

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL TAŞ PLAKALARIN MAKİNE GÖRMESİ İLE
OTOMATİK SINIFLANDIRILMASI**

Sedat METLEK

**Danışman
Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ**

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2015**

© 2015 [Sedat METLEK]

TEZ ONAYI

Sedat METLEK tarafından hazırlanan "**Doğal Taş Plakaların Makine Görmesi ile Otomatik Sınıflandırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Habil KALKAN**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Yrd. Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK**
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Sedat METLEK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. Görüntü İşleme	3
2.1.1. Doku analizinin yapıldığı çalışmalar	4
2.1.2. Doku analizi ile renk analizinin birlikte yapıldığı çalışmalar	5
3. MATERYAL.....	12
3.1. Mercek.....	12
3.1.2. Görüş alanı	12
3.1.3. F-Stop.....	13
3.1.4. Mercek montajı (C-Mount, Cs-Mount)	13
3.2. Kamera	13
3.2.1. Çizgi taramalı kamera çeşitleri	14
3.2.2. Optik mekansal düzeltme.....	17
3.2.3. Yapay mekânsal düzeltme	18
3.3. Sayısal Kodlayıcı.....	19
3.3.1. Mutlak kodlayıcılar.....	19
3.3.2. Artımsal kodlayıcı.....	20
3.4. Aydınlatma Özellikleri	21
3.5. Traverten Doğal Taşlar.....	25
3.6. Motor	26
3.7. Yazılım	27
4. METODLAR.....	28
4.1. Ön İşlemler	28
4.1.1. Gürültü temizleme	28
4.1.2. Eşikleme işlemi.....	29
4.2. Öznitelik Çıkarımı.....	30
4.2.1. Renk analizi	31
4.2.2. Doku analizi.....	42
4.3. Öznitelik Seçimi	44
4.3.1. Uyarlamalı sinir bulanık sınıflayıcının öznitelik seçiminde kullanılması	45
4.3.2. Fisher öznitelik seçimi	46
4.3.3. Pearson öznitelik seçimi	47
4.4. Sınıflandırma	48
4.4.1. Bayes sınıflayıcı.....	49
4.4.2. Uyarlamalı sinir-bulanık sınıflayıcı	50
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	54
5.1. Sistem Kalibrasyonu.....	57
5.2. Algoritmada Kullanılacak Görüntülerin Analiz Edilmesi.....	59
5.3. Gürültü Temizleme ve Eşikleme	59
5.4. Eşikleme İşlemi ile Cismin Yerinin Tespit Edilmesi	65

5.5. Renk ve Doku Analizi ile Öznitelik Çıkarımı	66
5.6. Öznitelik Seçimi	68
5.7. Sınıflandırma	69
5.8. Arayüz	73
6. SONUÇ	75
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	89
EKLER.....	91
EK A. Proje Görüntüleri.....	91
EK B. Kamera ve Görüntü İşleme Kartının Özellikleri	94
EK C. Kameranın Genel Özellikleri.....	98
EK D. Kamera Komutları.....	99

ÖZET

Doktora Tezi

DOĞAL TAŞ PLAKALARIN MAKİNE GÖRMESİ İLE OTOMATİK SINIFLANDIRILMASI

Sedat METLEK

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ

Ülkemizde doğal taş üretiminin en son basamağı olan sınıflandırma ve kalite kontrol işlemleri, seleksiyon işçileri tarafından yapılmaktadır. Üretimin en önemli basamaklarından biri olan bu işlemler, farklı seleksiyon işçileri tarafından farklı görsel değerlendirilmeler ile yapılmaktadır. Böyle bir durumda da objektif bir sınıflandırmadan bahsetmek mümkün değildir. Doğal taş üreticisi firmalar da üretmiş oldukları ürünlerin büyük çoğunluğunu yurt dışına ihraç etmektedir. İhraç edilen ürünlerde sınıflandırma hatalarının olması, ürün siparişlerini ve değerlerini düşürmektedir. Hatta ürün iadesi, müşteri ve itibar kaybı olmaktadır.

Tezde doğal taşların sınıflandırılması için seleksiyon işçileri yerine görüntü işleme algoritmaları ile çalışan bir makine görme sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde endüstriyel kamera, LED aydınlatma, yürüyen bant, endüstriyel bilgisayar, kontrol paneli, soğutma ünitesi bulunmaktadır. Mevcut sistemin otomatik çalışması için MATLAB ortamında yazılımlar geliştirilmiştir.

Tezde YCbCr, OHTA, HSV, YIQ(NTSC), YUV, HSI, HSL, XYZ, DAC, XYZ(d65), LAB, CMY, double(RGB), LUV, CAT02LMS, RGB renk uzaylarından toplamda 176 adet renk özniteliği; yine aynı renk uzaylarından eş oluşum matrislerinden yararlanarak, zıtlık, homojenite, enerji ve entropi doku öznitelikleri de çıkartılmıştır. Çıkartılan bu özniteliklerin hepsi ayırt edici değildir. Hatta bazıları sınıflandırma başarısını düşürmektedirler. Ayırt edici öznitelikleri belirlemek için Fisher ölçütü, Pearson katsayıları, Dilsel Kuvvetli ve Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcısı kullanılmıştır. Seçilen öznitelikler, Bayes ve Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı ile sınıflandırılmıştır. Yapılan testler sonucunda hem öznitelik seçiminde, hem de sınıflandırmada Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcının en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Burdur Bucak y6resine ait 45x45 cm² boyutlarındaki beş ayrı sınıfa ait toplam 100 adet traverten taş plaka, %94 başarı oranıyla sınıflandırılmıştır. Bir taşın resminin alınarak sınıflandırılması ortalama 6 saniye içerisinde gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem, bu sonuçlar ile sanayi ortamında gerçek zamanlı çalışabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: G6r6nt6 işleme, doğal taş sınıflandırma, makine g6rme.

2015, 100 sayfa

ABSTRACT

Dr. Sc. Thesis

AUTOMATIC CLASSIFICATION OF NATURAL STONE PLATE WITH MACHINE VISION Sedat METLEK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electronics and Communication Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bayram CETİŞLİ

In Turkey, classification which is the last step of the natural stone production process is carried out by selection workers. One of the most important stages of the production process is made by different visual evaluations by different selection workers. In that case, it is impossible to indicate this process as an objective classification. Natural stone manufacturers' exports major part of the productions to the other countries. The occurring of classification errors at exported products is decreased the quantity order and value of products. Insomuch that product returns from the costumer, loss of customers or prestige can be done.

In this thesis, the design of an automation system with image processing algorithms for the classification of natural stone instead of selection workers is developed. In the designed system an industrial camera, LED lighting, conveyor belt, industrial computers, control panel, cooling unit is used. Software is developed in MATLAB environment for automatic operation of the system.

In this thesis total 176 colors in the color space YCbCr, OH, HSV, Y (NTSC), YUV, HSI, HSL, XYZ, DAC, XYZ (D65), LAB, CMY, double (RGB), LUV, CAT02LMS, RGB, and owing to the co-occurrence matrix of the same color space contrast, homogeneity, energy and entropy texture features are generated. All of these features are not distinguishing. Even though, some of them decrease the classification performance. Fisher criterion, Pearson Coefficients and Adaptive Neural Fuzzy Classifier with Linguistic Hedges are used to determine the distinctive features. The selected features are classified by Bayes and Adaptive Neural Fuzzy Classifier. Adaptive Neural Fuzzy Classifier gives the best result in both feature selection and classification in result of the test outcome.

In the result of the experiments, success rate of 94% is achieved within the averagely classification time of 3 seconds, for the size of 45x45cm², and five different classes of total 100 travertine stone plates which are found in the local

area of the Burdur Bucak. The system is capable of working in real time applications in the industry with the obtained results.

Keywords: Image processing, classification of natural slap, machine vision.

2015, 100 pages

TEŐEKKÖR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ' ye teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, sonsuz sevgi ve saygı duyduğum aileme çok teőekkr ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 1120167 numaralı "1511 ncelikli Alanlar Projesi" ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teőekkürlerimi sunarım.

Sedat METLEK
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Doğal taş ve seramik sınıflandırma	3
Şekil 2.2. Üç kameralı sistem (Boukouvalas, 1997)	6
Şekil 2.3. Yüzey aydınlatma haritası (Smith vd., 2000)	7
Şekil 2.4. Mekanik sistem (Alajarin vd., 2005)	9
Şekil 3.1. RGB tek çizgili (Vision-docotor, 2014)	14
Şekil 3.2. Çift çizgili (Vision-docotor, 2014)	14
Şekil 3.3. Üç çizgili (Vision-docotor, 2014)	15
Şekil 3.4. Prizmalı 3-CCD / CMOS hat (Vision-docotor, 2014)	15
Şekil 3.5. Prizmalı CCD / CMOS hattın çalışma prensibi (Vision-doctor, 2014)	16
Şekil 3.6. Üç kameranın karşılaştırmalı çalışma prensibi (Xing-Fe, 2013)	16
Şekil 3.7. Pikseller arasındaki boşluk (Teledyne Dalsa)	17
Şekil 3.8. Optik mekânsal düzeltme (Xing-Fe, 2013)	18
Şekil 3.9. sc parametresi (Xing-Fe, 2013)	19
Şekil 3.10. Mutlak tip kodlayıcı	20
Şekil 3.11. Artırımsal kodlayıcı (Meseli, 2011)	21
Şekil 3.12. Özel yapım LED projektörün ışık şiddet eğrisi	22
Şekil 3.13. Sitemde parıltı detektörünün tanımlanması	23
Şekil 3.14. Aydınlık detektörü	23
Şekil 3.15. Kameranın gördüğü noktadaki aydınlık detektörü	24
Şekil 3.16. Armatürlerin yerleştirme pozisyonlarının belirlenmesi	24
Şekil 3.17. Dolgu yapılmış traverten taş	25
Şekil 3.18. Sistemde kullanılan motor	26
Şekil 3.19. Motor sürücüsü ünitesi	26
Şekil 4.1. Medyan filtre (Siyah, 2012)	29
Şekil 4.2. (a) Cismin genel renkli görüntüsü, (b) Görüntüden cismin tespiti	30
Şekil 4.3. RGB renk uzayından, diğer renk uzaylarına dönüşüm	31
Şekil 4.4. RGB renk uzayı	32
Şekil 4.5. UV renk bileşenleri (Taşkın, 2007)	33
Şekil 4.6. HSL renk uzayı (Taşkın, 2007)	35
Şekil 4.7. I ve Q renk bileşenleri(Taşkın, 2007)	35
Şekil 4.8. OHTA renk uzayı (Colantoni, 2011)	37
Şekil 4.9. CIE-XYZ eğrisi (Taşkın, 2007)	37
Şekil 4.10. CIE-XYZ renk uzayı (Colantoni, 2011)	38
Şekil 4.11. CIE-L*a*b* renk uzayı (Colantoni, 2011)	39
Şekil 4.12. CIE-L*u*v* renk uzayı (Colantoni, 2011)	39
Şekil 4.13. CIE-L*c*h renk uzayı (Colantoni, 2011; Şişeci, 2012)	40
Şekil 4.14. XYZ renk uzayı (Colantoni, 2011; Şişeci, 2012)	40
Şekil 4.15. CMYK renk uzayı (Colantoni, 2011)	41
Şekil 4.16. Örnek bir eş oluşum matrisi (Kurtulmuş, 2012)	43
Şekil 4.17. Bir dilsel terime uygulanan dilsel kuvvetlerin farklı p değerleri için yorumları (Cetişli, 2006)	52
Şekil 5.1. Oluşturulması planlanan sistem	55
Şekil 5.2. Rodegon F50 (Qioptiq, 2013)	56
Şekil 5.3. Temel mesafeler (Qioptiq, 2013)	56
Şekil 5.4. Bar tipi aydınlatma (CSS, 2013)	57

Şekil 5.5. Tezde kullanılan traverten sınıflarından örnekler	58
Şekil 5.6. Test kâğıtları	59
Şekil 5.7. D sınıfındaki 10 numaralı örnek	60
Şekil 5.8. Beigpour dönüşümü	61
Şekil 5.9. Beigpour filtrelerinin test sonuçları	62
Şekil 5.10. Görüntüde referans alma	63
Şekil 5.11. Havalandırma sistemi.....	64
Şekil 5.12. Sıvı soğutma sistemi	64
Şekil 5.13. Sıcaklık zaman grafiği	65
Şekil 5.14. Eşikleme işlemi sonucunda cismin tespiti	65
Şekil 5.15. Sistemden alınan görüntüler	66
Şekil 5.16. NTSC renk uzayı	70
Şekil 5.17. Doğal taşlar eşik değeri ile iki ana gruba ayrıldı	71
Şekil 5.18. Kullanıcı grafik ara yüzünde anamenü	73
Şekil 5.19. Kullanıcı grafik ara yüzünde çalışma menüsü	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1. Kameraların kıyaslanması.....	16
Tablo 5.1. Renk değerlerinin ortalaması.....	60
Tablo 5.2. Kullanılan renk uzayları.....	67
Tablo 5.3. Çıkarılan öznitelikler.....	67
Tablo 5.4. Uyarlamalı Bulanık Sinir Sınıflayıcı.....	68
Tablo 5.5. Bayes Sınıflayıcı.....	69
Tablo 5.6. Uyarlamalı sinir bulanık sınıflayıcı test sonuçları.....	71
Tablo 5.7. Bayes sınıflayıcı test sonuçları.....	72
Tablo 5.8. Doğal taşların eğitim ve test sonuçları.....	73

SİMGELER DİZİNİ

CCD	Charge Couble Device
CIE	Uluslararası Aydınlanma Komisyonu (Commission Internationa D'Eclairage-Lightness)
CMYK	Camgöbeği, Eflatun, Sarı, Siyah (Cyan, Magenta, Yellow, Black)
DAC	Dijital analog çevirici (Digital to analog converter)
GSEM	Gri seviye eş oluşum matrisi (Gray Level Co-occurence Matrix)
HSI	Renk özü, Doygunluk, Yoğunluk (Hue, Saturation, Intensity)
HSL	Renk özü, Doygunluk, Işıklılık (Hue, Saturation, Lightness)
HSV	Renk özü, Doygunluk, Değer (Hue, Saturation, Value)
JPEG	Birleşik Fotoğraf Uzmanları Grubu (Joint Photographic Expert Group)
$L^*a^*b^*$	Işıklılık, Kırmızı-Yeşil, Sarı-Mavi
L^*c^*h	Işıklılık, Renk parlaklığı, Renk özü
LED	Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
LMS	Uzun, Orta, Kısa (Long, Medium, Short)
$L^*u^*v^*$	Işıklılık, Doygunluk, Renk özü açısı
LVQ	Kuantalama Örnek Vektörü (Learning Vector Quantization)
MB	Megabyte
NTSC	Ulusal Televizyon Sistemi Komitesi (National Television Standards Committee)
RGB	Kırmızı, Yeşil, Mavi (Red, Green, Blue)
RMSE	Ortalama hata kareleri kökü (Root mean square error)
TRILINEAR	Üç Çizgili Çizgi Taramalı Kamera
XYZ	Işıklılık, Spektral ağırlık eğrileri
YCbCr	Parlaklık, Renk Parlaklığı-Mavi, Renk Parlaklığı-Kırmızı
YIQ	Parlaklık, Faz, Kareleme
YUV	Parlaklık, Renk farkı

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkeler arasında bulunan Türkiye’de yapı sektörü hızlı bir şekilde büyümektedir. Bu büyümeye bağlı olarak, doğal taşa olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye bulunduğu konum itibarı ile de dünyanın en zengin doğal taş rezervlerinin üzerinde yer almaktadır (Eraslan vd., 2008). Yapılan arkeolojik çalışmalardan da anlaşıldığı gibi, binlerce yıl önce doğal taşlardan yapılan eserler günümüze kadar ulaşmayı başarmıştır. Ülkemiz, sahip olduğu bu rezervler ile birlikte, gelişmekte olan makine sanayisi ve üretimde kullandığı teknoloji ile de dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır (Şişeci, 2008).

Dünya da ve ülkemizde doğal taş üreticileri, ürünlerini sınıflandırmak için kenar, çatlak, renk ve doku analizi yapmaktadır. Yapılan analizlerden, renk ve doku analizi diğerlerine göre biraz daha karmaşıktır. Bu karmaşıklığın iki nedeni vardır. İlki yer altından çıkarılan her taşın, deseninin ve renginin diğerleri ile birebir aynı olmamasıdır. Bir başka nedeni de, taş üzerinde bulunan farklı boyutlardaki beyaz renk öbekleri ve bu renk öbeklerin sayısıdır. Taşların üzerinde bulunan beyaz renk öbekleri, taşın bir alt kalitede değerlendirilmesine neden olmaktadır. Bu bölgelerin varlığı ve sayısı, benzer taş plakaların bir araya gelmesi durumunda, taşın estetik güzelliğini de etkilemektedir. Bu nedenle, işletmelerde ileri sayılabilecek teknoloji kullanılmasına rağmen, ürünlerin sınıflandırılması aşamasında seleksiyon işçileri kullanılmaktadır.

Seleksiyon işçilerinin kullanıldığı durumlarda ise bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunlardan ilki kişisel görüş farklılığıdır. Bir seleksiyon işçisi için “A kalite” olan bir numune, farklı bir işçi için “B kalite” olabilmektedir. Böyle bir durumda objektif bir sınıflandırmadan bahsetmek mümkün değildir.

Karşılaşılan bir başka temel sorun da, insan gözünün yapısından kaynaklanmaktadır. Seleksiyon işçilerinin gözleri, benzer renk tonlarını uzun süre baktığında yorulmakta ve renk geçişlerini fark edememektedir. Bu nedenle de yanlış sınıflandırma yapabilmektedirler. Bunların dışındaki bir diğer sorun da gün ışığıdır. Günün farklı saatlerinde farklı ışık miktarı olmasından dolayı, aynı renkteki doğal taş yüzeyleri,

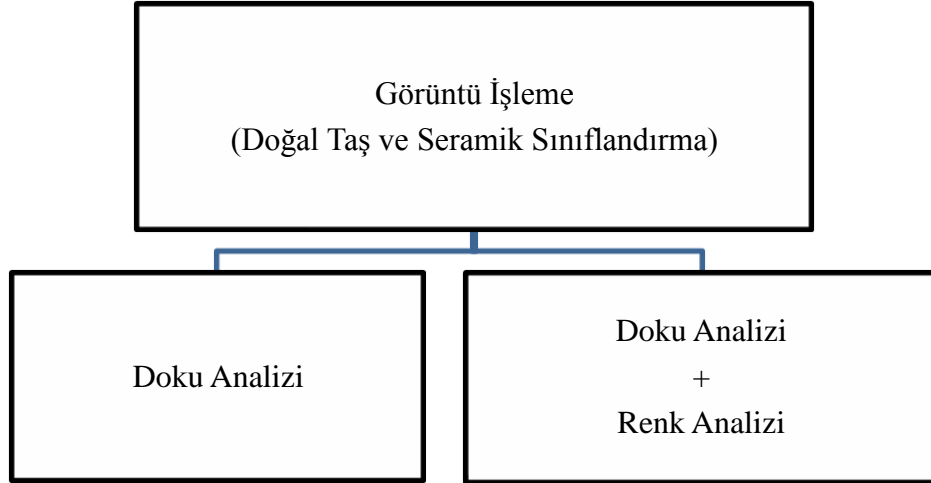
değişik renk tonlarında algılanabilmektedir. Bu durumda da seleksiyon işçileri yanlış kararlar vermektedir.

Bütün bu olumsuzluklardan dolayı yüksek güvenilirlikte, çevresel şartlardan etkilenmeyen, objektif sınıflandırma yapabilecek bir otomasyon sistemine ihtiyaç vardır. Tezin konu ve kapsamı, yukarıda bahsedilen olumsuzlukları ortadan kaldıracak bir otomasyon sisteminin hazırlanmasıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Makine görme sistemleri ile görsel benzerlik taşıyan birçok ürün sınıflandırılabilir. Farklı malzeme gruplarının sınıflandırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin deri (Hoang vd., 1997; Yeh ve Perng, 2001), kumaş (Bennamoun ve Bodnarova, 2003; Semnani ve Sheikhzadeh, 2009; Liang vd., 2012), kağıt (Turtinen vd., 2006; Maldonado ve Graña, 2009) gibi malzemeler, makine görme sistemleri ile sınıflandırılmıştır.

Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak, doğal taş ve seramik sınıflandırma ile ilgili yapılan çalışmaları Şekil 2.1’de gösterildiği iki ana gruba ayırmak mümkündür (Lopez vd. 2010).



Şekil 2.1. Doğal taş ve seramik sınıflandırma

2.1. Görüntü İşleme

Görüntü işleme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalarda genellikle kamera, aydınlatma ve bunların içerisine yerleştirildiği bir kabin kullanılmaktadır. Çalışma prensipleri incelendiğinde ise, ilk olarak kamera vasıtası ile ürünlerin görüntüleri alınmaktadır. Ardından alınan görüntülerden öznitelikler çıkartılmaktadır. Çıkartılan özniteliklerde sınıflandırmada kullanılmaktadır. İncelenen çalışmaların bir kısmında sadece doku analizi yapılırken, bir kısmında da doku analizi ile birlikte renk analizi yapılmıştır. Bu nedenle literatür özetinde iki ayrı grup halinde anlatılmıştır.

2.1.1. Doku analizinin yapıldığı çalışmalar

Doğal taş ve seramik sektörü ile ilgili yapılan literatür araştırmasında, sadece doku analizi kullanılarak yapılan sınıflandırma çalışmaları, geçmişten günümüze doğru aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Deviren vd. (2000) çalışmasında mermer plakaları sınıflandırmıştır. Bunun için, iki mermer plaka üzerindeki damarların bir birine olan uzaklığını belirlemeye çalışmıştır. Çalışmalarında sadece mermer görüntüsündeki damar yoğunluğuna göre bir sınıflandırma yapılmıştır (Deviren vd., 2000).

Carrino vd. (2002), mermer sınıflandırma üzerine çalışmıştır. Sınıflandırma için yaşadıkları Corano bölgesinin özel bir tür mermeri olan Rosa Perlato çeşidini kullanmışlardır. Laboratuvar ortamında hazırladıkları düzenekte, alan taramalı CCD kamera ve 50W'lık halojen bir ışık kaynağı kullanılmışlardır. Çalışmalarında gri seviye renk uzayında, doku özniteliklerini elde etmiş ve elde ettikleri bu öznitelikleri sınıflandırmada kullanmışlardır.

Kurmyshev vd. (2003), çalışmalarında 'Rosa Porri' türündeki granit seramikleri kullanmışlardır. Kullandıkları seramiklerin yüzeyinde bulunan farklı büyüklükteki desenleri kümeleyerek ve bu küme koordinatlarını kullanarak doku analizi yapmışlardır.

Luis Delgado vd. (2003), dalgacık dönüşümü yöntemini kullanarak mermer yüzeylerinin doku analizini yapmıştır. Dislaire vd. (2004), ölçek uzayını kullanarak, Bianconi ve Fernandez (2007) ise kendi geliştirdikleri Gabor filtrelerini kullanarak doku analizi yapmıştır.

Hocenski (2006), yaptığı çalışmada seramikleri sınıflandırmıştır. Seramik yüzeyinden elde ettiği görüntüde, kümeleme yaparak doku analizi yapmıştır. Bu sistemin basit yapısından dolayı çok hızlı çalıştığını iddia etmektedir.

Ar (2008), çalışmasında kamera yerine bir tarayıcı kullanmayı tercih etmiştir. Elinde bulunan 40 adet mermeri tarayarak, görüntülerini bilgisayar ortamına aktarmıştır. Bu

görüntülerde bulunan damar, leke ve burguları tespit etmeye çalışmıştır. Gabor filtrelerini ve bağlantılı bileşen analizini kullanmıştır.

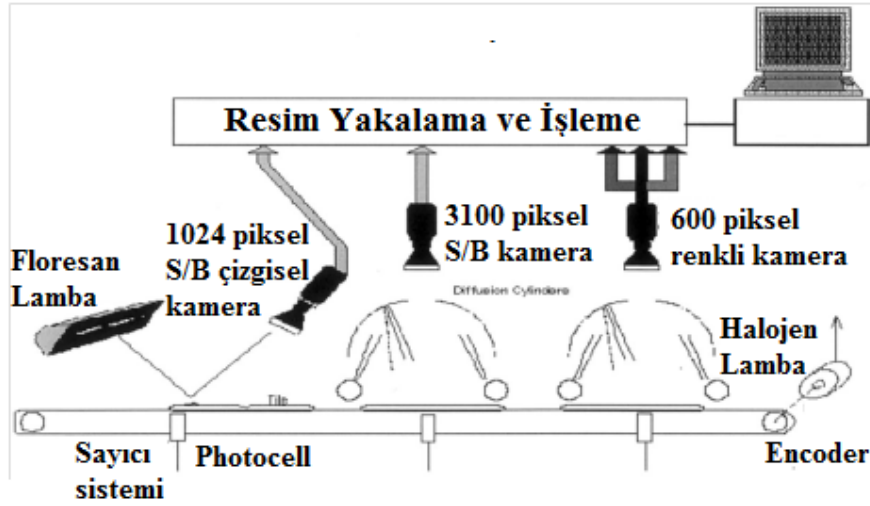
Doğan ve Akay (2010)'da mermer sınıflandırma üzerine yaptıkları çalışmada, toplam fark histogramları ile Adaboost yöntemini kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarının sonuçlarına göre, dört farklı mermer sınıfını yüksek oranda doğrulukla sınıflandırılmışlardır.

Topalova ve Tzakov (2010) seramik sınıflandırması üzerine çalışmıştır. Seramik yüzeyinin gri histogramlarına bakarak, dört farklı seramik çeşidini, beş farklı parlaklık seviyesinde yüksek oranda doğrulukla sınıflandırmayı başarmıştır. Bu çalışmada seramik sınıflandırmanın, doğal taş sınıflandırmaya göre bazı kolay yönlerinin olduğu görülmüştür. Özellikle kullanılan seramiklerin standart bir görüntüsünün olması, doğal taş sınıflandırmaya göre kolaylık sağlamıştır.

2.1.2. Doku analizi ile renk analizinin birlikte yapıldığı çalışmalar

Doğal taşların sınıflandırmada sadece doku analizi yapmak yerine, renk ve doku analizini birlikte yapılmalıdır. Renk analizi yapmak için, rengin her kanalı ayrı ayrı incelenmelidir. Yapılan literatür araştırması sonucunda da renk ve doku analizinin birlikte yapıldığı çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Boukouvalas vd. (1997), seramiklerin yüzey kontrolü ve sınıflandırılması için bir sistem geliştirmiştir. Geliştirdikleri sistemde üç adet CCD kamera kullanmışlardır. Kullandıkları ilk kamera renkli, yüksek çözünürlüklü bir kameradır. Bu kamerayı, çatlak tespiti, parlatılmış yüzeydeki parlaklık tespiti, fayans üzerindeki çukurlukların tespiti, deliklerin tespiti, kirliliklerin tespiti, parlak yüzeyde kalan damlaların tespiti ve dalgalanmaların tespiti için kullanmışlardır. Sistemde kullandıkları ikinci ve üçüncü kamera siyah/beyaz çizgi taramalı kameralardır. Bu kameralar için toplamda üç adet kart kullanılmıştır. Sistemde, en önemli sorun eşleştirme sorunudur. Boukouvas ve arkadaşlarının oluşturduğu sistem Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Üç kameralı sistem (Boukouvalas, 1997)

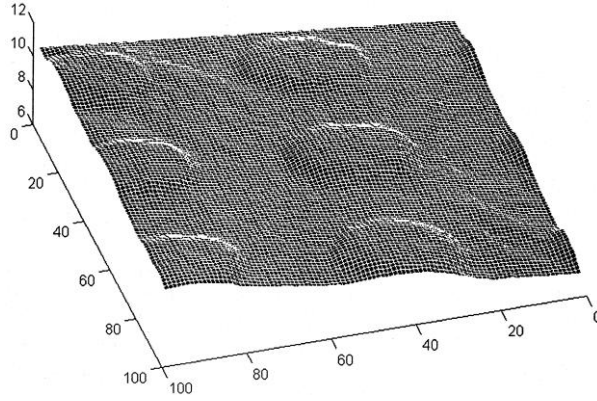
Alajarin ve Balibrea (1999), hazırladığı sistemde HSI renk uzayını kullanmıştır. Elde ettiği görüntülerden toplam fark histogramlarını kullanarak doku öznitelikleri de çıkarmıştır. Taşları sınıflandırmak için eğitime gerek olmayan LVQ ağını kullanmıştır.

Hocenski vd. (2000), seramik üretim hattından elde ettiği resmin matris formu ile orijinal resmin matris formunu kıyaslayarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirmiştir. Üretim hattından elde edilen resim alt bileşenlerine ayrılmakta ve tek boyutlu vektöre dönüştürülmektedir. Orijinal resimde alt bileşenlerine ayrılarak tek boyutlu vektöre dönüştürülmektedir. Ardından destek vektör makinesi kullanılarak kıyaslama yapılmaktadır. Yer altından çıkartılan taşların üzerinde standart bir görüntü olmamasından dolayı, doğal taş sınıflandırma için bu yaklaşım çok uygun değildir.

Smith vd. (2000), de seramik yüzeyinin sınıflandırılması ile ilgili bir uygulama geliştirmiştir. Smith genellikle uygulamalarda karşılaşılan en büyük problem olan aydınlatma üzerinde durmuştur. Hazırladığı prototipte kullanılan aydınlatmanın, görüntü üzerindeki etkisini incelemiştir. Renk düzenlerinin rastgele mi yoksa belli bir düzen içerisinde mi olduğuna, ayrıntılı 3 boyutlu yüzey topolojisinin özelliklerine bakarak karar vermiştir.

Yüzey topolojisi, yüzeyin üstündeki normallikleri yakalayan bir dizi halinde gösterir, buna yüzey aydınlatma haritası da denir. Yüzey topolojisi ile sentetik

oluşturulan resimlerin de yüzey haritaları, kullanıcı tanımlı sanal aydınlatma durumlarından ve yüzeyin beyazlığından izole edilebilir. Günümüzde bu teknik, imalatta kalite kontrolü ve yüzey kontrolü gibi geniş bir aralıkta kullanılmaktadır. Bu sistemde düşük maliyetli sabit bir aydınlatma kullanılır. Başlangıçta yapılan işleme göre eğitime de gerek olmayabilir.



Şekil 2.3. Yüzey aydınlatma haritası (Smith vd., 2000)

Smith vd. (2000), hatalı üretilen seramik plakaların kusurlu bölgelerinde yansımının daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Bu noktadan yola çıkarak hatalı ve sağlam seramiklerin sınıflandırmasını yapmışlardır. Yüzey kabartmaları daha büyük bir yansımaya neden olmaktadır. Bu nedenle bu yöntem benzer yöntemlere göre daha karmaşık değişkenlere gereksinim duymaktadır. Cilalı granit gibi taşların, arka planında bir karışıklık ya da beyazlık varsa yüzeydeki ince çatlak gibi hataları tespit etmek için bir resim dönüşümü yapmayı tavsiye etmiştir.

Farooq vd. (2005), dekoratif doğal malzemelerin yapısal kusurlarını tespit etmek için bir sınıflandırma prototipi geliştirmişlerdir. Dekoratif doğal malzemelerin üzerinde karmaşık desenler olmasından dolayı, yapısal kusurları geleneksel renklendirme ve yüzey aydınlatma haritasını çıkararak tespit etmek oldukça güçtür. Bu nedenle hazırladıkları sistemde fotometrik stereoyu kullanmışlardır. Fotometrik stereo kısaca, basit bir yöntem kullanarak, nesnenin şeklini iyileştirmektir. Fotometrik stereoyu tersine mühendislik gibi düşünmek mümkündür. Aydınlatmanın durumundan cismin gerçek yüzey resmini çıkarmak mümkündür. Bunun için;

1. Farklı aydınlatma etkileri altında, sabit bir görüntüleme geometrisi gereklidir,
2. İdeal kaynak geometrisine göre aydınlatma modelinin çıkartılması gereklidir,

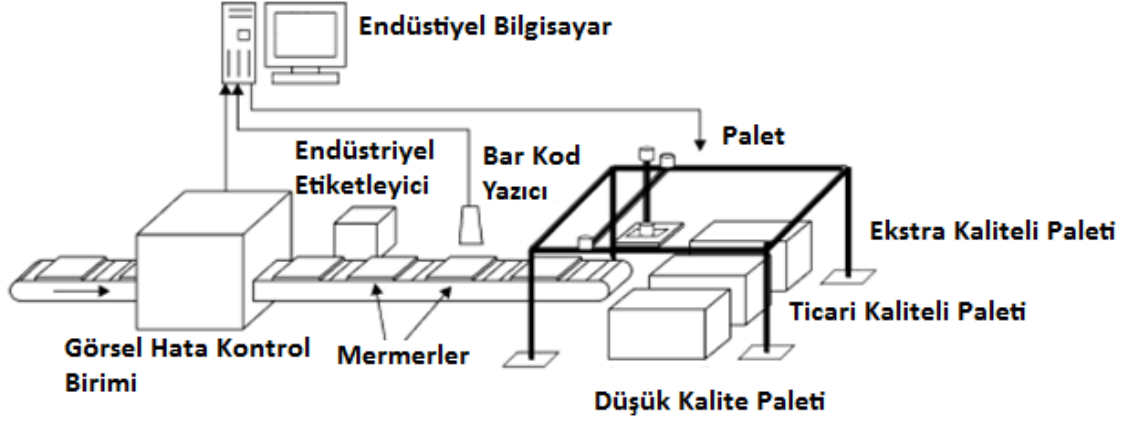
3. Ortamda herhangi bir anda tek yönlü kaynak dışında, başka herhangi bir ışık bulunmaması gerekir.

Bu bilgiler ışığında yüzeyin iki ve üç boyutlu bilgisi çıkarılmaya çalışılmaktadır. Farooq ve arkadaşları (2005) kullandıkları bu sistem ile görüntüden renk ve doku özniteliklerini çıkarıp sınıflandırma yapmayı başarmışlardır. Günümüzde bu yöntem hâlâ geliştirilme aşamasındadır.

Lepisto vd. (2005), dört farklı granit taş grubunu sınıflandırmak için, taş görüntülerinin her renk kanalına, ayrı ayrı Gabor filtresinden geçirerek öznitelikler elde etmiştir. Literatürde incelenen çalışmaların büyük bir çoğunluğu deneysel amaçlı alınan görüntüler üzerinde yapılmıştır. Buna karşın gerçek zamanlı çalışan bir uygulama tasarlandığında, literatür de ki uygulamalardan çok daha farklı olduğu görülmüştür. Bu nedenle literatürde laboratuvar ortamında dahi olsa, gerçek zamanlı çalışabilecek uygulamalara yoğunlaşmıştır. Yapılan araştırma sonucunda bu tarz uygulamaların sayısının çok az olduğu görülmüş ve bunlardan uygulanabilir olanları aşağıda verilmiştir.

Alajarin vd. (2005), çalışmasında laboratuvar ortamında gerçek zamanlı çalışan bir makine görme sistemi tasarlamıştır. Bu nedenle literatür özetinde, diğer çalışmalara göre biraz daha detaylı bilgi verilmiştir. Alajarin yüzey, renk analizi için RGB, XYZ, YIQ, ve OHTA renk uzaylarını kullanmıştır. Çalışmasında görüntüdeki renklerin homojenitesini, damarların sayısını ve kalınlığını incelemiştir. Doku analizi için de toplam ve fark histogramlarından yararlanmıştır.

Hazırladığı sistemde öznitelik çıkarmak için temel bileşen analizini, sınıflandırma içinde çok katmanlı yapay sinir ağını kullanmıştır. Alajarin'in tasarladığı sistem Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Bu sistemde en dikkat çekici donanım, aydınlatmadır. Tasarladığı sistemde aydınlatma olarak 3800⁰K'lık beyaz ışık veren sekiz adet neon tüpten oluşan bir aydınlatma kullanmıştır.



Şekil 2.4. Mekanik sistem (Alajarin vd., 2005)

Işığın homojen yayılabilmesi için, aydınlatma modülünün iç kısmı beyaz renk plastik ile kaplanmıştır. Bu şekilde dışarıdan gelebilecek düzensiz ışık miktarının da önüne geçtiklerini ifade etmişlerdir.

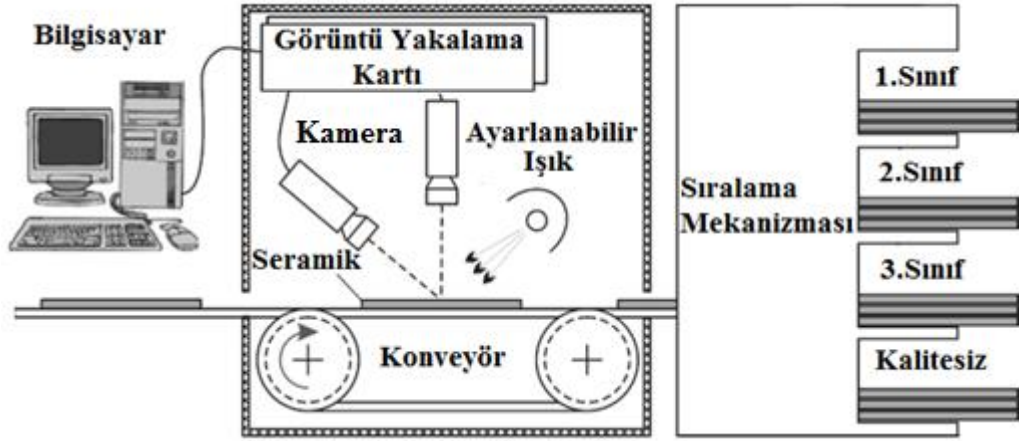
Yapılan tez çalışmasında ise Alajarin'in aydınlatmada kullandığı neon tüplerin bu tarz çalışmalar için uygun olmayacağı kanısına varılmıştır. Bunun da temel nedeni neon tüplerin ilk çalışma anında verdiği ışık miktarı ile ilerleyen saatlerde verdiği ışık miktarının birbirinden farklı olmasıdır. Fakat hazırladıkları mekanik sistem, ilerleyen zamanlarda hazırlanacak otomasyon sistemlerine ışık tutacak mahiyettedir.

Selver vd. (2007) çalışmasında mermer küpleri sınıflandırmıştır. Sınıflandırmada kullanılması için farklı renk uzaylarında toplam-fark histogramları ve eş-oluşum matrisi yöntemleri ile renk ve doku öznelikleri çıkartmıştır. Elde edilen öznelikleri ana bileşenler metoduyla analiz etmiştir.

Araujo vd. (2010) çalışmasında, spektral bilgi kullanarak granit örneklerini sınıflandırmıştır. Bu amaçla doğrultusunda her granit örneğinin rastgele seçilmiş 10 farklı noktasından spektral bilgi almıştır. Aldığı bilgileri de destek vektör makinesi ile sınıflandırmıştır. Yapılan tez çalışmasında, traverten gibi tüm yüzeyinde aynı renk ve doku özelliği bulunmayan doğal taşlar kullanıldığı için, doğal taş sınıflandırmaya çok uygun bir yöntem değildir.

Keser vd. (2010), seramik plaka sınıflandırmak için laboratuvar ortamında gerçek zamanlı çalışabilecek bir prototip hazırlamıştır. Şekil 2.5'de gösterilen sistem ile sayıları gün geçtikçe artan seramik üreticilerinin, kalite kontrol problemini çözmeyi

hedeflemiştir. Seramik sisteminde kullanılan makine görme sisteminin, en az iki kamera ve bir bilgisayardan oluşturulması gerektiğini savunmuştur. Yüksek performanslı sistemler içinde birden fazla bilgisayar kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Şekil 2.5’de gösterilen sistemde iki tane sayısal kamera ve bir tane bilgisayar bulunmaktadır. Kameraların her ikisi de çizgi taramalı kameradır. Yatay açılı duran kamera siyah/beyaz, dik duran kamera ise renkli çizgi taramalı kameradır. Yatay sabitlenen kamera, seramiğin boyutunu, yansıyan ışığın yapısını ve baskın diğer kusurları tespit etmek için kullanmıştır.



Seramik yüzeyine dik duran renkli çizgi taramalı kamera ise seramiklerin renk analizini yapmak için kullanılmıştır. Hazırladıkları sistem ile 4 farklı kategorideki seramikleri sınıflandırmayı başarmışlardır. Sınıflandırma algoritmasında geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Günümüz teknolojisinde aynı işlemleri tek kamera ile gerçekleştirmek mümkündür.

Ershad (2011) çalışmasında doğal taş görüntülerin her renk kanalı ayrı ayrı incelemiştir. Bu kanalların her birine morfolojik operatörleri uygulayarak öznelilikler elde etmiştir. Elde ettiği bu öznelilikler ile dört farklı sınıftaki doğal taş plakayı sınıflandırmayı başarmıştır.

Bianconi vd. (2012), granit plakaları sınıflandırmak için bir prototip geliştirmiştir. Renk ve doku analizini birlikte yapmış ve toplamda 230 adet öznelilik elde etmiştir. Elde ettiği bu öznelilikleri farklı sınıflayıcılarda test etmiş ve en iyi sonucu destek vektör makinesinden elde etmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda tezde de spektro-fotometrik bilgi yerine renk ve doku analizinden elde edilen bilgilerin birlikte kullanılması gerektiği kanısına varılmış ve hazırlanacak donanım ile ilgilide ön bilgiye sahip olunmuştur.

3. MATERYAL

Tez de bir otomasyon sistemi hazırlandığı için yazılım ve donanımın birlikte çalışması gerekmektedir. Bu nedenle ilk olarak algoritma geliştirilmeden önce elektromekanik sistemin tasarlanması gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmasının ışığında, temelde gereksinim duyulan malzemeler ile ilgili ön araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde merceğin, kameranın ve aydınlatmanın, makine görme sistemlerinde önemli rol oynadığı bir kez daha görülmüştür.

Makine görme uygulamalarında malzeme seçimi yapılırken mutlaka bazı terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Tezin bu bölümünde malzeme seçiminde kullanılan temel teknik terimler ile malzemelerin teknik özellikleri anlatılmıştır.

3.1. Mercek

Merceklerin temel görevi, yansıyan ışığı toplayarak kameranın görüntüleyicisinde net bir görüntü oluşmasını sağlamaktır. Genellikle, bir mercekten geçen ışık miktarı ile resim kalitesi doğru orantılı olmaktadır. Bunun ile birlikte odak uzaklığı, görüş alanı, ışıklandırma gibi faktörler de görüntünün netliğini etkilemektedir.

3.1.1. Odak uzaklığı

Kameranın görüntü algılayıcısı ile optik merkezi arasındaki mesafeye odak uzaklığı denilmektedir. Odak uzaklığı mesafesi arttıkça, lensin görüş açısı daralmakta, azaldıkça da lensin görüş açısı genişlemektedir.

3.1.2. Görüş alanı

Bir merceğin oluşturduğu resmin boyutu, kamera görüntüleyicisinin boyutu ve nesneye olan mesafenin bileşimine, görüş alanını denilmektedir. Eğer, görüş alanı uygun değilse görüş alanını arttırmak ya da azaltmak için farklı bir mercek (örneğin geniş açılı mercek, vb.) kullanması gerekebilir.

3.1.3. F-Stop

Herhangi bir merceğin ışık toplama kapasitesi, merceğin açılışı (apertürü) ile odak uzaklığı arasındaki ilişkiye bağlıdır ve f simgesiyle gösterilir. Merceklerin üzerinde "F-Stop" ismi ile belirtilir. F-Stop değeri ne kadar küçükse, mercek açılışı ve görüntüleyici üzerine ışık düşürme yeteneği o kadar büyüktür. Örnek vermek gerekirse, f/1.6 değerindeki bir mercek f/3.2 değerindeki bir mercekten çok daha fazla ışık geçirir. F-Stop değeri düşük olan mercek "hızlı" bir mercek olarak da adlandırılır.

3.1.4. Mercek montajı (C-Mount, Cs-Mount)

Seçilen kamera ve lensin montaj uçları birbiri ile uyumlu olmalıdır. Genellikle kamera lenslerinin montaj tipi C ya da CS dir. C ve CS montaj tipi arasındaki fark, merceklerin kamera görüntüleyicisine olan uzaklığıdır.

C tipi montajda mercek, görüntüleyiciden 17.5 mm uzaklıktadır. CS tipi montajda ise mercek, görüntüleyiciden 12.5 mm uzaklıktadır. Bunların dışında mercekler ile ilgili aşağıdaki hususlara da dikkat edilmelidir.

1. C tipi montajlı mercekler, 5 mm mesafe halkası ilave edilerek CS tipi kamerada kullanılabilir.
2. CS tipi montajlı mercek, C tipi kamerada kullanılamaz.

3.2. Kamera

Bir ürünün, farklı zamanlarda alınan görüntülerinden hep aynı değerlerin elde edilmesi beklenir. Böyle bir durumun sağlanabilmesi içinde, sistemin istikrarlı çalışması gerekmektedir. Sistemin istikrarlı çalışabilmesi için de homojen bir aydınlatmaya gerek vardır.

Alan taramalı kameraların kullanıldığı uygulamalarda, geniş bir alanın homojen olarak aydınlatılması gerekmektedir. Çizgi taramalı kameraların kullanıldığı uygulamalarda ise, sadece bir çizginin homojen olarak aydınlatılması yeterlidir. Bu nedenle sistemde çizgi taramalı renkli bir kamera kullanılmıştır. Bu kamera tercih

edilirken aşağıdaki çalışma prensipleri de tek tek incelenmiş ve çalışmaya uygun olanı belirlenmiştir.

3.2.1. izgi taramalı kamera eşitleri

3.2.1.1. Tek izgili:

Bu kamerada algılayıcı, tek hattan oluşmaktadır. Üç ana renk için algılayıcılar, bu hattın üzerine Şekil 3.1’de gsterildiğı gibi, sırayla ve tekrarlayan biçimde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1. RGB tek izgili (Vision-docotor, 2014)

Bu kameraların dezavantajı renk çözünürlüğünün oldukça düşük olmasıdır. Yapılacak çalışmada renk çözünürlüğü önemli olduğı için, tek çizgili kamera tercih edilmemiştir.

3.2.1.2. Çift izgili:

Bu kameralar da algılayıcılar, iki hat halinde yerleştirilmiştir. Şekil 3.2’de gsterildiğı gibi tek hattı optimize etmek için yeşile duyarlı bir hat daha eklenmiştir.

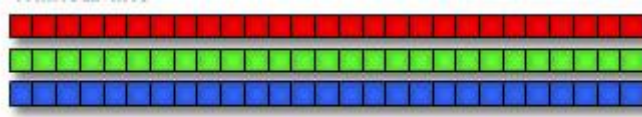


Şekil 3.2. Çift izgili (Vision-docotor, 2014)

Çift izgili kameraların ışığa duyarlılığı basit bir algılayıcı ile biraz daha arttırılmıştır. Çok iyi bir çözünürlük sağlamasa da tek izgiliye göre biraz daha iyi özünürlülük sunmaktadır.

3.2.1.3. Üç izgili:

Bu izgi taramalı kamera eşinde, adında da anlaşılacağı üzere üç hat bulunmaktadır. Bu hatlar Şekil 3.3’de gsterildiğı gibi, kırmızı, yeşil ve maviye duyarlı renk algılayıcıları ile donatılmıştır. Bu alışma Őekli ile renklere karşı çok daha fazla hassasiyete sahiptir. Çözünürlükleri de tek çizgili ve çift çizgili kameraya göre oldukça yüksektir.



Şekil 3.3. Üç çizgili (Vision-docotor, 2014)

Bu teknolojinin dezavantajı, üç hat arasındaki mesafedir. Görüntü algılayıcısının boyutu tek çizgili' ye göre üç kat artmaktadır. Bir diğer dezavantajı da hatlar üzerine ışık düştüğünde, bunu fark edip yakalaması arasında geçen zamandır. Buna mekânsal gecikme de denmektedir. Eğer doğrusal hareket etmeyen bir konveyör ile birlikte kullanılırsa, zamansal gecikmelerden dolayı nesnenin köşe bilgileri kaybolabilmektedir. Bu nedenle kullanılacak kodlayıcının doğru seçilip, düzgün monte edilmesi çok önemlidir.

3.2.1.4. Prizmalı 3-CCD/CMOS hat:

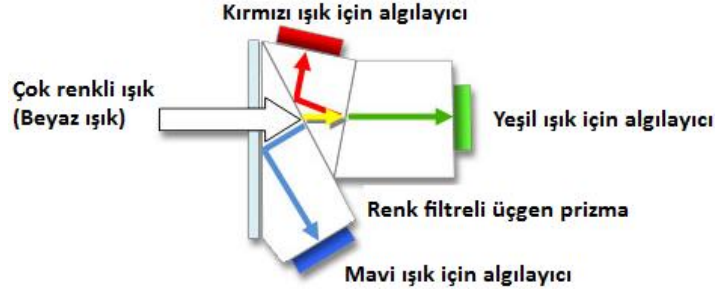
Entegre edilmiş bir prizma ile gelen ışık emilir ve kırmızı, yeşil ve maviye duyarlı olan üç ayrı algılayıcının üzerine düşürülür. Bu durum Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



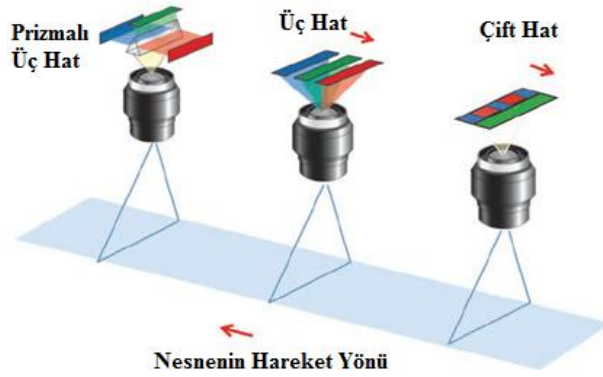
Şekil 3.4. Prizmalı 3-CCD / CMOS hat (Vision-docotor, 2014)

Bu teknolojinin avantajı, tam fiziksel çözünürlükte ve yüksek kalitede renkli resim elde edilebilmesidir. Düşük kalitenin olacağı durumlarda bile prizma ile tam uyumlu üç adet algılayıcı bulunduğundan dolayı iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Özellikle konveyörlerde düzgün bir doğrusal hareket yoksa, bu tip kameralarda algılama ve görüntü aynı anda oluştuğundan dolayı her hangi bir kayıp olmadan tüm görüntü yakalanabilmektedir.

Bu teknolojinin dezavantajı, düşük sabit sıcaklıkta çalışmasıdır. Yüksek sıcaklık değerlerinde, algılayıcı ve prizma uyumu bozulmaktadır. Bir diğer dezavantajı da fiyatının diğer teknolojilere göre oldukça yüksek olmasıdır.



Şekil 3.5. Prizmalı CCD / CMOS hattın çalışma prensibi (Vision-doctor, 2014)

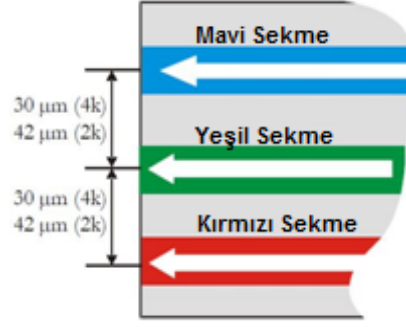


Şekil 3.6. Üç kameranın karşılaştırmalı çalışma prensibi (Xing-Fe, 2013)

Tablo 3.1. Kameraların kıyaslanması

	Prizmalı Üç Hat	Üç Hat	Çift Hat
Optik Lens	Özel Lens	Standart Lens	Standart Lens
Mekansal Düzeltme	Yok	Var	Var, Orta
Piksek deki doğal renk	RGB	RGB	RG/GB
Resim Kalitesi	En iyi	En iyi	İyi
Maliyet	Yüksek	Orta	Düşük

Sistem için fiyat performans analizi yapıldıktan sonra üç hatlı bir kamera tercih edilmiştir. Seçilen kameranın renk algılayıcıları arasında Şekil 3.7’de gösterildiği gibi 30µm’lik boşluklar vardır. Cismin görüntüsü alınırken, bu hatlar sırayla kameranın ara belleğine alınmaktadır. Bu nedenle de mekânsal düzeltme gerekmektedir.



Şekil 3.7. Pikseller arasındaki boşluk (Teledyne Dalsa)

3.2.2. Optik mekansal düzeltme

Üç çizgili kamera teknolojisinde, gerçek renkli bir görüntü elde etmek için mekansal düzeltme yapılır. Kamera üreticileri alt piksel seviyesinde ince ayar yapmak için ileri bir teknoloji geliştirilmişlerdir. Şekil 3.8’de gösterildiği gibi, üç örnek senaryo vardır. Bu senaryolar;

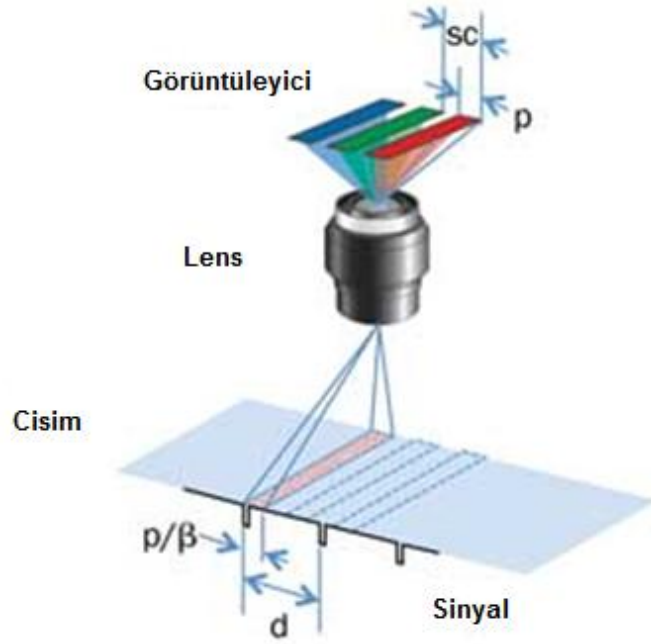
1. $d < p/\beta$: Band hızının, kameranın tarama hızından daha yavaş olduğu durum,
2. $d = p/\beta$: Band hızının, kameranın tarama hızına eşit olduğu durum, (kare piksel),
3. $d > p/\beta$: Band hızının, kameranın tarama hızından daha hızlı olduğu durumdur.

Burada d, p, β parametreleri;

d : Dış tetiklemeye bağlı olarak nesnenin yer değiştirme miktarını,

p : Algılayıcının piksel boyutunu,

β : Optik büyütmeyi ifade eder.



Şekil 3.8. Optik mekânsal düzeltme (Xing-Fe, 2013)

sc : Optik mekânsal düzeltme parametresini,

d : Dış tetikleme sinyaline bağlı olarak yer değiştirmeyi,

p/β : Örnek piksel boyutunun kıyaslanmasını,

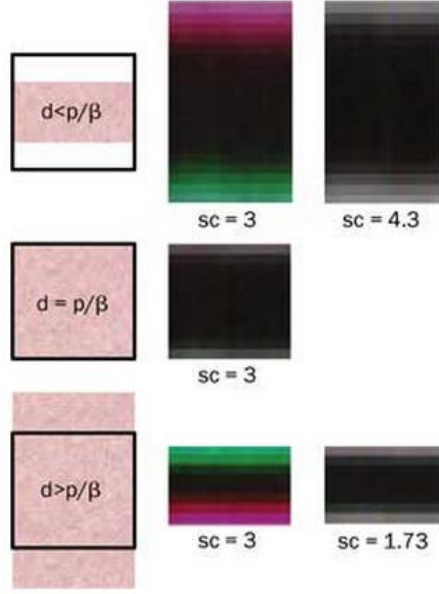
P : Resmin piksel boyutunu,

β : Mesafeye bağlı olan optik büyütme oranını ifade eder.

Hazırlanan sistemde net görüntü alınabilmesi için kare piksel durumunun sağlanması gerekmektedir. Kare piksel durumunun sağlanabilmesi için $d = p/\beta$ olmalıdır.

3.2.3. Yapay mekânsal düzeltme

Buradaki yapay düzeltmeden maksat, insan eliyle yapılan düzeltmedir. Yapay düzeltme ile alt piksellerin çizgi gecikmesinin bir kısmı dengelenerek mekânsal düzeltme sağlanabilir. Şekil 3.9'da aynı cismin, farklı örnekleme senaryolarından elde edilen resim pikselleri gösterilmektedir. Şekil 3.9 incelendiğinde, kare olmayan piksel örnekleme türlerinde, kısmi bir gecikmenin olduğu hemen göze çarpmaktadır. Hazırlanan sistemin mekânsal düzeltme parametresi üç olarak belirlenmiştir. Bu değerle, sistemden alınan görüntülerde kare piksel durumu sağlanmıştır.



Şekil 3.9. sc parametresi (Xing-Fe, 2013)

3.3. Sayısal Kodlayıcı

Sayısal kodlayıcı, her hangi bir dönme hareketine bağlı olarak sayısal sinyal üreten elektromekanik bir cihazdır. Genelde bir mile bağlanır. Milin dönme hareketi ile sayısal dönme bilgisi üretmeye başlar. Sinyal üretme şekline göre de mutlak ve artırimsal olmak üzere iki çeşidi vardır.

3.3.1. Mutlak kodlayıcılar

Şekil 3.10'da gösterilen mutlak tip kodlayıcılar, her pozisyonda birbirine benzemeyen bitlerden oluşan, çıkış sinyali üretir. Böylece milin o anki pozisyonu tam olarak öğrenilebilir. Enerji kesildiğinde ya da başka bir nedenden dolayı devre dışı kalsa bile kodlayıcı pozisyon bilgisini muhafaza edebilir. Ancak bu durum elektronik değil mekanik olarak mümkündür. Mutlak tip kodlayıcılarda montaj pozisyonu çok önemlidir. Eğer mutlak tip prensiple çalışan bir kodlayıcı yerinden sökülürse tekrar aynı şekilde yerine takılmalıdır. Aksi durumda sistemde pozisyonlama hatası olacaktır.



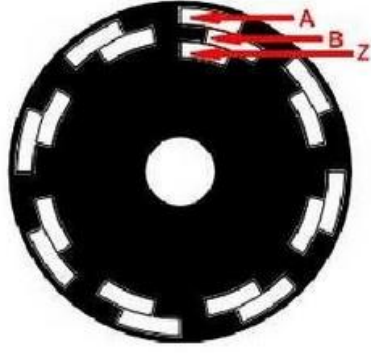
a-) Dış Yapısı

b-) İç Yapısı

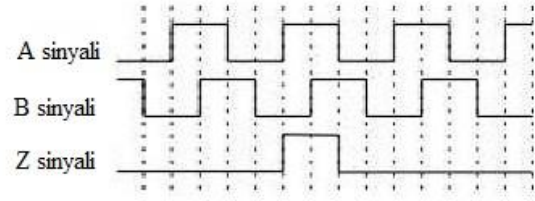
Şekil 3.10. Mutlak tip kodlayıcı

3.3.2. Artımsal kodlayıcı

Bu sinyal üreticileri, her pozisyonda benzer çıkış sinyalleri (Kare Dalga) verir. Artımsal kodlayıcının içerisinde Şekil 3.11’de gösterildiği gibi eşit aralıklarla siyah ve saydam yapılmış bir disk, ışık kaynağı ve bir de foto-transistör bulunmaktadır. Işık kaynağından gelen ışınlar diskin dönüşü esnasında saydam kısımlardan geçerek foto-transistörü tetiklemektedir. Böylece foto-transistörün çıkışı lojik 1 olmaktadır. Saydam olmayan kısımlar geldiğinde de foto-transistörün çıkış lojik 0 olmaktadır. Bir turda disk üzerindeki yarık sayısına göre belirlenen bir frekansta sinyal üretilmektedir. Oluşturulan sinyaller belli bir zaman aralığında sayılarak diskin dönüş hızı belirlenmektedir. Artımsal kodlayıcılarda genellikle üç adet çıkış bulunmaktadır. Bunlar A, B ve Z çıkışlarıdır. Bazı kodlayıcılarda A’ ve B’ çıkışları da bulunmaktadır. Bu çıkışlar hassas işlerde sayımın doğru yapıldığını kontrol etmeye yarar. Bir artımsal kodlayıcıda kullanılan en önemli çıkışlar A ve B çıkışlarıdır. Bu çıkışlar aralarında 90 derecelik bir faz farklı olan kare dalga sinyali üretir. Aralarındaki 90 derecelik faz farkı sayesinde diskin dönüş yönü de tayin edilebilir (Meseli, 2011).



a-) Diskin iç yapısı



b-) Artırımsal kodlayıcının oluşturduğu çıkış sinyalleri

Şekil 3.11. Artırımsal kodlayıcı (Meseli, 2011)

3.3.2.1. Maksimum frekans değeri:

Bir sinyal üreticinde bulunan elektronik devrenin, bozulmadan kare dalga sinyal üretmeye devam edebildiği en yüksek frekans değeridir. Bu frekans $f(KHz)$, aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$f(KHz) = G * I / 60000 \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de;

G : Dakikadaki devir sayısını $\left(\frac{devir}{dk}\right)$,

I : Darbe sayısını (sayısal kodlayıcının çözünürlüğü) ifade etmektedir.

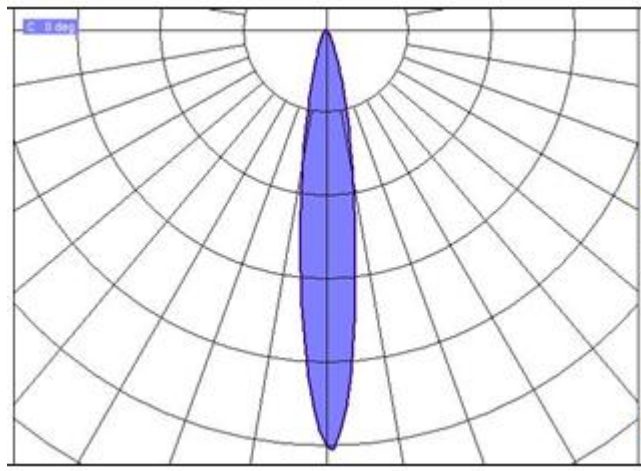
Frekans değeri, f_{maks} değerini aşmamalıdır. Bu nedenle G değeri, sinyal üreticinin darbe sayısına bağlı olarak f_{maks} değeri ile sınırlandırılmıştır.

$$G_{maks} = f_{maks} * 60000 / I \quad (3.2)$$

3.4. Aydınlatma Özellikleri

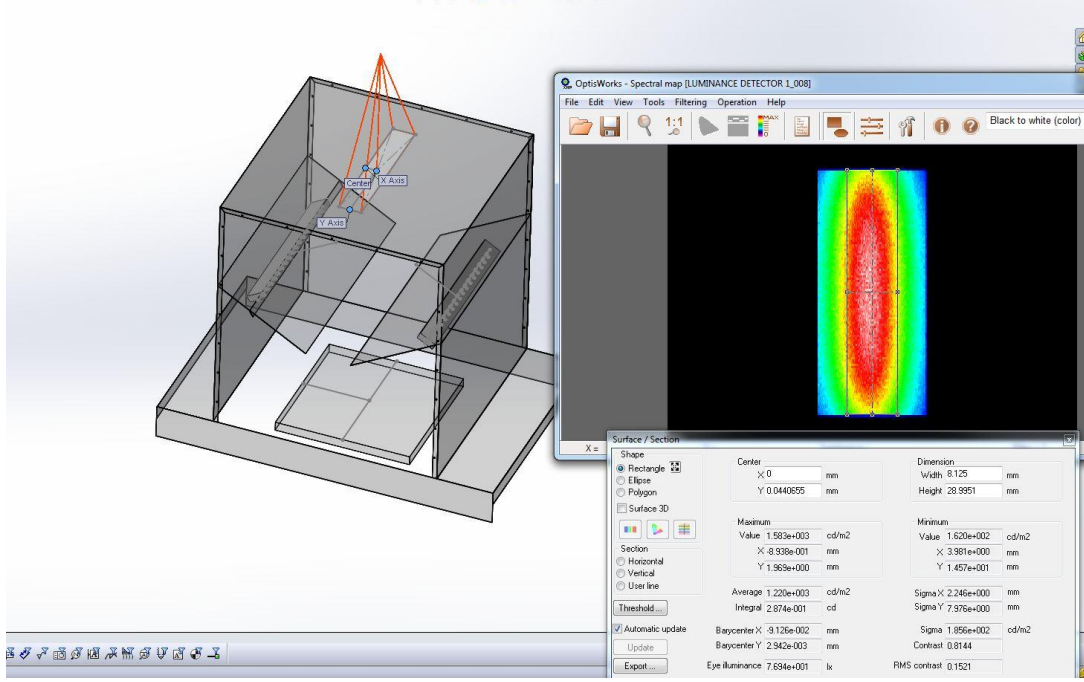
Görüntü işleme uygulamalarının en önemli bölümlerinden birisi de aydınlatmadır. Bu nedenle sisteme özel APEX çizim uygulaması yapılmıştır. Sistemin aydınlatması

iki adet özel yapım LED bar armatürle sağlanmıştır. Bu armatürlerde 27'şer adet LED bulunmaktadır. Projektörlerin ışık şiddet eğrisi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



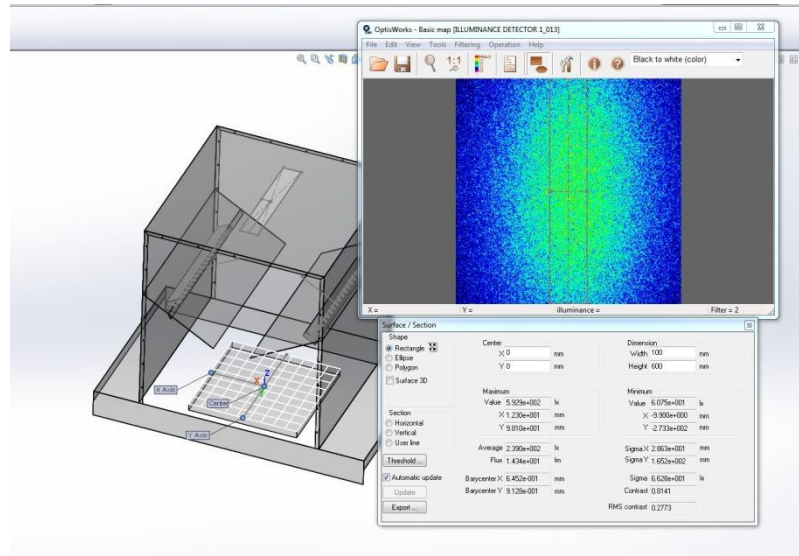
Şekil 3.12. Özel yapım LED projektörün ışık şiddet eğrisi

Sınıflandırılacak doğal taşların yüzeyi, üretim esnasında epoksi ile kaplanmaktadır. Bu nedenle de yüzeyleri parlaktır. Her hangi bir ışık kaynağı kullanılması durumunda taşların yüzeyinde ışık patlaması olmaktadır. Bu da alınan görüntüleri olumsuz etkilemektedir. Sistemde parlama olmaması için parlaklık detektörü de tanımlanarak ne kadar bir parlaklığın olacağı tespit edilmiştir. Yapılan aydınlatma tasarımında homojenitenin yanında özellikle bu konuya da dikkat edilmiştir.



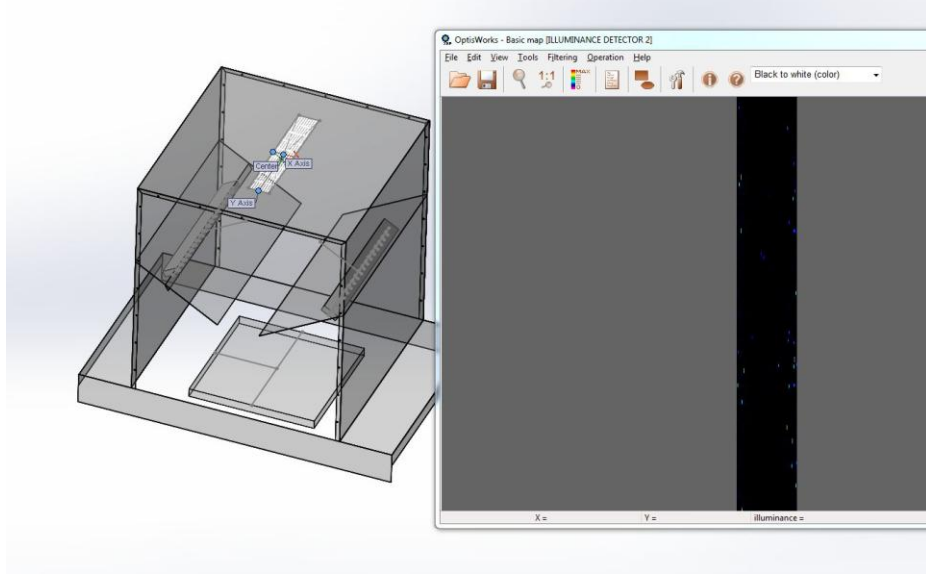
Şekil 3.13. Sitemde parıltı detektörünün tanımlanması

Şekil 3.13' de simülasyon sonuçları renklendirilmiş olarak gösterilmiştir. Şekil 3.14'de gösterildiği gibi tüm alan yüzeyine aydınlık detektörü de tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar ile alan yüzeyinde oluşacak parıltı değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların ardından yapılan armatürler, dilimleme ile sisteme eklenmiştir.

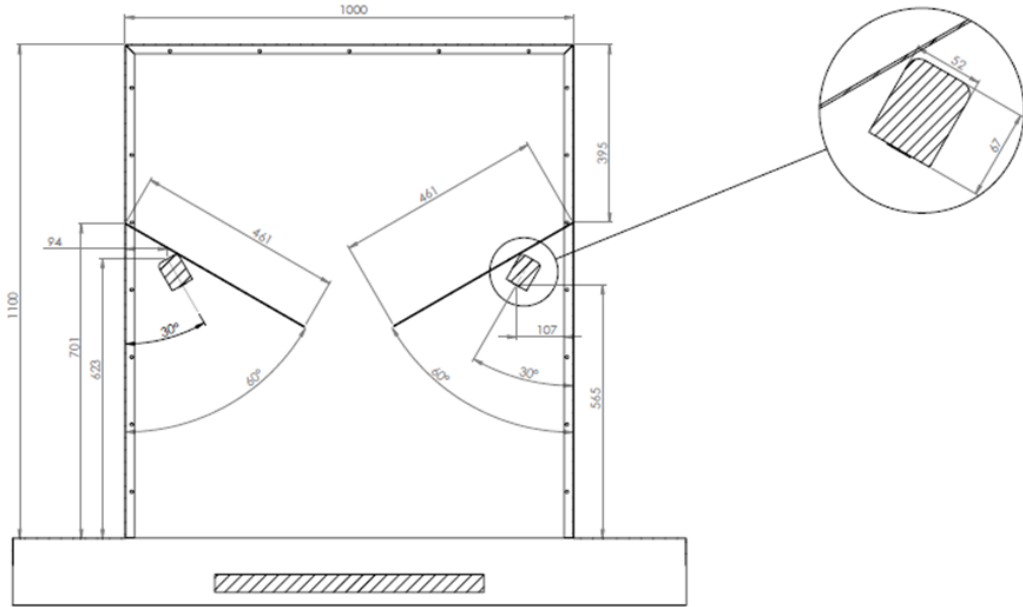


Şekil 3.14. Aydınlık detektörü

Armatürün aydınlattığı genel alan içerisindeki kameranın gördüğü alana da aydınlık detektörü uygulanmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda da resmin sağ tarafında kamera yüzeyinde oluşacak aydınlık görülmektedir. Bunun yanında Şekil 3.16’da aydınlatmanın yerden yüksekliği ve yerleştirildiği açılar gösterilmiştir.



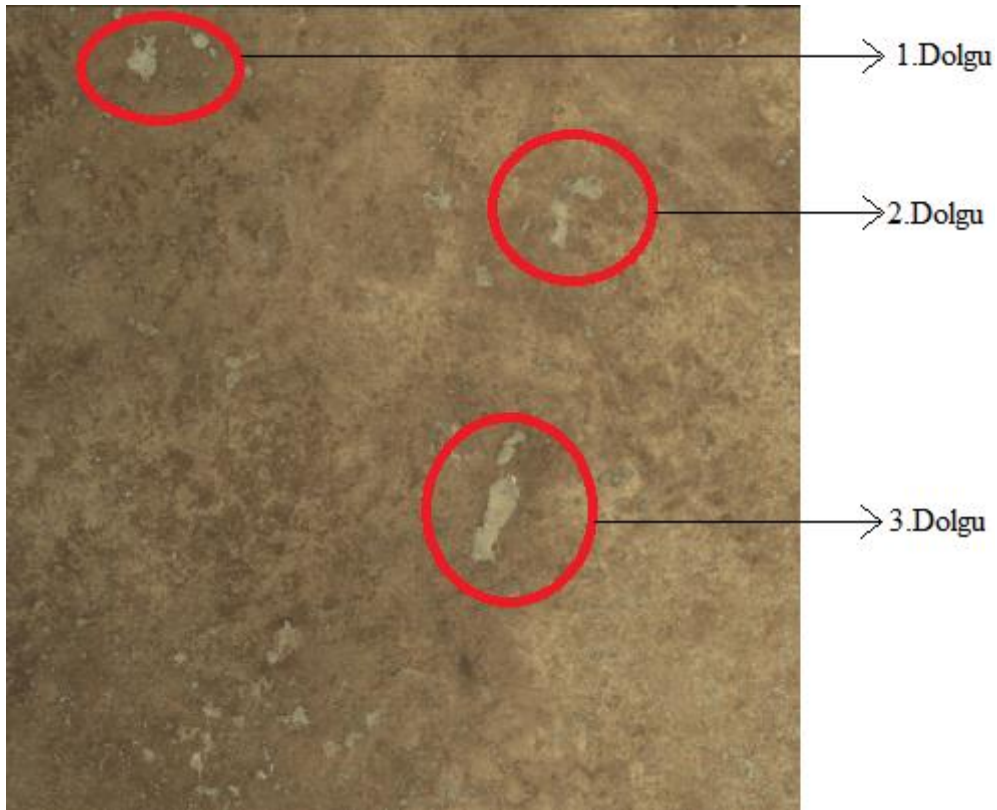
Şekil 3.15. Kameranın gördüğü noktadaki aydınlık detektörü



Şekil 3.16. Armatürlerin yerleştirme pozisyonlarının belirlenmesi

3.5. Traverten Doğal Taşlar

Tezde, Isparta ve Burdur illerinde yoğun olarak çıkartılıp işlenen traverten plakalar kullanılmıştır. Travertenler, kalsiyum karbonat ile diğer doğal madenlerin yüksek basınç altında yüzlerce yıl sıkışması ile oluşmaktadır (Carrino, 2002). Traverten gözenekli (mikro ve makro) yapısı ve kimyasal bileşimi nedeniyle bozunma etkilerine karşı duyarlıdır. En önemli bozunma etkenlerinden biri olan su, makro gözenekler aracılığıyla mikro gözeneklere ulaşmakta ve bu şekilde kaya içerisinde kolaylıkla hareket edebilmektedir (Akın, 2008). Suyun geçtiği noktalarda bazen boşluklar kalabilmektedir. Yer altında çıkarılıp işlenen taşlar üzerinde de bu boşluklar görülebilmektedir. Bu nedenle üretim esnasında taş ile aynı renk dolgu maddeleri kullanılarak bu boşluklar kapatılmaktadır.



Şekil 3.17. Dolgu yapılmış traverten taş

Şekil 3.17’de bu şekilde dolgu yapılarak boşlukları doldurulmuş traverten taş örneği gösterilmiştir. Üretimde bu boşluklar özel bir macunla doldurulduktan sonra taşın yüzeyi epoksi maddesi ile kaplanarak parlatılmaktadır. Parlatma işleminden sonra da kullanıma hazır hale gelmektedir. Tezde, kullanıma hazır hale gelen taşlar sınıflandırılmıştır.

3.6. Motor

Sistemde traverten plakaları taşıyacak konveyörün hareketini, Şekil 3.18'de gösterilen üç fazlı 0.75 hp gücündeki asenkron motor sağlamaktadır. Motorun en yüksek hızı 1400 dev/dak'dır. Fabrikanın taş üretim hızına uygun olarak motorun hızı düşürülmelidir. Bu nedenle, motorun dönüş miline 1/100 oranlı bir redüktör ayrıca bağlanmıştır.



Şekil 3.18. Sistemde kullanılan motor

Panoya yerleştirilen sürücü ünite ile motora yol verme işlemi yapılmaktadır. Motorun hızını ayarlamak içinde panonun ön tarafına bir ayar düğmesi eklenmiştir.



Şekil 3.19. Motor sürücüsü ünitesi

3.7. Yazılım

Hazırlanan sistemde kameranın kontrolü için sekiz bitlik özel komutlar kullanılmıştır. Bu komutlar Teledyne Dalsa firmasının kendi ürünleri için geliştirmiş olduğu özel komutlardır. Bu komutlar ile kameranın kalibrasyonundan, yapılacak mekânsal düzeltmeye kadar birçok ayar, yapılmaktadır. Her hangi bir terminal program ile komutlar kameraya gönderilmekte, kamerada bu komutları aldığı anda gerekli düzenlemeyi yapmaktadır. İstenildiği takdirde, kameradan anlık çalışma sıcaklığından, çalışma gerilimine kadar birçok bilgide alınabilmektedir. Sistemde kullanılan komutların bazıları Ek E’de verilmiştir.

Kullanılan bir diğer yazılım da MATLAB’dır. MATLAB’ın Görüntü Yakalama Araç Kutusu (Image Acquisition Toolbox) ile kameradan anlık görüntüler alınmıştır. Alınan görüntüler bir başka MATLAB araç kutusu olan Görüntü İşleme Araç Kutusu ile analiz edilmiştir. Sınıflandırma aşamasında ise MATLAB’ın temel komutları kullanılarak özgün bir program hazırlanmıştır. MATLAB’ın arayüz programı vasıtası ile de sistemin kontrolünü kolaylaştırmak için menüler hazırlanmıştır.

4. METODLAR

Temelde bilgisayar, kamera, görüntü işleme kartından oluşan ve görüntü işleme tekniklerini kullanan yapıya makine görme sistemi denilmektedir (Jain vd., 1995), (Kang vd.,2007). Kameralarla çok geniş spektrumlarda renk ve doku analizi yapılabilmekte ve bu nedenle cisim hakkında basit renk algılayıcılarına göre çok daha fazla bilgi elde edilebilmektedir (Dworkin ve Nye, 2006), (Fazel Zarandi vd., 2009).

Kameralar vasıtası ile elde edilen görüntülerin, bilgisayar ortamında isteğe uygun bir şekilde düzenlenip kullanılmasına da görüntü işleme denir. Görüntü işlemede örüntü işlemenin bir alt konusudur. Örüntü işlemede ise bilinmesi gereken bazı önemli konular vardır. Bunlar sırasıyla;

1. Ön işlemler,
2. Öznitelik çıkarımı,
3. Öznitelik seçimi
4. Sınıflandırmadır.

Tezde yukarıda bahsedilen konular ile ilgili bilgiler, bu bölümde verilmiştir.

4.1. Ön İşlemler

Makine görme sistemlerinden elde edilen görüntülerden, genellikle doğrudan cisim tespit edilememektedir. Bu nedenle görüntüler, ön işlemlerden geçirilerek cismin tespit edilebileceği hale dönüştürülmelidir. Ön işleme aşamasında ilk olarak gürültüler temizlenmektedir. Ardından eşikleme işlemleri yapılmaktadır. En son olarak da morfolojik işlemler ile görüntüden cisim tespit edilmektedir.

4.1.1. Gürültü temizleme

Görüntü işleme uygulamalarında, ortamdaki ışık düzeyinden ya da diğer çevresel etkenlerden dolayı, elde edilen görüntülerde istenmeyen parazitler olabilmektedir. Bu gibi durumlarda, temel bazı filtreler uygulanarak gürültü temizleme işlemi yapılmaktadır. Filtreleme işlemi, resmin üzerinde bir filtre varmış gibi düşünülüp, her piksel değerinin yeniden hesaplanması işlemidir. Filtreleme sayesinde görüntü

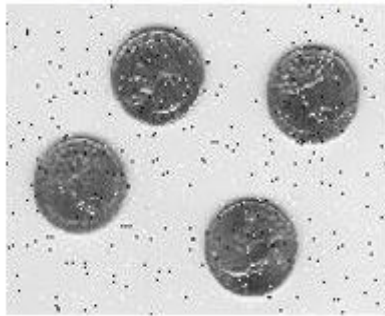
üzerinde netleştirme, belirli ayrıntıları ortaya çıkarma, görüntüyü yumuşatma, kenar keskinleştirme veya kenar bulma gibi işlemler de gerçekleştirilebilmektedir. Filtreler farklı büyüklükteki maskelerden oluşur. Yapılan işlem bir konvolüsyon işlemidir (Siyah, 2012). Literatür araştırmasında, gürültü temizlemek için birçok filtrenin kullanılabileceği görülmüştür. Tezde gürültü temizleme işlemi için Medyan filtresi kullanılmıştır.

4.1.1.1 Medyan filtresi

Bu filtreleme yönteminde bir piksel etrafındaki komşu pikseller ile birlikte küçükten büyüğe doğru sıralanır. Ardından sıralamada ortada yer alan piksel ile yer değiştirilir. Genellikle medyan değerini tam bulabilmek için tek sayıda komşu seçilir. Eğer çift sayıda komşu seçilecek olursa, ortada kalan iki pikselin aritmetik ortalaması alınır.

Medyan filtrede, gürültü piksellerinin sayısı komşu piksellerin sayısının yarısına eşit ya da daha fazla ise çok kullanışlı değildir. Bu nedenle ikili (binary) gürültülerde başarılı olmasına rağmen Gaussian gürültüsünde çok başarılı değildir. Bunun dışında özellikle ikili gürültülerde kopuk nokta veya çizgi gürültülerini temizlemek için iyi bir filtredir.

Resmin Tuz ve Biber Gürültülü Hali



Medyan Filtre



Şekil 4.1. Medyan filtre (Siyah, 2012)

4.1.2. Eşikleme işlemi

Görüntüdeki, farklı yoğunluktaki ön ve arka plan bölgelerin ayrıştırılmasında kullanılan en temel yöntemlerden biriside eşiklemedir. Renkli ya da gri seviyeli görüntülere uygulanabilir. Belirlenen eşik seviyesinin üzerinde kalan değerler bir,

diğerleri sıfır olarak kabul edilir ve görüntü ikili görüntüye dönüştürülür (Akar 2009). Eşik değeri belirlemek için farklı yöntemler kullanılabilir (Kurtulmuş, 2012). Bunlardan bazıları;

- Histogram entropisi esaslı eşik belirleme,
- Histogram esaslı eşik belirleme,
- Kümeleşme esaslı eşik belirleme,
- Nesne özelliklerine dayanan eşik belirleme,
- Uzamsal esaslı eşik belirleme,
- Yerel uyarılama esaslı eşik belirleme yöntemleridir (Baykan 2007).

Genellikle ikili görüntüden cismin yerini tespit etmek için kullanılır. Bireysel olarak etiketlenen cisimler ayrı ayrı görüntülenip, işlenip ya da değiştirilebileceğinden dolayı bu yöntem çok kullanışlıdır. Bölge etiketleme, bir ikili görüntüde aynı ikili değere sahip bağlantılı piksel gruplarını tanımlayarak bulma işlemidir. Bu işlemin en basit yolu, yatay ve dikey yönde aynı ikili değere sahip piksellerin olup olmadığının tüm görüntünün taranması yoluyla aranmasıdır (Kurtulmuş, 2012). Şekil 4.2’de bu durum ile ilgili hazırlanan sistemden örnek gösterilmiştir.



(a) Cismin genel renkli görüntüsü

(b) Görüntüden cismin tespiti

Şekil 4.2. (a) Cismin genel renkli görüntüsü, (b) Görüntüden cismin tespiti

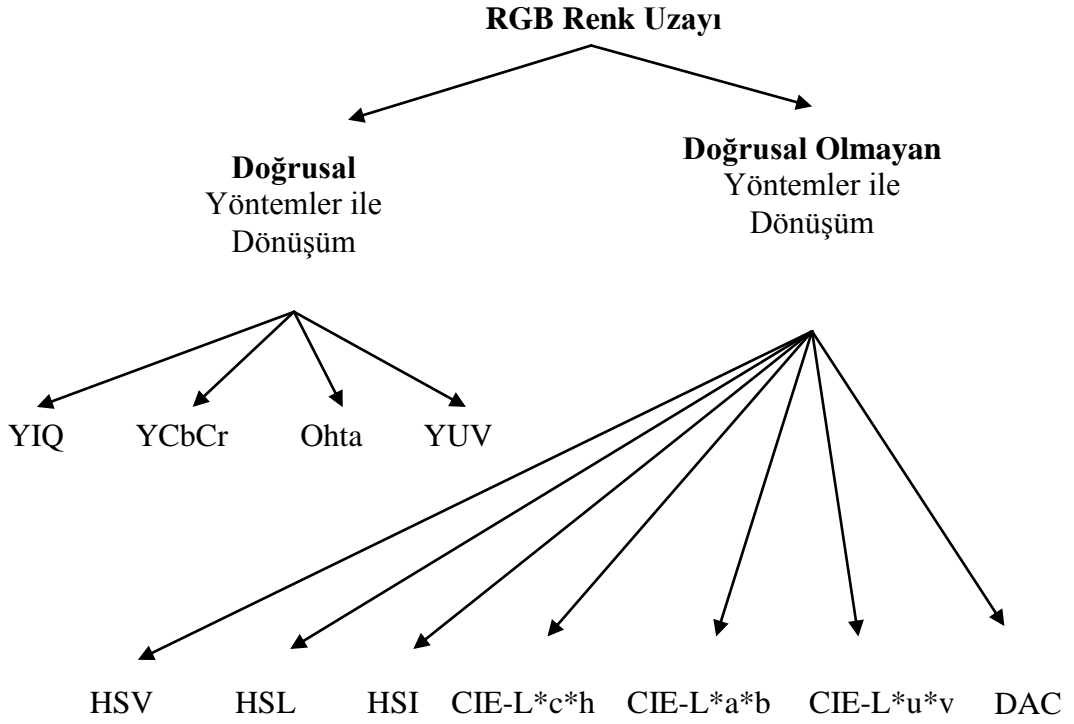
4. 2. Öznitelik Çıkarımı

Görüntü üzerinde cisim tespit edildikten sonra, cisim ile ilgili renk ve doku öznitelikleri çıkartılır. Tezde, traverten plakaların yüzey görüntüleri incelenmiştir. Bu nedenle de sınıfları birbirinden ayırt edebilecek renk ve doku öznitelikleri çıkartılmaya çalışılmıştır.

4.2.1. Renk analizi

Renk analizi yapmak için, renk uzaylarının matematiksel modellerinin bilinmesi gerekmektedir. Grassmann'ın birinci kuralında belirtildiği üzere, bir rengi tanımlamak için birbirinden bağımsız üç değişkene ihtiyaç vardır. Bu nedenle renk uzayları, 3 boyutlu bir matris üzerinde tüm renkleri temsil edecek şekilde oluşturulurlar. Her renk uzayının kendine özgü bir standardı vardır. Günümüzde günlük hayatta yaygın olarak RGB renk uzayı kullanılmaktadır (Yılmaz, 2002).

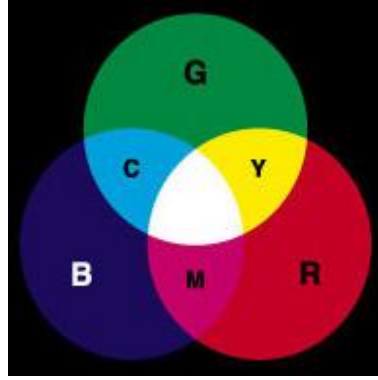
RGB renk uzayından başka bir renk uzayına Şekil 4.3'de gösterildiği gibi doğrusal ya da doğrusal olmayan yöntemler ile dönüşümler yapılabilir (Yılmaz, 2002).



Şekil 4.3. RGB renk uzayından, diğer renk uzaylarına dönüşüm

4.2.1.1. RGB renk uzayı:

RGB renk uzayı temel üç renkten oluşmaktadır. Bunlar kırmızı, yeşil ve mavidir. RGB renk uzayında doğadaki her hangi bir renk, bu üç rengin farklı oranlarla birleşmesinden meydana gelir. Eğer tüm renkler tam ve eşit olarak karıştırılırsa beyaz renk elde edilmektedir.

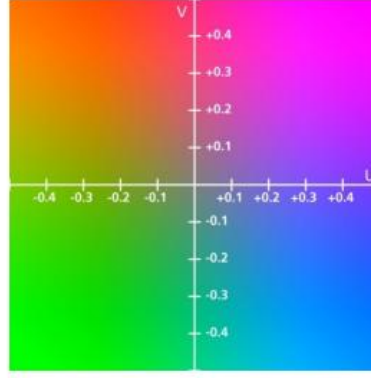


Şekil 4.4. RGB renk uzayı

RGB renk uzayında, her hangi bir görüntüdeki bir nokta, üç farklı matristeki değerler ile ifade edilmektedir. RGB renk uzayı yaygın olarak kullanılmasına rağmen cihaz bağımlı bir renk uzayıdır. Bunun ile birlikte RGB renk uzayının donanım olarak gereksinimleri oldukça fazladır. Örneğin her hangi bir rengin sadece tonu değiştirilmek istendiğinde, her üç boyuttaki tüm veriler getirilip, istenen değişiklikler yapıp, tekrar yine üç boyuta bunların yazılması gerekmektedir. Bu ve bunun gibi birkaç nedenden dolayı YUV, YIQ ve YCbCr gibi farklı renk uzayları ve standartlar geliştirilmiştir.

4.2.1.5. YUV renk uzayı

YUV renk uzayı, renkli video standartlarında kullanılmaktadır. Bu renk uzayının geliştirilmesindeki temel amaç, siyah-beyaz alıcıların renkli video sinyalini siyah-beyaz şeklinde göstermesini sağlamaktır. Renkli televizyon alıcıları ise ilave renk bilgisini, görüntüyü renklendirmek için kullanılmaktadır. Şekil 4.5'de U ve V renk bileşenlerini gösterilmektedir (Taşkın, 2007).



Şekil 4.5. UV renk bileşenleri (Taşkın, 2007)

RGB renk uzayındaki bir rengi YUV renk uzayındaki bir renge dönüştürmek için Denklem 4.1 kullanılır (Cheng, vd., 2001).

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Sayısal RGB değerleri 0 ile 255 arasındadır. Y bileşeni 0-255 arasında, U bileşeni +/- 112 arasında, V ise +/- 157 arasında değerler almaktadır.

HSI, HSL ve HSV renk uzayları, RGB'den doğrusal olmayan yöntemler ile renk dönüşümü yapılan uzaylardır. HSI ve HSV renk uzayları, insanın sezgisel olarak ve daha kolay renk seçimi yapabilmesi amacıyla geliştirilmişlerdir. Renklerin el ile gösterilmeleri gerektiğinde ve kullanıcıların renkleri görerek seçmeleri gerektiği durumlarda idealdirler. HSL ve HSI birbirine çok benzerdirler. Parlaklık bileşeni L yerine yoğunluk bileşeni I kullanılmıştır.

HSI ile HSV arasındaki fark ise parlaklık bileşeninin hesaplanma şeklidir. I ya da V renk doyumunun dağılım ve dinamik aralığın değişmesiyle gerçekleşmektedir (Taşkın, 2007).

4.2.1.6. HSI renk uzayı

RGB renk uzayından HSI renk uzayını dönüşüm için Denklem 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5 kullanılmaktadır (Güllü, 2012);

$$H = \begin{cases} \emptyset & \text{eğer } B \leq G \\ 360 - \emptyset & \text{eğer } B > G \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\emptyset = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{[(R-G)^2(R-B)(G-B)]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (4.3)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min (R, G, B)] \quad (4.4)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (4.5)$$

4.2.1.7. HSV renk uzayı

RGB'den HSV renk uzayına geçiş için RGB değerleri 255'e bölünerek 0 ile 1 arasına çekilmektedir. Daha sonra da Denklem 4.6, 4.7, 4.8, ve 4.9 kullanılarak HSV renk uzayına geçiş sağlanmaktadır.

$$M = \max (R, G, B)$$

$$m = \min (R, G, B)$$

$$V = M/255$$

$$S = 1 - m/M, \text{ eğer } M > 0 \quad (4.6)$$

$$S = 0, \text{ eğer } M = 0. \quad (4.7)$$

$$H = \cos^{-1} \left[(R - \frac{1}{2}G - \frac{1}{2}B) \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - GB} \right] \quad (4.8)$$

eğer $G \geq B$ yada

$$H = 360 - \cos^{-1} \left[(R - \frac{1}{2}G - \frac{1}{2}B) \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - GB} \right] \quad (4.9)$$

eğer $B > G$

4.2.1.8. HSL renk uzayı

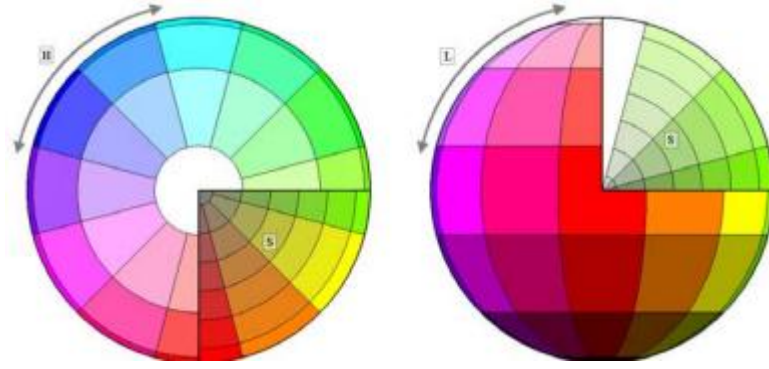
RGB renk uzayından, HSL renk uzayına geçiş için Denklem 4.10, 4.11, 4.12 kullanılmaktadır (Balas, 1997).

$$\varepsilon = \arccos \frac{(R-G)+(R-B)}{\sqrt{2[(R-G)^2+(R-B)^2+(G-B)^2]}} \quad (4.10)$$

$$H = \begin{cases} \varepsilon, & \text{eğer } B \leq G \\ 2\pi - \varepsilon, & \text{değilse } B \leq G \end{cases} \quad (4.11)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R,G,B)}{L} \quad (4.12)$$

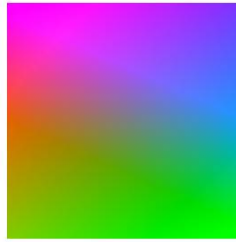
$$L = \frac{R+G+B}{3}$$



Şekil 4.6. HSL renk uzayı (Taşkın, 2007)

4.2.1.2. YIQ (Ntsc) renk uzayı

YIQ renk uzayı, RGB'den doğrusal yöntemler ile renk dönüşümü yapılan uzaylardan birisidir. YUV renk uzayından türetilmiş ve NTSC bileşik video standardında seçimlilik olarak kullanılan bir renk uzayıdır. Burada Y parlaklık değerini göstermekte, I ve Q değerleri ise renk bilgisini transfer etmek için kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde I ve Q renk bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 4.7. I ve Q renk bileşenleri(Taşkın, 2007)

Aşağıdaki temel dönüşüm denkleminde, gamma düzeltmesi yapılmış RGB değerleri kullanılmaktadır (Jack, 2001);

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

RGB renk uzayındaki değerler 0-255 arasındadır. Y 0-255 arasında, I +/- 152, Q ise +/- 134 arasında değerler almaktadır. Aynı zamanda I ve Q değerleri, YUV renk uzayındaki U ve V kesişiminin 33^0 döndürülmesi ile elde edilmektedir.

4.2.1.3. YCbCr renk uzayı

Sayısal video standardı oluşturma çabaları esnasında, YCbCr renk uzayı ortaya çıkmıştır. YCbCr, YUV renk uzayının değiştirilmiş bir şeklidir. Y , 8 bitlik 16-235 değer aralığında tanımlanmaktadır. Cb ve Cr ise de 16-240 değerleri arasında tanımlanmaktadır. 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1 gibi farklı YCbCr örnekleme biçimi bulunmaktadır (Jack, 2001 ve Taşkın, 2007).

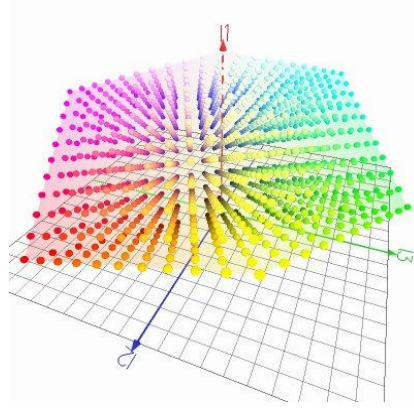
YCbCr'nin (256 seviye) JPEG 8-bit RGB dönüşümü Denklem 4.14'de ifade edilmektedir (Hamilton, 1992);

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

4.2.1.4. OHTA renk uzayı

OHTA($I_1I_2I_3$), doğrusal geçiş sağlanan bir renk uzayıdır. RGB renk uzayından Denklem 4.15 ile OHTA renk uzayına dönüşüm sağlanır (Shih ve Liu, 2005).

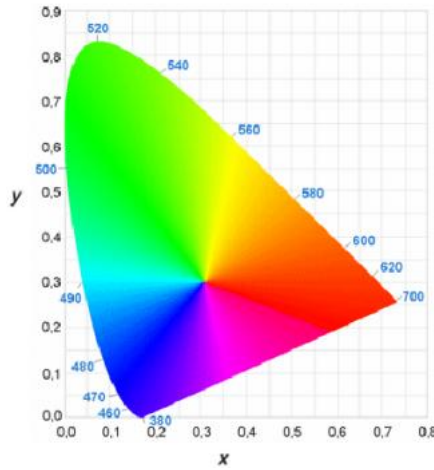
$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{(R+G+B)}{3} \\ I_2 &= \frac{(R-B)}{2} \\ I_3 &= \frac{(2G-R-B)}{2} \end{aligned} \quad (4.15)$$



Şekil 4.8. OHTA renk uzayı (Colantoni, 2011)

4.2.1.9. CIE renk uzayları

1931 yılında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu toplanarak, tüm üç uyarıcı değerlerini x , y koordinat sisteminde pozitif değerlerle gösterilebilecek standart bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu sistem sayesinde, CIE kromatik diyagram olarak bilinen at nalı eğrisini ortaya çıkarmıştır.

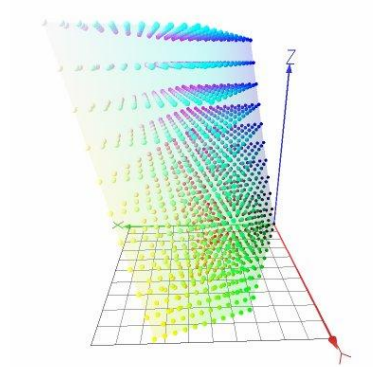


Şekil 4.9. CIE-XYZ eğrisi (Taşkın, 2007)

Sistem yıllar içinde geliştirilse de ana prensipleri günümüze kadar aynı kalmıştır. CIE sisteminde X , Y ve Z olmak üzere üç parametre kullanılmaktadır (Paravina, 2004; Bayındır ve Wee, 2006). CIE-XYZ renk uzayındaki X , Y , ve Z üç ana rengin algılanmasını sağlayan uyarıların, toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu renk uzayındaki bir renk, her uyarımın ayrı ayrı toplam uyarı miktarına olan oranı olarak

ifade edilir. CIE-XYZ renk uzayından RGB renk uzayına geçiş için Denklem 4.16 kullanılmaktadır (Yılmaz, 2002).

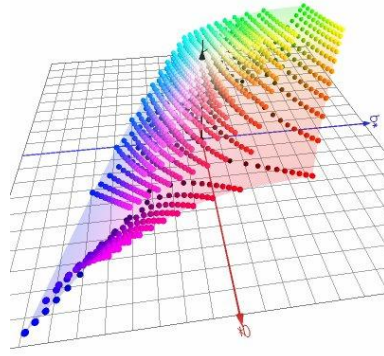
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.16)$$



Şekil 4.10. CIE-XYZ renk uzayı (Colantoni, 2011)

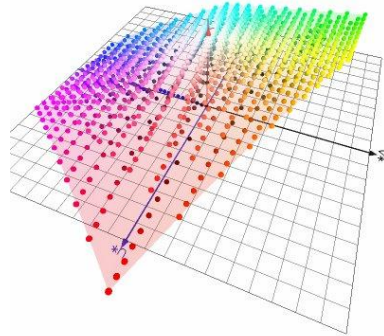
Başka bir CIE renk sisteminde ise L^* , a^* ve b^* olmak üzere üç parametre kullanılmaktadır. L^* , a^* ve b^* değeri üç uyaranlı X , Y , Z parametrelerinden hesaplanmaktadır. Bu renk sisteminin avantajı, üç boyutlu renk aralığının düzenlenmiş olmasıdır. CIE koordinatları, renk tonuna bağlı olmadan, iki renk şiddeti arasındaki mesafenin algı şiddetine oranı ile daha eşdeğer bir gösterge çizelgesi ile gösterilmesini sağlayan bir yöntemdir (Paravina, 2004; Bayındır ve Wee, 2006). CIE- $L^*a^*b^*$ ve CIE- $L^*u^*v^*$ X , Y ve Z değerlerinin doğrusal olmayan dönüşümleridir. CIE-XYZ renk uzayından CIE- $L^*a^*b^*$ renk uzayının elde edilebilmesi için öncelikle standart aydınlatıcı ve standart gözlemciye göre beyazın hangi değerlerinin kullanılacağına karar verilmelidir. CIE- $L^*a^*b^*$, CIE- $L^*u^*v^*$ ve LU^*V^* uzayının elde edilmesi için gerekli bağıntı Denklem 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21'de gösterilmektedir (Agoston, 1987; Cheng vd, 2001; Yılmaz, 2002; Şişeci, 2012);

$$\begin{aligned}
L^* &= 116 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) - 16 \\
a^* &= 500 \left[\sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right] \\
b^* &= 200 \left[\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right]
\end{aligned} \tag{4.17}$$



Şekil 4.11. CIE-L*a*b* renk uzayı (Colantoni, 2011)

$$\begin{aligned}
L^* &= 116 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) - 16 \\
u^* &= 13L(u' - u_0) \\
v^* &= 13L(v' - v_0)
\end{aligned} \tag{4.18}$$



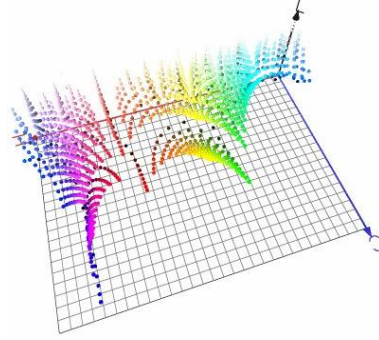
Şekil 4.12. CIE-L*u*v* renk uzayı (Colantoni, 2011)

Buradan LU'V' ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
U' &= \frac{4X}{X+15Y+3Z} \\
V' &= \frac{6Y}{X+15Y+3Z}
\end{aligned} \tag{4.19}$$

CIE- $L^*a^*b^*$ dönüşümünden üretilen CIE- L^*c^*h renk uzayının ifadesi (Osareh vd., 2002);

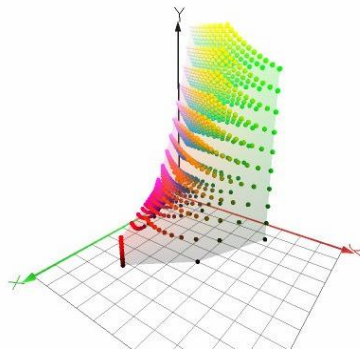
$$\begin{aligned}
 L^* &= 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 \\
 c^* &= \{(a)^2 + (b)^2\}^{0.5} \\
 h &= \arctan\left(\frac{b}{a}\right)
 \end{aligned}
 \tag{4.20}$$



Şekil 4.13. CIE- L^*c^*h renk uzayı (Colantoni, 2011; Şişeci, 2012)

XYL renk uzayındaki x ve y X' in ve Y' nin normalize edilmesiyle şu şekilde ifade edilir (Lucchese vd., 2001);

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\
 y &= \frac{Y}{X+Y+Z}
 \end{aligned}
 \tag{4.21}$$



Şekil 4.14. XYL renk uzayı (Colantoni, 2011; Şişeci, 2012)

Burada x ve y renklerle ilgili bilgileri taşırken CIE Y parlaklık bilgilerini içerir (Lucchese vd., 2001; Şişeci, 2012).

4.2.1.10. DAC renk uzayı

DAC sayısal sinyalleri analog sinyallere dönüştüren bir sistemdir. RGB renk uzayı ile 8-bit DAC renk uzayı arasındaki dönüşüm Denklem 4.22’de verilmektedir (Viénot vd., 1999);

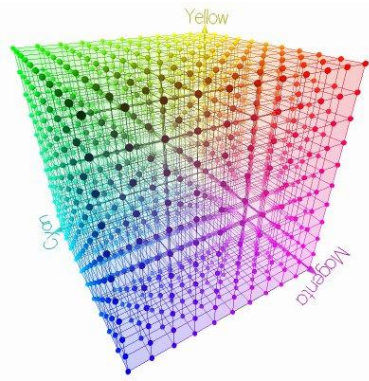
$$\begin{aligned} I_d &= 255 \times R_d^{\frac{1}{2.2}} & 0 \leq R_d \leq 1 \\ J_d &= 255 \times G_d^{\frac{1}{2.2}} & 0 \leq G_d \leq 1, \\ K_d &= 255 \times B_d^{\frac{1}{2.2}} & 0 \leq B_d \leq 1 \end{aligned} \quad (4.22)$$

Burada I_d kırmızı (R_d), J_d yeşil (G_d), K_d ise mavi (B_d) rengin Deutan değiştirme ile elde edilen analog sinyal değerleridir (Şişeci, 2012).

4.2.1.11. CMYK renk uzayı

CMYK (Camgöbeği, Eflatun, Sarı, Siyah) renk uzayı, genellikle baskı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Aptoula, 2008). RGB renk uzayından, CMYK renk uzayına dönüşüm Denklem 4.23’de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} K &= 255 - \max(R, G, B) \\ C &= 255 * [1 - R/(255 - K)] \text{ eğer } K = 255 \text{ ise } C = 0 \\ M &= 255 * [1 - G/(255 - K)] \text{ eğer } K = 255 \text{ ise } M = 0 \\ Y &= 255 * [1 - B/(255 - K)] \text{ eğer } K = 255 \text{ ise } Y = 0 \end{aligned} \quad (4.23)$$



Şekil 4.15. CMYK renk uzayı (Colantoni, 2011)

4.2.1.12. LMS renk uzayı

RGB renk uzayını LMS (Uzun, Orta, Kısa) renk uzayına dönüştürmek için Denklem 4.24 kullanılmaktadır (Reinhard vd., 2001);

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 0.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

LMS renk uzayındaki veriler önemli ölçüde eğrilik (çarpıklık) göstermektedir. Bu nedenle veriler logaritmik uzaya dönüştürülmektedir (Reinhard vd., 2001);

$$\begin{aligned} L &= \log L \\ M &= \log M \\ S &= \log S \end{aligned} \quad (4.25)$$

Bunların yanında MATLAB kütüphanesinde bulunan `rgb2ind` fonksiyonu ile resimler indekslenmiş görüntülere dönüştürülebilmektedir.

4.2.2. Doku analizi

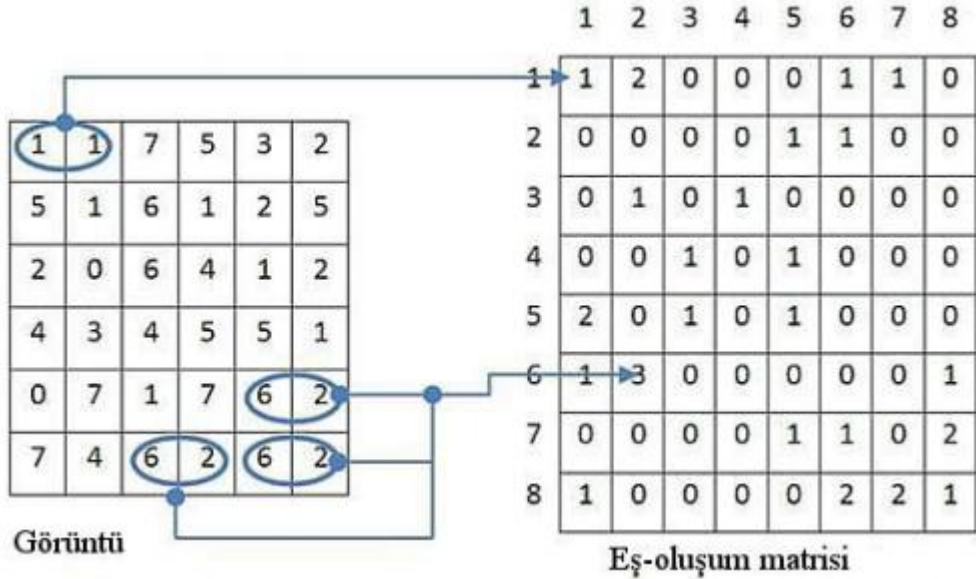
Görüntü işleme teknikleriyle elde edilen doku görüntüleri, yapısal veya istatistiksel özellikleri ile tanımlanır. Bunun yanında doku görüntüleri düzenli veya düzensiz olarak da tanımlanabilir (Haşiloğlu, 2001). Doku analizinde genelde istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en bilinenleri eş-oluşum matrisi (Castleman, 1996), atalet, entropi, enerji, moment, homojenite, zıtlık, ilinti, ve ortalamadır (Castleman, 1996; Gonzalez ve Woods, 2008; Martinez-Alarajin vd., 2005).

Doğal taş sınıflandırmada sadece renk analizi yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle renk analizi ile birlikte doku analizi de yapılması gerekmektedir. Tez çalışmasında doku analizi için gerekli olan öznitelikler, istatistiksel bir yaklaşım olan GSEM (Gri Seviye Eş-oluşum Matrisi) ile çıkartılmıştır. GSEM yöntemine eş-oluşum matrisi de denilmektedir. Bunun yanında eş-oluşum matrisi, ilk defa Haralick vd (1973) tarafından kullanıldığı için Haralick öznitelikleri olarak da adlandırılmaktadır. GSEM, görüntüde arka arkaya gelen iki pikselden, o görüntüde kaç adet olduğu

bilgisinin tutulduğu bir matris olarak düşünülebilir. Bu piksellerden birisi referans pikseli, diğeri ise komşu piksel olarak adlandırılır. N^2 boyutlu bir kare matris olan GSEM’de matrisin her bir elemanı d mesafesindeki i ve j piksel değer çiftinin oluşum sayısını belirtir (Acar, 2012).

GSEM matrisinin oluşturulmasında pikseller arası uzaklık kadar, piksel çiftlerinin yönleri de önemlidir. Uygulamalarda en çok $\vartheta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ yönleri ve bunların simetrikleri tercih edilmektedir.

Tez çalışmasında da $\vartheta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ yönleri kullanılarak GSEM matrisleri elde edilmiştir. Bu yönlerden elde edilen değerlerin ortalaması ise bir öznitelik olarak alınmıştır. Şekil 4.16’da gri seviye sayısı 8, pikseller arası uzaklık $d=1$ ve yön açısı $\vartheta = 0$ olarak hesaplanan bir eş-oluşum matrisi gösterilmektedir (Acar ve Özerdem 2012)



Şekil 4.16. Örnek bir eş oluşum matrisi (Kurtulmuş, 2012)

Şekil 4.16’da gösterilen görüntü matrisi içerisinde (1,1)’lik piksel çifti tüm görüntüde sadece bir kez tekrarlanmıştır. Bu nedenle, bu piksel çiftinin eş-oluşum matrisindeki (1,1) piksel konumundaki değeri 1 olur. Yine aynı şekilde (6,2) piksel çifti, görüntü matrisi içinde 3 adet bulunduğu için, eş-oluşum matrisindeki değeri 3 olur. Bu adımlar görüntü matrisi içersindeki tüm piksel çiftleri için de tekrarlanarak eş-oluşum matrisi oluşturulur (Acar 2012).

1973 yılında Haralick, 14 adet GSEM özniteliğini ortaya koymuştur. Başka araştırmacıların da katkılarıyla günümüzde bu sayı 22'ye kadar çıkmıştır. Bu çalışma kapsamında Haralick vd (1973), Soh ve Tsatsoulis (1999), Clausi (2002) tarafından ortaya konulan ve kullanılan toplamda 22 adet GSEM özniteliğinden 4 tanesi kullanılmıştır. Bu öznitelikler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Zıtlık:} \quad \sum_{i,j} |i - j|^2 p(i, j) \quad (4.26)$$

$$\text{Homojenite:} \quad \sum_{i,j} \frac{(i - \mu_j)(j - \mu_i)p(i, j)}{\delta_i \delta_j} \quad (4.27)$$

$$\text{Enerji:} \quad \sum_{i,j} p(i, j)^2 \quad (4.28)$$

$$\text{Entropi:} \quad \sum_{i,j} \frac{p(i, j)}{1 + |i - j|} \quad (4.29)$$

$p(i, j)$: i ve j gri seviyeleri arasındaki eş oluşumu,
 μ_j, δ_j : Sırasıyla ortalama ve standart sapmayı ifade eder.
 i, j : Gri formata çevrilmiş resimdeki koordinat değeri

4.3. Öznitelik Seçimi

Öznitelik seçimi, sınıflandırmadaki en önemli konulardan birisidir. Çıkarılan özniteliklerden sınıfları en iyi temsil eden özniteliklerin belirlenmesi, sınıflandırma başarısını olumlu yönde etkilemektedir. Bunun ile beraber sınıflandırma işleminde eğitim gereken bir sınıflandırma algoritması seçilmişse, tüm öznitelikleri eğitime sokmak yerine sadece işe yarayan etkili özniteliklerin eğitime alınması, işlem süresini de kısaltmaktadır (Abe vd., 1998; Huang ve Chow, 2005; Cetişli 2006).

Böylece daha az ölçüm yapılır ve daha az bellek kullanılır. Bunların yanı sıra, sınıflandırmanın daha anlaşılır olması sağlanır (Huang vd., 2005; Liu vd., 2005).

Literatürde öznitelik seçiminde birçok yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Fakat bu yöntemlerden bazıları, özgün özniteliklerin kaybolmasına neden olabilmektedir.

Örneğin temel bileşen analizi, özgün bilgiyi farklı yöntemler ile yeni bir veri uzayına taşıyarak bazı bilgilerin kaybolmasına neden olabilmektedir (Liu vd., 2005).

Bazı durumlarda da özgün verinin korunması gerekebilir. Bu gibi durumlarda da korunan verinin içerisinden en iyi öznitelikler seçilir (Abe vd., 1998; Huang vd., 2005; Liu vd., 2005).

Öznitelik seçimi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı yöntemlerle eğitilen sinir ağları da göze çarpmaktadır. Bu ağlardan bazıları da sinir-bulanık ağ tabanlıdır (Sural, vd., 2001; Benitez, vd., 2001; Marin-Blazquez, vd., 2002; Chakraborty, vd., 2004; Emmanouilidis, vd., 1999; Marin-Blazquez, vd., 2001; Casillas, vd., 2005).

4.3.1. Uyarlamalı sinir bulanık sınıflayıcının öznitelik seçiminde kullanılması

Bir sınıflandırma yöntemi olan sinir bulanık sınıflayıcıları bazı değişiklikler ile öznitelik seçiminde de kullanılabilir. Dilsel kuvvetlerin yardımı ile bazı öznitelikleri güçlendirmek, yada zayıflatmak mümkündür (Cetişli, 2006). Herhangi bir özneliğin her zaman bütün sınıflar için aynı oranda iyi bir ayırt edici olması beklenemez. Bu nedenle her sınıflandırma kuralı özneliklere farklı bir kuvvet değeri vererek incelenmelidir.

Eğer bir öznitelik herhangi bir sınıf için çok önemliyse, bu özneliğin o sınıftaki etkisi daha da arttırılmalıdır. Bulanık mantığın dilsel terimleri ile bu arttırma ya da azaltma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin bir özneliğin bir sınıftaki değeri için iyi, kötü gibi tanımlamalar ile bulanık kümeler oluşturulsun. Daha sonra bir özneliğin etkisi her hangi bir sınıf için arttırılmak ya da azaltılmak istenirse, yeni türetilen bulanık kümelerle bu işlem gerçekleştirilebilir. Bu türetme şeklide “çok iyi”, “çok çok iyi” ya da “çok kötü”, “çok çok kötü” gibi dilsel terimler kullanılabilir. Türetilen bu kümeler, özgün kümelerin farklı kuvvetler uygulanmış şeklidir.

Bulanık kümeler türetildiği gibi bulanık kurallar oluştururken aynı işlemler yapılabilir. Böylece mevcut klasik bulanık kurallardan daha ayrıntılı ve anlamlı yeni kurallar elde edilebilir. Genelde bulanık kuvvetler önce dilsel terimlere eşitlenmektedir. Daha sonra bu dilsel terimlerde bir değere sabitlenmektedir.

Tezde uyarlamalı bulanık sinir sınıflayıcı, hem öznitelik seçiminde hem de sınıflandırmada kullanılmıştır. Öznitelik seçiminde kullanımı, dilsel kuvvet değerinin belli aralıklara sabitlenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Sınıflandırmada ise dilsel kuvvet değeri $[0 +\infty)$ aralığında değişmektedir. Uyarlamalı bulanık sinir sınıflayıcı ile ilgili detaylı bilgiler sınıflandırma bölümünde anlatılmıştır.

4.3.2. Fisher öznitelik seçimi

Fisher yöntemi, tıbbi uygulama alanlarından tutunda örüntü tanıma gibi birçok alanda kullanılan doğrusal bir öznitelik seçme yöntemidir. Fisher ölçüsü (FÖ), Fisher'in Doğrusal Ayıraç Analiz (FDAA) ölçütünden çıkartılmaktadır. Fisher yönteminde aynı sınıfa ait örneklerin birbirine yakın, farklı sınıflardaki örneklerinse birbirinden uzak olması amaçlanmaktadır (Duda vd., 2001; Webb, 2002; Theodoridis ve Koutroumbas, 2003). Bu amaç doğrultusunda mevcut özniteliklerin seçilmesinde kullanılacak dönüşüm matrisini bulmak için aşağıdaki FÖ ölçüsü kullanılır.

$$J_{FDAA}(W) = \max \frac{|W^T S_B W|}{|W^T S_W W|}. \quad (4.30)$$

Bu eşitlikte W yeni özniteliklerin elde edilmesi için kullanılacak dönüşüm matrisini, S_W sınıflar içi saçılım matrisini, S_B sınıflar arası saçılım matrisini ve $|\cdot|$ işleci ise matris belirtenini (determinant) ifade etmektedir. İyi ayırt ediciliğe sahip özniteliklerin FÖ ölçüsü yüksek diğer durumda ise FÖ ölçüsünün değeri küçük olacaktır (Günel ve Edizkan, 2008).

FDAA Ölçütünün Özellikleri

Elimizde C tane sınıftan oluşan bir eğitim seti olduğunu varsayalım. Bu C tane sınıfın her birinde N_i adet örnek olsun. Her bir sınıftaki m 'nci örneği d boyutlu örnek uzayında $x_m^i, i = 1, \dots, C$ ile gösterilsin. Bu durumda eğitim setinde toplam $M = \sum_{i=1}^C N_i$ örnek olacaktır. Sınıflar içi saçılım matrisi S_W , sınıflar arası saçılım matrisi S_B ve toplam saçılım matrisi S_T aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunabilir:

$$S_w = \sum_{i=1}^C \sum_{m=1}^{N_i} (x_m^i - \mu_i)(x_m^i - \mu_i)^T, \quad (4.31)$$

$$S_B = \sum_{i=1}^C N_i (\mu_i - \mu)(\mu_i - \mu)^T, \quad (4.32)$$

$$S_T = \sum_{i=1}^C \sum_{m=1}^{N_i} (x_m^i - \mu_i)(x_m^i - \mu_i)^T = S_B + S_w. \quad (4.33)$$

Bu eşitliklerde μ_i , i 'nci sınıfa ait ortalama değer vektörünü ve μ , eğitim setindeki tüm örneklerin ortalama değer vektörünü ifade eder. Saçılım matrisleri sadece sıfır ya da pozitif değerler alırlar.

FDAA ölçütü, saçılım matrislerinin skalar olarak ölçülmesi için matris belirtenlerini kullanır. Bir saçılım matrisinin belirteni o matrisin özdeğerlerinin çarpımı olacağından, FDAA ölçütü bir anlamda çok boyutlu uzaydaki elipsel saçılımların hacmini ölçmektedir (Çevikalp, 2006).

4.3.3. Pearson öznitelik seçimi

Pearson öznitelik seçiminde özdeğişinti matrisi kullanılmaktadır. Özdeğişinti matrisi, görüntü temsilinde ilk olarak Tuzel vd (2006) kullanmıştır. Görsel öznitelikleri birleştirmeyi amaçlayan ve sadece piksel değerlerini tutan gösterime göre daha az yer kaplayan bir gösterim şeklidir. Bir özdeğişinti matrisinin çapraz elemanları ilgili öznitelik ve değişimlerini gösterirken, diğer elemanların farklı öznitelikler arasındaki ilintiyi da göstermektedir.

I uzayı üzerinde verilen bir görüntü, her piksel değeri $i \in I$ yi n boyutlu öznitelik vektörüne eşleyen ϕ fonksiyonu olduğu düşünülürse:

$$\Phi(I, x_i, y_i) = z_i \quad (4.34)$$

Burada $Z_i \in R^n$ ve (x_i, y_i) görüntünün i . konumundaki pikselin koordinatı olmak üzere R alt bölgesi $n \times n$ boyutundaki özellik vektörlerinin kovaryans matrisi olan C_R Denklem 4.36 ile hesaplanır. Denklem 4.38'de kullanılan μ_R ortalama vektörü ise Denklem 4.35 ile hesaplanır.

$$\mu_R = \frac{1}{|R|} \sum_{i=1}^{|R|} (z_i) \quad (4.35)$$

$$C_R = \frac{1}{|R|-1} \sum_{i=1}^{|R|} (z_i - \mu_R) (z_i - \mu_R)^T \quad (4.36)$$

Görüntünün öznitelikleri çıkartılarak oluşturulan özdeğişinti matriste, görüntü içeriğini karakterize edecek öznitelikler bulunmalıdır. Özdeğişinti matris oluşturulduğunda, orijinal görüntünün taşıdığı bazı bilgiler kaybolabilmektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmanın başarısı bakımından, özdeğişinti matrise aktarılacak görüntü özniteliklerinin seçimi, en az yöntem kadar önemlidir.

Özdeğişinti matris ile görüntü içerisindeki karakteristik özellikler, öznitelik sayısı boyutunda sabit büyüklükte kare bir matris ile gösterebilir. Bundan dolayı ihtiyaç duyulan bellek miktarı azdır. Bunun ile birlikte işlem karmaşıklığını da azaltan bir yapıdır. Özdeğişinti matrisin en önemli özelliği, görüntüdeki karakteristik özelliklerden taviz vermeden, görüntü boyutu ne olursa olsun sabit boyutlu bir matris ile ifade edilebilmesidir. Fakat yine de bu avantajlarına rağmen özdeğişinti matrisin pozitif tanımlı matris olma zorunluluğu ve özel bir uzayda bulunmasından dolayı geleneksel makine öğrenme algoritmalarına adaptasyonu zordur.

4.4. Sınıflandırma

Sınıflandırma, genellikle makine görme sistemlerinin son aşamasıdır. Öznitelik seçiminden sonra elde edilen en iyi öznitelikler kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Literatürde sınıflandırma için kullanılan birçok algoritma mevcuttur. Bunlara örnek vermek gerekirse, Alajarin ilk kez 2005 yılında toplam fark histogramlarını kullanarak mermer yüzeylerini sınıflandırmıştır. Bunun dışında Ardalı (2008) çalışmasında, mermer yüzeylerini çok katmanlı yapay sinir ağı kullanarak sınıflandırmıştır. Tez çalışmasında ise literatürde traverten plakaların sınıflandırmasında daha önce kullanılmayan Bayes ve Uyarlamalı Sinir Bulanık sınıflayıcıları kullanılmıştır.

4.4.1. Bayes sınıflayıcı

Bayes sınıflayıcı, Bayes teoremini temel alan bir sınıflayıcıdır. Bu olasılık modelinde önemli olan nokta, bağımsız özellik modeli olmasıdır (Uzun, 2007; Pençe, 2012). Yalın tasarımına ve basitleştirilmiş varsayımlara rağmen Bayes sınıflandırıcı gerçek şartlarda çok iyi sonuçlar verebilmektedir (Hand ve Yu, 2001; Rish, 2001; Mozina vd., 2004; Menzies vd, 2007).

Bayes sınıflandırmasında birbirlerinden bağımsız ölçütler kullanılacaksa tek değişkenli normal dağılım, ölçütler arasında ilişki varsa çok değişkenli normal dağılım kullanılmaktadır (Turhan ve Bener, 2007).

Tek değişkenli normal dağılımda, $x \sim N(\mu, \sigma^2)$; x : Veri noktasını, μ : Ortalama değeri, σ : Standart sapmayı ifade eder.

Olasılık yoğunluğu Denklem 4.37 ile hesaplanır (Alpaydin, 2004).

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)\sigma}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.37)$$

Denklem 4.39'da gösterilen üstel fonksiyon içerisinde, veri noktalarının ortalamadan sapmalarının standart sapmalar cinsinden değerleri, bir uzaklık birimi olarak kullanılır. Tek değişkenli bir dağılım olduğundan, değişkenler arası ilişki dikkate alınmaz (Turhan ve Bener, 2007).

Çok değişkenli normal dağılımlarda, $x \sim N(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$, veri noktaları bütün ölçütlere karşılık gelen değerleri içeren vektörler olarak ifade edilir.

x : Veri noktasını, $\boldsymbol{\mu}$: Ortalama vektörünü, $\boldsymbol{\Sigma}$: Özdeğişinti matrisini ifade eder.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 4.38'de gösterilmiştir (Alpaydin, 2004).

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{d/2} \boldsymbol{\Sigma}^{1/2}}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(x - \boldsymbol{\mu})\right) \quad (4.38)$$

Üstel fonksiyon içerisinde kullanılan uzaklık fonksiyonu Mahalanobis uzaklığıdır (Turhan ve Bener, 2007). Bu dağılımlar ile Bayes teoreminin birleştirilmesi sonucu

Bayes sınıflandırıcılar elde edilmektedir. Bu olasılık modeli koşullu olasılık modelidir ve Denklem 4.39 ile gösterilebilir.

$$P(C|F_1 \dots F_n) \quad (4.39)$$

Denklem 4.39'da, C : Bağımlı sınıf değişkenini, F_1, \dots, F_n : Koşullu birkaç öznelik değişkenini ifade etmektedir (Uzun, 2007).

Bayes teoreminde, sonsal dağılımın önsel dağılım ve olabilirlikle orantılı olduğu bilinmektedir. Bayes teoremi Denklem 4.40' de gösterilmiştir (Alpaydin, 2004).

$$P(C_i|x) = \frac{P(x|C_i)P(C_i)}{P(x)} \quad (4.40)$$

Bayes teoremini sınıflandırıcı için kullanırsa Denklem 4.41 elde edilir.

$$P(C|F_1, \dots, F_n) = \frac{P(F_1, \dots, F_n|C)P(C)}{P(F_1, \dots, F_n)} \quad (4.41)$$

Bağımsızlık varsayımları ile C sınıf değişkeninin koşullu dağılımı Denklem 4.42'deki gibi yazılabilir.

$$P(C, F_1, \dots, F_n) = \frac{1}{Z} P(C) \prod_{i=1}^n P(F_i|C) \quad (4.42)$$

Z, F_1, \dots, F_n , bağlı bir ölçekleme katsayısıdır (Uzun, 2007; Pençe, 2012).

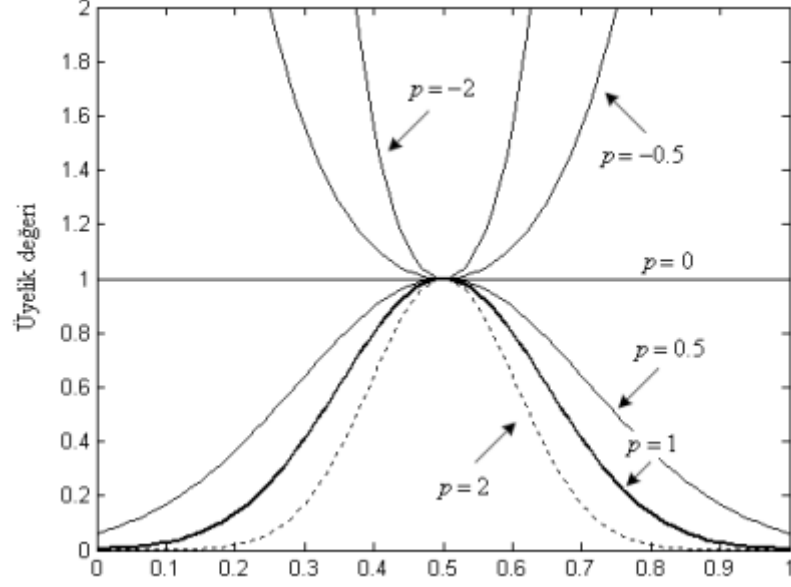
4.4.2. Uyarlamalı sinir-bulanık sınıflayıcı

Bulanık mantığın eğer-ise çıkarsama mantığı ile sinir ağlarının öğrenme yeteneği bir araya getiren yöntem Uyarlamalı Sinir-Bulanık Sınıflayıcı (USBS) yöntemi denilmektedir (Cetişli, 2005). Bu sınıflayıcının en önemli özelliği, bulanık kümelere uygulanan dilsel kuvvetlerdir. Bu dilsel kuvvetlerin matematiksel karşılığı ise üstel kuvvetlerdir.

Uyarlamalı sinir-bulanık sınıflayıcı (USBS) ile dilsel kuvvetlerin öznitelikler üzerindeki etkisini arttırıp azaltmak mümkündür (Cetişli, 2006). Herhangi bir öznitelik bütün sınıflar için aynı oranda etkili olamaz. Bu nedenle her sınıflandırma kuralında her bir öznitelik, farklı bir kuvvetle değerlendirilmelidir. Böylece ayırt edici öznitelikler seçildiği esnada, bazı sınıflar üzerindeki olumsuz etkisi de giderilebilir. Bazı durumlarda ise bir öznitelik herhangi bir sınıf için önemli olurken iken diğer sınıflar için önemsiz olabilir. Böyle bir durumda bu özneliğin önemli olduğu sınıftaki etkisi arttırılırken, önemsiz olduğu sınıflardaki etkisi azaltılmalıdır. Bulanık kümeler farklı kuvvet değerleri uygulanarak, yeni bulanık kümeler oluşturulabilir. Aynı şekilde bulanık kurallara da farklı kuvvet değerleri uygulayarak, yeni bulanık kurallar oluşturulabilir. Böylece klasik bulanık kurallardan daha anlamlı ve ayrıntılı yeni kurallar elde edilir (Cetişli, 2006).

Bulanık kuvvetler genellikle, dilsel terimlere eşitlenmektedir. Daha sonra da bu terimler bazı değerlere sabitlenmektedir. Örneğin Jang(1997)'in yapmış olduğu çalışmada yoğunlaşma ve genleşme terimleri “çok” ve “az” anlamları taşıyan dilsel kuvvet değerlerine eşitlenmiştir. Daha sonra bu kuvvet değerleri de $p=2$ ve $p=0.5$ gibi değerlere sabitlenmektedir. Fakat USBS de, sınıflandırma sırasında $[0 +\infty]$ aralığında, dilsel kuvvet değerlerinin değişmesine izin verilmektedir.

Bir dilsel terime uygulanan dilsel kuvvetlerin farklı p değerleri $\{-2, -0.5, 0, 0.5, 1, 2\}$ için elde edilen kuvvetlendirilmiş dilsel terimleri Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, $p<0$ durumunda üyelik fonksiyonunun yönü değişmekte ve buna bağlı olarak da elde edilen üyelik değerleri 1'den büyük olmaktadır. Üyelik değerinin $[0 +1]$ aralığının dışında olması istenilen bir durum değildir. Çünkü bu durumda, elde edilen kümeler bulanık değildir. Bu nedenle $p\geq 0$ olmalıdır (Cetişli, 2006).



Şekil 4.17. Bir dilsel terime uygulanan dilsel kuvvetlerin farklı p değerleri için yorumları (Cetişli, 2006)

Sınıflayıcı tasarlanırken türev tabanlı bir eniyileme yöntemi olan Ölçeklenmiş Eşlenik Eğitim Yöntemi (ÖEEY) kullanılmaktadır.

USBS’de parametrelerin başlangıç değerlerinin belirlenmesi ve kuralların oluşturulması için bulanık C-ortalamar kümeleme yöntemi kullanılmaktadır. Bundan farklı olarak literatürde K-ortalamar, çıkarsamalı kümeleme yöntemi gibi yöntemler de kullanılmıştır (Jang v., 1997; Cetişli, 2006). Her sınıftaki, küme (kural) sayısı belirlenerek bulanık C-ortalamar ile kurallar oluşturulmaktadır. USBS, öznitelik seçimi ve sınıflandırma için farklı sınırlandırma ve kural yapılarıyla çalışır. Birinci adımda bütün dilsel kuvvetler 0.5 değerine kurulur ve her sınıf için sadece bir küme (kural) seçilir. Bu yapıdaki USBS belirlenen adım sayısında öznitelik seçimi için çalıştırılır. Eğitim süresince $0 \leq p_{i,j} \leq 1$, olmasına dikkat edilir. Elde edilen ayarlanmış dilsel kuvvetlerle j. özniteliğin seçim değeri Denklem 4.43 ile bulunur (Cetişli, 2006).

$$P_j = \prod_{i=1}^c p_{ij} \quad (4.43)$$

USBS için öznitelik seçme ve sınıflandırma algoritmaları aşağıdaki gibidir (Cetişli, 2006).

Öznitelik seçimi için;

1- Her sınıf için sadece bir tane bulanık mantık kuralını, Gaussian dağılımını kullanarak belirle,

2- p_{ij} değerini 0.5 olarak belirle. for $i = 1,2,\dots, K$ 'ya kadar ve $j = 1,2,\dots, D$ 'ye kadar olmalı. Burada K sınıf sayısını ve D de öznitelik sayısını ifade etmektedir.

3-Seçilecek öznitelik sayısını belirle (L)

4-Dilsel kuvvetlendiricileri kullanarak USBS'yi eğit. Eğitim esnasında p_{ij} değeri Denklem 4.44'de belirtilen aralıkta olmalıdır.

$$0 \leq p_{i,j} \leq 1, \quad (4.44)$$

5-For $i = 1$ to K olmalı. i . sınıfı için j . inci özniteliğin en büyük P değeri bulunmalıdır. j . inci öznitelik için bulunan değer ayırt edici öznitelik kümesine eklenmelidir.

6- Özniteliklerinden en büyük P değeri olan öznitelik, en iyi ortak ayırt edici özellik olarak belirlenmelidir.

Özgün verilerden seçilen en iyi öznitelikler kullanılarak yeni eğitim (X_{new}) ve test verileri oluşturulmalıdır.

Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı hem öznitelik seçiminde hem de sınıflandırmada kullanılmıştır. Bu nedenle sınıflandırma için kullanıldığında bazı değişiklikler yapılması gerekmiştir.

Sınıflandırma için kullanıldığı durumda;

1- Her sınıf için bulanık kurallar (V) sayısını ayarlayın.

2- Bulanık kuralların toplamı $U=V.K$ olmalı. U Bulanık kural sayısını ifade etmektedir.

3- for $i = 1,2, \dots, U$ 'ya kadar ve $j = 1,2, \dots, D$ 'ye kadar p_{ij} değerini 1 olarak ayarla.

4- K-means kümele yöntemini kullanarak, Uyarlamalı Bulanık Sinir Sınıflayıcının doğrusal olmayan parametrelerinin başlangıç değerlerini belirle.

5- X_{new} eğitim seti ile USBS'yi eğit. Eğitimde p_{ij} değeri her öznitelik ve kural için sıfıra eşit ve sıfırdan büyük olmalıdır ($p_{i,j} \geq 0$).

6-Eğitim ve test sınıflandırma sonuçlarını elde edilir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmaların tam ve doğru bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle deney düzeneğinin hazırlanması gerekmektedir. Özellikle sanayi ortamında da çalışabilecek bir sistemin hazırlanması planlandığı için tüm düzenek bu ortama uygun tasarlanmıştır.

Piyasada kullanılan doğal taş boyutları da göz önünde bulundurularak, Ek A1'de gösterilen 1000mm eninde, 5000mm boyunda bir konveyör tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım yapılırken kullanılacak malzeme özenle seçilmiştir. Örneğin konveyörün fabrika koşullarında ki titreşiminde etkilenmemesi için 120mmlik metal profil kullanılmıştır. Oluşturulan konveyörün tambur çapı özenle belirlenmiştir. Eğer tambur küçük ya da büyük olacak olursa, daha sonraki adımda kullanılacak sinyal üreticinin özel imal edilmesi gerekmektedir. Böyle bir durumla karşılaşmamak adına tambur çapı 200mm olarak belirlenmiş ve buna göre de bir sinyal üretici tedarik edilmiştir.

Konveyör imal edildikten sonra Ek A2 ve A3'de gösterilen kabin tasarımı yapılmıştır. Kabine yerleştirilecek kameranın lensi ile ürün arasındaki mesafe 1000mm dir. Kameranın kendi yüksekliği de işin içine girdiğinden dolayı, kabinin yüksekliği 1200mm olarak belirlenmiştir.

Tezde, gerçek zamanlı görüntü alınabilmesi için materyal bölümünde anlatılan bilgiler ışığında Autronics E50S model bir kodlayıcı kullanılmıştır. Bu kodlayıcı, artırimsal tip ve manyetik algılama teknolojisi ile çalışmaktadır. Bunun yanında bir tam turda 5000 kare dalga üretmektedir. Böylece sistemin çözünürlüğü üst düzeye çıkartılmıştır.

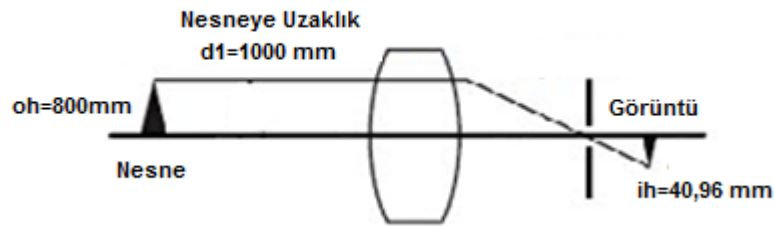
Sistem tasarlanırken teorik olarak hesaplama yapılmasına rağmen, uygulamada çıkabilecek bazı sorunlar ile ilgili doğru öngörülerde bulunulması gerekmektedir. Bu ön görüleri yapabilmek içinde bazı konveyör sistemleri incelenmiştir. Sistemin tasarımı yapılırken sinyal üreticinin hassasiyet sorununun olabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle sinyal üreticinin montajı, boş tamburun olduğu mile yapılmıştır. Böylece motorun sarsıntısından kaynaklanabilecek sorunlar daha başlamadan engellenmiştir.

Yapılan piyasa araştırmasında, traverten plakaların 100x100mm² ile 500x500mm² arasında olduğu görülmüştür. Bu nedenle yatayda 500mm ya kadar bir alanın taranması gerekmektedir. Özellikle 500x500mm² boyutundaki taşların, kameranın altına çapraz gelmesi durumunda, yatayda taranması gereken alan 708mm ye kadar çıkabilmektedir. Hazırlanan sistem de 512, 1024 ya da 2048 piksele sahip bir kamera kullanılması durumunda, özel yapım lensler gerekmektedir. Fiyat performans analizi yapıldığında ise 4096 piksele sahip bir kamera tercih edilmesinin çok daha makul olduğu görülmüştür. Bu nedenle sistemde Teledyne Dalsa marka trilinear bir kamera tercih edilmiştir. Kamera ile ilgili tüm teknik bilgiler Ek C' de verilmiştir. Kamera seçimi tamamlandıktan sonra uygun lens seçimi yapılmıştır. Bu seçim esnasında kameranın ve taranacak alanın özellikleri göz önünde bulundurulmuştur.

Kameranın piksel boyutu: 10µm x 10µm

Tarayacağı satır genişliği = 4096 Piksel

Kameranın algılayıcısının boyutu = 40,96mm



Şekil 5.1. Oluşturulması planlanan sistem

$$f = \frac{d1 \cdot ih}{oh + ih} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'te kullanılan;

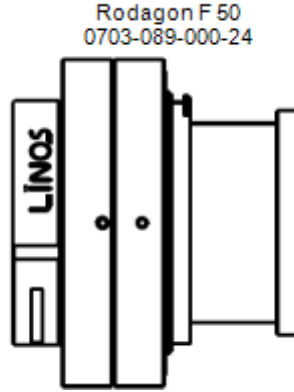
f : Odak uzaklığını,

$d1$: Nesneye olan uzaklığını,

ih : Oluşan görüntünün yüksekliğini,

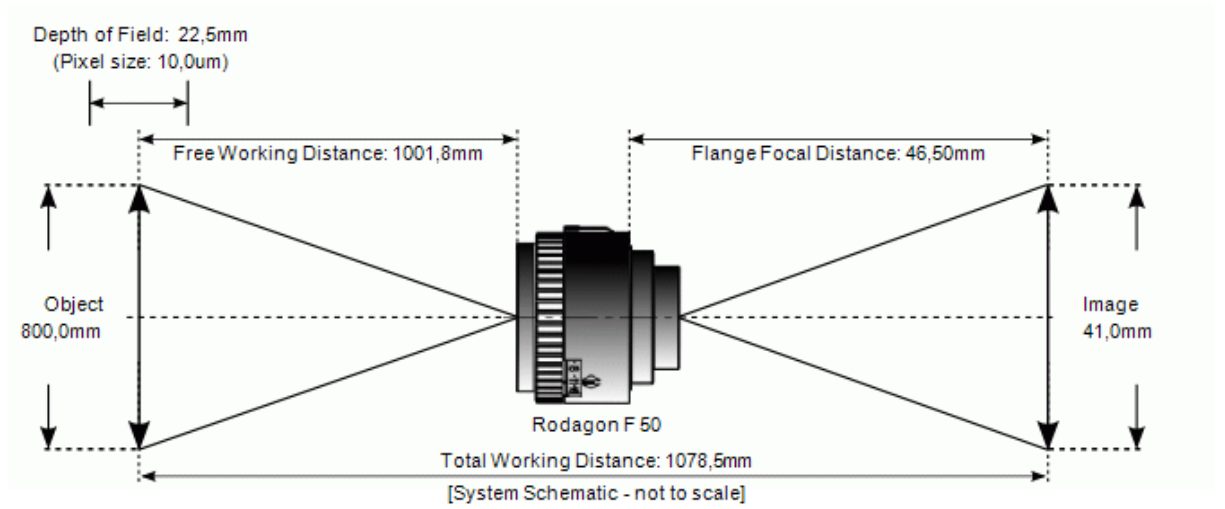
oh : Nesnenin boyunu ifade etmektedir.

Denklem 5.1 kullanılarak elde edilen değere en yakın lensin odak uzaklığı 50mm dir. Bu durumda piyasa araştırması sonucunda da Şekil 5.2’te gösterilen Rodegon F50 lens tercih edilmiştir.



Şekil 5.2. Rodegon F50 (Qioptiq, 2013)

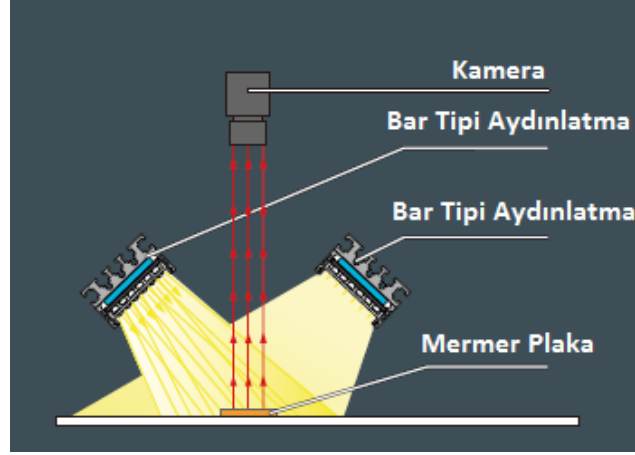
Sistemde kullanılan lens ve temel mesafeler Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Temel mesafeler (Qioptiq, 2013)

Sistemde aydınlatma için, materyal bölümünde belirtilen özel bir aydınlatma tasarlanmıştır. Bu aydınlatmalar Şekil 5.4’te gösterildiği gibi birbirine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Aydınlatmalar, yaklaşık $100 \times 900 \text{mm}^2$ lik bir alanı homojen olarak aydınlatmaktadır. Kameranın anlık taradığı çizginin de, bu alan içerisinde olması sağlanmıştır. Böylece doğal taşların, homojen aydınlatma altında görüntüleri alınmıştır. Çizgi halinde alınan bu görüntüler birleştirildiğinde, elde edilen tüm görüntüdeki aydınlanma oranı eşit olmaktadır. Bar aydınlatmanın üzeri bir yansıtıcı

ile örtülmüştür. Böylece hem ışığın alt alana endirekt olarak gelmesi sağlanmış, hem de kameraya doğrudan ışık gelmesi engellenmiştir

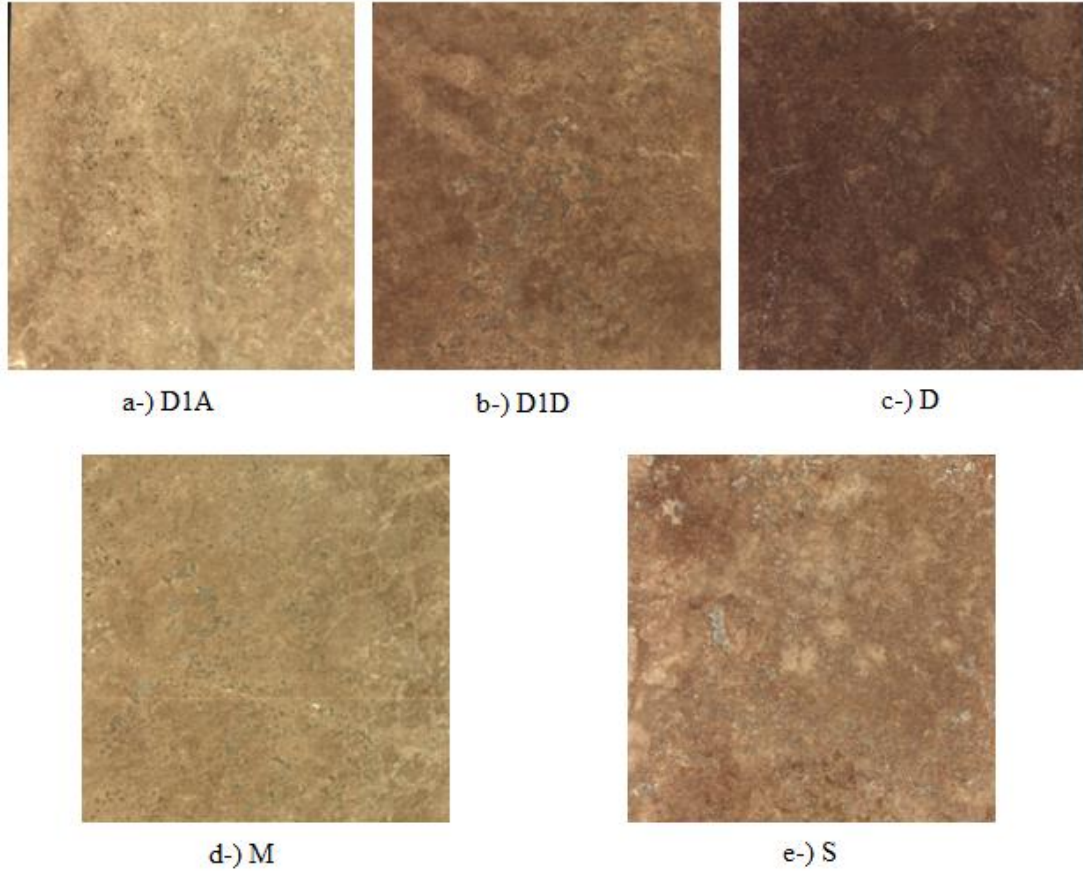


Şekil 5.4. Bar tipi aydınlatma (CSS, 2013)

Sistemin tüm donanımı hazırlandıktan sonra genel ayar ve algoritma geliştirme safhasına geçilmiştir.

5.1. Sistem Kalibrasyonu

Projede ilk etapta, doğal taş üreticisinden beş farklı sınıfta toplamda 100 adet traverten taş örneği tedarik edilmiştir. Üreticinin bu sınıflara verdiği isimler D1A, D1D, D, M ve S dir. Çalışmada da bu isimler kullanılmıştır. Aşağıda bu sınıflara ait birer örnek resim gösterilmiştir.

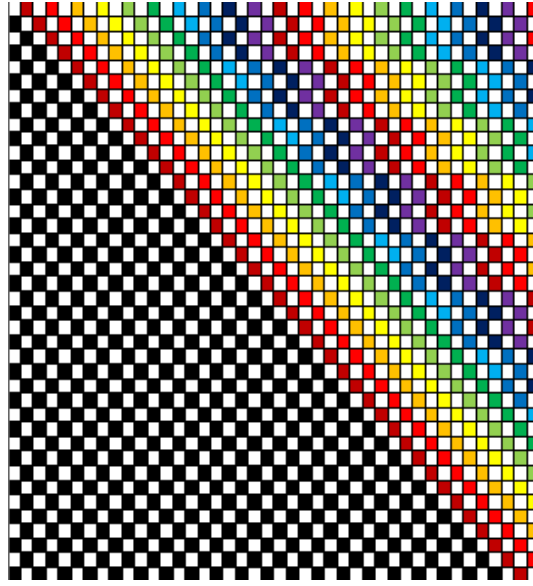


Şekil 5.5. Tezde kullanılan traverten sınıflarından örnekler

Kullanılacak taş örnekleri tedarik edildikten sonra kamera ve aydınlatma kalibrasyonuna geçilmiştir. Özellikle çizgi taramalı kamera kullanılmasından dolayı sinyal üretici ile kameranın eş zamanlı çalışması gerekmektedir. Kameranın, özel programı ile tetikleme ayarları yapılmıştır. Yapılan ayarlar bu program vasıtası ile dış ortama bir dosya içerisinde aktarılmaktadır. Bu dosyanın içerisinde, sistemde kullanılacak geçici bellekten, çizgi taramalı kameranın tepki süresine varıncaya kadar birçok önemli bilgi bulunmaktadır.

Sistemde çizgi taramalı kamera kullanıldığı için alınan görüntüler birer satırdan ibarettir. Bu nedenle ilk olarak *görüntü_alma* ismi verilen bir program hazırlandı. Bu program ile ayar dosyanın içerisindeki bilgiler okundu, ardından da kodlayıcıdan gelen sinyaller ile satır satır alınan görüntüler birleştirilerek, dış ortama aktarılmıştır. Dış ortama aktarılan bu görüntü, hazırlanan bir diğer programda veri olarak kullanılmıştır. Eğer *görüntü_alma* programında her hangi bir satır kayması ya da gecikmesi olacak olursa, diğer programlar da bundan doğrudan etkilenmektedir.

Alınan görüntünün kalibrasyonunu test etmek için Şekil 5.6’da gösterilen renkli test kağıtları kullanılmıştır.



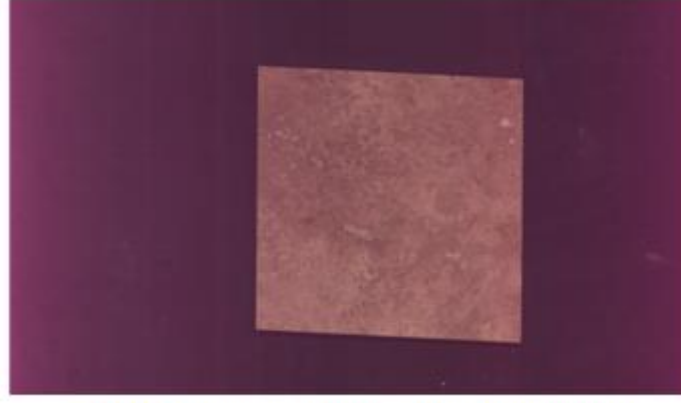
Şekil 5.6. Test kâğıtları

5.2. Algoritmada Kullanılacak Görüntülerin Analiz Edilmesi

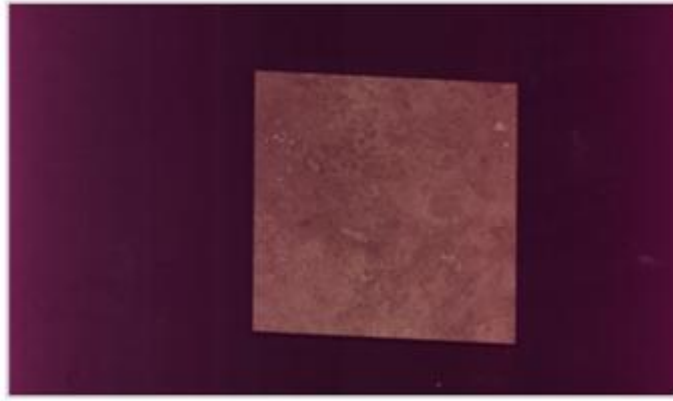
Kameradan alınan görüntülerin çözünürlüğünün 4096 x 2400 boyutlarında olması nedeni ile hafıza da 46.8 MB yer kaplamaktadır. Bu nedenle kameradan “bmp” formatında alınan görüntüler “jpeg” formatına dönüştürülmüştür. Böylece bir görüntünün kapladığı alan 4,25 MB’ a kadar düşürüldü. Bunun ile birlikte görüntü işleme zamanı da azaltılmış oldu.

5.3. Gürültü Temizleme ve Eşikleme

İlk aşamada hazırlanan *görüntü_alma* programı ile elde edilen görüntüler üzerinde gürültü temizleme ve eşikleme işlemleri yapıldı. Bu işlemler sonucunda elde edilen görüntülerde bazı hataların olduğu tespit edildi. Buradaki hata, görüntü işlemenin en son basamağı olan sınıflandırma aşamasında, net bir şekilde kendini göstermiştir. Sistemden elde edilen görüntüler incelendiğinde, aynı taşın farklı zamanlardaki görüntüsünden elde edilen ortalama renk değerlerin birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür.



a-) D Sınıfındaki 10 nolu örneğin ilk görüntüsü



b-) D Sınıfındaki 10 nolu örneğin sonraki görüntüsü

Şekil 5.7. D sınıfındaki 10 numaralı örnek

D sınıfında bulunan 10 numaralı örneğin ilk resmi Şekil 5.7(a)' da gösterilmektedir. Şekil 5.7(b) 'deki görüntü ise taşın yeri değiştirilmeden ve ilk görüntünün alınmasından 30 dakika sonra alınmıştır. Eğer her iki görüntü incelenecek olursa ikinci görüntünün biraz daha kırmızı tonlarda olduğu görülmektedir. Tablo 5.1' de bu iki görüntünün renk değerleri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere ilk görüntü ile ikinci görüntü arasında kırmızı, yeşil ve mavi renk değerlerinin ortalamasında çok büyük bir değişim gözle çarpmaktadır.

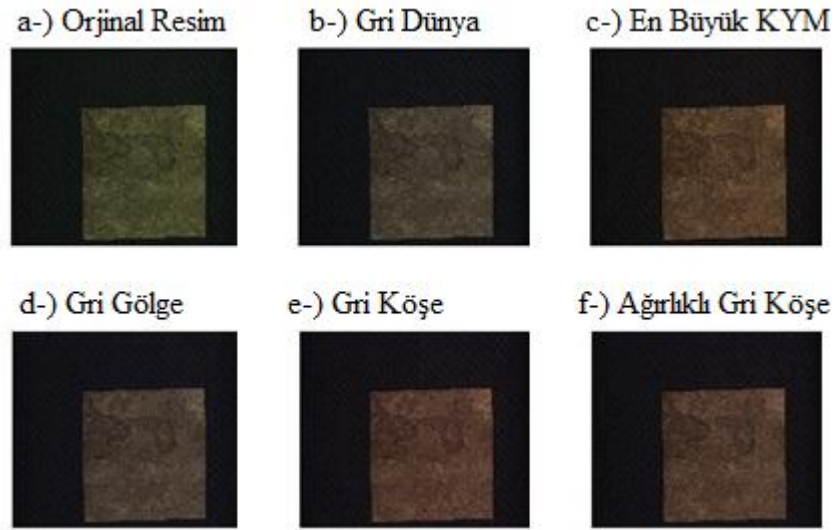
Tablo 5.1. Renk değerlerinin ortalaması

	Kırmızı	Yeşil	Mavi	Tüm Renkler
Şekil 5.7(a)	99.4292	39.779	67.1439	68.7840
Şekil 5.7(b)	105.4687	57.0150	78.5464	80.3434

Bu sorun çözümü ile ilgili olarak tekrar bir literatür araştırması yapıldı ve duruma uygun filtreler araştırıldı. Beingpour ve arkadaşlarının benzer durumlar için geliştirdiği filtreler, çalışma üzerinde test edilmiştir (Beingpour vd., 2014).

Geliştirdikleri filtre sayesinde laboratuvar ortamında aldıkları görüntü ile dış ortamda aldıkları görüntüyü kıyaslayıp, her iki resimde aynı renk değerlerini elde etmeyi başardıklarını iddia etmişlerdir. Bunun üzerine geliştirdikleri;

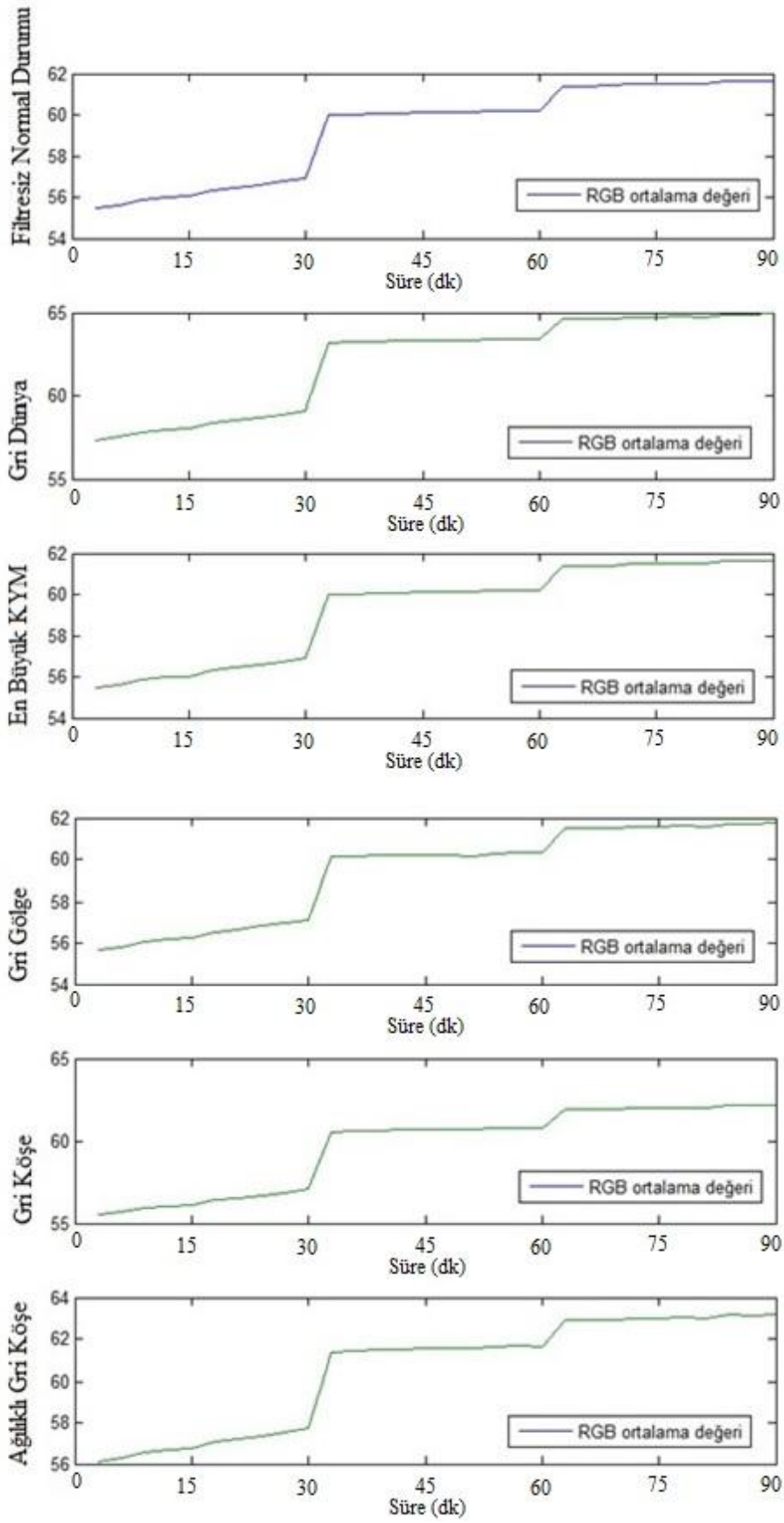
1. Gri Dünya,
2. En büyük KYM,
3. Gri gölge,
4. Gri köşe,
5. Ağırlıklı gri köşe, isimli filtreleri tez çalışmasına adapte edilmiştir. Aynı taşta beş farklı filtrenin uygulanması ile elde edilen görüntüler Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Beingpour dönüşümü

Sistemi test etmek için D sınıfından 10 adet taşın, 30’ar dakika ara ile aynı sırada üçer defa görüntüsü alınmıştır. Bu şekilde toplam 30 adet görüntü elde edilmiş ve üzerinde Şekil 5.8’de gösterilen beş adet filtre uygulanmıştır.

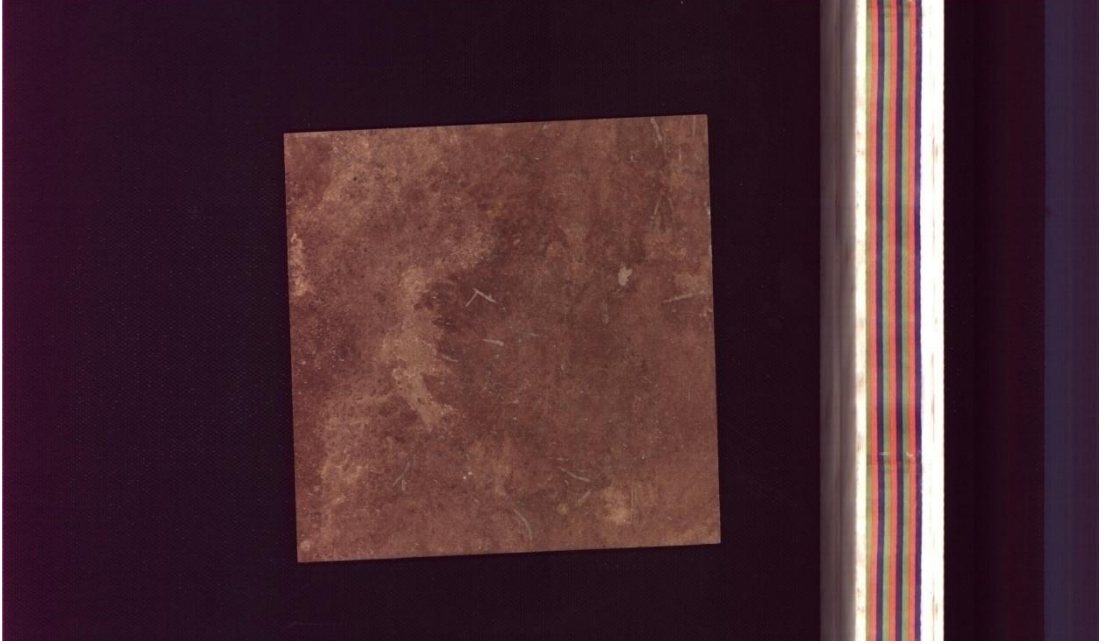
Uygulama sonucunda elde edilen Şekil 5.9’da ki diyagramlar incelendiğinde, tüm görüntünün RGB değerlerinin ortalamasının zamana bağlı olarak sürekli arttığı görülmektedir. Bundan da anlaşılacağı üzere dönüşümden istenilen sonuç elde edilememiştir.



Şekil 5.9. Beingpour filtrelerinin test sonuçları

Beingpour ve arkadaşlarının çalışmalarının dışında diğer makalelerden de göze çarpan bazı filtreler de test edilmiş fakat istenilen sonuç alınamamıştır.

Makalelerdeki filtrelerin dışında görüntü alanın bazı noktaları referans olarak alınıp, görüntüdeki değişim miktarları da buna göre kontrol edildi. Fakat değişim miktarları çok fazla olduğu için bu referans görüntü alma denemesi de çok iyi sonuçlar vermemiştir.



Şekil 5.10. Görüntüde referans alma

Yazılımsal olarak geliştirilen ve test edilen filtrelerden hedeflenen değerlerin altındasonuçlar elde edilmesinden sonra donanımsal olarak çözüm arayışına gidilmiştir. Bu nedenle ilk olarak çevresel faktörler ve bunların sisteme etkileri tekrar incelenmiştir.

Bu incelemeler esnasında kabin iç sıcaklığı ölçüldü ve sürekli olarak bu sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir. Ardından kameranın iç sıcaklığı ölçüldü. Kameranın iç sıcaklığının da, kabin içerisindeki bir saatlik zaman diliminde 25° arttığı tespit edilmiştir.

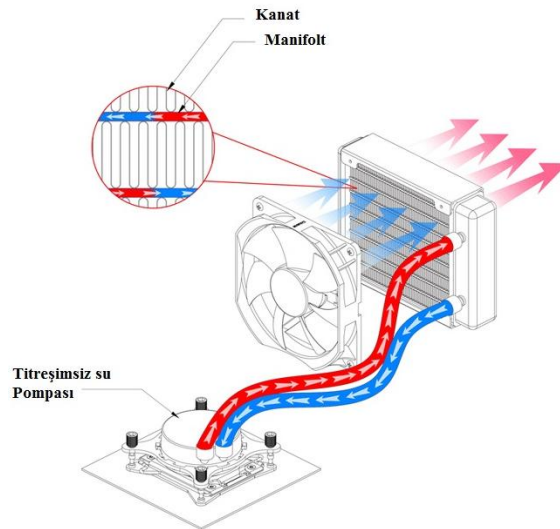
Kullanılan kameranın özellikleri de incelendiğinde her 10 derecelik artışta kameranın tekrar kalibre edilmesi gerektiği görülmüştür. Konu ile ilgili diğer endüstriyel kameralar incelendiğinde aynı durumun başka endüstriyel kameralarda da olabildiği görülmüştür. Bunun üzerine kameranın ısısını düşürmek için donanımsal olarak müdahale edilmiştir. Bu müdahale iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada kabinin

içerisindeki ısınan hava dışarıya tahliye edildi. Bu işlem için kabinin içerisine dışarıdan ışık girmeyecek şekilde 10 cm çapında hava kanalları açılmış ve buralara tahliyeyi kolaylaştırmak için 12V DC fırçasız fanlar yerleştirilmiştir. Böylece kabin içerisinde ısınarak yükselen hava, doğrudan dışarıya tahliye edilmiştir.



Şekil 5.11. Havalandırma sistemi

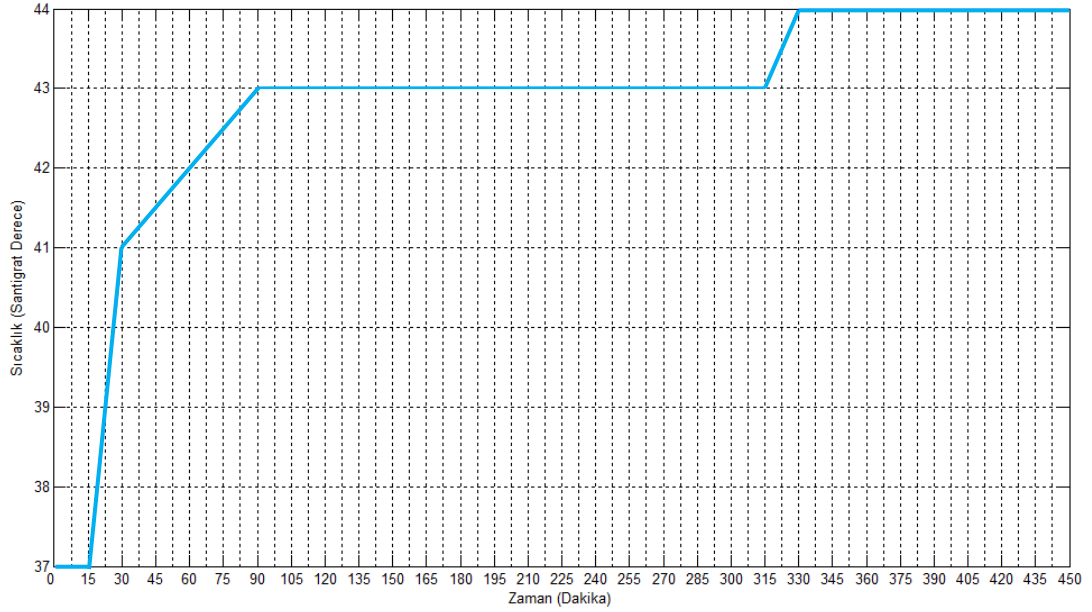
Donanımsal olarak müdahalenin ikinci aşamasında ise kameraya müdahale edilmiştir. Kamerayı soğutmak için Şekil 5.12’de gösterilen sıvı soğutma sistemi kameraya adapte edilmiştir.



Şekil 5.12. Sıvı soğutma sistemi

Bu sistem kameraya adapte edilirken, titreşimsiz su pompasının üzerinde bulunduğu bakır plaka, doğrudan kameranın üzerine yerleştirilmiştir. Bakır plaka ısındığında,

içerisinde bulunan glikol bazlı sıvı, pompa vasıtası ile radyatöre gönderilmektedir. Radyatörde soğuyan sıvı tekrar bakır plakaya gelmekte ve plaka ile birlikte kamerayı da soğutmaktadır. Sistem 32° ortam sıcaklığında, aralıksız 7.5 Saat (450 dakika) test edilmiştir. Yapılan test sonucunda Şekil 5.13’de gösterildiği gibi kamera sıcaklığı en fazla 7 C° derece artmıştır. Test görüntüleri incelendiğinde de zamana bağlı olarak renk değişiminin önüne geçildiği görülmüştür.



Şekil 5.13. Sıcaklık zaman grafiği

5.4. Eşikleme İşlemi ile Cismin Yerinin Tespit Edilmesi

Sistemden alınan görüntülerden, eşikleme yöntemi ile cismin yeri tespit edilmiştir. Şekil 5.14’de gösterildiği üzere görüntüden sadece taşın olduğu yer çıkarılıp alınmıştır.



Şekil 5.14. Eşikleme işlemi sonucunda cismin tespiti

Taşın, konveyörün üzerine yan yada çapraz konulması sonucu her ne kadar istenilirse de az da olsa Şekil 5.15’de gösterildiği gibi taş ile beraber konveyöründe görüntüsü alınmaktadır. Bu sorun hazırlanan algoritma ile çözülmüştür. Fakat programda bir miktar zaman kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle en iyi çözüm, taşın geldiği düzeneğe donanımsal eklemeler yaparak, taşın hep dik gelmesini sağlamaktır.



a-) Sistemden alınan görüntü



b-) Konveyörlü taş görüntüsü

Şekil 5.15. Sistemden alınan görüntüler

5.5. Renk ve Doku Analizi ile Öznitelik Çıkarımı

Yapılan literatür araştırmasında da görüldüğü üzere, doğal taş sınıflandırmada renk ve doku analizinin birlikte yapılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle tezde hem renk hemde doku analizi yapılmıştır. Renk analizi yapılırken, renk uzaylarının önemi bir adım daha öne çıkmaktadır.

Sistemde renk uzaylarından öznitelik çıkarmak için *öznitelik_cıkart* isimli bir program hazırlanmıştır. Bu program ile birçok renk uzayından öznitelik elde edilmiş ve ilerleyen aşamada da bu özniteliklerden en iyileri seçilmiştir.

Öznitelik_cıkart programında ilk olarak RGB renk uzayı test edilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda sadece RGB renk uzayı ile tüm sınıfları ayırmanın mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle görüntüler RGB renk uzayından, doğrusal ve doğrusal olmayan dönüşümler ile diğer renk uzaylarına geçirilmiştir. Bu şekilde 32

farkı renk uzayı test edilmiştir. Bu renk uzaylarından bazıları d50, bazıları da d65 aydınlatma standardındadır.

Test edilen renk uzaylarının, her boyutu ayrı ayrı incelenmiş ve bu inceleme sonucunda da 32 olan renk uzayı sayısı 16 ya indirilmiştir. Üzerinde çalışılan renk uzayları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kullanılan renkk uzayları

No	Renk Uzayı	Aydınlatma Standardı	No	Renk Uzayı	Aydınlatma Standardı
1	YCbCr	D50	9	XYZ	D50
2	OHTA	D50	10	CMY	D50
3	HSV	D50	11	LUV	D65
4	YIQ(NTSC)	D50	12	Double(RGB)	D50
5	YUV	D50	13	LUV	D50
6	HSI	D50	14	CATO2LMS	D50
7	HSL	D50	15	RGB	D50
8	XYZ	D65	16	LAB	D50

İlk değerlendirme sonucunda yukarıdaki renk uzaylarından, Tablo 5.3’de gösterilen öznitelikler elde edilmiştir.

Tablo 5.3. Çıkartılan öznitelikler

Öznitelik Tipi	Öznitelik Sayısı
Her renk bileşenin teker teker ortalaması	3
Renk uzayının genel ortalaması	1
Renk uzayının genel standart sapması	1
İkinci renk bileşenin, birinci renk bileşeninden büyük olduğu yerlerin, bir renk bileşenin boyutuna bölümü	1
İkinci renk bileşenin, birinci renk bileşeninden çıkartılıp, bir renk bileşenin boyutuna bölümü	1
Zıtlık	1
Homojenite	1
Enerji	1
İlinti	1

5.6. Öznitelik Seçimi

Görüntü işlemede öznitelik çıkarmak kadar, bu özniteliklerden hangilerinin en iyi olduğunu seçmek önemli bir konudur. Çünkü kullanılan öznitelikler sınıflandırma başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle öznitelik seçimi için *öznitelik_sec* adı verilen bir program hazırlandı. Bu programın amacı *öznitelik_cikart* programı ile elde edilen öznitelikleri değerlendirerek içlerinden sınıflandırma için en iyi olanlarını yukarıdan aşağıya doğru sıralamaktır. *Öznitelik_sec* programında öznitelik seçmek için sırayla Fisher, Pearson ve Uyarlamalı Sinir-Bulanık Sınıflayıcı Metotları test edildi. Uyarlamalı sinir-bulanık sınıflayıcı öznitelik seçiminde test edilirken kuvvet değerleri [0 +1] aralığında değişecek şekilde ayarlandı.

Öznitelik seçimi esnasında, sistemden elde edilen 100 adet görüntünün yarısı eğitim, diğer yarısı da test verisi olarak kullanıldı. Daha sonra da eğitim ve test verileri yer değiştirilerek testler yapılmıştır. Öznitelik seçiminden sonra elde edilen en iyi öznitelikler, Bayes ve Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonuçları Tablo 5.4 ve 5.5 de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Uyarlamalı Bulanık Sinir Sınıflayıcı

Öznitelik Sayısı	Fisher Sınıflandırma Başarı Oranı		Pearson Sınıflandırma Başarı Oranı		USBS Sınıflandırma Başarı Oranı	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
1	72	58	68	77	78	66
2	74	68	94	88	98	88
3	74	66	80	68	96	90
4	74	66	16	20	98	90
5	50	58	18	20	98	78
6	70	66	20	20	96	90
7	72	62	24	26	94	90
8	70	54	12	18	100	90
9	72	66	20	20	98	90
10	72	66	20	20	98	90

Tablo 5.5. Bayes Sınıflayıcı

Öznitelik Sayısı	Fisher Sınıflandırma Başarı Oranı		Pearson Sınıflandırma Başarı Oranı		USBS Sınıflandırma Başarı Oranı	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
1	70	56	60	70	76	60
2	70	66	84	72	82	80
3	72	66	78	66	86	80
4	72	66	14	18	88	80
5	50	58	16	18	86	78
6	70	66	18	18	86	80
7	70	60	24	26	84	80
8	70	54	12	18	86	80
9	70	60	18	18	88	80
10	70	62	18	18	88	80

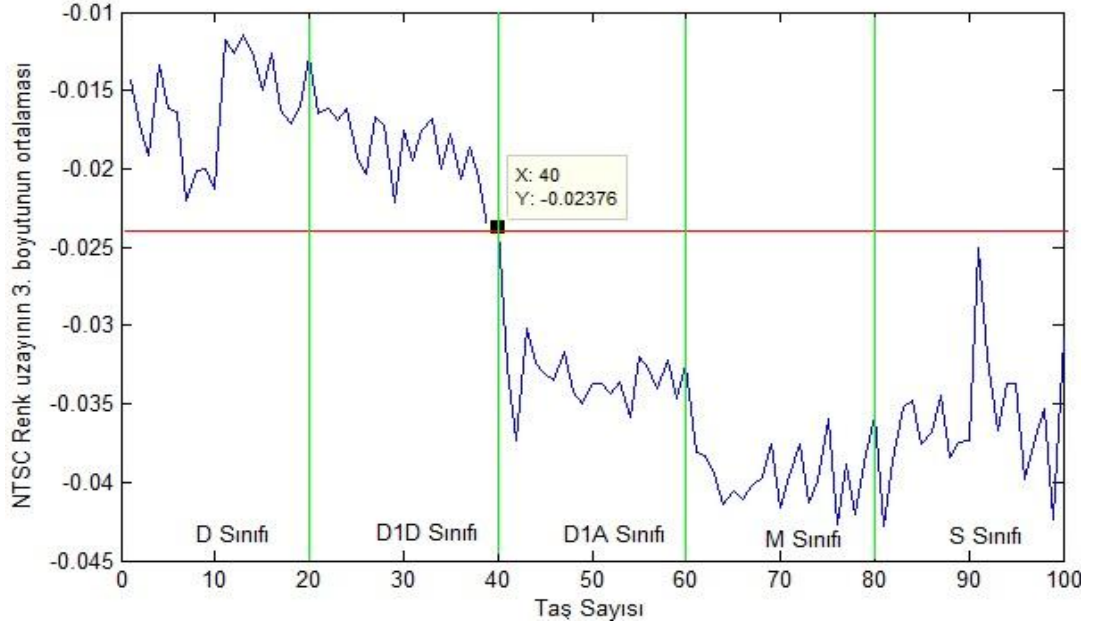
Yukarıdaki sonuçlarda da görüldüğü üzere en yüksek başarı oranı uyarlamalı sinir-bulanık sınıflayıcının öznitelik seçici olarak kullanılması ile elde edilmiştir. Bu nedenle sistemde *öznitelik_sec* programında uyarlamalı sinir-bulanık sınıflayıcı algoritması kullanılmıştır.

5.7. Sınıflandırma

Elde edilen en iyi öznitelikler incelendiğinde tüm sınıfları birbirinden ayırabilecek bir özniteliğin olmadığı tespit edildi. Bu nedenle sınıflar üzerinde tekrar bir inceleme yapıldı. Bu inceleme sonucunda Şekil 5.17'deki durum fark edildi. Buna göre tüm sınıfları bir anda beşe ayırmak yerine ilk etapta iki gruba ayırmanın daha mantıklı olabileceği kanısına varıldı.

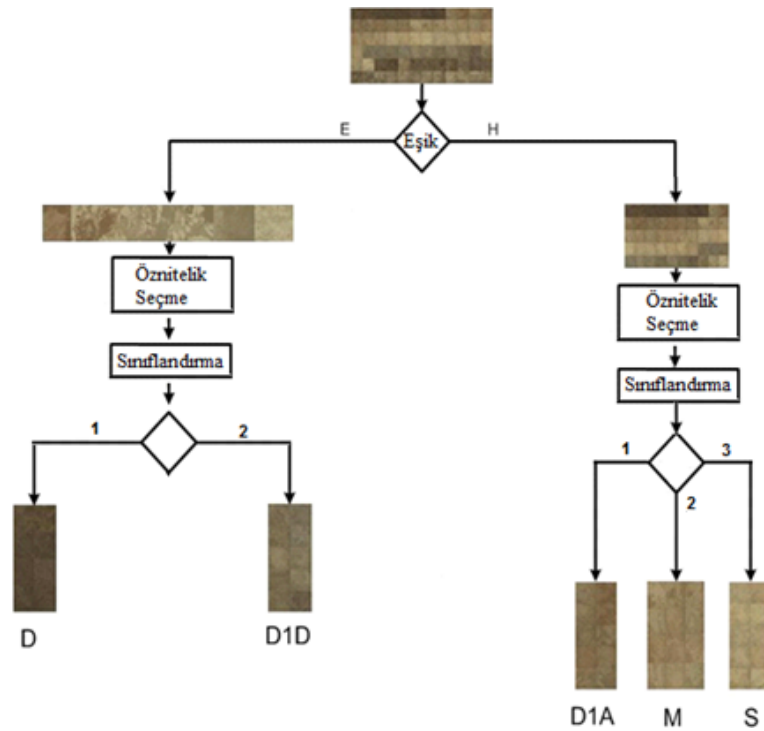
Sınıf örnekleri de incelendiğinde D ve D1D sınıfının koyu tonlu, D1A, M ve S sınıflarının daha açık renk tonlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle NTSC renk uzayının 3. boyutunun ortalamasında bir eşik değeri belirlenerek tüm sınıflar ilk

etapta ikiye ayrıldı. Şekil 5.16’da gösterildiği gibi belirlenen eşik değeri ile beş farklı sınıfı ikiye ayırmak mümkün olmuştur.



Şekil 5.16. NTSC renk uzayı

Tüm taşlar iki ana gruba ayrıldıktan sonra grupların içerisinde tekrar bir öznelik seçimi yapılmıştır. Burada öznelik seçimi için Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı kullanılmıştır. Ardından da sınıflandırma için Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı ile Bayes Sınıflayıcı test edilmiştir.



Şekil 5.17. Doğal taşlar eşik değeri ile iki ana gruba ayrıldı

Gruplar içerisinde test edilen Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı ile Bayes Sınıflayıcının sınıflandırma başarıları aşağıdaki Tablo 5.6 ve 5.7’de gösterilmektedir. Bu testler yapılırken en iyi on öznitelik sırayla kullanılmıştır.

Tablo 5.6. Uyarlamalı sinir bulanık sınıflayıcı test sonuçları

Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı				
No	Sınıflar	Öznitelik Sayısı	Eğitim	Test
1	D - D1D	1	100	80
	D1A – M - S	1	100	93
2	D - D1D	2	90	95
	D1A – M - S	2	100	93
3	D - D1D	3	100	80
	D1A – M - S	3	100	93
4	D - D1D	4	100	85
	D1A – M - S	4	100	93
5	D - D1D	5	100	90
	D1A – M - S	5	100	90
6	D - D1D	6	100	80
	D1A – M - S	6	96	93
7	D - D1D	7	100	85
	D1A – M - S	7	96	96
8	D - D1D	8	100	85
	D1A – M - S	8	96	93
9	D - D1D	9	100	85
	D1A – M - S	9	96	96
10	D - D1D	10	100	85
	D1A – M - S	10	96	83

Tablo 5.7. Bayes sınıflayıcı test sonuçları

Bayes Sınıflayıcı				
No	Sınıflar	Öznitelik Sayısı	Eğitim	Test
1	D - D1D	1	90	90
	D1A – M - S	1	96	86
2	D - D1D	2	90	85
	D1A – M - S	2	96	86
3	D - D1D	3	90	85
	D1A – M - S	3	96	86
4	D - D1D	4	45	45
	D1A – M - S	4	33	33
5	D - D1D	5	50	50
	D1A – M - S	5	33	33
6	D - D1D	6	50	50
	D1A – M - S	6	33	33
7	D - D1D	7	50	50
	D1A – M - S	7	33	33
8	D - D1D	8	50	50
	D1A – M - S	8	33	33
9	D - D1D	9	45	40
	D1A – M - S	9	33	33
10	D - D1D	10	50	50
	D1A – M - S	10	56	43

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere sınıflandırma algoritması olarak Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcısı tercih edilmiştir. Hazırlanan sistem sanayi ortamında da çalışacak olmasından dolayı hız önemli bir faktördür. Bu nedenle işlem süresini azaltmak için sınıflandırma algoritmasında sadece en iyi 2 öznitelik birlikte kullanılmıştır. Sistemin grup ve toplam başarısı aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 5.8. Doğal taşların eğitim ve test sonuçları

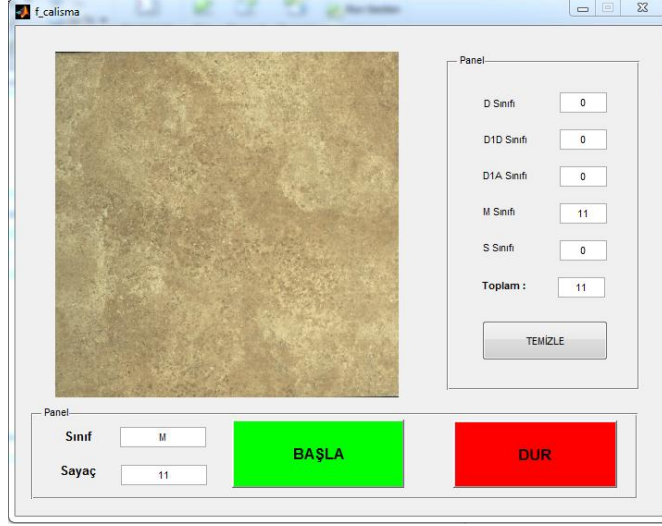
Sınıflar	Eğitim Tanıma Oranı(%)	Test Tanıma Oranı (%)
D1D ve D	96	95
D1A, M ve S	100	93
Tüm Sınıflar	98	94

5.8. Arayüz

Yapılan çalışmanın sanayi ortamında da kontrolünün sağlanabilmesi için sade bir arayüz programı hazırlanmıştır. Bu arayüz ile sistemden görüntü alıp, kaydedip, sistemi eğitip ardından da gerçek zamanlı olarak doğal taş sınıflandırmasının yapılması mümkün kılınmıştır. Hazırlanan arayüz programının içerisinde daha önceden hazırlanan *görüntü_alma*, *öznitelik_cikart* ve *öznitelik_sec* programları etkin bir şekilde kullanılmıştır. Aşağıda hazırlanan arayüz programının, ana menüsü ve çalışma menüsü gösterilmektedir.



Şekil 5.18. Kullanıcı grafik ara yüzünde anamenü



Şekil 5.19. Kullanıcı grafik ara yüzünde çalışma menüsü

6. SONUÇ

Tezde üretim ortamı esas alınarak, doğal taş plakaları taşıyacak bir konveyör ve görüntüleme sistemi hazırlanmıştır. Hazırlanan düzeneğin tüm ayarlamaları ve testleri yapıldıktan sonra sınıflandırma algoritması geliştirilmiştir. Tezde de görüldüğü üzere sistemi, sadece yazılımsal olarak düşünmek, sınıflandırma başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle yazılım ve donanım bir bütün halinde ele alınıp, ona göre bir tasarım gerçekleştirilmiştir.

Donanımdaki en önemli parçalardan biri olan kamera, üç hat çizgi taramalı bir kameradır. Bundan dolayı, net bir görüntü alınabilmesi için seçilen kodlayıcı ve montajının yapıldığı yer oldukça önem arz etmektedir. Kullanılan çizgi taramalı kamera, kodlayıcıdan gelen sinyaller ile tarama yapmaktadır. Yanlış hassasiyete sahip bir kodlayıcı seçilmesi durumunda, her ne kadar belli miktarda mekânsal düzeltme ile iyileştirme yapılsa da görüntünün köşelerinde eksiklikler olmaktadır. Bunun yanında kodlayıcının, sistemdeki titreşimlerden olabildiğine az etkilenmesi gerekmektedir. Aksi halde kodlayıcı titreşimden etkilenerek fazladan sinyal üretebilmektedir. Bu durumda da kamera fazladan tarama yaptığı için görüntünün bozulmasına neden olmaktadır. Tezde bu tarz bir sorunun önüne geçmek için kodlayıcı boş tamburun miline bağlanmıştır.

Sistemin istikrarlı çalışabilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birisi de aydınlatmadır. Görüntüsü alınacak traverten plakaların, sürekli aynı seviyede homojen olarak ve renk patlaması olmadan aydınlatılması gerekmektedir. Bu durum sıradan bir aydınlatma ile sağlanamamaktadır. Bu nedenle sistem için özel bir aydınlatma tasarımı yapılmıştır.

Donanım incelenirken, sıcaklık gibi çevresel şartlar da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde sıcaklık artışının hazırlanan yazılıma doğrudan olumsuz bir etki etkisi bulunmaktadır. Sistemde, aydınlatma ve kameranın yerleştirildiği kapalı kabinin sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Sistemin çalıştığı süre boyunca, sıcaklık değerlerinin doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde kameranın iç sıcaklığı da ölçülmüş ve onunda doğru orantılı arttığı görülmüştür. Kabin içerisindeki bu sıcaklık artışı, hazırlanan aydınlatmanın da

fazladan ısınmasına neden olmaktadır. Bu sorunu çözmek için sisteme havalandırma kanalları eklenerek içerideki ısınan hava dışarıya tahliye edilmiştir. Yine aynı şekilde kameranın soğutulabilmesi için üzerine bir sıvı soğutma sistemi ilave edilmiştir. Bu işlemler yapılmadığı takdirde sistemden elde edilen görüntülerdeki renk tonları sıcaklığa bağlı olarak sürekli değişmektedir. Benzer sistemlerin hazırlanması durumunda, görüntü kalitesinin sürekliliğin sağlanabilmesi için mutlaka bir soğutma ünitesi sisteme eklenmelidir.

Sistemde sınıflandırma için Burdur Bucak yöresinden çıkartılan ve Avrupa'ya satışı yapılan traverten plakalar kullanılmıştır. Sınıflandırılan traverten plakalar beş farklı sınıftadır. Üreticiden alınan traverten plakalar ilk önce seleksiyon işçileri tarafından sınıflandırılmıştır. Hazırlanan sistemin sonucunda ise bazı taşların farklı sınıflarda olması gerektiği görülmüştür. Bu durum üretici firma ile paylaşılmıştır. Sınıflarında hata olduğu düşünülen traverten plakalar, üretici firmaya götürülüp tekrar sınıflandırılması istenmiştir. Burada dikkat çeken konu; tezin de ilk çıkış noktası olmuştur. Seleksiyon işçilerinin yaptığı ilk sınıflandırmanın hatalı olduğu, sistemin yaptığı sınıflandırmanın ise doğru olduğu görülmüştür. Bu durum, tasarlanan sistemin de bir nevi testi olmuştur.

Çalışmada bilinen RGB renk uzayı ile birlikte toplam 16 adet renk uzayından öznitelik çıkartılmıştır. Çıkartılan bu özniteliklerden en iyi olanlarını seçmek için, Fischer, Pearson ve bir sınıflandırıcı çeşidi olan Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı kullanılmıştır. Bu öznitelik seçicileri kıyaslandığında en iyi sonuç, Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı ile elde edilmiştir. Çalışmada öznitelikleri sınıflandırmak için de Bayes ve Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı yöntemleri test edilmiştir. Çalışma esnasında hem öznitelik seçiminde, hem de sınıflandırma işleminde Uyarlamalı Sinir Bulanık Sınıflayıcı diğerlerinden çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Sistemde 500x500mm² lik bir traverten plakanın, dört saniye içerisinde görüntüsü alınıp sınıflandırılması yapılmaktadır.

Sistem görüntü işleme algoritmaları ile çalıştığı için sadece taşın yüzeyine bakılarak sınıflandırma yapılmaktadır. Bu nedenle de kullanılan taşların yüzeyleri kurudur. Hazırlanan sistem doğrudan üretim hattının sonuna eklenecekse, sınıflandırılacak taşların mutlaka kurutulması gerekmektedir. Eğer sisteme ıslak taşlar verilecek

olursa, aydınlatmanın altında taşlar parlayacak ve yanlış sınıflandırma yapılacaktır. Sistemin ticari uygulamalarında, önüne mutlaka bir kurutma ünitesi eklenmelidir. Sistemin böylece daha kararlı çalışmasını sağlanacaktır.

Bunun yanında bir de sistemde sınıflandırılan taşların, bir robot kolu vasıtası ile alınıp kutulanması gerekmektedir. Eğer bu iki sistem tezde hazırlanan otomasyona eklenecek olursa, doğal taş üreticisi firmaların, bu işlemler için istihdam ettiği kişi sayısı, dörtte bir oranına inecektir. Belirtilen şekilde kurgulanacak bir otomasyon sistemi, doğal taş üreticisi firmaların hem üretim kalitesini, hem de karlılığını arttıracaktır.

Tez sonucunda, traverten plakaların sınıflandırılmasında insan hatalarından kaynaklanan sınıflandırma problemlerinin önüne geçebilecek, bir otomasyon sisteminin tasarımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım, sanayi ortamında %94 lük başarı oranı ile gerçek zamanlı çalışabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abe, S., Thawonmas, R., Kobayashi, Y., 1998. Feature Selection by Analyzing Class Regions Approximated by Ellipsoids. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part C, Applications and Reviews, 28(2), 282-287.
- Acar, E., 2012. Yapay Zeka Yöntemleriyle Bitki Yaprak İmgelerinde Pas Hastalıklarının Tespiti. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Diyarbakır.
- Agoston, G.A., 1987. Color Theory and Its Application in Art and Design. Second Completely Revised and Updated Edition, Springer- Verlag, 286p, Berlin.
- Aktan, S., 2004. Sayısal Görüntü Analizi ile Yumurta Sarısına İlişkin Renk Belirlemeleri. 4. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, Isparta.
- Akar, F., 2009. Şablon Eşleme Yöntemi ile Plaka Tanıma ve Değerlendirme Sistemi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 100s, Erzurum.
- Akın, M., 2008. Eskipazar (Karabük) Travertenlerinin Bozunmasının Araştırılması, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 263s Ankara,
- Ar, I., Akgul, Y.S., 2008. A Generic System For The Classification of Marble Tiles Using Gabor Filters, Computer and Information Sciences, 2008. ISCIS '08. 23rd International Symposium on, 27-29 October. İstanbul, 1 – 6.
- Araujo, M., Martinez, J., Ordonez, C., Vilan, J. A., 2010. Identification of Granite Varieties From Colour Spectrum Data Sensors 10 (9), 8572–8584.
- Balas, C., 1997. An Imaging Colorimeter for Noncontact Tissue Color Mapping. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 44, 468-474.

- Bayındır, F., Wee, A.G., 2006. Diş Rengi Seçiminde Bilgisayar Destekli Sistemlerin Kullanımı. Hacettepe Diş hekimliği Fakültesi Dergisi, 30(3), 40-46.
- Baykan, Ö.K. 2007. Bilgisayar Destekli Un Kalite İzleme Sistemi Tasarımı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 88s, Konya
- Beigpour, S., Riessg, C., Weijer, V., Angelopoulou, E., (2014). Multi-Illuminant Estimation With Conditional Random Fields, Ieee Transactions On Image Processing, 23(1), 83-96.
- Bennamoun, M., Bodnarova, A., 2003. Digital Image Processing Techniques For Automatic Textile Quality Control. Systems Analysis Modelling Simulation 43 (11), 1581–1614.
- Benitez, J.M., Castro, J.L., Mantas, C.J., Rojas, F., 2001. A Neuro-Fuzzy Approach for Feature Selection. Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, 25–28 July 2001, Vancouver British Columbia Canada Coast Plaza Suite Hotel at Stanley Park, 1003 – 1008.
- Bianconi, F., Gonzalez, E., Fernandez, A., Saetta, S.A., 2012. Automatic Classification Of Granite Tiles Through Colour And Texture Features. Expert Systems with Applications, 2012(39), 11212-11218.
- Boukouvalas, C., De Natale, F., De Toni, G., Kittler, J., Marik, R., Mirmehdi, M., Petrou, M., Le Roy, P., Salgari, R., Vernazza, G., 1997. ASSIST: Automatic System For Surface Inspection And Sorting Of Tiles. Journal of Materials Processing Technology, 1998(82), 179–188.
- Carrino, L., Polini, W., Turchetta, I., 2002. An automatic visual system for marble tile classification. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. (216), 1095–1108.

- Casillas, J., Cordon, O., del Jesus, M. J., Herrera, F., 2005. Genetic Tuning of Fuzzy Rule Deep Structures Preserving Interpretability And Its Interaction With Fuzzy Rule Set Reduction, *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 13(1),13–29.
- Castleman, K.R. 1996. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, New Jersey.
- Cetişli, B., 2006. Öznitelik Seçiminde Dilsel Kuvvetli Sinir Bulanık Sınıflayıcı Kullanımı. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19, 109-129.
- Cevikalp, H., 2006. Theoretical analysis of linear discriminant analysis criteria, (Turkish) the 14th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, Antalya, Turkey, April 2006, pp: 1-4
- Chakraborty, D., Pal, N. R., 2004. “A Neuro-Fuzzy Scheme For Simultaneous Feature Selection and Fuzzy Rule-Based Classification”, *IEEE Trans. on Neural Networks*, 15(1), 110–123.
- Clausi, D.A. 2002. An Analysis of Co-Occurrence Texture Statistics As A Function Of Grey Level Quantization. *Can. J. Remote Sensing*, 28(1), 45-62.
- CSS, 2013. Led Lights Units Bar Lights LDL2 Series. Erişim Tarihi:22.11.2014. http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_sr/1/1/3/114/0/e.html
- Chaves-González, J.M., Vega-Rodríguez, M.A., Gómez-Pulido, J.A., Sánchez-Pérez, J.M., 2010. Detecting Skin in Face Recognition Systems: A Colour Spaces Study. *Digital Signal Processing*, 20(3), 806-823.
- Cheng, H.D., Jiang, X.H., Sun, Y., Wang, J.L., 2001. Color Image Segmentation: Advances & Prospects. *ScienceDirect, Pattern Recognition*, 34, 2259-2281.
- Colantoni, P., 2011. Color Spaces. Erişim Tarihi:10.11.2014. <http://www.couleur.org/index.php?page=transformations>.

- Comtet, L., 1974. Advanced Combinatorics The Art of Finite and Infinite Expansions, 185-189. Reidel publishing company, 337, Netherlands.
- Deviren, M., Balcı, M.K., Leloğlu, U.M., Severcan, M., 2000. A Feature Extraction Method for Marble Tile Classification. Third Int. Conf. on Computer Vision, Pattern Recognition & Image Processing, Atlantic City, USA, 25-28.
- Dworkin, S.B., Nye T.J. 2006. Image Processing For Machine Vision Measurement of Hot Formed Parts. Journal of Materials Processing Technology, 174, 1-6.
- Dogan, H., Akay, O., 2010. Using Adaboost Classifiers In A Hierarchical Framework For Classifying Surface Images Of Marble Slabs. Expert Systems with Applications 37 (12), 8814–8821.
- Dislaire, G., Pirard, E., Vanrell, M., 2004. Marble Classification Using Scale Spaces. New Perspectives for A Traditional Building Material. Taylor & Francis Group, London, ISBN 9058096750, 117-122.
- Duda, R. O., Hart, P. E., Stork, D. G., 2001, Erişim Tarihi:20.01.2015. <http://www.ai.mit.edu/courses/6.891-f00/text/DHSAppendix.pdf>
- Emmanouilidis, C., Hunter, A., MacIntyre, J., Cox, C., 1999. Multiple-Criteria Genetic Algorithms For Feature Selection İn Neuro-Fuzzy Modelling, Neural Networks. IJCNN '99. International Joint Conference on Vol. 6, 10–16 July 1999, 4387–4392.
- Eraslan, H., İpçioğlu, İ., Haşit, G., Erşahan, B. 2008. Bilecik Bölgesi Mermer Sektörünün Uluslar Arası Rekabetçilik Analizi: Sektörel Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5(10), 193-217.
- Ershad, S., 2011. Color Texture Classification Approach Based On Combination of Primitive Pattern Units And Statistical Features. The In-ternational Journal of Multimedia and Its Applications 3(3), 1–13.

- Farooq, A.H., Smith, M.L., Smith, L.N., Midha, S., 2005. Dynamic Photometric Stereo for on Line Quality Control of Ceramic Tiles Computers in Industry, 2005(56), 918–934.
- Fazel Zarandi, M.H., Zarinbal, M., Izadi, M., 2009. Systematic Image Processing for Diagnosing Brain Tumors: A Type-II Fuzzy Expert System Approach. Applied Soft Computing, 11, 285-294.
- Ghita, O., Whelan, P. F., Carew, T., & Nammalwar, P. (2005). Quality Grading of Painted Slates Using Texture Analysis. Computers in Industry, 56, 802–815.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 2008. Digital Image Processing. Pearson International Edition, 2008.
- Güllü, M.K., 2012. İmge İşleme ders 6. Erişim Tarihi: 10.11.2014. http://www.yalova.edu.tr/Files/UserFiles/70/aliiskurt/IMAGE_PROCESS/Re nk_uzaylar_30Ekim.pdf
- Günel, S., Edizkan, R., 2007. Use of Novel Feature Extraction Technique Withsubspace Classifiers For Speech Recognition, IEEE International Conference on Pervasive Services, İstanbul Türkiye, 80–83.
- Haşiloğlu, A.S., 2001. Dalgacık Dönüşümü ve Yapay Sinir Ağları ile Döndürmeye Duyarsız Doku Analizi ve Sınıflandırma, Turkish Journal Of Engineering and Environmental Sciences, 25 (2001), Ankara, Türkiye, 405-413.
- Hamilton, E., 1992. JPEG File Interchange Format-Version 1.02. Erişim Tarihi: 19.01.2015. <http://www.w3.org/Graphics/JPEG/jfif3.pdf>
- Hoang, K., Wen, W., Nachimuthu, A., Jiang, X. L. (1997). Achieving Automation in Leather Surface Inspection. Computers in Industry, 34, 43–54.

- Hocenski, Z., Baumgartner, A., 2000. Image Comparison Method for Visual Quality Control Based on Matrix Decomposition. ISIE'2000, Cholula, Puebla, Mexico, 580-585.
- Hocenski, Z., Vasilic, S., Hocenski, V., 2006. 28th International Conference Information Technology Interfaces ITI 2006, June 19-22, 2006 Cavtat, Croatia
- Huang, D., Chow, T.W.S., 2005. Efficiently Searching the Important Input Variables Using Bayesian Discriminant. IEEE Trans. On Circuits and Systems-I, Regular Papers, 52(4), 785-793.
- Jack K., 2001, Video Demystified A Handbook for the Digital Engineer, 17s, LLH Technology Publishing(Third Edition), 733p, USA.
- Jain, R., Kasturi, R., Schunck, B.G., 1995, Machine Vision, Publisher, McGraw-Hill, 549p, USA.
- Jang, J.-S. R., Sun, C. T., Mizutani, E., 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice Hall, 607p, Upper Saddle River.
- Kang, T., Ren, K., Pan L., Hongwen. L., 2007. A Study of Broccoli Grading System Based on Machine Vision and Neural Networks. Proc. of the 2007 IEEE International Conferans on Mechatronics and Automation 5 – 8 August, Harbin/China.
- Keser, T., Hocenski, Z., Hocenski, V., 2010. Intelligent Machine Vision System for Automated Quality Control in Ceramic Tiles Industry. Strojarstvo, 52 (2),105-114.
- Kurmyshev, E. V., Sanchez-Yanez, R. E., Fernandez, A., 2003. Colour Texture Classification For Quality Control of Polished Granite Tiles. In: Proceedings of the Third IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing, August, Spain, 603–608pp.

- Kurtulmuş, F., 2012. Olgunlaşmamış Şeftali Meyvesini Doğal Bahçe Koşullarında Alınmış Görüntülerde Görüntü İşleme Teknikleri Ve Yapay Sınıflandırıcılarla Saptayarak Sayan Algoritmaların Geliştirilmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 198s, Bursa.
- Lepistö, L., Kunttu, I., Visa, A., 2005. Rock Image Classification Using Color Features in Gabor Space. *Journal of Electronic Imaging* 14 (4), 040503–1–3.
- Lopez, M., Martinez, J., Matias, J. M., Taboada, J., Vilan, J. A., 2010. Functional Classification of Ornamental Stone Using Machine Learning Techniques. *Journal of Computational and Applied Mathematics* 234 (4), 1338–1345
- Liang, Z., Bingang, X., Chi, Z., Feng, D., 2012. Intelligent Characterization and Evaluation of Yarn Surface Appearance Using Saliency Map Analysis, Wavelet Transform and Fuzzy Artmap Neural Network. *Expert Systems with Applications* 39 (4), 4201–4212.
- Liu, H., Dougherty, E.R., Dy, J.K., Torkkola, K., Tuv, E., Peng, H., Ding, C., Long, F., Berens, M., Parsons, L., Zhao, Z., Yu, L., Forman, G., 2005. “Evolving feature selection”, *IEEE Intelligent Systems*, 20(6), 64–76,
- Luis-Delgado, J. D., Martinez-Alajarin, J., Tomas-Balibrea, L. M., 2003. Classification of Marble Surfaces Using Wavelets *Electronics Letters* 39 (9), 714–715.
- Lucchese, L., Mitra, S.K., Mukherjee, J., 2001. A New Algorithm Based on Saturation and Desaturation in the xy Chromaticity Diagram for Enhancement and Reürendition of Color Images. *International Conference On Image Processing*, 7-10 October, Thessaloniki, Greece, 1077-1080 pp.
- Maldonado, J., & Graña, M. (2009). Recycled Paper Visual Indexing for Quality Control *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8807–8815.

- Marin-Blazquez, J.G., Shen, Q., 2001. Linguistic hedges on trapezoidal fuzzy sets: a revisit”,. The 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2–5 Dec. 2001, The University of Melbourne Australia, 412 – 415.
- Marin-Blazquez, J.G., Shen, Q., 2002. From Approximative to Descriptive Fuzzy Classifiers, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 10(4), 484–497.
- Martinez-Alajarin, J., L. Tomas-Balibrea, L. M., 1999. Marble Slabs Quality Classification System Using Texture Recognition And Neural Networks Methodology, European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN), 21-23 April 1999, Bruges (Belgium), 75-80.
- Martinez-Alajarin, J., Luis-Delgado, J. D., Tomas-Balibrea, L. M., 2005. Automatic System For Quality-Based Classification of Marble Textures. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 35, 488–497.
- Mitchell, T.M. 1997. Machine learning. McGraw Hill, New York, 432.
- Metlek, S., Cetişli, B., 2012. Gerçek Zamanlı Endüstriyel Nesne Tanımda Kameraların Kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16(2), 212-217
- Meseli, İ., 2011. Sayısal Kodlayıcılar. Erişim Tarihi:11.1.2015. <http://www.ilkaymeseli.com/2011/05/sayisal-kodlayicilar-digital-encoders/>
- Osareh, A., Mirmehdi, M., Thomas, B., Markham, R., 2002. Comparison of Colour Spaces for Optic Disc Localisation in Retinal Images. IEEE 16th International Conference on Pattern Recognition, 1, 743-746.
- Otomasyonhaber.net, 2010. Erişim Tarihi:21.11.2014. <http://www.otomasyonhaber.net/haber/1360-teknik-bilgiler-sinyal-ureticiler-encoderler.html>
- Paravina, R.D., 2004. Esthetic Color Training in Dentistry. Elsevier Mosby, 165.

- Programlar, 2013. <http://www.programlar.com/egitim/photoshop-ta-fotograflara-alan-derinligi-eklemek/>. Erişim Tarihi: 21.11.2014.
- Qioptiq, 2013. Erişim Tarihi:22.11.2014. <http://www.qioptiq.com/qioptiq-order-linos.html>
- Reinhard, E., Adhikhmin, M., Gooch, B., Shirley, P., 2001. Color Transfer Between Images. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(5), 34-41.
- Selver, A.M., Ardalı, E., Akay, O., 2007. Feature Extraction for Quantitative Classification of Marbles. *IEEE Signal Processing and Communications Applications*, 15, 1-4.
- Semnani, D., Sheikhzadeh, M., 2009. New Intelligent Method of Evaluating the Regularity of Weft-knitted Fabrics by Computer Vision and Grading Development. *Textil Research Journal* 79 (17), 1578–1587.
- Shannon, C.E., 1938. A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits, *Trans. American Institute of Electrical Engineers*, 57, 713–723
- Siyah, B., 2012. Görüntü Filtreleme Uygulamaları ve Amaçları. Erişim Tarihi: 22.11.2014. <http://www.bulentsiyah.com/goruntu-filtreleme-uygulamalari-ve-amaclari-matlab>
- Smith, M.L., Stamp, R.J., 2000. Automated Inspection of Textured Ceramic Tiles. *Computers in Industry*, 43, 73–82.
- Soh, L., Tsatsoulis, C. 1999. Texture Analysis of SAR Sea Ice Imagery Using Gray Level Co-Occurrence Matrices *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(2), 780–795.

- Sun CT, Jang JSR (1993). A Neuro-Fuzzy Classifier And Its Applications. Proceedings of IEEE 2nd International Fuzzy Systems Conference, 28.03-01.04.1993, San Francisco, 94–98.
- Sural, S., Das, P.K., 2001. A Genetic Algorithm for Feature Selection in a Neuro-Fuzzy OCR System, Proceedings Sixth International Conference on Document Analysis and Recognition, 10–13 Sept. 2001, Seattle, Washington, USA , 987 – 991.
- Şişeci, M., Cetişli, B., 2008. Traverten Plaka Taşlarda Sınıfların Kümeleme Yöntemleri İle Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16(3), 238-247s.
- Şişeci, 2012. Traverten Plaka Taşlarda Sınıfların Kümeleme Yöntemleri İle Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 63s, Isparta.
- Theodoridis, S., Koutroumbas, K., 2003, Pattern recognition, Academic Press, USA,689.
- Taşkın, Deniz., 2007. Sıkıştırılmış Video Akımının Düzensiz Haritalar ve Başlangıç Kodlarına Dayalı Şifrelenmesi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 102s, Edirne.
- Topalova, I., Tzokev, A., July 2010. Automated Texture Classification of Marble Shades with Real-Time PLC Neural Network Implementation. In: Neural Networks (IJCNN), The 2010 International Joint Conference on, 18-23 July 2010, Barcelona, 1-8.
- Turtinen, M., Pietikainen, M., Silven, O., 2006. Visual Characterization of Paper Using Isomap and Local Binary Patterns. IEICE Transaction on Information and System, E89–D/No.7, 2076-2083.

- Tuzel, O., Porikli, F., Meer, P., 2006. Region Covariance: A Fast Descriptor for Detection and Classification, Computer vision - ECCV, 589-600.
- Vision doctor, 2014. Erişim Tarihi:22.11.2014. <http://www.vision-doctor.co.uk/line-scan-cameras/colour-line-scan-cameras.html>
- Viénot, F., Brettel, H. & Mollon, J. D., 1999. Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Displays by Dichromats. Color Research and Application, 24, 243-252.
- Webb, A., 2002, Statistical Pattern Recognition Second Edition, John Wiley & Sons Ltd., England, 496p.
- Wikipedia, 2014, RGB Color Model. Erişim Tarihi: 22.11.2014. http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model.
- Xing.-Fei. H., 2013. Trilinear Cameras Offer High Speed Color Imaging Solutions. Photonics Spectra, 46(5), 50-54.
- Yeh, C., Perng, D.B., 2001. Establishing A Demerit Count Reference Standard For The Classification And Grading Of Leather Hides. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 18 (10), 731–738.
- Yılmaz, İ., 2002. Renk Sistemleri, Renk Uzayları ve Dönüşümler. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim, Konya, 340-350.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sedat METLEK
Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sedatmetlek@hotmail.com.tr



Eğitim Durumu

Lise : Isparta Milli Piyango Anadolu Lisesi, 2001
Lisans : Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Kontrol Öğretmenliği
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi

Mesleki Deneyim

SDÜ Atabey Meslek Yüksekokulu	2005-2007
MAKÜ Ağlasun Meslek Yüksekokulu	2006-2009
MEB Milli Eğitim Müdürlüğü	2006-2009
MAKÜ Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu	2009-..... (Devam Ediyor)
MAKÜ Teknokent Koordinatörlüğü	2009-..... (Devam Ediyor)
Burdur Teknokent A.Ş	2014-..... (Devam Ediyor)

Yayımları

Metlek, S., Cetişli, B., 2012. Gerçek Zamanlı Endüstriyel Nesne Tanımda Kameraların Kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 16(2), 212-217.

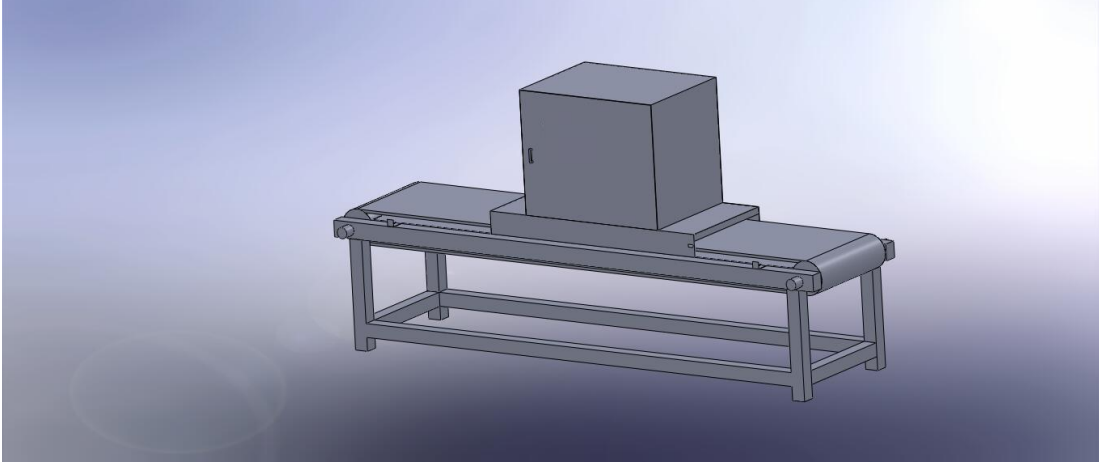
Şişeci, M., Metlek, S., Cetişli, B., 2014. Alt-Bloklar Tekniği ve Kümeleme Yöntemleri İle Görüntü Bölütlemenin Hızlandırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(4), 655-664.

Metlek, S., Büyükçingir, E., Cetişli, B., 2009. The Automatic Machine Vision and Classification System of Granite Slabs. International Symposium on Engineering and Architectural Sciences of Balkan, Caucasus and Turkic Republics, 22-24 October 2009, Isparta, 99-103.

Metlek, S., Yılmaz, A., 2013. Donma-Çözülme Etkisindeki Granüler Zeminlerin Elastiklik Özelliğinin YSA ile Belirlenmesi. Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 3-4 Temmuz 2013, Trabzon, 265-269.

EKLER

EK A. Proje Görüntüleri



Ek-A.1 Tasarım aşaması



Ek-A.2. İmalat aşaması



Ek-A.3. İmalat aşaması



Ek-A.4. Test için kullanılan taş örnekleri



Ek-A.5. Kontrol panosu ön görünümü



Ek-A.6. Kontrol panosun arka görünümü

Hardware Interface: Connectors and Timing

2.1 Installation Overview

When installing your camera, you should take these steps:

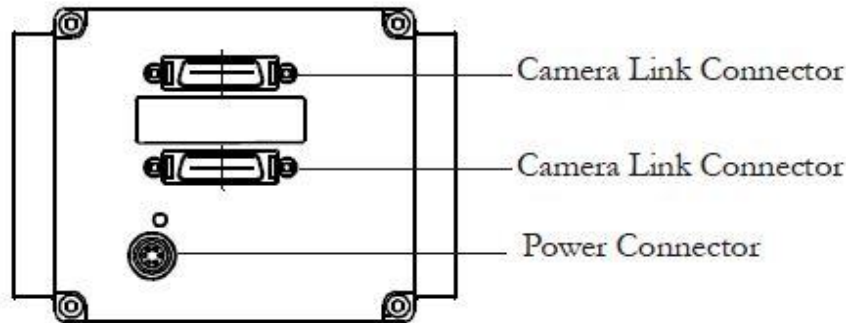
1. Power down all equipment.
2. Following the manufacturer's instructions, install the frame grabber (if applicable). Be sure to observe all static precautions.
3. Install any necessary imaging software.
4. Before connecting power to the camera, test all power supplies. Ensure that all the correct voltages are present at the camera end of the power cable. Power supplies must meet the requirements defined in section 2.2.2 Power Connector.
5. Inspect all cables and connectors prior to installation. Do not use damaged cables or connectors or the camera may be damaged.
6. Connect Camera Link and power cables.
7. After connecting cables, apply power to the camera.
8. Check the diagnostic LED. See the LED Status Indicator section below for an LED description.
9. The camera powers on with a baud rate of 9600.

You must also set up the other components of your system, including light sources, camera mounts, host computers, optics, encoders, and so on.

2.2 Input / Output Connectors and LED

The camera uses:

- An LED to display the camera's status.
- High-density 26-pin MDR26 connectors for Camera Link control signals, data signals, and serial communications.
- One 6-pin Hirose connector for power.



Ek-B.1. Kamera özellikleri

Note: Refer to the following sections for details on equipment recommendations and camera connector information.

2.3 Camera LED

The camera is equipped with a red/green LED used to display the operational status of the camera. The table below summarizes the operating states of the camera and the corresponding LED states.

When more than one condition is active, the LED indicates the condition with the highest priority. The fatal error state is accompanied by corresponding messages further describing the problem.

Table 1: Diagnostic LED

Priority	Color of Status LED	Meaning
1	Flashing Red	Fatal Error. For example, camera temperature is too high and camera thermal shutdown has occurred.
2	Flashing Green	Camera initialization or executing a long command (e.g., flat field correction commands <code>ccp</code> or <code>ccf</code>). During this state, any other sent command is ignored.
3	Solid Green	Camera is operational and functioning correctly and ready to receive commands.

2.4 Power Connector

Figure 2: Hirose 6-pin Circular Male—Power Connector

Hirose 6-pin Circular Male



Table 2: Hirose Pin Description

Pin	Description	Pin	Description
1	Min +12 to Max +15V	4	GND
2	Min +12 to Max +15V	5	GND
3	Min +12 to Max +15V	6	GND

The camera requires a single voltage input (+12 V to +15 V). The camera meets all performance specifications using standard switching power supplies, although well-regulated linear supplies provide optimum performance.

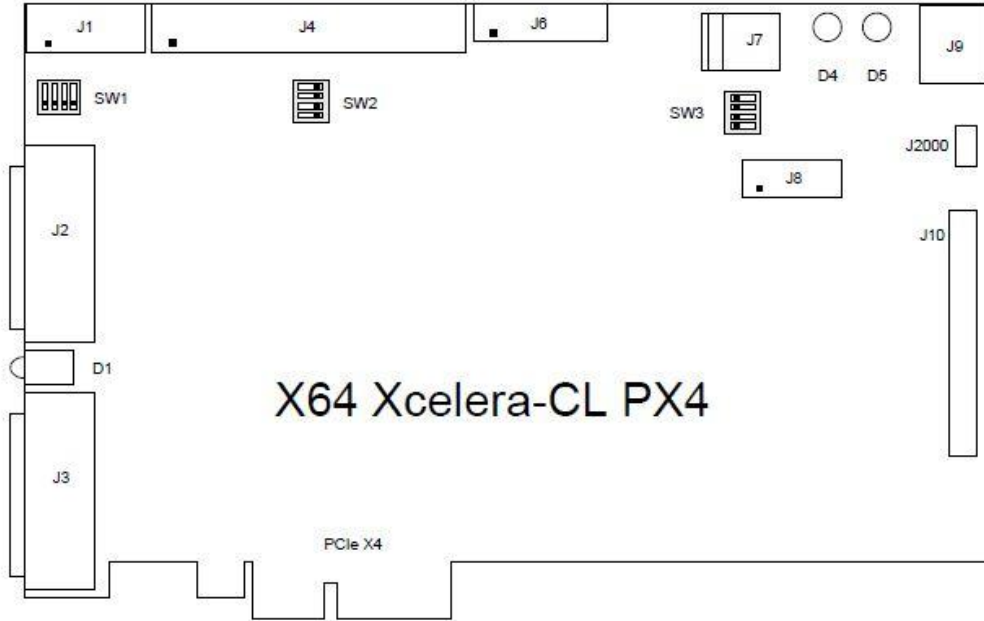
WARNING: When setting up the camera's power supplies follow these guidelines:

- Ensure +12 V to +15 V at the camera power input (after the voltage drop across the power cable. This may mean that the power supply will have to provide a voltage greater than the required camera voltage. For example, to achieve +12 V at the camera, the power supply may need to be +12.5 V or greater.
- Protect the camera with a fast-blow fuse between power supply and camera.
- Do not use the shield on a multi-conductor cable for ground.
- Keep leads as short as possible to reduce voltage drop.
- Use high-quality linear supplies to minimize noise.
- Use an isolated type power supply to prevent LVDS common mode range violation.

Note: Camera performance specifications are not guaranteed if your power supply does not meet these requirements.

Connector and Switch Locations

X64 Xcelera-CL PX4 Board Layout Drawing



Connector, Switch, Jumper Description List

The following table lists components on the X64 Xcelera-CL PX4 board. Detailed information follows for connectors or switches the end user may have need of.

Location	Description	Location	Description
J2	Camera Link Connector	J6	X-I/O Module Interface
J3	Camera Link Connector	J7	PC power to camera interface.
J4	External Signals connector	J1, J8, J10, J2000	Reserved
J9	Multi Board Sync	SW1, SW2, SW3	Configuration micro-switches
D1	Camera/PCIe status LEDs	D4, D5	Boot-up Status LEDs (refer to text)

Ek-B.3. Görüntü İşleme Kartı

J4: External Signals Connector

J4 Pin Header Numbering Detail

2	4	...	38	40
1	3	...	37	39

J4 Signal Descriptions

Description	Pin #	Pin #	Description
Ground	1	2	Ground
General Input 1 + (see note 1)	3	4	General Input 1 -
General Input 2 +	5	6	General Input 2 -
General Input 3 +	7	8	General Input 3 -
General Input 4 +	9	10	General Input 4 -
General Output 1 + (see note 2)	11	12	General Output 1 -
General Output 2 +	13	14	General Output 2 -
General Output 3 +	15	16	General Output 3 -
General Output 4 +	17	18	General Output 4 -
External Trigger Input 1 + (see note 3)	19	20	External Trigger Input 1 -
External Trigger Input 2 +	21	22	External Trigger Input 2 -
Shaft Encoder Phase A + (see note 4)	23	24	Shaft Encoder Phase A -
Shaft Encoder Phase B +	25	26	Shaft Encoder Phase B -
Ground	27	28	Strobe Output 1 (see note 5)
Ground	29	30	Strobe Output 2
Ground	31	32	Ground
Power Output 5 Volts, 1.5A max (see note 6)	33	34	Power Output 5 Volts, 1.5A max
Power Output 12 Volts, 1.5A max	35	36	Power Output 12 Volts, 1.5A max
Ground	37	38	Ground
Ground	39	40	Ground

Ek-B.4. Görüntü Yakalayıcı

EK C. Kameranın Genel Özellikleri

Algılayıcı Özellikleri	Değerleri
Görüntüleyici Biçimi	Trilinear CCD
Çözünürlük	4096 pixels
Piksel Doldurma Faktörü	100%
Pksel Ebatı	10 µm * 10µm
Antiblooming	100x
İşlem aralıkları	Değerleri
En az çizgi oranı	3.0 kHz (Operable to 1 Hz)
En çok çizgi oranı	12.1 kHz (4k60) or 17.6 kHz (4k80)
RGB piksel çıktısı	up to 80 Mps
Kazanç	-10 dB to +10 dB
Optik Arayüzü	Değerleri
Arka Odak Aralığı	91.56 mm (M72 x 0.75)
Sensör Hizalaması	
x	±50 µm
y	±50 µm
z	±250 µm
Qz	±0.2°
Mekanik Arayüzü	Değerleri
Kamera Ebatı	67 x 105 x 76 mm (l x h x w)
Ağırlığı	450 g
Güç Bağlantısı	Single voltage input (+12V to +15V) Hirose 6-pin
Bilgi Bağlantısı	Camera Link MDR26F
Elektrik Arayüzü	Değerleri
Giriş Voltajı	+12 to +15 volts
Güç Tüketimi	12 W
Çalışma Sıcaklığı	0 to 50 °C
Bilgi Çıkış Formatı	8 or 12 bits
Çıkış Bilgisi	3 taps 8 bit

Appendix A: ASCII Command Reference

The following table lists and describes all of the camera's available ASCII commands.

Table 7: Command Quick Reference

Parameters:
t = tap id
i = integer value
f = float
m = member of a set
s = string
x = pixel column number
y = pixel row number

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
correction calibrate fpn	ccf		Performs FPN calibration and eliminates FPN noise by subtracting away individual pixel dark current. Measures FPN (dark current). Use the <code>epc</code> command to enable subtracting these values from the video. Use <code>wfc</code> to write these values to non-volatile memory.
calculate camera gain	cgc	i t i	Calculates the camera gain according to the selected algorithm. 1 = Calibration algorithm to use. 1 = This algorithm adjusts analog gain so that 8% to 13% of tap ROI pixels are above the specified target value. 2 = This algorithm adjusts analog gain so that the average pixel value in tap's ROI is equal to the specified target value. 3 = This algorithm adjusts digital (system) gain so that the average pixel value in tap's ROI is equal to the specified target. 4 = This algorithm adjusts the analog gain so that the peak tap ROI pixels are adjusted to the specified target. t = Tap value. Use 0 for all taps or 1 or 4 for individual tap selection depending on the color selected using the <code>scl</code> command. i = Calibration target value in a range from 1024 to 4055DN (12 bit LSB).
correction calibrate prnu	ccp		Performs PRNU calibration in order to eliminate the difference in responsivity between the pixels to create a uniform response to light.
calibrate input LUT	cil		Calibrates the input lookup table (LUT). The LUTs are used to remove nonlinearity from the analog chain.
camera link mode	clm		Selects the CameraLink mode.
calculate PRNU algorithm	cpa	i1 i2	Performs PRNU calibration according to the selected algorithm. i1 = The calibration algorithm:

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
			<p>1 = The algorithm first adjusts each tap's analog gain so that 8-13% of pixels within a tap are above the value specified in the target value parameter. PRNU calibration then occurs using the peak pixel in the region of interest. (Identical to <i>ccp</i>)</p> <p>2 = Calculates the PRNU coefficients using the entered target value as shown below:</p> $\text{PRNU Coefficient} = \frac{\text{Target}}{(\text{AVG Pixel Value}) - (\text{FPN} + \text{sdo value})}$ <p>The calculation is performed for all sensor pixels but warnings only apply to pixels in the region of interest. This algorithm is useful for achieving uniform output across multiple cameras.</p> <p>3 = This algorithm includes an analog gain adjustment prior to PRNU calibration. Analog gain is first adjusted so that the peak pixel value in tap's ROI is within 97 to 99% of the specified target value. It then calculates the PRNU coefficients using the target value as shown below:</p> $\text{PRNU Coefficient}_i = \frac{\text{Target}}{(\text{AVG Pixel Value}_i) - (\text{FPN}_i + \text{sdo value})}$ <p>The calculation is performed for all sensor pixels but warnings only apply to pixels in the region of interest. This algorithm is useful for achieving uniform output across multiple cameras.</p> <p>4 = This algorithm is the same as 2 with the exception that it only calculates PRNU for the pixels within the current Region of Interest (ROI). The second parameter is the target value to use in a range from 1024 to 4055 DN.</p> <p>i2 = Output target.</p>
correction set sample	css	m	Sets the number of lines to sample when using the <i>gla</i> command or when performing FPN and PRNU calibration where m is 1024, 2048, or 4096.
display input LUT	dil	t a1 a2	Displays the range of input LUT values, where: t = Tap number: 0 for all. The range is modified by the color selected. a1 = Range start address: 0 to 1023. a2 = Range stop address: 0 to 1023.

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
			$a1 \leq a2$
display pixel coeffs	dpc	x1 x2	Displays the pixel coefficients in the order FPN, PRNU, FPN, PRNU, ... x1 = Pixel start number x2 = Pixel end number in a range from 1 to n. Where n = 2048 or 4096.
enable blue correction	ebc	i	Enable blue correction, where: 0: Disable/Off 1: Enable/On
enable input LUT	eil	i	Enable input LUT, where: 0: Off 1: On
end of line sequence	els	i	Sets the end-of-line sequence: 0: Off 1: On 2: LVAL (video and statistics)
enable pixel coefficients	epc	i1 i2	Sets whether pixel coefficients are enabled or disabled. The first parameter sets the FPN coefficients where i1 is: 0 = FPN coefficients disabled 1 = FPN coefficients enabled The second parameter sets the PRNU coefficients where i2 is: 0 = PRNU coefficients disabled 1 = PRNU coefficients enabled
get command log	gcl		Displays the last 50 commands and the camera's response to them.
get camera model	gcm		Displays the camera model number.
get camera parameters	gcp		Displays all of the camera parameters.
get camera serial	gcs		Displays the camera serial number.
get camera version	gcv		Displays the camera's firmware versions.
get values	get	s	Displays the current value of the parameter(s) set by the command s .
get fpn coefficient	gfc	x	Read the FPN coefficient x = pixel number to read in a range from 1 to n. Where n = 2048 or 4096.
get help	gh		Returns all of the available "get" commands.
get input LUT	gil	t a	Display a single LUT value. Must select a color with SCL first. t = Tap number; 0 for all; range modified by color selected a = LUT address; 0 to 1023
get line	gl	x1 x2	Gets a line of video (without pixel coefficients applied) displaying one pixel value after another and the minimum, maximum, and mean value of the sampled line.

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
			x1 = Pixel start number x2 = Pixel end number in a range from 1 to n. Where n = 2048 or 4096.
get line average	gla	x1 x2	Read the average of line samples. x1 = Pixel start number x2 = Pixel end number in a range from 1 to n. Where n = 2048 or 4096.
get prnu coeff	gpc	x	Displays a PRNU coefficient. x = pixel number to read in a range from 1 to n. Where n = 2048 or 4096.
get signal frequency	gsf	i	Reads the requested Camera Link control frequency. 1 = EXSYNC frequency 2 = CC2 3 = Direction 4 = CC4
help	h		Display the online help.
load FPN coefficients	lfc		Loads the FPN coefficients from non-volatile memory to current. This command is modified by the ssn command.
load factory settings	lfs		Loads the camera's factory settings LUT, FPN and PRNU coefficients. Also used to clear a fatal error if the user settings are corrupt at power up.
load input LUT	lil		Load input LUT's from non-volatile memory to current. Modified by the ssn command.
load pixel coefficients	lpc		Load the previously saved PRNU coefficients from non-volatile memory. Modified by the ssn command.
load user settings	lus		Load the camera user settings from non-volatile memory. Modified by the ssn command.
reset camera	rc		Resets the entire camera (reboot). Baud rate is not reset and reboots with the value last used.
reset input LUT	ril		Set all values in all current LUT's to zero.
region of interest	roi	x1 x2	Sets the pixel range affected by the ccg , gl , gla , cil , ccf , ccp , and cpa commands. The parameters are the pixel start and end values (x).
reset pixel coeffs	rpc		Resets the FPN and PRNU coefficients to 0.
set add background	sab	ti	Set 12 bit value to add at end of digital chain. t = Tap; 0 to 4 depending on color selected; 0 for all taps i = Value to add

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
set analog gain	sag	t f	Sets the analog gain in dB. t = tap selection, either 1 or 4 depending on the color selected, or 0 for all taps. f= gain value specified from -10 to +10 dB
set analog offset	sao	t i	Sets the analog offset. t = tap selection, 1 to 4 depending on color selected, or 0 for all taps. i= Offset value in a range from 0 to 255 (12-bit LSB). Set to three time RMS noise at high gain.
set averaging horizontal	sah	i	Sets the number of horizontal pixels to average. Available values are 1 (factory settings) and 2.
set baud rate	sbr	i	Set the speed of camera serial communication port. Baud rates: 9600, 19200, 57600, and 115200. Power on default: 9600.
select cable	scb	i	Sets the cable parameter. Increase this value for longer cables and decrease the value for shorter cables.
set color correction	scc	i1 i2 i3 i4	Set how three video streams from the CCD are combined to provide the four (red, green, blue, and luminance) output streams. Use SCL to select the color, RGB for luminance, to modify. i1 = Offset (0 to 4095) i2 = Red multiplier (-8192 to 8191) i3 = Green multiplier (-8192 to 8191) i4 = Blue multiplier (-8192 to 8191) Multipliers are divided by 4096 to get the actual factor.
set ccd direction	scd	i	Sets the CCD shift direction where: 0 = Forward CCD shift direction. 1 = Reverse CCD shift direction. 2 = Externally controlled direction control via CC3.
set color	scl	s	rgb/r/g/b
set digital offset	sdo	t i	Subtracts this value from the video signal prior to FPN correction. t = tap selection, 1 to 4 depending on color selected, or 0 for all taps. i = Offset in a range from 0 to 4095.
set exposure mode	sem	m	Sets the exposure mode: 2 = Internal line rate and exposure time set using commands ssf and set 3 = External SYNC, maximum exposure time 4 = Smart EXSYNC 5 = External SYNC and PRIN

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
			6 = External SYNC, internal exposure time set using SET command 7 = Internal line rate, maximum exposure time. Factory setting.
set exposure time	set	f	Sets the exposure time. Refer to the camera help screen (h command) for allowable range.
set fpn coeff	sfc	x i	Set the FPN coefficient. First must select a single color with SCL. x = pixel number within the range 1 to n. Where n = 2048 or 4096. i = FPN value within the range 0 to 4095 (12-bit LSB).
set fpn range	sfr	x x i	Set a range of pixel FPN coefficients. First must select a single color with SCL. x1 = first pixel number of the range. x2 = last pixel number of the range i = coefficient value in a range from 0 to 4095.
set input LUT	sil	t a i	Set a single value in a LUT. First must select a single color with SCL. t = Tap; 1 to 4 depending on color a = Address within LUT; 0 to 1023 i = Value; -256 to 255
set lower threshold	slt	i	The pixels below the lower threshold are counted and reported in the end-of-line sequence. i = Threshold in a range from 0-4095.
set mirroring mode	smm	i	Set mirroring mode: 0 = Left to right 1 = Right to left
set output throughput	sot	m	Sets the camera's total throughput per color. Valid values are: 30, 40, 60, or 80 mega-pixels per second per color.
set prnu coeff	spc	x i	Set a PRNU coefficient. First must select a single color with SCL. x = pixel number within the range 1 to n. Where n = 2048 or 4096. i = PRNU value within the range 0 to 61438.
set prnu range	spr	i1 i2 x	Set a range of pixel PRNU coefficients. First must select a single color with SCL. i1 = first pixel number of the range i2 = last pixel number of the range x = coefficient value in a range from 0 to 61438.
set readout mode	srm	i	Select vertical transfer dark clear mode. 0 = Auto, clears dark below approximately 60% of maximum line

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
			rate 1 = Always clears dark; reduces the maximum line rate 2 = Off
set spatial alignment	ssa	i	Set line delay between colors. 0 to 6.
set subtract background	ssb	t i	Subtract this value from the output signal. t = Tap value. 0 for all taps or 1 to number of camera taps the color selected. i = Subtracted value in a range from 0 to 4095.
set sync frequency	ssf	f	Set internal line rate. 1Hz to 22,714 Hz (2k model) or 12,132 Hz (4k model).
set system gain	ssg	t i	Set the digital gain. t = tap selection, 0 for all taps or 1 to number of camera taps for color i = Digital gain in a range from 0 to 65,535. The digital video values are multiplied by this number divided by 4,096.
set select number	ssn	i	Set number for write/load settings commands: 0 = Factory set (load only) 1-4 = Internal user sets
set upper threshold	sut	i	The pixels equal to or greater than the upper threshold are counted and reported in the end-of-line sequence. i = Threshold 0-4095.
set video mode	svm	i	Switch between normal video mode and camera test patterns: 0: Normal video 1: Horizontal ramp 2: Diagonal ramp 3: Vertical ramp 4: N/A - A5 pattern 5: N/A - Data transmission 6: DC value 7: FPN demo 8: PRNU demo 9: All 4095 (to get FPN) 10: All 2048 (to get PRNU) 11: Power toggle 12: All 320 - FPN offset 13: All zeros 14: All ones
update gain reference	ugr		For all taps, changes 0 dB gain to equal the current analog gain value.
verify temperature	vt		Display the internal temperature of the camera.
verify voltage	vv		Display the voltage supplied to the

Mnemonic	Syntax	Parameters	Description
			camera.
write FPN coefficients	wfc		Write current FPN coefficients to non-volatile memory set previously using the ssn command.
write input LUT	wil		Write current LUT's to non-volatile memory set previously using the ssn command.
write PRNU coeffs	wpc		Write current PRNU coefficients to non-volatile memory set previously using the ssn command.
write user settings	wus		Write current camera settings to non-volatile memory set previously using the ssn command.