

**ENDÜSTRİYEL KAMERALAR İÇİN HİPERSPEKTRAL
BANTLARDA ADAPTİF POZLAMA SÜRESİ KESTİRİMİ**

Yahya DOĞAN

**Yüksek Lisans Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Çınar**

Ocak-2016

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL KAMERALAR İÇİN HİPERSPEKTRAL BANTLARDA ADAPTİF
POZLAMA SÜRESİ KESTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yahya DOĞAN

(132129102)

Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği

Programı: Yazılım

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Çınar

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23.12.2015

OCAK-2016

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL KAMERALAR İÇİN HİPERSPEKTRAL BANTLARDA ADAPTİF
POZLAMA SÜRESİ KESTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yahya DOĞAN

(132129102)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23.12.2015
Tezin Savunulduğu Tarih: 06.01.2016**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Çınar (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Burhan ERGEN (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Musa ATAŞ (SİÜ)

Ocak-2016

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde desteğini esirgemeyen ve gerekli yönlendirmeyi sağlayan sayın danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇINAR'a, deneysel çalışmalarda değerli vaktini bana ayıran sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Musa ATAŞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında beni yürekten destekleyen aileme ve sevgili eşim Nevin DOĞAN'a teşekkür ederim.

Yahya DOĞAN

ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÖZET... ..	v
SUMMARY.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
SEMBOLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti	2
1.2. Problemin Tanımlanması	4
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	5
1.4. Tezin Yapısı	5
1.5. Otomatik Pozlamanın Önemi ve Kullanım Alanları.....	6
1.6. Görüntü İşleme	13
1.6.1. Sayısal Görüntü ve Özellikleri	14
1.6.2. Görüntü Tipleri.....	15
1.6.3. Renkli Görüntüyü Griye Çevirme	19
1.6.4. Görüntü İşleme Teknikleri	20
1.7. Görüntü İşleme Teknikleri ile Pozlama Düzeltilmesine Genel Bakış	21
1.7.1. Histogram Eşitleme	23
1.7.2. Görüntü Parlaklık ve Kontrast Ayarı.....	25
1.7.3. Gürültü Azaltma Teknikleri (Filtreleme)	28
2. SİSTEMİN DONANIMSAL YAPISI	35
2.1. Görüntü Alımı Sistemi (Kara Kutu)	35
2.2. Imaging Source Endüstriyel Kamera	35
2.3. Varispec Elektronik Ayarlanabilir Filtre	37
2.4. Işık Kaynağı	37
3. SİSTEMİN YAZILIMSAL YAPISI	38
3.1. Öz Niteliklerin Belirlenmesi	38
3.1.1. Aritmetik Ortalama.....	38

	<u>Sayfa No</u>
3.1.2. Standart Sapma.....	38
3.1.3. Çarpıklık.....	39
3.1.4. Basıklık.....	39
3.1.5. Entropi.....	40
3.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları.....	40
3.2.1. Yapay Sinir Ağları.....	40
3.2.2. Karar Ağacı Algoritmaları.....	46
3.2.3. Regresyon.....	48
4. GERÇEKLEŞTİRİLEN UYGULAMA	51
4.1. Verilerin Elde Edilmesi	51
4.2. İmgelerden Özniteliklerin Çıkarılması	55
4.3. Makine Öğrenmesi Algoritmasının Belirlenmesi	56
4.4. Otomatik Pozlama Düzeltme	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ	76

ÖZET

Bu çalışmada, hiperspektral görüntüleme için yeni bir pozlama düzeltme yöntemi sunulmuştur. Başlangıçta sistemde kullanılacak donanımsal parçaların entegrasyonu yapılmıştır. Daha sonra her bant için minimum ve maksimum pozlama değerlerini gösteren bir başvuru çizelgesi (look-up table) oluşturulmuştur. Geliştirilen bir görüntü alımı arayüzü ile farklı hiperspektral bantlarda değişik pozlama sürelerine sahip imgeler elde edilmiştir. Devamında, pozlama durumunu temsil edebilecek çeşitli öz nitelikler belirlenmiş ve bir veri seti oluşturulmuştur. Yapay sinir ağları (YSA) modellerinden Çok Katmanlı Algılayıcı ağ modeli, Doğrusal Regresyon ve REPTree algoritmalarının pozlama durumunu belirlemedeki başarıları kıyaslanmıştır. Çalışmanın devamında pozlama durumunu %99.18 doğru tahmin eden REPTree algoritması temel alınarak gerçek zamanlı olarak, istenilen hiperspektral bantta en yüksek pozlama kalitesine sahip imgeyi belirlemeye çalışan uygulama geliştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pozlama Süresi, Pozlama Düzeltme, Görüntü İşleme, Yapay Sinir Ağları, REPTree Algoritması, Doğrusal Regresyon.

SUMMARY

Adaptive Exposure Time Prediction in Hyperspectral Bands for Industrial Cameras

In this study, a new method for exposure time correction for hyperspectral imaging is introduced. Initially, the hardware setup is established. Then, a look-up table which shows the minimum and maximum exposure times for each band is built. The images having different exposure times for different hyperspectral bands are acquired using developed image acquisition system. Afterwards, various features that can represent the exposure state are identified and a dataset is established. The success of Multilayer Perceptron model of Artificial Neural Networks (ANN), Linear Regression and REPTree algorithms in determining the quality of exposure are compared. After that, by using the REPTree algorithm that estimates the exposure quality with 99.18% accuracy, an application attempting to determine the image with the highest exposure quality at the desired hyperspectral band is developed and the results are analyzed.

Key Words: Exposure Time, Exposure Correction, Exposure Time Prediction, Image Processing, Artificial Neural Network, REPTree Algorithm, Linear Regression.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Az-Pozlama (a), normal pozlama (b) ve aşırı pozlama (c) ile elde edilen imgeler	2
Şekil 1.2. Çalışmada kullanılan endüstriyel kameranın otomatik modunda farklı hiperspektral bantlarda elde edilmiş imgeler	4
Şekil 1.3. Temel görüntü işlemenin yapısı [23]	13
Şekil 1.4. Sayısal görüntüde bir piksele ait $f(x, y)$ fonksiyonu	14
Şekil 1.5. Sayısal görüntüyü etkileyen faktörler	15
Şekil 1.6. İkili sayısal görüntü [25].	16
Şekil 1.7. Gri seviyeli sayısal görüntü [25].	17
Şekil 1.8. Renkli sayısal görüntü [25].	18
Şekil 1.9. Görünür spektrum dalga boyları [27].	18
Şekil 1.10. Orijinal imge (a), açıklık metodu (b), ortalama değer (c) ve	20
Şekil 1.11. Görüntü işleme teknikleri[29].	21
Şekil 1.12. 560 nm bandı için farklı pozlama sürelerinde alınmış imgeler ve histogramları	23
Şekil 1.13. Bir görüntüye histogram eşitleme uygulaması ve sonucu orjinal görüntü (a), orjinal görüntünün histogramı (b), histogram eşitleme uygulanmış görüntü (c) ve histogram eşitleme uygulanmış görüntünün histogramı (d)	25
Şekil 1.14. 440 nm bandı için 0,593 sn pozlama süresi ile elde edilen imge için parlaklık ayarı	26
Şekil 1.15. 590 nm bandı 0,009 sn pozlama süresi ile elde edilen imge için parlaklık ve kontrast ayarı	28
Şekil 1.16. Medyan filtresi işlem adımı	30
Şekil 1.17. 400 nm bandı ve 12 db kazanç değeri ile alınan imgeye medyan filtresi uygulanması	31
Şekil 1.18. 400 nm 12 db kazanç değeri ile alınan imgeye 3x3 ve 5x5 ortalama filtresi uygulanması ve sonuçları	32
Şekil 1.19. 520 nm bandı 0.251 sn pozlama süresi ile alınan imgeye gauss filtresi uygulanması	34
Şekil 2.1. Görüntü alımı sistemi (Kara kutu)	35

Şekil 2.2. Imaging Source endüstriyel kamera.....	36
Şekil 2.3. Varispec elektronik ayarlanabilir filtre	37
Şekil 3.1. Yapay sinir hücresinin yapısı	41
Şekil 3.2. Çok katmanlı algılayıcı genel yapısı	46
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan fıstık numunesi	53
Şekil 4.2. Geliştirilen HGS uygulamasının arayüzü.....	54
Şekil 4.3. Geliştirilen öz nitelik çıkarımı arayüzü.....	56
Şekil 4.4. ÇKA gözlem ve tahmin değerleri serpilme (scatter) grafiği.....	57
Şekil 4.5. Doğrusal Regresyon gözlem ve tahmin değerleri serpilme grafiği.....	57
Şekil 4.6. REPTree gözlem ve tahmin değerleri serpilme grafiği.....	58
Şekil 4.7. ÇKA gözlem ve tahmin eğrileri	59
Şekil 4.8. Doğrusal Regresyon gözlem ve tahmin eğrileri.....	60
Şekil 4.9. REPTree gözlem ve tahmin eğrileri	60
Şekil 4.10. Gerçek zamanlı pozlama düzeltme arayüzü.....	61
Şekil 4.11. 600 nm banttı için programın ürettiği imgeler	63
Şekil 4.12. 450 nm bandı için programın ürettiği imgeler	64
Şekil 4.13. 700 nm bandı için programın ürettiği imgeler	65
Şekil 4.14. 540 nm bandı için programın ürettiği imgeler	66
Şekil 4.15. 650 nm bandı için programın ürettiği imgeler	67

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ortam koşullarına bağlı olarak pozlama değerleri	8
Tablo 1.2. Pozlama değeri (PD), diyafram açıklığı ve pozlama süresi arasındaki ilişki	10
Tablo 1.3. ISO değeri ve pozlama değerleri	11
Tablo 2.1. Imaging Source endüstriyel kamera (DMK 23G618) teknik özellikleri	36
Tablo 4.1. Minimum ve maksimum pozlama süreleri	52
Tablo 4.2. Sınıflandırıcıların korelasyon katsayısı, ortalama mutlak hata ve model oluşum zamanı.....	59

SEMBOLLER LİSTESİ

$\bar{g}$	: Gözlem değerlerinin ortalaması
$\bar{t}$	: Tahmin değerlerinin ortalaması
$\bar{x}$	: Piksellerdeki gri renk ortalaması
μm	: Mikrometre
a	: Karşıtlık katsayısı
b	: Parlaklık değeri
c	: Sabit değer
db	: Logarithmic decibel
f	: Diyafram açıklığı
fps	: Frames per second
g_i	: i. pikselin gözlem değeri
I	: Bilgi içeriği
L	: İstenilen veya mümkün olan toplam renk seviye sayısı
lx	: Lux
M	: Satır sayısı
N	: Sütun sayısı
n_k	: k'ncı renk değerindeki toplam piksel sayısı
nm	: Nanometre
n_p	: Toplam piksel sayısı
p	: Bağımsız değişken sayısı
r	: Eski piksel değeri
r_k	: k'ncı renk değeri
s_k	: Renk seviye dönüşüm değeri
sn	: Saniye
t	: Pozlama süresi
t_i	: Tahmin değeri
uv	: Ultra viyole
v	: Özelliğin alabileceği sonlu sayıdaki olası değer
W_i	: Ağırlık değeri
X	: Bağımsız değişken

x	: Pikselin yatay koordinatı
x_i	: i. pikselin gri renk
Y	: Bağımlı değişken
y	: Pikselin dikey koordinatı
Z	: Derinlik
β	: Değişkenin bilinmeyen parametresi
ε	: Şansa bağlı hata terimi
λ	: Renk
σ	: Standart sapma
Px_i	: x_i gri değerinin olasılığı

KISALTMALAR LİSTESİ

YSA	: Yapay Sinir Ağları
REPTree	: Reduced-Error Pruning Tree
ANN	: Artificial Neural Network
ISO	: International Organization for Standardization
GPD	: Global Pozlama Düzeltme
GTE	: Global Ton Eşleme
PD	: Pozlama Değeri
R	: Kırmızı (Red)
G	: Yeşil (Green)
B	: Mavi (Blue)
ÇKA	: Çok Katmanlı Algılayıcı
WEKA	: Waikato Environment for Knowledge Analysis
EKK	: En Küçük Kareler
SNR	: Signal-to-Noise Ratio
HGS	: Hiperspektral Görüntüleme Sistemi
OCL	: Open Cezeri Library
VIS	: Visible Spectrum
OPS	: Ortalama Pozlama Süresi
CCD	: Charge Coupled Device
GigE	: Gigabit Ethernet

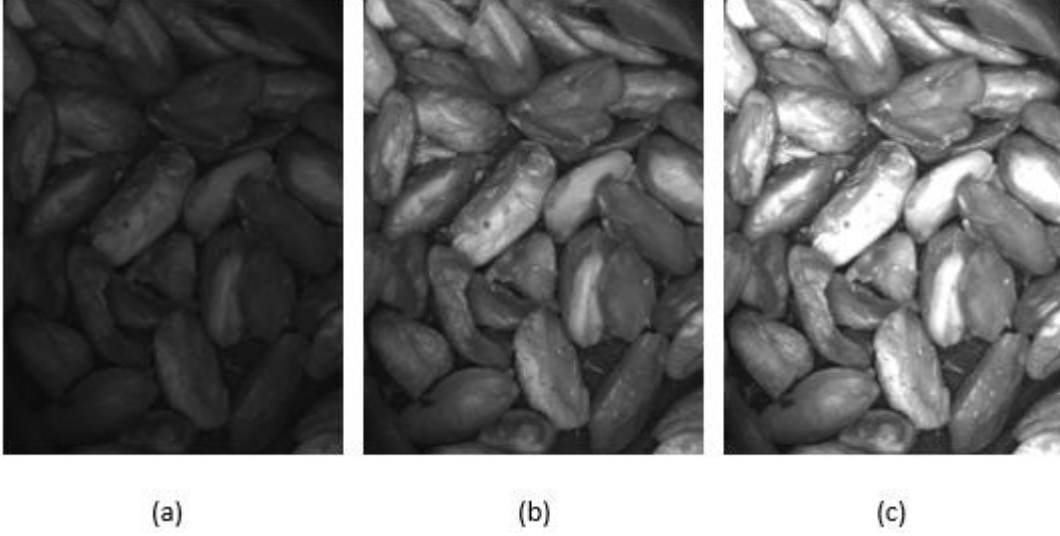
1. GİRİŞ

Günümüzde geliştirilen kameralarda, üstün özelliklerine rağmen, istenen kalitede pozlanmış görüntüler elde edilememektedir. Doğru pozlanmış bir görüntü birçok değişkene bağlıdır. Bunlar ISO değeri, diyafram açıklığı ve pozlama süresi gibi faktörlerdir. ISO değeri optik algılayıcının ışığa duyarlılığı olarak ifade edilebilir. ISO değerinin bir durak artması ışık geçirgenliğini iki katına çıkarır ancak imgede gürültülere neden olduğundan tercih edilmez. Bundan dolayı, mümkün olduğu sürece düşük ISO değerlerinde çalışmak gerekir.

Diyafram açıklığı, objeden yansıyan ışınların ne kadar yoğunlukta ve şiddette algılayıcıya geleceğini kontrol eder. Diyafram açıklığı f değerleri (f1.0, f1.2, f1.4, f1.8, f2, f4 vb.) ile ifade edilir. Her f değeri artışında makineye giren ışık miktarı bir öncekinin yarısına iner. Pozlama süresi, fotoğrafın çekildiği ortama (film ya da optik algılayıcı) ne kadar süre boyunca ışığın düşeceğini ifade eder. Pozlama süresi, kullanılan makineye bağlı olarak saniyenin 1/100000 gibi çok küçük bir bölümü olabileceği gibi 7-8 dakika hatta daha uzun bir zaman dilimini de kapsayabilir.

Pozlama süresinin doğru yapılıp yapılmadığına dair üç durum söz konusudur. Bunlar aşırı, düşük ve doğru ya da ideal pozlamalardır. Aşırı pozlama, algılayıcının olması gerekenden daha fazla ışık aldığını belirtir ve fotoğrafta özellikle de beyaz parlaklık değerlerinde detayların kaybolmasına neden olur. Düşük pozlama, ortama düşen ışık miktarının yeterli gelmediği durumu gösterir bu nedenle düşük piksel değerlerinde detaylar kaybolur. Doğru pozlama ise fotoğrafın çekildiği ortama düşen ışık miktarının istenilen seviyede olduğunu belirtir.

Şekil 1.1’de meydana gelebilecek farklı pozlama durumları gösterilmiştir. Şekil 1.1 (a)’da pozlama süresi düşük tutulmasından kaynaklı imgede düşük pozlama meydana gelmiş ve düşük gri seviye değerlerinde (0 ve komşu değerler) detaylar kaybolmuştur. Şekil 1.1 (b)’de ortamdaki ışık miktarı ve pozlama süresi doğru ayarlandığından normal pozlama meydana gelmiş, Şekil 1.1 (c)’de ise pozlama süresinin yüksek olmasından kaynaklı algılayıcılara olması gerekenden daha fazla ışık gitmiş ve yüksek gri seviye değerlerinde taşma oluşmuştur.



Şekil 1.1. Az-Pozlama (a), normal pozlama (b) ve aşırı pozlama (c) ile elde edilen imgeler

1.1. Literatür Özeti

Fotoğraflardaki pozlama durumunu düzeltmek için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak pozlama düzeltme çalışmaları, çevrim dışı (offline) ve gerçek zamanlı olmak üzere iki grupta incelenebilir. Çevrim dışı pozlama düzeltmede, ilk başta belirlenen bir pozlama süresinde imge alınmakta ve çeşitli yöntemlerle mevcut imgenin pozlanması düzeltilmeye çalışılmaktadır. Burada kameranın pozlama süresi, ISO ve diyafram açıklığı gibi değerlere tekrardan erişim söz konusu değildir.

Çevrim dışı pozlama düzeltme, manuel ve otomatik olmak üzere iki grupta kategorize edilmektedir. Pek çok imge düzeltme aracı (Adobe PhotoShop, Google Picasa, Windows Live Photo Gallery vb.) manuel olarak pozlama düzeltmeye imkân sağlamaktadır. Bu tür araçlar kullanılarak kullanıcıların manuel olarak piksel değerlerini ve imgenin histogram eğrisini değiştirmesine izin verilmektedir. Ayrıca kullanıcı istediği bir bölge üzerinde de işlem yapabilir. Ancak manuel pozlama düzeltme işlemi kullanıcı açısından hem sıkıcı hem de zaman alıcı bir işlemdir. İşlenecek imge miktarına bağlı olarak problem artmaktadır.

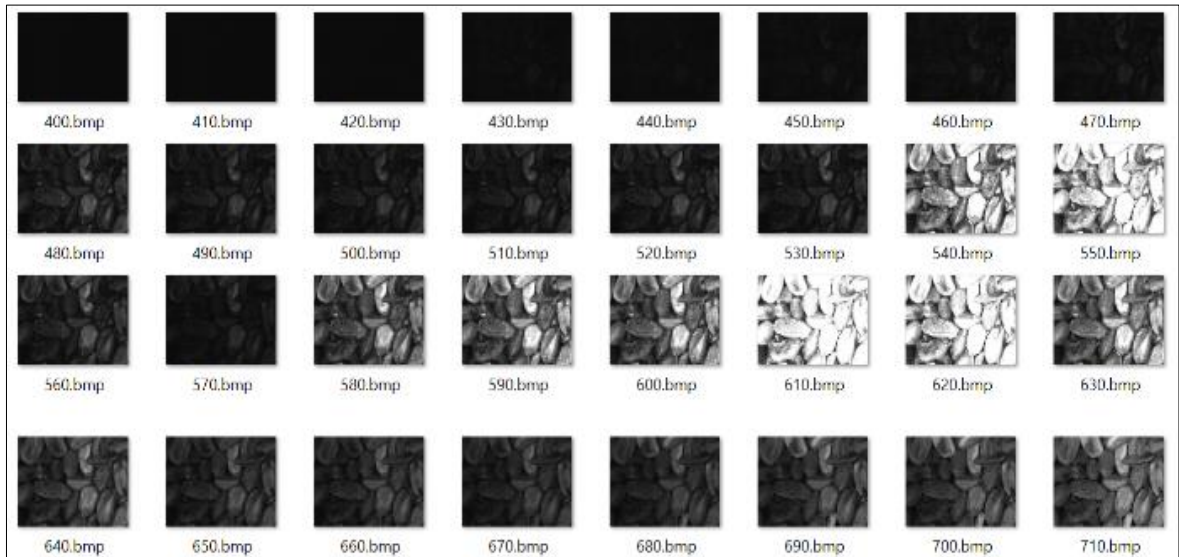
Diğer taraftan, otomatik pozlama düzeltmeyi, global ve lokal olmak üzere iki kısımda incelemek mümkündür [1]. Global Pozlama Düzeltme (GPD) metodlarında istenilen seviyede pozlanmış bir imge elde etmek için yapılan işlemler tüm imgeye uygulanmaktadır. GPD’de bir imgenin ton değerlerini arzu edilen değerlere eşlemek için doğrusal ya da doğrusal olmayan bir fonksiyon kullanılır. Söz konusu fonksiyon ya önceden tanımlanmış

ya da bir veri setinden elde edilmiş olabilir. Gamma düzeltme ve histogram eşitleme yöntemleri, GPD’de sıklıkla kullanılır [2,3]. GPD’de kullanılan diğer bir yaklaşım ise Global Ton Eşlemedir (GTE). GTE’de farklı imge ayrışma metotları (bilateral filter [4], trilateral filter [5], multi-scale Gaussians [6], ayırık kosinüs dönüşümü [7] vb.) veya parlaklık kanalları kullanılarak imgenin parlaklık tabakası çıkarılır. Daha sonra, uygun bir global eşleme tekniği kullanılarak imgenin kontrastı tercih edilen aralığa çekilir [4-10]. Lokal pozlama düzeltmede genellikle imge parçalara bölünmektedir. Battiato vd. [11] yaptıkları çalışmada imge N adet eşit parçaya bölünmüştür. Söz konusu çalışmada her bir parçanın kontrast, histogram sapma ve ortalama değerleri kullanılarak önemli hücreler belirlenmektedir. Kalan bölgelerin ortalama piksel değerleri 128’e getirilerek pozlama düzeltilmeye çalışılmaktadır. Guo vd. [12] yaptıkları çalışmada imgenin parlaklık ve renk değerlerine bakarak aşırı pozlama meydana gelen yerleri tespit etmişlerdir. Sonrasında, bir ton eşleme tekniği kullanarak normal pozlama değerlerine sahip bölgelerin dinamik alanını sıkıştırmışlardır. Böylece aşırı pozlama meydana gelen bölgelerin alanı genişlediğinden pozlama belli oranda düzeltilmektedir.

Gerçek zamanlı pozlama düzeltme çalışmaları da manuel ve otomatik olarak iki kısımda incelenebilir. Manuel pozlama düzeltmede kullanıcı referans olması açısından ilk görüntüyü alıp histogramını inceler. İnceleme sonucunda histogram grafiğinde tespit ettiği anomali üzerine diyafram açıklığı ve pozlama süresi parametrelerini optimize ederek ideal pozlama görüntüsünü bulmaya çalışır [13]. Otomatik pozlama düzeltmede ise genellikle geleneksel fotoğraf makinelerinde ISO değerleri, endüstriyel kameralarda ise kazanç (gain) parametresi öncelikli olarak ayarlanır, pozlama süresi değeri üzerinde çok fazla değişikliğe gidilmez. Problemin tanımlanması bölümünde verilen Şekil 1.2’den de anlaşılacağı gibi, hiperspektral görüntülemelerde bu teknik problem oluşturmaktadır. Bu yöntemle alınan hiperspektral görüntülerin düşük kalitede oluşu, geliştirilen analiz modellerinin performansını kötü yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, söz konusu problem, önerilen makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım ile giderilmeye çalışılmıştır.

1.2. Problemin Tanımlanması

Hiperspektral görüntülemeye, zaman zaman istenilmeyen durumlarla (aşırı pozlama, düşük pozlama) karşılaşmaktadır. Şekil 1.2’de 400-710 nm arası 10’ar nm genişliğinde alınmış hiperspektral imgeler görülmektedir. İmgeler elde edilirken endüstriyel kameranın tüm parametreleri otomatik moda ayarlanmıştır. Şekil 1.2, dikkatle incelendiğinde 400-530, 560, 570 ile 640-710 bantlarında çekilen imgelerde düşük pozlama meydana gelmiştir. Aynı şekilde 540, 550, 610 ve 620 bantlarında elde edilen imgelere bakıldığında aşırı pozlamadan dolayı parlak bölgeler oluşmuştur. Siyah ve beyaz parlaklık seviyelerindeki taşmalar (düşük ve aşırı pozlama) alınan görüntülerde bilgi eksikliğine neden olmuşlardır. Hiperspektral görüntülemeye bilginin en iyi düzeyde korunması gerekmektedir [14]. Şekil 1.2, endüstriyel kameralarda kullanılan standartların hiperspektral bantlarda çekilen görüntülerin pozlama kalitesinde zayıf kaldığını göstermektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmalarda genellikle pozlama sürelerinin bölgesel veya bant bağlamında manuel olarak ayarlandığını görmekteyiz [14]. Bilgi kaybını en aza indirebilmek için pozlama sürelerini otomatik hesaplayacak bir yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmamızda, uygun pozlama süresi kestirimini yapabilecek makine öğrenmesi tabanında çalışan bir yazılım geliştirilmiştir.



Şekil 1.2. Çalışmada kullanılan endüstriyel kameranın otomatik modunda farklı hiperspektral bantlarda elde edilmiş imgeler

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, hiperspektral görüntülerde görüntü işleme tabanlı gerçek zamanlı olarak pozlama düzelten bir uygulama geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde pozlama düzeltme işlemlerinde uygulanan yöntemler kayıplı işlemlerdir. Görüntülerde bilgi kaybına sebep olmaktadır. Ancak hiperspektral görüntülemeye bilginin en iyi düzeyde korunması gerekmektedir. Bu çerçevede tezin genel amaçları aşağıdaki şekilde verilebilir.

- Başlangıçta, Java programlama dili ve Netbeans 8.0.2 IDE'si kullanılarak hem endüstriyel kameraya hem de varispec elektronik filtreye erişim sağlayacak bir yazılım geliştirilmek ve bu yazılım ile 400-720 nm arasında 10 nm aralıklarla ve her bant aralığı için 30 farklı pozlama süresine sahip imgeler elde etmek,
- Daha sonra, geliştirilen yazılımla problemi temsil edecek çeşitli öznetelikler çıkarmak ve iki alan uzmanı tarafından imgelerin pozlama durumu belirlenerek bir veri seti oluşturmak,
- Devamında, çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak pozlama durumunu en iyi belirleyen algoritmayı belirlemek,
- Son aşamada ise en yüksek başarımlı orana sahip makine algoritması temel alınarak gerçek zamanlı olarak pozlama düzelten bir algoritma geliştirmektir. Bu kapsamda geliştirilecek uygulama ile bilgi kaybı olmadan imgelerin pozlaması düzeltilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanmakta olanların dışında yayınlanan veya değerlendirme aşamasında olan yayın çalışmaları aşağıda verilmiştir.

1.4. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması *giriş bölümü* ile birlikte dört bölümden oluşmaktadır. Bu bölümde tez çalışması kapsamında literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Daha sonra bu yöntemlerin zayıf yönleri belirtilerek, yapacağımız çalışmanın önemi vurgulanmıştır. Burada ayrıca görüntü işleme tabanlı pozlama düzeltme ile ilgili olarak uygulanan yöntemler çalışmamızda kullanılan hiperspektral görüntülere uygulanmış ve zayıf yönleri belirtilmiştir.

İkinci bölümde, geliştirilen sistemin donanımsal yapısı incelenmiştir. Burada çalışmada kullanılan kara kutu, endüstriyel kamera, varispec elektronik filtre ve ışık kaynakları

belirtilmiştir. Bu bölümde kullanılan malzemelerin seçilme sebepleri açık olarak anlatılmış ve entegrasyon işlemleri yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, sistemin yazılımsal yapısı incelenmiştir. Burada problemi temsil edecek öznitelikler ve makine öğrenmesi algoritmaları belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde ise gerçekleştirilen uygulama ve sonuçları verilmiştir. Burada uygulama çerçevesinde geliştirilen arayüzler açıklanmıştır. Verilerin elde edilmesi, verilerden öz nitelikler çıkarılması, makine öğrenmesi algoritmaların pozlama durumunu belirlemedeki başarıları ve gerçek zamanlı olarak pozlama düzelten kısımlardan oluşmaktadır. Bölüm sonunda ise çeşitli bantlar için otomatik ve gerçek zamanlı olarak elde edilen imgeler verilmiş ve gelecekte yapılması hedeflenen çalışmalar belirtilmiştir.

1.5. Otomatik Pozlamanın Önemi ve Kullanım Alanları

Fotoğraf makinalarında uygun pozlanmış imge elde etmek için farklı yollar vardır. Bunlar tahmin, poz cetvellerinin kullanımı ve pozometreleri kullanmaktır. Tahmin, kullanıcı geçmiş deneyimlerine dayanarak ortam koşullarına bağlı olarak diyafram açıklığını, ISO değerini, pozlama süresini belirler ve uygular. Poz cetvelleri, önceden belirlenmiş ve film üretici firmalarının sattıkları ürünler ile birlikte verdikleri, doğru pozlamayı bulmayı sağlayan çizelgelerdir. Pozometreler ise ideal pozlamayı sağlamak için, fotoğraflanan manzaranın veya nesnenin üzerine düşen ya da yansıyan ışığı ölçmede kullanılan aletlerdir. Çeşitli (tümüyle otomatik poz kontrol sistemi olanlar, ibreli olanlar, düşen ışığı ölçenler, yansıyan ışığı ölçenler vb.) türleri mevcuttur.

Doğru pozlanmış bir imge elde edebilmek için ortam koşullarına en uygun pozlama süresi, diyafram açıklığı ve ISO değerleri belirlenmelidir. Fotoğraf makinalarında bu işlem genellikle pozlama değeri belirlenerek yapılmaktadır. Pozlama değeri, pozlama süresi ve diyafram açıklığı arasındaki ilişki denklem 1.1 de verilmiştir.

$$\text{Pozlama Değeri} = \log_2 \frac{N^2}{t} \quad (1.1)$$

Denklem 1.1’de N diyafram açıklığını t ise pozlama süresini göstermektedir. Çeşitli ortam durumlarına göre pozlama değerleri belirlenmiştir. Burada kullanıcı ilk önce ortam koşullarına bağlı olarak bir pozlama değeri belirlemektedir. Daha sonra belirlenen pozlama

değerine bağlı olarak pozlama süresi ve diyafram açıklığı ayarlanmaktadır. Tablo 1.1’de çeşitli ortam koşullarına göre pozlama değerleri gösterilmiştir. Tablo 1.1 incelendiğinde kullanıcının uygun pozlama değerini belirleyebilmesi için bir çok değişkeni (ışık kaynağı, açık veya kapalı ortam, arka plan vb.) yorumlaması gerektiği anlaşılmaktadır.

Tablo 1.1. Ortam koşullarına bağlı olarak pozlama değerleri

Ortam	Pozlama Değeri
Gün Işığı	
Kar manzaralı, gün ışığında tam ya da biraz sisli ortam	16
Normal bir sahnede, gün ışığında tam ya da biraz sisli ortam	15
Normal sahne, gün ışığında sisli ortam	14
Normal sahne, bulutlu parlak ortam	13
Normal sahne, yoğun bulutlu	12
Açık gün ışığı	12
Açık Alan, Doğal ışık	
Gökkuşağı	
Arka plan açık gökyüzü	15
Arka plan bulutlu gökyüzü	14
Günbatımı	
Gün batımından önce	12-14
Gün batımında	12
Gün batımından hemen sonra	9-11
Ay ışığı, rakım > 40 °	
Tam	15
Tümsek	14
Çeyrek	13
Hilal	12
Ay ışığı, rakım < 40 °	
Tam	-3 ile -2
Tümsek	-4
Çeyrek	-6
Açık Alan, Yapay Işık	
Neon ve diğer parlak işaretler	9-10
Gece sporları	9
Yangınlar ve yanan binalar	9
Parlak sokak sahneleri	8
Gece sokak lambaları ve pencere görüntüleri	7-8
Gece araç trafiği	5
Fuarlar ve eğlence parkları	7
Noel ağacının ışıkları	4-5
Kapalı ortam, Yapay Işık	
Spor etkinlikleri, sahne gösterileri vb.	8-9
Işıklandırılmış Sirkler	8
Işıklandırılmış buz gösterileri	9
Ofisler ve çalışma alanları	7-8
Evin içi	5-7
Noel ağacının ışıkları	4-5

Tablo 1.2 de ISO 25 temel alınarak, belirlenen pozlama değerine bağlı diyafram açıklığı ve pozlama süresinin alması gereken değerler gösterilmiştir. Tablo 1.2 incelendiğinde her f değeri artışına bağlı olarak pozlama süresi artmaktadır. Burada her f değeri artışında makineye giren ışık miktarı azaldığından, pozlama süresi arttırılarak bu açık kapatılmaya çalışılmaktadır. Pozlama değeri (PD) ile pozlama süresi arasında ise ters ilişki söz konusudur. PD’ deki bir birim artışa bağlı olarak pozlama süresi yarıya düşmektedir.

Tablo 1.2’deki pozlama süresi değerleri incelendiğinde değerler 1/1000000 sn ile 8 dk arasında değişkenlik göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir durum kullanılan kameranın bu değerleri desteklemesi gerekmektedir. Eğer kullanılan kamera çok küçük veya çok büyük pozlama sürelerini desteklemiyorsa, diyafram açıklığı ve ISO değerleri belirlenirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 1.2. Pozlama değeri, diyafram açıklığı ve pozlama süresi arasındaki ilişki

PD	Diyafram açıklığı								Pozlama Süresi
ISO 25	f/1.4	f/2.0	f/2.8	f/4	f/5.6	f/8	f/11	f/16	
1	4 sn	8 sn	15 sn	30 sn	1 dk	2 dk	4 dk	8 dk	
2	2 sn	4 sn	8 sn	15 sn	30 sn	1 dk	2 dk	4 dk	
3	1 sn	2 sn	4 sn	8 sn	15 sn	30 sn	1 dk	2 dk	
4	1/2 sn	1 sn	2 sn	4 sn	8 sn	15 sn	30 sn	1 dk	
5	1/4 sn	1/2 sn	1 sn	2 sn	4 sn	8 sn	15 sn	30 sn	
6	1/8 sn	1/4 sn	1/2 sn	1 sn	2 sn	4 sn	8 sn	15 sn	
7	1/15 sn	1/8 sn	1/4 sn	1/2 sn	1 sn	2 sn	4 sn	8 sn	
8	1/30 sn	1/15 sn	1/8 sn	1/4 sn	1/2 sn	1 sn	2 sn	4 sn	
9	1/60 sn	1/30 sn	1/15 sn	1/8 sn	1/4 sn	1/2 sn	1 sn	2 sn	
10	1/125 sn	1/60 sn	1/30 sn	1/15 sn	1/8 sn	1/4 sn	1/2 sn	1 sn	
11	1/250 sn	1/125 sn	1/60 sn	1/30 sn	1/15 sn	1/8 sn	1/4 sn	1/2 sn	
12	1/500 sn	1/250 sn	1/125 sn	1/60 sn	1/30 sn	1/15 sn	1/8 sn	1/4 sn	
13	1/1000 sn	1/500 sn	1/250 sn	1/125 sn	1/60 sn	1/30 sn	1/15 sn	1/8 sn	
14	1/2000 sn	1/1000 sn	1/500 sn	1/250 sn	1/125 sn	1/60 sn	1/30 sn	1/15 sn	
15	1/4000 sn	1/2000 sn	1/1000 sn	1/500 sn	1/250 sn	1/125 sn	1/60 sn	1/30 sn	
16	1/8000 sn	1/4000 sn	1/2000 sn	1/1000 sn	1/500 sn	1/250 sn	1/125 sn	1/60 sn	
17	1/15000 sn	1/8000 sn	1/4000 sn	1/2000 sn	1/1000 sn	1/500 sn	1/250 sn	1/125 sn	
18	1/30000 sn	1/15000 sn	1/8000 sn	1/4000 sn	1/2000 sn	1/1000 sn	1/500 sn	1/250 sn	
19	1/60000 sn	1/30000 sn	1/15000 sn	1/8000 sn	1/4000 sn	1/2000 sn	1/1000 sn	1/500 sn	
20	1/125000 sn	1/60000 sn	1/30000 sn	1/15000 sn	1/8000 sn	1/4000 sn	1/2000 sn	1/1000 sn	
21	1/250000 sn	1/125000 sn	1/60000 sn	1/30000 sn	1/15000 sn	1/8000 sn	1/4000 sn	1/2000 sn	
22	1/500000 sn	1/250000 sn	1/125000 sn	1/60000 sn	1/30000 sn	1/15000 sn	1/8000 sn	1/4000 sn	
23	1/1000000 sn	1/500000 sn	1/250000 sn	1/125000 sn	1/60000 sn	1/30000 sn	1/15000 sn	1/8000 sn	

Tablo 1.3’de ISO 25 referans alınarak diğer ISO değerleri için pozlama değerleri verilmiştir. Düşük ISO değerlerinde ışığa duyarlılık azalmaktadır. Yüksek ISO değerlerinde ise ışığa olan duyarlılık artacağından dolayı karanlık alanlarda bile flaş kullanmadan çekim yapmamıza olanak sağlar. Ancak yüksek ISO değerlerinde sensöre verilen voltaj artacağından imgelerde gürültüler oluşmaktadır. Bu sebepten ötürü mümkün olduğu sürece

düşük ISO değerlerinde çalışmak gerekmektedir. Tablo 1.3 incelendiğinde ISO değerindeki artışa bağlı olarak pozlama değerlerinde düşüş meydana gelmektedir.

Tablo 1.3. ISO değeri ve pozlama değerleri

	ISO Değeri							
	ISO 25	ISO 50	ISO 100	ISO 200	ISO 400	ISO 800	ISO 1600	ISO 3200
Pozlama Değeri	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
	4	3	2	1	0	-1	-2	-3
	5	4	3	2	1	0	-1	-2
	6	5	4	3	2	1	0	-1
	7	6	5	4	3	2	1	0
	8	7	6	5	4	3	2	1
	9	8	7	6	5	4	3	2
	10	9	8	7	6	5	4	3
	11	10	9	8	7	6	5	4
	12	11	10	9	8	7	6	5
	13	12	11	10	9	8	7	6
	14	13	12	11	10	9	8	7
	15	14	13	12	11	10	9	8
	16	15	14	13	12	11	10	9
	17	16	15	14	13	12	11	10
	18	17	16	15	14	13	12	11
	19	18	17	16	15	14	13	12
	20	19	18	17	16	15	14	13
	21	20	19	18	17	16	15	14
	22	21	20	19	18	17	16	15
	23	22	21	20	19	18	17	16

Kullanıcının mevcut durumu yorumlayıp, uygun pozlama değerini belirledikten sonra parametreleri değiştirmesi işlemi zor, zaman alıcı ve sıkıcıdır. Bu nedenle kullanıcılar genellikle deneyimlerine dayanarak ya da deneme yanılma yoluyla çözüm bulmaya

çalışmaktadır. Doğru pozlanmış imge elde etmenin bir diğer yolu kameranın otomatik modunu kullanmaktır.

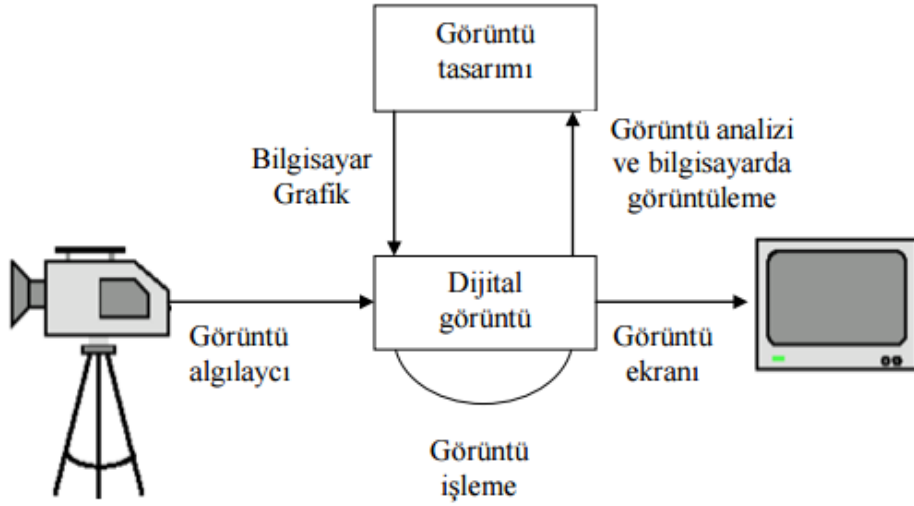
Kameranin içindeki pozometreler ile ortam ışığı belirlenmekte ve pozlama süresi veya ISO değeri değiştirilerek imge alınmaktadır. Ancak gerek manuel olarak gerekse de otomatik olarak alınan imgeler incelendiğinde hala istenen kalitede pozlanmadığı görülmektedir. Bu nedenle imge alındıktan sonra üzerinde çeşitli işlemler uygulanarak pozlanması düzeltilmeye çalışılmaktadır. Retinex [15-17] yöntemleri ile büyük ve istenmeyen kontrast sıkıştırılarak ve küçük kontrast da muhafaza edilerek veya artırarak pozlama düzeltilmektedir. Eğim-tabanlı yöntemler [18] imgenin eğimi için bir kazanç haritası hesaplar. Daha sonra göreceli olarak küçük olanlara göre daha fazla eğime sahip olanların eğimi azaltılarak pozlanma düzeltilmektedir. Duan vd. [19] yüksek dinamik aralığa sahip imgeyi haritalamak için bir lokal histogram ayarlama metodu kullanmaktadır. Daha sonra adaptif olarak değerler düşük ortalama parlaklık değerlerine getirilmektedir. Pozlama füzyon tekniklerinde ise [9,20-22] farklı pozlama değerleri ile alınan imgelerde her bir piksel için parlaklık, kontrast ve doygunluğa bakılarak birleştirilmektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde imge üzerinde yapılan işlemler bilgi kaybına neden olmaktadır. Bazı piksellerin değeri artarken bazılarının ise azalmakta veya değişmemektedir. Hiperspektral görüntülemelerde bilginin en iyi düzeyde korunması gerekmektedir. Ayrıca pozlama düzeltmek için kameralarda belirlenen standartlar, çizelgeler hiperspektral görüntülemelerde zayıf kalmaktadır. Bu nedenle hiperspektral görüntüleme ile uğraşanlar pozlama süresini manuel olarak ayarlamaktadır. Ancak bu işlem kullanıcı açısından zaman alıcıdır ve hatalara yol açmaktadır. İşlenecek imge sayısına paralel olarak zorluk derecesi artmaktadır. Buradan yola çıkarak bilgi kaybını en aza indireyecek ve hiperspektral görüntülemelerde otomatik pozlama düzeltecek bir yönteme ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada mevcut imge üzerinde değişikliğe gidilmemektedir. Başlangıçta belirlenen bir pozlama süresine sahip imge alınmakta ve geliştirilen makine öğrenmesi tabanlı teknik ile mevcut imgenin pozlama durumu belirlenmektedir. Daha sonra pozlama durumunu bağlı olarak pozlama süresi artırılıp veya azaltılarak ideal pozlama değerine sahip imge belirlenmeye çalışılmaktadır.

1.6. Görüntü İşleme

Görüntü işleme; dijital olarak alınan görüntülerin elektronik ortamda amaca uygun şekilde işlenerek özelliklerinin ve yapılarının değiştirilmesini, geliştirilmesini ve bu görüntüler vasıtasıyla analizler yapılmasını sağlayan teknolojilerdir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntünün rengi, boyutu, parlaklığı, yapısı gibi özellikleri değiştirilebilir ve analiz edilebilir. Bu işlemler gerek donanımsal gerekse de yazılımsal problemlerden kaynaklı olarak görüntüde meydana gelen bozuklukların giderilmesi için kullanılacağı gibi nesnelerin tespiti ve takibi gibi pek çok alanda kullanılabilir.

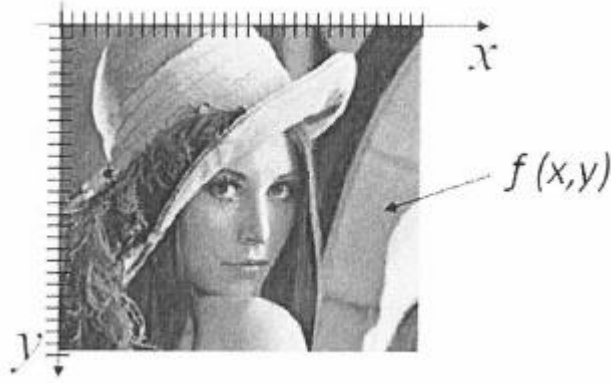


Şekil 1.3. Temel görüntü işlemenin yapısı [23]

Şekil 1.3’de bir kamera ya da fotoğraf makinası ile görüntü alınmaktadır. Dijital görüntü biriminde imge sayısallaştırılmaktadır. Daha sonra üzerinde değişiklikler yapılarak görüntü ekranda gösterilmektedir. Burada ekranda gösterilen görüntü bir imge olabileceği gibi imgeden elde edilen öznitelikler de olabilir.

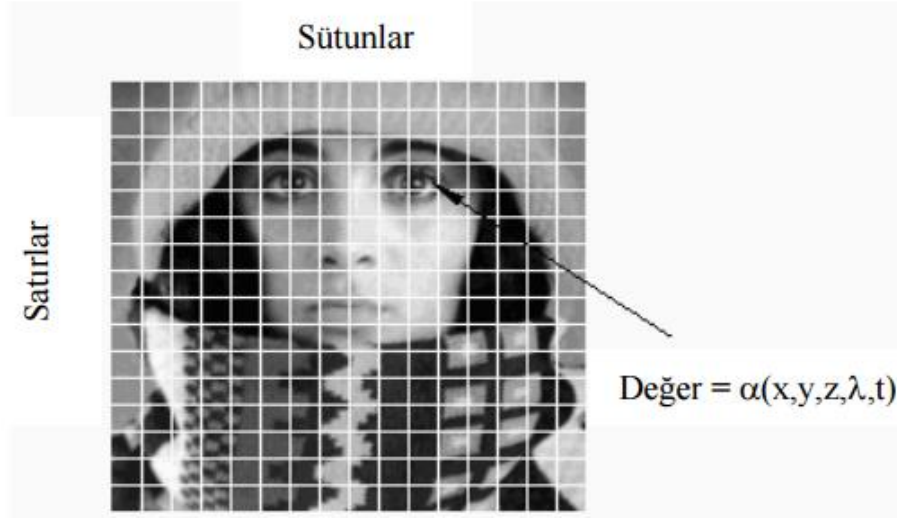
1.6.1. Sayısal Görüntü ve Özellikleri

Bir görüntü, iki değişkeninin bir fonksiyonu $f(x, y)$ olarak tanımlanmaktadır. F görüntüye ait bir özellik (yoğunluk, parlaklık veya görüntünün gri düzeydeki sayısal değeri) fonksiyonudur. Burada x ve y ise uzaysal olarak koordinatları göstermektedir [23].



Şekil 1.4. Sayısal görüntüde bir piksele ait $f(x, y)$ fonksiyonu

Şekil 1.4’de sayısal bir görüntünün temel yapısı gösterilmiştir. Burada satır ve sütun indisleri görüntüde bir noktayı göstermektedir. Görüntü bir ya da birden fazla matrisin bir araya getirilmesi ile oluşmaktadır. Matrisin her bir elemanın içerdiği sayısal değer veya değerler ilgili pikselin rengi hakkında bilgi içermektedir. Bir görüntünün sayısal olarak adlandırılabilmesi için ya sayısal görüntü kaydı yapan bir aletle alınmalı ya da sayısal bir ortama aktarılmış olması gerekmektedir.



Şekil 1.5. Sayısal görüntüyü etkileyen faktörler

İki boyutlu sayısal bir görüntü M ve N sayılarında satır ve sütundan oluşmaktadır. Şekil 1.5’de sayısal bir görüntüyü etkileyen faktörler verilmiştir. Satır ve sütunların kesiştiği her bölgeye piksel denilmektedir. Bir pikseldeki değer derinlik (z) , renk (λ) ve zamanın (t) bir fonksiyonudur.

1.6.2. Görüntü Tipleri

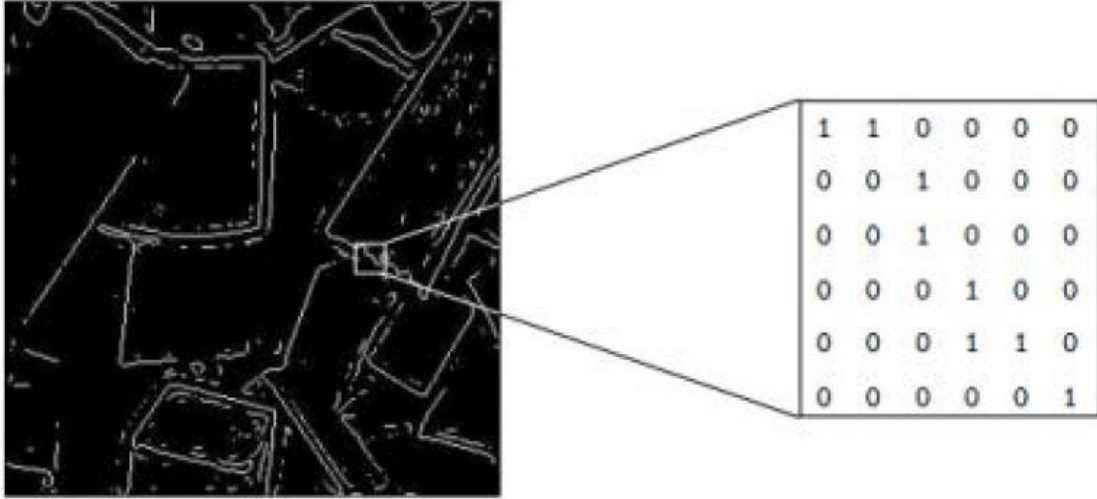
Görüntü tipleri ikili görüntü, gri seviyeli sayısal görüntü ve renkli sayısal görüntü olmak üzere üç tiptir.

İkili Görüntü

İmgedeki her bir piksel için sadece iki mümkün değere sahip olan sayısallaştırılmış görüntülere ikili görüntü denilmektedir. Tipik olarak ikili görüntü için siyah ve beyaz olmak üzere iki renk kullanılmaktadır. Sembolik olarak beyaz pikseller 1, siyah pikseller 0 değeri ile gösterilir [24].

Bir imge gri seviyeden [0-255] ikili görüntüye [0,1] dönüştürülürken eşikleme adı verilen bir metot kullanılır. Eşik değeri genellikle gri seviyeli imgelerde ortalama piksel değeri (128) kullanılır. Burada 128’den küçük olan piksel değerleri 0’a ve 128’den büyük olan piksel

değerleri 1' e çekilerek ikili görüntü meydana gelir. Ancak görüntü işleme yapan kişi probleme göre eşik değerini değiştirebilir.



Şekil 1.6. İkili sayısal görüntü [25].

Şekil 1.6'da imgedeki bir bölümün piksel değerleri matris şeklinde verilmiştir. Değerler incelendiğinde sadece 0 ve 1 değerlerini içerdiği gözlenmektedir.

Gri seviyeli sayısal görüntü

Fotoğrafçılık ya da bilgisayar alanında gri seviyeli sayısal görüntü her bir pikselin sadece yoğunluk bilgisini içeren tek bir değer alması olarak ifade edilmektedir. Siyah-beyaz olarak da adlandırılan bu imgeler en zayıf yoğunluk değeri olan siyahtan en güçlü yoğunluk değeri olan beyaza doğru gri değerler içerir [26].

Bir gri seviyeli imgede 256 tane farklı gri ton değeri vardır. 0 gri değeri teorik olarak siyaha, 255 gri değeri ise beyaza karşılık gelmektedir. Bu iki değer arasında da gri değerler oluşmaktadır.

Şekil 1.7'de gri seviyeli sayısal örnek verilmiştir. İmgedeki herhangi bir pikselin gri seviye değeri 0-255 aralığındadır. Şekil 1.7'de verilen matris incelendiğinde, değerlerin 0-255 aralığında değişkenlik gösterdiği açıktır.

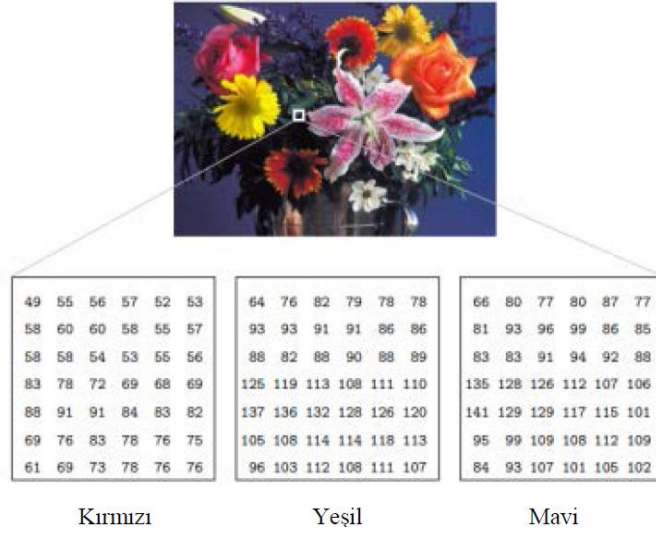


Şekil 1.7. Gri seviyeli sayısal görüntü [25].

Renkli sayısal görüntü

Renkli sayısal görüntüler birinci renkler olarak tanımlanan kırmızı, yeşil ve mavinin bir araya getirilmesi ile elde edilmektedir. Bir renkli görüntü değerleri 0-255 arasında değişkenlik gösteren 3 matrise (kırmızı, yeşil, mavi (RGB)) sahiptir. Görüntü koordinat düzleminde (0, 0, 0) değeri siyah ve (255, 255, 255) değeri ise beyaza karşılık gelmektedir.

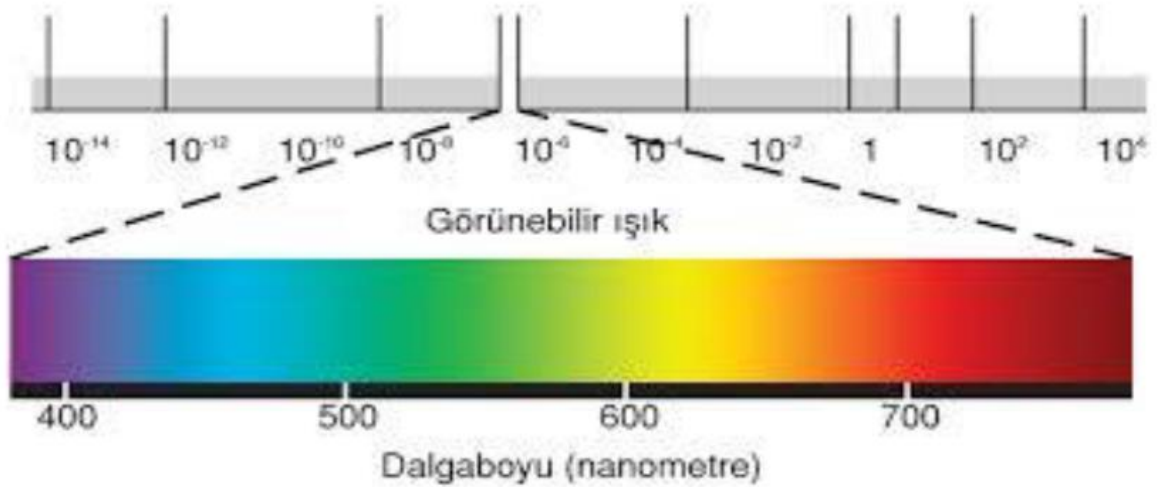
Renk uzayında her kanal 8 bitlik bir yer kaplamaktadır ($2^8=256$). Bilgisayarda RGB formatındaki renkli bir görüntü toplamda 3 kanal içerdiğinden $8+8+8=24$ bitlik bir alanı kapsar. 0 ile 255 arasında değerler içeren üç matrisin bilgisayar ortamında üst üste çakıştırılmasıyla renkli görüntü oluşur.



Şekil 1.8. Renkli sayısal görüntü [25].

Şekil 1.8’de renkli bir imge örneği verilmiştir. İmgede her bir piksel 0 ile 255 arasında değişen üç farklı değer içermektedir.

Renk türüne baskın dalga boyu karar vermektedir. Şekil 1.9’da görüldüğü gibi görünür elektromanyetik spektrum 400-700 nm arasındadır. Elektromanyetik spektrumda 400-500 nm dalga boyu mavi renge; 500-600 nm dalga boyu yeşil renge; 600-700 nm dalga boyu kırmızı renge karşılık gelmektedir.



Şekil 1.9. Görünür spektrum dalga boyları [27].

İnsan gözü binlerce farklı renk tonunu birbirinden ayırabilme yeteneğine sahiptir. Ancak gri ton da bu değer 100'e düşmektedir. Bu sebeple, imgedeki ekstra bilgi renk içinde saklıdır ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak renge bağlı olarak nesne tanıma ve çıkarımı yapılabilir.

1.6.3. Renkli Görüntüyü Griye Çevirme

Bir renkli görüntüyü gri seviyeye dönüştürmek için yaygın olarak kullanılan 3 yöntem vardır. Buradaki amaç RGB değerlerinin hepsini bir değere eşitlemektir.

Birinci yöntem, açıklık metodu kullanılarak en önemli ve en belirgin renklerin ortalaması alınarak belirlenmektedir($(\max(R, G, B) + \min(R, G, B))/2$). Örnek verecek olursak piksel değeri RGB (198, 153, 78) olan bir pikselin değeri $\max(198, 153, 78)=198$ ve $\min(198, 153, 78)=78$ olduğundan $(198+78)/2=138$ olacaktır. Burada elde edilen sonuç tam sayı değilse en yakın tam sayıya yuvarlanmaktadır.

İkinci yöntem, RGB değerlerinin aritmetik ortalamasını almaktır $((R+B+G)/3)$. Bu yönteme örnek verecek olursak piksel değeri RGB (205, 98, 112) olan pikselin yeni değeri $(205+98+112)/3=138,3$ bulunur. Ancak piksel değerleri tam sayı olduğundan bu değeri tam sayıya yuvarlamak gerekecektir. Buradan piksel değeri 138 olması gereklidir.

Üçüncü yöntem ise ortalama yönteminin gelişmiş bir versiyonu olan parlaklık yöntemidir. Burada ortalama değer bulunurken insan algısını da hesaba katmak için ağırlıklı ortalama alınır. İnsan gözü diğer renklere nazaran yeşil rengine karşı duyarlıdır. Bu nedenle yeşil değerinin ağırlığı daha fazladır $(0.21 R + 0.72 G + 0.07 B)$. Bu yönteme de örnek verecek olursak piksel değeri RGB (67, 196, 98) olan pikselin yeni değeri $(0,21*67+0,72*196+0,07*98)=162,05$ bulunur. Bu değer tam sayıya yuvarlanırsa pikselin yeni değeri 162 olacaktır.

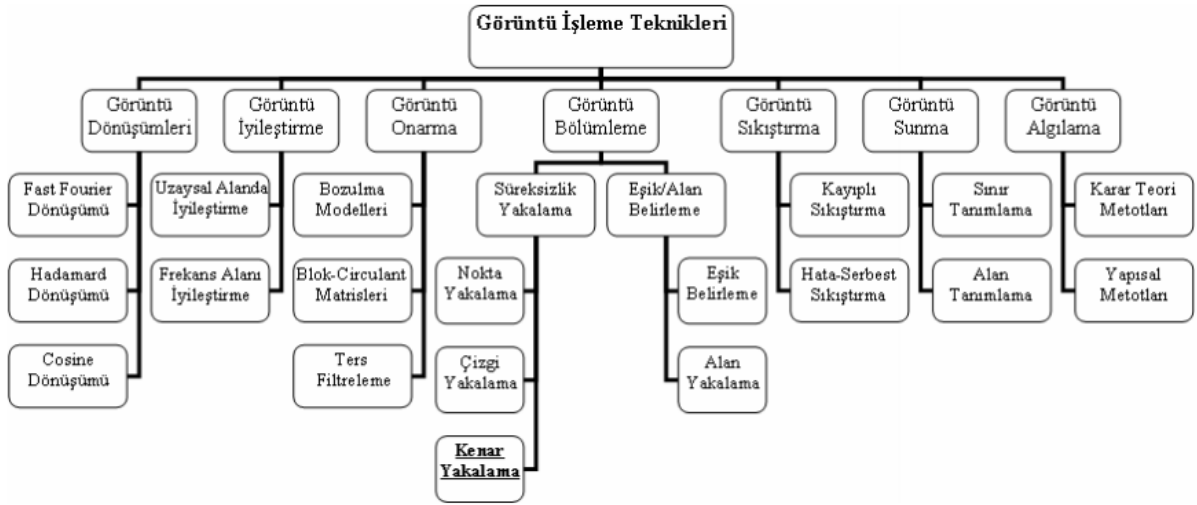


Şekil 1.10. Orijinal imge (a), açıklık metodu (b), ortalama değer (c) ve parlaklık metodu (d) ile elde edilen gri imgeler [28].

Şekil 1.10’ da orijinal imge (a) ile açıklık metodu (b), ortalama değer (c) ve parlaklık metodu (d) kullanılarak elde edilen imgeler gösterilmiştir. Açıklık metodu imgede kontrastı azaltma eğilimindedir. Genel olarak parlaklık metodu daha güzel sonuçlar vermektedir. Ancak bazı durumlarda üç metot da benzer sonuçlar verebilir.

1.6.4. Görüntü İşleme Teknikleri

Görüntü işleme teknikleri birçok matematiksel metot, model ve fonksiyondan oluşmaktadır. Yapılan çalışmaya bağlı olarak sayısal görüntü üzerinde, renk değişimi gerçekleştirmek, döndürmek, keskinleştirmek, kalitesini arttırmak ya da azaltmak, nesne ya da nesneleri belirlemek, boyutunu arttırmak ya da azaltmak, öznitelikler çıkarmak, nesnenin kenar ya da sınırlarını belirlemek şeklinde özetlenebilir. Şekil 1.11’de görüntü işleme teknikleri ağaç şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Görüntü işleme teknikleri [29].

1.7. Görüntü İşleme Teknikleri ile Pozlama Düzeltmesine Genel Bakış

Pozlama düzeltme işlemi genellikle görüntünün histogramı üzerinde değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmektedir. Görüntünün histogramı, bir görüntüde renk değerlerinin sayısını gösteren grafik olarak adlandırılmaktadır. Gri seviyeli görüntülerde renk değerleri 0-255 arasında değişiklik göstermektedir. Gri seviyeli görüntünün histogramı 0-255 aralığında bulunan her bir değerden kaç adet olduğunu belirtir. Burada apsis eksenini gri seviyesini, ordinat eksenini ise kaç adet olduğunu göstermektedir.

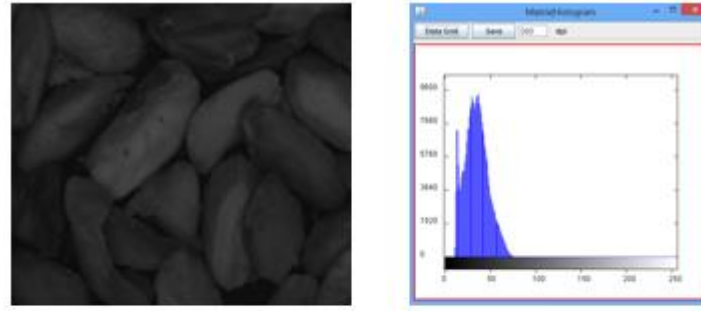
Bir görüntünün histogramı bize görüntü hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bu grafiğe bakılarak görüntünün parlaklık durumu ya da tonları hakkında bilgi sahibi olunabilir[30-32]. Eğer görüntü karanlık çıkmışsa yani düşük pozlama süresi ile alınmışsa histogram grafiği düşük gri seviye bölgesine (sola) yığılma gösterir. Aynı şekilde eğer görüntü parlak çıkmışsa yani yüksek pozlama süresi ile alınmışsa histogram grafiği sağ tarafa kaymaktadır.

Denklem 1.1’de sayısal görüntü histogramının matematiksel ifadesi gösterilmiştir [33-35].

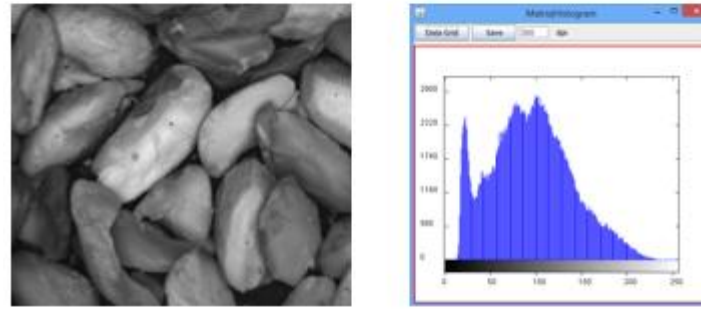
$$p(r_k) = \frac{n_k}{n_p} \quad (1.2)$$

Denklem 1.2’de r_k k’inci renk değerini, n_k bu renk değerindeki toplam piksel sayısını ve n_p görüntüdeki toplam piksel sayısını göstermektedir.

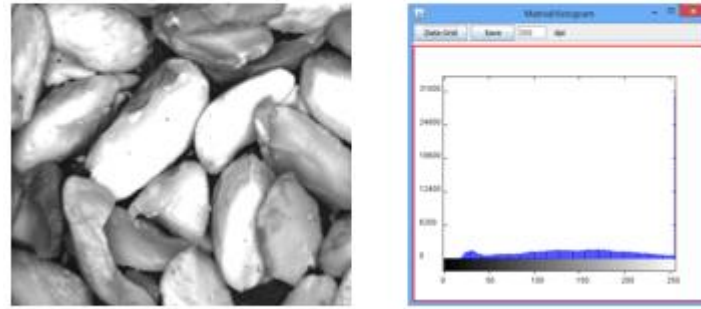
Şekil 1.12’de 560 nm bandı için farklı pozlama süreleri ile alınmış imgeler ve bunların histogramları mevcuttur. Şekil 1.12 (a) ‘da 0.008 sn pozlama süresi ile imge alınmıştır. İmgede düşük pozlamadan kaynaklı karanlık bir görüntü oluşmuş ve görüntünün histogramı sola kaymıştır. Şekil 1.12 (b)’de 0.062 sn pozlama süresi ile alınan imge gösterilmiştir. İmgenin histogramı normal bir dağılım göstermektedir. Bu da görüntünün doğru pozlama süresi ile alındığına işaret etmektedir. Şekil 1.12 (c)’de ise 0.189 sn pozlama süresi ile imge alınmıştır. İmge incelendiğinde parlak noktaların fazla olduğu gözlenmektedir. Bu da imgeden elde edilen histogramın sağa kaymasına sebep olmuştur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.12. 560 nm bandı için farklı pozlama sürelerinde alınmış imgeler ve histogramları

1.7.1. Histogram Eşitleme

Histogram eşitleme imgedeki düşük karışıklığı düzeltmek için kullanılan bir yöntemdir. Histogramdaki renk değerlerinin frekansına bağlı olarak yapılan doğrusal olmayan eşlemedir. Yüksek frekansa sahip olan renk değerleri geniş piksel sayısına, düşük frekansa sahip renk değerleri ise dar piksel alanına yerleştirilmektedir. Histogram eşitlemenin görüntünün tümüne uygulanmasına global histogram eşitleme, belli bir bölgesine

uygulanmasına ise lokal histogram eşitleme denilmektedir [36-38]. Bu yöntem histogramı dar bir alanda sıkışan görüntüler için iyi sonuçlar üretmektedir.

Histogram eşitleme, dört adımda gerçekleştirilmektedir. Başlangıçta görüntünün histogramı oluşturulur. Elde edilen histogramdan kümülatif histogram oluşturulur. Kümülatif histogram, histogramdaki her değerin kendisinden öncekiler ve kendisi ile toplanmasını içeren grafiklerdir. Daha sonra kümülatif histogram normalize edilerek görüntüde istediğimiz maksimum renk değeri ile çarpılmaktadır. Burada elde edilen değer tam sayıya yuvarlanmalıdır. Son aşama olarak, orijinal gri seviye değerleri ile elde edilen yeni gri seviye değerleri birbirine karşılık düşürülerek yeni histogram elde edilir. Bu şekilde frekansı yüksek olan değerler daha belirgin hale gelecektir.

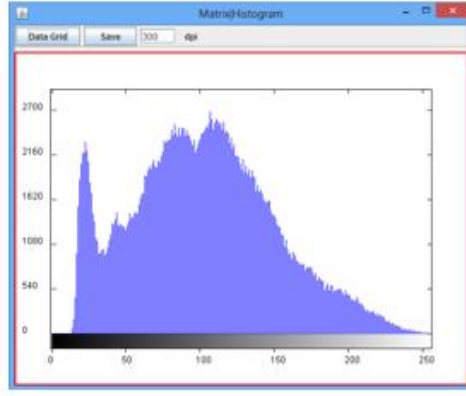
$$s_k = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} * (L - 1) \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \quad (1.3)$$

Denklem 1.3’de histogram eşitlemenin formülü verilmiştir. Burada n görüntüdeki toplam piksel sayısını, n_j j’inci renk değerindeki piksel sayısını, L istenilen veya mümkün olan toplam renk seviye sayısını, s_k ise daha iyi kontrasta sahip görüntü elde etmek için renk seviye dönüşüm değeridir.

Şekil 1.13’de bir görüntüye histogram eşitleme uygulanması ile elde edilen sonuç gösterilmiştir. Şekil 1.13 (a)’da 570 nm bandı 0.029 sn pozlama süresi ile alınan imge gösterilmiştir. Şekil 1.13 (b) de ise orijinal imgenin histogramı mevcuttur. Histogram incelendiğinde değerlerin merkezi bir noktada toplandığı gözlenmektedir. 0 ve 255 ve komşu renk değerlerinin frekansı çok düşüktür. Şekil 1.13 (c) orijinal görüntüye histogram eşitleme uygulanması sonucu oluşan imgedir. Şekil 1.13 (d) ise bu imgenin histogramını göstermektedir. Yeni histogram incelendiğinde, düşük frekansa sahip bölgelerde de yükselme meydana geldiği açıktır.



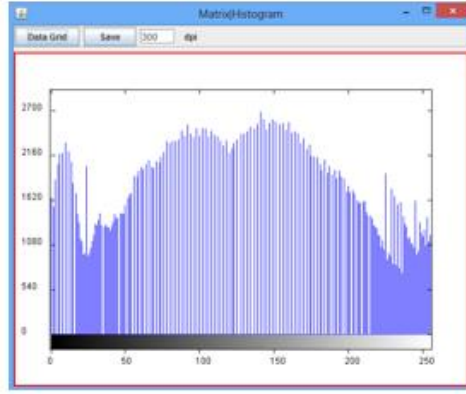
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1.13. Bir görüntüye histogram eşitleme uygulaması ve sonucu orjinal görüntü (a), orjinal görüntünün histogramı (b), histogram eşitleme uygulanmış görüntü (c) ve histogram eşitleme uygulanmış görüntünün histogramı (d)

1.7.2. Görüntü Parlaklık ve Kontrast Ayarı

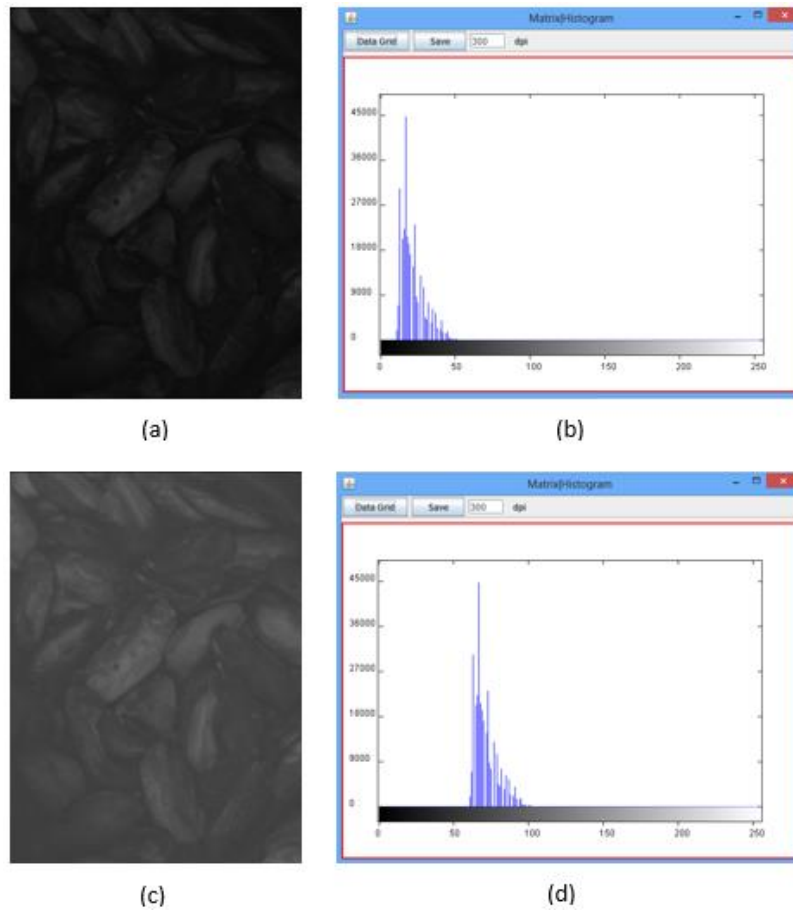
Çeşitli sebeplerden dolayı (düşük veya aşırı pozlama) yeterli bilgi vermeyen imgenin işlenerek görsel veya işlevsel anlamda kullanılabilir hale getirilmesi için parlaklık ve kontrast ayarı yapılmaktadır.

Görüntünün parlaklığını değiştirmek için piksellerin gri renk değerlerine sabit bir sayı eklenmektedir. Bu durumda gri seviye değerlerindeki dönüşüm fonksiyonu Denklem 1.4' de gösterildiği gibi olacaktır. Burada r eski piksel değeri c ise eklenen sabittir.

$$D(r) = r + c \quad (1.4)$$

Gri değerleri $[0, U-1]$ aralığında değişen dijital bir görüntü için $c < 0$ olması durumunda $s < 0$ oluyorsa $s = 0$, $c > 0$ durumunda $s > U-1$ olursa $s = U-1$ alınır. Parlaklık ayarı için kullanılan sabit değer pozitif ise görüntüdeki piksel değerlerinin ortalaması sağ tarafa, negatif ise ortalama sol tarafa kayacaktır [39].

şekil 1.14’de 440 nm bandı için 0,593 sn pozlama süresi ile alınan imge 50 birimlik bir öteleme ile parlaklık ayarı yapılmıştır. şekil 1.14’de (a) orijinal imgeyi, (b) orijinal imgenin histogramını, (c) parlaklık ayarı yapılmış imgeyi, (d) ise parlaklık ayarı yapılmış imgenin histogramıdır.



şekil 1.14. 440 nm bandı için 0,593 sn pozlama süresi ile elde edilen imge için parlaklık ayarı

Kontrast, görüntünün ayırt edilebilirliğini ifade etmek için kullanılır. Kontrast değişimi imgedeki piksel değerlerinin belli bir sayı ile çarpılması ile elde edilmektedir. Eğer bu sayı 0’dan büyükse kontrast artar, küçükse kontrast azalır. Denklem 1.5’de a sabit bir değerdir.

$$g(x,y) = a * f(x,y) \quad (1.5)$$

İnsan gözünün gri değerlerini ayırt etme kapasitesi sınırlıdır. Bu nedenle bir görüntüde en düşük ve en yüksek gri değerleri arasındaki fark az olursa insan gözü görüntüdeki detayları algılayamayabilir. Bu tür görüntülerin histogramları incelendiğinde gri seviye değerlerinin dar bir alana yoğunlaştığı gözlenir. Bu tür görüntüler düşük kontrastlı olarak ifade edilmektedir [39]. Düşük kontrasta sahip görüntüleri insan gözünün algısını arttırmak için farklı fonksiyonlar kullanılmaktadır.

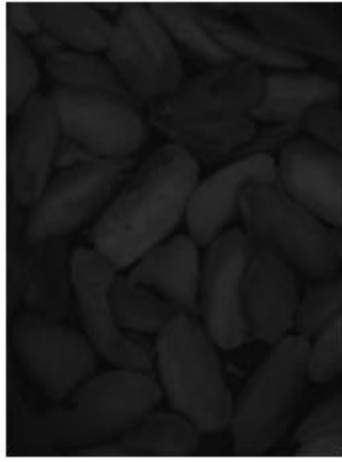
Görüntü pekiştirmek için yapılabilecek diğer bir işlem parlaklık ve kontrast ayarlarını beraber kullanmaktır.

$$g(x,y) = a * f(x,y) + b \quad (1.6)$$

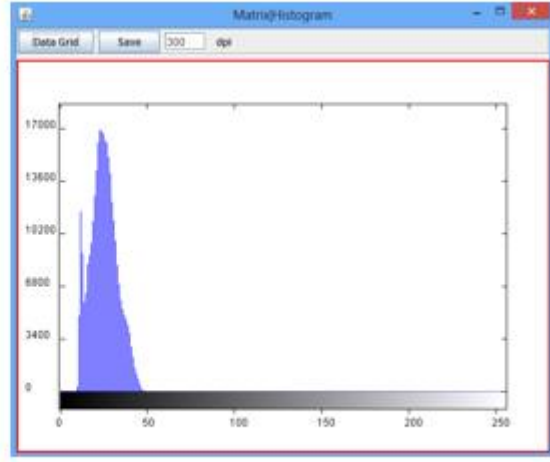
Denklem 1.6'de a karşıtlık katsayısı, b ise parlaklık değeridir.

Şekil 1.15'de 590 nm bandı için 0,009 sn pozlama süresi ile elde edilen imgeye parlaklık ve kontrast ayarı yapıldıktan sonraki sonuçları verilmiştir. Şekil 1.15 (a) orijinal görüntüyü, (b) orijinal görüntünün histogramını, (c) orijinal görüntüye parlaklık ve kontrast ayarı uygulandıktan sonra elde edilen imgeyi ve (d) yeni imgenin histogramını göstermektedir.

Şekil 1.15 incelendiğinde parlaklık ve kontrast ayarı uygulandıktan sonra fıstıkların daha belirgin hale geldiği gözlenmektedir. İşlenmiş görüntünün histogramı da daha geniş bir alana yayılmıştır.



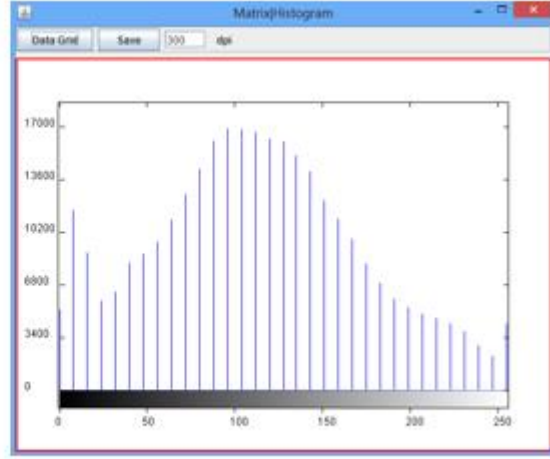
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1.15. 590 nm bandı 0,009 sn pozlama süresi ile elde edilen imge için parlaklık ve kontrast ayarı

1.7.3. Gürültü Azaltma Teknikleri (Filtreleme)

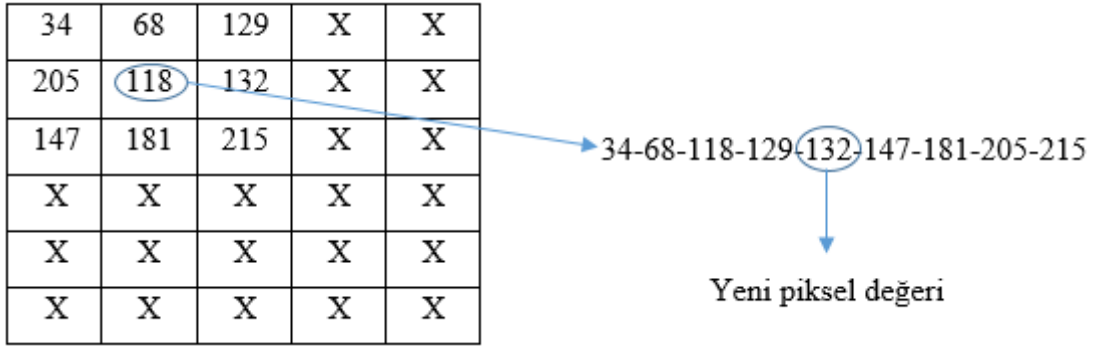
Görüntü iyileştirme teknikleri, genellikle filtreler kullanılarak görüntü içerisindeki gürültüleri temizlemek ya da görüntüdeki detayları ortaya çıkarmak amacıyla kullanılmaktadır. Bir görüntü elde edilirken, ortam ışıklandırılması, kamera parametrelerinin iyi ayarlanmaması (yüksek ISO değeri, aşırı veya düşük pozlama vb.), kameranın optik ve ya lenslerinden kaynaklı problemlerden dolayı görüntüde istenmeyen durumlarla karşılaşmaktadır. Görüntü işleme filtreleri kullanılarak bu problemler giderilmeye çalışılmaktadır.

Filtreler, 3x3, 5x5 ya da 7x7 vb. piksel boyutlu sayı matrislerinden oluşur. Amaca bağlı olarak (görüntü yumuşatma, keskinleştirme, kenar bulma vb.) matristeki değerler değişkenlik göstermektedir. Filtreler görüntüdeki tüm pikseller üzerinden geçirilir ve görüntüdeki pikseller değişime uğrar. Doğrusal (gauss, laplace vb.) ve doğrusal olmayan (medyan, ortalama vb.) türleri mevcuttur [40]. Filtreler yüksek geçirgenli ve alçak geçirgenli olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Yüksek geçirgenli filtreler, görüntüde yüksek frekansa sahip gri seviye değerlerini vurgulamakta, düşük frekansa sahip olanları ise bastırmaktadır. Bu tür filtreler genellikle kenar belirleme ve keskinleştirme amaçları için kullanılmaktadır. Alçak geçirgenli filtreler ise görüntüdeki açık ve koyu detaylar arasındaki farkı azaltır. Genellikle görüntüdeki gürültüleri elimine etmek için bu filtreler kullanılmaktadır.

Medyan Filtresi:

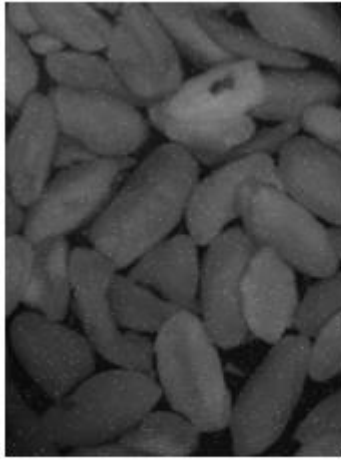
Doğrusal filtreler gauss tipindeki gürültüleri elimine etmekte başarılı olmalarına rağmen ikili gürültüde başarısız olmaktadır. Bu nedenle bu tür gürültüleri yok etmek için doğrusal olmayan medyan filtresi kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada düşük bantlarda (400-430) düşük pozlamadan kurtulmak için kameranın kazanç değerinin yüksek tutulduğu durumlarda ikili gürültüler meydana gelmektedir. Bu tür gürültüleri ortadan kaldırmakta medyan filtresi başarılı sonuçlar üretmektedir. Bu filtrede de bir pencere (matris) görüntü üzerinde hareket ettirilmektedir. Her hareket esnasında matristeki parlaklık değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve sıralama esnasında elde edilen değer medyanı ortanca piksele yazılmaktadır [41]. Diğer bir ifadeyle bir pikselin değeri komşu piksellerin parlaklık değerlerinin medyanı ile değiştirilmektedir.

Şekil 1.16'da 3x3'lük medyan filtresi için bir işlem adımı verilmiştir. Burada ortanca piksel ve ona komşu olan piksellerin parlaklık değerleri küçükten büyüğe sıralanmıştır. Daha sonra sıralanmış değerler arasında orta değer alınmış ve pikselin yeni değeri olarak atanmıştır.

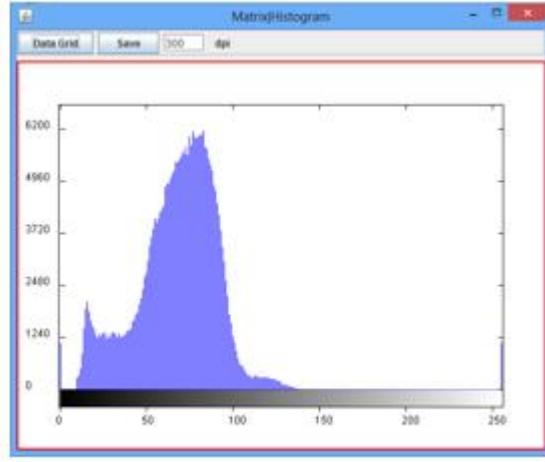


Şekil 1.16. Medyan filtresi işlem adımı

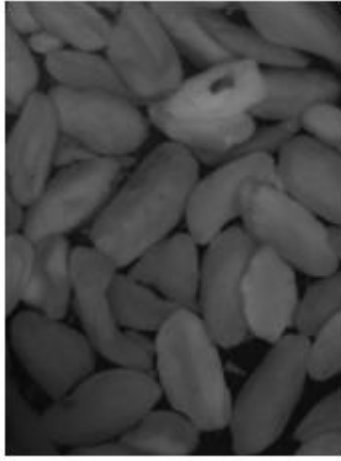
Şekil 1.17’de 400 nm bandı, 29.81 sn pozlama süresi ve 12 db kazanç değerleri ile elde edilen imgeye medyan filtresi uygulanmasıyla oluşan sonuçlar verilmiştir. Şekil 1.17 (a) orijinal imgeyi göstermektedir. İmge incelendiğinde yüksek kazanç değerinden kaynaklı olarak görüntüde gürültüler oluşmuştur. Şekil 1.17 (b) orijinal imgenin histogramı, (c) orijinal imgeye 3x3’lük medyan filtresi uygulandıktan sonra oluşan imgeyi, (d) ise bu imgenin histogramını göstermektedir. Nihai imge incelendiğinde gürültülerin giderildiği açıktır.



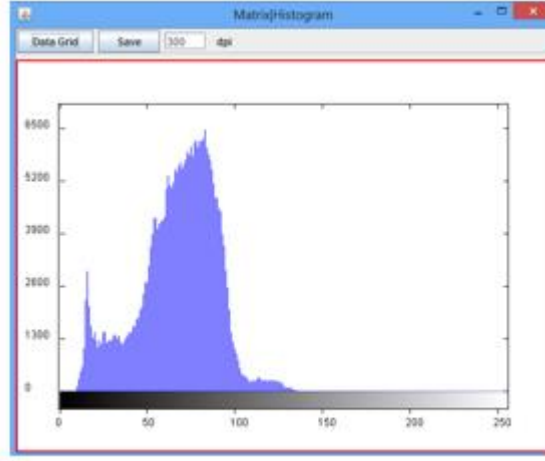
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1.17. 400nm bandı ve 12 db kazanç değeri ile alınan imgeye median filtresi uygulanması

Ortalama Filtre:

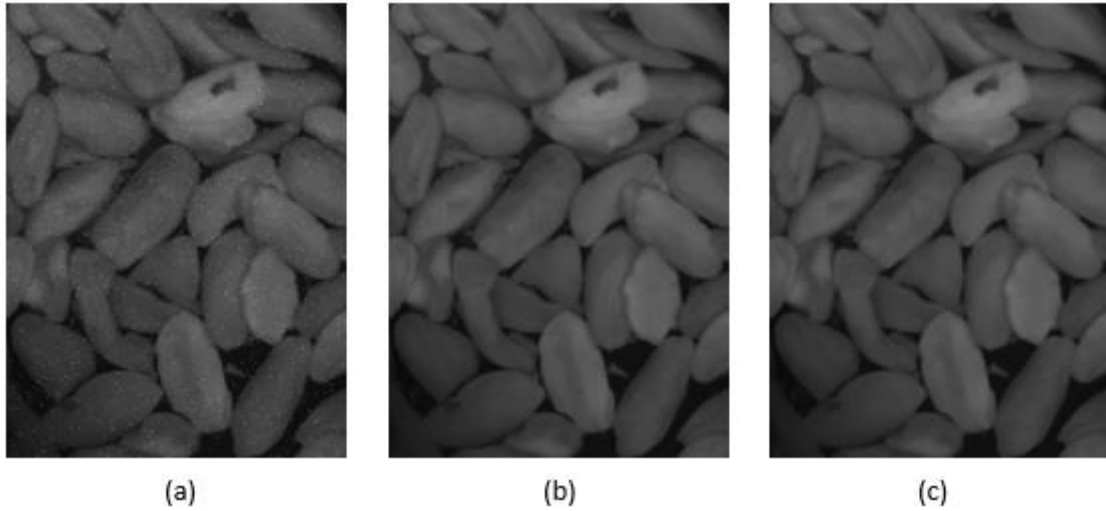
Ortalama filtre alçak geçiren filtrelerdendir. Genellikle görüntüdeki gürültüleri giderme ve pikseller arasında yumuşak bir geçiş sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ortalama filtrenin dezavantajı görüntüde bulanıklaşmaya yol açması ve detayların kaybolmasıdır [40]. Ortalama filtresinde yeni piksel değeri, mevcut piksel değeri ile komşu piksellerin parlaklık değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmektedir. Genellikle katsayıları eşit bir matrisin görüntü üzerinden geçirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Matrisin boyutundaki artışa bağlı olarak pikseller arasında daha fazla yumuşak bir geçiş meydana gelmektedir. Denklem 1.7’de belirlenen bir pencere boyutuna göre yeni piksel değerinin bulunması formülü

verilmiştir. Denklemden m ve n sırasıyla kullanılan matrisin satır ve sütun sayısıdır. Genellikle m=n olmaktadır.

$$h(i,j) = \frac{1}{mn} \sum_{k \in m} \sum_{l \in n} f(k,l) \quad (1.7)$$

$$f(k,l) = \frac{1}{5 * 5} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Yukarıda 5x5'lik ortalama filtresi verilmiştir. Burada görüldüğü gibi genellikle matrisin içindeki katsayılar eşit ve 1 değerini almaktadır. Uyarlanabilir ortalama filtrelerinde katsayılar değişkenlik gösterebilir. Aynı şekilde satır ve sütun sayılarının da eşit olduğu gözlenmektedir.



Şekil 1.18. 400 nm 12 db kazanç değeri ile alınan imgeye 3x3 ve 5x5 ortalama filtresi uygulanması ve sonuçları

Şekil 1.18'de 400 nm 29.891 sn pozlama süresi ve 12 db kazanç değeri ile alınan imgeye 3x3 ve 5x5 ortalama filtresi uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Şekil 1.18 (a) orijinal imgeyi, (b) 3x3 ortalama filtresi uygulanmış imgeyi ve (c) 5x5 ortalama

filtresi uygulanmış imgeyi göstermektedir. Şekilden orijinal imgedeki gürültünün giderildiği gözlenmektedir. Ayrıca ortalama filtresinin boyutu büyüdükçe bulanıklaşma artmaktadır.

Gauss filtresi:

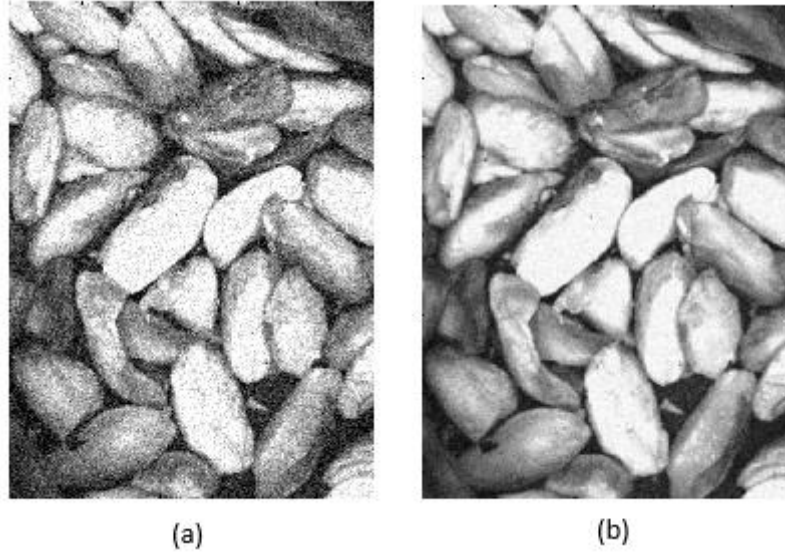
Gauss filtresi görüntüyü yumuşatmak, detayların ve gürültülerin uzaklaştırılması için kullanılan en iyi doğrusal filtrelerden birisidir [42]. Gauss filtresi alçak geçiren bir filtre olmasına rağmen kenar bulma amacıyla da kullanılmaktadır. Bu filtrede penceredeki merkez pikselin ağırlığı (katsayısı) diğer piksellere oranla daha fazla olduğundan, ortalama filtresi gibi düzgün dağılmış filtrelerdeki olumsuzluklar giderilmiştir.

Denklem 1.8’de $g(x, y)$ gauss fonksiyonu, x satır sayısını gösteren eksen, y sütun sayısını gösteren eksen, σ ise gauss dağılımının standart sapmasıdır.

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (1.8)$$

$$g = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad g = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad g = \frac{1}{12} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Yukarıda bazı gauss filtreleri verilmiştir. Filtreler incelendiğinde merkezi piksel katsayısı komşu piksel katsayılarına göre daha büyük olduğu gözlenmektedir.



Şekil 1.19. 520 nm bandı 0.251 sn pozlama süresi ile alınan imgeye gauss filtresi uygulanması

Şekil 1.19’da 520 nm bandında 0.251 sn pozlama süresi ile alınan imgeye gauss filtresi uygulanması sonucu oluşan çıktı verilmiştir. Şekil 1.19 (a) orijinal imgeyi (b) ise gauss filtresi uygulanması sonucu elde edilen imgeyi göstermektedir. Şekil incelendiğinde orijinal imgede bulunan gürültü azalmış ve ortalama filtresine göre daha az bulanıklaşma meydana gelmiştir.

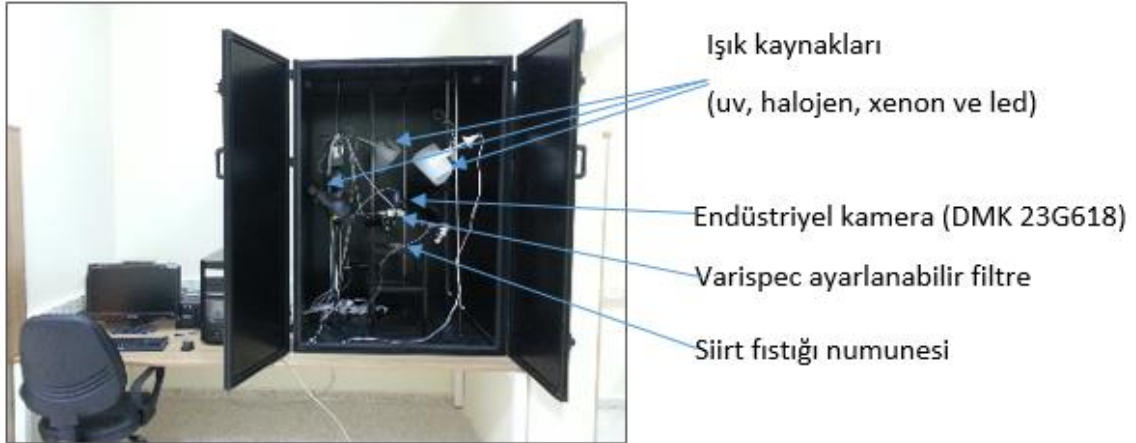
2. SİSTEMİN DONANIMSAL YAPISI

Aşağıda çalışmada kullanılan cihazlar belirtilmiştir.

1. Görüntü alımı sistemi (Kara kutu)
2. Imaging Source endüstriyel kamera (DMK 23G618 monokrom)
3. Varispec elektronik ayarlanabilir filtre (Görünür bant, 400nm - 720nm)
4. Işık kaynağı

2.1. Görüntü Alımı Sistemi (Kara Kutu)

Alınan görüntülerin dış ortam etkilerinden korunması için sistem tasarlanmıştır. Kara kutu içerisindeki dikey çubuklar yardımıyla kamera, varispec ve ışık kaynaklarının istenilen şekilde yerleştirilmesine olanak sağlanmaktadır. Şekil 2.1’de kullanılan kara kutu gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Görüntü alımı sistemi (Kara kutu)

2.2. Imaging Source Endüstriyel Kamera

Kullanılan kamera GigE (Gigabit Ethernet) monokrom endüstriyel kameradır. Tablo 2.1’de kullanılan kameranın teknik özellikleri verilmiştir. Kameranın özellikleri incelendiğinde deklanşör değeri büyük önem arz etmektedir. Bunun nedeni bazı bantlarda

bu değerin çok düşük olması gerekirken, bazı durumlarda ise bu değerin yüksek olması gerekir. Çalışmanın başlangıcında DMK 72BUC02 monokrom endüstriyel kamera kullanıldı. Ancak bu kameranın deklanşör değeri en fazla '1' değerine ulaştığından bazı bantlarda (400, 410, 420 vb.) az-pozlama durumundan çıkılamamıştır. Bu nedenle deklanşör değeri çok daha fazla yukarı çıkabilen Şekil 2.2. 'deki endüstriyel kamera kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Imaging Source endüstriyel kamera (DMK 23G618) teknik özellikleri

Video formatları @ Çerçeve oranı	640x480 Y800 @ 120, 90, 60, 30, 15, 7.5, 3.75 fps 640x480 Y16 @ 120, 90, 60, 30, 15, 7.5, 3.75 fps
Duyarlılık	0.015 lx
Çözünürlük	H: 640, V: 480
Piksel boyutu	H: 5,6 µm, V: 5,6 µm
Deklanşör	1/100000 - 30 s
Kazanç	0 - 36 dB
Besleme gerilimi	11 -13 VDC veya PoE : 48 -56 VDC



Şekil 2.2. Imaging Source endüstriyel kamera

2.3. Varispec Elektronik Ayarlanabilir Filtre

Varispec filtreler elektronik olarak kontrol edilebilen likit kristal elementleri (liquid crystal elements) kullanarak seçilen bir dalga boyu aralığını geçirir ve diğer dalga boylarını bastırır. Filtre geçirgenliği gelen ışının kutuplaşmasına duyarlıdır. Çeşitli modelleri mevcuttur. Çalışmada VIS (Visible Spectrum) modeli kullanılmıştır. Bu model 400 nm ile 720 nm arasında bir dalga boyu aralığında çalışmaktadır. Şekil 2.3’de çalışmada kullanılan model gösterilmektedir. Yapılan çalışmada 10 nm bant aralıklarında görüntüler alınmıştır.



Şekil 2.3. Varispec elektronik ayarlanabilir filtre

2.4. Işık Kaynağı

Kullanılan kara kutunun içi karanlık olduğundan ortam aydınlatılması için 12 cm çapındaki halka led kullanılmıştır. Ayrıca daha sonraki çalışmalar için kullanılmak üzere çeşitli ışık kaynaklarının (uv, zenon, floresan) entegrasyonu da yapılmıştır.

3. SİSTEMİN YAZILIMSAL YAPISI

Sistemin yazılımsal yapısı temel olarak öz niteliklerin belirlenmesi ve makine öğrenmesi algoritmaları olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Öz niteliklerin belirlenmesi aşamasında problemi en iyi temsil edebilecek öz nitelikler irdelenmiştir. Makine öğrenmesi algoritmaları kısmında ise ÇKA, REPTree ve Doğrusal Regresyon algoritmalarının yapısı incelenmiştir.

3.1. Öz Niteliklerin Belirlenmesi

Kaliteli bir görüntü genellikle imgenin histogramına bakılarak elde edilmektedir. Buradan yola çıkarak önerilen yöntem için öznitelikler (ortalama, standart sapma, basıklık, çarpıklık ve entropi) çıkarılmıştır. Elde edilen bu öz nitelikler makine öğrenmesi algoritmalarının girdi katmanını oluşturmaktadır.

3.1.1. Aritmetik Ortalama

Bir ana kütle veya bir örneklem veri değerlerinin toplamalarının o ana kütledeki terim sayısına veya örneklem büyüklüğüne bölünerek elde edilen merkezsiz konum değeridir.

$$\text{Aritmetik Ortalama} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de N piksel sayısını, x_i ise i. pikselin gri renk değerini göstermektedir

3.1.2. Standart Sapma

Bir veri seti içerisindeki her bir verinin ortalamaya göre ne kadar uzaklıkta olduğunu, bir diğer deyişle veri değerlerinin yayılımının özetlenmesi için kullanılan bir ölçüdür. Standart sapmanın büyümesi verilerin daha geniş bir alana yayıldığını aynı şekilde düşmesi ise verilen dar bir bölgeye yayıldığını gösterir. Standart sapma σ simgesi ile gösterilmektedir. Rassal değişken x için standart sapma şöyle hesaplanmaktadır.

$$\text{Standart Sapma} = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 - \bar{x}^2 \right)} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’ de N toplam piksel sayısını, x_i i. pikselin gri renk değerini, $\bar{x}$ ise piksellerdeki gri renk ortalamasını göstermektedir.

3.1.3. Çarpıklık

Veri dağılımının normal bir dağılım göstermemesinden kaynaklı olarak sağa veya sola meyleden bir şekil alması çarpıklık olarak adlandırılmaktadır. Çarpıklık katsayısı ise bir dağılımın simetrikliğinin ölçüsüdür. Normal bir dağılımda çarpıklık katsayısı sıfırdır ve $-$ sonsuz ile $+$ sonsuz arasında değerler alabilmektedir. Çarpıklık arttıkça dağılımın tepe değeri ve ortalama birbirinden uzaklaşır. Pozitif ve negatif olmak üzere iki tip çarpıklıktan söz edilebilir. Eğer ortalama medyandan küçük ise dağılım sola (negatif) çarpık, ortalama medyandan büyük ise dağılım sağa (pozitif) çarpık olur.

$$\text{Çarpıklık} = \frac{\sqrt{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\left(\sum_{i=1}^N ((x_i - \bar{x})^2) \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’ de N toplam piksel sayısını, x_i i. pikselin gri renk değerini, $\bar{x}$ ise piksellerdeki gri renk ortalamasını göstermektedir.

3.1.4. Basıklık

Normal dağılım eğrisinin ne kadar dik ve ya basık olduğunu gösterir. Tam çan eğrisinin basıklık katsayısı sıfırdır. Basıklık katsayısı pozitif ise, eğri normale göre daha diktir. Negatif ise normale göre daha basıktır.

$$\text{Basıklık} = \frac{N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{\left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} - 3 \quad (3.4)$$

Denklem 3.4' de N toplam piksel sayısını, x_i i. pikselin gri renk değerini, $\bar{x}$ ise piksellerdeki gri renk ortalamasını göstermektedir.

3.1.5. Entropi

Bir sistemin veya durumun rastgeleliği, belirsizliği ve beklenmeyen durumun ortaya çıkma olasılığının, sayısını veya değerini gösterir. Shannon'a göre entropi, iletilen bir mesajın taşıdığı enformasyonun beklenen değeridir [43].

$$\text{Entropi} = - \sum_{i=1}^N P_{x_i} \log_2 P_{x_i} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5 'de N toplam piksel sayısını, x_i i. pikseldeki gri değeri, P_{x_i} ise x_i gri değerinin olasılığını göstermektedir.

3.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

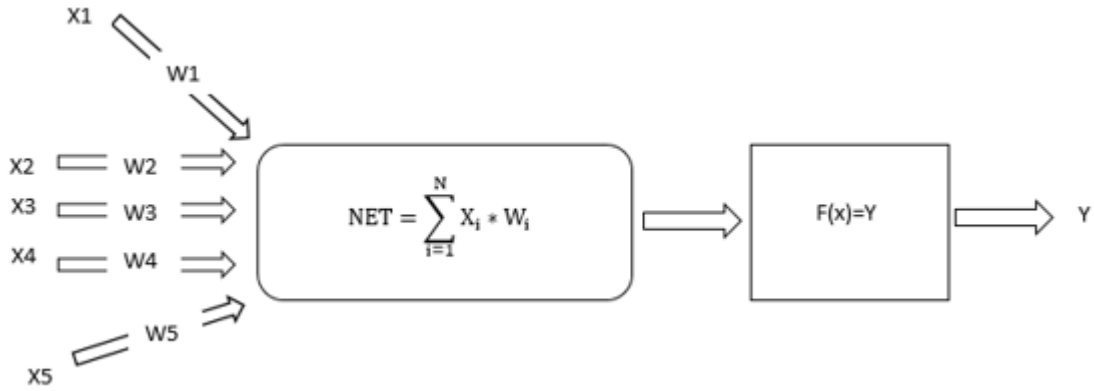
Bu bölümde YSA'nın hata yayma modeli veya geriye yayılım modeli olarak ta bilinen Çok Katmanlı Algılayıcı ağ modeli, REPTree ve Doğrusal Regresyon algoritmaları incelenecektir. Yapılan çalışmada belirlenen öz nitelikler için bu algoritmaların pozlama kalitesini belirlemedeki performansı test edilecektir.

3.2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağı dışarıdan gelen girdilere dinamik olarak yanıt oluşturma yoluyla bilgi işleyen, birbiriyle bağlantılı basit elemanlardan oluşan bilgi işlem sistemidir [44]. YSA sınıflandırma, modelleme, tahmin ve örüntü tanıma gibi çeşitli alanlarda karmaşık fonksiyonları gerçekleştirmek için kullanılmaktadır [45].

Yapay Sinir Hücresinin Yapısı:

Yapay sinir hücrelerinin yapısı beynin sinir hücrelerine benzemektedir [46]. Yapay sinir ağları nöronlar arasında bağlantı kurularak oluşturulmaktadır. Yapay nöronlar biyolojik nöronlar gibi kendisine gelen girdi sinyallerini işleyip topladıktan sonra çıktıyı aktarır. Bir yapay sinir hücresi 5 bölümde incelenebilir. Şekil 3.1’de bir yapay sinir hücresinin genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yapay sinir hücresinin yapısı

1. Girdiler

Nörona gelen her bir değer olarak tanımlanabilir. Bir yapay sinir hücresine girdi değeri dış dünyadan gelebileceği gibi başka bir nörondan da gelebilir. Yapay sinir hücresine gelen girdi değerleri toplanmak üzere nöron çekirdeğine gönderilir.

2. Ağırlıklar

Yapay sinir hücresinde her bir nöron komşu nöron ile bir ağırlık değeri ile bağlanmaktadır. Bu ağırlık değeri ilgili nöronun çıktı üzerindeki göreceli etkisini göstermektedir [47]. Yapay sinir hücresine gelen her bir girdi çekirdeğe ulaşmadan ilgili ağırlık değeri ile çarpılmaktadır. Ağırlık değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Ağırlık değerinin yükselmesi çıktı üzerindeki etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ağırlık

değerinin sıfır olması ise çıktı üzerinde hiç etkisi olmadığını göstermektedir. Bir YSA'nın öğrenmesi demek ağırlık doğru ağırlık değerlerine ulaşmasıdır.

3. Toplama Fonksiyonu

Toplama fonksiyonu bir yapay sinir hücresine gelen tüm girdi değerleri ile ilgili ağırlıkların çarpılıp daha sonra bu değerlerin toplanması işlemi yapar. Çok sayıda toplama fonksiyonu mevcuttur. Hangisinin kullanılacağı konusunda bir yöntem söz konusu değildir. Genellikle deneme yanılma ile belirlenmektedir. Aşağıda çalışmada kullanılan toplama fonksiyonu verilmiştir.

$$NET = \sum_{i=0}^N X_i * W_i \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da X_i girdi değerlerini W_i girdi değerlerine karşılık gelen ağırlıkları göstermektedir. N ise yapay sinir hücresine gelen girdi sayısıdır.

4. Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu bir hücreye gelen girdi değerlerini işleyerek hücrenin üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonu olarak genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. YSA'nın doğrusal olmama özelliği buradan gelmektedir. Çalışmada YSA modellerinden ÇKA ağ modeli kullanılacaktır. Bu model gibi geri beslemeli ağlarda aktivasyon fonksiyonunun türevi de kullanılacağından sistemin hız maliyetini minimize etmek için türevi rahat alınabilen bir fonksiyon kullanılmalıdır. Sigmoid fonksiyon yaygın olarak kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur [48].

$$F(Net) = \frac{1}{1 + e^{-Net}} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7'de Net değeri bir prosese gelen tüm girdi değerlerinin ilgili ağırlık değerleri ile çarpılıp toplanması sonucu elde edilen değerdir.

5. Hücresinin Çıktısı

Aktivasyon fonksiyonu sonucu elde edilen değer olarak tanımlanmaktadır. Genellikle bir hücrenin birden fazla girdisi olmasına rağmen tek bir çıktı değeri üretmektedir.

Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi:

YSA’da veri seti genellikle eğitim ve test olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Eğitim seti ile ağ eğitime çalışmakta ve test seti ile sistemin performansı ölçülmektedir. Eğitim seti kullanılarak yapay sinir ağına gelen girdi değerleri bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir çıktı elde edilir. Beklenen çıktı değeri ile elde edilen değer karşılaştırılır. İki değer arasında bir fark varsa bu hata olarak adlandırılır ve hataya bağlı olarak ağın ağırlık değerleri güncellenir.

YSA’nın istenilen sonuca ulaşana kadar sürekli ağırlıklarının değişmesine öğrenme adı verilmektedir. Ağırlık değerleri öğrenme stratejisine bağlı olarak güncellenir. Sistemde ağırlık değerleri sabitlendiğinde artık hiç görmediği örnekler ile test edilir. Test için ağı gösterilen örneklerde başarılı sonuçlar elde edilirse bu YSA’nın öğrendiğini gösterir. Burada dikkat edilmesi gereken bir durum vardır. YSA’ya verilen örnek sayısı maksimum durumdan fazla ise ağ ezberlemeye gitmiş olabilir. Bir YSA çalışmasında genellikle şu adımlar takip edilmektedir.

1. Örneklerin Toplanması

Başlangıçta YSA’nın öğrenmesi istenilen olay hakkında veriler toplanır. Daha sonra bu veri seti eğitim ve test olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Örnekler ayrıştırılırken bunların rastgele yayılmış olmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde ağı genelleştirme yeteneği zayıf kalacaktır. Yapılan çalışmada geliştirilen bir yazılım ile problemi temsil edebilecek bir veri seti oluşturulmuştur.

2. Ağı Topolojik Yapısının Belirlenmesi

Burada ağda kaç tane girdi ünitesi, ara katman ve çıktı katmanı olacağına karar verilir. Ayrıca her katmanda kaç tane proses elemanının olacağı belirtilir.

3. Öğrenme Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu aşamada ağıın öğrenme katsayısı, kullanılacak toplama ve aktivasyon fonksiyonu ve momentum katsayısı gibi parametreler belirlenir. Geliştirilen sistemde WEKA programında önceden tanımlı değerler kullanılmıştır.

4. Ağırlıkların Başlangıç Değerlerinin Belirlenmesi

Ağırlık değerleri manuel olarak belirleneceği gibi başlangıçta rastgele de verilebilir. Ancak belirli girdi değişkenlerin sonuç üzerindeki etkisi biliniyorsa bu değerler elle girilip ağıın öğrenme süresi maliyeti azaltılabilir.

5. İleri Yönelik Hesapların Yapılması

Bu adımda dış dünyadan gelen girdi değerlerine bağlı olarak bir çıktı elde edilir.

6. Çıktının Beklenen Değer ile Karşılaştırılması

Burada girdi değerlerine bağlı olarak elde edilen sonuç ile beklenen değer karşılaştırılır.

7. Ağırlıkların Güncellenmesi

Geri yönelik besleme kullanılarak çıkan hata değerini düşürmek için ağıın ağırlık değerleri değiştirilir. Hatanın negatif veya pozitif olması durumuna bağlı olarak ağırlıklar artırılır ya da azaltılır.

8. Öğrenmenin Tamamlanması

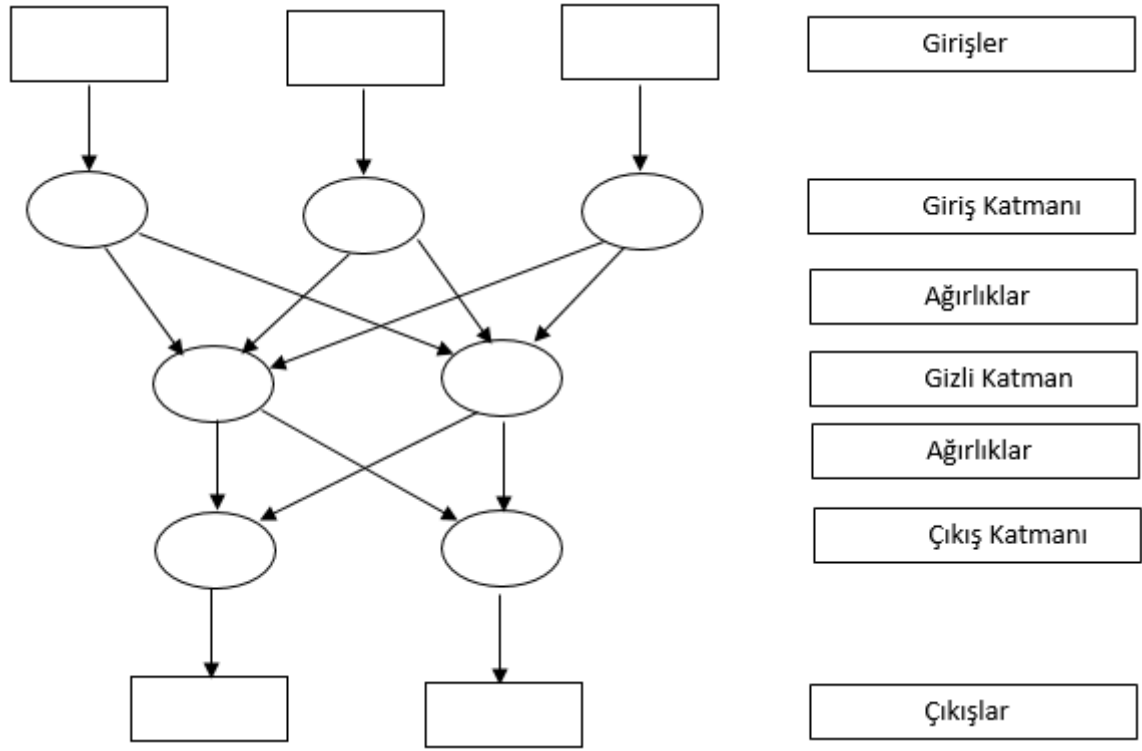
Sisteme örnekler verildiğinde elde edilen çıktı değeri ile beklenen değer aynı olursa öğrenme tamamlanmıştır. Ancak genellikle ağırlıklarda az da olsa bir değişim meydana gelmektedir. Bu problemin üstesinden gelmek için genellikle bir eşik değeri belirlenmektedir. Değişimler bu eşik değerini geçemezse öğrenme işlemi bitirilir. Sonuç

olarak bu ağırlıklar kayıt altına alınır ve test verileri sisteme girilerek performans ölçümü yapılır.

Çok Katmanlı Algılayıcı Ağ Modeli:

ÇKA sınıflandırma ve regresyon (fonksiyon yaklaşımı) da dâhil olmak üzere bilim ve mühendisliğin çeşitli alanlarında kullanılan güçlü bir yöntemdir [49]. Bir ÇKA modeli, bir giriş, bir veya daha fazla ara ve bir de çıkış katmanından oluşur. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir önceki katmandaki işlem elemanlarına bağımlıdır. Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Giriş katmanındaki proses sayısı problemdeki girdi sayısına bağımlıdır. Ara katman sayısı ve her bir ara katmandaki eleman sayısı ise deneme-yanılma yolu ile probleme en uygun sayı belirlenmektedir. Çıktı katmanındaki eleman sayısı da probleme bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Gerçekleştirilen çalışmada girdi katmanındaki proses sayısı beş tanedir (ortalama, standart sapma, basıklık, çarpıklık ve entropi). Çıktı katmanındaki proses sayısı ise bir tanedir (pozlama durumu). Ara katman sayısı ve ara katmandaki proses sayısı için WEKA programındaki önceden tanımlı değerler kullanılmıştır.

ÇKA modelinin temel amacı, ağıın beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı en aza indirmektir. Bu ağılara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık üretilmesi gereken çıktılar gösterilir. Ağıın görevi her girdi için o girdiye karşılık gelen çıktıyı üretmektir. Örnekler giriş katmanına uygulanır, ara katmanlarda işlenir ve çıkış katmanından da çıkışlar elde edilir. Kullanılan eğitime algoritmasına göre, ağıın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimuma düşünceye kadar ağıın ağırlıkları değiştirilir. Şekil 3.2’de çok katmanlı algılayıcı ağ modelinin genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çok katmanlı algılayıcı genel yapısı

3.2.2. Karar Ağacı Algoritmaları

Karar ağacı yöntemi, sınıflandırma ve tahmin etmede kullanılan önemli veri madenciliği teknikleri arasında yer almaktadır. Karar ağacı, girdisi olmayan bir kök düğüm ve her biri birbirine bağlı olan iç düğümlerden oluşmaktadır. Çıktıları başka bir düğüme girdi olan düğümlere iç düğüm, çıktıları başka düğüme girdi olmayan düğümler ise yaprak düğüm olarak adlandırılmaktadır. Karar ağacında her bir iç düğüm, örnek uzayını girdi öznitelik değerlerinin belirli bir fonksiyona tabi tutulmasına dayalı olarak iki ya da daha fazla parçaya ayırmaktadır [50]. Karar ağacının iç düğümleri öznitelikler üzerinde gerçekleştirilen testleri, dallar test sonuçlarını ve her bir yaprak düğüm sınıf etiketini temsil etmektedir. Karar ağaçları sınıflandırmada kullanıldığında, karar ağacının basit yapısı, oluşturulan sınıflandırma modelinin kolay anlaşılabilir olması ve diğer sınıflandırma yöntemlerine kıyasla daha hızlı bir biçimde oluşturulması gibi özellikler oynamaktadır [51].

Karar ağaçları hem kategorik hem de nümerik verilerin sınıflandırılmasında kullanılabilir. Karar ağaçlarının üstün özelliklerine rağmen, test verisindeki küçük

değişiklere karşı duyarlı olmaları ve nümerik veri setleri için karmaşık bir ağaç yapısı oluşturmaları gibi problemlerle karşı karşıya kalmaktadır [52].

Karar ağacı algoritmalarının küçük boyutlu ve az derinlikli ağaçlar oluşturmaları amaçlanmaktadır. Karar ağacı algoritmaları sonucu oluşturulan büyük ve karmaşık karar ağaçlarının genelleştirme yeteneği zayıftır. Bu nedenle, küçük boyutlu karar ağaçları oluşturmak için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Karar ağaçlarında düğüm ayırmada bazı ölçütler kullanılmaktadır. Bilgi kazancı, ki-kare istatistiği, GINI indeksi gibi ölçütler, başlıca kullanılan düğüm ayırma ölçütleri arasındadır [53].

Ağacı oluşturmak için, seçilen özellikten meydana gelecek bilgi kazancı hesaplanmalı ve ağacın derinliğini azaltmak için önceden belirlenmiş sayıda, en çok bilgi sağlayan özellikler seçilmelidir. Bir karar ağacı oluşturulurken A özelliğinin kullanılması durumunda elde edilen bilgi kazancını veren denklemler aşağıda gösterilmektedir:

$$I(P(v_1)), \dots, P(v_n)) = \sum_{i=1}^n -P(v_i) \log_2 P(v_i) \quad (3.8)$$

$$\text{Kazanç}(A) = I\left(\frac{p}{p+n}, \frac{n}{p+n}\right) - \sum_{i=1}^v \frac{p_i + n_i}{p+n} I\left(\frac{p_i}{p_i + n_i}, \frac{n_i}{p_i + n_i}\right) \quad (3.9)$$

Denklem 3.8 ve 3.9'da I bilgi içeriğini, v özelliğin alabileceği sonlu sayıdaki olası değer sayısını, p ve n de sırasıyla eğitim kümesindeki pozitif ve negatif örnek sayılarıdır.

Literatürde sınıflandırma ve tahmin etmede kullanılan çeşitli karar ağacı teknikleri (C4.5 [54], Decision Stump [55], Hoeffding Tree [56], LMT (Logistic Model Trees) [57], Random Forest [58], Random Tree [59] ve REPTree [60]) vardır. Genellikle regresyon problemlerinde karar ağaçları öz nitelik sayısına bağlı olarak çok fazla düğüm içermekte ve karmaşık bir yapı almaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada regresyon problemlerinde genellikle tercih edilen ve budama işlemi ile düğüm sayısını azaltan REPTree algoritması kullanılmıştır.

Karar Ağaçlarının Avantaj ve Dezavantajları:

Karar ağaçlarının güçlü yönleri;

- Karar ağaçları diğer sınıflandırma ve tahmin için kullanılan algoritmalara göre daha anlaşılır kurallar üretirler,
- Diğer algoritmalara göre daha az hesaplama ile sınıflandırma işlemini gerçekleştirirler,
- Tahmin ve sınıflama için hangi değişkenlerin daha çok etki oluşturduğu açıktır,
- Veri setindeki eksik veya aşırı uç değerlerden etkilenmeyen bir tekniktir [61].

Karar ağaçlarının zayıf yönleri;

- Veri setindeki örnek sayısı az ve sınıf sayısı fazla ise model oluşturma başarılı değildir,
- Sürekli olan değişken değerlerini tahmin etmekte başarısızdır,
- Regresyon problemlerinde ağaç karmaşıklığı yüksektir,
- Eğitim aşamasında model oluşumu maliyetlidir,
- Ağaç budama işlemi karmaşıktır.

Azaltılmış Hata Budama Ağacı (REPTree)

REPTree algoritması, entropi ile bilgi kazancı hesaplanması ve varyanstan kaynaklanan hata azaltma ilkelerini temel almaktadır [62]. Bu metot ilk başta Quinlan tarafından önerilmiştir [63]. REPTree algoritması, hızlı karar ağacı sınıflandırma algoritmalarından biridir. Algoritma, karar ya da regresyon ağacının oluşturulmasında bilgi kazancı ölçütünü kullanmakta ve oluşan ağacı, azaltılmış hata budaması yöntemine dayalı olarak budama işlemine tabi tutmaktadır. Algoritmada, yalnızca nümerik özniteliklerin sıralanması söz konusudur. Eksik değerler için ise C4.5 algoritmasının örnekleri karşılık gelen parçalara ayırma yaklaşımı uygulanmaktadır [64].

3.2.3. Regresyon

Regresyon, Y bağımlı ve X_i $i=1,2,\dots,k$ bağımsız değişkenler olmak üzere, Y ile X_i değişkenleri arasındaki sebep-sonuç ilişkisini matematiksel model olarak ortaya koyan

yöntemdir [65]. Regresyon analizi ise, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler (estimation) ya da kestirimler (prediction) yapabilmek amacıyla yapılır.

Bağımlı değişken: Değeri başka değişkenler tarafından etkilenen ve bağımsız değişkenlerdeki değişime bağlı olarak değeri değişen regresyon modelindeki açıklanan ya da tahmin edilen değişkendir. Bağımlı değişken genel olarak Y ile gösterilmektedir.

Bağımsız değişken: Değeri rastgele koşullara göre belirlenen, bağımsız olarak değişim gösteren ve bağımlı değişken üzerinde etkide bulunan değişkenlere bağımsız değişken/açıklayıcı değişken olarak adlandırılmaktadır.

Regresyon analizinin uygulanması için değişkenlerin bağımlı ve bağımsız değişken olarak ayrılması ve regresyon modelinin kurulması gerekmektedir. Tahmin değişkeni olarak bir değişken kullanılırsa basit regresyon, iki veya daha fazla değişken kullanılırsa çoklu regresyon analizinden söz etmek mümkündür. Regresyon analizinde amaç her tahmin değişkeninin bağımlı değişkenindeki (kriter değişkeni) toplam değişmeye olan katkısının saptanması ve dolayısıyla tahmin değişkenlerinin doğrusal kombinasyonunun değerinden hareketle kriter değerinin tahmin edilmesidir [66].

Doğrusal Regresyon

İstatistikte, doğrusal regresyon bir bağımlı değişken ve bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki sebep-sonuç ilişkisini doğrusal bir model ile ortaya koyan yaklaşımdır. Sadece bir bağımsız değişken varsa basit doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişken varsa çoklu doğrusal regresyon olarak adlandırılmaktadır [67]. Denklemden basit doğrusal regresyon formülü verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad (3.12)$$

Denklemden, Y bağımlı değişkeni, X_1 bağımsız değişkeni, β_0 ve β_1 bu değişkenin bilinmeyen parametrelerini, ε ise şansa bağlı hata terimidir [68].

Çoklu doğrusal regresyon modeli formülü ise denklemden gösterilmiştir.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.13)$$

Denkleimde, p bağımsız değişken sayısını n ise gözlem sayısıdır [69].

Basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon analizi nihayetinde oluşacak olan regresyon modeline ait parametre değerlerinin güvenilir olması için modelle ilgili bazı varsayımlar yapılması gerekir.

Basit doğrusal regresyonda, regresyon denkleminin tahmin amaçlı kullanılabilmesi için; hata terimlerinin normal dağılım göstermesi, hataların beklenen değerinin ortalamasının 0 olması, varyansının homojen olması, hataların bağımsız olması, hata terimleri ile bağımsız değişkenler arasında korelasyon bulunmaması gibi bazı varsayımlar gerekmektedir [70].

Çoklu doğrusal regresyonda, basit doğrusal regresyondaki varsayımlara ek olarak bağımsız değişkenlerin birbiri ile ilişkili olmaması varsayımı da olmalıdır. Bu varsayım istatistikte “çoklu doğrusal bağlantı” bulunmaması olarak da ifade edilmektedir. Çoklu bağlantı durumunda En Küçük Kareler (EKK) kestirim yöntemi işlevini yitirmektedir [71]. Bu sebepten dolayı bağımsız değişkenler seçilirken, bu değişkenlerin bağımlı değişken ile korelasyon katsayısının yüksek (1’ya yakın), birbirleri arasındaki korelasyon katsayısının ise düşük (0’a yakın) olması önerilmektedir.

4. GERÇEKLEŞTİRİLEN UYGULAMA

4.1. Verilerin Elde Edilmesi

Veri toplamaya başlamadan önce pozlama süresi dışındaki tüm parametrelerin (diyafram açıklığı, kazanç ve parlaklık) sabit tutulması gerekmektedir. Burada diyafram açıklığı objektifin üzerinde bulunan ve film üzerine düşmesi gereken ışığın miktarını denetleyen bir mekanizmadır. Diyafram değerleri uluslararası ölçeklerle belirlenmiş ve standarttır. Burada çeşitli denemeler yapılarak sabit bir diyafram açıklığı belirlenmiştir. Parlaklık, beyaz açıklık değeri olarak bilinmektedir. Üzerinde çalıştığımız kamerada yazılım üzerinden bu değerin değişimine izin verilmemekte ve değeri sabittir. Kazanç genel olarak logaritmik ölçekte güçlendirilmiş (amplified) çıktı sinyalinin girdi sinyaline oranı olarak bilinir. Birimi dB'dir. Kameradaki kazanç parametresi, CCD sensör hücrelerinde tutulan foton miktarının elektronik bileşenler yardımıyla güçlendirilmesi prensibine dayanır. Bu esnada sensör gürültüsü (noise) dediğimiz etkilere de maruz kalmaktadır. SNR (Signal-to-noise ratio) değeri ile bağımlıdır. SNR değeri yükseldikçe görüntüdeki gürültüler azalmaktadır. Bunun için kazanç değerini düşürmek gerekir. Ancak kazanç düşerse CCD sensörün üzerine düşen foton sayısı azalacağından görüntüler karanlık çıkmaktadır. Kazanç parametresinin hesaplanmasında iyi uygulama (rule of thumbs/best practise) olarak kazanç değeri 9.88 dB alınmıştır.

Her bir spektral bant için pozlama süresindeki değişim, alınan görüntüde farklı oranda pozlama durumuna etki ettiğinden, Tablo 4.1'de gösterilen minimum ve maksimum pozlama sürelerini içeren bir başvuru çizelgesi hazırlanmıştır.

Tablo 4.1. Minimum ve maksimum pozlama süreleri

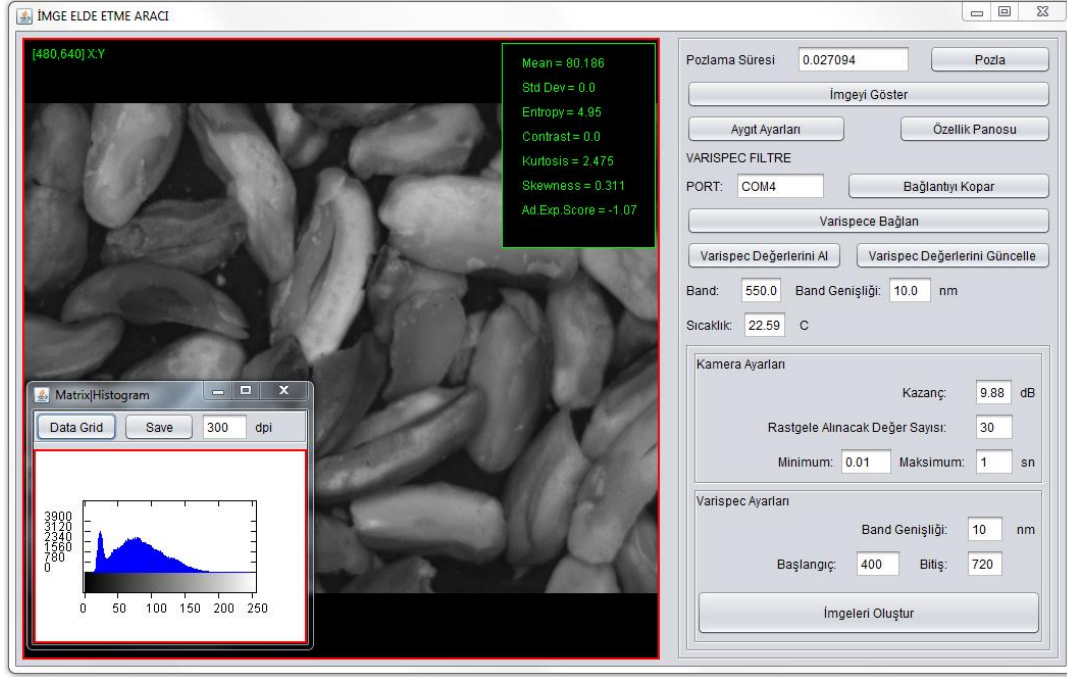
Bant (nm)	Minimum Pozlama Süresi (sn)	Maksimum Pozlama Süresi (sn)
400, 410, 420	5	30
430	2	25
440	0,5	5,5
450	0,135	1,6
460	0,06	1,7
470	0,06	1,1
480	0,1	1,9
490	0,06	1,7
500	0,04	1,5
510	0,02	0,6
520	0,012	0,4
530	0,004	0,32
540, 550, 560	0,004	0,2
570, 580, 590	0,003	0,15
600, 610	0,003	0,16
620,630	0,003	0,18
640	0,005	0,2
650	0,006	0,3
660	0,006	0,35
670	0,01	0,35
680	0,011	0,3
690, 700, 710	0,011	0,35
720	0,02	0,5

Şekil 4.1’de çalışmada kullanılan Siirt fıstığı numunesi gösterilmiştir. Burada karşılaşılabilecek durumlar (taze, kabuk, küflü, tuzlu vb.) eklenmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan fıstık numunesi

Bu bölümde çeşitli hiperspektral bantlarda görüntü alınabilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımın amacı manuel olarak görüntü alınımının zor, zaman alıcı ve hatalara yol açmasıdır. 10 nm aralıklarla görüntü alınacağı düşünüldüğünde görünür (visible spectrum 400 nm-720 nm) bantta toplam 33 adet görüntü alınması gerekir. Her hiperspektral bantta 30 farklı pozlama süresine sahip imge alınacağı düşünüldüğünde 990 imgenin alınması gerekmektedir. Bulunan bu değer tek bir numune için geçerlidir. Çalışmanın devamında bu işlem sürekli tekrar edeceğinden böyle bir yazılıma ne kadar ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.2’de geliştirilen Hiperspektral Görüntüleme Sisteminin (HGS) arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Geliştirilen HGS uygulamasının ara yüzü

Belirli bir spektral bandta görüntü alınacağı zaman, manuel olarak kameranın uygun pozlama değerine ve varispec filtrenin ilgili spektral bandına ayarlanması gerekir. Ancak, bu işlem kullanıcı açısından uğraştırıcı ve hatalara sebep olan bir süreçtir. Bu çalışmada hızlı, tutarlı, güvenilir ve kullanıcı dostu bir yazılım ara yüzü geliştirilmiştir. Java programlama dili ve Netbeans 8.0.2 IDE'si kullanılarak geliştirilen uygulama yazılımı ile bu problemler giderilmeye çalışılmıştır.

Geliştirilen yazılımda endüstriyel kamera ve varispec elektronik ayarlanabilir filtrenin API'lerine (dll) erişim sağlanması için iki arayüz yazılmıştır. JNA (Java Native Access) kullanılarak geliştirilen yazılım ile bu arayüzler üzerinden cihazlara erişim sağlanmaktadır.

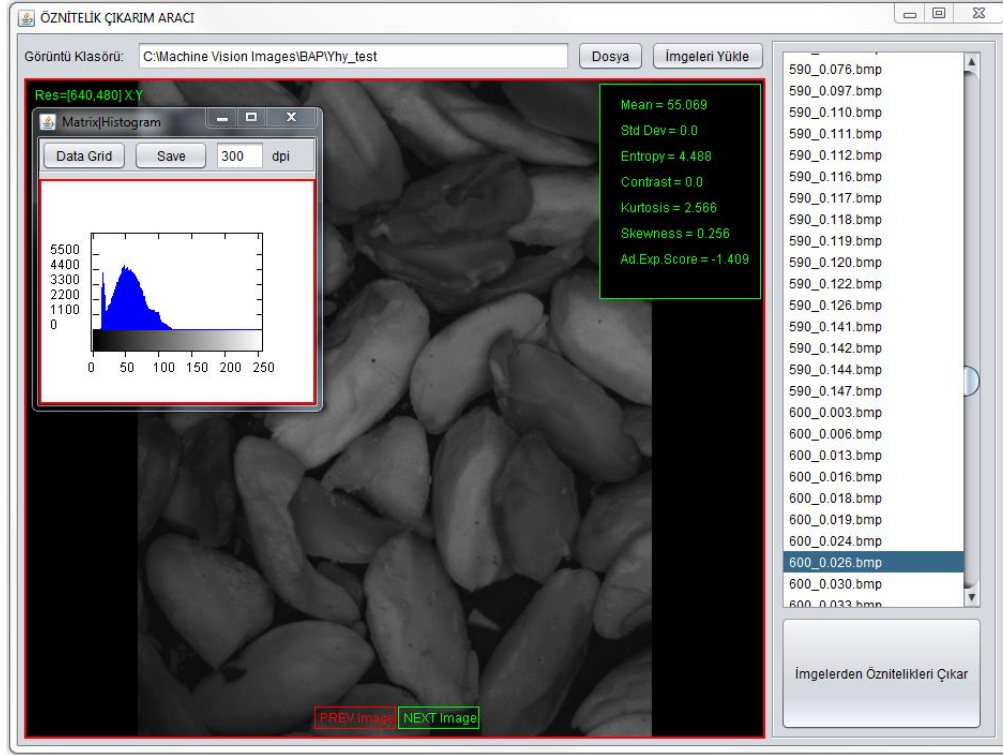
Şekil 4.2'de *Pozla* butonu kullanılan kameranın pozlama süresini metin kutusu içerisinde verilen değere getirilmesini sağlamaktadır. *Özellik Panosu* butonu ise kameranın özelliklerine erişimi sağlamaktadır. Burada istenirse manuel olarak kamera parametreleri değiştirilebilir. *Varispec Bağlan* butonu ile metin kutusunda verilen port üzerinden varispec erişim sağlanmaktadır. *Bağlantıyı Kopar* butonu ile de bu bağlantı kesilmektedir. *Varispec Değerlerini Al* butonu varispecin o anki bandını ve bant aralığını metin kutularında göstermeyi sağlamaktadır. *Varispec Değerlerini Güncelle* ise varispec filtresini metin kutularında verilen değerlere konumlandırmaktadır.

Görüntüleri alma işlemi *İmgeleri Oluştur* butonuna tıklanması ile elde edilmektedir. Bu butona tıklanmadan önce *Kamera Ayarları* ve *Varispec Ayarları* bölümünde bulunan metin kutuları istenilen şekilde doldurulur. Kamera ayarlarında *Minimum* pozlama süresinin nereden başlayacağını *Maksimum* ise nerede biteceğini gösterir. *Rastgele Alınacak Değer Sayısı* her bir bant için rastgele kaç tane farklı pozlama süresine sahip imge alınacağını belirtmektedir. Burada ayrıca kazanç parametresinin hangi değere konumlanacağı da verilmiştir. Varispec ayarlarında ise *Başlangıç* hangi banttan başlanılacağını *Bitiş* ise hangi banda kadar bu işlemin yapılacağını göstermektedir. Burada ayrıca *Bant Genişliği* ile bant genişliği verilmektedir. Çalışmada bant genişliği 10 nm alınmıştır.

Tüm bu ayarlamalar yapıldıktan sonra *İmgeleri Oluştur* butonu tıklanır ve kısa süre içerisinde istenilen aralıklarda veri seti elde edilmiş olunur. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta varispec elektronik ayarlanabilir filtrenin sıcaklığı 30 dereceyi geçmesi durumunda doğruluk derecesi düşmektedir. Bu nedenle sisteme bir zamanlayıcı eklenmiştir. Bu şekilde her 10 saniyede bir filtrenin sıcaklık değeri kontrol edilmektedir. Eğer eşik değeri geçilmişse görüntü alımı durdurulmaktadır.

4.2. İmgelerden Özniteliklerin Çıkarılması

Kaliteli bir görüntü genellikle imgenin histogramına bakılarak elde edilmektedir. Şekil 4.3'deki arayüz kullanılarak önerilen yöntem için öznitelikler (ortalama, standart sapma, basıklık, çarpıklık ve entropi) çıkarılmıştır. Elde edilen bu öz nitelikler YSA'nın girdi katmanını oluşturmaktadır.



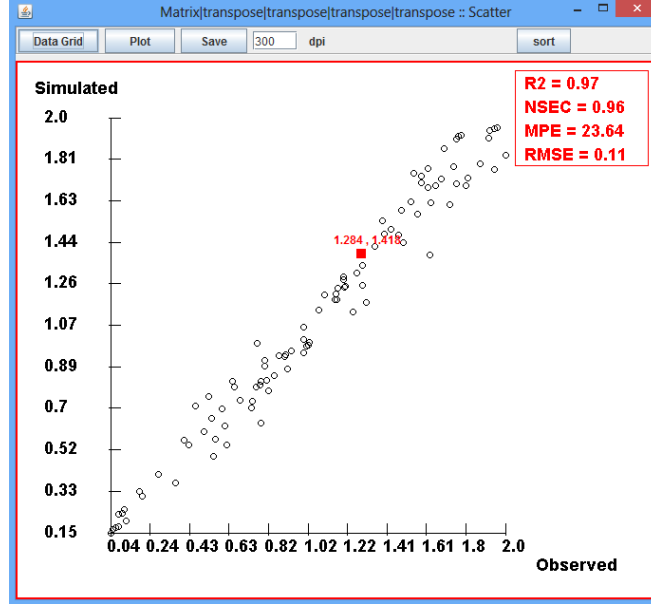
Şekil 4.3. Geliştirilen Öznitelik Çıkarımı Ara yüzü

Veri seti oluşturulduktan sonra ‘0’ en düşük pozlamayı, ‘1’ doğru pozlamayı ve ‘2’ en aşırı pozlamayı gösterecek şekilde iki alan uzmanı tarafından imgelerin pozlama kalitesini 0-2 aralığında reel sayılarla puanlanması istenmiştir. Bu değerler kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının çıktı katmanını oluşturmaktadır.

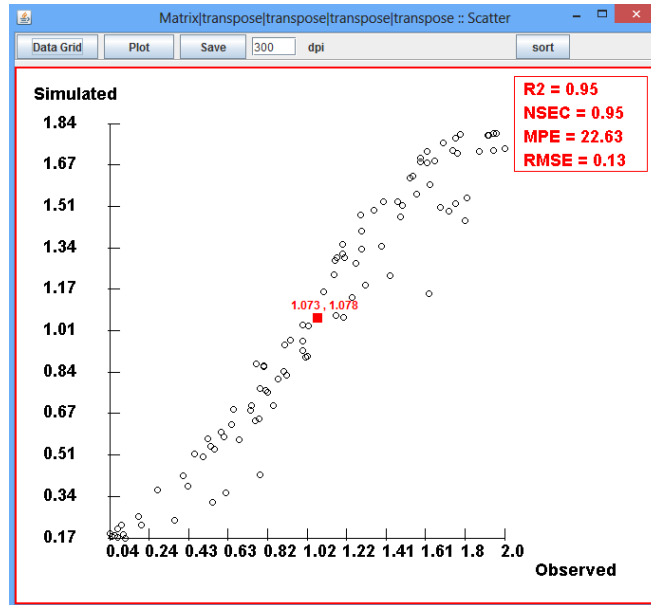
4.3. Makine Öğrenmesi Algoritmasının Belirlenmesi

Bu bölümde, YSA’nın hata yayma modeli veya geriye yayılım modeli olarak ta bilinen Çok Katmanlı Algılayıcı Ağ Modeli, REPTree ve Doğrusal Regresyon algoritmaları kullanılarak sistemin performansı test edilmiştir. Problemi en çok temsil eden algoritma kullanılarak gerçek zamanlı pozlamayı düzelten uygulama geliştirilmiştir. Tüm çalışmanın tek platformda yapılması hedeflendiğinden uygulama Java programlama dilinde gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılımda ayrıca açık kaynak kodlu WEKA [72] ve Open Cezeri Library (OCL) [73] kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Çalışmada gerekli olan

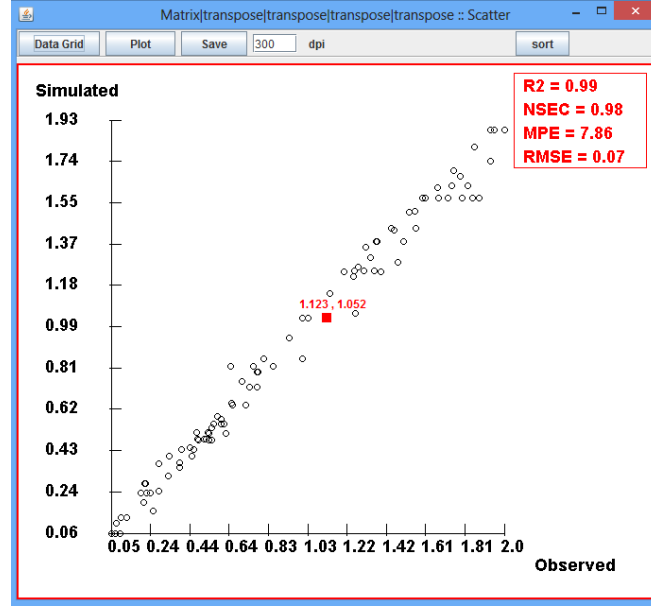
parametreler (iterasyon sayısı, momentum katsayısı, öğrenme oranı ve aktivasyon fonksiyonu) için WEKA programında önceden tanımlı değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.4. ÇKA gözlem ve tahmin değerleri serpilme (scatter) grafiği



Şekil 4.5. Doğrusal Regresyon gözlem ve tahmin değerleri serpilme grafiği



Şekil 4.6. REPTree gözlem ve tahmin değerleri serpilme grafiği

Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6’da 10 kat çapraz doğrulama testi yapılarak, sırasıyla ÇKA, Doğrusal Regresyon ve REPTree Algoritmaları kullanılarak çeşitli başarı kriterlerine (R2, NSEC vb.) göre çalışmanın performansı, serpilme grafiği olarak gösterilmektedir. Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ’da X eksenini gözlem değerlerini Y eksenini ise tahmin değerlerini belirtir. Test sonucunda her bir algoritma için Denklem 5.1 ve Denklem 5.2 kullanılarak, kullanılan girdi değişkenleri ile pozlama durumu arasındaki korelasyon katsayısı, ortalama mutlak hata ve model oluşum zamanı Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde elde edilen değerler ağın genelleştirme kapasitesinin ne kadar iyi olduğuna işaret eder.

$$\text{Korelasyon katsayısı} = \frac{\sum_{i=1}^N (g_i - \bar{g})(t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (g_i - \bar{g})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}} \quad (4.1)$$

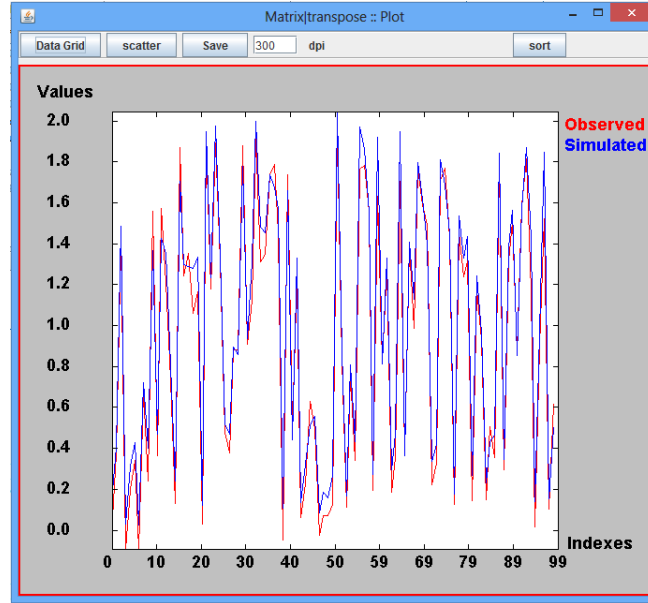
Denklem 4.1’de N örnek sayısını, g_i ve t_i sırasıyla gözlem ve tahmin değerlerini $\bar{g}$ ve $\bar{t}$ ise gözlem ve tahmin değerlerinin ortalamasını göstermektedir.

$$\text{Ortalama mutlak hata} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |g_i - t_i| \quad (4.2)$$

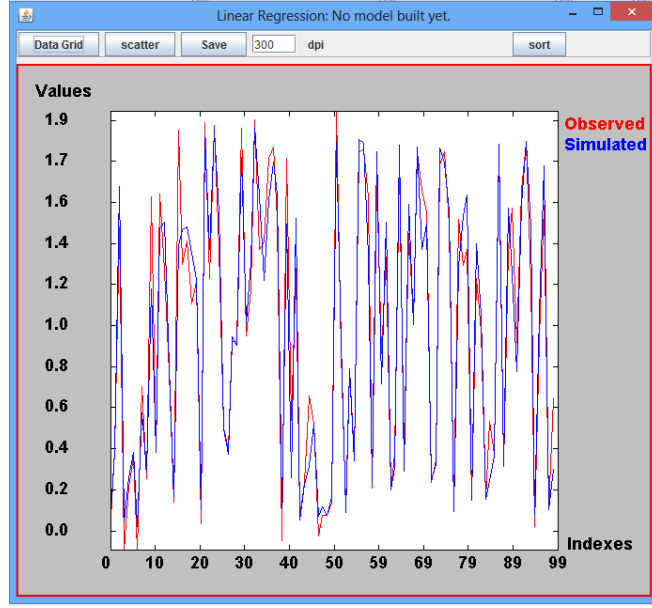
Denklem 4.2’de N örnek sayısını, g_i gözlem değerini t_i ise tahmin değerini göstermektedir.

Tablo 4.2. Sınıflandırıcıların korelasyon katsayısı, ortalama mutlak hata ve model oluşum zamanı

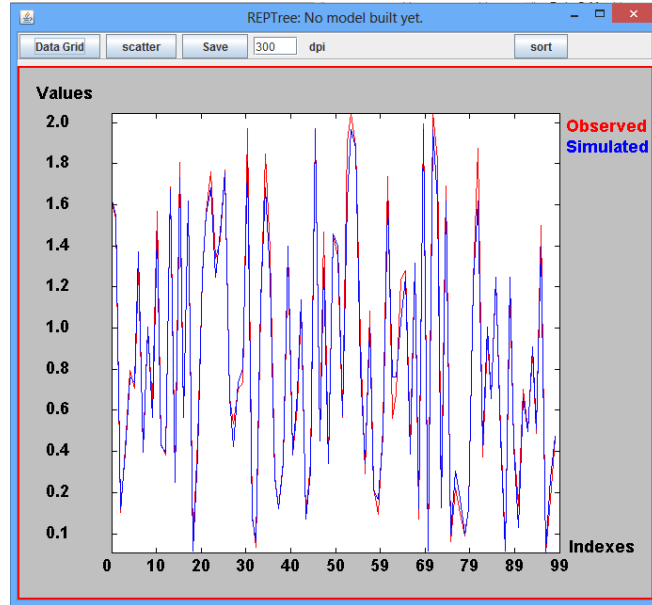
Sınıflandırıcı	Korelasyon Katsayısı (%)	Ortalama Mutlak Hata (%)	Model Oluşum Zamanı (saniye)
Doğrusal Regresyon	95.34	9.42	0.03
REPTree	99.18	6.18	0.03
Çok Katmanlı Algılayıcı	97.12	7.96	0.36



Şekil 4.7. ÇKA gözlem ve tahmin eğrileri



Şekil 4.8. Doğrusal Regresyon gözlem ve tahmin eğrileri



Şekil 4.9. REPTree gözlem ve tahmin eğrileri

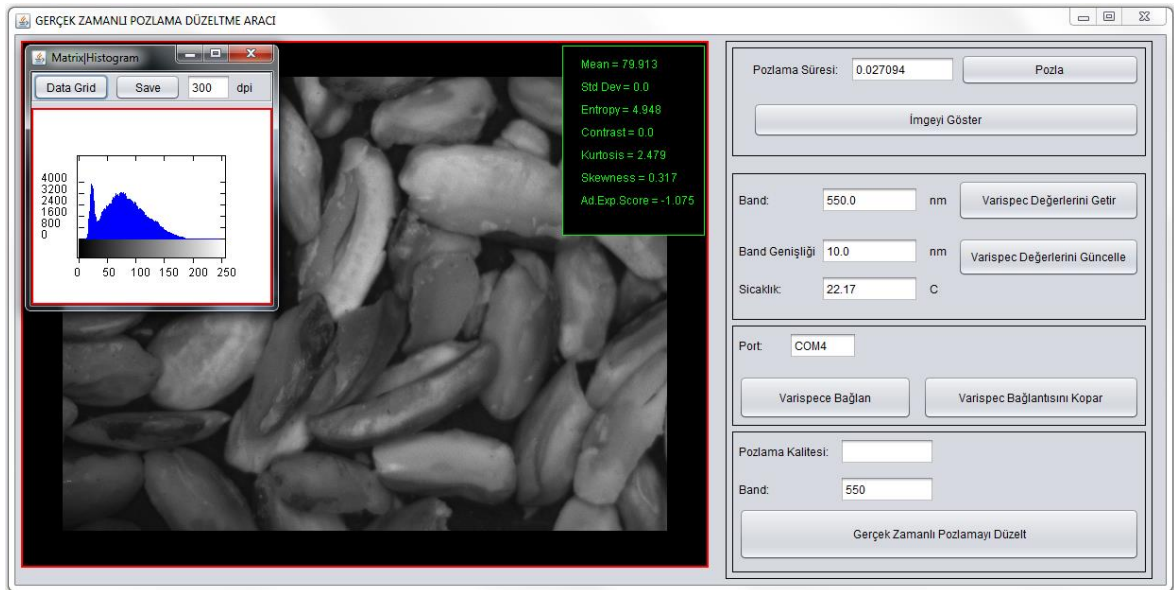
Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9’da ise sırasıyla ÇKA, Doğrusal Regresyon ve REPTree algoritmaları kullanılarak elde edilen gözlem ve tahmin eğrileri verilmiştir. Grafiklerde X eksenini örnekleri Y eksenini ise pozlama değerlerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde

incelenen algoritmaların pozlama durumunu tespit etmede ne kadar başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

ÇKA, Doğrusal Regresyon ve REPTree algoritmaları kullanılarak elde edilen serpilme grafikleri, gözlem ve tahmin eğrileri ve Tablo 4.2’deki korelasyon katsayısı ve ortalama mutlak hata değerleri incelendiğinde REPTree algoritmasının diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle çalışmanın devamında, otomatik pozlama düzeltmek için REPTree algoritması temel alınacaktır.

4.4. Otomatik Pozlama Düzeltme

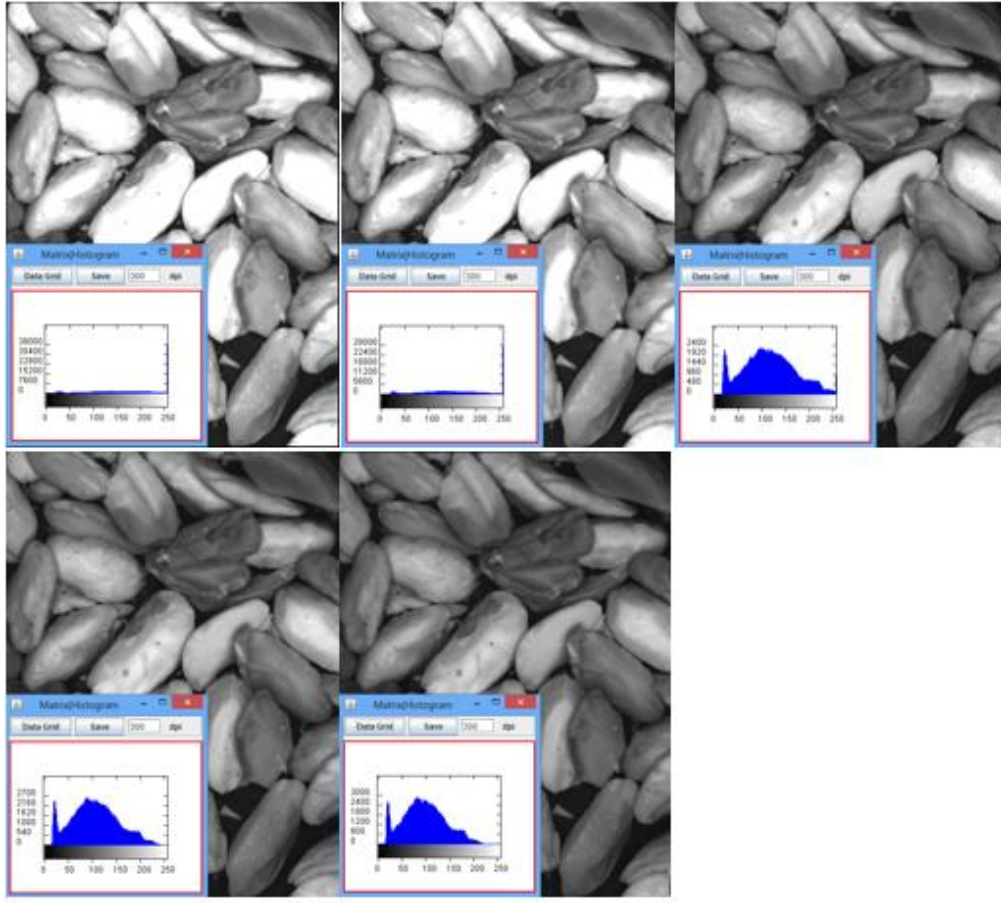
Burada öğrenmiş REPTree algoritması kullanılarak istenilen bir bant için pozlama durumu en iyi olan imgeyi bulmaya çalışan bir uygulama geliştirilmiştir.



Şekil 4.10. Gerçek zamanlı pozlama düzeltme ara yüzü

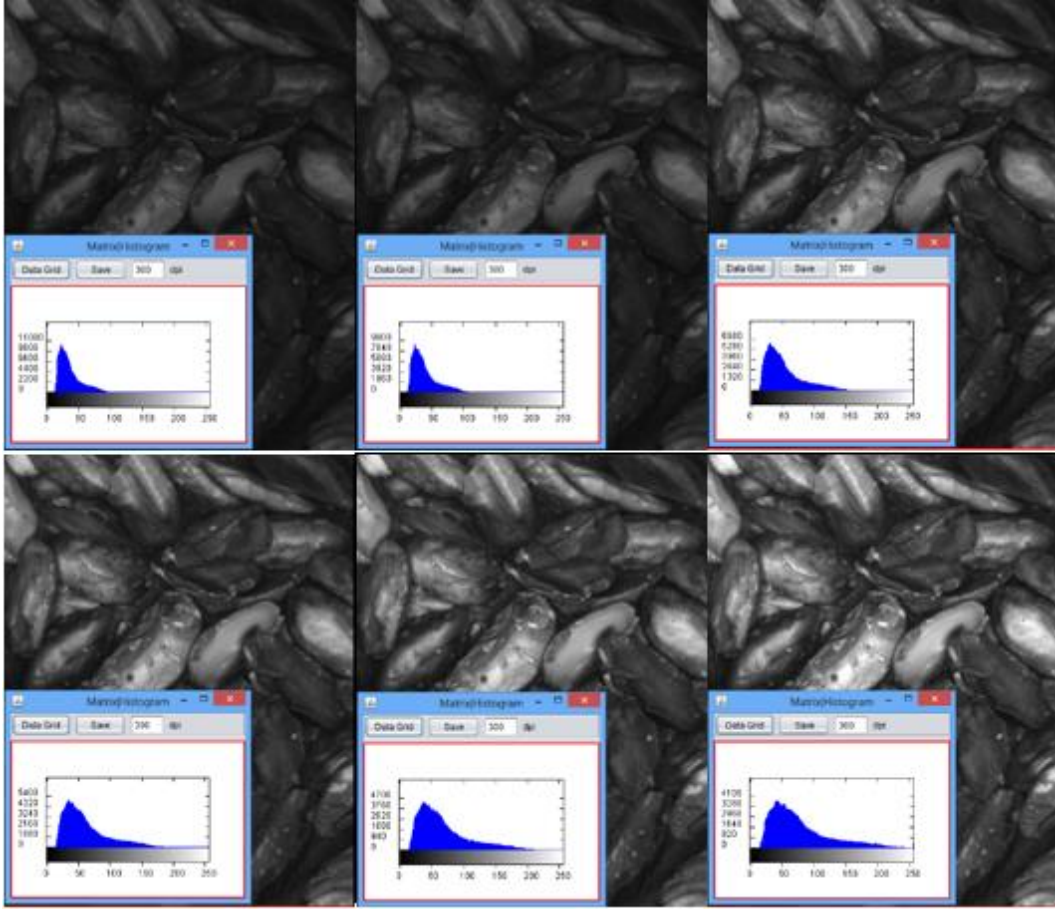
Şekil 4.10’ da gerçek zamanlı olarak hiperspektral bantlarda pozlama düzeltmeyi sağlayan uygulamanın ara yüzü gösterilmiştir. Geliştirilen sistem, kendi içerisindeki döngü mekanizması ile ideal pozlama süresini bulmaya çalışmaktadır. Şekil 4.10’da *Gerçek Zamanlı Pozlamayı Düzelt* butonu tıklandığında girilen bant değeri için en uygun pozlama süresine sahip imge belirlenmekte ve istenilen konuma kaydedilmektedir. Geliştirilen döngü mekanizması şu şekilde çalışmaktadır.

- Adım değerini belirle (ilgili banttın minimum ve maksimum pozlama sürelerinin farkını n parçaya bl ($n=10$))
- İlgili bant için Ortalama Pozlama Süresini (OPS) belirle
- OPS, OPS-adım, OPS+ adım değerlerinde imgeler al
- REPTree algoritmasını temel alarak pozlama kalitesini belirle
- Eğer OPS'de pozlama kalitesi en yüksek ise imgeyi kaydet ve uygulamayı sonlandır.
- Aksi takdirde aşağıdaki adımları tekrarla
 - OPS- adım ve OPS+ adım' deki pozlama kalitelerini karşıla
 - Pozlama kalitesinin yüksek olduğu yönde ilerle
 - Her aşamada adım sayısını arttır ve bir önceki imgenin pozlama kalitesi ile karşılaştır.
 - Pozlama kalitesinin düşüşe geçtiği noktada belirlenen en son yüksek kalitedeki imgeyi kaydet ve programı sonlandır.



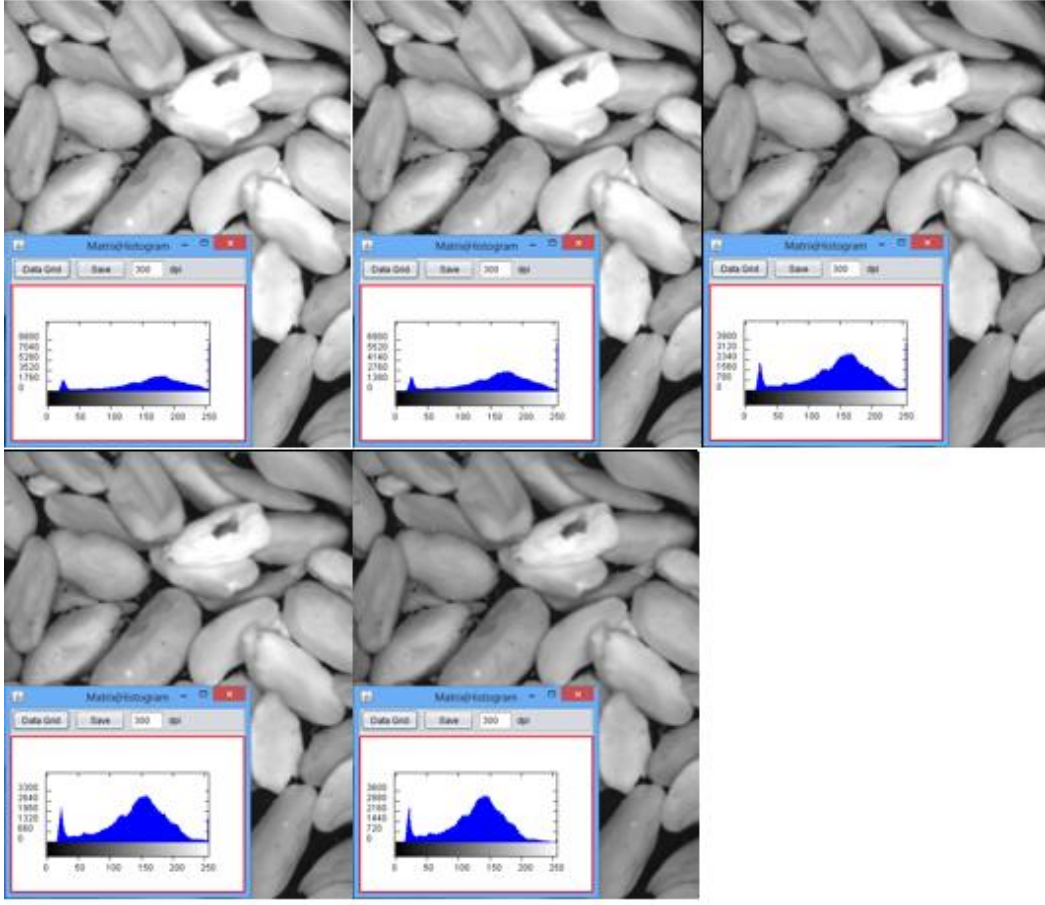
Şekil 4.11. 600 nm bantlı için programın ürettiği imgeler

Şekil 4.11’de geliştirilen gerçek zamanlı pozlama düzeltme uygulamasının 600 nm bandı için çıktıları verilmiştir. İmgeler incelendiğinde başlangıçta aşırı pozlanma meydana gelmiş ve pozlama süresi düşürülerek pozlama durumu iyileştirilmiştir. Şekil 4.11’de sağ alttaki imge uygulamanın çıktısıdır.



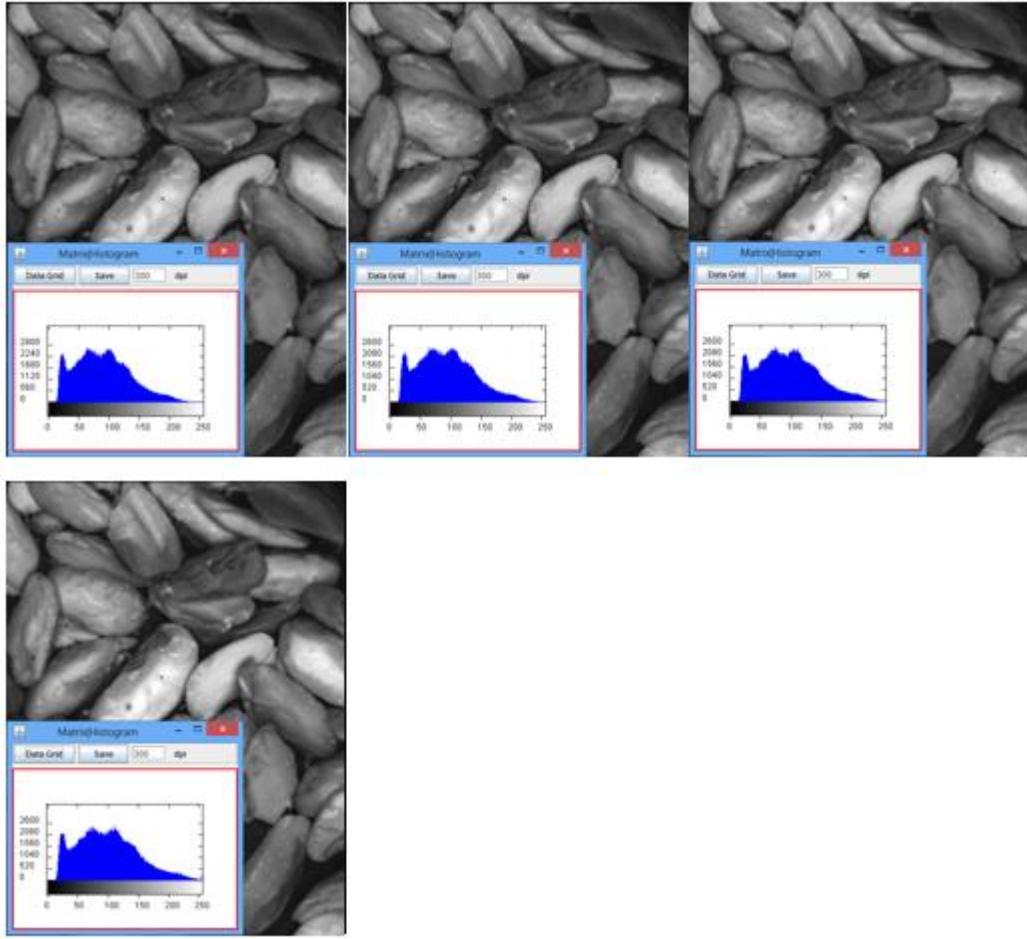
Şekil 4.12. 450 nm bandı için programın ürettiği imgeler

Şekil 4.12’de 450 nm bandı için programın ürettiği çıktıları verilmiştir. İmgeler incelendiğinde başlangıçta düşük pozlanma meydana gelmiş ve pozlama süresi artırılarak pozlama durumu iyileştirilmiştir. Şekil 4.12’de sağ alttaki imge uygulamanın çıktısıdır.



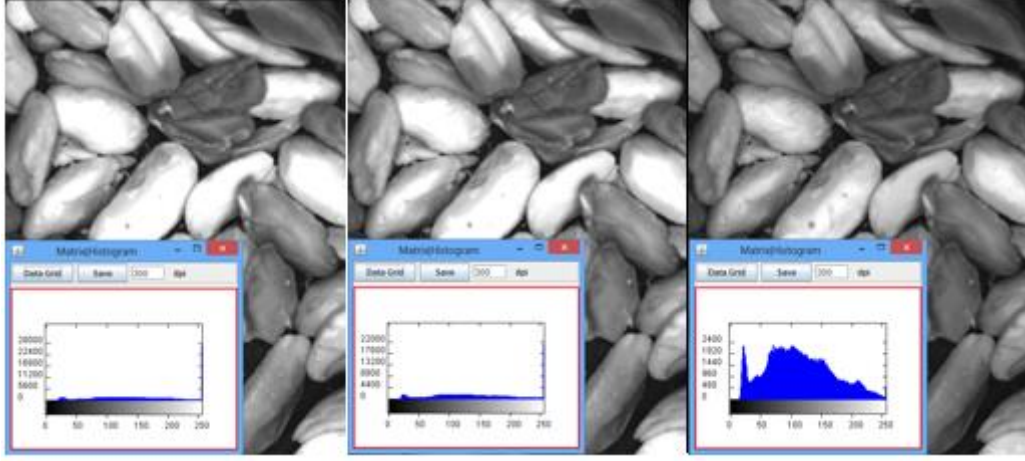
Şekil 4.13. 700 nm bandı için programın ürettiği imgeler

Şekil 4.13’de 700 nm bandı için programın ürettiği çıktıları verilmiştir. İmgeler incelendiğinde başlangıçta aşırı pozlanma meydana gelmiş ve pozlama süresi düşürülerek pozlama durumu iyileştirilmiştir. Şekil 4.13’de sağ alttaki imge uygulamanın çıktısıdır.



Şekil 4.14. 540 nm bandı için programın ürettiği imgeler

Şekil 4.14 540 nm bandı için geliştirilen yazılımın ürettiği çıktılar gösterilmiştir. Başlangıçta alınan imgede az da olsa düşük pozlama meydana gelmiştir. Geliştirilen yazılımla pozlama süresi arttırılarak imgenin pozlaması düzeltilmiştir. Şekil 4.14’de alttaki imge uygulamanın çıktısıdır.



Şekil 4.15. 650 nm bandı için programın ürettiği imgeler

Şekil 4.15’de 650 nm bandı için uygulamanın çıktıları verilmiştir. İmgeler incelendiğinde başlangıçta aşırı pozlama meydana gelmiş ve pozlama süresi düşürülerek pozlama düzeltilmiştir. En sağdaki imge uygulamanın çıktısıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında hiperspektral görüntülemeye önemli bir konu olan düşük ve aşırı pozlama problemi irdelenmiştir. Bu kapsamda, hem kullanıcı hem de endüstriyel kameralarda doğru pozlanmış bir görüntü elde etmek kullanılan standartlar incelenmiştir. Ancak kameralarda kullanılan bu standartlar her ne kadar başarılı olsalar da hiperspektral görüntülemeye zayıf kaldıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle mevcut imge üzerinde pozlama düzeltme işlemine başvurulmuştur. Bu işlem için kullanılan görüntü işleme tabanlı teknikler araştırılmış ve hiperspektral imgeler üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her ne kadar imgelerin pozlanması belli bir miktarda düzelmiş olsa da imgelerde bilgi kayıplarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Hiperspektral görüntülemeye bilginin en iyi düzeyde korunması gerekmektedir. Bu nedenle bilgi kaybı olmadan gerçek zamanlı olarak otomatik pozlama işlemini makine öğrenmesi tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir.

Yapılan çalışmada alınan görüntülerin dış ortamdaki ışık kaynaklarından etkilenmemesi için bir görüntü alım sistemi (kara kutu) tasarlanmıştır. Görüntü alım sistemi endüstriyel kamera, varispec elektronik ayarlanabilir filtre, ışık kaynakları (uv, halojen, xenon ve led) ve Siirt fıstığı numunesini barındırmaktadır.

Geliştirilecek yazılımın her platformda çalışması hedeflendiğinden uygulama java programlama dilinde gerçekleştirilmiştir. Hiperspektral bantta görüntü alınacağı zaman ilk başta varispec elektronik ayarlanabilir filtrenin ilgili banda konumlandırılması ve endüstriyel kameranın pozlama süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemin yapılabilmesi için java programlama dilinde Netbeans 8.0.2 IDE'si kullanılarak iki arayüz yazılmıştır. JNA kullanılarak bu iki arayüz üzerinden cihazlara erişim sağlanmıştır.

Makine öğrenmesi aşamasında gerekli veri setinin oluşturulması için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımın amacı manuel olarak görüntü alımının zor, zaman alıcı ve problemler oluşturmasıdır. Bu kısımda 10 nm aralıklarla 400-720 nm arasındaki hiperspektral bantlarda ve her bantta rastgele belirlenen 30 farklı pozlama süresi ile imgeler elde edilmiştir. Pozlama süresi her hiperspektral bantta pozlama kalitesine farklı oranda etki ettiğinden minimum ve maksimum pozlama sürelerini içeren bir başvuru çizelgesi hazırlanmıştır. Rastgele alınan pozlama süreleri, ilgili hiperspektral bant için belirlenen

minimum ve maksimum pozlama süreleri arasında alınmaktadır. Geliştirilen bu yazılım sonucunda toplamda 990 imgeden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur.

Yapılan araştırmalar sonucunda pozlama kalitesini temsil edebilecek öz nitelikler belirlenmiştir. Aynı platformda hazırlanan bir arayüzle elde edilen imgelerden belirlenen öz nitelikler çıkarılmıştır. Daha sonra, 0 en düşük pozlamayı, 1 doğru pozlamayı ve 2 en aşırı pozlamayı gösterecek şekilde iki alan uzmanı tarafından imgelerin pozlama kalitesi 0-2 reel aralığında puanlandırılmıştır. Devamında değerlerin ortalaması alınarak veri seti arff dosya formatına dönüştürülmüştür.

Veri seti oluşturulduktan sonra, problemi en iyi temsil edecek makine öğrenmesi algoritmasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu bölümde Çok Katmanlı Algılayıcı, REPTree ve Doğrusal Regresyon algoritmaları kullanılarak sistemin performansı test edilmiştir. 10 kat çapraz doğrulama yapılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde REPTree algoritmasının diğer algoritmalarla göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, REPTree algoritması temel alınarak geliştirilen gerçek zamanlı otomatik pozlama düzeltme arayüzü ile imgelerde bilgi kaybı olmadan istenilen hiperspektral bant için en yüksek pozlama kalitesine sahip imge bulunmuştur.

Bu tez çalışması sonucunda geliştirilen sistem, ışık kaynağının değişmesi, ışık kaynağının şiddetinin değişmesi ya da kamera parametrelerinin değişmesi (yakınlaştırma, uzaklaştırma vb.) durumunda bile ilgili hiperspektral bant için en yüksek kaliteye sahip imgeyi bulabilecek adaptif bir yapıya sahiptir. Geliştirilen sistem, hiperspektral görüntüleme ile çeşitli gıda ürünlerinde (fıstık, badem vb.) meydana gelen aflatoksin tespit edilmesi gibi çalışmalarda çok hızlı bir şekilde veri seti oluşturma ve değerlendirme işlemlerinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Wang, Y., Zhuo, S., Tao, D., Bu, J. and Li, N.,** 2013. Automatic local exposure correction using bright channel prior for under-exposed images, *Signal Processing*, **93**, 3227-3238.
- [2] **Gonzalez, R.C. and Woods, R.E.,** 2001. *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., Boston, USA.
- [3] **Pizer, S.M., Amburn, E.P., Austin, J.D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., Romeny, B.T.H. and Zimmerman, J.B.,** 1987. Adaptive histogram equalization and its variations, *Journal Computer Vision, Graphics and Image Process*, **39**, 355–368.
- [4] **Durand, F. and Dorsey, J.,** 2002. Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images, *ACM Transactions on Graphics*, **21**, 257–266.
- [5] **Shen, J., Fang, S., Zhao, H., Jin, X. and Sun, H.,** 2009. “Fast approximation of trilateral filter for tone mapping using a signal processing approach”, *Signal Processing*, **89**, 901–907.
- [6] **Ashikhmin, M.,** 2002. A tone mapping algorithm for high contrast images, In *Proceedings of the 13th Eurographics workshop on Rendering*, Eurographics Association, 145–156.
- [7] **Mukherjee, J. and Mitra, S.K.,** 2008. Enhancement of color images by scaling the DCT coefficients, *IEEE Transactions on Image Processing*, **17**, 1783–1794.
- [8] **Drago, F., Myszkowski, K., Annen, T., and Chiba, N.,** 2003. Adaptive logarithmic mapping for displaying high contrast scenes, *Computer Graphics Forum*, **22**, 419–426.
- [9] **Mertens, T., Kautz, J. and Reeth, F.V.,** 2009. Exposure fusion: a simple and practical alternative to high dynamic range photography, *Computer Graphics Forum*, **28**, 161–171.
- [10] **Battiato, S., Castorina, A. and Mancuso, M.,** 2002. High-dynamic-range imaging for digital still camera, *International Society for Optics and Photonics*, April, 324-335.
- [11] **Battiato, S., Bosco, A., Castorina, A., and Messina, G.,** 2004. Automatic image enhancement by content dependent exposure correction, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 1849–1860.
- [12] **Guo, D., Cheng, Y., Zhuo, S. and Sim, T.,** 2010. Correcting over-exposure in photographs. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 13-18 June 2010, 515-521.

- [13] **Parker, Fred.**, 1995-2013, The ultimate exposure computer an exposure guide for professional and advanced nature photographers, <http://www.fredparker.com/ultexp1.htm#Light%20Intensity%20Chart>, 21.10.2015.
- [14] **Ataş, M., Yardimci, Y. and Temizel, A.**, 2012. A new approach to aflatoxin detection in chili pepper by machine vision, *Computers and electronics in agriculture*, **87**, 129-141.
- [15] **Rahman, Z. U., Jobson, D. J. and Woodell, G. A.**, 2004. Retinex processing for automatic image enhancement, *Journal of Electronic Imaging*, **13**, 100-110.
- [16] **Sobol, R.**, 2004. Improving the Retinex algorithm for rendering wide dynamic range photographs, *Journal of Electronic Imaging*, **13**, 65-74.
- [17] **Meylan, L. and Süsstrunk, S.**, 2006. High dynamic range image rendering with a retinex-based adaptive filter. *Image Processing, IEEE Transactions on*, **15**, 2820-2830.
- [18] **Fattal, R., Lischinski, D. and Werman, M.**, 2002. Gradient domain high dynamic range compression, In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, **21**, 249-256.
- [19] **Duan, J., Bressan, M., Dance, C. and Qiu, G.**, 2010. Tone-mapping high dynamic range images by novel histogram adjustment, *Pattern Recognition*, **43**, 1847-1862.
- [20] **Mertens, T., Kautz, J. and Van Reeth, F.**, 2007. Exposure fusion, *Computer Graphics and Applications, PG '07. 15th Pacific Conference*, October 29 -November 2 2007, 382-390.
- [21] **Song, M., Tao, D., Chen, C., Bu, J., Luo, J. and Zhang, C.**, 2012. Probabilistic exposure fusion, *Image Processing, IEEE Transactions on*, **21**, 341-357.
- [22] **Tico, M., Gelfand, N. and Pulli, K.**, 2010. Motion-blur-free exposure fusion, In *Image Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on*, September 2010, 3321-3324.
- [23] **Gonzalez, R. C. and Woods, R. E.**, 2007. *Digital image processing 3rd edition*, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.
- [24] **Russ, J., C.**, 1999, *The image processing handbook*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- [25] **McAndrew, A.**, 2004. *An introduction to digital image processing with matlab notes for scm2511 image processing, school of computer science and Mathematics, Victoria university of technology*, 1-264.
- [26] **Johnson, S.**, 2006. *Stephen Johnson on digital photography*, O'Reilly Media, Inc.

- [27] **Gonzales, R.C. and Woods, R.E.**, 1992. Digital Image Processing, Second Edition, Addison-Wesley Longman Publishing Co., USA.
- [28] <http://www.johndcook.com/blog/2009/08/24/algorithms-convert-color-grayscale/>
Three algorithms for converting color to grayscale 09.11.2015
- [29] **Young, I. T., Gerbrands, J. J. and Van Vliet, L. J.**, 2002. Fundamentals of image processing, Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- [30] **Jafar, I. and Ying, H.**, 2007. A new method for image contrast enhancement based on automatic specification of local histograms, International Journal of Computer Science and Network Security, 7, 1-10.
- [31] **Ketcham, D. J.**, 1976. Real-time image enhancement techniques, In Image processing International Society for Optics and Photonics, July 1976, 120-125.
- [32] **Kahraman, F., Kurt, B. and Gökmen, M.**, 2005. Active appearance model based face recognition, In Signal Processing and Communications Applications Conference, Proceedings of the IEEE 13th, May 2005, 483-486.
- [33] **Yaman, K., Sarucan, A., Atak, M., ve Aktürk, N.** 2001. Dinamik çizelgeleme için görüntü işleme ve arama modelleri yardımıyla veri hazırlama, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 16, 19-40.
- [34] **Zhu, H., Chan, F. H. and Lam, F. K.**, 1999. Image contrast enhancement by constrained local histogram equalization, Computer Vision and Image Understanding, 73, 281-290.
- [35] **Zimmerman, J. B., Pizer, S. M., Staab, E. V., Perry, J. R., McCartney, W. and Brenton, B. C.**, 1988. An evaluation of the effectiveness of adaptive histogram equalization for contrast enhancement, Medical Imaging, IEEE Transactions on, 7, 304-312.
- [36] **Rajadnya, K. and Talele, K.T.**, 2006. Image enhancement techniques pixel operation in spatial domain, Proc. of SPIT-IEEE Colloquium and International Conference, July 9 - 16, 2006, Venice – Italy, 178-180.
- [37] **Chen, S. D. and Ramli, A. R.**, 2003. Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation, Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 49, 1301-1309.
- [38] **Shashua, A. and Riklin-Raviv, T.**, 2001. The quotient image: Class-based re-rendering and recognition with varying illuminations, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 23, 129-139.
- [39] **Bellanger, M.**, 2000. Digital Processing of Signal: Theory and Practice, John Wiley and Sons, USA.

- [40] **Young, I. T., Gerbrands, J. J. and Van Vliet, L. J.,** 1988. Fundamentals of image processing, Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- [41] **Qidwai, U. and Chen, C. H.,** 2009. Digital image processing: an algorithmic approach with MATLAB, CRC press.
- [42] **Kamarainen, J. K., Kyrki, V. and Kälviäinen, H.,** 2006. Invariance properties of Gabor filter-based features-overview and applications, Image Processing, IEEE Transactions on, 15, 1088-1099.
- [43] **Shannon, C. E.,** 1948. A mathematical theory of communication, bell System technical Journal, 27, 379-423 and 623-656.
- [44] **Caudill, M.,** 1987. Neural networks primer, part I. AI expert, 2, 46-52.
- [45] **Abd-Elkader, A. G., Allam, D. F. and Tageldin, E.,** 2014. Islanding detection method for DFIG wind turbines using artificial neural networks, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 62, 335-343.
- [46] **Alpaydin E.,** 2004. Introduction to machine learning, The MIT Press, Cambridge, London, England.
- [47] **Hamed, M. M., Khalafallah, M. G. and Hassanien, E. A.,** 2004. Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural networks, Environmental Modelling and Software, **19** , 919-928.
- [48] **Ata, R.,** 2015. Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review. Renewable and sustainable energy reviews, **49**, 534-562.
- [49] **Khadem, A. and Hossein-Zadeh, G. A.,** 2014. Estimation of direct nonlinear effective connectivity using information theory and multilayer perceptron, Journal of neuroscience methods, **229**, 53-67.
- [50] **Maimon, O. and Rokach, L.,** 2010. Data Mining and Knowledge Discovery Handbook, Springer Science+ Business Media, New York, USA.
- [51] **Gehrke, J.,** 2003. Decision Trees, The Handbook of Data Mining pp. 149-175, Eds. Nong Ye, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, London.
- [52] **Zhao, Y. and Zhang, Y.,** 2008. Comparison of decision tree methods for finding active objects, Advances in Space Research, **41**, 1955-1959.
- [53] **Kothari, R. A. V. I. and Dong, M. I. N. G.,** 2001. Decision trees for classification: A review and some new results, Pattern Recognit, **171**, 169-184.
- [54] **Quinlan, R. C.,** 1993. 4.5: Programs for machine learning Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, USA.

- [55] **Iba, W. and Langley, P.**, 1992. Induction of one-level decision trees, InProceedings of the ninth international conference on machine learning, San Francisco, CA, USA, 233-240.
- [56] **Domingos, P. and Hulten, G.**, 2000. Mining high-speed data streams, InProceedings of the sixth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, Boston, MA, USA, August 20 - 23 2000,71-80.
- [57] **Landwehr, N., Hall, M. and Frank, E.**, 2005. Logistic model trees, Machine Learning, **59**, 161-205.
- [58] **Breiman, L.**, 2001. Random forests, Machine learning, **45**, 5-32.
- [59] **Fan, W., Wang, H., Yu, P. S. and Ma, S.**, 2003. Is Random Model Better? On Its Accuracy and Efficiency, The Third IEEE International Conference on Data Mining, Melbourne, Florida, USA, November 19 - 22, 2003, 51-58.
- [60] **Zhao, Y. and Zhang, Y.**, 2008. Comparison of decision tree methods for finding active objects, Advances in Space Research, **41**, 1955-1959.
- [61] **Oğuzlar, A.**, 2004. Cart Analizi İle Hane halkı İşgücü Anketi Sonuçlarının Özetlenmesi, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, **18**, 3-4.
- [62] **Witten, I. H. and Frank, E.**, 2005. Data Mining: Practical machine learning tools and techniques, Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA.
- [63] **Quinlan, J. R.**, 1987. Simplifying decision trees, International journal of man-machine studies, **27**, 221-234.
- [64] **Zhao, Y. and Zhang, Y.**, 2008. Comparison of decision tree methods for finding active objects, Advances in space research, **41**, 1955-1959.
- [65] **Özdamar, K.**, 2004. Paket programlar ve istatistiksel veri analizi, Kaan Yayınları, ETAM matbaası, Eskişehir.
- [66] http://www.frekans.com.tr/tr_analizler.html İstatistiki Analizler 27.10.2015
- [67] **Freedman, D. A.**, 2009. Statistical models: theory and practice, cambridge university press, England.
- [68] **Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J. and Li, W.**, 2005. Applied linear statistical models, McGraw-Hill Irwin Companies inc, New York.
- [69] **Weisberg, S.**, 2005. Applied linear regression, John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

- [70] **Alma, Ö. G. ve Vupa, Ö.**, 2008. Regresyon analizinde kullanılan en küçük kareler ve en küçük medyan kareler yöntemlerinin karşılaştırılması, SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, **3**, 219-229.
- [71] **Vural, A.**, 2007. Aykırı Değerlerin Regresyon Modellerine Etkileri ve Sağlam Kestiriciler, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [72] **Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P. and Witten, I. H.**, 2009. The WEKA data mining software: an update, ACM SIGKDD explorations newsletter, **11**, 10-18.
- [73] <https://github.com/hakmesyo/open-cezeri-library> Open Cezeri Library 27.10.2015.

ÖZGEÇMİŞ

Yahya DOĞAN 1988 yılında Şırnak’ da doğdu. İlk ve orta öğretimini Konya’da liseyi Batman’da bitirdi. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliğini kazandı. 2009 yılında Bilgisayar Mühendisliği bölümünde çift ana dala başladı. 2011 yılında Endüstri Mühendisliğinden 2012 yılında ise Bilgisayar Mühendisliğinden mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Siirt Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2014 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim dalında yüksek lisans yapma hakkı kazandı. Yüksek lisans eğitimi boyunca TÜBİTAK 1005 ve Siirt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerinde çalıştı. Halen Siirt Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.