

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
OF TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**



**GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE METALİK
MALZEMELERİN MİKROYAPI ANALİZİ**

TASARIM PROJESİ

**Muhammed Enes AKICI
Tarık Kılıç ALSANCAK
Ercan KESİMAL**

2024-2025 GÜZ DÖNEMİ

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
OF TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE METALİK
MALZEMELERİN MİKROYAPI ANALİZİ**

TASARIM PROJESİ

**Muhammed Enes AKICI
Tarık Kılıç ALSANCAK
Ercan KESİMAL**

Bu projenin teslim edilmesi ve sunulması tarafımca uygundur.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Asuman Günay Yılmaz

2024-2025 GÜZ DÖNEMİ



IEEE Etik Kuralları IEEE Code of Ethics



Mesleğime karşı şahsi sorumluluğumu kabul ederek, hizmet ettiğim toplumlara ve üyelerine en yüksek etik ve mesleki davranışta bulunmaya söz verdiği ve aşağıdaki etik kurallarını kabul ettiğimi ifade ederim:

1. Kamu güvenliği, sağlığı ve refahı ile uyumlu kararlar vermenin sorumluluğunu kabul etmek ve kamu veya çevreyi tehdit edebilecek faktörleri derhal açıklamak;
2. Mümkün olabilecek çıkar çatışması, ister gerçekten var olması isterse sadece algı olması, durumlarından kaçınmak. Çıkar çatışması olması durumunda, etkilenen taraflara durumu bildirmek;
3. Mevcut verilere dayalı tahminlerde ve fikir beyan etmelerde gerçekçi ve dürüst olmak;
4. Her türlü rüşveti reddetmek;
5. Mütenasip uygulamalarını ve muhtemel sonuçlarını gözterek teknoloji anlayışını geliştirmek;
6. Teknik yeterliliklerimizi sürdürmek ve geliştirmek, yeterli eğitim veya tecrübe olması veya işin zorluk sınırları ifade edilmesi durumunda ancak başkaları için teknolojik sorumlulukları üstlenmek;
7. Teknik bir çalışma hakkında yansız bir eleştiri için uğraşmak, eleştiriyi kabul etmek ve eleştiriyi yapmak; hatları kabul etmek ve düzeltmek; diğer katkı sunanların emeklerini ifade etmek;
8. Bütün kişilere adilane davranmak; ırk, din, cinsiyet, yaş, milliyet, cinsi tercih, cinsiyet kimliği, veya cinsiyet ifadesi üzerinden ayırcılık yapma durumuna girişmemek;
9. Yanlış veya kötü amaçlı eylemler sonucu kimsenin yaralanması, mülklerinin zarar görmesi, itibarlarının veya istihdamlarının zedelenmesi durumlarının oluşmasından kaçınmak;
10. Meslektaşlara ve yardımcı personele mesleki gelişimlerinde yardımcı olmak ve onları desteklemek.

IEEE Yönetim Kurulu tarafından Ağustos 1990'da onaylanmıştır.

ÖNSÖZ

Bu proje, metalik malzemelerin mikroyapısal analizine yönelik yenilikçi bir yaklaşımı ele alarak, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı, doğru ve otomasyon destekli bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Görüntü işleme yöntemlerinin malzeme bilimine entegre edilmesiyle, faz analizi ve mikroyapısal değerlendirme süreçlerinin daha verimli bir hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmayı yürütürken, bilimsel araştırmalara ve teknolojiye olan ilgimiz bizi yönlendirmiş ve projeyi gerçekleştirmede değerli bilgiler kazanmamızı sağlamıştır. Bu proje, hem akademik bir araştırma hem de endüstriyel uygulamalara katkı sağlayacak bir altyapı oluşturma amacıyla taşımaktadır.

Bu süreçte bize destek olan Strolabs firmasına ve danışman hocalarımız saygideğer Raşit Sezer ve saygideğer Asuman Günay Yılmaz'a, değerli katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca projenin geliştirilmesinde faydalandığım akademik kaynakların yazarlarına da şükranlarımı sunarım. Bu proje bilim ve teknoloji alanındaki ilerlemelere katkıda bulunma hedefimizi gerçekleştirmemizde önemli bir adım olacaktır.

Projemizin, hem akademik camia hem de endüstriyel süreçlerde fayda sağlayacak bilgiler içermesini temenni eder, bu süreçte bize destek veren tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

Ercan Kesimal

Tarık Kılıç Alsancak

Muhammed Enes Akıcı

Trabzon, 2025

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
IEEE ETİK KURALLARI	II
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
TABLOLAR DİZİNİ	VI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tasarım Projesinin Amacı	2
1.3. Tasarım Projesinin Kapsamı	5
1.4. Literatürde Yapılmış Çalışmalar	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
2.1 Mikroskop Görüntülerinin İncelenmesi, Toplanması ve Etiketlenmesi	7
2.2. Görüntü İşleme Teknikleri ve Aşamaları	9
2.3. Derin Öğrenme ve Yapay Zeka Teknikleri	10
2.4. Model Eğitimi ve Değerlendirilmesi	11
2.5. Mikroyapısal Analiz ve Sonuçların Yorumlanması	12
2.6. Uygulanacak Yöntemlerin Literatüre Dayalı Açıklaması	13
3. SONUÇLAR	14
3.1. Metodoloji	14
3.2. Gelecek Çalışmalar	16
4. ÖNERİLER	17
5. KAYNAKLAR	19
6. EKLER	21
STANDARTLAR ve KISITLAR FORMU	22
Şekiller	24
Tablolar	28
Özgeçmiş	28

ÖZET

Görüntü İşleme Yöntemleri ile Metalik Malzemelerin Mikroyapısal Analiz Projesi, metalik malzemelerin mikroyapısal analizini otonom hale getirmeyi amaçlayan yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Geleneksel mikroskop görüntüleme teknikleriyle yapılan manuel analizlerin zaman alıcı, hataya açık ve standart olmayan yapısının yerine, görüntü işleme ve yapay zeka teknikleriyle donatılmış otomatik bir sistem getirilmesi amaçlanmaktadır. Proje,

mikroskop görüntülerinden faz yapılarının doğru bir şekilde belirlenmesi, faz oranlarının hesaplanması ve boyutlandırma gibi analizlerin daha hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilemesini sağlayacaktır.

Projede kullanacağımız yöntem dört ana adımdan oluşacaktır: veri seti oluşturma ve ön işleme, görüntü işleme ve özellik çıkarımı, derin öğrenme modelinin uygulanması ve mikroyapısal analiz ve sonuçların değerlendirilmesi. İlk aşamada, metalik malzemelerin mikroskop görüntüleri incelenecuk, toplanacak ve ön işleme adımları ile analiz için uygun hale getirilecektir. İkinci aşamada, görüntü işleme teknikleri kullanılarak faz sınırları tespit edilecek ve mikroyapısal özellikler çıkarılacaktır. Üçüncü aşamada, derin öğrenme algoritmaları kullanılarak fazların otomatik sınıflandırılması yapılacak, dördüncü aşamada ise sistemin doğruluğu manuel analizlerle karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Geliştirilen sistemin üretim süreçlerine entegrasyonu ile kalite kontrolün hızlandırılması ve analizlerde yüksek doğruluk sağlanması hedeflenmektedir.

Tasarımı genel olarak irdelersek, sanayi odaklı çıktılar açısından proje büyük ölçekli üretim hatlarında mikroyapısal analizlerin hızını artırarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacak, kalite kontrol süreçlerinde tutarlılığı artıracaktır. Geliştirilen otomatik sistem, malzeme bilimi ve mühendislik alanında geniş bir uygulama potansiyeline sahip olacak ve üretim verimliliğini artıracaktır. Projenin yaygın etkisi, endüstriyel uygulamalar dışında akademik araştırmalara da katkı sunacak ve otomatik mikroyapısal analiz alanında öncü bir çalışma olacaktır.



Şekil 1. Genel proje özeti.

ŞEKİLLER DİZİNİ	Sayfa No
Şekil 1. Genel proje özeti.....	V
Şekil 2. Mikroskop Görüntülerinin incelenmesi [10].....	7
Şekil 3. Etiketleme işlemi (çeperi kırmızı şekiller perlit, çeperi mavi şekiller ferrit).....	9
Şekil 4. Derin öğrenme tabanlı malzeme mikroskobik görüntü segmentasyonu [11].	10
Şekil 5. Grafiksel özet [5].	12
Şekil 6. Ferrit ve perlit içeren düşük karbonlu çeliğin mikroyapı analiz sonucu.....	12
Şekil 7. Ferrit ve perlit içeren düşük karbonlu çeliklerin mikroyapı analiz sonucu....	13
Şekil 8. Sadece Perlit fazı tespiti yapan modelin sonucu.....	14
Şekil 9. Çeşitli Etiketleme Yöntemleri.....	15
Şekil 10. Kantitatif analiz sonucu.....	15

TABLOLAR DİZİNİ	Sayfa No
Tablo 1. Tasarım projesinde uygulanacak iş-zaman çizelgesi	21

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Malzeme bilimi ve mühendisliği, endüstriyel üretim süreçlerinin temel taşlarından biri olup, malzemelerin mikro yapısal özelliklerinin analiz edilmesi, kalite kontrol ve performans değerlendirmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Mikro yapısal analiz, özellikle demir esaslı malzemelerde mekanik özelliklerin anlaşılması ve süreç iyileştirmeleri için büyük bir gerekliliktedir. Geleneksel analiz yöntemleri, uzun zaman alması, insan faktörüne bağlı hatalar ve sınırlı doğruluk gibi dezavantajlarla karşı karşıyadır. Bu nedenle, teknolojik yeniliklerin ve yazılım alanındaki gelişmelerin bu alana entegrasyonu kaçınılmaz hale gelmiştir.

Son yıllarda, görüntü işleme, yapay zeka ve derin öğrenme gibi yazılım tabanlı teknolojiler, mikro yapısal analiz süreçlerinde devrim yaratmıştır. Görüntü işleme, malzemelerin mikroskop altında elde edilen görüntülerinin dijital olarak analiz edilmesi ve özelliklerinin sayısallaştırılması sürecidir. Örneğin, bir metalin tane boyutunun belirlenmesi veya bir alaşımın faz oranlarının analiz edilmesi gibi kritik bilgiler, görüntü işleme teknikleri ile kolaylıkla elde edilebilir. Bu süreç, daha hızlı ve daha kesin sonuçlar sunarak insan hatasını önemli ölçüde azaltır.

Yapay zeka, bir bilgisayarın insan benzeri öğrenme ve karar verme yetenekleri sergileyebildiği sistemleri ifade eder. Yapay zekanın bir alt dalı olan derin öğrenme, büyük veri kümelerinden öğrenmeyi sağlayan çok katmanlı sinir ağları kullanır. Mikro yapı analizi bağlamında, derin öğrenme algoritmaları, malzeme görüntülerindeki karmaşık desenleri tanıyalabilir ve sınıflandırabilir. Örneğin, bir sinir ağı modeli, demir esaslı bir malzemenin grafit fazını otomatik olarak tanımlayabilir ve bu bilgiyi hızlı bir şekilde raporlayabilir. Bu, geleneksel yöntemlerle saatler süren bir işlemin saniyeler içinde tamamlanmasını sağlar.

Bu teknolojilerin yazılım mühendisliği ile birleşmesi, endüstriyel uygulamalarda büyük avantajlar sunar. Özelleştirilmiş yazılımlar, malzeme bilimi uzmanlarının ihtiyaçlarına uygun algoritmalar ve kullanıcı dostu arayızlarle bu analitik süreçleri daha erişilebilir hale getirebilir. Örneğin, bir kullanıcı, sadece bir mikroskop görüntüsünü sisteme yükleyerek malzemenin mikro yapısal özelliklerine dair detaylı bir rapor alabilir. Bu, kalite kontrol süreçlerinde hız ve doğruluğu artırırken, maliyetleri ve insan kaynaklı hataları azaltır.

Sonuç olarak, görüntü işleme, yapay zeka ve derin öğrenme gibi teknolojilerin malzeme bilimi alanına entegrasyonu, yalnızca mikro yapısal analiz süreçlerini dönüştürmekle

kalmayı, endüstriyel üretimde daha yenilikçi, verimli ve rekabetçi çözümler sunmaktadır. Bu çalışma, yazılım tabanlı bu teknolojilerin malzeme mühendisliği alanında nasıl uygulanabileceğini ortaya koymayı ve bu alandaki teknolojik ilerlemelere katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

1.2 Tasarım Projesinin Amacı

Bu projenin amacı, görüntü işleme yöntemlerini kullanarak mikroskop aracılığıyla metalik malzemelerin mikroyapısal analizini otomatik olarak gerçekleştiren bir sistem geliştirmektir. Metallerin ve alaşımının mekanik özellikleri mikro yapılarından etkilenir [7]. Çekme dayanımı, uzama ve termal ve elektriksel özellikler gibi kritik mekanik özellikler, doğrudan mikro yapı ile ilişkilidir [9]. Hedefimiz, metalik malzemelerin mikroyapıları hakkında detaylı bilgi sağlamak ve bu bilgileri otonom bir sistemle elde etmektir. Geleneksel olarak yapılan bu işlem görsel analizlere dayanmış olup, bu yöntem hem zaman alıcıdır hem de öznellikten dolayı tutarsızlıklara yol açmaktadır [1]. Geleneksel yöntemlerdeki insan yorumuna dayalı analizlerin yerini alacak olan bu sistem, faz sayısı, faz isimleri ve faz oranları gibi mikroyapısal bilgileri daha doğru ve hızlı bir şekilde sağlayacaktır. Projenin Ar-Ge içeriği, metalik malzemelerin mikroskop görüntülerini üzerinden fazlarının belirlenmesi, sınıflandırılması ve analiz edilmesine yönelik gelişmiş görüntü işleme ve otomasyon tekniklerinin araştırılması ve geliştirilmesini içermektedir. Dahası, veri odaklı teknolojiler tahmin ve karar alma süreçlerinin performansını da iyileştirmeye yardımcı olabilir [4]. Bu proje, metalürji alanında önemli bir boşluğu doldurarak, malzeme mühendislerinin daha verimli ve hassas analizler yapmalarını mümkün kılacaktır. Ayrıca, insan kaynaklı hataların önüne geçilerek, daha doğru, hızlı ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilecektir.

Proje Hedefleri:

- **Geliştirilecek görüntü işleme algoritmalarıyla otomatik faz yapılarının tanımlanması ve sınıflandırılması:** Uygulanan görüntü işleme algoritmaları aracılığıyla mikroyapı görüntülerindeki farklı fazları otomatik olarak tanımlamaktır. Tanımlanan fazların hangi faz türüne (örneğin, ferrit, östenit veya sementit gibi) ait

olduğu tespit edilecektir. Bu sayede, bir uzman yardımı olmadan fazların otomatik olarak belirlenmesi sağlanacaktır.

- **Faz sayısı, faz oranları, faz dağılımı gibi detaylı mikroyapısal bilgileri hesaplayarak malzeme hakkında daha kapsamlı bir analiz:** Malzemenin toplam yapısı içinde her bir fazın kapladığı alan yüzdesi olarak faz oranları hesaplanacaktır. Bu oranlar, malzemenin performans ve kullanım özelliklerini belirlemek için temel bir ölçütür. Örneğin, yüksek oranda ferrit içeren bir demir esaslı yapı, daha esnek ve sünek olduğu anlamına gelir.
- **Yapılan analizlerin malzemelerin mikroyapılarını anlamada katkı sağlayacak olması:** Mikroyapısal verilerin tümü, malzemenin yapısal bütünlüğünü ve performansını anlamak için kritik bilgiler sağlar. Bu detaylı analizler, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini, kullanım ömrünü ve belirli uygulamalar için uygunluğu konusunda daha kapsamlı değerlendirmeler yapılmasını mümkün kılmaktadır.
- **Üretim süreçlerindeki kalite kontrol prosedürünün hızlandırılması ve insan hatasını minimize edecek bir sistem geliştirilmesi:** Bu sistem, üretimde kalite kontrol sürecinde zaman alıcı manuel analizler yerine, görüntü işleme algoritmalarıyla faz yapılarını hızlı ve tutarlı şekilde tanımlayarak kalite kontrol sürecini hızlandırır. Aynı zamanda, analizlerin otomatik olarak yapılması insan kaynaklı hataları minimize ederek kalite kontrol işlemlerinin güvenilirliğini artırır ve işletme verimliliğine katkı sağlar.
- **Mikroyapısal analiz süreçleri yapay sinir ağları ile otomatik hale getirerek analiz süresini kısaltılması ve işlem doğruluğunun artması:** Yapay sinir ağları büyük miktarda veriyi işleyebildiği ve her aşamada kendini optimize edebildiği için faz yapılarının sınıflandırılmasında çok daha hızlı, hassas ve güvenilir sonuçlar elde edilir. Metalografik görüntüleri analiz etmek için bilgisayarlı yöntemler, verilerin yorumlanması tekrarlanabilirlik ve tutarlılık nedeniyle tercih edilir ve bazı durumlarda insan yorumundan 100 kata kadar daha hızlı olduğu bulunmuştur [6]. Bu

durum, faz özelliklerinin daha yüksek doğrulukla belirlenmesini sağlarken, süreç boyunca tutarlılık ve tekrarlanabilirlik garantisi sunar.

Geleneksel mikroyapısal analiz yöntemleri, çeşitli sorunları ve eksiklikleri beraberinde getirir. Bu sorunlardan bazıları:

- **Manuel Analizin Zaman Alıcı ve Hatalara Açık Olması:** Geleneksel mikroyapısal analiz yöntemlerinde, uzmanlar mikroskop altında görüntüleri inceler ve faz yapıları, faz oranları ve faz isimlerini belirlemeye çalışır. Ancak insan gözünün duyarlılığı, yorulma payı gibi faktörler sınıflandırmanın tam verimle ve hatasız bir biçimde gerçekleşmesini engellemektedir [2]. Bu çeşit manuel analizlerde insan hatası kaçınılmazdır ve tekrarlanabilirlik problemi vardır. Bilgisayar tarafından görüntü işleme metotları ile gerçekleştirilen nodül yeri ve sayısını belirleme işlem süresi (kullanılan işlemciye göre değişebilse de) ortalama olarak 0.45 saniye iken manuel sayım süresinin tam doğruluk için ortalama 300-350 saniye olduğu gözlenmiştir [2]. Bu süreç, uzmanların bilgi ve tecrübelerine dayandığından oldukça zaman alıcıdır ve yorumu dayalı olduğu için sonuçlar kişiden kişiye farklılık gösterebilir.
- **Standartlaştırma Eksikliği:** Manuel analizlerin bir diğer sorunu, sonuçların standart bir yöntemle üretilmemesidir. Farklı uzmanlar veya farklı laboratuvarlar aynı malzeme örneği üzerinde farklı sonuçlar elde edebilir.
- **Otomasyon Eksikliği:** Günümüz üretim süreçlerinde otomasyon, hız ve doğruluğu artırmak için kritik bir araç haline gelmiştir. Ancak, mikroyapısal analizler hala büyük ölçüde manuel yöntemlere dayanmaktadır. Tamamen manuel yapılan bu analizler, otomatik üretim hatlarına entegre edilemediği için kalite kontrol süreçlerinde çeşitli aksaklıklara sebep olur.

Bu proje ile, görüntü işleme ve yapay zeka yöntemleriyle manuel mikroyapısal analizdeki zaman kaybı, insan hatası ve standardizasyon eksikliklerini ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Geliştirilecek sistem, mikroskop görüntülerindeki faz yapılarının otomatik

ve hızlı bir şekilde tanımlanmasını sağlayarak tutarlılığı artıracaktır. Endüstriyel üretim süreçlerine entegre edilecek olan bu analiz yöntemi, kalite kontrolü daha verimli ve maliyet açısından avantajlı hale getirecektir.

1.3 Tasarım Projesinin Kapsamı

Bu tasarımın amacı, görüntü işleme yöntemlerini kullanarak mikroskop aracılığıyla metalik malzemelerin mikroyapısal analizini otomatik olarak gerçekleştiren bir sistem geliştirmektir. Projenin kapsamı, mikroskopik görüntüler üzerinden malzemenin mikroyapı içerisindeki fazların sayısal ve niteliksel analizinin yapılması, faz oranlarının yüzdesel olarak belirlenmesi ve elde edilen verilerin ölçeklendirilmesi gibi önemli mikroyapısal parametreleri analiz etmeyi kapsar. Metallerin ve alaşımaların mekanik özellikleri mikro yapılarından etkilenir [7]. Çekme dayanımı, uzama ve termal ve elektriksel özellikler gibi kritik mekanik özellikler, doğrudan mikro yapı ile ilişkilidir [9]. Hedefimiz, metalik malzemelerin mikroyapıları hakkında detaylı bilgi sağlamak ve bu bilgileri otonom bir sistemle elde etmektir. Geleneksel olarak yapılan bu işlem görsel analizlere dayanmış olup, bu yöntem hem zaman alıcıdır hem de öznellikten dolayı tutarsızlıklara yol açmaktadır [1]. Geleneksel yöntemlerdeki insan yorumuna dayalı analizlerin yerini alacak olan bu sistem, faz sayısı, faz isimleri ve faz oranları gibi mikroyapısal bilgileri daha doğru ve hızlı bir şekilde sağlayacaktır.

Kapsam:

- Görüntü işleme tekniklerinin, mikroskopik görüntülerde faz tespiti ve mikroyapısal analiz için kullanılması.
- Derin öğrenme ve makine öğrenmesi algoritmalarının, malzeme mikroyapısındaki faz analizi ve morfolojik özelliklerin çıkarılmasında uygulanması.
- Otomatik bir analiz sisteminin tasarılanarak, manuel analizlerin yerine geçmesi ve daha hızlı, doğru sonuçların elde edilmesi.

Sınırlar:

- Proje sadece metalik malzemeler üzerinde çalışmayı hedeflemektedir. Diğer malzeme türleri projeye dahil edilmemektedir.
- Projede tarayıcı elektron mikroskop (SEM) görüntülerinin analizi yapılacak olup, diğer ölçüm teknikleri (örneğin X-ışını difraksiyonu, TEM) kullanılmayacaktır.
- Tasarlanan sistemin görüntü çözünürlüğü ve veri seti büyülüğu sınırlamaları mevcuttur. Çalışmalar, mevcut mikroyapı görüntüleri ve elde edilen görüntülerin kalitesine dayalı olarak sınırlı olacaktır.

1.4 Literatürde Yapılmış Çalışmalar

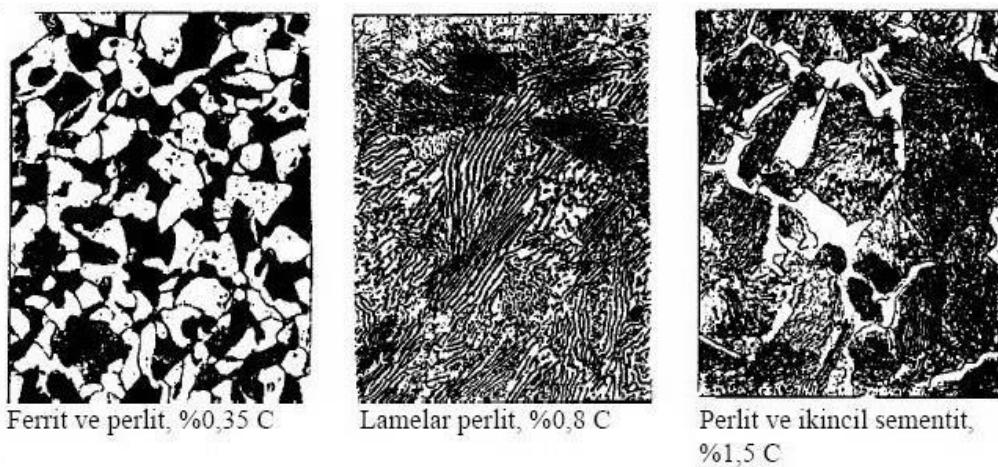
Literatürde mikroyapısal analizlerde görüntü işleme yöntemlerinin kullanımı yaygın olmamakla birlikte, mevcut çözümler genellikle sınırlı analizler ve düşük doğruluk oranları sunmaktadır. Bizim projemiz ise otomatik faz tanımlama ve ölçüm süreçlerinde hız, doğruluk ve tutarlılık sağlayarak manuel analizlerdeki subjektifliği ortadan kaldırmaktadır. Ticari yazılımlar genellikle belirli parametreler için optimize edilmiş çözümler sunar. Örneğin, mevcut bazı sistemlerin sadece belirli veri setleri ve özel malzemelerle sınırlı çalıştığı göz önüne alındığında bu proje daha geniş malzeme çeşitliliği üzerinde uygulanabilir olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu projede geliştirilecek olan otomatik sistem, mikroskop altında elde edilen tüm mikroyapısal verileri (faz sayısı, faz isimleri, faz oranları, partikül boyutu ve dağılımı gibi) tek bir platformda birleştirerek mevcut sistemlerden önemli bir üstünlük sağlamaktadır. Bu sayede, daha kapsamlı ve doğru sonuçlar elde edilmekte ve manuel işlemlere olan gereksinim azaltılmaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Projenin hedeflerine ulaşmak için görüntü işleme, yapay zeka ve malzeme bilimi alanlarındaki analitik ve deneysel yöntemler kullanılacaktır. Bu proje kapsamında, mikroskop görüntülerini üzerinden metalik malzemelerin mikroyapısal özelliklerinin belirlenmesi ve analiz edilmesi amacıyla iş paket aşamaları ve bilimsel yaklaşımlar izlenecektir.

2.1 Mikroskop Görüntülerinin İncelenmesi, Toplanması ve Etiketlenmesi

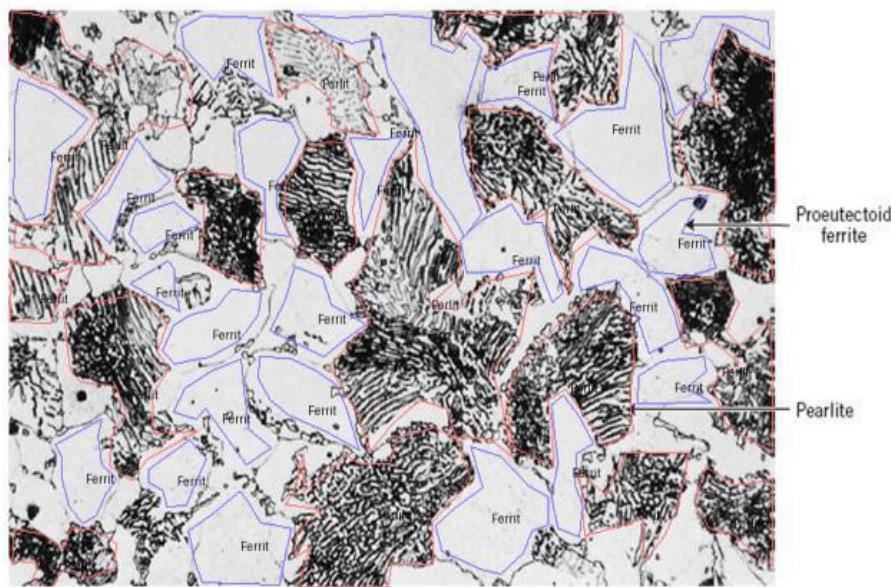
Metalik malzemelerde fazlar, malzemenin mekanik ve fizikselleşmiş özelliklerini doğrudan etkileyen parametrelerden biridir. Metalik malzemelerin çok sayıda önemli makroskopik özelliği, mikro yapılarından etkilenir [9]. Her fazın farklı kristal yapısı ve bileşimi, sertlik, mukavemet, süneklik gibi malzemelerin kimyasal ve mekanik özelliklerini belirler. Bu ön bilgilere en kolay ve hızlı ulaşmanın yolu malzemelere mikroskop yardımıyla mikroyapısal analiz yapmaktır. SEM, yüzey morfolojis (ikincil elektron) ve bileşimi (geri saçılı elektron) hakkında bilgi verir ve atomik kuvvet mikroskopu (AFM), taramalı tünelleme mikroskopu (STM) vb. dahil olmak üzere SPM, yüzeydeki atomik yapıyı ve elektronik durumları incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Bu projede metalik malzemelerin mikroyapısal görüntülerinin elde edilmesi için Taramalı elektron mikroskopu (SEM, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskopu tipidir.) kullanılacak ve çeşitli makaleler, dergiler ve kaynaklardan yararlanılacaktır. Bu görüntüler, mikroyapısal fazların belirlenmesi ve analiz edilmesi için kullanılacaktır. Örneğin demir ve çeliklerde bulunan bazı faz yapıları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. Mikroskop Görüntülerinin incelenmesi [10].

- **Ferrit:** Demir bazlı alaşımında bulunan, hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapısına sahip bir fazdır ve düşük karbon çözünürlüğüne sahiptir, bu nedenle yumuşak ve sünek özellikler gösterir.

- **Östenit:** Demir ve çeliklerde yüksek sıcaklıklarda bulunan ve yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapıya sahip bir fazdır. Bu faz, karbonu ferritten çok daha yüksek oranda çözebilir ve çeliğin sertliğini artırmak için önemli bir rol oynar.
- **Martenzit:** Çeliğin çok hızlı soğutulması (su verme) sonucu oluşan kararsız bir fazdır ve kristal yapısı hacim merkezli kübik (HMK) veya tetragonal olabilir. Bu yapılar, östenitin hızlı bir şekilde soğutulması sonucu karbonun serbest kalmadan çökmesiyle oluşur. Martenzit, yüksek sertlik ve mukavemet sağlar ancak kırılabilirlik gösterir, çünkü karbon atomlarının yapıyı dondurması, dislokasyon hareketini zorlaştırtır.
- **Beynit:** Çeliklerde ve dökme demirlerde, ferrit ve sementitin ince bir şekilde birbirine karıştığı mikroyapıya sahip bir fazdır. Orta sıcaklıkta hızlı soğutma sonucu oluşur ve sertliği martenzite yakın, ancak daha az kırılabilirdir. Beynit, martenzitten daha yumuşak, perlitten ise daha serttir ve genellikle yüksek mukavemet ile daha iyi şekil verilebilirlik sunar. Mikroyapısı, ince ferrit ve sementit tabakalarının bir arada bulunmasından dolayı, çeliğin mekanik özelliklerini iyileştirir ve özellikle dayanıklı, orta sertlikte malzemelerin üretiminde kullanılır.
- **Sementit (Fe_3C):** Çeliklerde bulunan, demir-karbon bileşiği olup sert ve kırılabilir bir fazdır. Yüksek karbon içeriğine sahip çeliklerde, karbonun demirle birleşerek meydana getirdiği bu bileşik, çeliğin sertliğini artırırken sünekliğini ve şekil verilebilirliğini azaltır.
- **Perlit:** Çeliklerde bulunan, ferrit ve sementit (Fe_3C) fazlarının sıralı ve ince tabakalar halinde birleşiminden oluşan bir mikro yapıdır. Oda sıcaklığında stabildir ve genellikle karbon oranı %0,8 civarında olan çeliklerde bulunur. Perlit, ferritin sünekliği ile sementitin sertliğini bir araya getirir, bu sayede orta düzeyde sertlik ve mukavemet sağlar.
- **Grafit:** Grafit fazı, dökme demirin genellikle düşük sıcaklıkta karbonun çökelmesiyle oluşur ve soğutma hızı ile şekli değişebilir. Grafitin şekli ve miktarı, dökme demirin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler.

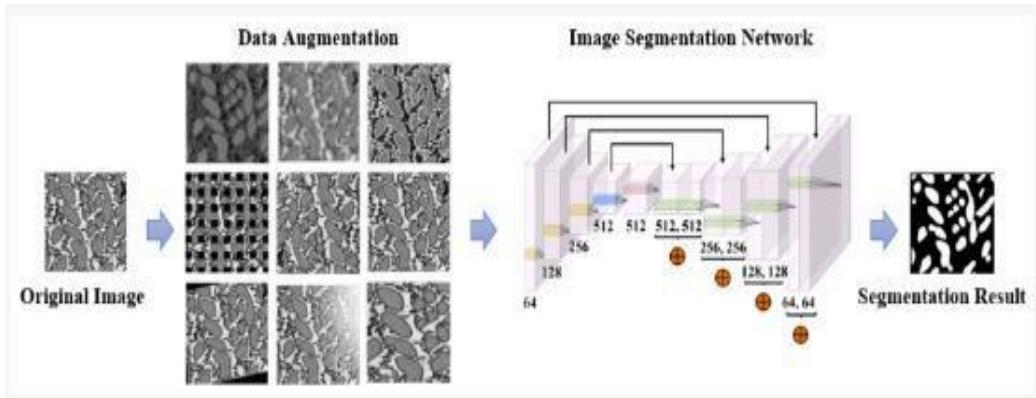


Şekil 3. Etiketleme işlemi (çeperi kırmızı şekiller perlit, çeperi mavi şekiller ferrit)

Etiketleme, görüntülerdeki her mikroyapısal özelliğin (faz yapısı, tane boyutu, faz oranları gibi) kategorize edilmesini sağlar. Bu etiketler, görüntü işleme algoritmalarının faz tespiti, oran analizi ve yapı sınıflandırması gibi analiz çeşitlerine olanak tanır. Etiketleme işlemi doğru ve sistematik yapıldığında, modelin eğitimi daha başarılı olur ve analiz doğruluğu artar. Bu yöntemler kullanılarak birden fazla veri seti oluşturulur. Genellikle, veri kümeleri eğitim kümesi, test kümesi ve doğrulama kümesi olarak ayrılır [4].

2.2 Görüntü İşleme Teknikleri ve Aşamaları

Görüntü işleme, dijital görüntülerin bilgisayar algoritmaları ile analiz edilmesi ve işlenmesi sürecidir. Görüntü işleme, teknolojinin yüksek seviye gelişimi ile hayatımızın her alanına girmeye başlamıştır [3]. Bu alan, bir görüntüyü daha anlaşırlı hale getirmek, özelliklerini çıkarmak veya belirli bilgileri elde etmek amacıyla kullanılan teknikleri içerir. Görüntü işleme, ham bir görüntü üzerinde çeşitli algoritmalar ve filtreler uygulayarak, görüntüyü iyileştirme, nesne tespiti, segmentasyon, kenar belirleme gibi farklı işlemler gerçekleştirilmesine olanak tanır. Diğer faktörlerin yanı sıra tane sınırlarını, tane boyutlarını ve tane boyutu dağılımlarını elde etmek için görüntü analizi, metallerin mikro yapı analizinde faydalıdır [8].



Şekil 4. Derin öğrenme tabanlı malzeme mikroskopik görüntü segmentasyonu [11].

- Görüntü Ön İşleme:** Mikroskop görüntülerinde görüntü kalitesini artırmak, görüntü üretmek (image generation) ve kontrast farkını netleştirmek amacıyla görüntü ön işleme teknikleri uygulanacaktır. Bu doğrultuda ön işleme adımlarından olan morfolojik işlemler (genişleme, aşındırma, açma ve kapama operatörleri), filtreleme işlemleri (Gauss ve medyan filtre) ve eşikleme yaklaşımları (Otsu ve Kapur) her bir görüntü için ayrı ayrı uygulanmıştır [3]. Edindiğimiz akademik bilgiler doğrultusunda, Gaussfiltresi veya medyanfiltre gibi çeşitli metodlarla görüntü ön işleme yapılacaktır.
- Segmentasyon:** Mikroyapının faz yapılarının ayrılması için bölütleme teknikleri kullanılacaktır. Bu aşamada, Watershed algoritması ve Otsu eşikleme gibi klasik yöntemlerin yanı sıra, daha karmaşık mikroyapılar için morfolojik işlemler ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar (konvolüsyonel sinir ağları) uygulanacaktır.
- Özellik Çıkarımı ve Faz Analizi:** Bölütleme işleminden sonra, görüntülerden faz sayısı, faz oranları ve faz isimleri gibi mikroyapışal özellikler belirlenecektir. Bu aşamada, her fazın alanı hesaplanarak oranla belirlenebilir ve daha önce sınıflandırılmış veri setleri ile karşılaştırılarak analiz yapılabilir.

2.3 Derin Öğrenme ve Yapay Zeka Teknikleri

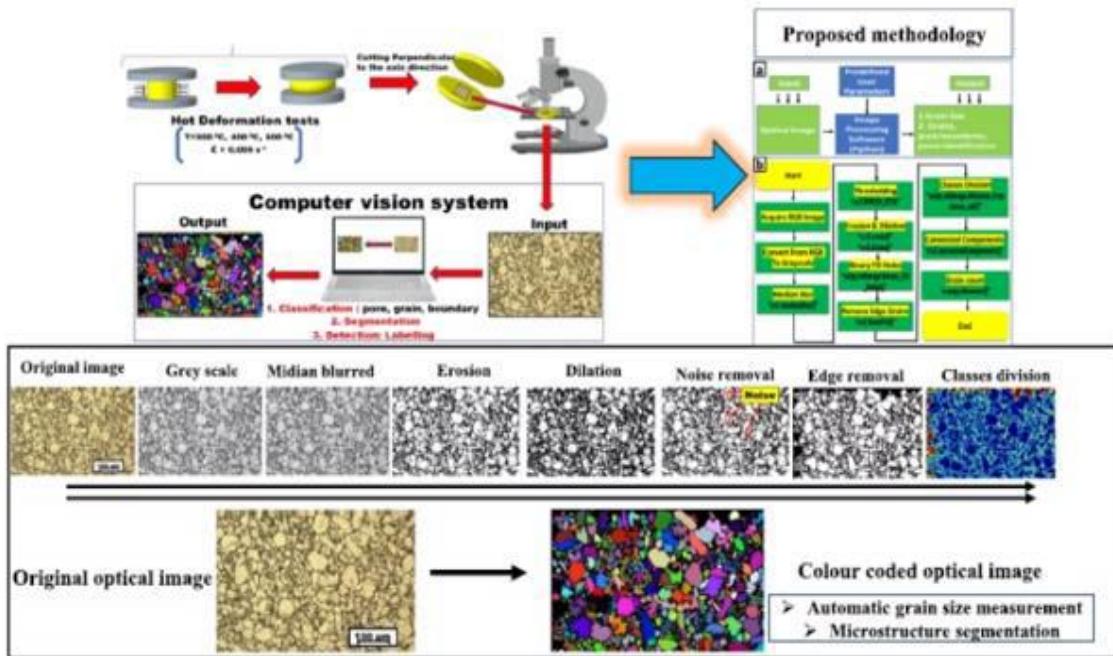
- Convolutional Neural Networks (CNN):** Görüntülerdeki faz yapılarının otomatik olarak tespit edilmesi için derin öğrenme algoritmaları kullanılacaktır. Eğitim sürecinde etiketlenmiş mikroskop görüntülerini veri seti olarak kullanılabilecek ve model, çeşitli faz yapılarını tanıယak şekilde eğitilecektir. CNN’ler, görüntülerden özellikleri

çıkartarak faz yapılarının sınıflandırılmasını sağlayacaktır. Bu yapılar, evrişimsel katmanlar sayesinde görüntülerin özelliklerini tanıyacak ve öğrenme sürecini güçlendirecektir.

- **YOLOv8 ile Nesne Tanıma:** Faz yapılarının belirli bir bölgede tanımlanması ve sayılması amacıyla YOLOv8 gibi nesne tespit algoritmaları kullanılacaktır. Bu algoritma, faz sayısını ve dağılımını hızlı bir şekilde belirleyerek malzemenin mikroyapısal özelliklerini çıkaracaktır.
- **Transfer Learning:** Hazır derin öğrenme modelleri, malzeme görüntüleri üzerinde yeniden eğitilerek kullanılacaktır. Transfer öğrenimi sayesinde büyük veri setlerine gerek kalmadan daha az veriyle yüksek doğruluk oranına sahip sonuçlar elde edilecektir. Literatürde başarıyla kullanılan önceden eğitilmiş modellerden faydalananak faz yapılarının tanımlanması hızlandırılacaktır.

2.4 Model Eğitimi ve Değerlendirilmesi

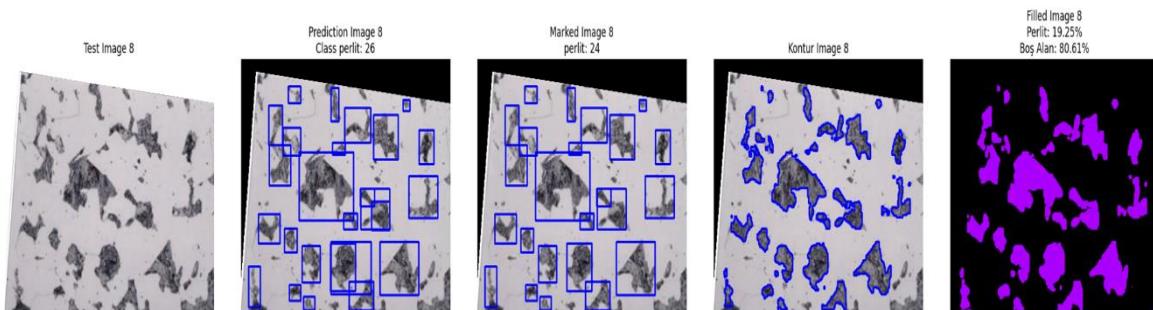
- **Model Eğitimi:** Toplanan ve etiketlenen veriler, derin öğrenme modelinin eğitimi için kullanılacaktır. Eğitim aşamasında, faz yapılarının doğru bir şekilde sınıflandırılması ve tespit edilmesi için modellere etiketleme işlemi yapılacaktır.
- **Model Testi ve Doğrulama:** Eğitilen model, yeni mikroskop görüntüleri üzerinde test edilerek performansı değerlendirilecektir. Başarı oranı, doğruluk, hata oranı ve hız gibi performans ölçütleriyle analiz edilecektir.
- **Karşılaştırma ve İyileştirme:** Mevcut manuel yöntemlerle karşılaştırmalar yapılacak, modelin uzmanlara göre daha hızlı ve tutarlı sonuçlar verdiği değerlendirilecektir. Elde edilen veriler ışığında modelin eksik yönleri belirlenip gerekli iyileştirmeler ve düzenlemeler yapılacaktır



Şekil 5. Grafiksel özet [5].

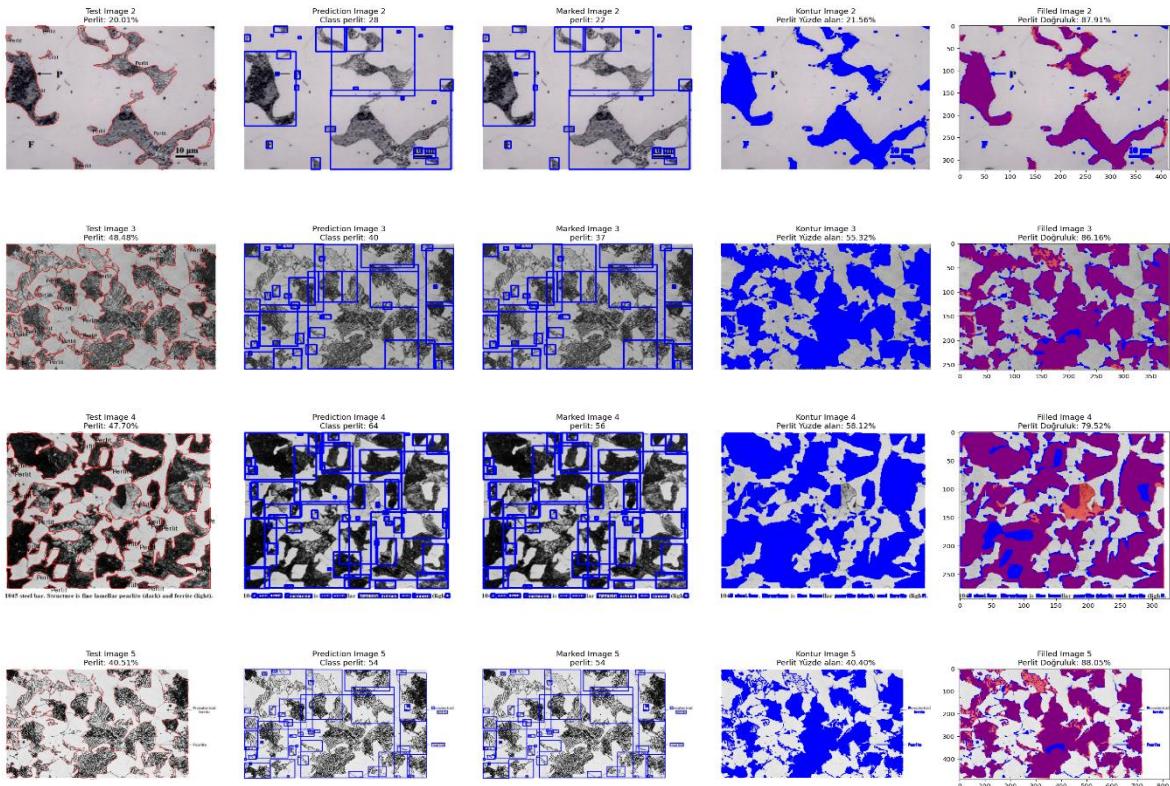
2.5 Mikroyapısal Analiz ve Sonuçların Yorumlanması:

Derin öğrenme modelleri yardımıyla tespit edilen faz yapıları, faz sayısı, faz oranları ve faz dağılımı gibi mikroyapısal özellikler, literatürde kabul gören yöntemlerle kıyaslanacaktır. Yapay zeka destekli otomatik sistemlerin doğruluğu manuel yöntemlerle karşılaştırıldığında yüksek tutarlılık ve daha hızlı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, projede geliştirilen sistemin faz yapılarının tespiti açısından doğruluk oranı incelenecik ve varsa hatalar belirlenecektir. Elde edilen veriler ışığında sistemin doğruluğu faz analizi sonuçlarına göre ölçülecek ve performans kriterleri (hata oranı, doğruluk, hız gibi) değerlendirilecektir.



Şekil 6. Ferrit ve perlit içeren düşük karbonlu çeliğin mikroyapı analiz sonucu.

Sistem, faz yapılarının belirlenmesi ve oranlarının hesaplanması bakımından doğru sonuçlar üretirse, bu sonuçlar malzemelerin mekanik özellikleri ile ilişkilendirilerek faz yapılarının malzemeye olan etkileri hakkında daha derin bir anlam sağlanacaktır. Bu çalışma, faz analizi süreçlerinin otomatik hale getirilmesinde derin öğrenme modellerinin etkinliğini kanıtlamış ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek bir altyapı sunacaktır.



Şekil 7. Ferrit ve perlit içeren düşük karbonlu çeliklerin mikroyapı analiz sonucu.

2.6 Uygulanacak Yöntemlerin Literatüre Dayalı Açıklaması

- Görüntü Segmentasyonu:** Otsu eşikleme (Otsu, N., 1979) ve Canny kenar algılama (Canny, J., 1986) gibi teknikler, görüntü işleme literatüründe yaygın olarak kullanılan faz ayırtırma yöntemleridir. Bu yöntemlerle, mikroskop görüntülerinde faz yapılarının sınırları belirlenebilir.
- Derin Öğrenme ve CNN:** Evrişimsel sinir ağları (CNN), görüntü sınıflandırma ve nesne tanıma gibi alanlarda etkili sonuçlar veren bir yaklaşımdır. CNN'in faz yapılarının tanınmasında kullanılması, literatürde kullanılan birçok örneğe (LeCun, Y. et al., 1998) dayanmaktadır. CNN'ler genellikle karmaşık görüntü sınıflandırma görevlerinde, özellikle eğitim için büyük etiketli veri kümeleri mevcut olduğunda, geleneksel algoritmalarдан daha iyi performans gösterir [1].

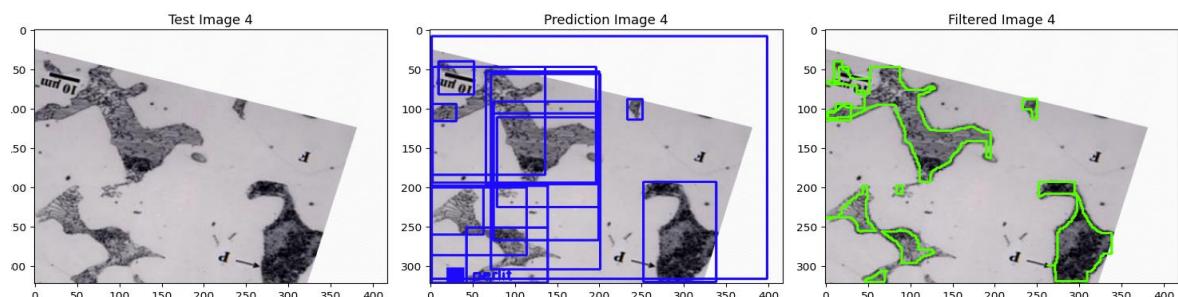
- **YOLO Algoritması:** YOLO gerçek zamanlı nesne tespitinde etkin bir yöntem olarak bilinir. Faz yapılarının hızlı ve doğru bir şekilde tanımlanması için YOLOv8 algoritması bu projede kullanılacaktır.
- **Transfer Learning:** Transfer öğrenme (Pan, S.J. & Yang, Q., 2010), mevcut modellerin yeni veri setlerine uyarlanmasıını sağlayarak daha küçük veri setlerinde dahi yüksek başarı elde edilmesini sağlar. Bu kavram, bir problemi çözerken edinilen bilginin farklı ancak ilgili bir probleme uygulanabileceği fikrine dayanır [1]. Faz tespitinde, büyük veri gereksinimini azaltarak verimli bir şekilde öğrenme sağlar.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, metalografik görüntülerdeki faz yapılarının tespiti ve kantitatif analizi için YOLO (You Only Look Once) derin öğrenme mimarisi tabanlı bir metodoloji geliştirilmiştir. Farklı YOLO modelleri ve veri setleri kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, optimum model seçimi ve veri seti genişletme stratejileri belirlenmiştir.

3.1 Metodoloji

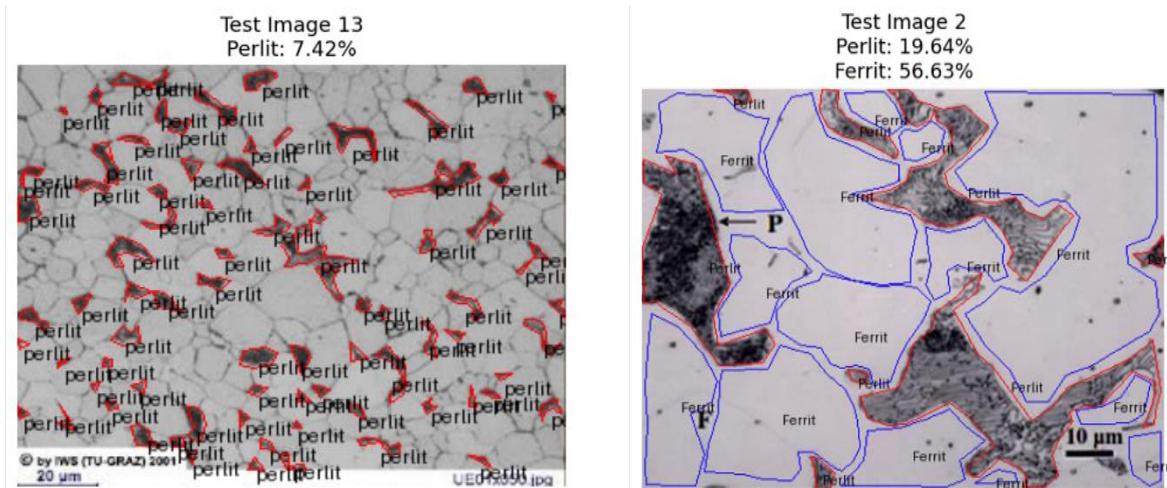
Model Seçimi ve Veri Seti Optimizasyonu: İlk aşamada, YOLO'nun nano ve small modellerinin performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Başlangıç aşamasında sınırlı bir veri seti (8 eğitim ve 8 doğrulama görüntüsü) kullanılmış, ancak elde edilen sonuçların yetersiz kalması üzerine veri seti genişletme stratejisi uygulanmıştır. Veri setinin 26 görüntüye genişletilmesiyle birlikte, daha yüksek performans potansiyeline sahip YOLO8 Medium modeline geçiş yapılmıştır.



Şekil 8. Sadece Perlit fazı tespiti yapan modelin sonucu

- **Etiketleme Stratejileri ve Optimizasyon**

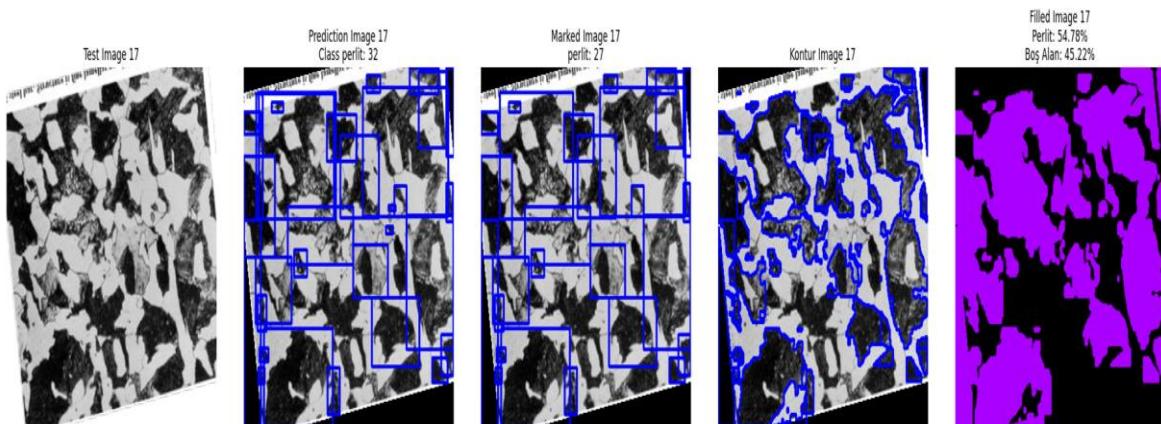
Modelin performansını artırmak amacıyla çeşitli etiketleme yaklaşımları denenmiştir. Her bir yaklaşımın etkinliği, tespit doğruluğu açısından değerlendirilmiştir. Başlangıçta iki faz yapısının tespitine odaklanan sistem, yapılan optimizasyonlar ile çoklu faz yapılarının tespitine uygun hale getirilecektir.



Şekil 9. Çeşitli Etiketleme Yöntemleri

- **Kantitatif Analiz**

Tespit edilen faz yapılarının kantitatif analizi için maskeleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler sayesinde, tespit edilen her bir faz yapısının yüzdesel oranının hesaplanması mümkün kılınmıştır. Maskeleme işlemi, görüntü işleme teknikleri kullanılarak optimize edilmiş ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 10. Kantitatif analiz sonucu.

- **Sonuçlar ve Tartışma**

Bu çalışmada, demir esaslı malzemelerin mikroyapısında bulunan **ferrit** ve **perlit** fazlarının otomatik olarak tespiti ve analizi hedeflenmiştir. Geliştirilen sistem, görüntü işleme ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak mikroskop görüntülerinden yüksek doğruluk oranıyla faz ayrimı gerçekleştirmiştir.

Elde edilen sonuçlar, **ferrit** ve **perlit** fazlarının doğru bir şekilde sınıflandırıldığını ve faz oranlarının hızlı bir şekilde hesaplandığını göstermiştir. Sistem, manuel analiz süreçlerine kıyasla hem zamandan tasarruf sağlamış hem de insan kaynaklı hataları önemli ölçüde azaltmıştır.

Ayrıca, bu çalışma, faz analizi süreçlerinin otomatik hale getirilmesinde derin öğrenme modellerinin etkinliğini kanıtlamış ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilen bir altyapı sunmuştur. Bu bağlamda, proje, kalite kontrol süreçlerinde daha verimli ve güvenilir analizlerin önünü açmıştır.

Sonuç olarak, **ferrit** ve **perlit** fazlarının başarılı bir şekilde analiz edilmesi, bu yöntemlerin diğer mikroyapısal fazlara ve farklı malzemelere uygulanabilirliğini de desteklemektedir. Bu proje, mikroyapısal analiz süreçlerinde yenilikçi bir yaklaşım sunarak, malzeme bilimi alanında önemli bir katkı sağlamıştır.

3.2 Gelecek Çalışmalar

Sistemin performansının daha da artırılması için, veri setinin genişletilmesi ve farklı YOLO mimarilerinin denenmesi önerilmektedir. Ayrıca, maskeleme algoritmalarının optimizasyonu ve yeni faz yapılarının tespiti için modelin adaptasyonu üzerine çalışmalar planlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen teorik ve deneysel analizler sonucunda aşağıdaki bulgular ve kazanımlar elde edilmiştir:

- a) **Mikroyapı Analizinde Otomasyon:** Geleneksel manuel mikroyapı analiz yöntemleri, yapay zeka ve görüntü işleme tekniklerinin entegrasyonu ile otomatik hale getirilmiş, analiz süresi önemli ölçüde kısaltılmıştır.
- b) **Yüksek Doğruluk ve Güvenilirlik:** Derin öğrenme algoritmalarının kullanımı sayesinde, mikroskopik görüntülerdeki fazların ve yapısal özelliklerin tespiti daha

yüksek doğrulukla gerçekleştirilmiştir. Özellikle YOLO tabanlı modellerin performansı, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça başarılı bulunmuştur.

- c) **Endüstriyel Uygulama Potansiyeli:** Geliştirilen sistem, üretim süreçlerinde kalite kontrol aşamalarını hızlandıracak, sanayiye entegre edilebilir bir çözüm sunmuştur. Bu sayede, daha hızlı ve tutarlı analizlerle üretim verimliliği artırılabilir.
- d) **Çevresel ve Ekonomik Faydalar:** Çalışma kapsamında geliştirilen dijital yaklaşımlar, çevresel olarak herhangi bir olumsuz etki yaratmamakta ve uzun vadede maliyetlerin düşürülmesine katkı sağlamaktadır.
- e) **Yazılım ve Teknoloji Kullanımı:** OpenCV, TensorFlow ve benzeri araçlarla geliştirilen sistem, yazılım yaşam döngüsü standartlarına uygun şekilde planlanıp uygulanmıştır. Bu süreç, yazılım geliştirme ve kalite kontrolü açısından önemli bir deneyim sağlamıştır.

Sonuç olarak, bu proje ile mikro yapısal analiz süreçleri hem hız hem de doğruluk açısından ileri bir seviyeye taşınmış, yapay zeka ve görüntü işleme tekniklerinin malzeme bilimi alanındaki uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar, gelecekte yapılacak daha kapsamlı çalışmalar için güçlü bir temel oluşturmaktadır.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve yapılan analizler doğrultusunda, konu ile ilgili çalışma yapmak isteyecek araştırmacı ve uygulayıcırlara aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- a) **Gelişmiş Derin Öğrenme Modellerinin Kullanımı:** Derin öğrenme tabanlı yöntemlerin performansı oldukça yüksek olsa da daha karmaşık yapısal analizler için hibrit modellerin geliştirilmesi ve kullanılması tavsiye edilmektedir.

- b) **Büyük ve Çeşitli Veri Setleri:** Mikroyapı analizleri için daha geniş, çeşitlendirilmiş ve etiketlenmiş veri setlerinin oluşturulması, model doğruluğunu ve genelleştirilebilirliğini artıracaktır. Araştırmacılar, veri setlerini genişletmek için farklı malzeme türlerini ve koşullarını analiz etmeyi değerlendirebilir.
- c) **Endüstriyel Uygulamalar:** Geliştirilen sistemlerin endüstriyel süreçlere entegrasyonu için, sistem tasarımda IoT ve sensör teknolojilerinin dahil edilmesi önerilmektedir. Bu sayede kalite kontrol sistemleri daha verimli hale gelebilir.
- d) **Yazılım Yaşam Döngüsüne:** Yeni sistemler geliştirilirken yazılım yaşam döngüsü süreçlerine uyulmalı, gereksinim analizi, planlama, test ve bakım aşamaları titizlikle ele alınmalıdır.
- e) **Disiplinler arası İş Birlikleri:** Malzeme mühendisliği, yazılım mühendisliği, endüstri mühendisliği, tıp, biyoloji, makine mühendisliği gibi farklı disiplinler arasında daha yakın iş birlikleri yapılmalıdır. Böylelikle hem bilimsel hem de endüstriyel yenilikler daha hızlı elde edilebilir.
- f) **Yeni Araştırma Alanlarının Keşfi:** Mikroyapı analizlerinde kullanılan görüntü işleme tekniklerinin diğer malzeme sınıflarına (örneğin, özellikle polimerler, seramikler) uygulanması ve farklı analiz yöntemleriyle birleştirilmesi, yeni araştırma alanlarının önünü açabilir.

Bu öneriler, hem akademik hem de endüstriyel düzeyde daha ileri çalışmalar yapılmasına katkı sağlayabilir ve disipliner çalışmaları daha da ileri taşımayı hedeflemektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Bárcena, M. et al. (2024) ‘Classification of Cast Iron Alloys through Convolutional Neural Networks Applied on Optical Microscopy Images’, steel research international, p. 2400120. Available at: <https://doi.org/10.1002/srin.202400120> .
- [2] CanbiLen, A.E. and Ürküt, B.B. (2020) ‘Küresel Graftlı Dökme Demirin Nodularite ve Küreselliğinin Görüntü İşleme Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi’, European Journal of Science and Technology [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.31590/ejosat.802698>.
- [3] Ertürk, S.B. and Karakoyun, M. (2023) ‘Elektron mikroskopundan elde edilen görüntülerin parçacık sayımında ön işleme tekniklerinin etkisi’, Adiyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(21), pp. 276–287. Available at: <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1348886> .
- [4] Ge, M. et al. (2020) ‘Deep learning analysis on microscopic imaging in materials science’, Materials Today Nano, 11, p. 100087. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mtnano.2020.100087>.
- [5] Harikrishna, K., Davidson, M.J. and Reddy, G.D. (2023) ‘New Method for Microstructure Segmentation and Automatic Grain Size Determination Using Computer Vision Technology during the Hot Deformation of an Al-Zn-Mg Powder Metallurgy Alloy’, Journal of Materials Engineering and Performance [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11665-023-09025-7>.
- [6] Z. Latala and L. Wojnar, "Computer-aided versus manual grain size assessment in a single phase material," in STERMAT 2000: Stereology and Image Analysis in Materials Science, 2001.
- [7] Rekha, S. and Bupesh Raja, V.K. (2017) ‘Review on Microstructure Analysis of Metals and Alloys Using Image Analysis Techniques’, IOP Conference Series: Materials Science

and Engineering, 197, p. 012010. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/197/1/012010>.

[8] Wang, L.; Zhang, L.; Yan, Y.; Huang, X. Imaging Based size measurement of fine particles from industrial stack. In Proceedings of the IEEE International Conference on Systems Engineering (ICSE), Hangzhou, China, 19–23 October 2014; IEEE: New York, NY, USA, 2014. [Google Scholar]. 26

[9] Shirsat, T. et al. (2024) ‘Revolutionizing Grain and Particle Size Measurement in Metals: The Role of Sensor-Assisted Metallographic Image Analysis’, Sensors, 24(16), p. 5328. Available at: <https://doi.org/10.3390/s24165328>.

[10] <http://www.an-ka.com/skins/shared/images/library/kutu3.jpg> (15 Haziran 2015).

[11] Ma, J. et al. (2023) ‘Review of Image Augmentation Used in Deep Learning-Based Material Microscopic Image Segmentation’, Applied Sciences, 13(11), p. 6478. Available at: <https://doi.org/10.3390/app13116478> .

6. EKLER

Ek 1

Tablo 1. İş-zaman çizelgesi.

No	İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	Zaman Aralığı (.. - .. Ay)	Başarı Ölçütü
1	Mikroyapı İncelemeleri ve Gerekli Yöntemlerin Belirlenmesi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak Ercan Kesimal	1 Ay	Birden fazla uygun inceleme yöntemlerinin ve algoritmaların belirlenmesi
2	Veri Setinin Oluşturulması, Etiketlenmesi ve Dijitalleştirilmesi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak Ercan Kesimal	2 Ay	Yeterli sayıda ve kalitede görüntü toplanması, Veri setinin oluşturulması ve etiketlenmesi, veri setinin analiz için uygun olması.
3	Görüntü İşleme Algoritmalarının Seçimi, Uygulanması ve Analizi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak	2-3 Ay	Uygun algoritmaların seçimi ve uygulanması, seçilen algoritmaların performans analizinin yapılması.
4	Derin Öğrenme Modelinin Geliştirilmesi ve Uygulanması	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak	2-3 Ay	Modelin tasarımı ve geliştirilmesi, Veri seti ile eğitim yapılması, model performansı ve uygulanabilirliğinin olması.
5	Mikroyapısal Analiz ve Sonuçların Değerlendirilmesi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak Ercan Kesimal	1-2 Ay	Projenin test edilerek mikroyapısal analizin yapılması ve sonuçların incelenerek gerekli optimizasyonların yapılması.

STANDARTLAR ve KISITLAR FORMU

Projenin hazırlanmasında uyulan standart ve kısıtlarla ilgili olarak, aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Projenizin tasarım boyutu nedir? (Yeni bir proje midir? Var olan bir projenin tekrarı mıdır? Bir projenin parçası mıdır? Sizin tasarımınız proje toplamının yüzde olarak ne kadarını oluşturmaktadır?)

Yeni bir projedir. Bu proje, varolan çalışmaların ve yöntemlerin geliştirilmesi ve yenilikçi bir yaklaşımla ele alınması ile ortaya çıkış olup tasarımımız projenin %80'ini oluşturmaktadır .

2. Projenizde bir mühendislik problemini kendiniz formüle edip, çözdünüz mü? Açıklayınız.

Evet, proje kapsamında manuel mikroyapı analizlerinin yavaş, hata oranı yüksek ve operatöre bağımlı olma problemine bir çözüm getirdik. Çözüm olarak, görüntü işleme ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak hızlı, otomatik ve doğruluğu yüksek bir analiz sistemi geliştirdik. Bu sistemi, endüstriyel kalite kontrol süreçlerine entegre edilebilecek şekilde tasarlamayı planladık.

3. Önceki derslerde edindiğiniz hangi bilgi ve becerileri kullandınız?

Malzeme bilimi, faz diyagramları, görüntü işleme, yapay zeka, proje yönetimi ve programlama bilgi ve becerilerimizi kullandık.

4. Kullandığınız veya dikkate aldığınız mühendislik standartları nelerdir? (Proje konunuzla ilgili olarak kullandığınız ve kullanılması gereken standartları burada kod ve isimleri ile sıralayınız).

- ISO 9001:2015 - Kalite Yönetim Sistemi
- IEEE 12207 - Yazılım Yaşam Döngüsü Prosesleri

5. Kullandığınız veya dikkate aldığınız gerçekçi kısıtlar nelerdir? Lütfen boşlukları uygun yanıtlarla doldurunuz.

a) Ekonomi

Proje için gereken uzmanlaşmış personel kadrosu, maliyetleri artırabilir. Ayrıca, uzman personele yapılacak eğitimler ve sürecin yönetilmesi de bütçeyi zorlayabilir. Bu yüzden otomatik bir sistem uzun dönemde daha avantajlı olabilir.

b) Çevre sorunları:

Projemin çevresel etkileri kullanılan yazılım ve otomasyon süreçleri tamamen dijital ortamda gerçekleştiğinden herhangi bir atık oluşumu söz konusu değildir. Çalışan sistem (görüntü işleme algoritmaları ve derin öğrenme modelleri) enerji tüketimi açısından verimli olacak şekilde optimize edilecektir.

Bu bağlamda, proje kapsamında geliştirilecek sistem, çevresel sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlamaktadır. Dolayısıyla, bu projenin çevresel etkileri olumsuz değil, aksine çevreye duyarlı ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

c) Sürdürülebilirlik:

Genel olarak var olan sistemlerde sürdürülebilirliğe dair bir kısıt söz konusu değildir. Bizim projemizde kullanacağımız donanım ve yazılım bileşenlerinin uzun süre kullanılabilir olması, sıfırdan donanım alımına olan ihtiyacı azaltacak ve atık miktarını düşürecektir. Bu durumda sürdürülebilir bir sistem yaratacaktır.

d) Üretilebilirlik:

Üretilebilirlik, projenin endüstriyel üretim süreçlerine entegrasyonunu direkt olarak etkilemektedir. Bu nedenle, projenin her aşamada üretimle uyumlu ve verimli olmasına dikkat edilecektir.

e) Etik:

Proje kapsamında kullanılan verilerin, özellikle mikroskop görüntüleri ve yapay zeka modellerinin eğitildiği verilerin kullanıma açık platformlardan toplanmasına dikkat edilmiştir. Bu veriler, özellikle hassas veya tescilli bilgileri içerebilmektedir, bu yüzden verilerin herkese açık bir şekilde belirlenmiş olması esas alınmıştır.

f) Sağlık:

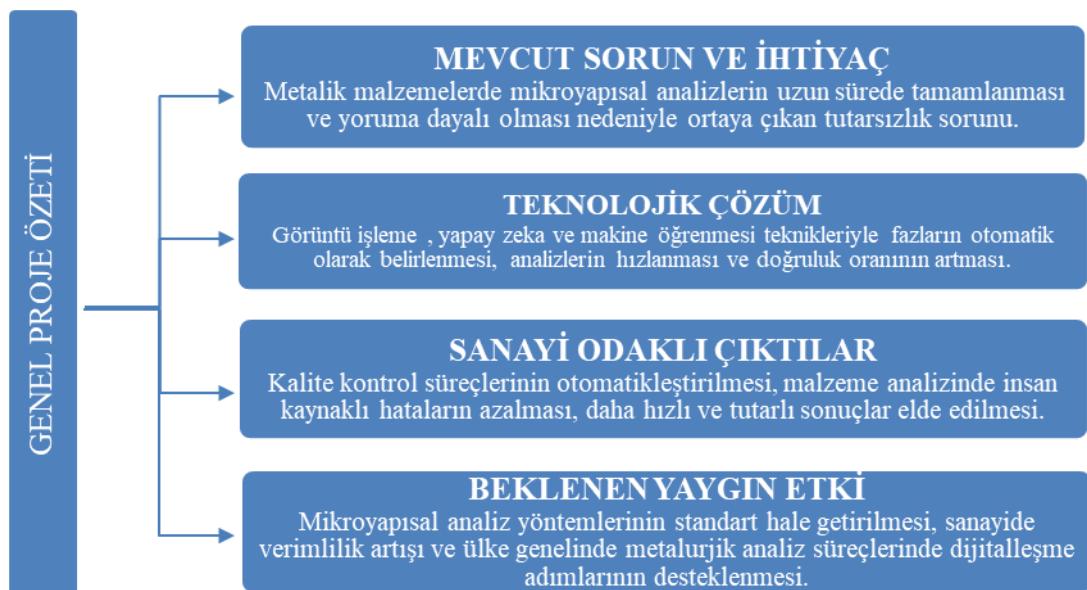
Bu projenin sağlık açısından herhangi bir kısıtı yoktur.

g) Güvenlik:

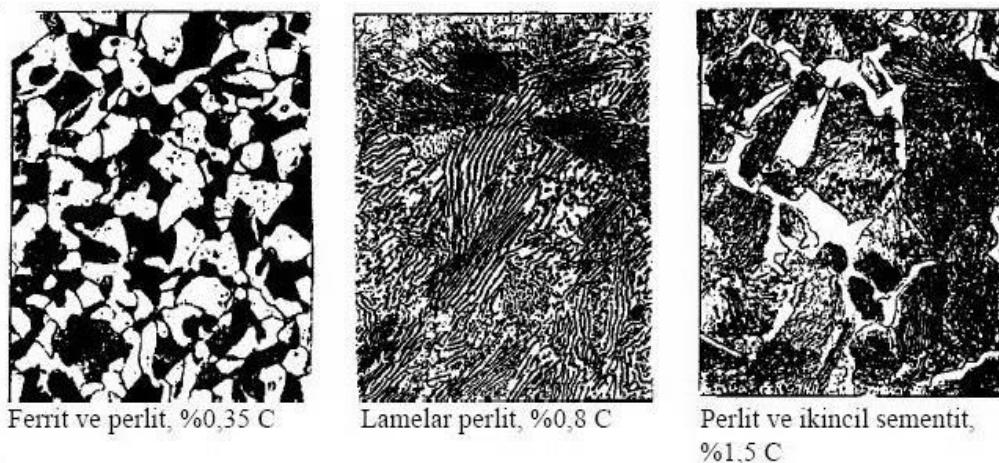
Bu projenin güvenlik açısından herhangi bir kısıtı yoktur.

h) Sosyal ve politik sorunlar:

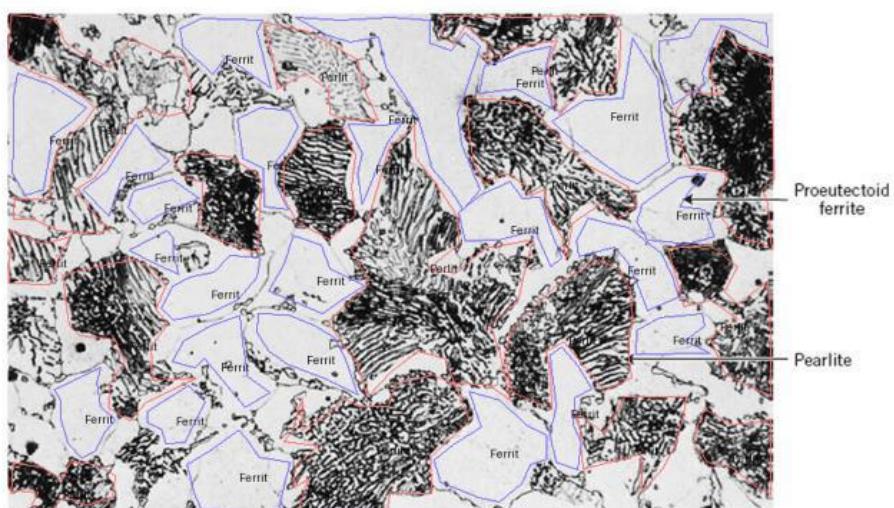
Otomatik mikroyapısal analiz sistemlerinin uygulanması, bazı manuel işlerin ortadan kalkmasına neden olabilir. Bu durum, özellikle kalite kontrol biriminde iş gücüne sahip çalışanlar için iş kaybı riski oluşturabilir.

Şekiller

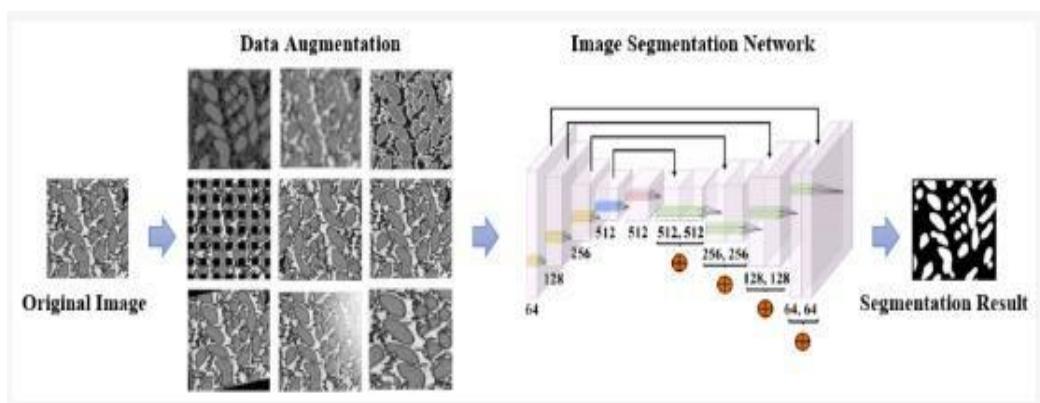
Şekil 11. Genel proje özeti.



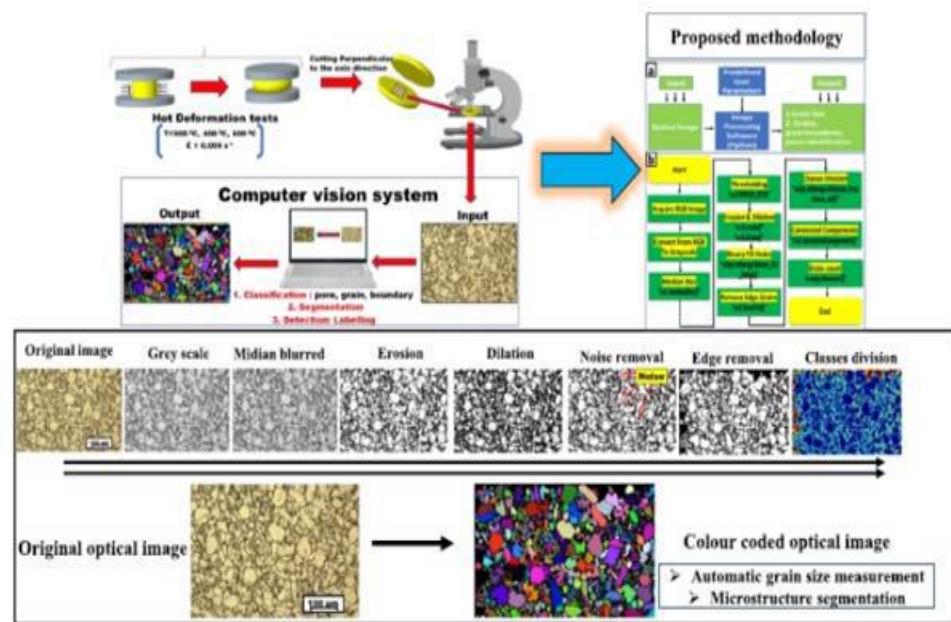
Şekil 12. Mikroskop Görüntülerinin incelenmesi [10].



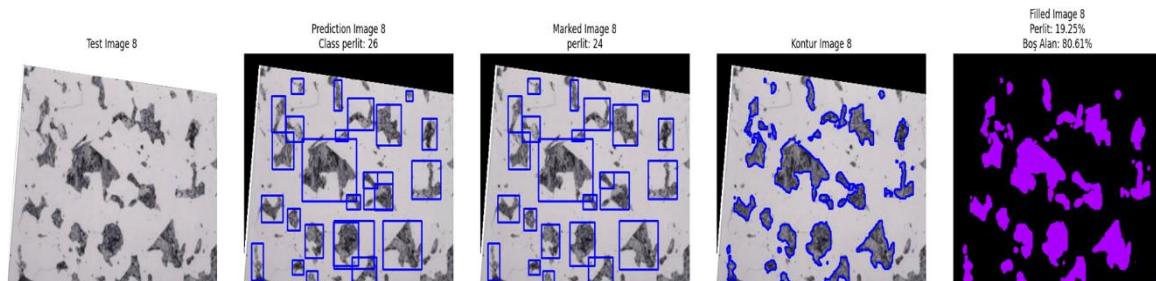
Şekil 13. Etiketleme işlemi (çeperi kırmızı şekiller perlit, çeperi mavi şekiller ferrit)



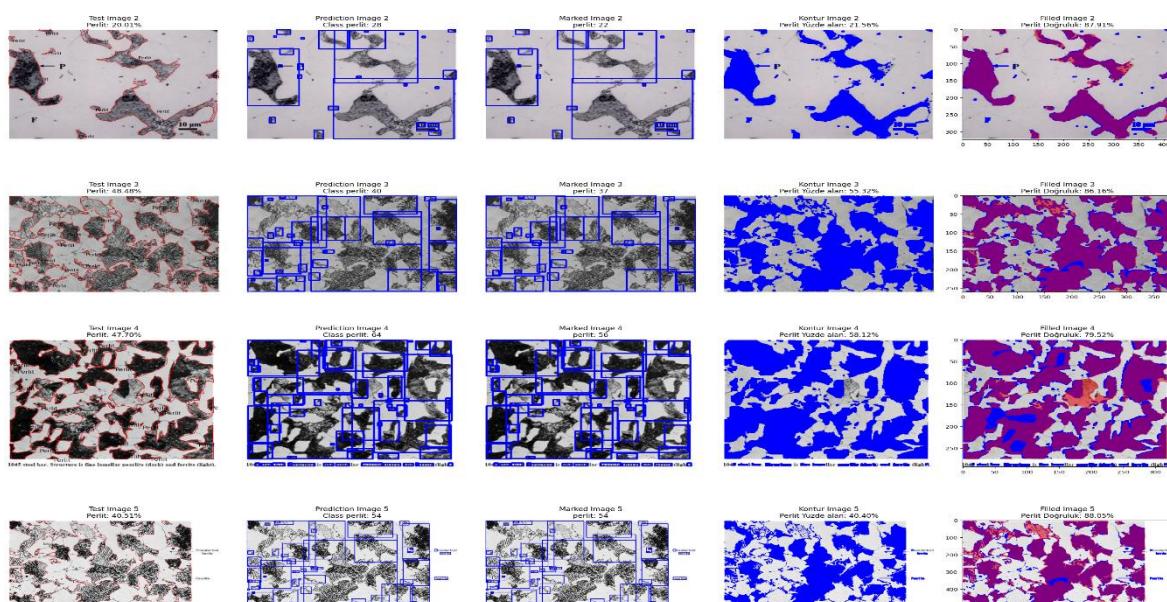
Şekil 14. Derin öğrenme tabanlı malzeme mikroskobik görüntü segmentasyonu [11].



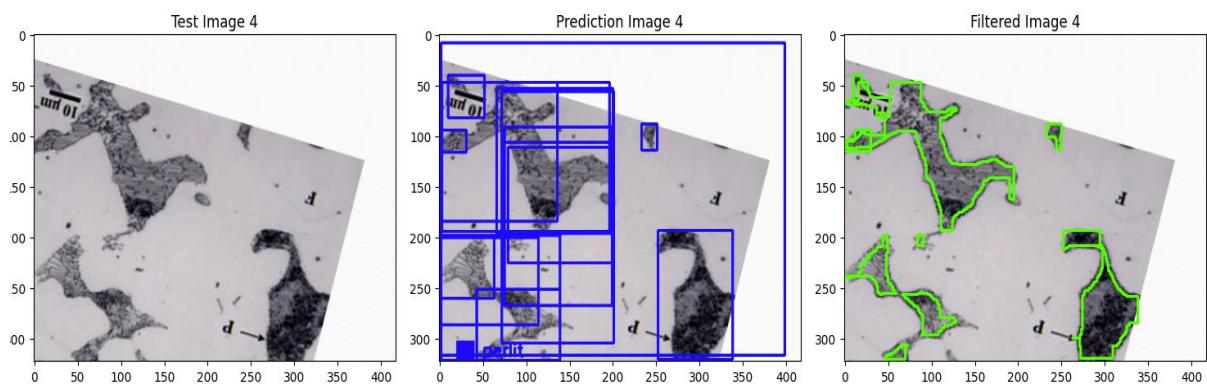
Şekil 15. Grafiksel özet [5].



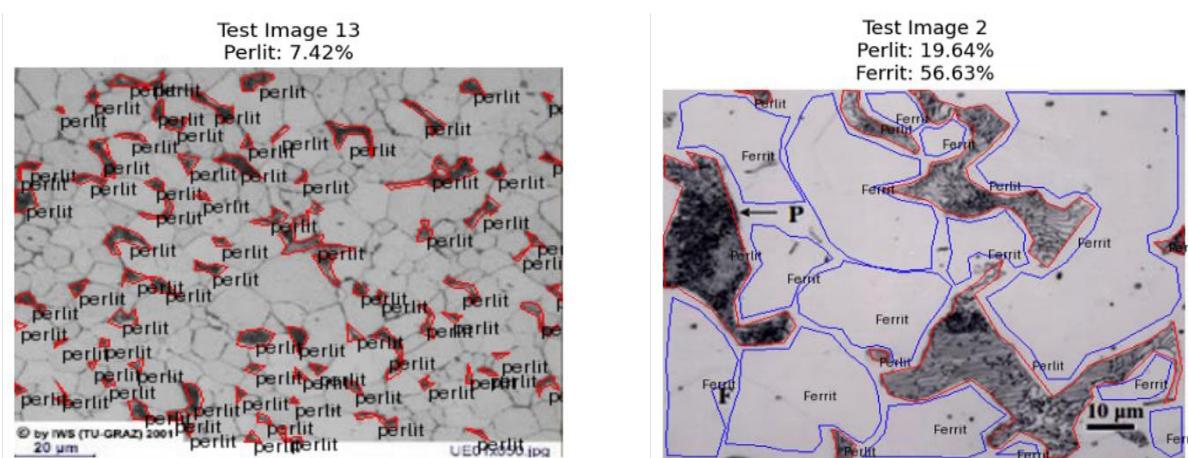
Şekil 16. Ferrit ve perlit içeren düşük karbonlu çeliğin mikroyapı analiz sonucu.



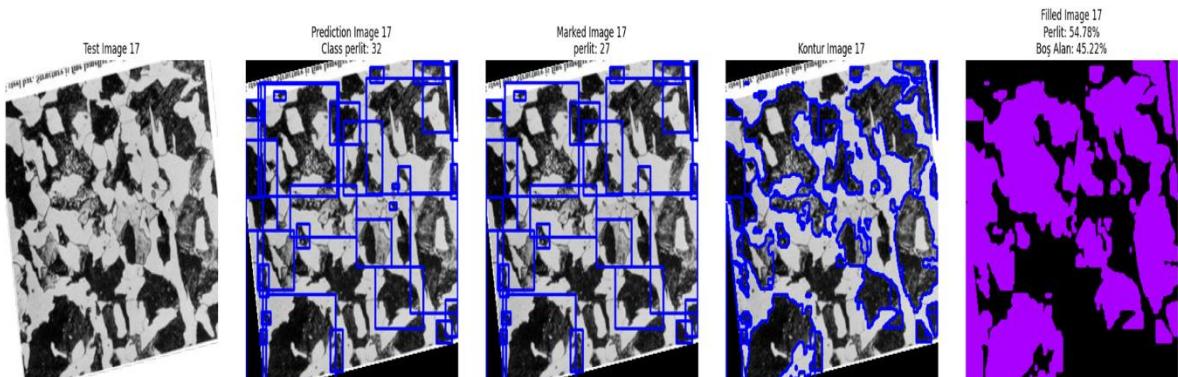
Şekil 17. Ferrit ve perlit içeren düşük karbonlu çeliklerin mikroyapı analiz sonucu.



Şekil 18. Sadece Perlit fazı tespiti yapan modelin sonucu.



Şekil 19. Çeşitli etiketleme yöntemleri



Şekil 20. Kantitatif analiz sonucu.

Tablolar (Çizelgeler)

Tablo 2. İş-zaman çizelgesi.

No	İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Kim(ler) Tarafından Gerçekleştirileceği	Zaman Aralığı (... Ay)	Başarı Ölçütü
1	Mikroyapı İncelemeleri ve Gerekli Yöntemlerin Belirlenmesi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak Ercan Kesimal	1 Ay	Birden fazla uygun inceleme yöntemlerinin ve algoritmaların belirlenmesi
2	Veri Setinin Oluşturulması, Etiketlenmesi ve Dijitalleştirilmesi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak Ercan Kesimal	2 Ay	Yeterli sayıda ve kalitede görüntü toplanması, Veri setinin oluşturulması ve etiketlenmesi, veri setinin analiz için uygun olması.
3	Görüntü İşleme Algoritmalarının Seçimi, Uygulanması ve Analizi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak	2-3 Ay	Uygun algoritmaların seçimi ve uygulanması, seçilen algoritmaların performans analizinin yapılması.
4	Derin Öğrenme Modelinin Geliştirilmesi ve Uygulanması	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak	2-3 Ay	Modelin tasarımı ve geliştirilmesi, Veri seti ile eğitim yapılması, model performansı ve uygulanabilirliğinin olması.
5	Mikroyapısal Analiz ve Sonuçların Değerlendirilmesi	Muhammed Enes Akıcı Tarık Kılıç Alsancak Ercan Kesimal	1-2 Ay	Projenin test edilerek mikroyapısal analizin yapılması ve sonuçların incelenerek gerekli optimizasyonların yapılması.

Özgeçmiş

Özgeçmiş Bilgileri :

Proje ekibinin özgeçmişleri ek olarak verilmiştir.

Ad Soyad	Muhammed Enes Akıcı
Tel no	541 684 82 14
E-posta	enesakici2@gmail.com
Adres	Üniversite Mahallesi Lojman Sokak KYK Trabzon Erkek Öğrenci Yurdu Trabzon/Ortahisar
Ad Soyad	Tarık Kılıç Alsancak
Tel no	551 113 11 22
E-posta	batmaca2002@gmail.com
Adres	Yenigün mah. İznik cad. Atakent Sitesi 10/30 Yenişehir/Bursa
Ad Soyad	Ercan Kesimal
Tel no	537 291 65 50
E-posta	Kesimal0053@outlook.com
Adres	Üniversite Mahallesi Lojman Sokak KYK Trabzon Erkek Öğrenci Yurdu Trabzon/Ortahisar