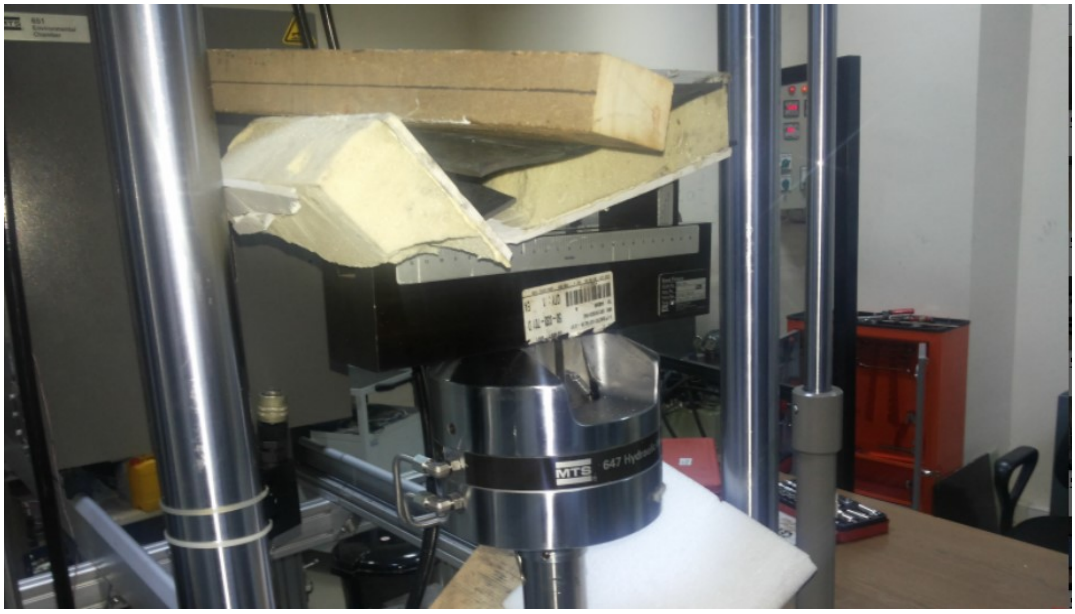
S(MPa)	L_{dam}(m)	P(kPa)	b(m)	d(m)
35.25	0.2	102.78	0.3	0.054

Test Numunesi-2, 8 mm PVC köpük arası 50 mm poliüretan köpük malzeme olarak ilk test numunesidir ve Çizelge 3.27'de gösterilen biçimde 484 kg yük altında deforme olduğu görülmüştür. Test sonucunda deformasyon şekline bakılarak malzemenin yapıştırmadan kaynaklı kusurlu olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 3.27. Test Numunesi-2 Test Cihazı Yük Sehim Ekranı (Deformasyon Yükü İşaretli).

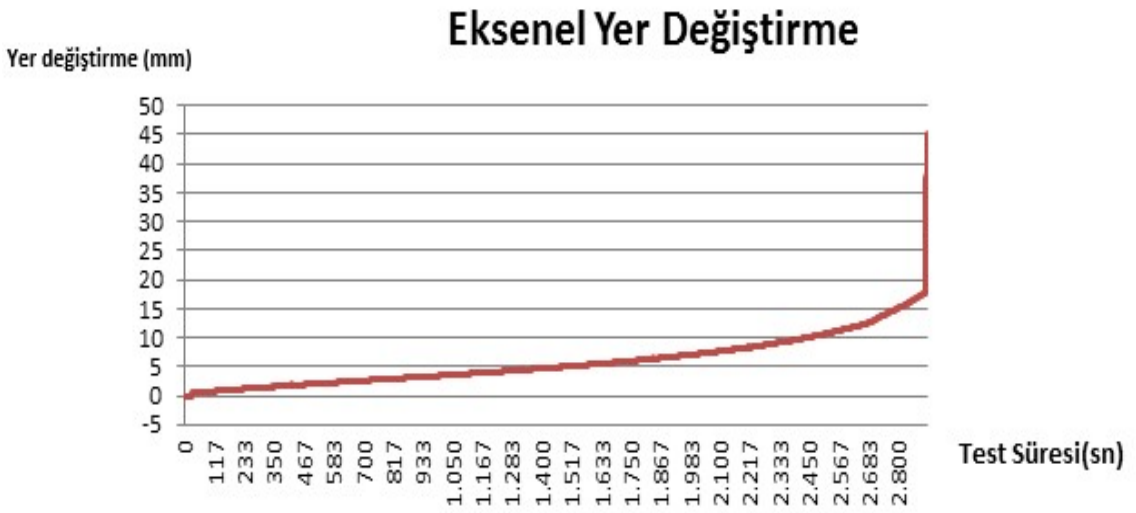
Süre (Sn)	Yer Değiştirme (mm)	Yük(N) ⇩
2902.5605	-17.729935	-4839.9023
2902.5703	-17.729174	-4839.2979
2902.5801	-17.730642	-4839.8677
2902.5898	-17.73012	-4839.4326
2902.5996	-17.730705	-4840.5903
2902.6094	-17.731411	-4841.0742
2902.6191	-17.731121	-4840.1289
2902.6289	-17.731279	-4839.1348
2902.6387	-17.732296	-4840.7222
2902.6484	-17.731846	-4839.8364
2902.6582	-17.73254	-4840.8306
2902.668	-17.733135	-4840.8911
2902.6777	-17.732838	-4841.082
2902.6875	-17.733112	-4840.3804
2902.6973	-17.734886	-4840.2637
2902.707	-17.733612	-4839.4409
2902.7168	-17.734545	-4840.0171
2902.7266	-17.734951	-4840.6382
2902.7363	-17.735659	-4840.3604

Deforme olan Test numunesi-2 Şekil 3.88'de gösterilmiştir.



Şekil 3.88. Test Numunesi-2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme).

Test Numunesi-2'ye ait eksenel yer değiştirme, zaman grafiği Şekil 3.89'da gösterilmiştir.



Şekil 3.89. Test Numunesi- 2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme) Eksenel Yer Değiştirme-Test Süresi Grafiği.

Test Numunesi-2'ye ait eksenel kuvvet, zaman grafiği Şekil 3.90'da gösterilmiştir.



Şekil 3.90. Test Numunesi-2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme) Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği

Testler sonucunda Denklem 3.17'nin uygulanmasıyla Test numunesi-2'ye ait eksenel dayanım değeri Çizelge 3.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.28. Test Numunesi-2 PVC Arası Poliüretan Kompozit (Yapışma Kusurlu Malzeme)

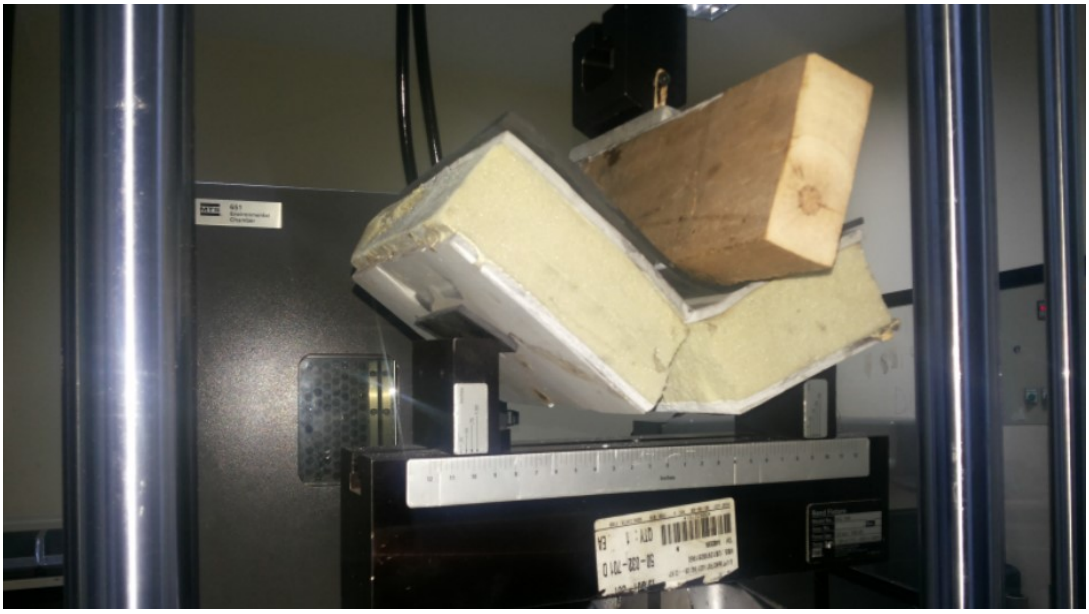
S(MPa)	L_{dam}(m)	P(kPa)	b(m)	d(m)
18,45	0,2	53,8	0,3	0,054

Test Numunesi-3, 8 mm PVC köpük arası 50 mm poliüretan köpük olarak ikinci test numunesidir ve numunenin testi sonucu Çizelge 3.29'da gösterilen biçimde 651,6 kg yük altında deforme olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.29. Numune-3 Test Cihazı Yük Sehim Ekranı (Deformasyon Yükü İşaretli).

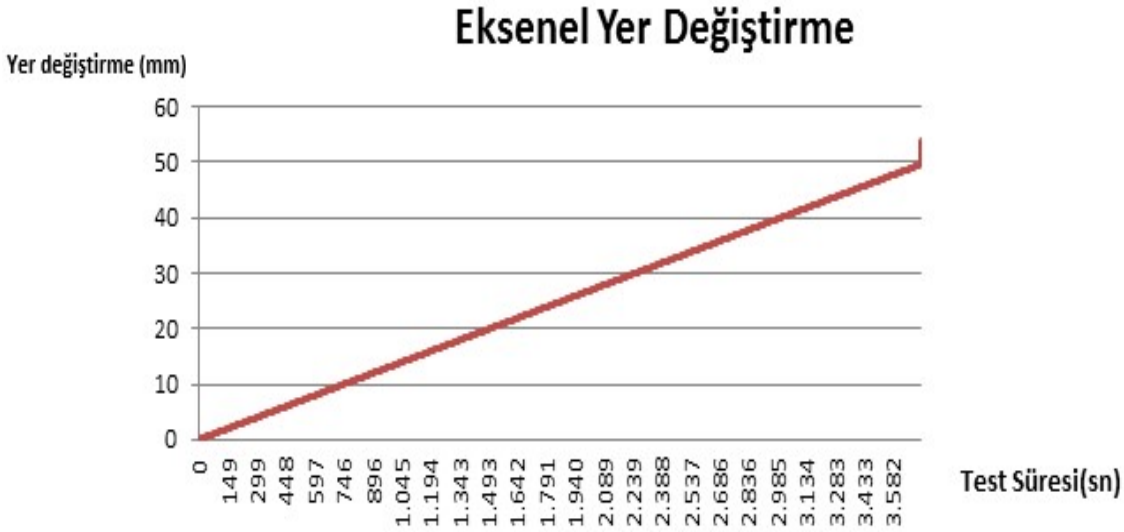
Süre (Sn)	Yer Değiştirme (mm)	Yük(N) ⇩
3707.5898	-30.011438	-6513.2798
3707.5996	-30.015289	-6513.5493
3707.6094	-30.019892	-6513.9126
3707.6191	-30.023136	-6514.3569
3707.6289	-30.02618	-6514.6567
3707.6387	-30.029854	-6514.9106
3707.6484	-30.031923	-6516.2153
3707.6582	-30.035894	-6515.0713
3707.668	-30.039404	-6515.127
3707.6777	-30.041872	-6516.0469
3707.6875	-30.044611	-6515.9731

Deforme olan Test numunesi-3 Şekil 3.91'de gösterilmiştir.



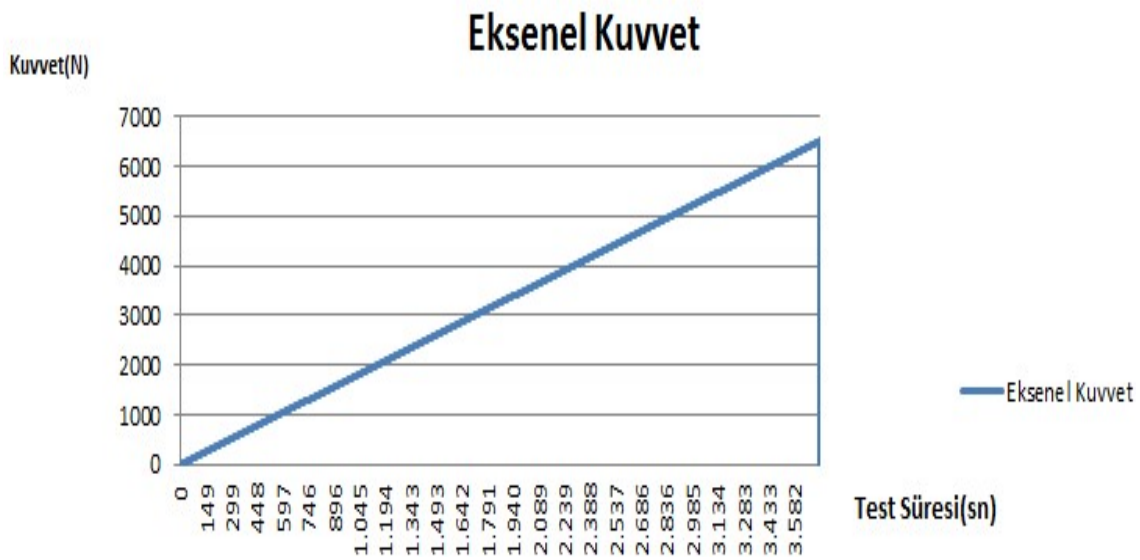
Şekil 3.91. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu).

Test Numunesi-3'e ait eksenel yer değiştirme, zaman grafiği Şekil 3.92'de gösterilmiştir.



Şekil 3.92. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu) Eksenel Yer Değiştirme-Test Süresi Grafiği.

Test numunesi-3'e ait eksenel kuvvet, zaman grafiği Şekil 3.93'te gösterilmiştir.



Şekil 3.93. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu) Eksenel Kuvvet-Test Süresi Grafiği.

Testler sonucunda Denklem 3.17'nin uygulanmasıyla Test numunesi-3'e ait eksenel dayanım değeri Çizelge 3.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.30. Test Numunesi-3 PVC Arası Poliüretan Kompozit (İdeal Malzeme Deformasyonu).

S(MPa)	L_{dam}(m)	P(kPa)	b(m)	d(m)
24,83	0,2	72,4	0,3	0,054

Malzemede yapıştırmadan kaynaklı hata olmadığından deformasyon ideal şekilde gerçekleşmiştir. Hatasız yapışma ile üretilmiş PVC arası köpük iskelet malzmeleri için 24,83 MPa (S_{max2}) bükme dayanımı görülmüştür. Daha önce yapılan test sonucu ise sac arası poliüretan köpük malzeme için 35,25 MPa (S_{max1}) bükme dayanımı tespit edilmiştir. Böylece malzeme dayanımı 24,83MPa ve 23,811 m/sn rüzgâr hızında σ_{kritik}= 24,5 MPa olduğundan,

$S_{max1}>S_{max2}>\sigma_{kritik}$ olarak 23,811 m/sn rüzgâr hızında türbin iskelet malzemesi dayanımının yeterli olacağı tespit edilmiştir.

3.4.11. Çanak Kollektörlü Stirling Motoru ve Yardımcı Ekipmanlardan Oluşan Güneş Türbini Kısmı

3.4.11.1. Kolektör İç Yüzeyine Uygulanacak Yansıtıcı Film Seçimi Ve Özellikleri

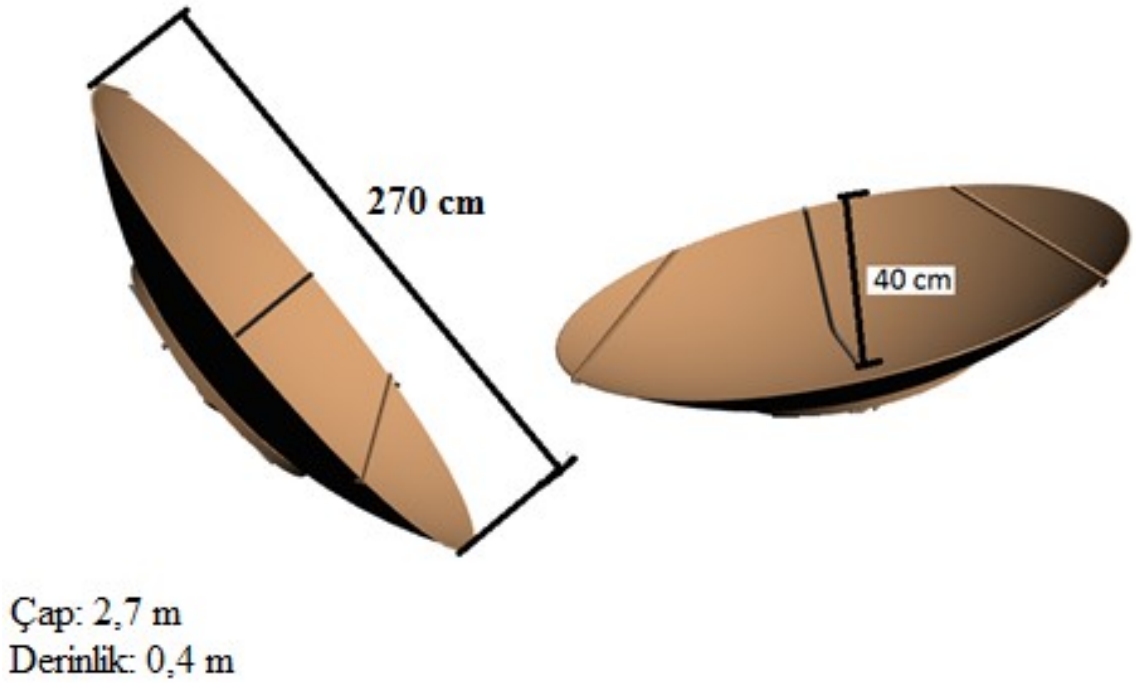
Çanak kollektör yüzeyinde yansıtıcı film olarak yansıtma oranı yüksek olması nedeniyle Çizelge 3.31'de özellikleri gösterilen 3M™ Solar Mirror Film 1100 ürün kullanılması planlanmıştır.

Çizelge 3.31. 3M™ Solar Mirror Film 1100 Ürünün Özellikler (3M Renewable Energy Division, 2012).

Özellikler	Değerler	Test metodu
Kalınlık (astarsız) mil (mikron)	4.6 (117)	(nominal)
Maksimum Genişlik inç (m)	49.25 (1.25)	(nominal)
Gerilme direnci lbs / genişlik (N / mm genişlik)	39 (6.8)	ASTM D882
Kopma Uzaması%	5	ASTM D883
Yield Strength lbs/in width (N/mm width)	36.5 (6.5)	ASTM D884
Esnek Uzama%	3.5	ASTM D885
Katsayı Termal Genleşme (0 to 60°C) °F (°C)	40×10^{-6} (70×10^{-6})	ASTM D696
Toplam Güneş Yansıtma (Hava Kütlesi 1.5)%	94	
Yansıtıcılık %	>95	D&S 25 mrad 660 nm
Minimum Yansıtıcı Alan / metrekare İşletme	99.8%	Visual
Sıcaklık Aralığı °F (°C)	-40°F to 149°F (-40°C to 65°C)	IEC 62108

3.4.11.2. Çanak Kolektör Seçimi ve Ebatlarına Karar Verilmesi

Çanak kollektör olarak alüminyum malzemeden çanak antenin iç yüzeylerinin yansıtıcı filmle kaplanması ile elde edilecek kollektör seçilmiştir. Bunun için kullanılması planlanan hurda çanak anten mazlemesi ölçüleri Şekil 3.94'te gösterilmiştir.



Şekil 3.94. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininde Kullanılacak Çanak Anten Malzemesi.

3.4.11.3. Yoğunlaştrma Alanı ve Isıl Güç Hesabı

Çanak kollektörün odak merkezi Çizelge 3.32'de gösterilen formulasyon ile ilgili web sitesindeki program kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.32. Çanak Kollektörün Odak Merkezi Formulasyon (Sartre, 2018).

Formula for parabolic antennas
Y=X*X/4*f

Antenna Diameter	cm	270
Antenna depth	cm	40
Focal length	cm	92.264
f/D ratio		0.38
Feedhorn beamwidth (from relector edge to reflector edge)	Deg	133.4

Odak noktası uzaklığı tespit edilen çanak kollektör için elde edilebilecek maksimum enerji Çizelge 3.33'te gösterildiği şekilde parametreler web sitesindeki ekrana giriş yapılmıştır.

Çizelge 3.33. Çanak Kollektörün Toplayıcıda Elde Edilecek Maksimum Güç Tespit Parametreleri (solaire-chauffe-eau.info, 2008).

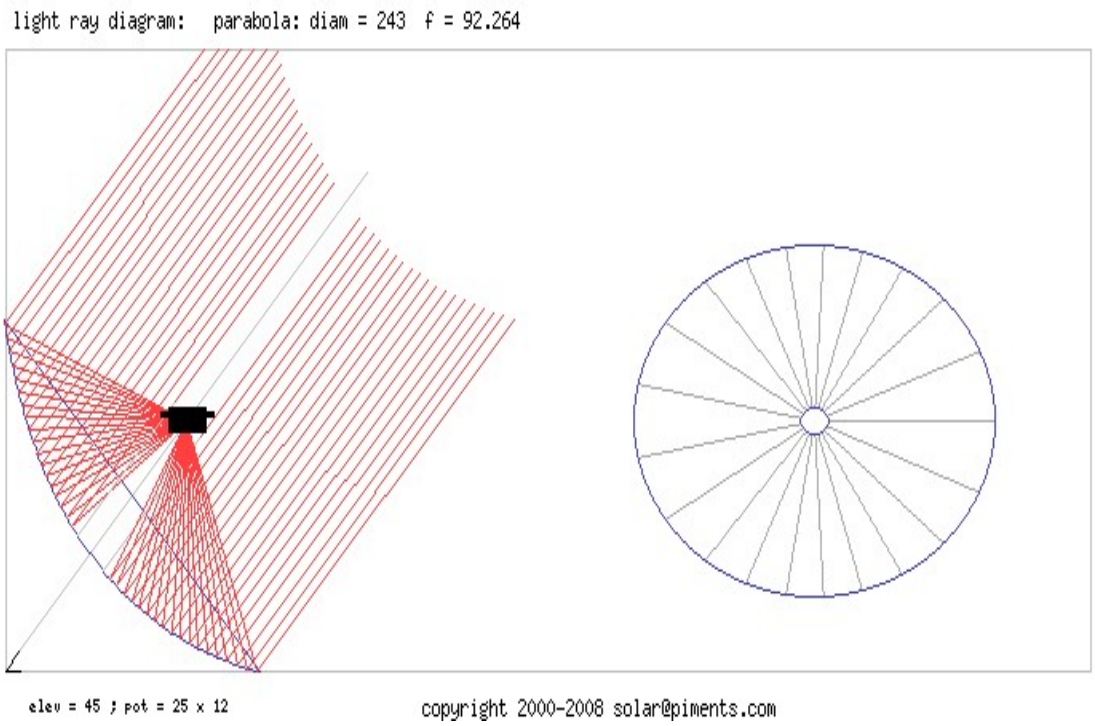
parabola geometry :		
diameter	270	cm*
focal length	92.264	cm
part of full paraboloide	Full	
calculation parameters :		
calculation increments (radial)	2	cm
incident solar power	1000	W/m²
reflector efficiency (ave. reflectivity)	95	%
metalwork parameters :		
number of radial sheet segments	21	
open center model, hole diam.	3	cm
drill hole diam.	0.4	cm
segment drilling border	1.5	cm
available sheet length	125	cm
available sheet width	100	cm
provide spare segments		
maximise parabola diam to sheet width	maximise	
results table options :		
show detailed calculations	Yes / No	
display lines interval	every 5th	
reset	Re-calculate	

Çizelge 3.34'te web sitesindeki ekran üzerinden çanak kollktör çapına göre web sitesindeki program kullanılarak maksimum ısıl güç 5439 W olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.34. Çanak Kollktör Çapına Göre Maksimum Isıl Güç (solaire-chauffe-eau.info, 2008).

Diam.	Arc length	arc'	hole c/c	Eff. area /m²	P max/W
3	0	0	0.4	0	0
23	10.007	9.9	3.4	0.0408	39
43	20.048	19.8	6.4	0.1445	137
63	30.153	29.8	9.4	0.311	295
83	40.349	39.9	12.4	0.5404	513
103	50.663	50.1	15.4	0.8325	791
123	61.122	60.4	18.4	1.1875	1128
143	71.753	71	21.4	1.6054	1525
163	82.579	81.7	24.2	2.086	1982
183	93.625	92.6	27.2	2.6295	2498
203	104.91	103.7	30.2	3.2358	3074
223	116.456	115.2	33.2	3.905	3710
243	128.283	126.9	36.2	4.637	4405
263	140.409	138.8	39.2	5.4318	5160
270	145.149	143.5	40.2	5.7249	5439
Diam.	Arc length	arc'	hole c/c	Eff. area /m²	P max/W

Şekil 3.95'te gelen güneş ışığının kollektör üzerinde alıcı yüzeyine toplanması gösterilmiştir.

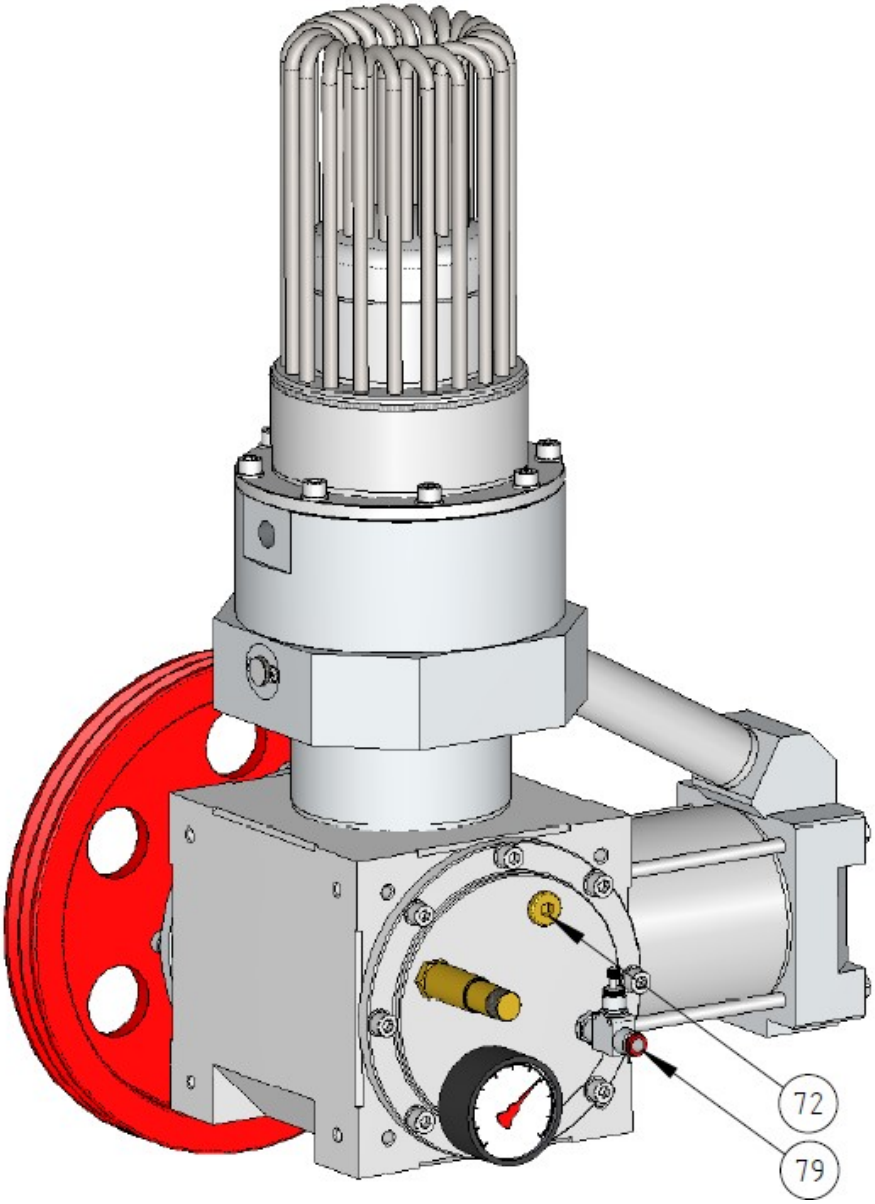


Şekil 3.95. Çanak Kollektörün Toplayıcı Isıyı Yansıtarak Üzerine Yoğunlaştırması Gösterimi (solaire-chauffe-eau.info, 2008).

Gama tip stirling motoru verimi %9.8 (Ahmed Abuelyamen, RachedBen-Mansour, 2018) olarak alındığında çanak kollektörde toplanan 5439 W'lık termal güçten 533 W stirling motorda mekanik enerjiye çevrilebildiği görülmektedir. (Abuelyamen & Mansour, 2018)

3.4.12. Kullanılacak Stirling Motorun Seçimi ve Özellikleri

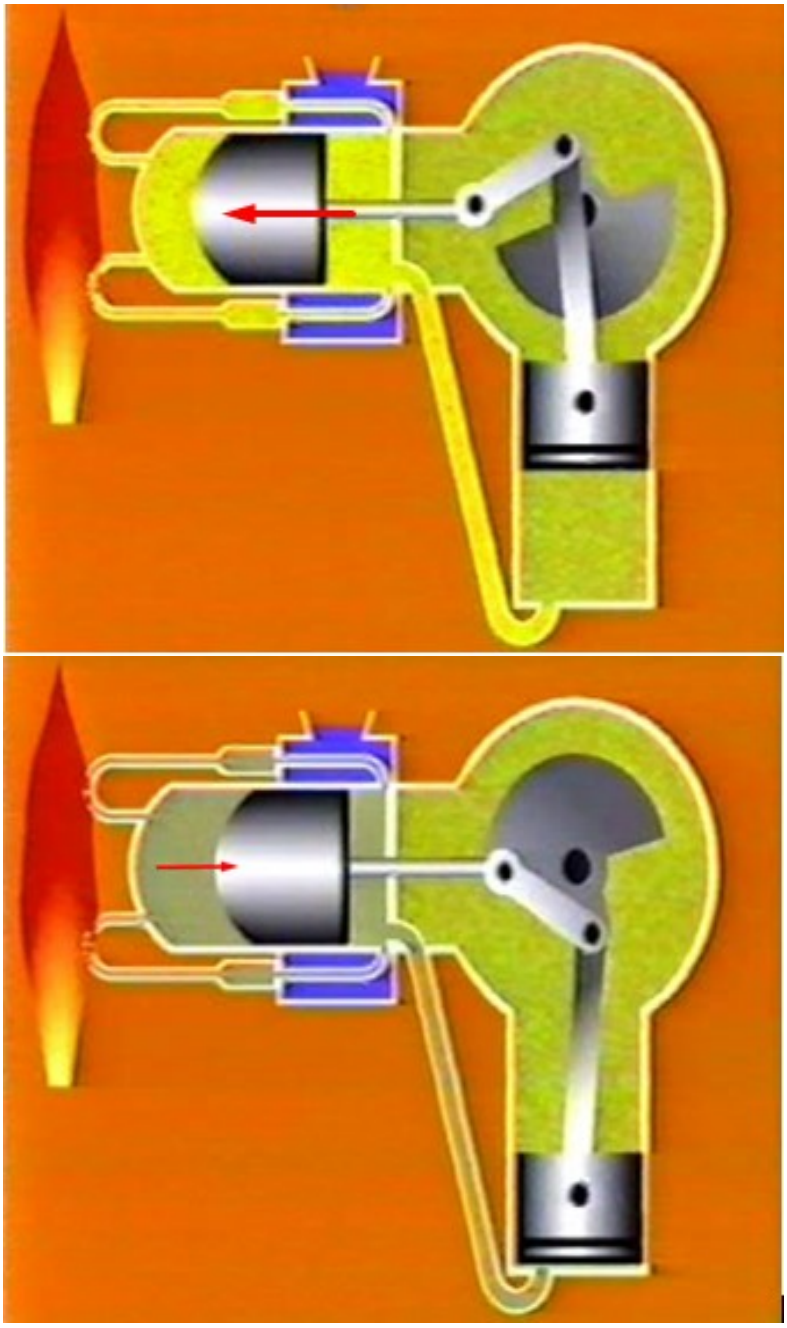
Kullanılacak stirling motor imal edilmek üzere projesi ve tüm imalat resimleri ve//ingenieure GmbH Almanya menşeyli ST05G model 0,5 kW stirling motor olarak planlanmıştır. Kullanılacak Stirling motor katı modeli Şekil 3.96'da gösterilmiştir. Güneş Türbini Kısmı Stirling Motor Montaj Teknik Resmi EK-II'de verilmiştir.



Şekil 3.96. ST05G 05 kW Stirling Proje Katı Model.

3.4.12.1. Çalışma Teorisi ve Güç Performans Özellikleri

ve//ingenieure GmbH firması tarafından projelendirilmiş gama tip stirling motoru volan ve çift pistonla çalışmaktadır. Şekil 3.97'de gama tip stirling motorun çalışma çevrimi görülmektedir.



Şekil 3.97. ST05G 05 kW Stirling Motoru Çalışma Sistemi.

Gama tip stirling motor çalışması sırasında aşağı yönde hareket eden piston çalışma akışkanını güç pistonun ısıtma haznesi şeklinde çalışan piston üstüne doldurur burada ısınan çalışma akışkanı genleşmesi sonucu güç pistonu aşağı itilmekte ve piston hareket ederek krank milini ve volanı saat yönünde çevirmektedir. Dezavantaj olarak bu motor sürekli çalışmada akışkan tarafından yeterince soğutulamadığında (yaz mevsimi sıcak hava şartlarında) sızdırmazlık parçalarının değiştirilmesi ihtiyacı oluşabilmektedir.

3.4.13. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin Teknik Resimleri ve Kısmi İmalatı

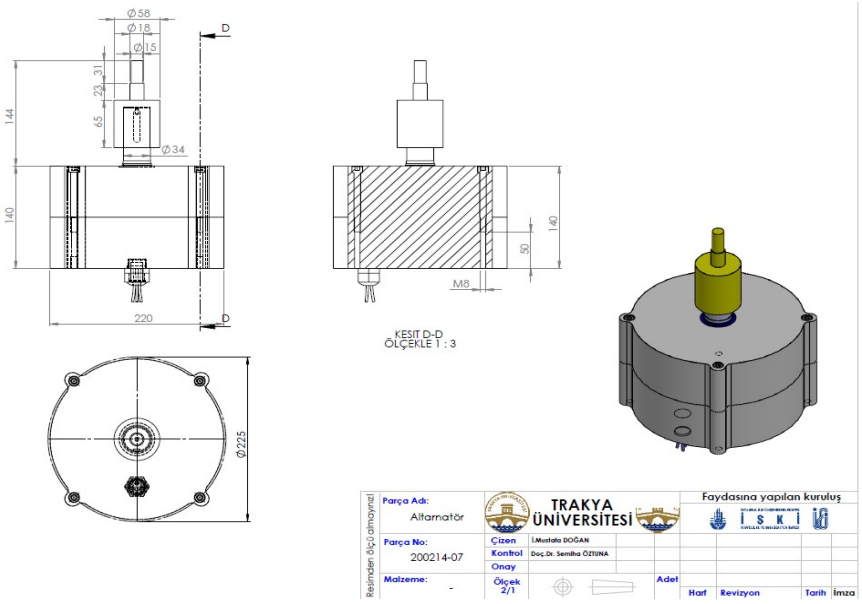
3.4.13.1. Montaj ve İmalat Teknik Resimlerinin Hazırlanması

Güneş-rüzgâr hibrit türbini için stirling motor teknik resimleri dışındaki tüm parçaların 3D modelleri oluşturulduktan sonra montajları 3D modelleme ortamında yapılmıştır. Proje tamamlanarak tüm parçaların teknik resimleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. Şekil 3.98'de güneş-rüzgâr hibrit santralinin(türbininin) montajlı 3D katı modeli gösterilmiştir.



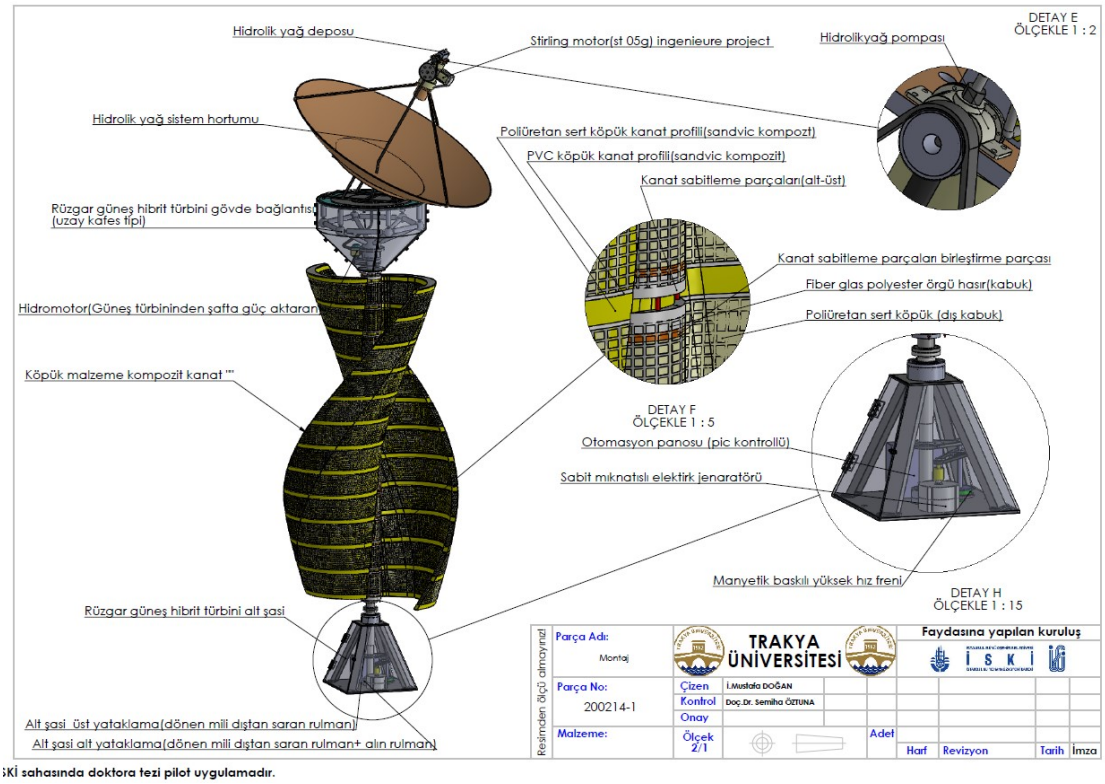
Şekil 3.98. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin Montajlı Proje (Render İşlemi Uygulanmış).

Şekil 3.99'da güneş-rüzgar hibrit türbini altarnatör teknik resmi örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.99. Güneş-Rüzgar Hibrit Türbinine Ait Örnek Altarnatör Teknik Resmi.

Tasarlanan güneş-rüzgâr hibrit türbini modeline ait detaylı montaj teknik resmi Şekil 3.100'de gösterilmiştir.



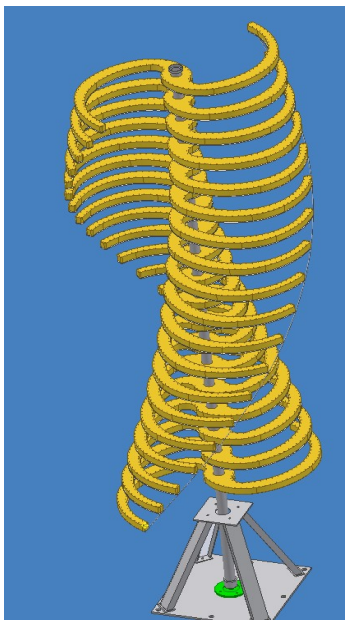
Şekil 3.100. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Montaj Detaylı Teknik Resmi.

Oluşturulacak sert köpük poliüretan kabuğun üretilmesi güneş-rüzgâr hibrit türbini yüzeylerine kaplaması ile rüzgar türbini kanadının dış kabuğu Şekil 3.101'de ki görünümüyle elde edilecektir.



Şekil 3.101. Rüzgâr Trübini Kısmı İskelet Yapısının Poliüretanla Kabuklanmış Görüntüsü.

Terfi merkezleri depo alanları üzerine yerleştirilecek güneş-rüzgâr hibrit türbininin iskelet modeli Şekil 3.102'de gösterilmiştir. İmalat şekli olarak katmanlı kompozit uygulaması yapılmak üzere imalat resimleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.102. Poliüretan Köpük ve Çelik Saçlarla İskelet Hâline Getirilecek Rüzgâr Türbin Kısmı Modeli.

Güneş-rüzgar hibrit türbininin tüm parça ve montaj teknik resimleri oluşturulmuş olup rüzgar kısmı montaj teknik resmi EK-I'de ve Güneş Türbini Kısmı Stirling Motor Montaj Teknik Resmi EK-II'de verilmiştir.

3.4.13.2. Güneş- Rüzgâr Hibrit Türbini Kısmi İmalatlarının Yapılması

Malzemeye karar verilmesi ve rüzgâr hızının 23,811 m/sn şartlarında, yeterli sağlamlıkta olduğunun malzeme testleri ile doğrulanması sonrası 8 plaka 205 x 120 x 5 cm poliüretan ve 4 plaka 305 x 150 x 0,8 cm PVC köpük (dekota) malzeme tedarik edilmiştir.

Rüzgâr türbini kanat iskeletini ve mile sabitleyen kestamit ve polietilen malzemeler tedarik edilerek teknik resimleri projede oluşturulan katı modeller bir CNC atölyesinde CAM programı çıkarılarak CNC tezgahta işlenmiş ve kanat kitleme ve kanat sabitleme isimli parçalar üretilmiştir. PVC köpük ve poliüretan kanat profilleri imalatı da yine CAM programları yapıldıktan sonra yapılan CAM programı CNC tezgaha verilerek aynı CNC atölyesinde yaptırılmıştır. Rüzgâr türbini asıl iskeletini oluşturan sac malzemeler 2D teknik resim üzerinden CAM ile CNC plazmada kesilerek sac kanat profilleri elde edilmiştir. Pürkay 1705 panel yapıştırıcısı öncelikle üreticide örnek yapıştırma yapıldıktan sonra 5 kg yapıştırıcı ve 1 kg sertleştirici olmak üzere tedarik edilmiştir. Kanat profillerini sac-poliüretan ve PVC-poliüretan olmak üzere sandviç uygulama yapılması ve plakaların yapıştırma işleminde üst üste helisel devamlılığının sağlanması için mil merkezlerinin aynı olmasını sağlayacak ve aynı anda sandviç bileşenlerinin yapıştırılmasının yapılabileceği ahşap taban üzerine yapıştırılan kanat profillerinin karşılık şablonu biçimindeki ahşap aparat yapılmıştır (Şekil 3.103).



Şekil 3.103. Sandviç Kanat Bileşenlerinin Yapıştırılması İçin Yapılan Ahşap Aparatların Görüntüsü.

Daha sonra yapılan yapıştırma işlemi ile kanat sandviç kompozit profiller elde edilmiştir. Şekil 3.104'te sandviç kompozit kanat malzemesi gösterilmiştir.



Şekil 3.104. Elde Edilen PVC Arası Poliüretan Sandvic Kompozit Kanat Profili.

1 kW sabit mıknatıslı jenaratör Ankara ostimde serbest bir üreticiden tedarik edilmiştir torna makinasında 500 devir/dak verilerek akım ve voltaj değerleri testleri yapılmıştır.

Güneş takip sistemi koluaçık enerji firmasındaki iki eksende güneş takibi yapan güneş takip sistemi olarak belirlenmiştir. 3M™ Solar Mirror Film 1100 benzeri muadili Çin menşeyli üreticiden Model: RF-01 0,90 üstü yansıtma veriminde güneş kollktörünün (çanak antenin) yüzey kaplaması için seçilmiştir.

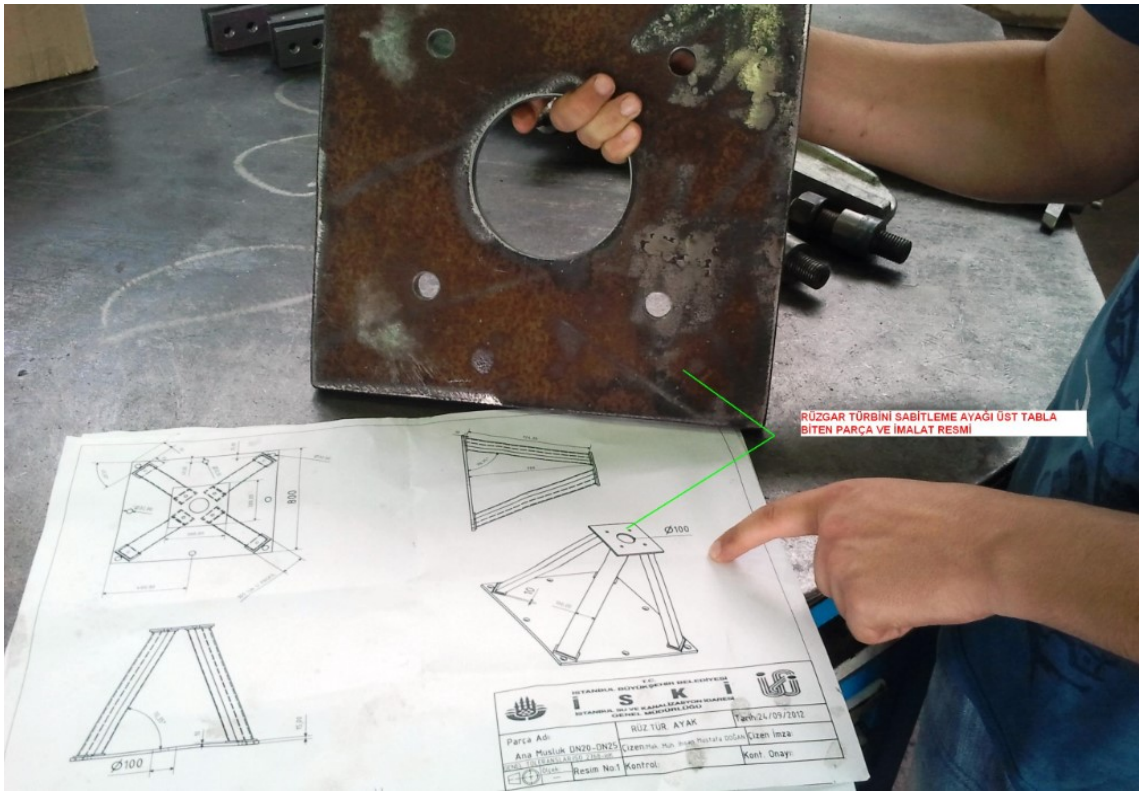
Türbin İstanbul adlı serbest üreticiden invertör akü gurubu ve şarj kontrol ünitesi tedariki görüşmeler yapılarak gerekli malzeme tipleri belirlenmiştir. 35lt /dak 800 devir hidromotor ve hidrolik pompa için 0,90 verimdeki mert akışkan gücü ürünleri belirlenmiştir.

Rüzgâr türbini fren ve kavrama sistemi EMF marka ybf-03 modele karar verilmiştir. Seri üretim için kanat iskelet üzerinin kaplanması için 250 kg/m^3 yoğunlukta kabuk kalıp yapımı maliyet fiyat araştırmaları yapılmış ancak seri imalat konusu olduğu için bu tez kapsamı dışında bırakılmıştır.

Rüzgâr türbini mil ve destek ayak parçaları ile kanat iskelet yapıları poliüretan kaplama işlemleri dışında tamamlanmış olup montaja hazır hâle getirilmiştir. Yapılan imalat sonrası kanat ve mil ve türbin destek ayağı kısmları aşağıda şekillerle gösterilmiştir. Rüzgâr türbinin mil aksamı ve destek aksamı için imalat resimleri sonrası her parça için imalat yapılmıştır. Rüzgâr türbini imalat öncesi mil malzemesi Şekil 105'te, destek ayağı üst tablası örnek resmi ve imalatı Şekil 3.106'da gösterilmiştir.

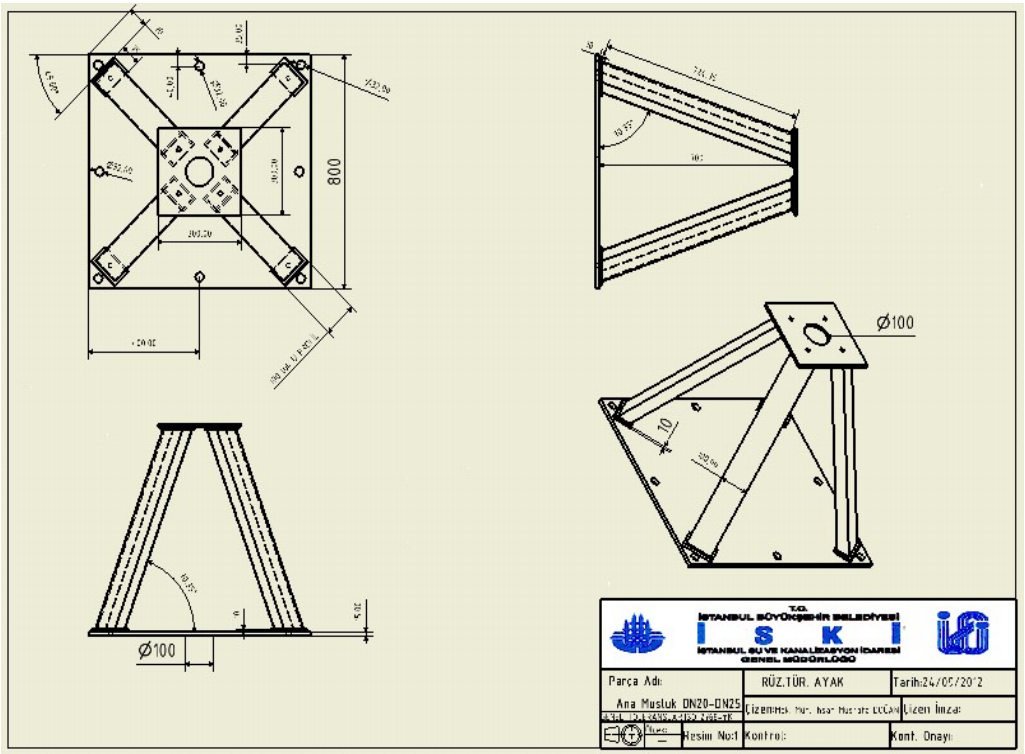


Şekil 3.105. Rüzgâr Türbini Mil Malzemeleri İşlem Öncesi.



Şekil 3.106. Teknik Resime Göre Üretilen Alt Tabla Mil Yatağı Desteği Örnek Gösterimi.

Rüzgâr türbini destek platformunun teknik resimleri Şekil 3.107'de verilmiştir.



Şekil 3.107. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Destek Platformu.

Güneş-rüzgâr hibrit türbini destek platformu teknik resmine uygun imalatı Şekil 3.108'de, destek ayağı dış rulman bağlantısı yakından görünümü Şekil 3.109'da gösterilmiştir. Şekil 3.110'da imalatı tamamlanan iç mil ve dış mil yakından görünümü verilmiştir. Şekil 3.111'de imalat aşamasındaki rüzgâr türbini kanat saç ve PVC köpük parçaları gösterilmiştir.



Şekil 3.108. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin İmalatı Tamamlanan Destek Ayağı ve Mili.



Şekil 3.109. Destek Ayağı Dış Rulman Bağlantısı Yakından Görünümü.



Şekil 3.110. İmalatı Tamamlanan İç Mil ve Dış Mil Yakından Görünümü.



Şekil 3.111. İmalat Aşamasındaki Rüzgâr Türbin Kanat İskeleti Parçaları.

Güneş-rüzgâr hibirit türbini saç ve PVC kesitlerin üzerlerinin poliüretan köpükle kaplanması, kaplanan kesitlerin mil ve destek parçaları üzerine birleştirilmesi, kesitlerin birbirlerine tel kafes şeklinde bağlanması ve oluşacak tel kafes şekil üzerine sert poliüretan kaplama malzemesi yapılmasıyla güneş-rüzgâr hibrit türbininin rüzgâr kısmı tamamlanmış olacaktır. Tamamlanan hibrit türbinin rüzgâr kısmı üzerine aynı şaftı döndürecek 270 cm çapında üzeri yansıtıcı film kaplı güneş kollektörü çanak anten ve stirling motor eklemesiyle projenin türbin kısmı tamamlanmış olacaktır. Şekil 3.112'de kanat iskelet parçalarının orta göbekte birbirleriyle geçme şeklindeki montajı gösterilmiştir.



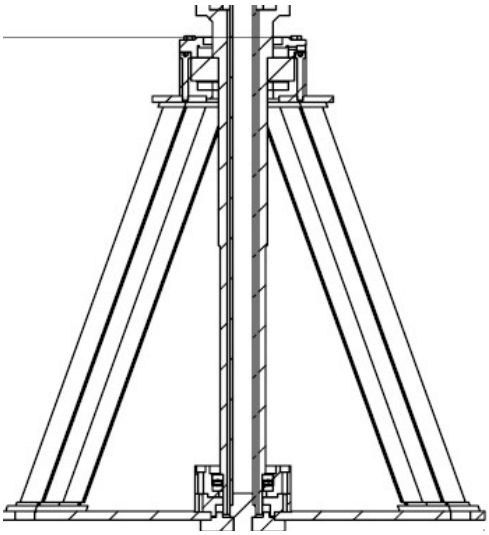
Şekil 3.112. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Kanat Göbek Geçme Şeklindeki Montaj Görünümü.

Şekil 3.113'de kanat iskelet montajı tamamlanmış alt katmanın üzerine fiberglas kabuk uygulaması yapılarak oluşturulmuş kanat parçası gösterilmiştir.



Şekil 3.113. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Dış Kabuğu Fiberglastan Yapılmış Örnek Kısmi Kanat İmalatı.

Polüüretan kabuk kaplama ile birlikte imalatta eksik kalan güneş takip sistemi, rüzgâr türbini ile güneş türbini arasında güç aktarımını sağlayacak hidrolik pompa ve hidromotor ile kavrama akipmanlarının adaptesiyle rüzgâr türbini mekanik ekipmanları tümüyle oluşturulmuş olacaktır. Mekanik ekipmanların akü grubu akü şarj ünitesi ve invertörle donatılması ile güneş-rüzgâr hibrit türbini projesi hayata geçirilebilecektir. Şekil 3.114'te kendinden yağlamalı yatak detayı gösterilmiştir.



Şekil 3.114. Rüzgâr Türbini Kendinden Yağlamalı Yataklama Detay Resmi.

3.5. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Maliyet Analizi ve Diğer Rüzgâr Türbinleri İle Maliyet Karşılaştırması

Güneş-rüzgâr hibrit türbini işçilik maliyetleri dışında fiyat analizleri Çizelge 3.35'te yapılmıştır.

Çizelge 3.35. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Ekipman Maliyetleri (İşçilik Hariç).

3 kW lık Rüzgâr-Günes Hibrit Türbini Maliyet *(20 m/sn rüzgâr hızında anma gücü)*			
Materyal	Adet	Adet Tutarı	Toplam
Kanatlar	1	352 USD	352 USD
Döner mill	2	18 USD	35 USD
Farklı ebatlarda rulmanlar	1	88 USD	88 USD
Ana gövde şasi	1	35 USD	35 USD
Güneş takip sistemi	1	176 USD	176 USD
Hidromotor (500W)	1	50 USD	50 USD
Kavrama diski	1	53 USD	53 USD
Fren diski		65 USD	65 USD
Kontrol ünitesi	1		
Jeneratör (3KW)	1	223 USD	223 USD
Hidrolikpompa (500W)	1	39 USD	39 USD
Ayrık çalışma için güneş jeneratörü (500W)	1	66 USD	66 USD
Akü (240 A/H)	1	248 USD	248 USD
AC/DC çevirici	1	82 USD	82 USD
Akü şarj ünitesi	1	46 USD	46 USD
Stirling motor (500W)	1	619 USD	619 USD
Genel Toplam			**2.178 USD**

Güneş-rüzgâr hibrit türbini 10 m/sn hızında yaklaşık 1 kW güç üretmektedir. 20 m/sn hızında ise yaklaşık 3,4 kW güç üretebilmektedir. Bu nedenle 20 m/sn anma hızında 3 kW anma gücü üzerinden piyasadaki ürünlerle kaşılaştırıldığında daha ekonomik olduğu görülmektedir (Çizelge 3.36).

Çizelge 3.36. 3 kW'lık Rüzgâr Türbinleri Maliyet (20 m/sn Rüzgâr Hızında Anma Gücü).

Tür	Güç	Fiyat
Yatay Eksenli Klasik Rüzgâr Türbini	3 kW	4.274,8 USD
Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini	3 kw	3672,1 USD

Piyasa koşullarındaki PV güneş panelleri, yatay eksenli rüzgar türbinleri ve hibrit uygulamaları kurulum fiyatları ve bir yılda ürettikleri enerji fiyatının yatırım maliyetine oranı

şeklinde tespit edilen birim enerji maliyetleri tespit edilerek güneş-rüzgar hibrit türbini çoklu uygulama maliyeti ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Çizelge 3.37'de güneş-rüzgâr hibrit türbini ile YERT tipi rüzgâr türbini maliyeti (Cimo, 2019) karşılaştırması gösterilmiştir.

Çizelge 3.37. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Yert Tipi Rüzgâr Türbini İle Yatırım Maliyeti Karşılaştırması

	1 kw Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Çoklu Yerleşim Maliyeti	**YERT Rüzgâr Türbini Maliyeti**
GÜÇ	(12,5 m/sn rüzgâr hızında anma gücü)	
1.2kw	2.050 USD	3.537 USD
2 kw	3.416 USD	4.769 USD
3 kw	5.125 USD	6.176 USD
5kw	8.541 USD	8.727 USD
10 kw	17.082 USD	16.291 USD
20 kw	34.164 USD	44.169 USD
60kw	102.493 USD	116.105 USD
100 kw	170.822 USD	149.529 USD
*Hibrit türbin 12,5 m/sn üretim gücü 10-20 m/sn CFD analizlerinin interpolasyonu ile **1,6 kW** olarak belirlenmiştir.*		
*12.5 m/sn rüzgâr hızında kW başına türbin maliyeti **1.708,22 USD** olarak hesaplanmıştır **(2.178/1,6)***		
	Güneş-rüzgâr hibrit türbini klasik sisteme göre ekonomik.	
	Güneş-rüzgâr hibrit türbini klasik sisteme göre rantabıl değil.	

Çeşitli RES, PV ve GRHES çoklu uygulamarının Kağıthane Terfi Merkezi su deposu alanı üzerinde örnek yerleşimi Şekil 3.115'te gösterilmiştir.



Şekil 3.115. Terfi Merkezi Su Deposu Alanı Üzerinde RES, PV ve GRHES Yerleşimi.

Çizelge 3.38'de güneş-rüzgâr hibrit türbini ile YERT tipi rüzgâr türbini, PV güneş santrali, klasik hibrit (YERT+PV) santrali enerji birim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.38. Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Yert Tipi Rüzgâr Türbin PV ve Klasik Hibrit Sisteme Göre Enerji Birim Maliyeti Karşılaştırması [Ekonomik Solar, (2018), Cimo, (2019), Uyar, (2019)].

	1 kw Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbini Çoklu Yerleşim Maliyet	**YERT Rüzgâr Türbini Maliyet**	**PV Güneş Santrali Maliyet**	**Klasik Hibrit (YERT+PV) Santrali Maliyet**
GÜÇ	(USD/kWh-yıl) 1 yılda üretilen enerjinin yatırım maliyetine oranı			
1.2kw	0,49 USD	0,84 USD	0,99 USD	0,92 USD
2 kw	0,49 USD	0,68 USD	0,98 USD	0,83 USD
3 kw	0,49 USD	0,59 USD	0,98 USD	0,78 USD
5kw	0,49 USD	0,50 USD	0,85 USD	0,67 USD
10 kw	0,49 USD	0,46 USD	0,80 USD	0,63 USD
20 kw	0,49 USD	0,63 USD	0,59 USD	0,61 USD
60 kw	0,49 USD	0,55 USD	0,55 USD	0,55 USD
100 kw	0,49 USD	0,43 USD	0,48 USD	0,45 USD
Güneş-rüzgâr hibrit türbininin 12,5 m/sn rüzgâr hızı için üretim gücü 10-20 m/sn CFD analizlerinin interpolasyonu ile 1,6 kw olarak belirlenmiştir.				
12.5 m/sn rüzgâr hızında kw başına türbin maliyeti ***1.708,22 USD*** olarak hesaplanmıştır ***(2.178/1,6)***.				
Maliyet hesaplamalarında günlük ortalama güneşlenme süresi 4 saat olarak kabul edilmiştir.				
Rüzgâr kapasite faktörü % 40 olarak kabul edilmiştir.				
http://www.cimo.com.tr/category.php?id_category=52 https://www.ekonomiksolar.com/50-kw-on-grid-%C3%A7at%C4%B1-%C3%BCst%C3%BC-elektrik-%C3%BCretimi.html https://www.enerjibes.com/gunes-enerji-santrali-kurulumu-maliyeti/				
	Güneş-rüzgâr hibrit türbini klasik sisteme göre ekonomik.			
	Güneş-rüzgâr hibrit türbini klasik sisteme göre rantabıl değil.			

Sonuç olarak Çizelge 3.37 ve Çizelge 3.38'de güneş-rüzgâr hibrit türbininin 60 kW'a kadar enerji birim fiyatı ve yatırım maliyeti açısından avantajlı olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Tartışmalar ve Bulgular

4.1.1. Literatür Çalışmaları ile Karşılaştırma

Thorne & Neal (2016) çalışmalarında kullandıkları doğrudan termodinamik yöntemle pompa verim testine ait yaklaşımdan yararlanılmış ancak motopomp verim testlerinde motor ve pompanın birlikte incelenmesi söz konusudur. Bu tez çalışmasında tamamen istatistiksel yöntemlerden yararlanılarak motopomp veriminin yaklaşık tahmin edilmesi ile ilgili literattür çalışmasından oldukça farklı bir yaklaşım ortaya konmaktadır.

Nikolenko & Shvagrev (2018) çalışmalarında, modern pompa istasyonlarının enerji verimliliğini artırma üzerine yaptığı çalışmanın sonuçlarını olan anlık bilgi akışı ve pompa istasyonlarında otomatik kontrol yapılmasının verim artışını sağlayıcılığı önerisi, bu tez çalışmasında motopomp veriminin anlık takibi ve frekans konverterü gibi anlık ihtiyaca göre tesisin yönetildiği ekipmanların ilavesinin verimi artırması sonuçları ile örtüşmektedir.

Tiony (2012) çalışmasında söylediği, pompa istasyonlarında yeniden ideal çalışma noktası ayarlamasının verimi artırdığı sonucu ile bu tez çalışmasının ortaya koyduğu pompa Hm değerlerinin yeniden belirlenmesi benzer sonuçlar vermektedir.

Pinninti, Vejitha ve Stephen (2019) çalışmalarında, rüzgâr ve güneş hibrit enerji sistemlerinin rüzgâr veya güneş enerji sistemlerine göre daha verimli enerji üretimi olduğu sonucu ile bu tez çalışmasındaki güneş-rüzgar hibrit türbininin hibrit çalışmasının geniş bir rüzgar hızı aralığında verimi artırdığını gösterir bulguları

birbirini desteklemektedir. Bununla birlikte Rehman (2021) Suudi Arabistanda yaptığı çalışmalarda buldukları güneş ve rüzgar hibrit sistemlerinin en verimli hibrit sistem olduğu sonucuna da uygun düşmektedir.

Salem, Chaouali, Mezghani ve Mami (2021) çalışmalarında pompa istasyonlarındaki enerji talebinin hibrit enerji sistemiyle karşılanmasına yönelik yaptıkları çalışmada ulaştıkları PV-lityum hibrit enerji sisteminin pompa istasyonunun enerji talebini karşılamada umut verici bir yöntem olduğuna ilişkin sonuca bir katkı olarak bu tez çalışması noktasal odaklamalı güneş türbini sistemlerinin de pompa istasyonlarının enerji ihtiyacını karşılamada umut vadeden bir sistem olduğunu göstermiştir.

Bu tez çalışmasında güneş rüzgar hibrit santralinin maliyet avantajı sağlaması açısından uygulanabilir olduğu sonucu ile Ssenyimba, Kiggundu ve Banadda, (2020) Uganda'nın Kalangala bölgesinde sulama sistemi için güneş-rüzgâr hibrit sisteminin uygulanabilir olduğuna ilişkin sonuçları birbirini desteklemektedir.

Laamari, Zghal, ve Kchaou (2015) çalışmalarında hibrit güneş-rüzgâr sisteminin su pompalama istasyonundaki optimizasyonu ile ilgili araştırma sonucu rüzgâr ve güneş uygulamaları için en ideal kullanımın hibrit uygulama olduğu sonucu ile bu tez çalışması sonuçları birbirini desteklemektedir.

Foster (2005) Kunijima arıtma tesisinde pompaların ihtiyaç duyduğu elektriğin bir kısmının PV panelleri ile karşılanmasıyla 150 kW/h kapasite ile elektrik üretilmesi benzer şekilde bu tez çalışmasında terfi istasyonları için güneş rüzgar hibrit sistemlerinin alternatif enerji kaynağı olarak terfi istasyonlarının enerji ihtiyaçlarının desteklenmesinde kullanılmasının mümkün olduğu ortaya konulmaktadır.

Uçar (2011), çalışmasındaki sirkulasyon pompası termal model çalışması motor modellemesi ve analizi birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılan elektriksel benzeşim metodundan, bu tez çalışmasında sıcaklık ölçüm modeli oluşturulması aşamasında faydalanılmıştır. Ancak hedefleri bakımından farklı sonuçlara ulaşılabilmektedir.

El-Askary vd. (2015) çalışmalarında, savonius rotorlarda rüzgâr türbini üzerine konkav tarafından rüzgâr jeti uygulayarak, rüzgâra karşı oluşan konveks yüzdeki vorteks oluşumunun azaltılması ve performansın artırılması amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında güneş-rüzgar hibrit türbini rüzgar türbini kısmı için vorteks oluşumuna

sebep olan atalet kuvvetlerinin güneş türbininden gelen ilave güçle azaltılması ile verim artışı sağlandığı değerlendirilmesi birbirini desteklemiştir.

Elhadidy & Shaahid, (2000), çalışmalarında hibrit yenilenebilir enerji sistemi (HRES) araştırmışlardır. Çalışmaya göre HRES'in amacı işletme özelliklerinden uygun şekilde faydalanmak için iki veya daha fazla yenilenebilir enerji üretim teknolojisini birleştirmek ve tek bir güç kaynağından elde edebileceğinden daha yüksek verimlilik elde ettiği görülmüştür. Bu tez çalışması sonucunda özgün olarak tasarımı yapılan GRHES verim artışı sağlaması bakımından sözkonusu araştırmada istenilen hedef sağlanmıştır.

Chong vd. (2011), kentsel yüksek irtifa uygulamaları için yağmur suyu toplama özelliklerine sahip GRHES'lerinin ekonomik analizi yapılmıştır. Bu tez çalışması söz konusu araştırmaya benzer şekilde GRHES için ekonomik analizi ortaya koymuştur.

Bu tez çalışması İstanbul şartları için güneş-rüzgar hibrit santralinin ekonomik analizini ortaya koymaktadır. Sinha vd. (2013) ise Hindistan'ın Kuzeyindeki Hamirpur kasabası için yaptıkları çalışmada güneş-rüzgâr hibrit sistemlerinin ön fizibilite analizi çalışmasını yapmışlardır. Yerel şartların hibrit sistemler üzerindeki etkisinin araştırılması ile her iki çalışma literatüre katkı sağlamışlardır.

Kellogg vd. (1998) basit aritmetik algoritma geliştirerek HRES'in birim boyutlandırmasını yapmışlardır. Bu tez çalışmasında benzer şekilde rüzgar türbini boyutlandırılması yapılarak sonrasında HAD/CFD analizleri ile rüzgar türbini kısmı optimizasyonu ve çalışma simülasyonu sonucunda yapılan boyutlandırmanın doğrulaması yapılmıştır.

Belfkira vd. (2008) çalışmalarında bağımsız bir rüzgâr-fotovoltaik-dizel hibrit enerji sisteminin boyutlandırılması ve optimize edilmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Yapılan araştırma bu tez çalışmasındaki güneş ve rüzgar türbinlerinin özgün olarak ortak şaftta birleştirilmesi ve analiz edilmesi ile karşılaştırılabilir bir örnektir.

Marchetti vd. (1991), yıllık maliyet, pil bağımsız fonksiyonu, boyutlandırma kriterleri ve ekolojik istatistiksel faktöre dayalı HRES'in istatistiksel modellemesini vermiştir. HRES modelinin uygun sonucunu bulmak için adım adım optimizasyon uygulaması kullanmışlardır. Yapılan araştırma bu tez çalışmasında rüzgar hızlarının farklı

değerleri ve güneş türbininin ortak şaftta farklı güçlerde ilave güç sağlamasına ilişkin tablo analizleri ile iki araştırma birlikte karşılaştırılabilir birer örnek ortaya koymuştur.

Potamianakis & Vournas (2003), küçük hibrit güç sisteminin modellenmesini ve simülasyonunu göstermiştir. Bu tez çalışmasında güneş rüzgar hibrit santralinin hibrit simülasyonunun HAD/CFD analizleri ile yapılmasıyla sonuçları itibariyle iki araştırma birlikte karşılaştırılabilir birer örnek ortaya koymuştur.

Zhao vd. (2009), yatırım maliyeti ile birlikte sistemin güvenilirliğini ve optimum çalışmasını da içeren kapsamlı objektif fonksiyonlarla ilgilenen bir çalışma sunmuşlardır. Buna göre rüzgâr türbini ile PV sistemin güvenilirlikle birlikte hesaplanabilecek yatırım maliyetini belirlemişlerdir. Bu tez çalışmasında da güneş-rüzgar hibrit santralinin maliyet analizleri yapılması ile iki araştırma birlikte karşılaştırılabilir birer örnek ortaya koymuştur.

4.1.2. Bulgular

Bu tez çalışmasında öncelikle İstanbul genelindeki en büyük kurulu güç kapasitesindeki 15 terfi merkezi incelenmiştir. Ortalama kapasite ve ortalama tesis yaşı gibi değerlendirmelerle verimlilik artırıcı proje önerilerinin taşıyacağı ekonomik faydanın iyi seviyede olması amaçlanmıştır. Yapılan ön etüt sonucunda 1974 yılında kurulmuş olan ve hâli hazırda 3 MW kurulu güçteki Kâğıthane Terfi Merkezi pilot tesis olarak belirlenmiştir.

Kâğıthane Terfi Merkezinde verimlilik değerlendirmesi yapılarak tesisin İSKİ'deki diğer terfi istasyonları gibi tesis projelerindeki verime yakın bir değerde çalıştığı değerlendirilmiştir. Bununla birlikte Kağıthane Terfi Merkezinin verimliliğinin artırılmasıyla ilgili yapılacak verimlilik artırıcı Çizelge 3.6'da verilen 7 adet proje revizyon önerisi ortaya konarak maliyet fayda analizleri yapılmıştır. Nihai olarak proje revizyon önerilerinin birlikte uygulanabilir olanları değerlendirilerek, 8. birleşik verimlilik artırıcı proje revizyon önerisi hâline getirilmiştir. Maliyet fayda analizleri sonucunda birleşik revizyon önerisi projesinin uygulanmasıyla yılda 2.198.000 kWh elektrik enerjisinin geri kazanılabileceği ortaya konmuştur.

Terfi merkezi motopomplarında verimsizlik sonucu kaybedilen enerjinin titreşim ve ısı formunda olduğu kabulüyle, motopomplarda kayıp enerjinin titreşim ve sıcaklık

ölçümlerine dayalı olarak bulunabilirliğinin araştırılması için deney düzeneği kurulmuştur (11 kW'lık motopomp). Test düzeneğinde; pompa çıkış vanasının açılıp kısılması ile debi kontrolü sağlanarak ve kaplin ayarları kontrollü olarak bozularak, farklı verim değerleri için titreşim ölçümleri ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerle elde edilen verilerin istatiksel analizleri yapılmıştır. Verimsizlikle kaybedilen enerjideki artışın, titreşim olarak fark edilebildiği pompadan geçen su debisi ile birlikte değerlendirildiğinde sıcaklık değerleri değişimiyle de ilişkili olduğu ortaya konmuştur.

Deneysel çalışmanın sonuçları üzerinden Kâğıthane Terfi Merkezi için motopomplarda; sıcaklık, titreşim ölçümleri ve verim tespitlerinin tekrarlı olarak yapılmasıyla, verim-sıcaklık-titreşim ilişkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Titreşimin birçok noktada ölçülmesinden dolayı problemin çözümünü basitleştirmek için çoklu titreşim ölçümlerinin ağırlık merkezine indirgenmesi amacıyla Abaqus programı kullanılmıştır. Bunun için motopomp test düzeneğinin modeli yapılarak çoklu (8 ayrı noktadan) titreşim ölçüm değerlerinin programda çözdürülmesi ile ağırlık merkezi titreşim değerleri elde edilmiştir. Ölçülen ve Abaqus programındaki analizle elde edilen ağırlık merkezi titreşim değerlerinin SPSS programında regresyon analizi ile ağırlık merkezindeki titreşimi veren yani motopomp titreşimlerini ağırlık merkezine indirgeyen formül ortaya konmuştur.

Kâğıthane terfi merkezi için 8 ayrı noktadan alınan titreşim ölçümleri ve 13 ayrı noktadan alınan sıcaklık ölçümleri ile motopomp verim değerleri kullanılarak SPSS programında yapılan regresyon analizleri sonucunda motopomp verimliliğini veren formül ortaya konmuştur.

Terfi merkezlerinde motopomp verimlerinin, sensörlerle sürekli sıcaklık ve titreşim ölçümleri ile takibi sonucunda verimsizliğin arttığı durumlarda, müdahale edilerek oluşacak ekonomik kaybın önüne geçilmesi için verimi tahmin eden özgün paket program elde edilmiştir.

Motopomp verim değerlerinin sürekli izlenmesi ile elde edilecek tasarrufla birlikte terfi istasyonlarının güneş-rüzgâr hibrit santrali ile desteklenerek enerji maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Güneş-rüzgâr hibrit santralinde 1 kW toplam güç kapasitesine karar verilmiştir. Bu kapasiteyi sağlamak için 10 m/sn rüzgar hızında

yaklaşık 0,5 kW güç kapasitesine sahip savonius rüzgâr türbininin HAD/CFD akış analizleri ve kesit optimizasyonu ile kanat tasarımı yapılmıştır.

Çanak kollektörlü ve stirling motorlu güneş türbini 1 kW güç ihtiyacını tamamlayacak şekilde 0,5 kW ST05G model stirling motor imalat projesi ve//ingineure GMBH firmasından elde edilmiştir. Stirling motorun ısı ihtiyacını karşılaması için çapı 270 cm olarak seçildiğinde 5439 W ısı enerjisi üretecek çanak kollektöre karar verilmiştir. Böylece Güneşten alınan ısı enerjisi ile %9,8 ideal verimle stirling motorun 533 W mekanik enerji üreteceği hesaplanmıştır.

Güneş takip sistemli olarak projelendirilmiş hibrit sistem, stirling motorun tahrik ettiği hidrolik pompadan güç alan akışkandan beslenen hidrolik motorun kavrama sistemiyle ortak şaftı döndürmesi prensibiyle tasarlanmıştır. Rulman ve yataklar, 1 kW-3 kW sabit mıknatıslı jeneratör ve aktarma dişlileri ile birlikte güneş-rüzgâr hibrit santrali projelendirmesi tamamlanmıştır.

Rüzgâr türbini üzerine gelen rüzgâr yükü hesaplanarak kritik kesitte 23,811 m/sn. rüzgâr hızında 24,5 Mpa eğilme yükü olacağı hesaplanarak olması istenen malzeme eğilme dayanımının sınırları tespit edilmiştir.

Güneş-rüzgâr hibrit türbininde kullanılacak kanat malzemesi düşük rüzgâr hızlarında güç üretimini amaçlayan şekilde 8 mm PVC köpük arası 50 mm kalınlığında poliüretan köpük malzemenin Pürkay unibond 1705 panel yapıştırıcı malzeme ile yapıştırılarak özgün kanat malzemesi sandviç kompozit hâlde elde edilmiştir.

Sandviç kompozit malzemelere özgü dayanım testleri İTÜ Uçak mühendisliği Labaratuvarında gerçekleştirilmiştir. Özgün PVC arası poliüretan kompozit kanat malzemesine yapılan testler sonucunda sağlıklı yapıştırlmış, sandviç malzemelerin 24,83 Mpa dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Güneş-rüzgâr hibrit türbinin hibrit çalışmasının verime etkisinin ortaya konması için 0,1 kW-0,5 kW arasında güneş türbini kısmından güç aktarımı HAD/CFD programının “ön torklu çalışma” özelliği kullanılarak simüle edilmiştir. Güneş türbininin ürettiği gücün özgün şekilde rüzgâr türbini üzerine ortak şaft üzerinden etki ettirilmesine ait akış analizleri sonucunda 2 m/sn rüzgâr hızında hibrit çalışmanın verimi düşürdüğü 7 m/sn, 10 m/sn, 20 m/sn rüzgâr hızlarında verimi artırdırdığı anlaşılmıştır. Buna göre ortak şaft üzerinde hibrit çalışma; 7 m/sn rüzgâr hızında verimi %2,3 - %8

arasında, 10 m/sn rüzgâr hızında verimi %5,1 - %8,3 arasında, 20 m/sn rüzgâr hızında verimi %6,4 - %18,1 arasında artıracağı tespit edilmiştir.

Güneş-rüzgâr hibrit santrali maliyet analizi yapılarak 20 m/sn rüzgâr hızı için klasik yatay eksenli rüzgâr türbinine göre % 36, dikey eksenli rüzgâr türbinine göre %25,5 daha ekonomik olacağı ortaya konmuştur.

Güneş-rüzgâr hibrit santrallerinin terfi istasyonlarının enerji ihtiyacının bir bölümünü karşılayacak şekilde geniş alanlara sahip depoların çatılarında çoklu şekilde (örneğin 60 x 1kW şeklinde) yerleştirilebilmektedir. Buna göre 12,5 m/sn için 2 kW-100 kW arasında yatırım maliyeti avantaj karşılaştırması yapılmış ve 60 kW'a kadar bu tez çalışmasında tasarlanan "**Güneş-Rüzgâr Hibrit Türbininin"** çoklu uygulaması olan santralin yatırım avantajı olabildiği ortaya konmuştur.

Güneş-rüzgâr hibrit türbinin klasik YERT ve PV panel ile bunların hibrit uygulamasına göre enerji birim fiyatları karşılaştırıldığında Güneş-Rüzgâr Hibrit Santralinin 60 kW'a kadar avantajlı olabildiği ortaya konmuştur.

Güneş-rüzgâr hibrit türbininin rüzgâr türbini kısmı için imalatı mali zorluklar ve zaman kısıtı nedeniyle tamamlanamamış ancak projelendirme ve malzeme seçimi kısmı güneş-rüzgâr hibrit türbini kontrolörüne ait yazılımlar dışında bitirilmiştir.

4.2. Sonuçlar

Sürdürülebilir bir gelecek için doğanın korunması, temiz bir çevre için terfi merkezleri enerji verimlilikleri sürekli takip edilmesi gereken, enerji tüketimi yüksek olan tesislerdir. Bu tez çalışması, güneş ve rüzgar gibi çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve tesis verimliliğinin artırılması yolu ile fosil yakıtlarla elde edilen elektrik enerjisi kullanımının azaltılmasına yönelik çevre duyarlılığına katkı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında öncelikle Kağıtane Terfi Merkezi'nde verimlilik artırıcı proje revizyon önerilerinin ekonomik olarak değerlendirilmesi ile uygulanabilir olduğu tespit edilen birleşik revizyon önerisinin 1,6 yıl gibi kısa bir sürede yatırım maliyetini karşılayacağı, Kağıthane Terfi Merkezinde %14,6 (2.198.000 kWh) enerji tasarrufu potansiyeli olduğu tespit edilmiştir.

Kâğıthane terfi merkezi için özgün bir yöntemle 8 ayrı noktadan titreşim, 13 ayrı noktadan sıcaklık ölçümlerinin veri olarak girilmesiyle motopomp verimini tahmin eden özgün paket program elde edilmiştir. Böylece terfi merkezi için enerji verimliliğinin alternatif bir metotla takibine imkân sağlanmıştır. Benzer tesisler için bu tez çalışmasında yapılan uygulamaların gerçekleştirilmesiyle her yıl milyonlarca kWh enerjinin tasarruf edilmesi sağlanabilecektir. Bu tesislerde sıcaklık ve titreşim ölçümlerinin sürekli yapılmasıyla verimlilik sürekli izlenecek ve oluşabilecek motopomp verimsizlikleri sonucunda enerji maliyetlerinin artması önlenecektir.

Bu tez çalışmasında uygulanan, güneş ve rüzgâr türbinlerinin özgün şekilde ortak şaftta birleştirilmesi üzerinden hibrit çalışmasının; 7-20 m/sn rüzgâr hızlarında verimi %2,3-%18,1 arasında artıracağı yapılan HAD/CFD analizleri sonucunda görülmüştür.

Güneş-Rüzgâr Hibrit Santralinin klasik yatay eksenli rüzgâr türbinine göre %36, dikey eksenli rüzgâr türbinine göre %25,5 daha ekonomik olacağı ortaya konmuştur.

Tasarlanan ve kısmen imalatı yapılan Güneş-Rüzgâr Hibrit Santralinin 1 kW'lık çoklu uygulamalarının diğer türbin uygulamaları ile karşılaştırıldığında 60 kW'a kadar yatırım maliyeti ve birim enerji maliyeti açısından avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Güneş-rüzgâr hibrit türbininin imalatı kanat iskeleti rulman ve yatakların yapılması şeklinde kısmi olarak tamamlanabilmiştir. Bununla birlikte stirling motorun imalat projesi dâhil kullanılacak ekipman ve malzemeler tanımlanmıştır. Güneş-Rüzgâr hibrit türbinin tüm avantajları yanında stirling motorun düzenli bakım gerektirmesi dünyada kullanımlarının sınırlı olması gibi üretimini zorlaştıran dezavantajları da bulunmaktadır.

Yüksek enerji tüketimlerine sahip terfi istasyonlarının enerji ihtiyacını destekleyecek güneş ve rüzgâr enerji üretim uygulamaları ile bunların daha verimli enerji üretimini sağlayan hibrit çalışan sistemlerinin uygulanmasıyla su maliyetleri üzerindeki katkı payı yüksek olan enerji maliyetlerinin düşürülmesi sağlanacaktır. Diğer taraftan terfi merkezlerinin büyük oranda fosil yakıtlardan elde edilen enerji kullanımının azaltılması sonucu karbon salınımının düşürülmesi ile çevre kirliliğinin önlenmesini sağlayacaktır. Bununla birlikte petrol ve doğalgaz gibi dışa bağımlı kaynakların kullanımının azaltılmasıyla da ülke ekonomisine önemli katkı sunulacaktır.

KAYNAKLAR

3M Renewable Energy Division. (2012). *Solar Mirror Film 1100 (Technical Data)*. 15.10.2020 tarihinde https://multimedia.3m.com/mws/media/678427O/3m-solar-mirror-film-1100-application-profile.pdf adresinden erişildi.

Abraham, J. P., Mowry, G., Plourde, B. D. & Sparrow, E. M. (2012). Summary Of Savonius Wind Turbine Development And Future Applications For Small-Scale Power Generation. *Journal Of Renewable And Sustainable Energy* (4), 042703-1-21.

Abuelyamen, A. & Mansour, R. B. (2018). Energy Efficiency Comparison Of Stirling Engine Types (α, β, and γ) Using Detailed CFD Modeling. *International Journal of Thermal Sciences* (132), 411-423.

Acar, C. & Kılınçdemir, İ. (2010). 12.04.2019 tarihinde http://www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dcaf51a49_ek.pdf adresinden erişildi.

Afungchui, D., Kamoun, B. & Helali, A. (2014). Vortical structures in the wake of the savonius wind turbine by the discrete vortex method. *Renewable energy,* 69, 174-179.

Akça, A. (2005). *Sazlıdere havzası su kalitesi, atık su uzaklaştırma optimizasyonu ve sulak alan maliyetlerinin değerlendirilmesi*. İstanbul: (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Akerlund, J. & Ottosson, J. (1987). A Datalogger and Remote Control for Hybrid Power Systems. In *INTELEC'87-The Ninth International Telecommunications Energy Conference* (pp. 443-449). IEEE.

Akwa, J. V., Vielmo, H. A. & Petry, A. P. (2012). A review on the performance of Savonius wind turbines. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16 (5), 3054-3064.

Altuntaşoğlu, Z. T. (2011). Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi, Mevcut Durum, Sorunlar. *Mühendis ve Makine Dergisi,* 52 (617), 56-63.

Ancona, D. & McVeigh, J. (2001). Wind turbine-materials and manufacturing fact sheet. *Princeton Energy Resources International*, LLC, 19.

Anicic, O., Petković, D. & Cvetkovic, S. (2016). Evaluation of wind turbine noise by soft computing methodologies: A comparative study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1122-1128. 27.12.2019

Anonim. (2013). Rüzgâr Enerjisi. 12.03.2019 *Enerji Programları/Haberler/Etkinlikler/ Firmalari* 10.07.2020 tarihinde http://yenilenebilirenerjim.blogspot.com/ adresinden erişildi.

Antonutti, R., Peyrard, C., Johanning, L., Incecik, A. & Ingram, I. (2019). The effects of wind-induced inclination on the dynamics of semi-submersible floating wind turbines in the time domain. *Renewable Energy*, 88, 83-94.

Atılgan, M., Deda Altan, B. & Atlıhan, A. B. (2009). Rüzgâr Türbini Uygulamaları. 12.03.2019 *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası*.

Ardakani, F. J., Riahy, G. & Abedi, M. (2010). Design of an optimum hybrid renewable energy system considering reliability indices. In *2010 18th Iranian Conference on Electrical Engineering* (pp. 842-847). IEEE.

Atasever, K. (2016). *U-şekilli Çelik Sönümleyicilerin Histeretik davranışlarının Modellenmesi Ve Düşük Sönümlü Kauçuk mesnetlerle Birlikte Sismik İzolatör Olarak Kullanılması*. (Doktora tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

AWEA. (2006) Ten steps in building a wind farm. *American Wind Energy Association 2006* 18.11.2019 tarihinde https://www.agmrc.org/media/cms/10stwf_fs_8EF50C47B61F5.pdf adresinden erişildi.

Aydin, N. Y., Kentel, E. & Duzgun, H. S. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy Conversion and Management*, 70, 90-106.

Aydın, H. & Ekmekçi, İ. (2002). Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Poliüretan Köpüğün Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri, Üretimi Ve İncelenmesi. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6* (Sayı: 1).

Aydoğan, O. (2013). Pompa Seçimi Ve Santrifuj Pompa Tipleri. *Pompa & Vana*. MAS-Daf Makina Sanayi A.Ş.

Azevedo, H. D., Araújo, A. M. & Bouchonneau, N. (2016). A review of wind turbine bearing condition monitoring: State of the art and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56*, 368-379.

Baker, R. W., Walker, S. N. & Wade, J. E. (1990). Annual and seasonal variations in mean wind speed and wind turbine energy production. *Solar Energy*, 45 (5), 285-289.

Belfkira, Nichita, C., Reghem & Barakat, G. (2008). Modeling and optimal sizing of hybrid renewable energy system. In *2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference* (pp. 1834-1839). IEEE.

Beşergil B. (2006). *Akışkanların Taşınması*. e-makaleleri http://besergil.cbu.edu.tr/6_2_akiskan_iletici_cihazlar.pdf

Beyond Petroleum (BP). (2011). *Statistical Review of World Energy,* June.

Bhandari, B., Poudel, S. Lee, K. T. & Ahn, S. H. (2014). Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: A review on small hydro-solar-wind power generation. *international journal of precision engineering and manufacturing-green technology*.

Billinton & Karki, R. (2001). Maintaining supply reliability of small isolated power systems using renewable energy. *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 148 (6), 530-534.

Bolinger, M. A. (2005). Making European-style community wind power development work in the US. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9 (6), 556-575.

Bonanno, F., Consoli, A., Lombardo, S. & Raciti, A. (1997). A logistical model for performance evaluations of hybrid generation systems. In *1997 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference.* (pp. 177-183). IEEE.

Branlard, E., Mercier, Machefaux, E., Gaunaa, M. & Voutsinas, S. (2016). Impact of a wind turbine on turbulence: Un-freezing turbulence by means of a simple vortex particle approach. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* 151, 37-47.

Bren İleri Teknoloji Enerji A.Ş. (2018). Türbin CFD Analizleri. *BREN*: 27.12.2019 tarihinde http://bren.com.tr/cfd-analizi/ adresinden erişildi.

CFD Analiz. (2018). *CFD* Analiz. 27.12.2019 *ANSYS*: 07.04.2018 tarihinde http://www.cfdanaliz.com/cfdanaliz/cfd-analiz/ adresinden erişildi.

Chong, W. T., Naghavi, M. S., Poh, S. C., Mahlia, T. I. & Pan, K. C. (2011). Techno-economic analysis of a wind–solar hybrid renewable energy system with rainwater collection feature for urban high-rise application. *Applied Energy*, 88, 4067-4077.

Cimo (2019). Rüzgâr Türbinleri (Rüzgâr Türbini fiyatları). *Cimo Güneş ve Rüzgar Enerji Sistemleri,* 21.09.2019 tarihinde http://www.cimo.com.tr/category.php?id_category=52 adresinden erişildi.

Consoli, A., Musumecis, S. & Raciti, A. (1995). Hybrid system long simulation. Caracas, Venezuela : *Proceedings of First International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems.* Page(s): 266 - 270

Çağlayan İ. H.. (2013). *Değişik Tip Pompalarda Titreşim Ölçüm ve Analizi ile Arıza Tanımı.* VibraTek Teknik Bülten 25. https://www.vibratek.com.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA84916B2EFCD0A72C689840E9C

Çatalorman, Y. S. (2015). Helisel Güneş ve Rüzgâr Türbini Tasarımı. Eskişehir: *(Yayınlanmamış (*Doktora tezi) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dekota, (2019). Plastech Pvc Foam (Dekota) Özellikleri. *M&T Plastech.* Retrieved from http://dekota.com.tr/ozellikleri.php.

Diaf, S., Notton, G., Belhamel, M., Haddadi, M. & Louche, A. (2008). Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions. *Applied Energy,* 85 (10), 968-987.

Driss, Z., Triki, W. & Abid, M. S. (2011). Numerical investigation of the Rutland 913 wind turbine airfoils effect on the aerodynamic structure flow. *Science Academy*.

Ekonomik Solar. (2018). 50 Kw On-Grid : Çatı Üstü Elektrik Üretimi. *Ekonomik Solar Güneş Paneli,* 20.07.2020 tarihinde https://www.ekonomiksolar.com/50-kw-on-grid-%C3%A7at%C4%B1-%C3%BCst%C3%BC-elektrik-%C3%BCretimi.html adresinden erişildi.

El-Askary, W. A., Nasef, M. H., Abdel-Hamid, A. A. & Gad, H. E. (2015). Harvesting wind energy for improving performance of Savonius rotor. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* 139, 8-15.

Elhadidy, M. A. & Shaahid, S. M. (2000). Parametric study of hybrid (wind+ solar+ diesel) power generating systems. *Renewable energy,* 21 (2), 129-139.

EMO (2020). Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü. 06 Temmuz 2021 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/aadc0d1acbaf9e2_ek.pdf?tipi=1&turu=X&sube=13 adresinden erişildi.

Energy.Gov (2021). *Solar Energy Technologies Office Solar Energy Technologies Office Updated 2030 Goals for Utility-Scale Photovoltaics*. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy: https://www.energy.gov/eere/solar/solar-energy-technologies-office-updated-2030-goals-utility-scale-photovoltaics

Ercan, A. A. (2014). Elektrik Motorlarının Verimlilik Standartları. *Journal of ETA Maritime Science*, Vol. 2, (No. 1), 31-40.

Eroğlu D. (2016). Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri. 10 Nisan 2019 tarihinde https://silo.tips/download/rzgar-ve-gne-enerjl-g-sstemler adresinden erişildi.

Fraser P. R., (2008). *Stirling Dish System Performance Prediction Model.* (Yüksek Lisans Tezi). University of Wisconsin/Mechanical Engineering Department, Madison.

Foster, R. (2005). Japan Photovoltaıcs Market Overvıew. *New Mexico, U.S.A. : Prepared for Sandia National Laboratories U.S. Department of Energy.*

Gao, F., Xu, D. & Lv, Y. (2008). Pitch-control for large-scale wind turbines based on feed forward fuzzy-PI. In *2008 7th World Congress on Intelligent Control and* Automation (pp. 2277-2282). IEEE..

GENSED. (2022). *TEİAŞ, 2022 Ocak Ayı Kurulu Güç Raporunu Yayınladı*. 19.02.2022 tarihinde https://www.gensed.org/basin/tei%CC%87as-2022-ocak-ayi-kurulu-guc-raporunu-yayinladi adresinden erişildi.

Goh, S. C., Boopathy, S. Krishnaswami, C. & Schlüter, J. U. (2016). Tow testing of Savonius wind turbine above a bluff body complemented by CFD simulation. *Renewable energy,* 87, 332-345.

Göçmen T., .Laan P., Réthoré P.E., Diaz A. P., Larsen. G.C., Ott S. (2016). Wind turbine wake models developed at the technical universityof Denmark: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 60, 752-769.

Görkem, A. (1999). *Elektrik Bölümü Atölye II.* Özkan Matbaacılık. Ankara.

Haque, R. U., Iqbal, M. T. & Quaicoe, J. E. (2006). Sizing, dynamic modeling and power electronics of a hybrid energy system. In *2006 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering* (pp. 1135-1138). IEEE.

Herbert, G. J., Iniyan, S., Sreevalsan, E. & Rajapandian, S. (2007). A review of wind energy technologies. *Renewable and sustainable energy Reviews,* 11 (6), 1117-1145.

İpek N., Yeşil H., Kadıoğlu M., Sıkık K., Sakarya O., Işıklı A. N., Canpolat T., Özdemir M., Toraman Ö., Türkay B. E., (2012). *Enerji Verimliliği Raporu*. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Ankara EMO Yayınları

Jeon, K. S., Jeong, J. I., Pan, J. K. & Ryu, K. W. (2015). Effects of end plates with various shapes and sizes on helical Savonius wind turbines. *Renewable energy,* 79, 167-176.

Karabal, C. (2014). Türkiye'de Enerji Verimliliği: *Enerji ve Tesisat Sektörel Haber ve Tanıtım Portalı.* 12.04.2019 https://www.enerjivetesisat.com/enerji/verimlilik/3613-tuerkyede-enerj-vermll-cokun-karabal-enve-enerj

Karacan İ. (2003). *Hidrolik+ Pnömatik.* Bizim Büro Yayınevi. Karabük.

Khan M. F. and Ali R. L., (2005). Automatic sun tracking system, *Islamabad, Pakistan: presented at the All Pakistan Engineering Conference.*

KPMG. (2019). Enerji. *Sektörel Bakış*. İstanbul, Levent, Türkiye.

Karadağ, İ. H. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisinin önemi ve rüzgâr türbini tasarımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi DSpace Açık Arşivi,* http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/10373

Kaya, E. (2014). *Değişken debili sulama pompaj tesislerinde enerji etkinliğinin belirlenmesi*. (Doktora tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kellogg, W. D., Nehrir, M. H., Venkataramanan, G. & Gerez, V. (1998). Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid wind/PV systems. *IEEE Transactions on energy conversion,* 13 (1), 70-75.

Kulaksız, A.A., (2001) *Güneş Panelinden Sağlanan Elektrik Enerjisinin Güç Elektroniği Sistemleriyle Kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi), Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Laamari, S., Zghal, W. & Kchaou, H. (2015). *Optimization of hybrid system (wind-solar energy) for pumping water.* International Journal of Engineering, Science and Technology, 7 (2), s.-11-26.

Lee, J. H., Lee, Y. T. & Lim, H. C. (2014). Effect of helical angle on the performance of Savonius wind turbine. *power,* 5, 1.

Le Gourieres, D., (1982). *Wind Power Plants Theory and Design*, Pergamon PressLtd., Oxford, England, p.285.

Loch, C. H. & Kavadias, S. (2002). Dynamic portfolio selection of NPD programs using marginal returns. *Management Science,* 48 (10), 1227-1241.

Lopez M., Morales D., Vannier J.C., Sadarnac C.D. (2007) Influence of power converter losses evaluation in the sizing of a HRES. In: *Proceedings of ICCEP-IEEE*; p. 249–54.

Lynch, J. A. (1986). Maximizing hybrid availability through system control. In *INTELEC'86-International Telecommunications Energy Conference* (s. 155-156). IEEE.

Ma, Tao., Yang, H. & Lu, L. (2014). A feasibility study of a stand-alone hybrid solar–wind–battery system for a remote island. *Applied Energy,* 121, 149-158.

Maharashtra Energy Development Agency (2017). Small Wind Energy and Hybrid Systems Programme. 4 Haziran 2018 tarihinde https://www.mahaurja.com/meda/en/off_grid_power/small_wind_solar_hybrid adresinden erişildi.

Marchetti, G. & Piccolo, M. (1991). Mathematical models for the construction of a renewable energy hybrid plant. In *Tenth EC Photovoltaic Solar Energy Conference* (pp. 442-445). Springer, Dordrecht.

Mutlu, Ö. S. & Akpınar, E. (2009). Elektrik Güç Sistemine Bağlı Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinin Bütünleşik Modellenmesi. Diyarbakır: YEKSEM'09. V. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.* 12.04.2019 TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası

Nagabhushana, A. C., Jyoti & Raju, A. B. (2011). Economic analysis and comparison of proposed HRES for stand-alone applications at various places in Karnataka state. In *ISGT2011-India* (pp. 380-385). IEEE.

Nema S, Nema RK, Agnihotri G. (2010). Matlab/Simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification. *Int J Energy Environ;*1: 487-500.

Nikolenko, I. & Shvagrev, P. (2018). Analysıs Of Methods Of Improvıng Energy Efficıency Of Pumpıng Statıons Power Unıts Of Water Supply Systems. *Econtechmod. An Internatıonal Quarterly Journal,* No. 1 (07), 67–77.

Nogaret, E., Stavrakakis, G., Bonin, J. C., Kariniotakis, G., Papadopoulos, M., Hatziargyriou, N. & Dutton, G. (1994). A new expert system based control tool for power systems with large integration of PVs and wind power plants. In *Proceedi*.

Nurbay, N. & Çınar, A. (2005). Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,* 19-21 Ekim 2005-12.04.2019 TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası:

Orchard, B. & Klos, S. (2009). Pumps As Turbines For Water İndustry. *World Pumps,* 2009 (8), 22-23.

Ozgener, O. (2010). Use Of Solar Assisted Geothermal Heat Pump And Small Wind Turbine Systems For Heating Agricultural And Residential Buildings. *Energy,* 35 (1), 262-268.

Özgener, Ö. (2002). Türkiye'de ve Dünya'da Rüzgâr Enerjisi Kullanımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi,* Cilt: 4 Sayı: 3 sh. 159-173

Öztürk, S.ve Duru, T. (2005). Küçük ve Orta Güçlü Rüzgar - Güneş Elektrik Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinin Yenilenebilir Enerji Kullanımına Katkısı ve Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Karma Sistem Örneğ, https://www.emo.org.tr/ekler/afbe998374ca732_ek.pdf

Papa, F., Radulj, D. & Nault, J. (2018). Pump Performance & Energy Efficıency Testıng & Benchmarkıng International. *International WDSA / CCWI 2018 Joint Conference.* Kingston, Ontario, Kanada.

Paudel S, Shrestha JN, Neto FJ, Ferreira JAF. (2011) Optimization of hybrid PV/Wind power system for remote telecom station. In*: Proceedings of ICPS-IEEE*; 2011. p. 1–6.

Pınar, A., Buldur, A. D., Tuncer, T., (2020), Türkiye'deki Rüzgar Enerji Santralleri Dağılışının Coğrafi Perspektifle İncelenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi* 25 (43), 167-182

Pinninti, S., Vejitha, I. & Stephen, M. J. (2019). Design And Modeling Of Vertical Axis Wind Turbine And Solarpv Hybrid Power Generation System. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT),* 8 (11).

Potamianakis, E. G. & Vournas, C. D. (2003). Modeling and simulation of small hybrid power systems. In *2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings,* (Vol. 2, pp. 7-pp). IEEE.

POWERWEB Forecast International's Energy Portal. (2020). *Renewable Energy*. 10.10.2021 tarihinde http://www.fi-powerweb.com/Renewable-Energy.html#TOP adresinden erişildi.

Prabowo, A. R. & Prabowoputra, D. M. (2020). Investigation on Savonius turbine technology as harvesting instrument of non-fossil energy: Technical development and potential implementation. *Theoretical & Applied Mechanics Letters* (10), 262-269.

Prindle B., Eldridge M., Eckhardt M., Frederick A., (2007). *The Twin Pillars of Sustainable Energy: Synergies between Energy Efficiency and Renewable Energy Technology and Policy*. ACEEE Report Number E074. Washington: American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)

Qun, M., Jiayuan, W. & Chao, L. (2017). Energy-Saving Optimization of Water Supply Pumping Station Life Cycle Based on BIM Technology. *1st International Global on Renewable Energy and Development / Earth and Environmental Science 100.* Sanghai-China: IOP Pablishing

Rehman, S. (2021). Hybrid power systems - Sizes, efficiencies, and economics. *Energy Exploration & Exploitation, 39* (1), 3-43.

Salem, W. B., Chaouali, H., Mezghani, D. & Mami, A. (2021). Fuzzy Logic Control Strategy for a Hybrid RES (PV/Lithium Battery) Feeding an off-grid Pumping Station. Internatıonal Journal Of Renewable Energy Research. *İnternational Journal Of Renewable Energy Research* (V.11 - No.1), 462-472.

Sarıgül, A. (2010). *Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği*. İstanbul: (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sarıkurt, T. & Hocaoğlu, M. H. (2011) Güneş Dizilerinde Frekans Cevap Analizi İle Arıza Tespiti. *IV.Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu Bildirileri*, Elektrik Mühendisleri Odası.

Sartre J.T. (2018). *Prime Focus Satellite Antenna reflector calculation*. 12 14, 2019 tarihinde https://www.satellite-calculations.com/Satellite/reflector.htm adresinden erişildi.

Sedaghat, A., Hassanzadeh, A., Jamali, J., Mostafaeipour, A. & Chen, W. H. (2017). Determination of rated wind speed for maximum annual energy production of variable speed wind turbines. *Applied energy,* 205, 781-789.

Seyhan, N. (1994). *Pompaların Çalışmasını Kavrama.* Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları. Ankara.

Sinha, S. & Chandel, S. S. (2013). Pre-feasibility analysis of solar-wind hybrid system potential in a complex hilly terrain. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume: 3* (Special Issue 3: ICERTSD), 277-282.

solaire-chauffe-eau.info. (2008). *Cutting and drilling plans for flat metal segments to make an approximate*. 12 14. 2019 tarihinde http://solaire-chauffe-eau.info/solar-parabola-construction.php adresinden erişildi.

Ssenyimba, S., Kiggundu, N. & Banadda, N. (2020). Designing a solar and wind hybrid system for small-scale irrigation: a case study for Kalangala district in Uganda. *Energy, Sustainability and Society* (10:06), 1-18.

Şimşek, F. & Mergen, F. (2006). 3 Fazlı Asenkron Motorda Sıcaklık Artışı ve Dağılımının Elektriksel Benzeşim ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Hesaplanması. 27.12.2019 Elektrik Mühendisleri Odası: http://www.emo.org.tr/ekler/88f0a1cf6e3fd01_ek.pdf

Tanrıöver M. (2011) *Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.

Taşgetiren, S. (1998). Rüzgâr enerjisi. *ÇEV-KOR,* 8, 25-30.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019). *Elektrik*. 12 14, 2019 tarihinde https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik adresinden erişildi.

T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2019.). İstanbul İli Rüzgâr Kaynak Bilgileri. 12.04.2019 tarihinde http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/ISTANBUL-REPA.pdf adresinden erişildi.

T.C. Enerji ve Sanayi Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2019). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). 12.04.2019 tarihinde http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx adresinden erişildi.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2017). Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü 1 Ocak 2017 İtibari İle. Ankara. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 05.02.2018 tarihinde https://www.enerji.gov.tr/File/?path=https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2FSayi_15.pdf adresinden erişildi.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2006). *Terfi Merkezi Proje Yapım Teknik Şartnamesi* 11.10.2021 tarihinde https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/740/1088/DosyaGaleri/terfi-merkezi-proje-yap%C4%B1m-teknik-%C5%9Fartnamesi_r00_20061110.pdf adresinden erişildi.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2015). Derin Kuyu Pompaların Tanıtılması. 05.06.2019 tarihinde https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/746/1094/DosyaGaleri/pompa-bilgisi-e%C4%9Fitim-program%C4%B1.pdf adresinden erişildi.

Thorne, E. W. & Neal, A. N. (2016). Pump Efficiency Testing By The Thermodynamic Method—an Independent View. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* (214-3), 255-268.

Tian, W., Song, B., VanZwieten, J. & Pyakurel, P. (2015). Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes. *Energies,* 8 (8), 7915-7929.

Tiony, C. K. (2012). An Energy Assessment Of The Water Pumpıng Systems At The Gıgırı Pumpıng Statıon. *Master Of Scıence,* Nairobı: Unıversıty Of Nairobı.

Tunca, Ö. B. (2009*). Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme Ve Sandviç Plakların Patlama Yükü Altındaki titreşim Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TÜREB Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. (2014,). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği İstatistik Raporu Ocak 2014.* Ankara: TÜREB.

TÜREB Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. (2019). *Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu 2019*. Ankara: TÜREB.

Uçar, N. (2011). Sirkülasyon Pompalarının Termal Modellemesi. *Teknik Bülten.* Sayı 31.

Urieli I. & Berchowitz David M. (1984). *Stirling Cycle Engine Analysis*. United Kingdom: CRC Press.

U.S. Department of Energy, Wind Power Today & Tomorrow, (2001). *Energy Efficiency and Renewable Energy* DOE/GO-102001-1325,

Uyar, F. (2019). 500 kW Güneş Enerji Santrali Kurulumu ve Maliyeti. *Enerji Beş, Temiz Enerji Portalı*. 05.04.2020 tarihinde https://www.enerjibes.com/gunes-enerji-santrali-kurulumu-maliyeti/ adresinden erişildi.

Varınca, K. B. & Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi,* (s 272), 275.

White, F.M., (2004) Akışkanlar Mekaniği. K. Kırkköprü ve E. Ayder (Ed.), (s.1034). İstanbul.

WEC Turkey (2009). *Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi*. (World Energy Council Turkish National Committeey/Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi) Ankara: Yayın No:0011/2009. EKC Form Ofset.

WEC (2016). World Energy Council. Energy efficiency policies 2016 A Straight Path Towards Energy Sustainability. *World Energy Perspectives*

WEC Turkey (2021a). World Energy Council Turkey. BP 2021 Dünya Enerji İstatistikleri Raporu Özeti. 05.08.2021 tarihinde Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi: https://www.dunyaenerji.org.tr/bp-2021-dunya-enerji-istatistikleri-raporu-ozeti/ adresinden erişildi.

WEC Turkey (2021b). World Energy Council Turkey. 2021 Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu Özeti. 15.07.2021 tarihinde Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi: https://www.dunyaenerji.org.tr/bp-2021-dunya-enerji-istatistikleri-raporu-ozeti/ adresinden erişildi.

WEC Turkey (2021c). Küresel Enerji Raporu Özeti. World Energy Council Turkey. https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/2021-Kuresel-Enerji-Raporu-Ozeti.pdf adresinden erişildi.

Yaman G., Karadayı H. M. (2014). Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tesbiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* - Sayı 140

Yang, H., Wei, Z. & Chengzhi, L. (2009). Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar–wind power generation system. *Applied Energy,* 86 (2), 163-169.

Yang, J. & Hsiao, H. C. (2007). Design and testing of a separate-type lighting system using solar energy and cold-cathode fluorescent lamps. *Applied energy,* 84 (1), 99-115.

Yeşil Bina (2014). Neden Güneş Enerjisi? *Yeşil Bina Sürdürülebilir Yapı Teknolojileri Dergisi* (24), 62-63

Yetgin, A. G. & Akbilek, N. (2005). Asenkron Motorlarda Stator Oluk Geometrisinin Değişiminin Stator Kaçak Reaktansına Etkisinin Yapay Sinir Ağları Ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi. *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 11.Ulusal Kongresi*. Elektrik Mühendisleri Odası

Yetgin, A. G., Turan, M. & Çanakoğlu, A. İ. (2012). Asenkron Motorun Boyunduruk Ve Diş Boyutlarının Motor Performansına Etkileri. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* (027), 79-88.

Zhang, Z. (2006). Toward an effective implementation of clean development mechanism projects in China. *Energy policy,* 34 (18), 3691-3701.

Zhang, Z. X. (2007). China is moving away the pattern of "develop first and then treat the pollution". *Energy Policy,* 35 (7), 3547-3549.

Zhao, Y. S., Zhan, J., Zhang, Y. A., Wang, D. & Zou, B. G. (2009). The optimal capacity configuration of an independent wind/PV hybrid power supply system based on improved PSO algorithm. *8th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM 2009)*, Hong Kong, China.

Zilanlı, G. A. (2013). *Stirling Çevrimi Kullanan Çanak Tipi Yoğunlaştırıcı Güç Sistemlerinin İncelenmesi ve Model Bir Sistemin Tasarlanması.* Ankara: (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi / Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı, Ankara.

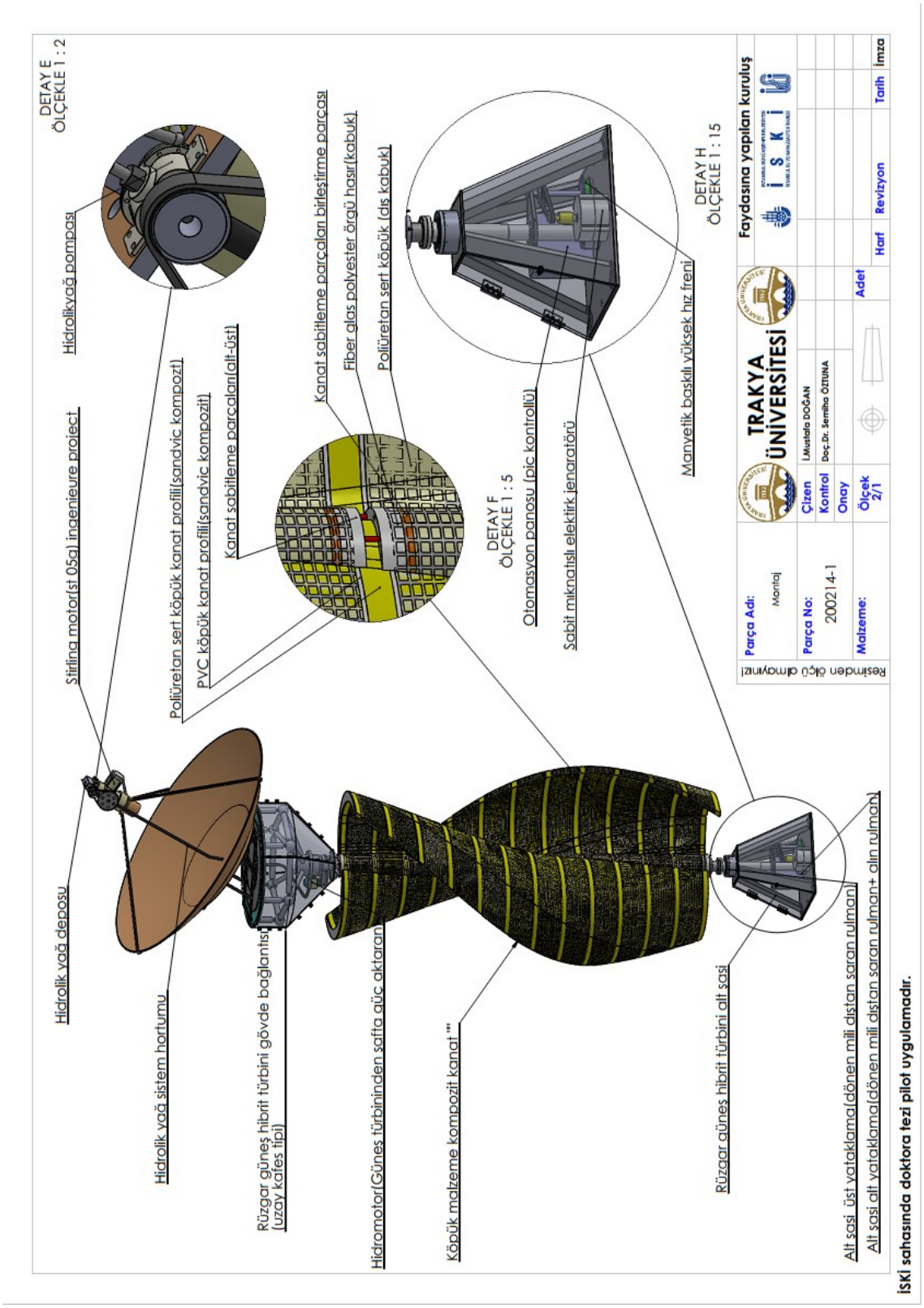
Zor, M. (2018). *MEE 5101* Composite Materials [PDF belgesi]. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Online Ders Notları: 27.12.2019 tarihinde http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.zor/composite%20materials/ders_icerigi_2_-_ylisans.pdf adresinden erişildi.

EKLER

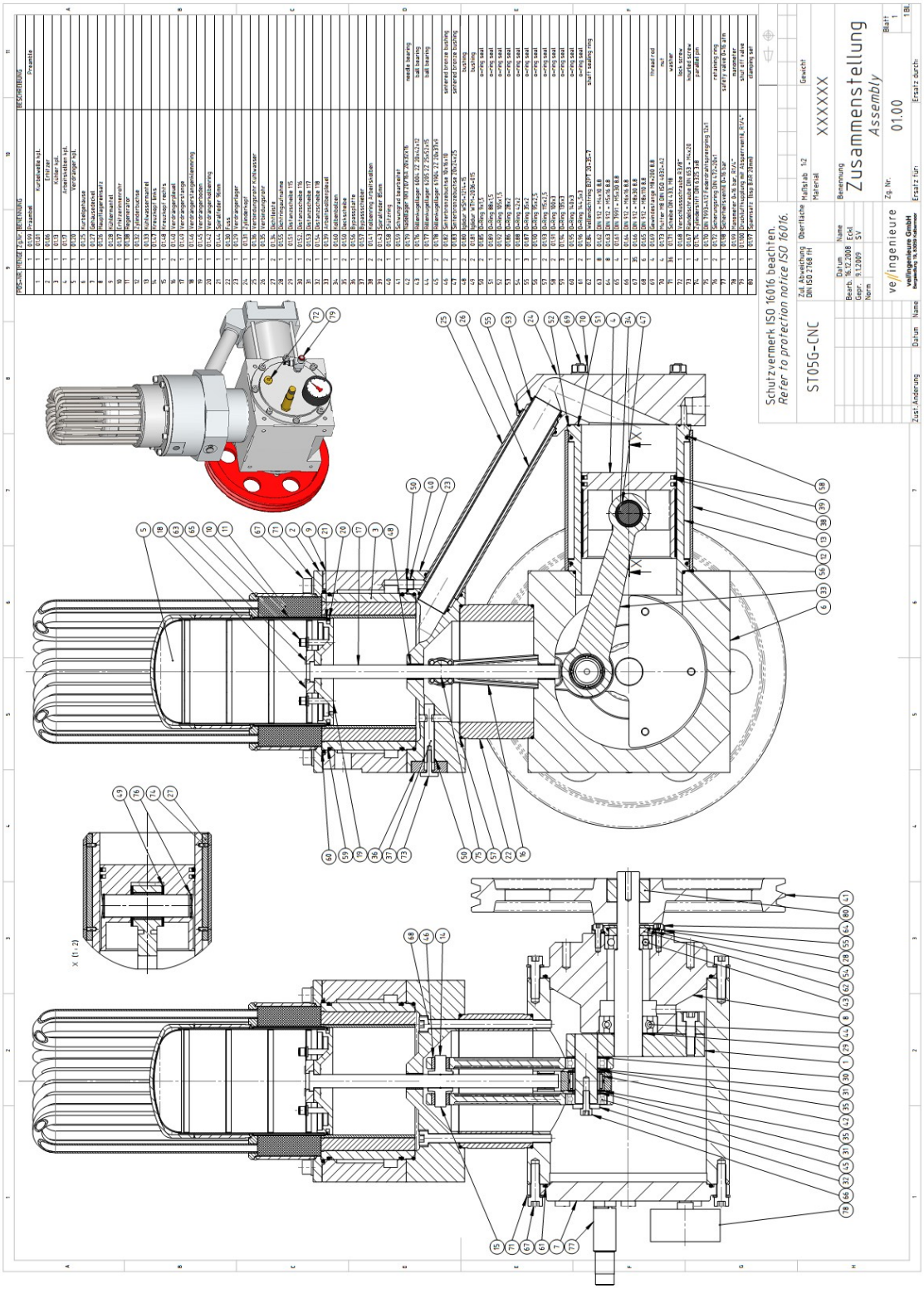
EK-I Rüzgâr Türbini Kısmı Montaj Teknik Resmi

EK-II Güneş Türbini Kısmı Stirling Motor Montaj Teknik Resmi

EK-I Rüzgâr Türbini Kısmı Montaj Teknik Resmi



EK-II Güneş Türbini Kısmı Stirling Motor Montaj Teknik Resmi [ve//ingenieure]



ÖZGEÇMİŞ

İhsan Mustafa DOĞAN, 1982 yılında Kayseri ilinde doğdu. 2005 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2008 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Makine Mühendisliği Anabilimdalında yüksek lisansını tamamladı. İş yaşamında 2005-2008 yılları arasında kalıphane yöneticiliği ve proses mühendisliği görevlerinde bulunduktan sonra 2008 yılından itibaren enerji verimliliği etütleri ve içmesuyu sistemlerinin bakım onarım faaliyetleri ile su kayıplarının kontrolü alanlarında makine mühendisi olarak kamu görevine devam etmektedir.