

GÜNEŞ HÜCRESİ KUSURLARININ YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE ANALİZ EDİLMESİ

Miktat AKTAŞ, PhD

yaz
yayınları

GÜNEŞ HÜCRESİ KUSURLARININ YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE ANALİZ EDİLMESİ

Miktat AKTAŞ

yaz yayınları

2026

yaz
yayınları

Güneş Hücresi Kusurlarının Yapay Zekâ Teknikleri ile Analiz Edilmesi

Yazar: Miktat AKTAŞ, PhD

ORCID NO: 0000-0002-0731-5668

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

ISBN 978-625-8926-59-0

Ekim 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

"Üniversiteyi kazan, gerekirse sırtımdaki ceketimi satar, seni yine de okuturum"

diyen merhum babam Osman AKTAŞ'a…

Bu kitap, yazarın Prof. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU danışmanlığında ve Dr. Öğr. Üyesi Ferdi DOĞAN ikinci danışmanlığında hazırlanarak 10.07.2026 tarihinde Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı'nda savunulan "Güneş Hücresi Kusurlarının Yapay Zeka Teknikleri İle Analiz Edilmesi" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

Çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 123E697 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kitabın hazırlanması sırasında dil bilgisi ve üslubu geliştirmek amacıyla yapay zekâ tabanlı yazım araçlarından yararlanılmış; içerik yazar tarafından gözden geçirilip düzenlenmiştir. Kitabın içeriğine ilişkin tüm sorumluluk yazara aittir.

ÖNSÖZ

Elinizdeki kitap, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladığım doktora tezimin kitaplaştırılmış halidir. Kitapta, güneş paneli üretim hatlarında elektrolüminesans (EL) görüntüleri üzerinden hücre kusurlarının yapay zekâ ile otomatik olarak tespit edilmesi ve sınıflandırılması ele alınmakta; gerçek bir üretim hattından elde edilen veri seti, RLSA tabanlı hücre bölütleme yöntemi ve CNN ile Transformer yaklaşımlarını birleştiren hibrit PVELNet mimarisi ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Kitabın; fotovoltaik teknolojiler, görüntü işleme ve derin öğrenme alanlarında çalışan araştırmacılara, lisansüstü öğrencilere ve güneş enerjisi sektöründe kalite kontrol süreçlerinden sorumlu mühendislere yararlı olmasını dilerim.

Bu çalışmanın temelleri, güneş paneli üretim hattında aktif olarak görev aldığım süreçte sahada karşılaştığım sorunlara ve zaman kayıplarına çözüm ararken atıldı. Beni motive eden en temel hedef; gerçek bir problemi ortadan kaldırmak, süreçleri tamamen otonomlaştırmak ve hata payını sıfıra indirmekti. Araştırmalarımın ilk iki yılında, her hafta üç gün süren Adıyaman ile Elazığ arasındaki seyahatlerin yorgunluğuyla mücadele ederken; sırasıyla 24 Ocak 2020 Elazığ depremi, küresel salgın ve nihayetinde 6 Şubat 2023 depremleri bu yolculuğu çok daha çetin bir sınava dönüştürdü. Özellikle 6 Şubat 2023 depremleri hepimizin hayatında derin izler bırakmış olsa da, bu büyük trajediye rağmen çalışmayı kararlılıkla sürdürmek, onun bir TÜBİTAK projesi kimliği kazanmasını sağladı.

Bu çalışmada bana kıymetli vaktini ayıran, yol gösteren, beni çalışmalarımda şevklendiren ve nihayetinde çalışmanın tamamlanmasında her türlü desteği sağlayan çok kıymetli hocam Prof. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU'na; çalışmalarımda verdiği destek ve rehberlik için Adıyaman Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Ferdi DOĞAN'a; ihtiyaç duyduğum veri setini kullanmama izin veren ve destek olan GTC Güneş Sanayi ve Ticaret AŞ Yönetim Kurulu

Başkanı Ayşe Çiğdem BESEN'e teşekkür eder, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Doktora çalışmalarına başlamamda beni yüreklendiren ve bu süreçte maddi ve manevi sıkıntılara katlanarak bana destek olan sevgili eşime ve kızıma yürekten teşekkür ediyorum. Anneme ve kardeşlerime, hayatım boyunca ve özellikle doktora sürecindeki maddi ve manevi destekleri ve fedakârlıkları için şükranlarımı sunuyorum.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 123E697 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Miktat AKTAŞ

Elazığ, 2026

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ **1**

1.1. Problemin Tanımı **1**

1.2. Alanyazın Değerlendirmesi **2**

1.2.1. Veri Seti Boyutu ve Çeşitliliği **5**

1.2.2. Görüntüleme Modelleri **5**

1.2.3. Sınıf Dağılım Dengesi **5**

1.2.4. Veri Artırma Uygulamaları **6**

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı **6**

1.3.1. Çalışmanın Özgün Değeri ve Alanyazına Katkısı **8**

1.4. Kitabın Düzeni **9**

2. GÜNEŞ HÜCRESİ VE GÜNEŞ PANELİ TEKNOLOJİSİ **11**

2.1. Güneş Hücresi Teknolojileri **13**

2.2. Güneş Hücresi Üretim Aşamaları **15**

2.3. Güneş Hücresi Teknoloji Türleri **17**

2.4. Güneş Hücresi Boyutları **18**

2.5. Güneş Paneli Yapısı ve Teknolojisi **20**

2.6. Güneş Paneli Üretim Aşamaları **23**

2.7. Güneş Paneli Teknoloji Türleri **25**

2.8. Güneş Paneli Enerji Üretimi İzleme Yöntemleri **28**

2.9. Güneş Paneli Enerji Üretim Performansını Etkileyen Faktörler **30**

2.10. Güneş Paneli Enerji Üretimi Değerlendirme Kriterleri ve Metrikleri 32

2.11. Güneş Hücrelerinde Hasar Türleri 34

2.11.1. Mekanik Hasarlar 36

2.11.2. Termal Hasarlar 37

2.11.3. Elektriksel Hasarlar 38

2.11.4. Dış Ortam Şartlarına Bağlı Hasarlar 40

3. GÜNEŞ HÜCRELERİ VE PANELLERİNDEKİ HASARLARI TESPİT YÖNTEMLERİ 43

3.1. Elektrolüminesans Görüntüleme 43

3.2. Güneş Panellerinde Hasar Tespit Yöntemleri 44

3.2.1. Geleneksel Tespit Yöntemleri 45

3.2.2. Yapay Zekâ Destekli Tespit Yöntemleri 46

3.2.3. Diğer Yöntemler 46

4. GÜNEŞ HÜCRESİ KUSURLARININ SINIFLANDIRILMASINDA YENİ BİR HİBRİT DERİN ÖĞRENME MİMARİSİ: PVELNet 51

4.1. Veri Seti 54

4.1.1. Veri Setinin Özellikleri 54

4.1.2. Panel Görüntülerinin Otomatik Hücre Bölütlemesi 55

4.1.3. Veri Setindeki Hücrelerin Ayrıştırılması ve Etiketlenmesi 58

4.1.4. Veri Setinin Dengelenmesi 61

4.2. Yapay Zekâ Modelinin Tasarımı 63

4.2.1. Önerilen PVELNet Yapay Zekâ Modeli 64

4.3. Karşılaştırmalarda Kullanılan Ön-Eğitimli Derin Öğrenme Modelleri ve Özellikleri 67

4.4. Karşılaştırma Metrikleri 72

5. DENEYSEL BULGULAR VE ANALİZ 75

5.1. Donanım ve Yazılım Altyapısı 75

5.2. Bölütleme Başarım Metrikleri 77

5.3. Başarım Karşılaştırması 81

5.3.1. F1-Skor Sonuçları 81

5.3.2. Duyarlılık Sonuçları 84

5.3.3. Kesinlik Sonuçları 86

5.3.4. Genel Başarım ve Bellek Gereksinimi 88

6. SONUÇ VE TARTIŞMA 91

6.1. Öneriler 94

KAYNAKÇA 97

EKLER 105

Ek-1: 8 Sınıflı Veri Setinde Derin Öğrenme Modellerine Ait Karmaşıklık Matrisleri 105

YAZAR HAKKINDA 107

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Isc : Kısa devre akımı

Imp : Maksimum güç noktası akımı

Pmax : Nominal (maksimum) güç

Vmp : Maksimum güç noktası voltajı

Voc : Açık devre gerilimi

Kısaltmalar

BSF : Arka Yüzey Alanı (Back Surface Field)

CIGS : Bakır İndiyum Galyum Diselenit (Cu(In,Ga)Se2)

CNN : Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks)

DÖA : Derin Öğrenme Ağı

DSSC : Boya Duyarlı Güneş Pilleri

EL : Elektrolüminesans

EVA : Etilen Vinil Asetat

FV : Fotovoltaik

GAN : Çekişmeli Üretici Ağlar

GES : Güneş Enerjisi Santrali

GH : Güneş Hücresi

GP : Güneş Paneli

IEA : Uluslararası Enerji Ajansı

İHA : İnsansız Hava Aracı

IR : Kızılötesi (Infrared)

MBB : Çoklu Bara (Multi Busbar)

PID : Potansiyel Kaynaklı Bozulma (Potential Induced Degradation)

PL : Fotolüminesans

POE : Poliolefin Elastomer

PR : Performans Oranı (Performance Ratio)

RLSA : Run-Length Smoothing Algoritması

ROI : İlgilenilen Bölge (Region of Interest)

RUV : Rezonans Ultrasonik Titreşimler

UE : Ultrason Enerjisi

YZ : Yapay Zekâ

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

GÜNEŞ HÜCRESİ KUSURLARININ YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE ANALİZ EDİLMESİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com

ISBN: 978-625-8926-59-0