

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

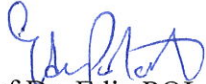
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çelik İçerisindeki Metal Olmayan Kalıntıların Görüntü İşleme Yöntemleriyle  
Otomatik Olarak Tespit Edilmesi ve Sınıflandırılması**


**Hüseyin AYDİLEK**

**AĞUSTOS 2015**

**Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında** Hüseyin AYDİLEK tarafından hazırlanan ÇELİK İÇERİSİNDEKİ METAL OLMAYAN KALINTILARIN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİYLE OTOMATİK OLARAK TESPİT EDİLMESİ VE SINIFLANDIRILMASI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.


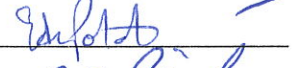

  
Prof.Dr. Ediz POLAT  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

  
Prof.Dr. Ediz POLAT  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE  
Üye (Danışman) : Prof.Dr. Ediz POLAT  
Üye : Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÖZDEN

05/08/2015

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

  
Prof.Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### ÇELİK İÇERİSİNDEKİ METAL OLMAYAN KALINTILARIN GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİYLE OTOMATİK OLARAK TESPİT EDİLMESİ VE SINIFLANDIRILMASI

AYDİLEK, Hüseyin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ediz POLAT

Ağustos 2015, 96 Sayfa

Çelik üretimi esnasında kimyasal reaksiyonlar ve fiziksel etmenlerden dolayı, çelik içerisinde oluşan metal olmayan kalıntılar çelik sektörünün en önemli problemlerinden bir tanesidir. Metal olmayan kalıntılar çeliğin kalitesini doğrudan etkileyerek üretilen ürünün yorulma dayanımını düşürmektedir. Çelik içerisinde bulunan metal olmayan kalıntıların ürün üretiminden önce tespit edilerek sınıflandırılması oluşabilecek maddi ve manevi zararların önlenmesi için önemlidir. Metal olmayan kalıntıların klasik yöntemler ile manuel olarak tespit edilmesi oldukça zahmetli ve zaman gerektiren bir işlemdir. Bu işlemler esnasında sonuçlar basit bir şekilde insan hatasından etkilenebilmektedir. Bu tez çalışmasında, metal olmayan kalıntıların tespiti ve sınıflandırılmasını otomatik olarak görüntü işleme yöntemleriyle gerçekleştiren bir sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin istatistik olarak analizinin yapılarak daha geniş alanlar için uzunluğun tahmin edilmesi hedeflenmiştir.

Sistem tarafından üretilen sonuçların uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından kabul edilebilmesi için uluslararası standart olan ASTM E45 referans alınmıştır. Analiz edilecek çelik örneklerinin görüntülerinin elde edilmesi için metal analizine uygun ışık mikroskopu kullanılmıştır. Işık mikroskopundan elde edilen görüntüler üzerinde

oluşan aydınlanma probleminin çözümü için literatürde kullanılan Top-Hat dönüşümleri kullanılmıştır. Metal olmayan kalıntılarda ayırt edici özelliklerden birinin gri eşik seviyesi olmasından dolayı bölütleme işleminden önce Çoklu Otsu Eşikleme algoritması uygulanarak kalıntıların eşik değerleri belirlenmiştir. Eşik değeri belirli olan kalıntılar eşik değerlerine göre bölütlere ayrılmış ve bu bölütlere BLOB analizi yapılarak BLOB özellikleri elde edilmiştir. Kalıntılardan elde edilen uzunluk verilerine boyut filtresi uygulanarak belirlenen minimum uzunluk seviyesi altında kalan kalıntılar filtrelenmiştir. Filtrelenmiş verilerin ASTM E45'te belirtilen ayırt edici özelliklerine göre ilgili hesaplar yapılmış ve kalıntılar tip, kalınlık ve şiddet sınıflarına ayrılmıştır.

Ayrıca, 6 adet örneklem ve bu örneklemelerin 4 yüzeyinin kullanılması ile oluşan toplam 24 adet yüzey üzerinde bu analizler yapılarak ilgili yüzeylerdeki en uzun kalıntı değerleri elde edilmiş ve standartta belirtilen ölçüm yüzeylerine uygun belirli bir kontrol alanı için karşılaşılabilecek maksimum kalıntı uzunluğu istatistiksel analiz yardımıyla hesaplanmıştır.

Literatürde bu tez çalışması kapsamındaki çalışmalar farklı şekillerde araştırılmış ancak uluslararası kabul gören standartlar ile uyumu sağlanamamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın metalografi alanında yapılacak diğer çalışmalar için kaynak niteliğinde olup farklı metal numuneleri için de uygulanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca tez çalışması kapsamında kullanılan görüntü işleme yöntemlerinin diğer metalografik analiz ve ölçümlerine temel oluşturacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Metal Olmayan Kalıntılar, Kalıntı Analizi, ASTM E45, Top-Hat Dönüşümleri, Çoklu Otsu Eşikleme, Görüntü Bölütleme, BLOB Analizi, Uç Değer Teoremi

## **ABSTRACT**

### **AUTOMATIC RECOGNITION AND CLASSIFICATION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN STEEL USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES**

AYDİLEK, Hüseyin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ediz POLAT

August 2015, 96 Pages

During steel production, by virtue of chemical reactions and physical factors, non metallic inclusions in steel are one of the most significant problems of steel industry. Non metallic inclusion have reduced fatigue strength of the yielded product by directly influencing the quality of steel. Recognition of non metallic inclusions in steel before yielding the product, and classification of non metallic inclusions in steel are important for preventing the probable physical and moral damage. Recognition of non metallic inclusions manually via classical methods is a fairly arduous and time consuming process. In the course of the process, results could be affected by human based mistakes. In this thesis study, it is aimed that a system is developed for non metallic inclusions in steel to recognize and classify automatically via image processing algorithm system. Furthermore, by performing an analysis statistically of data obtained, estimating the length has been targeted for more extensive areas.

ASTM 45, which is internationally standard, has been taken as a reference in order to be approved of the results produced by system by the international foundations and institutions. Light microscope, appropriate for metal analysis, has been used in order to obtain images of steel samples for analysis. Since the denouement of the enlightenment problem occurring on the images obtained from light microscope, Top-

Hat transformations, applied in literature, have been used. Threshold value of the inclusions has been specified by applying Multi Level Otsu Thresholding before the segmentation process on account of that gray level threshold is one of the distinguishing features in non metallic inclusions. Inclusions that have certain threshold values have been allocated in segments according to their threshold values and BLOB features have been obtained via making a BLOB analysis to these segments. Inclusions that are under the minimum extent level specified by utilizing dimension filter for length data of inclusions have been filtered. According to distinctive features, defined in ASTM E45, of filtered data, relevant computation has been done and inclusions have been classified as type, thickness and severity.

Moreover, by making the analyses on 6 samples and total 24 surfaces with using 4 faces of these samples, the longest inclusion values on relevant surfaces have been obtained and maximum inclusion length to be probably encountered for a certain control area, appropriate for the measurement surfaces, defined in standarts have been calculated by means of statistical analysis.

Studies in the scope of the thesis study in literature have been investigated in many ways, nevertheless, consistency of them with the internationally accepted standarts has not been realized. Thus, It is supposed that this study serves as a resource for further studies on metallography and It could be also applied for different metal samples. Additionally, It is conceived that image processing techniques used in the scope of the thesis study will form a basis for further metallographic analysis and measurements.

**Keywords:** Non Metallic Inclusions, Inclusion Analysis, ASTM E45, Top-Hat Transformations, Multi Level Otsu Thresholding, Segmentating Image, BLOB Analysis, Extreme Value Theorem.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın organize etmiş olduğu Sanayi Tezleri Programı (San-Tez) kapsamında 0689.STZ.2014 proje numarası ile desteklenmiştir.

Tez çalışmam boyunca bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan, çalışmalarım süresince motive ederek yol gösteren ve çalışma için gerekli imkânları sağlayarak bu tezin başarıya ulaşmasını sağlayan çok kıymetli hocam Sayın Prof.Dr. Ediz POLAT'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan; ayrıca tez savunması esnasında jüri üyesi olarak kıymetli görüşleri ile tezime katkı sağlayan çok değerli hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÖZDEN'e teşekkürlerimi sunarım. Tez savunması esnasında yapıcı eleştirileri ve önerileri ile faydalı görüşlerini belirten Sayın Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında bilgi, tecrübe ve imkânlarını paylaşmaktan çekinmeyen değerli Makine Kimya Enstitüsü Kurumu çalışanlarına ve Arş.Gör. Onur OKUR'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca çalışmalarım esnasında destekleri ve yardımları için mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca, tek amaçlarının evlatlarının geleceği olan ve bu doğrultuda evlatlarının isteklerini kendi ihtiyaçlarının üstünde tutarak eşsiz bir fedakârlık örneği gösteren annem Dudu AYDİLEK, babam Alper AYDİLEK ve her zaman en iyi arkadaşım ve sırdaşım olan kardeşim Oğuzhan AYDİLEK'e şükranlarımı sunarım.

Hayatıma girdiği günden beri her şeyi güzelleştiren, sevgisi ile bana güç veren ve tez çalışmalarım boyunca büyük bir sabırla bana destek olan biricik eşim Sevcan AYDİLEK'e sonsuz teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>ÖNSÖZ</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	x
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Çelik Sektörü.....	1
1.2. Çeliğin Temizliği.....	3
1.2.1. Dış Kökenli Metal Olmayan Kalıntıları.....	3
1.2.2. İç Kaynaklı Metal Olmayan Kalıntıları.....	3
1.3. Metal Olmayan Kalıntıların Çelik Üzerindeki Etkileri.....	4
1.4. Çelik İçerisindeki Metal Olmayan Kalıntıların Tespiti ile İlgili Çalışmalar.....	5
1.5. ASTM E45 Standartı.....	12
1.6. ASTM E3 Standartı.....	15
1.6.1. Örneklemin Kesilerek Tabakadan Çıkarılması.....	15
1.6.2. Zımparalama İşlemleri.....	15
1.6.2.1. Kaba Zımparalama.....	15
1.6.2.2. Hassas Zımparalama.....	16
1.6.3. Parlatma İşlemleri.....	16



1.6.3.1. Kaba Parlatma.....	16
1.6.3.2. Hassas Parlatma.....	17
1.7. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı.....	17
<b>2. GELİŞTİRİLEN SİSTEM .....</b>	<b>19</b>
2.1. Morfolojik Görüntü İşleme .....	22
2.1.1. Aşınma ve Genleşme .....	22
2.1.2. Morfolojik Açma ve Kapama.....	24
2.2. Yapısal Eleman.....	25
2.3. Top-Hat Dönüşümleri.....	26
2.4. Görüntü Bölütleme.....	27
2.4.1. Eşikleme.....	27
2.4.1.1. Otsu Eşikleme.....	29
2.5. BLOB Analizi.....	32
2.5.1. Piksel Bağlılığı.....	32
2.5.2. BLOB Özellikleri.....	33
2.5.3. Grass-Fire Algoritması.....	35
2.6. Uç Değer Dağılımı.....	36
2.6.1. Olasılık Dağılımı.....	37
2.6.2. Olasılık Dağılımının Parametreleri.....	39
2.6.3. Olasılık Dağılımının Parametrelerinin Tahmin Edilmesi.....	39
2.6.3.1. Momentler Yöntemi.....	39
2.6.3.2. En Çok Olabilirlik Yöntemi.....	40
<b>3. DENEY VERİLERİ VE SINIFLANDIRILMASI.....</b>	<b>41</b>
3.1. Deney Ortamının Hazırlanması.....	41

3.2. Deneyde Kullanılacak Örneklerin Hazırlanması.....	43
3.3. Örneklerin Analiz Edilmesi ve Verilerin Elde Edilmesi.....	46
3.4. Verilerin ASTM E45'e Göre Değerlendirilmesi.....	51
3.5 Uç Değer Dağılımına Göre Analiz Uygulaması.....	80
<b>4.SONUÇ.....</b>	<b>91</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>93</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. 2014 yılına ait ülkelere göre çelik üretimi verileri en çok üretim yapan ilk 10 ülke için ton cinsinden verilmiştir.....	2
1.2. Kalıntı analiz metotlarının karşılaştırılması.....	8
1.3. Kalıntıların mikroskoptan elde edilen görüntülerinin kimyasal tiplerine göre morfolojik özellikleri.....	13
1.4. Kalıntıların uzunluk değerlerine göre kalınlık sınıflandırması için sınır değerleri.....	14
3.1. ASTM E45 Metot A'ya göre yapılan tarama işlemi ve analizin sonucunda elde edilen kalıntı bilgileri ve sınıflandırılma bilgileri.....	56
3.2. ASTM E45 Metot A'ya göre yapılan tarama işlemi ve analizin sonucunda elde edilen kalıntı bilgileri ve sınıflandırılma bilgileri.....	65
3.3. Uç değer dağılımı için analiz edilen örneklemelerden elde edilen en büyük uzunluk değerleri.....	85
3.4. Uç değer dağılımı için gerekli parametrelerin sonuçları.....	89

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye haritası üzerinde çelik üretimi yapan firmaların dağılımı bölgelere göre gösterilmiştir. Çelik üretimi ülkemizde Marmara bölgesi, İzmir bölgesi, Karadeniz bölgesi ve İskenderun bölgesi olmak üzere 4 bölgede gösterilmiştir.....	2
1.2. Metal olmayan kalıntıların ışık mikroskobundaki görüntüleri; (a) sülfür tipi, (b) alümina tipi, (c) silikat tipi, (d) küresel oksit tipi kalıntılara aittir.....	4
1.3. JK (Jernkontoret) Kalıntı Tablosu, karşılaşılabilecek kalıntı görüntüleri tip, kalınlık ve şiddet değerlerine göre sınıflandırılmıştır.....	11
2.1. ASTM E45'e göre oluşturulmuş analiz algoritmasının blok diyagramı.....	20
2.2. Uzunlukların uç değer dağılımı ile hesaplama algoritmasının blok diyagramı.....	21
2.3. Morfolojik aşınma işlemi.....	23
2.4. Morfolojik genişleme işlemi.....	24
2.5. Morfolojik açma işlemi.....	24
2.6. Morfolojik kapama işlemi.....	25
2.7. Bazı yapısal eleman örnekleri.....	26
2.8. a. Orijinal görüntü b. Top-Hat dönüşümü uygulanmış görüntü.....	27
2.9. a. Orijinal görüntü b. Çok katmanlı Otsu algoritması uygulanmış görüntü.....	32
2.10. Piksel bağlılığının görüntüsü her bir kare 1 pikseli ifade etmektedir. 4 - bitişiklik (solda) 8 - bitişiklik (sağda).....	33
2.11. a. Sınırlayıcı Kutu b. Sınırlayıcı Çember c. Dışbükey Sınırlayıcı.....	35
2.12. Grass Fire algoritmasının tarama yönteminin şekilsel görüntüsü.....	36

3.1. Sistemin genel görüntüsü sistemin donanımsal kısmı metal mikroskobu ve ona bağlı kamera ve bilgisayardan oluşmaktadır. Yazılımsal kısmı ise uygun görüntü işleme algoritmaları, istatistiksel analiz yöntemi ve sonuçların raporlanmasından oluşmaktadır.....	41
3.2. Metal mikroskobu ve analiz bilgisayarının genel görüntüsü.....	42
3.3. a. Kalibrasyon cetveli ince cam tabaka üzerine hassas lazer çizimi ile hazırlanmıştır. Mikroskop üzerine yerleştirilen kameranın bir pikselinin karşılık geldiği uzunluğun metre cinsinden ölçmek için kullanılır. Üzerinde dört farklı ölçüm şekli bulunmaktadır. (b) Kalibrasyon cetvelinin mikroskop üzerinden elde edilen görüntüsü bu görüntüde her bir bölme 0.01mm'dir.....	43
3.4. Çelik örnekleme kesmek için kullanılan kesicinin görüntüsü.....	44
3.5. Kesme işlemi sonucunda elde edilmiş örneklem görüntüsü, üzerinde paralel çizgi şeklinde oluşmuş yapılar kesici bıçaktan dolayı kaynaklanmıştır.....	44
3.6. Polisaj ve Zımparalama Makinesi.....	45
3.7. Analiz için zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirilerek hazır hale getirilmiş örneklemin görüntüsü.....	46
3.8. Tarama alanının örneklem üzerinden şekilsel gösterimi. Tarama alanı Yanyana tarama bölgelerine bölünerek gösterilmiştir.....	47
3.9. a. Gri-seviyeye çevrilmiş orijinal görüntü b. Top-Hat dönüşümü uygulanmış görüntü.....	48
3.10. a. Aydınlanma problemi olan görüntüye uygulanan bölütleme işlemi b. Aydınlanma problemi giderilmiş görüntüye uygulanan bölütleme işleminin sonucu.....	49
3.11. Arka plandan bölütlere ayrılmış görüntü.....	51
3.12. Metal mikroskobu altında alınan örneklem görüntüleri (a,b,c,d,e,f).....	52

3.13. Metot A'ya göre taranan örneklem görüntüsü mavi kare en kötü 0.50 mm <sup>2</sup> 'lik alanı belirtmektedir.....	55
3.14. Metot D'ye göre taranan örneklemelerden bazı analiz görüntüleri (a,b,c,d,e,f).....	61
3.15. Uç değer dağılımı için kullanılan örneklemelerden görüntüler örneklemeler üzerinde A tipi kalıntıların olduğu gözlenmektedir. (a,b,c).....	81
3.16. Uç değer dağılımı analizi sonucu örneklemelerden görüntüler. Tespit edilen kalıntılar kırmızı kutu ile belirtilmiştir. (a,b,c).....	83

## KISALTMALAR DİZİNİ

NMI	Non Metallic Inclusions
MOK	Metal Olmayan Kalıntılar
PDF	Probability Density Function
OYF	Olasılık Yoğunluk fonksiyonu
CDF	Cumulative Density Function
KYF	Kümülatif Yoğunluk Fonksiyonu
EVD	Extreme Value Distribution
UDD	Uç Değer Dağılımı
MOM	Methods of Moments
ML	Maximum Likelihood

# 1.GİRİŞ

## 1.1. Çelik Sektörü

Çelik sektörü, demir cevherinin yüksek sıcaklıktaki fırınlarda veya hurdaların ark ocaklarında eritilmesiyle elde edilen çelik kütüğünün çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlerden geçirilerek istenilen özellikte ürünlerin üretildiği bir sektördür [1]. Teknolojinin gelişmesi ve hammadde olarak çelik kullanan sektörlerin ihtiyaçlarının değişmesi bu sektördeki ürün çeşitliliğini arttırmıştır. Endüstri devrimi sonrası en önemli hammadde konumuna erişen çelik başta inşaat, otomotiv, savunma, makine, beyaz eşya sanayileri gibi birçok sanayi alanında kullanılmaktadır.

2014 yılında dünyada 1 640 035 000 ton ham çelik üretimi yapılmıştır. Türkiye Çizelge 1.1'den görüleceği üzere 34 035 000 ton ham çelik üreterek dünya üzerinde en çok ham çelik üreten 8. ülke olmuştur [2]. Ülkemizde çelik üretimi oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Ülkemizde çelik üretimi yapan firmaların dağılımı harita üzerinde Şekil 1.1.'de gösterilmiştir [3].

Çeliğin sektörel kullanımı ve dünya nüfusunun artış oranı göz önüne alındığında dünya çelik talebinin 2025 yılında yaklaşık 2,3 milyar ton artması beklenmektedir [4]. Bir ülkenin sanayi geleceği o ülkenin çelik sektöründeki başarısı ile doğru orantılıdır; bu başarının temel şartı kaliteli çelik üretimi olmalıdır.



**Çizelge 1.1.** 2014 yılına ait ülkelere göre çelik üretimi verileri en çok üretim yapan ilk 10 ülke için ton cinsinden verilmiştir.

1	Çin	<b>822 698 000</b>
2	Japonya	<b>110 666 000</b>
3	Amerika Birleşik Devletleri	<b>88 174 000</b>
4	Hindistan	<b>86 530 000</b>
5	Güney Kore	<b>71 543 000</b>
6	Rusya	<b>71 461 000</b>
7	Almanya	<b>42 943 000</b>
8	Türkiye	<b>34 035 000</b>
9	Brezilya	<b>33 912 000</b>
10	Ukrayna	<b>27 170 000</b>



**Şekil 1.1.** Türkiye haritası üzerinde çelik üretimi yapan firmaların dağılımı bölgelere göre gösterilmiştir. Çelik üretimi ülkemizde Marmara Bölgesi, İzmir Bölgesi, Karadeniz Bölgesi ve İskenderun Bölgesi olmak üzere 4 bölgede gösterilmiştir [3].

## 1.2. Çeliğin Temizliği

Hızla gelişen teknoloji çelik üreticilerini daha kaliteli ve güvenilir çelik üretmeye zorlamaktadır. Çeliğin kalitesi temizliği ile doğru orantılıdır. Temiz çelik literatürde, büyük, çelik yorgunluk çatlakları oluşmasına sebep olabilecek metal olmayan kalıntılar içermeyen çelik olarak tanımlanmıştır [5]. Metal olmayan kalıntılar çelik içerisinde oluşmuş metal özelliği göstermeyen maddelerdir. Metal olmayan kalıntılar oluşma kaynağına göre dış kökenli ve iç kaynaklı olmak üzere iki grupta incelenmektedir [6].

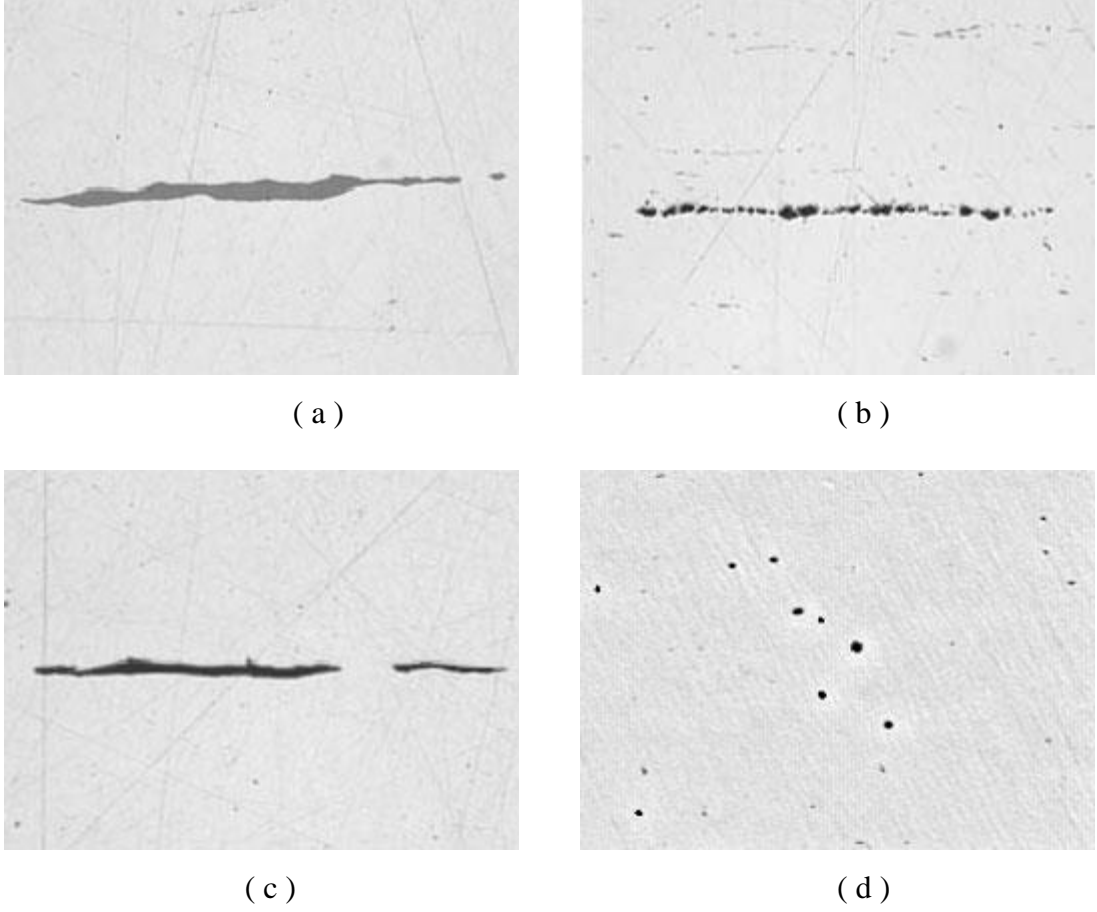
### 1.2.1. Dış Kökenli Metal Olmayan Kalıntılar

Dış kökenli metal olmayan kalıntılar oksijeni giderilmiş çelik ile çevresinin etkileşiminden kaynaklanmaktadır [7]. İç kaynaklı kalıntılar üretim aşamasında sıvı çeliğe eklenen maddeler sonucu oluşurken, dış kökenli kalıntılar ise üretim sırasında sıvı çeliğin istenmeyen mekanik ve kimyasal reaksiyonları sonucu oluşmaktadır. Dış kaynaklı kalıntılar genellikle boyutları, biçimsiz şekillerinden dolayı çok zararlıdır. Dış kaynaklı kalıntılar cüruf sıkışımı, oksijen giderimi ürünleri ve refrakter astarları içermektedir.

### 1.2.2. İç Kaynaklı Metal Olmayan Kalıntılar

İç kaynaklı kalıntılar sıvı çelikte yapılan oksijen giderme, soğutma ve katılaştırma işlemleri sürecinde oluşmaktadır. Oksijen giderme işlemi sırasında çözülmüş oksijen ile oksijen giderici olarak kullanılan alüminyumla veya silikonla reaksiyona girmesi sonucu alüminyum oksit (Alumina) ve silisyum dioksit (Silika) kalıntıları oluşmaktadır. Çeliği soğutma işlemi süresince, sıvıdaki çözülmüş oksijen/ nitrojen/ sülfürün çözünebilirliği azalırken, bu elementlerin yoğunluğu artmaktadır. Bundan dolayı alüminyum oksit, silisyum oksit, sülfür gibi kalıntılar çökelti oluşturur. Katılaştırma işlemi sırasında sülfürler dallanarak oluşur ve sıvı çelikte bulunan

oksitlerle çekirdeklenir. İç kaynaklı metal olmayan kalıntıların ışık mikroskobu altındaki görüntüleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.2.** Metal olmayan kalıntıların ışık mikroskobundaki görüntüleri; (a) sülfid tipi [8], (b) alümina tipi [9], (c) silikat tipi [10], (d) küresel oksit tipi [11] kalıntılara aittir.

### 1.3. Metal Olmayan Kalıntıların Çelik Üzerindeki Etkileri

Metal olmayan kalıntılar genellikle oksitler ve sülfidler olarak temsil edilir. Bazı ürünlerde nitritler önemli olabilmektedir ve diğer kalıntı tipleri arasında değerlendirilebilir [12]. Metal olmayan kalıntıların çelik üzerinde olumsuz etkileri vardır. İnklüzyondan dolayı sertliğin artması işlenebilirlik özelliğini düşürür. İnklüzyon sayısının fazla olması maksimum çekme limitinde düşmeye yol açar. Sülfür

kalıntılarının çözünmesiyle korozyonunu başlatır. Haddemeleme işlemleri sürecinde kalıntılar çevresinde gerilim oluşturarak yorulma ve çatlak oluşumuna neden olur [13].

#### **1.4. Çelik İçerisindeki Metal Olmayan Kalıntıların Tespiti ile İlgili Çalışmalar**

Literatürde inklüzyon analizi üzerine yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Metal olmayan kalıntıları tespit etme çalışmaları;

- Optik mikroskop ile yüzey analizi;
- Tahribatsız testler (ultrasonik test, manyetizma bağlantılı testler ve x-ray transmisyon)
- Kalıntı yoğunlaşma metotları
- Kimyasal analizler
- Kırılma metotları
- Oksijen tayini
- Kıvılcım emisyonu
- İstatistiksel tahminler olmak üzere sekiz başlıkta toplanılmıştır [12].

Çalışmada ultrasonik testler, temel olarak çelik ana yapısı ile kalıntının akustik özellikleri farkı tabanlı bir sistem olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ultrasonik testlerin 200µm ve üzeri kalıntıların tespiti için kullanılan bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Geniş hacimlere uygulanabilir olması bu yöntemin en önemli avantajı olarak belirtilmektedir.

Manyetizma bağlantılı testlerin daha çok metal ve alaşımların iç muayenesinin yapılması için kullanıldığı belirtilmiştir. Bu tip testlerde en çok kullanılan metodun Manyetik Kaçak Akı yöntemi olduğu belirtilmiştir. Bu yöntemin temel olarak ferromanyetik malzemede herhangi bir inklüzyonun olduğu noktada manyetik direncin malzemenin diğer bölgelerine göre yüksek derecede arttığı belirtilmiştir.

X-ray transmisyununun diğer bir sık kullanılan tahribatsız test metodu olduğu belirtilmiştir. Bu yöntemle 5-10 kat daha büyük görüntülerin üretilebildiği belirtilmiştir. Fakat bu yöntemde boşluklar ile kalıntıların ayırt edilmesinin zor olduğu belirtilmiştir. Ayrıca işlem maliyetlerinin yüksek olduğu da belirtilmiştir.

Kalıntı yoğunlaşma metotlarından birinci yöntemde 1 kg 'ye kadar elik örneği vakum içerisinde eritilerek su soğutmalı bakır kalıba döküldüğu, kalıntı parçacıklarının yüzeyde küçük bir alanda yoğunlaştığı belirtilmiştir. Daha sonra yüzeyde yoğunlaşan metal olmayan kalıntıların kimyasal analiz, taramalı elektron mikroskopu ile analiz gibi ikinci bir yöntemle analiz edildiği belirtilmiştir. Bu tekniğin genellikle geniş alanda problemlili olan çeliklerin temizliğini ölçmek için kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışmada belirtilen bir diğer yöntemde ise, soğuk ergitme potasının örnek eritmek için kullanıldığı belirtilmiştir. Bu yöntemde kalıntıların bir önceki yöntemdeki gibi belli bir bölgeye toplanmadığı; yüzeyde birleşen kalıntıların taramalı elektron mikroskopu ile analiz edilebildiği belirtilmiştir.

Kimyasal analiz yöntemlerinde 100 ila 200 gram metal ana maddesinin kimyasal maddeler veya elektrokimyasal yöntemlerle özündüğu; çözünmeyen metal olmayan kalıntılar elde edildikten sonra, bu kalıntıların morfolojik özelliklerinin, uzunluklarının ve yapısının taramalı elektron mikroskopu, lazer tanecik boyut analizi, x-ray difraksiyon metotları ile incelendiği belirtilmiştir.

Birçok eliğin, ürün üretimi için uygunluğunun o çeliğin elde edilen mekanik özelliklerine bağlı olduğu ve bu yüzden kırılma testlerinin kalıntı tayin etme yöntemi olarak da kullanabildiği belirtilmiştir. Metal olmayan kalıntıların tayini için kullanılan bazı kırılma testleri;

- Mavi gevreklik testi;
- Katmanlı yırtılma testi;
- Çapraz ekme testi olarak belirtilmiştir.

Oksijenin kimyasal analizi genellikle çelikteki kütle kalıntı içeriğinin bir ölçüsü olarak ele alınabildiği ve elik yapım sürecinde çeliğin temizliğinin bir kriteri olarak

kullanıldığı belirtilmiştir. Metal ana yapısında oksijenin çözünebilirliği aşırı derecede düşük olduğu için, kalıntıların kimyasal kompozisyonu bilinirse veya iyi bir şekilde tahmin edilebilirse oksit kalıntılarının kütle konsantrasyonu oksijen analizine dayanarak hesaplanabildiği belirtilmiştir. Fakat oksijen içeriği kalıntıların, boyut, morfolojik ve dağılım bilgilerini vermediği belirtilmiştir. Aynı oksijen içeriğine sahip çeliklerin farklı boyut dağılımlarına sahip olabildiği belirtilmiştir.

Kıvılcım emisyonu bazlı tekniklerin fiziksel bir analiz tekniği olduğu belirtilmiştir. Örneklem yüzeyinin belirli bir frekansta spektrometrik argon ile kıvılcımlandırıldığı belirtilmiştir. Bu metotta sadece kaba yüzeyin zımparalanması gerektiği ve hızlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Genel olarak metallerin ve alaşımların nominal kimyasının belirtilmesinde kullanıldığı belirtilmiştir.

Optik mikroskop ile yüzey analizini ise standart çizelge karşılaştırması ve görüntü analizi olmak üzere iki başlıkta incelemiştir. Çizelge karşılaştırma yönteminde Jernkontoret Tablosu ve ASTM E45 standardından bahsetmiştir. Görüntü analizi yönteminde ise kalıntıların tespit edilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi için literatürde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

İstatistiksel yaklaşımlar için ise uç değer dağılımı ve genelleştirilmiş pareto dağılımı ile yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Çalışmada verilen kalıntıları karşılaştırma çizelgesi, Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

Optik mikroskop ile yapılmış en eski çalışma İsveç’te yapılan Jernkontoret (JK) Kalıntı Tablosudur [14]. Bu tablo Şekil 1.3’te de görüleceği üzere karşılaşılabilecek olası kalıntı figürlerini kimyasal içeriği, kalınlık ve şiddet değerlerine göre hazırlanarak oluşturulmuştur. Analiz yapan operatör, mikroskop altında elde ettiği görüntüyü bu tablo ile karşılaştırarak analiz yapmaktadır. Bu yöntem, dağılım ve ölçüm değerleri içermez, bundan dolayı hata yapma ihtimali çok fazladır.

**Çizelge 1.2.** Kalıntı analiz metotlarının karşılaştırılması [12]

Methods	Time for sample preparation	Time for analysis	Volume tested	Volume fraction	Size of inclusions	Location of inclusions	Number of inclusions per unit area or volume	Morphology information	Chemical information	Advantages	Drawbacks
J-K assessment	2-3 h	30-60 min	10-100 mg	No	No	No	No	No	No	Simple; Quick	Less quantitative; Many view fields
Image analysis	2-3 h	4-10 h	10-100 mg	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Large quantity of information Quantitative	Time consuming; Not suitable for very small inclusions
Ultrasonic tests	2-3 h	1-2 h	Large volume	No	Yes	Yes	Yes	No	Yes if + EDX	On-line examination Quantitative	Time consuming; Not sensitive to small inclusions
Blue brittle test	10-20 h	0.5-1 h	Large volume	No	Yes	Yes	No	Yes if + EDX	Yes if + EDX	Exposure of the worst inclusions	Time consuming; Statistical difficulties
Cold crucible remelting	1-2 h	0.5-1 h	100 g	No	Yes	No	No	Yes if + EDX	Yes if + EDX	Concentration of inclusions in the surface of the remelted sample	Difficult to quantify
Sparking emission	1 to 2 h	5-10 min	1-10 mg (single sparking)	No	No	Yes	No	No	Yes	Information about the distribution of different inclusions	Expensive; Difficult to quantify
Electron beam button remelting	1-2 h	20-30 mins	1 kg	No	Yes	No	No	Yes if + EDX	Yes if + EDX	Concentration of inclusions and large quantity of metal	Expensive; Non-stable inclusions
Electrolytic dissolution + SEM/EDX	1-2 h	2 weeks	100-250 g	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Large quantity of metal and quantitative information	Time consuming

Uluslararası geliştirilen kalıntı tespiti standartlarından bazıları Jernkontoret tablosunu referans alırlar ve kalıntıların dağılımı ve uzunluk hesaplamaları için yöntemler önerirler. Literatürde DIN 50602 [15], ASTM E45 [16], ISO 4967 [17], EN 10247 [18], JIS G0555 [19] standartları metal olmayan kalıntıların analizi için kullanılmaktadır.

Ayrıca, literatürde görüntü işleme yöntemleriyle yapılan başka çalışmalar da bulunmaktadır.

2012 yılında yapılan çalışmada organik bir çözelti ile çelik ana yapısı aşındırılarak ortaya çıkan metal olmayan kalıntılar taramalı elektron mikroskobu ile taranarak üç boyutlu yapısı incelenmiştir [20].

2012 yılında yapılan çalışmada yeni bir donanımsal sistem geliştirilmiş ve bu donanımsal sistemden elde edilen görüntüler görüntü işleme algoritmaları ile analiz edilerek sonuca ulaşılmıştır [21]. Geliştirilen sistemin en önemli özelliği örneklem hazırlama işlemlerinin geçilerek çelik numunesinden alınan kesitin direk olarak analiz edilmesine imkân sağlamasıdır. Ayrıca sistem ASTM E45 standardına göre daha büyük bir alanı gerçek zamanlı analiz ederek büyük boyutlardaki kalıntıların tespit edilmesine olanak sağlamaktadır.

Literatürde, çelik sektöründeki gelişmeler ile birlikte çelik içerisindeki metal olmayan kalıntıların oldukça azaltıldığı belirtilmektedir ve klasik yöntemlerin çelik içerisindeki kalıntıları tanımlamada yetersiz kaldığı belirtilmektedir. İstatiksel yaklaşımların kalıntıları tanımlamada gerekli olduğu belirtilmektedir. Bu doğrultuda literatürde de en çok atıf alan çalışma 1994 yılında Y.Murakami tarafından yapılmıştır [22].

Y.Murakami çelik üzerinde aldığı örnekleri inceleyerek maksimum uzunluktaki kalıntıları tespit edip, bu uzunluk verileri ve kalıntıların boyut-alan bilgilerinden yola çıkarak istatistiksel uç değer teoremi ile küçük bir çalışma alanından bütün parça için bir tahmin sistemi oluşturmuştur.



2000 yılında yapılan çalışmada yine bir uç değer tahmin etme yöntemi olan genelleştirilmiş pareto dağılımı kullanılarak uç değerler tahmin etmeye çalışılmış ve başarılı sonuçlar elde edilerek istatistiksel uç değer teoremi ile genelleştirilmiş pareto yöntemi karşılaştırılmıştır [23].

2005 yılında yapılan çalışmada Eşik Metodu adı verilen bir yöntem geliştirmiş ve bu yöntem uygulanarak gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları Y.Murakami'nin Gumbel uç değer teoremi tabanlı maksimum alanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır [24]. Eşik metodu yönteminde eşik değerini geçen kalıntıların üstel bir dağılım oluşturduğu varsayılmıştır.

2009 yılında yapılan bir çalışmada 5 değişik çelik üzerinde ışık mikroskobu ile ölçümler yapılmış ve sonuçlar istatistiksel uç değer teoremi ve öğrenci yaklaşımı adı verilen diğer bir istatistiksel analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir [25].

2010 yılında yapılan çalışmada EN51CrV4 standardına göre üretilmiş çelik numunesi ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu altında ISO 4967 standardına göre incelenmiş olup tahmin edilen maksimum uzunluk istatistiksel uç değer teoremi kullanarak bulunmuştur [26].



2012 yılında yapılan çalışmada değişik sıcaklık ve sertlikte hazırlanmış 6 değişik çelik numunesi taramalı elektron mikroskopunda analiz edilerek sonuçları genelleştirilmiş uç değer dağılımı ile analiz edilmiştir [27].

### **1.5. ASTM E45 Standardı**

ASTM E45 standardı Amerikan Test ve Materyal Kuruluşu'nun metal olmayan kalıntıların analiz edilmesi için hazırlanmış olduğu uluslararası kabul görmüş bir standarttır. Standart metal olmayan kalıntıları boyutlarına göre makro ve mikro kalıntılar olmak üzere ikiye ayırmıştır. Standart makro kalıntılar için manyetik parçacık testi, kırılma testi, dağlama testi ve step-down testlerini önermiştir. Mikro kalıntılar ise 5 adet genel kabul görmüş test yöntemini barındırmaktadır. Bu yöntemlerden Metot A ve Metot D ışık mikroskopu altında Jernkontoret tablosu tabanlı otomatik görüntü işleme sistemi için gerekli algoritmalar ve hesaplama için gerekli veri ve formülleri içermektedir. Metot A analiz için hazırlanmış 160 mm<sup>2</sup>'lik alanın 0,50mm<sup>2</sup>'lik alanlar ile taranıp üzerinde kalıntıların en yoğun bulunduğu 0,50mm<sup>2</sup>'lik tarama bölgesinin seçilerek bu bölgeye ait kalıntıların tip, kalınlık ve şiddet değerlerinin raporlanmasını içermektedir. Metot D ise analiz için hazırlanmış 160mm<sup>2</sup>'lik alanın 0,50mm<sup>2</sup>'lik alanlara bölünerek taranmasını ve toplam 160 mm<sup>2</sup>'lik alan içerisinde bulunan kalıntıların tip, kalınlık ve şiddet değerlerinin rapor edilmesini içermektedir. Standarda göre kalıntıların kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılabilmesi için gerekli morfolojik özellikleri Çizelge 1.3'te belirtilmiştir. Kalınlık sınıflandırılması için gerekli uzunluk değerleri Çizelge 1.4'te belirtilmiştir.

**Çizelge 1.3.** Kalıntıların mikroskoptan elde edilen görüntülerinin kimyasal tiplerine göre morfolojik özellikleri

<b>İnklüzyon Tipi</b>	<b>Kimyasal Adı</b>	<b>Kimyasal Adı (İngilizce)</b>	<b>Gri Seviyesi Aralığı</b>	<b>En/Boy oranı (Aspect Ratio)</b>	<b>Diğer Bilgiler</b>
<b>A</b>	Sulfit	Sulfide	130 - 195	$AR \geq 2$	Fiziksel Özellikleri Silikat (C Tipi) ile aynı; ayırt edici özelliği gri seviyesi farkıdır. Parlak alan altında gri olarak gözlemlenecektir.
<b>B</b>	Aliminyum Oksit	Alumina	0 - 130	$AR < 2$	B tipi ipliksi yapılar en az 3 adet açısız/yuvarlak oksit parçacıklarından oluşur. Deformasyon eksenine paralel olarak hizalanmıştır. İpliksi yapının merkez yapısına $\pm 15 \mu\text{m}$ uzaklıktaki parçacıklar bu yapıya dâhil edilir.
<b>C</b>	Silikat	Silicate	0 - 130	$AR \geq 2$	B tipi ipliksi yapılar 1 veya daha fazla; fazlaca uzatılmış oksit parçacıklarından oluşur. Düz yüzeyi deformasyon eksenine paraleldir. İpliksi yapıda parçacıklar arasında maksimum izin verilen ayrıklık mesafesi $\pm 40 \mu\text{m}$ dir.
<b>D</b>	Küresel Oksit	Globular Oxide	0 - 130	$AR < 2$	En/Boy oranı 2'den küçük; B ve C tipine dâhil olmayan herhangi bir oksit küresel oksit olarak sınıflandırılabilir.

**Çizelge 1.4.** Kalıntıların uzunluk değerlerine göre kalınlık sınıflandırması için sınır değerleri

İnklüzyon Tipi	İnce Seri		Kalın Seri	
	Genişlik μm (En Küçük)	Genişlik μm (En Büyük)	Genişlik μm (En Küçük)	Genişlik μm (En Büyük)
A	2	4	>4	12
B	2	9	>9	15
C	2	5	>5	12
D	2	8	>8	13

Kalınlık değerleri bilinen kalıntıların şiddet değerleri hesaplamaları aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

**A Tipi Kalıntı için:**

$$\log[s(A)] = 0,561593 \times \log[u(A)] - 1,18137 \quad (1.1)$$

**B Tipi Kalıntı için:**

$$\log[s(B)] = 0,463336 \times \log[u(B)] - 0,8735 \quad (1.2)$$

**C Tipi Kalıntı için:**

$$\log[s(C)] = 0,47973 \times \log[u(C)] - 0,90105 \quad (1.3)$$

**D Tipi Kalıntı için:**

$$\log[s(D)] = 0,5 \times \log[u(D)] - 0,90105 \quad (1.4)$$

Verilen eşitliklerde  $s(A)$ ,  $s(B)$ ,  $s(C)$  ve  $s(D)$  değerleri şiddet değerlerini;  $u(A)$ ,  $u(B)$ ,  $u(C)$  ve  $u(D)$  kalıntı veya kalıntının oluşturduğu yapının uzunluk değerlerini belirtmektedir.

## **1.6. ASTM E3 Standardı**

ASTM E3 standardı Amerikan Test ve Materyal Kuruluşu'nun metalografik malzeme analizi için örneklem hazırlanması ile ilgili uygun prosedürleri içeren standarttır [28]. Standart örneklem seçiminin bütün malzemeyi temsil etmesinden dolayı önem taşıdığını ayrıca örneklem hazırlama süreçlerinin analiz sonuçlarına etki ettiğinden bahsetmektedir. Standart analiz edilecek malzemenin özelliğine ve hazırlama sürecinde kullanılacak yöntemeye göre uygun araçların seçimi için bilgiler sunmaktadır.

### **1.6.1. Örneklemin Kesilerek Tabakadan Çıkarılması**

Bu işlemde örneklem analiz için seçilen tabakadan analiz için gerekli minimum tarama alanını kapsayacak ölçüde kesilerek çıkarılır. Kesme işlemi sırasında dikkat edilecek en önemli husus uygun kesicinin seçilerek örnekleme zarar vermemesidir. Genel uygulama sert örneklem için yumuşak, yumuşak örneklem için sert bıçak seçimidir. Kesme işlemi sonunda, işlem sırasında soğutucu olarak kullanılan yağın uygun bir organik çözelti ile temizlenmesi gerekmektedir.

### **1.6.2. Zımparalama İşlemleri**

Kesme işlemi tamamlandığında analiz işleminin sağlıklı bir şekilde tamamlanabilmesi için örneklem yüzeyinin pürüzsüz bir şekilde olması gerekmektedir. Bu yüzden örneklemin uygun materyaller seçilerek zımparalama işleminin tamamlanması gerekmektedir.

#### **1.6.2.1. Kaba Zımparalama**

Kaba zımparalama işlemi kesicinin örneklem üzerinde oluşturduğu izlerin giderilerek kalın çiziklerin giderilmesi işlemidir. Bu işlem örneklemin 200-300 rpm hızında dönen P120-P320 numara zımparalar ile 20-30 N kuvvet uygulanarak 15-45 saniye

zımparalanması işlemidir. Zımparalama işlemi sırasında kaydırıcı olarak su kullanılmalıdır. Zımparalama işlemi sırasında örneklem zımpara ile aynı yönde döndürülmelidir.

#### **1.6.2.2. Hassas Zımparalama**

Kaba zımparalama işlemi tamamlanmış örneklemin kaba zımparalama ile giderilememiş çiziklerin giderilmesi için sırasıyla P220, P500 ve P1200 numaralı zımparalar ile her biri 15-45 saniye aralığında 20-30 N kuvvet uygulanarak yapılan zımparalama işlemidir. Kaba zımparalama işleminde uygulandığı gibi örneklem zımpara ile aynı yönde döndürülmelidir. Zımparalama işlemi sırasında kaydırıcı olarak su kullanılmalıdır.

#### **1.6.3. Parlatma İşlemleri**

Zımparalama işlemi sonucunda giderilemeyen çiziklerin ve zımparanın oluşturduğu ince çiziklerin giderilmesi işlemidir.

##### **1.6.3.1. Kaba Parlatma**

Uygun parlatma keçesi ve 6 µm'lik elmas solüsyonu ile 150-200 rpm hızında dönen keçenin üzerine 20-30 N kuvvet uygulayarak 2 - 5 dakika süreyle uygulanan parlatma işlemidir. Zımparalama işleminde uygulandığı gibi örneklem keçe ile aynı yönde döndürülmelidir. Kaydırıcı kullanılmasına gerek yoktur. İşlem sonunda örneklem üzerinde kalan solüsyon su ve pamuk gibi yumuşak bir madde ile temizlenmelidir. Su izi, kireç gibi lekelerin kalmaması için saf alkolle yıkanıp hava tabancası ile kurutulmalıdır.

### 1.6.3.2. Hassas Parlatma

Uygun parlatma keçesi ve 1 µm’lik elmas solüsyonu ile 150-200 rpm hızında dönen keçenin üzerine 20-30 N kuvvet uygulayarak 30 – 60 saniye süreyle uygulanan parlatma işlemidir. Diğer işlemlerin aksine örneklem keçenin dönme yönünün tersine döndürülmelidir. Kaydırıcı kullanılmasına gerek yoktur. İşlem sonunda örneklem üzerinde kalan solüsyon su ve pamuk gibi yumuşak bir madde ile temizlenmelidir. Su izi, kireç gibi lekelerin kalmaması için saf alkolle yıkanıp hava tabancası ile kurutulmalıdır.

### 1.7. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Bu tez, malzeme bilimi, istatistik bilimi, bilgisayarlı görü uygulamaları kapsamındaki konuları içermektedir. Sanayide hammadde olarak kullanılan çeliğin temizliği ve temizliğinin uluslararası kabul görmüş standarda uygun bir biçimde değerlendirilmesi çalışma kapsamına alınacaktır. Metot, malzeme bilimi içerisinde yer alan metalografi ve mikro yapı konularını içermektedir. Metodun geliştirilmesi, uygun görüntü işleme teknikleri ile kalıntı analizi ve kalıntı ile ilgili nitel test verilerinin elde edilmesi için gerekli donanımsal ve yazılımsal test ortamının oluşturulmasını içermektedir. Bu kapsamda;

- Işık mikroskobunun kalibre edilmesi ve çalıştırılması,
- Analiz edilecek çeliklerden uygun örneklemelerin alınması,
- Alınan çelik örneklemelerinin analize uygun hale getirilmesi,
- Analize hazır örneklemelerin ışık mikroskobu ile incelenmesi,
- Işık mikroskobu ile analiz sırasında örneklem üzerinden görüntülerin alınarak kaydedilmesi,
- Elde edilen görüntülere uygun görüntü işleme algoritmalarının uygulanması ve
  - Kalıntıların morfolojik özelliklerinin belirlenmesi,
  - Kalıntıların dağılım özelliklerinin belirlenmesi,



- Kalıntıların koordinat, uzunluk, açı, çevre gibi nitel verilerinin tespit edilmesi ve hesaplanması,
- Elde edilen veriler ile istatistiksel analizin yapılması ve beklenen maksimum kalıntı uzunluğunun hesaplanması konuları yer almaktadır.

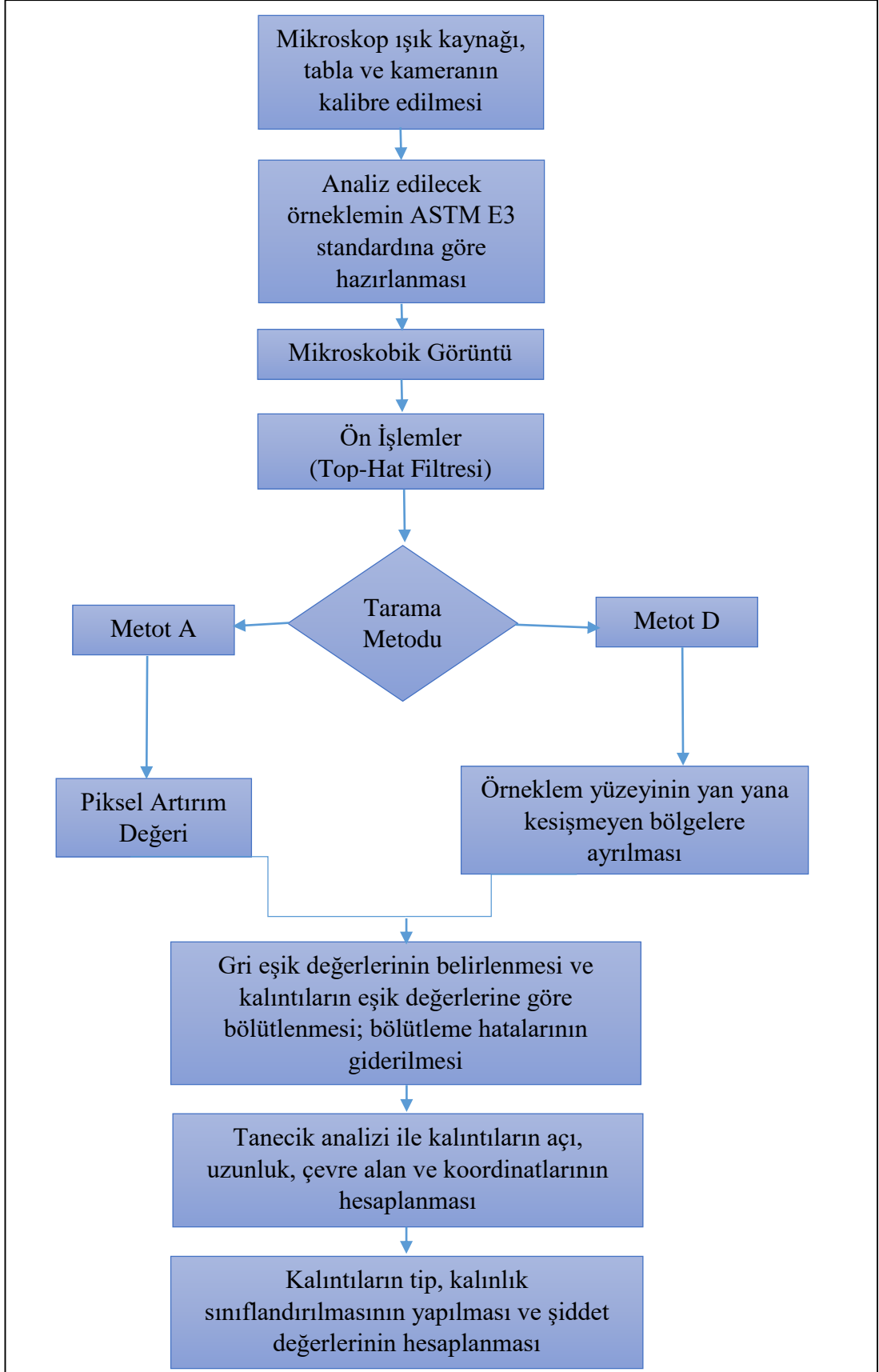
Bu tezin amacı, uluslararası kurum ve kuruluşların kabul ettiği ASTM E45 standardı çerçevesinde metal olmayan kalıntıları otomatik olarak tespit ederek sınıflandıran bir sistem geliştirmektir.

Ayrıca standartlar çerçevesinde analiz edilen örneklerden elde edilen uzunluk verilerinin literatürde bulunan uç değer dağılımı yöntemi ile olasılık dağılımın analizini yaparak karşılaşılabilecek maksimum kalıntı uzunluğunu tespit etmektir.

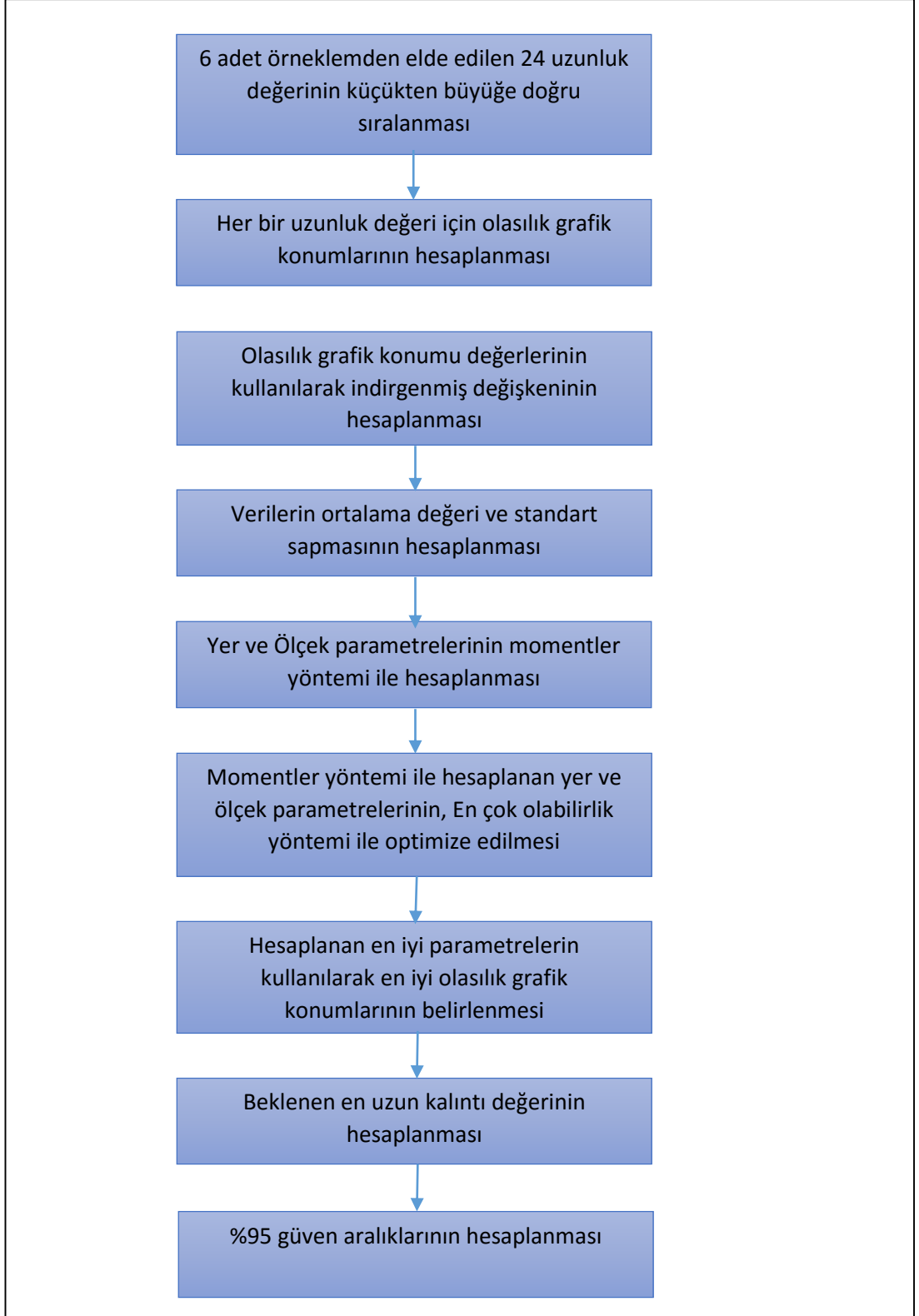
## 2.GELİŞTİRİLEN SİSTEM

Çelik ürünlerinin temizliğinin belirlenmesinde kullanılacak, çelik içerisindeki metal olmayan kalıntıların tespiti ve sınıflandırılması için bir sistem geliştirilmesi ve istatistiksel yaklaşım için matematiksel bir model oluşturulması amaçlanmaktadır.

Bu bölümde, çelik içerisindeki kalıntıların tespiti için literatürde bulunan gerekli görüntü işleme algoritmalarının özellikleri açıklanarak, istatistiksel yaklaşım için gerekli matematiksel ifadeler belirtilmiştir. Çelik numunelerinden alınan görüntüler üzerindeki aydınlanma problemini gidermek için literatürde bulunan Top-Hat dönüşümü uygulanmıştır. Metal olmayan kalıntıların görüntü üzerinden ayrılması için görüntü bölütleme algoritmaları uygulanmıştır. Görüntü bölütleme algoritmaları için gerekli eşik değerleri Çok katmanlı Otsu eşikleme algoritmaları ile tespit edilmiştir. Bölütleme sonucu oluşan hataların düzeltilmesi için morfolojik işlemler uygulanmıştır. Analize hazır hale getirilen görüntülere BLOB analizi işlemleri yapılarak sınıflandırma için gerekli BLOB özellikleri elde edilmiştir. Altı çelik numunesi üzerinde yapılan ölçümlerden yola çıkılarak gerekli istatistiksel yaklaşım için literatürde kullanılan Gumbel uç değer dağılımı yöntemi kullanılmıştır. Dağılım için gerekli parametrelerin tahmini için maksimum benzerlik ve momentler yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2.1. ASTM E45'e göre oluşturulmuş analiz algoritmasının blok diyagramı



**Şekil 2.2.** Uzunlukların uç değer dağılımı ile hesaplama algoritmasının blok diyagramı

## 2.1. Morfolojik Görüntü İşleme

Morfolojik görüntü işleme temel olarak küme teorisine dayanmakta olup, görüntü üzerinden belirli şekillerin tanımlanması ve çıkarılmasında kullanılırlar. Ayrıca, morfolojik süzgeçleme, inceltme-genişleme (thinning), budama (pruning) gibi ön veya son işlem olarak da kullanılabilirler. Morfolojik görüntü işlemenin matematiksel temelleri 1980'lerde Fransız bilim adamları Georges François Paul Marie Matheron ve doktora öğrencisi Jean Paul Frédéric Serra tarafından atılmıştır [29,30].

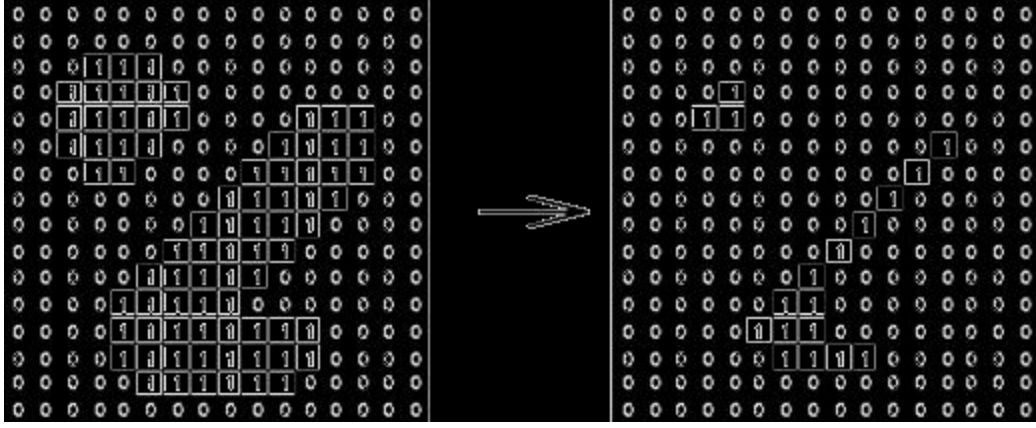
### 2.1.1. Aşınma ve Genleşme (Erosion and Dilation)

Morfolojik algoritmaların temeli bu iki yönetime dayanmaktadır. Aşınma işlemi küme teorisindeki kesişim işlemine, genleşme işlemi de küme teorisindeki birleşim işlemine tekabül etmektedir. Morfolojik işlemler, işlem için tanımlanan yapısal elemanın nesne üzerinde  $n$  kadar ötelenmesi işlemi ile gerçekleştirilir.

Aşınma işlemi görüntü üzerindeki çıkarılmış nesneyi küçültmeye veya inceltmeye yarayan işlemdir.  $A$  kümesi olarak tanımlanan nesne ve  $B$  kümesi olarak tanımlanan yapısal eleman için aşınma işlemi  $n$  ötelemede aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir.

$$A \ominus B = \{n | (B)_n \subseteq A\} \quad (2.1)$$

Eşitliğe göre nesnenin tanımlanan yapısal eleman ile aşındırılması, yapısal elemanın nesne içerisinde yer alabileceği bütün  $n$  noktalarının oluşturduğu kümeler olarak tanımlanır.



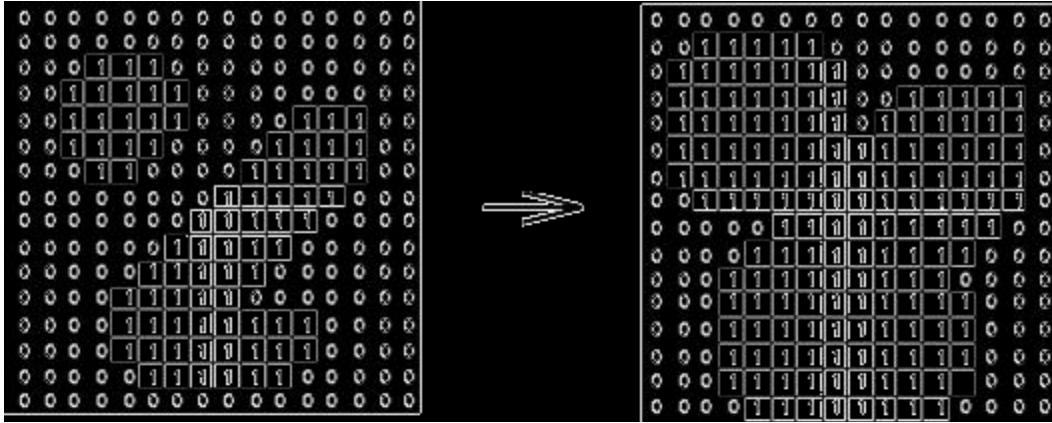
**Şekil 2.3.** Morfolojik aşınma işlemi [29]

Genleşme işlemi görüntü üzerinden çıkarılmış nesneyi büyütmeye veya kalınlaştırmaya yarayan işlemdir. A kümesi olarak tanımlanan nesne ve B kümesi olarak tanımlanan yapısal eleman için genleşme işlemi  $n$  ötelemede aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir.

$$A \oplus B = \{n | [(B)_n \cap A] \subseteq A\} \quad (2.2)$$

Eşitliğe göre yapısal elemanın kendi orijinine göre yansımasının nesne ile en az bir noktasının çakışacak şekilde  $n$  kadar öteleme için bulunan değerler kümesi olarak ifade edilir.

Morfolojik aşınma ve genleşme işlemlerinde işlemin durumu tanımlanan yapısal elemanın biçimine bağlıdır.

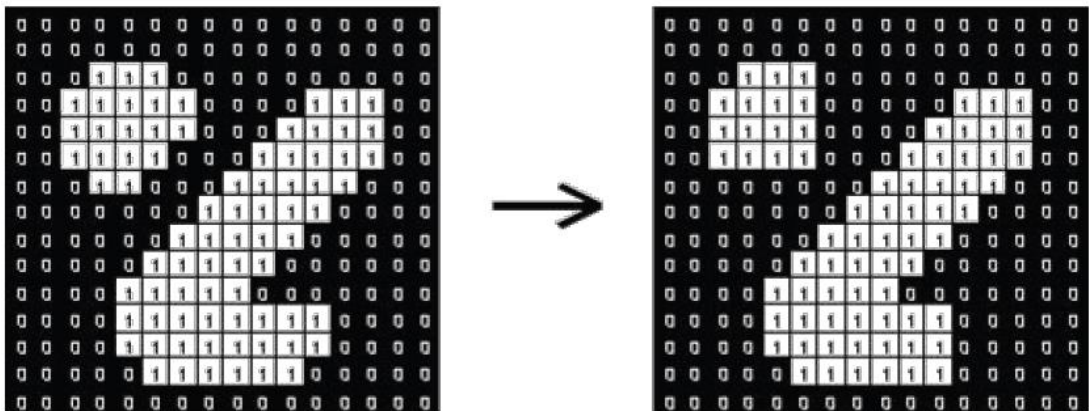


Şekil 2.4. Morfolojik genişleme işlemi [29]

### 2.1.2. Morfolojik Açma ve Kapama (Opening and Closing)

Görüntü üzerindeki nesnenin tanımlanan yapısal elemana bağlı olarak hatlarını yumuşatan, küçük çıkıntıları yok eden ve nesnelere arasındaki dar bağlantıları temizleyen işleme morfolojik açma işlemi denilmektedir. Morfolojik açma işlemi nesne üzerinde uygulanan aşınma işleminin sonucuna genişleme işleminin uygulanması sonucu elde edilir. A nesnesinin B yapısal elementi ile açılması işlemi aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir.

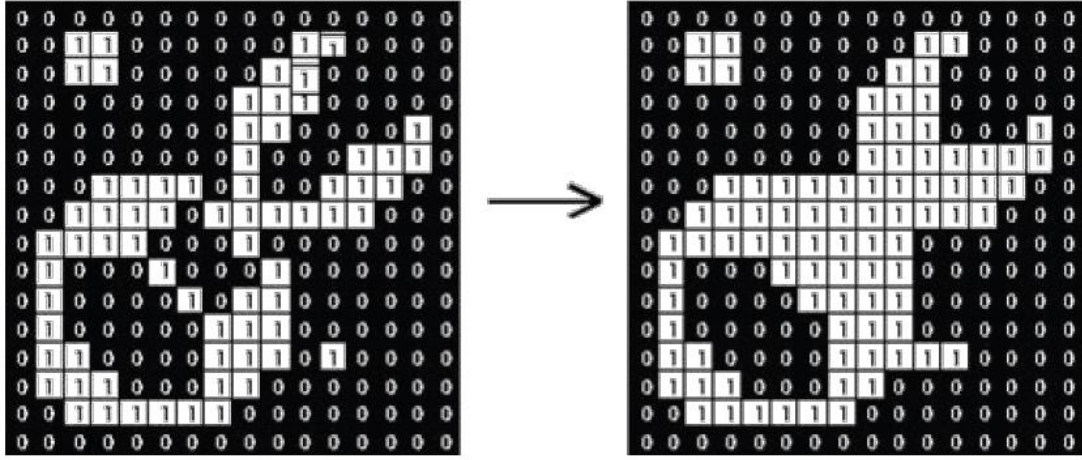
$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.3)$$



Şekil 2.5. Morfolojik açma işlemi [29]

Morfolojik kapama işlemi ise tanımlanan yapısal elemana bağlı olarak birbirine yakın noktaların dolmasını, hatların belirginleşmesini sağlayan işlemidir. Morfolojik kapama işlemi nesne üzerinde uygulanan genişleme işleminin sonucuna aşınma işleminin uygulanması sonucu elde edilir. A nesnesinin B yapısal elementi ile kapatılması işlemi aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir.

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.4)$$

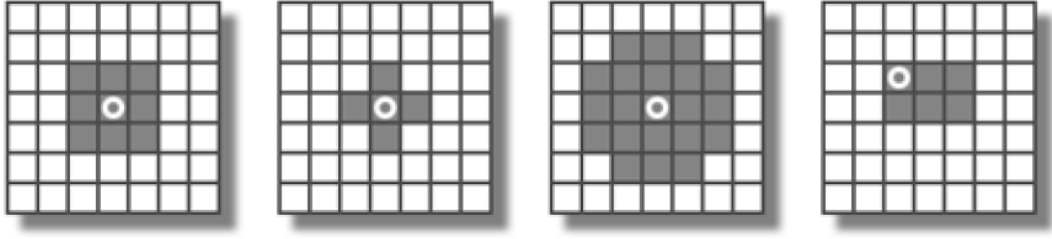


Şekil 2.6. Morfolojik kapama işlemi [29]

## 2.2. Yapısal Eleman (Structuring Element)

Yapısal eleman, morfolojik işlemlerde nesne ile etkileşime girerek gerçekleştirmek istenilen morfolojik işlemin uygulanmasını sağlayan 1'ler ve 0'lardan oluşan bir görüntüdür. Yapısal eleman farklı boyut ve şekilsel özelliklere sahip olabilmektedir. Yapılacak olan işleme ve nesneye göre sezgisel olarak tanımlanmaktadır. En çok kullanılan yapısal eleman şekilleri dikdörtgen ve daire biçimindedir.





Şekil 2.7. Bazı yapısal eleman örnekleri

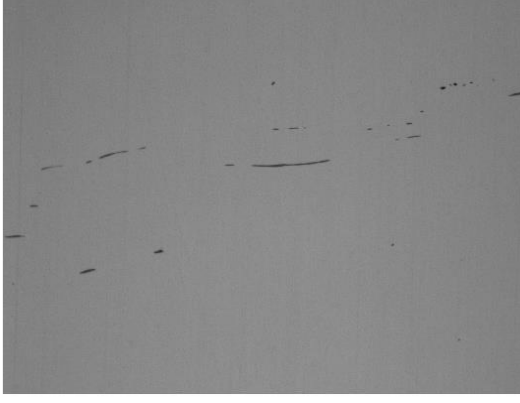
### 2.3. Top-Hat Dönüşümleri (Top-Hat Transformations)

Top-Hat dönüşümleri morfolojik açma ve kapama işlemleri tabanlı olup; açma ve kapama işlemlerinden elde edilen sonuçların görüntü çıkarma ve birleştirme işlemleri ile birlikte kullanılması ile oluşur. Açma işleminin tanımlanan yapısal elemandan daha küçük parlak detayları bastırması ve kapama işleminde koyu elemanları bastırması prensibiyle kullanılır. Gri seviyeli bir  $f$  görüntüsünün  $b$  yapısal elementine göre top-hat dönüşümü aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilir.

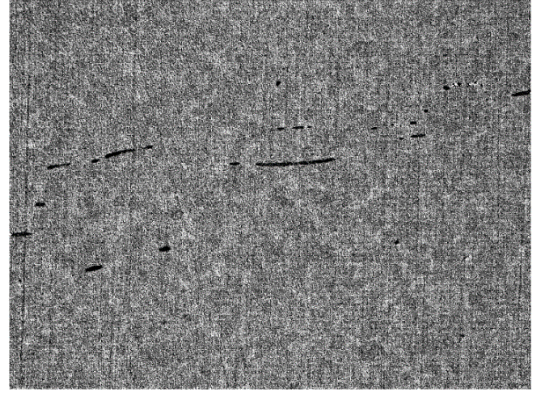
$$T_{\text{hat}}(f) = f - (f \circ b) \quad (2.5)$$

$$B_{\text{hat}}(f) = (f \cdot b) - f \quad (2.6)$$

Bu denklemlerde  $T_{\text{hat}}$  ile gösterilen eşitlik Top-Hat dönüşümünü ifade eder ve koyu arkaplan üzerindeki parlak nesnelere için uygulanır ayrıca beyaz top-hat dönüşümü olarak isimlendirilir.  $B_{\text{hat}}$  ile gösterilen eşitlik Bottom-Hat dönüşümünü ifade eder ve parlak arkaplan üzerindeki koyu nesnelere için uygulanır.



( a )



( b )

**Şekil 2.8.** a. Orijinal görüntü b.Top-Hat dönüşümü uygulanmış görüntü

## 2.4. Görüntü Bölütleme (Image Segmentation)

Görüntü bölütleme temel olarak görüntü üzerinde ilgilenilen nesnenin, arka plandan ve farklı özellik taşıyan diğer nesnelere ayrılması işlemidir. Bölütleme sonucunda oluşan alt görüntü kümelerine bölüt adı verilir ve bölütleme işlemi sonucunda bölütler birbirleri ile örtüşmemelidir ve anlamlı olması beklenir. Literatürde görüntü bölütleme ile ilgili yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda gerçekleştirilen algoritmalar bütün görüntüler için mükemmel sonuçlar vermeyebilir. Belirli bir görüntü tipi için geliştirilen algoritmalar diğer görüntülerde herhangi bir sonuç üretemeyebilir. Bu tez çalışmasındaki görüntüler üzerinde literatürde sıkça kullanılan eşikleme yöntemi ile görüntü bölütleme algoritmaları kullanılmıştır.

### 2.4.1. Eşikleme (Thresholding)

Eşikleme, uygulama kolaylığı, işlem hızı gibi özelliklerinden dolayı görüntü bölütleme uygulamalarında oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Eşikleme yöntemi temel olarak gri seviyeli görüntülerde eşik değeri olarak seçilen gri seviyesinden büyük ve küçük olan pikselleri birbirinden ayırma prensibine dayanmaktadır.  $R$  ile ifade edilen bir

görüntüde  $f(x,y)$  görüntü düzleminde ilgili pikselin gri-seviyesini temsil etsin,  $T$  eşik değerine göre yapılan görüntü bölütleme işlemi aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$R(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } f(x,y) > T \text{ ise} \\ 0 & \text{eğer } f(x,y) \leq T \text{ ise} \end{cases} \quad (2.7)$$

Bu ifadede eşik değerini temsil eden  $T$  değeri bütün görüntü için sabit ve bütün bir görüntü boyunca uygulanabilir ise bu eşitlikte ifade edilen işlem global eşikleme olarak tanımlanır. Eğer,  $T$ 'nin değeri görüntü boyunca değişken olabilirse bu tür eşikleme işlemine değişken eşikleme denir.

Bu ifadedeki temel problem görüntü için  $T$  değerinin belirlenmesidir. İdeal bir görüntü bölütleme işlemi için eşik değeri önemlidir. Yanlış bir eşik değeri seçimi hatalı bölütleme işlemi ile sonuçlanır. Görüntü üzerinden optimum  $T$  değerinin belirlenmesi görüntü histogramı ile mümkündür. Görüntü histogramı, görüntü üzerindeki gri seviye değerlerinin kaç adet piksel tarafından kullanıldığını gösteren grafikdir. Görüntü bölütleme uygulamalarında arka plan ve nesnenin oluşturduğu iki ayrı pik değerinin ortasında kalan alan eşik değeri olarak kullanılabilir.

Görüntü bölütleme işleminde arka plan üzerinde iki veya daha fazla farklı parlaklık seviyesinden oluşan farklı tip nesnelere var ise çok sayılı baskın biçime sahip bir eşikleme problemi vardır. Bu tip problemler çoklu eşikleme olarak adlandırılır ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$R(x,y) = \begin{cases} a & \text{eğer } f(x,y) > T_n \\ b & \text{eğer } T_{n-1} < f(x,y) \leq T_n \\ c & \text{eğer } T_{n-2} < f(x,y) \leq T_{n-1} \\ \vdots & \\ n & \text{eğer } f(x,y) \leq T_1 \end{cases} \quad (2.8)$$

Bu ifadedeki temel problem ise görüntü üzerinden kaç adet nesnenin varlığı ve bunların otomatik olarak bölütlenmesidir. Bu tez çalışmasında Otsu çoklu eşikleme yöntemi kullanılmıştır.

### 2.4.1.1. Otsu Eşikleme Yöntemi

Otsu eşikleme yöntemi 1979 yılında Nobuyuki Otsu tarafından ortaya atılmış olup temel olarak piksel yoğunluklarının sınıflar arası varyans değerini en büyükleme prensibine dayanmaktadır [31].

L tane gri seviyesi ile temsil edilen bir görüntüde  $[1,2,3, \dots, L]$ , piksellerin gri seviyesi  $i$  ile gösterilsin ve  $n_i$ 'de  $i$  gri seviyesine sahip piksel sayısını belirtsin. Bu durumda toplam piksel sayısı  $N=n_1 + n_2 + \dots + n_L$  olur. İfadenin basitleştirilmesi için gri-seviye histogramı normalize edilmiş ve olasılık dağılımı olarak kabul edilmiştir. Histogramın olasılık dağılımı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$p_i = n_i/N, p_i \geq 0, \sum_{i=1}^L p_i = 1 \quad (2.9)$$

Nesne ve arkaplanı iki ayrı sınıfa bölmek için sınıflarımız  $C_0$  ve  $C_1$  olsun. Eşik değeri  $k$  için  $C_0, [1, \dots, k]$  gri seviye değerlerine sahip pikselleri temsil etsin ve  $C_1, [k+1, \dots, L]$  gri seviye değerlerine sahip pikselleri temsil etsin.  $k$ 'ninci seviyeye kadar aynı zamanda histogramın sıfıncı ve birinci seviyeden momentleri olan olasılık ve ortalama değerleri aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilir.

$$w(k) = \sum_{i=1}^k p_i \quad (2.10)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i p_i \quad (2.11)$$

Bu sınıfların gerçekleşme olasılıkları aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmektedir.

$$w_0 = \Pr(C_0) = \sum_{i=1}^k p_i = w(k) \quad (2.12)$$

$$w_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - w(k) \quad (2.13)$$

Sınıfların ortalama seviyeleri aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilir.

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k i \Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k i p_i / w_0 = \mu(k) / w(k) \quad (2.14)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^L i \Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L i p_i / w_1 = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - w(k)} \quad (2.15)$$

Orijinal görüntünün toplam ortalama seviyeleri aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\mu_T = \mu(L) = \sum_{i=1}^L i p_i \quad (2.16)$$

Burada yapılan işlemlerin doğruluğu aşağıdaki eşitlikler ile doğrulanabilmektedir.

$$w_0 \mu_0 + w_1 \mu_1 = \mu_T \quad (2.17)$$

$$w_0 + w_1 = 1 \quad (2.18)$$

Sınıfların varyansları aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 \Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 p_i / w_0 \quad (2.19)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 \Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 p_i / w_1 \quad (2.20)$$

k seviyesinde hesaplanan eşik seviyesinin doğruluğu aşağıdaki boyutsuz metrik ile hesaplanmaktadır.

$$\eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_1^2} \quad (2.21)$$

Bu eşitlikte  $\sigma_T^2$  bütün orijinal görüntünün varyansı ve  $\sigma_B^2$  'de sınıflar arası varyansı ifade etmektedir. Orijinal görüntünün varyansı ve sınıflar arası varyans aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 p_i \quad (2.22)$$

$$\sigma_B^2 = w_0 w_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (2.23)$$

Bu hesaplamalardan sonra en uygun k eşik seviyesi  $k^*$ , değeri  $\eta$ 'ni veya eşdeğer olarak  $\sigma_B^2$  maksimize eden değerdir ve aşağıdaki ifadeler ile en uygun  $k^*$  değeri aranır.

$$\eta(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_T^2} \quad (2.24)$$

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[\mu_T w(k) - \mu(k)]^2}{w(k)[1-w(k)]} \quad (2.25)$$

Ve en uygun eşik değeri aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k < L} \sigma_B^2(k) \quad (2.26)$$

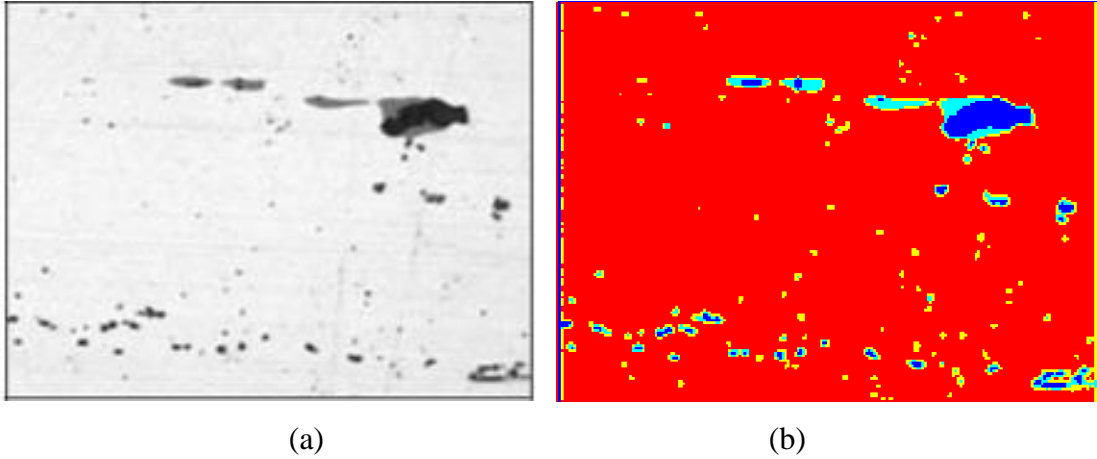
En uygun eşik değeri  $k^*$  eşik değerinde elde edilen  $\eta$  normalize metriği sınıfların ayrılmasında uygunluk tahmini yapmak için kullanılabilir ve aşağıdaki değer aralığına sahiptir.

$$0 \leq \eta(k^*) \leq 1 \quad (2.27)$$

Otsu metodunun çoklu eşik seviyesi içeren görüntülere uygulanması diskriminant kriterinin doğruluğu ile alakalıdır. Örnek olarak 3 sınıfa ayrılacak 2 eşik seviyeli bir görüntüde eşik değerlerimiz  $1 \leq k_1 < k_2 < L$  olacaktır. Sınıflarımız  $C_0 [1, \dots, k_1]$ ,  $C_1 [k_1+1, \dots, k_2]$  ve  $C_2 [k_2+1, \dots, L]$  eşik seviyelerindeki pikselleri temsil etsin bu durumda en iyi  $k_1^*$  ve  $k_2^*$  eşik seviyesi  $\sigma_B^2$  değerini maksimize ederek elde edilecektir.

$$\sigma_B^2(k_1^*, k_2^*) = \max_{1 \leq k_1 < k_2 < L} \sigma_B^2(k_1, k_2) \quad (2.28)$$

Çoklu eşiklemede dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, ayrılacak sınıf sayısı arttıkça, seçili eşik değerlerinin genellikle daha az güvenilir hale geldiğidir. Sınıf sayısı arttıkça gri seviyeli görüntüde tanımlanan  $\sigma_B^2$  değeri zamanla anlamını kaybedebilir.  $\sigma_B^2$  değeri ve en üst düzeye çıkarma prosedürleri daha karmaşık hale gelebilmektedir. Ancak, herhangi bir ek metoda ihtiyaç duyulmaksızın 2li ve 3lü eşik değerleri için bu yöntemi uygulamak oldukça kolay ve başarılıdır.



**Şekil 2.9** a. Orijinal görüntü [32] b. Çok katmanlı Otsu algoritması uygulanmış görüntü

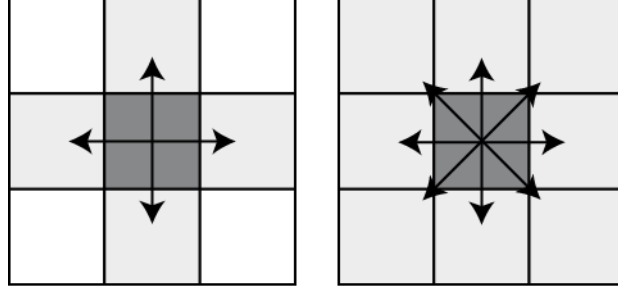
## 2.5. BLOB Analizi

BLOB kelimesi İngilizce Binary Large Object (İkili Büyük Nesne) ifadesinden gelmektedir. BLOB birbirine bağlı piksellerin grup oluşturmasından meydana gelmektedir [34].

### 2.5.1. Piksel Bağlılığı

Koordinatları  $p(x,y)$  ile ifade edilen pikselin dört yatay ve dikey komşusu olan  $(x+1,y)$ ,  $(x-1,y)$ ,  $(x,y+1)$  ve  $(x,y-1)$  koordinatlarına sahip pikseller ile olan bitişikliğine 4-bitişiklik denir. Eğer  $p(x,y)$  pikseli ayrıca dört köşegeninde bulunan  $(x+1, y+1)$ ,

$(x+1,y-1)$ ,  $(x-1, y+1)$ ,  $(x-1, y-1)$  koordinatlarına sahip komşu pikselleri ile bağlantılı ise bu duruma 8-bitişiklik denir.



**Şekil 2.10.** Piksel bağlantılılığının görüntüsü her bir kare 1 pikseli ifade etmektedir. 4 - bitişiklik (solda) 8 - bitişiklik (sağda). [33]

### 2.5.2. BLOB Özellikleri

**Alan (Area)** : Bir blobun alanı o blobu oluşturan piksellerin sayısıdır. Bu özellik genellikle alan büyüklüğü filtrelemesi gibi küçük blobların filtelenmesinde kullanılmaktadır.

**Sınırlayıcı Kutu (Bounding Box)** : Bir blobun sınırlayıcı kutusu, o blobu içeren minimum dikdörtgendir. Bir blobun sınırlayıcı kutusu o blobun koordinat düzleminde bulunan minimum ve maksimum x-y koordinatları ile bulunur. x koordinat düzlemindeki fark genişliğini ve y koordinat düzlemindeki farkı uzunluğunu ifade eder.

**Sınırlayıcı Çember (Bounding Circle)** : Bir blobun sınırlayıcı çemberi o blobu çevreleyen minimum yarıçaptaki çemberdir. Merkezi bulunan blobun, merkezinden blobun bitiş noktalarına doğru çizilir. Bu doğrulardan en uzun olan o blobun sınırlayan minimum çemberin yarıçapını belirler.



**Dışbukey Sınırlayıcı (Convex Hull)** : Bir blobun dışbükey sınırlayıcısı o blobun tamamını kapsayan en küçük dışbukey konveks poligondur.

**Doluluğu (Compactness)** : Bir blobun doluluğu, blobun alanının blobun sınırlayıcı kutusunun alanına oranı olarak tanımlanır.

$$\text{Doluluk} = \frac{\text{Blobun Alanı}}{\text{Sınırlayıcı Kutunun Alanı}} \quad (2.29)$$

**Ağırlık Merkezi (Center of Gravity)** : Bir blobun ağırlık merkezi o blobun ortalama x ve y pozisyonudur. N tane pikselden oluşmuş bir blobun ağırlık merkezinin x ve y koordinatları aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$x_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \text{ ve } y_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.30)$$

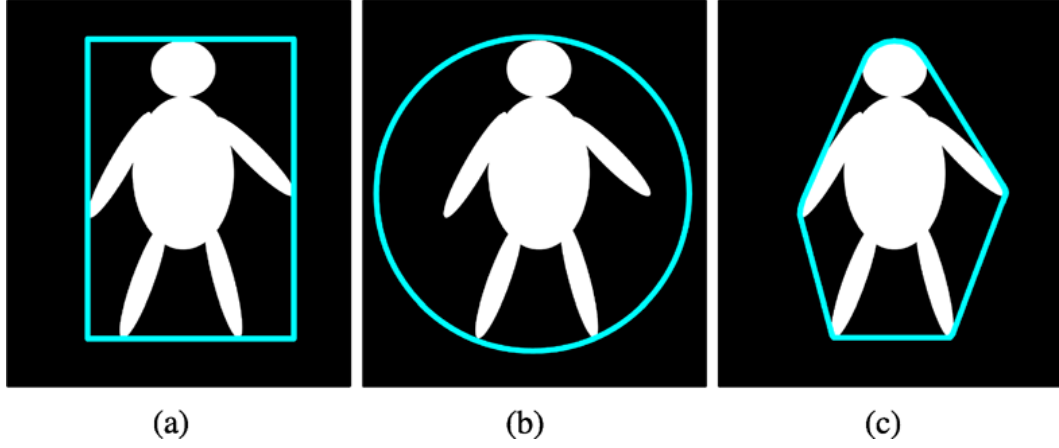
**Çevresi (Perimeter)** : Bir blobun çevresi blobun kenar uzunluğudur. Blobun kenar çizgisini oluşturan piksellerin sayısı sayılarak hesaplanabilir.

**Yuvarlaklığı (Circularity)** : Bir blobun yuvarlaklığı o blobun ne kadar dairesel bir yapıda olduğunu tanımlar. Aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\text{Yuvarlaklık} = \frac{\text{Blobun Çevresi}}{2\sqrt{\text{Blobun Alanı}}} \quad (2.31)$$

**Ana Eksen Uzunluğu (Major Axis Length)** : Bir blobun ana eksen uzunluğu o blobun boy uzunluk ölçüsünü belirtir.

**Yan Eksen Uzunluğu (Minor Axis Length)** : Bir blobun ana eksen uzunluğu ile aynı merkezden geçen ve ana eksene dik olan o blobun en uzunluk ölçüsünü belirtir.

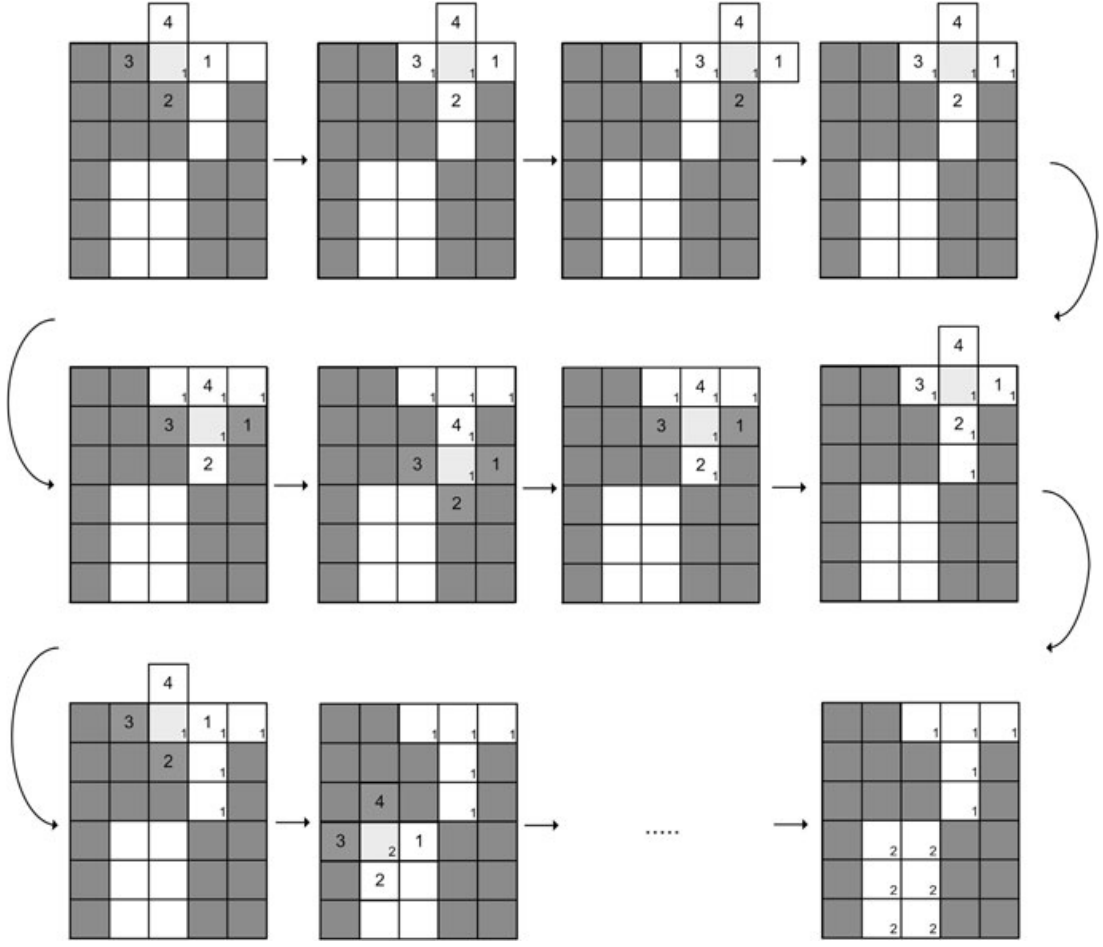


**Şekil 2.11** a. Sınırlayıcı Kutu b. Sınırlayıcı Çember c. Dışbükey Sınırlayıcı[34]

### 2.5.3. Grass-Fire Algoritması

Grass-fire algoritması ikili görüntünün Şekil 2.12’de gösterildiği gibi sol başından başlayarak yukarı-aşağı ve sağ-sol doğrultularda tüm görüntünün taranması prensibine dayanmaktadır. Bu algortmada 4-bitişiklik durumu seçilmiştir ve taranacak olan ikili görüntüde nesnelere kuru çim nesne olmayan arka plan su olarak düşünülmüştür. 4-bitişiklik piksel objesi bir kibrit olarak kabul edilmiş ve bu obje nesne olarak kabul edilen kuru çime temas ettiğinde sadece o çim bölgesi yanacak ve su diğer kuru çim bölgelerine ateşin gitmesine izin vermeyecektir. Gerçekte yanmaya başlayan çim aynı anda her yöne dağılırken bu algortmada hesaplamalar tek yöne dağılacak şekilde yapılacaktır. Algoritma kullanılarak yapılan hesaplamalar genel hatlarıyla;

- 4-bitişiklik piksel objesi görüntünün sol üst köşesinden ikili tabana çevrilmiş görüntüyü taramaya başlar.
- Tarama objesi, nesne görüntünü oluşturan piksellerden birisine temas ettiğinde o piksel ve ona 4-bitişiklik bağlantısı ile bağlı pikseller indekslenir.
- Bu işlem bütün görüntü için uygulanır ve her bir ayrı nesne tek tek indekslenir.
- İndekslenen nesnelere Bölüm 2.5.2’de bahsedilen özellikler elde edilir.



**Şekil 2.12.** Grass Fire algoritmasının tarama yönteminin şekilsel görüntüsü [34]

## 2.6. Uç Değer Dağılımı (Extreme Value Distribution)

Birçok bilimsel ve mühendislik uygulamasında karşılaşılabilecek uç olayların tahmini özellikle karşılaşılabilecek sorunların engellenmesinde yapılacak olan uygulama için oldukça önemlidir. Uç değerler ile ilgili yapılan çalışmalar 1709'lu yıllara kadar dayanmaktadır. İnsan hayatını etkileyen doğal afetler, ekonomi, astronomi, meteoroloji gibi bilim dalları uygulamalarında sıkça kullanılmıştır.

Uç değer teoremi tahmin gerektiren uç değer durumlarını ele alarak bilimsel bir sonuç ortaya sunar. Uç değer teoreminde yapılacak ilk işlem uç değerlerin ortaya çıkma olasılıklarının dağılımını ve güven aralığını hesaplamaktır [35].

Uç değer teoreminin genel olarak kabul edilmiş 3 tipi bulunmaktadır. Bu dağılımların kümülatif yoğunluk fonksiyonları (KYF) (CDF-Cumulative Density Function) ve olasılık yoğunluk fonksiyonları (OYF) (PDF- Probability Density Function) tiplerine göre aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmiştir.

#### Tip-1 Gumbel Dağılımı

$$\text{KYF: } G(x) = e^{-e^{-x}} \quad (2.32)$$

$$\text{OYF: } f(x) = \exp(-x - \exp(-x)) \quad (2.33)$$

#### Tip-2 Frechet Dağılımı

$$\text{KYF: } F(x, k) = \begin{cases} e^{-x^{-k}} & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

$$\text{OYF: } f(x, k) = -x^{(-k)} \frac{k^2}{x^2} \exp[-x^{(-k)}] - x^{(-k)} \frac{k}{x^2} \exp[-x^{(-k)}] + [x^{(-k)}]^2 \frac{k^2}{x^2} \exp[-x^{(-k)}] \quad x > 0 \quad (2.34)$$

#### Tip-3 Weibull Dağılımı

$$\text{KYF: } W(x, k) = \begin{cases} e^{-(-x)^k} & x < 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases} \quad (2.35)$$

$$\text{OYF: } f(x, k) = -(-1)^k x^{(k-1)} k \exp[-(-1)^k x^k] \quad (2.36)$$

### 2.6.1. Olasılık Dağılımı

Olasılık dağılımları istatistik biliminde temel konudur. Pratikte kullanımını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:[36]

- Parametreler için güven aralığı hesabı ve hipotez testindeki kritik bölgelerin hesaplanmasında;

- Tek değişkenli verilerde, verilerin kabul edilebilir dağılım modelinin tanımlanmasında;
- İstatistiksel aralık hesaplamalarında ve dağılımsal yaklaşımlarda verilerin doğrulanmasında kullanılır.

Olasılık dağılımını kesikli ve sürekli olasılık dağılımı olmak üzere değişkenin özelliğine göre iki başlıkta incelenir.

X rasgele değişkenin alabileceği değerler sayısı sonlu veya sayılabilir sonsuzlukta ise X rasgele değişkeni kesikli rasgele değişken olarak tanımlanır. Eğer X rasgele değişkeni belirli bir aralıkta veya birden fazla aralıkta tanımlanan her değeri alabiliyorsa sürekli rasgele değişken olarak tanımlanır.

Sonlu sayıda tanımlanmış X kesikli rasgele değişkeni  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  değerlerini alabilen değişken olarak tanımlansın. Bu durumda bu değerlere karşılık gelen olasılıklar  $P(X=x_i)$ ,  $i=1,2,3, \dots, n$  için  $P(x)$  fonksiyonuna X'in olasılık fonksiyonu denilir ve aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir.

1.  $p(x)$  negatif değerler alamaz; 0 veya 0'dan büyük değerler almalıdır.

$$P(x) \geq 0 \quad (2.37)$$

2. Bütün değerler için  $p(x)$  toplamı 1'e eşit olmalıdır.

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1 \quad (2.38)$$

X rasgele değişkeninin dağılım fonksiyonu  $F(x)$  ile gösterilir ve aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum_{x_i \leq x} P(x_i) \quad (2.39)$$

### 2.6.2. Olasılık Dağılımının Parametreleri

Olasılık dağılımı genel olarak yer ve ölçü parametreleri ile karakterize edilir. Dağılımın şekli, biçimi, simetriği bu parametreler ile ifade edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Gumbel uç değer dağılımı iki adet parametre ile ifade edilmektedir. Bu parametrelerden yer parametresi (location parameter- $\lambda$ ) basit olarak dağılım grafiğinin yatay ekseninde sağa ve sola kaymasını gösterir. Ölçek parametresi (scale parameter –  $\delta$ ) ise dağılım grafiğinin daha geniş veya daha dar dağıldığını gösterir.

### 2.6.3. Olasılık Dağılımı Parametrelerinin Tahmin Edilmesi

Olasılık dağılımlarında genel uygulama belirli bir olasılık dağılımını en iyi dağılım konumuna getirmektir. Bunun için olasılık dağılımının parametrelerinin hesaplanması önemlidir. Literatürde bu konuda yapılmış parametre tahmin edici çalışmalar mevcuttur. Bu tez çalışmasında parametrelerin başlangıç değerleri momentler yöntemiyle hesaplanmış, en iyi değerlerini hesaplamak için maksimum benzerlik yöntemiyle sonuçlandırılmıştır.

#### 2.6.3.1. Momentler Yöntemi (Method of Moments)

Bu yöntem, parametrelerin tahmini için en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Hesaplamalar için verilerin ortalama ve standart sapma değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Standart sapma ve  $\bar{X}$  ortalama değerleri için parametreler aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır.

$$\delta_{mom} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad (2.40)$$

$$\lambda_{mom} = \bar{X} - 0.450041S \quad (2.41)$$

### 2.6.3.2. En Çok Olabilirlik Yöntemi (Maximum Likelihood Method)

En çok olabilirlik yöntemi temel olarak elde edilen verilerin gerçekleşme olasılıklarının maksimize edilmesi ilkesine dayanmaktadır. En çok olabilirlik yöntemi pek çok tahmin durumu için geliştirilebilir. En çok olabilirlik yönteminde parametrelerin elde edilmesi, diğer metotlara göre daha zordur. Ancak, en çok olabilirlik yöntemi ile elde edilen parametre değerleri diğer metotlara göre daha tutarlı sonuçlar üretir [37].

Bu çalışmada en çok olabilirlik hesaplaması için başlangıç değeri olarak momentler yöntemi ile elde edilen parametre sonuçları kullanılmıştır. Momentler yöntemi ile elde edilen değerler kullanılarak dağılım fonksiyonunun logaritması maksimize edilmeye çalışılmıştır. Dağılım fonksiyonunu maksimize eden yer ve ölçek parametre değerleri en iyi parametre değerleri olarak kabul edilmiştir. Dağılım fonksiyonunun logaritmik ifadesi aşağıdaki eşitlikte belirtilmiştir.

$$LD = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{\delta} - \left( \frac{x_i - \lambda}{\delta} \right) - \exp\left(-\frac{x_i - \lambda}{\delta}\right) \right) \quad (2.42)$$

### 3. DENEY VERİLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

#### 3.1. Deney Ortamının Oluşturulması

Oluşturulan deney ortamı donanımsal ve yazılımsal olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Sistemin genel yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** Sistemin genel görüntüsü sistemin donanımsal kısmı metal mikroskobu ve ona bağlı kamera ve bilgisayardan oluşmaktadır. Yazılımsal kısmı ise uygun görüntü işleme algoritmaları, istatistiksel analiz yöntemi ve sonuçların raporlanmasından oluşmaktadır.

Deney için geliştirilen sistemde metal analizi için uygun bir ters tip ışık mikroskobu kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan mikroskobun görüntüsü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarında hata payının düşürülmesi ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi için en önemli aşamalardan biri mikroskop ve mikroskoba bağlı kameranın ayarlarının doğru bir şekilde yapılmasıdır. Analiz için mikroskop üzerindeki ışık kaynağı ve ona bağlı uygun filtrelerin seçimi çok önemlidir.

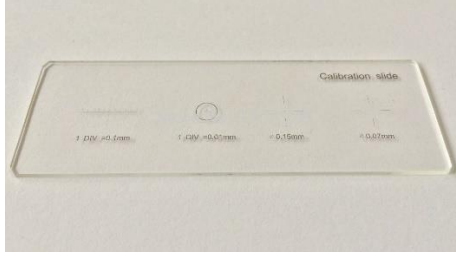




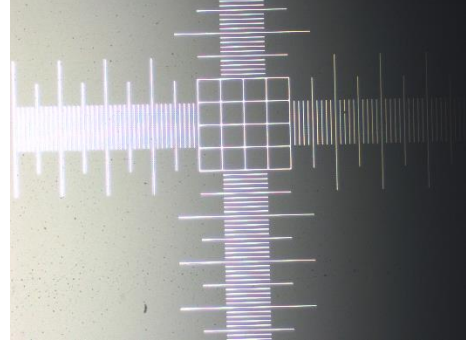
**Şekil 3.2.** Metal mikroskobu ve analiz bilgisayarının genel görüntüsü.

Bu çalışmada mikroskobun ışık kaynağından gelen sarı renkli aydınlatma rengi florasan filtresi ile beyaz renkli aydınlatmaya çevrilmiştir. Işık şiddetinin ayarlanması için Doğal Yoğunluk Filtresi (ND - Neutral Density Filter) ve renk balansının sağlanması için Doğal Renk Balans Filtresi (NCB – Neutral Color Balance Filter) kullanılarak ışık kaynağının kalibrasyonu sağlanmıştır. Örneklemin yerleştirileceği tablada ise tarama için gerekli  $160\text{mm}^2$ 'lik tarama alanının tamamını tarayabilecek x-y düzlemindeki optimum konuma getirilerek kalibrasyonu yapılmıştır.

Kameranın ölçüm bilgilerinin kalibrasyonu için kalibrasyon cetveli kullanılmıştır. Şekil 3.3.a'da kalibrasyon cetveli görüntüsü, Şekil 3.3.b'de kalibrasyon cetvelinin mikroskop üzerinden elde edilen görüntüsü verilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 3.3.** a. Kalibrasyon cetveli ince cam tabaka üzerine hassas lazer çizimi ile hazırlanmıştır. Mikroskop üzerine yerleştirilen kameranın bir pikselinin karşılık geldiği uzunluğun metre cinsinden ölçmek için kullanılır. Üzerinde dört farklı ölçüm şekli bulunmaktadır. b. Kalibrasyon cetvelinin mikroskop üzerinden elde edilen görüntüsü bu görüntüde her bir bölme 0.01mm'dir.

### 3.2. Deneyde Kullanılacak Örneklerin Hazırlanması

Analiz yapılacak olan örneğin hazırlanması, analiz için çok büyük önem taşımaktadır. Örnek hazırlanması sırasında kullanılan kimyasal maddelerin boşluklara dolması, çiziklerin oluşması sonuçları etkileyecektir. Metal olmayan kalıntılara morfolojik olarak benzeyen yapay kalıntılar sistem tarafından ayırt edilemeyebilmektedir. Bu çalışmada, örnek hazırlama ASTM E3 standardına göre hazırlanmıştır. Çelik tabakası üzerinden örnek kesilerek alınacaktır. Kesme işlemi için kullanılan düzenek Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu çalışmada kesme işlemi için 450 HV'lik bir bıçak kullanılmıştır.



**Şekil 3.4.** Çelik örnekleme kesmek için kullanılan kesicinin görüntüsü



**Şekil 3.5.** Kesme işlemi sonucunda elde edilmiş örneklem görüntüsü, üzerinde paralel çizgi şeklinde oluşmuş yapılar kesici bıçaktan dolayı kaynaklanmıştır.

Kesme işlemi tamamlanan örneklemin zımparalama ve parlatma işlemlerinin uygulanması için zımparalama ve polisaj makinesine uygun zımpara ve keçe yerleştirilerek; Bölüm 1.6'da belirtilen prosedürler uygulanmıştır.



**Şekil 3.6.** Polisaj ve Zımparalama Makinesi

Gerekli zımparalama ve parlatma işlemleri tamamlanan örnekler saf alkol ile temizlenerek analiz işlemi için hazır hale getirilmiştir. Analiz için hazır hale getirilen örnek Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Örnek hazırlanırken örnek boyutu analiz için gereken ve standartta belirtilen ölçülerden büyük hazırlanmıştır. Bu durum örneklemin tablaya tam yerleşmesini ve ışık kaybını engellerken; örnek hazırlama işlemini zorlaştırmıştır.

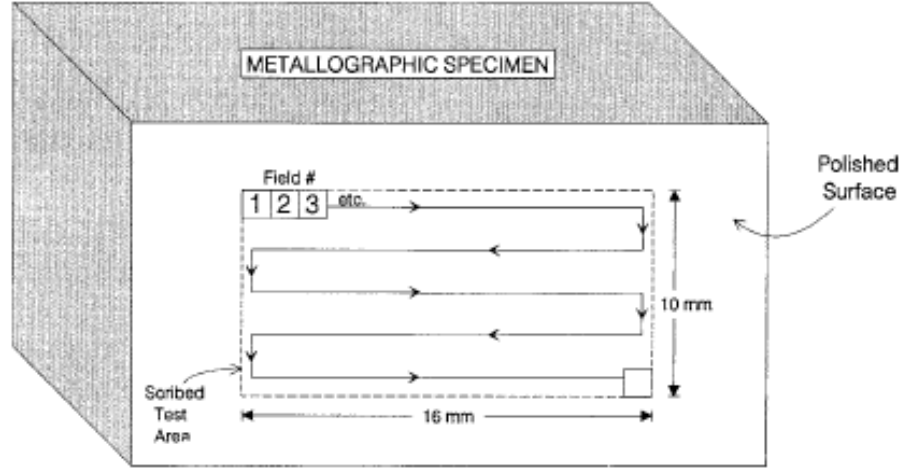


**Şekil 3.7.** Analiz için zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirilerek hazır hale getirilmiş örneklemin görüntüsü.

### **3.3. Örneklerin Analiz Edilmesi ve Verilerin Elde Edilmesi**

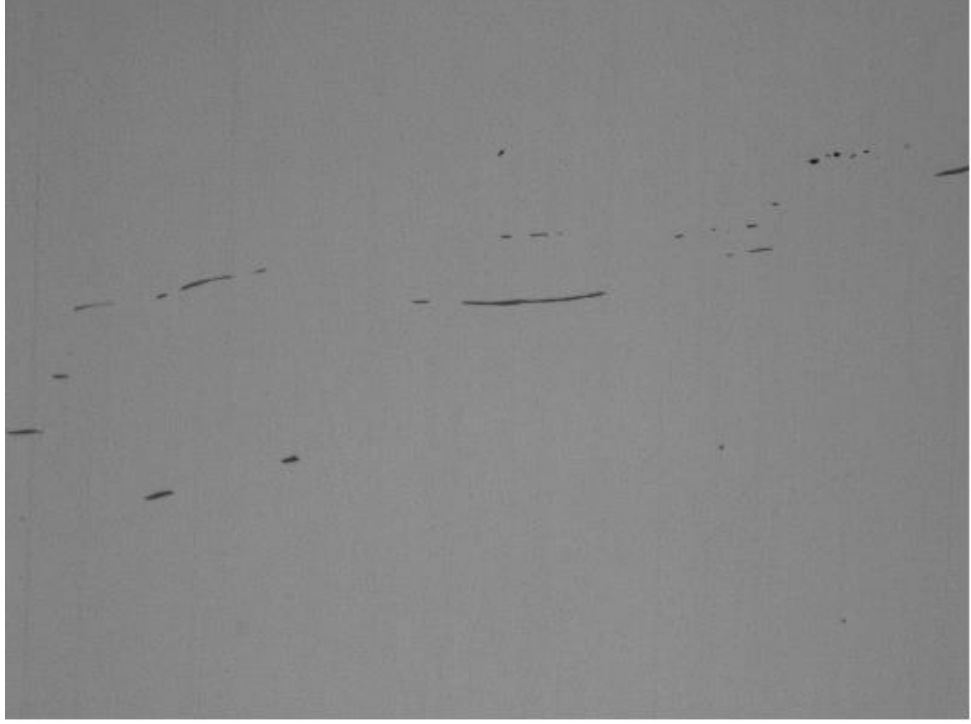
Analiz için hazır hale getirilen örneklerin bilgisayar ile analizi için ilk aşama analiz sonuçlarına uç değer dağılımının uygulanmasına karar verme aşamasıdır. Uç değer hesaplaması için aynı tabakadan alınmış 6 örnek ve bu örneğin 4 yüzeyinin analiz için hazırlanması gerektiği için sistemde uç değer dağılımı analizi operatörün tercihine bırakılmıştır. Analiz işleminde uç değer dağılımı uygulamasına karar verildikten sonra ASTM E45'te belirtilen analiz metotlarından birisi seçilmelidir. Bu çalışmada ASTM E45 standardında belirtilen Metot A analiz yöntemi için piksel artırım değeri olarak ek bir işlem eklenmiştir. Piksel artırım değeri ASTM E45'te belirtilen 160 mm<sup>2</sup>'lik tarama alanının da 0,50 mm<sup>2</sup>'lik tarama bölgesinin bir önceki tarama bölgesine göre başlangıç pozisyonunu ayarlamaya yaramaktadır. Bu piksel artırım değeri büyüdükçe analiz sonuçları daha hızlı elde edilmekte ancak sonuçların güvenilirliği düşmektedir. Piksel artırım değeri azaldıkça tarama hızı azalmaktadır ancak sonuçlar daha güvenilir olmaktadır. Metot A veya Metot D'ye göre taranarak elde edilen görüntüler üzerinden veri almak için uygun yöntemler örneklemin

mikroskop üzerinden elde edilen görüntülerine uygulanmıştır. ASTM E45 standardına göre istenilen tarama alanı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.8.** Tarama alanının örneklem üzerinden şekilsel gösterimi. Tarama alanı yan yana tarama bölgelerine bölünerek gösterilmiştir [16].

Parlatılmış görüntü mikroskobun ışık kaynağından gelen ışığı yansıttığı için görüntülerde homojen olmayan ışıklandırma problemi ortaya çıkmıştır. Homojen olmayan ışıklandırma problemi görüntü üzerinden ayrılacak olan nesnelerin ayrılmasında görüntü bölütleme problemi oluşturmaktadır. Işığın homojen dağılmama problemini çözmek için Top-Hat dönüşümleri mikroskop üzerinden alınan bütün görüntülere uygulanmıştır. Örnek bir homojen ışıklandırma problemi ve Top-Hat dönüşümü uygulanarak aydınlatma problemi çözülmüş görüntüler Şekil 3.9.a ve Şekil 3.9.b’de gösterilmiştir.



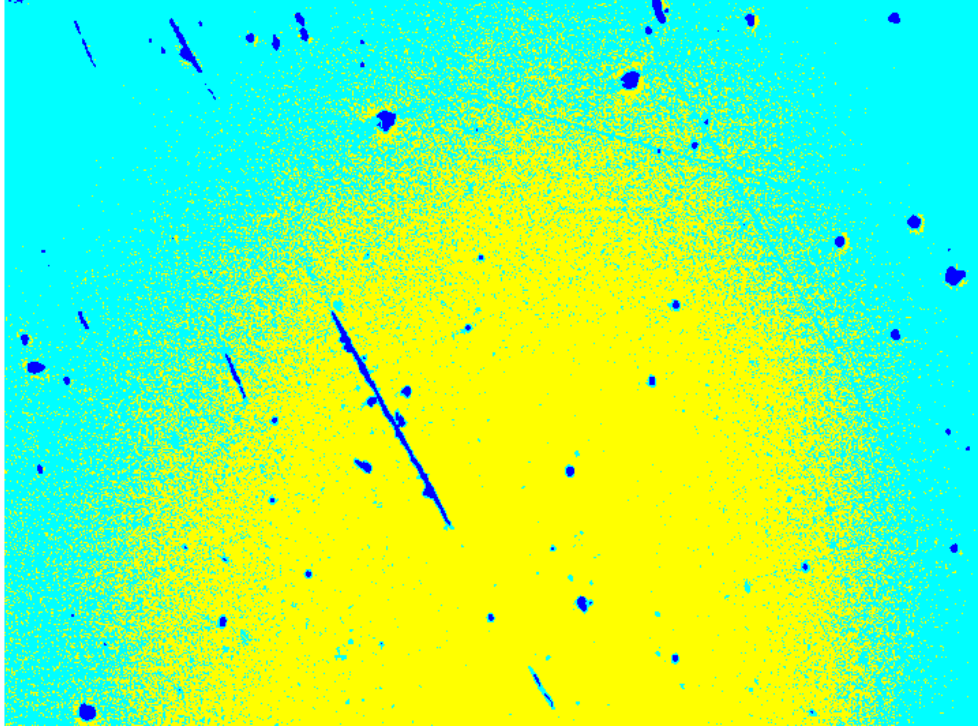
(a)



(b)

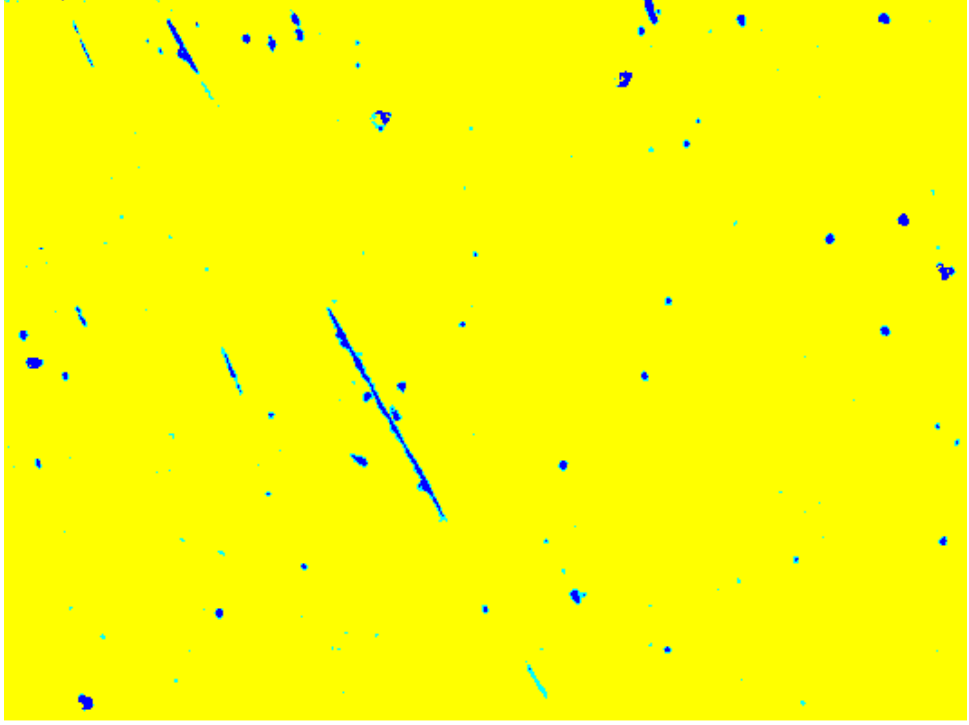
**Şekil 3.9.** a. Gri-seviyeye çevrilmiş orijinal görüntü b. Top-Hat dönüşümü uygulanmış görüntü

Top-Hat dönüşümü uygulanarak aydınlatma problemi çözülen görüntülerdeki nesnelerin arka plandan ayrılması için görüntü bölütleme işlemi uygulanmıştır. Bölütleme işlemi yapılmadan önce çok katmanlı Otsu yöntemi ile nesneler için gri seviye ışık değerleri tespit edilmiş ve görüntü bölütleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Aydınlanma problemi giderilmemiş görüntüye uygulanan Otsu algoritması sonucu elde edilen ve aydınlanma problemi giderilmiş görüntüye uygulanan Otsu algoritması sonucu Şekil 3.9.a ve Şekil 3.9.b'de gösterilmiştir.



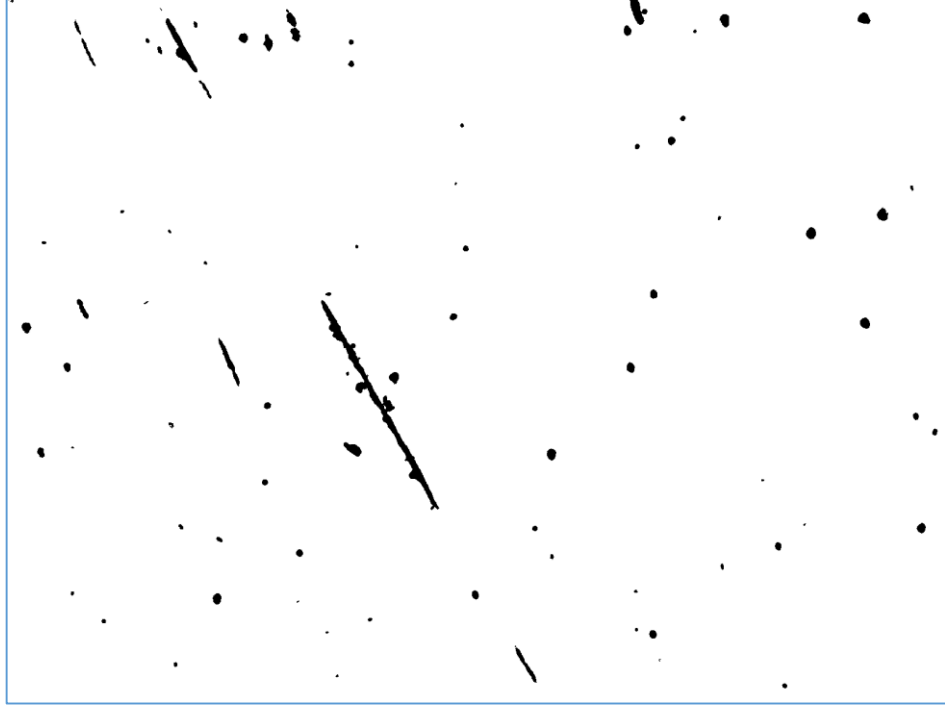
**Şekil 3.10.** a. Aydınlanma problemi olan görüntüye uygulanan bölütleme işlemi  
b. Aydınlanma problemi giderilmiş görüntüye uygulanan bölütleme işleminin sonucu





**Şekil 3.10.** (devam)

Otsu algoritması ile gri eşik seviyesi belirlenen görüntü üzerindeki nesnelere gri seviyesine göre bölümlere ayrılmıştır.



**Şekil 3.11.** Arka plandan bölütlere ayrılmış görüntü

Bölütlenerek ayrılmış nesnelere blob analiz uygulanarak blob özellikleri hesaplanmıştır. Blobun elde edilen özellikleri kullanılarak boyut filtresi uygulanmış ve analiz için belirlenen minimum uzunluk değeri altında kalan nesnelere filtrelenmiştir. Kalan nesnelere blob özellikleri kullanılarak tip, kalıntı ve şiddet sınıflandırılmaları yapılmıştır.

#### **3.4. Verilerin ASTM E45'e Göre Değerlendirilmesi**

ASTM E45 ile analiz edilmek üzere hazırlanan örnekler üzerinden elde edilen görüntülerden bazıları Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



(a)

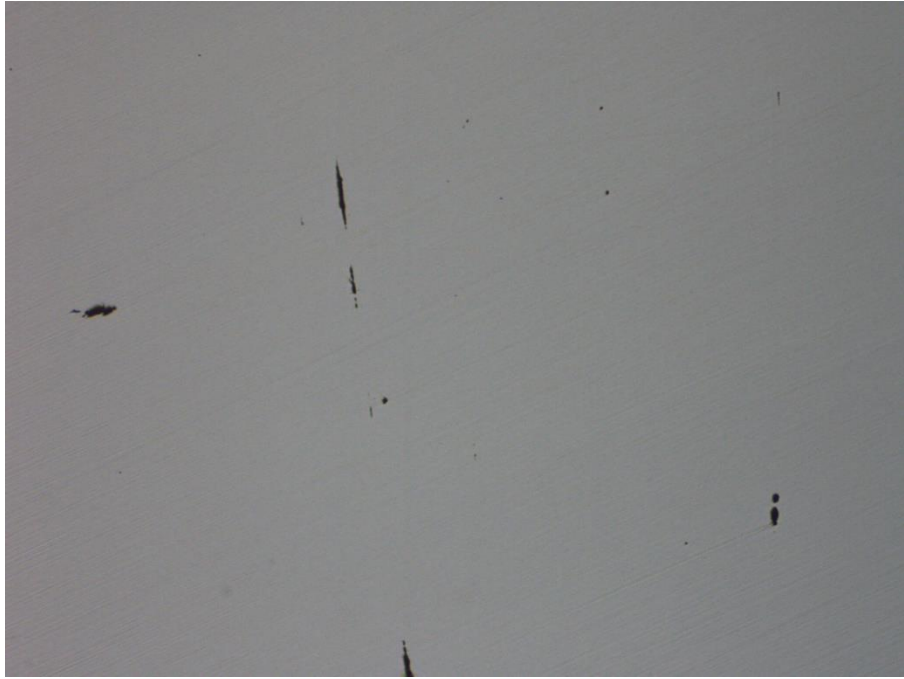


(b)

**Şekil 3.12.** Metal mikroskobu altında alınan örneklem görüntüleri (a,b,c,d,e,f)



(c)

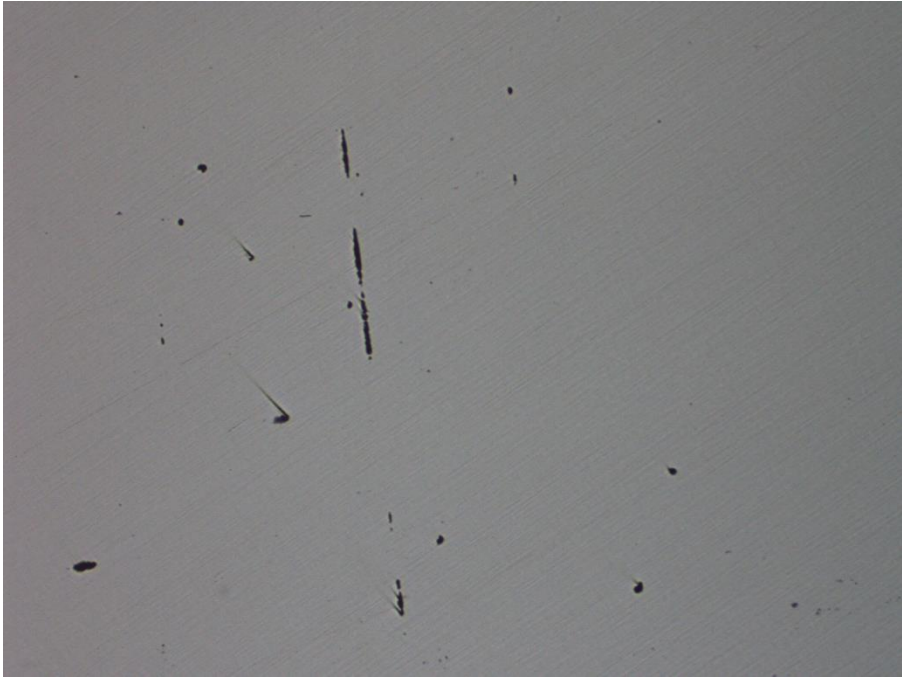


(d)

**Şekil 3.12.** (devam)



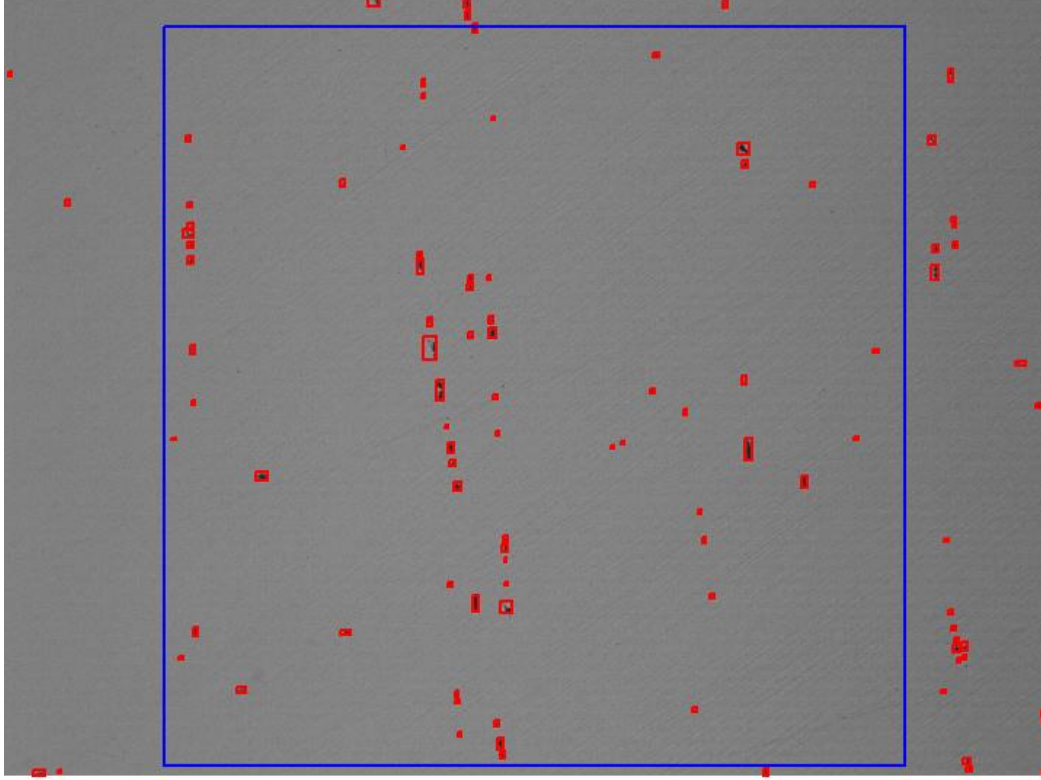
(e)



(f)

**Şekil 3.12.** (devam)

Metot A'ya göre yapılan tarama sonucu Şekil 3.13'te gösterilmiş en kötü alan olarak tespit edilen bölge mavi kare ile gösterilmiştir.



**Şekil 3.13.** Metot A'ya göre taranan örneklem görüntüsü mavi kare en kötü 0.50 mm<sup>2</sup>lik alanı belirtmektedir.

Metot A'ya göre elde edilen bulgular ve elde edilen bulgulara göre yapılan sınıflandırma işlemi Çizelge 3.1.de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** ASTM E45 Metot A'ya göre yapılan tarama işlemi ve analiz sonucunda elde edilen kalıntı bilgileri ve sınıflandırılma bilgileri

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
1	7,8125	3,818813	2,661453	1,43486	D	İNCE	0,5	263,5	684,5
2	9,375	3,868624	3,165896	1,221968	D	İNCE	0,5	275,5	1020
3	39,45313	11,41063	4,923742	2,317471	C	KALIN	0,5	286,5	368,5
4	20,3125	6,047179	4,385482	1,378909	D	İNCE	0,5	287	222,5
5	27,73438	7,805788	4,763579	1,638639	D	İNCE	0,5	289,5	358,5
6	24,60938	6,762827	4,716286	1,433931	D	İNCE	0,5	289,5	410
7	10,15625	3,942699	3,33133	1,183521	D	İNCE	0,5	289	324,5
8	16,79688	5,218392	4,188454	1,245899	D	İNCE	0,5	290	386,5
9	23,82813	9,099484	3,416175	2,663647	D	KALIN	0,5	293	547,5
10	10,54688	4,310034	3,224496	1,336653	D	İNCE	0,5	294	629
11	30,46875	8,339118	4,735908	1,760828	D	İNCE	0,5	297	980
12	29,6875	8,948325	4,341339	2,06119	C	KALIN	0,5	368	1069,5
13	61,71875	10,62025	7,526795	1,410993	B	KALIN	0,5	400	741
14	16,40625	6,585081	3,47496	1,895009	B	İNCE	0,5	523	291,5
15	34,76563	9,509475	4,787218	1,98643	D	KALIN	0,5	528	981,5
16	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	616,5	237

Çizelge 3.1. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
17	21,48438	6,028477	4,58942	1,31356	D	İNCE	0,5	641	402
18	54,6875	14,29056	5,148522	2,775662	C	LİMİTİ AŞIYOR	SINIFSIZ	643	419,5
19	18,35938	6,55303	3,74563	1,749513	D	İNCE	0,5	647,5	136,5
20	12,10938	4,635577	3,377563	1,372462	D	İNCE	0,5	648	156
21	107,8125	24,23893	7,487316	3,237332	C	LİMİTİ AŞIYOR	SINIFSIZ	658,5	544
22	26,17188	9,089857	4,009976	2,266811	C	KALIN	0,5	658	504
23	104,6875	20,91595	7,448957	2,807903	C	LİMİTİ AŞIYOR	SINIFSIZ	673	609
24	12,5	4,018188	4,018188	1	B	İNCE	0,5	683,5	665,5
25	46,48438	10,19832	5,890461	1,731328	D	KALIN	0,5	689,5	697
26	13,28125	4,411969	3,913902	1,127256	D	İNCE	0,5	688,5	907
27	24,21875	5,88375	5,342992	1,101209	D	İNCE	0,5	693	722
28	41,01563	8,610684	6,188538	1,391392	D	KALIN	0,5	699,5	757,5
29	15,625	5,088795	3,979112	1,278877	B	İNCE	0,5	698,5	1076,5
30	10,15625	3,942699	3,33133	1,183521	B	İNCE	0,5	700	1087,5
31	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	702,5	1138
32	25	6,036912	5,341935	1,130098	D	İNCE	0,5	720	450



Çizelge 3.1. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
33	24,60938	6,604845	4,799213	1,376235	D	İNCE	0,5	720,5	437,5
34	19,92188	5,833573	4,466258	1,306143	D	İNCE	0,5	721	525
35	79,29688	16,27201	6,303975	2,58123	C	LİMİTİ AŞIYOR	SINIFSIZ	727,5	936
36	7,421875	3,372847	2,903943	1,161472	D	İNCE	0,5	748	436
37	59,375	10,56078	7,261454	1,454362	B	KALIN	0,5	753	521,5
38	23,82813	6,95664	4,480507	1,552646	B	İNCE	0,5	752	501
39	7,421875	3,372847	2,903943	1,161472	D	İNCE	0,5	755	191
40	13,28125	4,411969	3,913902	1,127256	D	İNCE	0,5	758,5	619
41	17,1875	5,418123	4,105613	1,319687	D	İNCE	0,5	760,5	1121,5
42	12,89063	4,743514	3,528172	1,344468	D	İNCE	0,5	761,5	675
43	57,8125	12,24053	5,985263	2,095234	D	KALIN	0,5	765,5	1153
44	25	6,775295	4,782504	1,416684	D	İNCE	0,5	769	1169,5
45	53,51563	13,79413	6,126494	2,251553	C	LİMİTİ AŞIYOR	SINIFSIZ	775	942,5
46	31,25	7,999349	5,064171	1,579597	D	İNCE	0,5	772,5	851,5
47	19,53125	5,60268	4,536975	1,234893	D	İNCE	0,5	773	838

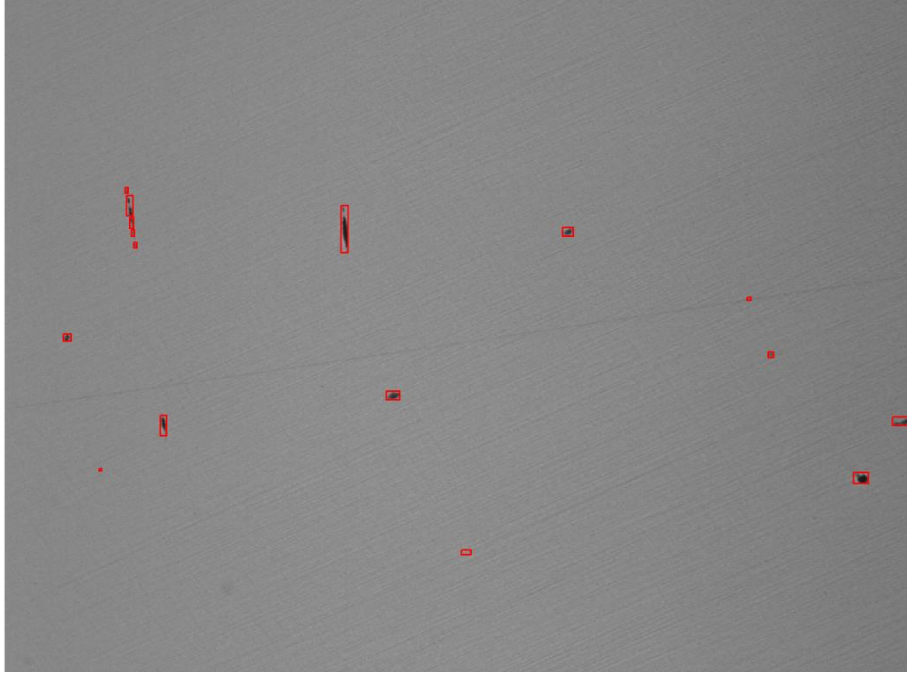
Çizelge 3.1. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
48	10,9375	5,204165	2,727724	1,907878	D	İNCE	0,5	773,5	869,5
49	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	774	906,5
50	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	938	696,5
51	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	954	689,5
52	17,57813	5,496511	4,13616	1,328892	D	İNCE	0,5	999	610,5
53	15,23438	4,65075	4,241318	1,096534	D	İNCE	0,5	1005	94
54	10,9375	4,561488	3,143586	1,451046	D	İNCE	0,5	1049	643
55	12,89063	4,633786	3,617552	1,280917	D	İNCE	0,5	1065	1099,5
56	9,375	3,868624	3,165896	1,221968	D	İNCE	0,5	1072	795,5
57	16,79688	5,810555	3,814172	1,523412	D	İNCE	0,5	1078,5	840
58	12,10938	4,367556	3,641655	1,199333	B	İNCE	0,5	1091,5	925
59	70,3125	14,00778	6,838594	2,048343	B	KALIN	0,5	1139	238,5
60	30,07813	6,779547	5,72392	1,184424	B	İNCE	0,5	1142	262
61	23,82813	8,630182	3,605098	2,393883	C	KALIN	0,5	1140,5	594
62	107,0313	22,0184	6,388254	3,4467	C	LİMİTİ AŞIYOR		1147	700

Çizelge 3.1. (devam)

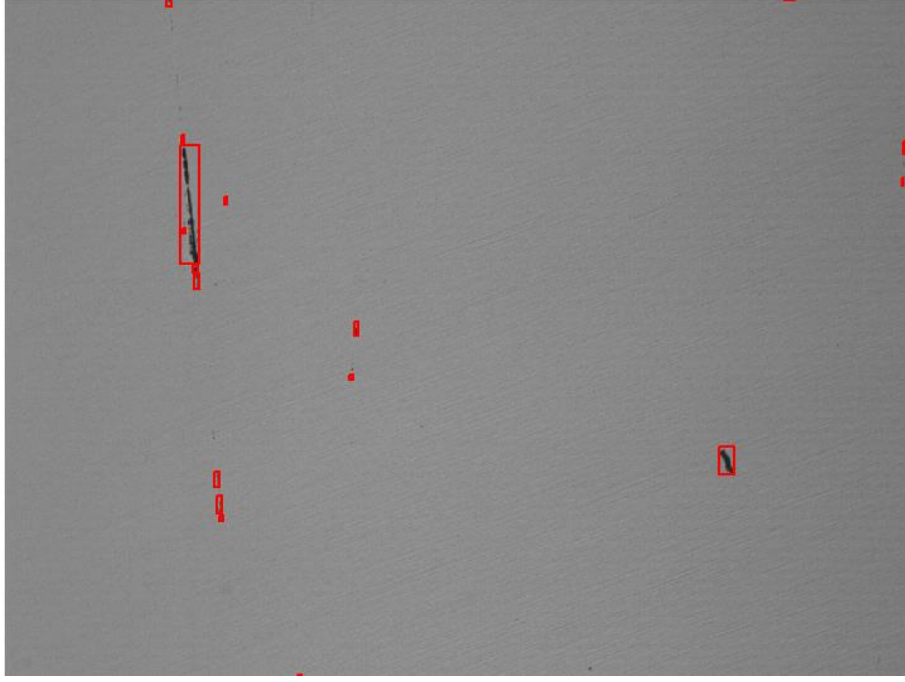
S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
63	19,53125	6,195222	4,295741	1,442178	D	İNCE	0,5	1173	1196
64	58,98438	12,43449	6,162997	2,017604	C	KALIN	0,5	1232,5	750
65	14,45313	5,12051	3,676707	1,392689	B	İNCE	0,5	1246	293
66	11,71875	4,120578	3,692146	1,116039	D	İNCE	0,5	1312,5	683,5
67	34,76563	8,038125	5,649365	1,422837	D	İNCE	0,5	1466,5	1005,5
68	15,23438	5,175949	3,838549	1,348413	D	İNCE	0,5	1466,5	993,5
69	13,67188	4,709683	3,782794	1,245028	D	İNCE	0,5	1469,5	1023
70	17,96875	4,880826	4,812264	1,014247	D	İNCE	0,5	1485,5	1191,5
71	7,03125	7,342981	1,415169	5,188766	D	İNCE	0,5	1599,5	1195

Metot D'ye göre yapılan tarama sonucu elde edilen görüntülerden bazıları Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Tarama sonucu elde edilen veriler ve sınıflandırma sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

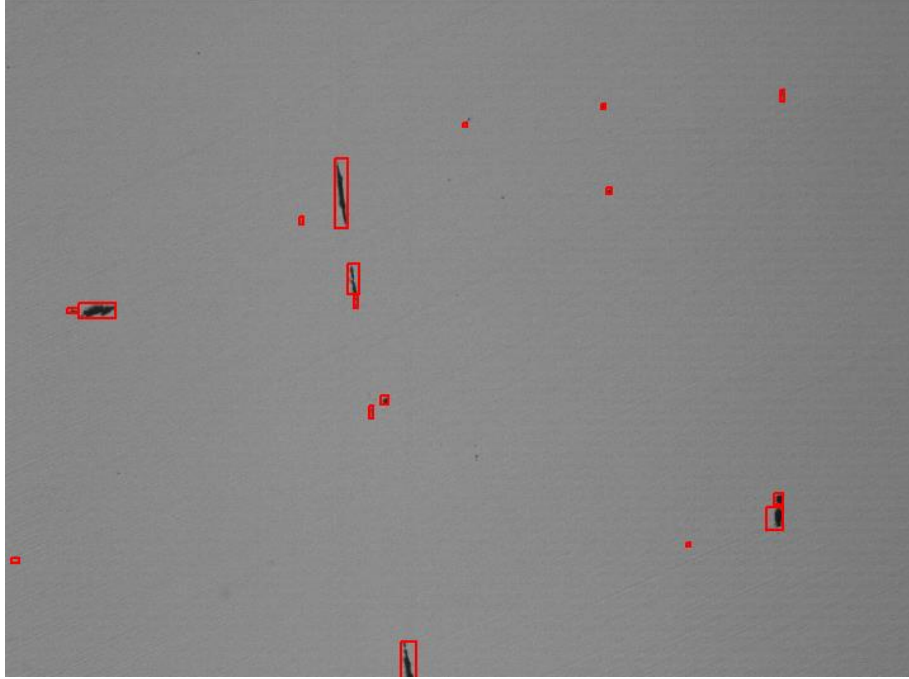


(a)

**Şekil 3.14.** Metot D'ye göre taranan örneklerden bazı analiz görüntüleri (a,b,c,d,e,f)

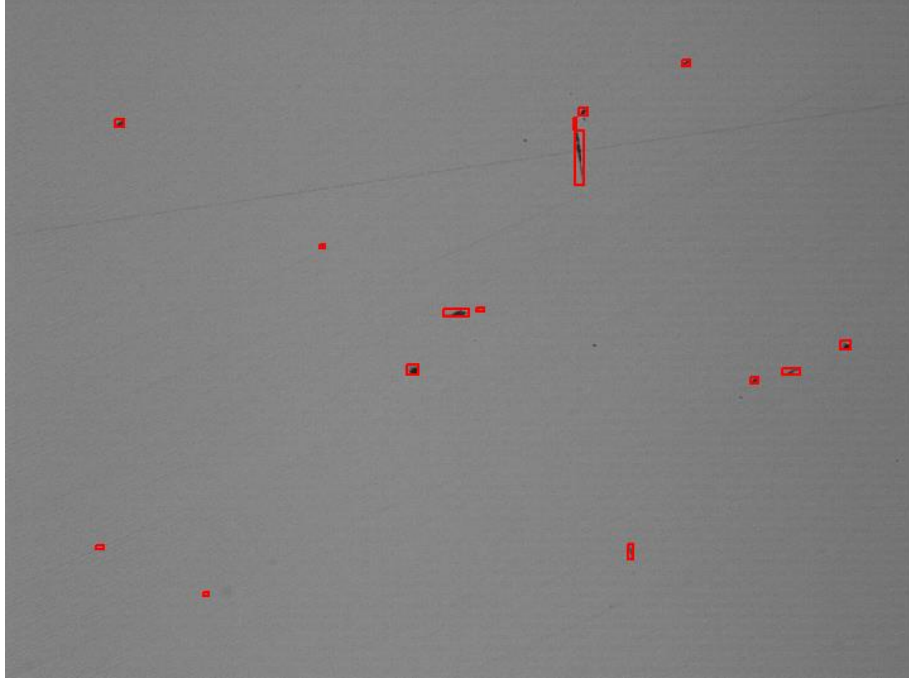


(b)

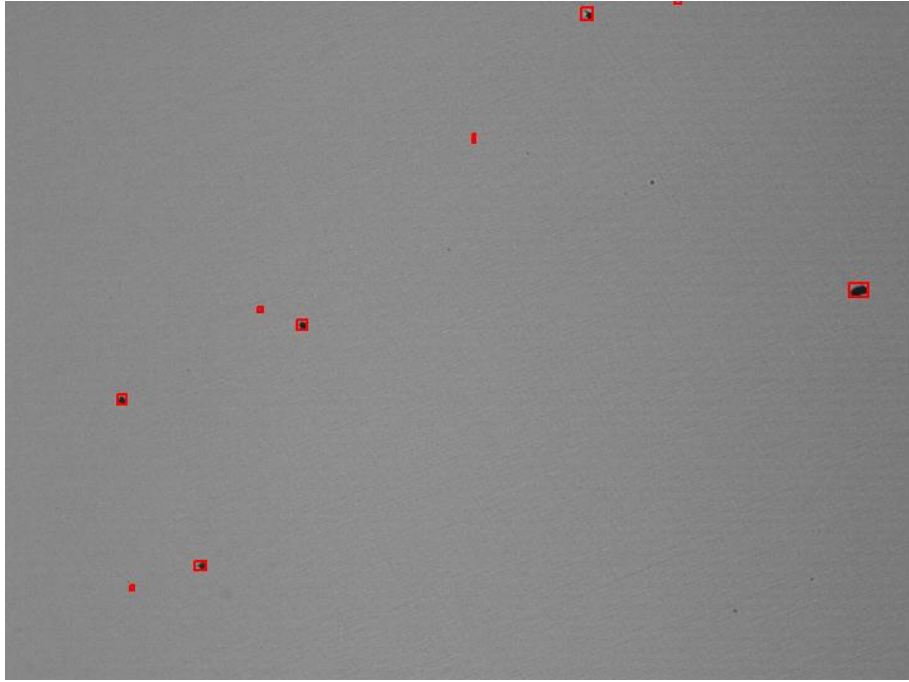


(c)

**Şekil 3.14.** (devam)

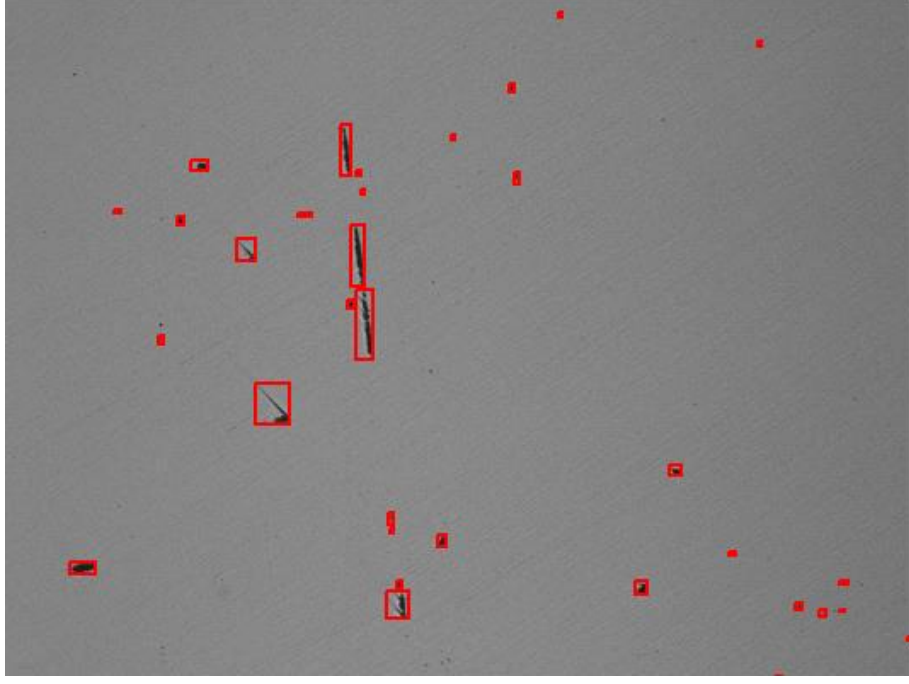


(d)



(e)

Şekil 3.14. (devam)



(f)

Şekil 3.14. (devam)

**Çizelge 3.2.** ASTM E45 Metot D'ye göre yapılan tarama işlemi ve analizin sonucunda elde edilen kalıntı bilgileri ve sınıflandırılma bilgileri

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
1	48,04688	8,30379	7,554943	1,09912	D	İNCE	0,5	112	607
2	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	171	840,5
3	15,625	6,446148	3,160513	2,039589	C	KALIN	0,5	217	347,5
4	81,25	26,62882	4,467225	5,96093	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	222	374
5	36,71875	12,83201	3,75973	3,413013	C	KALIN	0,5	226	404
6	17,57813	6,644219	3,458891	1,92091	B	İNCE	0,5	228,5	422,5
7	14,84375	5,872229	3,291906	1,783838	D	İNCE	0,5	232	444
8	89,45313	22,9286	5,264772	4,355099	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	282	762,5
9	247,2656	49,14193	6,788728	7,238754	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	602	416
10	105,4688	15,50125	8,763885	1,768765	B	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	687,5	709
11	24,60938	12,79664	2,868444	4,46118	C	KALIN	0,5	816	986
12	1,953125	3,608439	0,721688	5	C	İNCE	0,5	874	1200
13	70,3125	12,20885	7,542543	1,618665	D	KALIN	0,5	996	420
14	10,54688	4,310034	3,224496	1,336653	B	İNCE	0,5	1315	538
15	26,95313	6,66657	5,220471	1,277005	D	İNCE	0,5	1354,5	637



Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
16	133,9844	17,33603	10,44607	1,659575	B	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1512,5	854,5
17	110,9375	22,68617	7,122349	3,185209	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1585	754,5
18	9,375	3,868624	3,165896	1,221968	D	İNCE	0,5	12	123,5
19	33,98438	10,40497	4,449861	2,338269	C	KALIN	0,5	58	1197
20	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	89	1195,5
21	14,45313	4,991164	3,778655	1,320884	D	İNCE	0,5	101,5	321,5
22	7,8125	3,818813	2,661453	1,43486	D	İNCE	0,5	263,5	684,5
23	9,375	3,868624	3,165896	1,221968	D	İNCE	0,5	275,5	1020
24	39,45313	11,41063	4,923742	2,317471	C	KALIN	0,5	286,5	368,5
25	20,3125	6,047179	4,385482	1,378909	D	İNCE	0,5	287	222,5
26	27,73438	7,805788	4,763579	1,638639	D	İNCE	0,5	289,5	358,5
27	24,60938	6,762827	4,716286	1,433931	D	İNCE	0,5	289,5	410
28	10,15625	3,942699	3,33133	1,183521	D	İNCE	0,5	289	324,5
29	16,79688	5,218392	4,188454	1,245899	D	İNCE	0,5	290	386,5
30	23,82813	9,099484	3,416175	2,663647	C	KALIN	0,5	293	547,5

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
31	10,54688	4,310034	3,224496	1,336653	D	İNCE	0,5	294	629
32	30,46875	8,339118	4,735908	1,760828	D	İNCE	0,5	297	980
33	29,6875	8,948325	4,341339	2,06119	C	KALIN	0,5	368	1069,5
34	61,71875	10,62025	7,526795	1,410993	D	KALIN	0,5	400	741
35	16,40625	6,585081	3,47496	1,895009	B	İNCE	0,5	523	291,5
36	34,76563	9,509475	4,787218	1,98643	D	KALIN	0,5	528	981,5
37	80,07813	14,11539	8,026891	1,758513	D	KALIN	0,5	572	9,5
38	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	616,5	237
39	21,48438	6,028477	4,58942	1,31356	D	İNCE	0,5	641	402
40	54,6875	14,29056	5,148522	2,775662	C	KALIN	0,5	643	419,5
41	18,35938	6,55303	3,74563	1,749513	D	İNCE	0,5	647,5	136,5
42	12,10938	4,635577	3,377563	1,372462	D	İNCE	0,5	648	156
43	107,8125	24,23893	7,487316	3,237332	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	658,5	544
44	26,17188	9,089857	4,009976	2,266811	C	KALIN	0,5	658	504
45	104,6875	20,91595	7,448957	2,807903	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	673	609
46	12,5	4,018188	4,018188	1	D	İNCE	0,5	683,5	665,5

**Çizelge 3.2. (devam)**

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
47	46,48438	10,19832	5,890461	1,731328	D	KALIN	0,5	689,5	697
48	13,28125	4,411969	3,913902	1,127256	D	İNCE	0,5	688,5	907
49	24,21875	5,88375	5,342992	1,101209	D	İNCE	0,5	693	722
50	41,01563	8,610684	6,188538	1,391392	B	İNCE	0,5	699,5	757,5
51	15,625	5,088795	3,979112	1,278877	D	İNCE	0,5	698,5	1076,5
52	10,15625	3,942699	3,33133	1,183521	D	İNCE	0,5	700	1087,5
53	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	702,5	1138
54	38,28125	9,445582	5,226303	1,807316	D	KALIN	0,5	714,5	15
55	33,59375	9,104795	4,755403	1,914621	B	İNCE	0,5	715	32,5
56	25	6,036912	5,341935	1,130098	D	İNCE	0,5	720	450
57	24,60938	6,604845	4,799213	1,376235	D	İNCE	0,5	720,5	437,5
58	19,92188	5,833573	4,466258	1,306143	B	İNCE	0,5	721	525
59	79,29688	16,27201	6,303975	2,58123	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	727,5	936
60	34,375	9,509137	4,660399	2,040413	C	KALIN	0,5	727	53
61	7,421875	3,372847	2,903943	1,161472	D	İNCE	0,5	748	436
62	59,375	10,56078	7,261454	1,454362	B	KALIN	0,5	753	521,5

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
63	23,82813	6,95664	4,480507	1,552646	D	İNCE	0,5	752	501
64	7,421875	3,372847	2,903943	1,161472	D	İNCE	0,5	755	191
65	13,28125	4,411969	3,913902	1,127256	D	İNCE	0,5	758,5	619
66	17,1875	5,418123	4,105613	1,319687	D	İNCE	0,5	760,5	1121,5
67	12,89063	4,743514	3,528172	1,344468	D	İNCE	0,5	761,5	675
68	57,8125	12,54053	5,985263	2,095234	C	KALIN	0,5	765,5	1153
69	25	6,775295	4,782504	1,416684	D	İNCE	0,5	769	1169,5
70	53,51563	13,79413	6,126494	2,251553	C	KALIN	0,5	775	942,5
71	31,25	7,999349	5,064171	1,579597	D	İNCE	0,5	772,5	851,5
72	19,53125	5,60268	4,536975	1,234893	D	İNCE	0,5	773	838
73	10,9375	5,204165	2,727724	1,907878	B	İNCE	0,5	773,5	869,5
74	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	774	906,5
75	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	938	696,5
76	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	954	689,5
77	17,57813	5,496511	4,13616	1,328892	D	İNCE	0,5	999	610,5
78	15,23438	4,65075	4,241318	1,096534	D	İNCE	0,5	1005	94

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
79	10,9375	4,561488	3,143586	1,451046	D	İNCE	0,5	1049	643
80	12,89063	4,633786	3,617552	1,280917	D	İNCE	0,5	1065	1099,5
81	9,375	3,868624	3,165896	1,221968	D	İNCE	0,5	1072	795,5
82	16,79688	5,810555	3,814172	1,523412	B	İNCE	0,5	1078,5	840
83	12,10938	4,367556	3,641655	1,199333	D	İNCE	0,5	1091,5	925
84	20,3125	6,58424	4,005925	1,643625	D	İNCE	0,5	1112	16,5
85	70,3125	14,00778	6,838594	2,048343	C	KALIN	0,5	1139	238,5
86	30,07813	6,779547	5,72392	1,184424	D	İNCE	0,5	1142	262
87	23,82813	8,630182	3,605098	2,393883	C	KALIN	0,5	1140,5	594
88	107,0313	22,0184	6,388254	3,4467	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1147	700
89	19,53125	6,195222	4,295741	1,442178	D	İNCE	0,5	1173	1196
90	58,98438	12,43449	6,162997	2,017604	C	KALIN	0,5	1232,5	750
91	14,45313	5,12051	3,676707	1,392689	D	İNCE	0,5	1246	293
92	11,71875	4,120578	3,692146	1,116039	D	İNCE	0,5	1312,5	683,5
93	12,10938	6,088139	2,685599	2,266958	C	KALIN	0,5	1342	549
94	41,01563	10,74982	5,013486	2,14418	C	KALIN	0,5	1429	225

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
95	76,17188	15,1837	6,89929	2,200762	C	KALIN	0,5	1432,5	428,5
96	30,85938	7,56217	5,252412	1,439752	D	İNCE	0,5	1434,5	391,5
97	10,15625	3,942699	3,33133	1,183521	D	İNCE	0,5	1446,5	1072
98	6,25	3,145764	2,602082	1,208941	D	İNCE	0,5	1451	839,5
99	49,21875	13,92732	4,77889	2,914342	C	KALIN	0,5	1457,5	125
100	14,45313	5,018381	3,807737	1,317943	D	İNCE	0,5	1457,5	950,5
101	16,01563	4,576862	4,536062	1,008994	D	İNCE	0,5	1462	975
102	13,28125	4,67638	3,668272	1,274818	D	İNCE	0,5	1462,5	347
103	8,203125	3,261883	3,261883	1	D	İNCE	0,5	1463	356
104	14,84375	4,877895	4,025721	1,211682	D	İNCE	0,5	1463,5	385,5
105	34,76563	8,038125	5,649365	1,422837	D	İNCE	0,5	1466,5	1005,5
106	15,23438	5,175949	3,838549	1,348413	D	İNCE	0,5	1466,5	993,5
107	13,67188	4,709683	3,782794	1,245028	D	İNCE	0,5	1469,5	1023
108	34,375	10,04965	4,768779	2,107384	C	KALIN	0,5	1479	1003
109	14,84375	4,715014	4,069032	1,158756	D	İNCE	0,5	1478,5	1019
110	26,5625	6,327544	5,649467	1,120025	D	İNCE	0,5	1482,5	1179

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
111	17,96875	4,880826	4,812264	1,014247	B	İNCE	0,5	1485,5	1191,5
112	26,17188	11,83907	3,029326	3,908151	C	KALIN	0,5	1565	568
113	20,3125	5,819324	4,55477	1,277633	D	İNCE	0,5	1592	633
114	8,203125	5,992934	2,017915	2,969864	C	KALIN	0,5	1599	1105,5
115	5,859375	5,762425	1,415202	4,071805	C	KALIN	0,5	1599,5	1117
116	7,03125	7,342981	1,415169	5,188766	C	KALIN	0,5	1599,5	1195
117	39,45313	20,74998	3,465076	5,988317	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	272	667
118	32,03125	7,081293	5,913218	1,197536	D	İNCE	0,5	321	764
119	10,15625	5,509762	2,526124	2,181114	C	KALIN	0,5	351,5	656
120	150,3906	19,23979	11,01438	1,746787	B	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	477,5	980
121	15,625	7,943807	2,701289	2,940747	C	KALIN	0,5	519	331
122	175,3906	30,1592	7,884886	3,824938	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	556,5	882
123	41,79688	9,31053	6,006598	1,550051	B	İNCE	0,5	600,5	875,5
124	42,57813	9,421398	6,011527	1,567222	D	KALIN	0,5	668	174
125	273,8281	50,90517	7,194821	7,075251	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	722,5	188,5
126	386,3281	79,68588	6,631471	12,01632	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	773,5	596,5

**Çizelge 3.2. (devam)**

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
127	92,57813	14,86635	9,451583	1,572895	D	KALIN	0,5	781	529
128	15,23438	5,321422	3,736769	1,42407	D	İNCE	0,5	800,5	936
129	30,07813	8,514134	4,678346	1,819903	B	İNCE	0,5	888,5	160
130	6,640625	5,547341	1,832188	3,027713	C	KALIN	0,5	939	1199
131	48,82813	10,25323	6,242893	1,642385	D	KALIN	0,5	963	438,5
132	26,17188	6,129027	5,535671	1,107188	D	İNCE	0,5	963,5	12
133	68,75	10,89703	8,152173	1,336703	D	KALIN	0,5	1086	1000
134	101,1719	21,70335	6,267648	3,462758	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1148,5	983
135	14,84375	8,214776	2,627875	3,126015	C	KALIN	0,5	1151	1087
136	117,5781	19,0735	9,142268	2,086298	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1242	934,5
137	119,9219	20,94837	7,68081	2,727365	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1589,5	409
138	9,375	5,153882	2,69226	1,914333	B	İNCE	0,5	1598,5	1091
139	79,6875	16,09827	6,656216	2,418532	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	322,5	657
140	21,09375	5,913785	4,626403	1,278268	D	İNCE	0,5	350	331
141	86,71875	12,46515	9,039671	1,378939	D	KALIN	0,5	394,5	183
142	14,0625	5,335937	3,410564	1,564532	D	İNCE	0,5	390,5	284



Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
143	160,5469	42,07193	5,203044	8,086023	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	428,5	1170
144	17,1875	5,555316	4,007191	1,386337	B	İNCE	0,5	786,5	1001
145	79,6875	11,9038	8,664917	1,373793	D	KALIN	0,5	1007,5	824,5
146	19,14063	10,02202	2,665193	3,760335	C	KALIN	0,5	1026,5	918
147	14,45313	6,92323	2,848544	2,430445	C	KALIN	0,5	1118,5	662,5
148	6,25	5,518029	1,838779	3,000919	C	KALIN	0,5	1253	1199
149	12,5	5,283077	3,121819	1,692307	D	İNCE	0,5	1520	239,5
150	2,734375	5,051815	0,721688	7	C	İNCE	0,5	1600	912
151	14,0625	5,668021	3,255943	1,740823	D	İNCE	0,5	174	288
152	16,01563	5,779509	3,621854	1,595732	D	İNCE	0,5	249,5	39
153	39,45313	10,69537	4,836932	2,211189	C	KALIN	0,5	377,5	1049
154	299,2188	41,95374	11,16128	3,758865	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	425,5	1006,5
155	69,92188	12,58306	7,189066	1,750306	D	KALIN	0,5	414,5	527,5
156	2,734375	5,051815	0,721688	7	C	İNCE	0,5	877	1200
157	38,28125	7,474819	6,727592	1,111069	D	İNCE	0,5	1047	6
158	4,296875	5,332888	1,277066	4,17589	C	İNCE	0,5	1065,5	1199,5

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
159	25,39063	6,840241	4,836509	1,414293	D	İNCE	0,5	1088,5	368,5
160	392,5781	53,82823	23,20171	2,320011	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1108	1045,5
161	16,40625	5,621848	3,828892	1,46827	B	İNCE	0,5	1243,5	939
162	143,3594	41,21552	4,8793	8,447016	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1584,5	95,5
163	15,625	6,754702	3,088165	2,187286	C	KALIN	0,5	1590	150,5
164	12,5	5,90727	2,748105	2,149579	C	KALIN	0,5	1590,5	164
165	20,3125	13,14368	2,299852	5,715011	C	KALIN	0,5	1598,5	252,5
166	26,95313	10,93695	4,358999	2,509052	C	KALIN	0,5	292	8
167	878,9063	151,2541	9,133281	16,56076	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	329	366,5
168	30,85938	10,46571	3,879501	2,697694	C	KALIN	0,5	316,5	250,5
169	10,9375	5,204165	2,727724	1,907878	B	İNCE	0,5	318,5	412,5
170	41,40625	8,425606	6,322039	1,332736	B	İNCE	0,5	338,5	480
171	55,85938	19,05704	4,100449	4,647549	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	341,5	502
172	60,15625	18,20328	4,606883	3,951323	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	377	852,5
173	62,5	20,08927	4,797736	4,18724	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	381	897,5
174	16,79688	6,226833	3,508388	1,774842	D	İNCE	0,5	384	922

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
175	20,3125	9,464847	2,802243	3,377597	C	KALIN	0,5	392,5	358,5
176	2,734375	5,051815	0,721688	7	C	İNCE	0,5	523	1200
177	16,40625	6,108558	3,509058	1,740797	D	İNCE	0,5	614,5	671
178	47,26563	16,27037	4,090722	3,977382	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	623	585,5
179	241,4063	34,65524	9,359217	3,702793	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1279,5	819,5
180	18,75	10,42648	2,566164	4,063062	C	KALIN	0,5	1391	2,5
181	17,57813	9,019654	2,701594	3,338642	C	KALIN	0,5	1591,5	325
182	33,20313	16,11438	2,816753	5,720907	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1595	265
183	22,65625	10,47631	2,993498	3,499688	C	KALIN	0,5	23,5	991
184	50,78125	13,71098	5,103698	2,686479	C	KALIN	0,5	125,5	551
185	391,7969	41,34132	12,83955	3,219842	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	168	551,5
186	21,09375	9,698281	3,194421	3,036006	C	KALIN	0,5	528	392,5
187	2,734375	5,051815	0,721688	7	C	İNCE	0,5	586	1200
188	464,8438	76,36112	8,003794	9,540615	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	597,5	344,5
189	196,4844	36,31623	8,221069	4,417458	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	620	495
190	44,14063	14,82586	4,188682	3,539506	C	KALIN	0,5	623,5	536

Çizelge 3.2. (devam)

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
191	39,84375	14,88068	3,571554	4,166444	C	KALIN	0,5	650,5	729,5
192	57,42188	9,399764	8,008154	1,173774	D	KALIN	0,5	674,5	709
193	308,5938	45,78277	10,88452	4,206229	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	716	1167,5
194	12,89063	5,356663	3,147255	1,702011	D	İNCE	0,5	815,5	223,5
195	19,14063	6,023729	4,182678	1,440161	D	İNCE	0,5	1059,5	191
196	29,6875	7,23867	5,311579	1,362809	D	İNCE	0,5	1070	341
197	15,23438	5,15971	3,830429	1,347032	D	İNCE	0,5	1209,5	963,5
198	233,5938	28,5224	12,454	2,290219	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1361,5	917,5
199	98,4375	12,94655	9,800152	1,321056	D	KALIN	0,5	1368	882,5
200	35,54688	14,48109	3,31581	4,367286	C	KALIN	0,5	1374,5	172
201	20,70313	11,08519	2,732742	4,056434	C	KALIN	0,5	169	970,5
202	61,32813	11,9586	6,654165	1,79716	D	KALIN	0,5	204	220
203	17,1875	5,905647	3,815403	1,547844	D	İNCE	0,5	358	1053,5
204	18,35938	5,236588	4,565858	1,146901	D	İNCE	0,5	562,5	438,5
205	109,7656	12,89677	11,0591	1,166167	D	KALIN	0,5	722	656,5
206	134,375	28,17347	6,809618	4,137305	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	800	556,5

**Çizelge 3.2. (devam)**

S.No	Alanı	Ana Uzunluk	Yan Uzunluk	Boy / En Oranı	Tipi	Kalınlık Sınıfı	Şiddet Değeri	X Koordinatı	Y Koordinatı
207	30,46875	9,12556	4,673553	1,952596	D	KALIN	0,5	842,5	550,5
208	36,32813	13,04952	3,646145	3,578992	C	KALIN	0,5	1009,5	221,5
209	242,5781	63,84443	5,37635	11,87505	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1016,5	282
210	57,03125	10,69776	6,997733	1,528746	B	KALIN	0,5	1023,5	200,5
211	57,8125	18,10421	4,253021	4,256788	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1107	978
212	34,76563	9,351622	4,841897	1,931396	B	İNCE	0,5	1206	114
213	49,60938	9,162154	7,043068	1,300875	D	KALIN	0,5	1327,5	675
214	62,89063	20,6279	4,259255	4,843076	C	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1391	659,5
215	78,90625	12,2518	8,753362	1,399668	D	KALIN	0,5	1487	613
216	87,89063	12,13276	9,441734	1,285014	D	KALIN	0,5	208	706
217	19,92188	6,014404	4,320328	1,392117	B	İNCE	0,5	226,5	1038
218	75	11,50004	8,851871	1,299165	D	KALIN	0,5	347,5	999
219	20,3125	5,807611	4,523687	1,283822	D	İNCE	0,5	454	547
220	96,875	12,15491	10,33714	1,175848	D	KALIN	0,5	527	574,5
221	25	9,773621	3,310019	2,952738	C	KALIN	0,5	830	244
222	106,6406	14,55266	11,02793	1,319619	D	KALIN	0,5	1031,5	24,5

**Çizelge 3.2.** (devam)

<b>S.No</b>	<b>Alanı</b>	<b>Ana Uzunluk</b>	<b>Yan Uzunluk</b>	<b>Boy / En Oranı</b>	<b>Tipi</b>	<b>Kalınlık Sınıfı</b>	<b>Şiddet Değeri</b>	<b>X Koordinatı</b>	<b>Y Koordinatı</b>
<b>223</b>	12,5	6,560116	2,956174	2,219123	C	KALIN	0,5	1191	3
<b>224</b>	200	21,39005	12,20497	1,75257	B	LİMİT AŞIYOR	SINIFSIZ	1511	512

Analiz sonuçlarına göre sistem başarılı bir şekilde ASTM E45 standardına uygun olarak hesaplamaları yapmış ve sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarına göre analiz edilen ürünün üretim için uygunluğuna karar verilebilmektedir. Ayrıca geliştirilen sistemde örneklem görüntüsü üzerindeki her nesne analiz edilerek ve hassas ölçümler gerçekleştirerek operatör hataları minimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar standarda uygun olarak hesaplandığı için uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından kabul edilebilmektedir. Ayrıca sistem otomatik olarak bütün hesaplamaları yapabildiği için operatör bağımlılığını azaltarak daha hızlı ve daha güvenilir sonuçlar elde etmektedir.

### **3.5. Uç Değer Dağılımına Göre Analiz Uygulaması**

Çelik üretim sektöründeki gelişmeler çelik içerisinde bulunan metal olmayan kalıntıların miktarını düşürmüş ve standart metotların kullanılabilirliğini azaltmıştır. Büyük kalıntıların daha fazla zararlı olmasından dolayı kalıntı uzunlukları uç değer dağılımı ile analiz edilerek, karşılaşılabilecek en uzun kalıntı boyutu hesaplanmıştır.

Uç değer uygulaması için çelik tabakasından alınan 6 adet örneklem Bölüm 1.6'da anlatılan prosedürlere uygun olarak hazırlanmıştır. Analiz için hazır hale getirilen örneklemelerin 4 yüzeyi ASTM E45 standardındaki Metot D'ye göre taranarak analiz edilmiştir.. Tarama sonucunda her bir yüzey için elde edilen en büyük kalıntı uzunluğu değeri ayrı olarak kayıt edilmiştir. Yapılan test sonucu elde edilen en uzun kalıntı değerleri örneklem ve yüzeyine göre Çizelge 3.3'de verilmiştir.



(a)



(b)

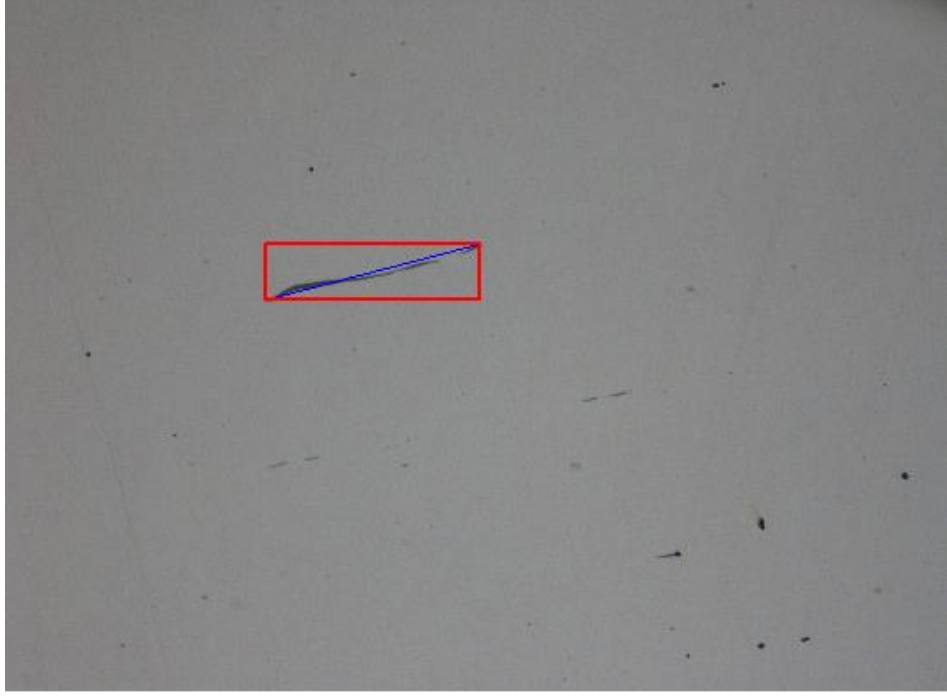
**Şekil 3.15.** Uç değer dağılımı için kullanılan örneklerden görüntüler örneklemeler üzerinde A tipi kalıntıların olduğu gözlenmektedir. (a,b,c)



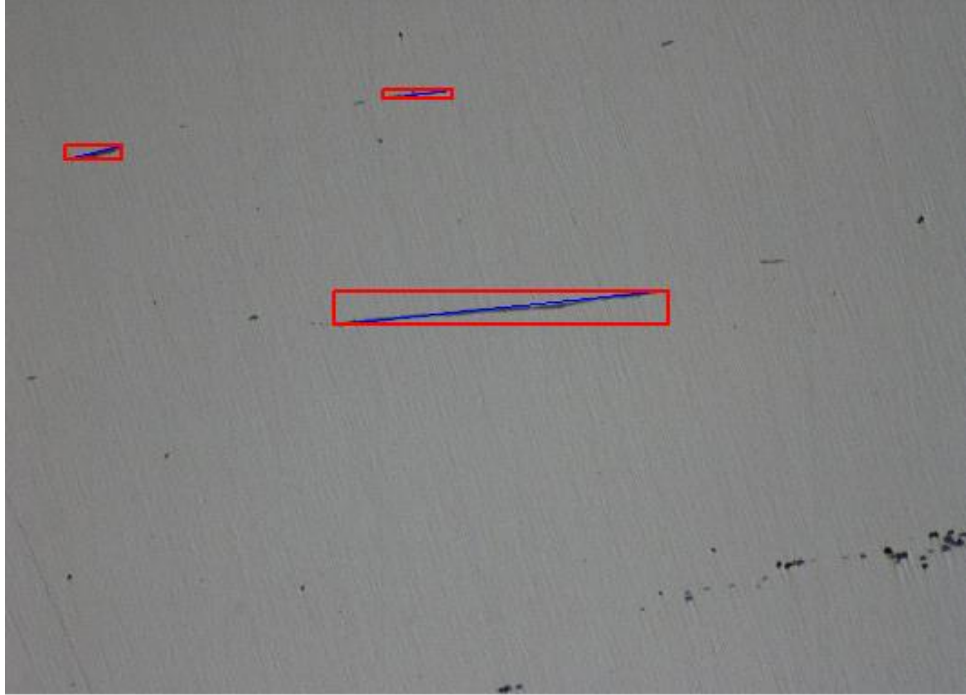


(c)

**Şekil 3.15.** (devam)

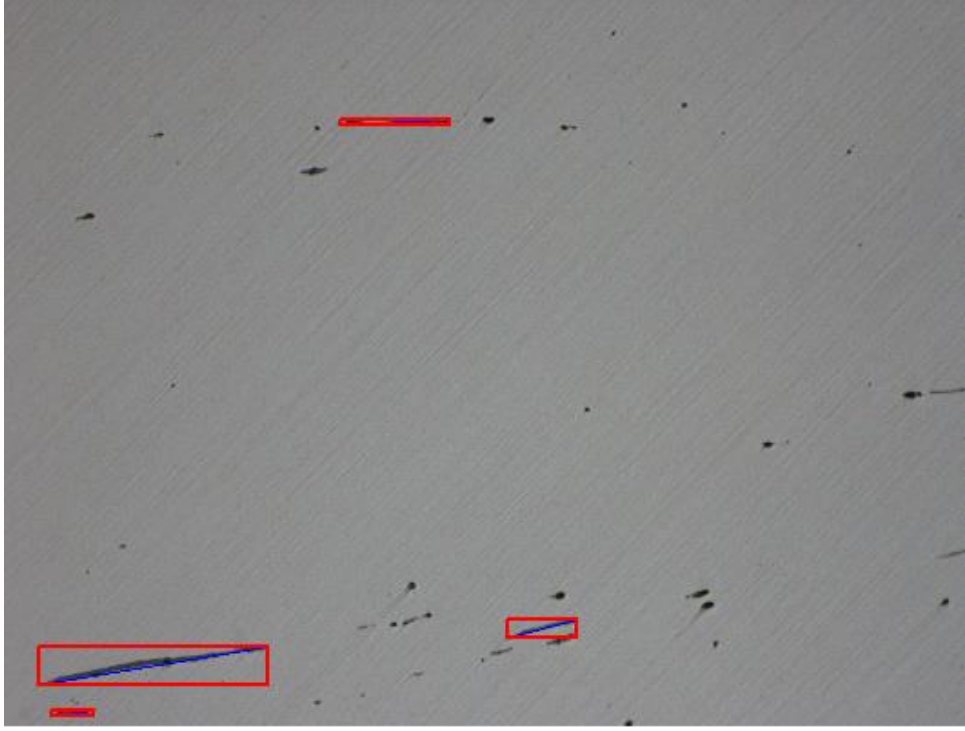


(a)



(b)

**Şekil 3.16.** Uç değer dağılımı analizi sonucu örneklerden görüntüler. Tespit edilen kalıntılar kırmızı kutu ile belirtilmiştir. (a,b,c)



(c)

Şekil 3.16. (devam)

**Çizelge 3.3.** Uç değer dağılımı için analiz edilen örneklerden elde edilen en büyük uzunluk değerleri

<b>Yüzey</b> <b>Örneklem</b>	<b>A</b> <b>(µm)</b>	<b>B</b> <b>(µm)</b>	<b>C</b> <b>(µm)</b>	<b>D</b> <b>(µm)</b>
<b>1</b>	17,63	23	13,31	15,44
<b>2</b>	18,19	16,13	12,43	19,88
<b>3</b>	15,75	19,4	19,25	15,81
<b>4</b>	17,88	13,45	15,36	17,56
<b>5</b>	19,18	14,94	33	12,51
<b>6</b>	24,56	18,13	14,23	16,58
<b>Ortalama Uzunluk=17,65 µm</b>			<b>Standart Sapma =4,45</b>	

Elde edilen uzunluk verilerinin uç değer dağılımı ile değerlendirilmesi için 1. Tip olan Gumbel uç değer dağılımı yöntemi seçilmiştir.

Gumbel uç değer yöntemi ile hesaplamalar;

- 24 tane uzunluk değerleri küçükten büyüğe doğru olacak şekilde sıralanmıştır.
- Her bir verinin olasılık grafik pozisyonu (probability plotting position) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır. (N toplam veri sayısını ve i hesaplanan verinin sırasını belirtir.)

$$P_i = i / (N + 1) \quad (3.1)$$

- Hesaplanmış olasılık grafik pozisyonları kullanılarak herbir kalıntı değerinin indirgenmiş değişkeni ( $y$ ) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$y = -\ln(-\ln(Pi)) \quad (3.2)$$

- Olasılık dağılımının yer ve ölçek parametreleri bölüm 2.6.3.1'de bahsedilen momentler metodu ile hesaplanmıştır.
- Yer ve ölçek parametreleri bölüm 2.6.3.2'de bahsedilen en çok benzerlik yöntemi ile dağılımın logaritmasını maksimize eden değerler için hesaplanmıştır.
- Yer ve ölçek parametreleri ile hesaplanan indirgenmiş değişken kullanılarak olasılık dağılım grafiğinde en iyi uyan değerler aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$x = \delta_{ML} \cdot y + \lambda_{ML} \quad (3.3)$$

- Standart hata aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SH(x) = \delta_{ML} \cdot \sqrt{(1.109 + 0.514 \cdot y + 0.608 \cdot y^2)/N} \quad (3.4)$$

- Standart hata değeri ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak verilerin %95 güven aralık değerleri hesaplanmıştır.

$$95 \% GA = \bar{\pm} 2 \cdot SH(x) \quad (3.5)$$

- Hesaplanan karşılaşılabilecek en büyük kalıntı uzunluğunun ne kadarlık bir referans alanında karşılaşılabileceği bilgisini veren yenileme periyodu (return period) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$T = 1/(1 - P) \quad (3.6)$$

- Hesaplanan yenileme periyodu bilgisi ve diğer parametreler kullanılarak hesaplanan referans aralığı içerisinde karşılaşılabilecek en büyük kalıntı uzunluğu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$L_{max} = -\delta_{ML} \cdot \ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) + \lambda_{ML} \quad (3.7)$$

**Çizelge 3.4.** Uç değer dağılımı için gerekli parametrelerin sonuçları

Uzunluk (x)	Sıra	Olasılık	İndirgenmiş Değişken (y)	Ln (f(x <sub>i</sub> , δ, λ))	X	X_low	X_high
12,43	1	0,04	-3,12	-2,84	12,43	10,65	14,21
12,51	2	0,08	-3,063	-2,81	13,14	11,36	14,92
13,31	3	0,12	-2,59	-2,53	13,65	11,87	15,43
13,45	4	0,16	-2,52	-2,49	14,08	12,30	15,86
14,23	5	0,20	-2,26	-2,34	14,46	12,68	16,24
14,94	6	0,24	-2,13	-2,27	14,81	13,04	16,59
15,36	7	0,28	-2,09	-2,25	15,14	13,36	16,92
15,44	8	0,32	-2,08	-2,25	15,47	13,69	17,25
15,75	9	0,36	-2,074	-2,24	15,79	14,01	17,57
15,81	10	0,40	-2,074	-2,24	16,11	14,33	17,88
16,13	11	0,44	-2,08	-2,25	16,43	14,65	18,21
16,58	12	0,48	-2,10	-2,28	16,75	14,97	18,53
17,56	13	0,52	-2,21	-2,37	17,09	15,31	18,87
17,63	14	0,56	-2,23	-2,38	17,44	15,66	19,22
17,88	15	0,60	-2,27	-2,41	17,81	16,03	19,59
18,13	16	0,64	-2,31	-2,45	18,21	16,43	19,99
18,19	17	0,68	-2,32	-2,46	18,64	16,86	20,42
19,18	18	0,72	-2,53	-2,62	19,10	17,32	20,88
19,25	19	0,76	-2,55	-2,64	19,63	17,85	21,41
19,4	20	0,80	-2,58	-2,66	20,23	18,45	22,01
19,88	21	0,84	-2,70	-2,76	20,96	19,18	22,74
23	22	0,88	-3,60	-3,48	21,86	20,08	23,64
24,56	23	0,92	-4,10	-3,89	23,11	21,33	24,89
33	24	0,96	-6,94	-6,25	25,20	23,42	26,98

Uç değer dağılımı ile yapılan analiz sonucunda karşılaşılabilecek en uzun kalıntı için gerekli hesaplamalar yapılmış ve bu parametreler izelge 3.4'te gösterilmiştir. Hesaplanan parametreler ve 3.7 eşitliğinden faydalanarak karşılaşılabilecek en büyük kalıntı uzunluğu 36,0622  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan karşılaşılabilecek en uzun kalıntı değerinin gözlemlenebilmesi için gerekli kontrol alanı eşitlik 3.6 kullanılarak 1000 olarak hesaplanmıştır. Örneklemler ASTM E45 standardına göre belirtilen 160 mm<sup>2</sup>'lik alan ile taranmış olduğu için 160 000 mm<sup>2</sup>'lik bir referans alanında karşılaşılabilecek en uzun kalıntı uzunluğu 36,0622  $\mu\text{m}$ 'dir. Çeliğin yorulma dayanımı hesabının yapılmasında uzunluk değerinin önemli bir yer tutması açısından hesaplanan bu değer malzemenin yorulma direnci yani kullanım ömrü hesaplanması için çok önemlidir. Bu çalışmada 6 örneklemden 4 yüzey kullanılarak toplam 24 uzunluk verisi kullanılmıştır; örnekleme sayısı arttırılarak toplam uzunluk sayısı arttırılabilir ve bundan dolayı sonuçlar daha anlamlı değerlere ulaşabilir. Ancak rnekleme hazırlamanın zorluğu ve zaman kaybından dolayı 24 uzunluk değeri yeterli olacaktır.



## 4.SONUÇ

Bu tez kapsamında, çelik içerisinde bulunan metal olmayan kalıntıların tespit edilmesi, sınıflandırılması ve örneklem üzerinden alınan verilerin daha geniş çelik tabakaları için istatistiksel yaklaşım ile tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda sistem üzerinde;

- Uluslararası kabul görmüş ASTM E3 örneklem hazırlama standardı ile numuneler alınarak örneklem kesme, katı zımparalama, ince zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur.
- Sistemi oluşturan donanımsal öğelerin kalibrasyonu gerçekleştirilerek;
  - Mikroskop ışık kaynağı ve donanımsal filtreleri optimum olacak şekilde ayarlanmıştır.
  - Donanımsal öğelerin birbirleri ile bağlantıları sağlanarak senkronize çalışmaları ayarlanmıştır.
  - Işık mikroskopunda kullanılan kameranın ölçüm değerleri, kalibrasyon cetveli kullanılarak hesaplanmıştır.
- Hazırlanan örnekler kalibre edilmiş metal analizi yapmaya elverişli ışık mikroskopu ile ASTM E45 standartında belirtilen tarama alanına uygun görüntüler elde edilmiştir.
- Elde edilen görüntüler uygun görüntü işleme algoritmaları ile analiz edilmiştir.
  - Görüntülerde metal örneklem üzerinden yansıyan ışık bozulmalarından dolayı oluşan aydınlanma problemi giderilmiştir.
  - Arkaplan ve kalıntıların birbirlerinden ayrılması için gerekli gri seviyesi eşik değerleri belirlenmiştir.
  - Belirlenen eşik değerlerine göre bölütleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.
  - Bölütleme işleminin sonuçları morfolojik işlemler ile düzeltilmiştir.

- Tanecik analizi algoritmaları ile sınıflandırmanın yapılabilmesi için gerekli, kalıntılara ait nicel veriler elde edilmiştir.
  - Elde edilen nicel veriler doğrultusunda kullanıcının belirlemiş olduğu limit altında kalan ve örneklem hazırlanması esnasında oluşan yapay kalıntılar boyut filtresi ile temizlenmiştir.
  - Metal olmayan kalıntıların morfolojik ve dağılım bilgilerine göre ASTM E45 standartında belirtilen sınıflandırma kıstaslarına göre tespit edilen kalıntıların kimyasal ve kalınlık sınıflandırma işlemleri yapılmıştır.
  - Kalınlık verileri kullanılarak, kalıntıların şiddet değerleri hesaplanmıştır.
- İsteğe bağlı olarak istatistiksel analiz için incelenen 6 adet örneklemin 4 ayrı yüzeyinde karşılaşılan en uzun kalıntıların uzunluk değerleri kullanılarak;
- Dağılım hesabı için gerekli parametreler hesaplanmıştır.
  - Uç değer dağılımı gerçekleştirilmiştir.
  - Uç değer dağılımı sonucu elde edilen değerler kullanılarak karşılaşılabilecek en büyük kalıntı değeri hesaplanmıştır.
- Sonuçlar seçilen metod çerçevesinde standartlara ve hesaplamalara uygun olarak raporlanmıştır.

Analiz sürecinde incelenen bütün çelik örneklerinde az veya çok metal olmayan kalıntılara rastlanılmıştır. Örneklem hazırlanması sürecinde yapılan hataların etkileri örneklemin mikroskop üzerindeki görüntülerinde açıkça görülmüştür. Örneklem hazırlanması sürecinde oluşan yapay kalıntıların temizlenerek analiz işlemine devam edilebilmesi için analiz süresi uzamıştır; hatta bazı durumlarda numunelerin yeniden hazırlanması gerekmiştir.

Seçilen analiz metodunun, analiz sonuçlarını ve analiz süresini doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. ASTM E45 standardı Metod D ile yapılan analizlerin aynı tarama koşullarında Metod A ile yapılan analizlere göre daha uzun sürede gerçekleştiği görülmüştür; ancak Metod D ile yapılan analizlerin örneklem hakkında daha kapsamlı

bilgiler verdiği görülmüştür. Geliştirilen sistemde Metod A ile yapılan analiz işlemlerinin sonuçlarının güvenilirliğinin artırılması için piksel artırım değeri sisteme eklenmiştir. Bu değer Metod A ile yapılan taramalarda; tarama alanının, tarama bölgesine göre taranması işleminde yeni oluşacak tarama bölgesinin tarama alanı üzerinde bir önceki tarama alanına göre kaç piksel kayma ile oluşacağını belirtmektedir. Bir tarama işlemi sırasında piksel artırım değeri düştükçe tarama yavaşlar ve daha güvenilir sonuçlar üretilir. Piksel artırım değeri arttıkça tarama hızı artar ancak piksel artırım değeri düşük olan tarama sonucuna göre daha az güvenilir sonuçlar üretilir. Piksel artırım değeri bütün tarama alanının eksiksiz taranmasının gerekliliğinden dolayı tarama bölgesi boyutlarından büyük tanımlanamaz.

İstatistiksel analiz daha fazla örneklem gerektirdiği için uygulanmasının kararı operatöre bırakılmıştır. Örnek olarak uygulanan analizde örneklem yüzeyinin 1000 katı kadar yani 160 000 mm<sup>2</sup>'lik alanda örneklem ile aynı üretim özelliklerine sahip bir çelik tabakasında karşılaşılabilecek maksimum kalıntı değeri uç değer dağılımı kullanılarak başarı ile hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, çelik üretim teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte mevcut standartlar dışında yeni analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Literatürde bu konu ile ilgili eksiklik uzun kalıntıların çelik üzerindeki tahribatının daha fazla olmasından dolayı istatistiksel yöntemler ile beklenen maksimum uzunluk değerinin hesaplanması üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak analiz sonuçlarının uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından kabul edilerek belirli bir kalite standartının oluşturulması açısından metal olmayan kalıntıların analizi konusunda uluslararası platformlar tarafından kabul edilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, uluslararası standartlarda belirtilen şartlara uygun olarak analiz işlemleri gerçekleştirilmiş olup; analiz sonuçları ile daha geniş bir bölgeyi değerlendirmek ve karşılaşılabilecek olası problemleri tahmin etmek amacıyla uç değer dağılımı ile analiz edilmiştir. Çalışma, geliştirmeye açık bir konu olup farklı istatistiksel yöntemler ile değerlendirmek ve farklı metal malzemelerin kalıntı analizini yapmak için uygundur.

## KAYNAKLAR

- [1] Anonim, Demir Çelik Sektör Raporu, Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2014
- [2] Anonim, Steel Statistical Yearbook, World Steel Committee on Economic Studies - World Steel Association, 2014
- [3] Anonim, Türkiye Çelik Haritası 2014, Türkiye Çelik Üreticileri Derneği <http://www.d cud.org.tr/public/UserFiles/Untitled-1.jpg> (Erişim Tarihi: 15.06.2015)
- [4] Anonim, Demir Çelik Sektörü Raporu 2013/2, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı - Sanayi Genel Müdürlüğü, Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi
- [5] Kiessling R., Clean Steel- a debatable concept, Metals Society, Vol 15 (5) 161-172, 1980
- [6] M. K.,Van Ende, Formation and Morphology of non-Metallic Inclusions in Aluminium Killed Steels, Doktora Tezi, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Ocak 2010.
- [7] Zhang L., Thomas B.G., Inclusions in Continuous Casting of Steel, XXIV National Steelmaking Symposium, Kasım 2003, Morelia-Mich-Mexico, s138-183
- [8] <http://static2.olympus-ims.com/data/Image/appnotes/Sulfide.jpg>  
Erişim Tarihi (17.06.2015)
- [9] <http://static1.olympus-ims.com/data/Image/appnotes/Alumina.jpg>  
Erişim Tarihi (17.06.2015)

- [10] <http://static3.olympus-ims.com/data/Image/appnotes/Slicate.jpg>  
Erişim Tarihi (17.06.2015)
- [11] [http://static2.olympus-ims.com/data/Image/appnotes/Globular\\_Oxide.jpg](http://static2.olympus-ims.com/data/Image/appnotes/Globular_Oxide.jpg)  
Erişim Tarihi (17.06.2015)
- [12] Atkinson H.V., Shi G., Characterization of Inclusions in Clean Steels: A review including the statistics of extremes methods, Progress in Materials Science, 48, p. 457-520, 2003.
- [13] Murakami Y., Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions, Elsevier, 2002
- [14] Anonim, Jernkontoret's Inclusions Chart II for the Assessment of non-Metallic Inclusions Content of Steel, Swedish Standards Institute, SS 11 11 16
- [15] Anonim, DIN50602: Metallographische Prüfverfahren; Mikroskopische Prüfung von Edelstählen auf nichtmetallische Einschlüsse mit Bildreihen, the German Institute for Standardization, Germany, 1985
- [16] Anonim, ASTM E45: Standard test methods for determining the inclusion content of steel, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA, 2014
- [17] Anonim, ISO 4967 Steel - Determination of content of non-metallic inclusions Micrographic method using standard diagrams, International Organization for Standardization, Switzerland, 2013
- [18] Anonim, European Standards, EN10247- Micrographic examination of the non-metallic inclusion content of steels using standard pictures, 2007
- [19] Anonim, JISG0555- Microscopic testing method for the non-metallic inclusions in steel, Japanese Standards Association , 2003

- [20] Bao Y., Wang M., Jiang W., A method for observing the three-dimensional morphologies of inclusions in steel , International Journal of Minerals, P111-115, 2012
- [21] Herwig J., Buck C., Thureau M., Pauli J., Luther W., Real-time characterization of non-metallic inclusions by optical scanning and milling of steel samples, Optical Micro- and Nanometrology IV, 843010, Mayıs 2012,
- [22] Murakami Y., Inclusion Rating by Statistics of Extreme Values and Its Application to Fatigue Strength Prediction and Quality Control of Materials, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol99, No:4,1994
- [23] Anderson C.W., Shi G., Atkinson H.V., Sellars C.M., The precision of methods using the statistics of extremes for the estimation of the maximum size of inclusions in clean steels, Acta Materialia, Volume 48, Issue 17,2000
- [24] Anderson C.W., Maré J., Rootzén H., Methods for estimating the sizes of large inclusions in clean steels, Acta Materialia, Volume 53, Issue 8, xxx Pages 2295-2304, Mayıs 2005
- [25] Barbosa C., Campos J.B., Nascimento J.L., Caminha L.M.V..., Quantitative Study on Nonmetallic Inclusion Particles in Steels by Automatic Image Analysis With Extreme Values Method, Journal of Iron and Steel Research International, Vol 14(4):18-21,32, 2009
- [26] Bytyqi A., Puk N., Jenko M., Godec M., Characterization of The Inclusions in Spring Steel Using Light Microscopy and Scanning Electron Microscopy, MTAEC9, 45(1) 55 (2011)
- [27] Ekengren, Jens and Bergström, Jens, Extreme Value Distributions Of Inclusions In Six Steels, Extremes, vol 15(2):257-265, 2012

- [28] Anonim, ASTM E3:Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA, 2011
- [29] Gonzales R.C., Woods R.E. Digital Image Processing, ISBN-13: 978-0131687288 Prentice Hall, 2008
- [30] Acar U. Bayram B., Morfolojik Görüntü Filtreleri ile İKONOS Görüntülerinden Otomatik Bina Çıkarımı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Mayıs 2009, Ankara
- [31] Otsu N.,A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. 9 pp 62-66, January 1979
- [32] [http://www.totalmateria.com/images/Articles/kts/Fig198\\_1.jpg](http://www.totalmateria.com/images/Articles/kts/Fig198_1.jpg)  
(Erişim Tarihi : 18.06.2015)
- [33] <http://www.ualberta.ca/~ccwj/teaching/image/morph/Figs/PNG/connectivity.png> (Erişim Tarihi: 18.06.2015)
- [34] Moeslund T.B., Introduction to Video and Image Processing Building Real Systems and Applications, Springer, Danimarka, 2012
- [35] Kotz S., Nadarajah S., Extreme Value Distributions, Theory and Applications, Imperial College Press, Washington, 1999
- [36] Akdeniz F., Olasılık ve İstatistik, Nobel Kitabevi, Adana, 2006
- [37] Anonim, ASTM E2283:Standard Practice for Extreme Value Analysis of Nonmetallic Inclusions in Steel and Other Microstructural Features, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA, 2014