

**GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ TAHMİNİNE ÖRÜNTÜ
TARAMA TABANLI YENİ BİR YAKLAŞIM
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Fatih SERTTAŞ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

Temmuz, 2015

Bu tez çalışması 14.FEN.BIL.52 numaralı proje ile AKÜ BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ TAHMİNİNE ÖRÜNTÜ TARAMA
TABANLI YENİ BİR YAKLAŞIM**

Fatih SERTTAŞ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Fatih SERTTAŞ tarafından hazırlanan “Güneş Işınım Şiddeti Tahminine Örüntü Tarama Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 02/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Mühendisliği Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan	: Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU A.K.Ü. Mühendislik Fakültesi,	İmza
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR A.K.Ü. Mühendislik Fakültesi,	İmza
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Engin ÇETİN P.A.Ü. Mühendislik Fakültesi,	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/07/2015

Fatih SERTTAŞ

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ TAHMİNİNE ÖRÜNTÜ TARAMA TABANLI YENİ BİR
YAKLAŞIM**

Fatih SERTTAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Bu tezde, sıkıştırma ve şifreleme gibi işaret işleme uygulamalarında kullanılan, örüntü tarama yöntemine dayalı çalışan Mycielski öngörücüsü, güneş ışınım şiddetini tahmin etmede kullanılmıştır. Güneş ışınım verileri öngörücü için giriş ve tahmin edilecek değerler olarak kullanılmıştır. Literatürde güneş ışınımı tahminiyle ve Mycielski yönteminin farklı uygulamalarda kullanılmasıyla alakalı birçok çalışma bulunmasına rağmen güneş ışınım şiddeti tahmininde ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır. Güneş ışınım verisi olarak Afyonkarahisar ve Antalya Bölgesine ait 2 yıllık ve 4 yıllık güneş ışınım değerleri kullanılmıştır. Mycielski yönteminin, tahmin işlemi sırasında geçmişini aynı şekilde tekrar etmesini önlemek veya örüntü tarama sırasında hata vermesini önlemek amacıyla algoritma üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Çalışmanın ilk kısmında Mycielski tahmin algoritması ve iyileştirmeler hakkında bilgi verilmiş, ikinci aşamasında ise Markov yöntemiyle Mycielski yöntemi, MATLAB programında öngörü amaçlı hibrit kullanılarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Örüntü taramaya dayalı tahmin algoritması, literatürde mevcut olan 2 boyutlu modelleme yöntemiyle modellenmiş güneş ışınım verisi üzerinde, hataların tahmin edilmesinde kullanılarak, mevcut yöntemden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Son aşamasında ise elde edilen güneş ışınım verileri, güneş enerjisi sistemleri tasarım ve planlama programları olan PVsyst ve PV SOL'da, 1 MW güneş enerji santrali fizibilitesi için kullanılmıştır.

2015, ix + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Öngörü, Mycielski Öngörücüsü, Güneş Işınımı, Tahmin Algoritması

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

A NOVEL PATTERN SEARCH BASED APPROACH TO SOLAR RADIATION
FORECASTING

Fatih SERTTAŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Renewable Energy Systems

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

In this thesis, pattern-scanning based method Mycielski predictor which mostly used in signal processing applications such as compression and encryption is used to estimate the solar radiation. Solar radiation data is used as input and output parameters as the predicted for the predictor algorithm. Although there are many studies about solar radiation prediction and Mycielski applications in the literature, solar radiation prediction using Mycielski algorithm is firstly used in this study. Afyonkarahisar and Antalya region 2 and 4 yearlong solar radiation is used as solar radiation data. In this study, there are some developments on Mycielski predictor algorithm to prevent the errors while pattern-scanning or repeating the history. In the first level of the study, there is information about Mycielski method and upgrading of Mycielski in this thesis, in addition to this, in the second level, Markov and Mycielski methods are used hybrid ,n MATLAB software to increase the accuracy of the prediction. The proposed pattern search based forecasting approach have been applied on a known 2D model in the literature and better results have been gotten. In the last level of the study, the obtained solar radiation data is used in PVsyst and PV SOL wihch are solar energy design and planning software to do feasibility of 1 MW solar energy power plant.

2015, ix + 54 pages

Key Words: Prediction, Mycielski Predictor, Solar Radiation, Estimation Algorithm

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma, Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 14.FEN.BİL.52 numaralı proje desteği ile gerekleŐtirilmiŐtir. AraŐtırmanın konusu, deneysel alıŐmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmıŐ olduğu büyük katkılarından dolayı tez danıŐmanım Sayın Do. Dr. Fatih Onur HOCAOğLU'na, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın ArŐ. Grv. Tuba Nur GÜL ve ArŐ. Grv. Dr. Emre AKARSLAN'a, her konuda öneri ve eleŐtirileriyle yardımlarını gördüğüm değerli bölüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma ve tüm hayatım boyunca, maddi ve manevi desteklerinden dolayı, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, baŐta ablam Gülay SERTTAŞ olmak üzere çok kıymetli aileme teŐekkürü bir bor bilirim.

Fatih SERTTAŞ
AFYONKARAHİSAR, 2015

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ TAHMİNİNE ÖRÜNTÜ TARAMA TABANLI YAKLAŞIM.....	7
3.1 Mycielski Algoritmasının İşleyişi.....	10
3.2 Yöntemin Güneş Işınım Verilerine Uygulanması	13
4. BİRİNCİ DERECEDEKİ MARKOV ZİNCİRİ.....	17
5. MYCIELSKI – MARKOV TAHMİN ALGORİTMASI.....	20
6. GAUSS-GAUSS YÜZEYİ ÜZERİNDEN HATA TAHMİNİ	24
7. GÜNEŞ ENERJİSİ TASARIM PROGRAMIYLA FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI.....	28
7.1 Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş Işınımı Veri Tabanı	31
7.2 Uygulama.....	33
8. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
9. KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	53

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Amper (Akım Birimi)
kWh	Kilowatt Saat
m ²	Metrekare
MW	Megawatt
R ²	Regresyon Katsayısı
V	Volt (Gerilim Birimi)
W	Watt (Güç Birimi)
Wp	Watt-peak (Tepe güç değeri)

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average (Oto regresif Dahili Hareketli Ortalama)
ARMA	Autoregressive Moving Average (Oto regresif Hareketli Ortalama)
ANFIS	Adaptive Neural Fuzzy Inference System (Adaptif Nöro-Bulanık Sonuç Sistemi)
DC	Doğru Akım
DGO	Durum Geçiş Olasılığı
DGOM	Durum Geçiş Olasılıkları Matrisi
DTMC	Discrete Time Markov Chain
FCD	Floating-Car Data (Akan Araç Verisi)
M-M	Mycielski - Markov
MABE	Mean Absolute Bias Error (Mutlak Eğilim Hata Ortalaması)
MLP	Multi Layer Perceptron (Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Modeli)
MPPT	Maximum Power Point Tracking (En Yüksek Güç Noktası Takibi)
MYH	Mutlak Yüzde Hata
FV	Fotovoltaik (PV)
RMSE	Root Mean Square Error (Ortalama Hata Karesinin Karekökü)
WPPT	Wind Power Prediction Tool (Rüzgar Gücü Tahmin Aracı)
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1	Verilerin tekrarı ve son verinin geçmişte taranmasını gösteren blok şema	9
Şekil 3.2	Güneş ışınım verilerine ait histogram grafiği.....	10
Şekil 3.3	Mycielski algoritması akış diyagramı	11
Şekil 3.4	Örüntü tarama örneği	12
Şekil 3.5	Geçmişte bulunan, taramayla eşleşen en uzun dizi.....	12
Şekil 3.6	Afyonkarahisar için korelasyon grafiği.....	15
Şekil 4.1	Durum geçiş olasılıkları (A ve B durum uzayları).....	18
Şekil 5.1	Mycielski - Markov tahmin algoritmasına ait akış diyagramı	20
Şekil 5.2	Antalya için korelasyon grafiği.....	22
Şekil 5.3	Tahmin ve ölçülen ışınım arasındaki fark çizimi.....	22
Şekil 6.1	Antalya için Gauss – Gauss yöntemiyle çıkarılan ışınım şiddeti yüzeyi	25
Şekil 6.2	Güneş ışınımı fark çizimi	26
Şekil 6.3	Korelasyon grafiği.....	27
Şekil 7.1	Afyonkarahisar güneş haritası.....	30
Şekil 7.2	Günlük ve aylık ortalama güneş ışınımı değerleri (2013 yılı ışınım verisi) ..	32
Şekil 7.3	Afyonkarahisar ANS Kampüsü üzerindeki güneş yolu	33
Şekil 7.4	Program çıktısı olarak MPPT	34
Şekil 7.5	FV modüller üzerinde oluşan gölgeler	35
Şekil 7.6	Program ile tesis konumlandırma simülasyonu	36
Şekil 7.7	Üretilen güce ve kayıplara bağlı performans oranı.....	37

Şekil 7.8 Üretilen güç ve kayıplar	38
Şekil 7.9 Afyonkarahisar ANS Kampüsü uydu görüntüsü	38
Şekil 7.10 Fotovoltaik güneş enerjisi sistemi temel bileşenleri	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Afyonkarahisar ve Antalya güneş ışıınım verilerine Mycielski yönteminin uygulanması	14
Çizelge 5.1 Durum geçiş olasılıkları matrisi (A(19:24,1:6)).....	21
Çizelge 5.2 Mycielski-Markov yöntemiyle güneş ışıınım tahmini doğruluk tablosu	21
Çizelge 5.3 Mycielski Yöntemi ile Mycielski – Markov hibrit yönteminin karşılaştırması (Yüzde Geliştirme Değeri)	21
Çizelge 5.4 Tahmin yöntemlerinin literatürdeki bazı yöntemlerle karşılaştırılması	23
Çizelge 6.1 Geliştirilen yöntemle hata tahmini sonuçları	27
Çizelge 7.1 Güç boyutlandırma karakteristikleri	34
Çizelge 7.2 Fizibilite çalışmasında kullanılan bileşen	40

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 7.1 Araziye ait fotoğraflar.....	39
---	----

1. GİRİŞ

Gelişen dünya ekonomilerinde hızla artan enerji talebini yalnızca tükenir yakıtlardan sağlamak mümkün değildir. Tükenen fosil yakıtlar ve artan enerji talebi insanları sürekli olarak yeni enerji kaynakları arayışına yöneltmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç da buna bağlı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle güneş enerjisinin, dünya var oldukça tükenmeyen enerji kaynağı olması nedeniyle ülkelerin güneş enerjili sistemlere olan yatırımları ve enerji politikaları artmaktadır. Maliyeti halen yüksek olan güneş enerjisi sistemlerinde, mühendislik çalışmaları içerisinde planlama ilk olarak yapılması gereken çalışmadır.

Güneş ışınımı temelde; atmosfer dışı güneş ışınımı (extraterrestrial solar radiation) ve global güneş ışınımı olmak üzere ikiye ayrılır (Khatib *et al.* 2012). Global güneş ışınımı ölçümü, güneş gözlem istasyonlarında piranometre, pirheliyometre, radyometre ve solarimetre gibi farklı cihazlar kullanılarak yapılır. Radyometreler toplam ve net değişim ışınımının ölçülmesinde ve termal güneş enerjisi uygulamalarının verimliliğini değerlendirilmede tercih edilirler (Agarwal and Verma 1978). Solarimetre, genellikle meteorolojik istasyonlarda toplam anlık ışıma değerini ölçmekte kullanılır (McCree 1966). Radyometre, içerisinde termal sensörler içeren, güneş ışınım şiddetini ölçmede yaygın olarak kullanılan küçük bir cihazdır (Gueymard and Myers 2009). Piranometre, dağınık ışınım şiddetini ölçmede kullanılır. Pirheliyometreler ise güneşten doğrudan gelen güneş radyasyonunu ölçmek için kullanılan aletlerdir.

Çeşitli modeller ile saatlik güneş ışınım tahmini, enerji sistemleri boyutlandırma ve meteorolojik tahminler gibi pek çok güneş enerjisi uygulamasında oldukça büyük öneme sahiptir. Doğru bir öngörüleme, bu tür uygulamaların verimliliğini artırmaktadır. Güneş ışınımı ölçüm ve kaydetme işlemlerinden sonra, kaydedilen ışınım verilerinin modellenmesi de çok önemlidir. Klasik olarak, güneş ışınım verileri, stokastik bir süreçten üretilen rassal zaman serileridir denilebilir. Tahminlenmesi de bu nedenle stokastik süreçli altyapıda, doğru matematiksel modellere dayanır. Doğruluk oranı yüksek bir model kullanıldığında, tahminin, matematiksel olarak verilen model ve geçmiş veri örneklerine bağlı olması beklenir. Diğer yandan, genellikle doğrusal olmayan bu

koşullu beklentilerin hesaplamaları yüksek istatistiksel değerleri kapsayan örneklerin dağılımı bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Erişilebilen ve kaydedilen veri sonlu olduğundan, dağılımlar tahmin edilebilir veya oto-regresyon, Markov veya yapay sinir ağları gibi ön ayarlı stokastik modellere uydurulabilir.

Güneş enerjisi sistemlerinde üretimi doğru tahminlemek, atmosferik olaylara bağlı olarak değişen güneş ışınımını doğru tahmin etmekten geçer. Literatürde yenilenebilir enerji verileri üzerinde tahminleme yapan pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada stokastik olmayan, gerekirci (deterministik) bir algoritma olan, örüntü tarama tabanlı Mycielski yöntemi güneş ışınımı tahmininde kullanılmıştır. Elde edilen teknik geliştirilerek, stokastik Markov yöntemiyle beraber hibrit çalışması sağlanarak yeni bir tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Üretilen, tahmini güneş ışınım verileri, gerçek verilerle karşılaştırılarak doğruluk ölçülmüştür. Örüntü tarama tekniğine dayalı geliştirilen yöntem, literatürde mevcut olan 2 boyutlu güneş ışınım şiddeti modelleme yaklaşımında, üretilen ve gözlemlenen veriler arasındaki hata modellenerek, hata tahmininde kullanılmıştır. Literatürde mevcut olan yöntemden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Güneş ışınım tahmin yöntemlerinden ve mevcut olan ölçülen ışınım şiddetlerinden elde edilen veriler, fizibilite çalışması yapmak üzere, güneş enerjisi tasarım ve planlama yazılımlarında kullanılmıştır. Kurulması planlanan 1 MW güneş santrali için gerekli alan, kurulacak bölgenin koordinatları ve güneş açıları, kullanılacak modül ve evirici sayısı, panellerin konumlandırılması hakkında detaylı analiz yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Kurulum maliyeti yüksek olan güneş enerjisi sistemlerinin kurulacağı yerin belirlenmesi, sistemin boyutlandırılması, planlanması ve doğru şekilde kurulumu oldukça büyük önem taşımaktadır (Hocaoğlu 2010). Güneş enerjisi sistemleri planlanırken, en önemli girdi parametresi, kurulacak bölgeye ait güneş ışınım verileridir. Sistemin veriminin, maliyetinin ve getirisinin hesaplanmasında güneş ışınım verilerinin tahminine ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş ışınımı ölçümünün yapıp bu verilere göre tahmin yapılması, çoğu zaman meteorolojik verilerden daha iyi sonuç vermektedir (Yadav and Chandel 2014).

Güneş ışınım verilerinin tahmininde, eski güneş ışınım verilerine ek olarak pek çok değişken girdi olarak kullanılmaktadır. Gün ışığıyla aydınlanma süresi, çevre sıcaklığı, nem, enlem-boylam, yılın günü, günlük açık gökyüzü ışınımı, toplam bulutluluk, hava sıcaklığı, berraklık endeksi, rakım, aylar, ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, atmosferik basınç, ortalama dağınık ışınım, ortalama doğrudan ışınım, dünya dışı ışınım, buharlaşma ve toprak sıcaklığı tahminlemede kullanılan parametrelerdir. Gün ışınım süresine meteorolojik sitelerden kolaylıkla erişilebilir. Bu nedenle güneş ışınımını modellemede sıklıkla kullanılmaktadır (Bakirci 2009). Literatürde güneş ışınım tahmininde kullanılmak üzere empirik modeller geliştirilen pek çok çalışma mevcuttur (Wong and Chow 2001, Batlles *et al.* 2000, Karakoti *et al.* 2011). Güneş ışınımı tahmininde, eski bir yöntem olan Ångström–Prescott modeli çoğunlukla tercih edilmiştir (Duzen ve Aydın 2012, Wong and Chow 2001)

Tahmin algoritmalarının doğruluğu, ölçülen gerçek verilerle, tahmin verilerinin karşılaştırılması sonucu test edilir. Genellikle mutlak yüzde hataya (MYH) bakılarak değerlendirilir. Değerlendirme şekli;

MYH < %10 ise tahmin doğruluğu yüksek,

%10 < MYH < %20 ise tahmin iyi,

%20 < MYH < %50 ise makul,

%50 < MYH ise doğru olmayan tahminleme olarak belirlenmiştir (Lewis 1982).

Yapay sinir ağları (YSA) güneş ışınım tahminleme yöntemi olarak iyi bir alternatif

oluşturmaktadır. Literatürde yapay sinir ağları kullanarak güneş ışınım tahminiyle alakalı pek çok çalışma bulunmaktadır (Kalogirou 2001, Yadav and Chandel 2014). YSA'lar örneklerden öğrenebilen, hata toleranslı, eksik veya gürültülü verilerde dahi iş görebilen, doğrusal olmayan problemlerle de çalışabilen yapılardır. YSA'ların çalışma mantığı insan nöron hücreleri temel alınarak oluşturulmuştur. Algoritma, öncelikle geçmiş örneklerden eğitilir ve ardından bunlara göre bir model oluşturur. Daha sonra bu modele göre yeni veriler üretir (Lazzaroni *et al.* 2015). Quesada-Ruiz vd. (2015), saatlik güneş ışınımı türetmede, Meteosat ikinci nesil görüntülerinden tahmin edilmesi yolunu seçmişlerdir. Tekniği uygularken, pek çok yapay sinir ağı yöntemi içerisinde, en iyi sonuç veren yapay sinir ağları modelini seçme üzerine çalışma yapmışlardır. Farklı gökyüzü koşullarını içeren modeller tanımlayarak, 28 radyometrik istasyondan aldıkları 3 yıllık güneş ışınım verisi kullanmışlardır. İstasyonlardan 7 tanesi YSA'nın eğitiminde, kalan 21 tanesi de bağımsız onaylama verisi olarak kullanılmıştır. Önerdikleri toplu YSA modeli, literatürde mevcut bulunan Heliosat-2 modelindeki RMSE değerini %22, tüm hava koşulları için olan modelin RMSE değerini %42 düşürmüştür.

Benmouiza ve Cheknane (2013) saatlik güneş ışınımı verilerinin tahmininde; k-means kümeleme yöntemi ile yapay sinir ağlarının kombinasyonuna dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Kümeleme yöntemi k-means, zaman serisi davranışını modelleme amaçlı veriden gerekli bilgiyi çıkarmaya odaklanırken, lineer olmayan otoregresif (otomatik gerileyen) yapay sinir ağları ise lineer olmayan zaman serilerini modelleme ve tahminlemede güçlü bir hesaplayıcıdır. Her iki modelin avantajlarının alınmasıyla k-means algoritması ve otoregresif YSA kombinasyonu daha iyi sonuç vermek üzere önerilmiştir. Hontoria vd. (2002) MLP kullanarak saatlik güneş ışınım verisi üretmişlerdir. Model MLP'nin, değişkenler üzerindeki açık olarak bilinmeyen iç ilişkileri bulma kapasitesine bağlıdır. Çalışmada MLP yönteminde kullanılmak üzere aylık ortalama güneş ışınım şiddeti değerleri ve ortalama bağıl varyans değeri parametre olarak seçilmiş ve sonuçlar literatürde mevcut bulunan 2 farklı yöntemle karşılaştırılmıştır.

Kaushika vd. (2014) güneşin; global, direkt ve dağınık ışınım şiddetleri arasındaki iç ilişkilere, yapay sinir ağları temelli açık bir yaklaşım getirmişlerdir. Cebirsel algoritma,

bu güneş ışınım parametreleri için açık gökyüzü koşullarında tahminleme yapılmasını da içermektedir. Tahminleme sonucunda yüzde RMSE değeri 5,19 olarak hesaplanmış olup, yağışın çok olduğu aylarda RMSE değerinin beklendiği üzere daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir.

Yang vd. (2012) saatlik güneş ışınımı tahmininde, bulut kaplama endeksini kullanarak zaman serilerini öngörülebilirlerdir. Öncelikle ARIMA modeliyle, global ışınım şiddeti, kısa dönemli olarak tahmin edilmiştir. İkinci yöntemde yine ARIMA ile doğrudan ve dağınık güneş ışınım verileri, ayrı olarak tahmin edilmiştir. Son olarak ise bu iki yöntem birleştirilerek, bulut kaplama endeksi de eklenerek tahminleme yapılmıştır ve daha iyi sonuç elde edilmiştir. Bulut kaplama endeksinin tahmin doğruluğunu artırdığını göstermişlerdir. Shukur ve Lee (2015), Kalman Filtresi-YSA modeli ve ARIMA (otoregresif, dahili hareketli ortalama) modelini hibrit kullanarak tahminleme yöntemi gerçekleştirmişlerdir. Yöntemde en uygun ARIMA modeli ve yapay sinir ağları modelleri, pek çok model denenerek tespit edilmiş, zaman serileri çizdirilerek yorumlanmıştır.

Bulutluluk durumu, güneş ışınımının belirli bir fonksiyona bağlı olmadan değişiminin temel nedeni sayılabilir. Açık gökyüzü endeksi, bulutluluk oranı bir bölgeye ait güneş ışınımını modellemede etkin olarak kullanılır. Yayılan ışınım değeri, güneşten doğrudan gelen ışınımın, atmosferde molekülleriyle yayılmış hale gelip dünya yüzeyine ulaşan ışınım (Hervás Soriano and Mulatero 2011, Furlan *et al.* 2012). Furlan vd. (2012) saatlik yüzeyde yayılan ışınım değerini tahminlemek üzere yeni bir regresyon yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntem, açık gökyüzü endeksine, yayılma kesrine ve bulutluluk oranına, geleneksel meteorolojik değerlere (hava sıcaklığı, nem ve yüzeydeki atmosferik basınç) ve hava kirliliğine (yüzeyde gözlenen partikül madde yoğunluğu) bağlıdır. Yöntem, kendinden önce geliştirilen yöntemlerden daha iyi R² ve RMSE sonuçları vermiştir (0,93 ve 0,085).

Saatlik ve aylık ortalama dağınık (yayılan) ışınım değerlerini tahmin etmede ileri beslemeli geri yayımlı YSA yöntemiyle, farklı iklimsel koşulların parametre olarak kullanılmasıyla yüksek doğruluklu çözümler elde etmek mümkündür (Alam *et al.* 2009).

Temeli klasik küme ve alt kümelerin gösteriminin geliştirilmesine dayanan bulanık mantık, her bir varlığın 0-1 aralığında herhangi bir değeri olabileceğini ve bu değer in yakınlık derecesi göstereceğini söyler (İnt.Kyn.3). Güneş ışınımı modellenmesinde bulanık mantık uygulamaları da kullanılmaktadır (Boata and Gravila 2012). Farklı istasyonlardan alınan güneş ışınım verileri üzerinde c-means kümeleme yöntemi kullanılarak düşük RMSE, yüksek (1'e yakın) R^2 değerleri elde etmek mümkündür.

İstatistiksel modelleme yöntemleri, yüksek doğruluğu kabul görmüş yöntemlerdir. Yenilenebilir enerji uygulamalarında güneş ışınımının matematiksel yöntemlerle modellenmesi önemli bir konudur. Hocoğlu (2011), güneş ışınım verilerini modellemede saklı Markov yaklaşımını kullanarak literatüre yeni bir yöntem kazandırmıştır. Çalışmasında Markov sürecini açıklamış, saklı Markov modeli ve Viterbi algoritmasını kullanarak yeni tahminleme yöntemi geliştirmiş ve elde ettiği bulguları önceki yöntemlerle karşılaştırarak yüksek doğruluğa sahip olduğunu kanıtlamıştır.

3. GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ TAHMİNİNE ÖRÜNTÜ TARAMA TABANLI YAKLAŞIM

Mycielski ayrık zaman serisi verilerinde tahmin yapan gerekirci (deterministik) bir algoritmadır (Fidan 2006). Algoritmanın temelinde, tahmin edilecek andan hemen önce tekrar etmiş verileri, geçmişteki en uzun alt dizi olarak bulmak yatmaktadır. Aranılan alt dizi bulunduğunda, bu alt diziden sonra gelen değer tahmin değerini oluşturacaktır. Bu yöntem önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinin en büyük sorunlarından olan rüzgar hızının stokastik yapısına bir çözüm olarak uygulanmış ve sonucunda yüksek doğruluklu rüzgar hız verileri elde edilmiştir (Lee *et al.* 2012; Fidan *et al.* 2009). Hatta Mycielski yönteminde yapılan değişikliklerle rüzgar hızı verisiyle birebir aynı karakteristiklere sahip veriler üretilebilmiştir (Fidan *et al.* 2011). Croonenbroeck ve Ambach (2015) bazı kısa ve orta dönemli rüzgar gücü rahmini modellerinin performansını incelemişlerdir. Rüzgar gücü tahmin aracı (WPPT) ve genelleştirilmiş versiyonu, Mycielski yönteminin adapte edilmiş hali, parametrik olmayan regresyon modeli ve birkaç tek değişkenli zaman serisi analiz edilmiştir. Mycielski yönteminin başarılı bir rüzgar hızı tahmincisi ve genellikle iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca Mycielski yöntemi bu uygulama alanı ile sınırlı kalmamış sinyal işleme tekniklerinde öngörücü sıkıştırma yöntemi olarak da kullanılmıştır (Gerek ve Fidan 2006). Mycielski yöntemi, kodlama işlemi sırasında tarama için dinamik olarak yapılandırılmış kodlama veri tabanı ile birleştirilerek ve üzerine zaman geliştirmesi uygulanarak Mycielski-78 adıyla yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Fabrizi ve Ragona (2014), Roma'da trafik akışını modellemek amacıyla, örüntü tarama ve eşleştirme mantığına dayalı yeni bir kısa dönem trafik hızı tahmincisi geliştirmişlerdir (Fabrizi and Ragona 2014). Bu yöntemde FCD (akan araç verisi) sistemi kullanılmış, gerçek zamanlı trafik hızı bilgisi İtalyan karayolları şebekesine ve bazı önemli şehrin ana arterlerine gönderilmiştir.

Tahmin işlemi herhangi bir andaki veri için, o andan önceki tüm geçmiş veriler kullanılarak gerçekleştirildiğinden bu işlem sonsuz geçmiş kullanan bir fonksiyon olarak da tanımlanabilir. Tahmin işleminin fonksiyonel ifadesi denklem (3.1) ile verilebilir.

$$\hat{x}[n + 1] = f_{n+1}(x[1], L, x[n]) \quad (3.1)$$

Bu algoritmanın asıl amacı şu andaki diziyle eşleşecek geçmiş veriler içerisindeki en uzun diziyi bulmaktır. Bu yöntemi uygulayarak sinyal içindeki aynı alt yapıları bulup, bu yapılardan sonraki davranışın da aynı olacağını varsayar. Bu varsayıma bağlı olarak bu alt diziyi kendinden önceki geçmiş içinde bulduğunda, bulunduğu yerdeki alt diziden sonra gelen elemanı fonksiyonun görüntü değeri olarak belirler. Bu değerın analitik karşılığı denklem (3.2)'de verilmiştir (Hocaoğlu *et al.* 2009).

$$m = \underset{k}{\operatorname{argmax}} \begin{cases} x[k] = x[n], x[k - 1] = x[n - 1] \\ \dots \dots x[k - L + 1] = x[n - L + 1] \end{cases} \quad (3.2)$$

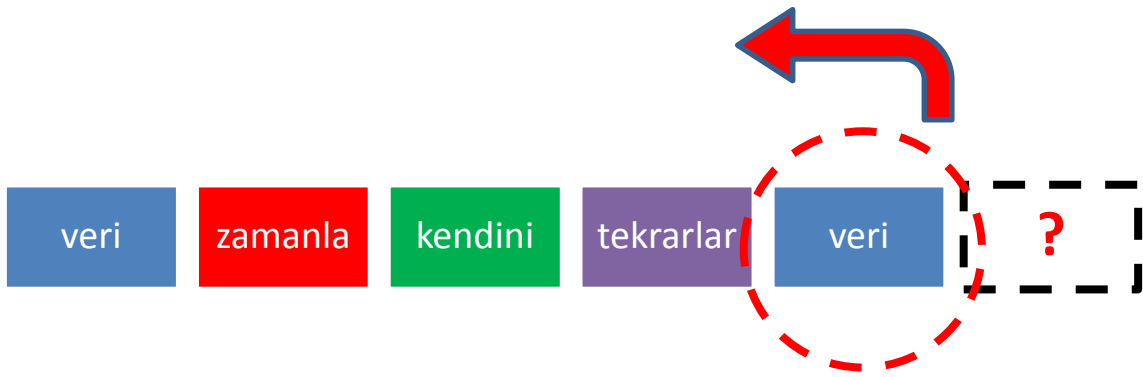
$$f_{n+1} = \hat{x}[n + 1] = x[m] \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlikteki L sembolü geçmişteki en uzun dizinin yerini temsil etmektedir.

Dizi arayışına en kısa geçmiş verisinden başlanır. Öngörü değerinin olduğu birkaç eleman söz konusu olduğunda veri dizisi arttırılarak işleme devam edilir. Algoritma geçmiş veriler içerisinde bulunmayan bir veri dizisi ile karşılaşınca ya da sinyalden daha uzun bir dizi elde edilinceye kadar devam eder. Bu şekilde el edilen son dizinin öncesindeki sinyal elemanı, $\hat{x}[n + 1]$ için en "olası" öngörüdür. Araştırma işleminin veri uzunluğu genişletilerek yapılması öngörü değerinde iyileştirme sağlar. Daha doğru bir sonuç elde etmek için her arama sonucunda geçmişten öngörü olarak belirlenen veri ve üzerinde arama yapılan veri dizisi sinyalden çıkarılarak arama aralığı daraltılır. Bu işlem tüm tarama süreci sonuna kadar devam eder. Taranan en kısa alt dizi bile geçmişte bulunamadığı durumlarda, öngörü değeri sıfır kabul edilmiştir. Karşılaştırma geçmiş verilerle yapıldığından $x[2]$ ve $x[1]$ için herhangi bir arama işlemi yapılamaz. Bu elemanlar için öngörü değeri 0 olarak kabul edilir ve ilk öngörü $x[3]$ elemanı için yapılır.

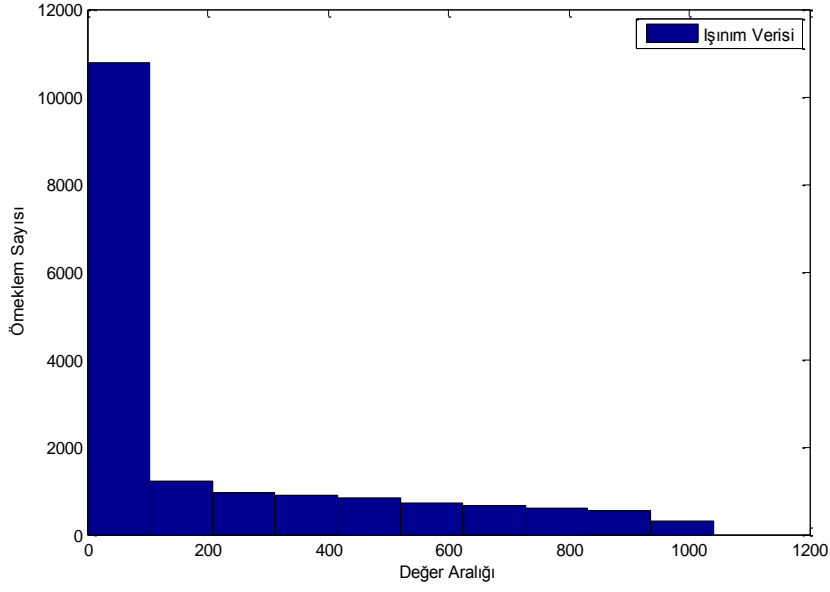
Mycielski yöntemiyle güneş ışınım şiddeti tahmini, diğer tahmin algoritmalarının da temelinde olan şekilde, tabiatta var olan stokastik düzeni, matematiksel olarak modelleyerek tanımlamaya çalışmaktır. Bu noktada tez çalışmasının önermesi, geçmişte var olan olayların zaman içerisinde, yeri kesin olarak kestirilemeyecek şekilde kendini

sürekli tekrar etmesidir. Mycielski yöntemi, var olan güneş ışınım verilerinin yeni değerlerini tahmin ederken, son olarak kaydedilen ışınım verilerinin geçmişteki birebir karşılığını bulur, o karşılık gelen değer veya diziden sonraki veriyi tahmin değeri olarak alır. Geçmiş tarama işlemini yaparken, aranan son değer birkaç yerde karşılığı bulunabilir. Bu durumda taranan veriye bir değer daha ekleyip tekrar arama yapar. Bu şekilde devam ederek, geçmiş verilerde karşılığı bulunan en uzun diziyi tespit eder ve bu diziden sonra gelen elemanı tahmin verisi olarak alır. Şekil 3.1’de tarama sisteminin temel blok şeması verilmiştir.



Şekil 3.1 Verilerin tekrarı ve son verinin geçmişte taranmasını gösteren blok şema.

Mycielski algoritması MATLAB programında oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Tahmin yönteminin verimli çalışması için, öncelikle güneş ışınım verileri, dağılım ve sıklığına göre belirli bir aralık belirlenerek durumlara dönüştürülmüştür. Işınım verilerinin Şekil 3.2’de verilen histogramı incelenerek, verilerin 0 ile 1050 değeri arasında değiştiği görülmüş ve aralık boyutu olarak da doğruluğu artırmak amacıyla 10 seçilmiştir. Bu durumda 105 durum oluşmuş ve güneş ışınım değerleri daha az değişkenli ve tam sayı haline gelmiştir. Mycielski yöntemi, son değer geçmiştaki birebir eşleşmelerini bulacağı için durumlara ayırma işlemi oldukça gereklidir. Gan vd. (2012) farklı durum boyutlarının Mycielski tahmin yöntemi üzerine etkilerini araştırmışlar ve sonucunda durum aralığını düşük tutarak fazla durumlar oluşturmanın en iyi sonuçlar verdiği kanısına varmışlardır.

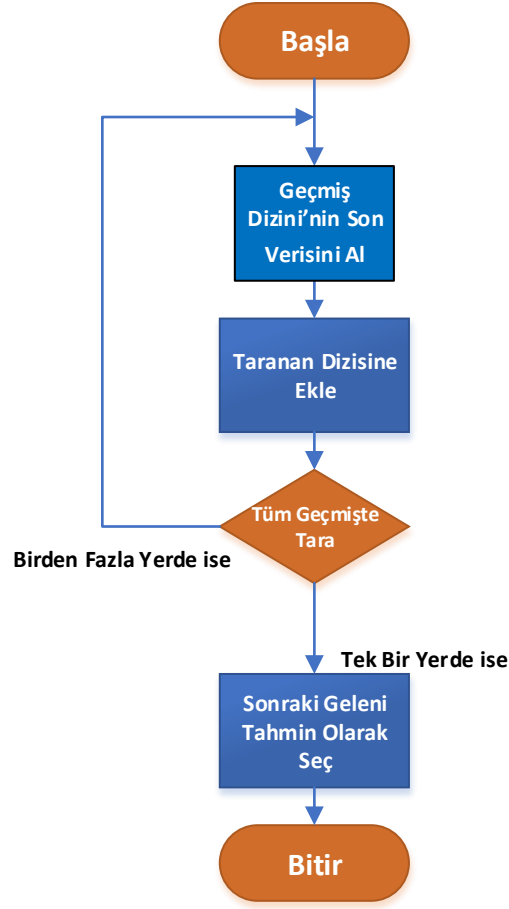


Şekil 3.2 Güneş ışınım verilerine ait histogram grafiği.

Durumlara dönüştürme işleminden sonra, tahmin verilerinin gerçek değerlerle karşılaştırma yapılabilmesi için, tüm verinin dörtte biri ayrılmış, geriye kalan dörtte üç, geçmiş olarak kullanılmıştır. Tahmin edilen dörtte birlik kısım, ayrılan gerçek değerlerle karşılaştırılarak hata yüzdeleri tespit edilmiştir.

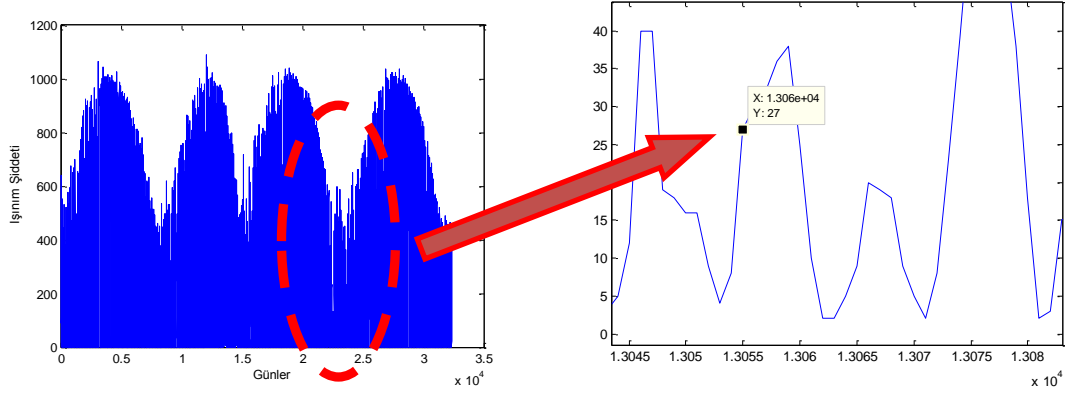
3.1 Mycielski Algoritmasının İşleyişi

Mycielski algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 3.5’de verilmiştir. Akış diyagramına göre, Mycielski algoritması, geçmişte eşleşen en uzun diziyi bulmaya çalışmakta ve bulduğunda, diziden sonraki veriyi tahmin verisi olarak seçmektedir.



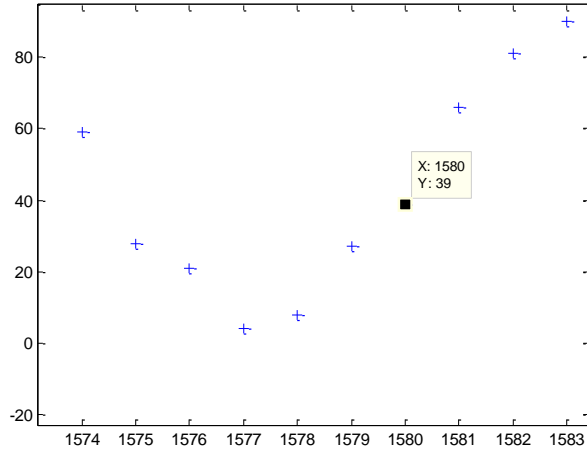
Şekil 3.3 Mycielski algoritması akış diyagramı.

Bu şekilde saatlik güneş ışınım şiddeti veri dizisinde kısa dönemli tahmin işlemini gerçekleştirmektedir. Şekil 3.4'te Mycielski işleminin örüntü tarama örneğini göstermektedir. Bu örnekte geçmiş dizisinin ilk verisi "27" değeridir. Algoritma öncelikle tüm veride "27" değerlerini taramaktadır. Geçmişte 121 yerde "27" değeri geçtiği için, tarama dizisi 27'nin yanındaki eleman da eklenerek genişletilir ve yeniden taranır.



Şekil 3.4 Örüntü tarama örneği.

Taranan dizi artırıldığında, dizi [8, 27] şeklinde olur. Geçmişte 4 yerde bulunan dizi, en on tek bir yerde bulunana kadar yanındaki elemanların eklenmesiyle artırılmaya devam edilir. Yeni aranan dizi, [4, 8, 27] değerine dönüşmüştür. Algoritma bu kez taranan diziyi geçmişte yalnızca bir yerde bulur. Tarama işlemi sona erdirilir ve geçmişte bulunan [4, 8, 27] dizisinden sonraki değer olan ve Şekil 3.5'te gösterilen '39' tahmin olarak atanır.



Şekil 3.5 Geçmişte bulunan, taramayla eşleşen en uzun dizi.

Geçmişte bulunup tahmin olarak atanan '39' değeri, gerçekte '36' olarak ölçülmüştür. Mycielski algoritmasıyla saatlik bazda kısa dönem tahmin yapıldığı için, bir sonraki saati tahmin etmede tahmin edilen '39' değeri yerine, gerçekte ölçülen '36' değeri alınır. Yeni Taranacak olan olası alt diziler; [36], [27, 36], [8, 27, 36], [4, 8, 27, 36] şeklindedir. Gelecek olan bir saati tahmin eden algoritma, bu şekilde defalarca çalıştırılarak, bir yıl veya yılın belirli bir dönemi tahmin edilmiştir.

Işınım şiddeti tahmini yapılırken, verideki 2200 elemanın içerisindeki taramalarda Mycielski yöntemindeki bazı istatistikler şöyledir:

- Tek eleman taranıp yalnızca 1 eşleşme durumu oluşması = 0 durum.
- 2 eleman taranıp yalnızca 1 eşleşme durumu oluşması = 642 durum.
- 3 eleman taranıp yalnızca 1 eşleşme durumu oluşması = 521 durum.
- 4 eleman taranıp yalnızca 1 eşleşme durumu oluşması = 24 durum.
- 5 eleman taranıp yalnızca 1 eşleşme durumu oluşması = 0 durum.

Bu eşleşme durumlarından dolayı, algoritmada taranacak en uzun veri için maksimum 6 eleman seçilmiştir.

Örüntü tarama tabanlı Mycielski yönteminin akış diyagramı incelendiğinde güneş ışınım şiddetine uyarlamak için bazı geliştirmelere gereksinim duyduğu tespit edilmiş ve tez çalışması kapsamında farklı öneriler getirilerek iyileştirmeler yapılmıştır. Yukarıdaki durumların dışında, örnek olarak belirtmek gerekirse, algoritma, tarama dizisini geçmişte birkaç farklı yerde bulmasına rağmen, dizi bir önceki veri de eklenerek genişletildiğinde hiçbir yerde bulamama durumu söz konusu olabilmektedir. Böyle bir durumda, önceki eşleştirdiği değerlerden sonra gelen verinin herhangi birini rassal olarak seçmesi ve tahmin değeri olarak ataması önerilmiştir. Tezin devam eden kısmında ise bu durum hâsıl olduğunda, Markov yöntemine geçmesi ve durum geçiş olasılıkları matrisine göre hareket etmesi önerilmiştir.

3.2 Yöntemin Güneş Işınım Verilerine Uygulanması

Mycielski algoritması iki yıllık Afyon ve Antalya güneş ışınım verilerine uygulanmış ve öngörüleme işlemi yapılmıştır. Öngörüleme işlemi sonrasında, tahmin değerleri ile gerçek veriler karşılaştırılmış ve algoritmanın doğruluğu test edilmiştir. Hata tespiti yapılırken aşağıda formülleri verilen RMSE, r , R^2 , ve MABE değerleri kullanılmıştır. R^2 belirleme katsayısıdır. Çıkarımsal analizde R-kare değeri bulunur ve bulunan değer doğru hesaplanmışsa 0 ile 1 arasında olmalıdır. Değer ne kadar 1'e yakınsa, tahminleme yöntemi o kadar iyi çalışmaktadır. Aynı şekilde r (korelasyon katsayısı) değerinin de 1'e yakınlığı yapılan tahminin doğrulunu göstermektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (3.4)$$

$$R^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \cdot \sqrt{n(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (3.5)$$

$$MABE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (3.6)$$

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (x_{mn} - x_{ort})(y_{mn} - y_{ort})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (x_{mn} - x_{ort})^2} \cdot \sqrt{\sum_m \sum_n (y_{mn} - y_{ort})^2}} \quad (3.7)$$

Denklemlerde y değeri algoritma ile üretilen tahmin değerine, x değeri ölçülen gerçek değer, i değeri saat değeri ve n değeri ise örnek uzayının eleman sayısına karşılık gelmektedir. Afyonkarahisar ve Antalya güneş ışınım verilerine Mycielski yöntemini uygulanırsa Çizelge 3.1’de karşılaştırma değerleri verilen değerler elde edilir.

Çizelge 3.1 Afyonkarahisar ve Antalya güneş ışınım verilerine Mycielski yönteminin uygulanması.

Mycielski Yöntemi	RMSE	R²	MABE	r
Afyonkarahisar	16,91	0,8264	13,360	0,8251
Antalya	13,90	0,8163	10,976	0,8832

RMSE değeri, gözlemlenen veri ile tahmin edilen veri arasındaki farkları ölçen bir değerdir. RMSE’nin 0’a yakın olması, hata değerinin küçük olduğunu ifade eder. RMSE değeri RMSE değerinin Antalya ili için aynı algoritmayla daha başarılı değer vermesi, Antalya ilinin güneş rejiminin daha düzgün (az bulutlu) olmasına bağlıdır. Daha iyi bir tahminleme sonucu vermiştir.

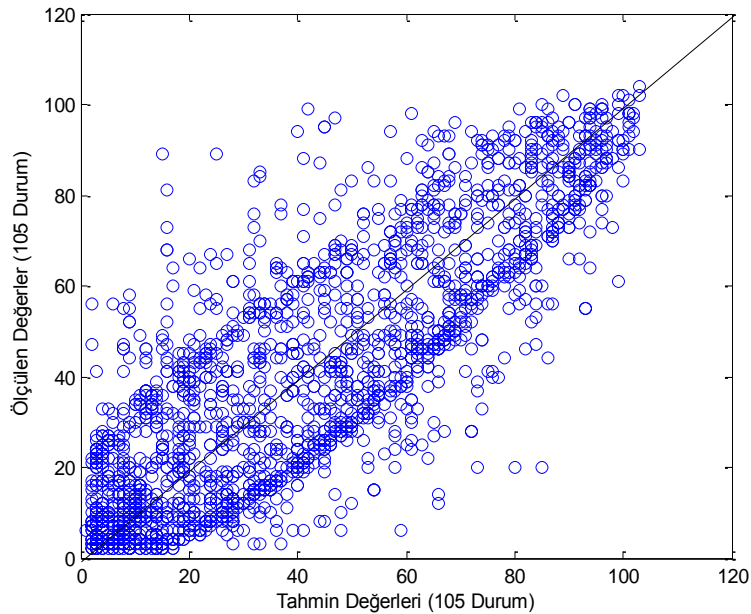
R² değerinin 0 ile 1 arasında olması, doğru hesaplandığını gösterir ve 1’e yakın olması istenen bir durumdur. Geometrik olarak X-Y düzeyinde doğrusal regresyon tahmini, bu düzeyde olan noktalara en-küçük-kareler prensibine göre en iyi uyan bir doğru uydurmaktır. Eğer bütün noktalar bu tahmin edilen doğru üzerinde ise tahmin edilen

doğru uyumu bu veri noktaları için hiç hatasızdır ve veri noktaları doğrudan hiç ayrılık göstermez. Hat varyasyonu bu halde sıfır olur. Bu veri noktaları tahmin edilen doğrudan uzaklaştıkça hatalar varyasyonu çoğalmaktadır. Eğer R^2 değerı sıfıra yakınsa, uyum iyiliği uygun olmadığı kabul edilir. Bu sonuç ortaya çıkarsa toplanan verilere kullanılan modelin uygun olmadığı sonucu çıkarılır ve bu uygunsuzluk modelinin değiştirilmesini gerektirir. Bu demektir ki; model ile açıklanan varyasyon, tüm varyasyonun %0'ını açıklamakta ve geometrik olarak örneklem verileri regresyon ile elde edilen hiper düzeyin etrafına çok dağılmış olarak bulunmaktadır. Bu çıkarıma varılırsa bu basamağa kadar yapılmış olan analiz değiştirilmesi gerekir.

Eğer R^2 değerı bire yakınsa, uyum iyiliği uygun olduğu sonucu çıkarılır. Geometrik olarak çok değişken boyutlu uzayda, örneklem veri noktalarının hepsi uzayda dağılma göstermeyip hemen hepsi regresyon ile elde edilen hiper düzey üzerinde bulunmaktadır.

MABE değerı mutlak ortalama sapma hatası olarak adlandırılır. Diğer istatistiksel değerlendirme yöntemlerine göre daha nadir kullanılmaktadır (Badescu 2008). MABE değerı korelasyonun iyiliğini gösteren bir ölçüdür (Almorox and Hontoria 2009).

Tahmin yöntemiyle elde edilen veriler ile ölçülen değerler arasındaki korelasyon grafiği Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Afyonkarahisar için korelasyon grafiği.

Korelasyon grafiğinde doğru etrafında dağılan değerlerin doğruya yakın olması, ölçülen ve tahmin edilen değerlerin birbirine olan yakınlığını ifade etmektedir. Yakınlık durumu tahmin değerlerinin büyüklüklerine göre farklılık göstermektedir. Veriler içinde çok bulunan verilerin tahmininde korelasyonun köşegen çizgiden uzaklaştığı ve dağıldığı görülmekte, büyüyen ve nadir bulunan değerler için daha yakın dağıldığı gözlenmektedir. Korelasyon katsayısı ise 0,8251 bulunmuş, yani tahmin korelasyon değeri “iyi” olarak belirlenmiştir. 0,9 - 1 arasında “yüksek iyi”, 0,7 - 0,9 arasında “iyi”, 0,5-0,7 arasında “orta”, 0,5’den düşük ise korelasyon değeri düşük olarak belirlenir.

4. BİRİNCİ DERECEDEDEN MARKOV ZİNCİRİ

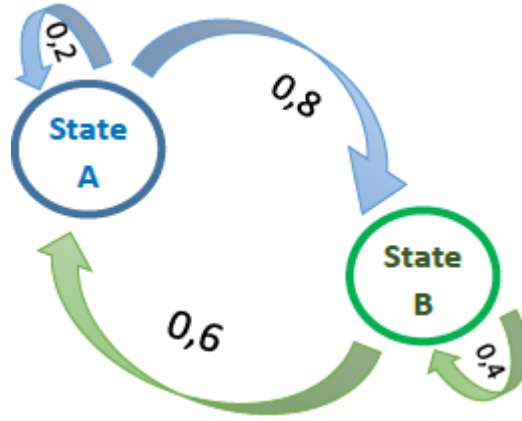
Markov zinciri (kesikli zaman Markov zinciri veya DTMC), Andrey Markov tarafından geliştirilen, bir durum uzayından diğer bir durum uzayına geçme durumunu matematiksel olarak modelleyen sistemdir. Markov, belleksiz olarak tanımlanabilen rassal bir süreçtir. Gelecek durum yalnızca şu anki duruma bağlıdır, geçmişteki olaylar dizisiyle bağlantısı yoktur. Bu belleksizlik, yani geçmişi kaydetmeme durumuna Markov özelliği denilir. Tez çalışmasında, bu özelliğin tersine hareket eden Mycielski yöntemiyle, Markov yöntemi beraber kullanılarak pek çok ayrı durum değerlendirilmiştir. Markov zincirleri gerçek-dünya süreçlerini istatistiksel modeller olarak sunan pek çok uygulamaya sahiptir (Everitt and Skron dal 2010).

Markov zinciri, Markov özelliğine sahip bir stokastik süreçtir. Yani gelecek durumlar geçmişten bağımsız olarak o andaki durum kullanılarak tahmin edilir. Başka bir deyişle tahmin yapılan andaki durum gelecek durumla ilgili tüm bilgileri kapsamaktadır. Markov zincirinin diğer stokastik modellerden daha güvenilir olduğunun kanıtlanmasıyla bu modele olan ilgi artmış ve yapılan enerji uygulamaları çeşitlilik kazanmıştır (Mustacchi *et al.* 1979). Markov zinciri literatürde birçok alanda kullanıldığı gibi enerji sistemlerinde belirli parametrelerin tahmininde de etkin şekilde kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı meteorolojik değişkenlerin dağılımını benzetim yapmak için Markov zincirinden faydalanmıştır. İlerleyen günlerde havanın yağmur ya da kurak olup olmayacağı (Williams, 1952; Longley, 1953; Gabriel and Neumann, 1962), rüzgâr hızının değeri (Şahin ve Şen 2001; . Ettoumi *et al.* 2003; Shamshad *et al.* 2005) ve güneş ışınım değeri (Hocaoğlu, 2011) üzerinde çalışılan meteorolojik konularından birkaçıdır. Rüzgar hızı ve güneş ışınımı enerji sistemlerinin verimini arttırmak ve maliyetini düşürmek amacıyla kullanılan parametreler olduğundan bu konularda yapılan çalışmalarda doğruluk oranı büyük önem taşımaktadır. Bu doğruluk oranının Markov zinciri ile artırılması hedeflenmektedir. Mellit vd., global ışınım dizilerini oluşturmak için Markov zincirinden yararlanmıştır. Çok farklı şartlar altında tahminler yapılarak Markov modelinin uygulanabilirliği desteklenmiştir. Çalışma bölgesi, tahmin periyodu, durum karakteristikleri değiştirilerek defalarda model kanıtlanmıştır. Markov modeli dünyanın çok farklı bölgelerinde saatlik (Poggi *et al.* 2000), günlük (Aguiar ve Collares-Pereira, 1989; Khtira and Buret-Bahraoui (1992), ve daha uzun süreler (Petrie and McClintock,

1978) için güneş ışınımı tahminleri yapılabilmesine imkan sunmaktadır. Yapılan tüm çalışmaların sonucunda gerçeğe oldukça yakın sinyaller üretilerek Markov yönteminin güçlü yanları ortaya çıkarılmıştır.

Markov zinciri, Markov özelliği ile bir stokastik süreçtir. Sadece bitişik devirler arasında seri bağımlılık göstermesi nedeniyle rassal değişkenler dizisinde zincir adıyla anılır. Zincir adı, “Bir sonraki adımda ne olacağı şu anki adıma bağlıdır.” sistemlerinde gerçekleşen birbiriyle bağlanmış olayları tanımlarken kullanılır. Birinci dereceden Markov, yalnızca gelecek durumun tek bir şu anki duruma bağlı olması durumudur, ikinci ve daha yüksek dereceden Markov süreçlerinde ise bir önceki ve daha önceki durumlar da hesaba katılır.

Sistemdeki durumların değişimi geçiş olarak adlandırılır. Olasılıklar, geçiş olasılıkları adı verilen, Şekil 4.1’de gösterilen, çeşitli durum değişimleriyle ilişkilendirilir. Süreç, durum uzayı, durum geçiş olasılıkları matrisi, durum uzayındaki ilk durum ile karakterize edilir. Geleneksel olarak, sürece tüm olası durumlar ve geçişler dahil edilir, bu yüzden her zaman gelecek bir durum vardır ve süreç hiç bitmez.



Şekil 4.1 Durum geçiş olasılıkları (A ve B durum uzayları).

Biçimsel olarak, adımlar tam sayılardır veya doğal sayılardır ve rassal süreç bu iki durumun haritasıdır.

$X(t_n)$ stokastik süreç, kesikli durumlar uzayı $S=\{1,2,\dots,K\}$ kabul edersek, genel olarak $t_1 < t_2 < \dots < t_{n-1} < t_n$ şeklinde zaman noktaları verilen bir dizi için durumsal olasılıklar şöyle olmalıdır;

$$\Pr\{X(t_n) = i_n | X(t_1) = i_1, \dots, X(t_{n-1}) = i_{n-1}\} = \Pr\{X(t_n) = i_n | X(t_{n-1}) = i_{n-1}\} \quad (4.1)$$

$Pr\{X(t) = j | X(s) = i\} = P_{ij}(s, t)$ olasılıkları, i durumundan j durumuna geçiş olasılığı olarak adlandırılır.

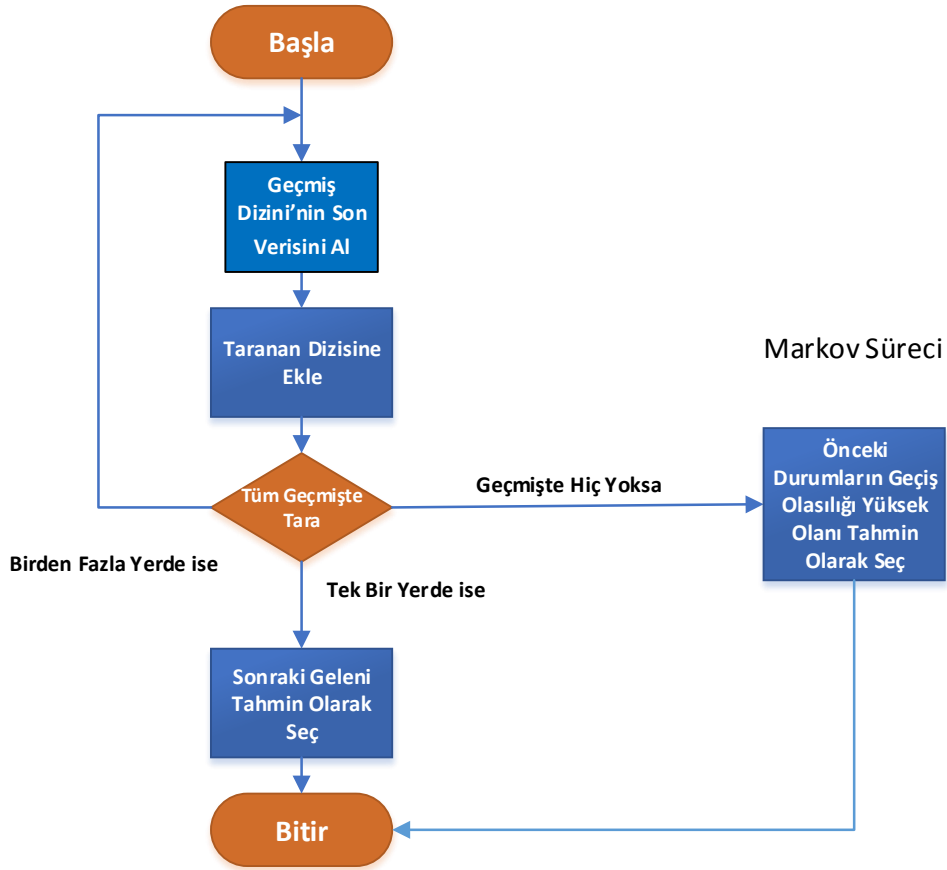
Durum geçiş olasılıkları matrisi (DGOM) Denklem 4.2’de formülü gösterildiği şekilde, dizideki her bir değer için hesaplanır (SHAMSHAD *et al.* 2005).

$$\begin{bmatrix} p_{1,1} & \cdots & p_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{k,1} & \cdots & p_{k,k} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

DGOM, geçmiş dizisindeki güneş ışınım şiddeti durumlarının birbirleriyle olan geçiş olasılıkları ilişkilerini vermektedir. Literatürde birinci dereceden Markov zinciri ve DGOM pek çok yenilenebilir enerji kaynağının modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

5. MYCIELSKI – MARKOV TAHMİN ALGORİTMASI

Tez çalışmasının bu bölümünde, Mycielski algoritması Markov zinciri kullanılarak geliştirilmiştir. Mycielski yönteminde, geçmişte tek bir en uzun alt dizi bulunamadığı zaman birinci dereceden Markov zinciri ile, dizilerden sonra gelen elemanlar için durum geçiş olasılıkları matrisine bakılır. Gelme olasılığı yüksek olan eleman tahmin değeri olarak kullanılır. Algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Mycielski - Markov tahmin algoritmasına ait akış diyagramı.

Yeni yöntemde öncelikle güneş ışınım verilerinin DGOM (durum geçiş olasılıkları matrisi) çıkarılır. Güneş ışınım verileri yüz beş duruma dönüştürüldüğü için, DGOM 105x105’lik bir kare matris halini alır. Afyon güneş verilerine ait DGOM’un bir kısmı, Çizelge 5.1’de temsili olarak gösterilmiştir. Mycielski yönteminin eksikliklerinin olduğu noktada, Markov zinciriyle, son dizinin geçmişte eşleştirilen yerlerinden sonra gelen

elemanlarla dizinin son elemanı arasındaki durum geçiş olasılığı büyük olan değer tahmin değeri olarak atanır. Mycielski - Markov yöntemiyle güneş ışınım tahmini sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Durum geçiş olasılıkları matrisi (A(19:24,1:6)).

0,004673	0,037383	0,098131	0,070093	0,023364	0,023364
0,009901	0,034653	0,089109	0,059406	0,014851	0,019802
0	0,010753	0,064516	0,075269	0,032258	0,026882
0	0,009174	0,027523	0,06422	0,045872	0,022936
0	0	0,025907	0,051813	0,020725	0,046632
0	0	0,019802	0,024752	0,049505	0,034653

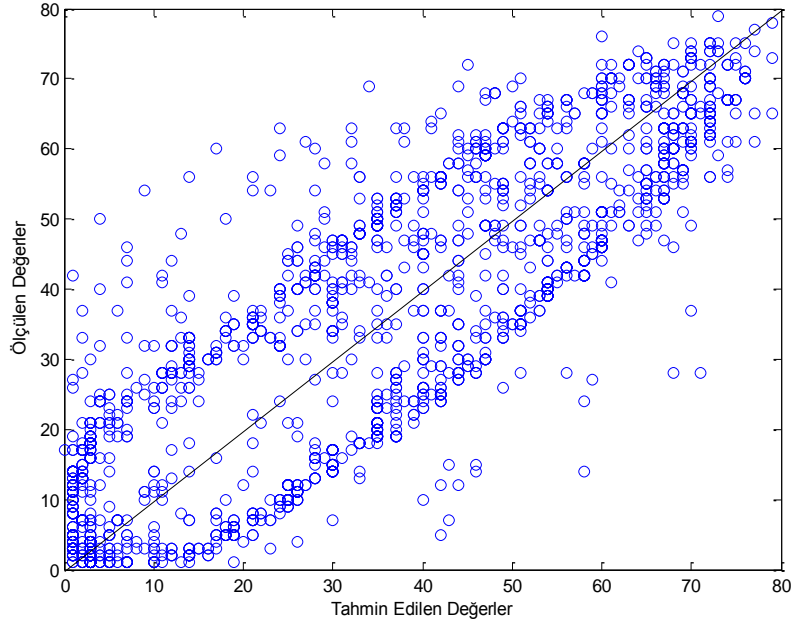
Çizelge 5.2 Mycielski-Markov yöntemiyle güneş ışınım tahmini doğruluk tablosu.

Mycielski – Markov Yöntemi	RMSE	R²	MABE	r
Afyonkarahisar	15,9596	0,8506	12,9904	0,8511
Antalya	13,49	0,8320	10,7554	0,8479

Her iki il için de elde edilen RMSE değerleri, yalnızca Mycielski yöntemiyle alınan sonuçlarla karşılaştırıldığında, yaklaşık %1 oranında iyileşme görülmüştür. R² değerleri 1’e yaklaşarak yöntemin daha iyi sonuç verdiğini ispatlamıştır. MABE değerlerinin ise belirli oranda azalma göstermesi, doğruluğun arttığını destekleyen sonuçlardandır. Çizelge 5.3’te yalnızca Mycielski yönteminin uyarlaması ile Mycielski – Markov hibrit modeline ait değişimler gösterilmiştir. Şekil 5.2’de Antalya için ölçülen güneş ışınım değerleri ve tahmin edilen güneş ışınım değerleri verilmiş olup, köşegene yakın olması korelasyon değerinin iyi olduğu göstermektedir. Yüksek değerlerde korelasyon sonucunun daha iyi olduğu gözlenmektedir.

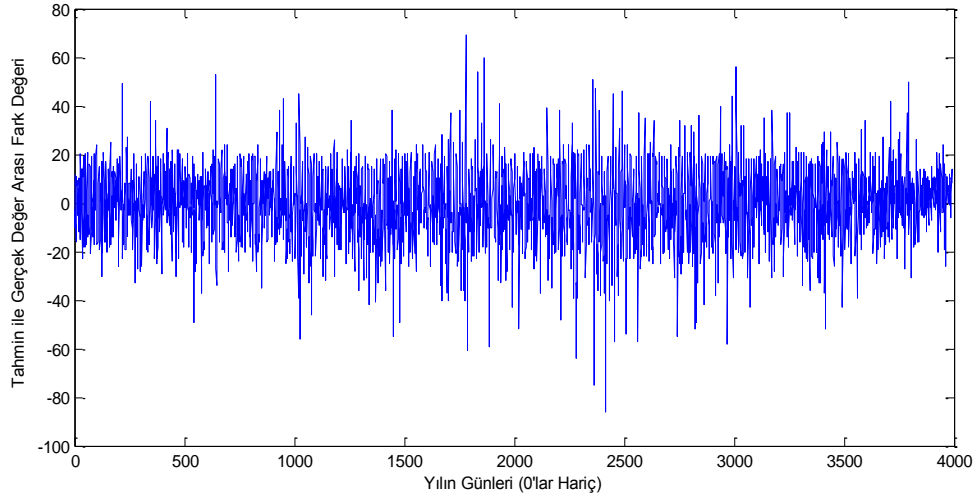
Çizelge 5.3 Mycielski yöntemi ile Mycielski – Markov hibrit yönteminin karşılaştırması (Yüzde Geliştirme Değeri).

Şehirler	RMSE	R²	MABE	r
Afyonkarahisar	%0,95 azalma	0,03 artış	0,4 azalma	%3 artış
Antalya	%0,41 azalma	0,02 artış	0,2 azalma	Benzer



Şekil 5.2 Antalya için korelasyon grafiği.

Güneş ışınım verilerinin ölçüm ve tahmin arasındaki fark değerlerinin grafiği Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Yaz aylarında yüksek değerler görünmesine karşın, ortalama hata kışın daha yüksektir.



Şekil 5.3 Tahmin ve ölçülen ışınım arasındaki fark çizimi.

Örüntü tarama tabanlı güneş ışınım tahmin yöntemlerinin, literatürde mevcut olan saatlik güneş ışınım tahmin yöntemleriyle karşılaştırıldığı tablo Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelgeden, Mycielski - Markov algoritmasının, Mycielski algoritmasına göre daha düşük RMSE ve daha yüksek R^2 değerleri verdiği gözlenmiştir. Daha az hata ile tahmin işlemi gerçekleştiren algoritma, literatürden seçilen çalışmalarla da kıyaslandığında iyi kabul edilecek sonuçlar vermiştir.

Çizelge 5.4 Tahmin yöntemlerinin literatürdeki bazı yöntemlerle karşılaştırılması.

Mycielski Yöntemi	RMSE	R^2	MABE	r	Yüzde RMSE	Yüzde MABE
Mycielski Afyonkarahisar	16,91	0,8264	13,360	0,8251	10,1409	13,360
Mycielski Antalya	13,90	0,8163	10,976	0,8832	10,3377	9,3751
Mycielski – Markov Afyonkarahisar	15,9596	0,8506	12,9904	0,8511		
Mycielski – Markov Antalya	13,49	0,8320	10,7554	0,8479		
Pandev ve Soupir (2012)					15	13
Besharat <i>et al.</i> (2013)	22,41	0,979	17	0,98		
Yanıktepe ve Genç (2015)	18		13			

6. GAUSS-GAUSS YÜZEYİ ÜZERİNDEN HATA TAHMİNİ

Güneş ışınım şiddeti tahmin algoritmalarında 2 boyutlu matematiksel modeller kullanan tahminleyiciler mevcuttur. Mycielski - Markov tahmin algoritması, güneş ışınım şiddeti tahmini literatüründe mevcut olan bir çalışma ile (Hocaoğlu 2010) adaptif çalışacağı öngörülmüş ve çalışmadaki tahmin yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada, farklı iterasyon yöntemleriyle elde edilmiş güneş ışınım denklemleri mevcuttur. Bunlardan en iyi sonuç veren yöntem Gauss - Gauss yöntemidir. Öncelikle, 2 boyutlu Gauss – Gauss fonksiyonundan elde edilen güneş ışınım şiddeti yüzeyi ile ölçülen ışınım şiddetinin farkları hesaplanmıştır. Farklar geçmiş ve tahmin verisi olarak modellenmiştir. Buradaki amaç, Mycielski - Markov yönteminin rassal değişkenler üzerinde tahmin yapmasının daha kolay ve daha iyi sonuç vereceğinin öngörülmesinden kaynaklanmaktadır. Rüzgâr enerjisi tahmin yöntemi olarak Markov zincirinin iyi bir yöntem olarak kabul edilmesi bu kanıyı desteklemektedir (Liu *et al.* 2015, Carpinone *et al.* 2015, Soleymani *et al.* 2015). Rüzgâr verisi, güneş verisine nazaran daha rassal bir değişime sahiptir. Myicelski yönteminin birebir eşleşme durumlarını gözetmesi, avantajlı duruma düşmektedir.

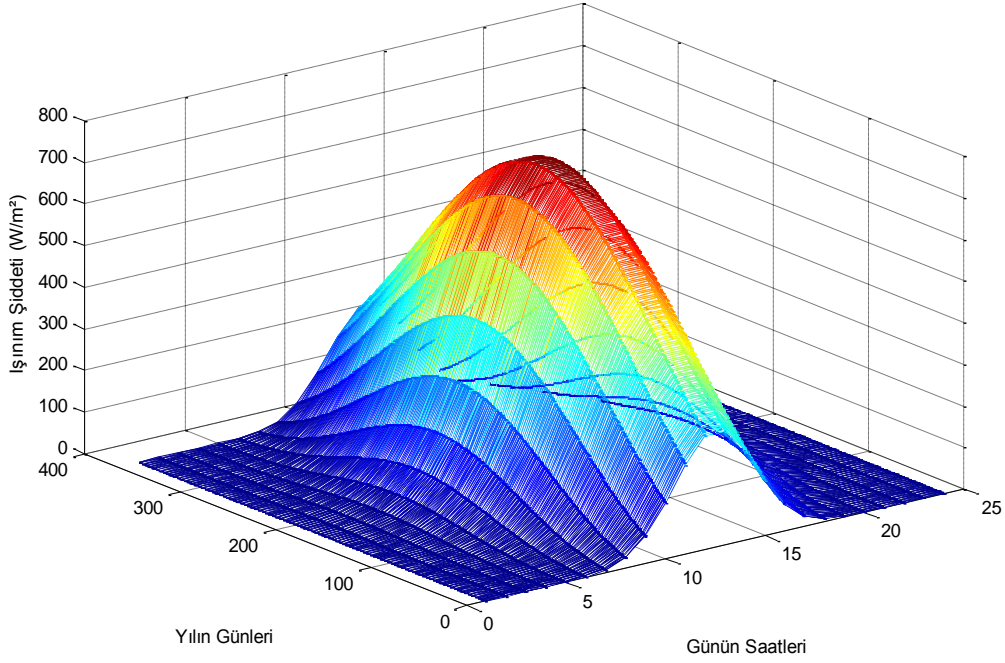
Çalışmada, bir bölgeye ait saatlik güneş ışınım verilerinin modellenmesinde, her bir gün bir satır olacak şekilde, saatler de sütun olarak sıralanan ve hücrelerde güneş ışınım değerlerinin bulunduğu iki boyutlu model kullanılmıştır (Hocaoğlu 2010). Bu modellere bağlı olarak, Gauss fonksiyonu ve Gauss parametreleriyle beraber güneş ışınımını fonksiyon haline dönüştürmek mümkündür. Antalya iline ait gün ve saat değerine bağlı yüzey oluşturma fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$a_G(\text{gün}) = 772.8e^{-((\text{gün}-178.1)/176.4)^2} \quad (6.1)$$

$$c_G(\text{gün}) = 4.517e^{-((\text{gün}-180.9)/268.3)^2} \quad (6.2)$$

$$\text{Yüzey}(\text{gün}, \text{saat}) = a(\text{gün}) \times e^{-((\text{saat}-12.5)/c(\text{gün}))^2} \quad (6.3)$$

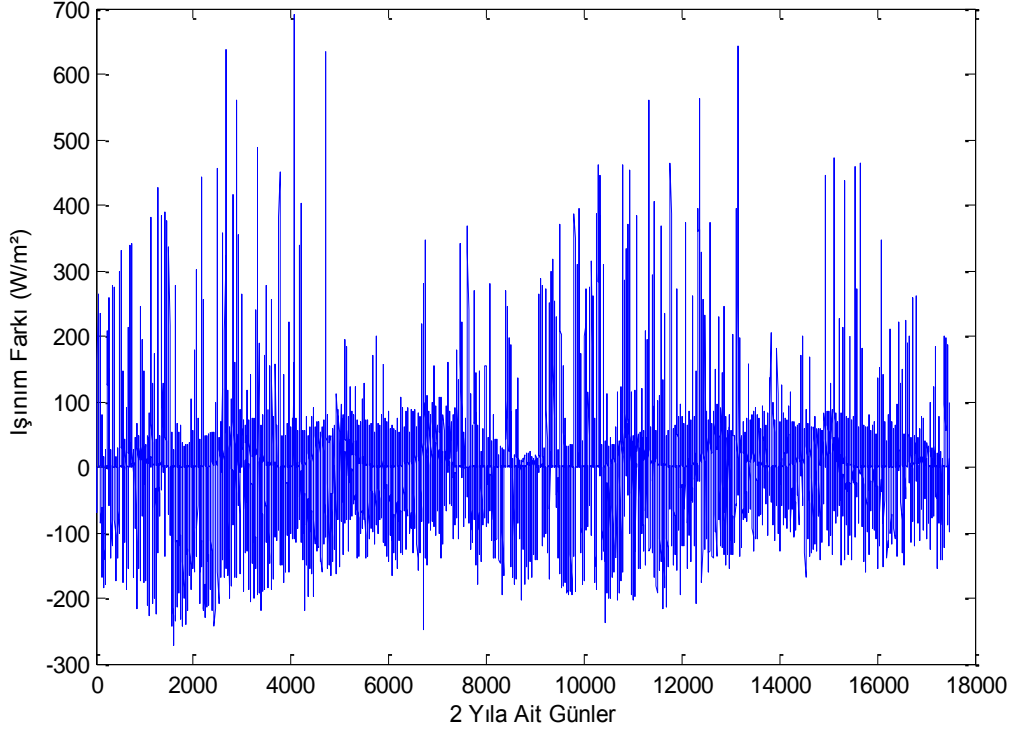
Yukarıdaki denklemlere bağlı olarak üç boyutlu olarak çizdirilen, Antalya ili güneş ışınım şiddeti Gauss – Gauss fonksiyonu Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1 Antalya için Gauss – Gauss yöntemiyle çıkarılan ışıınım şiddeti yüzeyi.

Antalya için elde edilen 3 boyutlu güneş ışıınım yüzeyinde, yaz aylarında maksimum değerlerine ulaşan güneş ışıınım verisi kırmızı renkle gösterilmiştir. Günün saatleri kısmından, günler uzadıkça gün ışıınım süresinin arttığı anlaşılmaktadır. Yılın günleri eksenine göre de güneş ışıınım verilerinin fonksiyona bağlı olarak artışı ve ardından yeniden düşüşü gözlemlenmektedir.

Elde edilen yüzey grafiği sonra, ölçülen gerçek güneş ışıınım verileri ile karşılaştırılıp aralarındaki fark yeni bir veri olarak alınır. Yüzey grafiği ile ölçülen güneş ışıınım verileri arasındaki fark Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Güneş ışınımı fark çizimi.

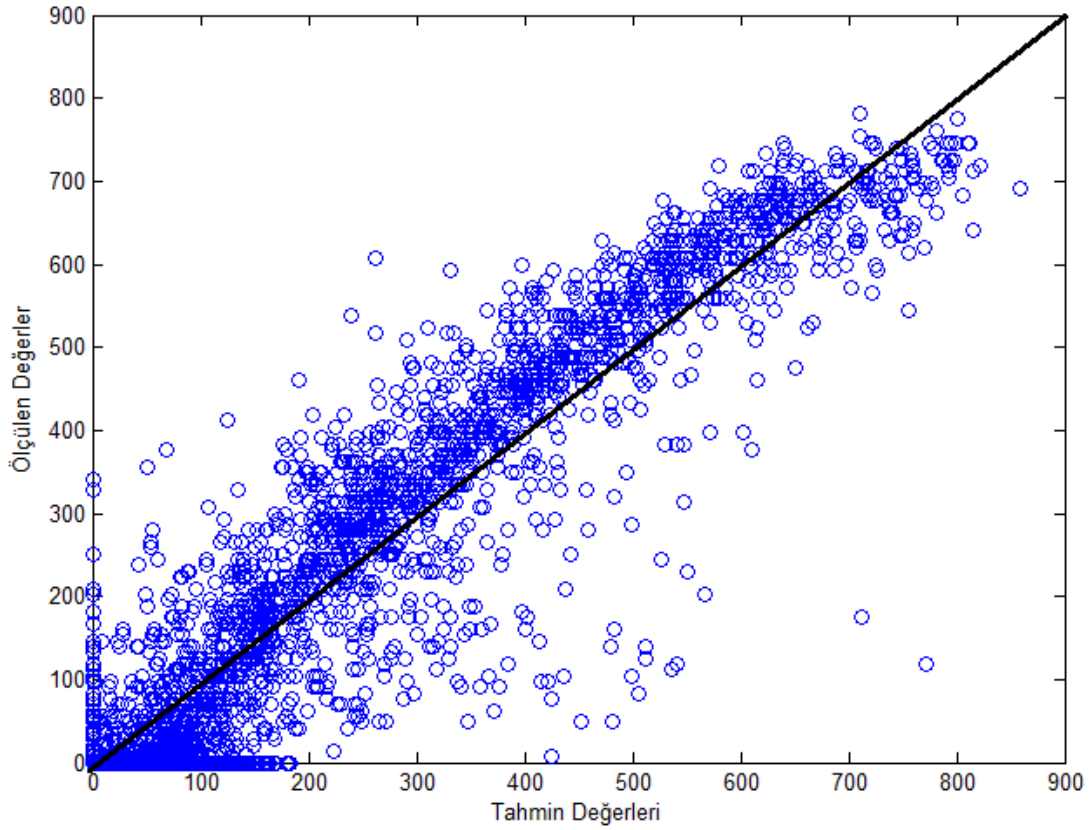
Ölçülen ışınım şiddeti ve yüzey arasındaki farklardan güneş ışınım tahmini yapılmasının nedeni, örüntü tarama tabanlı Mycielski yönteminin, daha rassal olan dizilerde daha verimli çalışma performansı göstereceği öngörüldüğünden dolayıdır. Mycielski yöntemi rassallığı daha fazla olan rüzgar hızına uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Hocaoğlu *et al.* 2009). Markov modeli yine aynı şekilde rüzgar hızı verilerinin kısa dönemli tahmininde kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Tang *et al.* 2015).

Güneş ışınım verisi; bulutluluk, nem gibi çeşitli hava koşullarından dolayı rassal değişiyor olmasına karşın, atmosfer dışına gelen güneş ışınım değerleri genel olarak matematiksel fonksiyonlarla ifade edilebilir bir yapıdadır. Bu nedenle özellikle bulutluluk durumu ihmal edildiğinde, güneş ışınım verisi için rassallık durumu azalmaktadır. Mycielski - Markov yöntemi için bu istenilen bir durum değildir. Fakat fonksiyonla üretilen veriden, ölçülen gerçek ışınım verisini çıkararak farkları elde ettiğimizde, dizi rüzgar hızı verisine benzer şekilde oluşmakta ve rassallık artmaktadır.

Çizelge 6.1 Geliştirilen yöntemle hata tahmini sonuçları.

Antalya	RMSE	R²
Gauss – Gauss Yüzeyi İle Hata Tahmini	69,8132	0,9497
(Hocaoğlu 2010)	78,2042	0,8850

Çizelge 6.1’den açıkça görüleceği üzere, RMSE değeri literatürde mevcut olan tahmin yönteminden (Hocaoğlu 2010) daha düşük, R² değeri ise 1’e daha yakındır. Bu durum, tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntemin daha iyi sonuç verdiğini açık olarak göstermektedir. Modele ait korelasyon grafiği Şekil 6.3’te verilmiştir.



Şekil 6.3 Korelasyon grafiği.

Korelasyon grafiğinde, köşegen çizgiye yakın değerler, tahminin iyi olduğunu göstermektedir. Verilerin dağılımına göre, 300 - 500 değerleri arasında tahminlemede bozulmalar olmuş, büyük ve küçük değerlerde ise iyileşmiştir. Korelasyon katsayısı 0,9497 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının 1’e yakınlığı da tahminin doğruluğunu göstermektedir.

7. GÜNEŞ ENERJİSİ TASARIM PROGRAMIYLA FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Türkiye topraklarının büyük bir kısmı yüksek güneş ışınımına sahiptir. Bu yüzden Türkiye fotovoltaik sistemler için yeni bir pazar alanı teşkil etmektedir. Tez kapsamında, güneş ışınım şiddeti tahminine yeni bir yaklaşım getirilmesinin yanında, güneş ışınım verilerinin uygulamalı olarak kullanıldığı güneş enerjisi fizibilite çalışması da gerçekleştirilmiş. Bu kapsamda Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde 1 MW gücünde olası bir FV enerji santrali kurulması durumunu ele alan çalışma da, bu pazarın geleceğine ışık tutmaktadır. Bahsi geçen çalışma yenilenebilir bir enerji üretim alanının Afyonkarahisar'da, bir üniversite kampüsünde uygulanabilirliğini ortaya koyan bir çalışmadır.

Fizibilite, yabancı dil kökenli, kelime manası “yapılabilirlik” olan bir sözcüktür. Fizibilite çalışması da; bir düşüncenin, gerçekleştirilebilecek veya uygun olmayan bir çalışma olduğu ile ilgili karar verme aşamasında yapılan analizlerdir. Güneş enerjisi sistemlerinde fizibilite çalışması, diğer konularda olduğu gibi oldukça önemlidir. Gerçekleştirilecek işin (kurulacak tesisin), hem ekonomik açıdan hem de enerji ihtiyacını karşılaması açısından fizibilite çalışmasının mutlaka yapılması gerekmektedir.

Güneş enerjisi fizibilitesi konusunda literatürde pek çok çalışmalar bulmak mümkündür. Garcia vd. (2009) İspanya'nın sırasıyla Arguedas (940 kWp ve 2,1 MWp olmak üzere iki santral), Sesma (1,12 MWp), Cintrue'nigo (1,44 MWp), Rada (1,78 MWp) ve Castejo'n (2,64 MWp) bölgelerindeki güneş enerjisi santrallerinin detaylı analizini yapmıştır. Analizlerinde santralleri etkileyen her bir enerji kaybını ölçmüşlerdir. Aynı zamanda sınırlı sayıdaki insan kaynaklarını, jeneratör bakımları ve gözetimi için ayırtmışlardır. Rehman vd. (2007) aylık ortalama güneş ışınım verilerini ve gün ışımaya süresini kullanarak, Suudi Arabistan üzerindeki ışınım dağılımını belirlemişlerdir. Analizleri yenilenebilir enerji üretimini ve 5 MW kurulu güce sahip şebekeye bağlı çalışan (On-Grid) fotovoltaik enerji santralinin ekonomik değerlendirilmesini içermektedir. Çalışmalarında, enerji üretimi ve ekonomik değerlendirmeler için RetScreen yazılımını kullanılmıştır. RetScreen yazılımı, internet sayfasından ücretsiz olarak temin edilebilen bir yazılım olması nedeniyle çok kapsamlı bir tasarım programı değildir ancak genel amaçlı fikir edinme çalışmalarında başarılı sonuçlar vermektedir. Çalışmaları

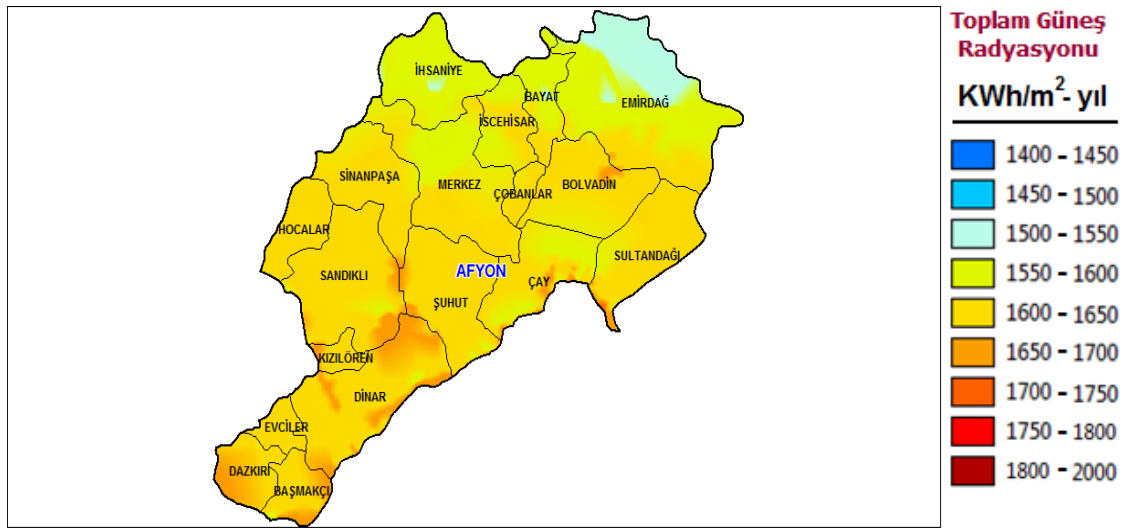
göstermiştir ki; güneş enerjisi santrali kurulması için en iyi yer Bishah, en kötü yer ise Tabuk bölgesidir. Kabir vd. (2010) çalışmalarında Bangladeş'in enerji krizine vurgu yapmaktadır. Bangladeş, enerji kaynağı olarak çoğunlukla fosil (tükenir) yakıtlar kullanmaktadır. Buna karşın enerji talebini karşılamaya yetecek güçte iyi bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Diaz vd. (2011) kırsal alanlarda kullanılan, şebekeden bağımsız (Off-Grid) güneş enerjisi sistemlerinin uzun dönem analizini yapmışlardır. Çalışmalarında Arjantin'de bulunan 12 adet köyde kullanılan FV sistemleri seçmişlerdir. Yük talebi değişimi, enerji verimliliği ve yakıt tüketimi analiz edilmiştir. Günümüzde gelişmiş ülkelerde, küçük ve orta büyüklükteki köylerde elektrik üretmek amacıyla fotovoltaik sistemler tercih edilmektedir. Genellikle akülerle kullanılan şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemleri, dizel-hibrit veya yalnızca fotovoltaik şeklinde de kullanımlara sahiptir. Bu çalışmalara ek olarak, tez kapsamında, şebekeye bağlı çalışacak olan, Afyonkarahisar ANS Kampüsü'ne kurulması planlanan 1 MW güneş enerjisi santralinin fizibilite çalışması yapılmıştır.

Güneş enerjisi santrali (GES) kurulumu yapılırken çatı ve arazi diye uygulama ikiye ayrılabilir. Büyük güçlerde fotovoltaik güç santrali tesis edileceğinde, alan bakımından arazi tipi uygulama, çatı tipi uygulamaya göre daha çok tercih edilmektedir. Güneş enerjisi santrali çatıya tesis edilirken, çatı türü ve mukavemet ile ilgili hesaplamalar, çatının eğimi, tesisin çevresinde gölgelenmeye sebep olacak engellerin bulunmaması veya minimum düzeyde bulunması gerekmektedir.

Güneş enerjisi santrali arazi üzerine güneş tarlası şeklinde tesis edilecek ise;

- Arazinin eğimi ve toprak çeşidi,
- Özellikleri,
- Tesis edilecek bölgenin enerji nakil hattına yakın olması,
- Trafo kapasitesinin uygun olması,
- DSİ sulama programı dışında olması, maden arazisi statüsünde olmaması,
- Tarım dışı statüsünde olması,
- Çevresinde gölgelenmeye sebep olacak engel bulunmaması,
- Dağıtım şebekesine yakınlığı,
- Güneye cephe olması dikkat edilecek hususların başında gelmektedir.

Afyonkarahisar, güneş ışınım potansiyeli bakımından iyi bir konuma sahiptir. Şekil 7.1’de Afyonkarahisar’a ait Yenilenebilir Enerji Sistemleri Genel Müdürlüğü’nden alınan güneş haritası görülmektedir (İnt.Kyn.2). Güneş haritası incelendiğinde Afyonkarahisar’ın güneş kuşağında bir il olduğu, yılda ortalama 1600 [kWh/m²] güneş ışınımı aldığı söylenebilir. Yer yer bu değer 1700’lere ulaştığı gözlenmektedir. Ayrıca hava sıcaklığının çok yüksek olmaması sebebiyle, güneş panellerin daha verimli çalışması öngörülmektedir.



Şekil 7. 1 Afyonkarahisar güneş haritası.

Güneş enerjisi güç sistemi tesis edilmeden önce yapılacak fizibilite çalışmasının çok büyük önemi vardır. Fizibilite çalışmasını daha doğru ve kolay hale getirmek amacıyla piyasada pek çok güneş enerjisi planlama ve tasarım yazılımları mevcuttur. INSEL, PV Designer Solmetric, Easysolar, PV F-Chart, PVscout, PVsyst, PV SOL, Plan4Solar PV, SMA Off-Grid Configurator, SolarPro ve Polysun bu programlardan bazılarıdır. Aynı zamanda online olarak bazı sitelerden de yüzeysel bir şekilde, genel amaçlı hesaplamalar yapılabilmektedir. Enerji piyasasında, özellikle Türkiye’de yaygın kullanılması nedeniyle ve programların yeterlilikleri dolayısıyla tez çalışması kapsamında fizibilite çalışması için PVsyst ve PV SOL programları tercih edilmiştir.

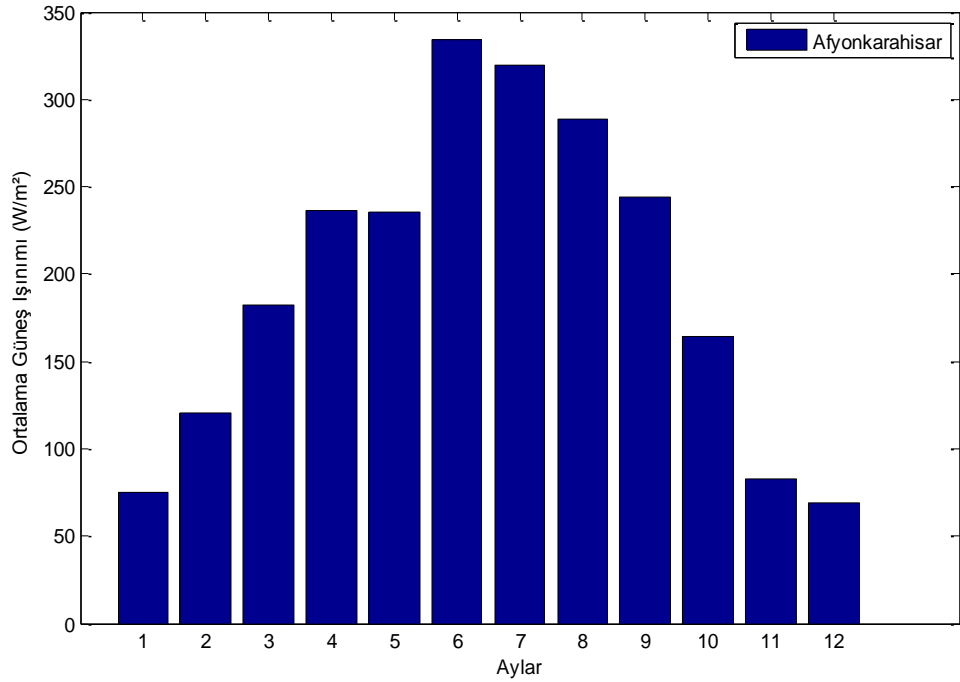
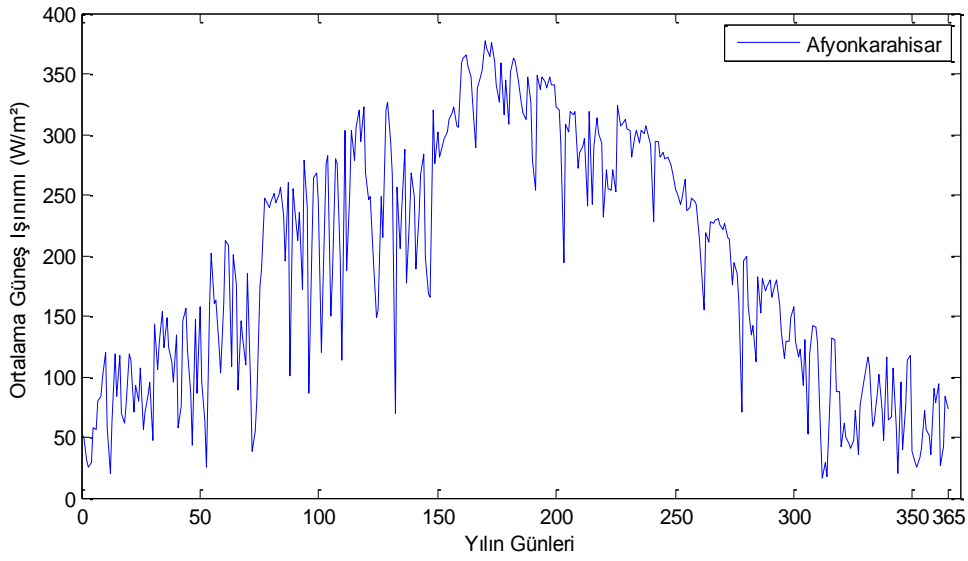
Yazılımlardan elde edilen 1550 [kWh/m²] güneş ışınım değeri, güneş haritasından

öngörülen ortalama ışınım değerine yakın tespit edilmiş, Afyonkarahisar'ın FV sistem için uygun bir bölge olduğunu ortaya koymuş ve varsayılan sistem Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü'ne kurulacak şekilde planlama yapılmıştır. Bu çalışmada, güneş enerjisi tasarım yazılımlarında ışınım şiddeti parametresi olarak kullanılacak veri, Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde ölçülen güneş ışınım şiddeti değerleri ve tez çalışması kapsamında Mycielski - Markov modeliyle üretilen tahmin verileridir. Fizibilite çalışması dâhilinde eğim ve azimut açısı, sistemde kullanılacak güneş panellerinin sayısı ve boyutunun yanı sıra ihtiyaç duyulan arazi alanının hesaplanması amaçlanmıştır.

7.1 Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş Işınımı Veri Tabanı

Güneş ışınımının avantajlarından maksimum faydayı elde edebilmek için Afyon Kocatepe Üniversitesi'nin kampüs arazisi ve iklim koşulları uygunluk göstermektedir. Afyon Kocatepe Üniversitesi, yenilenebilir enerji sistemleri konusunda pek çok çalışmalar yapmaktadır. Bünyesinde bulunan Güneş Rüzgar Uygulamaları Araştırma Merkezi'nde, FV laboratuvarı 2011'den beri piranometre içeren bir sistem aracılığıyla veri toplamaktadır. Bu laboratuvarda piranometre olarak KIPP&ZONEN's CMP22 kullanılmaktadır. Bu cihaz 10 sn aralıklarla güneş ışınımını örneklemekte ve ortalama saatlik ışınım değerini hesaplamaktadır.

Afyonkarahisar ANS Kampüsü için kaydedilen güneş ışınım şiddeti değerlerine ait grafikler Şekil 7.2'de gösterilmektedir. Ölçülen güneş ışınım değerleri, MATLAB programında grafik olarak çizilmiştir. Saatlik kaydedilen veriler, günlük ve aylık ortalamalarına dönüştürülerek genel ortalama grafikleri elde edilmiştir.



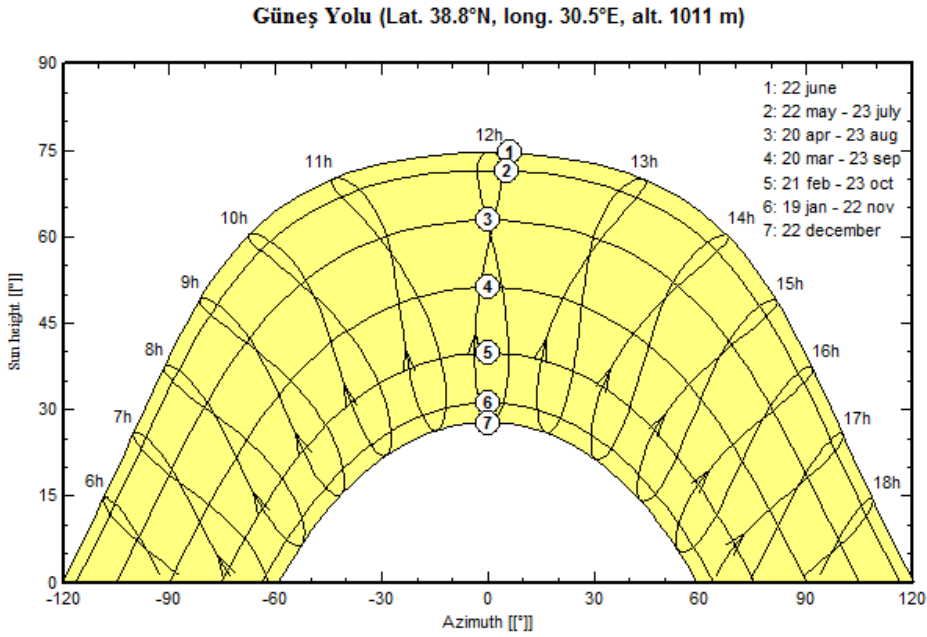
Şekil 7.2 Günlük ve aylık ortalama güneş ışınımı değerleri (2013 yılı ışınım verisi).

Güneşin en düşük noktada olduğu kış gündönümü yerel FV jeneratörler için en kötü durum şartlarıdır. Bu yüzden bu dönemde enerji üretimi yıl içindeki en düşük seviyeye inmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere, Ocak, Şubat, Kasım, Aralık ayları Afyonkarahisar için düşük ışınım potansiyeline sahip aylardır. Öte yandan, güneşin en yüksek seviyede olduğu yaz gündönümünde, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında, enerji üretimi tepe değerine ulaşmaktadır. Güneş ışınım şiddetinin günlük ortalama 400 W/m²

değerlerine yaklaştığı görülmektedir.

7.2 Uygulama

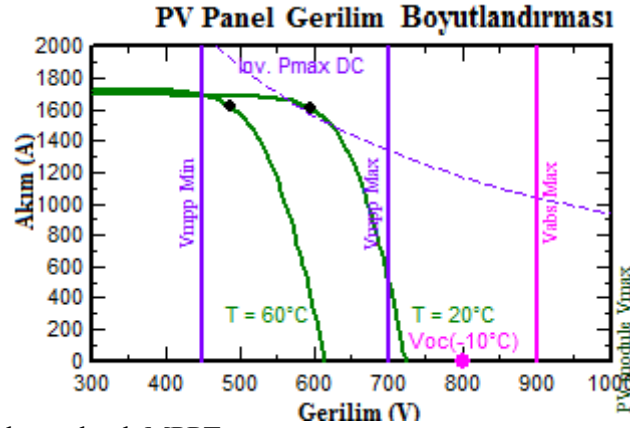
Tasarım ve modelleme, PVsyst ve PV SOL yazılımı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Afyonkarahisar ili Ahmet Necdet Sezer Kampüsü'nün koordinatları programa girilerek Şekil 7. 3'de görülen güneş yolu çıkarılmıştır. Şekildeki grafikte, 1 numaralı eğri, gün ışınma süresinin en uzun gün olduğu 22 Haziran'da gerçekleşen güneş yolu, 7 numaralı eğri ise en kısa gün olan 22 Aralık tarihlerine aittir. Grafiğin x eksenini azimut açısını, y eksenini ise güneşin yükseklik açısını göstermektedir. Azimut, bir gök cisminin gözlemciye göre istikâmetinin ufuktaki kuzey veya güney noktasından açısal uzaklık olarak ifadesidir. Güneş panellerinin konumlandırılması yapılırken bu açılar mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 7.3 Afyonkarahisar ANS Kampüsü üzerindeki güneş yolu.

İlk olarak 1000 kWp güç değeri, daha sonra modüllerin ve eviricilerin model ve karakteristikleri yazılımda ayarlanmıştır. Güneş paneli olarak, maksimum değere sahip olan 250 Wp fotovoltaik paneller seçilmiştir. Bunun için 4000 adet FV modül kullanılması gerekmektedir. Bilgi girişi işlemleri sonrasında Şekil 7.4'te gösterilen maksimum güç noktası takibi (MPPT) için en iyi gerilimi elde edecek şekilde modüllerin

ve dizilerin sayısı değiştirilmiştir. Maksimum güç noktaları şekilden görüleceği üzere program tarafından otomatik olarak belirlenmiştir. Girilen bilgiler ışığında sistemin ürettiği güç değerleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.4 Program çıktısı olarak MPPT.

Maksimum güç noktası izleme, güneş enerjisi uygulamalarında önemli bir konudur. Panellerin maksimum verimle çalışmaları, çekilebilecek maksimum akımı sağlamaları ve maksimum gerilime dayanmaları anlamına gelmektedir. Literatürde çok çeşitli MPPT algoritmaları mevcuttur. Şekildeki MPPT grafiğine benzer grafikler, güneş panellerine ait kullanma kılavuzlarında mevcut olmakta, kullanıcı kişi tercihini yaparken güneş panellerini kıyaslama noktasında MPPT grafiklerinden destek almaktadır.

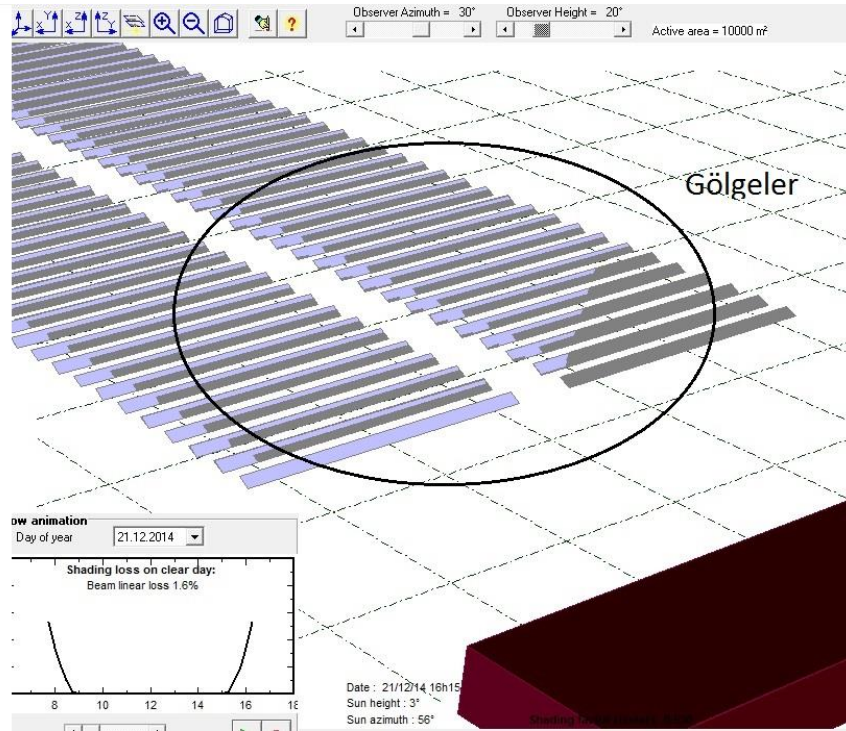
Çizelge 7.1 Güç boyutlandırma karakteristikleri.

Güneş Santrali Bileşeni	Güç Değeri
Fotovoltaik Dizi Nominal Güç (P_{nom})	941 kWp
Fotovoltaik Dizi Maksimum Güç (P_{max})	908 kWdc
Eviriciler (İnvertör Nominal Güç) (AC)	780 kWac
Aşırı Yük Kaybı	7984 kWh
Oran	%0,5
P_{nom} Dizi/Evirici Oranı	1,21

Program çıktıları incelendiğinde, tesis edilmesi planlanan sistemden elde edilecek nominal güçte kayıplar olduğu görülmektedir. PVsyst yazılımı, önceden tanımlı olarak gizli parametreler içermektedir. Bu parametreler fiziksel modellere bağlıdır ve tasarımcıların gerçek yaşam tecrübeleriyle ölçümledikleri kayıplardır. 1 MW kurulu güce sahip olan fotovoltaik panel dizisinin, nominal gücünün 941 kWp olacağı görülmektedir.

Pnom/ Evirici oranı, santralin PVsyst yazılımı için belirlenen oranla kıyasla iyi konumlandırılmış olduğunu göstermektedir. Aşırı yük güç kaybı için oran PVsyst yazılımında %0,2 ile %3 arasında ise evirici kabul edilebilir derece zayıf görülmekte, %3 değerinden fazla ise evirici çok yetersiz görülmektedir (İnt. Kyn.1). Çizelgede görülen %0,5 değeri kabul edilebilir bir değerdir.

Fotovoltaik modüller ile, her biri 19 modülden oluşan 198 diziyle toplamda 1 MW güce ulaşılmıştır. Modüller için gölge oluşmayan, 6574 m² alana ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Gölge analizi yapılırken birkaç farklı model denenmiş ilk denemelerde yanlış konumlandırmadan dolayı, Şekil 7.5'te görüleceği üzere büyük gölge kayıplarının görüleceği tespit edilmiştir. Bölgenin güneş durumuna ve çevredeki etmenlere göre panellerde oluşan gölgeler çok büyük enerji kayıplarına yol açmaktadır. PVsyst ve PV SOL yazılımlarının her ikisi de gölge analizi yapabilme kapasitesine sahiptir.

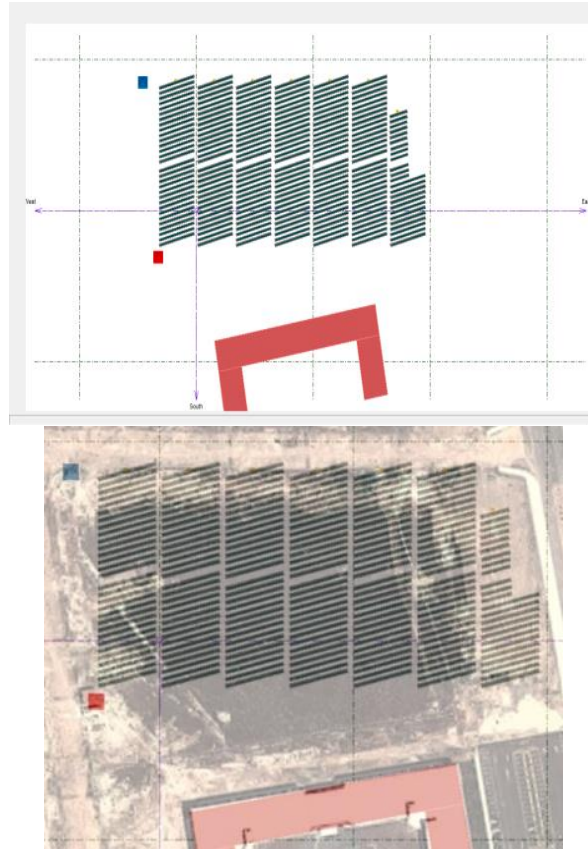


Şekil 7.5 FV modüller üzerinde oluşan gölgeler.

Fizibilite çalışmasının yapıldığı güneş panellerinin verimliliği %15,38'dir. Her biri %92 verimliliğe sahip 30kW lık 26 adet evirici kullanılmıştır. Bölgenin 2D görünümü ve alan düzenlemesi Şekil 7.6'da görülmektedir. Ayrıca bu şekillerde, gün içinde Afyon

Kocatepe üniversitesinin ihtiyaç duyduğu gücü karşılayabilmek için azimut açısının -2 derece olarak ayarlandığı dikkat çekmektedir. Şebekeye bağlı bir sistem oluşturulduğundan tüketimin az olduğu dönemlerde güç akışı büyük oranda şebekeye doğru olacaktır. Fotovoltaik modülleri içeren diziler, toprak üzerine konumlandırılmıştır. Tesis binalardan olabildiğince uzak bir noktada kurularak, binaların gölgesinden kaynaklanabilecek verim kaybının önüne geçilmiştir.

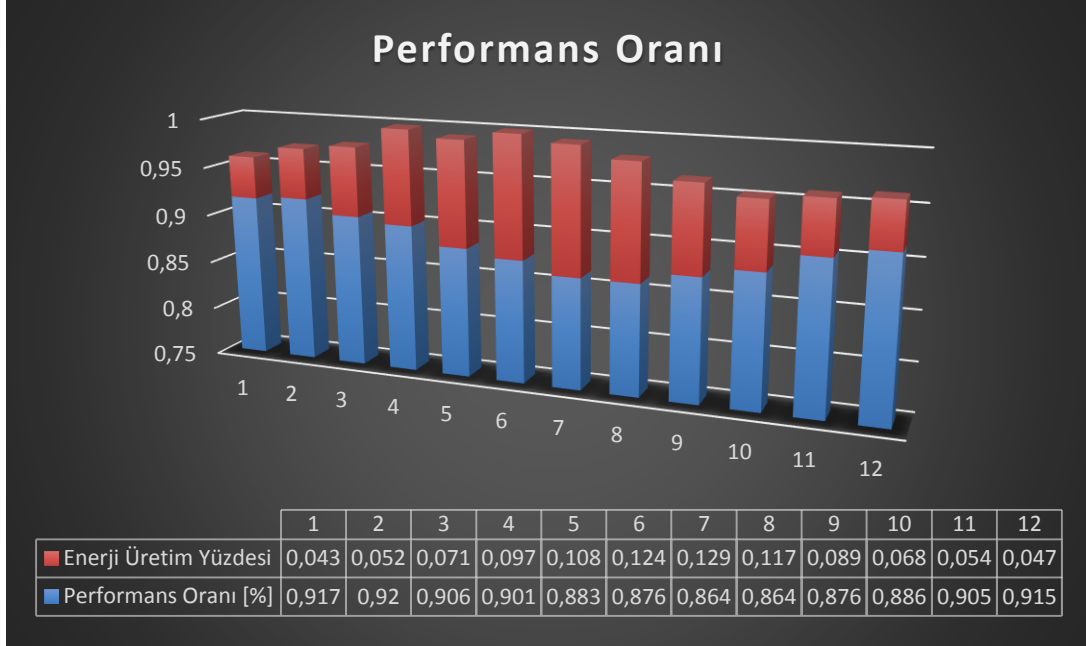
Gölgelendirme analizi ve güneş açılarına göre son olarak belirlenen konum Şekil 7.6'de gösterilmiştir. FV modüller, güneşten maksimum verim alacak şekilde eğimle yerleştirilmiştir. Teknoloji Fakültesi binasından gölgelenme açısından yeterince uzağa yerleştirilen paneller, birbirlerini de gölgede bırakmayacak aralıkta konumlandırılmıştır.



Şekil 7.6 Program ile tesis konumlandırma simülasyonu.

Her bir alt alanın arkasına bir elektrik kabini ve tesisin yanına da ana elektrik kabini

yerleştirilmiştir. Sonuç olarak Performans Oranı (PR) Şekil 7.7’te verilmiştir. PVsyst ile performans oranı %79.3 olarak elde edilmiştir. Ayrıca PVsyst’e göre üretilebilecek güç 1458 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Tesis tarafından üretilen güç miktarı Şekil 7.8’de sunulmuştur.



Şekil 7.7 Üretilen güce ve kayıplara bağlı performans oranı.

Performans oranı, kayıplara ve nominal üretim gücüne bağlı bir orandır. Performans oranının yaz aylarında düşmesinin temel nedeni, güneş panellerinin ve eviricilerin sıcaklıkla verimlerinin düşmesidir. Ancak üretilen güç ve değerlerini incelediğimizde ise yaz aylarında güneş ışınımının fazla olmasından kaynaklı yüksek bir artış gözlenmiştir. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında, Afyonkarahisar için güç üretimi oldukça yüksek iken, kayıpların değeri de artmaktadır. Ekim ayıyla beraber, havalar soğudukça kayıp azalmakta ancak güneş ışınım şiddetine bağlı olarak panellerin üretimi de azalmaktadır.

Enerji üretim yüzdeleri, aylık üretilen toplam gücün, tüm sistemin kurulu evirici çıkış gücüne bölünmesiyle elde edilir. Güneş ışınımı, enerji üretim yüzdesine etki eden en önemli faktördür. Şekil 7.8’de buna bağlı olarak görüldüğü şekilde, yaz aylarında üretim, 160 MWh değerini geçmektedir.



Şekil 7.8 Üretilen güç.

Alanın uydu görüntüsü ve gerçek fotoğrafı Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Fotoğraftan ve uydu görüntüsünden de anlaşılacağı üzere, bölge, üniversite kampüsü içerisinde olup, tarıma elverişsiz ve aktif olarak kullanılmayan bir arazidir. Alan yaklaşık 18.000 m² olup, 1 MW güneş enerjisi santrali kurulumu için yeterlidir. Enerji nakil hattı ise, tesisin kurulacağı bölgede yer alan Hukuk Fakültesi binasının yakınından geçmektedir. Nakil hattının yakınlığı, kurulacak tesisin en büyük avantajlarından birisidir.



Enlem - Boylam
(38.825600, 30.530899)

GPS Koordinatları
38° 49' 32.1600" N
30° 31' 51.2364" E

AKÜ - ANS Kampüsü

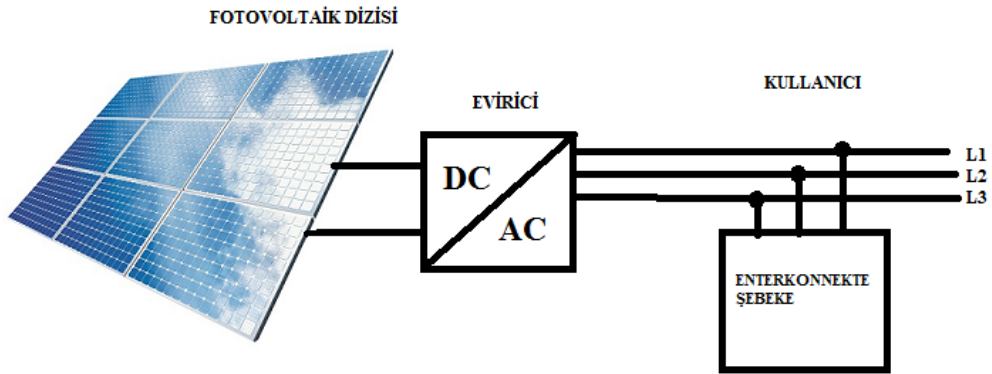
Şekil 7.9 Afyonkarahisar ANS Kampüsü uydu görüntüsü.



Resim 7.1 Araziye ait fotoğraflar.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer Kampüsü Teknoloji Fakültesi ve Hukuk Fakültesi arasındaki alan kampüs içerisinde olması sebebiyle, güvenlik açısından da uygun olacaktır. Tesisin güvenliği de önemli hususlardan birisidir.

Fizibilitede kullanılan temel fotovoltaik bileşenleri Şekil 7.11'deki şemada gösterilmiştir. Temelde sistem; fotovoltaik güneş panellerinden oluşan diziler, evirici (DC-AC) ve kullanıcı-şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Kullanıcı kısmında çift taraflı sayaç kullanılacak olup, enerjinin üretim-tüketim durumuna göre çalışacaktır.



Şekil 7.100 Fotovoltaik güneş enerjisi sistemi temel bileşenleri.

Sistemde kullanılan bileşenlere ait detay Çizelge 7.2'de verilmiştir. Kullanılan cihazlar, programın önerdiği ve içerisinde akım-gerilim vs. değerlerinin kayıtlı olduğu cihazlardır.

Çizelge 7.2 Fizibilite çalışmasında kullanılan bileşen.

Güneş Santrali Bileşeni	Değer
Bosch Solar Energy Modül (Nom. Güç)	250 Wp
Panel Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8,21 A
Siemens Eviriciler (Her bir Nominal AC Güç)	500 kW

8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Güneş ışınım şiddeti tahmininde, tez kapsamında önerilen modele yapısal olarak benzer ve/veya tamamen farklı kullanılan pek çok güneş ışınım şiddeti tahmin yöntemi mevcuttur. En çok tercih edilen güneş enerjisi modelleri doğrusal ve doğrusal olmayan modellerdir (Khatib *et al.* 2012, Yorukoglu ve Celik 2006, Besharat *et al.* 2013). Bu modeller, güneş ışınım şiddeti ile bağıl nem, çevre sıcaklığı, gün ışınım süresi gibi bazı meteorolojik veriler arasında ilişki kurar. Doğrusal olmayan modeller 3. veya 4. dereceden polinomlar kullanırken, doğrusal (lineer) modeller basit lineer fonksiyon kullanırlar (Khatib *et al.* 2012). Angström modeli, global güneş ışınımını tahmin etmede önemli yöntemlerden bir tanesidir (Li *et al.* 2010, Behrang *et al.* 2011, Adaramola 2012, Suehrcke *et al.* 2013, Almorox and Hontorşa 2004). Angström ilk kez aylık ortalama günlük global ışınım şiddetini hesaplamıştır (Angström 2007). Angström gün ışınım süresi verisi ile global güneş ışınımını bulutsuz gökyüzünde kullanırken, Prescott atmosfer dışı güneş ışınım şiddetini (extraterrestrial) bulutsuz gökyüzünde kullanmıştır (El- Sebaai and Trabea 2003). Angström modeli doğrusal ve doğrusal olmayan güneş ışınım şiddeti hesaplamalarının ikisinde de kullanılabilir. Angström modeli aynı zamanda Heliosat yöntemi tabanlı uydu modeli gibi diğer bazı yöntemlerin parçası olarak kullanılmaktadır (Teke *et al.* 2015).

Yapay sinir ağları (YSA) modelleme teknikleri diğer bir önemli global ışınım şiddeti tahmin yöntemidir. Güneş enerjisi modelleri yapay zeka tekniklerini temel alır [10,11,23-40]. YSA'lar matematiğin, mühendisliğin, meteorolojinin, elektrik ve termal yük tahminlerinin uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. YSA; modellemede, tahminde, tanımlamada, optimizasyonda ve kontrolde uygulanabilir. Bununla beraber kısa dönemli saatlik güneş ışınım verisi tahmininde YSA, yapay zeka teknikleri, ANFIS, regresyon, zaman serisi tabanlı ARMA, çok katmanlı “perceptron” kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, sinyal işleme uygulamalarında genellikle kodlama ve sıkıştırma uygulamalarında kullanılan, örüntü tarama tabanlı Mycielski yönteminin güneş ışınım şiddetini tahmin edecek şekilde uyarlanmasıyla, yeni bir güneş ışınım şiddeti tahmin yöntemi önerilmiştir. Mycielski örüntü tarama yöntemi, geçmiş olarak kullanılan ışınım verisinden, yeni ışınım verisi değerleri üretmektedir. Bunu yaparken de geçmiş verisinin

en son elemanını alıp tüm veride tarar, eşleşmeler buldukça taranan dizinin eleman sayısını artırır ve bu sayede geçmişte tekrar eden en uzun alt diziyi bulur. Geçmişte benzer şekilde tekrarlanmış en uzun alt diziden sonra gelen elemanı tahmin edilen eleman olarak belirler.

Mycielski tahmin algoritmasında, güneş ışınımına uyarlama aşamasında üzerinde durulması gereken kritik noktaları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Geçmiş verisinin sıfırlarının atılmış olması gereklidir. Aksi halde algoritma birebir eşleştirmeleri bulacağı için sürekli sıfır değeri tahmin edecektir veya çok uzun süre sıfır ve ardından küçük ışınım şiddeti değerleri tahmin edecek ve yanlış bir tahminleme gerçekleştirilmiş olunacaktır.
- Piranometreden doğrudan kaydedilen, ondalıklı değerlere sahip güneş ışınım değerlerinin durumlara dönüştürülmesi gereklidir. Dönüştürülmemesi durumunda, algoritma birebir eşleşmeleri taradığı için sonuca gitmesi mümkün olmayacaktır.
- Tarama dizisine maksimum eleman sayısı belirlenmesi gereklidir. Muhtemel döngüsel hataları gidermek için önemlidir.
- Geçmişte bulunan en uzun dizinin, tekrar aynı şekilde bulunmamak üzere eksiltilmesi yine gereklidir. Diğer türlü algoritma bir yerden sonra geçmişin aynısını tekrar edebilir.

Geçmiş verisinin boyutunu kullanıcı istediği kadar uzatabilir ancak boyutun artması durumunda algoritmanın tahmin süresi uzayacaktır.

- Algoritma geçmişte, taranan alt diziyi önce birkaç yerde tespit edip, artırınca hiçbir yerde bulamıyorsa, önceki bulunduğu değerlerden sonra gelen verilerden bir tanesini rassal olarak seçmektedir. Modelin ikinci aşamasında bu rassal seçme işlemi birinci dereceden Markov yöntemi kullanılarak, durum geçiş olasılıkları

matrisine göre yapılmıştır.

Mycielski tahmin algoritmasının kodları ve fonksiyonları MATLAB programında yazılmış, Afyonkarahisar ve Antalya illeri üzerinde test edilmiştir. RMSE ve R^2 değerleri sırasıyla Afyon için 16,91 ve 0,8264, Antalya için 13,90 ve 0,8163 olarak hesaplanmıştır. Güneş ışınımı tahmin literatüründeki çalışmalar incelendiğinde, elde edilen sonuçların kabul edilebilir sonuçlar olduğu görülmüştür. Tez çalışması ile Mycielski yöntemi kullanılarak saatlik kısa dönemli tahmin algoritması literatüre kazandırılmış bulunmaktadır. Mycielski yöntemi, çalışma yapısı itibariyle pek çok açıdan geliştirmelere açık bir algoritmadır. Gelecek çalışmalarda, durumlara dönüştürülen güneş ışınım şiddeti değerlerinin durum boyutları değiştirilerek tahmine etkisi konusunda çalışma yapılabilir. Taranan en uzun alt dizi konusunda, sınırlanan eleman sayısı değiştirilerek tahmin sonuçlarına etkisi incelenebilir. Yukarıda maddeler halinde belirtilen kritik durumlardan sonuncusu halinde, rassal seçme veya Markov yöntemi yerine farklı bir yöntem kullanılarak yeni bir hibrit model geliştirilebilir.

Mycielski örüntü tarayıcısı, yukarıda da bahsedildiği üzere, daha iyi sonuç verecek şekilde birinci dereceden Markov zinciri yöntemiyle hibrit kullanılarak geliştirilmiştir. Markov yöntemiyle beraber, güneş ışınım verisindeki durumların, geçiş olasılıkları matrisi elde edilmiş ve geçiş olasılıkları istatistiğine bakılmıştır. Çoğul eşleme durumunda, geçmişte gelme olasılığı en yüksek olan değere karar verilmiş ve bu sayede, Mycielski yönteminin ışınım tahmini konusunda eksik kaldığı yerlerde Markov zinciri ile karar verilerek, model daha iyi sonuç verecek şekilde geliştirilmiştir. RMSE ve R^2 değerleri sırasıyla Afyon için 15,95 ve 0,8506, Antalya için 13,49 ve 0,8320 olarak hesaplanmış ve gözle görülür gelişme olduğu kaydedilmiştir. İleriki çalışmalarda, Markov yerine farklı bir yöntem kullanılarak algoritma test edilebilir veya ikinci dereceden Markov zinciri kullanılarak geliştirilebilir.

Mycielski ve Mycielski - Markov tahminleme yöntemleriyle, Afyonkarahisar ve Antalya illeri için deneyler yapılmış, algoritmaların Antalya ili için daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, bulutluluk oranının veri üzerinde gürültü oluşturması ve tahmin sürecini zorlaştırmasıdır. Ayrıca Afyonkarahisar için 2 yıllık ve 4 yıllık güneş

ışınım verisi geçmiş dizini olarak kullanılmış, algoritmalara daha uzun veri girişi olduğunda daha iyi tahmin sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Mycielski algoritmasıyla, geçmiş dizininin istenildiği kadar uzatılması mümkündür. Ancak, geçmiş dizininin boyutu ne kadar uzarsa, tahminleme süresinin de doğru orantılı olarak uzadığı tespit edilmiştir. Sonraki çalışmalarda daha uzun yıllar için tahminleme yapılarak, daha verimli sonuçlar elde edilebilir.

Güneş ışıınım şiddeti tahmin algoritmalarında 2 boyutlu matematiksel modeller kullanan tahminleyiciler mevcuttur. Mycielski - Markov tahmin algoritması, güneş ışıınım şiddeti tahmini literatüründe mevcut olan bir çalışma ile (Hocaoğlu 2010) adaptif çalışacağı öngörölmüş ve çalışmadaki tahmin yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada, farklı iterasyon yöntemleriyle elde edilmiş güneş ışıınım denklemleri mevcuttur. Bunlardan en iyi sonuç veren yöntem Gauss - Gauss yöntemidir. Öncelikle, 2 boyutlu Gauss – Gauss fonksiyonundan elde edilen güneş ışıınım şiddeti yüzeyi ile ölçülen ışıınım şiddetinin farkları hesaplanmıştır. Farklar geçmiş ve tahmin verisi olarak modellenmiştir. Buradaki amaç, Mycielski - Markov yönteminin rassal değişkenler üzerinde tahmin yapmasının daha kolay ve daha iyi sonuç vereceğinin öngörölmesinden kaynaklanmaktadır. Rüzgâr enerjisi tahmin yöntemi olarak Markov zincirinin iyi bir yöntem olarak kabul edilmesi bu kanıyı desteklemektedir (Liu *et al.* 2015, Carpinone *et al.* 2015, Soleymani *et al.* 2015). Rüzgâr verisi, güneş verisine nazaran daha rassal bir değişime sahiptir. Myicelski yönteminin birebir eşleşme durumlarını gözetmesi, avantajlı duruma düşmektedir.

Mycielski - Markov yöntemi uygulanmasının sonrasında elde edilen güneş ışıınım şiddeti verilerinin, ölçülen veriler ile RMSE ve R^2 değerleri hesaplanmış, mevcut çalışma sonucundaki RMSE ve R^2 değerleri ile karşılaştırılmış ve sonucu %8,5 oranında iyileştirdiği gözlenerek, doğrulukları test edilmiştir.

Tez çalışmasının son aşamasında ise, ölçülen ve tahmin algoritmalarında kullanılan güneş ışıınım şiddeti verileri ve tahminleme ile elde edilen yeni veriler, tez projesi kapsamında alımı yapılan PVsyst ve PV SOL güneş enerjisi tasarım yazılımlarında kullanılmıştır. Böylece, Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü'ne yapılması planlanan örnek bir, 1 MW güneş enerji santrali fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, güneş enerjisi santralının kurulmasının planlandığı arazi incelenmiş ve güneş tarlası amacıyla kullanıma uygun bulunmuştur. Daha sonra, sistemin tesis edileceği arazinin, yazılımlar üzerindeki haritalardan işaretlenerek koordinatları tespit edilmiş ve güneş yolu çıkarılmıştır. Kaydedilen saatlik verilerden elde edilen günlük ve aylık ortalama güneş ışınım şiddeti değerleri, yazılımlara giriş parametresi olarak verilmiştir. Yazılımlarda nominal güç, akım değerleri çıkartılmış, uygun eviriciler seçilmiş ve panellerin konumlandırılması gerçekleştirilmiştir. Panellerin konumlandırılmasının ardından, yazılımlar ile 3 boyutlu gölgelenme analizi çalışmaları yapılmış ve doğru konumlandırma tespit edilmiştir. Enerji kayıpları hesaplanarak, kayıp oranları ve aylara göre dağılımı incelenmiştir. Beklendiği üzere yaz aylarında güç üretimin fazla, kış aylarında düşük olduğu görülmüş ancak, enerji kayıp oranının da en fazla yaz aylarında, en az kış aylarında olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, sıcaklığın fotovoltaik güneş panellerinin verimini düşürmesi, evirici verimini etkilemesi ve güç üretimi arttıkça kaybın da artacağı durumudur.

Programın verdiği çıktıya göre, 1 MW kurulu güçte tesis edilecek olan güneş enerjisi santralının yaklaşık 1,500,000 TL değerinde bir maliyete sahip olacağı, 6,500 m² alana ihtiyaç duyacağı öngörülmektedir. 250 Wp gücünde 4000 adet fotovoltaik güneş panelinden oluşacak olan sistem, Afyon Kocatepe Üniversitesi'nin enerji ihtiyacının yaklaşık üçte birini karşılayacak güçte olup, şebekeye bağlı şekilde çalışmak üzere tasarlanmıştır. Çift taraflı sayaç sayesinde, özellikle yazın şebekeye bazı saatlerde enerji satılacağı, geceleri ise enerji alımı yapılacağı öngörülmektedir.

Fizibilite sonucunda, Afyon Kocatepe Üniversitesi için yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi santralının kurulmasının uygun bir karar olacağı kanısına varılmıştır. İleriki çalışmalarda, tezde kullanılan güneş tasarım yazılımları değiştirilebilir ve fizibilite çalışmasıyla karşılaştırılabilir, mevcut yazılımlar ile farklı türde (off-grid, çatıya monte vs.) fizibilite çalışmaları yapılabilir.

9. KAYNAKLAR

- Adaramola, M.S., (2012). Estimating global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria. *Renewable Energy*, **47**:38–44
- Aguiar, R.J., Collares-Pereira, M. & Conde, J.P., (1988). Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov transition matrices. *Solar Energy*, **40(3)**: 269–279
- Agarwal, K.N. & Verma, V.V., (1978). Sun: Mankind's future source of energy proceedings of the international solar. *In Energy society congress*, New Delhi **1**: 415-429
- Alam, S., Kaushik, S.C. & Garg, S.N., (2009). Assessment of diffuse solar energy under general sky condition using artificial neural network. *Applied Energy*, **86(4)**: 554–564
- Almorox, J. & Hontoria, C., (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, **45(9-10)**:1529–1535
- Angstrom, A., (2007). Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **50(210)** :121–126
- Badescu, V., (2008). *Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface: Recent Advances*, Springer Science & Business Media
- Bakirci, K., (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13(9)**: 2580–2588
- Batlles, F.J. *et al.* (2000). Empirical modeling of hourly direct irradiance by means of hourly global irradiance. *Energy*, **25(7)**: 675–688

- Behrang, M.A. *et al.* (2011). New sunshine-based models for predicting global solar radiation using PSO (particle swarm optimization) technique. *Energy*, **36(5)**: 3036–3049
- Besharat, F., Dehghan, A.A. & Faghih, A.R., (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **21**:798–821
- Benmouiza, K. & Cheknane, A., (2013). Forecasting hourly global solar radiation using hybrid k-means and nonlinear autoregressive neural network models. *Energy Conversion and Management*, **75**: 561–569
- Boata, R. St. & Gravila, P., (2012). Functional fuzzy approach for forecasting daily global solar irradiation. *Atmospheric Research*, **112**: 79–88
- Carpinone, A. *et al.* (2015). Markov chain modeling for very-short-term wind power forecasting. *Electric Power Systems Research*, **122**: 152–158
- Croonenbroeck, C. & Ambach, D., (2015). A selection of time series models for short- to medium-term wind power forecasting. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **136**: 201–210
- Denholm, P. & Margolis, R.M., (2007). Evaluating the limits of solar photovoltaics (PV) in traditional electric power systems. *Energy Policy*, **35(5)**:2852–2861
- Díaz, P. *et al.* (2011). Field analysis of solar PV-based collective systems for rural electrification. *Energy*, **36(5)**:2509–2516
- Duzen, H. & Aydin, H., (2012). Sunshine-based estimation of global solar radiation on horizontal surface at Lake Van region (Turkey). *Energy Conversion and Management*, **58**: 35–46
- El-Sebaili, A. & Trabea, A., (2003). Estimation of horizontal diffuse solar radiation in Egypt. *Energy Conversion and Management*, **44(15)**: 2471–2482

- Ettoumi, F.Y., Sauvageot, H. & Adane, A.-E.-H., (2003). Statistical bivariate modelling of wind using first-order Markov chain and Weibull distribution. *Renewable Energy*, **28(11)**: 1787–1802
- Everitt, B.. & Skrondal, A., (2010). *The Cambridge Dictionary of Statistics* 4th ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Fabrizi, V. & Ragona, R., (2014). A pattern matching approach to speed forecasting of traffic networks. *European Transport Research Review*, **6(3)**: 333–342
- Fidan, M., (2006). Mycielski öngörü algoritması üzerine sıkıştırma ve rassallık uygulamaları. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Furlan, C. *et al.* (2012). The role of clouds in improving the regression model for hourly values of diffuse solar radiation. *Applied Energy*, **92**: 240–254
- Gan, M. *et al.* (2012). The effect of different state sizes on Mycielski approach for wind speed prediction. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **109**: 89–93
- García, M. *et al.* (2009). Solar-tracking PV plants in Navarra: A 10 MW assessment. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **17(5)**:337–346
- Gerek, O.N. & Fidan, M., (2006). The Mycielski78 Compression Algorithm. In *2006 IEEE 14th Signal Processing and Communications Applications*. IEEE, Antalya, 16 - 19 Nisan: 1–4.
- Gueymard, C.A. & Myers, D.R., (2009). Evaluation of conventional and high-performance routine solar radiation measurements for improved solar resource, climatological trends, and radiative modeling. *Solar Energy*, **83(2)**: 171–185
- Hepbasli, A. & Alsuhaibani, Z., (2011). A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15(9)**:5021–5050

- Hervás Soriano, F. & Mulatero, F., (2011). EU Research and Innovation (R&I) in renewable energies: The role of the Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan). *Energy Policy*, **39(6)**:3582–3590
- Hocaoğlu, F. O.,(2009). Mycielski approach for wind speed prediction. *Energy Conversion and Management*, **50(6)**: 1436-1443
- Hocaoğlu, F.O., (2010). Novel analytical hourly solar radiation models for photovoltaic based system sizing algorithms. *Energy Conversion and Management*, **51(12)**: 2921–2929
- Hocaoğlu, F.O., (2011). Stochastic approach for daily solar radiation modeling. *Solar Energy*, **85(2)**:278–287
- Hontoria, L., Aguilera, J. & Zufiria, P., (2002). Generation of hourly irradiation synthetic series using the neural network multilayer perceptron. *Solar Energy*, **72(5)**: 441–446
- Huld, T., Müller, R. & Gambardella, A., (2012) . A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, **86(6)**:1803–1815
- Ito, M. *et al.* (2008). A comparative study on cost and life-cycle analysis for 100 MW very large-scale PV (VLS-PV) systems in deserts using m-Si, a-Si, CdTe, and CIS modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **16(1)**:17–30
- Kabir, M.H., Endlicher, W. & Jägermeyr, J., (2010). Calculation of bright roof-tops for solar PV applications in Dhaka Megacity, Bangladesh. *Renewable Energy*, **35(8)** : 1760–1764
- Kalogirou, S.A., (2001). Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **5(4)**: 373–401
- Karakoti, I., Pande, B. & Pandey, K., (2011). Evaluation of different diffuse radiation models for Indian stations and predicting the best fit model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15(5)**: 2378–2384

- Kaushika, N.D., Tomar, R.K. & Kaushik, S.C., (2014). Artificial neural network model based on interrelationship of direct, diffuse and global solar radiations. *Solar Energy*, **103**: 327–342
- Khatib, T., Mohamed, A. & Sopian, K., (2012). A review of solar energy modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16(5)**: 2864–2869
- Lazzaroni, M. *et al.* (2015). Models for solar radiation prediction based on different measurement sites. *Measurement*, **63**: 346–363
- Lewis, C.D., (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods: A Practical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*, Butterworths Scientific Publishing, California University, USA
- Li, M.-F. *et al.* (2010). Estimation of daily solar radiation from routinely observed meteorological data in Chongqing, China. *Energy Conversion and Management*, **51(12)**: 2575–2579
- Liu, H. *et al.* (2015). Comparison of four Adaboost algorithm based artificial neural networks in wind speed predictions. *Energy Conversion and Management*, **92**: 67–81
- Mellit, A. *et al.* (2005). A simplified model for generating sequences of global solar radiation data for isolated sites: Using artificial neural network and a library of Markov transition matrices approach. *Solar Energy*, **79(5)**: 469–482
- McCree, K.J., (1966). A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. *Agricultural Meteorology*, **3(5-6)**: 353–366
- Mustacchi, C., Cena, V. & Rocchi, M., (1979). Stochastic simulation of hourly global radiation sequences. *Solar Energy*, **23(1)**: 47–51
- Petrie, W.R. & McClintock, M., (1978). Determining typical weather for use in solar energy simulations. *Solar Energy*, **21(1)**: 55–59

- Poggi, P. *et al.* (2000). Stochastic study of hourly total solar radiation in Corsica using a Markov model. *International Journal of Climatology*, **20(14)**
- Rehman, S., Bader, M.A. & Al-Moallem, S.A., (2007). Cost of solar energy generated using PV panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11(8)**:1843–1857
- Quesada-Ruiz, S. *et al.* (2015). An advanced ANN-based method to estimate hourly solar radiation from multi-spectral MSG imagery. *Solar Energy*, **115**: 494–504
- Sahin, A.D. & Sen, Z., (2001). First-order Markov chain approach to wind speed modelling. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **89(3-4)**: 263–269
- SHAMSHAD, A. *et al.* (2005). First and second order Markov chain models for synthetic generation of wind speed time series. *Energy*, **30(5)**: 693–708.
- Shukur, O.B. & Lee, M.H., (2015). Daily wind speed forecasting through hybrid KF-ANN model based on ARIMA. *Renewable Energy*, **76**: 637–647
- Soleymani, S., Mosayebian, M.E. & Mohammadi, S., (2015). A combination method for modeling wind power plants in power systems reliability evaluation. *Computers & Electrical Engineering*, **41**: 28–39
- Suehrcke, H., Bowden, R.S. & Hollands, K.G.T., (2013). Relationship between sunshine duration and solar radiation. *Solar Energy*, **92**: 160–171
- Tang, J., Brouste, A. & Tsui, K.L., (2015). Some improvements of wind speed Markov chain modeling. *Renewable Energy*, **81**: 52–56
- Teke, A., Yıldırım, H.B. & Çelik, Ö., (2015). Evaluation and performance comparison of different models for the estimation of solar radiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **50**: 1097–1107
- Wong, L.T. & Chow, W.K., (2001). Solar radiation model. *Applied Energy*, **69(3)**: 191–224

Yadav, A.K. & Chandel, S.S., (2014). Solar radiation prediction using Artificial Neural Network techniques: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **33**: 772–781

Yang, D., Jirutitijaroen, P. & Walsh, W.M., (2012). Hourly solar irradiance time series forecasting using cloud cover index. *Solar Energy*, **86(12)**: 3531–3543

Yorukoglu, M. & Celik, A.N., (2006). A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. *Energy Conversion and Management*, **47(15-16)**: 2441–2450

İnternet Kaynakları

1- http://files.pvsyst.com/help/inverter_array_sizing.htm 06.05.2015

2- <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> 06.05.2015

3- http://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k 03.03.2015

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih SERTTAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : AFYON 10.03.1989
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
İletişim (Telefon/e-posta) :0536 547 62 57 / serttasf@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi (2007)
Lisans : Pamukkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh. (2011)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı (2015)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Afyon Kocatepe Üniversitesi (2012 – devam ediyor)

Yayınları (SCI ve diğer) :

SCI, SSCI ve AHCI Dışında Taranan Dergilerde Yayınlanan Makaleler:

1- An Experimental Setup Design to Evaluate Power Generation Performences of TECs under different temperatures, Applied Mechanics and Materials, vol. 492, pp 473-477, 2014(Akarşlan E, Cinar S.M, Hocaoglu F.O, ile birlikte)

Uluslararası Konferans ve Sempozyumlardaki Tebliğler:

1- A New NN Based Procedure for Hourly Solar Radiation Forecasting, The Second International Conference on Water, Ener, 21-24 Sept 2013, 331, 2013(Hocaoglu F.O,Akarşlan E, ile birlikte)

2- An Investigation on Energy Consumption Differences between Damaged and

Stable Cutting Disks in a Marble Cutting Machine, 7th INTERNATIONAL EGE ENERGY SYMPOSIUM and EXHIBIT, June 2014, 157, 2014(HOCAOĞLU F., UCUN İ., ile birlikte)

3- A Historical Based Solar Radiation Forecasting Method, Solar TR, , , 2014(Fatih Onur Hocaoglu, ile birlikte)

4- Feasibility Analysis of a 1MW PV array for Afyonkarahisar region, Solar TR, 21-11-2014, , 2014(Fikret Sutkovic, Fatih Onur Hocaoglu, Emre Akarlan, ile birlikte)

5- A review of Electronic Design of Electrical Cars and A Case Study, Solar TR, 19-21 Kasım 2014, , 2014(Emre Akarlan, Fatih Onur Hocaoglu, Said Mahmut Çınar, ile birlikte)

6- A New Solar Rechargeable Electronic Noticeboard Design, Solar TR, 19-21 Kasım 2014, , 2014(Said Mahmut Çınar, Emre Akarlan, ile birlikte)

7- A New Technique For Short Term Solar Radiation Prediction, ICRES, 978-605-61434-5-8, 256, 2015(F. O. HOCAOĞLU, ile birlikte)