

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI**

**ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİNDE
KULLANILACAK BİR KARAR DESTEK SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

HAZIRLAYAN

LEMAN KARGIN

DOKTORA TEZİ

ANKARA - 2024

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI**

**ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİNDE
KULLANILACAK BİR KARAR DESTEK SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

HAZIRLAYAN

LEMAN KARGIN

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI

PROF.DR. YUSUF TANSEL İÇ

ANKARA - 2024

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Doktora Programı çerçevesinde Leman KARGIN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 19/01/2024

Tez Adı: Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL, Gazi Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Mehmet KABAK, Gazi Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Barış KEÇECİ, Başkent Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Emre SÜMER, Başkent Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : / /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 30/01/2024

Öğrencinin Adı, Soyadı : Leman KARGIN

Öğrencinin Numarası : 21620313

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği Doktora Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ

Tez Başlığı : Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 87 sayfalık kısmına ilişkin, 30/01/2024 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 11'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

"Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını" inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih: 30/01/2024

Öğrenci Danışmanı

Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleőmesinde katkılarında dolayı, aşağıda adı geçen kiőilere içtenlikle teşekkür eder.

Tez danışmanım sayın Prof. Dr. Yusuf Tansel İ'e bu tez çalışması sũresince desteğini eksik etmeden, değerli bilgileri ile sũrekli olarak pratik ve anlayıőlı bir yol gũsterici olduğu, çalıőmaya yapmıő olduğu katkı ve destekleri için,

Sayın Doç. Dr. Emre SũMER'e (TİK ũyesi) tez çalıőmam sũresince bilgisini ve desteğini eksik etmeyerek zaman ayırdığı için,

Sayın Doç. Dr. Barış KEÇECİ'ye (TİK ũyesi) alıőmaya yapmıő olduğu katkı ve destek için,

Hayatım boyunca her koőulda ve her zaman yanımda olan en bũyũk destekçim kıymetli annem Sebaat ŐZDİL ve babam Mehmet ŐZDİL'e,

Her daim yanı baőımda olup mutluluklarımı paylaőan yeğerlerim Mehmet Hakan ŐZDİL ile Mustafa Salih ŐZDİL'e, abim Erhan ŐZDİL ve yengem Nezahat ŐZDİL'e,

Tez çalıőmam sũresince desteğini esirgemeyen sevgili eőim Tayfun KARGIN'a,

Hayatımın hediyesi olan canım kızım İpek KARGIN'a teőekkũrlerimi içtenlikle sunarım.

ÖZET

Leman KARGIN

ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİNDE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2024

Bu tez çalışmasında Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin (AİY) seçimi için bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS’de öncelikle literatürde gerçekleştirilmiş çalışmalardan yola çıkarak yapılacak işlemlere uygun AİY’ler veri tabanından belirlenerek bir alternatif setinin oluşturulması sağlanmıştır. Ardından literatürde yaygın bir şekilde AİY seçiminde kullanılmış olan AHP ve TOPSIS yöntemleri bütünleşik olarak uygulanarak işe en uygun AİY’nin belirlendiği bir seçim modeli oluşturulmuştur. Sonrasında elektro kimyasal delik delme işlemi özelinde bu işlemle delinmiş deliklerin görüntülerini görüntü işleme teknikleriyle işleyen, ön eleme ve AHP-TOPSIS modeli sonucu belirlenmiş olan AİY için uygun işleme parametrelerinin de önerildiği ikinci seviye bir model KDS’ye entegre edilmiştir. Son aşamada ise görüntü işleme teknikleri ile elde edilen farklı performans yanıtlarına sahip olan farklı parametre setlerinden oluşan alternatifler TOPSIS modeline aktararak performans yanıtlarına kullanıcının atayacağı ağırlık değerlerine göre en uygun parametre kombinasyonunun tespitinin sağlandığı bir en iyileme modülü de KDS’ye eklenmiştir. Böylece AİY seçim sürecinin tüm değerlendirme ve analiz aşamalarını içeren bütünleşik bir KDS ortaya konabilmiştir. Geliştirilen KDS ileriki dönemlerde diğer AİY’lerin işlemler özelindeki görüntülerinin veri tabanına yüklenmesi ile diğer işlemler için de işleme parametresi değeri verebilecek bir yapıda oluşturulmuştur. KDS, Python programlama dili kullanılarak geliştirilmiş ve uygulama çalışmaları ile KDS’nin işlevselliği gösterilmeye çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Alışılmamış İmalat Yöntemleri, Karar Destek Sistemleri, AHP, TOPSIS, Görüntü İşleme, İmalatta Yapay Zeka Uygulamaları.

ABSTRACT

Leman KARGIN

DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE SELECTION OF NON-TRADITIONAL MANUFACTURING PROCESSES

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

2024

In this thesis, a decision support system (DSS) was developed for the selection of Nontraditional Manufacturing Processes (NTMPs). In the developed DSS, first of all, based on the studies carried out in the literature, suitable NTMPs were determined from the database, and an alternative set was created. Then, AHP and TOPSIS methods, which have been widely used in the selection of AHPs in the literature, were integrated into the DSS to determine the most suitable NTMP for the defined operation. Afterward, a second level model was integrated into the DSS, which processes the images of the holes drilled with this process with image processing techniques, specifically for the electrochemical hole drilling process, and also recommends the appropriate processing parameters as a result of the pre-screening module and AHP-TOPSIS model. In the last stage, alternatives consisting of different parameter sets with different performance responses, obtained through image processing techniques, were transferred to the TOPSIS model, and an optimization module was integrated into the DSS, which enables the determination of the most appropriate parameter combination according to the weight values assigned by the user to the performance responses. Thus, an integrated DSS that includes all evaluation and analysis stages of the NTMP selection process was developed. The developed DSS was created in a structure that can provide processing parameter values for other processes in the future by uploading process-specific images of other NTMPs to the database. DSS was developed using Python programming language, and the functionality of DSS was tried to demonstrate with application studies.

KEYWORDS: Non-Traditional Manufacturing Methods, Decision Support Systems, AHP, TOPSIS, Image Processing, Artificial Intelligence Applications in Manufacturing.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİ	7
3.1 Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	7
3.2 Çalışma Kapsamında Kullanılan Alışılmamış İmalat Yöntemleri	9
3.3 Çalışma Kapsamında Kullanılan Kriterler	10
4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ (ÇKKV)	11
4.1 Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP)	11
4.2 Tercihlerin İdeal Çözüme Benzerlikleri Yoluyla Sıralanması Tekniği (TOPSIS)	14
5. KARAR DESTEK SİSTEMİ.....	17
6. GÖRÜNTÜ İŞLEME	18
6.1 Sayısal Görüntü	18
6.2 Temel Görüntü İşleme Teknikleri	19
6.2.1 Renk Modelleri	19
6.2.1.1 RGB renk modeli.....	20
6.2.1.2 CMY renk uzayı	21
6.2.1.3 HSV renk uzayı.....	21
6.2.2 Görüntü filtreleme.....	22
6.2.2.1 Ortalama Filtre.....	22
6.2.2.2 Orta Değer Filtre	23
6.2.2.3 Gauss Düzleştirme Filtresi.....	23
6.2.3 Eşik değer belirleme.....	24
6.2.4 Matematiksel morfolojik işlemler	25
6.2.5 Kenar bulma algoritmaları	26

7. AİY SEÇİM PROBLEMİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ.....	27
7.1 AHP ve TOPSIS Yöntemlerini Kullanan KDS Modülü	27
7.1.1 KDS Giriş Ekranı	28
7.1.2 Malzeme Seçimi	29
7.1.3 Proses seçimi	30
7.1.4 Uygun Kriterlerin Belirlenmesi	31
7.1.5 Son Eleme.....	33
7.1.6 Karar matrisinin oluşturulması.....	36
7.2 Görüntü İşleme Teknikleri ile İmalat Resimlerinin İncelenmesi	40
7.2.1 İmalat resimlerinin elde edilmesi.....	41
7.2.2 İmalat resimlerinin görüntü işleme teknikleri ile işlenerek değerlendirilmesi	42
7.2.2.1 Delik kesitinin maksimum yüksekliğini bulma	42
7.2.2.2 Delik kesiti görüntüsüne eğri uydurma ve MSE değerlerini hesaplama.....	51
7.2.3 İmalat resimleri ile teknik resmin görüntü işleme teknikleri ile kıyaslanması.....	57
7.2.3.1 İmalat ve teknik resme göre delik kesitinin eğri uydurma ile MSE değerlerini bulma	57
7.3 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen sonuçlar ve sonuçların değerlendirilmesi	66
7.4 Performans Ölçütlerine Göre En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi.....	75
7.5 KDS’de AHP, TOPSIS ve Görüntü İşleme Metodlarının Entegrasyonu.....	75
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR.....	88

EKLER

EK 1 : KDS’nin Genel Yapısını ve Prensiğini Gösteren Özet Şema

EK 2 : Performans Metriklerinin Sonuçlarından Çıkan İmalat Resimleri

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3. 1 Alışılmamış imalat yöntemlerinin enerji kaynağına göre sınıflandırılması.....	7
Tablo 3. 2 Alışılmamış imalat yöntemlerinin listelenmesi.....	9
Tablo 3. 3 Alışılmamış imalat yöntemleri seçim kriterleri.....	10
Tablo 4. 1 Saaty'nin ikili karşılaştırma ölçeği.....	12
Tablo 4. 2 RI değerleri [38]	14
Tablo 7. 1 Alternatif AİY ve kriterler özet tablosu	27
Tablo 7. 2 AİY-Malzeme uygun tablosu	29
Tablo 7. 3 AİY'lerin şekilsel yeterlilikleri	30
Tablo 7. 4 Kriterler için uygunluk tablosu	32
Tablo 7. 5 Proses yeterlilik kriterleri performans değerleri.....	33
Tablo 7. 6 Malzeme uygunluk performans tablosu	35
Tablo 7. 7 Örnek 1 Problem verileri.....	36
Tablo 7. 8 Örnek 2 Problem verileri.....	38
Tablo 7. 9 Deney Parametreleri	41
Tablo 7. 10 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen çıktıların özet tablosu.....	67
Tablo 7. 11 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen çıktıların özet tablosu-devam.....	68
Tablo 7. 12 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen performans çıktıları sonuç tablosu..	72
Tablo 7. 13 Alternatif resimler ve kriterler özet tablosu	82
Tablo 7. 14 Örnek kriter ağırlıkları	82
Tablo 7. 15 Görüntü işleme metrikleri için TOPSIS sonuçları	84
Tablo 7. 16 Görüntü işleme metrikleri ve deney sonuçları için TOPSIS	85

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 6. 1. 14x14 piksel L harfi resmi	19
Şekil 6. 2. RGB renk küpünün taslak çizimi [42]	20
Şekil 6. 3. RGB 24 bit renk küpü.....	21
Şekil 6. 4. RGB'den HSV'ye dönüştürülmüş örnek resim	22
Şekil 6. 5. Örnek bir görüntüye farklı filtreleme yöntemleri uygulama	24
Şekil 6. 6. Örnek bir görüntüye farklı eşik değerlerinin uygulanması.....	25
Şekil 6. 7. Örnek bir görüntüye morfolojik işlemlerin uygulanması	26
Şekil 6. 8. Örnek bir görüntüye kenar bulma algoritmalarının uygulanması.....	26
Şekil 7. 1. KDS giriş ekranı	28
Şekil 7. 2. Seramik malzemesi için uygun AİY'lerin gösterimi	30
Şekil 7. 3. Proses seçimi	31
Şekil 7. 4. Kriter seçim ekranı	32
Şekil 7. 5. AHP için ikili karşılaştırma matrisi	36
Şekil 7. 6. Örnek 1: Malzeme, proses ve kriter bilgilerinin girilmesi.....	37
Şekil 7. 7. Örnek 1: AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi	38
Şekil 7. 8. Örnek 2: Malzeme, proses ve kriter bilgilerinin girilmesi.....	39
Şekil 7. 9. Örnek2: AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi	40
Şekil 7. 10. Delik kesitinin maksimum yüksekliğini bulmak için görüntü işleme adımları	43
Şekil 7. 11. Örnek delik kesiti resmi.....	44
Şekil 7. 12. Yeniden boyutlandırılmış örnek resim	44
Şekil 7. 13. HSV renk uzayına dönüşüm örnek resmi	45
Şekil 7. 14. H kanalı bulma örnek resmi.....	45
Şekil 7. 15. Hue kanalının 1.4 ile çarpılmış örnek resmi	46

Şekil 7. 16. H kanalı için 5x5 Kernel ile Gaussian Blur örnek resmi.....	46
Şekil 7. 17. 3x3 kernel ile morfolojik açma işlemi örnek resmi.....	47
Şekil 7. 18. H kanalı için 70 eşik değeri ile ters ikili eşikleme örnek resmi	47
Şekil 7. 19. B kanalını bulma örnek resmi	48
Şekil 7. 20. B kanalının 0.5 ile çarpılmış örnek resmi.....	48
Şekil 7. 21. B kanalı için 5x5 Kernel ile Gaussian Blur örnek resmi.....	49
Şekil 7. 22. B kanalı için 70 eşik değeri ile ters ikili eşikleme örnek resmi.....	49
Şekil 7. 23. H ve B kanalından gelen iki görüntünün kesişiminin örnek resmi	50
Şekil 7. 24. 1_En büyük bağlantılı bileşen bulma için örnek resim	50
Şekil 7. 25. Örnek İmalat resmi üzerinde bulunan yükseklik değerinin gösterimi	51
Şekil 7. 26. Delik kesitinin parabol uydurma ile MSE değerlerini bulan görüntü işleme adımları	52
Şekil 7. 27. İmalat resmi üzerinden eğri uydurma aşaması öncesindeki adımların örnek resimleri	53
Şekil 7. 28. Laplacian uygulanmış resim örneği	54
Şekil 7. 29. 2_En büyük bağlantılı bileşen bulma için örnek resim	54
Şekil 7. 30. Resimden 20 piksel altındakilerin elenme örnek resmi	55
Şekil 7. 31. Polinom için en büyük bağlantılı bileşeni bulma örnek resmi	55
Şekil 7. 32. Polinom eğrisinin resim olarak alınmış örnek resmi.....	56
Şekil 7. 33. Örnek resim üzerinden parabol ve MSE gösterimi	57
Şekil 7. 34. Kırpma işleminin adımları	59
Şekil 7. 35. İmalat resimlerine kırpma işlem adımlarının sırasıyla örnek resimleri.....	60
Şekil 7. 36. Teknik resimden parabol denklemi elde etme adımları	60
Şekil 7. 37. Teknik resim eğri uydurma aşamalarının resimleri.....	61
Şekil 7. 38. Delik kesiti ve teknik resmin karşılaştırılarak parabol uydurma ile MSE değerlerini bulan görüntü işleme adımları	62

Şekil 7. 39. Kırpılmış delik kesitinin eğri uydurma adımları öncesindeki aşamaların örnek resimleri	63
Şekil 7. 40. Laplacian uygulama sonucu örnek resim	64
Şekil 7. 41. 2_En büyük bağlantılı bileşeni bulma örnek resmi	64
Şekil 7. 42. Parabolün başlangıcını 20 piksel aşağı kaydırma örnek resmi.....	64
Şekil 7. 43. Polinom eğrisini resim olarak alma örnek resmi.....	65
Şekil 7. 44. Teknik resim ve imalat resmi için parabol ve MSE gösterimi	65
Şekil 7. 45. Ratio_1 Bulma Adımları	69
Şekil 7. 46. Ratio_2 Bulma Adımları	70
Şekil 7. 47. Performans metriklerinin değerlendirilmesi için ekran arayüzü	75
Şekil 7. 48. Görüntü işleme için imalat ve teknik resim giriş ekran arayüzü.....	76
Şekil 7. 49. Örnek resmin görüntü işleme sonuçları için ekran çıktısı.....	77
Şekil 7. 50. Resimlerin toplu olarak eklenebildiği giriş arayüzü.....	78
Şekil 7. 51. Örnek vakanın uygulamadaki giriş ekranı.....	79
Şekil 7. 52. Örnek vakanın ikili karar matrisi ve TOPSIS sonuçları.....	80
Şekil 7. 53. Görüntü işleme performans çıktılarını ve işleme parametrelerini veren ekran görüntüsü	81
Şekil 7. 54. Örnek çalışma sonuç ekranı	83

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AIY	Alışılmamış İmalat Yöntemleri
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri
EKD	Elektrokimyasal Delik Delme
HDC	Hole Depth Consistency- Delik Derinlik Tutarlılığı
KDS	Karar Destek Sistemi
MSE	Mean Squared Error- Ortalama Karesel Hata
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojileri dikkate alındığında; gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan yeni malzemeler, zor şekillerin üretim zorlukları nedeniyle yeni üretim teknolojileri olarak adlandırabileceğimiz Alışılmamış İmalat Yöntemleri'nin (AİY) gelişimi günden güne artmaktadır [1].

Uzun yıllardır kullanılmasından dolayı ortaya çıkan geleneksel imalat yöntemlerinin yoğun bir bilgi birikimine nazaran AİY kapsamındaki bilgi yoğunluğu ve tecrübe daha azdır. Bu sebeple AİY seçiminde karar vermeyi zorlaştıran unsurlar olarak; bilgi birikimi ve tecrübe eksikliği, AİY'lerdeki hızlı gelişmeler ve değişimler gibi sebepler göz önüne alındığında AİY seçiminin zor bir karar süreci olduğu söylenebilir [2].

Karar süreçleri de dikkate alındığında AİY seçim problemi, günümüz teknolojik gelişmelerini dikkate aldığımızda çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. AİY seçimi konusunda karar vericilere yardımcı olacak sistemlere olan ihtiyaç, daha sistematik yaklaşımların ortaya konulmasına sebep olmuştur.

Gerek üretim teknolojilerindeki gelişmeler, gerek bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, söz konusu sistematik yaklaşımların daha da derinleştirilmesine imkan sağlamaktadır. Böylelikle karar vericilerin daha detaylı ve ileriye dönük kararlar almasına yardımcı olunabilir.

Tez kapsamında; endüstriyel anlamda gerçek hayattaki kullanım alanlarında hızlı ve dinamik karar vermeyi kolaylaştıracak, gerekirse hangi imalat sistemine yatırım yapma konusunda karar vericilere yardımcı olacak, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinin ve görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Tez kapsamında AİY'ler arasından Elektrokimyasal Delik Delme (EKD) yöntemi özel olarak ele alınmış ve bu yöntemle işlenmiş deliklerin resimleri üzerinden görüntü işleme adımları uygulanmıştır. Görüntü işleme adımlarının neticesinde elde edilen performans çıktılarına göre belirlenen resme ait işleme parametreleri dikkate alınarak kullanıcıya hangi AİY'yi seçerek, hangi işleme parametrelerini kullanabileceği konusunda yardımcı olabilecek bir yaklaşımla oluşturulan KDS, elektrokimyasal delik delme işlemi seçimi örneklenerek Python programlama dili ile geliştirilmiştir.

Tez çalışması sekiz bölümden oluşmaktadır ve giriş bölümünden sonraki kalan kısımları şu şekilde düzenlenmiştir. Bir sonraki bölümde, literatürdeki AIY seçim problemleri ve önerilen çözüm yöntemlerini içeren çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde AIY'ler hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Dördüncü bölümde tez kapsamında ele alınan AHP ve TOPSIS yöntemleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Beşinci ve altıncı bölümde KDS ve görüntü işleme teknikleri hakkında bilgilerin sunulmasının ardından, yedinci bölümde geliştirilen KDS ve görüntü işleme algoritma adımları için açıklamalar detaylı olarak ekran arayüzleri de eklenerek yapılmıştır. Son olarak da sekizinci bölümde sonuç ve öneriler ile çalışma tamamlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

AİY seçimi için geliştirilmiş olan yöntemlere literatürde rastlanmaktadır. Yöntemler son yıllarda ÇKKV yöntemleri kullanılarak belirli işler için uygun AİY'lerin seçenekler arasından belirlenmesine yoğunlaşmıştır.

Literatürde AİY seçimi için ilk çalışma Coğun [3], tarafından gerçekleştirilmiş olup, çalışmada uygun olmayan AİY'leri değerlendirme dışı bırakmak ve geri kalan uygun olanları sıralamak için etkileşimli olarak oluşturulmuş 16 basamaklı bir sınıflandırma kodu kullanmıştır.

Yurdakul ve Cogun [4], analitik hiyerarşi prosesini (AHP) ve İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniğini (TOPSIS) birleştirerek belirli bir uygulama için bir AİY seçim yöntemi önermişlerdir. Bu çalışma, AİY seçimi ile ilgili ÇKKV metotlarının kullanıldığı ilk çalışmadır. Çalışmada on iki AİY on iki kriter altında incelenerek, AHP –TOPSIS bütünleşik yöntemi kullanılarak seçim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Chakraborty and Dey [5], en uygun AİY'nin belirlenmesi için kalite fonksiyon yayılımı (QFD) ile bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Çalışmada, ürün karakteristikleri ve işleme karakteristiklerine göre kalite evi matrisi oluşturulmuştur.

Das Chakladar and Chakraborty [6], belirli bir iş malzemesi ve şekil özelliği kombinasyonu için en uygun AİY'nin seçilmesi amacıyla TOPSIS ve AHP yöntemlerini birleştirerek Visual Basic 6.0 programı aracılığıyla grafik tabanlı bir uzman sistem geliştirmişlerdir.

Chandrasselan et al. [7], en uygun AİY seçimi için endüstriyel öneme sahip yirmi AİY kullanarak gerçek zamanlı ve web tabanlı olmak üzere üç katmanlı bir bilgi sistemi geliştirmişlerdir.

Das Chakladar et al. [8], AİY seçimi problemlerini kullanıcı arayüzü yardımıyla çözmek için diagraf tabanlı bir yaklaşım sunmuştur.

Sugumaran et al. [9], belirlenen bir iş malzemesi üzerinde uygulanacak bir imalat işlemi için en uygun AİY'nin seçimine yönelik ve mühendislere yardımcı olmak adına sinir ağı tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır.

Das and Chakraborty [10], AİY seçim kararını etkileyen çeşitli kriterler arasındaki karşılıklı bağımlılık ve geri bildirim ilişkilerini dikkate alarak belirli bir işleme uygulaması için en uygun AİY'yi seçmek üzere analitik ağ süreci (ANP) tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. İmalat sürecindeki kriterlerin birbirini etkilemesini dikkate alarak AİY seçimi problemi için ANP'yi kullanan bir yöntem önermişlerdir.

Sadhu and Chakraborty [11], AİY seçim problemlerini çözmek için veri zarflama analizi (DEA) yöntemini kullanmışlardır. Çalışmanın ilk aşamasında belirli parametreler altında Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) veri zarflama analizi modeli ile en uygun AİY'ler belirlenmiştir. İkinci aşamada AİY'ler ÇKKV ile sıralanmıştır.

Karande and Chakraborty [12], dört tane AİY seçim problemini çözmek için PROMETHEE ve geometrik analizden oluşan GAIA yöntemi ile entegre bir yaklaşım kullanan çözüm önerisi geliştirmişlerdir.

Kul [13], tez çalışmasında AİY seçim probleminde Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yöntemlerinin uygulandığı sistematik bir yaklaşım ortaya koymuştur. Çalışmada ayrıca bulanık yöntemlerle elde edilen sonuçlar, bulanık olmayan (klasik) AHP ve TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırılarak bulanıklığın sonuçlar üzerinde etkisi incelenmiştir.

Temuçin et al. [14], AİY seçim problemleri için gerekli verilerin büyük bir kısmını uzmanlara uygulanan anketler aracılığıyla toplayarak TOPSIS ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanan karar destek modeli geliştirmişlerdir.

Choudhury et al. [15], AİY seçim problemlerinin çözümü için AHP ve TOPSIS kullanan entegre bir yaklaşımı kullanmışlardır.

Chatterjee and Chakraborty [16], üç açıklayıcı örnek yardımıyla AİY seçimi problemlerini çözmek için karma veri değerlendirme (EVAMIX) yöntemini uygulamışlardır.

Roy et al. [17], AİY seçiminde ilk olarak bulanık AHP yöntemini uygulamış ve daha sonra en iyi olan AİY'yi seçmek için AİY'lerin performans puanlarını değerlendirmek üzere QFD yöntemini kullanmışlardır.

Azaryoon et al. [18], AİY'lerdeki çeşitli performans ölçümlerini değerlendirmek için DEMATEL, ANP ve VIKOR yöntemlerini içeren Hibrit ÇKKV için bilgi tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir.

Madić et al. [19], çeşitli kalite kriterlerinin göreceli öneminin belirlenmesi ve belirli bir imalat prosesi için en uygun AİY'nin seçilmesi için AHP, MOORA ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır.

Madić et al. [20], çok sayıda aday alternatif arasından en iyi AİY'yi seçmek için ÇKKV yöntemlerinden OCRA yöntemini uygulamışlardır.

Sarkar et al. [21], çok amaçlı bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Belirli bir niceliksel ve niteliksel seçim kriterleri kümesine sahip AİY'lerin seçimi için MOORA yöntemine dayalı bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir.

Khandekar and Chakraborty [22], seramik üzerinde boşluklar ve sertleştirilmiş takım çeliği ve titanyum malzemeler üzerinde mikro delikler oluşturmak için en uygun AİY'nin seçimi için bulanık aksiyomatik tasarım ilkelerini uygulamışlardır.

Roy et al. [23], bir AİY'deki farklı teknik gereksinimlerin göreceli önemini araştırmak için bulanık AHP ve QFD yöntemlerinin kullanıldığı bir uygulama önermişlerdir.

Chatterjee et al. [24], AİY seçimi ve değerlendirilmesinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için öncelikle FARE yöntemi uygulanmış ve alternatif AİY'ler daha sonra MABAC yöntemi kullanılarak sıralanmıştır.

Prasad and Chakraborty [25], uzman sistemler ve bulanık mantık teknikleri kullanan bir AİY seçim metodolojisi oluşturmuşlardır. Uzman olmayan kullanıcının, parça gereksinimlerini temel alarak en uygun işleme yöntemini seçebileceği bir yöntem önermişlerdir.

Talib and Asjad [26], 27 değerlendirme kriterine göre çeşitli AİY'lerin önceliklendirilmesi ve sıralanması için AHP yöntemini kullanan bir model geliştirmişlerdir.

Rohith et al. [27], veri zarflama analizinin (DEA) de kullanıldığı AİY'lerin sıralanması ve seçilmesi için AHP, TOPSIS ve OCRA yöntemleri kullanarak AİY seçim modelleri önermişlerdir.

Yurdakul vd. [28], belirli bir iş malzemesi ve şekil özelliği kombinasyonları için AİY seçimine yönelik AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bulanık tabanlı modellerinin uygulamalarını sunmuşlardır.

Yurdakul vd. [29], sezgisel ve üçgensel bulanık AİY sıralama modellerini önermişler ve sıralama sonuçlarını bulanık olmayan sıralama modelleriyle kıyaslamışlardır.

Chakraborty et al. [30], akıllı bir karar modeli tasarlanmış ve ilgili mühendisin belirli bir parametrik kombinasyon için çeşitli AİY'ler hakkında fikir sahibi olmasına rehberlik etmek üzere VBASIC'te geliştirilmiş olan bir model önermişlerdir.

Kumari and Acherjee [31], CRITIC-CODAS yöntemlerini bütünleşik uygulayarak AİY seçimi için bir yöntem önermişlerdir.

Roy et al. [32], Analitik Ağ Süreci (ANP) ve QFD yöntemlerini kullanarak AİY seçimi için model önerisinde bulunmuşlardır.

Jagtap and Karande [33] ise m-polar bulanık set ELECTRE-I ve AHP yöntemlerini birleştirerek AİY seçimi çalışması sunmuşlardır.

Literatürde ÇKKV yöntemlerinin AİY seçimi için kullanıldığı izlenebilmektedir. Bu tez çalışmasında literatürdeki çalışmalar gibi önce ön eleme yaparak ardından AHP-TOPSIS yöntemleriyle belirli bir işe en uygun yöntemin belirlendiği, sonrasında ise görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenen yönteme uygun işleme parametrelerinin önerilebildiği bir KDS geliştirilmiştir. Tez çalışmasının literatüre katkısını AİY seçim sürecindeki tüm aşamaların bir KDS içinde birleştirilmesi ve bu KDS içinde görüntü işleme teknikleri kullanılarak seçilen AİY için uygun parametre değerlerinin de önerilebilmesi oluşturmaktadır.

3. ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİ

AİY'ler genellikle geleneksel üretim yöntemlerinden farklılık içeren veya öne çıkan, yenilikçi veya özgün üretim yöntemlerini ifade eder. Bu tür yöntemler, geleneksel endüstriyel üretim süreçlerinden farklıdırlar ve genellikle modern teknoloji, otomasyon veya özel malzemeler kullanarak ürünleri üretme amacını taşırlar.

Bu tür yöntemler, üretim verimliliğini artırmak, maliyetleri düşürmek, ürün kalitesini iyileştirmek veya daha sürdürülebilir bir üretim süreci sağlamak gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilebilir.

Bu doğrultuda, AİY'ler; malzeme teknolojisinin gelişmesi, yeni ürün performansı ve dayanıklılık standartlarına olan talep, ekonomik yatırımların dikkate alınması, çok detaylı tasarlanmış ürünlerin şekilleri, takım aşınması ve malzeme işleme konusundaki hassasiyete yönelik ihtiyacı karşılamak ve daha iyi yüzey koşulları yaratmak için geliştirilmiştir.

Karmaşık ve küçük parça geometrilerin üretim ihtiyacı geleneksel imalat yöntemleri ile karşılanamaması durumunda AİY'ler birincil tercih olabilmektedir.

Bu ihtiyaçların çoğu da son yıllarda önemli ölçüde büyüyen havacılık ve elektronik endüstrileri ile ilişkilidir. AİY'ler, havacılık ve uzay sanayi, otomotiv, enerji, savunma ve güvenlik sektörleri ile endüstriyel ürünler gibi birçok alanda gelişme göstermişlerdir.

3.1 Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Malzemeyi işlemek için kullanılan enerji, enerji kaynağı, takım ve enerji aktarım ortamı ve malzeme çıkarma mekanizmasına göre AİY'lerin sınıflandırılması Tablo 3.1'de sunulmuştur [34], [35], [13].

Tablo 3. 1 Alışılmamış imalat yöntemlerinin enerji kaynağına göre sınıflandırılması

Enerji Türü	AİY	İngilizce isim	Kısaltma	Enerji Kaynağı	Araç	Transfer Aracı	Malzeme Kaldırma Mekanizması
Mekanik	Ultrasonik İşleme	Ultrasonic Machining	USM	Ultrasonik Titreşim	Sonotrot	Aşındırıcı Bulamaç	Erozyon veya aşınma

Enerji Türü	AİY	İngilizce isim	Kısaltma	Enerji Kaynağı	Araç	Transfer Aracı	Malzeme Kaldırma Mekanizması
Mekanik	Aşındırıcı Jet İşleme	Abrasiv Jet Machining	AJM	Pnömatik Basınç	Aşındırıcı Jet	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	Su Jeti İle İşleme	Water Jet Machining	WJM	Hidrolik Basınç	Su Jeti	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	Aşındırıcı Su Jeti İle İşleme	Abrasiv Water Jet Machining	AWJM	Hidrolik Basınç	Aşındırıcı Jet	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	Buz Jeti İle İşleme	İce Jet Machining	IJM	Hidrolik Basınç	Buz Jeti	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	Aşındırıcı Akış İşleme	Abrasiv Flow Machining	AFM	Hidrolik Basınç	Aşındırıcılar	Macun	Erozyon veya aşınma
Kimyasal	Kimyasal İşleme	Chemical Machining	CHM	Aşındırıcı ajan	Maske	Dağlayıcı	Kimyasal çözünme
Elektroki myasal	Elektroki myasal İşleme	Electro Chemical Machining	ECM	Yüksek akım	Elektrot	Elektrolit	İyon yer değiştirme yoluyla anot çözünmesi
Termal	Elektrik Deşarjı İşleme	Electric Discharge Machining	EDM	Yüksek voltaj	Elektrot	Yalıtkan	Erime ve buharlaşma
Termal	Elektron Işını İşleme	Electron Beam Machining	EBM	İyonize malzeme	Elektron demeti	Vakum	Erime ve buharlaşma

Enerji Türü	AİY	İngilizce isim	Kısaltma	Enerji Kaynağı	Araç	Transfer Aracı	Malzeme Kaldırma Mekanizması
Termal	İyon Işını İşleme	Ion Beam Machining	IBM	İyonize malzeme	İyon ışını	Atmosfer	Erime ve buharlaşma
Termal	Lazer Işını İşleme	Laser Beam Machining	LBM	Güçlendirilmiş ışık	Lazer ışını	Hava	Erime ve buharlaşma
Termal	Plazma Ark İşleme	Plasma Arc Machining	PAM	İyonize malzeme	Plazma Jeti	Plazma	Erime ve buharlaşma

3.2 Çalışma Kapsamında Kullanılan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Sanayide en fazla yararlanılan ve literatürde parametre bilgilerine ulaşılabilen toplam on dört AİY; Kul [13], ve Machinability Data Center [36] kitabından derlenerek Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3. 2. Alışılmamış imalat yöntemlerinin listelenmesi

Sıra No	Alışılmamış İmalat Yöntemi
1.	AJM-Abrasive Jet Machining Aşındırıcı Jet İşleme
2.	WJM-Water Jet Machining Su Jeti İle İşleme
3.	AWJM-Abrasive Water Jet Machining Aşındırıcı Su Jeti İle İşleme
4.	USM-Ultrasonic Machining Ultrasonik İşleme
5.	RUSM-Rotary Ultrasonic Machining-Döner ultrasonik işleme
6.	ECM- Electrochemical Machining Elektrokimyasal İşleme
7.	ECG- Electrochemical Grinding Elektro Kimyasal Taşlama
8.	ECH- Electrochemical Honing Elektro Kimyasal Honlama
9.	EDM -Electric Discharge Machining Elektrik Deşarjı İşleme
10.	WEDM- Wire Electrical Discharge Machining

Sıra No	Alışılmamış İmalat Yöntemi
	Tel Erozyon ile İşleme
11.	CHM-Chemical Machining Kimyasal İşleme
12.	EBM Electron Beam Machining Elektron Işını İşleme
13.	LBM Laser Beam Machining Lazer Işını İşleme
14.	PAM Plasma Arc Machining Plazma Ark İşleme

3.3 Çalışma Kapsamında Kullanılan Kriterler

Çalışmada kullanılan kriterler, Yurdakul ve Coğun [4], Kul [13] ve Kul vd. [2] tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiş ve belirlenen kriterler Tablo 3.3'de sunulmuştur.

Tablo 3.3 Alışılmamış imalat yöntemleri seçim kriterleri

KRİTERLER
Takım Aşınması
Tolerans (mm)
İşleme Hızı (mm ³ /dak)
Yüzey Hasarlama (mm)
Köşe Yarıçap (mm)
Koniklik (mm/mm)
Delik Çapı (mm)
Yüzey Kalitesi (µmRa)
Kesme Kalınlığı (mm)
L/D - t/w oranı
Yatırım
Takım/Fikstür
Güç Tüketimi
İşçilik

4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ (ÇKKV)

Tez çalışmasında literatürde en yaygın bir şekilde kullanılan AHP ve TOPSIS yöntemleri bütünleşik olarak uygulanmıştır. Ön eleme sonucu elde edilecek adaylar arasından AHP-TOPSIS bütünleşik yöntemi uygulanarak tanımlanan işlem için en uygun olan AİY KDS tarafından karar vericiye önerilecektir. AHP ve TOPSIS yöntemlerinin uygulama adımları aşağıda sunulmuştur.

4.1 Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP) 1968 yılında ilk uygulama olarak Myers ve Alpet tarafından ortaya konulmuş olsa da, Saaty tarafından 1997 yılında karar verme problemlerine uygulanabilir bir yöntem haline getirilmiştir. AHP’de probleme ilişkin ana kriterler ve ana kriterlere hiyerarşik bir yapıda bağlı olan alt kriterler ile alternatifler belirlenerek işleme başlanır. Ardından ikili karşılaştırma matrisleri hiyerarşik yapıya uygun olacak şekilde elde edilir ve bu matrislerle her kriterin önem derecesi hesaplanır. Yöntemin uygulama adımları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Amaç, kriterler, karar alternatifleri belirlenir ve hiyerarşik yapı oluşturulur.
- İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur (Eşitlik 4.1).

$$K = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ \dots \\ K_n \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccc} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{array} \right. & \end{matrix} \quad (4.1)$$

Matriste K_i , $i=1, \dots, n$ değerine kadar değer almak üzere kriter sayısını, w_i ise kriterin ağırlık değerini ifade eder. Ağırlık değerleri belirlenirken Tablo 4.1’den yararlanılır [37].

- Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi bulunur (Eşitlik 4.2). Bu amaçla önce her bir sütun elemanının toplanması ile sütun toplamları elde edilir.

Tablo 4. 1 Saaty'nin ikili karşılaştırma ölçeği

Önem Dereceleri	Derece Tanımları
1	Eşit önem
3	Orta önem
5	Güçlü önem
7	Çok güçlü önem
9	En üst düzey önem
2,4,6,8	Ara Değerler

$$\begin{array}{c}
 K_1 \\
 K_2 \\
 \dots \\
 K_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 K_1 \\
 K_2 \\
 \dots \\
 K_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 K_1 \\
 K_2 \\
 \dots \\
 K_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 K_2 \\
 K_2 \\
 \dots \\
 K_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 K_n \\
 K_n \\
 \dots \\
 K_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 K_1 \\
 K_2 \\
 \dots \\
 K_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 w_1/w_1 \\
 w_2/w_1 \\
 \dots \\
 w_n/w_1 \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_1}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 w_1/w_2 \\
 w_2/w_2 \\
 \dots \\
 w_n/w_2 \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_2}
 \end{array}
 \dots
 \begin{array}{c}
 w_1/w_n \\
 w_2/w_n \\
 \dots \\
 w_n/w_n \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_n}
 \end{array}
 \quad (4.2)$$

Ardından her bir satır elemanı ait olduğu sütun toplamına bölünerek normalize matris elde edilir (Eşitlik 4.3). Daha sonra, normalize matrisin satır elemanları toplanıp kriter sayısına bölünerek kriter öncelik (ağırlık) değerleri bulunmuş olur (Eşitlik 4.4 ve 4.5). Geliştirilen KDS kapsamında kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanarak TOPSIS yöntemine aktarılmıştır.

$$\begin{array}{c}
 L_1 \\
 L_2 \\
 \dots \\
 L_n
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 L_1 \\
 L_2 \\
 \dots \\
 L_n
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 L_1 \\
 L_2 \\
 \dots \\
 L_n
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 L_2 \\
 L_2 \\
 \dots \\
 L_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 L_n \\
 L_n \\
 \dots \\
 L_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 L_1 \\
 L_2 \\
 \dots \\
 L_n \\
 \text{Sütun} \\
 \text{Toplamı}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 (w_1/w_1)/ \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_1} \\
 (w_2/w_1)/ \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_1} \\
 \dots \\
 (w_n/w_1)/
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 (w_1/w_2)/ \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_2} \\
 (w_2/w_2)/ \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_2} \\
 \dots \\
 (w_n/w_2)/
 \end{array}
 \dots
 \begin{array}{c}
 (w_1/w_n)/ \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_n} \\
 (w_2/w_n)/ \\
 \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_n} \\
 \dots \\
 (w_n/w_n)/
 \end{array}
 \quad (4.3)$$

$$\begin{array}{c}
\left| \begin{array}{ccc}
\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_1} & \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_2} & \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_n}
\end{array} \right| \\
\text{Toplam} \quad \quad \quad 1 \quad \quad \quad 1 \quad \quad \quad 1
\end{array}$$

Eşitlik (4.3), Eşitlik (4.4) şeklinde düzenlenebilir. Ardından Eş (5) kullanılarak öncelik vektörü (W) belirlenir.

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{c} L_1 \\ L_2 \\ \dots \\ L_n \end{array} L = \begin{array}{c} L_1 \quad L_2 \quad \dots \quad L_n \\ \left[\begin{array}{cccc} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{array} \right] \end{array} \quad (4.4) \\
\text{Toplam} \quad \quad \quad 1 \quad \quad \quad 1 \quad \quad \quad 1
\end{array}$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 = \frac{\sum_{j=1}^n y_{1j}}{n} \\ w_2 = \frac{\sum_{j=1}^n y_{2j}}{n} \\ \dots \\ w_n = \frac{\sum_{j=1}^n y_{nj}}{n} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

AHP yönteminde, CR (Tutarlılık Oranı- Consistency Ratio) ile ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı kontrol edilir. K matrisiyle W öncelik vektörü arasında aşağıdaki gibi matematiksel bir ilişki yazılır [37]:

$$K \cdot W = \lambda \cdot W \quad (4.6)$$

$$K \cdot W \cdot W^{-1} = \lambda \cdot W \cdot W^{-1} \quad (4.7)$$

$$(K \cdot W)/W = \lambda \cdot I \quad (4.8)$$

$$(K \cdot W)/W = \lambda \quad (4.9)$$

Burada λ öz vektörü göstermektedir. Tutarlılık indeksi (CI) eşitlik 4.10'daki gibi ifade edilir:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.10)$$

CI ve rassal indeks (RI) olarak tanımlanan ve Tablo 4.2'de [38] gösterilen veriler ile CR hesaplanır:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.11)$$

Burada CR'nin 0,10'dan küçük hesaplanması ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterir.

Tablo 4. 2 RI değerleri [38]

Kriter Sayısı (n)	RI
1	0
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56

4.2 Tercihlerin İdeal Çözüme Benzerlikleri Yoluyla Sıralanması Tekniği (TOPSIS)

Hwang ve Yoon (1981) [39] tarafından geliştirilen TOPSIS yönteminin uygulanma aşamaları aşağıda adım adım sunulmuştur [40];

Adım 1: Karar Matrisi Oluşturulur

Karar matrisi satırlarda alternatifler ($i=1, \dots, m$) ve sütunlarda kriterler bulunacak şekilde ($j=1, \dots, n$) oluşturulur. Matrisin her bir elemanı x_{ij} ile temsil edilir.

Adım 2: Karar matrisi normalize edilmesi

Karar matrisi, satırlarında alternatifler ($i=1, \dots, m$), sütunlarda kriterler ($j=1, \dots, n$) olacak şekilde elde edilir. Eşitlik (4.12) kullanılarak normalize matris (R) bulunur.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (4.12)$$

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

Adım 3: Ağırlıklı normalize matris

Her kriter için toplamları bir olacak şekilde ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$) hesaplanmış olan ağırlıklar R matrisi ile çarpılır ve ağırlıklı normalize matris eşitlik 4.14 elde edilir.

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (4.13)$$

$$V = [v_{ij}]_{m \times n} \quad (4.14)$$

Adım 4: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin elde edilmesi

Eşitlik (4.15) ve (4.16) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_j v_{ij} | i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} | i \in I'' \right) \right\} \quad (4.15)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_j v_{ij} | i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} | i \in I'' \right) \right\} \quad (4.16)$$

Eşitlik (4.9) ve (4.10) da;

I' : Fayda Kriterleri kümesini,

I'' : Maliyet Kriterleri Kümesini ifade etmektedir.

Adım 5: Pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıklar bulunur

Eşitlik (4.17) ve Eşitlik (4.18) ile uzaklıklar hesaplanır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^+)^2} \quad (4.17)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^-)^2} \quad (4.18)$$

Adım 6: Sıralama puanları hesaplanır

Eşitlik (4.19) kullanılarak bulunan sıralama puanlarına göre alternatifler sıralanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad C_i \in [0,1] \quad i = 1, \dots, m \quad (4.19)$$

5. KARAR DESTEK SİSTEMİ

Karar, belirli bir durumda veya problemde belirli bir eylemi seçme sürecidir. Bir karar, bir bireyin veya organizasyonun bir dizi seçenek arasından bir tanesini seçmesi ve uygulaması anlamına gelir. Kararlar, genellikle belirli bir hedefe veya sonuca ulaşma amacı güderler ve çeşitli faktörleri değerlendirerek alınır.

KDS, karar alma sürecini destekleyen bir araç ve sistemler bütünüdür. Bu sistem, karmaşık veri setlerini analiz etmek, bilgi elde etmek ve çeşitli senaryolara göre kararlar almak için tasarlanmıştır. Karar destek sistemleri, karar vericilere daha iyi bilgi sağlamak ve daha etkili, bilgiye dayalı kararlar almalarına yardımcı olmak için kullanılır. Karar destek sistemleri, yönetim, finans, sağlık, lojistik ve birçok diğer sektörde kullanılmaktadır. Bu sistemler, karmaşık ve büyük veri setlerini hızlı bir şekilde analiz etme, etkileşimli simülasyonlar yapma ve karar alıcıların daha bilgiye dayalı kararlar vermelerine yardımcı olma kapasitesine sahiptir. Karar destek sistemini oluşturan ana bileşenleri; veritabanı, yazılım sistemi ve kullanıcı arayüzü olarak söylenebilir [41].

Geliştirilen KDS, Python programlama dili ile geliştirilirken, geliştirme ortamı olarak Jupyter Notebook kullanılmıştır. Kullanıcı arayüzleri tasarlanırken QT Designer aracından destek alınmıştır.

Bu tezde geliştirilen KDS'nin kural ve model tabanlı olmak üzere hibrit bir yapısı vardır. Kullanıcının ilgili bilgileri girmesi ile oluşan değerlendirme aşamasındaki ön eleme modeli kural tabanlı olarak çalışmaktadır. Ön eleme sonucunda belirlenen seçeneklerin aktarıldığı, AHP ve TOPSIS metodlarının uygulandığı seçim modülü ise model tabanlı bir yapıdadır. Alternatifler arasından seçilen yöntemin uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi için geliştirilen görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı modül ise kural tabanlı olarak çalışmaktadır. Söz konusu KDS'nin genel yapısını ve prensibini gösteren özet şema EK-1'de sunulmuştur.

6. GÖRÜNTÜ İŞLEME

Görüntü işleme, görüntü üzerinde matematiksel fonksiyonların çalıştırılması veya farklı dönüşüm algoritmalarının uygulanmasıdır. Görüntü işleme üzerine yapılan çalışmaların temelinde görüntüyü çözümlene ve dolayısıyla sayısallaştırma yatmaktadır. Görüntü işleme, bir bilgisayarın veya dijital sistemlerin görsel bilgileri analiz etmesi, yorumlaması ve işleme süreci olarak da değerlendirilebilir.

Sayısal görüntülerle ilgili başlangıçtaki uygulamalara, resimlerin Londra ve Newyork arasındaki denizaltı kablosu aracılığı ile iletildiği gazete baskısı uygulaması örnek verilebilir. Özel yazım cihazları kablolu iletim için resimleri kodlar ve alıcı tarafın da geri elde edilmesine olanak sağlar [42].

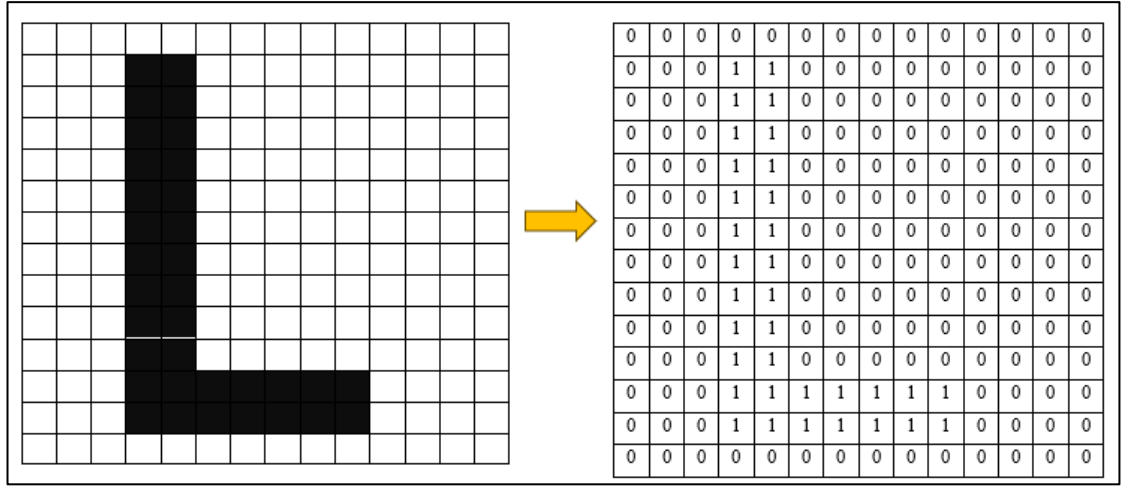
Günümüzde coğrafi bilgi sistemleri, tasarım, mimari, astronomi, imalat, güvenlik, robotik, tıp, jeodezi, elektronik, makine vb. gibi birbirinden farklı birçok alanda kullanılan genel bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Görüntü, farklı yöntemlerle edinilen bilgilerin görüntüsel olarak depolanmasına ve gösterimine imkân tanıyan resimlerdir.

Bir görüntü iki boyutlu bir $f(x,y)$ fonksiyonu olarak tanımlanabilirse, x ve y düzlem koordinatı olmak üzere, f fonksiyonunun herhangi bir (x,y) koordinatındaki genliği olmak üzere görüntünün o noktadaki gri seviyesi olarak isimlendirilir. x , y ve f 'in gri seviye değerleri sonlu ve ayrık büyüklükte olduğunda görüntü sayısal görüntü olarak adlandırılabilir [42].

6.1 Sayısal Görüntü

Sayısal bir görüntünün sonlu sayıda bileşenden oluştuğunu ve her bir bileşenin görüntünün belirli bir değeri bulunur. Bu bileşenlere resim elemanı, görüntü elemanı, pels ve piksel denir. Piksel, sayısal bir görüntünün bileşenlerini göstermede en yaygın şekilde kullanılan terimdir [42].



Şekil 6. 1 14x14 piksel L harfi resmi

Şekil 6.1’de L harfinin kağıt üzerine yazılmış resmi vardır. 14x14 boyutu; resmin çözünürlüğünü ve piksel boyutunu ifade eder. Yatayda ve dikeyde toplam 14x14 nokta vardır ve bu noktaların renklerinin değiştirilmesi ile resim elde edilir. Resim siyah ve beyaz renklerinden oluştuğu için beyaz piksellerin değerlerini 0, siyah olan piksellerin değerlerini de 1 olarak düşünersek sağ tarafındaki sayısallaştırılmış resmi elde ederiz. Sayısallaştırma ile de resmi dizi veya matris formuna çevirmiş olarak değerlendirebiliriz. Bilgisayarlar da bu örnekte olduğu gibi resimleri piksel x piksel boyutta matrisler şeklinde algıladığı için resimler bu şekilde bilgisayar hafızasında saklanabilir.

6.2 Temel Görüntü İşleme Teknikleri

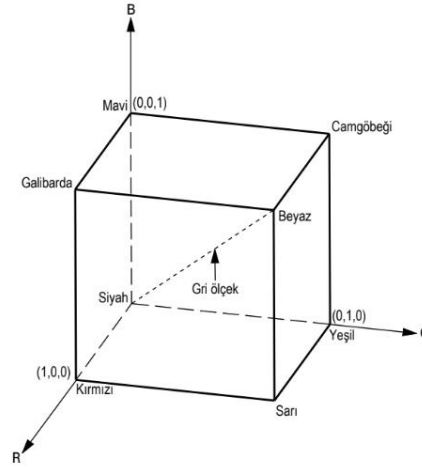
Temel görüntü işleme teknikleri, bir görüntü üzerinde farklı tekniklerle analizler yaparak bilgi çıkarmak veya görüntüyü iyileştirmek için kullanılan yöntemleri ifade eder. İhtiyaca bağlı olarak, bu temel teknikler daha özel ve gelişmiş yöntemlere genişletilebilir.

6.2.1 Renk Modelleri

Renk modelleri, bir rengin temsil edilmesi için kullanılan matematiksel modellerdir. Renk modelleri, renk bilgisini sayısal değerlere dönüştürmek için kullanılır ve renkli görüntülerin veya grafiklerin işlenmesinde sıklıkla kullanılır.

6.2.1.1 RGB renk modeli

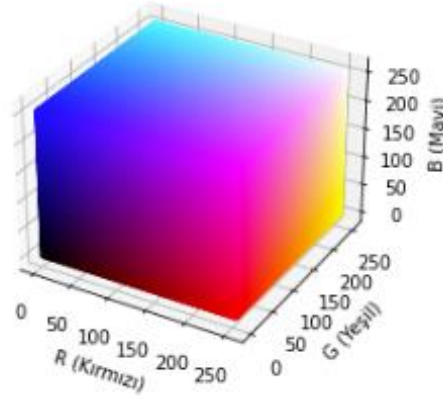
RGB renk modelinde her renk, onun kırmızı, yeşil ve mavi ana spektral bileşenleri şeklinde görülür. Bu model bir Kartezyen koordinat sistemine dayanır. İlgilenilen renk alt uzayı Şekil 7 de gösterilen küptür. Burada RGB ana renk değerleri küpün üç köşesinde; ara renkle camgöbeği, galibarda ve sarı diğer üç köşesinde; siyah orijinde; beyaz da orijinden en uzaktaki köşesinde yer alır. Bu modelde gri ölçek (RGB değerlerinin eşit olduğu noktalar), siyahtan beyaza doğru bu iki nokta arasını birleştiren doğru boyunca uzanır. Bu modelde farklı renkle küp üzerinde veya içerisindeki noktalardır ve bu noktalar orijinden uzanan vektörler ile tanımlanırlar. Kolaylık için tüm renk değerlerin normalize edildiği varsayılır, bu nedenle Şekil 6.2'de görülen küp birim küptür. Yani tüm R, G ve B değerlerinin $[0, 1]$ aralığında olduğu varsayılır [42].



Şekil 6. 2 RGB renk küpünün taslak çizimi [42]

RGB renk modelinde temsil edilen görüntüler, her biri bir ana renkteki üç bileşen görüntüsünden oluşur. RGB uzayında her pikseli ifade etmek için kullanılan bit sayısı piksel derinliği olarak adlandırılır. Kırmızı, yeşil ve mavi bileşen görüntüsünün 8-bit görüntü olduğu bir RGB görüntü dikkate alalım. Bu şartlar altında her bir RGB renk pikselinin bu bir (R, G, B) değer üçlüsüdür] 24 bit derinliğine (3 görüntü düzlemi ile düzlem başına düşen bit sayısının çarpımı) sahip olduğu söylenebilir. Tam renk görüntü terimi çoğu kez bir 24-bit RGB renkli görüntüyü belirtmek için kullanılır. Bir 24-bit görüntüdeki toplam renk sayısı $(256)^3 = 16,777,216$ 'dır. Şekil 6.3, Şekil 6.2 çizime uyan 24-bit RGB renk küpünü göstermektedir [42].

24-bit RGB Renk Küpü (3D)



Şekil 6. 3 RGB 24 bit renk küpü

6.2.1.2 CMY renk uzayı

Camgöbeği, galibarda ve sarı ışığın ara renkleridir veya alternatif bir ifadeyle pigmentlerin ana renkleridir. Örneğin camgöbeği pigmenti ile kaplanmış bir yüzey beyaz ışık ile aydınlatılırsa, yüzeyden kırmızı ışık hiç yansıtılmaz. Yani camgöbeği, kırmızı, yeşil ve mavi ışığın eşit miktarda bileşimi ile oluşan beyaz ışığı yansıtırken kırmızı ışığı içerisinden çıkarır.

Renkli yazıcılar ve fotokopi makinası gibi renkli pigmentleri kağıt üzerine yerleştiren çoğu cihaz CMY formatında veri girişine ihtiyaç duyar ya da dahili olarak RGB'den CMY formatına dönüştürme işlemi gerçekleştirir. Bu dönüştürme işlemi eşitlik 6.1'deki basit işlem ile yapılır [42].

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

6.2.1.3 HSV renk uzayı

Bu model, renkleri insan gözünün algılaması açısından daha doğal bir şekilde ifade etmeye olanak tanır. HSV (Hue, Saturation, Value) renk uzayı sırasıyla renk tonu, doygunluk ve değer değişkenlerinin bir arada kullanılmasıyla oluşur. Bu değişkenlerin belirli miktarlarının bir araya gelmesiyle renkler oluşur.

Renk (Hue - H): Renk tonunu temsil eder ve bir dairenin çevresinde tüm renkleri dolaşır. H değeri 0 ila 360 derece arasında değişir. Örneğin, kırmızı 0 derecedir, yeşil 120 derecedir ve mavi 240 derecedir.

Doygunluk (Saturation - S): Bir rengin "canlılığını" veya "solgunluğunu" ifade eder. S değeri 0 ile 1 arasında bir normalleştirilmiş sayıdır. S=0, rensizliği (gri tonu) temsil eder, S=1 tam doygunluk anlamına gelir.

Parlaklık (Value - V): Renklerin parlaklık seviyesini temsil eder. V değeri de 0 ile 1 arasında bir normalleştirilmiş sayıdır. V=0, siyahı temsil ederken, V=1, renklerin tam parlaklığına ulaşmış demektir. RGB görüntüden HSV renk uzayına dönüştürülmüş bir örnek resim Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6. 4 RGB'den HSV'ye dönüştürülmüş örnek resim

6.2.2 Görüntü filtreleme

Görüntü filtreleme görüntülerin içerisindeki istenmeyen durumları ortadan kaldırmak, görüntüdeki belirli özellikleri vurgulamak, görüntünün yumuşatılması, görüntüdeki yapıların kenarlarının daha belirgin hale getirilmesi, arzu edilen verinin elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu bölümde görüntü filtreleme çeşitlerinden ortalama filtresi (Mean), orta değer filtresi (Medyan), Gauss düzleştirme filtresinden bahsedilecektir.

6.2.2.1 Ortalama Filtre

Görüntünün piksel ve diğer pikseller arasındaki değişim miktarını en aza indirmek ve gürültüyü azaltmak amacıyla kullanılır. Görüntüdeki bir pikselin değerini, kendisi ve çevresindeki piksellerin aritmetik ortalaması ile değiştirir. Ancak resmi çok iyi temsil etmeyen bir değere sahip piksel, yakınında bulunan komşu piksellerin ortalama değerlerinin değiştirip, görüntünün değişmesine neden olabilir.

6.2.2.2 Orta Değer Filtre

Bu filtre de görüntüdeki gürültüyü azaltmak amacıyla kullanılır. Orta değer gürültüye karşı etkilidir. Bir noktaya orta değer filtre uygulamak için öncelikle komşu piksellerdeki gri seviye değerleri sıraya sokulur ve 3x3'lük komşulukta beşinci değer, 5x5'lik komşulukta on üçüncü değer medyan değer olarak elde edilir [43].

6.2.2.3 Gauss Düzleştirme Filtresi

Gauss Düzleştirme Filtresi, bir Gauss fonksiyonu kullanarak belirli bir pikselin değerini, kendisi ve çevresindeki piksellerin ağırlıklı ortalaması ile değiştirir. Bu filtreleme yöntemi genellikle gürültüyü azaltmak, kenarları yumuşatmak veya genel bir bulanıklık etkisi elde etmek amacıyla kullanılır.

Belirlenen bir Gauss filtresi boyutu ve standart sapma değeri seçilir. Seçilen Gauss filtresi, her bir piksel için uygulanır. Her piksel, kendisi ve çevresindeki piksellerin Gauss fonksiyonu tarafından belirlenen ağırlıklı ortalaması ile değiştirilir. Gauss filtresinin matematiksel formülü eşitlik 6.1'deki gibidir [44].

$$G_{(x,y)} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} * e^{\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (6.1)$$

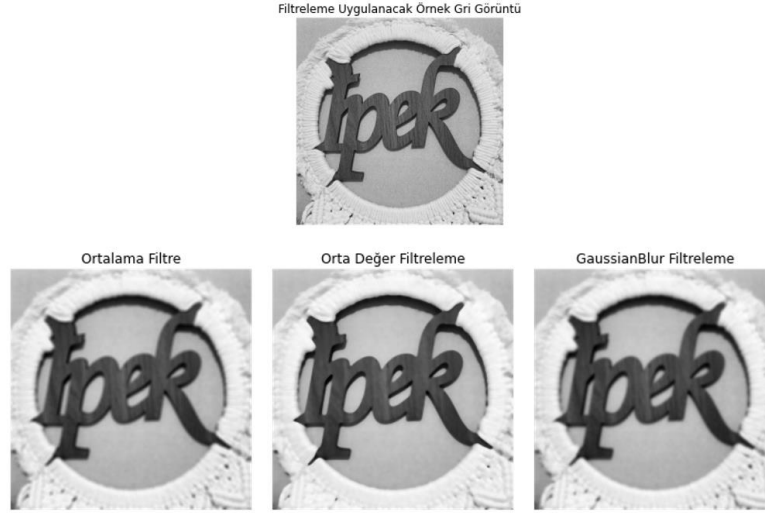
Eşitlikte;

$G_{(x,y)}$, Gauss fonksiyonunun değerini temsil eder.

σ , standart sapma parametresini ifade eder.

x ve y ise pikselin konumlarıdır.

Söz konusu filtreleme yöntemlerin örnek bir görüntüye uygulanması Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6. 5 Örnek bir görüntüye farklı filtreleme yöntemleri uygulama

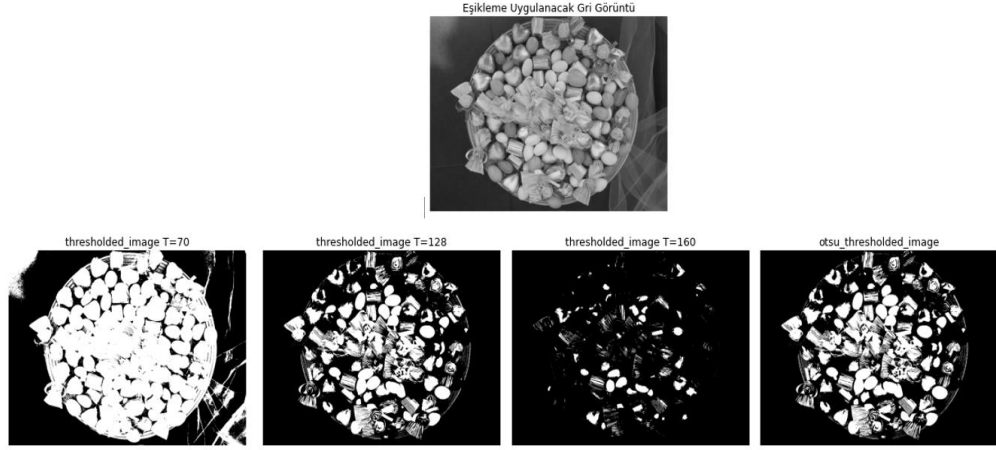
6.2.3 Eşik değer belirleme

Görüntü üzerinde belirli bir eşiği geçen veya geçmeyen pikselleri belirlemek için kullanılan bir işlemdir. Temel olarak, eşikleme işlemi, bir pikselin gri ton değerini bir eşik değeri ile karşılaştırır ve belirli bir kurala göre pikselin yeni değerini belirler. Diğer bir ifadeyle görüntünün piksel değerleri belirli bir miktarın üzerinde/altında olması durumuna göre piksel değerlerine işlemler yapan bir fonksiyondur. Eşikleme görüntülerin arka plan gürültülerini azaltma, segmentlere ayırma, nesnelere ayırt etmede kullanılabilir.

T eşik değeri ve $f(x,y)$ eşik değer fonksiyonuna ait eşitlik aşağıda verilmiştir [44]:

$$f(x,y) = \begin{cases} 255, & \text{eğer } f(x,y) > T(x,y) \text{ ise} \\ 0, & \text{eğer } f(x,y) \leq T(x,y) \text{ ise} \end{cases} \quad (6.2)$$

Eşik değerinin doğru seçilmesi çok önemlidir. Eşik değerinin olması gereken değerden az veya fazla belirlenmesi görüntünün içeriğinin bozulmasına sebebiyet verebilir. Bu nedenle doğru seçilmesi için farklı eşik değerleri ve görüntüye uygun metodların değerlendirilmesi gerekir. Farklı eşik değerleri eşliğinde örnek bir görüntüye uygulanan eşikleme görüntüleri Şekil 6.6'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere eşik değeri 70,128 ve 160 değeri ile otsu eşikleme metodunun uygulandığı görüntü resimleri mevcuttur. Bu resimlerden de anlaşılacağı üzere eşik farklı eşik değerlerinde görüntüde farklılıklar ve kayıplar da meydana gelebilmektedir. O yüzden eşik değerinin belirlenmesi görüntü işlemede önem arz etmektedir.



Şekil 6. 6 Örnek bir görüntüye farklı eşik değerlerinin uygulanması

6.2.4 Matematiksel morfolojik işlemler

Morfolojik işlemler sayesinde görüntüde inceltme, daraltma gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntem genellikle ikili görüntü modelinde siyah-beyaz görüntüler için kullanılır. En çok kullanılan ve bilinen matematiksel morfoloji işlemleri aşınma (erozyon), genişleme (dilasyon), açma ve kapama işlemleridir [44].

Açma işlemi, genellikle gürültüyü azaltmak ve nesne sınırlarını düzeltmek için, kapama işlemi, nesne sınırlarını kapatmak ve küçük boşlukları doldurmak için kullanılır. Aşınma işlemi, genellikle nesnelerin sınırlarını vurgulamak ve küçültmek için kullanılırken genişleme işlemi, genellikle nesnelere büyütme ve kenarları yumuşatmak için kullanılır. Bu morfolojik işlemlerin uygulandığı örnek resim görüntüleri Şekil 6.7’de verilmiştir.

Morfolojik İşlem Uygulanacak Örnek Gri Görüntü



opened_image



closed_image



eroded_image



dilated_image



Şekil 6. 7 Örnek bir görüntüye morfolojik işlemlerin uygulanması

6.2.5 Kenar bulma algoritmaları

Kenar bulma, bir görüntüdeki belirgin kenarları veya geçişleri tespit etme işlemidir. Kenarlar, bir nesnenin konturlarını veya görüntüdeki önemli yapıları belirtir. Görüntülere bazı ön işlemler uygulandıktan sonra görüntüye belirli filtreler uygulanması sonucunda görüntüde yer alan nesnelerin kenarları elde edilmektedir [44].

Literatürde en çok bilinen kenar bulma algoritmaları arasında Canny, Sobel ve Laplace kenar bulma yöntemlerini söyleyebiliriz. Söz konusu yöntemlerin örnek bir görüntüye uygulanması Şekil 6.8’de verilmiştir.



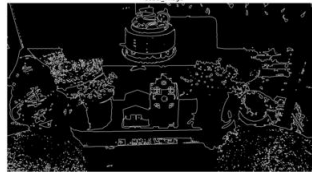
Kenar Bulma Algoritması Uygulanacak Gri Görüntü

canny edges



Canny Kenar Bulma Alg.

sobel_image



Sobel Kenar Bulma Alg.

laplacian



Laplacian Kenar Bulma Alg.

Şekil 6. 8 Örnek bir görüntüye kenar bulma algoritmalarının uygulanması

7. AİY SEÇİM PROBLEMİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ

Bu bölümde belirlenen AİY'ler ve kriterler kapsamında proses yeterliliklerinin kullanıcı tarafından girilebildiği bir uygulamada kriter ağırlıklarının AHP yöntemi ile belirlendiği alternatif AİY'lerin de TOPSIS yöntemi ile sıralandığı KDS modülü Python programlama dili ile yazılmış, açıklamaları da detaylı olarak arayüzler aracılığıyla verilmiştir.

7.1 AHP ve TOPSIS Yöntemlerini Kullanan KDS Modülü

Uygulama kapsamında kullanılan ve çalışmanın üçüncü bölümünde detaylandırılan AİY'ler ve ilgili kriterler özet olarak Tablo 7.1'de sunulmuştur. Bu 15 kriterden işlem özelliğine göre kullanıcı seçimi doğrultusunda belirlenenler kriterler kullanılmaktadır. KDS'de Miller teoremine göre 7+-2 kriter sayısının üzerine çıkılmamasına dikkat edilmiştir [45]. Bu 15 kriterin tamamı bir arada kullanılmamakta olup seçilen malzeme ve işleme göre KDS ile ilişkili olan kriterleri kullanıcı tarafından seçilmektedir.

Tablo 7. 1 Alternatif AİY ve kriterler özet tablosu

Sıra No	Alışılmamış İmalat Yöntemleri	Kriterler
1.	AJM-Abrasive Jet Machining Aşındırıcı Jet ile İşleme	Tolerans (mm)
2	WJM-Water Jet Machining Su Jeti İle İşleme	Yüzey Kalitesi (μmRa)
3	AWJM-Abrasive Water Jet Machining Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	Yüzey Hasarlama (mm)
4	USM-Ultrasonic Machining Ultrasonik İşleme	Köşe Yarıçap (mm)
5	RUSM- Rotary Ultrasonic Machining Döner Ultrasonik İşleme	Koniklik (mm/mm)
6	ECM-Electrochemical Machining Elektrokimyasal İşleme	Delik Çapı (mm)
7	ECG- Electrochemical Grinding Elektro Kimyasal Taşlama	Kesme Kalınlığı (mm)
8	ECH- Electrochemical Honing Elektro Kimyasal Honlama	L/D - t/w oranı
9	EDM -Electric Discharge Machining Elektrik Deşarjı İşleme	İşleme Hızı (mm^3/dak)
10	WEDM- Wire Electrical Discharge Machining Tel Erozyon ile İşleme	Malzeme

Sıra No	Alışılmamış İmalat Yöntemleri	Kriterler
11	CHM-Chemical Machining Kimyasal İşleme	Yatırım
12	EBM Electron Beam Machining Elektron Işını İşleme	Takım/Fikstür
13	LBM -Laser Beam Machining-Lazer Işını İşleme	Takım Aşınması
14	PAM -Plasma Arc Machining- Plazma Ark İşleme	Güç Tüketimi
		İşçilik

7.1.1 KDS Giriş Ekranı

Geliştirilen KDS'nin giriş ekranı Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Bu ekranda karar verici malzeme, proses ve seçimde kullanacağı kriterleri belirleyerek "Filtrele" butonuna basarak sonraki aşamaya ilerleyebilir. Bu aşamaların işleyişi ile ilgili detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

Şekil 7. 1 KDS giriş ekranı

7.1.2 Malzeme Seçimi

Belirlenmiş olan on dört adet AİY'den alternatif AİY kümesinin belirlenmesi için proses, şekil uygulamaları ve malzeme tipleri için değerlendirme yapılmalıdır. Kullanıcı işlem uygulayacağı malzemenin türünü Şekil 7.1'deki arayüzü üzerinden seçer. Seçimi müteakip uygulama, Tablo 7.2 (Kul ve ark., 2014) [2] kullanılarak uygun AİY'leri hafızasında muhafaza eder. Seçilen malzemenin türüne göre ana ekrandaki AİY'lerden uygun olmayanlar kırmızı renkte, uygun olanlar yeşil renkle ekranda gösterilir. Seramik malzeme seçimi örnek alınırsa uygulama, Tablo 7.2'deki bilgileri kullanarak filtreleme yapar ve Şekil 7.2'de olduğu gibi ekranda görünür. Tablo 7.2'de "1" prosesin uygunluğunu, "0" ise uygun olmadığını ifade eder. Seçilen malzemenin türüne göre ana ekrandaki AİY'lerden uygun olmayanlar kırmızı olarak ekranda gösterilir.

Tablo 7. 2.AİY-Malzeme uygun tablosu

PROSES	Titanyum	Alüminyum	Refrakter	Plastik	Çelik	Seramik	Süper Alaşımlar	Cam
AWJM	1	1	1	1	1	1	1	1
CHM	1	1	1	1	1	1	1	1
EBM	1	1	1	1	1	1	1	1
ECG	1	1	1	0	1	0	1	0
ECH	1	1	1	0	1	0	1	0
ECM	1	1	1	0	1	0	1	0
AJM	1	1	1	1	1	1	1	1
EDM	1	1	1	0	1	0	1	0
LBM	1	1	1	1	1	1	1	1
PAM	1	1	1	1	1	0	1	0
RUSM	1	1	1	1	1	1	1	1
USM	1	1	1	1	1	1	1	1
WEDM	1	1	1	0	1	0	1	0
WJM	1	1	1	1	1	1	1	1

Tab 1 Tab 2 Tab 3 Tab 4

Malzeme Seçimi

Alüminyum
 Çelik
 Süper Alaşımlar
 Titanyum
 Refrakter
 Plastik
 Seramik
 Cam

AİY

AWJM

CHM

EBM

ECG

ECH

ECM

AJM

EDM

LBM

PAM

RUSM

USM

WEDM

WJM

Şekil 7. 2 Seramik malzemesi için uygun AİY'lerin gösterimi

7.1.3 Proses seçimi

Kullanıcı, malzeme üzerinde yapılmasını istediği prosesin tipini uygulama üzerinden Şekil 7.3'teki ekran üzerinden seçer. Delik delme seçilirse, L/D oranı; Boşluk İşleme, kesme veya cep işleme seçilirse t/w oranının kullanıcıdan girmesi uygulama tarafından istenir. Uygulama, girilen bilgiler doğrultusunda Tablo 7.3'teki (Kul ve ark., 2014) [2] şekilsel yeterliliklere göre uygun AİY'leri belirler.

Tablo 7. 3 AİY'lerin şekilsel yeterlilikleri

PROSES	Delik Delme Operasyonları						Boşluk İşleme		Kesme		Cep İşleme		Bileme	Çapak Alma	Diş Açma
	L/D<20			L/D>20			t/w <10	t/w >10	t/w <2	t/w >2	t/w <10	t/w >10			
	D	0,20>D	D	D	0,20>D	D									
AJM	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
WJM	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1

PROSES	Delik Delme Operasyonları						Boşluk İşleme		Kesme		Cep İşleme		Bileme	Çapak Alma	Diş Açma
	L/D<20			L/D>20			t/w	t/w	t/w	t/w	t/w	t/w			
	D	0,20>D	D	D	0,20>D	D	<10	>10	<2	>2	<10	>10			
WAJM	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
USM	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
RUSM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ECM	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ECG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
ECH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
CHM	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
EDM	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WED	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
EBM	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
LBM	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
PAM	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0

Proses Seçimi

Delik Delme

Boşluk İşleme

Kesme

Cep İşleme

Bileme

Çapak Alma

Diş Açma

Şekil 7. 3 Proses seçimi

7.1.4 Uygun Kriterlerin Belirlenmesi

Kullanıcının bir önceki aşamada girmiş olduğu bilgilere göre uygun olan kriterlerin kullanıcıya sunulması için KDS Tablo 7.4' ü kullanır (Yurdakul ve Coğun,2003) [4]. Sonrasında kullanıcıya Şekil 7.4 ekranı üzerinden uygun kriterler arasından seçim yapabilmesine ve istenirse kriterler için performans değeri girilebilmesine imkan sağlanır. Performans değerleri girilmesi durumunda performans değerlerine göre uygun olmayan kriterler elenir ve ikili karşılaştırma matrisine eklenmez.

Kriterlerin Seçimi

- Tolerans
- Yüzey Kalitesi
- Yüzey Hasarlaması
- Köşe Yarıçap
- Koniklik
- İşleme Hızı(Sub)
- Minimum Delik Çapı
- Minimum Kesme Kalınlığı
- L/D ve t/w oranı
- Malzeme(Sub)
- Yatırım
- Takım/Fikstür
- Takım Aşınması
- Güç Tüketimi
- İşçilik

Şekil 7. 4 Kriter seçim ekranı

Tablo 7. 4 Kriterler için uygunluk tablosu

Kriter	Şekillendirme											
	Silindirik delik işleme						Boşluk işleme	Kesme	Cep işleme	Bileme	Çapak alma	Diş açma
	L/D < 20			L/D > 20								
D<0.05	0.20>D>0.05	D>0.20	D<0.05	0.20>D>0.05	D>0.20							
Tolerans	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yüzey kalitesi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yüzey hasarlaması	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Köşe Yarıçap	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Koniklik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Delik çapı	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Derinlik/Çap (L/D)	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Derinlik/genişlik (t/w)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Kesme kalınlığı	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
İşleme hızı	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

7.1.5 Son Eleme

Önceki adımda belirlenmiş olan kriterler ve kullanıcının proses için belirlediği değerlere göre uygun olmayan AİY'lerin elenme işlemi için Tablo 7.5 ve Tablo 7.6 (Kul,2012) [13], kullanılır. Ardından uygun olan AİY'ler ve kriterler kullanıcı ekranına yansıtılır.

Tablo 7. 5 Proses yeterlik kriterleri için değerler

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (μRa)			Yüzey Hasarlaması (mm)			Köşe Yarıçap (mm)			Koniklik (mm/mm)		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
AJM	0,12	0,05	0,03	1,25	0,6	0,25	0,03	0,025	0,02	0,25	0,2	0,15	0,006	0,005	0,004
WJM	0,05	0,03	0,02	0,4	0,3	0,2	0,0003	0,0002	0,0001	0,6	0,5	0,4	0,004	0,003	0,003
AWJM	0,06	0,04	0,026	0,4	0,3	0,2	0,03	0,025	0,02	0,6	0,5	0,4	0,004	0,003	0,003
USM	0,025	0,013	0,01	0,75	0,5	0,25	0,03	0,025	0,02	0,09	0,08	0,07	0,005	0,004	0,003
RUSM	0,022	0,012	0,008	0,75	0,5	0,25	0,03	0,025	0,025	0,09	0,08	0,07	0,005	0,004	0,003
ECM	0,1	0,05	0,025	1,5	1	0,2	0,006	0,005	0,004	0,25	0,2	0,15	0,003	0,002	0,001
ECG	0,03	0,025	0,01	0,5	0,3	0,2	0,003	0,002	0,001	0,14	0,13	0,12	0,003	0,002	0,001
ECH	0,015	0,013	0,01	0,8	0,5	0,2	0,003	0,002	0,001	0,14	0,13	0,12	0,003	0,002	0,001
CHM	0,08	0,03	0,01	2,5	2	0,5	0,006	0,005	0,004	1,35	1,25	1,15	0,4	0,3	0,2
EDM	0,1	0,025	0,01	3	2	0,3	0,03	0,02	0,01	0,5	0,4	0,3	0,003	0,002	0,001
WEDM	0,025	0,015	0,007	1,25	0,75	0,3	0,03	0,02	0,01	0,25	0,2	0,15	0,06	0,05	0,04
EBM	0,03	0,02	0,01	4	3	1	0,03	0,025	0,025	0,35	0,25	0,15	0,25	0,2	0,15
LBM	0,03	0,02	0,01	1,5	1	0,4	0,15	0,1	0,05	0,6	0,5	0,4	0,06	0,05	0,04
PAM	3	1,3	0,8	7,5	6	5	0,9	0,8	0,7	5	4	3	0,08	0,07	0,07
Kriterler	Delik Çapı (mm)			Kesme Kalınlığı (mm)			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı (mm ³ /dak)			Yatırım		
AİY	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
AJM	0,16	0,15	0,14	0,15	0,1	0,09	8	10	12	20	50	200	1	2	3
WJM	0,16	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	25	30	35	250	500	2000	2	3	4
AWJM	0,16	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	25	30	35	300	600	2000	3	4	5
USM	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	2	2,5	3	300	600	2100	2	3	4
RUSM	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	160	180	200	400	800	2400	3	4	5
ECM	0,6	0,5	0,4	0,11	0,1	0,09	25	30	35	500	2000	14000	8	9	10
ECG	115	100	85	115	100	85	0,8	1	1,2	70	1000	6000	7	8	9
ECH	115	100	85	115	100	85	0,8	1	1,2	100	700	2000	7	8	9
CHM	0,11	0,1	0,09	0,11	0,1	0,09	2	3	3,5	15	40	140	5	6	7
EDM	0,16	0,15	0,14	0,06	0,05	0,04	25	30	35	100	800	1300	7	8	9
WEDM	0,12	0,11	0,1	0,16	0,15	0,14	0,8	1	1,2	95	250	300	7	8	9
EBM	0,1	0,04	0,035	0,1	0,04	0,035	12	15	18	0,3	2	6	8	9	10
LBM	0,06	0,05	0,04	0,11	0,1	0,09	17	20	23	0,1	2	5	7	8	9
PAM	2,2	2	1,8	2,2	2	1,8	8	10	12	20000	50000	75000	1	2	3
	Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik					
AJM	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U			
WJM	2	3	4	5	6	7	1	2	3	3	4	5			

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (μmRa)			Yüzey Hasarlaması (mm)			Köşe Yarıçap (mm)			Koniklik (mm/mm)		
	2	3	4	3	4	5	1	2	3	2	3	4			
AWJM	2	3	4	3	4	5	1	2	3	2	3	4			
USM	2	3	4	5	6	7	1	3	4	2	3	4			
RUSM	5	6	7	5	6	7	3	4	5	5	6	7			
ECM	6	7	8	6	7	8	2	3	4	5	6	7			
ECG	7	8	9	2	3	4	8	9	10	6	7	8			
ECH	6	7	8	3	4	5	8	9	10	5	6	7			
CHM	6	7	8	3	4	5	8	9	10	5	6	7			
EDM	2	3	4	1	2	3	6	7	8	2	3	4			
WEDM	8	9	10	8	9	10	2	3	4	2	3	4			
EBM	2	3	4	8	9	10	2	3	4	2	3	4			
LBM	1	2	3	1	2	3	2	3	4	7	8	9			
PAM	1	2	3	1	2	3	1	2	3	7	8	9			
	2	3	4	1	2	3	2	3	4	1	2	3			

Tablo 7. 6 Malzeme uygunluk performans tablosu

Malzeme	Aluminyum			Çelik			Süper Alaşım			Titanyum		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
Proses	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
AJM	5	6	7	5	6	7	8	9	10	5	6	7
WJM	5	6	7	2	3	4	2	3	4	2	3	4
AWJM	5	6	7	5	6	7	8	9	10	5	6	7
USM	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
RUSM	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
ECM	5	6	7	8	9	10	8	9	10	5	6	7
ECG	2	3	4	8	9	10	8	9	10	5	6	7
ECH	2	3	4	8	9	10	8	9	10	5	6	7
CHM	8	9	10	8	9	10	5	6	7	5	6	7
EDM	5	6	7	8	9	10	8	9	10	8	9	10
WEDM	5	6	7	8	9	10	8	9	10	8	9	10
EBM	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5	6	7
LBM	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5	6	7
PAM	8	9	10	8	9	10	8	9	10	5	6	7
Malzeme	Refrakter			Plastik			Seramik			Cam		
Proses	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
AJM	8	9	10	5	6	7	8	9	10	8	9	10
WJM	5	6	7	8	9	10	2	3	4	2	3	4
AWJM	5	6	7	8	9	10	8	9	10	8	9	10
USM	8	9	10	5	6	7	8	9	10	8	9	10
RUSM	8	9	10	5	6	7	8	9	10	8	9	10
ECM	5	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECG	8	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECH	8	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHM	2	3	4	2	3	4	2	3	4	5	6	7
EDM	8	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WEDM	8	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBM	2	3	4	5	6	7	8	9	10	5	6	7
LBM	2	3	4	5	6	7	8	9	10	5	6	7
PAM	2	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Maliyet kriteri olduğu için L değeri yüksek, U değeri ise düşük değere sahiptir.

7.1.6 Karar matrisinin oluşturulması

Uygulama üzerinden girilen bilgiler ve elemeler neticesinde AİY'ler ve kriterlerden oluşan karar matrisi oluşturulur. Veri tabanında ilgili kritere ait olan alt limit, ortalama ve üst limit değerleri literatürden derlenmiştir. Geliştirilen KDS'de her üç değer de kullanılabilir durumda olup, çalışmamızda yapılan uygulamada ortalama (M) değerleri baz alınarak TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Uygulama ekranlarından AHP yöntemi için ikili karşılaştırma matrislerine veri girişi yapılabilmektedir. Bu girilmiş bilgilere göre ekrandaki ara yüz için Şekil 7.5 örnek verilebilir. Kriter ağırlık vektörünün tutarlılık oranları da uygulama sonucunda kontrol edilebilmektedir.



	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	isleme_hizi	yatirim	takim_asinmasi
tolerans						
yuzey_kalitesi						
yuzey_hasarlama						
isleme_hizi						
yatirim						
takim_asinmasi						

Şekil 7. 5. AHP için ikili karşılaştırma matrisi

Kullanıcının uygulama üzerinden girmiş olduğu bilgilere ve şekilsel yeterliliklere göre oluşturulan karar matrisinin ve kriter ağırlık vektörünün TOPSIS metoduna otomatik aktarılarak TOPSIS yöntemiyle sıralama sonuçları elde edilmektedir. Literatürde yer alan çalışmalardaki vakalar göz önünde bulundurularak bazı örnek vakalar, uygulama ekran görüntüleri ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

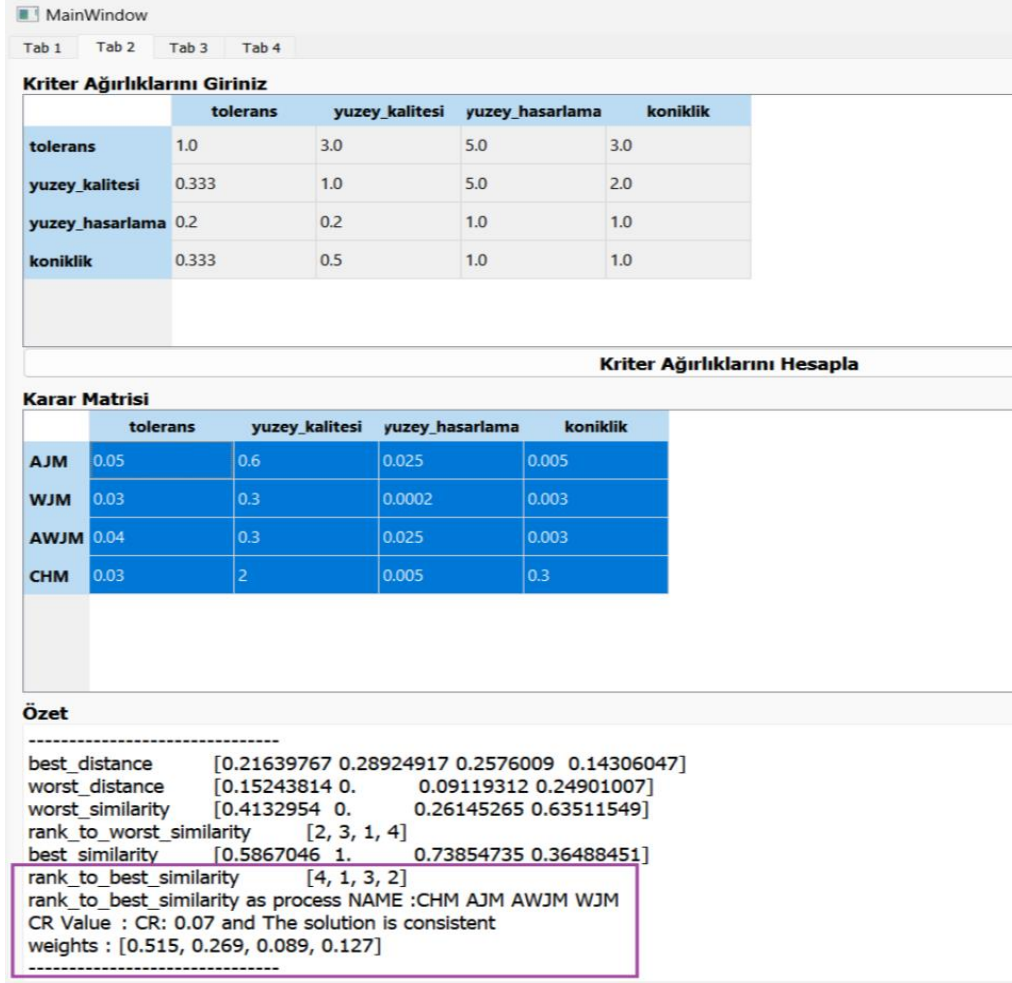
Örnek 1: Seramik malzemeye delinecek delme işlemi için Tablo 7.7'deki bilgilerin uygulamaya girilmesi ile Şekil 7.6 ekran görüntüsü elde edilir.

Tablo 7. 7 Örnek 1 Problem verileri

Örnek 1		
İş malzemesi	Şekilsel Yeterlilik	Proses Yeterlilik
Seramik	Delik delme	D = 0,64mm, L/D = 5,7mm

Şekil 7. 6 Örnek 1: Malzeme, proses ve kriter bilgilerinin girilmesi

İlgili kriterler dahilinde ikili karar matrisini uygulama ekrana getirir ve kullanıcıya kriterleri olduğu ağırlık vektörünü kullanarak TOPSIS metodu çalışarak uygun imalat yöntemlerinin sıralamasını Şekil 7.7 'deki gibi verir. CHM birinci sırada, AJM ise 2. Sırada yer alan AİY olarak karşımıza çıkmıştır. AWJM ve WJM yöntemleri ise karar verici tarafından göz önünde bulundurulabilecek diğer 2 yöntem olarak önerilmektedir.



Şekil 7. 7 Örnek 1: AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi

Örnek 2: Tablo 7.8'deki bilgilerin uygulamaya girilmesi ile Şekil 7.7 ekran görüntüsü elde edilir. Ön eleme işlemi adından ikili karar matrisi doldurulur, AHP çalışır ve ağırlık vektörünü oluşturarak TOPSIS metodu için girdi oluşur. TOPSIS'in çalışması ile de Şekil 7.9 elde edilir. Bu sonuçlara göre girilen değerlendirme skorları için ağırlık vektörü tutarlı, TOPSIS sıralamasına göre de EDM birinci sırada, CHM ise ikinci sırada yer almaktadır.

Tablo 7. 8 Örnek 2 Problem verileri

Örnek 2		
İş malzemesi	Şekilsel Yeterlilik	Proses Yeterlilik
Çelik 4140	Cep işleme	Tolerans = 0,013mm, t/w = 3,86

MainWindow

Tab 1 Tab 2 Tab 3 Tab 4

Malzeme Seçimi

Alüminyum

Çelik

Süper Alaşımlar

Titanyum

Refrakter

Plastik

Seramik

Cam

Proses Seçimi

Delik Delme

Boşluk İşleme

Kesme

Cep İşleme

Bileme

Çapak Alma

Diş Açma

Kriterlerin Seçimi

Tolerans

Yüzey Kalitesi

Yüzey Hasarlıama

Köşe Yarıçap

Koniklik

İşleme Hızı(Sub)

Minimum Delik Çapı

Minimum Kesme Kalınlığı

L/D ve t/w oranı

Malzeme(Sub)

Yatırım

Takım/Fikstür

Takım Aşınması

Güç Tüketimi

İşçilik

AİY

t/w Oranı
3.86

Tolerans
0.013

Yüzey Kalitesi

Yüzey Hasarlıama

Köşe Yarıçap

Koniklik

Derinlik/Genişlik (t/w)

İşleme Hızı

Malzeme(Sub)

Yatırım

Takım/Fikstür

Takım Aşınması

Güç Tüketimi

İşçilik

Şekil 7. 8 Örnek 2: Malzeme, Proses ve Kriter Bilgilerinin Girilmesi

Kriter Ağırlıklarını Giriniz					
	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	isleme_hizi	yatirim
tolerans	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
yuzey_kalitesi	0.333	1.0	2.0	4.0	6.0
yuzey_hasarlama	0.2	0.5	1.0	3.0	5.0
isleme_hizi	0.143	0.25	0.333	1.0	2.0
yatirim	0.111	0.167	0.2	0.5	1.0

Kriter Ağırlıklarını Hesapla

Karar Matrisi					
	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	isleme_hizi	yatirim
USM	0.013	0.5	0.025	600	3
RUSM	0.012	0.5	0.025	800	4
CHM	0.03	2	0.005	40	6
EDM	0.025	2	0.02	800	8

Özet

```

best_distance [0.24008682 0.25029914 0.07996617 0.06348199]
worst_distance [0.07654352 0.07974919 0.25013756 0.20944843]
worst_similarity [0.2417441 0.24162881 0.75775441 0.76740595]
rank_to_worst_similarity [2, 1, 3, 4]
best_similarity [0.7582559 0.75837119 0.24224559 0.23259405]
rank_to_best_similarity [4, 3, 1, 2]
rank_to_best_similarity as process NAME :EDM CHM USM RUSM
CR Value : CR: 0.03 and The solution is consistent
weights : [0.523, 0.232, 0.144, 0.063, 0.038]

```

Şekil 7. 9 Örnek2: AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi

Sonuç olarak, geliştirilen KDS ile AIY seçim problemine uygun bir uygulama AHP ve TOPSIS yöntemleriyle Python programlama dili kullanılarak geliştirilebilmiştir.

7.2 Görüntü İşleme Teknikleri ile İmalat Resimlerinin İncelenmesi

Tezin bu bölümünde elektrokimyasal işleme yöntemi ile delinmiş delik resimlerinin üzerinden görüntü işleme teknikleri ile veriler elde edilmiş ve işlenmiştir. Söz konusu deneylere ait resimler Ayhan [46]'ın doktora tez çalışmasından derlenmiştir. İşlenen veriler ile ortaya çıkan performans değerlendirme çıktıklarına göre de hangi işleme parametrelili resmin daha iyi sonuçlar verdiği incelenmeye çalışılmıştır.

7.2.1 İmalat resimlerinin elde edilmesi

Bu tez kapsamında AIY'lerle işlenmiş parçaların resimleri üzerinde görüntü işleme tekniklerinin uygulanması ile veri elde etme çalışmaları üzerine çalışılmıştır. Bu kapsamda ise Ayhan [46]'ın doktora tez içeriğindeki elektrokimyasal işleme yöntemi ile elde edilmiş deliklerin resimleri baz alınmıştır. Çalışma kapsamında; yüksek hız çeliği numunesi üzerine kör delikler, elektrokimyasal işleme yöntemi ile delinmiştir. Elektrokimyasal delik delme yönteminde işleme parametrelerinin kesit geometrisi üzerine olan etkisinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılmış ve deneylere ait parametreler Tablo 7.9'da verilmiştir [46].

Tablo 7. 9 Deney parametreleri

Deney Parametreleri	İşleme Değerleri		
Deney Numunesi	Yüksek Hız Çeliği		
Takım Malzemesi	Pirinç		
Takım Çapı	1,5 mm		
Takım İçi Geometrisi	Çoklu Delikli Tüp		
Takım Yalıtımı	Poliolefin		
Yalıtılmış Takım Çapı	2,05 mm		
Takım İlerleme Hızı	0,2 mm/dak		
İşleme Derinliği	2 mm		
Elektrolit İçeriği	NaCl Çözeltisi		
Elektrolit Konsantrasyonu	100 g/l	125 g/l	150 g/l
Elektrolit Basıncı	40 Bar		
İşleme Gerilimi	21 V	23 V	25 V
İşleme Gerilimi Çalışma Oranı	0,50	0,75	1,00
İş Parçası – Takım Arası Başlangıç Boşluğu	0,1 mm		

Tablo 7.9'da görüleceği üzere elektrolit konsantrasyonu, işleme gerilimi ve gerilim çalışma oranı için 3 farklı değer (seviye) belirlenirken, takım ilerlemesi için 2 farklı değer belirlenerek diğer deney parametreleri ise tek değerde sabit tutulmuştur. Deney sonuçlarının doğruluğunun yüksek olması ve kararlı deneylerin yapılabilirliğinin gözlemlenmesi için 2 mm takım ilerlemesi verilen deneylerde her bir deney 3 kere tekrar edilerek deneyler yapılmıştır. 3 değişkenin 3 farklı seviyesi için yapılması gereken deney sayısı 27 iken, her birinin 3 kere tekrar edilmesi ile toplam 81 tane deney yapılmıştır. 81 deney yapıldıktan sonra, numuneler parlatılarak yüzeylerinde oluşan korozyon tabakası temizlenerek deney sonuçları mikroskop ortamında incelenmiştir. Numunelerin parlatılması ile deliklerin kesit

görünüşlerinin ve boyutlarının mikroskop görüntülerinde daha net görüntülenmesi sağlanmıştır. Numunelerin parlatılması işleminden sonra mikroskopta görüntüleme işlemi için deney numunelerinin görüntüsü Dino-Lite marka AM4815ZTL model dijital mikroskop ile çekilmiştir [46].

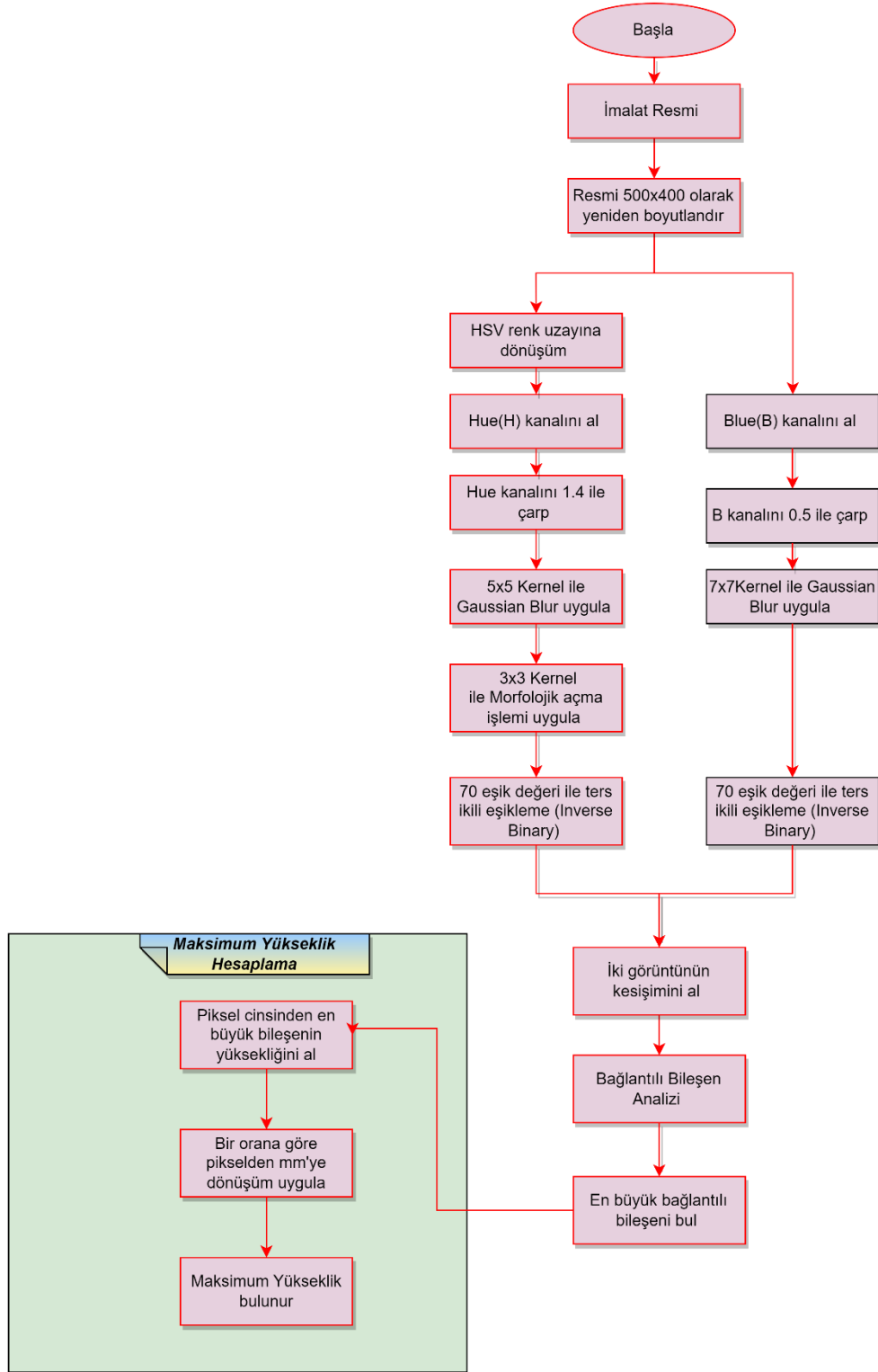
Kör deliklerin oluşturulduğu deneylerin performans çıktıları incelenerek, MINITAB’da cevap yüzeyi yöntemi ve yanıt en iyileme aracı (response optimizer) ve AHP yöntemleri yardımıyla farklı karar verme ve en iyileme yaklaşımları kullanılarak en uygun işleme parametreleri tespit edilmiştir [46].

7.2.2 İmalat resimlerinin görüntü işleme teknikleri ile işlenerek değerlendirilmesi

Elektrokimyasal işleme metodu ile işlenerek elde edilmiş delik resimlerine görüntü işleme teknikleri uygulanarak performans değerlendirmek için farklı ölçütlerden yararlanılmıştır.

7.2.2.1 Delik kesitinin maksimum yüksekliğini bulma

Elektrokimyasal delik delme işlemi sonrasında elde edilen deliklerin kesit görüntülerinden maksimum delik derinliğini elde etme sürecinin mantıksal akışı için algoritma adımları Şekil 7.10 ‘da verilmiştir.



Şekil 7. 10 Delik kesitinin maksimum yüksekliğini bulmak için görüntü işleme adımları

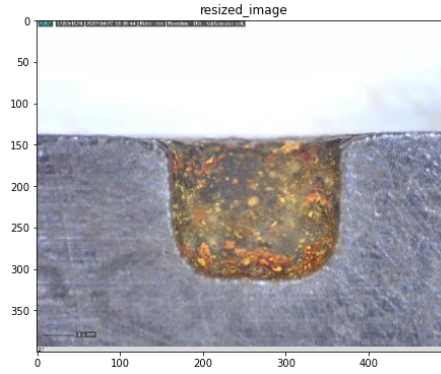
Şekil 7.10'da verilen algoritma adımları aşağıda listelenmiştir:

“İmalat Resmi”: İlgili imalat resmi yüklenir. Örnek delik kesiti resmi olarak Şekil 7.11'deki resmi verebiliriz.



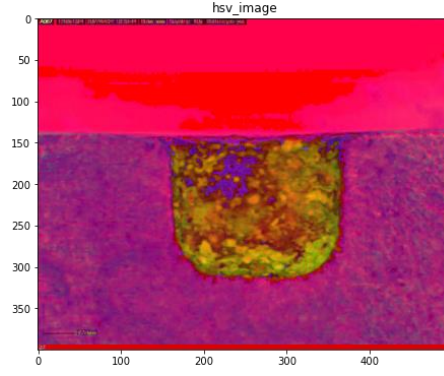
Şekil 7. 11 Örnek delik kesiti resmi

“Resmi 500x400 olarak yeniden boyutlandır” :Resim 500 piksel genişliğinde ve 400 piksel yüksekliğinde olacak şekilde yeniden boyutlandırılır. Yeniden boyutlandırma örneği olarak Şekil 7.12 verilmiştir.



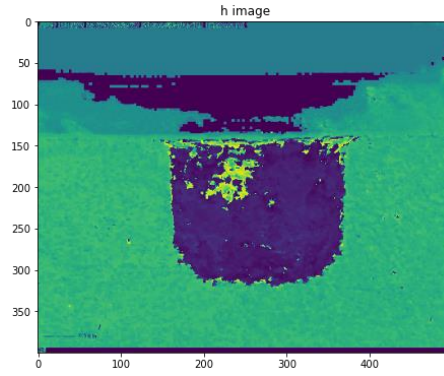
Şekil 7. 12 Yeniden boyutlandırılmış örnek resim

“HSV renk uzayına dönüşüm” : Renk uzayları, görüntü üzerindeki renk bilgisini temsil etmek için kullanılan matematiksel modellerdir. HSV (Renkton, Doygunluk, Değer) renk uzayı, Hue, Saturation ve Value (Değer) bileşenlerinden oluşur. Bir görüntü üzerinde renk analizi yapmak veya belirli bir renk aralığını tanımlamak amacıyla kullanılır. Bir renk uzayındaki (color space) bir görüntünün renk temsilini değiştirmek anlamına gelir. HSV, Renkton (Hue), Doygunluk (Saturation), ve Değer (Value) bileşenlerinden oluşan bir renk uzayıdır. HSV renk uzayına dönüşüm için Şekil 7.13 örnek verilmiştir.



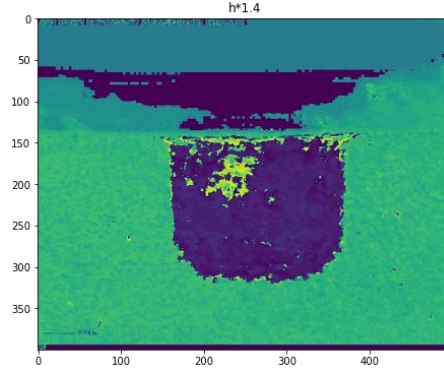
Şekil 7. 13 HSV renk uzayına dönüşüm örnek resmi

“Hue(H) kanalını al” :Hue (Renkton) kanalı, temel renkleri temsil eden bir açısal değerle ifade edilen bir bileşendir. Hue kanalı, bir görüntünün hangi renkler içerdiğini belirtir. Hue kanalında her bir renk bir açıyla temsil edilir ve genellikle 0 ila 360 derece arasında bir değer alır. Örnek olarak Şekil 7.14 verilmiştir.



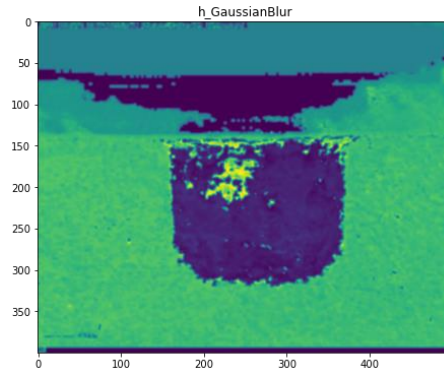
Şekil 7. 14 H kanalı bulma örnek resmi

“Hue kanalını 1.4 ile çarp”: Görüntünün HSV renk uzayındaki Hue (H) kanalının her piksel değerini 1.4 ile çarpmak anlamına gelir. Hue kanalı, temel renkleri temsil eden bir açısal değerle ifade edilen bir bileşendir. Bu tür bir işlem, renkler üzerinde genel bir etki yaratmak ve görüntü üzerindeki belirli renkleri vurgulamak veya değiştirmek için kullanılabilir. Örnek olarak Şekil 7.15 verilmiştir.



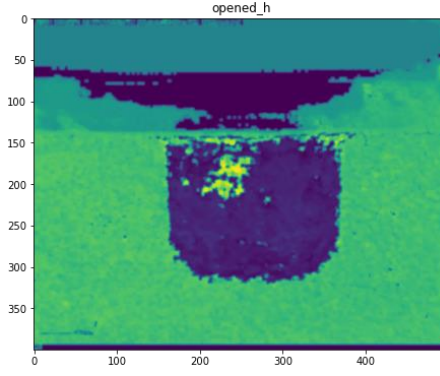
Şekil 7. 15 Hue kanalının 1.4 ile çarpılmış örnek resmi

“5x5 Kernel ile Gaussian Blur uygula” : Görüntü üzerinde Gaussian bulanıklığı (blurring) uygulamak için kullanılan bir filtre veya çekirdek (kernel) boyutunu belirtir. Gaussian bulanıklığı, bir görüntüdeki gürültüyü azaltmak veya kenarları yumuşatmak için kullanılan bir filtreleme tekniğidir. Bu teknik, bir Gaussian fonksiyonunun ağırlıklı ortalamasını alarak pikselleri yumuşatır. 5x5 boyutundaki bir kernel, bir görüntüdeki her pikselin etrafında 5x5 piksellik bir bölgeyi kapsayan bir matrisi ifade eder. Özetle 5x5 boyutundaki bir Gaussian bulanıklığı uygulanır. Örnek olarak Şekil 7.16 verilmiştir.



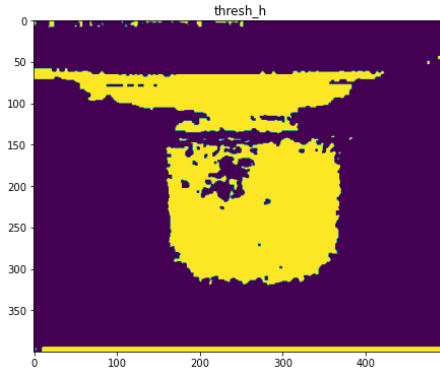
Şekil 7. 16 H kanalı için 5x5 Kernel ile Gaussian Blur örnek resmi

“3x3 kernel ile morfolojik açma işlemi uygula” Morfolojik işlemler, görüntüdeki nesnelerin şekil ve yapısını değiştirmek için kullanılan temel işlemlerdir. Açma işlemi, görüntüdeki küçük nesnelere ve gürültüyü ortadan kaldırmak için yaygın olarak kullanılır. Görüntü üzerinde morfolojik açma işlemi uygulamak için kullanılan bir çekirdek (kernel) boyutunu belirtir. Bu ifadedeki "3x3 Kernel" ise, açma işlemi sırasında kullanılan çekirdek boyutunu belirtir. 3x3 boyutundaki bir çekirdek, her pikselin etrafında 3x3 piksellik bir bölgeyi kapsayan bir matrisi ifade eder. Örnek olarak Şekil 7.17 verilmiştir.



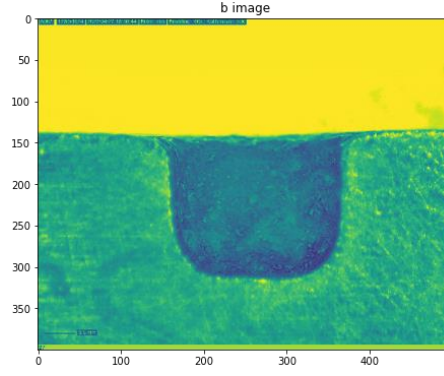
Şekil 7. 17 3x3 kernel ile morfolojik açma işlemi örnek resmi

“70 eşik değeri ile ters ikili eşikleme (Inverse Binary)” :Görüntü üzerinde ters ikili eşikleme işlemi uygulandığını ve eşik değerinin 70 olduğunu belirtir. İkili eşikleme işlemi, bir görüntüdeki pikselleri belirli bir eşik değeriyle karşılaştırarak iki farklı gruba ayırmak için kullanılır. Bu işlemi, eşik değerinden düşük pikselleri bir duruma, eşik değerinden yüksek pikselleri ise diğer bir duruma atar. Ters ikili eşikleme işlemi genellikle nesne tespiti, kenar belirleme veya belirli bir özellik için görüntü ön işleme adımı olarak kullanılır. Bu işlem sonucunda, eşik değerinden küçük pikseller siyah (0) olarak işaretlenirken, eşik değerinden büyük pikseller beyaz (255) olarak işaretlenir. H kanalı için örnek olarak Şekil 7. 18 verilmiştir.



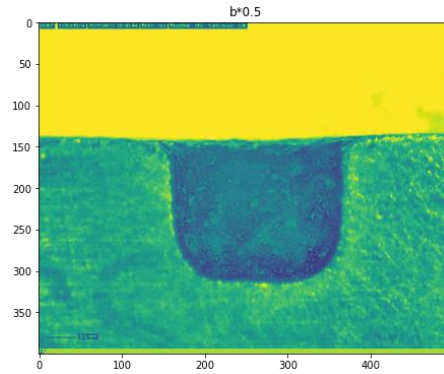
Şekil 7. 18 H kanalı için 70 eşik değeri ile ters ikili eşikleme örnek resmi

“Blue(B) kanalını al” : Bir renkli görüntüden mavi bileşeni (Blue channel) elde etmek anlamına gelir. Renkli görüntüler genellikle RGB (Red, Green, Blue - Kırmızı, Yeşil, Mavi) renk uzayında temsil edilir. Her bir pikselin renk bilgisi, bu üç temel renk bileşeninin kombinasyonu ile ifade edilir. B kanalı için örnek olarak Şekil 7.19 verilmiştir.



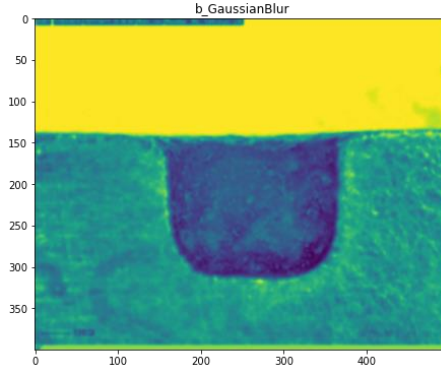
Şekil 7. 19 B kanalını bulma örnek resmi

“B kanalını 0.5 ile çarp” :Renkli görüntüdeki mavi (Blue) kanal değerlerini 0.5 (yarıya) çarpmayı ifade eder. Renkli görüntüler genellikle RGB (Red, Green, Blue - Kırmızı, Yeşil, Mavi) renk uzayında temsil edilir. Her bir renk kanalı, bir pikselin o renk bileşeninin şiddetini belirtir. Görüntü üzerinde belirli bir renk tonunu veya bileşeni vurgulamak veya zayıflatmak için kullanılabilir. Örnek olarak Şekil 7. 20 verilmiştir.



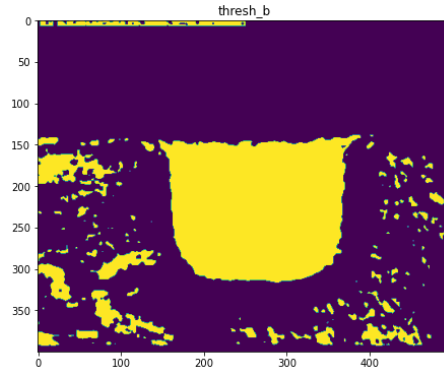
Şekil 7. 20 B kanalının 0.5 ile çarpılmış örnek resmi

“7x7 Kernel ile Gaussian Blur uygula”: Görüntünün B kanalının 0.5 ile çarpılmış haline 7x7 Kernel ile Gaussian Blur uygulanır. Örnek olarak Şekil 7. 21 verilmiştir.



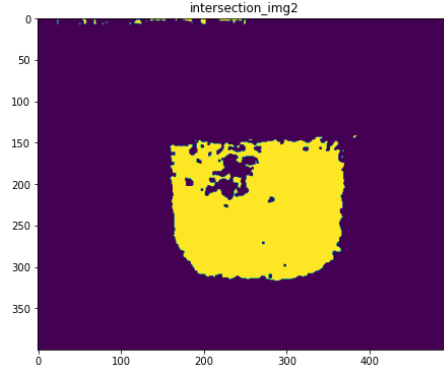
Şekil 7. 21 B kanalı için 5x5 Kernel ile Gaussian Blur örnek resmi

“70 eşik değeri ile ters ikili eşikleme (Inverse Binary)”: B kanalı için eşikleme yapılır. B kanalı için eşiklemenin örneği Şekil 7.22 verilmiştir.



Şekil 7. 22 B kanalı için 70 eşik değeri ile ters ikili eşikleme örnek resmi

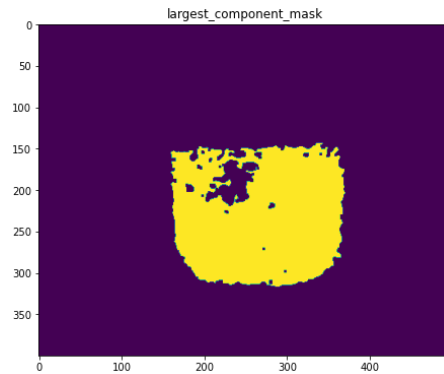
“İki görüntünün kesişimini al” :İki görüntünün kesişimini (intersection) veya ortak alanını ifade eder. İki görüntünün kesişimi, her iki görüntüde de bulunan pikselleri temsil eder. Bu, iki görüntünün ortak piksellerini ifade eden yeni bir görüntü oluşturmak anlamına gelir. Özellikle ikili (siyah-beyaz) görüntülerde, pikseller genellikle iki değer alır: 0 (siyah) veya 1 (beyaz). İki görüntünün kesişimi, her iki görüntüde de beyaz olan pikselleri içerir. Bu işlem, iki görüntünün ortak nesnelere veya bölgesini belirlemek için kullanılabilir. Örnek olarak Şekil 7. 23 verilmiştir.



Şekil 7. 23 H ve B kanalından gelen iki görüntünün kesişiminin örnek resmi

“Bağlantılı Bileşen Analizi”: Görüntüde birbirine bağlı piksellerin gruplandırılmasını ve aynı nesneye ait olduklarını belirlemek için kullanılan bir görüntü işleme tekniğidir. Bu analiz, bir nesnenin bileşenlerini (bağlı bileşenler olarak da adlandırılır) belirleyerek, nesnelerin tespiti, segmentasyon ve özellik çıkarma gibi birçok uygulama için kullanılır.

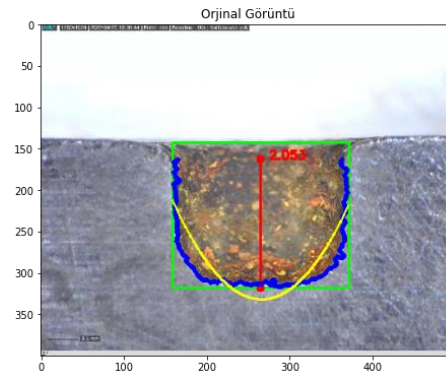
“1_En büyük bağlantılı bileşeni bul”: Görüntü üzerindeki bağlı bileşenler arasında en büyük olanı veya en büyük alanlı olanı bulmayı ifade eder. Bu, görüntüdeki nesneler arasında en büyük olanı belirlemek ve diğer küçük bileşenleri elemek için kullanılır. Bu tür bir işlem, nesne tespiti ve segmentasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Bu analiz sonucunda elde edilen etiketli görüntüde, her bir bağlı bileşene bir etiket atanır. Bu etiketler genellikle sıralanmış numaralardır ve bu numaralar, bağlı bileşenlerin alanlarına göre sıralanmış olabilir. Bu işlem de bu etiketli görüntüdeki en büyük alanlı bağlı bileşeni belirler. En büyük bağlantılı bileşen için Şekil 7.24 örnek verilmiştir.



Şekil 7. 24 1_En büyük bağlantılı bileşen bulma için örnek resim

“Piksel cinsinden en büyük bileşenin yüksekliğini al” : Görüntü üzerindeki en büyük bileşenin yüksekliğini piksel cinsinden elde etmek anlamına gelir. Bu tür bir işlem, genellikle görüntü analizi veya nesne tespiti uygulamalarında kullanılır. Pikselleri gerçek dünya ölçülerine dönüştürmek için bir oran kullanma anlamına gelir.

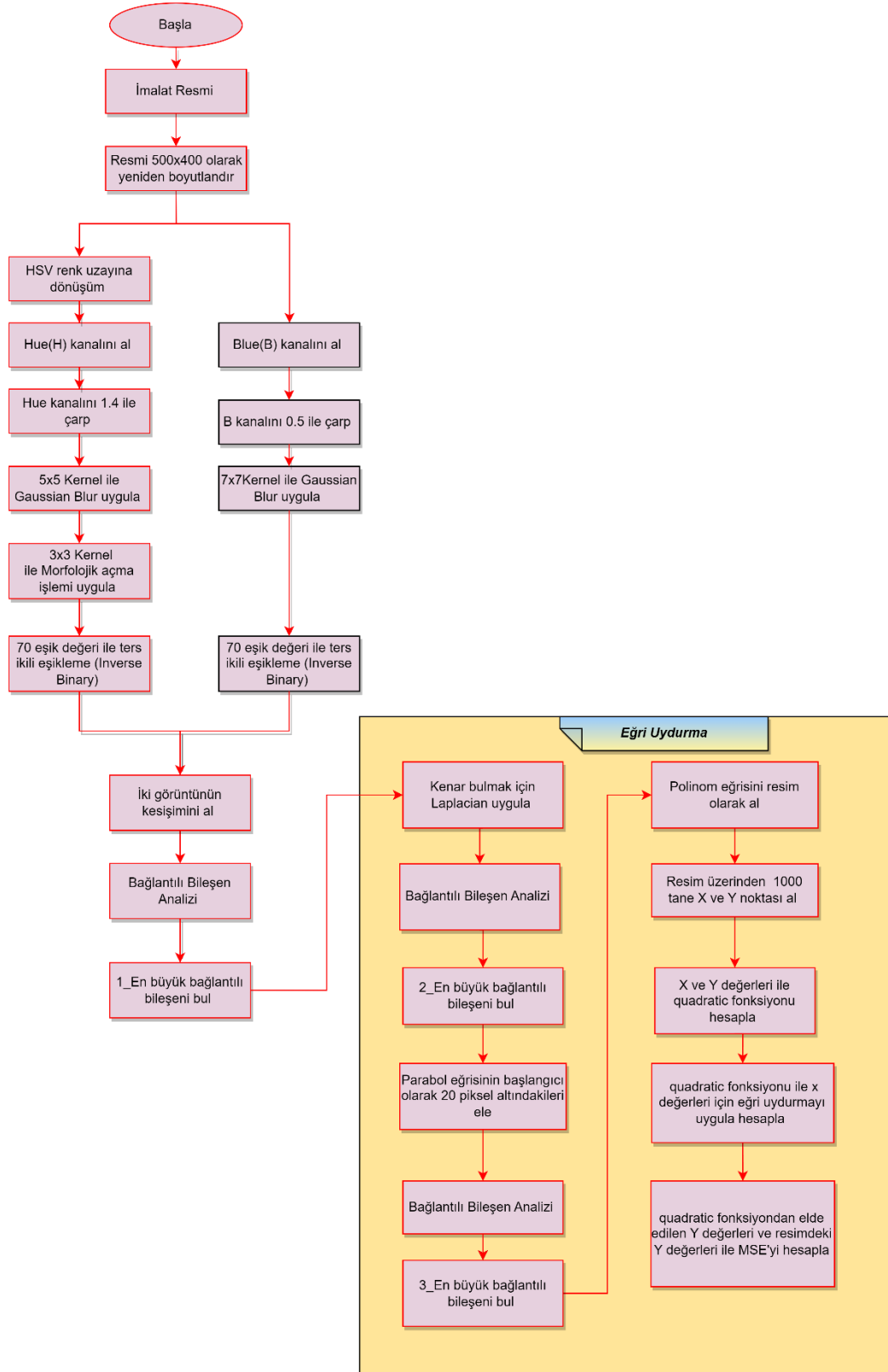
“Bir orana göre pikselden mm'ye dönüşüm uygula”: Bu tür bir dönüşüm, görüntü üzerinde belirli bir ölçüm yapılmak istendiğinde veya görüntü üzerindeki nesnelerin boyutlarını gerçek dünya birimlerine çevirmek istendiğinde kullanılır. Bu işlem için bir oran belirlenir, genellikle piksel başına milimetre oranı kullanılır. Bu oran, bir pikselin gerçek dünya ölçülerinde ne kadar mesafeye denk geldiğini belirtir. Bu oranı kullanarak, bir görüntü üzerinde belirli bir mesafeyi milimetre cinsinden ölçmek mümkün olur. Bu tür bir dönüşümü gerçekleştirmek için, oranı bilmemiz ve görüntüdeki mesafeleri piksel cinsinden ölçebilmeniz gerekir. Ardından, bu piksel mesafelerini oranla çarparak gerçek dünya ölçülerine dönüştürebiliriz. Örnek resim olarak yükseklik hesaplama algoritma adımları neticesinde Şekil 7.25'teki imalat resmi üzerinde yükseklik değeri verebiliriz.



Şekil 7. 25 Örnek İmalat resmi üzerinde bulunan yükseklik değerinin gösterimi

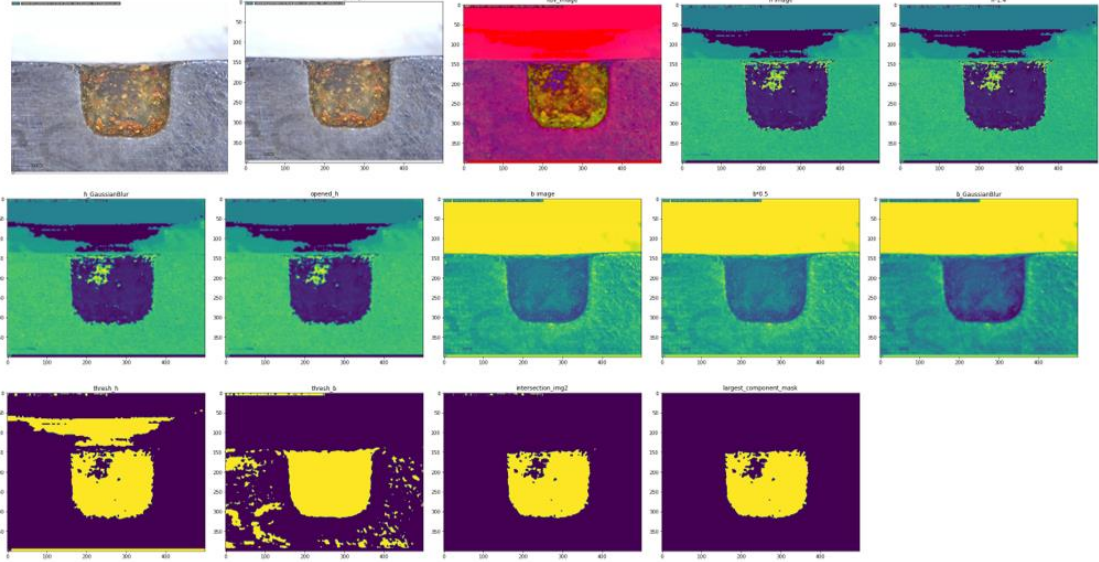
7.2.2.2 Delik kesiti görüntüsüne eğri uydurma ve MSE değerlerini hesaplama

Elektrokimyasal delik delme işlemi sonrasında elde edilen deliklerin kesit görüntülerinin yüzey pürüzlülüğü için performans çıktısı olarak parabol uydurma sürecinin mantıksal akışı için algoritma adımları Şekil 7.26 'da verilmiştir.



Şekil 7. 26 Delik kesitinin parabol uydurma ile MSE değerlerini bulan görüntü işleme adımları

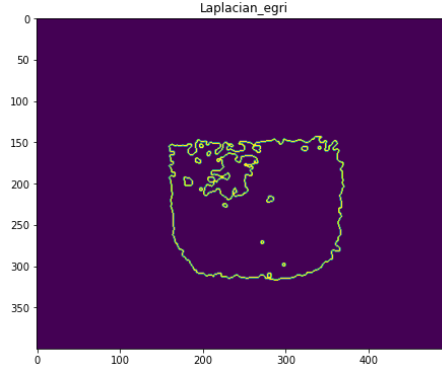
Şekil 7.26’da verilen algoritma adımlarından ilgili bazı aşamalar bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bu sebeple eğri uydurma aşamalarına kadar olan kısımların özet hali Şekil 7.27’de verilmiştir.



Şekil 7. 27 İmalat resmi üzerinden eğri uydurma aşaması öncesindeki adımların örnek resimleri

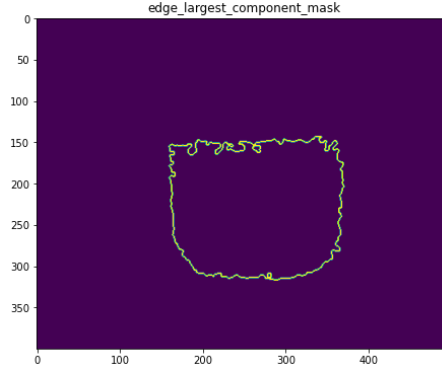
Akıştaki sarı renk ile taralı alanda; eğri uydurma ile elde edilen MSE değerlerinin hesaplama adımlarına yer verilmiştir ve aşağıda açıklamaları yapılmıştır.

“Kenar bulmak için Laplacian uygula” Görüntü üzerinde kenarları (edge) belirlemek için Laplacian operatörünün kullanılmasını ifade eder. Görüntünün x ve y koordinatlarına göre ikinci türevlerinin toplamını ifade eder ve piksel yoğunluğundaki değişiklikleri tespit etmek ve bu değişikliklerin en belirgin olduğu yerleri, yani kenarları belirlemek için kullanılan bir matematiksel operatördür. Şekil 7.28 örnek verilmiştir.



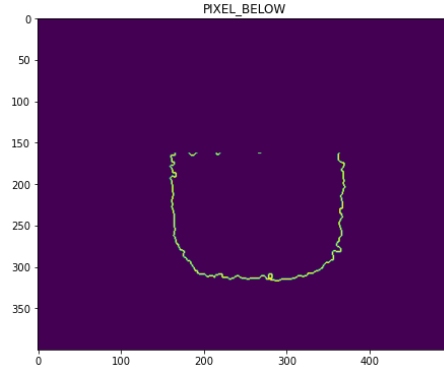
Şekil 7. 28 Laplacian uygulanmış resim örneği

“2_En büyük bağlantılı bileşeni bul”: Eğri uydurma işlem adımları için en büyük bağlantılı bileşeni bulma için Şekil 7.29 örnek verilmiştir.



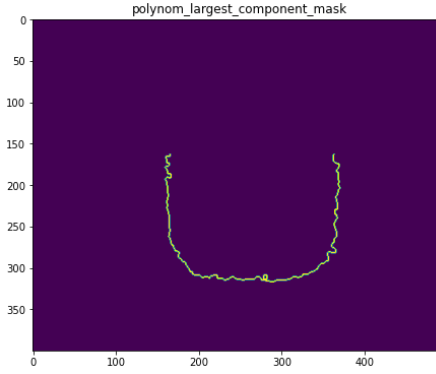
Şekil 7. 29 2_En büyük bağlantılı bileşen bulma için örnek resim

“Parabol eğrisinin başlangıcı olarak 20 piksel altındakileri ele”: Parabol eğrisinin başlangıcını daha iyi modellemek için kullanılır. Başlangıç noktasındaki gürültü, hata veya diğer etkileri önlemek için yapılır. Parabol eğrisinin başlangıcını ifade ederken, bu eğri üzerindeki bir başlangıç noktasında aşağı doğru 20 pikselin ele alınmamasını anlatır. Şekil 7.30 örnek olarak verilmiştir.



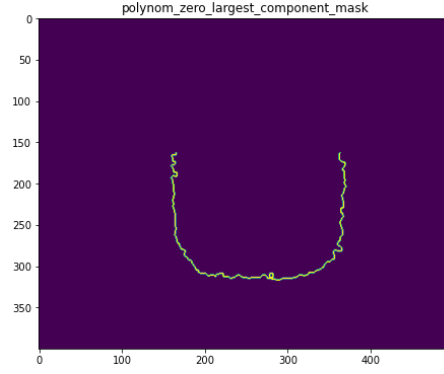
Şekil 7. 30 Resimden 20 piksel altındakilerin elenme örnek resmi

“3_En büyük bağlantılı bileşeni bul”: Eğri uydurma işlem adımları için en büyük bağlantılı bileşeni bulma için Şekil 7.31 örnek verilmiştir.



Şekil 7. 31 Polinom için en büyük bağlantılı bileşeni bulma örnek resmi

“Polinom eğrisini resim olarak al”: Polinom eğrisinin bir görüntü olarak temsil edilmesini ifade eder. Bu genellikle matematiksel bir ifadenin veya veri setinin temsilini sağlamak amacıyla kullanılır. Şekil 7.32 örnek olarak verilmiştir.



Şekil 7. 32 Polinom eğrisinin resim olarak alınmış örnek resmi

“Resim üzerinden 1000 tane X ve Y noktası al”: Resimden alınan 1000 adet X ve Y veri noktasını ifade eder. Bu ifade, görüntü üzerinde belirli bir sayıda X ve Y koordinat çiftinin çıkartıldığını ve bu veri noktalarının alındığını belirtir.

“X ve Y değerleri ile quadratic fonksiyonu hesapla”: X ve Y değerleri verilen bir ikinci dereceden (quadratic) fonksiyonu hesaplamayı ifade eder.

“Quadratic fonksiyonu ile x değerleri için eğri uydurmayı uygula hesapla”: x değerleri için ikinci dereceden bir fonksiyonla eğri uydurmayı ifade eder. Bu işlemle, veri noktalarının belirli bir eğri veya model ile en iyi şekilde uyumlu hale getirilmesi sağlanır.

Eğri uydurma (curve fitting), matematiksel bir modeli kullanarak bir veri setine en iyi uyan eğriyi bulma sürecidir.

“quadratic fonksiyondan elde edilen Y değerleri ve resimdeki Y değerleri ile MSE'yi hesapla” : ikinci dereceden fonksiyon kullanılarak elde ettiğimiz Y değerleri ile resim üzerindeki gerçek Y değerleri arasındaki ortalama karesel hata (Mean Squared Error - MSE) ölçümünü ifade eder. Bu, eğrinin ne kadar iyi uyduğunu veya ne kadar hata içerdiğini değerlendirmek amacıyla kullanılır.

MSE, iki set arasındaki farkların karesinin ortalamasını ölçen bir metriktir. İki set arasındaki her bir farkı kare alıp bunların ortalamasını alarak MSE değerini hesaplamak için eşitlik 7.1 formülü kullanılır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{image,i} - Y_{quadratic,i})^2 \quad (7.1)$$

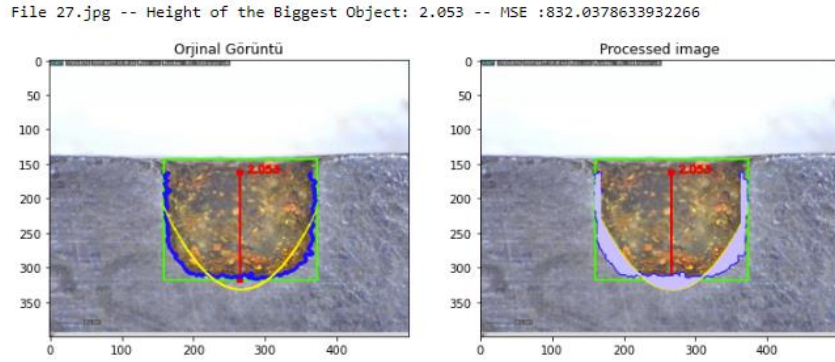
$Y_{image,i}$: gerçek görüntüdeki Y değeri

$Y_{quadratic, i}$: ikinci dereceden fonksiyon kullanılarak elde edilen i 'nci Y değeri

n : toplam örnek sayısı

MSE'nin düşük olması, ikinci dereceden fonksiyonun gerçek Y değerlerine iyi uyduğunu gösterir. Yüksek MSE değerleri ise modelin gerçek verilere kötü uyduğunu veya hatalar içerdiğini gösterebilir.

Sonuç olarak örnek imalat resmi dikkate alındığında MSE ve yükseklik değerleri Şekil 7. 33'de verilmiştir. Söz konusu resimde sarı renk ile çizilmiş olan eğri uydurma ile elde edilen parabolü ifade ederken mor renk ile taranmış alanın değeri MSE'yi vermektedir. Parabol için toplamda 1000 adet nokta ele alınmıştır. Parabol Denklemi ise $-0.01032 x^2 + 5.5 x - 400.5$ olarak bulunmuştur.



Şekil 7. 33 Örnek resim üzerinden parabol ve MSE gösterimi

7.2.3 İmalat resimleri ile teknik resmin görüntü işleme teknikleri ile kıyaslanması

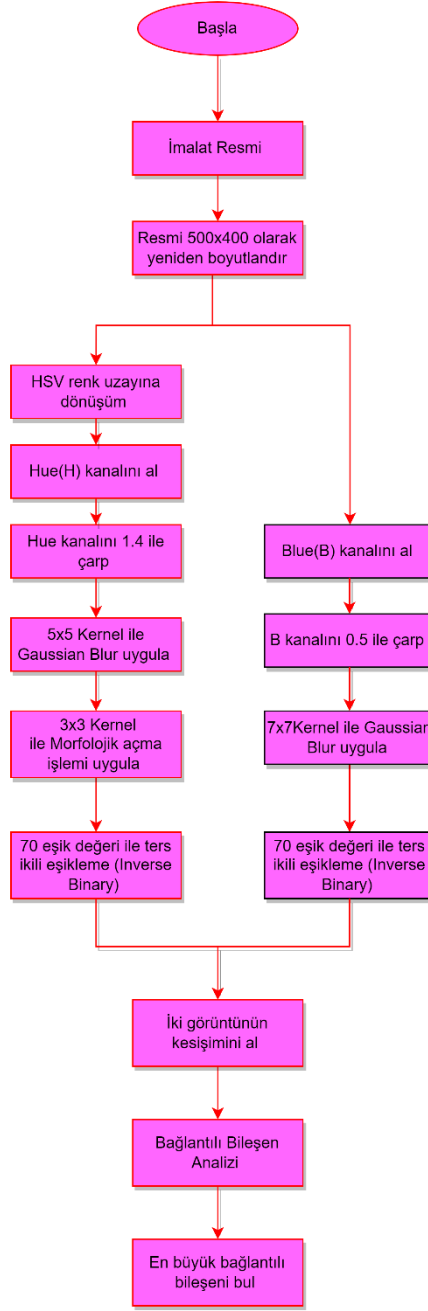
7.2.3.1 İmalat ve teknik resme göre delik kesitinin eğri uydurma ile MSE değerlerini bulma

Elektrokimyasal delik delme işlemi için farklı parametrelerle yapılmış deney resimleri CATIA V5 programı ile çizilmiş olması gereken 2mm'lik delik kesitinin teknik resim ve teknik resim üzerinden elde edilmiş parabol ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar yapılırken Şekil 7.37'deki algoritma adımları kullanılmış ve her bir deney resmi ayrı ayrı değerlendirilerek eğri uydurma ile MSE değerleri elde edilmiştir. Bu sebeple algoritma adımlarından iki resmin karşılaştırılması için uygulanan eğri uydurma aşamaları örnek bir resim üzerinden açıklanmıştır. Öncelikle söz konusu algoritma adımları içinde imalat resminin kırılma ve teknik resmin eğri uydurma ile parabol denkleminin bulunma işlem

adımları ayrı ayrı algoritmik olarak akışları verilmiş ve açıklanmıştır. Açıklamayı müteakip imalat ve teknik resmin eğri uydurma ile kıyaslanarak MSE değerlerini hesaplama adımlarına geçilmiştir.

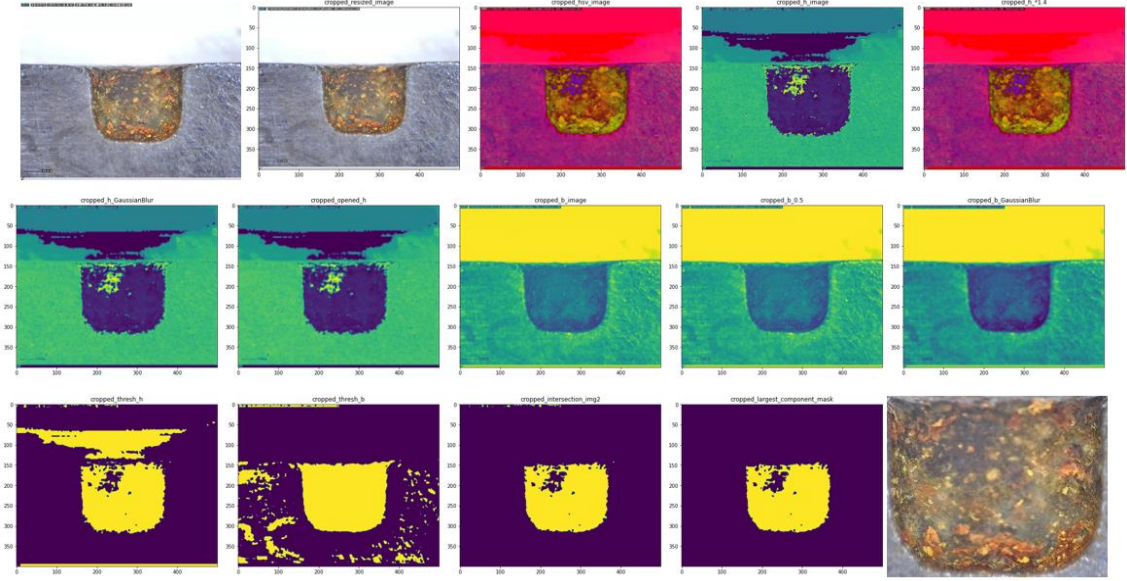
(1) İmalat resminin kırpma işlem adımları:

İmalat resimleri incelendiğinde delik kesitindeki bazı bölgelerin çok fazla gürültü içermesi sebebiyle görüntü işlemede hatalara sebep verebilmektedir. İmalat ve teknik resmin eğri uydurma ile kıyaslanması için de resimler üzerinde benzer bölgede çalışmak gerekir. Bu amaçla görüntüdeki delik olan bölgenin daha yakından incelenmesi gerektiğinden görüntü içerisindeki ilgili bir nesne veya bölgeyi izole etmek için cropping/ kırpma işlemi uygulanmıştır. Kırpma işlemi için uygulanan işlem adımları Şekil 7.34'te verilmiştir.



Şekil 7. 34 Kırpma işleminin adımları

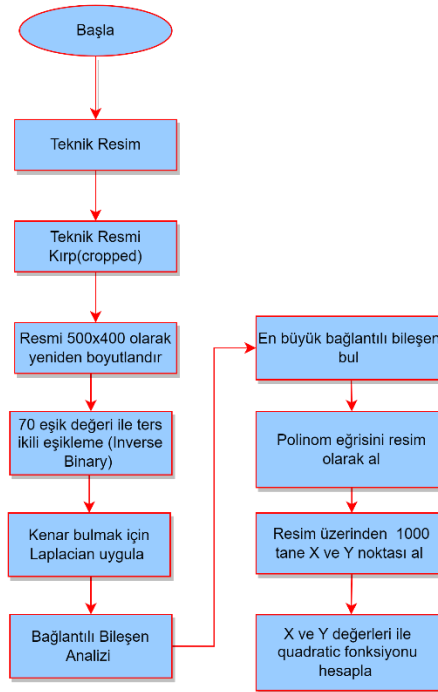
Söz konusu işlem adımları bir önceki aşamada imalat resmi üzerinden maksimum yükseklik bulma aşamalarına benzemektedir. Kırpma işlemine ait her aşamada elde edilen resimlerin ekran görüntüleri algoritma akışındaki sıraya uygun olarak Şekil 7.35'te verilmiştir.



Şekil 7. 35 İmalat resimlerine kırpma işlem adımlarının sırasıyla örnek resimleri

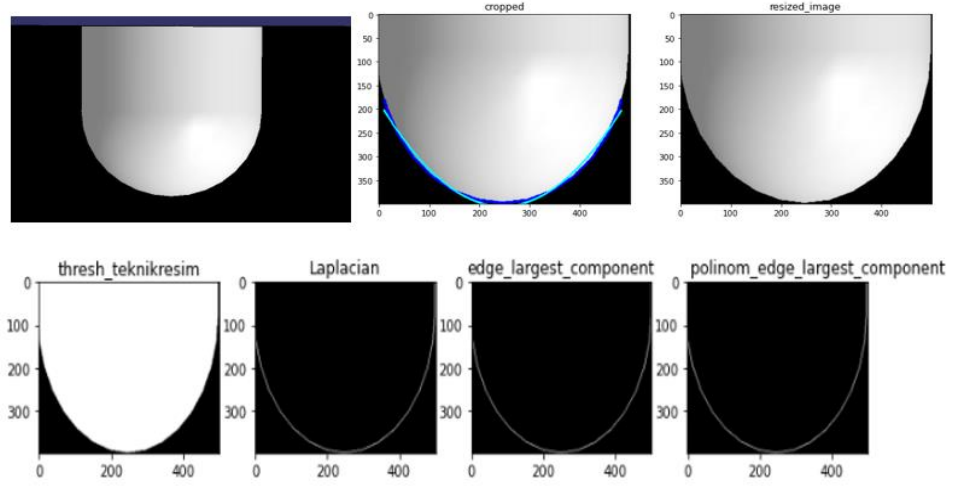
(2) Teknik resimden parabol denklemi elde etme adımları

CATIA V5 programı ile çizilmiş olan 2mm derinliğinde ve 2 mm çapındaki delik kesitinin teknik resmi için görüntü işleme teknikleri ile parabol denklemi uydurma adımları Şekil.7.36 'da verilmiştir.



Şekil 7. 36 Teknik resimden parabol denklemi elde etme adımları

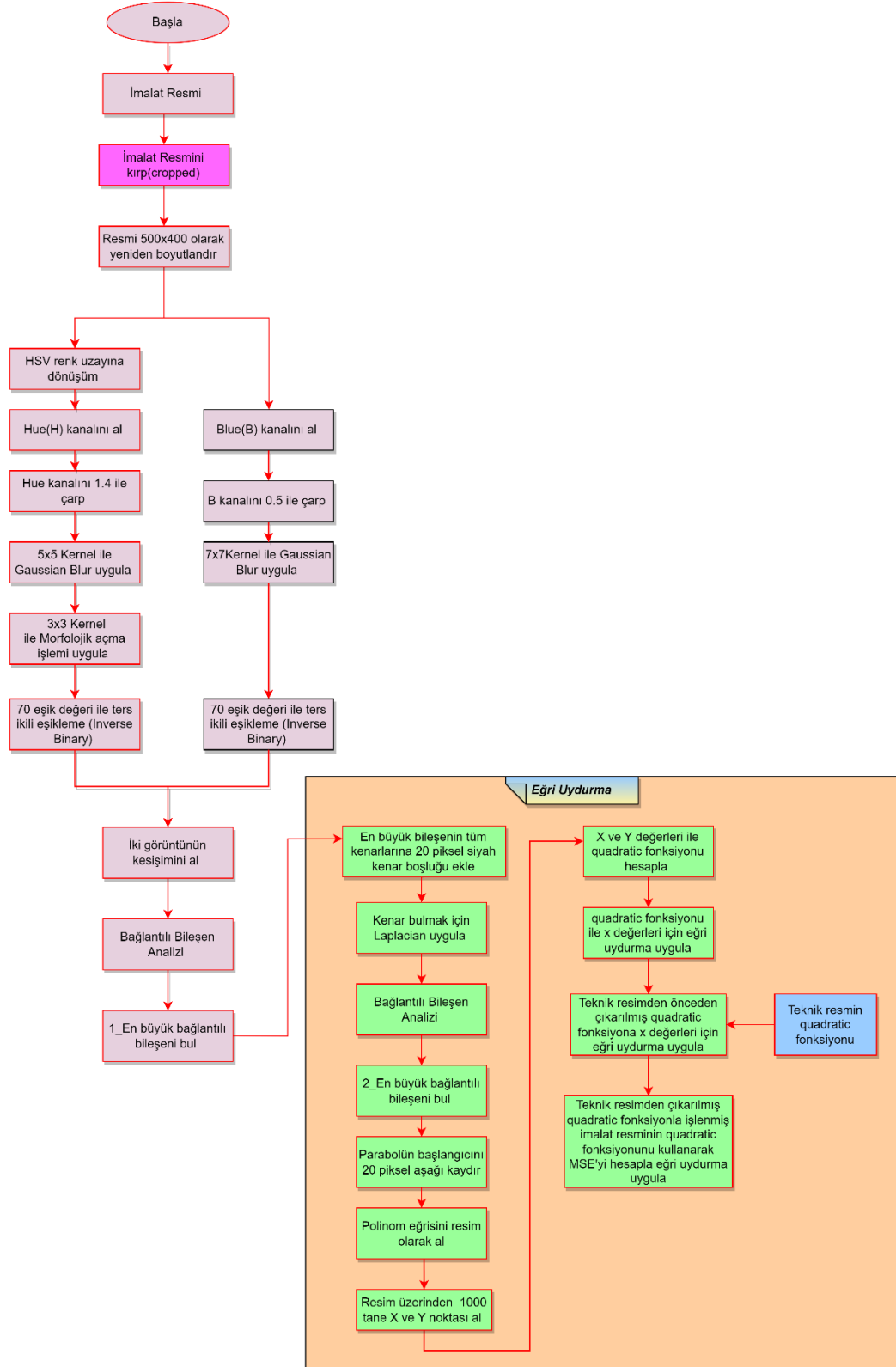
Söz konusu adımlar bir önceki bölüm ile benzer olması sebebiyle teknik resim için eğri uydurma adımlarına ait resimler sırasıyla Şekil 7.37’de verilmiştir. Teknik resim üzerinden 1000 adet nokta baz alınarak elde edilen parabol denklemi ise “ $-0.00372x^2+1.85x+174$ ” olarak çıkarılmıştır.



Şekil 7. 37 Teknik resim eğri uydurma aşamalarının resimleri

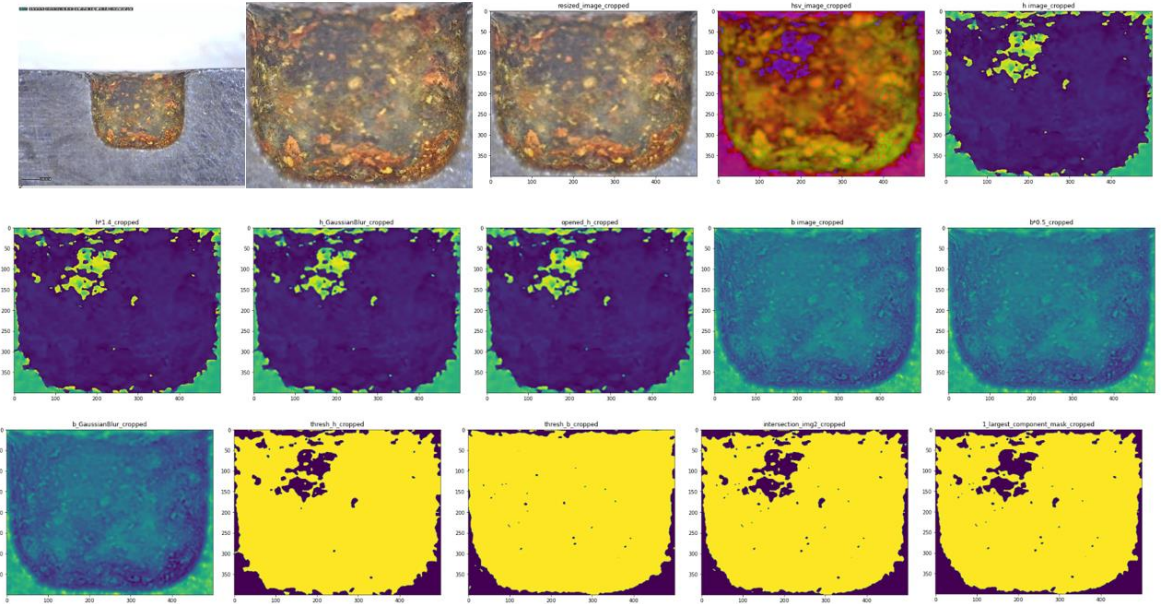
(3) İmalat ve Teknik resmin eğri uydurma ile kıyaslanma adımları;

İmalat ve teknik resmin kesitleri üzerinden eğri uydurma yaparak MSE değeri hesaplayabilmek için uygulanan işlem adımları Şekil 7.38’de verilmiştir.



Şekil 7. 38 Delik kesiti ve teknik resmin karşılaştırılarak parabol uydurma ile MSE değerlerini bulan görüntü işleme adımları

Algoritma adımlarında eğri uydurma aşamalarına kadar kullanılan işlem adımları bir önceki bölümün adımları ile aynı olduğu için eğri uydurma aşamalarına kadar olan kısımlar için resim görüntüleri Şekil 7.39’de sırasıyla verilmiştir.



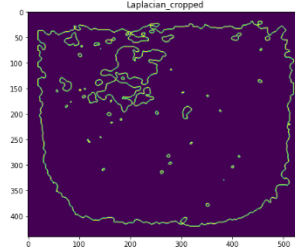
Şekil 7. 39 Kırpılmış delik kesitinin eğri uydurma adımları öncesindeki aşamaların örnek resimleri

İmalat resmi üzerinde yapılan kırpma (cropped) işlemi belirli bir bölümünün kesilerek çıkarılması veya odaklanması anlamına gelir. Bu işlem, görüntü üzerindeki istenmeyen detayları çıkarmak veya belirli bir perspektifi korumak amacıyla yapılabilir. Çalışmada ise imalat resmi ile teknik resim üzerindeki eğrilerin kesişimi alınması istendiğinden resimleri daha tutarlı çakıştırabilmek ve kesişim alabilmek için kırpma işlemini 500x400 olarak uygulandı. Örnek olarak Şekil 7.33’teki kırpılmış olarak verilmiş resmi verebiliriz.

Teknik resim ile imalat resminin karşılaştırılarak kendi parabolleri üzerinden farklarının MSE değeri bulmak için Şekil 7.38’deki akış üzerindeki eğri uydurma adımları aşağıda açıklanmış ve örnek delik kesiti resmi verilerek belirtilmiştir.

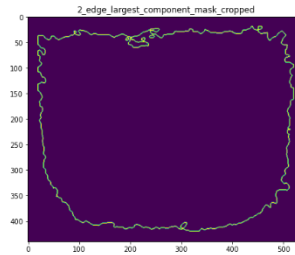
“En büyük bileşenin tüm kenarlarına 20 piksel siyah kenar boşluğu ekle”: Seçilen en büyük bileşene, her bir kenarına 20 piksel genişliğinde siyah bir kenar eklenir. Yani, nesnenin etrafına siyah bir çerçeve eklenir. Bu işlem, görüntü üzerindeki en belirgin veya önemli bileşeni vurgulamak, belirli bir düzenleme yapmak veya nesneyi odaklamak için kullanılır.

“Kenar bulmak için Laplacian uygula”: Görüntü üzerinde kenarları (edge) belirlemek için Laplacian operatörünün kullanılmasını ifade eder. Örnek olarak Şekil 7.40 verilmiştir.



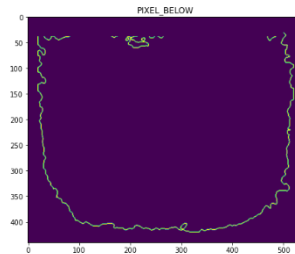
Şekil 7. 40 Laplacian uygulama sonucu örnek resim

“2_En büyük bağlantılı bileşeni bul” adımı için örnek resim üzerindeki işlenmiş hali Şekil 7.41 verilmiştir.



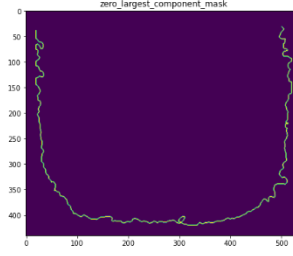
Şekil 7. 41 2_En büyük bağlantılı bileşeni bulma örnek resmi

“Parabolün başlangıcını 20 piksel aşağı kaydır” adımı için örnek resim üzerindeki işlenmiş hali Şekil 7.42 verilmiştir.



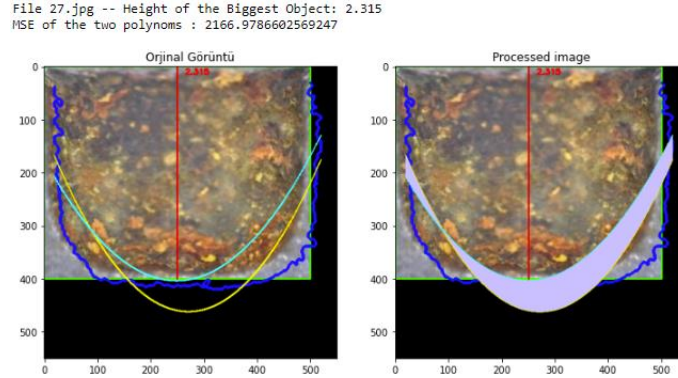
Şekil 7. 42 Parabolün başlangıcını 20 piksel aşağı kaydırma örnek resmi

“Polinom eğrisini resim olarak al” adımı için örnek resim üzerindeki işlenmiş hali için Şekil 7.43 örnek verilmiştir.



Şekil 7. 43 Polinom eğrisini resim olarak alma örnek resmi

Sonuç olarak imalat resmi ve çizilen teknik resim dikkate alındığında MSE ve yükseklik değerleri için örnek olarak Şekil 7.44 verilmiştir. Söz konusu resim; imalat resim ile teknik resim karşılaştırılarak yükseklik değeri ile iki resim için uydurulan eğrilerin kesişim noktaları arasında kalan MSE değerlerinin görüntü işleme teknikleri ile elde edilmesini temsil etmektedir. Resim üzerindeki imalat resminin parabolü sarı renk ile teknik resmin parabolü mavi renkli ile gösterilmekte olup iki parabolün kesişim alanı mor renk ile taranmıştır. Örnek resim üzerinden elde edilen MSE değerinin ise 2166.9786602 olduğunu söyleyebiliriz.


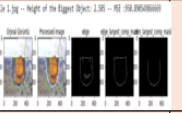
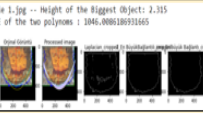

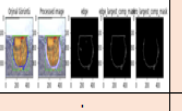
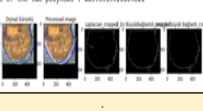


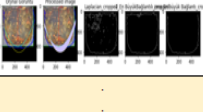


Şekil 7. 44 Teknik resim ve imalat resmi için parabol ve MSE gösterimi


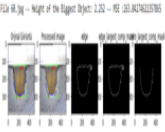

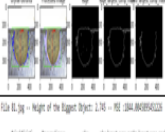
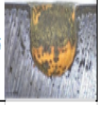
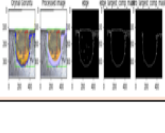
7.3 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen sonuçlar ve sonuçların değerlendirilmesi

Elektrokimyasal işleme metodu ile yüksek hız çeliği üzerinde farklı parametrelerle açılmış olan deliklerin kesit görüntüleri üzerinden görüntü işleme teknikleri ile elde edilmiş veriler ve bu verilerle elde edilmiş ilgili diğer çıktılar Tablo 7.10'da gösterilmiştir. Söz konusu tablonun boyutunun çok büyük olması sebebiyle temsili olarak bazı imalat resimleri ve bu imalat resimlerden elde edilen veriler, bu verilerden elde edilmiş performans çıktı bilgileri örnek olarak tabloda sunulmuştur. Tablo 7.10'da yer alan başlıkların ve elde edilen verilerin açıklamaları aşağıda sunulmuştur. 2,3,4 ve 5 numaralı resimler görüntü işleme teknikleri ile işlendiğinde çok fazla gürültü içermesi yüzünden verilerde çok fazla aykırılığa sebep olmuştur. Bu yüzden söz konusu resimler tablodaki verilerle yapılan işlemlerde dikkate alınmamıştır.

Tablo 7. 10 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen çıktılardan özet tablosu

Resim Numarası	Deney Numarası	Deney Parametreleri	İmalat Resimleri	Deney Sonuç En Yüksek Delik Derinliği (mm) h_{max_deney}	İMALAT RESMİ ÜZERİNDEN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE ELDE EDİLEN PERFORMANS ÇIKTILARI							İMALAT RESMİ VE TEKNİK RESMİN KARŞILAŞTIRILMASINA GÖRE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE ELDE EDİLEN PERFORMANS ÇIKTILARI		
					Görüntü İşleme Aşamalarında Elde Edilen Resimler	$h_{max_görüntü}$		HDC		hideal_yakınlık		Görüntü İşleme ile Elde Edilen Eğri Uydurma değerleri MSE (İmalatRes_Eğri)	Görüntü İşleme ile Elde Edilen Parabollerin Karşılaştırma değerleri MSE (TeknikRes_İmalatRes_Eğri)	
						$h_{max_görüntü_ratio_1}$ (2,606/206)	$h_{max_görüntü_ratio_2}$ (2,468/208)	$HDC(görüntü_ratio_1)$ ($h_{max_görüntü_ratio_1}/hideal$)	$HDC(görüntü_ratio_2)$ ($h_{max_görüntü_ratio_2}/hideal$)	hideal_yakınlık_ratio_1 (Mutlak (hideal - $h_{max_görüntü_ratio_1}$))	hideal_yakınlık_ratio_2 (Mutlak (hideal - $h_{max_görüntü_ratio_1}$))			
Resim 1	Deney No: 1-3	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,5		2,436		2,505	2,349	1,2525	1,1745	0,505	0,349	950,891		1046,008619
.
.
.
Resim 19	Deney No: 19-21	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 0,50		2,544		2,859	2,682	1,4295	1,341	0,859	0,682	1278,526		885,6319921
.
.
.
Resim 27	Deney No: 25-27	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00		2,694		2,189	2,053	1,0945	1,0265	0,189	0,053	832,038		2166,97866
.
.
.

Tablo 7. 11 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen çıktıların özet tablosu-devam

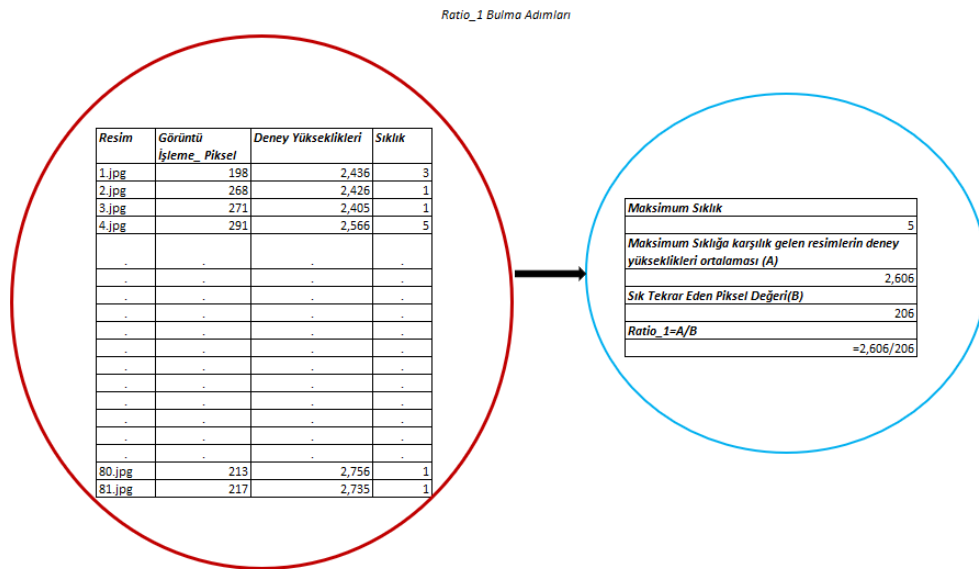
Resim Numarası	Deney Numarası	Deney Parametreleri	İmalat Resimleri	Deney Sonuç En Yüksek Delik Derinliği (mm) hmax_deney	İMALAT RESMİ ÜZERİNDEN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE ELDE EDİLEN PERFORMANS ÇIKTILARI							İMALAT RESMİ VE TEKNİK RESMİN KARŞILAŞTIRILMASINA GÖRE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE ELDE EDİLEN PERFORMANS ÇIKTILARI	
					Görüntü İşleme Aşamalarında Elde Edilen Resimler	hmax_görüntü		HDC		hideal_yakınlık		Görüntü İşleme ile Elde Edilen Eğri Uydurma değerleri MSE (İmalatRes_Eğri)	Görüntü İşleme ile Elde Edilen Parabollerin Karşılaştırma değerleri MSE (TeknikRes_İmalatRes_Eğri)
						hmax_görüntü_ratio_1 (2,606/206)	hmax_görüntü_ratio_2 (2,468/208)	HDC(görüntü_ratio_1) (hmax_görüntü_ratio_1/hideal)	HDC(görüntü_ratio_2) (hmax_görüntü_ratio_2/hideal)	hideal_yakınlık_ratio_1 (Mutlak (hideal - hmax_görüntü_ratio_1)	hideal_yakınlık_ratio_2 (Mutlak (hideal - hmax_görüntü_ratio_1)		
.	
Resim 60	Deney No: 58-60	E. Derişi (g/l): 150 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,75		2,589		2,252	2,112	1,126	1,056	0,252	0,112	263,043	6633,684217
.	
.	
Resim 80	Deney No: 79-81	E. Derişi (g/l): 150 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00		2,756		2,695	2,527	1,3475	1,2635	0,695	0,527	1037,853	11464,82408
Resim 81	Deney No: 79-81	E. Derişi (g/l): 150 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00		2,735		2,745	2,575	1,3725	1,2875	0,745	0,575	1844,005	13057,70333

Piksel değerinin gerçek yükseklik değeri olan mm'ye dönüşümü yapılırken 2 farklı yaklaşım ele alınmıştır:

hmax_görüntü_ratio_1: Her bir resmin maksimum yükseklik değeri, görüntü işleme teknikleri ile elde edilen pikselin ratio_2 ile çarpılmış verisidir. “hmax” maksimum delik derinliğini ifade eder.

(1) Piksel frekansına göre ratio/oran bulma yaklaşımı;

Görüntü işlemede kullanılan imalat resimlerinin görüntü işleme tekniklerinin uygulanarak elde edilmiş piksel veri seti içinde tekrar eden piksellerin sıklıkları belirlenmiştir. Sonrasında en sık tekrar eden piksele karşılık gelen resimlerin piksel ortalaması ve söz konusu resimlere ait deneyde elde edilmiş yüksekliklerin ortalaması alınarak frekansa göre oran belirlenmiştir. Temsili olarak da Şekil 7.45'te gösterilmiştir.



Şekil 7. 45 Ratio_1 Bulma Adımları

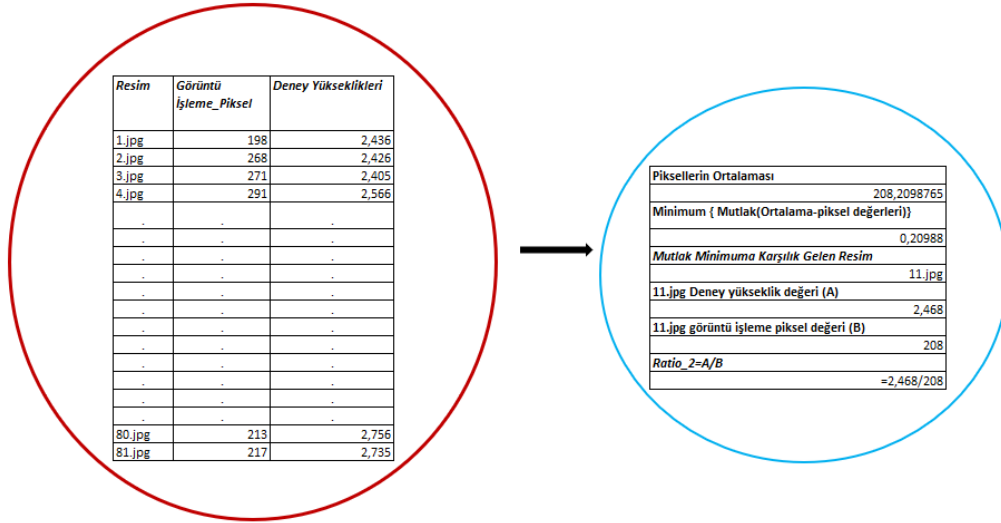
hmax_görüntü_ratio_2: Her bir resmin maksimum yükseklik değeri, görüntü işleme teknikleri ile elde edilen pikselin ratio_2 ile çarpılmış verisini ifade eder.

(2) Piksel ortalamasına mutlak yakınlık yaklaşımı;

Görüntü işlemede kullanılan imalat resimlerinin görüntü işleme tekniklerinin uygulanarak elde edilmiş piksel veri setinin ortalaması alınarak bu ortalamaya mutlak olarak en yakın değere karşılık gelen resim belirlenmiştir. Söz konusu resmin deney yükseklik değeri ile görüntü işlemede elde edilmiş piksel değeri oranlanmıştır.

Temsili olarak da Şekil 7.46’da gösterilmiştir.

Ratio_2 Bulma Adımları



Şekil 7. 46 Ratio_2 Bulma Adımları

HDC(görüntü_ratio_1): Ratio_1 oranı kullanılarak elde edilmiş yükseklik değerlerinin arzu edilen delik derinliğinin hideal olarak belirlenerek 2 mm değerine bölünmesi ile çıkarılan verileri ifade eder. HDC, (Hole Depth Consistency) Delik Derinlik Tutarlılığı’dır.

HDC(görüntü_ratio_2): Ratio_2 oranı kullanılarak elde edilmiş yükseklik değerlerinin hideal (arzu edilen delik derinliğinin) olarak belirlenerek 2 mm değerine bölünmesi ile çıkarılan verileri ifade eder.

MSE (İmalatRes_Eğri): İmalat resimleri üzerinden elde etmiş olduğumuz en büyük bağlantılı bileşen üzerindeki noktalar ile bileşen üzerinde çizilen parabol arasında kalan mesafelerin hesaplama verisidir. Bu, eğrinin ne kadar iyi uyduğunu veya ne kadar hata içerdiğini değerlendirmek amacıyla kullanılır. MSE'nin düşük olması, ikinci dereceden fonksiyonun gerçek Y değerlerine iyi uyduğunu gösterir. Bunun için de eşitlik 7.1 kullanılır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{image,i} - Y_{quadratic,i})^2 \quad (7.1)$$

$Y_{image,i}$: gerçek görüntüdeki Y değeri

$Y_{quadratic,i}$: ikinci dereceden fonksiyon kullanılarak elde edilen i’nci Y değeri

n: toplam örnek sayısı

MSE (TeknikRes_İmalatRes_Eğri): Görüntü işleme tekniklerinin yardımıyla eğri uydurma adımları teknik resim ve imalat resmi üzerinde uygulanarak iki farklı parabol elde edilmişti. Bu iki parabolün kesişimleri arasında kalan bölgenin hesaplanması ile elde edilen veridir. Söz konusu kesişimin minimum olması istendiğinden bu değerin minimum olması arzu edilir.

hideal_yakınlık_ratio_1: Ratio_1 oranı kullanılarak görüntü işleme teknikleri ile elde edilen maksimum yükseklik değerlerinin hideal olarak belirlenen 2 mm'ye olan mutlak uzaklıklarını ifade eder.

hideal_yakınlık_ratio_2: Ratio_2 oranı kullanılarak görüntü işleme teknikleri ile elde edilen maksimum delik derinliği değerlerinin hideal olarak belirlenen 2 mm'ye olan mutlak uzaklıklarını ifade eder.

hideal_yakınlık_deney: Deney sonuçlarından elde edilen maksimum delik derinliği değerlerinin hideal olarak belirlenen 2 mm'ye olan mutlak uzaklıklarını ifade eder.

Tablo 7. 12 Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen performans çıktıları sonuç tablosu

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE ELDE EDİLEN PERFORMANS ÇIKTILARI SONUÇ TABLOSU						
Sıra No	Performans Değerlendirme Metrikleri	Performans Değerlendirme Metrikleri Açıklama	Değerler	Resim Numarası	Karşılaştırma	Seçilen Resmin Deney Parametreleri
1	HDC	Min1 {HDC (görüntü_ratio_1)}	1,094	27	Min2<Min1<Min3	E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00
		Min2 {HDC (görüntü_ratio_2)}	1,026	27		E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00
		Min3 {HDC_denej} *	1,206	7		E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 1,00
2	Eğri Uydurma_MSE	Min1 {MSE (İmalatRes_Eğri)}	263,043	60	Standart Sapma= 555,224	E. Derişimi (g/T): 150 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,75
		Min2 {MSE (TeknikRes_İmalatRes_Eğri)}	545,028	12	Standart Sapma=6004,177	E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 23 Ç. Oranı: 0,50
3	hideal_yakınlık	Min1 {Mutlak (h ideal - h max_görüntü_ratio_1)}	0,189	27	Min2<Min1<Min3	E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00
		Min2 {Mutlak (h ideal - h max_görüntü_ratio_2)}	0,053	27		E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00
		Min3 {Mutlak (h ideal - h max_denej)} **	0,413	7		E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 1,00
4	hmax	Max1 {h max_görüntü_ratio_1}	2,859	19	Max2<Max1<Max3	E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 0,50
		Max2 {hmax_görüntü_ratio_2}	2,682	19		E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 0,50
		Max3 {h max_denej} ***	2,756	80		E. Derişimi (g/T): 150 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00
5****	Entropi	hmax_entropi	2,701	11	hmax_denej delik derinliğinden %2,04 daha küçüktür	E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 23 Ç. Oranı: 0,50
	AHP_Senaryo1	hmax_AHP_Senaryo1	2,755	2	hmax_denej delik derinliğinden %0,04 daha küçüktür	E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,5
	AHP_Senaryo2	hmax_AHP_Senaryo2	2,682	16	hmax_denej delik derinliğinden %2,76'dan daha küçüktür	E. Derişimi (g/T): 100 İ. Gerilimi (V): 23 Ç. Oranı: 1,00
	AHP_Senaryo3	hmax_AHP_Senaryo3	3,018	xxx		

(*),(**),(***),(****)Ayhan,2023 çalışmasından derlenmiştir.

Elektrokimyasal delik delme işlemi ile elde edilmiş deneylerin resimleri üzerinden en uygun deney parametrelili deneyin tespiti için görüntü işleme teknikleri ile elde edilen veriler değerlendirilmiş ve Tablo 7.12’de yer alan performans çıktı bilgilerine ulaşılmıştır. Söz konusu performans çıktıları ise HDC, Eğri Uydurma_MSE, hideal_yakınlık ve hmax olmak üzere dört tanedir. Her bir performans çıktısı için elde edilen veriler Tablo 7.12’de özetlenmiştir.

(1) HDC performans çıktısı dikkate alındığında;

- Görüntü işleme verilerinin işlenmesi ile elde edilen $HDC(görüntü_ratio_1)$ ve $HDC(görüntü_ratio_2)$ veri setlerinin minimum değeri ile deney sonuçlarından elde edilen HDC_deny veri setinin minimum değeri kıyaslanmıştır.
- Veri setlerinin kıyaslanması ile $HDC(görüntü_ratio_1)$ ve $HDC(görüntü_ratio_2)$ için minimum değeri veren deney 27. Resim, HDC_deny için minimum değeri veren deney resmi ise 7.resimdir.
- HDC performans çıktısı değerleri incelendiğinde ise minimum olan 1,0265 ile $HDC(görüntü_ratio_2)$ ve 27.resim olarak belirlenmiş olup, uygun deney parametresi “E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00” olarak seçilmiştir.

(2) Eğri Uydurma_MSE performans çıktısı dikkate alındığında;

- Görüntü işleme teknikleri her bir imalat resmi üzerinde eğri uydurma ile elde etmiş olduğumuz parabol için hesaplanmış olan;

MSE (*İmalatRes_Eğri*) veri setinin minimum değeri 263,042746 ile 60. resim olarak belirlenmiş ve 60.resme ait deney parametre seti “E. Derişimi (g/l): 150 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,75” olarak seçilmiştir.

- Görüntü işleme tekniklerinin yardımıyla eğri uydurma adımları teknik resim ve imalat resmi üzerinde uygulanarak elde edilen iki farklı parabolün kesişimleri arasında kalan bölgenin MSE değerlerini veren MSE (*TeknikRes_İmalatRes_Eğri*) veri setinin minimum değeri 545,027552 ile 12.resim olarak belirlenmiştir. 12. resme ait deney parametresi ise “E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 23 Ç. Oranı: 0,50” dir.

(3) hideal_yakınlık performans çıktısı dikkate alındığında;

- Ratio_1 oranı kullanılarak görüntü işleme teknikleri ile elde edilen maksimum yükseklik değerlerinin hideal olarak belirlenen 2 mm’ye olan mutlak uzaklıklara

ait *hideal_yakınlık_ratio_1* veri setinin minimumu 0,189 ile 27.resim olarak karşımıza çıkmıştır.

- *Ratio_2* oranı kullanılarak görüntü işleme teknikleri ile elde edilen maksimum yükseklik değerlerinin *hideal* olarak belirlenen 2 mm'ye olan mutlak uzaklıklara ait *hideal_yakınlık_ratio_2* veri setinin minimumu 0,053 ile 27.resim olarak belirlenmiştir.

- *hideal_yakınlık_deney* veri setinin minimumu 0,413 ile 7.resime karşılık gelmektedir.

- *hideal_yakınlık_ratio_1*, *hideal_yakınlık_ratio_2* ve *hideal_yakınlık_deney* sonuçları kıyaslandığında minimum olan *hideal_yakınlık_ratio_2* ile 27.resim seçilmiş olup, deney parametresi ise “*E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00*” dir.

(4) hmax performans çıktısı dikkate alındığında;

- *hmax_görüntü_ratio_1* ile elde edilen veri setinin maksimum yükseklik değeri 2,859 ile 19.resim çıkmıştır.

- *hmax_görüntü_ratio_2* ile elde edilen veri setinin maksimum yükseklik değeri 2,682 ile 19.resim çıkmıştır.

- *hmax_deney* veri setinin maksimum yükseklik değeri 2,756 ile 80.resimdir.

- *hmax_görüntü_ratio_1*, *hmax_görüntü_ratio_2* ve *hmax_deney* veri setlerinin maksimum yükseklikleri içinde minimum olanı 2,682 ve 19.resimdir. 19. resmin deney parametresi ise “*E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 0,50*” dir.

(5) Deney sonuçları dikkate alındığında [46];

- Entropi yöntemi kullanılarak elde edilen parametrelerin doğrulama deneyinde performans çıktısı olan en yüksek delik derinliği ise 2,701 mm olarak ölçülmüştür. Bu değer en büyük 11. sonuca karşılık gelmektedir.

- AHP-Senaryo 1 için gerçekleştirilen deneyde en yüksek delik derinliği ise 2,755 mm olarak ölçülmüştür.

- AHP-Senaryo 2 için en yüksek delik derinliği 2,682 mm olarak ölçülmüştür.

- AHP-Senaryo 3 için en yüksek delik derinliği 3,018 mm olarak ölçülmüştür.

7.4 Performans Ölçütlerine Göre En İyi Parametre Setinin Belirlenmesi

Görüntü işleme teknikleri ile elde edilen performans çıktılarının sonuçları Tablo 7.12’de verilmişti. Söz konusu performans sonuçları farklı parametre setleri ile elde edilebilmektedir. Dolayısıyla karar vericinin nihai parametre setini belirleyebilmesi için TOPSIS metodunun kullanıldığı bir son değerlendirme modülü KDS’ye eklenmiştir. Performans metriklerine uygun olarak elde ettiğimiz resim numaraları için ilgili görüntüler EK-2’de verilmiştir. Bu son değerlendirme modülünün ekran arayüzü Şekil.7.47’de verilmiştir. Arayüzden istenilen sayıda performans çıktısı kriter olarak girilebilirken, imalat resim numaraları ve dolayısıyla parametre setleri de alternatifler olarak TOPSIS yöntemine aktarılabilir.

The screenshot shows a software interface for TOPSIS evaluation. It features a main window with five tabs. The primary section is titled 'Kriterler: Performans Çıktı Değerleri' and includes a dropdown menu for 'Sütun Sayısı' (Column Count) set to 7, followed by a table with 7 columns and 2 rows. Below this is the 'Karar Matrisi' (Decision Matrix) section, which has a dropdown for 'Satır Sayısı' (Row Count) set to 8 and a table with 8 columns and 4 rows. A 'HESAPLA' (Calculate) button is positioned between the two tables. The final section, 'Topsis Sonucu' (TOPSIS Result), is currently empty.

Şekil 7. 47 Performans metriklerinin değerlendirilmesi için ekran arayüzü

7.5 KDS’de AHP, TOPSIS ve Görüntü İşleme Metodlarının Entegrasyonu

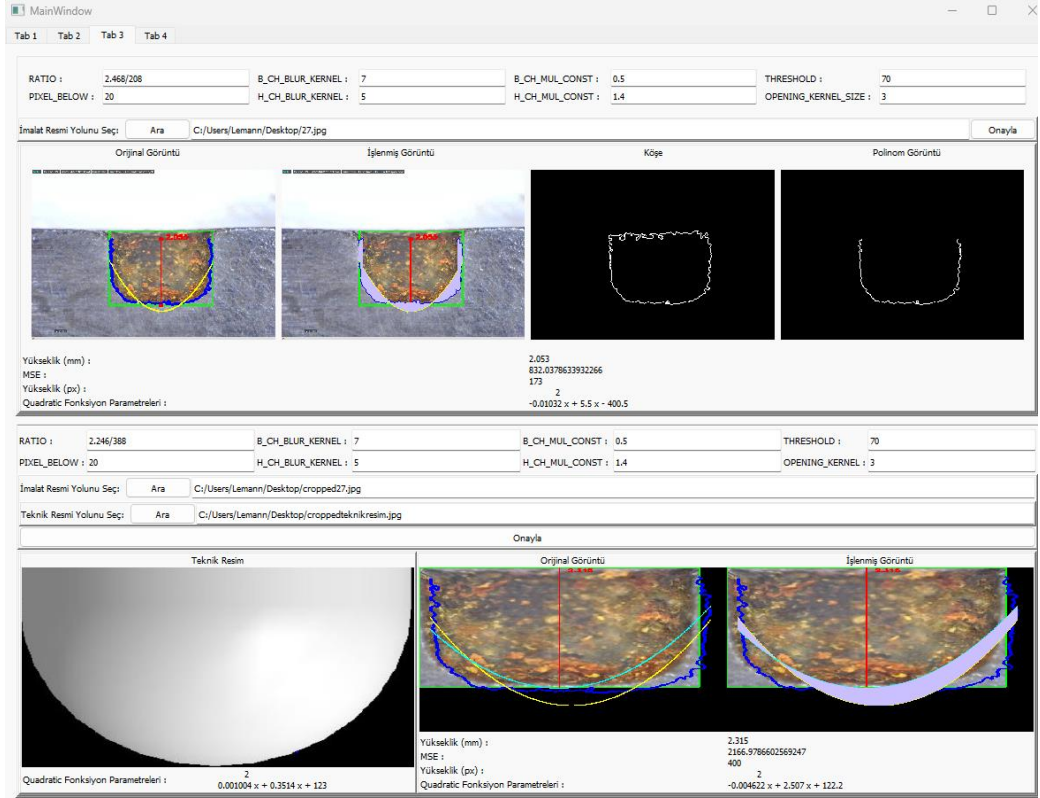
AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanan KDS uygulaması yedinci bölümün ilk kısmında anlatılmıştı. Söz konusu KDS ile yine yedinci bölümde anlatılmış olan görüntü işleme adımlarının entegrasyonu yapılarak arayüzler aracılığıyla imalat resimlerinden elde edilen görüntü işleme verilerini kullanıcıya gösteren çalışma yapılmıştır. Tez kapsamında kullanılan elektrokimyasal delik delme yöntemine ait ilgili imalat resimlerinin tek tek

uygulamaya eklenerek görüntü işleme kısmında anlatılan ve çıkarılan sonuçlar ekranda kullanıcıya sunulmaktadır. Resimlerin kullanıcıya seçimini yaptırdığı giriş ekranı olan arayüz Şekil 7.48’de verilmiştir.

The screenshot displays the 'MainWindow' application interface, which is divided into two main sections: 'İmalat Resmi Yolunu Seç:' (Select Manufacturing Drawing Path) and 'Teknik Resmi Yolunu Seç:' (Select Technical Drawing Path). Each section contains a grid of input fields for various parameters and a 'Ara' (Search) button. The 'İmalat Resmi Yolunu Seç:' section shows parameters: RATIO: 2.246/225, B_CH_BLUR_KERNEL: 7, B_CH_MUL_CONST: 0.5, THRESHOLD: 70, PIXEL_BELOW: 20, H_CH_BLUR_KERNEL: 5, H_CH_MUL_CONST: 1.4, and OPENING_KERNEL_SIZE: 3. Below these fields are four large image preview windows labeled 'Orijinal Görüntü', 'İşlenmiş Görüntü', 'Köşe', and 'Polinom Görüntü'. The 'Teknik Resmi Yolunu Seç:' section shows the same parameters but with RATIO: 2.246/388. Below these fields are two large image preview windows labeled 'Teknik Resim' and 'Orijinal Görüntü', and one 'İşlenmiş Görüntü' window. Both sections also include a 'Onayla' (Confirm) button and a 'Quadratic Fonksiyon Parametreleri:' (Quadratic Function Parameters) label.

Şekil 7. 48 Görüntü işleme için imalat ve teknik resim giriş ekran arayüzü

Bu arayüzde hem imalat resmi üzerinde doğrudan çıkarılan görüntü işleme verileri hem de imalat ve teknik resmin karşılaştırılarak veri elde etme imkanı sağlayan alanlar mevcuttur. Kullanıcı arayüzdeki imalat resmi seçme alanına resim eklediğinde imalat resmine ait görüntü işleme verilerinden Maksimum yükseklik, eğri uydurma ile elde edilen MSE değeri ve ilgili fonksiyon parametrelerini görebilmektedir. Eğer kullanıcı arayüzdeki teknik resim ve imalat resmi alanlarına ilgili resimlerini eklerse de teknik resim ve imalat resmin kıyaslanması ile elde edilen eğri uydurma MSE değerlerini görebilir. Söz konusu bilgilerin kullanıcı ekranında gösterilmesine örnek olarak Şekil 7.49’da sunulmuştur.



Şekil 7. 49 Örnek resmin görüntü işleme sonuçları için ekran çıktısı

Uygulama, kullanıcıya tek tek resimleri ekleyerek veri elde etmesine imkan sağladığı gibi toplu olarak resimleri ekleyip bilgi alabilmesine imkan sağlayan bir modüle de sahiptir. Bu modülün giriş arayüzü şekil 7.50'de sunulmuştur.

The image shows a software window titled 'MainWindow' with four tabs (Tab 1, Tab 2, Tab 3, Tab 4). The window contains two identical sections for performance evaluation. Each section has a title bar 'Performans Değerlendirme Metrikleri ve Sonuçları' and a table with three columns: 'Değerler', 'Resim No', and 'Deney Parametreleri'. The top section's table has four rows with the following values in the 'Değerler' column: 'hmax (Max Yükseklik)', 'HSE', 'HDC', and 'h_ideal_yakınlık'. The bottom section's table has one row with 'HSE' in the 'Değerler' column. Below each table is an 'EXCEL OUTPUT' button. The interface also includes search fields for 'İmalat Resim Klasörünü Seç:' and 'Teknik Resim Yolu Seç:' with an 'Ara' button, and an 'Onayla' button in the top right corner.

Şekil 7. 50 Resimlerin toplu olarak eklenebildiği giriş arayüzü

Kullanıcı elindeki mevcut resimlere ait klasörü uygulamaya sunduğunda bu bölümde anlatılan tüm görüntü işlemlerine ait adımlar resimler üzerinde işlenir. Sonrasında ise kullanıcıya performans çıktılarının değerlerini, resim numaralarını ve ilgili resme ait deney parametrelerini ekrana getirir. Ayrıca “excel” çıktısı alarak detaylı değerlendirme yapmasına da olanak sağlar.

AHP ve TOPSIS uygulama adımları ve görüntü işleme adımlarının bir arada bulunduğu KDS için örnek bir vaka çalışması yapılarak ekranları aşağıda paylaşılmıştır.

Çelik malzeme üzerine 1.5 mm çapında, toleransı 0.025, L/D oranının 1.33 olduğu bir delik delme işlemi için bir örnek vakada giriş ekranı Şekil 7.51’de sunulmuştur.

The screenshot shows a software interface titled 'MainWindow' with four tabs: Tab 1, Tab 2, Tab 3, and Tab 4. The interface is divided into several sections:

- Malzeme Seçimi (Material Selection):** Radio buttons for Aluminyum, Çelik (selected), Süper Alaşımlar, Titanyum, Refrakter, Plastik, Seramik, and Cam.
- Proses Seçimi (Process Selection):** Radio buttons for Delik Delme (selected), Boşluk İşleme, Kesme, Cep İşleme, Bileme, Çapak Alma, and Diş Açma.
- Kriterlerin Seçimi (Criteria Selection):** Radio buttons for Tolerans, Yüzey Kalitesi, Yüzey Hasarlaması, Köşe Yarıçapı, Koniklik, İşleme Hızı(Sub), Minimum Delik Çapı, Minimum Kesme Kalınlığı, L/D ve t/w oranı, Malzeme(Sub), Yatırım, Takım/Fikstür, Takım Aşınması, Güç Tüketimi, and İşçilik.
- AIY (AIY Selection):** A vertical list of colored buttons representing different AIY methods: AWJM (red), CHM (green), EBM (green), ECG (red), ECH (red), ECM (green), AJM (red), EDM (green), LBM (green), PAM (red), RUSM (red), USM (green), WEDM (red), and WJM (green).
- Input Fields:** A 'RESET' button at the top right. Below it, two input fields for 'Delik Delme L/D Oranı' (value: 1.33) and 'Delik Delme D Oranı' (value: 1.5) with an 'Ok' button. Below these are several checkboxes and input fields for: Tolerans (checked, value: 0.025), Yüzey Kalitesi (checked), Yüzey Hasarlaması (checked), Koniklik, Delik Çapı, Derinlik/Çap (L/D), İşleme Hızı (checked), Malzeme(Sub), Yatırım, Takım/Fikstür, Takım Aşınması, Güç Tüketimi, and İşçilik.
- Filterle:** A button at the bottom right.

Şekil 7. 51 Örnek vakanın uygulamadaki giriş ekranı

Bu ekranda vaka bilgilerinin girilmesi filtrelemeler ve kullanıcının tercihi göre kriterler seçilmiştir. Kriter olarak da tolerans, yüzey kalitesi, yüzey hasarlaması ve işleme hızı seçilmiştir. Söz konusu kriterlere ait ağırlık vektörünün AHP ile hesaplanması için ikili karar matrisi ve kullanıcının girmiş olduğu değerler ile oluşturulan ağırlık vektörünün kullanılarak TOPSIS aracılığıyla elde edilen imalat sıralaması Şekil 7.52’de sunulmuştur.

Kriter Ağırlıklarını Giriniz				
	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	isleme_hizi
tolerans	1.0	3.0	5.0	7.0
yuzey_kalitesi	0.333	1.0	4.0	6.0
yuzey_hasarlama	0.2	0.25	1.0	2.0
isleme_hizi	0.143	0.167	0.5	1.0

Kriter Ağırlıklarını Hesapla				
	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	isleme_hizi
WJM	0.03	0.3	0.0002	500
USM	0.013	0.5	0.025	600
ECM	0.05	1	0.005	2000
CHM	0.03	2	0.005	40
EDM	0.025	2	0.02	800
EBM	0.02	3	0.025	2
LBM	0.02	1	0.1	2

Özet

```

best_distance [0.24954924 0.32341695 0.15754859 0.18684706 0.20747927 0.23230691
0.25881102]
worst_distance [0.12342151 0.02987926 0.27581374 0.1666671 0.14458033 0.18717845
0.11283711]
worst_similarity [0.33091471 0.08457284 0.63645066 0.47145806 0.41067004 0.44620973
0.30361274]
rank_to_worst_similarity [2, 7, 1, 5, 6, 4, 3]
best_similarity [0.66908529 0.91542716 0.36354934 0.52854194 0.58932996 0.55379027
0.69638726]
rank_to_best_similarity [3, 4, 6, 5, 1, 7, 2]
rank_to_best_similarity as process NAME :ECM CHM EBM EDM WJM LBM USM
CR Value : CR: 0.04 and The solution is consistent
weights : [0.554, 0.291, 0.097, 0.057]

```

Şekil 7. 52 Örnek vakanın ikili karar matrisi ve TOPSIS sonuçları

Ağırlık vektörünün tutarlılık oranı ve TOPSIS adımlarına ait işlem adımlarına ait bazı sonuçları ve imalat yöntemlerinin en iyi sıralaması ekranda görülebilir. Bu vaka için elde edilen imalat yöntemlerinin en iyi sıralaması *ECM-CHM-EBM-EDM-WJM-LBM-USM* olarak çıkmıştır. Bu durumda birinci sırayı elektrokimyasal işleme yöntemi olan ECM almıştır.

Örnek vakadaki çelik üzerinde delik delme işlemi için en iyi sırayı veren elektrokimyasal işleme çıkmasını müteakip hangi işleme parametreleri ile deliğin delinebileceği araştırılmak istenebilir.

Tez kapsamında görüntü işleme tekniklerinin uygulanmış olduğu delik delme resimleri elektrokimyasal işleme yöntemi ile elde edilmişti ve görüntü işleme teknikleri ile elde edilen performans çıktıları değerlendirilerek ilgili deney parametreleri dikkate alınmıştı. Karar vericinin hem imalat yöntemine hem de imalat yönteminde kullanılacak işleme

parametrelerine karar verebilmesi için AHP ve TOPSIS tekniklerinin sonuçlarını müteakip görüntü işleme sonuçları Şekil 7.53'te sunulmuştur.

Performans Değerlendirme Metrikleri ve Sonuçları			
	Değerler	Resim No	Deney Parametreleri
hmax (Max Yükseklik)	2.682	19.jpg	E. Derişimi (g/l): 100 l. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 0,50
HSE	263.04274621357865	60.jpg	E. Derişimi (g/l): 150 l. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,75
HDC	1.0265	27.jpg	E. Derişimi (g/l): 100 l. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00
h_ideal_yakınlık	0.052999999999999936	27.jpg	E. Derişimi (g/l): 100 l. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00

Onayla Performans Değerlendirme Metrikleri ve Sonuçları			
	Değerler	Resim No	Deney Parametreleri
HSE	545.0275518358192	12.jpg	E. Derişimi (g/l): 100 l. Gerilimi (V): 23 Ç. Oranı: 0,50

Şekil 7. 53 Görüntü işleme performans çıktıları ve işleme parametrelerini veren ekran görüntüsü

Tez kapsamında görüntü işlemede kullanılan imalat resimleri için performans değerlendirme çıktıları verilen Şekil 7.53 incelendiğinde hem sadece imalat resmi için hem de imalat ve teknik resim için bilgiler yer almaktadır. Karar verici hangi performans çıktısı için değerlendirme yapıp karar vermek istiyorsa rahatlıkla inceleyebilir ve işleme parametrelerini ilgili resim üzerinden görebilir.

Ayrıca karar verici TOPSIS yöntemi ile oluşturulan son değerlendirme modülüne de elde edilen bilgileri aktarabilmektedir. Bu modül aracılığıyla performans çıktıları bir arada değerlendirmek mümkün olduğu için örnek bir çalışma olarak Tablo 7.13'teki kriter ve alternatifler bu kısımda ele alınmıştır.

Tablo 7. 13 Alternatif resimler ve kriterler özet tablosu

Alternatifler	Deney Parametreleri	Kriterler
12.Resim	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 23 Ç. Oranı: 0,50	HDC (<i>görüntü_ratio_1</i>)
19.Resim	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 0,50	HDC (<i>görüntü_ratio_2</i>)
27.Resim	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00	MSE (<i>İmalatRes_Eğri</i>)
60.Resim	E. Derişimi (g/l): 150 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,75	MSE(<i>TeknikRes_İmalatRes_Eğri</i>)
		<i>hideal_yakınlık_ratio_1</i>
		<i>hideal_yakınlık_ratio_2</i>
		<i>hmax_görüntü_ratio_1</i>
		<i>hmax_görüntü_ratio_2</i>

Tablo 7.13'teki alternatifler; görüntü işleme teknikleri ile elde edilmiş ve Tablo 7.12'de yer alan performans metriklerine bağlı resimlerden oluşan kümedir. Kriterler ise sadece görüntü işleme teknikleri ile elde edilen performans metriklerinden oluşan kümedir.

Karar matrisi verileri; görüntü işleme teknikleri ile elde edilen ilgili resimlere ait performans çıktı değerlerinden oluşmaktadır. Bu alternatif ve kriterler Şekil 7.47'deki ekran arayüzüne Tablo 7.14'teki kriter ağırlıklarını ve karar matrisi alanına ilgili verileri girmemizin ardından TOPSIS metodunu uygulama çalıştırır ve sonuçları ekrana Şekil 7.54'teki gibi yazdırır.

Tablo 7. 14 Örnek kriter ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları
HDC (<i>görüntü_ratio_1</i>)	5
HDC (<i>görüntü_ratio_2</i>)	6
MSE (<i>İmalatRes_Eğri</i>)	8
MSE (<i>TeknikRes_İmalatRes_Eğri</i>)	9
<i>hideal_yakınlık_ratio_1</i>	4
<i>hideal_yakınlık_ratio_2</i>	5
<i>hmax_görüntü_ratio_1</i>	6
<i>hmax_görüntü_ratio_2</i>	4

MainWindow

Tab 1 Tab 2 Tab 3 Tab 4 Tab 5

Kriterler: Performans Çıktı Değerleri

Sütun Sayısı: 8

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	HDC (görüntü_ratio_1)	HDC (görüntü_ratio_2)	MSE (İmalatRes_Egri)	MSE (TeknikRes_İmalatRes_Egri)	hideal_yakınlık_ratio_1	hideal_yakınlık_ratio_2	hmax_görüntü_ratio_1	hmax_görüntü_ratio_2
2	5	6	8	9	4	5	6	4

Karar Matrisi

Satır Sayısı: 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	HDC (görüntü_ratio_1)	HDC (görüntü_ratio_2)	MSE (İmalatRes_Egri)	MSE (TeknikRes_İmalatRes_Egri)	hideal_yakınlık_ratio_1	hideal_yakınlık_ratio_2	hmax_görüntü_ratio_1	hmax_görüntü_ratio_2	
2	12.Resim	1,284	1,2045	772,6058786	545,0275518	0,568	0,409	2,568	2,409
3	19.Resim	1,4295	1,341	1278,52617	885,6319921	0,859	0,682	2,859	2,682
4	27.Resim	1,094	1,026	832,0378634	2166,97866	0,189	0,053	2,189	2,053
5	60.Resim	1,126	1,056	263,0427462	5633,684217	0,252	0,112	2,252	2,112

HESAPLA

Topsis Sonucu

	1	2	3	4
1	TOPSIS Sonuçları	Resim Numarası	Karar Matrisi Sırası	Deney Parametreleri
2	0.5474354426054986	60.Resim	4	E. Derişimi (g/l): 150 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,75
3	0.4798927033705547	19.Resim	2	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 0,50
4	0.3015274221292179	12.Resim	1	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 23 Ç. Oranı: 0,50
5	0.30128823417480194	27.Resim	3	E. Derişimi (g/l): 100 İ. Gerilimi (V): 25 Ç. Oranı: 1,00

Şekil 7. 54 Örnek çalışma sonuç ekranı

Şekil 7.54'teki sonuçları incelediğimizde karar verici tarafından girilen ağırlık puanları doğrultusunda 0,5474 puanla 1. sırada yer alan 60.resim ve 60.resme ait deney parametre seti "E. Derişimi (g/l): 150 İ. Gerilimi (V): 21 Ç. Oranı: 0,75" en uygun parametre seti olarak seçilmiş olur. Sonrasında da sırasıyla; 19,12 ve 27. Resimler ve bunlara ait olan parametre setleri sırasıyla 2, 3 ve 4. sırayı almıştır.

KDS, bu son değerlendirme modülü ile ele alınan ölçütlerin tamamının bir arada değerlendirilmek istendiği durumda farklı kriterler, farklı kriter ağırlıkları ve farklı alternatifler ile denemeler yapılmasına uygun ve esnek bir yapıdadır. Örnek olarak iki farklı senaryo ile yapılan deneme sonuçları aşağıda sunulmuştur:

Senaryo 1:

Deney sonuçlarının dahil edilmediği sadece görüntü işleme sonuçları dikkate alınarak ve Tablo 7. 15'teki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 7. 15 Görüntü işleme metrikleri için TOPSIS sonuçları

KDS'DE SADECE GÖRÜNTÜ İŞLEME ÇIKTILARI İÇİN UYGULANAN TOPSIS SONUÇLARI					
1.Durum	Görüntü İşleme Çıktılarına ait Resimler: Alternatifler	Görüntü İşleme Çıktıları: Kriterler	Kriter Ağırlıkları		
	12.Resim	HDC (görüntü_ratio_1)	9	5	3
	19.Resim	HDC (görüntü_ratio_2)	9	6	3
	27.Resim	MSE (İmalatRes_Eğri)	9	8	5
	60.Resim	MSE (TeknikRes_İmalatRes_Eğri)	9	9	5
		hüdeal yakınlık_ratio_1	9	4	6
		hüdeal yakınlık_ratio_2	9	5	6
		hmax görüntü_ratio_1	9	6	4
		hmax görüntü_ratio_2	9	4	4
			TOPSIS Sonuçları: 19-60-12-27	TOPSIS Sonuçları: 60-19-12-27	TOPSIS Sonuçları: 19-12-60-27
2.Durum	Görüntü İşleme Çıktılarına ait Tüm Resimler: Alternatifler	Görüntü İşleme Çıktıları: Kriterler	Kriter Ağırlıkları		
	1.Resim	HDC (görüntü_ratio_1)	9	7	4
	6.Resim	HDC (görüntü_ratio_2)	9	6	4
	.	MSE (İmalatRes_Eğri)	9	2	2
	.	MSE (TeknikRes_İmalatRes_Eğri)	9	6	2
	81.Resim	hüdeal yakınlık_ratio_1	9	4	5
		hüdeal yakınlık_ratio_2	9	3	5
		hmax görüntü_ratio_1	9	4	7
		hmax görüntü_ratio_2	9	2	7
			TOPSIS Sonuçları: 67-59-9-69-81-58-47-56-49-57-77-40-42-.....74-73-64-72	TOPSIS Sonuçları: 59-67-69-9-58-40-56-57-81-79-.....74-64-73-37	TOPSIS Sonuçları: 59-9-67-69-58-81-77-79-.....34-71-60-27

Tablo 7.15 incelediğinde ilgili senaryoda iki farklı durum değerlendirilmiştir:

Birinci durum: Alternatifler sadece görüntü işleme ölçütlerinin tek başına ele alındığında elde edilen en iyi resimler kümesinden, kriterler de sadece görüntü işleme ölçütlerinden oluşmaktadır.

İkinci durum: Alternatifler, ele aldığımız tüm imalat resimleri kümesinden; kriterler de sadece görüntü işleme ölçütlerinden oluşmaktadır.

Her iki durumda da kriterler hem eşit olarak hem de farklı kriter ağırlıkları verilerek değerlendirilmiş ve farklı sıralama sonuçları elde edilmiştir.

Senaryo 2:

Bu aşamada deney sonuçlarının ve görüntü işleme sonuçlarının dahil edildiği durumlar ele alınmış ve modülden elde edilen sonuçlar Tablo 7. 16'da sunulmuştur.

Tablo 7. 16 Görüntü işleme metrikleri ve deney sonuçları için TOPSIS

KDS'DE SADECE GÖRÜNTÜ İŞLEME ve DENEY ÇIKTILARI İÇİN UYGULANAN TOPSIS SONUÇLARI					
1. Durum	Görüntü İşleme Çıktılarına ve Deney Çıktılarına ait Resimler: Alternatifler	Görüntü İşleme ve Deney Çıktıları: Kriterler	Kriter Ağırlıkları		
	7.Resim	HDC (görüntü_ratio_1)	9	3	3
	12.Resim	HDC (görüntü_ratio_2)	9	5	4
	19.Resim	MSE (ImalatRes_Eğri)	9	1	5
	27.Resim	MSE (TeorisikRes_ImalatRes_Eğri)	9	1	2
	60.Resim	hüdeal_yoktenlik_ratio_1	9	4	7
	80.Resim	hüdeal_yoktenlik_ratio_2	9	5	8
		hmax_görüntü_ratio_1	9	3	3
		hmax_görüntü_ratio_2	9	4	4
		hmax_deney	9	2	3
			TOPSIS Sonuçları: 80-7-19-60-12-27	TOPSIS Sonuçları: 19-7-80-12-60-27	TOPSIS Sonuçları: 7-19-80-12-60-27
2. Durum	Görüntü İşleme Çıktılarına ve Deney Çıktılarına ait Tüm Resimler: Alternatifler	Görüntü İşleme ve Deney Çıktıları: Kriterler	Kriter Ağırlıkları		
	1.Resim	HDC (görüntü_ratio_1)	9	5	5
	6.Resim	HDC (görüntü_ratio_2)	9	7	5
	.	MSE (ImalatRes_Eğri)	9	1	2
	.	MSE (TeorisikRes_ImalatRes_Eğri)	9	2	2
	81.Resim	hüdeal_yoktenlik_ratio_1	9	3	3
		hüdeal_yoktenlik_ratio_2	9	4	3
		hmax_görüntü_ratio_1	9	6	4
		hmax_görüntü_ratio_2	9	5	4
		hmax_deney	9	3	3
			TOPSIS Sonuçları: 67-59-9-69-81-58-47-56-79-57-77-40-42-80-32-26-7-41-.....64-72-71-27	TOPSIS Sonuçları: 59-69-67-9-58-56-81-79-77-.....72-60-71-27	TOPSIS Sonuçları: 59-67-9-69-81-58-56-79-77-47-57-.....34-60-72-71-27

Tablo 7.16 incelediğinde ilgili senaryoda iki farklı durum değerlendirilmiştir:

Birinci durum: Alternatifler görüntü işleme ölçütlerinin tek olarak ele alındığında elde edilen en iyi resimler ile deney sonuçlarından elde edilen performans çıktısına bağlı resimler kümesinden; kriterler ise deney sonucu olarak bulunan *hmaxdeney* ve görüntü işleme ölçütlerinden oluşmaktadır.

İkinci durum: Alternatifler, ele aldığımız tüm imalat resimlerinin kümesinden, kriterler ise deney sonucu olan *hmaxdeney* ve görüntü işleme ölçütlerinden oluşmaktadır.

Her iki durumda da kriterlere hem eşit olarak hem de farklı ağırlıklar verilerek değerlendirmeler yapılmış ve farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu iki senaryoda girilen tüm resimler ile veya görüntü işleme teknikleri ile tespit edilebilen en iyi resimlere ait parametre değerleri içerisinde en uygun olanın KDS'ye eklenen son değerlendirme modülü ile değerlendirilebildiği ve kullanıcıya alternatif çözüm önerileri sunulabildiği görülebilmektedir. Bu durum KDS'lerin dördüncü özelliği olan "olursa ne olur" (what-if) değerlendirmesi yapabilme yetkinliğinin geliştirilmiş olan AIY seçimi KDS'sine uyarlanabilmiş olduğunun da bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada belirli bir işlem için önce uygun yöntemin hangisi olduğu belirlenip, ardından belirlenen yöntemle ilgili daha önce farklı parametre değerleriyle yapılmış işlemlere ilişkin resimler ele alınarak (sınırlı sayıda da olsa) temel performans değerleri için hangi parametre değerlerinin kullanılması gerektiği konusunda karar vericiye bilgi sunulabilecek bir KDS geliştirilmiştir.

Tez kapsamında ele alınan AİY'lerin seçim problemi için geliştirilen KDS'de öncelikle kullanıcının proses yeterliliklerini ve kriterleri girebildiği bir modül ortaya konmuştur. Ardından ön eleme sonucu belirlenen alternatifler seçim kriterlerinin AHP ile ağırlıklandırıldığı ve alternatiflerin TOPSIS yöntemi ile sıralandığı başka bir modüle aktararak, kullanıcıya alternatiflerin sıralanması ve en uygun olanın belirlendiği bir sonuç sunulabilmiştir.

Bir sonraki aşama olarak özel olarak elektro kimyasal delik delme yöntemi ile yüksek hız çeliği numunesi üzerine kör deliklerin açıldığı deney resimleri baz alınarak en uygun parametre değerlerinin tespit edilmesi amacıyla görüntü işleme tekniklerinin uygulandığı bir başka modülün geliştirilmesi sağlanmıştır. Söz konusu resimler üzerinden görüntü işleme teknikleri uygulanarak maksimum delik derinliği h_{max} , HDC, Eğri Uydurma_MSE, hideal_yakınlık performans çıktıları için gerekli bilgiler elde edilmiştir. Performans çıktılarına karşılık gelen resimler için ilgili işleme parametrelerine göre değerlendirmeler yapılarak en uygun parametre setinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Son aşamada ise bu performans çıktılarını ve sonuçlarını bir arada değerlendirebilmek ve en uygun sonuçların hangi parametre setiyle elde edilebildiğini görebilmek için alternatif ve kriter sayısının esnek olarak seçilebildiği bir son değerlendirme modülü KDS'ye entegre edilmiştir. Bu modül ile deney sonuçlarına ilişkin ölçülmüş olan performans değerleri olmasa bile, sadece görüntü işleme teknikleri ile elde edilen performans çıktılarını kullanarak TOPSIS ile bir sıralama gerçekleştirilebilmiştir. Ayrıca bu modül ile deney sonuçlarına dayalı performans verileri ve görüntü işleme sonuçlarının bir arada değerlendirilip birbiriyle kıyaslanabilmesi de gerçekleştirilebilmiştir.

Geliştirilen KDS kullanılarak, kullanıcı proses tipini ve kriterlerini KDS'ye girip ilgili en iyi imalat yöntemini seçebilmektedir. Sonrasında bu imalat yöntemine ait imalat resimlerine görüntü işleme tekniklerini uygulanarak (tez kapsamında sadece elektrokimyasal

delik delme işlemi örneklenmiştir) performans çıktılarını elde edilip en iyi işleme parametrelerini belirleyebilmektedir. KDS’de kullanıcı elektrokimyasal delik delme işleminden elde edilmiş resimleri tek tek ya da toplu olarak ekleyebilmek görüntü işleme teknikleri ile performans çıktılarına ulaşabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında elektrokimyasal delik delme yöntemi için görüntü işlemenin de dahil edildiği yeni bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Gelecek çalışmalarda ise farklı AIY’ler ve farklı proses tipleri üzerinden elde edilen görüntüler için görüntü işleme teknikleri ile veriler elde edilebilir ve değerlendirilebilir. Farklı görüntü işleme teknikleri farklı imalat resimlerine de uygulanabilir.

Çalışmada kriter ağırlıklandırma için AHP, alternatif sıralama için TOPSIS metodu kullanılmış olup ileriki çalışmalarda farklı ÇKKV yöntemleri de görüntü işleme teknikleri ile birlikte kullanılarak farklı yapıdaki KDS’ler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

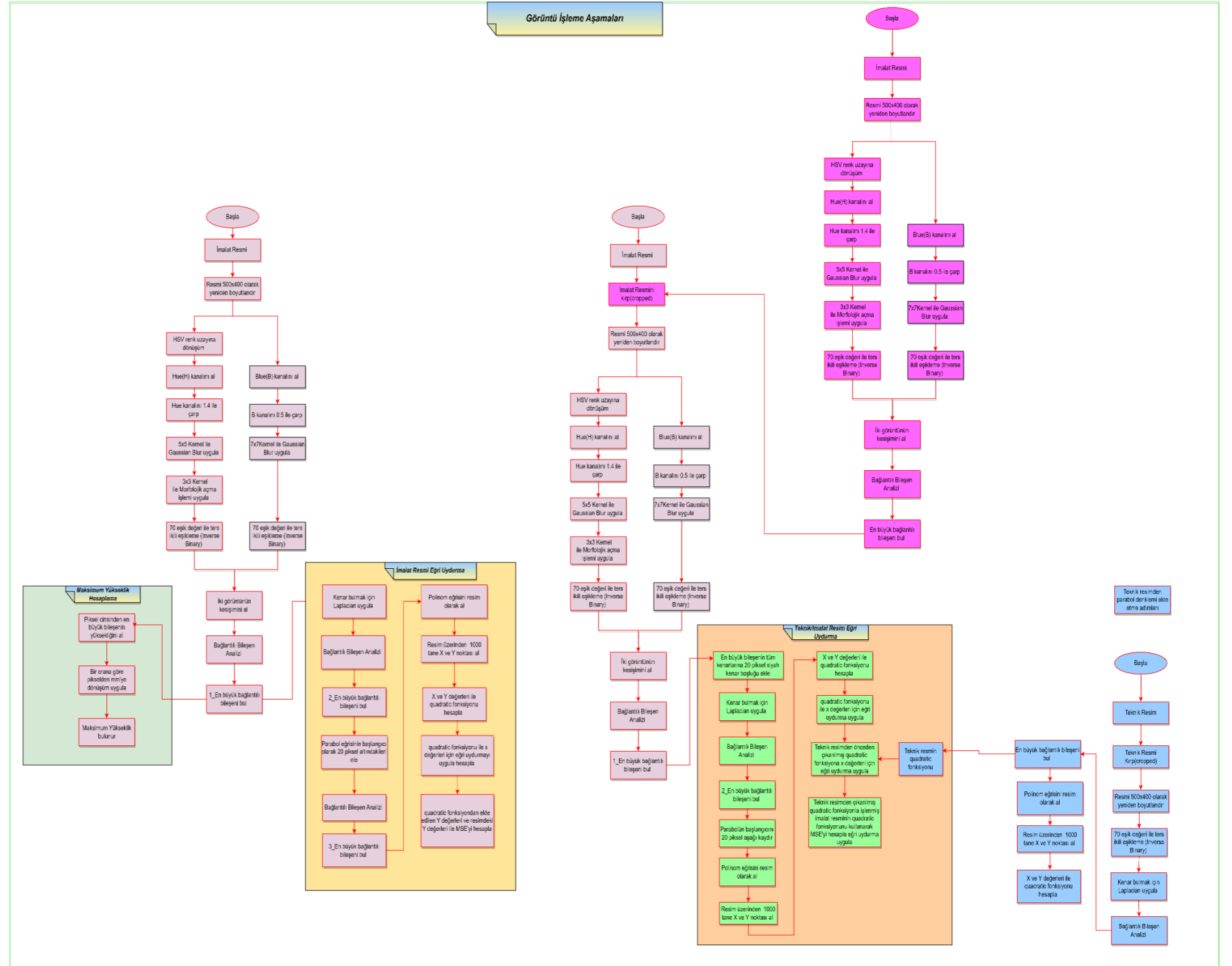
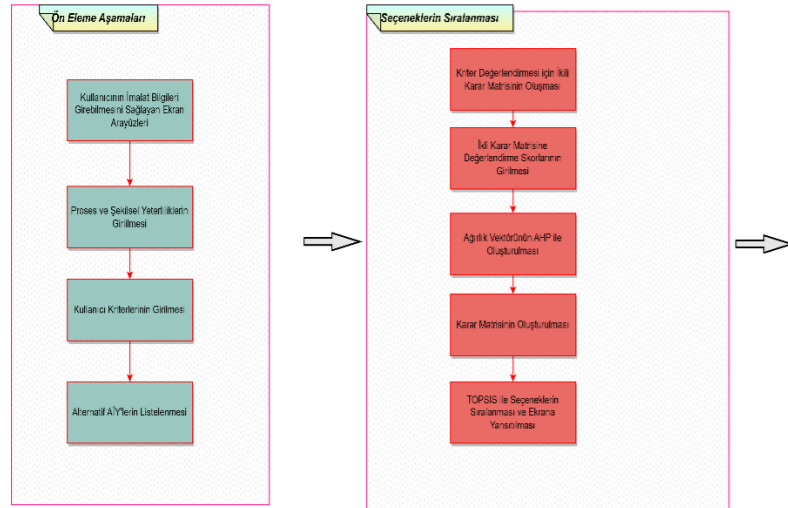
- [1] K.P. Rajurkar and R.F.Ross, , “The role of nontraditional manufacturing processes in future manufacturing industries”, *ASME Manufacturing International*, 23–37, 1992.
- [2] Y.Kul, A.Seker ve M. Yurdakul, “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Kullanılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 29(3):589–603, 2014.
- [3] C. Cogun, “Computer-aided system for selection of nontraditional machining operations”, *Computer in Industry*, 22(2), pp.169-179, 1993.
- [4] M.Yurdakul ve C. Cogun, “Development of a multi-attribute selection procedure for nontraditional machining processes, Proc. of the Institution of Mechanical Engineers”, *Journal of Engineering Manufacture*, 217(7), pp. 993-1009.
- [5] S.Chakraborty and S.Dey, “QFD-based expert system for non-traditional machining processes selection”, *Expert Systems with Applications*, 32(4), pp. 1208-1217, 2007.
- [6] N.Das Chakladar and S.Chakraborty, “A combined TOPSIS-AHP method based approach for nontraditional machining processes selection”, *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Engineering Manufacture*, 222(12), pp. 1613-1623, 2008.
- [7] E.R. Chandraseelan, R. Jehadeesan and M. Raajenthiren,”Web-based knowledge based system for selection of non-traditional machining processes”, *Malaysian Journal of Computer Science*, 21(1), 45-56, 2008.
- [8] N.Das Chakladar, R.Das and S.Chakraborty, “A digraph-based expert system for non-traditional machining processes selection”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3-4), pp. 226-237, 2009.
- [9] V.Sugumaran, V.Muralidharan and B.K. Hegde, “Intelligent process selection for NTM - A neural network approach.”, *International Journal of Industrial Engineering Research and Development*, 1(1), 87-96, 2010.
- [10] S.Das and S. Chakraborty, “Selection of non-traditional machining processes using analytic Network process”, *Journal of Manufacturing Systems*, 30(1), pp. 41-53, 2011.
- [11] A. Sadhu and S. Chakraborty, “Non-traditional machining processes selection using data envelopment Analysis (DEA)”, *Expert Systems with Applications*, 38(7), pp. 8770-8781, 2011.
- [12] P. Karande and S.Chakraborty, “Application of PROMETHEE-GAIA method for non-traditional machining processes selection”, *Management Science Letters*, 2(6), pp. 2049-2060,2012.

- [13] Y.Kul, “Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Metotlarının Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi Ankara,Türkiye, 2012.
- [14] T.Temuçin, H.Tozan, J.Valíček and M. Harničárová, “A fuzzy based decision support model for non-traditional machining process selection”, *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, 20(5), 787-793,2013
- [15] T.Choudhury, P. P. Das, M.K. Roy, I. Shivakoti, A.Ray and B.B. Pradhan, “Selection of nontraditional machining process: A distance based approach”, in *Proceedings of Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, IEEE International Conference, pp. 852-856,2013
- [16] P. Chatterjee, and S. Chakraborty, “Nontraditional machining processes selection using evaluation of mixed data method”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(5–8), 1613–1626,2013
- [17] M. K. Roy, A. Ray and B.B. Pradhan, “Non-traditional machining process selection using integrated fuzzy AHP and QFD techniques: a customer perspective”, *Production & Manufacturing Research*, 2(1), pp. 530-549, 2014.
- [18] A.Azaryoon, M. Hamidon and A. Radwan, “An expert system based on a hybrid multi-criteria decision making method for selection of non-conventional machining processes”, *In Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications Ltd., 735, 41-49, 2015.
- [19] M. Madić, M.Radovanović an D. Petković, “Non-conventional machining processes selection using multi-objective optimization on the basis of ratio analysis method”, *Journal of Engineering Science and Technology*, (10)11, 1441-1452, 2015.
- [20] M. Madić, D.Petković and M. Radovanović, “Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method”, *Serbian Journal of Management*, 10(1), 61–73,2015
- [21] A. Sarkar, S.C. Panja, D. Das and B. Sarkar, “Developing an efficient decision support system for non-traditional machine selection: An application of MOORA and MOOSRA”, *Production & Manufacturing Research*, 3(1), 324–342, 2015.
- [22] A.V. Khandekar and S. Chakraborty, “Application of fuzzy axiomatic design principles for selection of non-traditional machining processes”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(14), pp. 529-543, 2016.
- [23] M.K. Roy, A.Ray and B.B. Pradhan, “Non-traditional machining process selection-an integrated approach”, *International Journal for Quality Research*, 11(1), pp. 71-94, 2017.
- [24] P. Chatterjee, S. Mondal, S.Boral, A. Banerjee and S. Chakraborty, “A novel hybrid method for non-traditional machining process selection using factor relationship and multi-attributive border approximation method”. *Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering*, 15(3), 439–456, 2017.



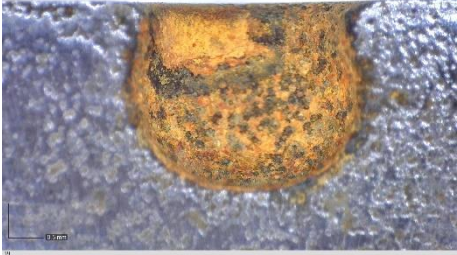
- [25] K. Prasad and S. Chakraborty, “A decision guidance framework for non-traditional machining processes selection”, *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 203–214, 2018.
- [26] F. Talib and M.Asjad, “Prioritisation and selection of non-traditional machining processes and their criteria using analytic hierarchy process approach”, *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 9(4), 522-546, 2019.
- [27] R. Rohith, B.K. Shreyas, S. Kartikgeyan, B.A. Sachin, K.R. Umesha and T.S. Nanjundeswaraswamy, “Selection of non-traditional machining process”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(11), 148-155, 2019.
- [28] M. Yurdakul, M. and Y.T. İç, “Comparison of fuzzy and crisp versions of an AHP and TOPSIS model for nontraditional manufacturing process ranking decision”, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 18(2), 167-192, 2019.
- [29] M. Yurdakul, Y.T. İç, and K.D. Atalay “Development of an intuitionistic fuzzy ranking model for nontraditional machining processes”, *Soft Computing*, 24(1), 1-16, 2019.
- [30] S. Chakraborty, S.S. Dandge and S. Agarwal, “Non-traditional machining processes selection and evaluation: A rough multi-attributive border approximation area comparison approach”, *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106-201, 2020.
- [31] A.Kumari, and B. Acherjee, “Selection of non-conventional machining process using CRITIC-CODAS method”, *Materials Today: Proceedings*, 56: 66-71, 2022.
- [32] M.K. Roy, P. P. Das, P.K. Mahto, A.K. Singh and M. Oraon, “Non-Traditional Machining Process Selection: A Holistic Approach From a Customer Standpoint”, *In Data-Driven Optimization of Manufacturing Processes* (pp. 165-178). IGI Global, 2021.
- [33] M. Jagtap and P. Karande, “The m-polar fuzzy set ELECTRE-I with revised Simos’ and AHP weight calculation methods for selection of non-traditional machining processes”, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 6(1): 240-281, 2023.
- [34] H. A.-G. El-Hofy, “Advanced Manufacturing Processes. Nontraditional and Hybrid Machining Processes”. New York: McGraw Hill, 2005.
- [35] K.Gupta N.K. Jain, R.F. Laubscher, “Hybrid Machining Processes. Perspective on machining and finishing”. Switzerland: Springer International Publishing,,2016
- [36] Machinability Data Center, “Introduction to Nontraditional Machining”, *Machining Data Handbook*, 3rd Ed., Cincinnati - Ohio, 9.1-9.5, 1980.
- [37] T.L. Saaty, *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with Analytic Hierarchy Process*, Vol.VI of the AHP Series, Pittsburg, USA: RWS Publications, 2006.

- [38] Y.T. İç ve İ. Apaydın, “Küçük ve Orta Ölçekli Makine İmalat Firmaları İçin Dış Ticaret Kabiliyeti Analizi”, *MATİM*,14(2):54-68,2016.
- [39] C.L. Hwang and K. Yoon, “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications”, *A State-of-the-Art Survey*, New York, Springer-Verlag, 1981.
- [40] G.R. Jahanshahloo, F.H. Lotfi and M. Izadikhah, “An Algorithmic Method to Extend TOPSIS for Decision-Making Problems with Interval Data”, *Applied Mathematics and Computation*, 175(2):1375-1384, 2006.
- [41] H. Gökçen, “*Yönetim Bilgi/Bilişim Sistemleri: Analiz ve Tasarım*”, 2. Baskı, Ankara: Palme Yayıncılık, 71-78, 2011.
- [42] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, “*Sayısal Görüntü İşleme*”, 3. Baskı, Z.Telatar,H.Tora A.Kalaycıoğlu, F.Arı Çev., Ankara: Palme Yayıncılık, 2014.
- [43] H. Bal, “Kamera ile Görüntü İşleme Teknikleriyle Malzeme Tane Büyüklüğü Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [44] M.F. Boyacıgil, “Görüntü İşleme Teknikleriyle Bir Endüstriyel Kalite Kontrol Uygulaması”, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Necmettin Erbakan Üniversitesi,Konya, Türkiye, 2022.
- [45] G.A. Miller, “The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information”, *The Psychological Review*, 63, 81–97, 1956.
- [46] E. Ayhan, “Elektrokimyasal Delme İşleminde Delik Kalitesinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Çalışma”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2023.

EK 1 : KDS'nin Genel Yapısını ve Prensihini Gösteren Özet Şema



EK 2 : Performans Metriklerinin Sonuçlarından ıkan İmalat Resimleri

7.RESİM	12.RESİM	19.RESİM
		
27.RESİM	60.RESİM	
