



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**RAYLI SİSTEMLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ
YENİLİKÇİ ENERJİ MODELLEMESİ, OPTİMİZASYONU
VE ANALİZİ**

**Mine SERTSÖZ
Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mehmet KURBAN**

**Tez İkinci Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet FİDAN**

**BİLECİK, 2018
Ref. No: 10222908**



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**RAYLI SİSTEMLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ
YENİLİKÇİ ENERJİ MODELLEMESİ, OPTİMİZASYONU
VE ANALİZİ**

**Mine SERTSÖZ
Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mehmet KURBAN**

**Tez İkinci Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet FİDAN**

BİLECİK, 2018



BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSITY

**Graduate School of Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

**SOLAR ENERGY SUPPORTED INNOVATIVE ENERGY
MODELING, OPTIMIZATION AND ANALYSIS IN
RAILWAY SYSTEMS**

**Mine SERTSÖZ
Doctoral Thesis**

**Thesis Advisor
Prof. Dr. Mehmet KURBAN**

**Thesis Second Advisor
Asst. Prof. Mehmet Fidan**

BILECIK, 2018

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 09.10.2018 tarih ve 61 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09.11.2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mine Sertsöz 'ün, "Raylı Sistemlerde Güneş Enerjisi Destekli Yenilikçi Enerji Modellemesi, Optimizasyonu ve Analizi" başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Mehmet Kurban

ÜYE: Dr. Öğr. Üyesi Ümmühan Başaran Filik

ÜYE: Dr. Öğr. Üyesi Nazım İmal

ÜYE :Prof. Dr. Ramazan Bayındır

ÜYE :Dr. Öğr. Üyesi Murat Başaran

..... ANABİLİM DALI BAŞKANI:

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
..... tarih ve sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez yazma aşamasını tamamladıktan sonra en keyifli kısım, bana destek olan herkese teşekkür ederek emeklerini hiç unutmayacağımı hatırlatmak sanırım. Hayatımda en zorlandığım ama çok şey öğrendiğim, vatanıma olan borcumu bilim ile ödemeye çalıştığım bu yıllarda bana destek olan;

Başta değerli bilim insanı, danışmanım Prof. Dr. Mehmet Kurban'a;

Bana bu süreçte çok şey öğreten ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fidan'a;

Benim moral depom, varlığına duacı olduğum annem Şükriye Bayrakçı'ya;

Mesleğime olan saygısını gayretiyle ve verdiği moralle her zaman gösteren kıymetli eşim Yekta Sertsöz'e;

Kendimi yanında güçlü ve emin hissettiğim, çınar ağacım ablam Gonca ve eşi Fatih Dut'a;

Daha üniversitedeyken "bence sen akademisyen olmalısın" diyerek evrene mesaj gönderen abim Hüsnü ve eşi Seda Bayrakçı'ya;

Büyük destekçilerim; ailem, değerli kayınvalidem, kayınpederim ve görümcem Gülser-Zafer Sertsöz ve Özlem Aksu'ya;

Hayatımda tanıdığım en donanımlı mühendislerden biri olan amcam Yüksek Mühendis Sami Bayrakçı'ya ve bir akademisyen olarak rol modelim olan dayım Prof. Dr. Nabi Avcı'ya;

Beni doktora sürecine başladığımda bir, bitirdiğimde iki çocuklu bir anne yapan; varlıklarıyla bana zorluk değil anlam katan oğullarım Yuşa Zafer ve Taha Uras'a;

Ve son olarak da benim mühendis olmamı çok isteyen ama bunu görmeye ömrü vefa etmeyen değerli babam Ömer Bayrakçı'ya, Allah bu günleri sana da malum etsin babacım...

Bana kattıklarınız olmasa ben; ben olamazdım...

ÖZET

Ulaşım ve enerji konusu bütün dünyada çok büyük önem taşımaktadır. Özellikle bu iki konunun birleştirilerek yapılan çalışmalar çok değer kazanmıştır. Bu nedenle yapılan bu tez çalışması kapsamında güneş enerjisi destekli raylı sistemler ele alınmış, yenilikçi enerji modellenmesi, optimizasyonu ve analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla üç farklı alanda yenilikçi çalışmalar yapılmıştır.

Bunlardan ilki, raylı sistemlerde kullanılan motorların verimliliğinin doğru belirlenmesidir. Bu amaçla Oto Regresif-1 (AR-1) ile Yapay Sinir Ağları (YSA), Oto Regresif-4 (AR-4) ile Yapay Sinir Ağları ve Artık Model ile Yapay sinir ağları olmak üzere üç adet yenilikçi hibrit yöntemle raylı sistemlerde sıkça kullanılan asenkron motorların enerji verimliliği tahmini yapılmış ve sonuçları paylaşılmıştır.

İkinci olarak, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi ele alınarak 2015-2016 yılları için güneş ışınım verileri Meteorolojiden alınarak Ankara Polatlı garı için tahmini İki Boyutlu Ayrık Kosinüs Dönüşümü, İki Boyutlu Mychelski Algoritması ve bu ikisinin birlikte kullanıldığı bir hibrit yöntemle yapılmıştır. Bu tahminlere göre bir hızlı trenin ihtiyaç duyduğu gücün ne kadarının karşılanabileceği farklı sefer saatleri (Eskişehir-Ankara istikameti; 6:20, 8:15, 13:10 ve 18:00 seferleri) için bulunmuş ve sonuçları paylaşılmıştır.

Üçüncü olarak da farklı hız, yük, rampa ve kurp değerlerine göre iki farklı raylı sistem çeken aracının matematiksel modellerini En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile oluşturmak ve ardından dördüncü olarak bu modeller yardımıyla en verimli (optimum) çalışma noktaları Gradyen, Normalizasyon İle Eğri Çakıştırma ve Parçacık Sürüsü Yöntemleri ile bulunmuş ve sonuçları paylaşılmıştır.

Daha önceki çalışmalarda sadece tek bir konuda ele alınan enerji verimliliği, bu tez çalışmasında dört farklı alanda (çeken araçların matematiksel modellenmesi, çeken araçlarda da kullanılan asenkron motorlarda enerji verimliliği tahmini, temiz bir enerji kaynağı olan güneşin tahmini ve çeken araçlarının gücünün ne kadarını karşılayabileceği ve matematiksel modeller yardımıyla en verimli çalışma noktalarının tespiti) uygulanabilir yenilikçi çözümler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi; Raylı Sistemler; Enerji Verimliliği; Matematiksel Modelleme; Optimizasyon.

ABSTRACT

The importance is given to transport and energy in Turkey in recent years, so these studies which include transport and energy will have double remarkable. In this context, there are many components of the railways but in this thesis, three innovative studies in different areas have been carried out.

The first is to determine the efficiency correctly of motors. For this purpose, the energy efficiency of induction motors, which are frequently used in railway systems, is estimated with three innovative hybrid methods; these are Artificial Neural Networks with Auto Regressive-1, Artificial Neural Networks with Auto Regressive-4, Artificial Neural Networks with Residual, and the estimation results are shared.

Secondly, the estimation of solar energy -a renewable energy source- was made for 2015-2016 years information's which get from meteorology by Two-Dimensional Discrete Cosine Transform, Two-Dimensional Mychelski Algorithm and a hybrid method of combination of these two. According to these estimations, know how amount of power can be met for a fast train for different voyages Eskişehir-Ankara direction; 6:20, 8:15, 13:10 ve 18:00 voyages) and the results are shared.

Thirdly, the mathematical models of two different types of railway traction vehicles based on different speed, load, ramp and curve values are created by least squares (LSM) method and then the most efficient (optimum) working points are obtained by Gradient, Curve Superposition with using Normalization and Particle Swarm Methods and their results are shared.

The energy efficiency in the railway systems, which is generally considered in only one single point, is based on four different areas (mathematical modeling of railway traction vehicles, estimation of energy efficiency of induction motors used in railway traction vehicles, prediction of the solar power which is a clean energy source and the help of created mathematical models detection of the most efficiency working points are found) in this thesis. These findings offer applicable and sustainable solutions.

Key Words

Railway Systems; Energy Efficiency; Mathematical Modeling; Optimization; Solar Energy; Forecasting and Estimation Methods.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER DİZİNİ	X
KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2. 1. Asenkron Motorlarda Enerji Verimliliği Literatür Taraması	3
2. 2. Güneş Işıması Tahmini ile İlgili Literatür Taraması	5
2. 3. Güneş Enerjisi Kullanan Raylı Sistemler ile İlgili Literatür Taraması	7
2. 4. Raylı Sistemlerdeki Optimizasyon ve Enerji Verimliliği ile İlgili Literatür Taraması	9
3. MATERYAL ve YÖNTEMLER	12
3.1. Asenkron Motorlar	12
3.1.1. Asenkron motorlarda enerji verimliliği	13
3.1.2. Asenkron motorlarda enerji verimliliği tespiti.....	13
3.2. Güneş Işınımı.....	15
3.3. Raylı Sistemler	17
3.3.1. Lokomotifler	17
4. BULGULAR	21
4. 1. Asenkron Motorlarda Yenilikçi Enerji Verimliliği Tahmin Yöntemleri.....	21
4. 1. 1. AR1 modeli	22
4. 1. 2. AR4 modeli	23
4. 1. 3. Artık model	24
4. 1. 4. Yapay sinir ağlarının yapısı	25
4. 1. 5. Hibrit modeller.....	27
4. 2. Güneş Işıması Yenilikçi Tahmin Yöntemleri.....	35
4. 2. 1. İki boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü.....	35
4. 2. 2. İki boyutlu mycielski algoritması	40
4. 2. 3. Önerilen deterministik-stokastik hibrit model.....	44
4. 3. Güneş Enerjisinden Faydalanan Raylı Sistem Modellemesi.....	48
4. 3. 1. Şebeke bağlantılı bir PV sistem ile YHT güç ihtiyacının karşılanması...49	
4. 3. 2. Şebeke bağlantısız bir PV sistem ile sefer bazında YHT güç ihtiyacının karşılanması	50
4. 4. Lokomotifin En Verimli Çalışma Noktasının Bulunması İçin Önerilen Optimizasyon Yöntemleri.....	62
4. 4. 1. En küçük kareler yöntemi ve bu yöntem aracılığı ile raylı sistem araçlarının matematiksel modelleri	62
4. 4. 2. Gradyan optimizasyon yöntemi ve bu yöntem aracılığı ile raylı sistem aracının optimizasyonu	65
4. 4. 3. Normalizasyon yöntemi ve bu yöntem aracılığı ile raylı sistem aracının optimizasyonu	67
4. 4. 4. Parçacık sürüsü (particle swarm) optimizasyon yöntemi ve bu yöntem aracılığı ile raylı sistem aracının optimizasyonu.....	70

5. TARTIŞMA	74
5.1. Asenkron Motorlarda Yenilikçi Enerji Verimliliği Tahmin Yöntemleri İle Yapılan Çalışmanın Tartışması	74
5.2. Güneş Işınması Yenilikçi Tahmin Yöntemleri İle Yapılan Çalışmanın Tartışması	76
5.3. Güneş Enerjisinden Faydalanan Raylı Sistem Modellemesi İle Yapılan Çalışmanın Tartışması... ..	77
5.4. Lokomotifin En Verimli Çalışma Noktasının Bulunması İçin Önerilen Optimizasyon Yöntemleri İle Yapılan Çalışmanın Tartışması.....	79
6. SONUÇ	83
KAYNAKLAR	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1: Çeşitli Parametrelerin Kendileri ve Terslerinin Verimlilik Korelasyonlar...	22
Çizelge 4.2: Yapay Sinir Ağları Eğitim Parametreleri.....	26
Çizelge 4.3: AR1-YSA Hibrit Tahmin Hata Sonuçları.....	27
Çizelge 4.4: AR1 ve AR1-YSA Verimlilik Tahmin Hataları.....	28
Çizelge 4.5: AR4-YSA Hibrit Tahmini Hata Sonuçları.....	30
Çizelge 4.6: AR4 ve AR4-Hibrit Verimlilik Hata Tahmini Kıyaslaması.....	31
Çizelge 4.7: Artık -YSA Hibrit Tahmin Hata Sonuçları.....	32
Çizelge 4.8: Artık ve Artık-YSA Hibrit Verimlilik Hata Tahmini Kıyaslaması.....	33
Çizelge 4.9: AR1, AR4 ve Artık Hibrit Verimlilik Tahminlerinin Hata Karşılaştırması..	35
Çizelge 4.10: Ölçme ve Tahmin Verilerinin İstatistiksel Özellikleri.....	46
Çizelge 4.11: Önerilen Modellerin Karşılaştırması.....	48
Çizelge 4.12: Güneş Enerjisi ile YHT'nin Senelik Gücünü Karşılama Oranları.....	50
Çizelge 4.13: DE 24000 Dizel Elektrikli Lokomotifinin Teknik Bilgisi.....	64
Çizelge 4.14: Konya Konvansiyonel Hat Bilgisi	68
Çizelge 4.15: YHT 65000 Hızlı Treninin Teknik Bilgisi	72
Çizelge 4.16: YHT 65000 Hızlı Treninin En Fazla ve En Az Güç Tüketimi	73
Çizelge 5.1: Önerilen Modellerin Performans Karşılaştırması.....	76
Çizelge 5.2: Güneş Enerjisi ile YHT'nin Senelik Gücünü Karşılama Oranları.....	77
Çizelge 5.3: Aylara Göre Tahmin Metotlarının Hata Oranları.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Asenkron Motorun Stator ve Rotor Gösterimi.....	13
Şekil 3.2: Güneş Işınımı Şekilleri	16
Şekil 3.3: E43000 Elektrikli Lokomotifi Görünüşü	18
Şekil 3.4: DE24000 Dizel Elektrikli Lokomotifi Görünüşü	19
Şekil 3.5: YHT 65000 Yüksek Hızlı Tren Görünüşü	20
Şekil 4.1: AR1-YSA Blok Diyagramı.....	28
Şekil 4.2: AR1 ve AR1-YSA Modellerinin Tüm Motorlar İçin Tahminleri.....	29
Şekil 4.3: AR1 ve AR1-YSA Modellerinin Tüm Motorlar İçin Tahmin Hataları.....	29
Şekil 4.4: AR4-YSA Blok Diyagramı.....	30
Şekil 4.5: AR4 ve AR4-YSA Modellerinin Tüm Motorlar İçin Tahminleri.....	31
Şekil 4.6: AR4 ve AR4-YSA Modellerinin Tüm Motorlar İçin Tahmin Hataları.....	32
Şekil 4.7: Artık-YSA Blok Diyagramı.....	33
Şekil 4.8: Artık ve Artık-YSA Hibrit Modellerinin Tüm Motorlar İçin Tahminleri.....	34
Şekil 4.9: Artık ve Artık-YSA Modellerinin Tüm Motorlar İçin Tahmin Hataları.....	34
Şekil 4.10: Ankara için 2015 ve 2016 yılına ait Güneş Işınımı.....	37
Şekil 4.11: Güneş Işınımı için 2D-AKD Modeli.....	37
Şekil 4.12: Seviye-1 2D-AKD modelinin MAPE değeri.....	38
Şekil 4.13: Seviye-1 and Seviye-2 2D-AKD Modeli için $y[k_1, k_2]$ Katsayıları.....	39
Şekil 4.14: Seviye-1 ve Seviye-2 2D-AKD Modellerinin Tahminleri.....	40
Şekil 4.15: 2B-Mycielski Algoritmasının Genişletme Rutini.....	41
Şekil 4.16: 2B-Mycielski Algoritmasının Sonsuz Tarihi.....	42
Şekil 4.17: 2B-Mycielski Algoritmasının Manhattan Metrik Tabanlı Tarama Rutini.....	43
Şekil 4.18: Önerilen Deterministik-Stokastik Hibrit Modelin Yapısı	44
Şekil 4.19: Seviye-1 2B-AKD, Seviye-2 2B-AKD ve 2B-AKD-Mycielski'nin tahmin hataları.....	45
Şekil 4.20: Ankara için 2B-AKD-Mycielski Hibrit Modelinin Tahmin Edilmesi (2016).....	45
Şekil 4.21: 2B-AKD-Mycielski Modeli Tahmini ve Ankara için Kesin Ölçümler (2016).....	46
Şekil 4.22: Şebeke Bağlantılı PV Sistem.....	49

Şekil 4.23: Yük Bağlantılı PV Sistem.....	50
Şekil 4.24: 2015 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 06:20 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	52
Şekil 4.25: 2015 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 08:15 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	52
Şekil 4.26: 2015 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 13:10 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	53
Şekil 4.27: 2015 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 18:00 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	53
Şekil 4.28: Seviye-1 AKD Güneş Işınım Verileri ile 06:20 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	54
Şekil 4.29: Seviye-1 AKD Güneş Işınım Verileri ile 08:15 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	54
Şekil 4.30: Seviye-1 AKD Güneş Işınım Verileri ile 13:10 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	55
Şekil 4.31: Seviye-1 AKD Güneş Işınım Verileri ile 18:00 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	55
Şekil 4.32: Seviye-2 AKD Güneş Işınım Verileri ile 06:20 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	56
Şekil 4.33: Seviye-2 AKD Güneş Işınım Verileri ile 08:15 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	56
Şekil 4.34: Seviye-2 AKD Güneş Işınım Verileri ile 13:10 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	57
Şekil 4.35: Seviye-2 AKD Güneş Işınım Verileri ile 18:00 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	57
Şekil 4.36: 2016 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 06:20 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	58
Şekil 4.37: 2016 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 08:15 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	58
Şekil 4.38: 2016 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 13:10 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	59
Şekil 4.39: 2016 Orijinal Güneş Işınım Verileri ile 18:00 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	59

Şekil 4.40: Hibrit Güneş Işınım Verileri ile 06:20 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	60
Şekil 4.41: Hibrit Güneş Işınım Verileri ile 08:15 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	60
Şekil 4.42: Hibrit Güneş Işınım Verileri ile 13:10 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	61
Şekil 4.43: Hibrit Güneş Işınım Verileri ile 18:00 Seferinin Güç Tüketiminin Karşılanması (%).....	61
Şekil 4.44: Güç-Yük-Hız Değişim Grafiği.....	68
Şekil 4.45: DE 24000'in Hız-Yük Diyagramı	69
Şekil 4.46: DE 24000'in Optimum Hız ve Yük Değerleri.....	69
Şekil 4.47: Swarm Optimizasyonun Çalışma Prensibi.....	71

SİMGELER DİZİNİ

W	: Watt
AC	: Alternatif Akım
f	: Frekans
α_{AR1}	: Oto Regresif-1 Model Katsayısı
P^{-1}	: Tam Yük Ters
M^{-1}	: Tam Yük Momentin Ters
S^{-1}	: Tam Yük Hızın Ters
Eff	: Verimlilik
α_{AR4}	: Oto Regresif-4 Model Katsayısı
ϵ	: Hata
α_{RES}	: Artık Model Katsayısı
o	: Transfer İşlevinin Çıktıları
i	: Transfer İşlevinin Girdileri
U_n	: Güncelleme Fonksiyonu
J	: Jacobian Matrisi
δ_{k1}	: Kronecker Delta Simgesi
I	: Güneş Işınımı
d	: Gün Değişkeni
h	: Saat Değişkeni
d_P	: Minkowski mesafesi
T	: Sıcaklık (C°)

KISALTMALAR DİZİNİ

YSA	: Yapay Sinir Ağları
AR-1	: Oto Regresif-1
AR-4	: Oto Regresif-4
2B	: İki Boyutlu
EKK	: En Küçük Kareler
Ws	: Stator Kaybı
Wr	: Rotor Kaybı
Wcore	: Çekirdek Kaybı
Wfw	: Sürtünme ve Ventilasyon Kaybı
Wll	: Kayıp Yük Kaybı
GA	: Genetik Algoritma
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcı
SOM	: Kendini Yöneten Haritalar
SVR	: Destek Vektör Regresyonu
ML	: Makina Öğrenmesi
SVR	: Destek Vektör Regresyonu
GBR	: Gradyan Arttırmış Regresyon
RFR	: Rastgele Orman Regresyonu
ECMW	: Orta Menzil Hava Tahminleri
GSRHS	: Yatay Yüzeyde Küresel Güneş Radyasyonu
PV	: Foto Voltaik
TER-SCNF	: Taşıma ekspresi Fransız Demir Yolları
LHB	: Linke Hofmann Busch
CBTC	: İletişim Tabanlı Tren Kontrol Sistemi
ATO	: Otomatik Tren Operasyonu
HVAC	: Isıtma, Soğutma, Havalandırma, İklimlendirme
G.F.	: Güç Faktörü
AKD	: Ayrık Kosinüs Dönüşümü
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hatası

1. GİRİŞ

Bu tez çalışması, son yıllarda sadece Türkiye'nin değil dünyanın raylı sistem taşımacılığına ve enerjiye olan ihtiyacını en verimli şekilde karşılamak amaçlı; raylı sistemlerde motor olarak kullanılan asenkron motorun verimlilik tespiti, raylı sistemlerde alternatif ve temiz enerji kaynağı olarak kullanılabilir olan güneş ışınımı tahmini ve bu enerjinin kullanımı ve raylı sistem araçlarına ait matematiksel modeller oluşturularak optimum çalışma noktasını bulma kapsamında çözümler sunmaktadır. Bu üç konuda raylı sistemlerin verimli kullanılması ile yakından ilişkilidir.

Bu çalışmalardan ilki olan asenkron motorların enerji verimliliği tahmininde, yöntem olarak üç farklı yöntemden faydalanılmıştır. Bunlar, Oto Regresif-1 (AR-1) ile Yapay Sinir Ağları (YSA), Oto Regresif-4 (AR-4) ile Yapay Sinir Ağları ve Artık Model ile Yapay sinir ağları olmak üzere üç adet yenilikçi hibrit yöntemdir. Bu yöntemler hibritleştirilmeden önce ve hibritleştirilerek kullanılmış, sonuçlar paylaşılmıştır. Çalışmanın amacı, motorları devre dışı bırakmadan bilgisayar ortamında verimlilik tahminlerini en doğru şekilde yapabilmektir. Böylelikle hem vakitten hem de motorun çalışmasına ara verilmediğinden enerjiden tasarruf edilmesi planlanmıştır. Kapsam olarak da tüm asenkron motorlarda uygulanabilir yenilikçi yöntemler olmasıdır.

İkinci olarak, bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş ışınımının tahmini yapılmıştır. Tahminler Meteorolojiden alınan Ankara bölgesindeki 2015-2016 yıllarına ait ışınım bilgilerinden faydalanılarak bulunmuştur. Bu tahminler yapılırken yöntem olarak İki Boyutlu Ayrık Kosinüs Dönüşümü, İki Boyutlu Mycielski Algoritması ve bu ikisinin birlikte kullanıldığı yenilikçi bir hibrit yapı kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, hem güneş enerjisinin ışınımını en doğru şekilde tahmin ederek gelecek planlamasında kullanabilmek hem de bir hızlı trenin günün farklı sefer saatleri için ihtiyaç duyduğu gücün ne kadarının güneşten karşılanabileceğini öngerebilmektir.

Üçüncü olarak da farklı hız, yük, rampa ve kurp değerlerine göre iki farklı raylı sistem çeken aracının matematiksel modelleri En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile oluşturulmuş ve ardından da son olarak bu modeller yardımıyla en verimli (optimum) çalışma noktalarını Gradyen, Normalizasyon İle Eğri Çakıştırma ve Parçacık Sürüsü Yöntemleri ile bulunmuştur. Çalışmanın amacı, hem çeken araçları modelleyerek farklı hız, yük, rampa ve kurp değerleri için güç tüketimlerini bulabilmek hem de verimliliğe katkı sağlamak için optimum çalışma noktalarını farklı parametrelere göre bulabilmektir.

Kapsam olarak ise her bir çeken aracın modelinin kendine ait olduğu ve dolayısıyla da optimum çalışma noktalarının da buna göre farklılık göstereceğidir.

Daha önceki çalışmalarda sadece tek bir konuda ele alınan enerji verimliliği ve Türkiye’de hakkında çok az çalışma olan raylı sistemlerde enerji verimliliği, bu tezde üç farklı alanda uygulanabilir ve sürdürülebilir çözümler sunmuştur. Amaç dünya ve ülke ekonomisine, çevre kirliliğine ve teknolojiye katkıda bulunabilmektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Asenkron Motorlarda Enerji Verimliliği Literatür Taraması

Literatürde asenkron motorların yerinde enerji tahmini için birçok yöntem vardır. Bunlar şu şekildedir:

- **Kayma yöntemi:** Kayma yöntemi, motor hızının ölçülmesine dayanır (Kueck, vd., 1996; Ontario Hydro Report, 1990; Lu, vd., 2008; Charette, vd., 2000; Phumiphak, vd., 2002; Aspalli, vd., 2008; Siraki, vd., 2012; Lu, vd., 2007). En temel avantajı basitliktir.
 - Standart Kayma Yöntemi
 - Ontario Hydro Modifiye Edilmiş Kayma Yöntemi
 - Daha Üst Sınır Kayma Yöntemi
- **Akım yöntemi:** Kayma yöntemlerine benzer şekilde, akım yöntemleri minimum ölçümleri ve üreticinin bilgilerini kullanarak verimliliği tahmin eder (Kueck, vd., 1996; Ontario Hydro Report, 1990; Lu, vd., 2008; Charette, vd., 2000; Phumiphak, vd., 2002). En temel avantajı basitliğidir.
 - Standart Akım Yöntemi
- **Devre denklem yöntemi:** (Kueck, vd., 1996) Bir asenkron motorun verimliliği elektrik devre denkleminde hesaplanabilir. Bu yöntemler, ölçümlerin yapıldığı koşullar dışındaki yük koşullarında çalışan bir motor için bir verimlilik tahmini sağlayabilir.
 - Standart Devre-Denklem Yöntemi (IEEE Std-112 Yöntemi F/F1)
 - Ontario Hydro Modifiye Edilmiş Yöntem F (OHMF)
 - Plaka Devre-Denklem Nameplate (ORMEL96) Yöntemi
 - Rockwell Motor-Verimlilik Wizard (RMEW) Yöntemi
 - Kilitli Rotor Yöntemi
 - Durdurma Frekansı Cevap Yöntemi
- **Kayıpları ayırma yöntemi:** (Ontario Hydro Report, 1990) Bu yöntemler her bir kayıp komponenti kolaylıkla tahmin etmesi sebebiyle tercih edilen yöntemlerdir. (Stator kaybı (W_s), Rotor Kaybı (W_r), Çekirdek Kaybı (W_{core}), Rüzgar ve Sürtünme Kaybı (W_{fw}) ve Kaçak Yük Kaybı (W_{ll})). Bu yöntemler genellikle bazıları çok kompleks ve

zor olmasına rağmen bazıları da kayıpların bir kısmını tahmin etmek için ampirik değerlere güvendiğinden oldukça kesindir.

- Standart Kayıp Ayırma Yöntemi (IEEE Std-112 Method E1)
- Ontario Hidro Modifiye Yöntemi E (OHME)
- **Tork yöntemi:** (Lu, vd., 2008)
 - AGT Yöntemi
 - Şaft Tork Yöntemi
- **Plaka değeri yöntemi:** En kullanışsız verimlilik değerlendirmesi yöntemi motor plaka değerlerinden motor bilgisini elde etmektir (Kueck, vd., 1996; Ontario Hydro Report, 1990; Lu, vd., 2008).
 - Standart Plaka Yöntemi
 - Volgelsang ve Beanning (V&B) Yöntemi I, II
- **Optimizasyon temelli yöntemler:** (Charette, vd., 2000; Phumiphak, vd., 2008; Aspalli, vd., 2008; Siraki, vd., 2012; Lu, vd., 2007; Phumiphak, vd., 2002; Pillay, vd., 1998; Phumiphak, vd., 2004; Gomez, vd., 2008; Cunkas, vd., 2010; Sakthivel, vd., 2010; Hughes, vd., 2006);

Gerçek endüstriyel koşullardaki verimlilik tahmini için optimizasyona dayalı yöntemler bir başka alternatiftir (Sertsoz, vd., 2018,d). Bu yöntemlerde, makinenin verimliliği, optimizasyon tabanlı bir arama algoritması (genetik algoritma, bakteriyel besleme algoritması ve çok nesneli optimizasyon gibi) yardımı ile makinenin eşdeğer devresinin parametrelerinin tahmini temel alınarak hesaplanır.

Bir literatür taramasına dayanarak, bazıları dengeli kaynak koşullarında verimlilik tahmini için optimizasyona dayalı teknikleri sunar. Bazılarında dengesiz besleme koşullarında verimlilik tahmini problemi ile uğraşmak için eşdeğer devre yöntemi GA ile birleştirilir.

Özetlenecek olursa motor akım yöntemi ve kayma yöntemi kolay fakat güvenilirliği nispeten az yöntemlerdir. Tork ölçüm yöntemleri, hava boşluk torku yöntemleri ve kayıpların ayrılması yöntemleri daha kesin sonuç verir ancak pratik ve alanda kullanıma uygun değildir. Devre denklem yöntemleri işletmede çalışır haldeki

motorların çıkarılması mümkün olmadığında kullanışlıdır. Devre denklem yöntemi ile her hangi bir yükteki asenkron motorun performansı devre denklemindeki stator sargısı, rotor sargısının yanı sıra çekirdek kaybı dirençleri ve stator, rotor kaçak ve manyetik reaktanslarından oluşan altı devre parametresi ile belirlenir.

2.2. Güneş Işınımı Tahmini ile İlgili Literatür Taraması

Bazı çalışmalarda, güneş ışınımı tahmin edilemeyen harmoniklerinden dolayı bir stokastik süreç gibi sınıflandırılır. Ancak bazı deterministik modellerde literatürde mevcuttur. Yapay sinir ağları (YSA), güneş tahmin literatüründe geniş bir yeri olan seçenektir (Yadav, vd., 2014; Kalogirou, vd., 2001). YSA teknikleri güneş tahmininde lineer, lineer olmayan ve fuzzy yaklaşımlara göre daha doğru sonuç vermektedir (Yadav, vd., 2014). Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP)'ye dayalı YSA modeli geliştirilerek iki yıllık ön işlemden geçirilmiş zaman serisi bilgisine uygulanmış ve 24 saat sonraki güneş ışınım verisini tahmini yapılmıştır (Voyant, vd., 2014). Başka bir çalışmada 50 Wp Si-polikristal bir fotovoltaikin (PV) güç üretiminin profile YSA Yöntemi ile tahmin edilmiştir (Mellit, vd., 2013). Güneş ışınımı, hava sıcaklığı, gerilim ve akım bilgileri eğitim ve modelin geçerliliğini sınamak için kullanılmıştır. Meteorolojinin ikinci kuşak resimlerinden faydalanılarak tahmin yolu seçilen çalışmalar mevcuttur (Quesada-Ruiz, vd., 2015). k-ortalamlar kümesi ile YSA'nin birleştirilmesine dayalı bir model çalışması da geliştirilmiştir (Benmouiza, vd., 2013).

Bir boyutlu Mycielski and Markov hibrit model kullanılarak geliştirilen çalışmada tek başına kullanılan bir boyutlu Mycielski'den daha iyi yanıt verdiği ortaya çıkmıştır (Hocaoglu, vd., 2017).

Yine bir hibrit çalışma olan eksponansiyel üstel düzleştirme uzayı (ESSS) ile YSA kombinasyonu kullanılarak güneş ışınım tahmin edilemeye çalışılmıştır (Dong, vd., 2013) Aynı yazarlar Kendini Yöneten Haritalar (SOM), Destek Vektör Regresyonu (SVR) ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu kullanarak oluşturdukları kombinasyonla hibrit bir model geliştirerek saatlik güneş ışınım verisini tahmin etmişlerdir (Dong, vd., 2015). Ayrıca Al Ain şehri için YSA tek başına küresel güneş ışınım tahmini için yöntem olarak kullanılmıştır (Al-Shamisi, vd., 2013).

Güneş ve onun farklı coğrafi koordinatlardaki (enlem ve boylam) davranışlarını incelemek için uydu görüntüleri, güneş radyasyonu verileri ve çeşitli diğer atmosferik verileri ve güneş ışınımı haritaları oluşturabilmek için hava uydu verilerinin

kombinasyonunu kullanan bir güneş ışınımı kestirim yöntemi de literatürde yerini almıştır (Polo, vd., 2016).

Yine hibrit bir çalışma olan makina öğrenmesini (ML), destek vektör regresyonu (SVR), gradyan arttırılmış regresyon (GBR) ve rastgele orman regresyonu (RFR) ile kombinleyerek Orta Menzil Hava Tahminleri (ECMWF) modeli için state of the art Avrupa Merkezi tarafından sağlanan ilk ışınım tahminleri elde edilmeye çalışmıştır (Gala, vd., 2016). Bu alanda başka bir örnek de makina öğrenme algoritması saatlik güneş ışınımını tahmin etmek için kullanılmıştır (Khosravi, vd., 2018). TB-K ortalamaları algoritmasına dayalı yenilikçi bir kümeleme modeli bir tahmin modeli olarak kullanılmıştır (Azimi, vd., 2016). Yazarlar çalışmalarında iki farklı aşamada çalışan ve her bir fazda farklı veri madenciliği tekniklerini uygulayan saatlik küresel güneş ışınımını tahmin etmek ve modellemek için yeni bir sistem önermiştir (Jiménez-Pérez, vd., 2016). Doğrusal tahmin filtresi ve açıklık indeksine dayalı karar vericiyi içeren yeni bir ayarlanabilir yaklaşım olan bir model önerilmiştir (Akarşlan, vd., 2016). Ayrıca aynı yazarlar, geçmişin güneş ışınması değerini istenilen saatlerde tahmin etmek için geçmiş kayıtlarını dikkate alan yeni bir kısa vadeli tahmin metodolojisi geliştirdiler (Akarşlan, vd., 2017). Bu model aslında bir sonraki saatin güneş ışınımı verilerini tahmin etmek için, tarihte ona benzeyen bir gün aranmasına dayalıdır.

Malezya'da bulunan bir bölge için bir RFs-FFA hibrit modelini oluşturarak saatlik küresel ışınımın tahmini için kullanılmıştır (İbrahim, vd., 2017).

Toprak seviyesinde saatlik yayılan güneş ışınımı tahmin etmek için sekiz yeni model önerilmektedir (Paulescu, vd., 2016). Modeller, geleneksel kestirimci açıklık indeksi ve diğer çeşitli astronomik ve meteorolojik tahmin ediciler temelinde dağınık fraksiyonu tahmin etmektedir.

Yatay yüzeyler üzerinde ortalama saatlik küresel güneş radyasyonunu tahmin etmek için Yatay Yüzeyde Küresel Güneş Radyasyonu (GSRHS) geliştirildi (Pandey, vd., 2012). GSRHS'nin tahminleri güneş ışınımının kesin ölçümleri ile güçlü bir korelasyona sahiptir. Başka bir çalışmada ise Türkiye'de Osmaniye'nin verilerine de küresel bir güneş radyasyonu modeli uygulandı (Yaniktepe, vd., 2017).

Saatlik güneş ışınması verileri; saat ve gün fonksiyonu olarak iki boyutlu ayrı sinyal olarak alınmaktadır. Bu iki boyutlu sinyal, deterministik ve stokastik süreçlerin bir toplamı olarak düşünülmektedir. Bu iki boyutlu sinyalin deterministik bileşeni, sinyalin

simetrisi ve sinyalin kosinüs benzeri davranışı nedeniyle iki boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü ile modellenmiştir (Jain, vd., 1989; Pennebaker, vd., 1993). Stokastik bileşen ise iki boyutlu modellerin rastgele tekrarlarını araştırmaya dayanan iki boyutlu Mycielski algoritması ile modellenmiştir (Hocaoğlu, vd., 2009; Fidan, vd., 2016).

2.3. Güneş Enerjisi Kullanan Raylı Sistemler ile İlgili Literatür Taraması

PV modülleri ilk olarak 1989'da İsviçre karayolları gürültü bariyeri boyunca kuruldu, çünkü Avrupa'da bu yıllarda bu tarz uygulamalar hareket kazanmaktaydı (pvresources, 2016). Örneğin, İsviçre'deki güneş teleferiği tüketimden 4 kat daha fazla güneş enerjisi üretmektedir (myswitzerland, 2016). Antwerp, Belçika yakınlarındaki bir demiryolu tünelinin üzerinde 3,3 GWh/yıl güneş enerjili santral kurulmuştur (Reuters, 2016); çok güneşli iklim olmamasına rağmen (900 saat / yıl), yatırımların geri dönüşünün 9 yıl içinde gerçekleşmesi beklenmektedir. Hindistan'da, havalandırmada kullanılan elektrik tüketimi için demiryolu araçlarının üzerine güneş pilleri monte edildi. Macaristan'da 9,9 m² güneş panelleri ile dar ölçülü turist raybüsü Vili işletilmektedir (Joo, vd., 2013). Demiryolları trafik güvenliği sistemlerine güç vermek için İsviçre'de PV piller kullanılmaktadır (demiryollarının %100'ü elektrikli). Güneş pilleri birçok ülkede hava alanlarında da bulunmaktadır ve bunların otoyol yüzeyine entegrasyonu ile ilgili birçok proje başlatılmıştır. Eğer tam arazi şeridi PV modülleri ile kaplanmışsa, demiryolu aslında bu tür güç santrallerine bir ilave haline gelir, dolayısıyla yatırım geri dönüşü -ortak arazili PV tesisleri için 10 yıl altında ve demiryolları için birkaç on yıl olarak- düşünülür (Asanov, vd., 2018). Güneş enerjisi üretim sistemini içeren demiryolu vagonun tahmini fiyatı, mevcut vagonunun fiyatından %4 daha yüksek olacaktır. Bu sisteme yapılan yatırım 2–3 yıl içinde geri kazanılacaktır. Araştırma ve geliştirme desteği ile birlikte finansman bu planı daha da optimize edecektir. Yıllık dizel tüketimindeki tasarruf yaklaşık 90,804 litre olacağından ve ülkede çalışan toplam tren sayısını dikkate aldığına, tasarruf edilecek dizel yakıt miktarı büyüktür. Bu sadece yabancı petrol ithalatını azaltmayacak, aynı zamanda küresel CO₂ emisyonlarını hafifletmek için çok yararlı bir önlem olacaktır. Her yıl önlenebilecek emisyon yaklaşık 239,12 ton tutarı kadardır (Vasisht, 2014).

İtalya'da beş yolcu vagonu, iki lokomotif ve üç yük vagonu üzerinde amorf silikon modülleri kuruldu (Trentini, vd., 1991). 2010 yılında, Fransa'nın devlete ait demiryolları olan TER-SNCF, ince film CIGS (Bakır İndiyum Galyum Selenit) SPV modülleriyle

donatılmış bir Dizel Çoklu Birimi (DMU) test etti. 990 Wp kapasiteli çatıya monte edilen SPV sistemi, DMU'nun içindeki elektrikli aydınlatma sistemi için kısmen güç sağlamıştır (idtechex, 2015). 2011 yılında, Hint Demiryolları, Pathankot, Pencap, Hindistan'daki trenlerin çatısında 1 kWp kapasiteli SPV modülleri kurdu. SPV modülleri 420 W'lık bir elektrik yüküne güç verebilmektedir. Kalka-Simla Dağ Demiryolu benzer bir girişimde bulundu ve 6 amperlik ampule güç sağladı (RailNews, 2015). Bu deneyler, maksimum 40 km/s hızda çalışan dar hatlı yolcu vagonları için yapıldı. SPV sisteminin trende kurulması ile ilgili deneyler başarılı olsa da, kamuya açık alanlarda daha fazla araştırma ve geliştirme için hiçbir bilimsel veri bulunmamaktadır. 2013 yılında, İran'da yapılan benzer bir çalışma, bir yolcu vagonunun güç ihtiyacının sıcak aylarda %74'ünün ve soğuk aylarda % 25'inin SPV sistemi tarafından sağlanabileceğini göstermiştir. SPV sisteminin maksimum getirisi 63,7 kWh arttırıldı ve yıllık CO₂ emisyonu 37 ton azaltıldı (Rohollahi, vd., 2014). Dünyanın en büyük demiryolu ağlarından biri olan Hint Demiryolları günde yaklaşık 12 bin tren işletmektedir (Trains, 2015). Aynı zamanda ülkenin en büyük dizel tüketicilerinden biri bu sektördür ve yıllık 2,7 milyar litrelik bir tüketime sahiptir (Vasisht, 2014). Bu nedenle, Hint Demiryolları tarafından fosil yakıt tüketimini azaltmak ve çevre dostu teknolojileri benimsemek için çaba sarf edilmektedir (Gangwar, vd., 2014). Güneş enerjisi, özellikle tropikal ülkelerde, demiryolları sektöründe geniş bir uygulama alanı bulabilir. Hint Demiryolları, hem geleneksel vagonları hem de Linke Hofmann Busch (LHB) vagonlarını içeren toplam 63511 vagon işletmektedir (Bharath, vd., 2015). Bu vagonların çoğu yıl boyunca güneş ışığına maruz kalır. Bu, Hint Demiryolları için ülke çapında güneşe enerjisinden faydalanma olasılığını keşfetme fırsatı sunuyor. Bu, LHB vagonlarda elektrik yükünün güç kaynağı olan End-Generation (EOG) sisteminin dizel tüketimini azaltacaktır (Darshana, vd., 2015). Vagonun birim çatı alanı başına güç çıkışını tahmin etmek için geliştirilen istatistiksel model (Vasisht, vd., 2017), Hindistan Demiryolları'nda SPV modüllerini ülkenin farklı güzergâhlarında çalışan güneş destekli vagonlara monte etmeden önce, teknik fizibilitesini ve ekonomik uygulanabilirliğini değerlendirme imkânı sağlar.

2.4. Raylı Sistemlerdeki Optimizasyon ve Enerji Verimliliği ile İlgili Literatür Taraması

Raylı sistemde yapılan optimizasyon çalışmalarının aslında birçok alt başlığı bulunmaktadır. Bunlar trenin tasarımı, yardımcı donanımların kullanımı (havalandırma,

kapı açılma ve kapanma sistemi gibi) verimli sürüş, rejeneratif frenleme enerjisi, rota planlaması, enerji depolama, sinyalizasyon, inşaat aşaması vb. birçok konuyu içermektedir. Aslında tüm optimizasyon çalışmalarında olduğu gibi raylı sistem taşımacılığındaki optimizasyonun amacı da kalite ve güvenden ödün vermeden enerji tüketimini düşürebilmektir. Bu bölümde bu alanda yapılmış belli başlı çalışmalara yer verilmiştir.

Otomatik kapı kontrolü yardımıyla gereksiz kapı açılmalarından sakınmak ve havalandırmayı kapılar açıkken düşürebilir böylelikle HVAC güç tüketimini en aza indirebilir (Buesen, vd., 2013; Gonzáles-Gil, vd., 2014,a; RSSB, 2017). Optimum çözümü belirlemek için her iki Sürücü Danışma Sisteminin (DAS) ve Otomatik Tren Operasyonunun (ATO) algoritma temelli başarı olduğuna dikkat edilmelidir. Algoritmalar genellikle yakınsaklık ve hesaplama zamanları üzerinde karardır, ancak sadece olası çözümlerden ziyade optimum üzerinde yakınsama sağlamak için çoklu yöntemlerin kullanılması önerilmektedir (Lu, vd., 2013). Gerçek zamanlı güncellemelere izin veren İletişim Tabanlı Tren Kontrol Sistemi (CBTC) ile kombine edilen Paris metrosu, ortalama %16 tasarruf sağlamıştır (Urien, vd., 2013). Enerji tüketimini azaltmaya yönelik bir altyapı yaklaşımı, enerji tasarrufu raylı sistem ağı tasarımı aşamasında eğimlerin de dahil edilmesidir (Feng, vd., 2011). Demiryolunun her bölümünün optimum ATO hız kodlarının, istasyonlar arası enerji tasarrufu sağladığı bulunmuştur (Ke, vd., 2009; Ke, vd., 2011). Şehir içi hızlı ve yüksek hızlı trenler, harekete karşı direncin toplam çekiş tüketiminin neredeyse yarısından fazlasını oluşturmasına rağmen, daha iyi bir tasarımla azaltılabilir (Bombardier, 2010).

Demiryolu Enerji Depolama Sisteminde kullanılmak üzere birçok şarj edilebilir pil teknolojisi bulunmaktadır. Her pil türü, depolama uygulamaları için farklı işletim özelliklerine sahiptir (Gonzáles-Gil, vd., 2014,b).

Verimli sürüş teorisine göre elektrikten tasarrufun %15-35 arasında olacağı görülmüştür (RSSB, 2007; Anderson, vd., 2009; Kokken, vd., 2003; Bocharnikov, vd., 2007; Corapi, vd., 2014; Hull, vd., 2010; Hu, vd., 2014; Rodrigo, vd., 2013). Bir örnek çalışma yapılmış ve %6'ya varan enerji tasarrufu ve bir metroda yolculuk süresinde az da olsa bir iyileşme öngörülmektedir (Xin, vd., 2014).

Madrid Metrosuna İletişim Tabanlı Tren Kontrol Sistemi (CBTC) özellikleri yerine bir algoritma uygulanmış ve sabit blok Otomatik Tren Operasyonu (ATO) ile

karşılaştırıldığında tüketimi %7-8 azaltılmıştır (Carvajal-Carreño, vd., 2014). Başka bir çalışmada da (Yang, vd., 2013) ‘örtüşen zaman’ optimizasyonun temelini oluşturmaktadır. Yolculuk süresini ve iki tren arasındaki mesafeyi değiştirerek kesişmeyi en üst düzeye çıkarmak için, bazı kısıtlamaları dâhil ederek karma tamsayı programlama kullanılır. Tanımlanan çalışma (Tang, vd., 2014), tren çiftlerinin aynı elektrik bölgesinde çalıştığı ve trenle ilgili konum ve hız bilgilerinin bilindiği varsayımı üzerine dayanmaktadır. Bu bilgilerle dinamik programlamanın amacı, tren için tüketimi azaltan optimal bir güzergahtır. Trenlerin kalkış saatleri değişmez. Xi’an metrosuna ait olan bu simülasyon senaryoları, trenler arasındaki sürenin toplam enerji tasarrufunu etkilediğini göstermektedir. Gradyan yöntemini kullanan bir başka optimizasyon çalışması da aynı sonuçları verir (Miyatake, vd., 2007). İki trenle yapılan test sonuçlarında, ikinci trenin kalkış zamanının %4,2 ile %17,9 arasında bir enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. İki trenin frenleme ve hızlanma fazları arasında kesişme yapabilmeye zorluğundan dolayı, yol çok uzun veya çok kısa olduğunda enerji tasarrufu azalır.

Demiryolunun farklı konularında optimizasyon ve enerji tasarrufu yollarının incelendiği bu çalışma (Douglas, vd., 2015), demiryolu sistemlerinde optimizasyon ve enerji tasarrufu çözümlerini anlayabilmek için iyi bir seçimdir.

Gerçek operasyon verileri ile Pekin Metro Yizhuang Hattı’na dayalı simülasyon çalışması (Li, vd., 2014), entegre optimizasyon yaklaşımının enerjii önemli ölçüde koruyabildiğini ve dinamik planlama yaklaşımının değişken yolcu talepleri ile senaryodaki enerji tüketimini daha da azaltabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada optimizasyon (Li, vd., 2018), tren güzergahlarını dinamik bir şekilde optimize ederek, güzergahta trenlerin çalışma sürelerinin hesaplanmış olduğunu ve trenler arasında çakışma olmadığını varsaymakla birlikte teorik bir çalışmadır. Gelecekte uygulama çalışması, ağ üzerinden trafik yönetimi sisteminin bir kombinasyonunu gerektirecektir.

Yazarlar (Frilli, vd., 2016), Elektrikli Alt İstasyonların haberleşmesinde bulunan sabit enerji depolama cihazlarının yardımıyla frenleme frekansının yüksek hızda bir sistemde özel olarak önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabileceğini bulmuşlardır. Oldukça düşük olan (kabul edilebilir bir frenleme sıklığı ile) tren frenleme fazında yer alan enerjinin neredeyse üçte birini kurtarmak mümkündür. Günümüzde bu sonuçlar sektörün profesyonel operatörleri tarafından kabul edilmektedir.

Kentsel raylı sistemlerde kullanılacak olan enerji tüketimini tanımlamak ve optimize etmek için ayrıntılı bir performans göstergeleri seti oluşturarak bütünsel bir yaklaşım (González-Gil, vd., 2015) kullanılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEMLER

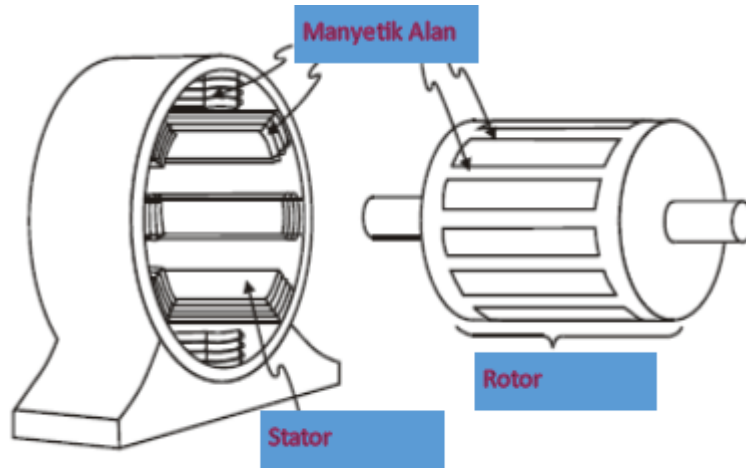
3.1. Asenkron Motorlar

Asenkron motorlar sanayide en çok karşımıza çıkan; düşük ve orta güçlerde kullanılabilen motor tipleridir. Bu motorlar stator ve rotor olmak üzere iki temel kısımdan oluşur. Bunun dışında da gövde, kapaklar, rulman/yataklar gibi bölümleri de mevcuttur. Stator sabit kısım iken rotor da hareketli kısımdır. Statorun iç kısmında izoleli bakır telden yapılan sarımlar yer almaktadır. Sarımların amacı AC enerji uygulandığında manyetik alan oluşturabilmek ve ardından da rotorun dönmesini sağlamaktır.

Rotor ise ince çelik sacların üst üste birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Rotorun, stator manyetik alanının etkisiyle diğer bir manyetik alan oluşturabilmesi için gövdesi üzerine açılan oyuklara sincap kafesli asenkron motorlarda alüminyum çubuklar; bilezikli asenkron motorlarda ise sargılar yerleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan asenkron motor sincap kafesli asenkron motordur.

Asenkron motorların çalışma prensibini en öz haliyle şu şekilde açıklamak mümkündür:

1. Stator sargılarına üç fazlı alternatif bir gerilim uygulandığında bu gerilim, stator sargılarında döner bir manyetik alan oluşturur.
2. Bu manyetik alan manyetik alan içerisinde yer alan kısa devre çubuklarını keserek rotor üzerinde bir gerilim indüklenmesine sebep olur.
3. İndüklenen bu gerilimin oluşturduğu kısa devre akımları da rotor üzerinde ikinci bir manyetik alan olan rotor manyetik alanını oluşturur (ilk manyetik alan stator sargılarındaki döner manyetik alandır).
4. Rotor manyetik alanı ile stator manyetik alanının birbirinden etkilenmesi ile bir döndürme momenti oluşur. Oluşan bu moment ile rotor, döner alan yönünde dönmeye başlar. Rotor bu döner alanı hep yakalamaya çalışır ancak hep geride kalır. Bu geride kalma sebebiyle bu tarz motorlar senkron olmayan manasına gelen asenkron motor denilmektedir.
5. Son olarak da çıkıştan bir mekanik güç elde edilmiş olur.



Şekil 3.1. Asenkron motorun stator ve rotor gösterimi (globalspec, 2018)

3.1.1. Asenkron motorlarda enerji verimliliği

Elektrik motorları için toplam elektrik kullanımını tahmini olarak yıllık 7200 TWh'dir ve bu değer 2006'daki küresel elektrik tüketiminin % 46'sını temsil etmektedir. Ticari alanda elektrikli kullanımın %38,3'ü motorlar, çoğunlukla ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinde pompalar, fanlar ve kompresörler tarafından tüketilmektedir; sanayi sektöründe motorlar, çoğunlukla endüstriyel kullanım ve üretim alanlarında, elektrik kullanımının %68,9'unu oluşturmaktadır (Waide, vd., 2011). Alternatif akım (AC) üç fazlı asenkron motorları, ticari binalarda ve endüstriyel uygulamalarda pompalar, fanlar ve kompresörleri yani sürekli olarak çalışması gereken yerlerde etkinliği ve düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (DOE, 2008).

Asenkron motorların da sanayideki kullanımının neredeyse %90'larda olduğu düşünülürse, asenkron motorlarda enerjinin verimli kullanılması hem ekonomik hem de çevresel boyutta oldukça büyük bir katkıdır.

3.1.2. Asenkron motorlarda enerji verimliliği tespiti

Elektrik motorlarının verimi direk veya dolaylı bir şekilde ölçülebilir. Deneysel Yöntemler genellikle daha doğrudur ancak dünya çapında kullanımı test laboratuvarlarının kurulum ve işletme maliyeti sebebiyle yaygın değildir (Almeida, vd., 1997).

Direk yöntemler

(IEEE 112-B, CSA-390) Elektrik motorlarının verimliliğinin ölçülmesi direk olarak şu denklemi kullanarak yapılabilir:

$$\%Verimlilik = \frac{MekanikÇıkışGücü}{ElektrikselGirişGücü} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu sebeple hem mekanik çıkış gücünü hem de elektriksel giriş gücünü ölçmeye ihtiyaç vardır. Elektrik giriş gücü kolay bir kurulum ve orta seviye fiyatlı bir donanımla iyi bir şekilde ölçülebilir. Mekanik çıkış gücü torkla açısal hızın çarpımı şeklinde tanımlanabilir. Hız ölçümünde ucuz donanım gerektiren nispeten basit bir prosedürle doğru sonuçlar almak mümkün iken (± 1 RPM), tork ölçümünde doğru sonuçlar almak için daha ayrıntılı bir kurulum ve daha pahalı donanımlara ihtiyaç duyar. Tork ölçümü genellikle motoru kontrol edilebilir değişken bir yükün oluşturulmasına imkân veren, doğru bir tork dönüştürücü ile donatılmış bir dinamometreye bağlanmasına ihtiyaç duyar. Kuzey Amerika'da yaygın olarak verimliliğin direk ölçülmesine dayalı test yöntemleri kullanılır. Elektrik ve elektronik mühendisleri Enstitüsü (IEEE) 112 Standardı hem Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA Standart MG-1) hem de US Enerji Bakanlığı tarafından kabul edilen bir standarttır. Kanada'da, Kanada Standartlar Derneği (CSA) Standart 390, IEEE 112 Standardına çok benzer bir prosedür izler.

Dolaylı yöntemler

(IEC 34-2, JEC 37) tork ölçümlerinin karışıklığı ve pahalılığından kaçınmak için motor verimliliği dolaylı olarak şu denklemle belirlenebilir:

$$Verimlilik = \frac{ElektrikselGirişGücü - Kayıplar}{ElektrikselGirişGücü} \times 100 \quad (3.2)$$

Bu hesaplama motor kayıplarının ölçümüne ihtiyaç duyar. Birçok motor kaybı (bakır, demir, mekanik) oldukça doğru bir şekilde ölçülebilir. Fakat kalan kayıplar (kaçak yük kayıpları) tam olarak ölçülemez. Dolaylı verimlilik test yöntemlerinde Uluslararası Elektroteknik Komisyonu IEC 34-2 Standardı gibi, tam yükteki kaçak yük kayıpları isteğe bağlı olarak tam yükteki giriş gücünün % 0,5'ine eşit alınır. Bu varsayım özellikle de küçük motorlar için kaçak yük kayıplarını büyük bir oranda göz önüne

almamaktadır. Hata 60 hz sistemlerde 50 hz sistemlerden daha çok olur. Japan Standardı JEC 37’de, hata daha da büyüktür çünkü kaçak yük kayıpları dolaylı ölçümde tamamen yok sayılmıştır.

Tahmine dayalı yöntemler

Test düzeneğine daha az ihtiyaç duyan veya daha önce yapılan testlere göre bir daha teste ihtiyaç duymadan geçmişteki verilere göre enerji verimliliği tahmini yapan yöntemlerdir. Birçok şekli bulunmaktadır (bknz bölüm 2.1). Bu çalışmada da bu yöntemden faydalanılmıştır.

3.2. Güneş Işınımı

Güneş, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik güç sistemlerinde gerekli olan kaynaktır. Güneşin bu kaynağı füzyon (birleşme) denilen olayıyla, dört adet hidrojen atmonun helyuma dönüşmesi ile kütle kaybından kaynaklanan büyük bir enerji açığa çıkarmaktadır. Güneşin yaydığı bu ışınım enerjisi, saniye başına 4×10^9 kg kütle olduğu varsayılırsa $3,6 \times 10^{26}$ W seviyelerindedir. Bu enerji elektromanyetik dalgalar halinde foton da denilen enerji paketleri halinde yayılır. Güneş ışınımının birim zamanda, birim yüzeye düşen birim miktara ışınım şiddeti veya ışınım gücü (W/m^2) denilir.

Ancak bu ışınımın bir miktarı gelirken atmosferde bazı tanecikler tarafından absorbe edilir veya yayılır. Gelen ışınımında kendi arasında direk ışınım, yaygın ışınım ve yansıyan ışınımı olmak üzere üçe ayrılır. Direk ve yaygın ışınımın toplamına küresel ışınım denilir. Toplam ışınım ise bu üç ışınım şeklinin toplamıdır.

$$I_{k\u00fcresel} = I_{direk} + I_{yaygın} \quad (3.3)$$

$$I_{toplam} = I_{k\u00fcresel} + I_{yansıyan} \quad (3.4)$$

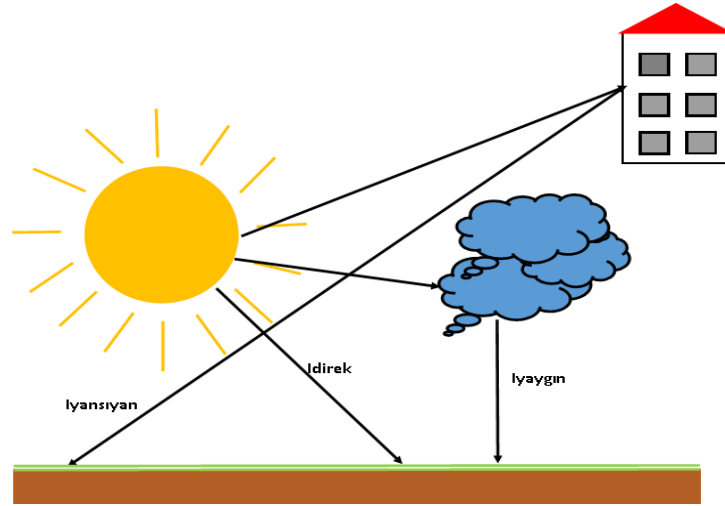
I_{direk} : Direk Işınım

$I_{yaygın}$: Yaygın Işınım

$I_{k\u00fcresel}$: Küresel Işınım

$I_{yansıyan}$: Yansıyan Işınım

I_{toplam} : Toplam Işınım



Şekil 3.2. Güneş ışınımı şekilleri

Güneş enerjisi kaynağı, görüldüğü gibi enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir kapasiteye sahiptir. Dünya çapında son derece zorlu ve büyük boyutta güneş enerjisi projeleri bulunmaktadır. Bu gelecek vaad eden projelerden biri de Türkiye’dedir. Bu projeye göre, 1000 MW’lık güneş enerjisi ile rekabetçi bir ihale tamamlandı ve Kalyon-Hanwha Grubu, en düşük fiyat olan 6,99 sent/kWh olarak bir teklifte bulundu. Bu proje, dünyadaki en büyük güneş projelerinden biridir (trilemma.worldenergy, 2018).

Güneş enerjisi potansiyelinin herhangi bir yerde tahmini, büyük güneş projeleri kurulumu ve yönetimi için çok önemli bir konudur. Enerji verimliliği, başarılı bir güneş ışınımı tahmini ile karşılanabilir. Güneş ışınımı tahmini, amaca yönelik olarak kısa ve uzun vadeli olarak uygulanabilir. Ayrıca, orta vadeli güneş ışınım tahmini de uygulanabilir. Bu çalışmada kısa vadeli bir güneş ışınım tahmin modeli önerilmiştir. Anlık tahmin, mevcut hava koşullarının ayrıntılı açıklamasını 0-6 saat ileriki tahminle kıyaslar (wmo, 2018). Bu süreye de kısa vadeli tahmin denilmektedir.

3.3. Raylı Sistemler

Ekonomik Dayanışma ve Gelişim Organizasyonu (OECD) ülkelerinin raporuna göre ulaşım, 1971 yılında toplam enerji tüketiminde %24’lük bir paya sahipken, 2020 yılında bu oranın %37’lere çıkması ön görülmektedir. Bu sebeple enerji verimliliği ve çevresel etki ile ilgili ulaşımda yapılan çalışmalar oldukça gerekli olacaktır (Landwehr, 2002).

Pietzsch'nin (Pietzsch, vd., 1979) yolcu taşımacılığı ile ilgili olan bir çalışmada, otoyollarda tüketilen enerjinin havayollarından 3; demiryollarından 5,2 kat daha fazla olduğunu göstermiştir.

Geçmiş yıllarda, ülkeler temiz enerjiye paralel olarak önemi artan enerji verimliliği ve çevresel kirliliği araştırmaktadır. Bu sebeple bu akım; ulaştırma sektöründe raylı sistemlerin kullanılması ve raylı sistemlerde enerji verimliliğinin artırılma çabası olarak yansımıştır (Sertsoz, 2013). Bu alanda daha birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen bundan sonraki bölümlerde lokomotiflerden bahsedileceği için raylı sistemlerdeki enerji verimliliğine olan ihtiyacın önemi burda noktalanarak lokomotiflerin tanıtımına geçilecektir.

3.3.1. Lokomotifler

Elektrikli lokomotifler

1894'te Kalman Kando adlı Macar mühendis tarafından ilk yüksek voltajlı, üç fazlı AC motor ve generatör geliştirildi ve ilk elektrikli lokomotif deneyini gerçekleştirmiş oldu. Bu başarısından dolayı "Elektrikli Lokomotifin Babası" olarak tarihe geçti.

İlk zamanlarda, lokomotiflerin işletilmesi için ihtiyaç duyduğu güç, üçüncü raydan elde edildi. Üçüncü rayın yerleştirilmesi ve elektrikleştirilmesi zahmetli, pahalı ve çevredeki hayvanlar için tehdit oluşturan bir yöntemdir ancak elektrikli lokomotiflerden yüksek performans elde edebilmek buhar veya dizel elektrikli lokomotiflere göre çok daha düşük işletme maliyetlerine sahip olması, tercih edilmesine sebebiyet vermiştir. Bununla birlikte üçüncü rayın dezavantajlarından kurtulmak için genelde havai hat kullanılmaya başlanmıştır.

Elektrikli lokomotif, bir elektrik hattına bağlanan ve çoklu elektrik motorlarının yardımıyla tahrik gücü üreten bir elektromekanik sistem içerir. Elektrikli lokomotifte motorlar ek parçalarla birleştirilmemiş olduğundan yani elektrik gücü doğrudan mekanik güce dönüştürüldüğünden verimliliği %90'dan fazla olan motorlardır.

Herhangi bir yakıtı gerek duymadıkları için istenildiği anda hareket edebilirler. Bununla birlikte, duman çıkararak çevreye zarar vermezler.

Aşağıda Türkiye'de kullanılmakta olan bir elektrikli lokomotif gösterilmiştir.



Şekil 3.3. E43000 elektrikli lokomotifi görünüşü (<https://trainspo.com/photo/18804/>)

Dizel elektrikli lokomotifler

Dizel motoru aslında elektrik üreten bir jeneratördür. Aynı elektrikli lokomotifler gibi elektrik motorlarından oluşan tekerler sayesinde hareket ederler. Elektrikli lokomotiflerden farkı elektriği doğrudan şebeken almayıp kendi kendilerine üretebiliyor olmalarıdır. Makinist bu lokomotifi ve dolaylı olarak katarı hareket ettirebilmek için sadece elektrik motoruna komut verir, dizel motor kendi kendine devreye girer.

Aslında bu tarz lokomotiflerin temel amacı yolların elektrifikasyon sistemine ihtiyaç duymasından kaynaklanan yatırım maliyetidir. Ayrıca bazı durumlarda bu sistemi kurmak mümkün olmamaktadır. Dizel-elektrik lokomotifleri yolcu treni olarak ilk kez 1934'te ABD'de kullanılmıştır.

Aşağıda Türkiye'de kullanılmakta olan bir dizel elektrikli lokomotif gösterilmiştir.



Şekil 3.4. DE24000 dizel elektrikli lokomotif görünüşü
(<https://trainspo.com/photo/3320/?list=class>)

Hızlı trenler

Yüksek hızlı tren, en az 250 km/saat hıza ulaşabilen sabit tertibata sahip motor ve vagonlardan oluşan tren dizisidir. Bu yüzden hızlı trenlerde lokomotif ve vagon ayrı ayrı düşünülmemelidir. Daha sonraki bölümlerde gösterilecek olan lokomotif ve vagon direnci yerine üreticinin verdiği; hızlı trenlerde tek bir formül olan "set direnci" diye ifade edilebilecek bir direnç kullanılır.

Aşağıda Türkiye'de kullanılmakta olan bir dizel elektrikli lokomotif gösterilmiştir.



Şekil 3.5. YHT 65000 yüksek hızlı tren görünüşü (<https://sites.google.com>)

Bu çalışmada toplam ondört farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler:

- Oto Regresif 1 (AR1) Modeli
- Oto Regresif 4 (AR4) Modeli
- Artık Model
- Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli
- AR1 ile Yapay Sinir Ağları Hibrit Modeli
- AR4 ile Yapay Sinir Ağları Hibrit Modeli
- Artık Model ile Yapay Sinir Ağları Hibrit Modeli
- İki Boyutlu Discrete Ayrık Kosinüs Dönüşümü Modeli
- İki Boyutlu Mycielski Algoritması Modeli
- İki Boyutlu Ayrık Kosinüs ile Mycielski Algoritmasının oluşturduğu Deterministik-Stokastik Hibrit Model
- En Küçük Kareler Yöntemi
- Parçacık Sürüsü (Particle Swarm) Optimizasyon Yöntemi
- Gradyan Optimizasyon Yöntemi
- Normalizasyon Yöntemi'dir.

Bu yöntemlerin her birinin açıklaması ve uygulaması yöntem kullanılmadan bulgular kısmında hemen önce anlatılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Asenkron Motorlarda Yenilikçi Enerji Verimliliği Tahmin Yöntemleri

Asenkron motorlar, modern araçlarda en çok kullanılan motorlardır (railway-energy, 2015). Asenkron motorlar aynı zamanda hızlı trenlerde kullanılan bir motor çeşidi olup, trenlerdeki çekiş gücü tüketiminin %30-40'lık bir kısmına sahiptir. Bu sebeple bu motorların enerji verimliliğini doğru tespit edebilmek ve gerektiğinde gerekli önlemleri alarak verimliliği sabit tutabilmek oldukça önemlidir.

Bu sebeple bu çalışmada, motorların çalışmasına verimlilik testi için ara verilmeden, yenilikçi optimizasyon temelli enerji verimliliği yöntemleri önerilmiş bu yöntemlerin hataları verilerek ne kadar iyi çalıştığı gösterilmiştir.

Bu çalışmada üç farklı firmadan 307 asenkron motor verisinin tork (moment), güç, güç faktörü ve hız verileri kullanıldı. Katalogda bulunan verimlilik sonuçlarını tahmin için yenilikçi üç adet model oluşturuldu. Bunlar lineer olan; oto regresif (AR) ve lineer olmayan yapay sinir ağları (YSA) hibrit modelleridir. Bulunan sonuçlarla, literatürdeki asenkron motorlarının tahmini için kullanılan diğer tahmin yöntemleri kıyaslandı. Ancak bu sonuçlara geçmeden önce hata paylarını hesaplayıp birbiriyle kıyaslamak için kullanılan matematiksel denklemler ve modellerin tanımları verildi.

Kıyaslama için kullanılan yöntemler

Modellerin hata oranlarını kontrol etmek için dört hata ifade şekli kullanıldı. Bunlar: ME (Ortalama Hata), RMSE (Hata Kareleri Toplamı Karekökü), %ME, %RMSE'dir. Formülleri ise şu şekildedir:

$$ME = Ortalama(VerimlilikKat.Değeri - Tah.Değeri) \quad (4.1)$$

$$RMSE = \sqrt{Ortalama(VerimlilikKat.Değeri - Tah.Değeri)^2} \quad (4.2)$$

$$\%ME = \% \frac{Ortalama(VerimlilikKat.Değeri - Tah.Değeri)}{Ortalama(VerimlilikKat.Değeri)} * 100 \quad (4.3)$$

$$\%RMSE = \% \frac{Ortalama(VerimlilikKat.Değeri - Tah.Değeri)^2}{Ortalama(VerimlilikKat.Değeri)^2} * 100 \quad (4.4)$$

4.1.1. AR1 modeli

AR1 modelinde, motor verimliliğini tahmin etmek için yalnızca bir parametre kullanılır. Bu, motorun verimliliği ile en yüksek korelasyona sahip olan parametre olmalıdır (Sertsoz, vd., 2018,c).

Korelasyon analizi sonucunda motor verimliliğinin güç faktörü ile yakından ilişkili olduğu gözlemlenmektedir. Bu korelasyon analizi, parametreler arasındaki Pearson korelasyon katsayısını hesaplayarak elde edilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Cov(\vec{X}, \vec{Y}) = E[XY] - E[X]E[Y] \quad (4.5)$$

$$Cov(\vec{X}, \vec{Y}) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - E[X])(y_j - E[Y]) \quad (4.6)$$

$$\rho(\vec{X}, \vec{Y}) = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (4.7)$$

Korelasyon sonuçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çeşitli parametrelerin kendileri ve terslerinin verimlilik korelasyonları

$\rho(\vec{X}, \vec{Y})$	Güç	Hız	Güç Faktörü	Moment	Verimlilik
Güç	1	0,034652	0,368991	0,884498	0,387115
1/Güç	-0,16515	-0,24081	-0,63404	-0,12815	-0,79619
Hız	0,034652	1	0,401842	-0,02734	0,34054
1/Hız	-0,05089	-0,99825	-0,43417	0,012405	-0,38489
G. F.	0,368991	0,401842	1	0,282859	0,802703
1/G. F.	-0,33721	-0,39116	-0,99066	-0,25891	-0,81993
Moment	0,884498	-0,02734	0,282859	1	0,2935
1/Moment	-0,13752	-0,2619	-0,61685	-0,10751	-0,78197

Bu korelasyon analizinde, parametreler sadece kendileri ile değil, tersleri ile de korelasyonuna bakılır. Verimin pozitif yöndeki korelasyonu, güç faktörü ile en yüksek seviyede bulunur. Verim ile diğer parametreler arasındaki korelasyon incelendiğinde, bu parametrelerin ters ile mutlak korelasyonunun daha güçlü olduğu görülmektedir. Bu

nedenle, verimlilik tahmininde güç faktöründen sonra, tam yük motorunun tersi (1 / Güç), tam yük motor torkunun tersi (1/Moment) ve tam yükte dönme hızının tersi (1/Hız) hesaplanmalıdır.

Yalnızca güç faktörü bilgisi kullanıldığında, oluşturulan model aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu modelin katsayısı (α_{AR1}), verimliliğin normalize edilmiş güç faktörü üzerindeki yansımasıdır.

Bu korelasyon analizlerinde, parametrelerin sadece kendileriyle değil tersleri ile de olan korelasyona bakılmıştır. Pozitif yöndeki korelasyon en yüksek güç faktörü ile olduğu görülmüştür. Verimin diğer parametrelerle olan korelasyonu incelendiğinde, bu parametrelerin ters ile mutlak korelasyonunun daha güçlü olduğu görülmektedir. Bu sebeple, güç faktöründen sonra motorun tam yükteki gücünün tersi (1/Güç), torkunun tersi (1/Moment) ve dönüş hızının tersinin (1/Hız) verimlilik tahmininde hesaplanması gerektiği görülmüştür.

Sadece güç faktörü bilgisi kullanıldığında model şu şekilde hesaplanmaktadır:

Bu modelin katsayısı (α_{AR1}) normalleştirilmiş güç faktörü üzerindeki verimin izdüşümüdür.

\widehat{PF} : Normalize Edilmiş Güç Faktörü;

\overrightarrow{Eff} : Motor Verimlilik Vektörü;

$$\widehat{PF} = \frac{\overline{PF} - \min(PF)}{\max(PF) - \min(PF)} \quad (4.8)$$

$$\overrightarrow{Eff} = \alpha_{AR1} \cdot \widehat{PF} + \overrightarrow{\varepsilon}_{AR1} \quad (4.9)$$

$$\alpha_{AR1} = \frac{[\overrightarrow{Eff}]^T \cdot \widehat{PF}}{[\widehat{PF}]^T \cdot \widehat{PF}} \quad (4.10)$$

4.1.2. AR4 modeli

AR4 modeli genelde zaman serilerine uygulanabilen oldukça iyi bir modeldir. Ancak bu modelde hızın tersi, momentin tersi, gücün tersi, güç faktörü ve verimlilik bilgileri başarılı birer zaman serisi olduğu varsayılarak verimlilik tahmin edilmiştir. Bu AR4 modeli şu şekilde oluşturulmuştur:

$\widehat{P^{-1}}$: Tam Yüklü Gücün Normalize Edilmiş Tersisi;

$$\widehat{P^{-1}} = \frac{\overline{P^{-1}} - \min(P^{-1})}{\max(P^{-1}) - \min(P^{-1})} \quad (4.11)$$

\widehat{M}^{-1} : Tam Yüklü Momentin Normalize Edilmiş Tersisi;

$$\widehat{M}^{-1} = \frac{\overline{M}^{-1} - \min(M^{-1})}{\max(M^{-1}) - \min(M^{-1})} \quad (4.12)$$

\widehat{S}^{-1} : Tam Yüklü Hızın Normalize Edilmiş Tersisi;

$$\widehat{S}^{-1} = \frac{\overline{S}^{-1} - \min(S^{-1})}{\max(S^{-1}) - \min(S^{-1})} \quad (4.13)$$

$$\overrightarrow{Eff} = \alpha_{AR4,1} \cdot \widehat{PF} + \alpha_{AR4,2} \cdot \widehat{P}^{-1} + \alpha_{AR4,3} \cdot \widehat{M}^{-1} + \alpha_{AR4,4} \cdot \widehat{S}^{-1} + \overrightarrow{\varepsilon}_{AR4} \quad (4.14)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_{AR4,1} \\ \alpha_{AR4,2} \\ \alpha_{AR4,3} \\ \alpha_{AR4,4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho(\overrightarrow{Eff}, \overrightarrow{Eff}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{PF}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{P}^{-1}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{M}^{-1}) \\ \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{PF}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \overrightarrow{Eff}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{P}^{-1}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{M}^{-1}) \\ \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{P}^{-1}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{PF}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \overrightarrow{Eff}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{P}^{-1}) \\ \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{M}^{-1}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{P}^{-1}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{PF}) & \rho(\overrightarrow{Eff}, \overrightarrow{Eff}) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{PF}) \\ \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{P}^{-1}) \\ \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{M}^{-1}) \\ \rho(\overrightarrow{Eff}, \widehat{S}^{-1}) \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

4.1.3. Artık model

Artık modelde, dört adet katsayı AR4'te olduğu gibi bulundu. Fakat bu katsayılar bulunurken, AR1 modeli AR4'ün yerine uygulandı. Öncelikle, AR1 modeli güç faktörü verisi ile oluşturuldu. Daha sonra, yeni bir AR1 Modeli tam yükteki gücün tersi ile bir öncekinin hatası için modellendi.

İkinci AR1 Modelinin hatası momentin tersiyle modellendi ve üçüncü AR1 Modelinin hatası hızın tersiyle modellendi.

Yukarıda anlatılan modelin denklemleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir:

$$\overrightarrow{Eff} = \alpha_{RES,1} \cdot \widehat{PF} + \alpha_{RES,2} \cdot \widehat{P}^{-1} + \alpha_{RES,3} \cdot \widehat{M}^{-1} + \alpha_{RES,4} \cdot \widehat{S}^{-1} + \overrightarrow{\varepsilon}_{RES} \quad (4.16)$$

$$\alpha_{RES,1} = \frac{[\overrightarrow{Eff}]^T \cdot \widehat{PF}}{[\widehat{PF}]^T \cdot \widehat{PF}} \quad (4.17)$$

$$\vec{\mathcal{E}}_1 = \overline{Eff} - \alpha_{RES,1} \cdot \widehat{PF} \quad (4.18)$$

$$\alpha_{RES,2} = \frac{[\vec{\mathcal{E}}_1]^T \cdot \widehat{P}^{-1}}{[\widehat{P}^{-1}]^T \cdot \widehat{P}^{-1}} \quad (4.19)$$

$$\vec{\mathcal{E}}_2 = \vec{\mathcal{E}}_1 - \alpha_{RES,2} \cdot \widehat{P}^{-1} \quad (4.20)$$

$$\alpha_{RES,3} = \frac{[\vec{\mathcal{E}}_2]^T \cdot \widehat{M}^{-1}}{[\widehat{M}^{-1}]^T \cdot \widehat{M}^{-1}} \quad (4.21)$$

$$\vec{\mathcal{E}}_3 = \vec{\mathcal{E}}_2 - \alpha_{RES,3} \cdot \widehat{M}^{-1} \quad (4.22)$$

$$\alpha_{RES,4} = \frac{[\vec{\mathcal{E}}_3]^T \cdot \widehat{S}^{-1}}{[\widehat{S}^{-1}]^T \cdot \widehat{S}^{-1}} \quad (4.23)$$

$$\vec{\mathcal{E}}_{RES} = \vec{\mathcal{E}}_3 - \alpha_{RES,4} \cdot \widehat{S}^{-1} \quad (4.24)$$

Bu analizin sonucunda, hata tahminleri en yüksek korelasyona sahip girdiler kullanarak yapay sinir ağıları ile yapıldı. Bu hatalar, bu üç tahmin yönteminin tahminlerine eklenerek yeni tahmin değerlerine ulaşıldı. Sonuç olarak, bu hibrit tahminlerin verimlilik sonuçları ile katalog verimlilikleri arasındaki fark saptandı. Ancak bu sonuçlar verilmeden önce, hibrit yapıda kullanılan yapay sinir ağlarının özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.1.4. Yapay sinir ağlarının yapısı

Yapay Sinir Ağları (YSA), son yıllarda tahmin amaçlı teknolojinin birçok alanında kullanılan bir yöntemdir. YSA, insan beyninin öğrenme sürecini en basit şekilde taklit eder. Sorunun çözümüne, daha önce karşılaşmadığı bir problem olsa bile, insan beyninin yaptığı gibi benzer konuları birleştirerek, bildiklerine dayanarak ulaşmaya çalışır. YSA temel olarak iki katmana (gizli ve çıkış) ve çok sayıda nörona sahiptir. Bu nöronların sayıları ve katmanları istenildiği gibi ayarlanabilir. YSA'da transfer fonksiyonları, problemin doğrusal mı yoksa doğrusal olmayan mı olduğuna göre belirlenebilir.

Bu çalışmada, lineer olmayan transfer fonksiyonu olan hiperbolik sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır, çünkü motor verimi girdi parametrelerine göre doğrusal değildir. Ağ tipi geri yayılım seçilmiştir çünkü geri yayılım basitçe, ağda bulunan hataların miktarının gizli katmandaki nöronlara geri döndüğü ve eğitimin başarısını arttırdığı anlamına gelir. Trainlm öğrenme fonksiyonu, geri yayılımda en hızlı yanıt veren öğrenme fonksiyonu olduğu için kullanılmıştır. Trainlm'in dezavantajı,

programını büyük bir depolama alanı gerektirdiğinden, programın sonuna doğru yavaşlamasıdır.

Bununla birlikte, YSA'nın kara kutu benzetmesine benzeyen, tüm bu kararlar için katman sayısı, nöron sayısı ve ağırlık için bir karara varmak mümkün değildir. Girişler bilindiğinde çıktıları tahmin etmek her zaman mümkün değildir. Bu nedenle, bu çalışma farklı sayıda nöron ve katman ile gerçekleştirilmiş ve bunların en iyileri seçilmiştir. Aşağıda transfer fonksiyonu (hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonu), Ağ tipi (geri yayılım) formülleri verilmiştir.

$$o = \frac{2}{1+e^{-2i}} - 1 \quad (4.25)$$

o ve i , sırasıyla transfer işlevinin çıktıları ve girdileridir. Burada (i) girdi, önceki katmanın nöronlarından gelen çıktıların doğrusal ağırlıklı bir kombinasyonu olarak elde edilir. Geri yayılımında, güncelleme fonksiyonu Un şu şekilde hesaplanabilir:

$$Un = -[JT \times J + \mu I]^{-1} \times J^T + e \quad (4.26)$$

J 'nin ağ hatalarının ağırlık ve sapmaya göre birinci türevlerini içeren Jacobian matrisi ve e de ağ hatasıdır. Tipik olarak, her bir başarılı adımdan sonra μ değeri bırakılmalı ve sadece geçici bir adımdan sonra hata terimi (veya performans fonksiyonu arttığında) arttırılmalıdır. Bu nedenle, performans işlevi her yinelemede azalır veya kısıtlanır (Hagan, vd., 1994). Bu, YSA'nın bir özelliğidir çünkü optimizasyona dayalı bir tahmin yöntemidir. Matlab'in yapay sinir ağı araç kutusu, ağ eğitimi ve testi için kullanılmıştır. Performans, Ortalama Hata (ME) ile hesaplanır. Eğitim parametreleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.2. Yapay sinir ağları eğitim parametreleri

Epok	1000
Hata Hedefi	0
En fazla başarısızlık	6
Momentum güncellemesi	0.001

Özellikle yük tahmininde de sıkça kullanılan (Basaran ve Kurban., 2007) YSA'ları bu çalışmada daha farklı bir tahmin amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada test değerleri ve simülasyon değerleri aynıdır çünkü çalışma hibrit bir yapıya sahiptir ve amaç bu yapının iyi çalışıp çalışmadığını görebilmektir. Hibrit yapının amacı ise YSA ile hibritleştirildiğinde diğer tahmin yöntemleriyle elde edilen tahmin değerlerinde bir gelişme olup olmadığını gözlemlemektir.

Ayrıca, tüm testler için girdi değerleri normalleştirilmiştir, ancak önceki tahmin yönteminden elde edilen değerler ve hibrit modeller için tahmin edilmesi gereken hata değerleri normalleştirilmemiştir. Amaç, katalogta verilen verimlilik değerlerini en doğru şekilde tahmin etmektir.

4.1.5. Hibrit modeller

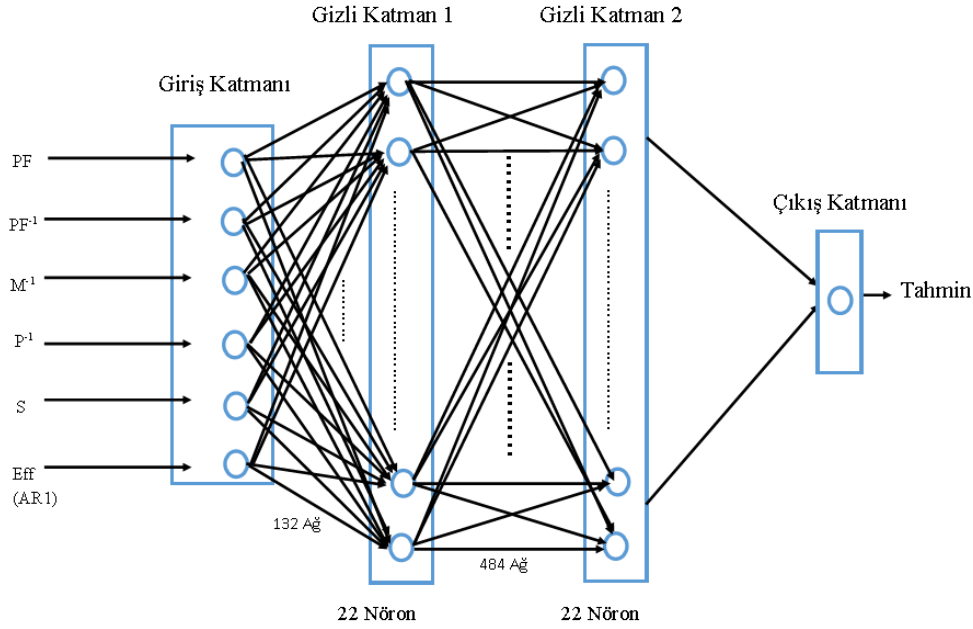
Hibrit modeldeki amaç, üç AR temelli modelin hatalarını geri yayımlı YSA yapısı ile tahmin etmektir. Böylece yapay sinir ağları ile AR modelleri desteklenecek ve minimum hata elde edilecektir.

AR1 için hibrit model aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır. Burada YSA için 1 ve 2 gizli katmanı olan farklı sayıda nöron içeren yapı test edilmiştir.

Çizelge 4.3. AR1-YSA hibrit tahmin hata sonuçları

TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI
1 katman 1 nöron	0,3216	2 katman 1 nöron	0,9793	2 katman 11 nöron	1,2472	2 katman 21 nöron	0,0859
1 katman 2 nöron	0,8521	2 katman 2 nöron	2,0379	2 katman 12 nöron	1,4663	2 katman 22 nöron	0,0037
1 katman 3 nöron	1,4452	2 katman 3 nöron	0,0955	2 katman 13 nöron	0,8679	2 katman 23 nöron	0,9962
1 katman 4 nöron	0,4920	2 katman 4 nöron	0,0719	2 katman 14 nöron	0,2041	2 katman 24 nöron	1,2476
1 katman 5 nöron	0,0797	2 katman 5 nöron	0,0198	2 katman 15 nöron	13,9896	2 katman 25 nöron	2,3656
1 katman 6 nöron	1,1839	2 katman 6 nöron	1,0096	2 katman 16 nöron	0,8098	2 katman 26 nöron	3,3477
1 katman 7 nöron	1,3544	2 katman 7 nöron	1,7547	2 katman 17 nöron	0,3361	2 katman 27 nöron	1,0557
1 katman 8 nöron	1,0120	2 katman 8 nöron	1,1647	2 katman 18 nöron	9,5597	2 katman 28 nöron	0,0365
1 katman 9 nöron	0,8985	2 katman 9 nöron	0,0637	2 katman 19 nöron	1,4034	2 katman 29 nöron	0,1073
1 katman 10 nöron	3,4006	2 katman 10 nöron	0,1135	2 katman 20 nöron	0,1717	2 katman 30 nöron	0,0665

Çizelgede görülebileceği gibi, en iyi tahmin iki katmanı olan 22 nöron ile yapılmış ve bu tahminlere göre hibrit model oluşturulmuştur.



Şekil 4.1. AR1-YSA blok diyagramı

$$\widehat{Eff}_{AR1} = a_{AR1} \cdot \widehat{PF} \quad (4.27)$$

$$NN_{AR1}(\widehat{PF}, \widehat{PF}^{-1}, \widehat{M}^{-1}, \widehat{P}^{-1}, S, \widehat{Eff}_{AR1}) = \widetilde{\varepsilon}_{AR1} \quad (4.28)$$

$$\overrightarrow{Eff} = \widehat{Eff}_{AR1} + \widetilde{\varepsilon}_{AR1} + \overrightarrow{\varepsilon}_{Hib1} \quad (4.29)$$

Sonuçlar çizelge ve şekillerde aşağıda verilmiştir.

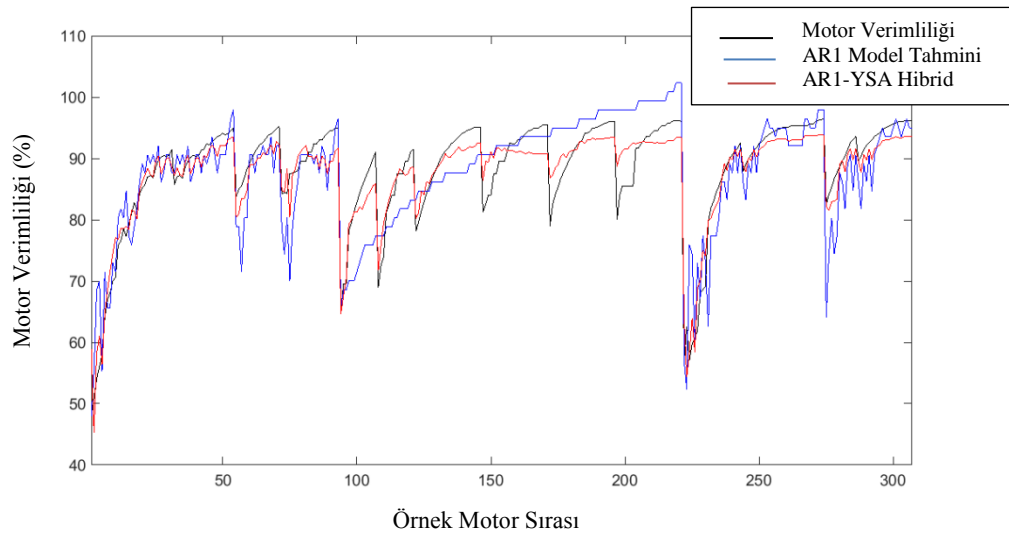
Çizelge 4.4. AR1 ve AR1-YSA verimlilik tahmin hataları

	*RMSE	%RMSE	**ME	%ME
AR1	5,8324	6,5472	0,5612	0,6360
AR1-YSA	4,4056	4,9676	-0,0372	0,0042

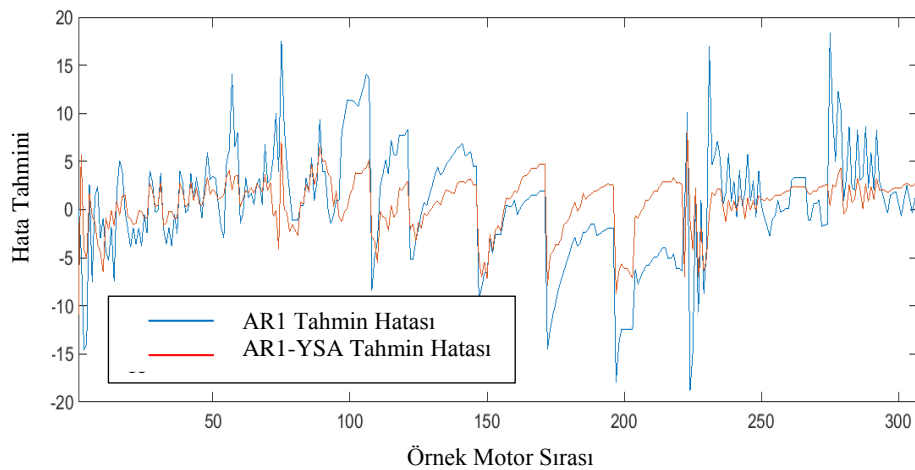
*RMSE: Ortalama Hatalar Kare Kökü

**ME: Ortalama Hata

Çizelgede de görüldüğü gibi hibrit model daha az hataya sahiptir.



Şekil 4.2. AR1 ve AR1-YSA modellerinin tüm motorlar için tahminleri



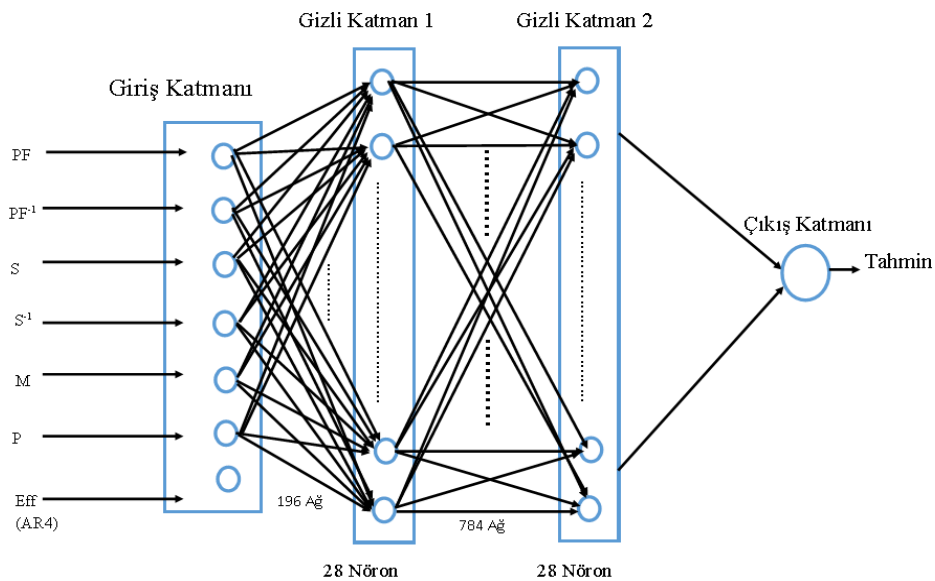
Şekil 4.3. AR1 ve AR1-YSA modellerinin tüm motorlar için tahmin hataları

AR4 için hibrit model aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır. Burada, YSA için 1 ve 2 gizli katmanı olan farklı sayıda nöron içeren yapıları test edilmiştir.

Çizelge 4.5. AR4-YSA hibrit tahmini hata sonuçları

TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI
1 katman 1 nöron	1,7056	2 katman 1 nöron	2,4604	2 katman 11 nöron	0,3983	2 katman 21 nöron	1,6580
1 katman 2 nöron	1,8360	2 katman 2 nöron	3,2205	2 katman 12 nöron	0,4653	2 katman 22 nöron	2,1678
1 katman 3 nöron	0,6233	2 katman 3 nöron	2,0060	2 katman 13 nöron	2,2067	2 katman 23 nöron	0,6762
1 katman 4 nöron	0,6836	2 katman 4 nöron	2,3718	2 katman 14 nöron	1,7022	2 katman 24 nöron	2,3687
1 katman 5 nöron	2,5642	2 katman 5 nöron	2,5126	2 katman 15 nöron	0,1340	2 katman 25 nöron	0,1189
1 katman 6 nöron	0,2393	2 katman 6 nöron	0,0690	2 katman 16 nöron	0,7389	2 katman 26 nöron	5,1548
1 katman 7 nöron	0,4685	2 katman 7 nöron	0,5803	2 katman 17 nöron	0,2992	2 katman 27 nöron	1,6511
1 katman 8 nöron	1,9612	2 katman 8 nöron	1,6816	2 katman 18 nöron	1,6142	2 katman 28 nöron	0,0449
1 katman 9 nöron	2,3522	2 katman 9 nöron	0,2459	2 katman 19 nöron	0,6209	2 katman 29 nöron	0,1665
1 katman 10 nöron	1,6834	2 katman 10 nöron	0,3910	2 katman 20 nöron	3,3523	2 katman 30 nöron	2,3635

Çizelgede de görülebileceği gibi, iki katmana sahip 28 nöron ile en iyi tahmin yapılmış ve bu tahminlere göre hibrit model oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. AR4-YSA blok diyagramı

$$\widehat{Eff}_{AR4} = a_{AR4,1} \cdot \widehat{PF} + a_{AR4,2} \cdot \widehat{P}^{-1} + a_{AR4,3} \cdot \widehat{M}^{-1} + a_{AR4,4} \cdot \widehat{S}^{-1} \quad (4.30)$$

$$NN_{AR4}(\widehat{PF}, \widehat{PF}^{-1}, \widehat{S}, \widehat{S}^{-1}, \widehat{M}, \widehat{P}, \widehat{Eff}_{AR4}) = \widetilde{\varepsilon}_{AR4} \quad (4.31)$$

$$\overline{Eff} = \widehat{Eff}_{AR4} + \widetilde{\varepsilon}_{AR4} + \overline{\varepsilon}_{Hib2} \quad (4.32)$$

$$NN_{AR4}(\widehat{PF}, \widehat{P}, \widehat{M}, \widehat{S}) = \widetilde{\varepsilon}_{AR4} \quad (4.33)$$

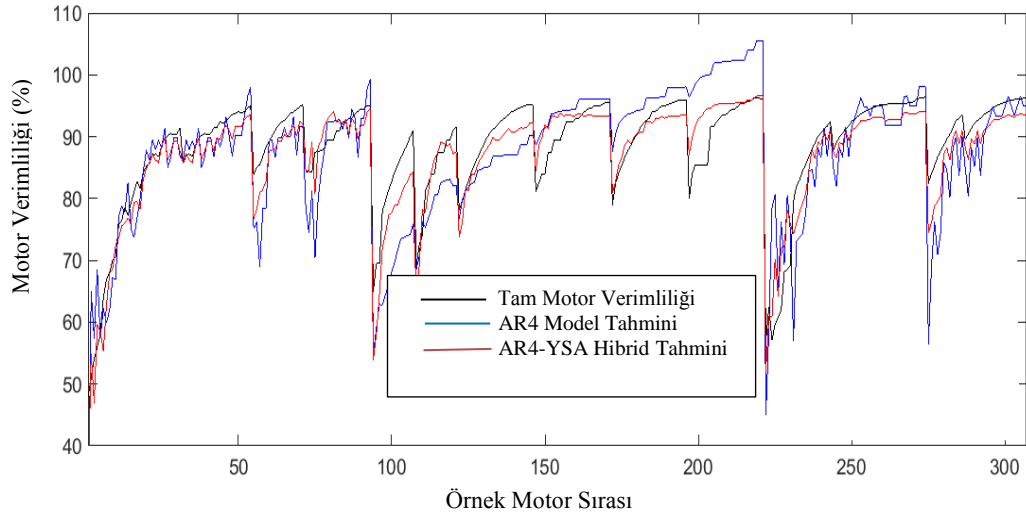
$$\overline{Eff} = a_{AR4,1} \cdot \widehat{PF} + a_{AR4,2} \cdot \widehat{P}^{-1} + a_{AR4,3} \cdot \widehat{M}^{-1} + a_{AR4,4} \cdot \widehat{S}^{-1} NN_{AR4} + (\widehat{PF}, \widehat{P}, \widehat{M}, \widehat{S}) + \overline{\varepsilon}_{Hib2} \quad (4.34)$$

Sonuçlar çizelge ve şekillerde aşağıda verilmiştir.

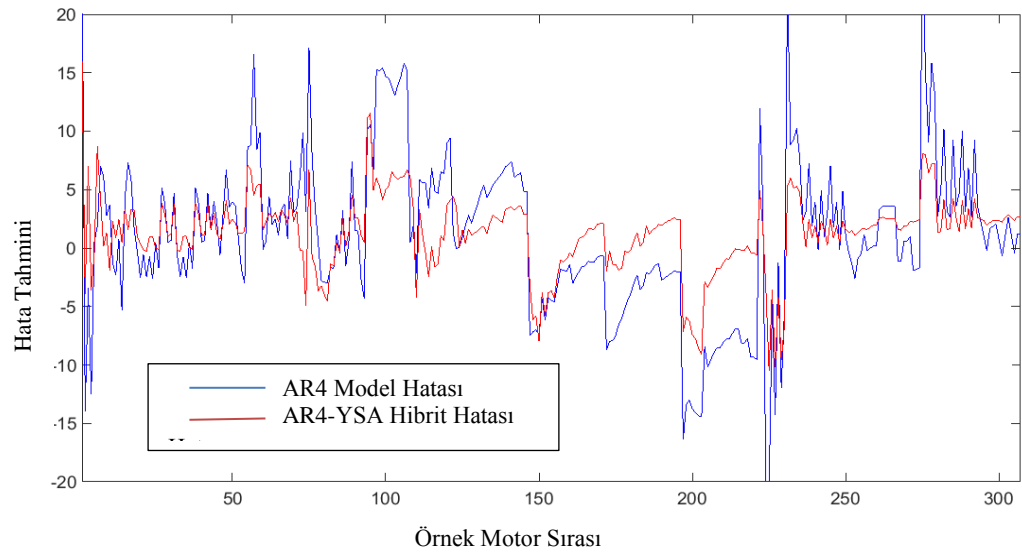
Çizelge 4.6. AR4 ve AR4-Hibrit verimlilik hata tahmini kıyaslaması

	RMSE	%RMSE	ME	%ME
AR4	6,9547	7,8419	1,1575	1,3112
AR4-YSA	4,8077	5,4211	-0,0448	0,0508

Çizelgede de görüldüğü gibi hibrit model daha az hataya sahiptir.



Şekil 4.5. AR4 ve AR4-YSA modellerinin tüm motorlar için tahminleri



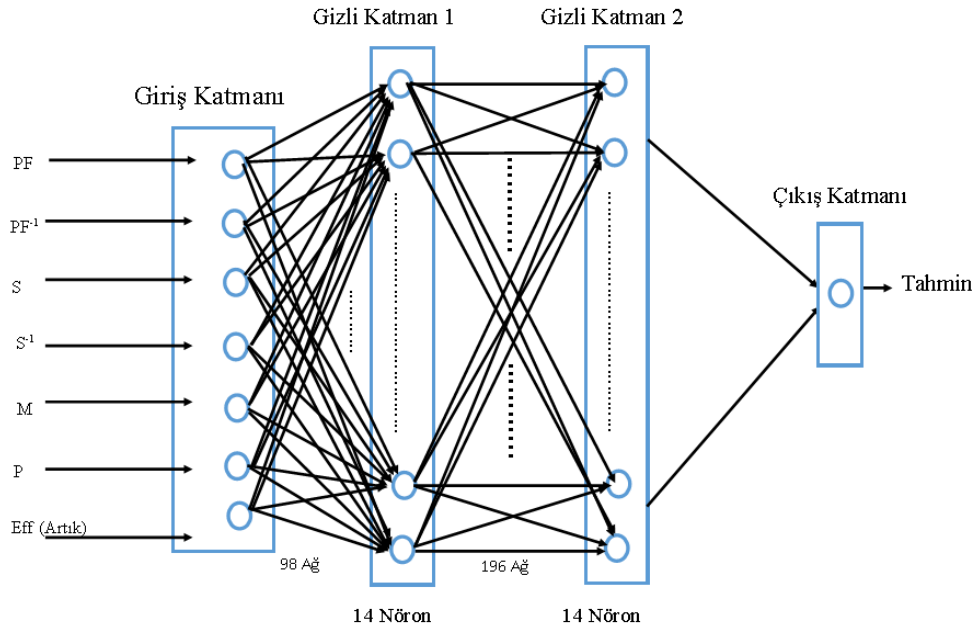
Şekil 4.6. AR4 ve AR4-YSA modellerinin tüm motorlar için tahmin hataları

Artık için hibrit model aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır. Burada YSA için 1 ve 2 gizli katmanı olan farklı sayıda nöronla testler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7. Artık -YSA hibrit tahmin hata sonuçları

TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI	TEST	MUTLAK ME HATASI
1 katman 1 nöron	2,4700	2 katman 1 nöron	0,9114	2 katman 11 nöron	0,4010	2 katman 21 nöron	0,8527
1 katman 2 nöron	0,9502	2 katman 2 nöron	2,2500	2 katman 12 nöron	0,3626	2 katman 22 nöron	0,6129
1 katman 3 nöron	0,6072	2 katman 3 nöron	0,7992	2 katman 13 nöron	0,8975	2 katman 23 nöron	0,5484
1 katman 4 nöron	0,5950	2 katman 4 nöron	0,7458	2 katman 14 nöron	0,0813	2 katman 24 nöron	0,9492
1 katman 5 nöron	3,0158	2 katman 5 nöron	0,6145	2 katman 15 nöron	0,5992	2 katman 25 nöron	9,4839
1 katman 6 nöron	0,5406	2 katman 6 nöron	1,0318	2 katman 16 nöron	1,3464	2 katman 26 nöron	0,5187
1 katman 7 nöron	1,6361	2 katman 7 nöron	0,6245	2 katman 17 nöron	0,3594	2 katman 27 nöron	0,5804
1 katman 8 nöron	0,7096	2 katman 8 nöron	0,9853	2 katman 18 nöron	0,5119	2 katman 28 nöron	0,6126
1 katman 9 nöron	0,8131	2 katman 9 nöron	0,3406	2 katman 19 nöron	1,4662	2 katman 29 nöron	1,0697
1 katman 10 nöron	0,4730	2 katman 10 nöron	0,3920	2 katman 20 nöron	0,7622	2 katman 30 nöron	0,4324

Çizelgede de görülebileceği gibi, en iyi tahmin 2 katmanlı 14 nöron ile yapılmış ve bu tahmin doğrultusunda hibrit model oluşturulmuştur.



Şekil 4.7. Artık-YSA blok diyagramı

$$Eff_{Artık} = a_{Artık,1} \cdot \widehat{PF} + a_{Artık,2} \cdot \widehat{P}^{-1} + a_{Artık,3} \cdot \widehat{M}^{-1} + a_{Artık,4} \cdot \widehat{S}^{-1} \quad (4.35)$$

$$NN_{Artık}(\widehat{PF}, \widehat{P}^{-1}, \widehat{S}, \widehat{S}^{-1}, \widehat{M}, \widehat{P}, Eff_{Artık}) = \widehat{\varepsilon}_{Artık} \quad (4.36)$$

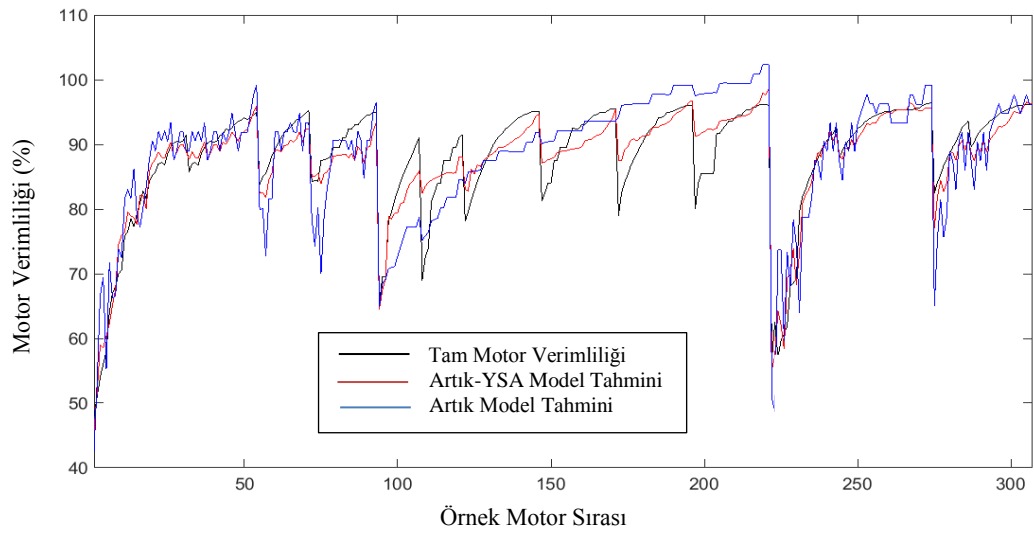
$$\overrightarrow{Eff} = Eff_{Artık} + \widehat{\varepsilon}_{Artık} + \overrightarrow{\varepsilon}_{Hib3} \quad (4.37)$$

Sonuçlar aşağıdaki çizelge ve şekillerde verilmiştir:

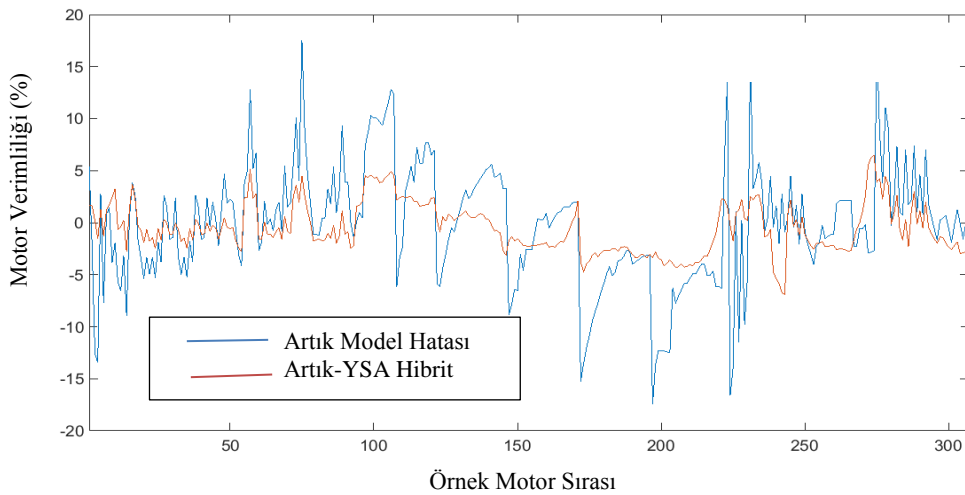
Çizelge 4.8. Artık ve Artık-YSA hibrit verimlilik hata tahmini kıyaslaması

	RMSE	%RMSE	ME	%ME
Artık	5,6019	6,3165	0,0425	0,0481
Artık-YSA	3,4290	3,8665	0,0812	0,0921

Çizelgede görülebileceği gibi, hibrit model cevabı ME için daha kötü olmakla birlikte RMSE değerleri için daha iyidir.



Şekil 4.8. Artık ve Artık-YSA hibrit modellerinin tüm motorlar için tahminleri



Şekil 4.9. Artık ve Artık-YSA modellerinin tüm motorlar için tahmin hataları

Sonuç olarak oluşturulan AR modellerinin performansları aşağıdaki çizelgede hata olarak birbirleriyle kıyaslandı.

Çizelge 4.9. AR1, AR4 ve Artık hibrit verimlilik tahminlerinin hata karşılaştırması

	AR1-YSA	AR4-YSA	Artık-YSA
ME	-0,0372	-0,0448	0,0812
%ME	0,0042	0,0508	0,0921
RMSE	4,4056	4,8077	3,4290
%RMSE	4,9676	5,4211	3,8665

Çizelgede de görüldüğü üzere, üç farklı yöntem için ME değerleri 0,0372; 0,0448 ve 0,0812 puan olarak bulunmuştur (Sertsoz, vd., 2018,a). En iyi sonucu AR1-YSA Hibrit modeli verirken en kötü sonucu ME baz alındığında Artık-Hibrit modeli vermiştir.

Son olarak bu çalışmada, RMSE'a göre kıyaslama yapıldığında ise en iyi sonuç Artık-YSA modelidir ve en kötü sonuç AR4-YSA modelindedir. AR1-YSA'ya kıyasla AR4-YSA'nın düşük performansının temel sebebi hızın tersi, momentin tersi, gücün tersi, güç faktörü ve güç verimi verileridir. Yanlış bir zaman dizisinin varsayımı olarak geçerliliği tartışmalıdır. Bununla birlikte, artık model ile zaman dizisi koşulu aşılmış ve tahminde iyi bir sonuç elde edilmiştir.

Öte yandan, önerilen hibrit modeller için en iyi tahmini ME değerlerine göre AR1-YSA ve ardından AR4-YSA ve son olarak Artık-YSA tarafından elde edilmiştir. AR Modellerinin Yapay Sinir Ağları ile hibrit yapılmaksızın, en iyi tahmin sonucu Artık Model ile elde edilmiştir. Ancak tüm modeller için hibrit yapıldıktan sonraki RMSE değerleri, hibrit yapılmadan önceki değerlerden daha iyi sonuçlar vermiştir.

4.2. Güneş Işınması Yenilikçi Tahmin Yöntemleri

4.2.1. İki boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü

Ayrık Kosinüs Dönüşümü, sinyalleri kosinüs harmonikleri olarak açıklayan fourier tabanlı bir dönüşümdür. Bu dönüşüm çoğunlukla Jpeg tabanlı görüntü sıkıştırma ve MP3 tabanlı ses sıkıştırmada kullanılır. Kosinüs fonksiyonunun eşit simetrisine göre, simetrik sinyallere bile uyar. Orijinal ayırık kosinüs dönüşümü genel açıklaması dört biçime sahiptir. Bir boyutlu AKD'nin en çok kullanılan şekli AKD-II'dir (4.38).

$$y[k] = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N x[k] \frac{1}{\sqrt{1+\delta_{kl}}} \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n-1)(k-1)\right) \quad (4.38)$$

δ_{k1} Kronecker delta simgesidir, k 1 ise 1; k 0'a eşit olduğunda ise 0 olarak alınır.

Bilinmeyen sayısı birden ikiye çıktığında 2B-AKD denklem (4.39) ile açıklanır:

$$y[k_1, k_2] = \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} x[n_1, n_2] \cos\left(\frac{\pi(2n_1+1)k_1}{2N_1}\right) \cos\left(\frac{\pi(2n_2+1)k_2}{2N_2}\right)$$

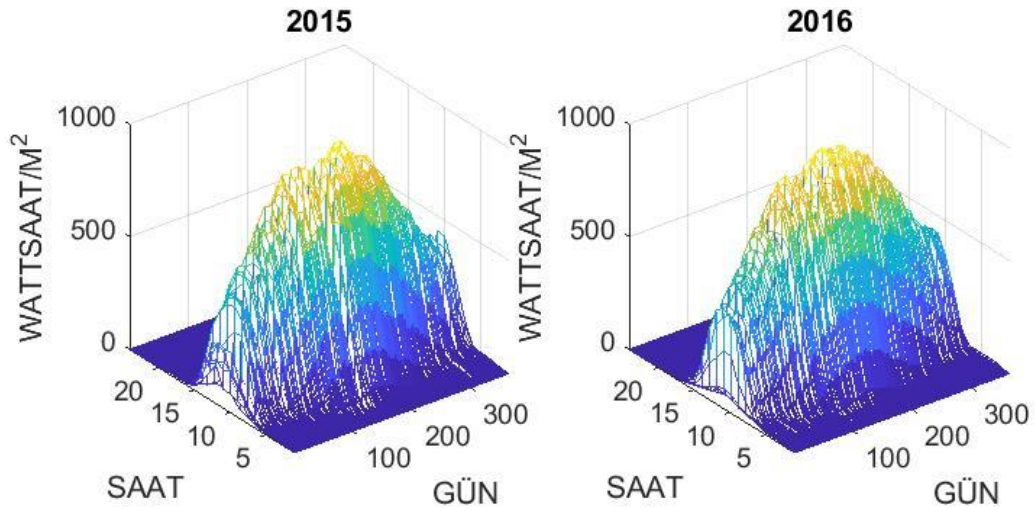
$$\alpha_{k_1} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N_1}}, & k_1 = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{N_1}}, & N_1 \geq k_1 > 1 \end{cases}, \quad \alpha_{k_2} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N_2}}, & k_2 = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{N_2}}, & N_2 \geq k_2 > 1 \end{cases} \quad (4.39)$$

Hibrit model, 2B-AKD'nin ters dönüşümüne de ihtiyaç duyar (2B-TAKD), bu da şu şekilde genelleştirilebilir (4.40):

$$x[n_1, n_2] = \sum_{k_1=1}^{N_1} \sum_{k_2=1}^{N_2} \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} y[k_1, k_2] \cos\left(\frac{\pi(2n_1+1)k_1}{2N_1}\right) \cos\left(\frac{\pi(2n_2+1)k_2}{2N_2}\right)$$

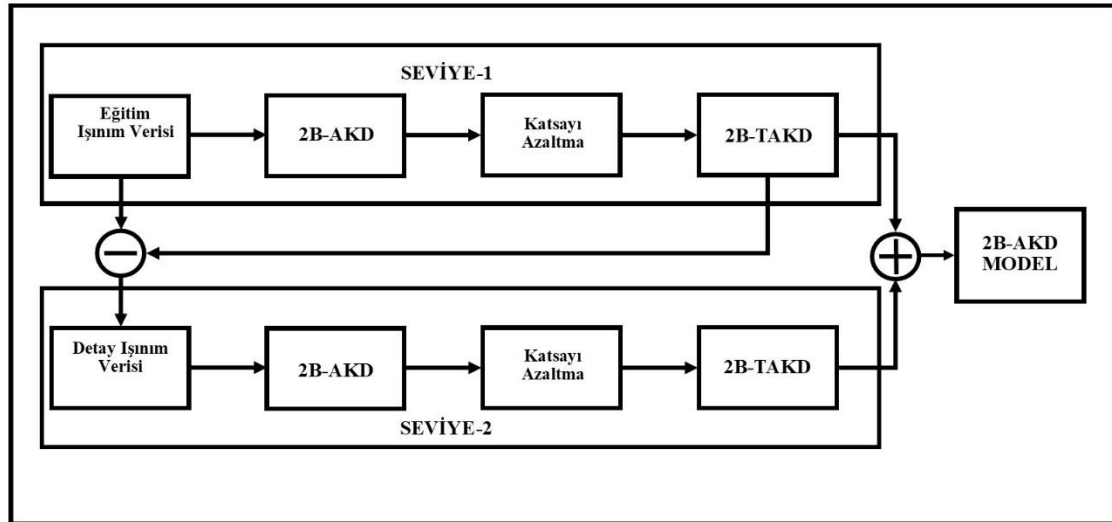
$$\alpha_{k_1} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N_1}}, & k_1 = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{N_1}}, & N_1 \geq k_1 > 1 \end{cases}, \quad \alpha_{k_2} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N_2}}, & k_2 = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{N_2}}, & N_2 \geq k_2 > 1 \end{cases} \quad (4.40)$$

Önerilen modelde, model yapımı için Ankara şehrinin 2015 ve 2016 yıllarına ait iki yıllık saatlik ışınlama verileri kullanılmıştır. İlk yıl verileri (2015) 2B-AKD modelinin yapımı için kullanılmış ve modelin test edilmesinde ikinci yıl verileri kullanılmıştır. Veriler Şekil 4.10'da gösterilebilir.



Şekil 4.10. Ankara için 2015 ve 2016 yılına ait güneş ışınımı

Model iki seviyeli 2B-AKD modelini içermektedir. Işınlama verilerinin güçlü harmoniklerinin birinci seviye modeller. İkinci seviye, ışınlama verilerinin ayrıntılı harmoniklerini modeller. Model, Şekil 4.11’de blok diyagram olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Güneş ışınımı için 2B-AKD modeli

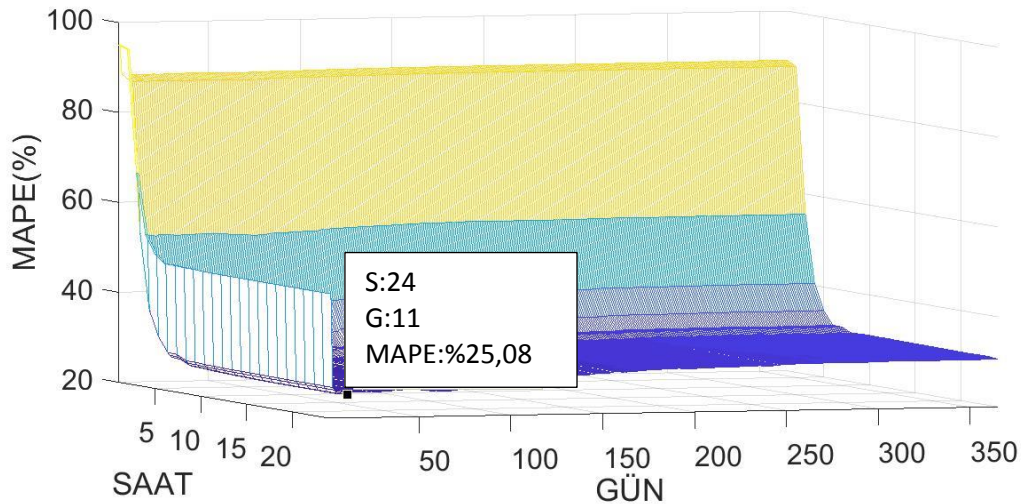
Bir yıllık dönem için saatlik veri 365x24 örnek içerir. Bu nedenle, verilerin 2B-AKD dönüşümü 365x24 katsayı içerir. (4.39) ve (4.40) olarak güneş ışınımı verileri için (4.41) ile modifiye edilebilir.

$$\begin{aligned}
y_{\text{Level1}}[k_1, k_2] &= \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} I_{2015}[g, s] \cos\left(\frac{\pi(2g+1)k_1}{730}\right) \cos\left(\frac{\pi(2s+1)k_2}{48}\right) \\
\hat{I}_{\text{Seviye1}}[g, s] &= \sum_{k_1=1}^G \sum_{k_2=1}^S \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} y_{\text{Seviye1}}[k_1, k_2] \cos\left(\frac{\pi(2g+1)k_1}{730}\right) \cos\left(\frac{\pi(2s+1)k_2}{48}\right) \\
\alpha_{k_1} &= \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{365}}, & k_1 = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{365}}, & k_1 > 1 \end{cases}, \quad \alpha_{k_2} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{24}}, & k_2 = 1 \\ \sqrt{\frac{1}{12}}, & k_2 > 1 \end{cases}
\end{aligned} \tag{4.41}$$

I güneş ışınımını, g gün değişkenini ve s da saat değişkenini ifade eder. Tüm $y_{\text{Seviye1}}[k_1, k_2]$ katsayıları 2B-IAKD için kullanılırsa D 365'e, H da 24'e eşittir.

Ancak genelleştirilmiş modelde tüm $y_{\text{Level1}}[k_1, k_2]$ katsayılarına ihtiyaç yoktur. Yeterli enküçük mutlak yüzde hataya (MAPE) düşürebilen katsayı adedine düşürülebilir. Katsayı düşürme kriteri denklem (4.42)'de ve Seviye-1 2B-AKD modeli için mümkün olan tüm (G, S) kombinasyonlar için MAPE, Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

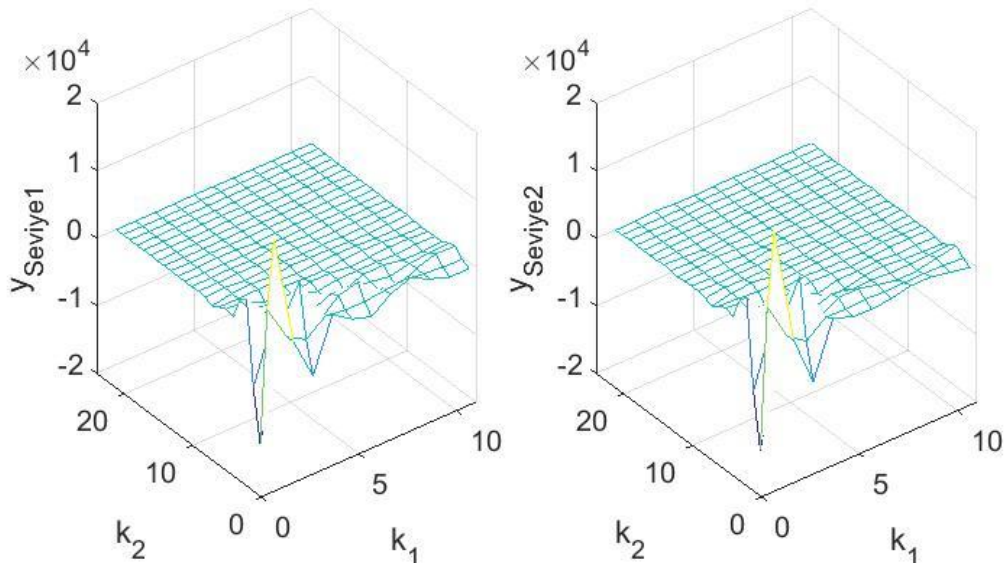
$$\begin{aligned}
\text{MAPE}(I_{2016}, \hat{I}_{\text{Seviye1}}) &= \frac{100\%}{365 \times 24} \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} \left| \frac{I_{2016}(g, s) - \hat{I}_{\text{Seviye1}}(g, s)}{I_{2016}(g, s)} \right| \\
(G, S) &= \arg \min_{(G, S)} [\text{MAPE}(I_{2016}, \hat{I}_{\text{Seviye1}})]
\end{aligned} \tag{4.42}$$



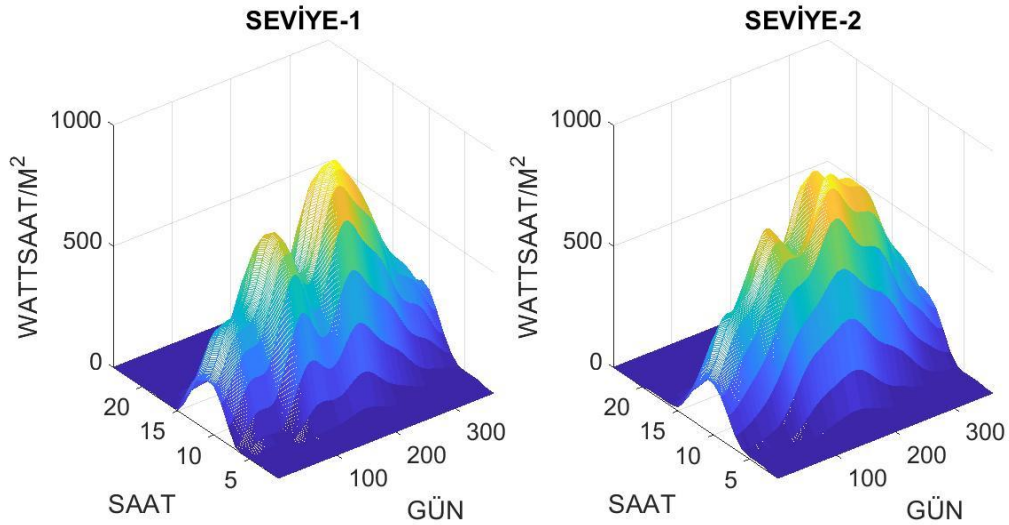
Şekil 4.12. Seviye-1 2B-AKD modelinin MAPE değeri

Denklem (4.42) ve Şekil 4.12'e göre minimum MAPE; G 11, S 24 (4) alındığında elde edilmektedir. Bu sebeple 2B-AKD modeli 365x24=8760 katsayı yerine 11x24=262 katsayı ile ifade edilebilir. Bu katsayı düşürme adımında 2B-AKD Modeli tüm modelinin sadece %3 ile ifade edilmiştir. Aynı düşürme işlemini Seviye-2'de de uygulandığında tüm model 262 katsayı ile denklem (4.43)'de ve katsayılar için hesaplanan değerler Şekil 4.13'de şu şekilde gösterilebilir. Bir seviye ve iki seviyeli 2B-AKD modelinin güneş ışınımı tahmini Şekil 4.14'de görülebilir.

$$\begin{aligned}
 \hat{I}_{Seviye1}[d, h] &= \sum_{k_1=1}^{11} \sum_{k_2=1}^{24} \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} y_{Seviye1}[k_1, k_2] \cos\left(\frac{\pi(2d+1)k_1}{730}\right) \cos\left(\frac{\pi(2h+1)k_2}{48}\right) \\
 e_{Seviye1}[d, h] &= I_{2015}[d, h] - \hat{I}_{Seviye1}[d, h] \\
 y_e[k_1, k_2] &= \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} e_{Seviye1}[d, h] \cos\left(\frac{\pi(2d+1)k_1}{730}\right) \cos\left(\frac{\pi(2h+1)k_2}{48}\right) \\
 y_{Seviye2}[k_1, k_2] &= y_{Seviye1}[k_1, k_2] + y_e[k_1, k_2] \\
 \hat{I}_{Seviye2}[d, h] &= \sum_{k_1=1}^{11} \sum_{k_2=1}^{24} \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} y_{Seviye2}[k_1, k_2] \cos\left(\frac{\pi(2d+1)k_1}{730}\right) \cos\left(\frac{\pi(2h+1)k_2}{48}\right) \\
 \alpha_{k_1} &= \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{365}}, & k_1 = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{365}}, & k_1 > 1 \end{cases}, \quad \alpha_{k_2} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{24}}, & k_2 = 1 \\ \sqrt{\frac{1}{12}}, & k_2 > 1 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.43}$$



Şekil. 4.13. Seviye-1 ve Seviye-2 2B-AKD modeli için $y[k_1, k_2]$ katsayıları



Şekil 4.14. Seviye-1 ve Seviye-2 2B-AKD modellerinin tahminleri

4.2.2. İki boyutlu mycielski algoritması

2B-Mycielski algoritması araştırma temelli tahim algoritmasıdır. 2 Boyutlu Mycielski algoritması verinin sonsuz geçmişindeki tekrar eden en geniş örüntüyü bulup, bu örüntünün bir önceki görüldüğü yerden sonraki örnek değerini tahmin değeri olarak kabul etmeye dayanmaktadır (Hocaoğlu, vd., 2009). Bu algoritma, 1B-Mycielski algoritmasının türevinden elde edilmiştir (Pennebaker, vd., 1993), denklem (4.44) ile göstermek mümkündür:

$$\hat{x}[n+1] = f_{\text{IB-MYC}}(x[1], \dots, x[n])$$

$$p = \operatorname{argmax}_i L \left\{ i \left| \begin{array}{l} x[i] = x[n], x[i-1] = x[n-1] \\ \dots, x[i-L+1] = x[n-L+1] \end{array} \right. \right\}, \text{öyleki } L < i < (n-L+1) \quad (4.44)$$

$$f_{\text{IB-MYC}}(x[1], \dots, x[n]) = x[p+1]$$

2B-Mycielski algoritması denklem (4.44)'in iki boyutlu modifikasyonu ile denklem (4.45)'de olduğu gibi genelleştirilebilir:

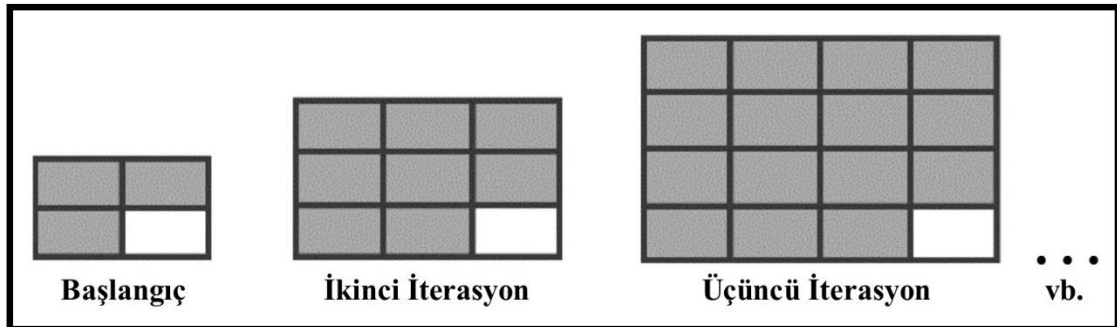
$$\hat{x}[n_1 + 1, n_2 + 1] = f_{2B-MYC} \left(\begin{array}{c} x[1,1], x[1,2], x[2,1], x[2,2], \\ \dots, x[n_1 + 1, n_2], x[n_1, n_2 + 1] \end{array} \right)$$

$$(p, q) = \arg \max_{(i,j)} L = \left\{ (i, j) \left| \begin{array}{l} x[i+1, j] = x[n_1 + 1, n_2], \\ x[i, j+1] = x[n_1, n_2 + 1], \\ x[i, j] = x[n_1, n_2], \dots, \\ x[i-L+1, j-L+1] = x[n_1 - L + 1, n_2 - L + 1] \end{array} \right. \right\}, \quad (4.45)$$

öyle ki $L < i < (n_1 - L + 1)$ ve $L < j < (n_2 - L + 1)$

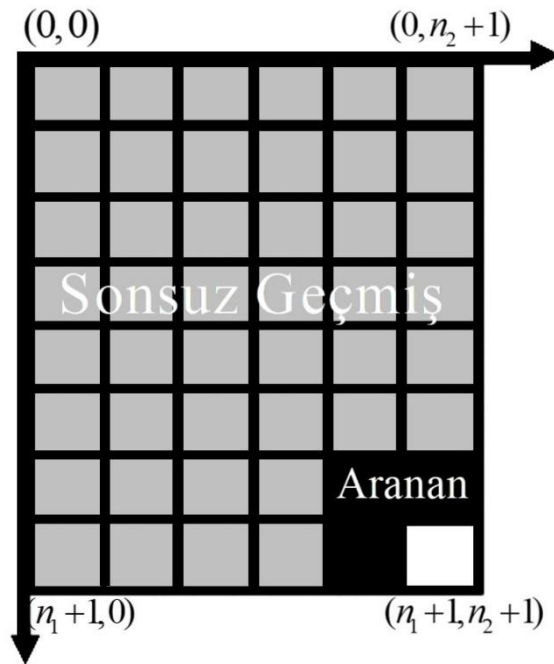
$$f_{2B-MYC} \left(\begin{array}{c} x[1,1], x[1,2], x[2,1], x[2,2], \\ \dots, x[n_1 + 1, n_2], x[n_1, n_2 + 1] \end{array} \right) = x[p+1, q+1]$$

2B-Mycielski algoritmasında, en yakın örüntünün belirlenmesi için iki önemli konu vardır. İlk konu, aranan modelin şeklidir. İkinci konu, her bir iterasyonda aranan modelin rutinini genişletmektir. 2B-Mycielski'nin uygulanan şekli ve genişleme rutini Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. 2B-Mycielski algoritmasının genişletme rutini

Sonsuz tarih, komşu (aranan) örüntünün önceki tekrarını taramak için 2B veri olduğu bölgedir. Sonsuz tarihin sınırları, tahmin edilecek numunenin endeks değerleri ile belirlenir, bu da tahmin edilecek numunenin sol üst köşesidir. Aranan örüntünün kesişiminden ve olası bir önceki tekrardan kaçınmak için komşu düzeni taranan bölgeden hariç tutulmalıdır. Aranan örüntü ve 2B-Mycielski'nin tek bir adımının sonsuz geçmişi Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. 2B-Mycielski algoritmasının sonsuz tarihi

Tahmin değeri (4.45)'e göre bulunan en büyük önceki tekrarlamanın sağ alt köşesindeki örnektir. En çok aranan örüntü için çoklu tekrarlama durumunda, en yakın olanı varsayılan tekrar olarak alınmalıdır. Bu nedenle, tarama rutini daha yakın bölgeden sonsuz tarihin daha uzak bölgesine olmalıdır.

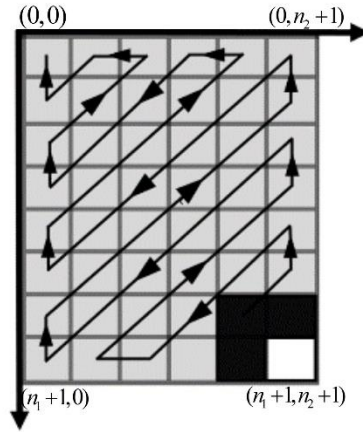
Bölgelerin yakınlığı, Minkowski mesafesi olarak da adlandırılan d_p metrikleriyle tanımlanır. Gerçek değerli R^n vektör uzayı için, iki nokta arasındaki d_p metriği denklem (4.46)'da tanımlanabilir.

$$d_p(x, y) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (4.46)$$

Tarama rutini için sonsuz sayıda seçenek vardır, çünkü (4.46)'daki p değeri sonsuz sayıdadır. Önerilen 2B-Mycielski algoritmasında Manhattan metriği, p değerinin 1 olarak alındığı d_p metriği için seçilmiştir. İki boyutlu gerçek değerli R^2 uzayı için, iki nokta arasındaki mesafe Manhattan metriğiyle denklem (4.47)'deki gibi ifade edilir.

$$d_1(x, y) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| \quad (4.47)$$

Tarama rutini, Manhattan metriğine göre Şekil 4.17'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 4.17. 2B-Mycielski algoritmasının manhattan metrik tabanlı tarama rutini

Komşuluk örüntüsünün karşılaştırması ve tekrar adayı benzerlik testi ile uygulanır. İkili Mycielski Algoritmasında, Hamming mesafesi benzerlik testi olarak kullanılmıştır (Forney, 1966). İki ikili dizinin Hamming mesafesi denklem (4.48) ile hesaplanmıştır.

$$d_{\text{Hamming}} = (c_1, c_2) = \sum_{i=1}^n [c_1[i] \oplus c_2[i]] \quad (4.48)$$

Hamming mesafesi, iki modeli aynı şekilde kabul etmek için sıfır olmalıdır. Aksi halde, farklı kabul edilirler. Gerçek değerli serilerde, benzerlik testi Hamming mesafesiyle benzer şekilleri yakalayamaz, çünkü gerçek bir değer tekrarlanamazdır. Hamming mesafesi yerine kullanılan toleranslı mesafe, gerçek değer problemlerini elde etmek için denklem (4.49) ile ifade edilir.

$$f_{\text{toleranslı}}(x_1, x_2) = \begin{cases} 0, & |x_1 - x_2| < \frac{\max\{|x_1|, |x_2|\}}{10} \\ 1, & |x_1 - x_2| \geq \frac{\max\{|x_1|, |x_2|\}}{10} \end{cases} \quad (4.49)$$

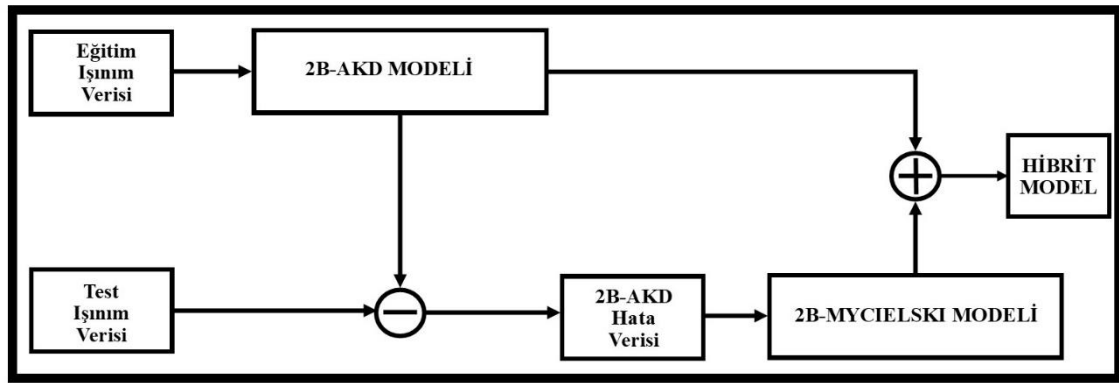
$$d_{\text{toleranslı}}(c_1, c_2) = \sum_i \sum_j f_{\text{toleranslı}}(c_1[i, j], c_2[i, j])$$

Hamming mesafesinde olduğu gibi, eğer ve sadece tolere edilen mesafe 0 ise, o zaman karşılaştırılan modeller benzer kabul edilecektir.

En küçük komşuluk örüntü sonsuz tarihte tekrarlanmazsa, orijinal Mycielski algoritmasında tahmin değeri sıfır olarak alınır. Önerilen 2B-Mycielski algoritması, varsayılan tahmini, komşu değerlerin ortalaması olarak $x[n_1, n_2 + 1]$ ve tekrarlanmamış komşular için sıfır yerine $x[n_1 + 1, n_2]$ olarak alır.

4.2.3. Önerilen deterministik-stokastik hibrit model

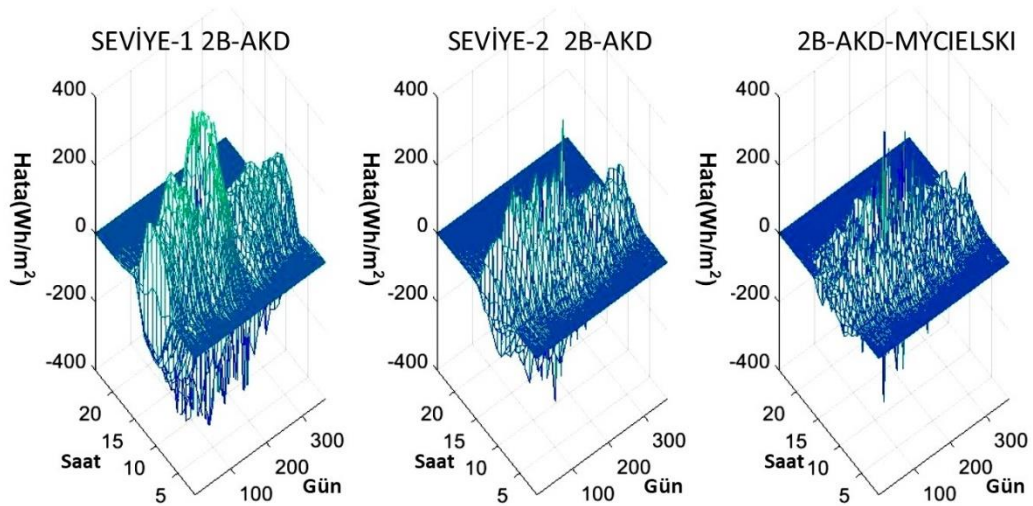
2B-AKD modeli tüm yılların tek (d, h) anı için aynı tahminleri veren deterministik bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, güneş ışınımı ayrıca her yıl farklı davranış gösteren stokastik bir bileşene sahiptir. Hibrit modelde, 2016 güneş ışınımı verileri için Seviye-2 2B-AKD Modelinin tahmin hatası, önerilen 2B-Mycielski algoritması ile tahmin edilir. 2B-AKD hatası ve 2B-AKD modelinin tahmininin toplamı, saatlik güneş ışınımı için en önemli tahminidir. Bu hibrit model, Şekil 4.18’de gösterilen ve denklem (4.50) ile ifade edilen bir blok diyagramı ile temsil edilir.



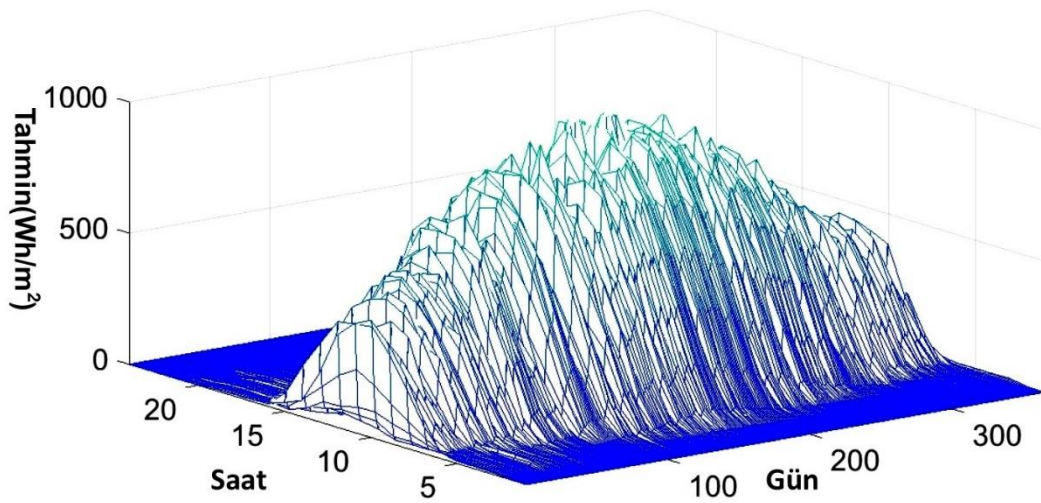
Şekil 4.18. Önerilen Deterministik-Stokastik hibrit modelin yapısı

$$\begin{aligned}
 e[d, h] &= I_{2016}[d, h] - \hat{I}_{\text{Level2}}[d, h] \\
 \hat{e}[d, h] &= f_{2\text{D-MYC}} \left(e[1, 1], e[1, 2], e[2, 1], e[2, 2], \right. \\
 &\quad \left. \dots, e[d-1, h], e[d, h-1] \right) \\
 \hat{I}_{\text{Hibrit}}[d, h] &= \hat{I}_{\text{Seviye2}}[d, h] + \hat{e}[d, h]
 \end{aligned} \tag{4.50}$$

Seviye-1 2B-AKD, Seviye-2 2B-AKD ve hibrit modelin karşılaştırmalı tahmin hataları Şekil 4.19’ da gösterilebilir ve Şekil 4.20’de hibrit modelin tahmini görülebilir.

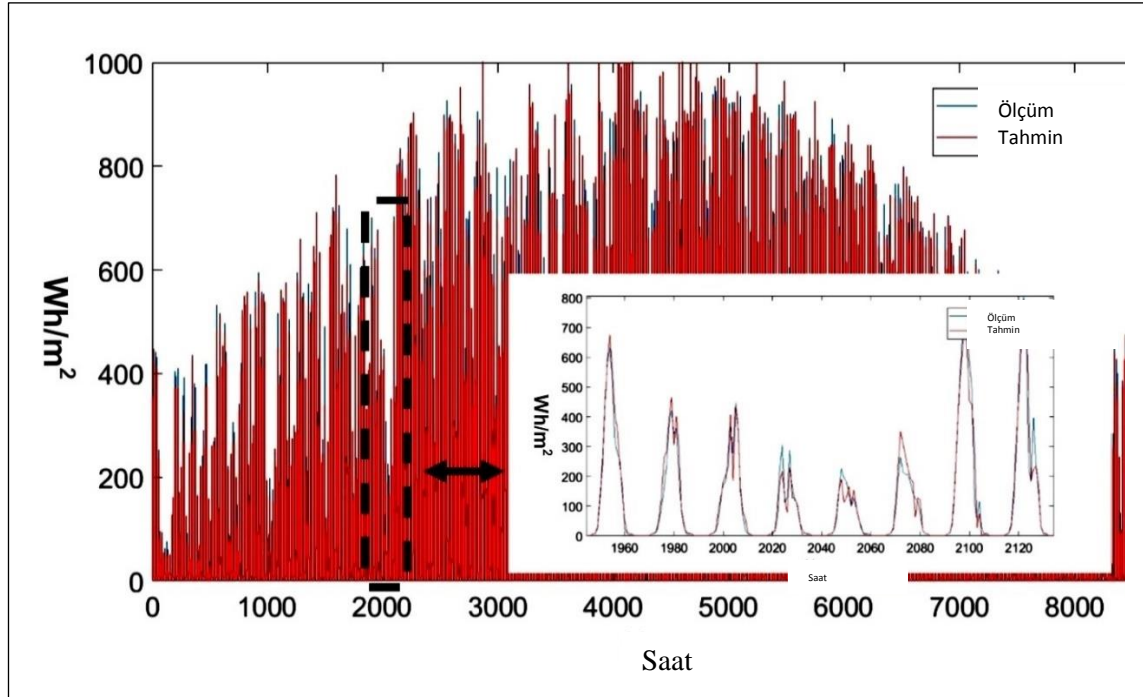


Şekil 4.19. Seviye-1 2B-AKD, Seviye-2 2B-AKD ve 2B-AKD-Mycielski’nin tahmin hataları



Şekil 4.20. Ankara için 2B-AKD-Mycielski hibrit modelinin tahmin edilmesi (2016)

Şekil 4.21’de hibrit modelin karşılaştırmalı tahmini ve kesin ölçülen değerler tek boyutlu gösterimde gösterilmiştir.



Şekil 4.21. 2B-AKD-Mycielski modeli tahmini ve ankara için kesin ölçümler (2016)

Çizelge 4.10, 2015 ve 2016 yıllarında Ankara'nın saatlik güneş ölçüm verilerinin RMS, ortalama (μ), standart sapma (σ) ve varyans (σ^2) değerlerini ve Seviye-1 2B-AKD, Seviye-2 2B-AKD modeli ve hibrit 2B-AKD-Mycielski modelilerinin tahmin verilerini göstermektedir.

Çizelge 4.10. Ölçme ve tahmin verilerinin istatistiksel özellikleri

	RMS	μ	σ	σ^2
Ölçüm (Ankara-2015)	304.	173.	250.	62940
	7902	1018	8785	
Ölçüm (Ankara-2016)	319.	184.	261.	68234
	5962	1625	2158	
SEVİYE-1 2B-AKD (Ankara)	292.	173.	236.	55849
	9279	1018	3236	
SEVİYE-2 2B-AKD (Ankara)	318.	184.	259.	67507
	4575	1625	8211	
2B-AKD-MYCIELSKI HİBRİT (Ankara)	319.	184.	260.	67908
	1048	1933	5925	

Kestiricinin performansı çeşitli parametrelerle ölçülebilir. En subjektif parametreler göreceli hata kareleri kökü ortalaması (rRMSE%), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE%), korelasyon katsayısı (R) ve R^2 (Hocaoglu, vd., 2017) olarak listelenebilir.

Göreceli hata kareleri kökü ortalaması denklem (4.51) olarak tanımlanır.

$$\text{rRMSE\%} = \frac{\sqrt{\frac{1}{365 \times 24} \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (I(d,h) - \hat{I}(d,h))^2}}{\frac{1}{365 \times 24} \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (I(d,h))} \times 100\% = \frac{\text{RMSE}(I, \hat{I})}{E[I]} \times 100\% \quad (4.51)$$

Ortalama mutlak hata yüzdesi (4.52):

$$\text{MAPE\%} = \frac{100\%}{365 \times 24} \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} \left| \frac{I(d,h) - \hat{I}(d,h)}{I(d,h)} \right| \quad (4.52)$$

Korelasyon katsayısı R (4.53):

$$R = \frac{\sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (I(d,h) - E[I]) (\hat{I}(d,h) - E[\hat{I}])}{\sqrt{\sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (I(d,h) - E[I])^2} \cdot \sqrt{\sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (\hat{I}(d,h) - E[\hat{I}])^2}} \quad (4.53)$$

R^2 (4.54):

$$R^2 = \frac{\left[(365 \times 24) \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} [I(d,h) \hat{I}(d,h)] \right] - \left[\sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (I(d,h)) \right] \left[\sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (\hat{I}(d,h)) \right]}{\sqrt{\left[(365 \times 24) \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (I(d,h))^2 \right] - \left[\sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (I(d,h)) \right]^2} \cdot \sqrt{\left[(365 \times 24) \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (\hat{I}(d,h))^2 \right] - \left[\sum_{d=1}^{365} \sum_{h=1}^{24} (\hat{I}(d,h)) \right]^2}} \quad (4.54)$$

Bu parametrelere göre 2B-AKD ve hibrit modelinin kıyaslamalı performansları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.11. Önerilen modellerin karşılaştırması

	rRMSE%	MAPE%	R	R ²
SEVİYE-1 2B-AKD (Ankara)	51.2445	25.08	0.9339	0.9339
SEVİYE-2 2B-AKD (Ankara)	14.6367	6.8761	0.9947	0.9947
2B-AKD-MYCIELSKI HYBRID (Ankara)	10.5662	4.9633	0.9972	0.9972
MYCIELSKI-MARKOV(Akarşlan, 2016) (Afyon)	39.4	13	0.8511	0.8506
MYCIELSKI-MARKOV(Akarşlan, 2016) Antalya)	36.3	10.7554	0.8479	0.8320
GSRHS(Pandey, 2012)	NA*	16	0.98	0.99
SIMILARITY BASED(Akarşlan, 2017) (Afyon)	24.1407	14.7709	0.9572	NA*

*Elde Edilemez

Katkı

2015 ve 2016 yıllarına ait saatlik güneş ışınım verileri, Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

4.3. Güneş Enerjisinden Faydalanan Raylı Sistem Modellemesi

Burada iki farklı çalışma yapılmıştır. İlk olarak, şebeke bağlantılı bir fotovoltaik (PV) sistemin hızlı tren hattını beslediği düşünülerek yıllık olarak Eskişehir-Ankara Yüksek Hızlı Tren (YHT) hattında yapılan; her gün beş gidiş seferinin, güç ihtiyacının ne kadar bir bölümünü destekleyebileceği bulunmuştur. İkinci olarak ise yine şebeke bağlantılı olarak güneş ışığının olduğu saatler için yıllık olarak Eskişehir-Ankara tren hattında yapılan; her gün dört gidiş seferinin, güç ihtiyacının ne kadar bir bölümünü destekleyebileceği bulunmuştur. İlk çalışmada tüm gün güneş enerjisinden faydalanılırken ikinci çalışmada sadece sefer anındaki güneş enerjisinden güç ihtiyacı karşılanmıştır (Sertsoz, vd., 2018,b).

Bu çalışmalar yapılırken daha önceki bölümde verilen (bknz. bölüm 4.2) tahmin yöntemlerinden ve meteorolojiden alınan verilerden faydalanılmıştır.

4.3.1. Şebeke bağlantılı bir PV sistem ile YHT güç ihtiyacının karşılanması

Güneş panellerinden elde edebilecek maksimum gücü şu şekilde ifade etmek mümkündür (Chen, vd., 2012; Tao, vd., 2010; Basaran Filik, vd., 2018):

$$P(t) = \eta AG(t)(1 - 0.005(T(t) - 25)) \quad (4.55)$$

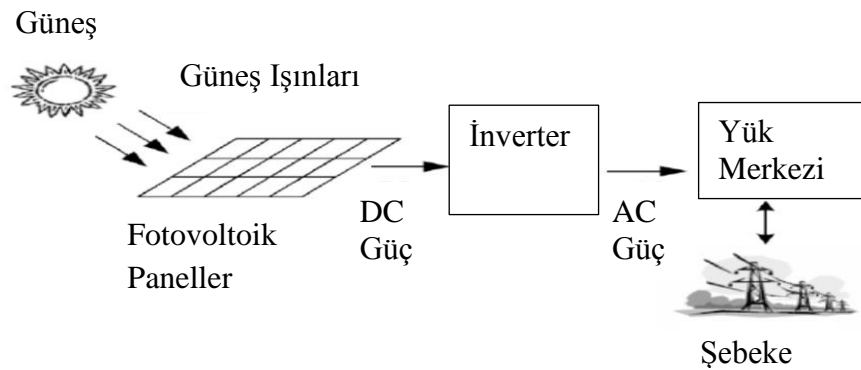
η , sistem verimi;

A, toplam panel alanı (m^2);

H, PV dizisinin fotoelektrik dönüşüm verimliliği (%);

G (t) zamanla değişen küresel güneş radyasyonu değeri (Watt / m^2);

T (t), t zamandaki ortam sıcaklığı değeridir ($^{\circ}C$).



Şekil 4.22. Şebeke bağlantılı PV sistem

Şekil 4.22'de şebekeye direk bağlantılı bir sistem gösterilmiştir. Bu çalışmada da güneş enerjisinden sağlanan güç akülerde depolanmadan direk olan hızlı trenin bulunduğu hatta verilecektir.

Bu çalışmada kablo verimlilikleri %100 kabul edilmiştir. Sıcaklıktan kaynaklı panel verim düşüşü hesaba katılmamıştır. Panel verimi %19'dur (polikristal panel) (lanitenergy, 2018). İnverter verimi ise %98'dir (library.e.abb, 2018).

Meteorolojiden alınan sıcaklık bilgileri bazı saatlere ait veri yer almamaktadır. Bu saatler için bir önceki günün aynı saatinin verisi alınarak hesaplama yapılmıştır.

Sistemin on-grid (şebekeye veya yüke bağlı) olduğu düşünüldüğünden aküye ihtiyaç yoktur. On-grid inverter seçimi kurulum yapılacak toplam güç dikkate alınarak

hesaplanır. On-gridin bir çeşidi olan merkezi inverterler büyük güçlerde santrallerde ve tek bir noktadan idare edilmek istenen sistemlerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada da merkezi inverter kullanılmıştır. Güneş paneli yerleştirilmesi planlanan alan sadece 100m²'dir.

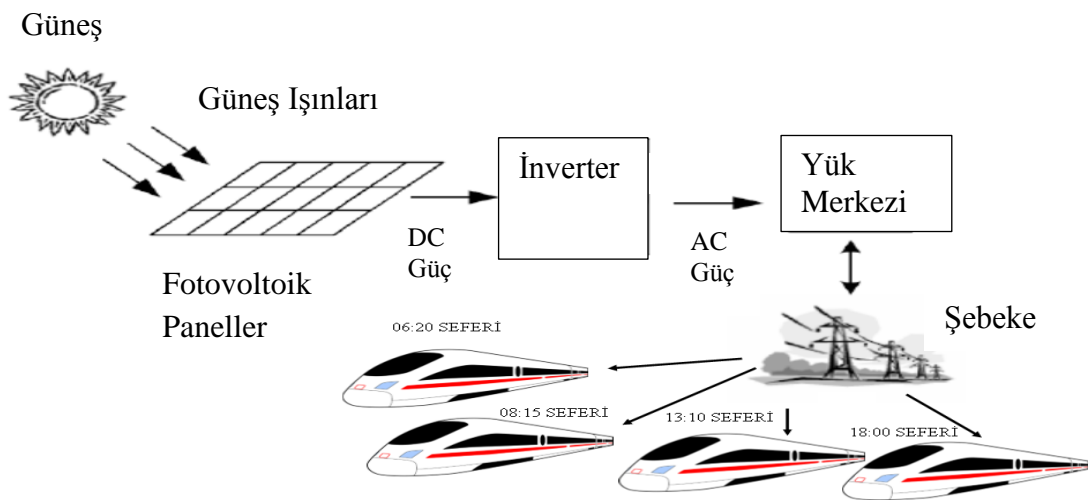
Tren Ankara-Eskişehir arası gerçekte olduğu gibi beş sefer yapmaktadır. Harcadığı toplam güç günlük 30.000.000 Watt'dır. Panellerle eşitlik (1) kullanılarak yapılan hesaplamada YHT senelik olarak kullandığı gücün yüzde kaçını güneş enerjisinden karşılayabileceği daha önce değinilen tahmin yöntemleri ve gerçek veriler ile hesaplanmıştır.

Çizelge 4.12. Güneş enerjisi ile YHT'nin senelik gücünü karşılama oranları

Seviye1_AKD_2015	Seviye2_AKD_2015	Gerçek_2015	mycelski_hyb_2016	Gerçek_2016
%16,775	%17,281	%16,729	%17,236	%17,236

Çizelge 4.12'de verilen değerler bir senelik ortalama değerler olup bazı günler bu oran %32'lere kadar çıkarken bazı günlerde %1'in bile altında kalmıştır. Bu çalışma aslında 100 m² gibi küçük bir alanla bile trenin ihtiyaç duyduğu güce ne denli büyük bir katkı sağlayacağını göstermiştir.

4.3.2. Şebeke bağlantılı bir PV sistem ile YHT seferlik güç ihtiyacının karşılanması



Şekil 4.23. Şebeke bağlantılı PV sistem ve seferler

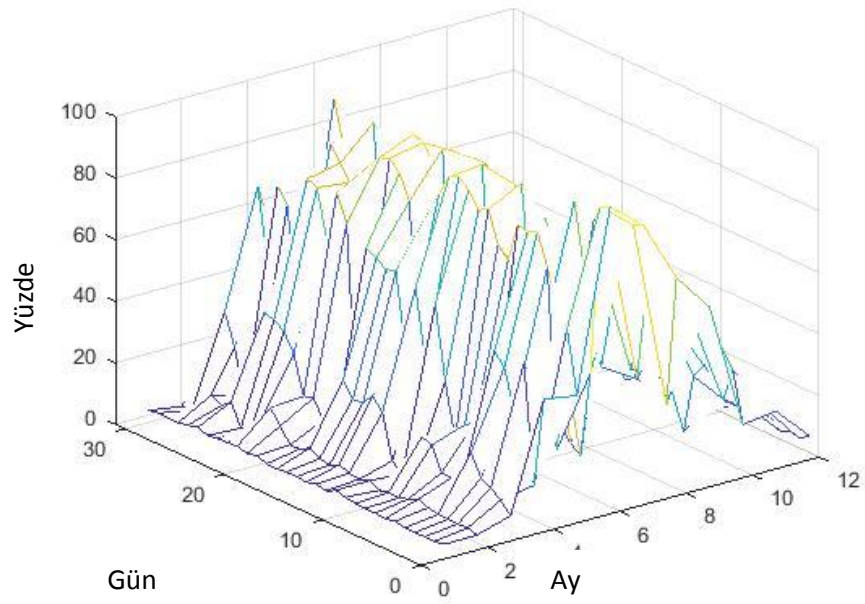
Bu çalışmada da güneş enerjisinden sağlanan güç akülerde depolanmadan direk olarak şebekeye verilmektedir ve farklı sefer saatlerinin güç ihtiyacının ne kadarını bu karşılanabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada kablo verimlilikleri %100 kabul edilmiştir. Sıcaklıktan kaynaklı panel verim düşüşü hesaba katılmamıştır. Panel verimi %19'dur (polikristal panel) (lanitenergy, 2018). İnverter verimi ise %98'dir (library.e.abb, 2018).

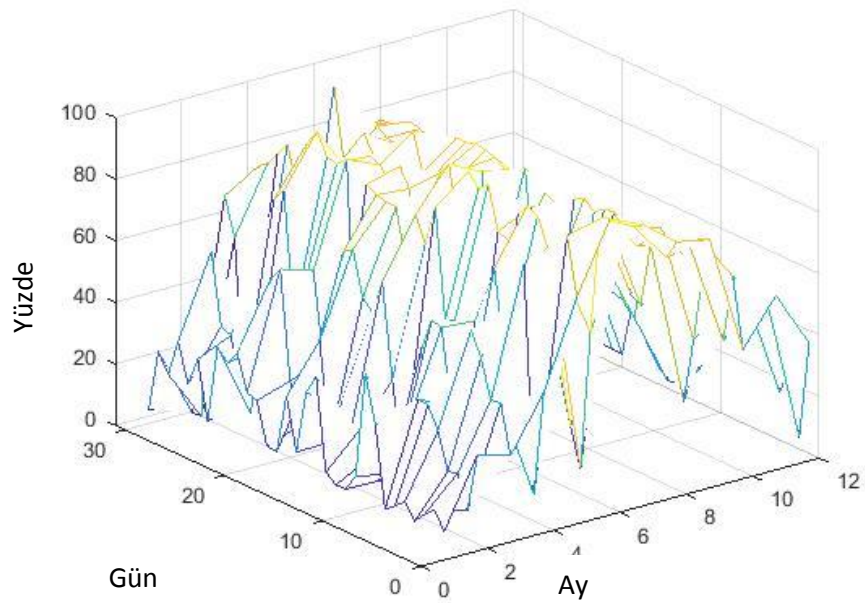
Meteorolojiden alınan sıcaklık bilgileri bazı saatlere ait veri yer almamaktadır. Bu saatler için bir önceki günün aynı saatinin verisi alınarak hesaplama yapılmıştır.

Sistemin on-grid (şebekeye veya yüke bağlı) olduğu düşünüldüğünden aküye ihtiyaç yoktur. Bu çalışmada da merkezi inverter kullanılmıştır. Güneş paneli yerleştirilmesi planlanan alan Polatlı YHT Garının çatısının ölçüsünün bir kısmı olan 1000 m²'dir (TCDD).

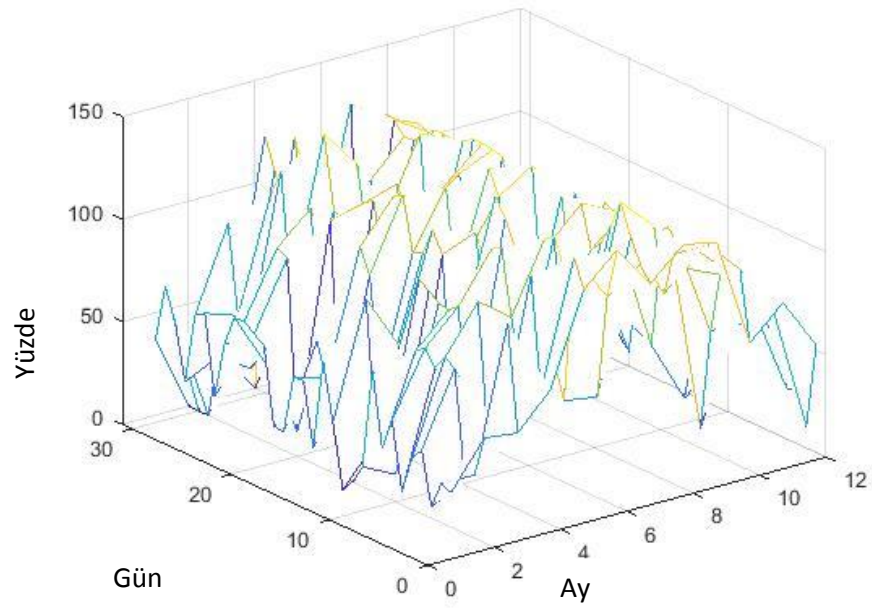
Tren Eskişehir-Ankara arası gerçekte olduğu gibi beş sefer yapmaktadır. Sefer başına harcadığı güç de 6.000.000 Watt'dır. Bu seferlerden dördü güneş ışığının olduğu saatlerde gerçekleşmektedir (meteorolojiden alınan bilgilerde bu dört sefer için ışınım bilgisi mevcuttur) Panellerle eşitlik (1) kullanılarak yapılan hesaplamada YHT yaptığı her sefer için ihtiyaç duyduğu gücün yüzde kaçını güneş enerjisinden karşılayabileceği daha önce değinilen tahmin yöntemleri ve gerçek veriler ile hesaplanmıştır. Aşağıdaki şekillerde 24x365 şeklinde; 2015 orijinal, Seviye-1 AKD Yöntemi ile tahmin, Seviye-2 AKD Yöntemi ile tahmin, 2016 orijinal, hibrit yöntem ile tahmin edilen güç tüketiminin; YHT güç tüketiminin yüzde kaçının karşılanabileceği öngörüsü verilmiştir.



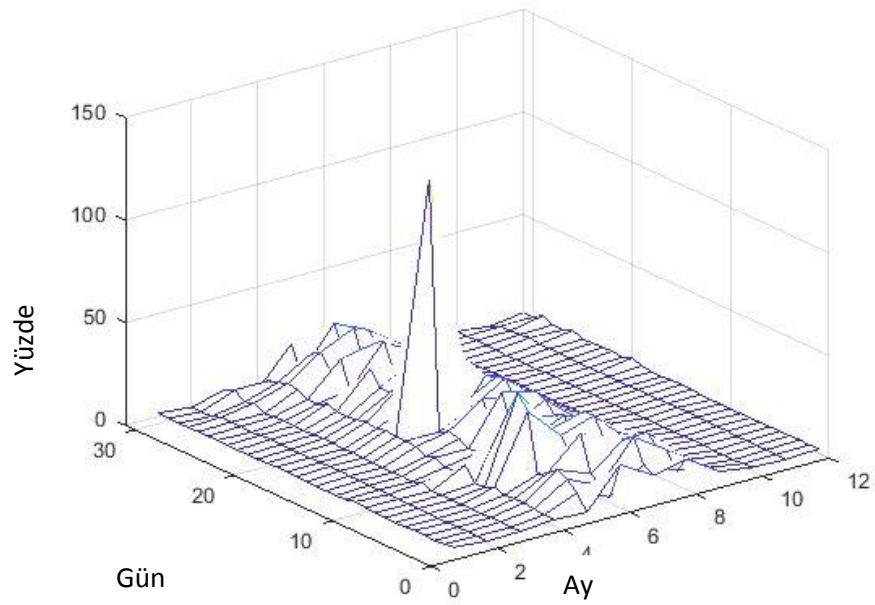
Şekil 4.24. 2015 orijinal güneş ışınım verileri ile 06:20 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



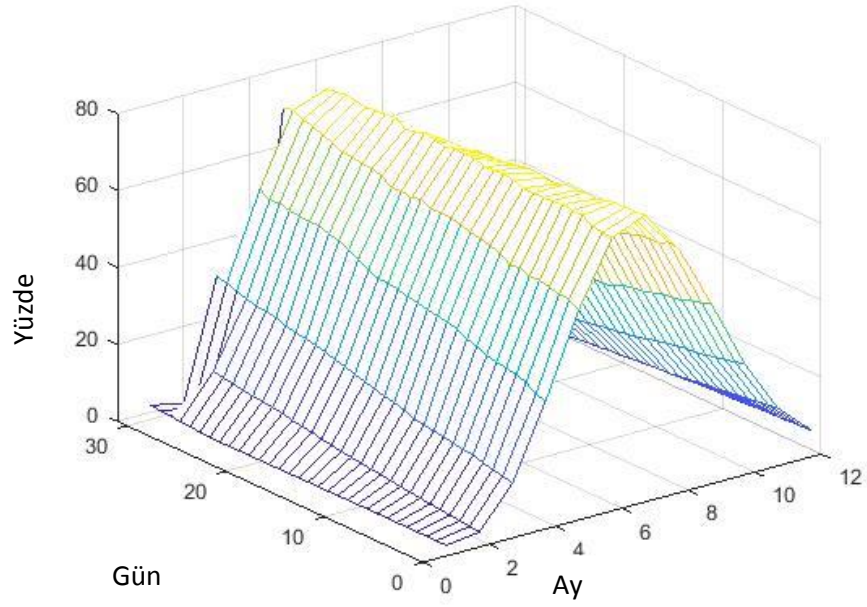
Şekil 4.25. 2015 orijinal güneş ışınım verileri ile 08:15 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



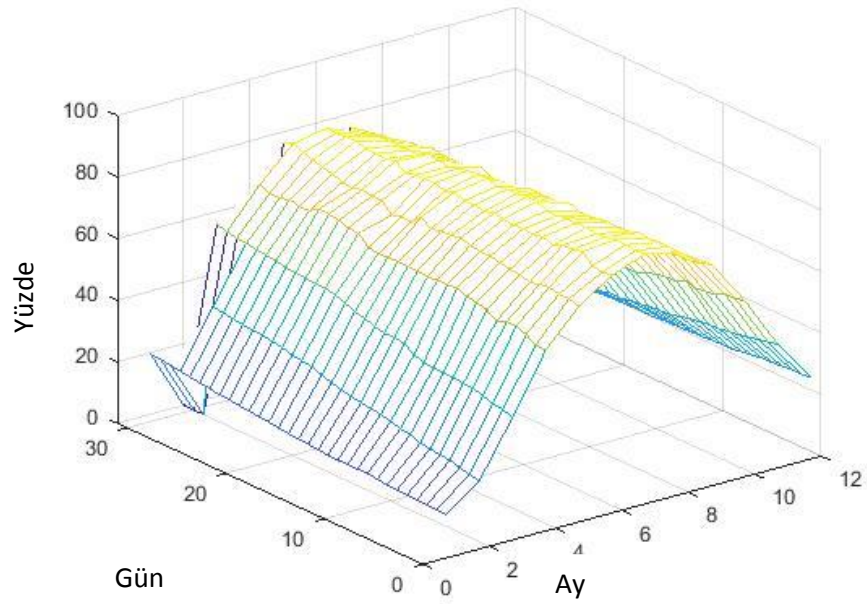
Şekil 4.26. 2015 orijinal güneş ışınım verileri ile 13:10 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



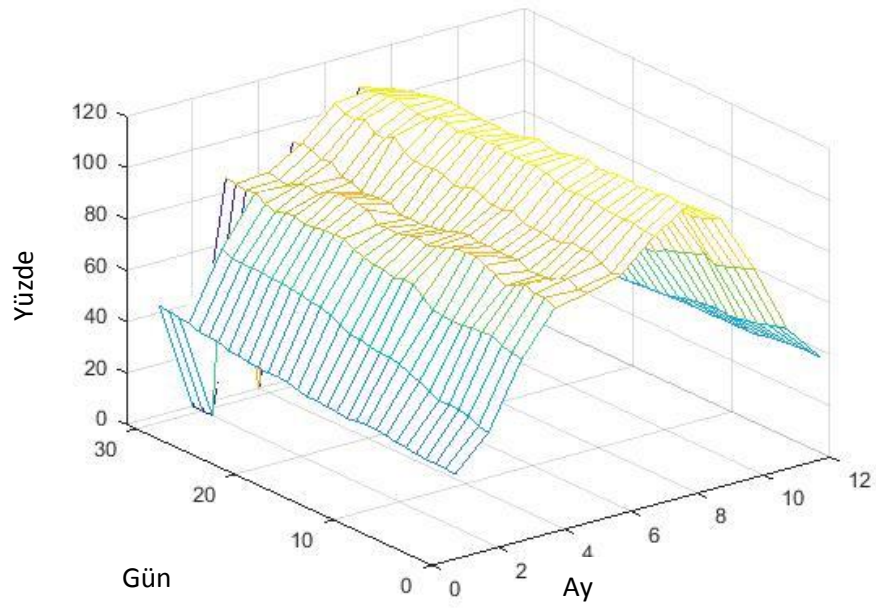
Şekil 4.27. 2015 orijinal güneş ışınım verileri ile 18:00 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



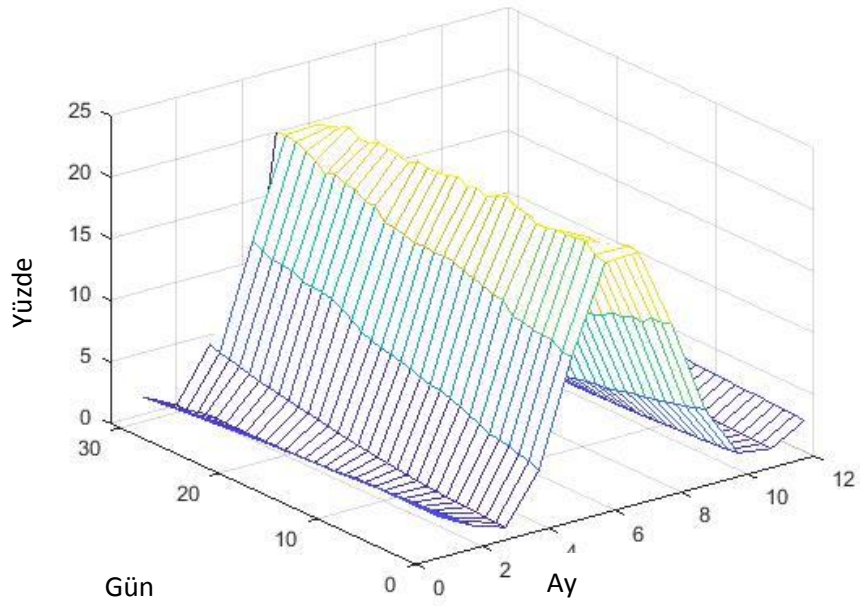
Şekil 4.28. seviye-1 AKD güneş ışınım verileri ile 06:20 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



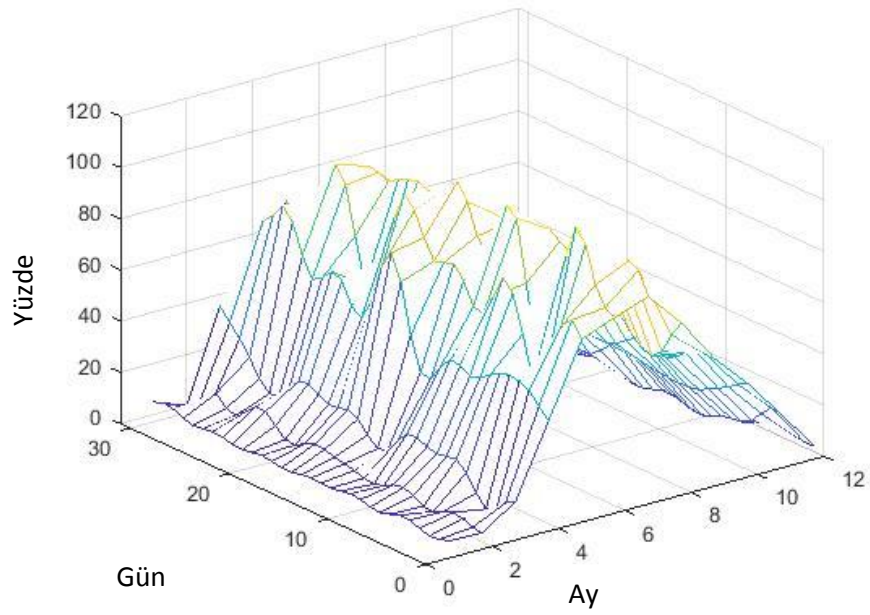
Şekil 4.29. Seviye-1 AKD güneş ışınım verileri ile 08:15 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



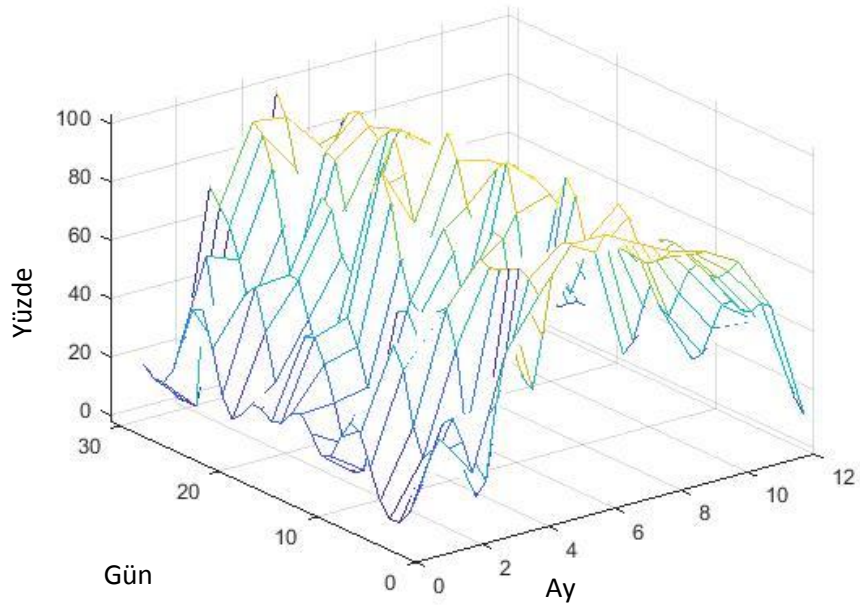
Şekil 4.30. Seviye-1 AKD güneş ışınım verileri ile 13:10 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



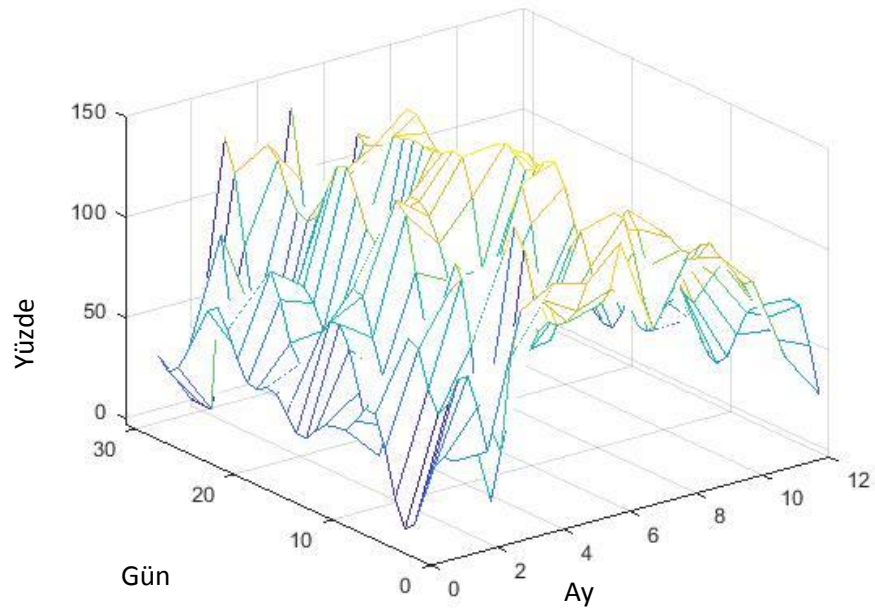
Şekil 4.31. Seviye-1 AKD güneş ışınım verileri ile 18:00 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



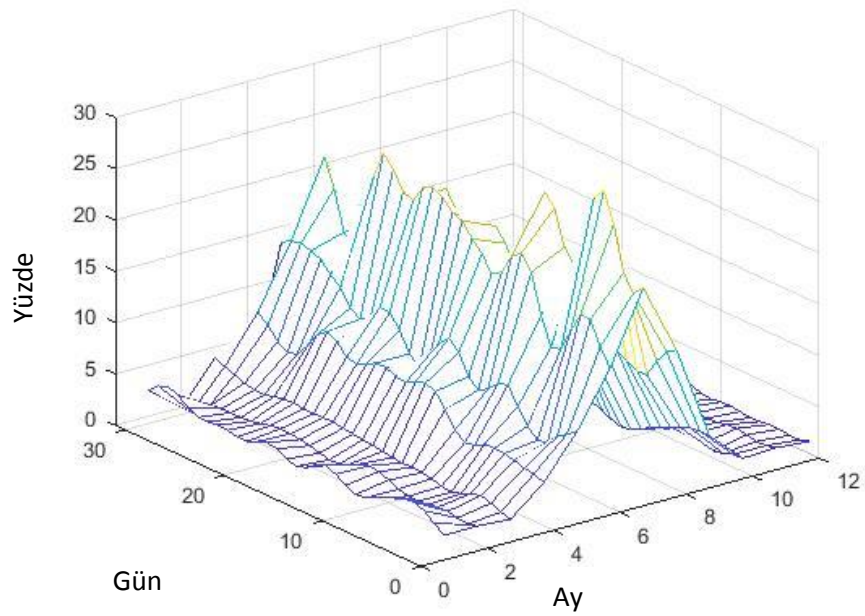
Şekil 4.32. Seviye-2 AKD güneş ışınım verileri ile 06:20 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



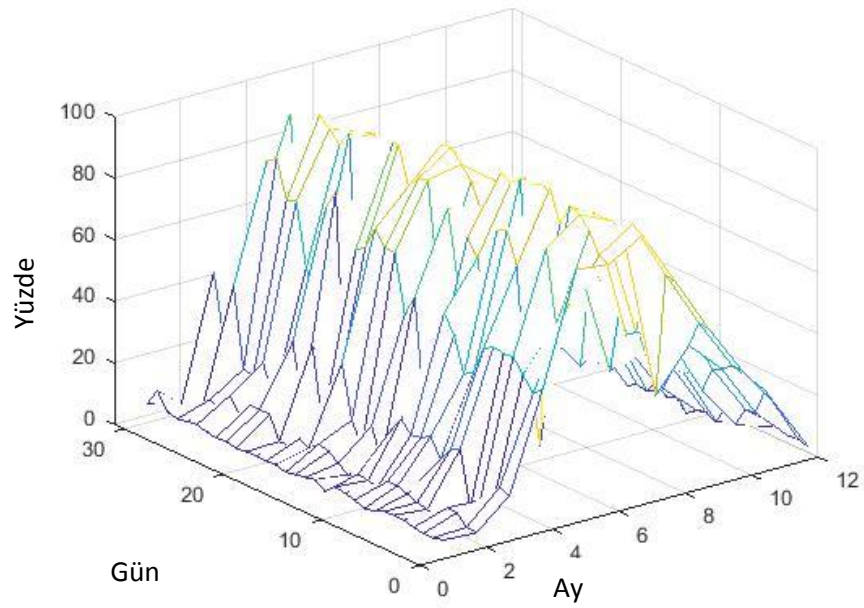
Şekil 4.33. Seviye-2 AKD güneş ışınım verileri ile 08:15 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



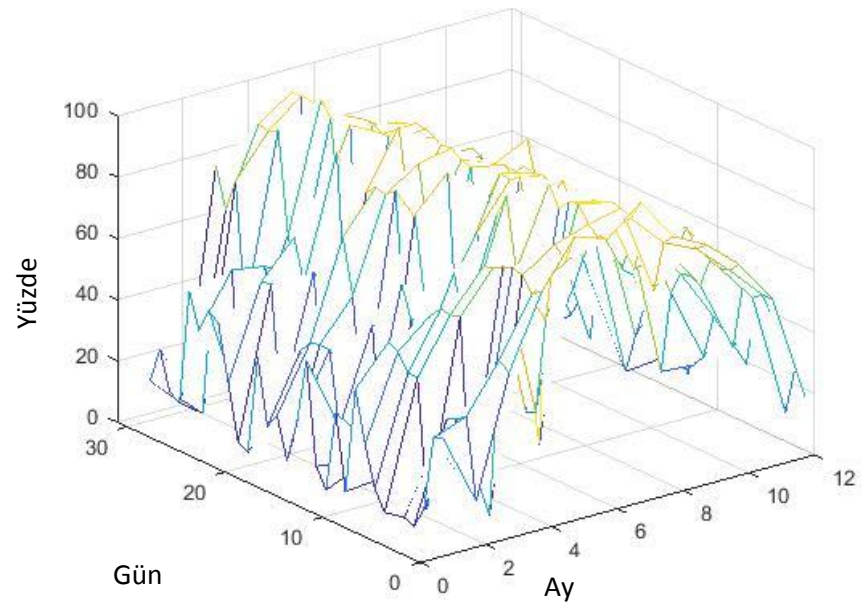
Şekil 4.34. Seviye-2 AKD güneş ışınım verileri ile 13:10 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



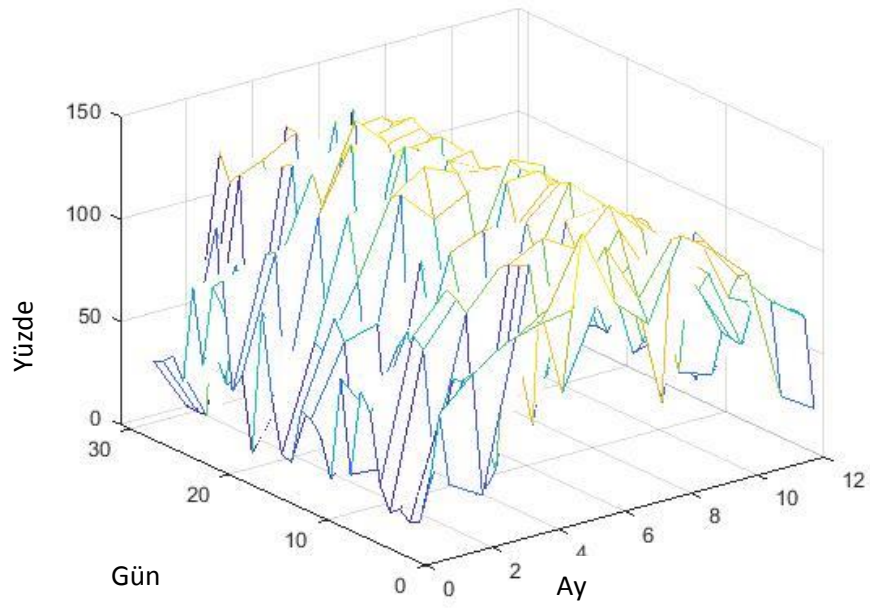
Şekil 4.35. Seviye-2 AKD güneş ışınım verileri ile 18:00 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



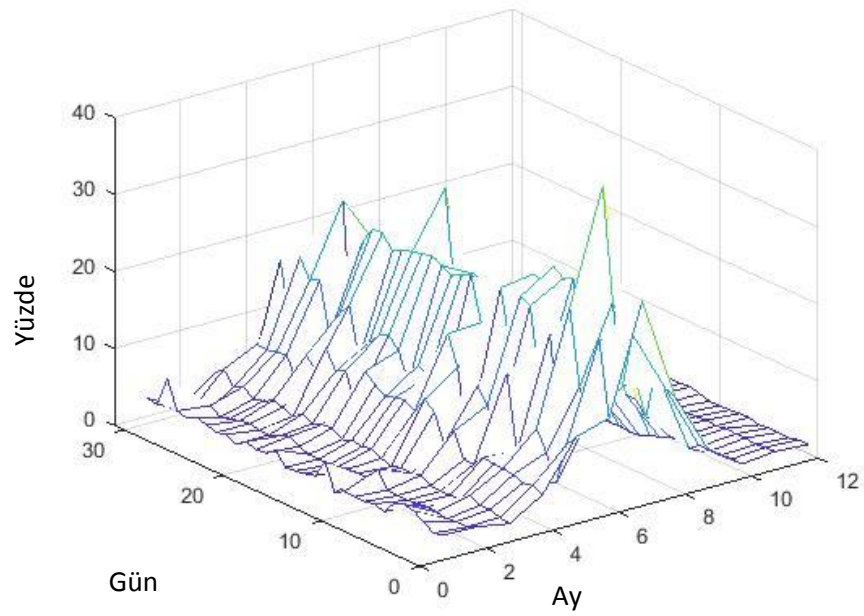
Şekil 4.36. 2016 orijinal güneş ışınım verileri ile 06:20 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



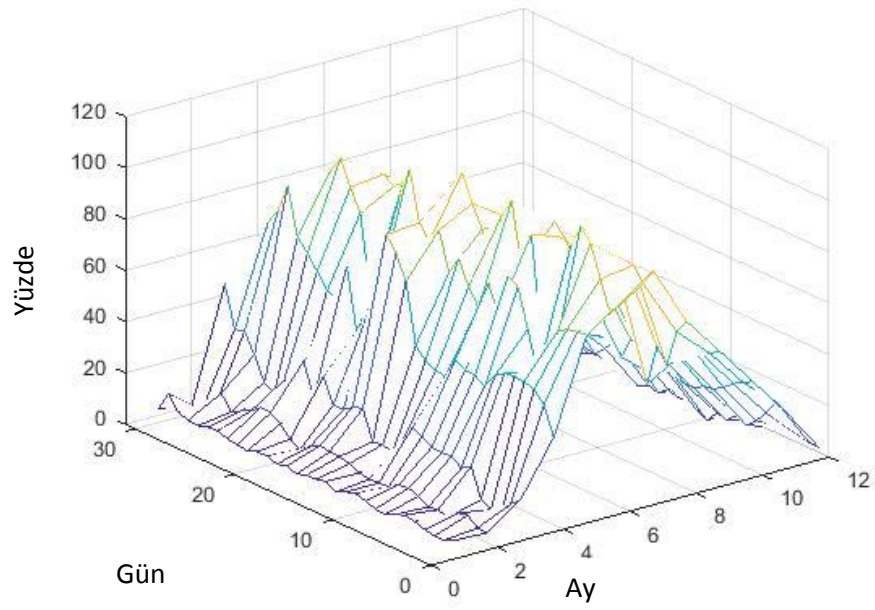
Şekil 4.37. 2016 orijinal güneş ışınım verileri ile 08:15 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



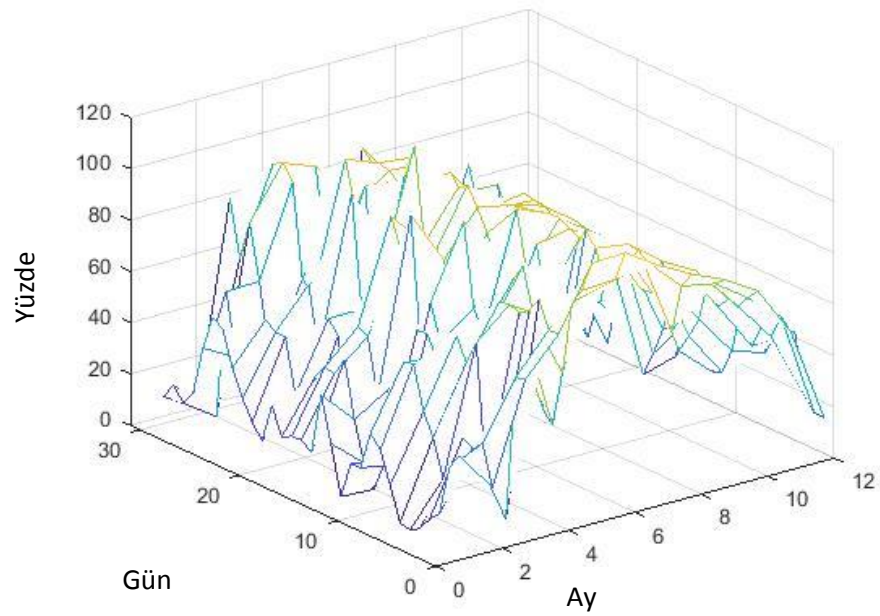
Şekil 4.38. 2016 orijinal güneş ışınım verileri ile 13:10 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



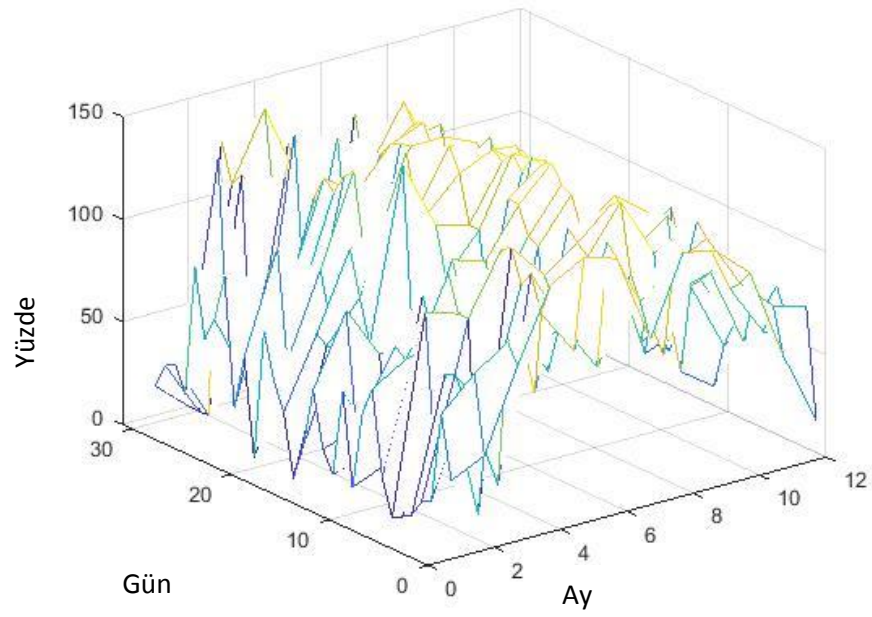
Şekil 4.39. 2016 orijinal güneş ışınım verileri ile 18:00 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



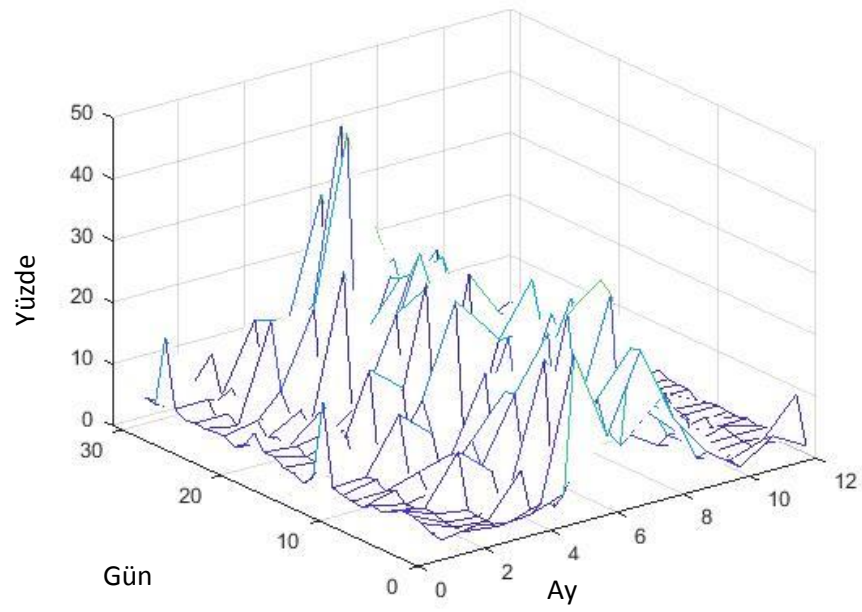
Şekil 4.40. Hibrit güneş ışınım verileri ile 06:20 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



Şekil 4.41. Hibrit güneş ışınım verileri ile 08:15 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



Şekil 4.42. Hibrit güneş ışınım verileri ile 13:10 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)



Şekil 4.43. Hibrit güneş ışınım verileri ile 18:00 seferinin güç tüketiminin karşılanması (%)

4.4. Lokomotifin En Verimli Çalışma Noktasının Bulunması İçin Önerilen Optimizasyon Yöntemleri

Raylı sistemde yapılan optimizasyon çalışmalarının aslında birçok alt başlığının olduğu bölüm 3.4.'te yapılan literatür araştırmasıyla gösterilmiştir. Kısaca tekrar değinilecek olursa bunlar trenin tasarımı, yardımcı donanımların kullanımı (havalandırma, kapı açılma ve kapanma sistemi gibi) verimli sürüş, rejeneratif frenleme enerjisi, rota planlaması, enerji depolama, sinyalizasyon, inşaat aşaması vb. birçok konuyu içermektedir.

Ancak burada dikkat çekici iki husus bulunmaktadır. Birincisi, tren setlerinin matematiksel modelleri oluşturulmadan yapılmasıdır. Bir diğer konu da optimizasyonun hareket kanunlarıyla olan ilişkisini gösteren bir çalışma olmamasıdır. Bu çalışma bu iki konuya da yenilikçi bir yaklaşım getirmiştir.

4.4.1. En küçük kareler yöntemi

Lokomotiflerin ve Hızlı tren setinin modelleri oluşturulurken En Küçük Kareler Yöntemi'nden faydalanılmıştır. Y bağımlı değişkeni, X_1 bağımsız değişkeni, β_1 bu değişkenin bilinmeyen parametresini ve ϵ_i gözlenemeyen hata terimlerini göstermek üzere için tek değişkenli bir doğrusal regresyon denklemini şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \epsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.56)$$

$\beta_0 + \beta_1$ değişkenlerinin bulabilmek için kullanılan en yaygın yöntemlerinden biri En Küçük Kareler Yöntemidir. $\beta_0 + \beta_1$ için bulunan değerler $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ olmaktadır. Bu durumda yeni denklem şu şekilde yazılabilir:

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \epsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.57)$$

Denklemden yer alan $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ terimlerinin değerlerini bulmak için kullanılan En Küçük Kareler (EKK) yönteminin temelini, toplam sapmaların karelerinin toplamını en küçük yapacak değerlerin bulunması oluşturmaktadır. Hata terimlerini, gözlemlenen Y_i

değerleri ile beklenen \hat{Y}_i değerleri arasındaki farklar oluşturmaktadır (Ryan, vd., 2008).

Bu farkı şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$\hat{\epsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (4.58)$$

Tahminle olması gereken değer arasındaki farkların toplamı:

$$\sum_i^n \hat{\epsilon}_i = \sum_i^n (Y_i - \hat{Y}_i) = 0 \quad (4.59)$$

EKK yöntemi, β_0 ve β_1 parametrelerinin kestirimleri olan $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ 'nin farkını en küçük yapacak biçimde şu şekilde belirler:

$$\text{enküçük} \sum_{i=1}^n \hat{\epsilon}_i^2 = \text{enküçük} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (4.60)$$

Burada regresyon katsayılarının EKK tahminlerini elde edebilmek için 4.61 eşitlikte $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ 'ya göre kısmi türevler alınıp sıfıra eşitlendiğinde 4.62 ve 4.63 eşitliklerdeki gibi I. ve II. normal eşitlikleri elde edilir. Bu eşitlikler üzerinden gerekli çözümler yapıldığında β_0 ve β_1 parametrelerinin kestirimleri olan $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ değerlerinin bulunabileceği eşitlikler 4.64 ve 4.65'deki gibi elde edilir (Gürünlü Alma, vd., 2008):

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - (\hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_{1i}))^2 = L \quad (4.61)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = \hat{\beta}_0 n + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.62)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i = \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n X_{1i} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 \quad (4.63)$$

$\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ ve regresyon belirtme katsayısının hesaplanması ise aşağıdaki gibidir:

$$\hat{\beta}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}}{n} = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (4.64)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{(n[\sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i] - (\sum_{i=1}^n X_{1i})(\sum_{i=1}^n Y_i))}{(\sum_{i=1}^n X_{1i}^2) - (\sum_{i=1}^n X_{1i})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - \bar{X})^2} \quad (4.65)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.66)$$

Lokomotiflerin ve tren setlerinin performans değerleri teknik katalogdan elde edilebilir. Öte yandan önerilen matematiksel modeller, doğrudan teknik katalogdan elde edilemeyen herhangi bir güç seviyesi için gerekli yük, hız, rampa ve eğri değerlerini elde etmeyi sağlar.

- **DE 24000'in en küçük kareler yöntemi ile matematiksel modeli**

Bu çalışmaya geçmeden önce çalışmada kullanılan dizel elektrikli lokomotifin teknik bilgileri, Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. DE 24000 dizel elektrikli lokomotifinin teknik bilgisi

Ana Karakteristikler	DE 24000
Güç	38400 kW
Lokomotif Ağırlığı	112,8 Ton
Aks Yüğü	18,8 Ton
Aks Tipi	CoCo
Maksimum Hız	120 km/h
Hat Açıklığı	1435 mm
Katener Tipi	AC 25 kV, 50 Hz
Çekiş Motor Gücü	1900 BG

DE 24000 için EKK kullanılarak oluşturulan matematiksel ifade yük, hız, eğim ve kurpa bağlı olarak şu şekildedir (L 'ye, lokomotifin ağırlığı dâhildir):

$$P = (10^{-4} + 1,6x10^{-6}L)V^3 + 0,0029V^2 + \left((0,031 + 0,224x10^{-3}L)k^2 - (31 + 22,4x10^{-3}L)k + (6,34 + 5,66x10^{-3}L) \right) + (0,2 + 3x10^{-4}L)(r - 1)V \quad (4.67)$$

4.4.2. Gradyan optimizasyon yöntemi ve bu yöntem aracılığı ile raylı sistem aracının optimizasyonu

Gradyan Yöntemi belirleyici optimizasyon yöntemlerindedir. Belirleyici optimizasyon yöntemlerinden sayılmasının sebebi doğrusal olmayan problemlerinin çözümü konusundaki teknikler, dinamik sistemlerin kararlı denge noktalarının bulunması yaklaşımından kaynaklanmaktadır.

Aslında oldukça basit bir tekniğe dayanan bu yöntemde, fonksiyondaki tüm değişkenlerin kısmi türevlerini içeren bu yeni fonksiyon vektörüne gradyan diyoruz. n değişkenli Gradyan vektörünü aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür:

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] + \left[\frac{\partial f}{\partial y} \right] + \left[\frac{\partial f}{\partial z} \right] + \dots \dots \dots \left[\frac{\partial f}{\partial n} \right] \quad (4.68)$$

Gradyan vektörünü sıfır yapan değer, lokal maksimum noktasını vermektedir. Ancak bu noktanın maksimum olması için Hessian matrisinin determinantının sıfırdan büyük olması gerekir (denklem 4.69)

$$\nabla^2 f > 0 \quad (4.69)$$

• DE 24000 lokomotifinin optimum çalışma noktasının gradyan optimizasyon yöntemi ile bulunması

En küçük kareler yöntemi ile elde edilen DE 24000 adlı dizel elektrikli lokomotifin güç tüketimine dair eşitlik, denklem (4.67)'de verilmiştir. Bu eşitlikteki tek kısıt eğim değerinin sıfırdan büyük olmasıdır. Yani lokomotif eğimli yollarda kullanıldığında bu denklem kullanılmaktadır.

Denklem (4.67)'i tekrar yazacak olursak:

$$P = (10^{-4} + 1,6x10^{-6}L)V^3 + 0,0029V^2 + ((0,031 + 0,224x10^{-3}L)k^2 - (31 + 22,4x10^{-3}L)k + (6,34 + 5,66x10^{-3}L) + (0,2 + 3x10^{-4}L * (r - 1)))V \quad (4.67)$$

Bu çalışmada kritik noktaları bulmak trenin 30 km/h hızla gittiği ve %2 eğimli bir yolda olduğu varsayılmıştır. Bu yeni değerlerle denklem şu hali alır:

$$P = 205 + 1,6x10^{-2}L + 6,72x10^{-3}Lk^2 - 930k - 0,672Lk + 0,17L \quad (4.70)$$

Denklem (4.70)'in gradyan vektörünü şu şekilde yazarak, kritik noktaları bulmak için sıfıra eşitlemek mümkündür.

$$\nabla P = \left[\frac{\partial f}{\partial L} \right] \vec{i} + \left[\frac{\partial f}{\partial k} \right] \vec{j} = [1,6x10^{-2} + 6,72x10^{-3}k^2 - 0,672k + 0,17] \vec{i} + [13,44x10^{-3}Lk - 930 - 0,672L] \vec{j} \quad (4.71)$$

$$6,72x10^{-3}k^2 - 0,672k + 0,186 = 0 \quad (4.72)$$

$$13,44x10^{-3}Lk - 930 - 0,672L = 0 \quad (4.73)$$

Denklem (4.72)'in kökleri:

$$k_1 = 99,72$$

$$k_2 = 0,277$$

Denklem (4.73)'nin kökleri:

$$k_1 = 99,72 \text{ için } L=1391,72$$

$$k_2 = 0,277 \text{ için } L=-1391,72$$

Bu çözüm çiftlerinden mantıklı olan çözüm ilkidir ($k_1 = 99,72$ için $L=1391,72$) Çünkü diğer çözüm de yük negatif çıkmıştır. Ancak burada araştırılması gereken diğer konu bu çözüm çiftinin maksimum mu minimum mu yoksa eğer noktası mı olduğudur.

Bunun için de Hessian matrisinin determinantının ($\nabla^2 P(L, k)$) işaretinden faydalanılacaktır. Bir başka deyişle ikinci türev testi gerçekleştirilecektir.

$$\nabla^2 P(L, k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial L^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial L \partial k} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial k \partial L} & \frac{\partial^2 f}{\partial k^2} \end{bmatrix} \quad (4.74)$$

$$\nabla^2 P(1391,72; 99,72) = \begin{bmatrix} 0 & 0,668 \\ 0,668 & 18,7 \end{bmatrix} < 0$$

Bu durumda $k_1 = 99,72$ ve $L=1391,72$ değerleri için matematiksel modelin eğer noktası bulunmuş oldu. Bu bölümün başında yapılan kabullerle birlikte DE 24000 dizel elektrikli lokomotifinin 30 km/h hızda, %2 eğimde, 99,72 m. kurpta ve 1391,72 ton noktasında matematiksel modelin, bir yönde yerel maksimumu ama başka bir yönde ise yerel minimumu olduğu bir noktadır. En başta yapılan hız ve eğim kabulleri değiştirilecek olursa lokomotifin başka noktalarının bulunacağı da dikkatten kaçmamalıdır.

4.4.3. Normalizasyon yöntemi ve bu yöntem aracılığı ile raylı sistem aracının optimizasyonu

İyi bilinen Fransız bilim adamı Hubert Francesci tarafından önerilen normalleştirme süreci; başka bir deyişle parçalara ayırma, ayrıştırma, tekrardan kaçınmak için çok sayıda sütun ve satırdan oluşan büyük bir çizelgeyi daha az sayıda satır ve sütun içeren daha küçük bir çizelgeye dönüştürmektir.

Normalizasyon sürecinin bir diğer faydası, birimleri ortadan kaldırdığı için karşılaştırılması gereken farklı birimlere sahip parametreleri karşılaştırmaktır. İşte bu çalışmada da normlizasyonun bu faydasından istifade edilmiştir.

Normalizasyonun Formülünü şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$\text{Normalize } X = \frac{X - \text{Serinin En Küçük Değişkeni}}{(\text{Serinin En Büyük Değişkeni} - \text{Serinin En Küçük Değişkeni})} \quad (4.75)$$

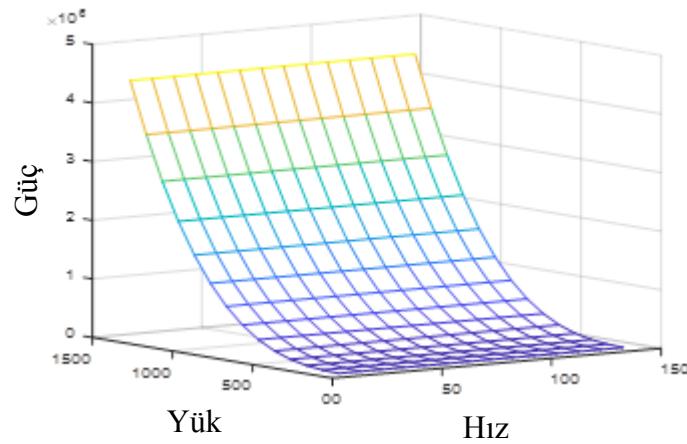
• **DE 24000 lokomotifinin optimum çalışma noktasının normalizasyon ile bulunması**

Aşağıda verilmiş olan Çizelge 4.14'deki hat bilgisinde, sarı alanla işaretlenmiş yol bölümü için hız ve yük eğrileri normalizasyon işleminden sonra karşılaştırılarak optimum hız ve yük noktası bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Konya konvansiyonel hat bilgisi

YHT12 - KM 277-284 arası Hızlı Tren Hattı 1.Yolun Eğim durumu								
S.NO	Başl.Km.	Kot	Bitiş Km.	Kot	Mesafe Farkı	Kot Farkı	Eğim %	Eğim binde‰
1	277+521,61	795,293	278+149,320	794,660	627,710	-0,633	-0,00101	-1,01
2	278+149,320	794,660	279+140,000	794,496	990,680	-0,164	-0,00017	-0,17
3	279+140,000	794,496	279+669,790	792,516	529,790	-1,980	-0,00374	-3,74
4	279+669,790	792,516	281+190,830	791,333	1521,040	-1,183	-0,00078	-0,78
5	281+190,830	791,333	281+737,380	782,581	546,550	-8,752	-0,01601	-16,01
6	281+737,380	782,581	282+969,130	781,511	1231,750	-1,070	-0,00087	-0,87
7	282+969,130	781,511	283+443,920	789,108	474,790	7,597	0,01600	16,00
8	283+443,920	789,108	284+490,680	788,692	1046,760	-0,416	-0,00040	-0,40

Aşağıda bulunan üç boyutlu figür; güç, yük ve hız için birbirlerine göre olan davranışlarını görmek için kullanılabilir.

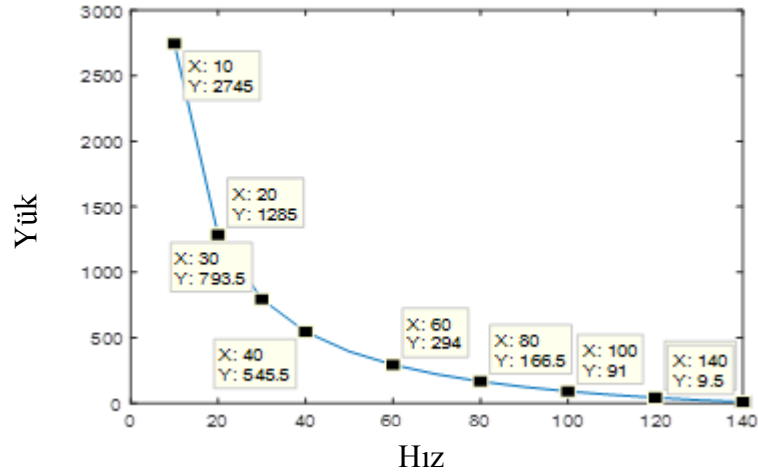


Şekil 4.44. Güç-Yük-Hız değişim grafiği

Şekil 4.44'den de görülebileceği gibi yük de hız da güç tüketimini arttıran etmenlerdir.

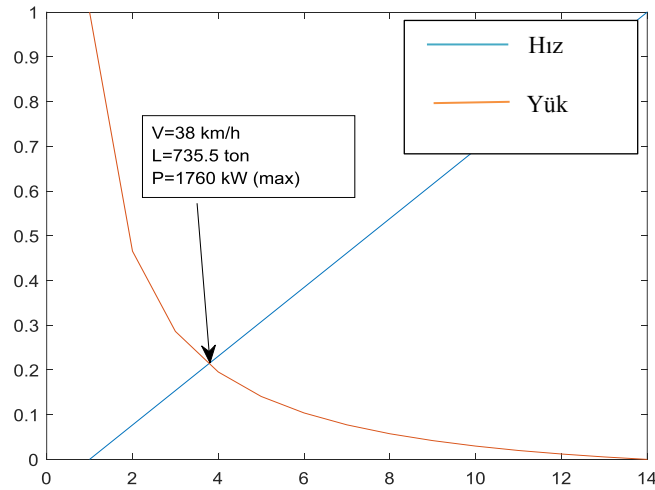
Bunu haricinde, Yük-Hız grafikleri de belli bir hızdaki yükü veya belli bir yükteki hızı sabit güç tüketimi için bulabilmek adına oldukça faydalıdır. Aşağıda verilen Şekil

4.45'de maksimum güç tüketiminde DE 24000 lokomotif için yük ve hızın durumunu vermektedir.



Şekil 4.45. DE 24000'in Hız-Yük diyagramı

Burada bir optimizasyon probleminden bahsetmek mümkündür. Belli bir güçte, yük ve hızın normalizasyon işleminden sonra bir kesişme noktası vardır (Sertsoz, vd., 2017,a). Bu nokta DE 24000 için en verimli çalışma noktasıdır. Şekil 4.46 bu noktayı göstermektedir.



Şekil 4.46. DE 24000'in optimum hız ve yük değerleri

Bu demiryolu güzergahı için optimum nokta 38 km/h ve 735,5 ton olarak bulunmuştur. Rota değişecekse bu değerler de değişecektir.

4.4.4. Parçacık sürüsü (particle swarm) optimizasyon yöntemi ve bu yöntem aracılığı ile raylı sistem aracının optimizasyonu

Bu yöntem bundan yaklaşık yirmi yıl önce bir sosyal psikolog ile bir elektrik mühendisinin geliştirdiği bir yöntemdir (Eberhart, vd., 1995). Aslında tamamen balık ve kuşların sürü halinde, yaşamlarını sürdürülebilmek adına rastgele olan davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir algoritmadır. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) sürüde bulunan bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımına dayanmaktadır. Arama işlemi genetik algoritmada olduğu gibi jenerasyon sayısınca yapılır. Burada aslında bireylere parçacık, bu parçacıkların oluşturduğu topluluğa da sürü adı verilir.

Bir önceki pozisyonunun tecrübesine dayanarak her bir birey sürüdeki en iyi pozisyona sahip bireye yaklaşmaya çalışır. Bu yaklaşım hızı rastgeledir ve varsayım bir sonraki adımın bir öncekinden daha iyi olduğudur. Bu yaklaşım hedefe (en iyi konuma) ulaşana kadar devam etmektedir. Genetik algoritma (GA) yöntemine benzese de GA'ya göre kullanımı daha kolay ve bazı çalışmalarda da daha iyi yanıt vermektedir.

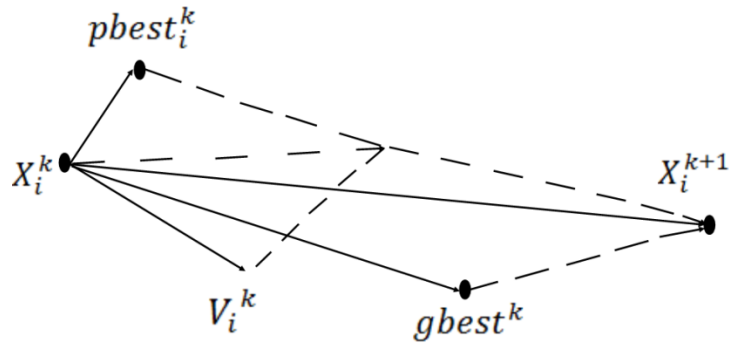
PSO, D boyutunda; rastgele pozisyonları ve hızları olan bir parçacık dizisi başlatılır. Burada D boyutu aynı zamanda uygunluk fonksiyonundaki bilinmeyen sayısına eşittir. Burada amaç, jenerasyonları güncellenerek en uygun değeri bulmaktır. Her iterasyonda, her bir parçacık iki “en iyi” değere göre güncellenir. Aslında iki tane en iyi değer vardır. İlki, bir parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi uygunluk değeridir. Bu değer daha sonra kullanılmak üzere hafızada tutulur ve “pbest” yani parçacığın en iyi değeri olarak isimlendirilir. İkinci en iyi değer ise sürüdeki herhangi bir parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi uygunluk değeridir. Bu değer sürü için global en iyi değerdir ve “gbest” olarak isimlendirilir. Hızlar ve pozisyonlar bu atanan yeni değerlere göre değiştirilir. Sürü parçacık matrisi nxD boyutundadır. n burada parçacık sayısıdır.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1D} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & X_{nD} \end{bmatrix} \quad (4.76)$$

Parçacık hızını (her boyuttaki konumun değişim miktarı) ve konumunu aşağıdaki ifadeye göre günceller:

$$V_i^{k+1} = V_i^k + c1 * rand_1^k (pbest_i^k - x_i^k) + c2 * rand_2^k (gbest^k - x_i^k) \quad (4.77)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (4.78)$$



Şekil 4.47. Swarm optimizasyonun çalışma prensibi

Parçacık sayısı: 20 ile 40 arasındadır. Birçok problem için 10 parçacık kullanmak yeterliyken bazı zor veya özel problemlerde ise 100 veya 200 parçacık kullanılması gerekebilir.

Parçacık boyutu: Optimize edilecek probleme göre değişmektedir.

Parçacık aralığı: Optimize edilecek probleme göre değişmekle birlikte farklı boyutlarda ve aralıklarda parçacıklar tanımlanabilir.

Vmax: Bir iterasyonda, bir parçacıkta meydana gelecek maksimum değişikliği (hız) belirler. Genellikle parçacık aralığına göre belirlenir.

Öğrenme faktörleri: $c1$ ve $c2$ genellikle 2 olarak seçilir. Fakat farklı da seçilebilir.

Durma koşulu: Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında veya değer fonksiyonu istenilen seviyeye ulaştığında algoritma durdurulabilir.

- **Hızlı trenin optimum çalışma noktasının parçacık sürüsü optimizasyon yöntemi ile bulunması**

Bu çalışmaya geçmeden önce çalışmada kullanılan hızlı trenin teknik bilgileri, Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. YHT 65000 hızlı treninin teknik bilgisi

Ana Karakteristikler	YHT 65000
Güç	38400 kW
Lokomotif Ağırlığı	297,25 Ton
Aks Yüğü	17 Ton
Aks Tipi	-
Maksimum Hız	275 km/h
Hat Açıklığı	1435 mm
Katener Tipi	AC 25 kV, 50 Hz
Çekiş Motor Gücü	AC 4800 kW

Bu çalışmada hızlı trenin hareketine engel olan dört adet direnç baz alınmıştır. Bunlar seyir direnci (vagon direnci ve lokomotif direnci hızlı tren setlerinde ayrı değil tek bir dirençtir), kurp direnci, rampa direnci ve akselasyon direncidir. Bu dirençlerin güç tüketimini doğrudan etkilediği unutulmamalıdır. Bu durumda toplam direnç (R_T) denklemini aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür (GY, ton olarak taşınan yükür.) :

$$R_T = (A - B + C)(297,25 + G_Y) \quad (4.79)$$

Bu eşitlikteki değişkenler ise aşağıda verilmiştir:

a, m/s^2 olarak ivmeyi;

X, m olarak yolu;

t, saniye olarak zamanı;

r, ‰ rampa değerini;

k, metre olarak eğri yolun yarıçapını ifade etmektedir.

$$A = a^2 t^2 (0,00015 + 0,98/X)$$

$$B = 0,00355at$$

$$C = r + 1,3953 + \frac{650}{k-55}$$

Kısıtlar:

$$-28 < a < 28;$$

$$1 < t < 3599;$$

$$-26 < r < 26;$$

$$130 < k < 530;$$

$$0 < X < 300000$$

Bu çalışmada Swarm Optimizasyon Yöntemi ile 20 iterasyonda direnç minimize ve maksimize edilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.16. YHT 65000 hızlı treninin en fazla ve en az güç tüketimi

	a	t	r	k	D
En Fazla Güç Tüketimi	-28 m/s ²	3599 s.	%26	130 m.	0 m.
En Az Güç Tüketimi	10 m/s ²	0 s.	-%26	530 m.	3 m.

5. TARTIŞMA

5.1. Asenkron Motorlarda Yenilikçi Enerji Verimliliği Tahmin Yöntemleri ile Yapılan Çalışmanın Tartışması

Bu çalışmanın sonucunda en iyi sonucu ME değerlerine göre AR1-YSA Hibrit modeli verirken en kötü sonucu Artık-YSA Hibrit modeli vermiştir. RMSE'a göre kıyaslama yapıldığında ise en iyi sonuç Artık-YSA modelidir ve en kötü sonuç AR4-YSA Hibrit modelindedir. AR1-YSA'ya kıyasla AR4-YSA'nın düşük performansının temel sebebi, hızın tersi, momentin tersi, gücün tersi, güç faktörü ve güç verimi verileridir. Yanlış bir zaman dizisinin varsayımı olarak geçerliliği tartışmalıdır. Bununla birlikte, artık model ile zaman dizisi koşulu aşılmış ve tahminde iyi bir sonuç elde edilmiştir.

Bu deneylerle elde edilen bir başka çıkarım ise verimin güç ve moment ile ters orantı ilişkisinin kabul edilmesiydi. Aslında burada doğrusal olmayan bir ilişki bulunmaktadır. Üretilen artık modelin, bu üç model için geliştirilebilecek doğrusal olmayan regresyon modelleri ile daha da güçlendirilebileceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada, 307 motorun verimlilik değerlerine altı farklı yöntemle (AR1, AR4, Artık, AR1-YSA, AR4-YSA, Artık-YSA) en doğru şekilde ulaşmak amaçlanmıştır. Önceki çalışmalarda bulunan değerler ve son olarak bu çalışmanın hata kıyaslaması ME'e göre şu şekildedir:

- Sonuçlar önerilen yöntemin geçerliliğini göstermektedir, çünkü verimlilik tayinindeki hata tüm yük noktaları için 1'den azdır (Lu, vd., 2008).
- Tam yüke göre, IEEE test sonuçlarında %86 verimlilik tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar CM (Akım Yöntemi)'na göre %86, SM (Kayma Yöntemi)'na göre %67, OPT'ye (operasyon noktası testi) göre %81'dir. Kısaca, en iyi tahminde 2 puanlık bir hata vardır (Phumiphak, vd., 2008).
- Tahmin edilen verimliliğin hatası, giriş akımı ve tork yavaşça değişirken, yarı yük aralığından tam yüke kadar çalışan gerçek motorlar üzerinde 5 puandan fazladır (Lu, vd., 2007).
- Literatürde yeralan bu çalışmada birçok test yapıldı ancak en iyi sonuç yöntem 1'den elde edildi. Yöntem 1 için motor parametrelerinin belirlenmesinde sadece tam yük giriş parametreleri kullanıldı. Daha sonra verimlilik her bir yük noktası için hesaplanan parametrelere dayalı olarak belirlendi. Süreç beş kez çalıştırıldı ve ortalama verimlilik değerleri alındı. Farklı Eşdeğer Devreler Kullanılarak Genetik Algoritmanın Sonuçları,

iki giriş parametresi ve Yöntem 1 tam yüke göre -0,32 puan idi. Diğer sonuçlar bu sonuçtan daha kötüydü (Phumiphak, vd., 2002).

- Birçok test bulunmakla birlikte sadece en iyi sonuç verenler seçilen bu çalışmada referans olarak IEEE 112 B testi alınmışsa, TPT (Çalışma Noktası Testi) yöntemi ile 0,6 puan ve OPT (İki Çalışma Noktası Testi) Yöntemi ile 0,1 puan hata payı elde edilmiştir (Pillay, vd., 1998).

- Birçok test bulunmakla birlikte sadece en iyi sonuç verenler seçilen bu çalışmada en iyi yanıtlar, NSDA-II (Nondominated Sorting Genetic Algorithm) yöntemine göre 2,13 puan ve SPEA2 (Strength Pareto Evolutionary Algorithm) yöntemine göre 2,04 puan bulundu (Gomez, vd., 2008).

- BFA (Bacterial Foraging Algorithm) yöntemi kullanılan başka bir çalışmada hata 1,1 puan olarak bulunmuştur (Cunkas, vd., 2010).

- YSA'da üç katmanlı ileri besleme ağı yapısı kullanılarak bir model geliştirildi ve ortalama hata, farklı motor tipleri için en iyi durumda 0,6890'a düştü (Karnavas, 2016).

Son olarak bu çalışmada, AR Modellerini Yapay Sinir Ağları ile birlikte kullanarak, en iyi tahmin sonucu RMSE'ye göre Artık Model ile en kötü tahmin sonucu AR4-YSA ile elde edilmiştir. Öte yandan, ME değerine göre en iyi tahmin sonucu AR1-YSA ile en kötü tahmin sonucu Artık-YSA ile elde edilmiştir. Ancak hibrit model oluşturulduktan sonraki tahmin değerleri, Artık modelin ME değeri hariç, hibrit model oluşturulmadan önceki değerlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sonuçta, üç farklı yöntem için ME değerleri 0,0372 (AR-1 hibrit); 0,0448 (AR-4 hibrit) ve 0,0812 (Artık hibrit) puan olarak bulunmuştur.

Yapay Sinir Ağlarının kullanımı hakkında sorulacak iki soru var. Neden bu kombinasyonlar en iyi yanıtı veriyor ve daha iyi sonuç elde etmek mümkün mü? İlk soruya şu şekilde yanıt vermek mümkündür:

Yapay sinir ağlarının genel bir özelliği olan kara kutu benzetmesi nedeniyle tam olarak açıklanamamasına rağmen, bu kombinasyonun en iyi sonuçları vermesinin nedeni, girdilerin aralarında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermesidir. Birden fazla katman olmalıdır çünkü çoklu katmanlar doğrusal olmayan problemler için kullanılır. Tüm deneylerde, iki katman bir katmanlı yapıdan daha iyi sonuçlar vermektedir. Nöron sayısı 0 ile 30 arasında belirlendi, çünkü 30 nöronun sonra hatanın azalmadığı görüldü.

Yapay sinir ağları oluşturmak için tercih edilen diğer parametreler, daha önce bölümlerde anlatılmıştır.

İkinci soruya verilen cevap ise evet, belki de daha iyi yanıt veren sonuçlar diğer karma yöntemlerle bulunabilir. Bu girdi sayısı, girdi dizileri, ağırlıklar ve ağ tipinin değiştirilmesi gibi birçok faktörün sonsuz kombinasyonu mümkündür. Ancak buradaki amaç, en iyi kombinasyonu bulana kadar kabul edilebilir hatayı veren kombinasyonu bulmaktır. Burada bildirilen değerler, bu çalışmada yapılan tüm deneylerin en iyi sonuçlarıdır ve bu sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırıldığında oldukça iyidir.

5.2. Güneş Işınması Yenilikçi Tahmin Yöntemleri ile Yapılan Çalışmanın Tartışması

Bu parametrelere göre, 2B-AKD modellerinin ve hibrit modelin karşılaştırmalı performansları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Önerilen modellerin performans karşılaştırması

	rRMSE%	MAPE%	R	R ²
SEVİYE-1 2B-AKD (Ankara)	51,2445	25,08	0,9339	0,9339
SEVİYE-2 2B-AKD (Ankara)	14,6367	6,8761	0,9947	0,9947
2B-AKD-MYCIELSKI HİBRİD (Ankara)	10,5662	4,9633	0,9972	0,9972
MYCIELSKI-MARKOV (Akarslan, vd., 2016) (Afyon)	39,4	13	0,8511	0,8506
MYCIELSKI-MARKOV (Akarslan, vd., 2016) (Antalya)	36,3	10,7554	0,8479	0,8320
GSRHS (Pandey, vd., 2012)	NA*	16	0,98	0,99
SIMILARITY BASED (Akarslan, vd., 2017) (Afyon)	24,1407	14,7709	0,9572	NA*

*Mevcut değil

Bu çalışmada üç farklı tahmin yöntemi kullanılmıştır. Bunlar Seviye-1 2B-AKD, Seviye-2 2B-AKD ve 2B-AKD-MYCIELSKI’dir. Önerilen 2B-AKD modelinin, 1’e yakın güçlü korelasyonundan dolayı belirleyici davranışları başarılı bir şekilde yakaladığı görülebilir. İki seviyeli 2B-AKD yaklaşımı ise, determinist modeli güçlendirir.

Determinist modele ek 2B-Mycielski algoritması, güneş ışınımının stokastik davranışını yakalamak için harika bir performans gösterir. Önerilen model de, güneş

ışınıminin deterministik ve stokastik süreçlerin bir karışımı olduğunu kanıtlamaktadır. Önerilen algoritmaların başarısı iyiden kötüye, 2B-AKD-MYCIELSKI, Seviye-2 2B-AKD ve son olarak Seviye-1 2B-AKD olarak sıralanabilir.

5.3. Güneş Enerjisinden Faydalanan Raylı Sistem Modellemesi ile Yapılan Çalışmanın Tartışması

Bu çalışmayı literatürde kıyaslayabilecek bire bir çalışma bulunmamaktadır.

- **Şebeke bağlantılı bir PV sistem ile sefer bazında YHT güç ihtiyacının karşılanması**

Çizelge 5.2. Güneş enerjisi ile YHT'nin senelik gücünü karşılama oranları

Seviye1_AKD_2015	Seviye2_AKD_2015	Gerçek_2015	mycelski_hyb_2016	Gerçek_2016
%16,775	%17,281	%16,729	%17,236	%17,236

Çizelge 5.2.'de verilen değerler bir senelik ortalama değerler olup bazı günler bu oran %32'lere kadar çıkarken bazı günlerde %1'in bile altında kalmıştır. Bu çalışma aslında 100 m² gibi küçük bir alanla bile trenin ihtiyaç duyduğu güce ne denli büyük bir katkı sağlayabileceğini göstermiştir.

• **Şebeke bağlantısız bir pv sistem ile sefer bazında YHT güç ihtiyacının karşılanması**

Ay bazında RMSE hata oranlarını gösteren çizelgede aşağıda verilmiştir:

Çizelge 5.3. Aylara göre tahmin yöntemlerinin hata oranları

	SEVİYE-1 AKD	SEVİYE-2 AKD	HİBRİD
OCAK	2,97375	0,89866	0,58067
ŞUBAT	2,88416	1,77447	1,51333
MART	10,1919	6,61289	5,28591
NİSAN	18,0286	11,4819	10,6243
MAYIS	21,247	14,2305	11,2565
HAZİRAN	19,3857	11,287	9,17955
TEMMUZ	10,3739	3,35729	3,19766
AĞUSTOS	14,582	9,5884	9,15379
EYLÜL	8,70202	7,46017	7,06523
EKİM	5,07183	2,37651	2,7049
KASIM	3,90131	1,40741	1,21564
ARALIK	1,30867	0,51006	0,42522

Tahmin yöntemleri ile tahmin edilen güç üretimi değerlerinin YHT güç tüketimini karşılama oranlarının, gerçek verilerin karşılama oranlarıyla arasındaki hata oranı düşükten yükseğe, en az tahmin hatasına sahip olan hibrit modele göre şu şekildedir: Aralık, Ocak, Kasım, Şubat, Ekim, Temmuz, Mart, Eylül, Ağustos, Haziran, Nisan, Mayıs şeklindedir.

Aslında bu çalışma bize, yeni istasyonlar kurulurken güneş panelleri ile donatılmış olmasının bir gereklilik olduğunun göstergesidir. Çatı ve güneş panellerini ayrılmaz bir parça olarak görmek bu doğrultuda yanlış bir çıkarım olmayacaktır.

Bir diğer konu ise tahmin modelleri de bir önceki senenin verilerini kullanarak oluşturdukları başarılı modeller, güneş panelleri kurulması planlanan bir bölgeye fizibilite çalışmasını yapmak açısından oldukça önemlidir. Farklı bölgelerde sonraki yılların ışınım verisini tahmin ederek üretilebilecek elektrik enerjisini bulmak; ekonomik ve çevresel açıdan oldukça büyük bir katkı olduğu yadsınamaz bir gerçektir.

Son olarak da daha önceki bölümde görülen güneş ışınımı tahmini metotları birbirleri ile kıyaslandığında yine aynı sonucu vererek en az hata oranına hibrit, sonra Seviye-2 2B-AKD ve son olarak da Seviye-1 2B-AKD sahip olmuştur. Burada dikkat çekici bir husus ise hata oranlarının aylar ile birlikte çok fazla değişim göstermesidir. Hata oranları kış aylarında diğer mevsim aylarına göre daha düşüktür. Bunun sebebi de

güneş panellerinden elde edebilecek maksimum gücü veren klasik yöntemin lineer bir davranış göstermesidir.

2013 yılında, İran'da yapılan benzer bir çalışma, bir yolcu vagonunun güç ihtiyacının sıcak aylarda %74'ünün ve soğuk aylarda %25'inin SPV sistemi tarafından sağlanabileceğini göstermiştir (Rohollahi, vd., 2014). Bu çalışmada ise bazı günler bu oran %32'lere kadar çıkarken bazı günlerde %1'in bile altında kalmış ancak ortalamada %16-17 civarındadır.

Verimlilik ile ilgili literatürde güneş enerjisinden faydalanmadan ziyade CO₂ emisyonunu azaltan ve verimli sürüş ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlar da Bölüm 2.4'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.4. Lokomotifin En Verimli Çalışma Noktasının Bulunması için Önerilen Optimizasyon Yöntemleri ile Yapılan Çalışmanın Tartışması

- **DE 24000'in en küçük kareler yöntemi ile matematiksel modeli**

DE 24000 için EKK kullanılarak oluşturulan matematiksel ifade yük, hız, eğim ve kurpa bağlı olarak şu şekildedir:

$$P = (10^{-4} + 1,6x10^{-6}L)V^3 + 0,0029V^2 + ((0,031 + 0,224x10^{-3}L)k^2 - (31 + 22,4x10^{-3}L)k + (6,34 + 5,66x10^{-3}L) + (0,2 + 3x10^{-4}L * (r - 1)))V \quad (4.67)$$

Bu denklem sayesinde çeşitli hız, yük, kurp ve eğim değerleri için lokomotifin ne kadar bir güç harcayacağını bulmak mümkündür. Denklem, amprik denklemlerin en küçük kareler yöntemi ile düzenlenmesinden oluştuğundan yine bir ampirik denklem olarak kabul etmek yanlış bir yaklaşım olmayacaktır.

- **DE 24000 lokomotifinin optimum çalışma noktasının gradyan optimizasyon yöntemi ile bulunması**

En küçük kareler yöntemi ile elde edilen DE 24000 adlı dizel elektrikli lokomotifin güç tüketimine dair eşitlik, denklem (4.67)'de verilmiştir. Bu eşitlikteki tek ki kısıt eğim değerinin sıfırdan büyük olmasıdır. Yani lokomotif eğimli yollarda kullanıldığında bu denklem kullanılmaktadır.

Denklem (4.67)'i tekrar yazacak olursak:

$$P = (10^{-4} + 1,6x10^{-6}L)V^3 + 0,0029V^2 + ((0,031 + 0,224x10^{-3}L)k^2 - (31 + 22,4x10^{-3}L)k + (6,34 + 5,66x10^{-3}L) + (0,2 + 3x10^{-4}L * (r - 1)))V \quad (4.67)$$

Bu çalışmada kritik noktaları bulmak trenin 30 km/h hızla gittiği ve %2 eğimli bir yolda olduğu varsayılmıştır. Bu yeni değerlerle denklem şu hali alır:

$$P = 205 + 1,6x10^{-2}L + 6,72x10^{-3}Lk^2 - 930k - 0,672Lk + 0,17L \quad (4.70)$$

Denklem (4.68)'in gradyan vektörünü yazarak, kritik noktaları bulmak için sıfıra eşitlemek gerekir.

Bu çözüm çiftlerinden mantıklı olan çözüm $k_1 = 99,72$ ve $L=1391,72$ 'dir. Çünkü diğer çözüm de yük negatif çıkmıştır. Ancak burada araştırılması gereken diğer konu bu çözüm çiftinin maksimum mu minimum mu yoksa eğer noktası mı olduğudur. Bunun için de Hessian matrisinin determinantının ($\nabla^2 P(L, k)$) işaretinden faydalanılacaktır. Bir başka deyişle ikinci türev testi gerçekleştirilecektir.

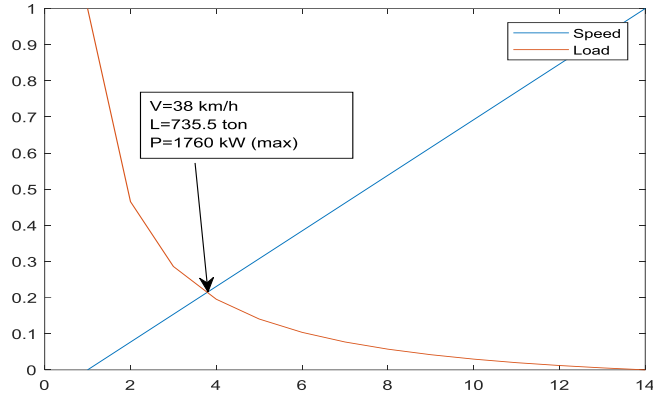
$$\nabla^2 P(L, k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial L^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial L \partial k} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial k \partial L} & \frac{\partial^2 f}{\partial k^2} \end{bmatrix} \quad (4.74)$$

$$\nabla^2 P(1391,72; 99,72) = \begin{bmatrix} 0 & 0,668 \\ 0,668 & 18,7 \end{bmatrix} < 0$$

Bu durumda $k_1 = 99,72$ ve $L=1391,72$ değerleri için matematiksel modelin "eğer noktası" bulunmuş oldu. Bu bölümün başında yapılan kabullerle birlikte DE 24000 dizel elektrikli lokomotifinin 30 km/h hızda, %2 eğimde, 99,72 m. kurpta ve 1391,72 ton noktasında matematiksel modelin, bir yönde yerel maksimumu ama başka bir yönde ise yerel minimumu olduğu bir noktadır. En başta yapılan hız ve eğim kabulleri değiştirilecek olursa lokomotifin başka noktalarının bulunacağı da dikkatten kaçmamalıdır.

• **DE 24000 lokomotifinin optimum çalışma noktasının normalizasyon ile bulunması**

Burada bir optimizasyon probleminden bahsetmek mümkündür. Belli bir güçte, yük ve hızın normalizasyon işleminden sonra bir kesişme noktası vardır. Bu nokta DE 24000 için en iyi çalışma noktasıdır. Şekil 4.46 bu noktayı göstermektedir.



Şekil 4.46. DE 24000'in optimum hız ve yük değerleri

Bu demiryolu güzergahı için optimum nokta 38 km/h ve 735,5 ton olarak bulunmuştur. Rota değişecekse bu değerler de değişecektir. Bir de bu çalışmada hızın ve yükün aynı önem derecesi verilerek çözüm arandığı unutulmamalıdır.

- **Hızlı trenin optimum çalışma noktasının parçacık sürüsü optimizasyon yöntemi ile bulunması**

Çizelge 4.16. YHT 65000 hızlı treninin en fazla ve en az güç tüketimi

	a	t	r	k	D
En Fazla Güç Tüketimi	-28 m/s ²	3599 s.	%26	130 m.	0 m.
En Az Güç Tüketimi	10 m/s ²	0 s.	-%26	530 m.	3 m.

Yapılan bu çalışmanın amacı hangi durumlarda YHT65000'in en fazla ve en az güç harcayacağını Swarm Optimizasyon yöntemi ile bulmaktır. En fazla güç harcadığı nokta verilen en uç kısıtlarda bulunmuştur (kısıtlar için bkz. Bölüm 4.4.4). Ancak dikkat çekici husus, ivmelenmenin negatif olduğu değerlerin pozitif olduğu değere göre tren setine daha fazla güç harcadığıdır.

En az güç tüketimine sahip olduğu noktada da tüm veriler en uç kısıt şartında çıkarken bir tek ivme; 10 m/s^2 olarak bulunmuştur. İvmenin pozitif olması diğer dikkat çekici bir husustur.

Bu optimizasyon problemi ile ispatlanan aslında tren setinin hızlanırken yavaşlarken olduğu durumdan daha az güç tüketime sahip olduğudur. Tren setinin kendine ait spesifik modelinden dolayı 10 m/s^2 ivme değerinde en az güç tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Model kendine has monoton artış durumundan dolayı zaman, mesafe, kurp ve eğim için özel bir sayısal ifadeye ulaşamamıştır.

Bu yapılan optimizasyon çalışmaları ile literatürde direk kıyaslayabilecek çalışmalar bulunmamaktadır.

6. SONUÇ

Son yıllarda sadece Türkiye’de değil dünyada ciddi bir enerji problemi söz konusudur. Gittikçe artan enerji ihtiyacına karşın; tükenen enerji kaynakları, bununla birlikte artan çevre kirliliği gündemi meşgul eden önemli bir konudur.

Bunlara ek yeni ulaşım çözümleri bizlerin yaşam düzeyinde önemli bir katkı sağlarken ihtiyacı olan enerjiden dolayı ekonomik, çevre kısaca verimlilik açısından gelişime oldukça ihtiyaç duyulan bir konudur.

Bu kapsamda, bu tezde raylı sistemin verimli kullanılmasına dair çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan ilki olan raylı sistemlerde kullanılan asenkron motorlarının test için çalışmasına ara vermesine gerek kalmayacak şekilde tasarlanmış yenilikçi üç adet hibrit yöntemle (AR-1 ve YSA; AR-4 ve YSA; Artık ve YSA) verimlilik tahmin çalışmaları yapılmış, üç farklı yöntem aynı sıra için ME değerleri sırasıyla 0,0372; 0,0448 ve 0,0812 puan olarak bulunmuştur. En iyi sonucu AR1-YSA Hibrit modeli verirken en kötü sonucu ME baz alındığında Artık-Hibrit modeli vermiştir.

İkinci çalışma olan güneş ışınmasını en doğru şekilde tahmin edilmeye çalışılmıştır. R^2 değerleri Seviye-1 2B-AKD (Ankara) için 0,9339; Seviye-2 2B-AKD (Ankara) için 0,9947 ve 2B-AKD-Mycielski Hibrid (Ankara) için 0,9972 olarak bulunmuştur. Bu hata değerleri ile güvenilir olduğu ispatlanan sonuçlar kullanılarak hızlı trenlerin şuanki Eskişehir-Ankara dört seferi için (06:20, 08:15, 13:10 ve 18:00 seferleri) ihtiyaç duyduğu gücün ne kadarını güneş enerjisinden karşılayabileceğini görmek için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bazı günler bu oran %32'lere kadar çıkarken bazı günlerde %1'in bile altında ortalamada %16 civarında olabileceği öngörülmüştür. Ancak 100 m² gibi küçük bir alanla bile trenin ihtiyaç duyduğu güce ne denli büyük bir katkı sağlayabileceğini göstermiştir. Daha detaylı çalışmalarla bu ifadeler güçlendirilebilir.

Son olarak da raylı sistem araçlarının tüketecekleri gücün çekecekleri yüke, gidecekleri hıza ve yolun kurp ve rampa bilgisine göre EKK yöntemi ile yenilikçi matematiksel modelleri bulunarak trenlerin en verimli kullanılacak parametrelerinin bulunmasına dair üç adet optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Gradyan metodu kullanılarak DE24000 lokomotifi için 30 km/h hızda, %2 eğimde, 99,72 m. kurpta ve 1391,72 ton noktasında matematiksel modelin, bir yönde yerel maksimumu ama başka bir yönde ise yerel minimumu olduğu bir noktadır. En başta yapılan hız ve eğim kabulleri değiştirilecek olursa lokomotifin başka noktalarının bulunacağı da dikkatten

kaçmamalıdır. Belli bir demiryolu güzergahı için Normalizasyon ile DE24000 lokomotifinin optimum hızı 38 km/h ve taşıyacağı yükü 735,5 ton olarak bulunmuştur. Son olarak da YHT 65000 hızlı treni için Swarm yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada Tren setinin kendine ait spesifik modelinden dolayı 10 m/s^2 ivme değerinde en az güç tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Model kendine has monoton artış durumundan dolayı zaman, mesafe, kurp ve eğim için ivme gibi özel bir sayısal ifadeye ulaşamamıştır, burada ispatlanan tren setinin hızlanırken yavaşlarken olduğu durumdan daha az güç tüketime sahip olduğudur.

Böylece temiz ulaşım diyebileceğimiz raylı sistem taşımacılığına dair hem var olan enerji çeşitli yöntemlerle verimli kullanılmış, hem de yenilenebilir bir enerji kaynağının raylı sistemlerde kullanılmasına dair bir çalışma dâhil edilmiştir.

Bu tez çalışmasında amaç aslında sadece bir tek konuyu ele almak yerine birçok konuyu birleştirerek daha sonra yapılabilecek uygulamalara dikkat çekmektir. Uygulanabilir ve sürdürülebilir çözümler sunan bu tez, ilerde sanayi ile yapılacak işbirlikleri ile birlikte ülkeye ve bilime her açıdan faydalı olmak amacıyla yazılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akarslan, E. and Hocaoglu, F. O. “A novel adaptive approach for hourly solar radiation forecasting”, *Renewable Energy* <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.063>., 87: 628-633 (2016).
- Akarslan, E. and Hocaoglu, F. O. “A novel method based on similarity for hourly solar irradiance forecasting”, *Renewable Energy* <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.058>., 112: 337-346 (2017).
- Al-Shamisi, M.H., Assi, A.H., Hejase, H.A.N. “Artificial Neural Networks For Predicting Global Solar Radiation In Al Ain City - UAE”, *International Journal of Green Energy*, DOI: [10.1080/15435075.2011.641187](https://doi.org/10.1080/15435075.2011.641187) 10(5): 443-456, (2013).
- Anderson, R., Maxwell, R., Harris, N. “Maximizing the potential for metros to reduce energy consumption and deliver low-carbon transportation in cities”, Working paper for the *CoMET and Nova Metro Benchmarking Groups*, (2009).
- Asanov, I.M., Loktionov, E.Y. “Possible Benefits From PV Modules Integration in Railroad Linear Structures”, *Renewable Energy Focus*, <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.02.003>., 25: 1-3 (2018).
- Aspalli, M. S., Shetagar, S. B. and Kodad, S. F. “Estimation of induction motor field efficiency for energy audit and management using genetic algorithm,” in *Proc. Int. Conf. Sens. Technol.*, 440–445 (2008).
- Azimi, R., Ghayekhloo a, M., Ghofrani, M. “A hybrid method based on a new clustering technique and multilayer perceptron neural networks for hourly solar radiation forecasting”, *Energy Conversion and Management* <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.009>., 118: 331-344 (2016).
- Basaran Filik, Ü., Filik, T., Gerek, Ö.N. “A Hysteresis Model for Fixed and Sun Tracking Solar PV Power Generation Systems”, *Energies*, doi:[10.3390/en11030603](https://doi.org/10.3390/en11030603)., 11(3): 603 (2018).
- Basaran Filik, Ü., Kurban, M. “A New Approach for the Short-Term Load Forecasting with Autoregressive and Artificial Neural Network Models”, *International Journal of Computational Intelligence Research*, doi:[10.5019/j.ijcir.2007.88](https://doi.org/10.5019/j.ijcir.2007.88)., 3(1): 66–71, (2007).
- Benmouiza, K., Cheknane, A. “Forecasting hourly global solar radiation using hybrid k-means and nonlinear autoregressive neural network models”, *Energy Convers. Manag.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.003>., 75: 561-569 (2013).
- Bharath, V. “India’s bio-diesel policy and the current turmoil”, *Energetica India*, 1-4, (2015).
- Bocharnikov, Y., Tobias, A., Roberts, C., Hillmansen, S., Goodman, C. “Optimal driving strategies for traction energy saving on DC suburban railways”, *IEEE Electr Power Appl*, 1: 675–682 (2007).

Bombardier. Aeroefficient optimised train shaping. Hennigsdorf: **Bombardier**; (2010).

KAYNAKLAR (Devam ediyör)

Buesen, B., Degraeuwe, B., Debeuf, P. “Energy savings in light rail through the optimization of heating and ventilation”, *Transp Res Part D*, 23: 50–54 (2013).

Carvajal-Carreño, W., Cucala, AP., Fernández-Cardador, A. “Optimal design of energy-efficient ATO CBTC driving for metro lines”, *Eng Appl Artif Intell*, 36:164–77 (2014).

Charette, A., Xu, J., Ba-Razzouk, A., Pillay, P. and Rajagopalan, V. “The use of the genetic algorithm for in situ efficiency measurement of an induction motor,” in Proc. *IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet.*, 392–397 (2000).

Chen, S.X., Gooi, H.B., Wang, M. “Sizing of energy storage for microgrids”, *IEEE Trans. Smart Grid*, 3: 142–151 (2012).

Corapi, G., De Martinis, V., Placido, A., De Luca, G. “Impacts of energy saving strategies (ESSs) on rail services and related effects on travel demand”, *WIT transactions on the built environment*, Rome, (2014).

Cunkas, M. and Sag, T. “Efficiency determination of induction motors using multi-objective evolutionary algorithms,” *Adv. Eng. Software*, 41(2): 255–261 (2010).

Darshana, KM., Karnataki, K., Shankar, G., Ramasesha, SK. “A practical implementation of energy harvesting, monitoring and analysis system for solar photo voltaic terrestrial vehicles in indian scenarios”, *IEEE international WIE conference on electrical and computer engineering*. Dhaka, Bangladesh: IEEE; <http://dx.doi.org/10.1109/WIECON-ECE.2015.7443989>., 542-545 (2015).

De Almeida, A., Bertoldi P. and Leonhard, W. “Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives”, *Springer Verlag*, Berlin, Germany, (1997).

Disasolar. SME awarded for its innovations for future transportation systems. France. Available at: <http://www.idtechex.com/journal/print-articles.asp?Articleids=4922> (Erişim Tarihi: 08.08.2015).

DOE. Improving Motor and Drive System Performance: A Sourcebook for Industry. Washington, DC: U.S. Department of Energy, *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*, (2008).

Dong, Z., Yang, D., Reindl, T., Walsh, W.M. “A novel hybrid approach based on self organizing maps, support vector regression and particle swarm optimization to forecast solar irradiance”, *Energy*; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.066>., 82: 570–577 (2015).

Dong, Z., Yang, D., Reindl, T., Walsh, W.M. “Satellite image analysis and a hybrid ESSS/ANN model to forecast solar irradiance in the tropics”, *Energy Convers Manage*, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.11.043>., 79: 66–73 (2014).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Douglas, H., Roberts, C., Hillmansen, S. and Schmid, F. “An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks”, *Energy Conversion and Management*, 106: 1149–1165 (2015).
- Eberhart, R. C. and Kennedy, J. “A new optimizer using particle swarm theory”, Proceedings of the *Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan, 39-43. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995.
- Energy efficiency strategies for rolling stock and train operation; 2003. Available at: <http://www.railway-energy.org/templates/EnergyEfficiency> Tech.pdf (Erişim Tarihi: 10.03.2015).
- Feng, X. “Optimization of target speeds of high-speed railway trains for traction energy saving and transport efficiency improvement”, *Energy Policy*, 39(12): 7658–7665 (2011).
- Fidan, M. and Gerek, Ö. N. “Mycielski Based 2B-Predictive Image Coding Algorithm”, *Applied Mechanics and Materials*, 850: 144-151 (2016).
- Forney, G. “Generalized minimum distance decoding”, *IEEE Transactions on Information Theory*, 12: 125-131 (1966).
- Frilli, A., Meli, E., Nocciolini, D., Pugi, L. and Rindi, A. “Energetic optimization of regenerative braking for high speed railway systems”, *Energy Conversion and Management*, 129: 200–215 (2016).
- Gala, Y., Fernández, Á., Díaz, J., Dorronsoro, J.R. “Hybrid machine learning forecasting of solar radiation values”, *Neurocomputing*, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.02.078>, 176: 48–59 (2016).
- Gangwar, M., Sharma, SM. “Evaluating choice of traction option for a sustainable Indian Railways”, *Transp Res Part D*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2014.08.025>, 33: 135-145, (2014).
- Gomez, J. R., Quispe, E. C., de Armas, M. A. and Viego, P. R. “Estimation of induction motor efficiency in-situ under unbalanced voltages using genetic algorithms,” in Proc. *Int. Conf. Elect. Mach.*, 1–4, (2008).
- González-Gil, A., Palacin, R., Batty, P. “Sustainable urban rail systems: strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy”, *Energy Conversion and Management*, 75:374–88 (a), (2014).
- González-Gil, A., Palacin, R., Batty, P., Powell, J. “A systems approach to reduce urban rail energy consumption”, *Energy Conversion and Management*, 80:509–24 (b), (2014).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- González-Gil, A., Palacin, R. and Batty, P. “Optimal energy management of urban rail systems: Key performance indicators”, *Energy Conversion and Management*, 90: 282–291, (2015).
- Gürünlü Alma, Ö. ve Vupa, Ö. “Regresyon Analizinde Kullanılan En Küçük Kareler Ve En Küçük Medyan Kareler Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, *SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (E-Dergi)*, 3(2): 219-229, (2008).
- Hagan, M.T. and Menhaj, M.B. “Training Feed forward Techniques with the Marquardt Algorithm”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, <http://dx.doi.org/10.1109/72.329697>, 5: 989-993, (1994).
- Hocaoglu, F. O. and Serttas, F. “A novel hybrid (Mycielski-Markov) model for hourly solar radiation forecasting”, *Renewable Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.058>, 108: 635-643, (2017).
- Hocaoglu, F.O., Fidan, M. and Gerek, Ö. N. “Mycielski approach for wind speed prediction”, *Energy Conversion and Management*, 50: 1436-1443, (2009).
- <http://www.lanitisenergy.com/en/subsidiariesconercon-energy-solutions/photovoltaic-systems> [ziyaret tarihi: 15.03.2018]
- <https://library.e.abb.com/public/905d9f6bb28e412687112683045a2397/PVS800.pdf> [ziyaret tarihi: 15.03.2018]
- <https://trilemma.worldenergy.org/reports/main/2017/2017%20Energy%20Trilemma%20Index.pdf> [ziyaret tarihi: 30.03.2018]
- <https://www.globalspec.com/reference/10791/179909/chapter-3-ac-and-dc-motors-ac-motors-ac-induction-motor>. [ziyaret tarihi: 30.03.2018]
- Hu, W., Sun, Q., Lv, J. “Research on subway trains’ energy conservation running based on PSO”, *International conference on information science, electronics and electrical engineering (ISEEE)*, Sapporo; (2014).
- Hughes, A., *Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications*, 3rd ed. Burlington: *Elsevier* Ltd, (2006).
- Hull, G., Roberts, C., Hillmansen, S. “Simulation of energy efficiency improvement on commuter railways”, *IET conference on railway traction systems*, Birmingham; (2010).
- Ibrahim, I. A. and Khatib, T. “A novel hybrid model for hourly global solar radiation prediction using random forests technique and firefly algorithm”, *Energy Conversion and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.006>, 138: 413-425, (2017).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Jain, A. K., “Fundamentals of Digital Image Processing”, Englewood Cliffs, NJ, **Prentice Hall**, 150-153. ISBN-13: 978-0133361650, (1989).
- Jiménez-Pérez, P. F. and Mora-López, L. “Modeling and forecasting hourly global solar radiation using clustering and classification techniques”, *Solar Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.039>, 135: 682–691, (2016).
- Joo, F. “Solar-powered rail vehicle ready for service”, *International Railway Journal*, Simmons-Boardman Publishing Inc., 2013.
- Kalogirou, S.A., “Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, [http:// dx.doi.org/10.1016/S1364-0321\(01\)00006-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-0321(01)00006-5), 5: 373-401, (2001).
- Karnavas, L. Y. and Chasiotis, I. D. “On the Neural Network Single Phase Induction Motor Efficiency Estimation as a Design Tool”, *XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, [ieeexplore.ieee.org.](http://ieeexplore.ieee.org), (2016).
- Ke, B-R., Chen, M-C., Lin, C-L. “Block-layout design using MAX–MIN ant system for saving energy on mass rapid transit systems”, *IEEE Trans Intell Transp Syst.*, 10(2): 226–35, (2009).
- Ke, B-R., Lin, C-R., Lai, C-W. “Optimization of train-speed trajectory and control for mass rapid transit systems”, *Control Eng Pract*, 19: 675–687, (2011).
- Khosravi, A., Koury, R.N.N., Machado, L., Pabon, J.J.G. “Prediction of hourly solar radiation in Abu Musa Island using machine learning algorithms”, *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.065>, 176: 63-75, (2018).
- Kokken, K. “The reduction of energy consumption in EMU trains”, *6th World congress on railway research (WCRR)*, Edinburgh; (2003).
- Kueck, J., Olszewski, D. M., Casada, D. A., Hsu, J., Otaduy, P. J. and Tolbert, L. M. “Assessment of Methods for Estimating Motor Efficiency, Load Under Field Conditions,” Oak Ridge Nat. Lab., *Oak Ridge*, TN, Rep. ORNL/ TM-13165, (1996).
- Li, X. and Lo, H.K. “Energy minimization in dynamic train scheduling and control for metro rail operations”, *Transportation Research Part B*, 70: 269–284, (2014).
- Li, Z., Chen L., Roberts, C., and Zhao, N. “Dynamic Trajectory Optimization Design for Railway Driver Advisory System”, *IEEE Intelligent transportation systems magazine*, 132, (2018).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Lu, B., Habetler, T. G. and Harley, R. G. “A nonintrusive and in-service motor-efficiency estimation method using air-gap torque with considerations of condition monitoring,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 44(6): 1666–1674, Nov./Dec. (2008).
- Lu, B., Wenping, C., French, I. K., Bradley, J. and Habetler, T. G. “Nonintrusive efficiency determination of in-service induction motors using genetic algorithm and air-gap torque methods,” in Conf. Rec. *IEEE 42nd IAS Annual Meeting*, 1186–1192, (2007).
- Lu, S., Hillmansen, S., Ho, T.K., Roberts, C. “Single-train trajectory optimization”, *IEEE Trans Intell Transp Syst*, 14(2):743–50, (2007).
- Landwehr, M., Marie-Lilliu C. “Transportation projections in OECD regions”, detailed report, *International Energy Agency*, (2002).
- Mellit, A., Sağlam, S., Kalogirou, S.A. “Artificial neural network-based model for estimating the produced power of a photovoltaic module”, *Renew. Energy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.011>, 60: 71-78, (2013).
- Miyatake, M., Ko, H. “Numerical analyses of minimum energy operation of multiple trains under DC power feeding circuit”, *European conference on power electronics and applications*, Aalborg; (2007).
- Nowcasting, (n.d.). <https://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/Nowcasting.htm> [ziyaret tarihi: 30.03.2018]
- Ontario Hydro, “In-plant electric motor loading and efficiency techniques,” Toronto, ON, Canada, Rep. TSDD-90-043, 1990. [ziyaret tarihi: 30.03.2018]
- Pandey, P.K. Soupir, M.L. “A new method to estimate average hourly global solar radiation on the horizontal surface”, *Atmos. Res.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.05.012>, 114-115, 83-90, (2012).
- Paulescu, E. and Blaga, R. “Regression models for hourly diffuse solar radiation”, *Solar Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.11.044>, 125: 111–124, (2016).
- Pennebaker, W.B. and Mitchell, J. L. “JPEG: Still Image Data Compression Standard”, *Van Nostrand Reinhold*, (1993).
- Photovoltaic Noise Barriers, <http://www.pvresources.com/en/pvpowerplants/noisebarriers.php> [ziyaret tarihi: 18.08.2018].
- Phumiphak, P. and Chat-uthai, C. “Estimation of induction motor parameters based on field test coupled with genetic algorithm,” in *Proc. Int. Conf. Power Syst. Technol.*, 1199–1120, (2002).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Phumiphak, P. and Chat-uthai, C. “Nonintrusive method for estimating field efficiency of inverter-fed induction motor using measured values,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Sustainable Energy Technol.*, 580–583, (2008).
- Phumiphak, T. and Chat-uthai, C. “An economical method for induction motor field efficiency estimation for use in on-field energy audit and management,” in *Proc. Int. Conf. Power Syst. Technol.*, 1250–1254, (2004).
- Pietzsch, W. “Strassenplanung 3. Neuarbeitete und Erweiterte Auflage”, *Werner*, (1979).
- Pillay, P., Levin, V., Otaduy, P. and Kueck, J. “In-situ induction motor efficiency determination using the genetic algorithm,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, 13(4): 326–333, (1998).
- Polo, J., Bernardosb, A., Navarroa, A.A., Fernandez-Peruchenab, C.M., Ramírez, L., Guisadob María, V. ve diğerleri “Solar resources and power potential mapping in Vietnam using satellite derived and GIS-based information”, *Energy Conversion Management*, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.016>, 98:348–358, (2015).
- Quesada-Ruiz, S., Linares-Rodríguez, A., Ruiz-Arias, J.A., Pozo-Vazquez, D., Tovar-Pescador, J. “An advanced ANN-based method to estimate hourly solar radiation from multi-spectral MSG imagery”, *Sol. Energy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.014>, 115: 494-504, (2015).
- RailNews. Solar powered trains in India soon on heritage Kalka-Shimla route. RailNews media ltd. India. Available at: <http://www.railnews.co.in/solarpowered-trains-in-india-soon> [ziyaret tarihi: 08.08.2018].
- Rodrigo, E., Tapia, S., Mera, JM., Soler, M. “Optimizing electric rail energy consumption using the lagrange multiplier technique”, *J Transp Eng*, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000483](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000483), 139(3):321–329, (2013).
- Rohollahi, E., Abdolzadeh, M., Mehrabian, MA. “Prediction of the power generated by photovoltaic cells fixed on the roof of a moving passenger coach: a case study”, *J Rail Rapid Transit*, <http://dx.doi.org/10.1177/0954409714524749>, 1-8, (2014),
- RSSB. T618 technical report: improving the efficiency of traction energy use. London: *RSSB*; (2007).
- Ryan, T.P. “Modern Regression Methods”, 2nd Edition, *John Wiley Sons*, New York. ISBN: 978-0-470-08186-0, (2008).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Sakthivel, V. P., Bhuvaneshwari, R. and Subramanian, S. “Non-intrusive efficiency estimation method for energy auditing and management of inservice induction motor using bacterial foraging algorithm,” *IET Elect. Power Appl.*, 4(8): 579–590, (2010).
- Sertsoz, M., Altuntas, O. and Kusdođan, S. “Assessment of Energy Efficiencies and Environmental Impacts of Railway and Bus Transportation”, *Options, Causes, Impacts and Solutions to Global Warming, Elsevier*, Chapter 48, (2013).
- Sertsoz M., Fidan M., Kurban M. “Most Efficient Use of Two Types of Electric Locomotives for Load Transportation”, Sözlü Bildiri, *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE’17)*, Konya, Turkey (a), (2017).
- Sertsoz M., Fidan M., Kurban M. (a), “Three Autoregressive-Neural Network Hibrit Models For Energy Efficiency Estimation Of Induction Motors,” *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering (COMPEL)*, (2018).
- Sertsoz M., Fidan M., Kurban M. (b), “Güneş Enerjisi Destekli Raylı Sistem Tasarımının Güç Tüketimine Etkisi”, *Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK)*, (2018).
- Sertsöz, M., Fidan, M., Kurban, M. (c), “Efficiency Estimation Of Induction Motors At Different Sizes With Artificial Neural Networks And Linear Estimation Using Catalog Values”, *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, DOI: [10.18038/aubtda.333118](https://doi.org/10.18038/aubtda.333118), 19 (2): 293-302, (2018).
- Sertsoz M., Kurban M. (d), “Energy Efficiency of a Special Squirrel Cage Induction Motor”, *The Role of Exergy in Energy and the Enviroment, Springer*, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-89845-2_16, (2018).
- Siraki, A. and Pillay, P. “An in situ efficiency estimation technique for induction machines working with unbalanced supplies,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, 27(1): 85–95, (2012).
- Solar power for trains dawns in rainy Belgium, <http://www.reuters.com/article/us-belgium-solar-trains-idUSTRE77B2KD20110812> [ziyaret tarihi: 08.08.2018].
- Solar Ski Lift, <http://www.myswitzerland.com/en-se/solar-ski-lift.html> [ziyaret tarihi: 18.08.2018].
- Tang, H., Wang, Q., Dick, CT. “Optimizing train speed profiles to improve regeneration efficiency of transit operations”, Proceedings of the 2014 *Joint Rail Conference*, Colorado Springs; (2014).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

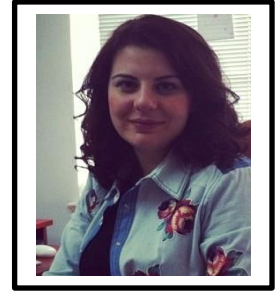
- Tao, C., Shanxu, D., Changsong, C. “Forecasting Power Output for Grid-Connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement”, In Proceedings of the 2010 *2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 16(18): 773–777, Hefei, China, (2010).
- Trains. Indian train. 2014-2015. Available at: <http://trains.ind.in/indian-train> [ziyaret tarihi: 16.05.2018].
- Trentini, M., “Photovoltaic systems for railways in Italy”, Tenth E.C. *Photovoltaic solar energy conference*, http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-3622-8_211, 4:826–829, Lisbon, Portugal, (1991).
- Urien, N., “Energy optimization for public transportation applications”, Leder WH, Sproule WJ, editors. Automated people movers and transit systems. *Reston: ASCE*, 404–415, (2013).
- Vasisht, MS., Vashista, G.A., Srinivasan, J., Ramasesha, SK. “Rail coaches with rooftop solar photovoltaic systems: A feasibility study”, *Energy*, 118: 684-691, (2017).
- Vasisht, MS., Vishal, C., Srinivasan, J., Ramasesha, SK. “Solar photovoltaic assistance for LHB rail coaches”, *Curr Sci*, 107(2): 255-9, (2014).
- Voyant, C., Randimbivololona, P., Nivet, M.L., Paoli, C., Muselli, M. “Twenty four hours ahead global irradiation forecasting using multi-layer perceptron”, *Meteorol. Appl.* 21(3): 644–655, (2014).
- Waide, P., and Brunner, C.U. “Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems”, Paris: *International Energy Agency*, (2011).
- Xin, T., Roberts, C., He, J., Hillmansen, S., Zhao, N., Chen, L., ve diğerleri “Railway vertical alignment optimisation at stations to minimise energy”, *IEEE 17th international conference on intelligent transportation systems*, Qingdao; (2014).
- Yadav, A.K., Chandel, S.S. “Solar radiation prediction using Artificial Neural Network techniques: a review”, *Renew. Sustain, Energy Rev*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.055>, 33:772-781, (2014).
- Yang, X., Li, Z., Gao, Z., Wang, H., Tang, T. A. “Cooperative scheduling model for timetable optimization in subway systems”, *IEEE Trans Intell Transp Syst*, 14(1):438–47, (2013).
- Yaniktepe, B., Kara, O., Ozalp C. “The global solar radiation estimation and analysis of solar energy: Case study for Osmaniye, Turkey”, *International Journal of Green Energy*, [DOI: 10.1080/15435075.2017.1329148](https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1329148), 14(9):765-773, (2017).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Mine Sertsöz

Doğum Yeri ve Tarihi: 17.11.1984/Pazaryeri-Bilecik



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi: Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği

Yüksek Lisans Öğrenimi: Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri: Raylı Sistemler, Enerji Verimliliği, Tahmin Yöntemleri.

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar: Anadolu Üniversitesi (Elektrik Mühendisi (2011-2013), Öğretim Görevlisi (2013-))

İletişim

Adres: Batıkent mah. Gerekli sok. No:3 D:4 Tepebaşı/Eskişehir

E-Posta Adresi: msertsoz@anadolu.edu.tr

Akademik Çalışmaları

- Sertsoz M., Fidan M., Kurban M. "Three Autoregressive-Neural Network Hibrit Models For Energy Efficiency Estimation Of Induction Motors" COMPEL, (sci-e).
- Fidan M., Sertsoz M. and Kurban M. "A 2B-AKD And 2B-Mycielski Based Hibrit Deterministic-Stochastic Hourly Global Solar Irradiation Model" International Journal of Green Energy (sci-e). (inceleme aşamasında)

Yabancı Dil Bilgisi

YDS İngilizce (77.5 puan)

Tarih:..... / /

Senato Karar Tarihi: / / Sayısı: .../...