

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASFALT KALİTE ANALİZİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEMeye DAYALI OTOMATİK
BİR BÖLÜTLEME YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi Önder CİVELEK

**HAZİRAN 2018
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASFALT KALİTE ANALİZİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEMENE DAYALI OTOMATİK BİR
BÖLÜTLEME YÖNTEMİ**

Elektrik-Elektronik Mühendisi Önder CİVELEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 / 05 / 2018

Tezin Savunma Tarihi : 18 / 06 / 2018

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Mehmet ÖZTÜRK

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Önder CİVELEK Tarafından Hazırlanan**

**ASFALT KALİTE ANALİZİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEMENE DAYALI OTOMATİK BİR
BÖLÜTLEME YÖNTEMİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 / 05 / 2018 gün ve 1755 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali GANGAL

Üye : Doç. Dr. İlker KAZAZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZTÜRK


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır. Çalışmada görüntü işlemeye dayalı otomatik bir bölütleme yöntemi önerilmiş ve asfalt karışımının yapısı hakkında bilgi sunulmuştur. Tez çalışmam süresince bilimsel desteği ve değerli düşünceleriyle bana her aşamada sabır, hoşgörü ve dikkatle yardımcı olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZTÜRK' e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca sabrını ve hoşgörüsünü esirgemeyen biricik eşim Sena CİVELEK' e, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan başta rahmetli babam Orhan CİVELEK olmak üzere tüm aile fertlerime, tez çalışmamda kullanmış olduğum donanımı hazırlamamda bana yardımcı olan sevgili dostum Turgut ABDİOĞLU' na teşekkür ederim. Bu tezin sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Önder CİVELEK
Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Asfalt Kalite Analizi İçin Görüntü İşlemeye Dayalı Otomatik Bir Bölütleme yöntemi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZTÜRK ‘in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 18/06/2018

Önder CİVELEK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Problemin Belirlenmesi ve Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.3. Sayısal Görüntü İşleme Nedir?.....	2
1.4. Sayısal Görüntü İşleme'deki Temel Adımlar.....	3
1.5. Dijital Görüntülerle Kullanılan Renk Modelleri.....	4
1.5.1. RGB Renk Modeli.....	4
1.5.2. Gri Tonlama ve İkili Renk Modeli.....	5
1.6. Gri Seviye Dönüşümleri.....	6
1.6.1. Histogram nedir?.....	7
1.7. Bölütleme.....	10
1.7.1. Kenar Tabanlı Bölütleme.....	10
1.7.2. Bölge Tabanlı Bölütleme.....	11
1.7.3. Eşikleme Yöntemleri.....	12
1.7.3.1. Global Eşikleme Yöntemi.....	12
1.7.3.2. Lokal Eşikleme Yöntemi.....	18
1.7.4. K –Ortalama Kümelenmesi.....	18
1.7.5. Bulanık Kümeleme.....	19
1.8. Görüntü Filtreleme.....	20
1.8.1. Uzamsal Filtreleme.....	20
1.8.1.1. Yumuşatma Filtreleri.....	21

1.8.1.2. Keskinleştirme Filtreleri.....	23
1.8.2. Frekans Domeninde Dönüşümler.....	24
1.8.3. Frekans Domeninde Filtreleme.....	25
1.8.3.1. Alçak Geçiren Filtre.....	26
1.8.3.2. Yüksek Geçiren Filtre.....	26
1.9. Literatür Araştırması.....	27
1.9.1. Görüntülerin Alınması.....	27
1.9.2. Görüntü İşleme ve Teknikleri.....	30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR,BULGULAR VE İRDELEME.....	34
2.1 Görüntülerin Alınması.....	34
2.2 Veri Analizi.....	36
2.3 Homomorfik Filtre.....	42
2.4 Kontrast Germe.....	46
2.5 Ağırlıklandırılmış Ortanca Filtre.....	47
2.6 Bölütleme.....	50
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	52
4. ÖNERİLER.....	59
5. KAYNAKLAR.....	62
6. EKLER.....	64
Ek 1. Matlab Görüntü İşleme Yazılımı.....	64

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

**ASFALT KALİTE ANALİZİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEMENE DAYALI OTOMATİK
BİR BÖLÜTLEME YÖNTEMİ**

Önder CİVELEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZTÜRK
2018, 66 Sayfa

Asfalt kalitesi, bileşiminde yer alan unsurların oranları ile doğrudan orantılıdır. Bu oranın ölçülmesi işleminin manuel olarak yapılması uzun zaman alan ve zahmetli bir iştir. Bu çalışmada, kesilerek çıkarılmış asfalt örneklerinin yüzeylerinden elde edilen görüntüler için otomatik bir bölütleme yöntemi ilk defa önerilmiştir. Bu amaçla asfalt örneklerinden kontrollü aydınlatma şartlarında görüntü alabilmek için bir sistem oluşturulmuştur. Elde edilen görüntülerle 46 adet asfalt örneğine ait bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu görüntüler her ne kadar homojen aydınlatma şartları altında alınmış olsa da, olası gri seviye düzensizliklerini giderme adına çeşitli filtrelerden geçirilmiştir. Daha sonra gri seviye parlaklık değerleri düzeltilmiş görüntülerin histogramı kullanılarak asfalt görüntüleri agrega, bitüm ve boşluk olarak üç sınıftan oluşacak şekilde bölütlenmiştir. Sonuçlar uzman kişi tarafından elle bölütlenmiş görüntüler ile kıyaslanmış ve başarımları analiz edilmiştir. Başarımları analizi sonuçlarına göre önerilen yöntemin veri tabanındaki görüntüler üzerinde yaklaşık olarak %85 genel sınıflandırma doğruluğu elde ettiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asfalt örneği, Bölütleme, Agrega, Bitüm, Gri seviye düzeltme

Master Thesis

SUMMARY

**AN IMAGE PROCESSING BASED AUTOMATIC SEGMENTATION METHOD
FOR ASPHALT QUALITY ANALYSIS**

Önder CİVELEK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assistant Professor Mehmet ÖZTÜRK
2018, 66 Pages

Asphalt quality is directly related to the proportions of the components contained in its composition. Manual measurement of this ratio is a time-consuming and laborious process. In this study, an automatic segmentation method based on images obtained from the cut surfaces of asphalt samples was proposed first. For this purpose, an imaging system was set to obtain images under controlled lighting conditions from asphalt samples. A database of 46 asphalt samples was created with the images obtained from this setup. Although these images were taken under homogenous lighting conditions, they were also filtered through various filters to remove possible gray level irregularities. Then, using the histogram of gray level regulated images, the asphalt samples were segmented into three classes as aggregate, bitumen, and voids. The results were compared with manually segmented images by the expert and the performance analysis was given. According to the results of the segmentation performance analysis, it was observed that the proposed method obtained approximately 85% general classification accuracy on the images in the database.

Key Words: Asphalt Samples, Segmentation, Aggregate, Bitumen, Gray Level Correction

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. RGB renk küpünün şeması.....	5
Şekil 2. Birden fazla eşik belirlenmiş yoğunluk histogram grafikleri.....	13
Şekil 3. GMM'de eşik değerinin belirlenmesi	16
Şekil 4. Frekans uzayında görüntü işleme aşamaları.....	25
Şekil 5. Asfalt numunelerinden görüntü almak için kullanılan düzenek.....	34
Şekil 6. Görüntü alma düzeneğin iç yapısı.....	35
Şekil 7. Aydınlatılmış düzenek.....	35
Şekil 8. RGB olarak elde edilen görüntü	35
Şekil 9. Görüntüden yuvarlak olan asfalt kısmının seçilmesi	36
Şekil 10. Bölütlemeye hazır hale getirilmiş RGB görüntü.....	36
Şekil 11. Mavi kanal görüntüsünün gri seviyeye dönüştürülmesi.....	37
Şekil 12. 5x5 piksellik bölgede AG ve Bİ örneklerinin alınması.....	37
Şekil 13. Görüntünün RGB kanallarındaki histogram grafikleri ve Gauss modelleri.....	38
Şekil 14. Kırmızı kanaldaki görüntü.....	40
Şekil 15. Yeşil kanaldaki görüntü	40
Şekil 16. Mavi kanaldaki görüntü.....	40
Şekil 17. Maskenin oluşturulması	41
Şekil 18. 48 adet görüntünün histogram grafiği ve ortalama histogram grafiği.....	41
Şekil 19. Soldaki orijinal görüntüyü, sağdaki histogram benzetme uygulanmış görüntüyü göstermektedir.....	42
Şekil 20. Soldaki grafik görüntünün histogramını, sağdaki grafik histogram benzetme uygulanmış görüntünün histogramını göstermektedir.....	42
Şekil 21. H(u,v) filtresinin yandan kesit görüntüsü.....	45
Şekil 22. Homomorfik filtre uygulanmış görüntü	45
Şekil 23. Homomorfik filtre uygulanmış görüntünün histogram grafiği	46
Şekil 24. Kontrast germe uygulanmış görüntü	46
Şekil 25. Filtre sonuçlarının mavi kanal görüntüsüyle kıyaslanması En üstteki mavi kanal görüntüsünü, ortadaki Homomorfik filtre sonucundaki görüntüyü, en alttaki ise WMF sonucunda elde edilen görüntüyü göstermektedir.....	48
Şekil 26. Histogram sonuçlarının kıyaslanması.....	49

Şekil 27. LoG filtresi	50
Şekil 28. Bölütlenmiş histogram	51
Şekil 29. Uzman kişi tarafından sınıflandırılmış görüntü	52
Şekil 30. Otomatik olarak bölütlenmiş görüntü.....	52
Şekil 31. Bölütlenecek görüntülere ait ortalama eşik değerlerinin ve standart..... sapmaların çizdirilmesi	53
Şekil 32. ROC eğrisi.....	55
Şekil 33. Görüntülerin alınıp analiz edilebilmesi için oluşturulmuş GUI görüntüsü	56
Şekil 34. Test resimleri. Sağ sütun orijinal resimleri, orta sütun otomatik olarak bölütlenmiş görüntüleri, sol sütun ise manuel olarak bölütlenmiş görüntüleri göstermektedir.....	58
Şekil 35. Düzenlenmiş max ve min parlaklık değerleri oranına ait görüntü. Görüntüden de açıkça görülebildiği gibi AG sınıfına ait pikseller oldukça net bir şekilde arkaplan piksellerinden ayırt edilebilmektedir.....	60
Şekil 36. Düzenlenmiş max ve min parlaklık değerleri oranına ait görüntüye ait histogram grafığı.....	60

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. BI ve AG 'ye ait GMM parametrelerinin RGB kanallarındaki değerleri	38
Tablo 2. Sınıflandırılan piksellerin başarıım yüzdesi	53
Tablo 3. Hedef sınıfına ait toplam piksel sayısının yüzdesel dağılımı	54
Tablo 4. Veritabanında ki görüntülere ait BI , AG , VO yüzdeleri.....	56
Tablo 5. Test görüntülerinin sınıflara ait ortalama yüzde değerleri ve standart sapmaları..	57



SEMBOLLER DİZİNİ

AC: Asfalt betonu

AG: Agregası

Bİ : Bitüm

VO : Asfalt karışımının içinde yer alan hava boşlukları

RGB: Kırmızı yeşil mavi renk kanallarını içeren görüntü.

PDF: Olasılık yoğunluk fonksiyonu

CDF: Kümülatif dağılım fonksiyonu

GMM: Gauss Karışım Modeli

PSO: Parçacık sürü optimizasyonu

P_{BEST}: parçacığın en iyi kendi çözümü

G_{BEST}: Tüm parçacıkların en iyi çözümü

FCM: Bulanık C ortalamalar algoritması

WMF: Ağırlıklı ortanca filtre

CT: Bilgisayarlı tomografi

HMA: Sıcak asfalt karışımı

EAI: Exposed Agregası Endeksi

FER : Düz ve genişletilmiş oran

AI: Açısallık indeksi

STI : Yüzey dokusu indeksi

MRF: Markov Ratgele Alanı

LED: Işık Yayan Diyot

LoG: Laplacian of Gaussian

AGF: Alçak geçiren filtre

DSLR: Dijital Tek Objektifli Refleks kamera

2B: İki boyutlu

3B: Üç boyutlu

SEM: Elektron Mikroskobu Taraması

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Asfalt olarak adlandırılan malzeme ısıtılmış mineraller olan agrega (*AG*) ve bu malzemeyi bir arada tutan bitüm (*Bİ*) karışımından oluşur. Ayrıca bu karışımın içinde yer alan hava boşlukları (*VO*) da asfaltı oluşturan önemli parametreler arasında sayılır [1]. Asfalt karışımının içerisinde bu parametrelerin hangi oranlarda bulunduğunu ölçerek asfaltın kalitesi (hizmet ömrü, hizmet kalitesi, sağlamlığı gibi) hakkında bilgi edinilebilir. Ancak bunu manuel olarak gerçekleştirmek hem zor hem de uzun zaman alan bir yöntemdir.

Sayısal görüntüleme sistemleri ve sayısal görüntü işleme yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde asfalt örnekleri üzerinde farklı görüntüleme sistemleri ve farklı bölütleme algoritmaları kullanılarak asfalt kalitesi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır [2, 3]. Diğer taraftan bilgisayarlı tomografi görüntüleme sistemleri kullanılarak da x-ışınları yardımıyla asfalt malzemesinin bileşimleri hacimsel olarak incelenmeye çalışılmıştır [4]. Asfalt içerisinde yer alan ve en önemli bileşen olarak söylenebilecek olan *AG*'nin sınıfı, elek analizi sonuçları, eksfoliasyon indeksi ve uzama indeksi gibi parametrelerin ölçülmesi için de çalışmalar yapılmıştır [5-7]. *AG*'nin sınıflandırmasında yapay sinir ağları, Fisher doğrusal ayrışım analizi ve k-en yakın komşuluk yöntemleri gibi farklı yöntemler kullanılmıştır [8, 9]. *AG* ve *Bİ* oranlarını renkli görüntüler (*RGB*) üzerinden ölçmeye dayalı teknikler de sunulmuştur [10-11]. Ayrıca *Bİ* ile kaplanmış *AG* analizi yapmak için YUV renk uzayında bölütleme çalışması da yapılmıştır [12].

Literatürde yer alan çalışmalar genellikle *AG* morfolojik özellikleri veya hacimsel oranları hakkında bilgi vermek için önerilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu tez çalışmasında, asfalt malzemesinden alınan örneklerin yüzeylerinden elde edilmiş sayısal *RGB* görüntüleri kullanılarak *AG*, *Bİ* ve *VO* bileşimleri ve oranları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

Veritabanındaki test görüntülerinin elle bölütlenmesi aşamasında her bir görüntü için yaklaşık olarak 8 saat gerekmiştir. Önerilen otomatik bölütleme yöntemi ise %86 doğrulukla bu bölütleme işlemini bir dakikanın altında bir sürede gerçekleştirmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde yapılan çalışmanın literatüre önemli bir katkı sağlayacağı görülecektir.

1.2. Problemin Belirlenmesi ve Çalışmanın Kapsamı

Asfalt karışımının önemli parametreleri olan AG , $Bİ$ ve VO 'nun asfalt içerisindeki oranlarının belirlenmesi kaliteli bir asfaltın tespit edilmesi için son derece önemlidir. Hacimsel olarak asfalt numunelerinde AG %93-97 oranlarında $Bİ$ ise %3 ila % 7 arasında bir oranda bulunmaktadır. Karışım içerisindeki boşluk oranının ise % 3 ile % 5 arasında olması istenir. Karışım içerisindeki asfalt oranı fazlaysa ve boşluk oranı az ise sıcak havalarda agreganın genleşmesi ve trafiğin sıkıştırma etkisiyle agregalar dibe gömülür, asfalt dışarı çıkar ve yol kaygan bir hal alır [13].

Yüzeysel olarak asfalt karışımının içerisindeki parametrelerin hangi oranlarda bulunduğunu manuel olarak ölçmek hem zor hem de uzun zaman alan bir yöntemdir. Asfalt yüzey görüntüleri üzerinde manuel olarak sınıflandırılmış uzman datalarına gereksinim duyulmaktadır. Epeyce zahmetli olan bu süreç yerine, sayısal görüntüleme sistemleri ve sayısal görüntü işleme yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde asfalt örnekleri üzerinde farklı görüntüleme sistemleri ve farklı bölütleme algoritmaları kullanılarak asfalt kalitesi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar genellikle AG morfolojik özellikleri veya hacimsel oranları hakkında bilgi vermek için önerilmiştir. Bu çalışmada ise, diğer çalışmalardan farklı olarak, asfalt malzemesinden alınan örneklerin yüzeylerinden elde edilmiş sayısal RGB görüntüleri kullanılarak AG , $Bİ$ ve VO bileşimleri ve oranları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Doğal ışık altında AG , $Bİ$ ve VO bileşimlerinin ayırımı zor olduğu için kontrollü aydınlatma şartları altında görüntü alma işlemleri için bir düzenek tasarlanmıştır. Alınan görüntüler üzerinde gri seviye bölütlemeye dayalı basit ancak etkili bir sistem tasarlanmış olup asfalt karışımının yapısı hakkında bilgi sunulmuştur. Manuel olarak zor olan ve çok uzun zaman alacak olan ayrıştırma işlemi görüntü işleme algoritmalarını kullanan bir yazılım sayesinde otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan bölütleme işleminin sonuçları, hem sayısal hem de görsel olarak sunulmuştur.

1.3. Sayısal Görüntü İşleme Nedir?

Sayısal görüntü işleme, sayısal olarak görüntü içeriğinin tanımlanması ile ilgilidir. Sayısal görüntü işleme, nesnelere öznitelikleri hakkında bilgisayar teknolojisi yardımıyla bilgi edinmemizi sağlar. Sayısal görüntü işleme teknikleriyle, gelişmiş veya farklı görüntüler

elde edilebilir ve görüntülerden özellik ve anlamlı bilgiler çıkarılabilir. Elektromanyetik spektrumun görsel bandıyla sınırlı olan insanlardan farklı olarak, görüntüleme makineleri gama dalgalarından radyo dalgalarına kadar neredeyse tüm Elektromanyetik spektrumun tamamını kapsamaktadır. İnsanların görüntülerle ilişkilendirmeye alışık olmadıkları kaynakların ürettiği görüntüler üzerinde çalışabilirler. Bunlar ultrason, elektron mikroskobu ve bilgisayar tarafından oluşturulan görüntüleri içerir. Böylece, sayısal görüntü işleme, geniş ve çeşitli uygulama alanlarını kapsar.

Sayısal bir görüntü, sınırlı sayıda bit tarafından ifade edilen gerçek bir sayı dizisidir. Başka bir deyişle, sayısal görüntü için aşağıdaki tanım kullanılabilir;

Gerçek hayatta, bir görüntü, iki boyutlu bir fonksiyon $f(x, y)$ olarak tanımlanır. x ve y , düzlemsel koordinatlarıdır. f fonksiyonunun herhangi bir (x, y) koordinatındaki genliğe, o noktadaki yoğunluk (parlaklık gibi) veya gri seviye denir. x, y, f in yoğunluk değerleri sonlu ve ayrık boyutta olduğunda, görüntü dijital görüntü olarak adlandırılır. Sayısal görüntü piksel olarak adlandırılan öğelerden oluşur [14].

Görüntü temel olarak $2B$ (iki boyutlu) bir piksel dizisidir. Sayısal görüntü işleme bu $2B$ veriyle ilgilenir. MATLAB programlama dili bu amaç için zengin bir fonksiyon kütüphanesi sunar. Bu nedenle, görüntü işleme algoritmalarının ve sezgisel yöntemlerin hızlı üretilmesi ve test edilmesi için sıklıkla kullanılır. MATLAB, kütüphanesindeki görüntü işleme araç kutusu görüntü işleme, analiz, görselleştirme ve algoritma geliştirme için kapsamlı bir dizi referans standart algoritmalar ve iş akışı uygulamaları sağlar. Görüntü bölütlemesi, görüntü geliştirme, gürültü azaltma, geometrik dönüşümler, görüntü kaydı ve üç boyutlu görüntü işleme gerçekleştirilebilir. Görüntü işleme araç kutusu uygulamaları, yaygın görüntü işleme iş akışlarını otomatikleştirilmesini sağlayarak görüntü verilerini etkileşimli olarak bölümlere ayırabilir, görüntü kayıt tekniklerini karşılaştırabilir ve büyük veri kümeleri toplu işlenebilir.

1.4. Sayısal Görüntü İşleme 'deki Temel Adımlar

Sayısal görüntü işlemedeki temel adımlar aşağıda açıklanmıştır;

Görüntü Alınması: Görüntüler bir kamera, bir tarayıcı veya benzeri bir sayısal görüntü oluşturma cihazı kullanılarak işlenecekleri birime (genellikle bir bilgisayara) aktarılır.

Görüntü Geliştirme: Geliştirme tekniklerinin ardındaki fikir, belirsiz olan veya bir görüntünün belirli özelliklerini vurgulayan ayrıntıları ortaya koymaktır. Parlaklık ve kontrast değişimi vb.

Görüntü Restorasyonu: Görüntü restorasyonu, görüntünün içerisindeki istenmeyen ve genellikle bozucu etkiye sahip bilgileri ya tamamen çıkarma ya da bastırmaya yönelik adımlardan oluşur. Bununla birlikte, restorasyon teknikleri, görüntü bozulmasını matematiksel veya olasılık modellerine dayalı olarak ele alma eğilimindedirler.

Bölütleme: Bölütleme, bir görüntüyü parçalara veya nesnelere bölme işlemidir. Genelde bölütleme, sayısal görüntü işlemede en zor görevlerden biridir. Sağlam bir bölütleme prosedürü, tek tek nesnelere tanımlanmasını gerektiren görüntüleme problemlerini başarılı bir şekilde çözmeyi sağlar.

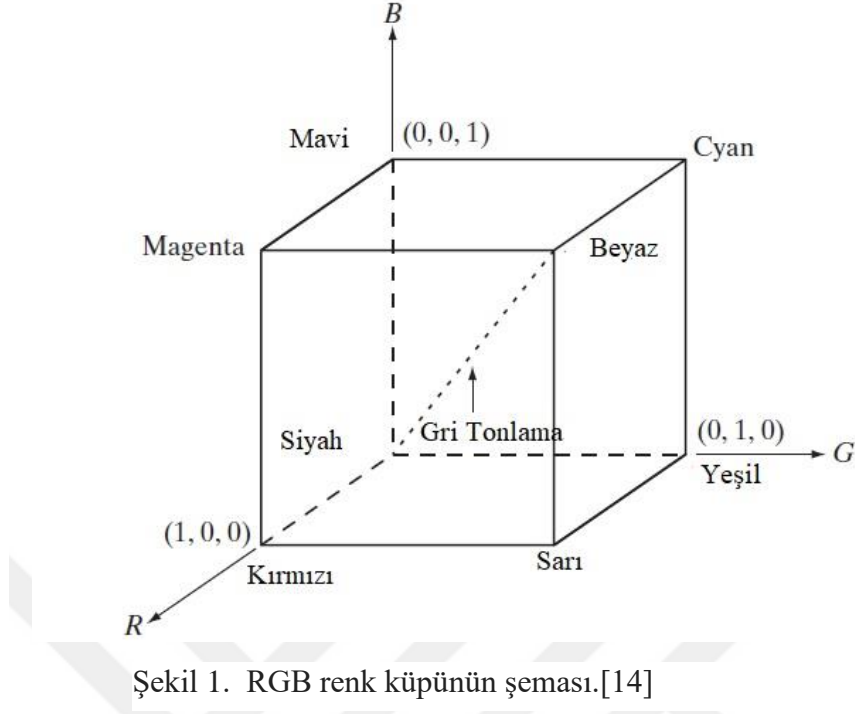
Morfolojik İşleme: Morfolojik işleme, şekil veya nesne tanımada yararlı görüntü özelliklerinin elde edilmesine yönelik araçlarla ilgilenir.

Alınan görüntülerin renk bilgilerini de içermesi durumunda yukarıda bahsedilen adımlar renk bileşenlerini de dikkate alacak şekilde düzenlenir.

1.5.Sayısal Görüntülerde Kullanılan Renk Modelleri

1.5.1.RGB Renk Modeli

RGB modelinde, her bir renk, ana spektral bileşenlerinde kırmızı, yeşil ve mavi görünür. Bu model bir Kartezyen koordinat sistemine dayanmaktadır. İlgilenilen renk alt uzayı, *RGB* birincil değerlerinin üç köşede olduğu Şekil 1'de gösterilen küptür; ikincil renkler camgöbeği, macenta ve sarı diğer üç köşede bulunur; siyah orijindedir ve beyaz orijinden en uzak köşededir. Bu modelde, gri ölçek (eşit *RGB* değerlerinin noktaları), bu iki noktayı birleştiren çizgi boyunca siyahtan beyaza uzanır. Bu modeldeki farklı renkler küpün üzerinde veya içinde noktalardır ve orijinden uzanan vektörlerle tanımlanır. Kolaylık için, tüm renk değerlerinin normalleştirildiği varsayımı, Şekil 1'de gösterilen küpün birim küp olmasıdır. Yani, R, G ve B'nin tüm değerlerinin $[0, 1]$ aralığında olduğu varsayılır.



RGB renk modelinde temsil edilen görüntüler, her ana renk için bir tane olmak üzere üç bileşenli görüntüden oluşur. *RGB* uzayda her bir pikseli temsil etmek için kullanılan bit sayısına piksel derinliği denir. Kırmızı, yeşil ve mavi görüntülerin her birinin 8 bitlik bir görüntü olduğu bir *RGB* görüntüsü düşünüldüğünde her bir *RGB* renk pikseli [yani, bir üçlü değerler (R, G, B)], 24 bit derinliğe sahiptir. Görüntü, genellikle 24 bit *RGB* renkli bir görüntüyü belirtmek için kullanılır.

1.5.2. Gri Tonlama ve İkili Renk Modeli

Gri Tonlama, görünür renk olmadan gri tonlarının bir dizisidir. Yansıtılan ışığın yokluğu siyahı temsil ederken, tüm görünür dalga boyundaki ışığın toplam iletimi veya yansımaları beyazı temsil eder. Ara gri tonları, yansıyan ışık için üç ana rengin (kırmızı, yeşil ve mavi) eşit parlaklık seviyeleri veya yansıyan ışık için üç temel pigmentin (siyan, macenta ve sarı) eşit miktarları ile temsil edilir. Aktarılan ışık durumunda (örneğin, bir bilgisayar ekranında görüntü), kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) bileşenlerin parlaklık seviyeleri 0 ile 255 arasında bir sayı olarak temsil edilir. *RGB* gri tonlamalı görüntüdeki her piksel için, kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) değerleri birbirine eşittir. Gri tonun açıklığı, ana renklerin

parlaklık seviyelerini temsil eden sayı ile doğru orantılıdır. Siyah $R = G = B = 0$ ile temsil edilir ve beyaz $R = G = B = 255$ ile temsil edilir. Gri tonlu model Şekil 1’de gösterilen renk küpünün ana köşegeniyle tanımlanır. Bu çizgi, orijinal siyah rengi 0 ile 255 renk beyaz rengi arasındadır.

Renkli görüntüyü gri tonlamaya dönüştürmek için kullanılan katsayılar aşağıda verilmiştir; [15]

$$\text{Parlaklık} = 0.21 R + 0.72 G + 0.07 B \quad (1.1)$$

İkili bir görüntü ise piksellerin yalnızca iki değere sahip olduğu bir görüntüdür. En yaygın olarak kullanılan iki değer, beyaz ve siyahı temsil etmek için 0 ve 255'tir. İkili görüntüler, görüntüdeki bilgi miktarını azaltmak ve sadece ihtiyacımız olan görüntünün bölgelerine odaklanmak istenildiğinde önemlidir. Gri ölçekli eşdeğerde belirli bir parlaklık seviyesinin üstünde olan pikseller, ikili görüntü için beyaz olarak atanırken geri kalanı siyah olarak atanır. Bu işlem belli bir parlaklık seviyesinin değeri olan eşik değeriyle yapılır. Eşik değeri genellikle programlayıcı tarafından önceden tanımlanır ve en iyi eşik deneme/yanılma ile belirlenir.

1.6. Gri Seviye Dönüşümleri

Dönüşüm teknikleri, uzamsal domende ya da frekans domeninde gerçekleşir. Uzamsal domende yapılan dönüşüm teknikleri doğrudan piksel değerleri üzerinden yapılır. Frekans domendinde yapılan dönüşümler görüntünün Fourier dönüşümü üzerinde yapılır.

Uzamsal domende yapılan dönüşümler daha az işlemci gücü gerektirir. Bu özellik de bilgisayar ortamında yapılan uygulamalarda işlem hızı bakımından büyük önem arz eder. Bu domendeki işlemler aşağıdaki genel bağıntıyla ifade edilir;

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (1.2)$$

Burada $f(x, y)$ giriş görüntüsüdür. $g(x, y)$ ise çıkış görüntüsüdür. T ise f 'de belirli bir (x, y) komşuluk ilişkisi bölgesinde işlem yapan bir operatördür. Gerekli olan gri seviye dönüşümlerine genellikle görüntünün histogramı kullanılarak karar verilir.

1.6.1. Histogram ve Kontrast Geliştirme

Histogram bir görüntüdeki piksellerin o görüntüyü oluşturan bit derinliğine karşılık düşen her bir seviyeye ne oranda dağılmış olduğunu gösteren bir grafikdir. Histogram, görüntüdeki her gri ton seviyesinin frekansını gösterir. Histogram grafiği incelendiğinde gri değerlerin grafiğin alt ucunda toplanması karanlık bir görüntü olduğunu, grafiğin üst ucunda toplanması ise aydınlık bir görüntü olduğunu gösterir. Histogram grafiği incelenerek uygulanması gereken gri seviye dönüşüm işlemine karar verilebilir.

Eğer bir görüntünün kontrastı iyi ise genellikle gri seviye değerleri tüm bit derinliği skalasına eşit oranda dağılmış olur. Eğer histogram bir bölgeye yığılmış ise bu görüntü kötü kontrasta sahiptir.

Histogram denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$h(r_k) = n_k \quad (1.3)$$

$r_k = k$. gri seviye

$n_k = k$. gri seviyedeki toplam piksel sayısı ($k = 0, 1, \dots, L-1$)

8 bitlik bir görüntüde gri değerler 0 ile 255 arasındadır.

Histogram normalleştirilmesi, gri seviyedeki piksel sayısını toplam piksel sayısına bölerek ifade edilir. Histogram normalleştirildiğinde, görüntüde gri seviyelerinin bulunma olasılıkları elde edilmiş olur. Ayrık olasılık yoğunluk fonksiyonu (*PDF*) Denklem 1.4 ile hesaplanır.

$$p(r_k) = \frac{n_k}{M \times N} \quad (1.4)$$

$M \times N$: Toplam piksel sayısı

Olasılık dağılımı, piksellerin tüm olası değerler üzerinde nasıl dağıldığını açıklar.

$$\sum_{k=0}^{L-1} p(r_k) = 1 \quad (1.5)$$

Bir rastgele değişken olarak düşünölen $f(x,y)$ 'in, belirli bir a değerine eşit ya da daha küçük bir değer alması olasılığı kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) verir.

$$F(a) = p(f(x, y) \leq a) = \sum_{x \leq a} p(x) \quad (1.6)$$

Kontrast geliştirme tekniklerinden ilki kontrast germedir. Kontrast germe, görüntüdeki gri düzeylerin dinamik aralığını arttırmak için kullanılır. Yüksek kontrastlı bir görüntü, tüm gri düzey değerlerini kapsar; bu nedenle, düşük kontrastlı bir görüntü, histogramın tam aralığa yayıldığı şekilde gri seviye değerlerini yeniden düzenleyerek veya gererek yüksek kontrastlı bir görüntüye dönüştürülebilir. Örneğin, 8 bitlik bir sistemde, görüntü ekranı maksimum 255 gri seviyesini gösterebilir. Kaydedilen görüntüdeki gri düzeylerin sayısı daha az bir aralıkta yayılırsa, gri düzeylerin sayısını daha geniş bir aralığa genişleterek görüntüler geliştirilebilir. Bu sürece kontrast germe denir. En basit kontrast germe, en düşük gri tonu eşleyen doğrusal bir dönüşümdür. Görüntüdeki en düşük gri seviye değerini sıfıra ve görüntüdeki en yüksek gri seviye değerini 255'e (8 bitlik bir görüntü için), diğer tüm gri düzeyler 0 ile 255 arasında doğrusal olarak yeniden eşleştigiinden, tam aralıktaki bir yüksek kontrastlı görüntü elde edilir. Doğrusal kontrast germe tüm parlaklık değerleri dar bir alanda bulunan Gauss histogramlarına yakın görüntülere en iyi şekilde uygulanır,

Minimum maksimum doğrusal kontrast germede, görüntüdeki minimum ve maksimum gri değerler bulunarak lineer dönüşüm yapılır. Minimum parlaklık değeri 45, maksimum parlaklık değeri 205 olan bir görüntüyü ele aldığımızda böyle bir görüntü görüntülendiğinde, 0 ila 44 ve 206 ile 255 değerleri görüntülenmez. Minimum spektral farklar 45 ile 0 arasında minimum değer ve 120 değerindeki maksimum değer kullanılarak kaldırılabilir.

$$g(x, y) = \frac{(f(x, y) - \min)}{(\max - \min)} \quad (1.7)$$

$g(x, y)$ çıktı görüntüsünü temsil ederken $f(x, y)$ giriş görüntüsünü temsil eder. Bu denklemde "min" ve "maks" minimum yoğunluk değeri ve maksimum yoğunluk değeridir. Örneğin, normalde gri düzeyindeki görüntülerde mümkün olan en düşük yoğunluk 0'dır ve

en yüksek yoğunluk değeri 255'dir. Aradaki gri değerler 0-255 olacak şekilde tekrardan hesaplanır.[16]

Kontrast geliştirme tekniklerinden bir diğeri histogram eşitlemedir. Histogram eşitleme tekniğinde, verilen bir görüntünün *PDF* 'sini, en düşük piksel değerinden en yüksek piksel değerine yayılan düzgün bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna dönüştürür. Histogram eşitlemesinin amacı, belirli bir görüntünün kontrastını, mevcut tüm dinamik aralık boyunca eşit olarak yaymaktır. Histogram eşitleme tekniği, arka planlarında eşit olmayan aydınlatmadan kaynaklanan görüntüler için kullanılamaz.

Ayrık bir işlev olarak histogram eşitleme genel denklemi aşağıda verilmiştir;

$$s_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = (L - 1) \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{M \times N} = \frac{L - 1}{M \times N} \sum_{j=0}^k n_j \quad (1.8)$$

$$k = 0, 1, \dots, L-1$$

$$r_k = k. \text{ gri seviye}$$

$$r_j = j. \text{ gri seviye}$$

$$n_j = j. \text{ gri seviyede toplam piksel sayısı}$$

$$M \times N = \text{görüntünün boyutu.}$$

$$s_k = \text{görüntünün } CDF \text{ değeridir}$$

$$T(r_k) = \text{görüntünün transfer fonksiyonu}$$

Uyarlamalı histogram eşitlemesi ise belirli bir alanda histogram eşitleme işlevini kullanır. Yerel bir operasyon olarak hareket eder. Görüntü, yerel olarak hala kontrastsız olabilir. Bu nedenle, belirli bir piksele komşu olan piksellerin histogramı temelinde her bir piksele histogram modifikasyonunu uygulamak zorunluluktur. Bu yöntemle göre, verilen görüntüyü uygun büyüklükteki bloklara ayırır ve her bir alt bloğun histogramı eşitlenir.

Bir görüntü histogramının, farklı bir görüntü histogramına benzetme işlemine histogram benzetme denir. Genelde aynı görüntünün farklı zamanlarda elde edilen örneklerinde, çevre şartlarına bağlı olarak meydana gelen gri seviye farklılıklarını ortadan kaldırmak için kullanılır. Gri seviyeleri düzeltilmek istenilen görüntünün histogramı referans alınan görüntünün histogramına yaklaştırılır. Histogram benzetmeden iyi bir sonuç alınabilmesi için histogram eğrilerinin şekilleri birbirine benzer olmalıdır.

$$G(z_q) = (L - 1) \sum_{i=0}^q p_z(z_i) = s_k \quad (1.9)$$

z_i = histogramı benzetilmesi istenen görüntünün i. gri seviyedeki toplam piksel sayısı ($q = 0, 1, \dots, L-1$)

z_k = Histogramı benzetilmesi istenen görüntünün k. gri seviyedeki toplam piksel sayısı.

$G(z_q)$ = Histogramı benzetilmesi istenen görüntünün transfer fonksiyonu.

1.7. Bölütleme

Görüntü bölütleme, bir görüntüyü, bazı görüntü özelliklerine göre homojen olan farklı bölgelere ayırmak anlamına gelir. Bölge olarak birbirine bağlı piksel grubu özelliklerinden bahsedilirken özellik olarak da görüntünün gri seviyeleri, renkleri, dokuları, hareket özellikleri (hareket vektörleri), kenar sürekliliği akla gelir. Görüntü bölütlemesi, görüntü arka planından ilgilenilen nesnelere ilişkili pikselleri ayırmak için kullanılabilir.

Görüntü bölütleme, görüntü işleme için önemli bir teknolojidir. Nesnelere sentezinde veya bilgisayar grafik görüntülerinde hassas bölütleme gerektiren birçok uygulama vardır.

Bölütlemeye iki yaklaşım vardır;

- Kenar tabanlı bölütleme
- Bölge tabanlı bölütleme

1.7.1. Kenar Tabanlı Bölütleme

Kenarlar, görüntü yoğunluğunda yerel değişikliklerdir. Kenarlar genellikle iki bölge arasındaki sınırdır meydana gelir. Bir görüntünün kenarlarından önemli özellikler çıkarılabilir (örneğin; köşeler, çizgiler, eğriler). Kenar algılama, görüntü analizi için önemli bir özelliktir. Bu özellikler daha üst düzey bilgisayar görme algoritmaları tarafından kullanılır. Kenar algılama, tıbbi görüntü işleme, biyometri vb. gibi çeşitli uygulamalara hizmet eden nesne tespiti için kullanılır.

Nokta, çizgi ve kenarlar gibi gri seviyedeki üç farklı süreksizlik türü vardır. Uzamsal maskeler, bir görüntüdeki üç devamsızlık türünü tespit etmek için kullanılabilir.

Kenar algılama, görüntü analizinde temel öneme sahip problemdir. Kenar algılama teknikleri genellikle gri seviye görüntülerde süreksizlikler bulmak için kullanılır. Kenar tespiti, gri düzeydeki anlamlı süreksizlikleri tespit etmek için en yaygın yaklaşımdır. Ani gri seviye değişikliklerine bağlı olarak görüntü bölütlenir.

Kenar algılama, aşağıdaki yöntemlerden herhangi biri kullanılarak yapılabilir. Tüm kenar algılama operatörleri, iki grup altında gruplandırılmıştır;

1.dereceden türev operatörleri;

- Prewitt operatörü
- Sobel operatörü
- Canny operatörü
- Test operatörü

2. dereceden türev operatörleri;

- Laplasyen operatörü
- Sıfır geçişlerde kullanılır.

1.7.2. Bölge Tabanlı Bölütleme

Bölge tabanlı yöntemler süreklilik temellidir. Bu teknikler, bir bölgedeki tüm piksellerin aynı gri seviyeye sahip olması gibi bazı kurallara bağlı olarak tüm görüntüyü alt bölgelere ayırır.

Bölge tabanlı teknikler, komşu piksellerin bir kümesinin içindeki yoğunluk değerlerinde ortak kalıplara dayanır. Kenar algılama yöntemiyle karşılaştırıldığında, bölge tabanlı bölütleme algoritmaları nispeten basit ve gürültüye karşı daha bağımsıktır. Kenar tabanlı yöntemler, kenarlara yakın yoğunluktaki hızlı değişikliklere dayalı bir görüntüyü bölümlere ayırırken, bölgeye dayalı yöntemler, bir dizi önceden tanımlanmış ölçütlere göre benzer bölgelere bir görüntü ayırır.

Bu teknikte, bir nesneye ilişkin pikseller bölütleme için gruplandırılmıştır. Eşikleme tekniği bölge bazlı bölütleme işlemi yapmaktadır. Bölge tabanlı bölütleme “Benzerliğe dayalı bölütleme” olarak da adlandırılır. Bu yöntem, bir bölgenin içindeki

komşu piksellerin benzer özelliklere sahip olduğu ve diğer bölgelerdeki piksellere benzemediği gerçeğini dikkate alarak homojenlik ilkesi üzerinde çalışır.

Bölge tabanlı bölütlemenin amacı, büyüklüğü daha büyük olan ve görüntüde çok az bölge ile sonuçlanan homojen bir bölge üretmektir.

1.7.3. Eşikleme Yöntemleri

Eşikleme, bir gri tonlamalı giriş görüntüsünü, optimal bir eşik kullanarak iki seviyeli bir görüntüye dönüştürme işlemidir. Gri düzeyli bir görüntüyü ikili bir görüntüye dönüştürmenin en yaygın yolu, tek bir eşik değeri (T) seçmektir. Belirlenen eşik değerinin altındaki tüm pikselleri sıfıra ve o eşığe ilişkin tüm pikselleri bire dönüştürerek, gri düzeyindekilerden ikili görüntüler oluşturur. Eşiklemenin amacı, bu pikselleri bir nesneyi temsil eden bir görüntüden (grafikler, haritalar gibi metin veya diğer çizgi görüntü verileri) çıkarmaktır. Bilgi ikili olsa da, pikseller bir dizi yoğunlukları temsil eder. Bu nedenle, ikili düzlemin amacı, gerçek önalan bölgelere ait olan pikselleri, farklı yoğunluklarda tek bir yoğunluk ve arka plan bölgeleri ile işaretlemektir. Bir eşikleme algoritmasının gerçekten etkili olması için, mantıksal ve anlamsal içeriği korumalıdır. Sezgisel özellikleri, uygulama kolaylığı ve hesaplama hızı nedeniyle görüntü eşığı, görüntü bölütleme uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. İki tip eşikleme yöntemi vardır;

- Global eşikleme yöntemi
- Lokal eşikleme yöntemi

1.7.3.1. Global Eşikleme Yöntemi

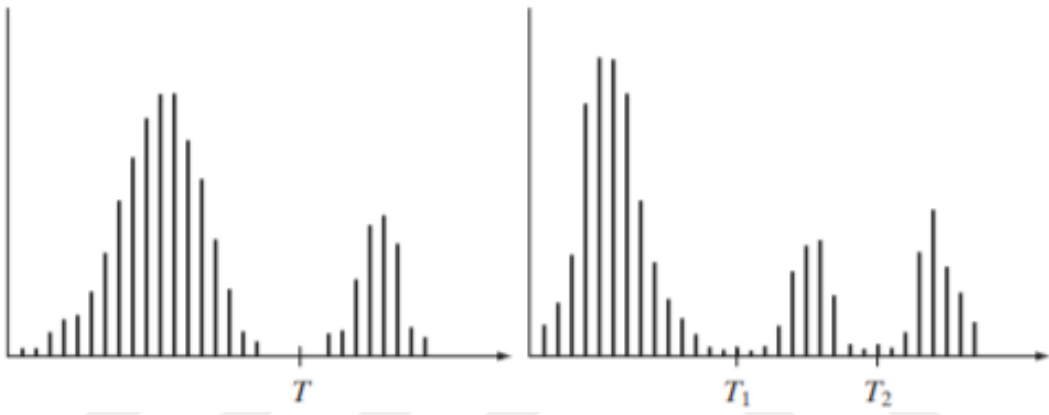
Nesnelerin yoğunluk dağılımı ve arka plan pikselleri yeterince farklı olduğunda global eşik tercih edilir. Global eşik değerinde, tüm görüntü pikselleri için tek bir eşik kullanılır. Bileşenlerin ve arka planın piksel değerleri, tüm görüntü üzerinde ilgili değerlerinde oldukça tutarlı olduğunda, global eşikleme kullanılabilir.

Denklem (1.10)'da genel eşikleme denklemi verilmiştir. Nesnelere arka plandan çıkarmanın en belirgin yolu, bu modları ayıran bir eşik değeri, T seçmektir. $f(x,y)$ görüntüyü temsil ederken $g(x,y)$ eşiklenmiş görüntüyü temsil eder. Şekildeki yoğunluk histogramında arka plan ile nesneyi ayırmak için seçilen T eşik değeri görülmektedir. Eşik noktaları birden

fazla olabilir. Denklem (1.11)' de belirtilen a,b,c değerleri üç ayrı yoğunluk değerini göstermektedir.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \text{ ise} \\ 0, & f(x, y) \leq T \text{ ise} \end{cases} \quad (1.10)$$

$$g(x, y) = \begin{cases} a, & f(x, y) > T_2 \text{ ise} \\ b, & T_1 < f(x, y) \leq T_2 \text{ ise} \\ c, & f(x, y) \leq T_1 \text{ ise} \end{cases} \quad (1.11)$$



Şekil 2. Birden fazla eşik belirlenmiş yoğunluk histogram grafikleri. [14]

Şekil 2’de birden fazla eşik belirlenmiş yoğunluk histogram grafiği görülmektedir. Görüntü histogramının tepe değerleri ve çukur kısımları eşik noktalarını belirlemede yardımcı olmaktadır. Histogram tepe noktalarının ayrımı, görüntüdeki gürültü, aydınlatmanın tekdüzeliği gibi parametreler eşik değerlerin belirlenmesinde önemli rol oynar.

Otsu, optimal eşikleme, histogram analizi, yinelemeli eşikleme, maksimum korelasyon eşiği, kümeleme, multispektral ve çoklu eşikleme gibi bir dizi global eşikleme tekniği vardır.

Otsu’nun yöntemine dayalı eşik seçimi her adımdan sonra ortalama hesaplanarak yinelemeli eşiklemenin dezavantajının üstesinden gelmek için kullanılır [12]. Bu yöntem de arka plan ve ön plan olmak üzere iki sınıf oluşturulur. Otsu eşikleme yönteminde oluşturulan sınıfların piksellerin yoğunlukları bir dizide saklanır. Eşik değeri, toplam ortalama ve varyans kullanılarak hesaplanır. Bu eşik değere bağlı olarak, her piksel 0 veya 1'e, yani arka plana veya ön plana ayarlanır. Böylece burada görüntü değişimi sadece bir kez gerçekleşir.

Otsu'nun yöntemi, global eşikleme için en uygun değeri bulmayı amaçlamaktadır. Otsu'nun eşik seçiminin dezavantajı, histogramın bimodal olduğunu varsaymasıdır. İki'den fazla sınıflı görüntülerde bu yöntem başarısız olabilmektedir.

Otsu yöntemi iki sınıf arasındaki en düşük noktayı seçmeye dayalıdır. Diskriminant analizi olarak formüle edilmiştir; ölçüt işlevi istatistiksel ayrışmanın bir ölçüsü olarak kullanılır. İki sınıfın varyansı ayrı ayrı hesaplanır;

$$\sigma^2_T = \text{toplam varyans}$$

$$\sigma^2_W = \text{sınıf içi varyans}$$

Tüm piksellerin toplam yoğunluk ortalamasından her bir sınıf için ortalama değerlerin varyasyonu, sınıflar arası bir varyansı tanımlar. (σ^2_b)

$\eta(t)$ fonksiyonu için en küçük değeri veren t değeri, optimal eşiktir.

σ^2_T ve genel ortalama μ_T histogramdan elde edilir. Sınıflar arası varyans aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\sigma^2_b = w_0 w_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (1.12)$$

$\eta(t)$ fonksiyonu, sınıflar arası varyansın ve toplam varyansın oranını en aza indirmeyi içerir;

$$\eta(t) = \sigma^2_b / \sigma^2_T \quad (1.13)$$

$$w_0 = \sum_{i=0}^t p_i \quad (1.14)$$

$$w_1 = 1 - w_0 \quad (1.15)$$

P_i , i yoğunluk değerinin olasılığıdır.

$$\mu_0 = \frac{\mu_t}{w_0} \quad (1.16)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu_T - \mu_t}{1 - w_0} \quad (1.17)$$

$$\mu_t = \sum_{i=0}^t ip_i \quad (1.18)$$

$\eta(t)$, t nin mümkün olan tüm değerleri için hesaplanır. En küçük $\eta(t)$ değeri optimal eşikleme değerini verir.[16]

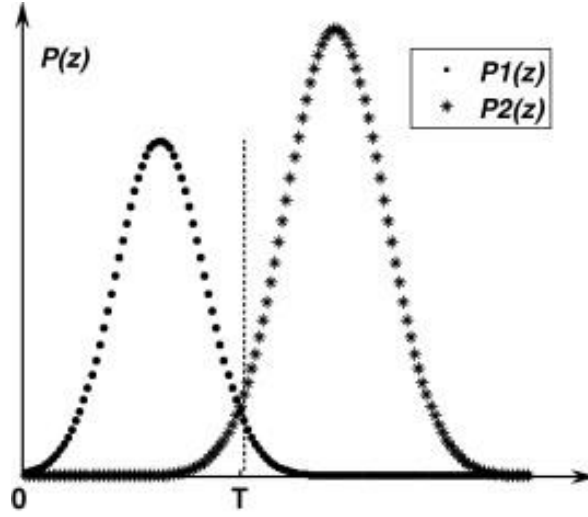
Bir resmin histogramında açık bir çukur yoksa, nesne pikselleri ile benzer gri seviye değerine sahip olan arka plan pikselleri olduğu düşünülür ve bunun tersi de geçerlidir.

Bu durumda histerezis eşiği (yani çukurun her bir tarafında iki eşik) kullanılabilir. Yüksek eşiğin üzerindeki pikseller, nesne olarak ve düşük eşiğin altında arka plan olarak sınıflandırılır. Düşük ve yüksek eşikler arasındaki pikseller, yalnızca diğer nesne piksellerine bitişik olduğunda nesne olarak sınıflandırılır.

Diğer bir global eşikleme yöntemi olan Gauss Karışım Modeli (*GMM*), Gauss bileşen yoğunluklarının ağırlıklı bir toplamı olarak temsil edilen parametrik bir olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Üretilen tüm veri noktalarının bilinen bir parametresi olmayan sonlu bir gauss dağılımının bir karışımından elde edildiğini belirtir. *GMM* için parametreler ya bir posteriori kestiriminden ya da iyi eğitilmiş olan önceki bir modelden yinelemeli bir beklenti maksimizasyon algoritmasından türetilmiştir. Veri modelleme söz konusu olduğunda, özellikle de birkaç gruptan gelen verilerde, gauss karışım modelleri oldukça kullanışlıdır. Bu algoritma bir görüntü histogramını bir gauss modeli kullanarak iki sınıfa ayırır. Daha sonra görüntü eşiğini bu iki Gauss 'un kesişimi olarak hesaplar.

Matematiksel olarak, *GMM*, Gauss bileşenlerinin tüm yoğunluklarının ağırlıklı bir toplamı olarak temsil edilebilen parametrik bir olasılık yoğunluk fonksiyonunun bir örneğidir. Bir Gauss karışım modeli, mevcut her bileşen yoğunluğundan kovaryans matrisleri, karışım ağırlıkları ve ortalama vektörlerden oluşur. Gauss eğrileri, diyagonal kovaryans bazının doğrusal kombinasyonu sayesinde, özellik vektör elemanlarının korelasyonlarını tam olarak modelleme kabiliyetine sahiptir. *GMM*'nin bir diğer özelliği, rastgele şekillendirilmiş yoğunluklara yumuşak yaklaşımların oluşturulmasıdır.

GMM yoğunluk tahmini için kullanılır ve kümelendirme için istatistiksel olarak en olgun teknikler olarak kabul edilir.



Şekil 3. GMM'de eşik değerinin belirlenmesi

$P(z)$ = Yoğunluk eğrisi

$P1(z)$ = Sınıf 1 yoğunluk eğrisi

$P2(z)$ = Sınıf 2 yoğunluk eğrisi

GMM'de en iyi uyumu bulmak için doğrusal olmayan en küçük kareler işlevi, Bayes yaklaşımı, beklenti maksimizasyon algoritması, Cauchy algoritması, Parçacık sürü optimizasyonu (*PSO*) gibi optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. [17]

PSO'da mevcut en uygun çözümü bulmak adına çözümler üretilir. Bu çözümlere parçacık adı verilir. Parçacıklar en iyi çözümü izler. Rastgele üretilmiş belirli sayıda çözümlerle (parçacıkla) başlatılan *PSO*'da parçacıklar güncellenerek en uygun çözüm üretilmeye çalışılır. Parçacıkların her biri, parçacığın en iyi kendi çözümü (P_{BEST}) ve tüm parçacıkların en iyi çözümü (G_{BEST}) kullanılarak güncellenir. Daha sonra elde edilen değerler hafızada saklanır.

D adet parametreden oluşan n parçacık için i. parçacık,

$$X_i = [x_{i1}, x_{i2} \dots \dots x_{iD}] \quad (1.19)$$

$$P_{BEST(i)} = [p_{i1}, p_{i2} \dots \dots p_{iD}] \quad (1.20)$$

$$G_{BEST} = [p_1, p_2 \dots \dots p_D] \quad (1.21)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1D} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2D} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{nD} \end{bmatrix} \quad (1.22)$$

Parçacığın her konumdaki değişim miktarını belirten hız vektörü;

$$X_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}] \quad (1.23)$$

Parçacık hızı ve konumunun güncellenmesi;

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 \text{rand}_1^k (P_{BEST}^k - x_i^k) + c_2 \text{rand}_2^k (G_{BEST}^k - x_i^k) \quad (1.24)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (1.25)$$

Rand = (0,1) aralığında rastgele bir değer

k : iterasyon sayısı

c_1, c_2 : öğrenme faktörüdür. Parçacıkları P_{BEST} ve G_{BEST} konumlarına doğru yönlendirir ve genellikle 2 olarak seçilir. *GMM* modeli için aşağıdaki formül kullanılır;

$$N(x_s | \mu_i, \sigma_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_i^2} (x_s - \mu_i)^2\right] \quad (1.26)$$

$$f(x_s) = \sum_{i=1}^k p_i N(x_s | \mu_i, \sigma_i) \quad (1.27)$$

i, k = sınıflandırma sayısı

μ_i = ortalama değer

σ_i = standart sapma.

σ_i^2 = varyans

p_i = bir pikselin olasılığı

1.7.3.2. Lokal Eşikleme Yöntemi

Global eşikleme aydınlatmadaki değişikliklerin, bazı kısımların görüntüdeki nesnelere hiçbir ilgisi olmayan şekillerde daha parlak ve bazı kısımlarının daha karanlık olmasına neden olabilmektedir.

Lokal olarak eşikleri belirleyerek en azından kısmen böyle bir eşitsiz aydınlatma ile başa çıkılabilir. Yani, tek bir global eşik sahibi olmak yerine, eşik kendisinin görüntü boyunca sorunsuz bir şekilde değişmesi sağlanmaktadır. Lokal eşiklemede görüntü alt görüntülere bölünüp daha sonra bir eşik seçilir. Seçilen alt görüntü boyutuna göre gradyan etkisi küçük olduğunda, yerel eşikleme etkin bir şekilde kullanılabilir.

Yerel eşikleme tekniğinde, yerel bir blok içindeki piksellerinin aralığı, varyansı veya yüzey uydurma parametreleri gibi bazı yerel istatistiklere dayanarak her piksel için bir eşik $T(x, y)$ hesaplanır. (x, y) lokasyonuna sahip bir pikselin yoğunluğu $f(x, y)$ olduğu düşünüldüğünde amaç, her piksel için bir yerel eşik $T(x, y)$ hesaplamaktır. Şayet $f(x, y) > T(x, y)$ ise, $b(x, y) = 1$ değilse $b(x, y) = 0$ olur. $b(x, y)$, ikili görüntü ve $f(x, y) \in [0, 1]$ olduğunda, görüntünün $f(x, y)$ konumunda bir pikselin yoğunluğu olur.

Lokal adaptif teknikte, her piksel için piksellerin menzili, varyans veya yüzey uydurma parametreleri gibi bazı yerel istatistiklere dayanan bir eşik hesaplanır.

1.7.4. K – Ortalama Kümeleneşmesi

K-ortalama yöntemi verimli bir kümeleme tekniğidir. K-kümeleneşmesi verileri, her bir veriye en yakın ortalamaya sahip kümeye ait olan k adet kümeye ayırmayı amaçlamaktadır. Son olarak, bu algoritma tarafından verilen kare hata fonksiyonu olarak bilinen objektif bir işlevi en aza indirmeyi amaçlamaktadır; $\|x_i - v_j\|$, x_i ve v_j arasındaki öklid mesafesidir. c_i , i . kümedeki veri noktalarının sayısıdır. c , küme merkezlerinin sayısıdır.

$$J(V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{c_i} (\|x_i - v_j\|)^2 \quad (1.28)$$

K-ortalama yönteminin başlıca algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir; $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ veri noktaları kümesi ve $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_c\}$ merkezleri kümesi ise;

- Rastgele ‘c’ küme merkezleri seçilir
- Her veri noktası ve küme merkezleri arasındaki mesafe hesaplanır.
- Veri noktası en yakın küme merkezine atanır.
- Yeni küme merkezin atanan noktalar kullanarak yeniden hesaplanır;

$$v_i = \left(\frac{1}{c_i}\right) \sum_{j=1}^{c_i} x_j \quad 1.29$$

- Her veri noktası ile yeni elde edilen küme merkezleri arasındaki mesafe yeniden hesaplanır. [18]

1.7.5.Bulanık Kümeleme

Bulanık kümeleme, veri noktalarının birden fazla gruba ait olabileceği bir kümeleme yöntemidir. Kümeleme, veri noktalarını öğeler arasındaki benzerliğe göre gruplara ayırır ve bir kümedeki öğeler arasında kalıp veya benzerlik bulmaya çalışır; Kümelenmelerdeki öğeler, birbirine mümkün olduğunca benzer olmalı ve diğer gruplardaki maddelere mümkün olduğunca benzememelidir.

Sabit kümelenmelerde, her veri noktası yalnızca bir kümede olabilir. Yumuşak veya bulanık kümelenmelerde veri noktaları birden fazla gruba ait olabilir. Bulanık küme, herhangi bir veri noktasının en uygun yerini bulmak için en küçük kareler kullanır. Bu optimal konum, iki (veya daha fazla) kümenin arasında bir olasılık boşluğunda olabilir.

Bulanık kümeleme atomik orbitallere ve elektron davranışına çok benzer; bir elektron tek bir yerde değildir, ancak sadece belirli bir yörüngesel kabuğun içinde olma olasılığı vardır. Orbital kabukları “kümeler” ve elektronlar “veri noktaları” olarak düşünülürse (her veri noktasının belirli bir kümede yer alma olasılığı varsa), bulanık kümelenmenin temelleri çok iyi kavranır.

Bulanık kümeleme algoritmaları klasik bulanık kümeleme ve şekil tabanlı bulanık kümeleme olmak üzere ikiye ayrılır. Klasik bulanık kümeleme algoritmaları olarak bilinen algoritmalar şunlardır;

Bulanık C ortalamalar algoritması (*FCM*) : Bu yaygın olarak kullanılan algoritma, pratik olarak K-Means algoritması ile aynıdır. Bir veri noktası kuramsal olarak 0 ile 1

arasında üyelik işlevi (üyelik derecesi de denir) ile tüm gruplara ait olabilir, burada 0 veri noktasının bir kümenin merkezinden mümkün olan en uzak noktada olduğunu gösterirken 1 en yakın yerde olduğunu gösterir.

Gustafson-Kessel algoritması: bir veri noktasını bir küme ve bir matrisle ilişkilendirir. C-ortalamalar kümelerinin küresel olduğunu varsayarsak, Gustafson-Kessel algoritması eliptik şekilli kümelere sahiptir.

Gath-Geva algoritması: *FCM*'ye benzer, ancak kümeler herhangi bir şekle sahip olabilir.

Şekil-tabanlı bulanık kümeleme algoritmaları olarak bilinen algoritmalar ise şunlardır;

Dairesel şekilli algoritmalar: Veri noktasını daireSEL bir şekle sınırlar.

Eliptik şekilli algoritmalar: Noktaları eliptik şekillere sınırlayan bir algoritmadır. Gustafson-Kessel algoritmasında kullanılır. [19]

1.8. Görüntü Filtreleme

Filtreleme işlemi uzamsal domende ve frekans domeninde olmak üzere iki farklı özellik uzayında gerçekleştirilebilir.

1.8.1. Uzamsal Filtreleme

Filtreleme resmin üzerinde bir filtre varmış gibi düşünüp her piksel değerinin yeniden hesaplanmasıdır. Filtreler sayesinde girdi resminden yeni resim değişik efektler verilerek elde edilir.

Uzamsal filtre işlemini gerçekleştirmek için üç adım gerekir;

- Maskeyi (filtreyi), çalışılacak piksel merkeze gelecek şekilde konumlamak.
- Maskenin tüm elemanları ile ilgili pikselle komşuluk ilişkisi olan piksellerin çarpılması.
- Çarpımların toplanması işlemi.

Aşağıdaki denklem iki boyutlu konvolüsyonu ifade ederler. Buna göre $f(x,y)$ görüntüyü, $h(i,j)$ ağırlık (filtre-maske-impulse yanıtı) matrisini göstermektedir. $f'(x,y)$ ise elde edilen yeni görüntüdür.

$$f'(x, y) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} h(i, j)xf(x - i, y - j) \quad (1.30)$$

Konvolüsyon; yumuşatma, keskinleştirme, kenar belirleme gibi görüntü işleme fonksiyonlarını gerçekleştirmede çok sık kullanılmaktadır. Konvolüsyonda bir pikselin yeni değeri kendisinin ve çevresindeki piksellerin ağırlıklı ortalaması ile bulunmaktadır. Konvolüsyon şablonu (filtre matrisi-kernel) uygulamaya göre farklı boyutlarda olabilmekle beraber genelde 3x3 lük bir matristir.

Uzamsal filtreler temel olarak ikiye ayrılır;

1. Yumuşatma (Smoothing) Filtreleri,
 - Ortalama(Averaging) Filtre
 - Medyan Filtre
 - Gauss Filtresi
2. Keskinleştirme Filtreleri,
 - Laplasyen Filtresi (2. dereceden türev)
 - Sobel Filtresi (1. dereceden türev)

1.8.1.1. Yumuşatma Filtreleri

Bu filtreler bulanıklaştırma ve gürültü giderme için kullanılır. Bulanıklaştırma, örneğin bir görüntüdeki nesneyi elde etme işleminden önce küçük detayları görüntüden kaldırmak için çizgiler veya şekiller arasındaki küçük boşlukları doldurmak için yapılır. Gürültü giderme lineer veya non-lineer filtreleme ile bulanıklaştırma işlemiyle gerçekleştirilebilir.

Ortalama filtrede görüntü normalize edilmiş bir kutu filtresi ile konvolüsyon yapılır. Sadece maske alanı altındaki tüm piksellerin ortalamasını alır ve merkezi pikselin değerini değiştirir.

Çekirdeğin genişliğinin ve yüksekliğinin belirtilmesi gerekmektedir. 3x3 normalize edilmiş bir kutu filtresi aşağıdaki gibi görünür.[20]

$$K = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.31)$$

Gauss filtreleme verilen bir resim üzerinde düzleştirme işlemi uygulamak için kullanılır. Diğer bir tabirle resim üzerindeki gürültüyü azaltır. Gauss filtresinin genel formülü aşağıda verilmiştir:

$$G(r) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} e^{-r^2/(2\sigma^2)} \quad (1.32)$$

Bu formülün iki boyutlu resimler için sadeleştirilmiş hali (N=2 için) aşağıda verilmiştir:

$$G(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(u^2+v^2)/(2\sigma^2)} \quad (1.33)$$

Ortanca filtreleme yönteminde, orjinal sıralanmış piksel komşularının arasındaki ortanca değer ile değiştirilir. Bunun ağırlıklı ortalama filtrelerinden farkı şudur; ağırlıklı ortalama filtrelerinde, komşuların ağırlıklı ortalaması alınır, hesaplanan bu değer orijinal piksel ile yeniden ortalanarak sonuç bulunur. Ortanca filtresinde ise, komşuluk değerleri önce sıraya konular, sonra ortadaki değer alınır. Bu değer doğrudan sonuç kabul edilir. Ortanca değeri net elde edebilmek için genellikle tek sayıda komşu seçilir. Eğer hesaplamada çift sayıda komşu kullanılırsa, bu durumda ortada kalan iki pikselin aritmetik ortalaması kullanılır.

Ortanca filtre; Uzaysal çözünürlüğü bozmadan, kopuk (bağımsız) nokta veya çizgi gürültülerini temizlemek için kullanışlıdır. Bu nedenle binary gürültülerde başarılı olmasına rağmen Gauss gürültüsünde kullanışlı değildir. Gürültü piksellerinin sayısı komşu piksellerin yarısına eşit veya daha fazla ise bu filtre pek başarılı çalışmaz.

Ağırlıklı ortanca filtre (WMF) medyan filtrenin genelleştirilmesidir. WMF, görüntü işleme için geleneksel medyan filtreden daha etkilidir. Yerel parlaklık farklılıklarını ya da gürültüleri elemek ve bölütlenecek nesnelerin kenarlarını bozmamak için ağırlıklandırılmış ortanca filtresi uygulanabilir. Ağırlıksız ortanca filtresinde sıralamaya tabi tutulan tüm piksellerin ağırlıkları eşit alınırken, ağırlıklandırılmış versiyonda belirli piksel değerlerine daha fazla ağırlık verilir. Bu işlem ağırlık oranınca ilgili piksel değerinin kopyasını oluşturup sıralamaya tabi tutmak olarak da düşünülebilir.

Bu filtre ile birlikte gri seviye farklılıklarını aynı küme içinde minimuma indirilir. Örneğin, homomorfik filtre sonucu oluşan görüntüdeki yerel bölgeler, kenar bölgeleri bozulmadan benzer gri seviye değerlerine çekilebilir.

1.8.1.2. Keskinleştirme Filtreleri

Keskinleştirme işlemlerinde türev fonksiyonu kullanılır. Türev görüntüdeki kenarlar ve aynı zamanda gürültüleri belirginleştirir.

- Bir görüntüdeki detayların keskinleştirilmesi işlemidir.
- Özellikle bulanık görüntülerdeki detayların keskinleştirilmesi için kullanılır.
- Keskinleştirme işlemlerinde türev fonksiyonu kullanılır.
- Bir türev operatörü cevabının kuvveti, uygulandığı noktada görüntünün süreksizliğinin derecesi ile orantılıdır.
- Türev görüntüdeki kenarlar ve aynı zamanda gürültüleri belirginleştirir.
- 1.dereceden ve 2.dereceden türev fonksiyonu keskinleştirme filtrelerinin temellerini oluşturur.
- Sabit renk değerine sahip (düz bölgeler) bölgelerde, süreksizliğin başladığı ve bittiği anlarda ve bir eğri boyunca türevin davranışı incelenir.

Laplasyen filtresi basitçe bir resimdeki kenar hatlarını belirlemek için kullanılır. Burada kenar ile kastedilen objeleri genelde arka plandan ayıran keskin renk ayrılıklarıdır. Laplasyen lineer bir operatördür ve 2.dereceden türevi temsil etmektedir.

Laplasyen metodunun doğrudan kullanımı yerine, daha genel olan Laplasyen-Gauss (*LoG*) yöntemi kullanılır. *LoG* yöntemi görüntü zenginleştirme, kenar yakalamak için kullanılır. Ani değişiklikleri tespit etmede çok yararlıdır.

LoG yönteminde, ilk aşama olarak Gauss alçak geçiren süzgeç kullanılmaktadır. Böylece görüntü geçişleri yumuşatılmış olur. Görüntünün doğrudan laplasyeninin alınması gürültüyü daha da artıracak ve istenmeyen birçok kenar noktasının oluşmasına neden olacaktır. *LoG* yöntemi ile doğrudan doğruya görüntünün laplasyenini almaktansa görüntünün bir Gauss fonksiyonu ile konvolüsyona tabi tutulması ve sonrasında laplasyeninin hesaplanması yapılmaktadır.

Sıfır merkezli ve Gauss standart sapmasına sahip 2-boyutlu Laplasyen-Gauss (*LoG*) işlevi şu şekildedir:

$$LoG(x, y) = \frac{-1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1.34)$$

σ : standart sapma.

Standart sapma değeri değiştirilerek düzeltme miktarı kontrol edilebilir. Piksel yoğunluğu değerleri $f(x, y)$ olan bir görüntünün Laplasyen'i Denklem (1.35) ile hesaplanır:

$$L(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1.35)$$

Türev matematikte bir fonksiyonun maksimum ve minimum noktalarını verir. Görüntü işlemede Gradyan operatörü sobel filtresini ifade eder ve görüntünün piksellerinin maksimum ve minimum noktalarını ön plana çıkarır. Sobel filtresi eğimin büyüklüğünü kullanarak filtreleme yapar. Sobel maskesi genellikle kenar bulma işlemlerinde kullanılır.

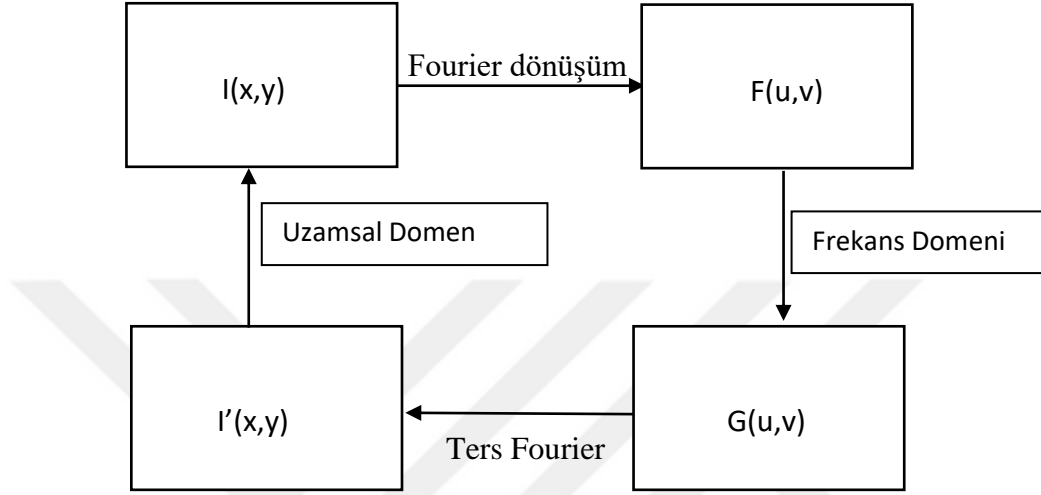
1.8.2. Frekans Domeninde Dönüşümler

Bir görüntüdeki filtrenin etkisini standart bir formda ifade edebilmek için en önemli kriterlerden birisi görüntünün frekans bileşenleridir. Kabaca bir görüntünün frekans bileşenleri; mesafeye göre gri seviye değişiminin miktarı olarak ifade edilir. Görüntünün yüksek frekanslı bileşenleri; küçük mesafelerde piksellerin gri değerlerin büyük miktarda değişikliklerini karakterize eder. Yüksek frekans bileşenlerine örnek olarak; resmin kenarları (en büyük gri seviye değişimleri kenarlarda olur) ve gürültüler verilebilir.

Görüntünün düşük frekanslı bileşenleri, resimdeki piksellerin gri değerlerinin mesafeye göre pek az değiştiği görüntü parçaları ile karakterize edilir. Bunlara örnek arka planlar (gri seviyeleri çok az değişen yüzeyler), cilt dokuları verilebilir.

Frekans uzayına geçildiğinde konvülasyon işlemi çarpma işlemine dönüşeceğinden, bu uzayda yapılacak süzgeçleme işlemlerinde frekans uzayına geçiş ve geri dönüş işlemleri için hesapsal yükten bahsedilebilir. Dönüşüm, bir sinyalin, başka parametrelerle ifade edilmesi şeklinde düşünülebilir. Ters dönüşüm ise, sinyalin ilk halindeki parametrelerle ifade edilebilir şekle geri döndürülme işlemidir. Fourier transformasyonları (dönüştürücüleri) bir sinyalin frekans domanine dönüşümünü sağlar. Bu dönüşüm, görüntü işleminin en önemli konularından biridir. Uzamsal domende başarılması zor işlemleri,

frekans domende başaracak yapıda olan bu dönüşüm, “Görüntüyü oluşturan frekans bileşenlerini birbirinden ayırt edebildiği için değişik derecelerden alçak ve yüksek geçiren filtreleme işlemleri” kolaylıkla başarılabilir.



Şekil 4. Frekans uzayında görüntü işleme aşamaları. [14]

1.8.3. Frekans Domeninde Filtreleme

Fourier dönüşümü bir domen dönüşüm işlemidir. Filtreleme de bir filtre matrisinin görüntü matrisi ile konvolüsyonu olduğundan frekans domeninde filtreleme için fourier dönüşümü çok uygundur.

Frekans boyutundaki filtre modeli;

$$G(u,v) = H(u,v) * F(u,v) \quad (1.36)$$

- $G(u,v)$ yüksek frekansları azaltılmış (bulanıklaştırılmış) görüntü
- $H(u,v)$ filtre fonksiyonu
- $F(u,v)$ fourier fonksiyonu

1.8.3.1. Alçak Geçiren Filtre

Alçak geçiren filtreleme (*AGF*), görüntüdeki yüksek frekans bileşenlerini ortadan kaldırmayı içermekte ve görüntüyü bulanıklaştırmaktadır. Dolayısıyla gürültüye bağlı keskin geçişlerde bir azalma meydana gelmektedir. İdeal bir alçak geçiren filtre tüm düşük frekans bileşenlerini korumakta ve tüm yüksek frekans bileşenlerini ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte, ideal filtreler de bulanıklaşma problemi meydana gelmektedir. Butterworth filtresi gibi frekans bölgesi filtresindeki daha yumuşak geçişler daha iyi sonuçlar vermektedir. 3 tip alçak geçiren filtre vardır;

- İdeal
- Butterworth
- Gaussian

İdeal *AGF*; çok küçük bulanıklaştırma yaparken, Gaussian *AGF* ise; çok büyük bulanıklaştırma yapmaktadır. Butterworth *AGF* ise seçilen parametreye göre her iki filtre gibi davranabilir.

1.8.3.2. Yüksek Geçiren Filtre

Bir görüntünün daha keskin görünmesi için bir yüksek geçiren filtre kullanılabilir. Bu filtreler, görüntüdeki ince ayrıntıları vurgular. Yüksek geçiren filtreleme, alçak geçiren filtreleme ile tamamen aynı şekilde çalışır; sadece farklı bir konvolüsyon çekirdeği kullanır.

Yüksek geçiren filtreleme, küçük, soluk detayların büyük ölçüde abartılmasına neden olabilir. Dolayısıyla, yüksek geçiren filtreleme, bir görüntüyü genellikle netleştirerek görüntüyü iyileştirebilir ancak fazla işlemek görüntü kalitesini önemli ölçüde düşürebilir. Alçak geçiren filtreleme gürültüyü yumuşatırken, yüksek geçiren filtreleme tam tersini yaparak gürültüyü artırmaktadır.[21]

Sayısal görüntü filtrelemesinde doğrusal olmayan bir biçimde birleştirilmiş sinyaller ile fazlasıyla karşılaşılmaktadır. Klasik doğrusal işleme teknikleri kullanışlı olmadığından dolayı doğrusal olmayan sinyalleri işlemek için özel bir filtre sınıfı geliştirilmiştir. Bu filtreler homomorfik filtreler olarak bilinir. Homomorfik filtreleme düzgün olmayan aydınlatmayı düzeltmek için yaygın bir şekilde kullanılır. Homomorfik filtre ayrıntılı bit şekilde yapılan çalışmalar kısmında anlatılacaktır.

1.9. Literatür Araştırması

1.9.1. Görüntülerin Alınması

Asfalt numunelerinin analizi için yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için literatürde farklı görüntüleme aygıtları kullanılmıştır.

Agrega analizi için yüksek çözünürlüklü Dijital Tek Objektifli Refleks kamera (*DSLR*) kullanılarak çoklu agrega örneklerinden renkli *2B* (iki boyutlu) görüntülerin elde edildiği çalışmalar bulunmaktadır [1].

Doğal ışık altında alınan görüntülerde bitüm, agrega ve arka plan arasındaki ayırımın belirlenmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Gün ışığı altında alınan görüntülerde özellikle agrega ve bitümün gri değerleri birbirine çok yakın çıkmaktadır. Dolayısıyla iyi bir bölütleme yapılması mümkün değildir. Uygun ışık kaynağını sağlayabilen, ortam ışığının olumsuz etkilemesini önleyecek ve agrega yüzeyi üzerindeki bitüm kalıntı miktarını doğru olarak ölçebilen bir ölçüm sistemi tasarlamak gereklidir. Bu amaç için *LED* ışığının kullanılması uygun olmaktadır. *LED*, ışığı çok yönlü ve verimli bir biçimde aydınlatan bir ışık yayıcıdır. Bu çalışmada doğal ışığın etkisini ortadan kaldırmak için bir kutu kullanılmaktadır. 660 nm dalga boylu dört kırmızı *LED* modülü, ışık kaynağı olan kutunun iç yüzeylerine simetrik olarak yerleştirilmiştir. İç yüzeye yerleştirmedeki amaç aydınlatmayı artırmak, ışık yoğunluğunu artırmak ve arka plan üzerinde oluşan gölgelemeyi azaltmaktır. Sistemin iç yüzeyinin rengi siyahtır; test platformunun arka plan rengi ise beyazdır. Görüntü için 4320x3240 piksel çözünürlüğe sahip bir dijital kamera (*Aigo T1428*) kullanılmıştır. Son olarak, bitüm ve agrega arasındaki bölütleme sayısal görüntü işleme yazılımı ile elde edilmiştir [10].

Asfalt numunelerinin ayrıştırılmasındaki bir başka çalışmada doğal ışığın olumsuz etkileri nedeniyle lazer ışık tercih edilmiştir. Görüntü elde etmek için 1280x960 piksel çözünürlüğe sahip renkli bir kamera kullanılmıştır. Ayrıca görüntünün aydınlatılması için 660 nm dalga boylu lazer ışık tercih edilmiştir. Bir lazer diyot yerine, bir lazer hat modülü sisteme entegre edilmiştir. Lazer ışık altında farklı pozisyonlarda görüntüler elde edilmiştir. Gün ışığında ve lazer altında farklı görüntüler elde edilerek bölütleme işlemine tabi tutulmuştur [9].

Literatürde asfalt karışımının mikro yapısını yakalayan farklı görüntü elde etme araçları da kullanılmaktadır.

Nejad, F. ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, asfalt numunelerindeki X-ışınli bilgisayarlı tomografi (CT) tarama görüntülerinin 3B (üç boyutlu) hesaplama modellemesine dayanan yeni bir dijital görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. X-ışınli CT kullanılarak asfalt karışımından görüntüler elde edilmiştir [3].

Agregaların sınıflandırılması için 3B görüntülerin elde edildiği bir başka çalışmada farklı özellikte araçlar kullanılmıştır. Agregaların görüntülerini çekmek için yeni bir 3B lazer tabanlı görüntüleme sistemi oluşturulmuştur. İlk görüntüleme sisteminde aynı özelliklere sahip iki kamera, lazer kaynağının zıt taraflarına simetrik olarak yerleştirilir. Bir adım motoru, bir agreganın tüm üst tarafı taranabilmesi için konveyör bandını taşımak için kullanılmıştır. 3B görüntüleme sistemi için ikinci tasarımda, kademeli bir motorla kontrol edilen bir konveyör bandı monte edilmiştir. Bunun için 1.3 Mp ve 6 Mp çözünürlüğe sahip 2 adet web kamerası ve sensörler kullanılmaktadır. Görüntüleme sistemi görüntü alımı sırasında yaşanan sorunları minimize etmek için optimize edilmiştir. 2B görüntüleme sistemi için 50 cm x 50 cm boyutlarında fiber optik kaplamalı pano kullanılarak beyaz kumaşla çevrelenmiştir. Homojen aydınlatma için 2 x 9 W halojen lamba ve 1 x 24 W floresan lamba difüzörü kullanılmıştır. Yansımayı önlemek için, tabla beyaz ve mat bir mukavva ile kaplanmıştır. Çekim sırasında meydana gelebilecek titreşimleri önlemek için üçayak üzerine yerleştirilen dijital fotoğraf makinesi görüntü yakalamak için kullanılmıştır. Görüntüler 3888 x 2592 görüntü boyutlarında üst ve yan görünüm olarak JPG dosya türü olarak saklanmıştır. Görüntü işleme yöntemleri için MATLAB yazılımının görüntü işleme araç kutusu kullanılmıştır [7].

Agrega boyut ve şekil analizi için flakiness indeksi ve uzama indeksi vb. parametrelerin belirlenmesi amacıyla görüntü analizinin kullanıldığı bir diğer çalışmada, agregaların fotoğrafları karanlık bir odada sabit bir yükseklikten dijital bir kamera ile alınmıştır. Kamera 70 cm yüksekliğe sabitlenmiş olup, indekslerin hesaplanabilmesi için 2B görüntü örnekleri analiz edilmiştir [4].

Asfalt betonu (AC); B_I , AG ve VO dan oluşan heterojen bir malzemedir. B_I 'de ki VO ların dağılımı, AG ile B_I arasındaki etkileşim ve AG 'nin özellikleri, asfalt betonun mekanik davranışının belirlenmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Esas olarak AG mukavemet özelliklerini belirler, B_I dayanıklılık özelliklerini belirler. Asfalt betonunun davranışı veya tepkisi sıcaklık ve yüklenme oranına büyük ölçüde bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda, elastik bir malzemenin özelliklerini sergiler. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak bu özelliklerin belirlenmesi ve doğru ayrıştırılması için bir başka çalışmada X-

Ray bilgisayarlı tomografi ve sayısal görüntü işleme teknikleri kullanılmış olup görüntü alımından mikro mekanik sayısal benzetime kadar olan iş akış süreci gösterilmiş ve tanımlanmıştır [23]. Daha fazla görselleştirme, karakterizasyon ve analiz için gözenekli asfalt betonu çekirdek örneğinin ayrıntılı mikroskobik yapısını elde etmek için KTH X5000 CT X-ışını tarayıcısı kullanılmıştır. X5000 CT tarayıcı, yedi eksenli bir universal röntgen filmidir. Yüksek çözünürlüklü CT görüntüler elde edilir ve görüntü kalitesi dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak geliştirilmiştir. Düzgün olmayan aydınlatma, görüntünün arka planını ve düz alanlarını düzeltmek için bir aydınlatma profili uygulayarak düzeltilir.

Lamperti, R. ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, *BI* kaplı *AG* görüntülerinin elde edilmesi için 10 Mp çözünürlüğe sahip kamera kullanılmıştır. Hazırlanan düzeneğe 45° açılarda iki lamba yerleştirilmiştir. *AG* örnekleri kameradan 30 cm uzaklığa yerleştirilecek şekilde ayarlanmıştır [11].

Asfalt karışımının mikro yapısını karakterize etmede başarılı diğer bir çalışmada asfalt karışımlarının görüntüleri X-ışını CT ve Elektron Mikroskobu Taraması (SEM) görüntüleme teknikleri kullanılarak incelenmiş ve mikro yapısal açıdan bazı önemli özellikler tanıtılmıştır. X-ray CT taraması, kolimatörlü bir X-ışını kaynağından ve arka filtreye sahip bir detektörden oluşur. SEM taramada elektron mikroskobu kullanılmıştır [24].

HMA (Sıcak asfalt karışımı) 'nın iç yapısını iki ve üç boyutlu yöntemlerle modellemek için çeşitli bilgisayar tabanlı yöntemler oluşturulmuştur. Vadood, M. ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, silindirik numunelerin kesit görüntülerinden *HMA* 'nın *AG* derecelendirmesini hızlı ve kolay bir şekilde belirlemek için basit bir yaklaşım getirilmiştir. İki farklı *HMA* örneğinden 14-15 mm kalınlığında ince dilimler halinde yatay olarak kesilerek her bir numuneden beş resim elde edilmiştir ve alınan örnekler Hp-Scanner ile 2420 ile 600 dpi çözünürlükte taranmıştır. Elde edilen görüntülerde agregayı bitümden ayırmak ve agrega derecelendirmesi için görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır [6].

Sayısal görüntü işleme ve spektral analiz kullanılarak Exposed Agregada Endeksinin (*EAI*) hesaplanması sağlanan çalışmalarda bulunmaktadır [5]. Mei, A. ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada 35 mm odak uzaklığı ve 10.7 Mp çözünürlüğü olan bir dijital kamera kullanılmaktadır.

Agrega morfolojik özelliklerin çıkarılması ile ilgili diğer bir çalışmada farklı şekil özelliklerine sahip (yassı, uzun, yuvarlak, köşeli, küre) 5 adet iri agrega türü kullanılmıştır [8]. Çalışmada özel bir düzenek hazırlanmış olup 45 derece ve 90 derece açılarda 7.1 Mp (Canon EOS 350D) ve 10 Mp (Sony DSC-R1) çözünürlüğe sahip 2 farklı dijital fotoğraf

makinesinden görüntüler elde edilmiştir. Agregalara ait öznelik vektörlerinin elde edilmesi amacıyla MATLAB programının görüntü işleme araç kutusu kullanılmıştır.

Sayısal görüntü işleme teknikleri ile mevcut fiziksel test yöntemleri arasındaki ilişkiyi test eden, agregaların morfolojik özelliklerinin araştırıldığı ve farklı özelliklerdeki görüntüleme aygıtlarının kullanıldığı farklı bir çalışmada agrega görüntülerini almak için arkadan aydınlatma yapan ve döner şekilde bir platform tasarlanmıştır. Bu platforma birbirlerine senkronize edilen iki adet Sentech STC- 1000 taramalı kamera monte edilmiştir. Görüntülerin her iki kameradan eşzamanlı olarak dijitalleştirilmesi amacıyla dijital gösterge panosu kullanılmıştır. Görüntü işleme algoritması için Visual c++® programından faydalanılmıştır [25].

1.9.2.Görüntü İşleme ve Teknikleri

Agrega şekli tanımında düz ve genişletilmiş oran (*FER*), Açıcılık indeksi (*AI*) ve yüzey dokusu indeksi (*STI*) teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bir agrega parçacığının *FER* değeri, maksimum parçacık boyutunun minimum boyuta oranı olarak tanımlanır. Üç görünüm kullanılır, en uzun boyut ve en kısa boyut testi bunu parçacık için belirler. Uygun parçacık sayısı test edildikten sonra, belirli bir agrega için *FER* sıcaklığı alınır. *AI*, *2B'*deki bir parçacığın profiline yaklaşmak için, önce profilin koordinatları çıkarılır. *STI*, görüntü analiz tekniğine dayanarak tanımlanmaktadır. Modelleme için Markov Rastgele Alanı (*MRF*) yaklaşımı kullanılmıştır. *MRF* tekniği bilgisayar görüntülerinde piksel etiketleme problemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada görüntüleme için temel teknik eşik yöntemidir [1].

LED tabanlı ölçüm sistemi sunulan diğer bir çalışmada *Bİ* içeren *AG*'ların morfolojik sınıflandırılmaları için uygun bir teknik geliştirilmiştir [10].

Asfalt karışımını sınıflandırmak amacıyla eşikleme yöntemi kullanan başka çalışmalarda bulunmaktadır. Bu çalışmada, gün ışığında çekilen görüntülerin iyi bir ayırmaya engel olması nedeniyle lazer ışınıyla çekilen görüntülerde eşik değerleri ile ayırma sağlamaktadır. Görüntü histogramları analiz edilerek, *Bİ*, *AG* ve arka plan arasındaki eşikler kolayca belirlenmiştir [9].

Bir diğer çalışmada asfalt numunelerinden elde edilen X-ışını görüntüsünün üç fazını ayırmak için yine dinamik eşikleme kullanılmıştır [3]. T_1 eşik değeri, $VO - Bİ$ sınırına karşılık gelirken T_2 eşik değeri ise bitüm - agrega sınırına karşılık gelmektedir. *AG*, hava

boşluğu ve bitüm dağılımını nicelikselleştirmek için T_1 ve T_2' ye dayalı gri ölçekli bir görüntü elde edilmiştir. T_1 ve T_2' ye dayalı AG ve VO değerleri çıkarılarak AG ve VO yüzdesi hesaplanmıştır. Görüntü işleme yöntemiyle elde edilen sonuçlar laboratuvarında elde edilen deney parametreleri ile karşılaştırılmıştır.

Sinecen, M. ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada elde edilen 960x720 piksel çözünürlüğüne sahip görüntü, eşikleme için belirli koordinat değerlerine kırılmıştır. Daha sonra görüntü, gri tonlamaya dönüştürülerek ikili bir görüntü elde etmek için eşik değeri belirlenmiştir. Doğru etiketleme için 50 pikselden daha az alan içeren alanlar elenmiştir. Ön işleme yapıldıktan sonra, görüntü parçaları birleşerek $3B$ görüntü oluşturulmuştur. Öznitelik vektörleri yeniden yapılandırılmış agrega görüntülerinden çıkarılmış ve sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Agregalar öznitelik vektörlerinden çıkarılan parametreler farklı sınıflandırıcılarda (YSS, FLAA ve KNN) sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırıcı türlerinden en iyi başarımı (yüzde 99.20) veren çok katmanlı algılayıcı sinir ağı modelidir. Sistemin performansı elle ölçüm ve $2B$ görüntü işleme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir [7].

AG boyut ve şekil analizini gerçekleştiren diğer bir çalışmada RGB olarak elde edilen $2B$ görüntü örnekleri analiz edilmiştir. Elde edilen AG görüntüleri gri seviyeye dönüştürülmüştür. Arka plan görüntüsü çıkarılarak görüntüyü keskinleştirme amacıyla keskinleştirme filtresi kullanılmıştır. Elde edilen AG 'lar düzensiz şekillerde olduğu için onları temsil etmek için dikdörtgen şekil kullanılmıştır [4].

Onifade I. ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada, faz bölümlü AC mikro yapısını analiz etmek için sayısal görüntü analiz teknikleri yer almaktadır. Sayısal görüntü analizi, faz hacimsel ilişkilerini ve AG hacmi, AG 'nin uzunluğu ve genişliği, agreganın yönlendirme ve agregaların mekansal konumu gibi bireysel agrega özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır. Edinilen görüntünün kalitesini arttırmada kullanılan farklı teknikler, kontrast artırma, aydınlatma düzeltme ve görüntüdeki gürültüyü azaltmak için filtrelemeyi içermektedir. Filtreler esas olarak gürültüyü azaltmak ve böylece görüntü kalitesini artırmak için kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen CT görüntülerinde eşik tabanlı bölütleme kullanılmıştır. AC mikro yapısının bölütlenmesi için Watershed bölütleme yöntemi kullanılmıştır [23].

Kısmen $B\hat{I}$ kaplanmış $A\hat{I}$ üzerindeki bitüm yüzdesinin belirlenmesini açıklayan çalışmalarda bulunmaktadır [11]. Bu çalışmada görüntü analizinde parlaklık ve renk bilgisini ayırıştırma kabiliyeti nedeniyle YUV renk modeli kullanılmıştır. Görüntü işleme için Java tabanlı bir yazılım kullanılmıştır. Yazılım, görüntüyü oluşturan Y, U ve V

bileşenlerinin her biri için belirli bir eşiği belirlemektedir. Y, U ve V bileşen aralıkları, yalnızca bitüm piksellerini elde etmek için daha da azaltılmıştır. Bitüm kaplı agregalarda bitüm alanları otomatik hesaplanarak agregalardaki bitüm yüzdesi hesaplanmıştır. Örnek görüntülerin piksel renkleri görüntüleme yazılımı tarafından arkaplan, BI ve AG olmak üzere sınıflandırılmıştır. Ve görüntülerin piksel renkleri doğru bir sınıflandırma yapıp yapılmadığını kontrol etmek amacıyla manuel olarak kontrol edilmiştir.

X-ray CT ve SEM görüntüleme tekniği kullanan başka bir çalışmada görüntüler sınırlı bir çözünürlükte tarandığı için her iki görüntüleme tekniğinin avantajlarından faydalanılmıştır [24]. X-ışını CT üç boyutlu görüntüler üretirken SEM , mikroyapı detaylarını daha yüksek çözünürlükte yakalama yeteneğine sahiptir ve ancak inceleme alanı sınırlı bir yüzey alanı içindedir. Sıkıştırılmış numunelerin AG , BI , VO fazlarının iç yapısını görselleştirmek için tarama çalışmaları yapılmıştır. Görüntü analiz tekniği ile birleştirilmiş X-ışını CT , agregayı, hava boşluklarını ve bitümü mikro boyuta kadar görüntüleme konusunda güvenilir kabul edilmiştir. X ışını CT taraması kolimatörlü bir X-ışını kaynağından ve arka filtreye sahip bir detektörden oluşmaktadır. Bu tarama tekniği, kısa dalga boyundaki elektromanyetik radyasyonun (X-ışınları olarak adlandırılır) asfalt numunelerinden geçmesini sağlamaktadır. 8 bitlik görüntüler için tamamen siyah, 0 (düşük yoğunluklu malzeme) ile tamamen beyaz, 255 (yüksek yoğunluklu malzeme) arasında değişen bir piksel aralığı ile gri görüntüler elde edilmiştir. Malzeme yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde daha parlak bir görüntü bölgesi meydana gelmektedir. Elde edilen görüntüler görüntü eşikleme tekniği kullanılarak analiz edilmiştir [24].

Eşikleme bölütlemesinin kullanıldığı başka bir çalışmada eşik değerini belirlemek için iki farklı yöntem incelenmiştir [6]: Bunlardan biri şekil yöntemi denilen yoğunluk histogramının şekline ve diğeri ise renk uzayı yöntemi denilen Lab renk uzayı sistemine dayanmaktadır. İlk yöntemde elde edilen RGB görüntüler üzerinden renk kanallarının histogramı araştırılmıştır. Histogram yoğunluğunun daha fazla olması ve yoğunluk frekansının daha az oluşu nedeniyle bölütleme için mavi kanal seçilmiştir. Mavi kanaldaki histogram grafiğinin tepe değerleri BI ve AG 'yi göstermektedir. BI ve AG yoğunluğunu bulmak için Gauss modeli kullanılmıştır. Bitüm ve agrega arasındaki kontrastı artırmak için elde edilen x_1 ve x_2 eşikleme değerlerine göre eşikleme işlemi uygulanmıştır. İkinci yöntem olarak Lab renk uzayında yapılan çalışmada eşikleme işleminin çok kolay elde edildiği görülmüştür. Eşikleme işleminden sonra elde edilen binary görüntülerde birbirine yakın piksellerin aynı nesne olarak algılanmasını engellemek amacıyla mesafe dönüşümü işlemi

uygulanmıştır. Elde edilen ikili görüntüleri Watershed bölütleme yöntemi uygulanmış ve agrega sınıflandırılması elde edilmiştir.

Fotoğrafların günün farklı zamanlarında ve dolayısıyla farklı güneş aydınlatmasıyla elde edildiği göz önünde bulundurulduğundan elde edilen görüntüler üzerinde normalleştirme işlemi gerçekleştirilen farklı bir çalışmada, bölütleme yöntemi istenilen agrega indeksinin hesaplamasını sağlamıştır [5]. Elde edilen *RGB* görüntülerin sınıflandırılması için parametrik olmayan bir sınıflandırma prosedürü (parallelepiped yöntemi) kullanılmıştır.

Literatürdeki diğer bir çalışmada agregalara ait öznitelik vektörleri MATLAB programı sayesinde ön işlemlerden geçirilerek hesaplanmıştır. İşlem hızını artırmak amacıyla görüntülerdeki fazla alanlar kesilmiş ve görüntü boyutları 800x600 çözünürlüğe getirilmiştir. Elde edilen görüntüler gri seviyeye dönüştürülmüş ve belirlenen bir eşik değeri uygulanarak görüntüler binary durumuna dönüştürülmüştür. Gürültüyü ortadan kaldırmak amacıyla piksel değeri 100'den az olan noktalar elenmiştir. Canny kenar bulma yöntemi uygulanarak binary görüntünün kenar hatları tespit edilmiştir. Agregalara ait öznitelik vektörleri çıkarılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırmadaki amaç öznitelik vektörlerini kullanarak agregaların ayırımını sağlamaktır. Bu amaç için yapay sinir ağı modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar görüntü işleme ve yapay sinir ağlarının agrega özelliklerinin tespiti ve ayırımı için etkili yöntemler olduğunu göstermiştir [8].

Görüntü işleme tekniklerinden yararlanılarak sonuçlar üreten bir başka çalışmada kameralardan elde edilen üç boyutlu tarayıcı verileri gri ölçekli dijital görüntülere dönüştürülmüştür [25]. Gri skala piksel değerleri, her veri noktasının yüksekliğini belirlemiş ve yükseklikler şekil, açısallık ve doku parametrelerini ortaya çıkarmıştır. Bu amaç için üç nokta belirlenmiş olup her nokta, çevre boyunca on pikselle ayrılmıştır. Bu şekilde profildeki her nokta için anlık bir eğri yarıçapı belirlenmiştir ve bir eğri yarıçapı dizisi oluşturulmuştur. Gauss alçak geçiren filtre kullanılarak eğri yarıçapı dizisi düzeltilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Görüntülerin Alınması

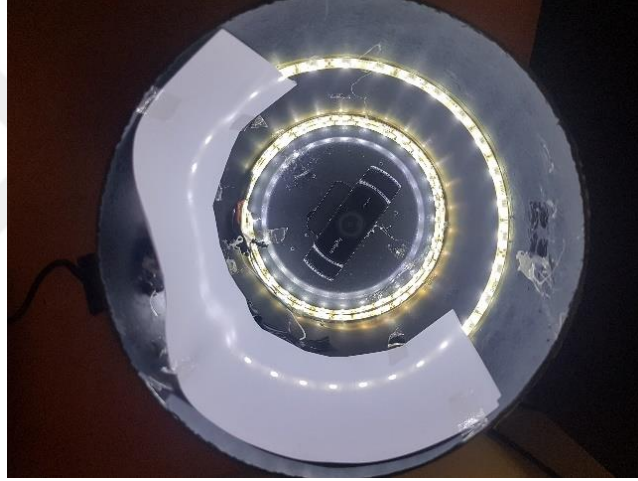
Asfalt numunelerinden alınan görüntüler arasında aydınlanma farklılıkları oluşmaması için dış ortamın ışığından bağımsız ve kendi aydınlatması olacak şekilde, Şekil 5’de gösterilen görüntü alma düzeneği oluşturulmuştur. Bu düzeneğin üst kısmına bir adet 1080P çözünürlükte bir webcam yerleştirilmiştir. Düzeneğin içinde ise, kutunun dışında yer alan anahtarlarla kontrol edilebilen ve 1 adedi kutunun tepe kısmında bir adedi de numunenin görüntüleneceği üst kısmı hizasında olmak üzere iki adet birer metrelik *LED* şerit aydınlatma yer almaktadır. *LED* şeritlerin yerleşimindeki amaç şöyledir: Tepede yer alan aydınlatma ile numunenin homojen bir şekilde ışık alması sağlanırken, yaklaşık olarak numunenin inceleneceği yüzey hizasında duran şeritle birlikte numune içindeki *VO* kontrastı artırılmaktadır. Aynı amaç için buradaki *LED* aydınlatma şeridinin yarısı kağıtla kapatılarak gölgelendirme oluşturulmuştur. Beyaz ışık kullanılan *LED* şeritler ile aydınlatılan numuneden alınan görüntüler, ortalama 900x900 çözünürlükte alınarak bir USB kablo aracılığıyla bilgisayarda oluşturulan görüntü işleme programına aktarılmaktadır.



Şekil 5. Asfalt numunelerinden görüntü almak için kullanılan düzenek



Şekil 6. Görüntü alma düzeneğinin iç yapısı

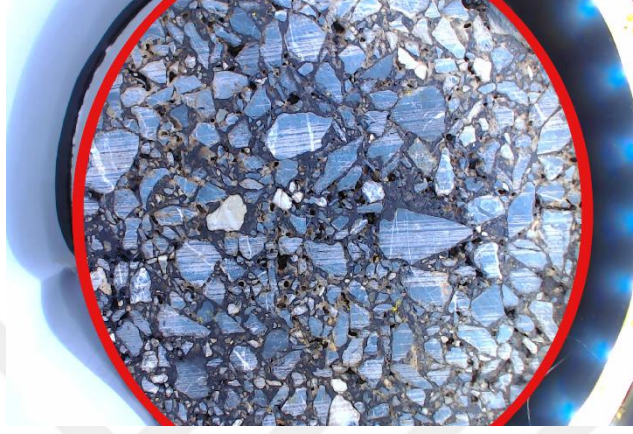


Şekil 7. Aydınlatılmış düzenek

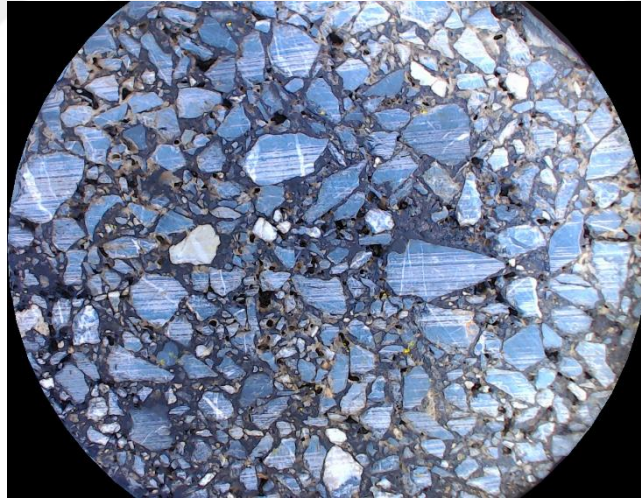


Şekil 8. RGB olarak elde edilen görüntü

Görüntü işleme programı kullanılarak numunelere ait görüntülerin asfalt kısmı seçilmiş diğer kısımlar çıkarılmıştır. Böylece bölütleme için kullanılacak olan numune görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 9. Görüntüdeki yuvarlak olan asfalt kısmının seçilmesi

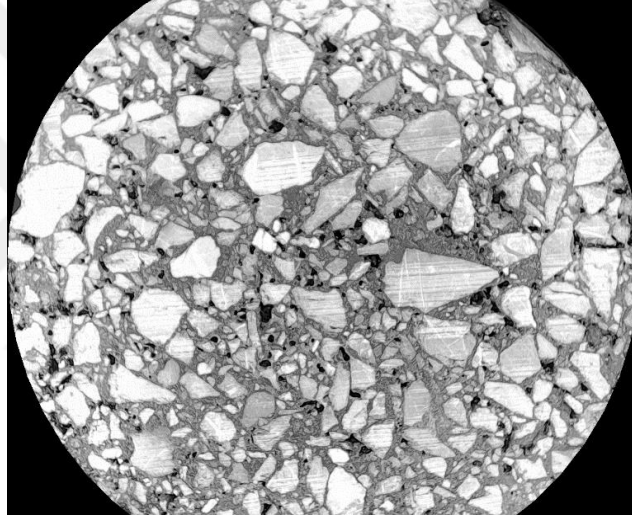


Şekil 10. Bölütlemeye hazır hale getirilmiş RGB görüntü

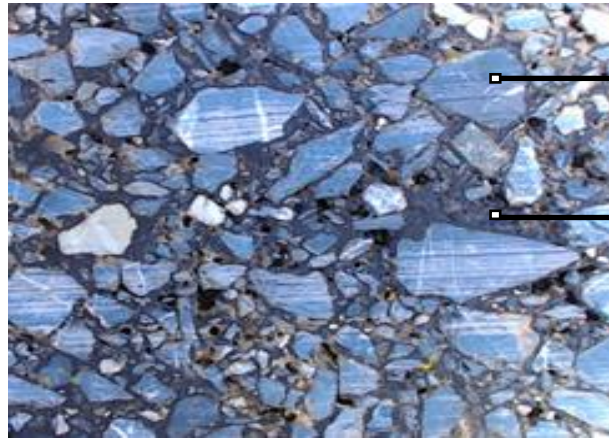
2.2 Veri Analizi

Bölütleme işleminden önce cihazdan elde edilen renkli görüntüler gri seviyeye dönüştürülmüştür. Bunun için, standart griye dönüşüm katsayılarını kullanmak yerine, bu

dönüşüm katsayılarını buradaki amaca uygun şekilde optimize etmek için bir optimizasyon prosedürü kullanılmıştır. Tüm görüntülerde aynı dönüşüm katsayılarının kullanılacağı bu işleminde amaç, $B\hat{I}$ ve AG bölgeleri arasındaki ortalama gri seviye farkını maksimum düzeye çıkarmaktır. Bu amaçla, web kamerasından elde edilen renkli görüntüler kullanılarak, 10 farklı numune üzerinde $B\hat{I}$ ve AG bölgelerine denk gelen noktalardan uzman kişi tarafından renk örnekleri alınmıştır. Bu örneklerin alındığı noktayı merkez alan ve etrafındaki 5x5 piksellik bir bölgenin ortalamasıyla her bir renk kanalına ait parlaklık değerleri kaydedilmiştir. 10 adet görüntüdeki 800 noktadan AG ve $B\hat{I}$ 'ye ait gri seviye örnekleri elde edilmiştir. Bu değerler $B\hat{I}$ ve AG olarak iki sınıfta saklanmıştır.



Şekil 11. Mavi kanal görüntüsünün gri seviyeye dönüştürülmesi

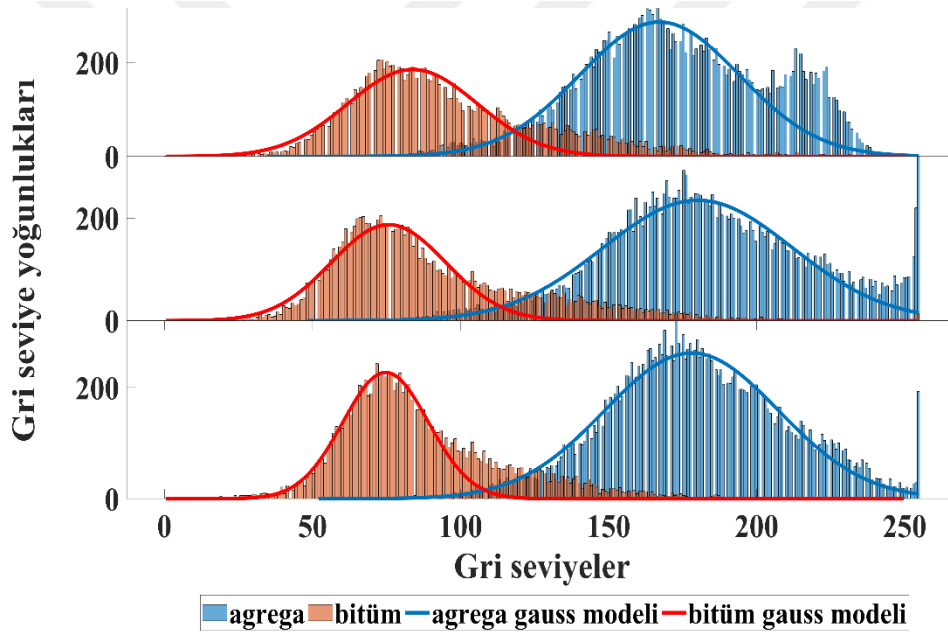


5x5 piksellik
bölgede AG
örneklerinin
alınması

5x5 piksellik
bölgede $B\hat{I}$
örneklerinin
alınması

Şekil 12. 5x5 piksellik bölgede AG ve $B\hat{I}$ örneklerinin alınması

Numuneler arasında en yüksek gri seviye farkını veren gri seviye dönüşüm katsayıları Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (*PSO*) algoritması yardımıyla aranmıştır. Optimizasyon algoritması içerisinde, Otsu algoritmasına benzer bir yöntemle sınıflar arası varyans olabilecek en yüksek değerine getirilmeye çalışılmıştır. Optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen katsayılardan mavi kanalın tek başına en iyi ayrışımı sağlayan kanal olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, Şekil 13'de *Bİ* ve *AG* sınıflarının histogram grafikleri üzerinden de görülebilir. Kırmızı, *Bİ* sınıfına ait histogram grafiğini gösterirken mavi, *AG* sınıfına ait histogram grafiğini göstermektedir. *AG* ve *Bİ* bölgelerine ait örneklerin R, G, B kanallarına ait histogramı, iki Gauss eğrisi ile modellenmiştir. Bu iki Gauss eğrisinin kesişme noktası *AG* ve *Bİ* 'nin ayrışma noktası olarak kullanılmıştır.



Şekil 13. Görüntünün RGB kanallarındaki histogram grafikleri ve Gauss modelleri

Tablo 1. *Bİ* ve *AG*'ye ait GMM parametrelerinin RGB kanallarındaki değerleri

	<i>AG</i>			<i>Bİ</i>		
	X	μ	σ	X	μ	σ
Kırmızı Kanal	285,9	168,8	33,93	185	94,61	27,56
Yeşil Kanal	234,6	182,9	43,61	187,1	82,08	26,4
Mavi Kanal	261,9	178,1	41,45	226,9	74,72	20,46

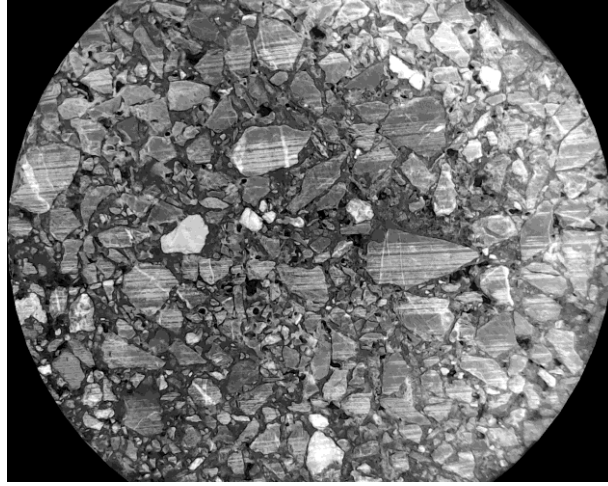
X = Genlik değeri

μ = Ortalama

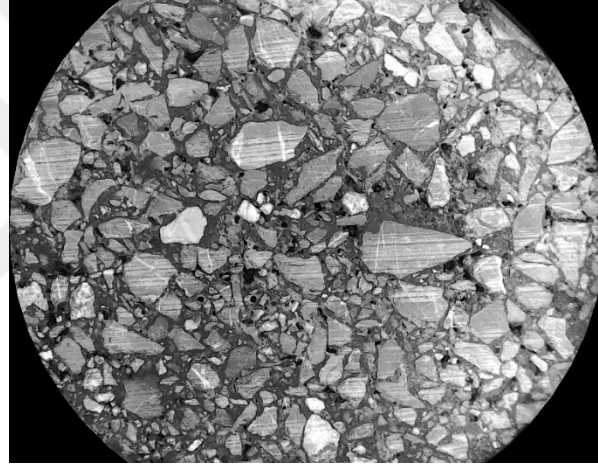
σ = Standart sapma

Tablo 1’de her renk kanalına ait AG ve $B\dot{I}$ histogram verilerinin gauss modellerine ait parametreler gösterilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde mavi kanaldaki $B\dot{I}$ ve AG ’ye ait GMM ’nin ortalama değeri farkının diğer kanallara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yeşil ve mavi kanallar neredeyse aynı ortalama değeri farkı sergilese de, mavi kanaldaki AG ve $B\dot{I}$ histogramlarının standart sapması daha küçüktür. Bu da AG ve $B\dot{I}$ bölgelerinin mavi kanalda daha belirgin bir şekilde ayrıştırılabileceğini göstermektedir. Diğer tüm örneklerden alınan görüntülerde mavi kanalın sahip olduğu maksimum ayırt edicilik özelliği gözlemlenmiştir. (Şekil 16)

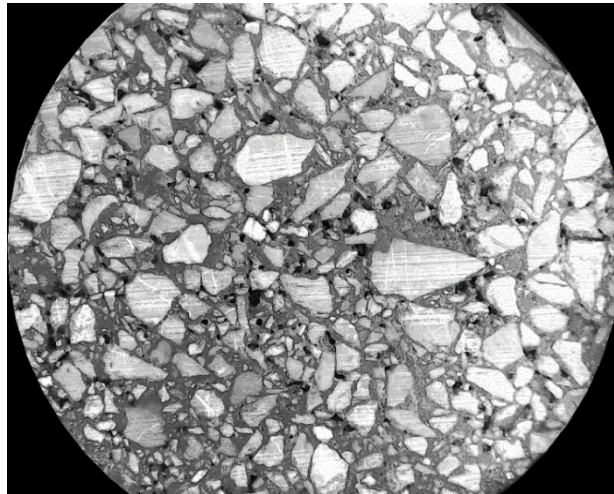
Şekil 16’ da verilen bölütleme hazırlanmış asfalt numunesi görüntüsünde yuvarlak kısmın çevresine kalan siyah bölgenin çıkarılması için o bölgeyi temsil eden bir maske gösterilmiştir. Görüntünün kesilip çıkarılan siyah kısımları 0 gri seviye değerine sahiptir. Görüntünün ilgilenilen kısmı içerisinde 0 gri seviye değerine sahip bölgeleri bu maskeye dahil etmemek için 3x3 boyutlarında bir ortalama filtresiyle görüntü filtrelenmiştir. Bu adımdan sonra 0 piksel değerinden büyük olan tüm pikseller ilgilenilen bölge maskesine dahil edilmiştir. Her ne kadar filtreleme işlemi yapılmış olsada görüntüdeki VO ’lara karşılık gelen ve 0 piksel değerine sahip olan yerler görüntüde maske içinde kalabilmektedir. Bu küçük boyutlu alanları maskeden çıkarabilmek için basit bir alan büyüklüğüne dayalı eleme işlemi yapılmıştır. Burada kullanılan alan kriteri toplam alanın %1 ne eşittir. Yani maske içerisinde alanı toplam alanın %1’inden küçük olan bölgeler maskeden çıkarılmıştır. Oluşan maske görüntüsü Şekil 17’de verilmektedir.



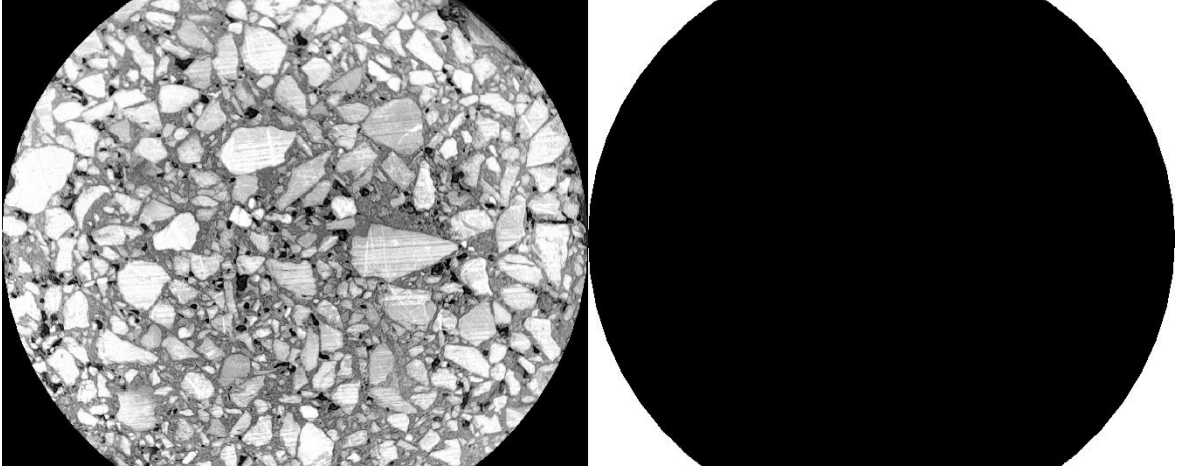
Şekil 14. Kırmızı kanaldaki görüntü



Şekil 15. Yeşil kanaldaki görüntü

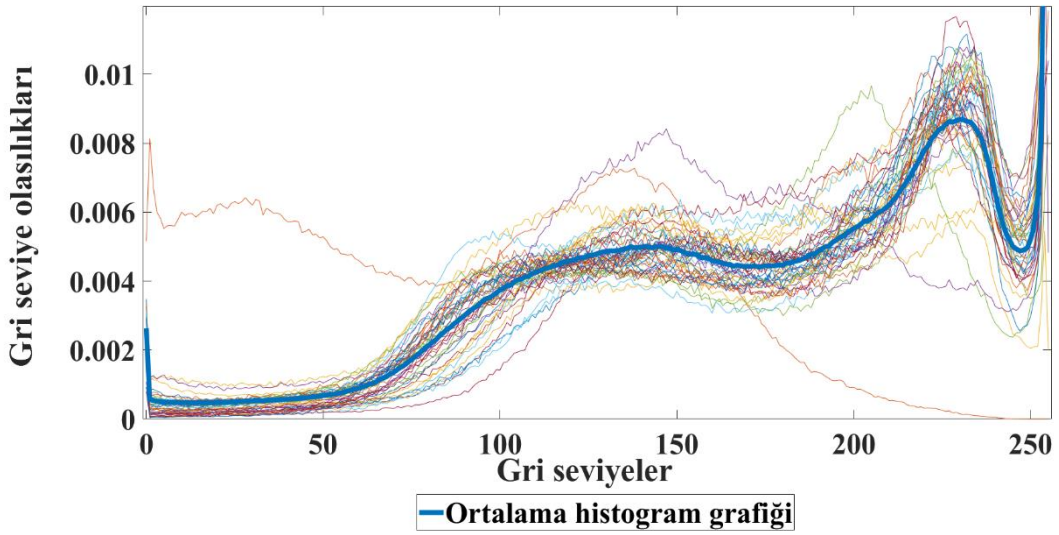


Şekil 16. Mavi kanaldaki görüntü



Şekil 17. Maskenin oluşturulması

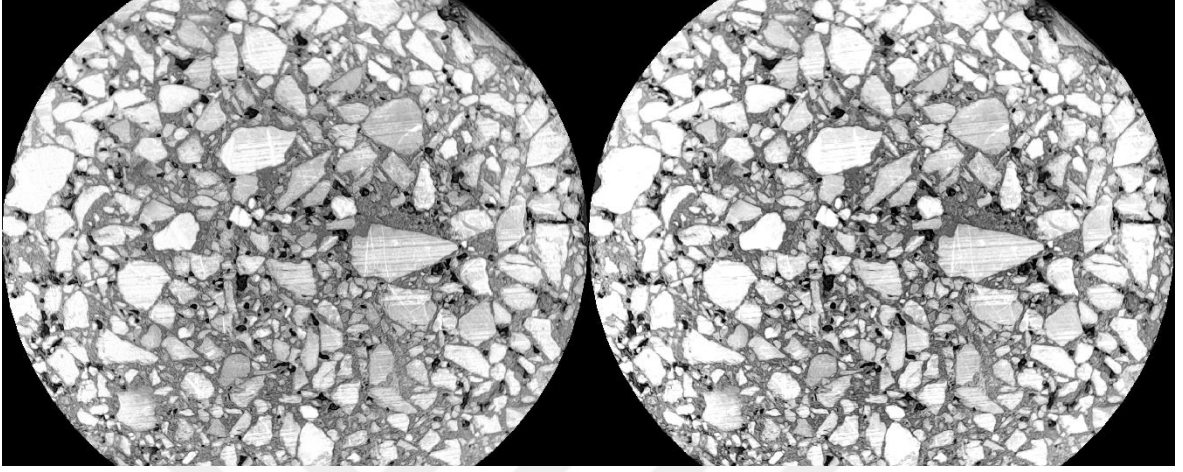
Sonraki aşamadan gri seviye farklılıklarını azaltmak için histogram benzetme kullanılmıştır. Her ne kadar görüntüler aynı aydınlatma koşulları altında alınmış olsa da oluşabilecek kontrast ya da aydınlanma farklılıklarını elimine etmek gerekmektedir. Histogram benzetme bu amaçla kullanılmıştır.



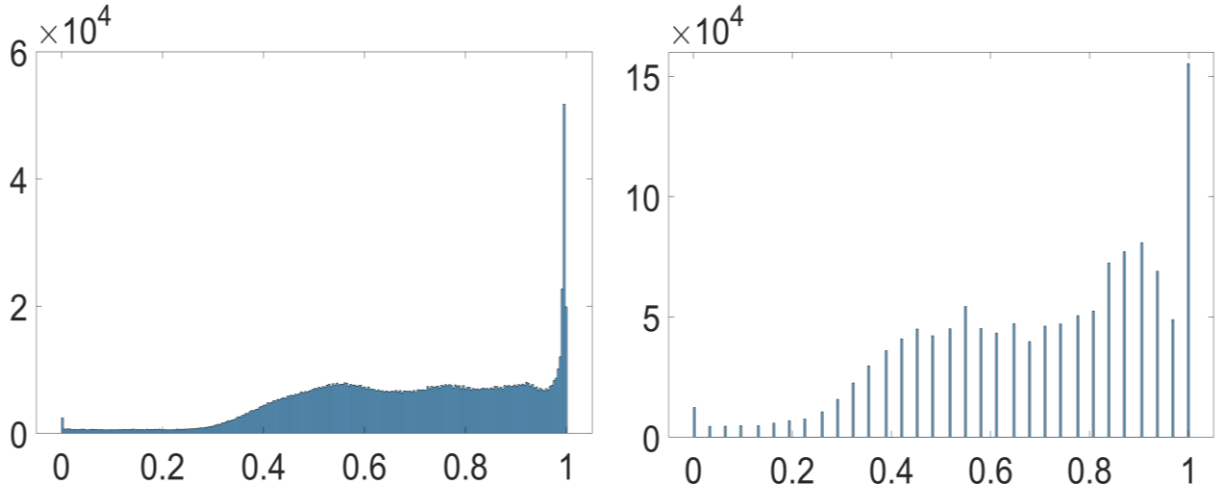
Şekil 18. 48 adet görüntünün histogram grafiği ve ortalama histogram grafiği

Histogram benzetmede referans alınan histogram, 46 adet görüntünün histogram ortalamasıdır. Şekil 18'de 46 adet görüntünün histogramları ve ortalama histogram grafiği

verilmişken Şekil 19’de ise histogram benzetme uygulanmış asfalt numunesine ait görüntü görülmektedir. Şekil 20’de benzetme uygulanmış görüntünün histogramı görülmektedir.



Şekil 19. Soldaki orijinal görüntüyü, sağdaki histogram benzetme uygulanmış görüntüyü göstermektedir.



Şekil 20. Soldaki grafik görüntünün histogramını, sağdaki grafik histogram benzetme uygulanmış görüntünün histogramını göstermektedir.

2.3. Homomorfik Filtre

Görüntülerin oluşmasında yaygın olarak kullanılan aydınlanma-yansıtma modeli, cisim üzerindeki bir noktadan yansıtılan ışık miktarının ilgili pikseldeki parlaklık değerinin,

sahnenin aydınlanma fonksiyonu ve nesnenin yansıtma fonksiyonunun bir çarpımı olduğunu söyler.

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (2.1)$$

Burada f görüntü, i sahne aydınlanma fonksiyonu ve r ise yansıtma fonksiyonudur. Aydınlanma fonksiyonu görüntü boyunca genellikle yavaşça değişir. Yani düşük frekanslı aydınlatma bileşenini içerir. Buna karşın nesne yansıtma fonksiyonu cisim kenarlarında ani değişimler gösterir. Bu da yüksek frekanslı aydınlatma bileşenini içerdiğini gösterir. Bu fark aydınlanma bileşenini yansıtma bileşeninden ayırmanın anahtarıdır. Bu nedenle yüksek frekans yansıtma bileşenini koruyup, düşük frekanslı aydınlanma bileşenini bastırmak için yüksek geçiren filtre kullanılır. Homomorfik filtreleme görüntünün aydınlatma bileşeni tarafından yapılan katkıyı hafifletir ve yansıtma ile yapılan katkının daha belirgin olmasını sağlar.

Asfalt numunelerinden elde edilen görüntüler gri seviye değerlerine göre sınıflandırılacaktır. Bu nedenle sınıflandırılacak her bir bölgenin belirli bir gri seviye değeri aralığında olması istenir. Ancak alınan görüntüler incelendiğinde, her ne kadar homojen bir aydınlatma kullanılmış olsa da, gerek AG gerekse BI bölgeleri üzerinde homojen bir gri seviye dağılımına sahip olmayan bölgelere rastlanmıştır. Yavaş bir değişim gösteren bu tip gri seviye farklılıklarının etkisini frekans uzayında homomorfik filtre ile elimine etmek mümkündür [14].

Homomorfik filtrelemenin işlem basamakları aşağıda verilmiştir;

➤ Denklem 2.1'in her iki tarafının logaritması alınır;

$$\ln(f(x, y)) = \ln(i(x, y)) + \ln(r(x, y)) \quad (2.2)$$

➤ Fourier dönüşümü hesaplanır;

$$F(\ln(f(x, y))) = F(\ln(i(x, y))) + F(\ln(r(x, y))) \quad \text{veya} \quad (2.3)$$

$$Z(u, v) = Illum(u, v) + Refl(u, v) \quad (2.4)$$

➤ $H(u,v)$ filtresi uygulanır;

$$Z(u, v)H(u, v) = Illum(u, v)H(u, v) + Refl(u, v)H(u, v) \quad (2.5)$$

➤ Ters Fourier dönüşümü alınır;

$$F^{-1}(Z(u, v)H(u, v)) = F^{-1}(Illum(u, v)H(u, v)) + F^{-1}(Refl(u, v)H(u, v)) \quad (1.42)$$

$$s(x, y) = i'(x, y) + r'(x, y) \quad (2.6)$$

➤ Exponansiyel dönüşüm gerçekleştirilir;

$$e^{s(x,y)} = e^{i'(x,y)} e^{r'(x,y)} \quad (2.7)$$

$$g(x, y) = i_0(x, y)r_0(x, y) \quad (2.8)$$

$H(u,v)$ filtresinin fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$H(u, v) = (\gamma_H - \gamma_L) \left[\frac{1}{1 + \left[\frac{D_0}{D(u,v)} \right]^{2n}} \right] + \gamma_L \quad (2.9)$$

$\gamma_H = H(u, v)$ 'nin en yüksek noktası

$\gamma_L = H(u, v)$ 'nin en düşük noktası

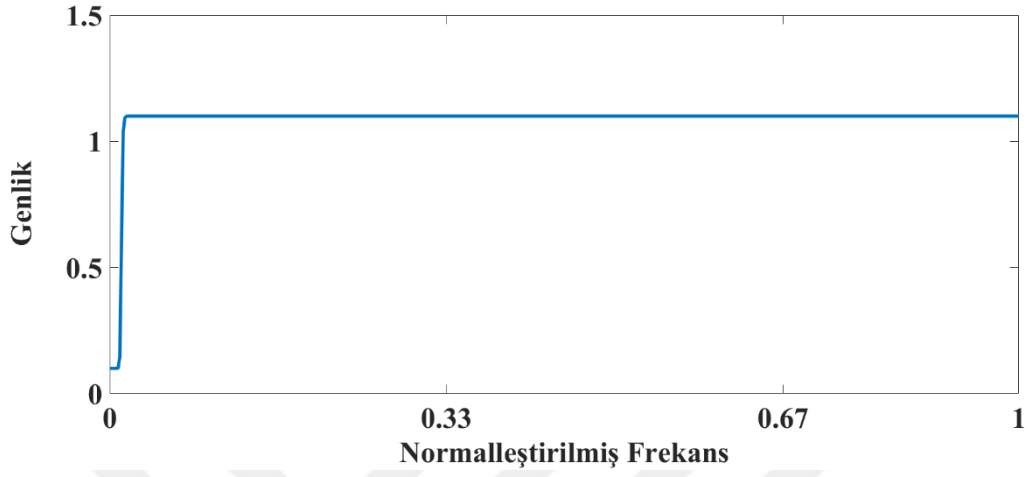
$D_0 =$ Kesim frekansı

$D(u, v) =$ (u,v) noktasından frekans orijine olan mesafe

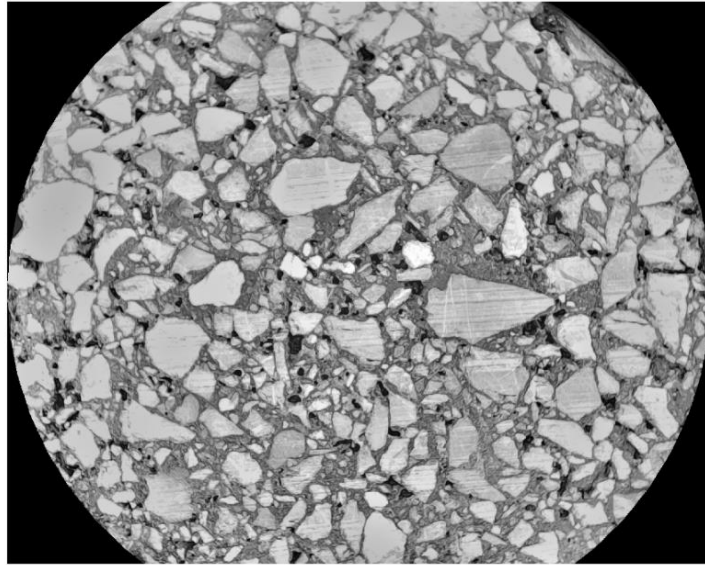
$n =$ Kesim keskinliği belirleyen parametre

Aydınlanma fonksiyonunun işlevinin azaltılması yansıma fonksiyonunun işlevinin artırılması için $\gamma_L < 1$ ve $\gamma_H > 1$ olarak seçilir. Bu çalışmada $\gamma_L = 0.1, \gamma_H = 1.1$ seçilmiştir. Filtre fonksiyonu olarak parametre değerleri $D_0 = 0, n = 2$ olan Butterworth yüksek geçiren filtre kullanılmıştır. Şekil 21'de görüntü üzerine uygulanmış $H(u,v)$ filtresinin yandan kesit görüntüsü, Şekil 22'de homomorfik filtre uygulanmış

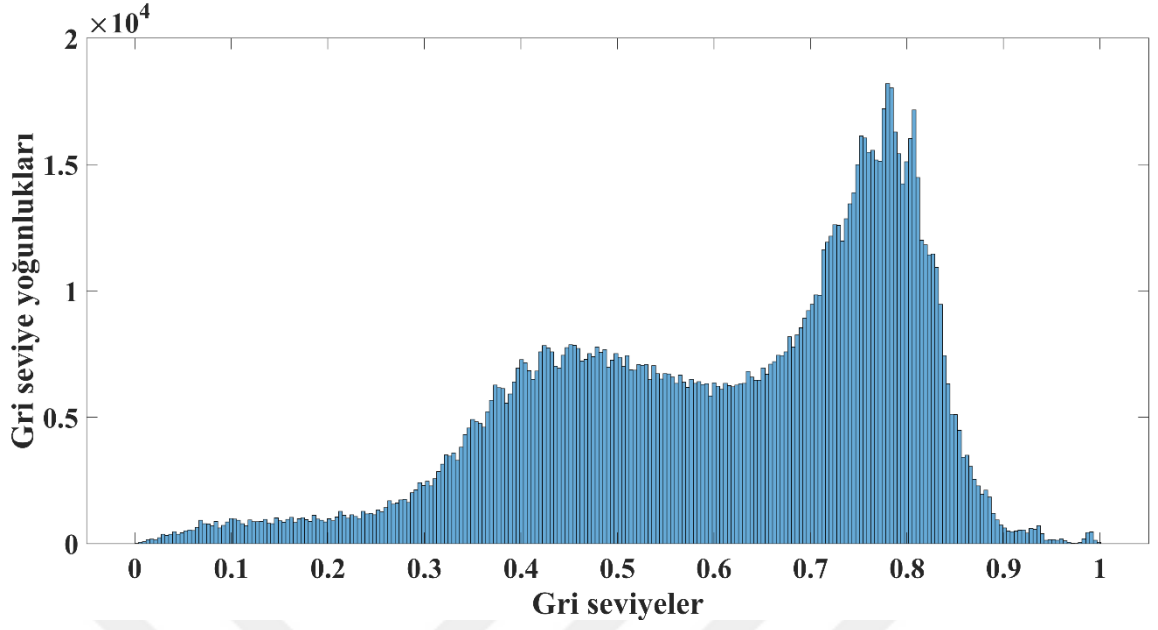
görüntü, Şekil 23’de ise homomorfik filtre uygulanmış görüntünün histogram grafiği verilmiştir.



Şekil 21. $H(u,v)$ filtresinin yandan kesit görüntüsü



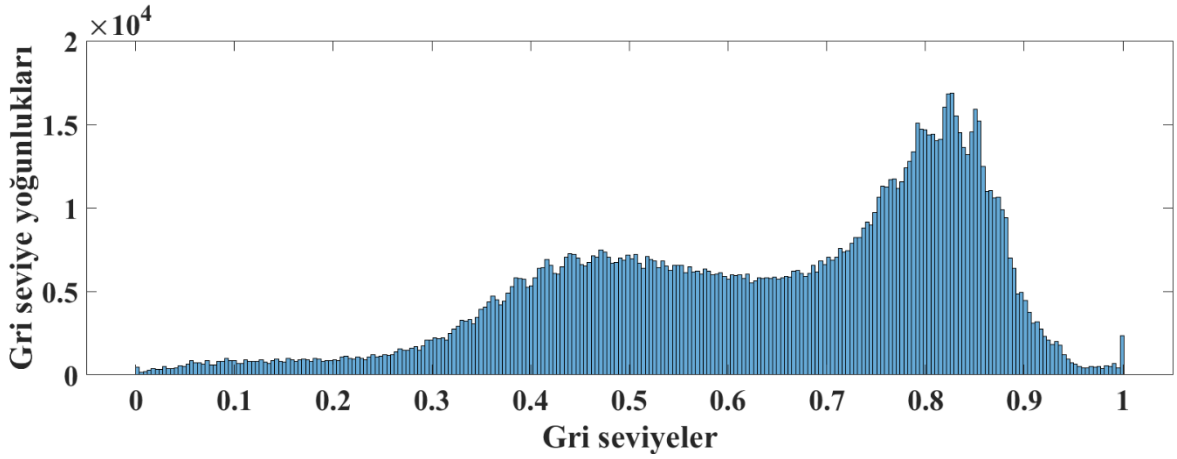
Şekil 22. Homomorfik filtre uygulanmış görüntü



Şekil 23. Homomorfik filtre uygulanmış görüntünün histogram grafiği

2.4. Kontrast Germe

Gri seviyelerin, kullanılan bit derinliğinin izin verdiği aralıkta maksimum dağılımını sağlamak amacıyla en sağda ve en solda yer alan gri seviyelerin atılması gerekmektedir. Toplamsal (kümülatif) histogram üzerinde %0.1 den küçük olan değerlere sahip piksellere 0 atanırken, %99,9 den büyük olan değerlere sahip piksellere 1 atanmıştır. Homomorfik filtre uygulanmış görüntüden elde edilen histograma kontrast germe işlemi uygulanarak Şekil 24 'deki histogram grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 24. Kontrast germe uygulanmış görüntü

2.5. Ağırlıklandırılmış Ortanca Filtre

Görüntü içerisinde yer alan genel parlaklık farklılıklarını homomorfik filtre oldukça başarılı bir biçimde elemiştir. Yerel parlaklık farklılıklarını ya da gürültüleri elemek, ancak bölütlenecek nesnelerin kenarlarını bozmamak için ise görüntüye daha sonra Ağırlıklandırılmış Ortanca Filtresi (*WMF*) [22] uygulanmıştır. Bu filtre, temelde, bilinen ortanca filtresinin geliştirilmiş bir halidir. Ağırlıksız ortanca filtresinde (yaygın olarak kullanılan normal ortanca filtresi) sıralamaya tabi tutulan tüm piksellerin ağırlıkları eşit alınırken, ağırlıklandırılmış versiyonda belirli gri seviye değerlerine daha fazla ağırlık verilir. Bu işlem ağırlık oranınca ilgili gri seviye değerinin kopyasını oluşturup sıralamaya tabi tutmak olarak da düşünülebilir.

Bu çalışmada görüntünün WMF uygulanan alt bölgesindeki tüm piksel değerlerine, merkez piksele olan öklid uzaklığı değerine göre gauss tipi bir ağırlık fonksiyonu kullanılarak ağırlık verilmiştir. f görüntüsü içinde filtre uygulanacak yerel bölge (maske) merkezindeki piksel p olsun. Bu maskenin içindeki herhangi bir piksel ise q ile gösterilirse ağırlık fonksiyonu;

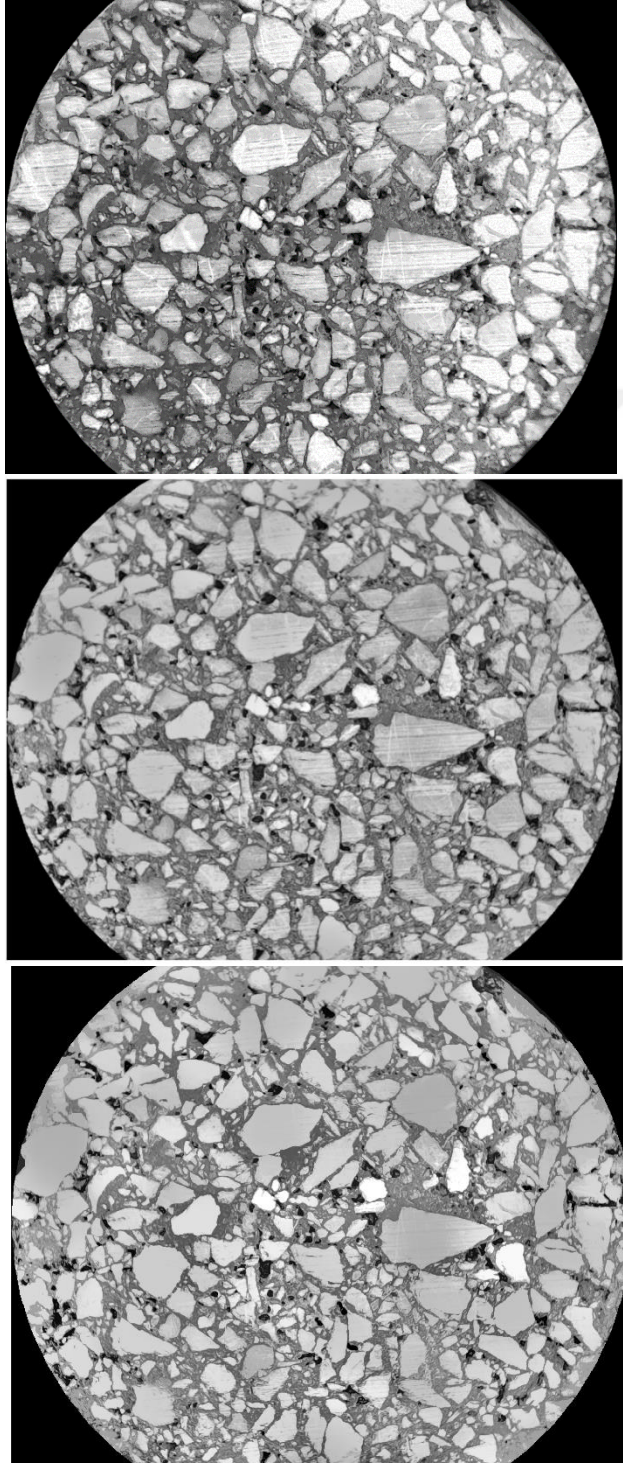
$$w_{pq} = e^{\{-\|f(p)-f(q)\|/\sigma^2\}} \quad (2.10)$$

ile hesaplanmaktadır. Bu ağırlık fonksiyonu ile birlikte ağırlıklı ortanca değer aşağıdaki gibi hesaplanır:

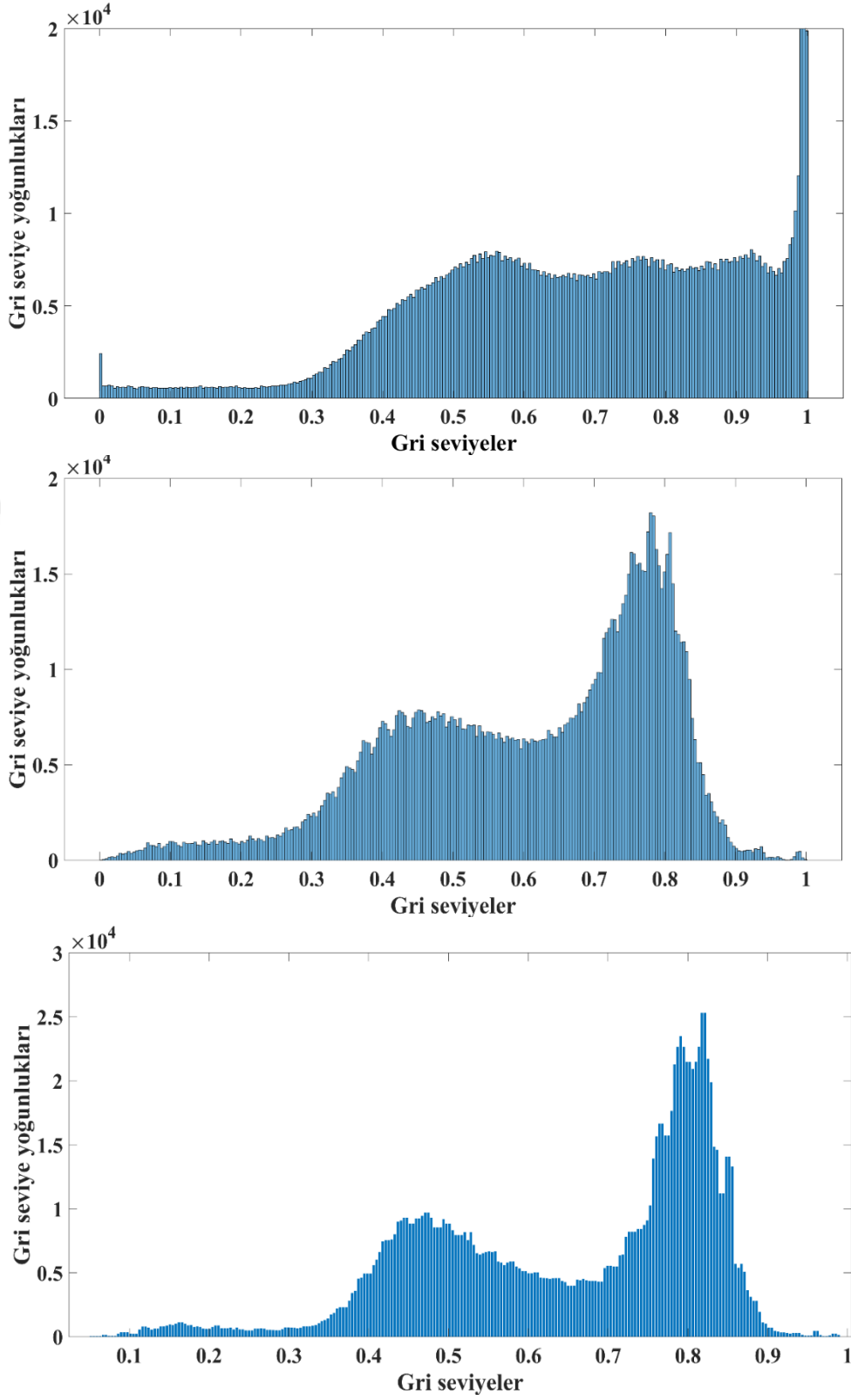
$$p^* = \min_k \sum_{q=1}^k w_{pq} \geq \frac{1}{2} \sum_{q=1}^n w_{pq} \quad (2.11)$$

Burada p^* ağırlıklı ortanca değeri, n ise maske içindeki toplam piksel değerini ifade eder. Bu çalışmada maske boyutu 50x50, σ ise 0.125 olarak alınmıştır. Bu filtre ile birlikte gri seviye farklılıkları aynı küme içinde minimuma indirilir. Şekil 25 'de de görüleceği gibi Homomorfik filtre sonucu oluşan görüntüdeki yerel bölgeler, kenar bölgeleri bozulmadan benzer gri seviye değerlerine çekilmiştir. Şekil 25, filtre sonuçlarının işlenmemiş mavi kanal görüntüsüyle kıyaslanmasını göstermektedir. Ayrıca Şekil 26'da histogram sonuçları kıyaslanmaktadır. En üsteki işlenmemiş mavi kanal görüntüsünün histogram grafiğini,

ortadaki Homomorfik filtre sonucunda elde edilen görüntünün histogram grafiğini, en alttaki ise WMF sonucunda elde edilen görüntünün histogram grafiğini göstermektedir.



Şekil 25. Filtre sonuçlarının işlenmemiş mavi kanal görüntüsüyle kıyaslanması. En üstteki mavi kanal görüntüsünü, ortadaki Homomorfik filtre sonucundaki görüntüyü, en alttaki ise WMF sonucunda elde edilen görüntüyü göstermektedir.



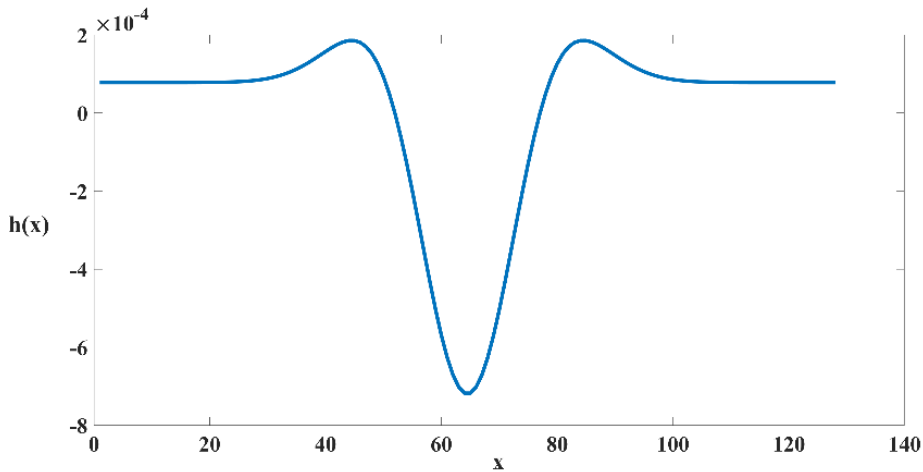
Şekil 26. Histogram sonuçlarının kıyaslanması.

2.6. Bölütleme

Bölütleme işlemi için histogram bilgisi kullanılmıştır. Histogram grafiklerinden de görülebileceği üzere (Şekil 26) görüntü içerisinde bölütlenecek olan gri seviye yığılmaları belirgin hale gelmiştir. Histogram grafiği görüntü içerisinde hangi piksel seviyelerinde yoğunluk olduğunu göstermektedir. Görüntüdeki piksellerin Gauss tipi rastgele değişken olarak modellenmesi, bölütleme için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [12]. Histogram verisinin görüntüdeki sınıf sayısı kadar Gauss eğrisinin toplamından oluştuğu varsayılır. Bu çalışmada 3 adet sınıf vardır. Yani histogram 3 adet farklı ortalama değerlerine sahip Gauss eğrisinin toplamı olarak modellenebilir. Böyle bir durumda bu sınıfları ayırmak için histogram eğrisinin minimumları tespit edilerek eşik değerleri belirlenebilir.

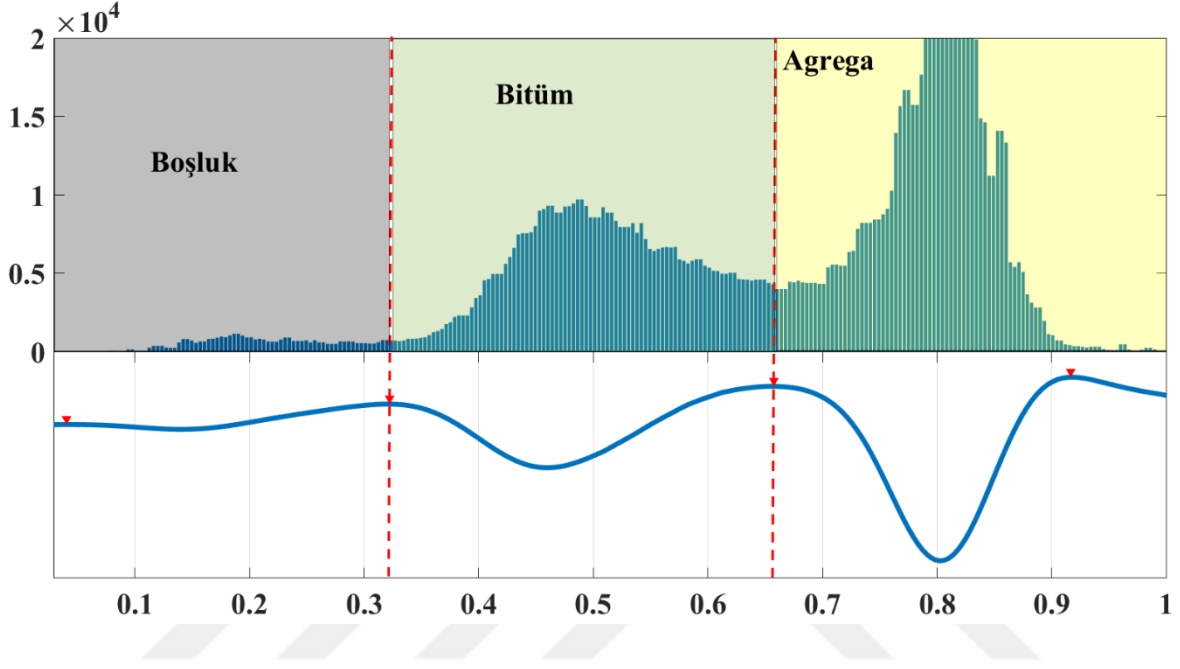
Bir eğrinin minimum olduğu noktayı hesaplamak için o eğrinin ikinci dereceden türevinin maksimum olduğu noktalar aranır. Ancak türev operatörü gürültüye karşı hassas bir operatör olduğu için genellikle bir yumuşatma işlemi ardından uygulanır. Bu tarz bir filtreye en iyi bilinen örnek olarak Laplacian of Gaussian (*LoG*) filtresi verilebilir. *LoG* filtresi, $h_g = e^{-\frac{x^2}{2\theta^2}}$ olmak üzere, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$h(x) = \frac{(x^2 - 2\theta^2)h_g(x)}{2\pi\theta^6 \sum_x h_g} \quad (2.12)$$



Şekil 27. LoG filtresi

Burada θ türevi alınan Gauss eğrisinin standart sapmasıdır. 256 adet farklı gri seviyeyi saymak üzere hesaplanmış bir histogram için 128 birim uzunlukta ve 10 birim standart sapmaya sahip bir *LoG* filtresi ile histogram eğrisinin ikinci derece türevi hesaplanmış ve tepe noktaları tespit edilmiştir (Şekil 28).



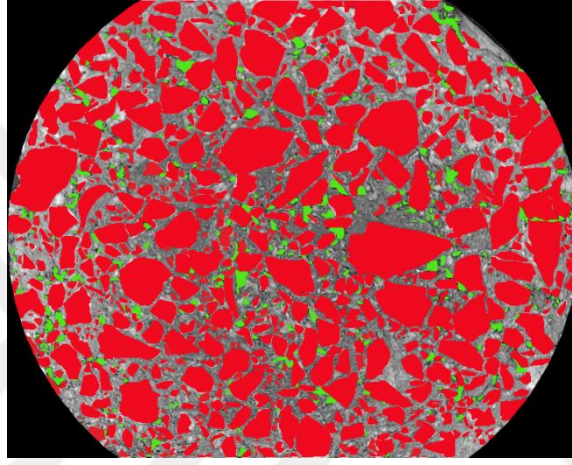
Şekil 28. Bölütlenmiş histogram

LoG filtresinin sonucundan elde edilen eğri incelendiğinde eğri üzerinde belli sayıda maksimumların ve minimumların yer aldığı görülmektedir. Minimumlar histogram grafiğindeki kümelenmelerin merkezlerine karşılık gelirken maksimumlar da histogramdaki kümelenmelerin ayrıştırılacağı noktalara yani histogram grafiğinin minimumlarına karşılık gelmektedir. Burada tespit edilmesi gereken noktaların *LoG* eğrisindeki maksimumlar olduğu daha önce belirtilmişti. Ancak hangi maksimum noktaların seçileceği konusunda aşağıdaki yöntem izlenmiştir;

- *LoG* eğrisindeki tüm minimumlar bulunur. Bu minimumların sayısının üçten fazla olması durumunda en derin üç tanesi seçilir. Eşik değerleri bu minimumlar arasında olmalıdır.
- İki minimum arasında kalan tepe noktaları bulunur. Bu noktalar eşik değeri olarak seçilir.

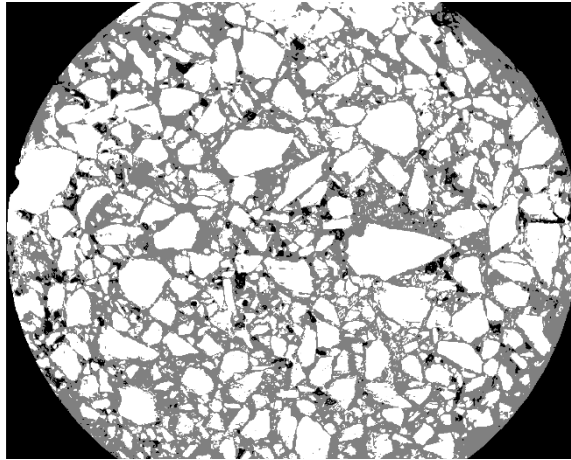
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bölütleme işleminin performansını test edebilmek için 46 adet örnek resimden oluşan veri tabanından farklı yapılara sahip 10 adeti, elle uzman kişi tarafından sınıflandırmıştır. Şekil 29'da ki örnek görüntüde kırmızı sınıflandırma *AG*, yeşil sınıflandırma ise *VO* örneklerini göstermektedir. Geri kalan gri bölgeler ise *Bİ* sınıfına aittir.



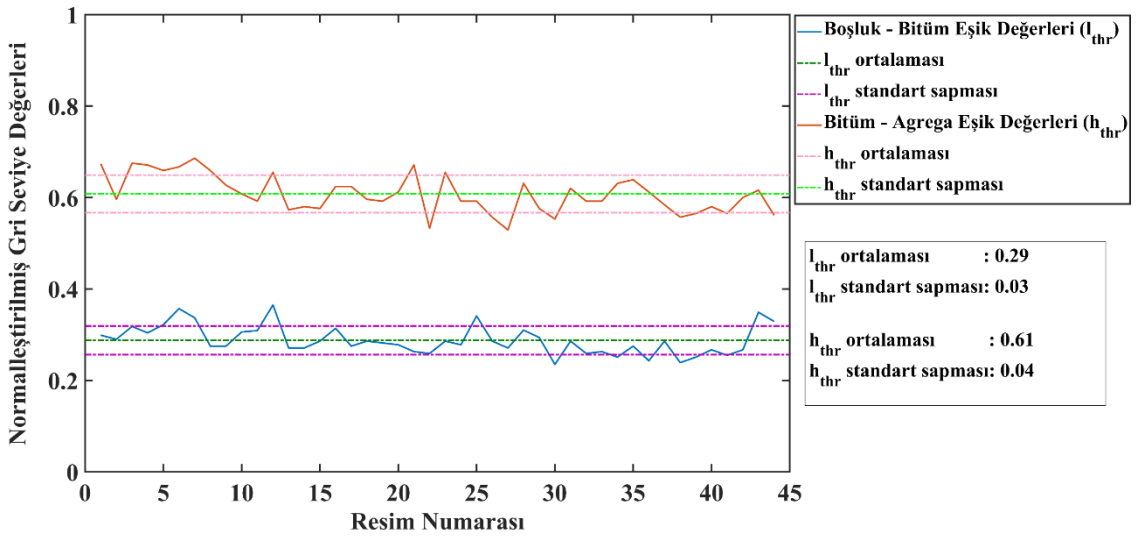
Şekil 29. Uzman kişi tarafından sınıflandırılmış görüntü

Şekil 30'da *LoG* filtresiyle eşik değerleri tespit edilerek otomatik olarak bölütlenmiş görüntü verilmiştir.



Şekil 30. Otomatik olarak bölütlenmiş görüntü

Veritabanındaki görüntülerin bölütlemesini sağlayacak eşik değerleri Şekil 31’de çizdirilmiştir. VO-Bİ eşik değeri (I_{thr}) ortalaması 0.29, standart sapması ise 0.03 iken Bİ-AG eşik değeri ortalaması (h_{thr}) 0.61, standart sapması ise 0.04 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar uygulanan çeşitli filtreleme işlemleriyle birlikte görüntülerin gri seviye değerlerinin standart bir düzeye çekilebildiğini göstermektedir. Ayrıca standart sapmaların küçük olması görüntülerin, gri seviye histogramına dayalı eşik değer belirlemeden, belirlenen ortalama eşik değerleriyle bölütlenebileceğini göstermektedir. Standart sapma değerlerinin küçük olması elde edilen bölütleme sonuçlarının tutarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 31. Bölütlenecek görüntülere ait ortalama eşik değerleri ve istatistik verileri

Sınıflandırma sonucu elde edilen 10 adet resmin her birinden elde edilen sonuçlar ile elle bölütlenmiş resimlerin sonuçları birleştirilerek genel bir başarımlı analiz yapılmıştır.

Uzman kişi tarafından sınıflandırılan görüntü ve bölütleme işlemi uygulanmış görüntü piksellerinin sınıflandırma sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Hedef sınıf, uzman kişi sınıflandırmasını, Tahmin edilen sınıf ise bölütleme işleminin sonuçlarını göstermektedir. Üç adet sınıf ise sırasıyla VO, Bİ, AG’yi temsil etmektedir. Diyagonal üzerindeki hücreler ne kadar pikselin bölütleme işlemi sonucunda doğru olarak sınıflandırdığını göstermektedir. Diyagonal dışındaki kırmızı hücreler ise hataların gösterildiği hücrelerdir. Örneğin, hedef sınıfa ait AG sınıflandırmasında 1.977.553 adet piksel kullanılmış olup bu piksellerden 1.749.310 adedi tahmin edilen sınıfa ait AG sınıflandırmasıyla eşleşmiştir. %88.5 doğru sınıflandırma (TP) sonucu elde edilmiştir.

226.383 adedi ise tahmin edilen sınıfa ait *BI* sınıflandırmasıyla, 1.860 adedi ise *VO* sınıflandırmasıyla eşleşmiştir. Hedef sınıfa ait *AG* sınıflandırmasında yanlış sınıflandırma (TN) sonucu % 11.5 olarak belirlenmiştir. Tahmin edilen sınıfa ait *AG* sınıflandırmasında ise 1.908.993 adet piksel kullanılmış olup bu piksellerden 1.749.310 adedi hedef sınıfa ait *AG* sınıflandırmasıyla %91.6 oranında eşleşmiştir (FN). 159.463 adedi ise hedef sınıfa ait *BI* sınıflandırmasıyla, 220 adedi ise *VO* sınıflandırmasıyla eşleşmiştir. Tahmin edilen sınıfa ait *AG* sınıflandırmasında yanlış sınıflandırma (FP) sonucu %8.4 olarak belirlenmiştir.

Sınıflandırma sonuçlarından %86.4 genel doğruluk oranı elde edilmiştir. Hedef sınıfa ait toplam piksel sayısının sınıflar bazında dağılımı Tablo 3’de verilmiştir. Diyagonal üzerindeki hücreler %86.4 genel doğruluk oranının dağılımını göstermektedir.

Tablo 2. Sınıflandırılan piksellerin başarımlarının yüzdesi

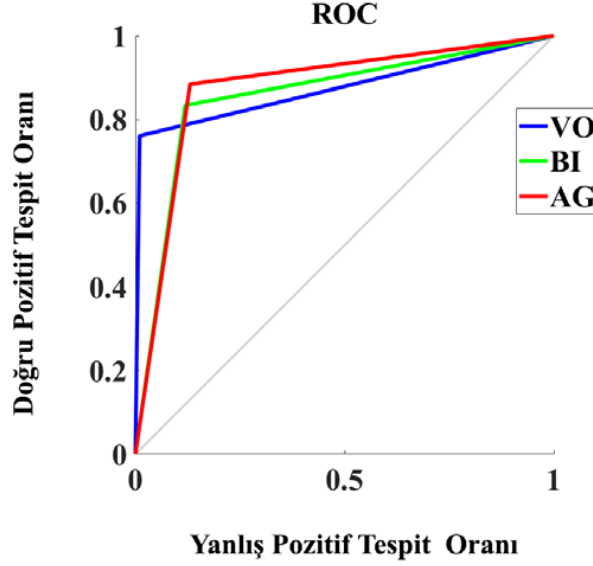
		Hedef Sınıf				
		1	2	3	FN	FP
Tahmin edilen sınıf	1	61.408	29.873	1.860	65.9%	34.1%
	2	19.076	951.862	226.383	79.5%	20.5%
	3	220	159.463	1.749.310	91.6%	8.4%
	TP	76.1%	83.4%	88.5%	86.4%	
	TN	23.9%	16.6%	11.5%		13.6%

Tablo 3. Hedef sınıfa ait toplam piksel sayısının yüzdesel dağılımı

		Hedef Sınıf		
		1	2	3
Tahmin edilen sınıf	1	1.9%	0.9%	0.0%
	2	0.6%	29.8%	7.1%
	3	0.0%	5.0%	54.7%

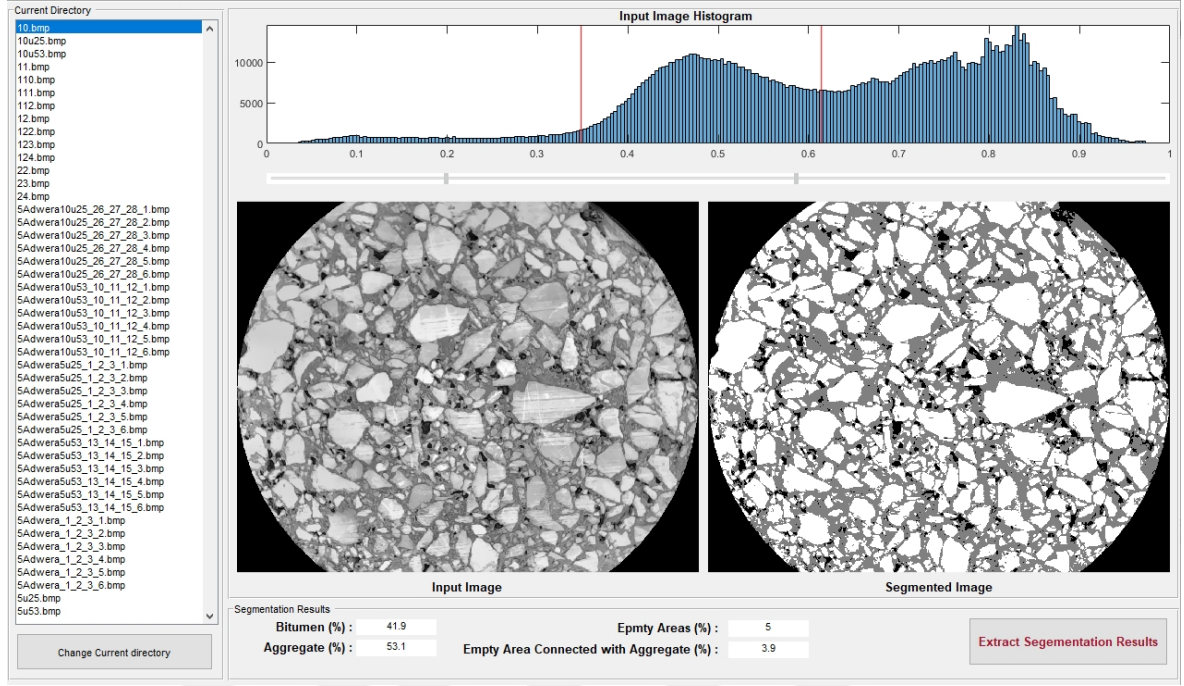
Bölütleme işleminin başarımlarını ayrıca ROC eğrisi şeklinde Şekil 32’de verilmiştir. ROC eğrisi basitçe rastgele durum ile ideal durum arasında önerilen yöntemin nerede yer aldığı göstermektedir. Diyagonal çizgi rastgele bir sınıflandırma sonucunun elde edeceği performansı göstermektedir. İdeal bir sınıflandırmada eğri hemen yükselmektedir. Bu durumda ROC eğrisi ne kadar hızlı yükseliyorsa performans o kadar iyidir şeklinde bir

yorum yapılabilir. ROC eğrisinin altında kalan alan, doğru sınıflandırmayı elde etmek amacıyla sınıfların doğruluk oranını belirler. Mükemmel bir sınıflandırmada sıfır yanlış pozitif ve sıfır yanlış negatif ile ROC eğrisinin alan değeri 1.00 olacaktır.



Şekil 32. ROC eğrisi

48 adet görüntünün webcam den kolay bir şekilde alınabilmesi için Şekil 33'de gösterilen bir arayüz (GUI) tasarlanmıştır. GUI'de tüm görüntülerin mavi kanaldaki ve otomatik bölütlenmiş görüntü sonuçları kıyaslanabilmektedir. Görüntülere ait histogram grafiklerini ve otomatik bölütleme için eşikleme değerlerini hızlı bir şekilde elde etmek mümkün olmuştur. Görüntü üzerine tıklanarak homomorfik filtre sonucunda elde edilen görüntüler ve histogram grafikleri GUI'den elde edilebilmektedir. Ayrıca her bir görüntünün otomatik bölütleme sonucundaki *AG*, *BI*, *VO* yüzdeleri de GUI'ye yerleştirilmiştir.



Şekil 33. Görüntülerin alınıp analiz edilebilmesi için oluşturulmuş GUI görüntüsü

Tablo 4'de veritabanındaki asfalt numunelerine ait test görüntülerin BI , AG , VO yüzdeleri, Tablo 5'te ise bu görüntülere ait ortalama yüzde değerleri ve ortalama standart sapmalar verilmektedir.

Tablo 4. Veritabanındaki görüntülere ait BI , AG , VO yüzdeleri

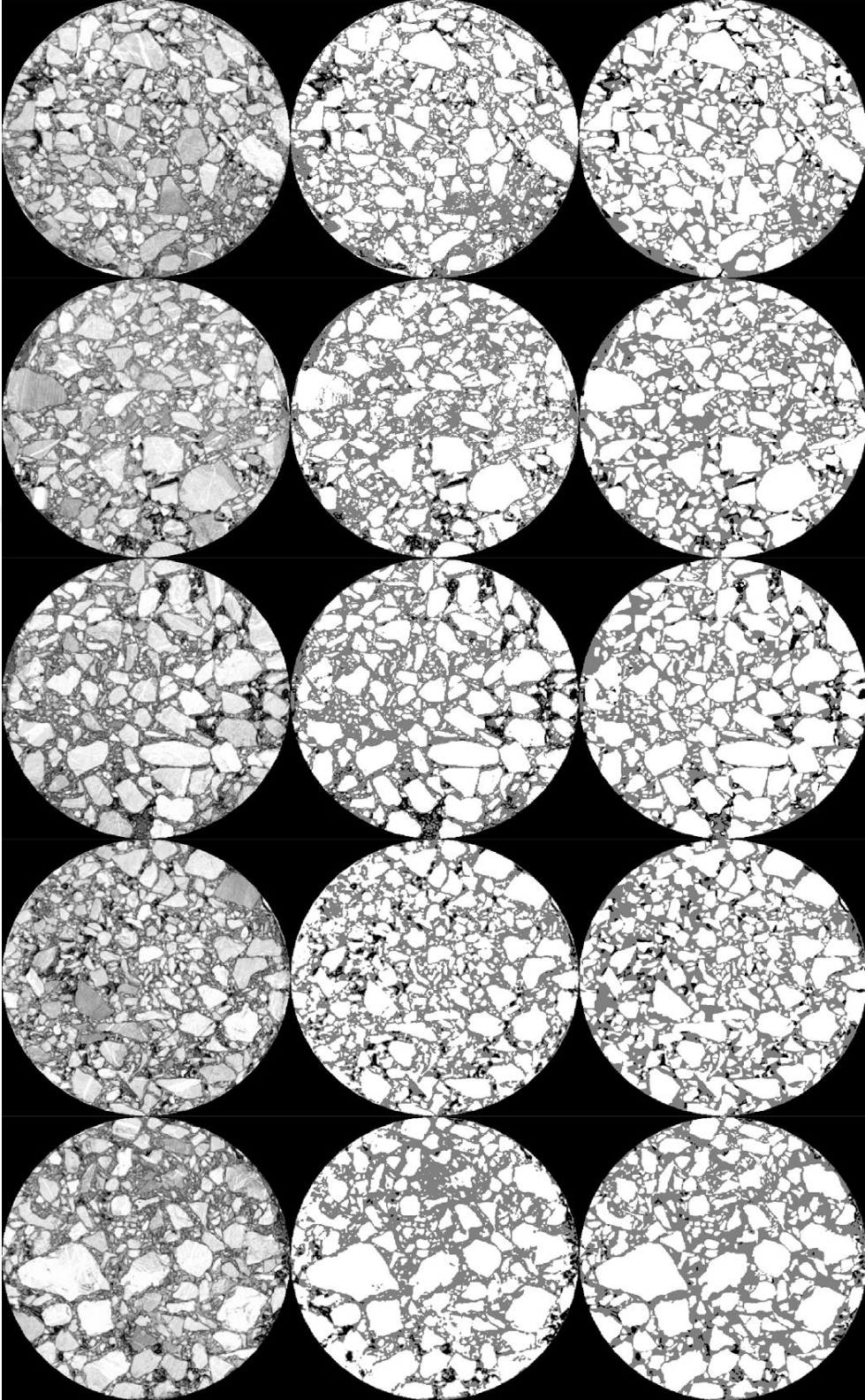
Örnek ismi	$BI(\%)$	$AG(\%)$	$VO(\%)$
Örnek 1	36,3	59,8	3,9
Örnek 2	38,7	55,6	5,7
Örnek 3	42,7	50,8	6,5
Örnek 4	32,2	62,7	5,1
Örnek 5	44,2	53,3	2,6
Örnek 6	38,1	59,8	2,1
Örnek 7	43,9	52,3	3,8
Örnek 8	37,2	59,8	3
Örnek 9	36	61,7	2,3
Örnek 10	40,3	56,7	3
Örnek 11	42,7	52,4	4,8
Örnek 12	32	60,4	7,5
Örnek 13	36,2	59,1	4,8
Örnek 14	35,7	62	2,3

Örnek 15	37,1	58,1	4,8
Örnek 16	31,6	62,7	5,7
Örnek 17	21,6	67,2	11,1
Örnek 18	30,9	59,5	9,6
Örnek 19	34,9	58,2	6,9
Örnek 20	35,9	57,6	6,5
Örnek 21	37,5	56,7	5,8
Örnek 22	46,5	48,4	5,1
Örnek 23	36,4	57,4	6,2
Örnek 24	34,9	58,8	6,4
Örnek 25	40,7	55,6	3,7
Örnek 26	41,5	55,1	3,4
Örnek 27	42,9	52,8	4,3
Örnek 28	34,5	60,4	5,1
Örnek 29	36,7	60,4	3
Örnek 30	37,5	58,3	4,2
Örnek 31	38,8	56,3	4,9
Örnek 32	38,7	57,3	4
Örnek 33	39,2	58	2,8
Örnek 34	37,3	59,5	3,2
Örnek 35	38,7	55,1	6,2
Örnek 36	36,7	58	5,3
Örnek 37	35,8	62	2,2
Örnek 38	34,3	62,3	3,4
Örnek 39	44,7	53,5	1,7
Örnek 40	44,7	53,3	2
Örnek 41	42,7	55,9	1,3
Örnek 42	38,5	59,8	1,7
Örnek 43	38,3	57,8	3,9
Örnek 44	38,5	56,9	4,6
Örnek 45	43,4	51,8	4,9
Örnek 46	44,1	53,5	2,4

Tablo 5. Test görüntülerinin sınıflara ait ortalama yüzde değerleri ve standart sapmaları

	<i>Bi</i>	<i>AG</i>	<i>VO</i>
%	38,08	57,49	4,43
Std.sapma	4,54	3,70	2,03

Tüm test görüntüleri genel olarak % 4,43 *VO*, % 38,08 *Bi* ve %57,49 *AG* sınıflarından oluşmaktadır. Bölütleme işlemi sonucunda ise bu değerler %2.9 *VO*, %37.4 *Bi* ve %59.7 *AG* olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 34. Test resimleri. Sol sütun orijinal resimleri, orta sütun otomatik olarak bölütlenmiş görüntüleri, sağ sütun ise manuel olarak bölütlenmiş görüntüleri göstermektedir

4. ÖNERİLER

AG 'nin daha iyi sınıflandırılması amacıyla kırmızı ve mavi kanal arasındaki parlaklık farkı dikkate alınabilir. Buradan yola çıkarak renk kanalları arasındaki farklılığa dayalı bir bölütleme yöntemi üzerinde çalışılmaktadır. Bu yöntemde bir piksele ait tüm renk kanallarındaki en büyük (max) ve en küçük (min) gri seviye değerleri kullanılmıştır. max ve min değerlerinin oranı Denklem 4.1'de ki gibi hesaplanmıştır.

$$AG = \frac{max}{min + r} \quad (4.1)$$

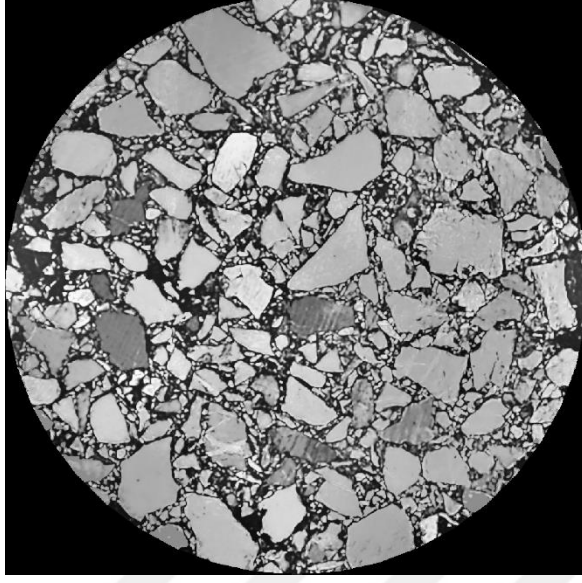
max = RGB kanallarındaki maksimum piksel

min = RGB kanallarındaki minimum piksel

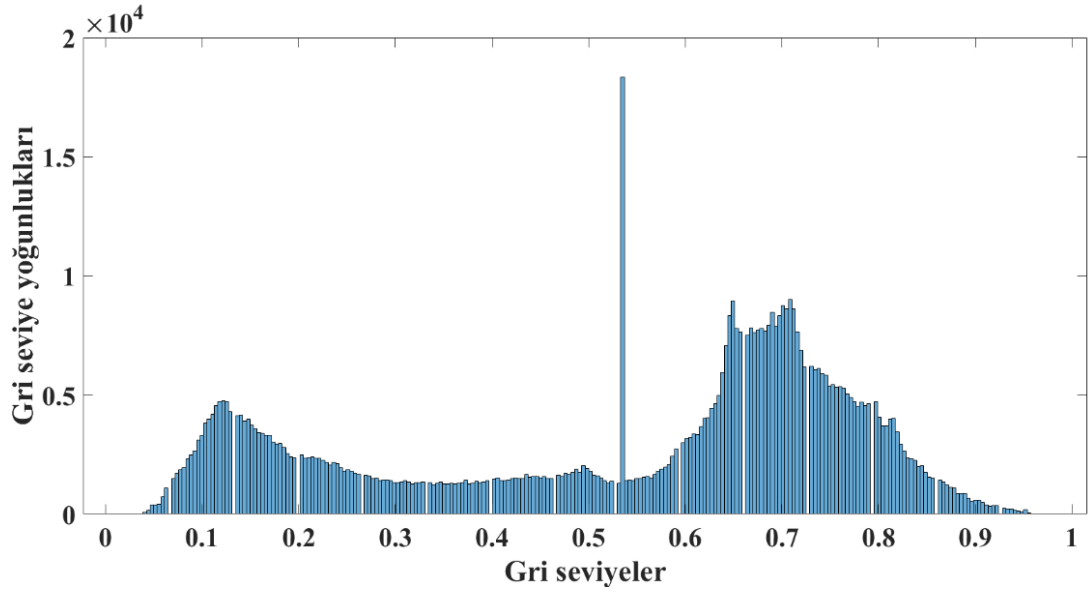
r = Düzenleme katsayısı

Bu denklemde yer alan r katsayısı PSO algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Buradaki amaç fonksiyonu Otsu etkinlik değerinin maksimum yapılmasıdır. Yani r değerine bağlı olarak AG görüntüsünün içerisinde birbirinden maksimum derecede ayrışacak iki sınıf (AG ve arkaplan) oluşması sağlanmaktadır. Şekil 16'daki mavi kanal görüntüsüyle kıyaslandığında AG 'ların çok daha belirgin bir şekilde belirlenebildiği hatta agregalar üzerindeki renk tonu farklılıklarının da minimize edildiği görülmüştür.

Düzenlenmiş max ve min oranlarına ait görüntü Şekil 34'de, bu görüntüye ait histogram grafiği ise Şekil 35'de verilmiştir.



Şekil 35. Düzenlenmiş *max* ve *min* parlaklık değerleri oranına ait görüntü. Görüntüden de açıkça görülebildiği gibi AG sınıfına ait pikseller oldukça net bir şekilde arkaplan piksellerinden ayırt edilebilmektedir.



Şekil 36. Düzenlenmiş *max* ve *min* parlaklık değerleri oranına ait görüntünün histogram grafiği.

Oluşacak *AG* görüntüsünden *VO* ve *BI*'nin bölütlenmesi için çalışmalar devam etmektedir.

Şimdiye kadar göz kararı olarak yapılan kalite ölçüm sonuçları hem kesin değer vermemekte hem de gözlemciden gözlemciye büyük farklılıklar göstermektedir. Ayrıca hacimsel olarak asfalt numunelerinde AG , BI , VO oranları ile yüzey görüntülerinden elde edilen sonuçlar arasında korelasyon analizi yapılabilmesi için numunelerden belli kesitlerde birden fazla görüntü elde edilmesi gerekmektedir.

Literatürde yer alan ve otomatik olarak bölütleme işlemi gerçekleştiren diğer yöntemler gerek gerektirdikleri donanım (X-ray CT gibi) olarak pahalı gerek de inceledikleri nitelikler olarak farklılıklar arz etmektedir. Ayrıca manuel analiz sonucunda anlaşılmıştır ki elle her bir sınıfı belirlemek hem çok zaman almakta (yaklaşık olarak örnek başına 8 saat) hem de pratik olmaktan çok uzaktır. Bu çalışmayla birlikte asfalt bileşimine dair veri elde etmek adına pahalı olmayan pratik bir yöntem literatüre sunulmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. Moaveni, M., Wang, S., vd., Aggregate size and shape evaluation using segmentation techniques and aggregate image processing algorithms, TRB 2013 Annual Meeting, Washington, DC, Ocak 2013.
2. Basheer, P. A. M., Crookes, D., vd., Image processing of coarse and fine aggregate images, AMAS Workshop - SIAIC'02, Warsaw, Kasım, 2002.
3. Nejad, F. M., Motekhasse, F. Z vd., A., An Image Processing Approach to Asphalt Concrete Feature Extraction, JIII, Mart, 2015.
4. Chaudhari, S. N., Analysis of Aggregates By Image Processing Using MATLAB, IJISSET, Haziran, 2-6, 2016.
5. Mei, A., Manzo, C., Bassani, vd., Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis, Open Journal of Applied Sciences, 4, 366-374, 2014.
6. Vadood, M., Johari, M. S., Rahaei, A. R., Introducing A Simple Method to Determine Aggregate Gradation of Hot Mix Asphalt Using Image Processing, International Journal of Pavement Engineering 15(2) Şubat, 2014.
7. Sinecen, M., Developing 3 dimensional image analysis methods for characterization and classification of aggregates, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Elektrik Elektronik Mühendisliği Temmuz, 2011.
8. Sinecen, M., Makinaci, M., Agregaların temel şekil özellikleri kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla sınıflandırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (16):2, s:149-153, 2010.
9. Mulsow, C. Determination of the degree of gravel aggregate-bitumen coverage by multi-directional reflectance measurements, XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, 2012.
10. Yuan, J., Dong, W. J., Chen, J. J., Zhang, S., Qian, W., Sun, W., A LED-based measurement system for affinity between bitumen and aggregate, Construction and Building Materials, (81), 298-302, 2015.
11. Lamperti, R., Lantieri, C., Sangiorgi, C., Bitelli, G., Simone, A. Semi-automatic Evaluation of the Degree of Bitumen Coverage on Bitumen-Coated Aggregates, RILEM Bookseries 11:15-24, 2016.
12. Otsu, N., A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 9-1, s. 62-66, 1979.

13. <http://www.asnud.org.tr/asfalt.php?sayfa=27>. 13 Mart 2018.
14. Gonzalez, R. C., Digital Image Processing, 2009.
15. Reddy,R.V.K., Raju,K.P., Kumar L.R., Kumar M.J. Grey level to RGB using YCbCr color space Technique International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Cilt 147 – No.7, Ağustos, 2016.
16. Al-amri S.S., Kalyankar N.V., Khamitkar S.D. Linear and Non-linear Contrast Enhancement Image. Şubat, 2010.
17. Guo, H. A Simple Algorithm for Fitting a Gaussian Function. IEEE Signal Processing magazine s:137. Eylül, 2011.
18. <https://sites.google.com/site/dataclusteringalgorithms/k-means-clustering-algorithm>. 23 Mart 2018.
19. Suganya, R., Shanthi, R. “Fuzzy C-Means Algorithm “. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 11, Kasım,2012
20. <http://www.caglargul.com/2017/05/emgucv-uzaysal-filtreleme-spatial-domain.html> 10.02.2018
21. Aydın, İ. Frekans domain’inde İşlemler BMÜ-357 Sayısal Görüntü İşleme http://web.firat.edu.tr/iaydin/bmu357/bmu_357_bolum4.pdf. 02.02.2018
22. Zhang, Q., Xu, L., Jia, J., 100+ Times Faster Weighted Median Filter, CVPR, 2014.
23. Onifade, I., Jelagin D., Guarin A., Birgisson B., Kringos N. Asphalt Internal Structure Characterization with X-ray Computed Tomography and Digital Image Processing, 2013.
24. Abdul, N., Airey, G., Putra, R., Jaya, M., Mashros, N. “Use of Imaging Techniques for Viewing The Internal Structure of Rubberised Asphalt Mixtures.
25. Swift, A. Characterization of coarse aggregate angularity using digital image Processing 2007.

6. EKLER

Ek 1. Matlab Görüntü İşleme Yazılımı

```
clear,clc
pathName = 'images/';
gtPath = [pathName 'classified/'];
fileName = '5u25.bmp';
im = imread([pathName fileName]);
im = im2double(im(:,:,3));
I = im;
% yuvarlak kısmın çevresine kalan boş alanı tespit edilmesi.
mask = bwareaopen(imgaussfilt(im,.25)==0,round(0.01*numel(im)));
mask = imdilate(mask, strel('rectangle',[3 3]));
test = false;
% Elle segmente edilen görüntünün sınıflara ayrılması.
try
    cl = imread([gtPath fileName]);
    ti = ones(size(cl,1), size(cl,2))+1;
    agrega = cl(:,:,1)>cl(:,:,2) & cl(:,:,1)>cl(:,:,3);
    void = cl(:,:,2)>cl(:,:,1) & cl(:,:,2)>cl(:,:,3);
    bitum = cl(:,:,1)==cl(:,:,2) & cl(:,:,1)==cl(:,:,3) & ~mask;
    ti(agrega)=3;
    ti(void)=1;
    ti(mask) = nan;
    test = true;
catch
end
%histogram eşleştirme hgram:eşleştirilecek histogram tüm görüntü
%histogramlarının ortalaması
load hgramAll
hq = histeq(im(~mask), ppval(hgram, linspace(0,1,32)));
im(~mask)=hq;
%homomorfik başlangıcı
im(mask)=mean(im(~mask));
im = log(im+1);
IM = fft2(im);
IM = fftshift(IM);
c=size(IM)/2;
[u, v]=meshgrid(1:size(IM,2), 1:size(IM,1));
D = sqrt((u-c(2)).^2 + (v-c(1)).^2);
gammaH=1.0; gammaL=0.20;
D0=0; W=5; n=2;
H = 1./(1 + (D.*W./(D.^2-D0^2)).^(2*n));
H = (gammaH - gammaL).*H + gammaL;
```

Ek-1'in devamı

```

H=fillmissing(H,'linear');
IM = H.*IM;
IM = ifftshift(IM);
im2 = ifft2(IM);
im2 = real(im2);
im2 = exp(im2)-1;
%piksellerin normalleştirilmesi
im2(mask)=nan;
im2 = im2-min(im2(:));
im2 = im2./max(im2(:));
%histogram germe başlangıç
[N, edges]=histcounts(im2(~mask),32);
bins = 0.5*(edges(1:end-1) + edges(2:end));
sn = medfilt1(N,5);
prfHst = smooth(bins, sn, 0.05, 'lowess');
prfHst = prfHst/sum(prfHst);
cumdf = cumsum(prfHst);
con = bins(cumdf>=0.001 & cumdf<=0.999);
lowThr = con(1);
highThr = con(end);
im2 = interp1([0 lowThr highThr 1],[0 0 1 1],im2,'linear');
im2(mask) = nan;
%ağırlıklandırılmış median uygulanması
im2(mask)=mean(im2(~mask));
im2 = jointWMF(im2, im2, 50, 0.125, 256, 1,1, 'exp');
im2 = imboxfilt(im2, 5);
%Log filtresi başlangıcı
[N, edges]=histcounts(im2(~mask),256);
bins = 0.5*(edges(1:end-1) + edges(2:end));
prfHst = medfilt1(N,5);
[~,locs]=findpeaks((imfilter(prfHst, fspecial('log', [1 128], 10))),bins);
locs(locs<0.1 | locs>0.9)=[];
im3 = imquantize(im2,locs(1:2));
%f1 = LOSmoothing(im2, 1/250, 2);
%im3 = jointWMF(I, I, 100, 0.1, 3, 1,1, 'exp');
%im3 = imquantize(im3, multithresh(im3, 2));
im3(mask)=1;
imshowpair(I, im3, 'montage', 'scaling', 'independent')
% ind = find(~mask);
% [cluster_idx,cc]=kmeans(im2(ind),3,'Distance','sqEuclidean','Start',[0.2; 0.5; 0.8]);
% [~,idx]=sort(cc);
% cluster_idx=changem(cluster_idx,1:3, idx);
% im3=im2; im3(ind)=cluster_idx;
% figure,imshowpair(I, im3, 'montage', 'scaling', 'independent')
%görüntülerin katıştırılması ve çıktı görüntü ve tabloların
%oluşturulması

```

Ek-1'in devamı

```
if test
    tiV = ti(~mask);
    im3V = im3(~mask);
    targets=zeros(3,nnz(~mask));
    outputs=targets;
    for i=1:3
        targets(i,tiV==i)=1;
        outputs(i,im3V==i)=1;
    end
    figure,plotconfusion(targets,outputs)
    figure,plotroc(targets,outputs)
    figure,imshowpair(im3, ti, 'montage', 'scaling', 'independent')
end
```



ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Trabzon'da doğdu. İlk öğrenimini Kutlugün Köyü İlköğretim Okulu, Orta öğrenimini Cudibey Ortaokulunda, Lise öğrenimini ise Trabzon Lisesinde tamamladı. 2002 yılında 1 yıl İngilizce hazırlık öğrenimi gördükten sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Lisans Programına başladı ve 2007 yılında mezun oldu. Ve aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 10 yıl Türk Telekom Trabzon Bölge Müdürlüğünde uzman ve yönetici olmak üzere farklı pozisyonlarda çalıştı. 2018 yılı Şubat ayı itibari ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon MYO'da öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yabancı dil olarak iyi seviyede İngilizce bilmektedir.