



**TÜBİTAK 2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA
PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI**

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

2025 Yılı

2. Dönem Başvurusu

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

A. GENEL BİLGİLER

Başvuru Sahibinin Adı Soyadı: Sude Naz Lekesiz - Khadim Dieye
Araştırma Önerisinin Başlığı: Binalarda Enerji Verimliliğinin Analizi İçin Termal Görüntü ve Tüketim Verisi Füzyonuna Dayalı Bir Derin Öğrenme Modeli Geliştirilmesi
Danışmanın Adı Soyadı: Seda BALTA KAÇ
Araştırmamanın Yürüttüleceği Kurum/Kuruluş: Kurum/Kuruluş: Kocaeli Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi

ÖZET

Araştırma önerisi özetinin (1) bilimsel nitelik; (2) yöntem; (3) proje yönetimi ve (4) yaygın etki hakkında bilgileri kapsaması beklenir. Bu bölümün en son yazılması önerilir.

Bu projenin amacı, binalarda enerji verimliliğini artırmak ve enerji israfını belirlemek için çok modlu derin öğrenmeye dayalı bir yöntem geliştirmektir. Özgün katkı, termal görüntülerden üretilen mekansal ısı kaybı haritaları ile enerji tüketiminin zaman içinde değişimini birlikte analiz eden bir veri füzyonu yaklaşımıdır.

Yötem iki aşamadan oluşur. İlk aşamada, bina cephelerinden toplanan termal görüntüler üzerinde zayıf yalıtım ve termal köprü gibi ısı kaybı anomalilerini piksel düzeyinde belirlemek için U-Net tabanlı bir evrişimsel sinir ağı tasarlanır ve eğitilir. Bu modelin çıktısı ısı kaybının konumunu ve şiddetini gösteren bir ısı kaybı maskesidir. İkinci aşamada, bu maskeden türetilen toplam kayıp alanı ve kayıp yoğunluğu gibi nicel göstergeler bina enerji tüketiminin zaman serisiyle birleştirilir ve ısı kaybının toplam tüketime etkisi bir regresyon modeli ile nicel olarak çözümlenir. Değerlendirmede belirleme katsayısı olarak bilinen R kare ve kök ortalama kare hata kullanılır.

Bu yaklaşım, ısı kaybının nerede gerçekleştiğini göstermenin ötesine geçerek bunun kilovat saat veya Türk lirası cinsinden etkisini de tahmin eder. Projenin çıktısı, sonuçları görselleştiren ve veriye dayalı dinamik tasarruf önerileri üreten bir karar destek sistemi prototipidir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Derin Öğrenme, Termal Görüntüleme, Evrişimsel Sinir Ağları (CNN), Akıllı Enerji Yönetimi

1. ARAŞTIRMA ÖNERİSİNİN BİLİMSEL NİTELİĞİ

1.1. Konunun Önemi ve Araştırma Önerisinin Bilimsel Niteliği

Araştırma önerisinde ele alınan konunun kapsamı, sınırları ve önemi ortaya konulur. Araştırma önerisi kapsamında yapılacak çalışmalarla literatürdeki hangi eksikliğin nasıl giderileceği veya hangi soruna nasıl bir çözüm getirileceği ilgili literatüre atıfla açıklanarak araştırma önerisinin bilimsel niteliği ortaya konulur. Araştırma sorusu ve varsa hipotez(ler)i tanımlanır.

Projenin konusu, 12. Kalkınma Planı ve 2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisinde yer alan kritik teknoloji alanları ile öncelikli Ar-Ge ve yenilik konuları ile ilişkili ise, ilişkilendirilme sebebi ve ilgili alana sağlayacağı yararlar açıklanmalıdır.

Enerji verimliliği ulusal bir önceliktir. Binalar toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olup, bu alandaki israfın önlenmesi büyük bir tasarruf potansiyeli sunmaktadır. Ancak, mevcut enerji denetim yöntemleri genellikle insan gücüne dayalı, zaman alıcı ve noktasal ölçümlere dayandığı için bütünüyle etkin değildir. Üst düzey denetimler genellikle "zaman alıcı ve maliyetlidir" [1], bu da daha hızlı otomatik yöntemlerin geliştirilmesini haklı kılmaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalar ısı kayıplarını tespit etmek için termal kameralar kullanır da, bu çalışmalar genellikle anlık durum analiziyle sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmalar, binanın dinamik enerji tüketim alışkanlıklarını ve dış koşulların etkisini göz ardı etmekte, tam anlamıyla etkili olabilmek için başka verilerle entegrasyona ihtiyaç duymaktadır [2].

Bu projenin özgün değeri, literatürdeki bu boşluğu doldurarak iki farklı veri türünü (mekansal termal görüntü ve zamansal tüketim verisi) birleştiren (çok modlu) bir yaklaşım sunmasıdır. Bu "veri füzyonu" ("multimodal data fusion") yaklaşımı, daha sağlam performans analizleri veya 3D modeller oluşturmak için en ileri araştırma önemlilerinden biridir [5, 6]. Proje, sadece "nerede" ısı kaçağının olduğunu değil, aynı zamanda bu kaçağın "ne zaman" ve "hangi koşullarda" arlığını da analiz ederek, geleneksel yöntemlerden daha derinlemesine sonuçlar

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

üretmeyi hedeflemektedir.

Araştırma Sorusu: Binalardan elde edilen termal görüntüler ile zaman serisi enerji tüketim verilerinin Evrişimli Sinir Ağrı (CNN) tabanlı bir modelle bütünsel olarak analiz edilmesi, enerji israf noktalarının tespit doğruluğunu ve tasarruf önerilerinin etkinliğini geleneksel yöntemlere kıyasla artırabilir mi?

1.2. Amaç ve Hedefler

Araştırma önerisinin amacı ve hedefleri açık, ölçülebilir, gerçekçi ve ulaşılabilir nitelikte olacak şekilde yazılır.

Bu projenin temel amacı; binalardaki enerji israfını (ısı kayıpları, gereksiz kullanım, yalıtım sorunları) tespit etmek amacıyla, termal görüntüler ile zaman serisi enerji tüketim verilerini birlikte analiz eden, CNN tabanlı bir derin öğrenme modeli geliştirmek ve bu model aracılığıyla binalara özel dinamik enerji tasarrufu önerileri sunan akıllı bir sistem prototipi oluşturmaktır.

Projenin amacına ulaşmak için belirlenen spesifik hedefler şunlardır:

- Hedef 1: Çok Modlu Veri Setinin Oluşturulması** Belirlenen pilot binalardan yüksek çözünürlüklü termal kamera görüntülerini toplanacaktır. Buna paralel olarak, aynı binalara ait enerji tüketim verileri temin edilecektir. Bu verinin, Türkiye'deki enerji dağıtım şirketlerinin kullandığı Otomatik Sayaç Okuma Sistemleri, kısaca OSOS, altyapısından elde edilmesi tercih edilmektedir. OSOS altyapısı, projenin ihtiyaç duyduğu saatlik ve hatta 15 dakikalık granülitaritede veri sağlayarak, modelin dinamik analiz kapasitesini güçlendirecektir. Bu iki farklı veri tipini, yani görüntü ve zaman serisi verilerini, birleştiren çok modlu bir veri seti oluşturulacaktır.
- Hedef 2: Isı Kaykı Tespiti İçin CNN Modelinin Geliştirilmesi** Toplanan termal görüntülerdeki ısı kayıplarını, yalıtım problemlerini ve termal köprüleri piksel seviyesinde otomatik olarak tespit etmek, bir diğer deyişle segmentasyon yapmak, amacıyla Şekil 2'de detayları verilen U-Net mimarisine dayalı bir Evrişimli Sinir Ağrı, kısaca CNN, modeli tasarılanacak ve eğitilecektir. Bu model, bir termal görüntüyü girdi olarak alıp, çıktısında ısı kaykı olan ve olmayan bölgeleri net bir şekilde ayıran bir "ısı kaykı maskesi" üretecektir. Bu, kayıpların mekansal konumunun ve yoğunluğunun belirlenmesini sağlayacaktır.
- Hedef 3: Veri Füzyonu ile Tüketim Analizi Modelinin Kurulması** Bu hedef, projenin en kritik adımıdır. Hedef 2'de elde edilen mekansal ısı kaykı verileri, örneğin kayıp yaşanan toplam alan veya yoğunluk, Hedef 1'de elde edilen zaman serisi enerji verileriyle veri füzyonu yaklaşımıyla entegre edilecektir. Bu kapsamında, Türkiye elektrik faturalandırma sistemindeki T1-gündüz, T2-puant ve T3-gece gibi farklı tarife zamanlarındaki tüketim artışları ile o anki mekansal ısı kaykı arasındaki ilişkiye analiz edecek bir Regresyon Modeli kurulacaktır. Bu model, "Penceredeki ısı kaykı, özellikle en pahalı olan T2-Puant tarife dilişinde, yani akşam 17:00-22:00 saatleri arasında, faturaya kaç TL etki ediyor?" sorusuna kantitatif bir yanıt verecektir.
- Hedef 4: Maliyet Odaklı Karar Destek Sistemi Prototipinin Geliştirilmesi** Hedef 3'te açıklanan birleşik analiz modelinin çıktılarına dayanarak, her bina için maliyet-etkin ve önceliklendirilmiş dinamik enerji tasarrufu önerileri üreten bir Karar Destek Sistemi prototipi, ki bu Şekil 3'te taslak olarak sunulmuştur, geliştirilecektir. Prototip, son kullanıcıya, örneğin bina yöneticisine, basit bir arayüze, "En acil ve en çok tasarruf sağlayacak müdahale, örneğin Çatı izolasyonu, nedir?" sorusunun cevabını, doğrudan fatura maliyetine etkisini göstererek sunacaktır.

2. YÖNTEM

Araştırmada uygulanacak yöntem ve araştırma tekniklerinin, amaç ve hedeflere ulaşmaya ne düzeyde elverişli olduğu ilgili literatüre atıf yapılarak ortaya konulur.

Yöntem bölümünün; araştırma tasarımlı, bağımlı ve bağımsız değişkenler, istatistiksel yöntemler vb. unsurları içermesi gereklidir. Araştırma önerisinde herhangi bir ön çalışma veya fizibilite yapıldıysa bunların sunulması beklenir. Araştırma önerisinde sunulan yöntemlerin çalışma takvimi ile ilişkilendirilmesi gereklidir.

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

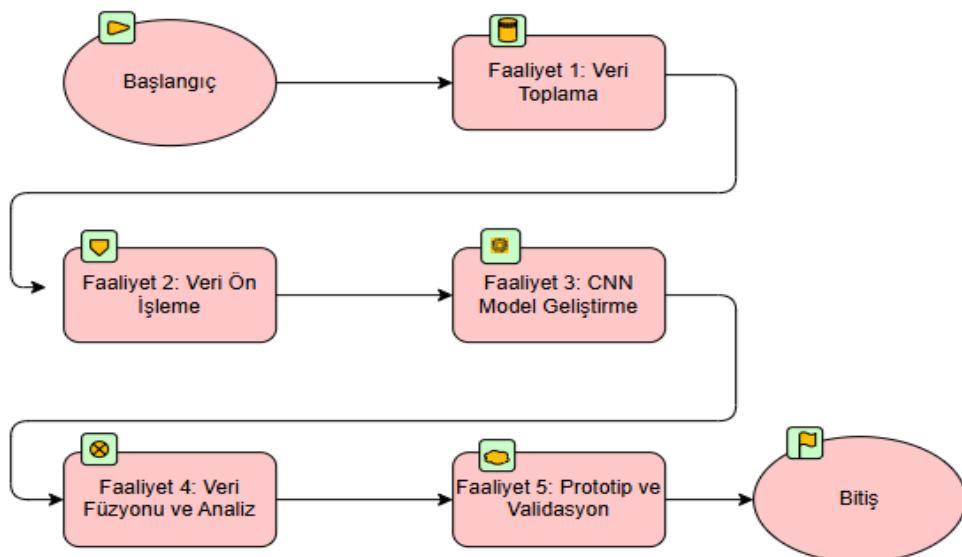
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

Bu araştırmada, binalardaki enerji israfını tespit etmek için çok modlu (görüntü ve zaman serisi) bir veri analizi yaklaşımı benimsenecektir. Yöntem; veri toplama, bu verilerin ön işlenmesi, bir Evrişimli Sinir Ağı (CNN) modeli ile termal verilerin analizi, zaman serisi verileriyle entegrasyonu ve sonuçların validasyonunu (doğrulamasını) kapsar. Yapay Zeka (AI) ve Derin Öğrenme kullanımının, binalarda termal konfor tahmini ve sistem teşhisini için geleneksel yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği kabul edilmektedir [3].

Yazılım geliştirme sürecinde **Python** programlama dili, makine öğrenmesi modeli için **TensorFlow/Keras** kütüphaneleri ve termal görüntülerin ön işlenmesi için **OpenCV** kütüphanesi kullanılacaktır.

2.1. İş Akış Diyagramı

Proje kapsamında izlenmesi planlanan iş akışının görseli Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Proje İş Akış Diyagramı

2.2. Veri Toplama ve Set Oluşturma (Hedef 1)

Veri seti iki ana bileşenden oluşacaktır:

- Termal Görüntü Verisi:** binasının dış cephelarından, farklı hava koşullarında (gündüz/gece, farklı dış sıcaklıklar) bir termal kamera aracılığıyla yüksek çözünürlüklü termal görüntüler toplanacaktır.
- Enerji Tüketim Verisi:** Görüntüleri toplanan binaların, ilgili dönemlere (mükemmese saatlik veya günlük) ait elektrik ve doğal gaz tüketim verileri, binanın akıllı sayaç sisteminden veya **Örn: Yapı İşleri Daire Başkanlığı**'ndan temin edilecektir.

2.3. Veri Ön İşleme

- Termal Görüntü Ön İşleme:** Yansıtıcı yüzeyler gibi termografinin bilinen bir sınırlaması olan ve hatalı sonuçlara yol açabilen çevresel gürültü azaltılacaktır [7]. Tüm görüntülerin aynı sıcaklık ölçüğe getirilmesi (normalizasyon) ve geometrik olarak hizalanması için OpenCV kullanılarak bir kalibrasyon adım uygulanacaktır. Isı kaybı olan (anomali) ve olmayan (normal) bölgeler etiketlenerek eğitim veri seti oluşturulacaktır.
- Tüketim Verisi Ön İşleme:** Elde edilen zaman serisi verilerindeki eksik veriler tamamlanacak ve modelde kullanılmak üzere normalize edilecektir.

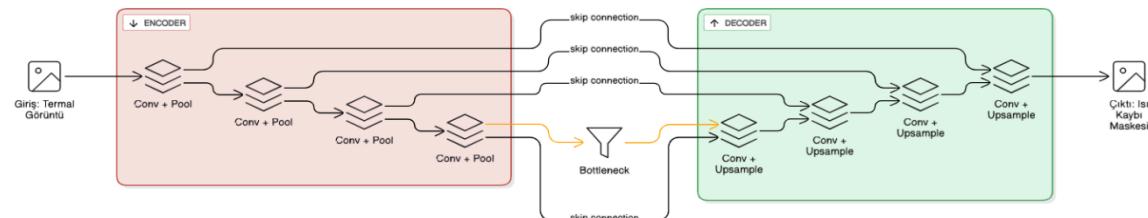
2.4. Model Geliştirme: CNN Mimarisi (Hedef 2)

Termal görüntülerdeki ısı kayıp noktalarını otomatik olarak tespit etmek (segmentasyon) için, görüntü segmentasyonunda başarılı kanıtlanmış U-Net mimarisine dayalı bir CNN modeli tasarılanacak ve

2209-A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

TensorFlow/Keras ile kodlanacaktır. Bu yaklaşım, termal görüntülerden piksel piksel sıcaklık verilerini çıkararak güncel araştırmalarla uyumludur [4].



Şekil 2. Isı Kaybı Segmentasyonu İçin Önerilen U-Net Mimarisi

2.5. Veri Füzyonu ve Dinamik Analiz (Hedef 3)

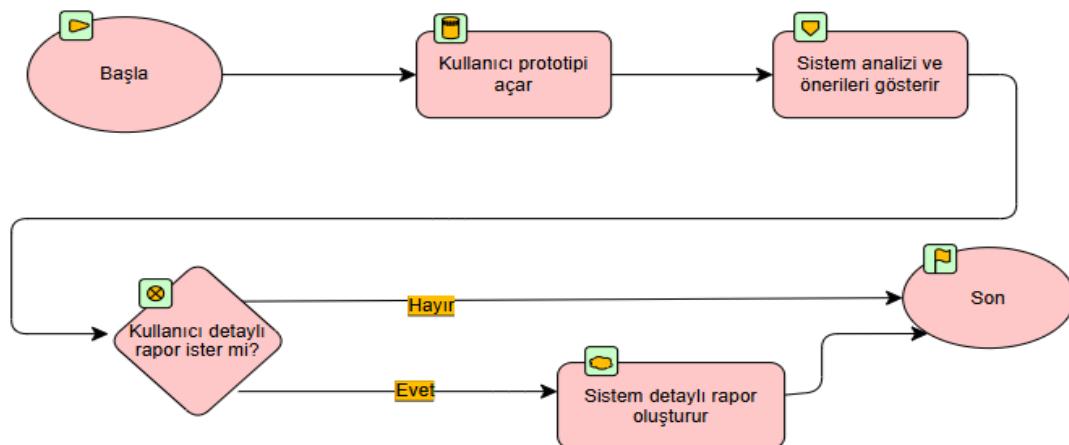
CNN modelinden elde edilen mekansal ısı kaybı verileri binanın anlık enerji tüketim verileri (zaman serisi) ile birleştirilecektir. Bu birleşik veri seti, bir Regresyon modeline girdi olarak verilecektir.

2.6. Modelin Değerlendirilmesi ve Tasarruf Önerileri Üretme (Hedef 4)

Projeden başarısı, geliştirilen her iki modelin de ayrı ayrı değerlendirilmesiyle ölçülecektir.

Bu validasyon süreci iki aşamalı olacaktır. İlk olarak, CNN Segmentasyon Modeli olan U-Net'in ısı kaybı bölgelerini tespit etme başarısı, test veri seti kullanılarak Intersection over Union (IoU) ve Dice Coefficient (DSC) metrikleri ile ölçülecektir. İkinci olarak, Hedef 3'te kurulan Regresyon Modeli olan veri füzyonu modelinin enerji tüketimini açıklama başarısı, test verileri üzerinden R^2 (Belirlilik Katsayısı) ve RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) metrikleri kullanılarak değerlendirilecektir.

Bu değerlendirme adımlarının ardından, her iki modelin, yani CNN ve Regresyon modellerinin, çıktılarını analiz eden ve somut tasarruf önerileri üreten bir Karar Destek Sistemi prototipi geliştirilecektir. Bu prototipin bir taslağı Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Prototip Arayüzü Kullanıcı Alığı

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

3. PROJE YÖNETİMİ

3.1 Çalışma Takvimi

Araştırmada yer alacak başlıca faaliyetler, her bir faaliyetin hangi sürede gerçekleştirileceği, başarı ölçütü ve araştırmmanın başarısına katkısı “Çalışma Takvimi” doldurularak sunulur.

ÇALIŞMA TAKVİMİ (*)

Tarih Aralığı	Faaliyetler**	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	Başarı Ölçütü ve Araştırmamanın Başarısına Katkısı***
0-2 Ay	Faaliyet 1: Veri Seti Toplama ve Hazırlama	Sude Naz Lekesiz - Khadim Dieye Seda BALTA KAÇ [Danışman]	En az 100 adet termal görüntü ve 12 aylık enerji tüketim verisinin toplanmış olması. Katkı oranı:%15
2-3 Ay	Faaliyet 2: Veri Ön İşleme ve Etiketleme	Sude Naz Lekesiz - Khadim Dieye Seda BALTA KAÇ [Danışman]	En az 100 adet termal görüntü ve 12 aylık enerji tüketim verisinin toplanmış olması. Katkı oranı:%20
3-7 Ay	Faaliyet 3: CNN Modelinin Geliştirilmesi ve Eğitimi	Sude Naz Lekesiz - Khadim Dieye Seda BALTA KAÇ [Danışman]	Geliştirilen U-Net modelinin, test veri setinde en az [0.80] IoU (Intersection over Union) skoruna ulaşması. Katkı oranı:%30
5-8 Ay	Faaliyet 4: Veri Füzyonu ve Analiz Modeli	Sude Naz Lekesiz - Khadim Dieye Seda BALTA KAÇ [Danışman]	Regresyon modelinin, ısı kaybı ve enerji tüketimi arasındaki ilişkide en az [0.75] R ² (Belirlilik Katsayı) değerine ulaşması. Katkı oranı:%15
8-10 Ay	Faaliyet 5: Prototip Geliştirme ve Validasyon	Sude Naz Lekesiz - Khadim Dieye Seda BALTA KAÇ [Danışman]	Model sonuçlarını (ısı kaybı haritası ve öneriler) doğru gösteren, çalışan bir prototip arayüzünün (Şekil 3) tamamlanması. Katkı oranı:%10
10-12 Ay	Faaliyet 6: Nihai Raporlama ve Sunum	Sude Naz Lekesiz - Khadim Dieye Seda BALTA KAÇ [Danışman]	Proje metodolojisini ve sonuçlarını içeren nihai araştırma raporunun/tezinin teslim edilmesi ve başarıyla sunulması. Katkı oranı:%10

3.2 Risk Yönetimi

Araştırmmanın başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek riskler ve bu risklerle karşılaşıldığında araştırmmanın başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (B Planı) aşağıdaki Risk Yönetimi Tablosu'nda ifade edilir. B Plan(larının) uygulanması araştırmmanın temel hedeflerinden sapmaya yol açmamalıdır. B Plan(larına) geçilmesi durumunda yöntem değişikliğine gidiliyor ise bu durum detaylandırılmalıdır.

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI
ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

RISK YÖNETİMİ TABLOSU*

En Önemli Riskler	Alınacak Tedbirler (B Planı)
Pilot binalardan enerji tüketim verilerinin (saatlik/günlük) temin edilememesi veya veri kalitesinin düşük olması.	Binaların genel (aylık) tüketim verileri ve dış hava sıcaklığı verileri (Meteoroloji'den) ile bir korelasyon modeli kurulmaya çalışılacaktır. Görüntü kalitesi düşükse, Veri Artırma (Data Augmentation) teknikleri (döndürme, parlaklık/kontrast ayarı, kırpma) uygulanarak modelin dayanıklılığı artırılacaktır.
Geliştirilen CNN modelinin, ısı kayıplarını yeterli doğrulukta (%85 altı) tespit edememesi	İlk olarak, Risk 1'de belirtilen ileri düzey veri artırma teknikleri uygulanacaktır. Gerekirse Veri Ön İşleme (Faaliyet 2) adımına geri dönülecek ve etiketleme stratejisi revize edilecektir. Ardından, modelin hiperparametreleri Grid Search veya Bayesian Optimizasyonu gibi sistematik arama teknikleri ile optimize edilecektir. Son çare olarak, mevcut U-Net mimarisini değiştirilecektir. Daha derin bir kodlayıcı olan ResNet50-U-Net veya dikkat mekanizmalı Attention U-Net mimarisini denenecektir.
Füzyon Modelinin (Regresyon) zayıf sonuç vermesi.	Revizyon 1 (Özellik): Modelde kullanılan girdiler (features) değiştirilecek, farklı özellik mühendisliği (feature engineering) denenecektir. Plan B (Model): Basit Regresyon modeli yerine Random Forest veya LSTM gibi zaman serisi verisiyle daha iyi çalışan bir model denenecektir.

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabılır.

3.3.Araştırma Olanakları

Bu bölümde projenin yürütüleceği kurum ve kuruluşlarda var olan ve projede kullanılacak olan altyapı/ekipman (laboratuvar, araç, makine-teçhizat, vb.) olanakları belirtilir.

ARAŞTIRMA OLANAKLARI TABLOSU (*)

Kuruluşta Bulunan Altyapı/Ekipman Türü, Modeli (Laboratuvar, Araç, Makine-Teçhizat, vb.)	Projede Kullanım Amacı
Bilgisayar	Faaliyet 3 (CNN Model Geliştirme): U-Net modelinin eğitimi (training) ve hiperparametre optimizasyonu için gerekli olan yoğun ve paralel hesaplamaları gerçekleştirmek
Akıllı Sayaç Veri Erişim Sistemi	Faaliyet 1 (Veri Toplama): Binaların saatlik/günlük enerji tüketim verilerine (zaman serisi) erişim sağlamak.
Yazılım Altyapısı	Faaliyet 2, 3, 4: Veri ön işleme (OpenCV), CNN modelinin kodlanması ve eğitimi (TensorFlow/Keras) ve Veri Füzyonu

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

	modelinin (Regresyon) uygulanması.
Laboratuvar	Proje ekibinin tüm analitik, kodlama, model geliştirme ve nihai raporlama (Faaliyet 6) çalışmalarını yürüteceği birincil fiziksel çalışma alanı.

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabılır.

4. ARAŞTIRMA ÖNERİSİNİN YAYGIN ETKİSİ

Araştırma önerisi kapsamındaki çalışmadan elde edilmesi öngörülen çıktılar amaçlarına göre belirlenen kategorilere ayrılarak belirtilir; ölçülebilir ve gerçekçi hedeflere dayandırılır.

Çıktı, Etki ve Kazanımlar	Öngörülen Çıktı(lar), Etki(ler) ve Kazanım(lar)
Bilimsel/Akademik Çıktılar (Ulusal/Uluslararası Makale, Kitap Bölümü, Kitap, Bildiri vb.)	Proje metodolojisini (U-Net ile segmentasyon ve regresyon modeli ile veri füzyonu) ve elde edilen sonuçları (IoU, R ² metrikleri) içeren, uluslararası, hakemli bir dergide yayımlanmak üzere 1 adet özgün araştırma makalesi hazırlanacaktır. Ayrıca projenin tamamı, 2209/A programının gerekliliklerine uygun olarak detaylı bir Nihai Proje Raporu ve Lisans Bitirme Tezi olarak belgelenecektir.
Ekonomik/Ticari/Sosyal Çıktılar (Ürün, Prototip, Patent, Faydalı Model, Tescil, GörSEL/İşİSEL Arşiv, Envanter/Veri Tabanı, Çalıştay, Eğitim, Bilimsel Etkinlik vb.)	İşı kaybı tespiti ve enerji tasarrufu önerileri sunan, yönteminin pratik uygulamasını gösteren ve enerji verimliliği danışmanlığı için ticari bir araca temel oluşturabilecek somut bir " Karar Destek Sistemi " prototipi (Şekil 3) geliştirilecektir.
Yeni Proje(ler) Oluşturmasına Yönelik Çıktılar (Ulusal/Uluslararası Yeni Proje vb.)	Bu projede geliştirilen prototip ve veri füzyonu modeli, geleceğe yönelik bir çalışma tavsiyesi niteliğindedir. Bu çalışmanın bir sonraki adımı, prototipin pilot bir binaya entegrasyonunu sağlamak olup bu hedefle TÜBİTAK 1002 programına başvurulabilir.

5. BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER KONULAR

Sadece araştırma önerisinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek bilgi/veri (grafik, tablo, vb.) eklenebilir.

6. EKLER

EK-1: KAYNAKLAR

[1] Dean, B., Dulac, J., Petrichenko, K., & Graham, P. (2016). Global Status Report 2016: Towards zero-emission efficient and resilient buildings.

[2] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015, October). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention* (pp. 234-241). Cham: Springer international publishing.

2209/A ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEĞİ PROGRAMI

ARAŞTIRMA ÖNERİSİ FORMU

- [3] Zhao, Y., Li, T., Zhang, X., & Zhang, C. (2019). Artificial intelligence-based fault detection and diagnosis methods for building energy systems: Advantages, challenges and the future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 85-101..
- [4] Mirzabeigi, S., Razkenari, R., & Crovella, P. (2025). Building Envelope Thermal Anomaly Detection Using an Integrated Vision-Based Technique and Semantic Segmentation. *Buildings*, 15(15), 2672.
- [5] Li, Y., Peng, Q., Lin, J., Peng, Y., Mai, Y., & Liang, S. (2022). Real-time construction of thermal model based on multimodal scene data. *Frontiers in Energy Research*, 10, 895534.
- [6] Müller, D., Soto-Rey, I., & Kramer, F. (2022). Towards a guideline for evaluation metrics in medical image segmentation. *BMC Research Notes*, 15(1), 210.
- [7] Sfarra, S., Ciccone, A., Yousefi, B., Ibarra-Castanedo, C., Perilli, S., & Maldague, X. (2019). Improving the detection of thermal bridges in buildings via on-site infrared thermography: The potentialities of innovative mathematical tools. *Energy and Buildings*, 182, 159-171.
- [8] Yue, J., Lu, J., Yue, Y., & Pan, Y. (2025). Heat loss evaluation for heating building envelope based on relevance vector machine. *PLoS One*, 20(6), e0314822.
- [9] Mohanta, A., & Das, S. (2023). Decision support system for the early stage of green building envelope design considering energy and maintainability. *Architectural Engineering and Design Management*, 19(2), 163-182.