T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OPTİK GÖRÜNTÜ BOZULMALARININ YAZILIMLA DÜZELTİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM

Erdal GÜVENOĞLU

Doktora Tezi

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
I. Danışman: Prof. Dr. Emin Murat ESİN
II. Danışman: Yrd. Doç. Dr. Deniz TAŞKIN
EDİRNE 2012

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OPTİK GÖRÜNTÜ BOZULMALARININ YAZILIMLA DÜZELTİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM

Erdal GÜVENOĞLU

DOKTORA TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 22 / 06 / 2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Emin Murat ESİN
(I. Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Deniz TAŞKIN
(II. Danışman)

Prof. Dr. Ahmet Mesut RAZBONYALI
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Nurşen TOPÇUBAŞI
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Aydın CARUS
(Üye)

Doktora Tezi
Trakya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

OPTİK GÖRÜNTÜ BOZULMALARININ YAZILIMLA DÜZELTİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM

Günümüzde sayısal teknolojinin gelişimi ile birlikte, görüntüler bilgisayar ortamında kolaylıkla işlenebilecek biçimde kaydedilmeye başlanmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan görüntüleri işleyecek görüntü işleme cihazlarının hız ve kapasite oranlarında da önemli gelişmeler yaşanmıştır. Görüntülerin elde edilmesinde sayısal kameralar kullanılmaktadır. Sayısal kameralar kullanılarak elde edilen görüntüler genellikle bilgisayar yardımı ile işlenebilir ve düzenlenebilir bir koda dönüştürülmektedir. Bu dönüşüme yardımcı en önemli araç mercek sistemleridir. Mercek sistemindeki saydam cisimden ya da ortamdaki ışıktan dolayı bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu bozulmalar, birçok mühendislik çalışmasının performansını etkileyecek ve daha doğru sonuçlar elde edilmesini zorlaştıracaktır. Başka bir ifadeyle, görüntü üzerinden ölçü almak ve otomatik kıyaslama yapmak güç hale gelecektir. Daha doğru sonuçların elde edilebilmesi için görüntüler üzerinde meydana gelen bozulmaların giderilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, özellikleri ve kamera parametreleri bilinmeyen bir mercek sisteminden ya da herhangi saydam bir ortamdan elde edilen görüntülerin önemli ayrıntılarını veya tamamını düzelten yeni bir yöntem geliştirmektir. Bu bağlamda, çalışmanın ilk bölümünde sayısal görüntülerde meydana gelen bozulmalar hakkında giriş niteliğinde bilgilere yer verilmiştir. İkinci bölümde, mercek sistemlerinde meydana

gelen aberasyonlar incelenmiştir. Ayrıca sayısal görüntüler üzerinde meydana gelen bozulmalar ile ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, sayısal bir görüntünün oluşması kısaca açıklanmış, çalışmada kullanılan doğrudan lineer dönüşüm yöntemine, görüntülerde meydana gelen bozulma nedenlerine ve bozulmuş görüntülerin düzeltilmesi için ilk adım olan kalibrasyon işlemlerine yer verilmiştir. Ayrıca, sunulan yöntemin test edilebilmesi için hata ölçüm yöntemleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, bu çalışmanın literatüre asıl katkısını oluşturan yöntemin matematik temeli ayrıntılarıyla açıklanmış, sunulan yaklaşımın bilgisayar simülasyonu ve elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Beşinci bölüm sonuçların özetlenmesine ayrılmıştır. Ayrıca, gerçekleştirilen yazılımın kullanım kılavuzu ek olarak verilmiştir.

Bu tez 2012 yılında yapılmıştır ve 160 sayfadan oluşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Aberasyon, Görüntü Bozulmaları, Görüntü Düzeltme, Koordinat Dönüşümü, Kalibrasyon.

Doctorate Thesis
Trakya University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

ABSTRACT

A METHOD FOR CORRECTING OPTICAL IMAGE DISTORTION
BY THE MEANS OF SOFTWARE

Along with the development of digital technology, images can be processed by and recorded in computers easily. The speed and capacity of image processing devices used to process digital images has increased dramatically. Images taken using digital cameras can now be converted into processable code and be processed by image processing devices. The most important tool in this conversion process is the lens system. But, for various reasons such as ambient light conditions and transparent bodies of these lenses, degradations in the image quality happen. Distorted images impact the performance of engineering studies and make it difficult to obtain accurate results. In other words, taking measurements from images and making automated comparisons become difficult. Hence, it is necessary to correct distortions and deformations on images to obtain accurate results.

The main objective of this research is to develop a new methodology that can be used to correct important parts of (or the whole) distorted image obtained using a lens system with unknown camera properties or parameters. In this context, various types of distortions that can happen on digital images are defined in the first chapter of this thesis. Lens aberrations are investigated in Chapter 2. Furthermore, various studies reported in the literature on distortions on digital images are reviewed in this section. Chapter 3 includes description of digital image formation, the direct linear

transformation method used in this research, reasons that cause digital image distortions, and the calibration method used as the first step towards correcting distorted images. In addition, the error measurement methods used to test the proposed correction method in this thesis are described in detail in this chapter. Chapter 4 presents the mathematical foundation of our correction methodology in detail. The computer simulation of our proposed methodology and its accuracy is illustrated in this chapter as well. Finally, Chapter 5 is the summary of the results and includes the user manual.

This thesis has been completed in 2012 and consists of 160 pages.

Keywords: Image Processing, Aberration, Image Distortion, Image Correction, Coordinate Transformation, Calibration.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince bana yol gösteren, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Emin Murat ESİN' e, çalışmanın başlangıcında ve sonraki her aşamasında destek veren Sn. Yrd. Doç. Dr. Nurşen TOPÇUBAŞI, Sn. Yrd. Doç. Dr. Aydın CARUS ve Sn. Yrd.Doç.Dr. Deniz TAŞKIN' a, akademik hayatımın her döneminde yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam sn. Prof. Dr. Ahmet Mesut RAZBONYALI' ya, tez çalışmam sırasında vermiş olduğu destekten dolayı Maltepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcısı Sn. Prof. Dr. İdris Adnan GÜMÜŞ' e, çalışma hayatımda bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen Maltepe Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma, çalışmam sırasında göstermiş olduğu sabır ve desteklerinden dolayı eşime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vi
SİMGELER DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Aberasyonlar 5
2.1.1. Sferik (Küresel) Aberasyon 6
2.1.2. Astigmatizma 7
2.1.3. Distorsiyon 9
2.1.4. Koma 10
2.1.5. Alan Eğriliği 11
2.1.6. Kromatik aberasyon 12
2.2. Mercek Sistemleri 14
2.3. Açısal Bozulma İle İlgili Literatür Araştırması 20
2.4. Perspektif Bozulma İle İlgili Literatür Araştırması 30
2.5. Geometrik Bozulma İle İlgili Literatür Araştırması 37
3. MATERYAL VE YÖNTEM 49
3.2. Koordinat Dönüşümü 53
3.2.1. Doğrudan Lineer Dönüşüm Matematik Modeli 54
3.3. Objektif Özelliklerinden Kaynaklanan Görüntü Bozulmaları 57
3.3.1. Geometrik Bozulmalar ve Nedenleri 57
3.3.2. Perspektif Bozulmalar ve Nedenleri 60
3.3.3. Açısal Bozulmalar ve Nedenleri 63
3.4. Kalibrasyon İşlemleri ve Türleri 65
3.4.1. Görüntünün Açısal Kalibrasyonu 68
3.4.2. Görüntünün Perspektif Kalibrasyonu 69
3.4.3. Görüntünün Geometrik Kalibrasyonu 70
3.5. Hata Ölçüm Yöntemleri 73

3.6. İki Görüntünün Benzerlik Oranının Belirlenmesi 76
3.7. Patern Görüntü Elde Etme Yazılımı 81
4. BOZULMUŞ GÖRÜNTÜNÜN ALGORİTMİK İYİLEŞTİRİLMESİ 82
4.1. Önerilen Yöntemin Matematik Temeli 84
4.2. Önerilen Yöntemin Bilgisayar Uygulaması 97
4.2.1. Örnek Uygulamalar 99
4.4. Önerilen Yöntemin Doğrulanması ve Geçerlilik Testleri 100
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 115
KAYNAKLAR 121
ÖZGEÇMİŞ 127
EK – 1: GERÇEKLEŞTİRİLEN YAZILIMIN KULLANIM KLAVUZU 128

SİMGELER DİZİNİ

Kısaltma	İngilizcesi	Türkçesi
BAG	Block Adjacency Graph	Blok Komşuluk Grafı
CCD	Charge Coupled Device	Alıcı- Toplayıcı Parça
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken
DLT	Direct Linear Transformation	Doğrudan Lineer Dönüşüm
GKD	Image Cross-section Correction	Görüntü Kesit Düzeltme
LSE	Least Square Error	En Küçük Karesel Hata
MAE	Mean Absolute Error	Hataların Mutlak Değerinin Ortalaması
MSE	Mean Squared Error	Ortalama Karesel Hata
OCR	Optical Character Recognition	Optik Karakter Tanıma
PAE	Peak Absolute Error	Mutlak Hataların En Büyüğü
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio	Tepe Sinyal Gürültü Oranı
RGB	Red Green Blue	Kırmızı Yeşil Mavi
RMSE	Root Mean Squared Error	Hataların Kareli Ortalamalarının Karekökü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Sferik Aberasyon 6
Şekil 2. 2. Diyafram ve mercek sisteminin kullanılması 7
Şekil 2. 3. Astigmatizma sonucu oluşan görüntü 8
Şekil 2. 4. Distorsiyon Oluşumu 9
Şekil 2. 5. Diyaframın konumuna göre bozulma tipleri 10
Şekil 2. 6. Koma aberasyon 11
Şekil 2. 7. Alan eğriliğinden kaynaklanan bozulma 12
Şekil 2. 8. Kromatik aberasyon 13
Şekil 2. 9. Akromatik mercek sistemi ve renk aberasyonu 14
Şekil 2. 10. Bir mercek sistemi 15
Şekil 2. 11. Minolta AF 17-35/3.5 G objektifi ve içyapısı 16
Şekil 2. 12. Odak uzaklı ve görüş açısı arasındaki değişim 18
Şekil 2. 13. Projeksiyon Profili histogramları 20
Şekil 2. 14. Kolerasyon yardımı ile benzer karakterlerin bulunması 22
Şekil 2. 15. Çapraz kolerasyon için gezinme örneği 23
Şekil 2. 16. Maske kullanılarak eğim açısının tespit edilmesi 25
Şekil 2. 17. Bir karakter ve blok komşuluk grafı 28
Şekil 2. 18. Perspektif bozulmanın temsili gösterilmesi ve düzeltilmesi 30
Şekil 2. 19. Örnek projeksiyon gösterimi 31
Şekil 2. 20. Yöntemin aşamaları 33
Şekil 2. 21. Dörtgenlerin elde edilmesi 34
Şekil 2. 22. Perspektif sınırların belirlenmesi 35
Şekil 2. 23. Uzak ufuk noktası 36
Şekil 2. 24. İki doğrunun uzak ufuk noktasında birleştirilmesi 37
Şekil 2. 25. Terzopoulos ve Fleischer' in tel ızgara sistemi 38
Şekil 2. 26. Brown ve Seales' in tel ızgara sistemi 39
Şekil 2. 27. Belge orta bölgelerinin bükülmesi 40
Şekil 2. 28. Görüntü ve silindir yüzey arasındaki ilişki 41
Şekil 2. 29. Yöntemin düzeltme adımları 42

Şekil 2. 30. Gölgeli bölgede karakterlerin ortaya çıkarılması....43
Şekil 2. 31. Düzeltme işlemi....44
Şekil 2. 32. Karakterlerin ortaya çıkarılması....46
Şekil 2. 33. Yöntemin uygulama aşamaları....48
Şekil 3. 1. Fiziksel bir görüntü ve sayısal karşılığı....51
Şekil 3. 2. İğne delikli kamera modeli ve görüntü oluşumu....53
Şekil 3. 3. Resim koordinatları ile cisim koordinat sistemi arasındaki geometrik ilişki 54
Şekil 3. 4. Tarayıcı ve kameradan elde edilmiş belge görüntülerinin karşılaştırılması .58
Şekil 3. 5. Farklı açılarda meydana gelen geometrik bozulmalar....59
Şekil 3. 6. Kamera konumuna ve bakış açısına bağlı perspektif bozulma....61
Şekil 3. 7. Objektif ve görüntü arasındaki ilişki....62
Şekil 3. 8. Perspektif bozulmanın oluşumu....63
Şekil 3. 9. Belgelerin gelişi güzel yerleştirilmesi ve açısal bozulma....64
Şekil 3. 10. Görüntüde meydana gelen açısal bozulmalar....66
Şekil 3. 11. Açısal bozulmanın oluşumu....68
Şekil 3. 12. Görüntünün perspektif kalibrasyonu....69
Şekil 3. 13.Kullanılan 8x8' lik satranç tahtası....71
Şekil 3. 14. Mercek sisteminden elde edilen bir görüntü (Dışbükey)....71
Şekil 3. 15. Görüntülerin geometrik kalibrasyonları....72
Şekil 3. 16. Benzerlik oranı işlem akış şeması....79
Şekil 3. 17. Hata ölçüm ve karşılaştırma yazılımı ekran görüntüsü....80
Şekil 3. 18. 2D görüntü döndürme yazılımın ekran görüntüsü....81
Şekil 4. 1. Farklı tiplerde bozulmuş belge görüntüleri ve düzeltilmesi....83
Şekil 4. 2. Kalibrasyon noktaları ve koordinatları....84
Şekil 4. 3. Yöntemin blok diyagramı....85
Şekil 4. 4. İki noktanın meydana getirdiği geometrik seri örneği....87
Şekil 4. 5. Düzeltme parametrelerinin elde edilmesini gösteren akış diyagramı....91
Şekil 4. 6. Koordinat dönüşümü....92
Şekil 4. 7. Lineer dönüşümün akış şeması....95
Şekil 4. 8. Gerçekleştirilen yazılımın ekran görüntüsü....98
Şekil 4. 9. Hata ölçümlerinin grafiksel gösterimleri....105
Şekil 4. 10. Hata kıstasları ortalamaları ile görüntü benzerlikleri grafiksel gösterimi .108

Şekil 4. 11. Açısal düzeltme hata ölçümlerinin grafiksel gösterimleri 111
Şekil 4. 12. Hata ortalamaları ve görüntü benzerlik oranları grafiksel gösterimi 113
Şekil 5. 1. Hata ölçüm ve benzerlik ortalamaları grafiği 119

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1. Odak uzaklığı ve görüş açısı ilişkisi 18
Çizelge 4. 1. Kenarların düzlemler ile yaptıkları açıların hesaplanması..... 86
Çizelge 4. 2. Önerilen yöntemin mümkün işlem basamakları denklemleri 88
Çizelge 4. 3. Regresyon denklemleri 93
Çizelge 4. 4. Bozulmuş görüntüler ve yöntem ile düzeltilmesi 99
Çizelge 4. 5. Eksenler Etrafında Döndürülmüş Görüntüler 100
Çizelge 4. 6. Önerilen yöntemle düzeltilmiş görüntüler 102
Çizelge 4. 7. X eksenindeki düzeltmelerin karşılaştırılması 104
Çizelge 4. 8. Y eksenindeki düzeltmelerin karşılaştırılması 104
Çizelge 4. 9. XY eksenlerindeki düzeltmelerin karşılaştırılması..... 104
Çizelge 4. 10. Hata kıstasları ortalamaları ve görüntü benzerlik oranları..... 107
Çizelge 4. 11. Z ekseni etrafında döndürülen ve düzeltilen görüntüler 108
Çizelge 4. 12. Saat yönünün tersinde düzeltilmiş görüntülerin karşılaştırılması..... 110
Çizelge 4. 13. Saat yönündeki görüntü düzeltmelerinin karşılaştırılması..... 110
Çizelge 4. 14. Açısal bozulma hata kıstası ortalamaları ve görüntü benzerlik oranları 113
Çizelge 5. 1. Eksenlere göre elde edilen ortalama hata ölçümü değerleri 119

1. GİRİŞ

Çevrede olup biten olayları kaydetmek ve kalıcı kılmak, teknolojik gelişim sürecinde insanlığın önemli uğraş alanlarından biri olmuştur. İlk geliştirilen fotoğraf ve video makineleriyle siyah beyaz görüntü kaydı yapılabilirken ilerleyen yıllarda renk filtreleri geliştirilmiş ve renkli görüntü elde edilmiştir. Sayısal teknolojinin gelişimiyle birlikte görüntüler bilgisayar ortamında kolaylıkla işlenebilecek biçimde kaydedilmeye başlanmıştır. Görüntünün bilgisayar ortamına aktarılabilmesiyle birlikte görüntü işleme cihazlarının hız ve kapasite oranlarında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Her ilerleyen yılla birlikte daha yüksek çözünürlüklü ve pikselli görüntüler elde etmeye olanak veren sayısal görüntü işlemcileri geliştirilmeye başlanmıştır. Yüksek çözünürlük ve piksel oranı beraberinde yüksek veri kapasitesini açığa çıkarmış ve kayıt ortamlarında önemli gelişmeler yaşanmıştır.

Sayısal görüntü işleme, gelişmiş algoritmik bilgisayar yazılımları yardımıyla görüntülerin elde edilip ölçümlenmesi, işlenmesi ve yorumlanması gibi pek çok modern araştırmaların sınır taşı olmuştur. Teknolojik gelişmelere paralel olarak görüntü işleme, güvenlik, tanıtım, sanal gezi, robot gezinimi, nesne algılama, sanal ortam oluşturma ve modelleme gibi daha pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Görüntü işleme, bir görüntü üzerinde özel bir takım işlemler uygulayarak görüntünün yapısal özelliklerini değiştirmek, daha kolay izlenebilir veya analiz edilebilir hale getirmek amacıyla kullanılan tekniklerin bütünüdür. Görüntü işlemenin girdisi bir fotoğraf veya video kareleri iken çıktıları uygulamanın şekline ve amacına bağlı olarak yine işlenmiş bir fotoğraf veya video karesi olabileceği gibi bir karakter, istatistik veya parametre kümesi de olabilmektedir. Görüntünün boyutu (büyütme, küçültme, daraltma, genişletme vb.), rengi (parlaklık, kontrast vb.) gibi özellikleri üzerinde yapılan oynamalar ile netlik sorularının giderilmesi, kar ve sis giderme gibi görüntü kalitesini arttıran ve görüntüyü daha kolay analiz edilebilir hale getiren işlemler, temel görüntü işleme işlemleridir.

Sayısal kameralar kullanılarak elde edilen görüntüler genellikle işlenebilir ve bilgisayar yardımı ile düzenlenebilir (ASCII veya Unicode) bir koda dönüştürülmektedir. Mercek sistemleri dönüşüm esnasında çok önemli bir role sahiptir.

Bu dönüşüm sırasında saydam cisimden veya ortamdaki ışıktan dolayı bozulmalara uğrayabilmektedir. Bu bozulmaların sistem tarafından algılanması ve düzeltilmesi, gerçekleştirilecek birçok uygulama da performansı etkileyecek ve daha doğru sonuçlar elde edilmesine imkân tanıyacaktır. Geleneksel olarak, bir görüntünün bozulma nedeni kullanılan saydam ortamın kırılma indisine, görüntünün elde edilme açısına ve ortamda bulunan ışığa bağlı olarak değişebilmektedir. Sayısal kamera kullanılarak elde edilen görüntülerde meydana gelen bozulmalar ise açısal, geometrik ve perspektif bozulmalar olarak üçe ayrılmaktadır. Açısal bozulma, z eksenine dik bir görüntünün x ekseni üzerinde belli açılarda sağa ya da sola döndürülmesi ile meydana gelen bozulma türüdür. Bir görüntü üzerinde meydana gelen açısal bozulma, sayısal fotoğraf makinesinin bakış açısına göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca bu bozulma türü belge tarayıcılara bir belgenin gelişi güzel yerleştirilmesinden de kaynaklanabilmektedir. Geometrik bozulma, görüntü yüzeyinden kaynaklanan bir bozulma türdür. Geometrik bozulma, görüntüdeki piksellerin uzaysal ilişki sahnesindeki koordinatları ile gerçek uzaydaki sahne koordinatlarının birbirine denk olmadığı durumlarda meydana gelmektedir. Perspektif bozulma ise, üç boyutlu uzayda perspektif yakalama sırasında meydana gelen bir bozulmadır. Perspektif, nesnelerin görünümünü üç boyutlu olarak düz bir yüzeyden iki boyuta indirgeyerek göstermeye yarayan bir iz düşümdür. Nesnenin gözlemciye göre olan pozisyonunun ve uzaklığının etkileri esas alınarak perspektif görüntü elde edilmektedir. Perspektif bozulmanın meydana gelmesinin en temel nedeni, sayısal kameranın görüntü elde edilecek nesneye dik olarak bakmamasından kaynaklanmaktadır. Elde edilmek istenen nesnenin görüntüsünde, sayısal kameraya yakın olan kısımlar daha büyük uzak olan kısımlar ise daha küçük görünmektedir. Dolayısı ile yakın sayısal kameraya yakın olan kenar daha fazla piksel ile uzak olan kenar ise daha az piksel ile temsil edilmektedir. Görüntüyü temsil için olması gerekenden daha az sayıda piksel kullanılması ise görüntüde bulanıklığa neden olmaktadır. Bozulmalar, görüntü üzerinden ölçü almak ve otomatik kıyaslama yapmayı zorlaştırmaktadır. Daha doğru sonuçların elde edilebilmesi için görüntülerin düzeltilmesi gerekmektedir. Bozulmaların düzeltilmesi ile ilgili literatürde pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmanın ikinci bölümünde, yöntemlerle ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Görüntü elde etme işlemi sırasında perspektif ve geometrik bozulma, görüntünün elde edilme açısına, açısal bozulma ise herhangi bir belgenin tarayıcıya gelişi güzel yerleştirilmesine bağlı olarak değişebilmekte idi. Elde edilen bu görüntülerin mühendislik uygulamalarında kullanılabilmeleri için bozulmaların öncelikle ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bozulmaların ortadan kaldırılabilmesi için de görüntülerin ideal düzlemlerine dönüştürmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, optik kusurun neden kaynaklandığına bakılmaksızın meydana gelen açısal, geometrik veya perspektif bozulmuş görüntülerin önemli ayrıntılarının düzeltilmesini sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Her ne kadar optik bir sistemde, ortamdan gelenden ışığın kırılmasından dolayı bozulmalar meydana gelse de bu çalışma, bilgisayar destekli bir görüntü işleme ve uygulama yazılımı olarak ele alınmaktadır. Dolayısı ile bir fizik çalışması değil, bilgisayar mühendisliği çalışmasıdır.

Görüntülerin düzeltilmesi sırasında yer yer görüntü kayıpları olabilmektedir. Bunun en temel nedeni, görüntünün elde edilmesi sırasında kullanılan mercek sistemidir. Örneğin balıkgözü mercek (Fisheye Lens) sistemleri geniş görüş açısına sahiptirler. Balıkgözü mercekler aşırı küçük odak uzaklıklı ve 180 dereceye yakın ya da daha fazla görüş alanına sahip merceklerdir. Böylece tek bir balıkgözü mercek görüntüsü, manzaranın büyük bir parçasını temsil edebilmektedir (Şahin, 2011). Fakat elde edilen görüntünün kenar bölgelerinde sıkışmalar meydana gelmektedir. Bunların düzeltilebilmesi için ek geometrik hesaplamaların yapılması veya görüntülerin elde edildiği kamera parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Özellikleri ve kamera parametreleri bilinmeyen bir görüntüleme aygıtından elde edilen görüntülerin düzeltilebilmesi için kamera kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Kamera kalibrasyonu, kamera sisteminin düzlem geometriye sahip görüntü elde edebilmesi için kendisini en iyi şekilde ifade eden parametrelerin bilgisayar yardımıyla bulunması olarak tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden optik sistemi ve sensörlerin iç konumlarını tanımlayan parametrelere “iç yöneltme”, kamera sisteminin nesne uzayına göre konumunu ve doğrultusunu belirleyen parametrelere ise “dış yöneltme” parametreleri adı verilmektedir. Kalibrasyon işlemi ile koordinatları bilinen noktalardan alınan görüntüler üzerinde eşleştirmeler yapılarak kameraya ait iç ve dış yöneltme parametreleri bulunmaktadır. Daha sonra bu parametreler kullanılarak görüntülerdeki bozulmalar ortadan kaldırılmaktadır (Kocaman, 2007). Görüntülerin bozulma

biçimlerine göre kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Çalışmanın üçüncü bölümünde görüntü bozulma türlerine göre kalibrasyonların nasıl yapıldığı ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Bu çalışmada, özellikleri ve kamera parametreleri bilinmeyen bir mercek sisteminden elde edilen görüntülerin önemli ayrıntılarını başarılı bir şekilde düzelten bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem, bir bilgisayar yazılımı gerçekleştirilerek ispatlanmıştır. Bu yazılımdan elde edilen düzeltilmiş görüntüler, literatürde PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio - Tepe Sinyal Gürültü Oranı), MSE (Mean Squared Error - Ortalama Karesel Hata), RMSE (Root Mean Squared Error - Hataların Kareli Ortalamalarının Karekökü), PAE (Peak Absolute Error - Mutlak Hataların En Büyüğü) ve MAE (Mean Absolute Error - Hataların Mutlak Değerinin Ortalaması) olarak bilinen hata ölçüm yöntemleri ile test edilmiştir. Bu test yöntemleri çalışmanın üçüncü bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde ise önerilen yöntemin ayrıntıları ve elde edilen değerlendirme sonuçlarına yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Fiziksel dünya ile ilgili pek çok bilgi mikroskop, teleskop, sayısal kamera ve diğer optik cihazların kullanılması ile elde edilmektedir. Bu cihazlar, gözle görülebilenden daha detaylı veya daha net bir görüntü elde edebilmek için ışık dalgalarının doğal yayılım biçimini değiştiren ve *optik yasaları* adıyla bildiğimiz bir dizi işleme dayalı olarak çalışmaktadır. Optik sistemlerin tasarımında temel düşünce, kaynaktan gelen ışının sistem boyunca izlenmesine dayanmaktadır. Bu sırada optik sistemin malzeme ve geometrik özellikleri nedeniyle teorik olarak izlemesi gereken yoldan *aberasyon* adı verilen sapmalar meydana gelmektedir.

Görüntü oluşumu ile optik yasaları arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Işının optik malzemeden geçerken malzemenin geometrik özelliği nedeni ile kırılmalara uğraması, oluşacak görüntüyü doğrudan etkileyecektir. Sayısal görüntülerin elde edilmesinde de mercek sistemlerinin önemi büyüktür. Görüntü oluşumu sırasında mercek sisteminde meydana gelen aberasyonların bilinmesi optik kusurların ortadan kaldırılmasını kolaylaştıracaktır. Bu nedenle, çalışmanın bu bölümünde aberasyonlar ve oluşma sebepleri üzerinde durulmaktadır. Ayrıca bir mercek sistemi kullanılarak sayısal görüntülerin elde edilmesi ile sayısal görüntüler elde edilirken meydana gelen bozulma türleri ve bozulmaların giderilmesi üzerine yapılan literatür araştırmalarına yer verilmektedir.

2.1. Aberasyonlar

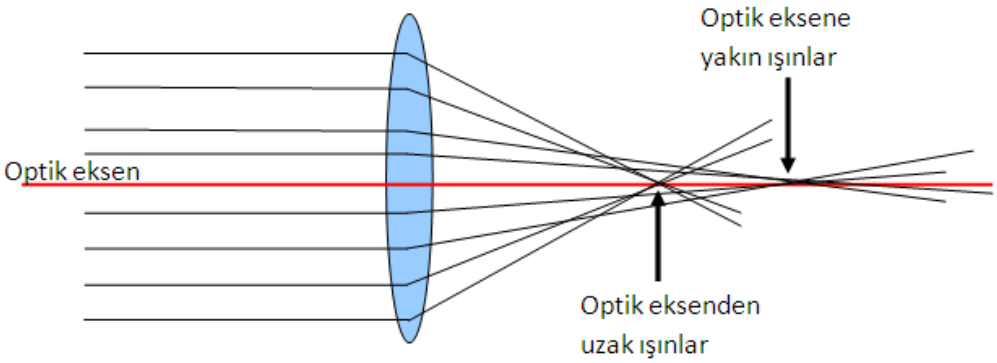
Mercek ya da aynanın gelen bütün ışınları bir tek noktaya toplayamaması arızasına *aberasyon* adı verilir. Aberasyonlar optik sistemlerde kırıcı ortamlardan kaynaklanan ve görüntü kalitesini olumsuz etkileyen, istenmeyen özellikler olarak ta nitelendirilebilmektedir. Aberasyonların, optik sistemlerde görüntü üzerine olumsuz

etkileri vardır. Bu olumsuz etkiler, kırıcı ortamlardan biri olan merceklerin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Aberasyonların olumsuz etkileri, mercek ya da mercek sistemlerinde yapılacak bir takım değişiklikler ile azaltılabilmektedir.

Optik aberasyonlar başlıca monokromatik ve polikromatik aberasyon olarak iki grupta incelenmektedirler. Sferik (Küresel) aberasyon, astigmatizma, distorsiyon, koma ve alan eğriliği *monokromatik*, kromatik aberasyon ise *polikromatik aberasyon* türleridir.

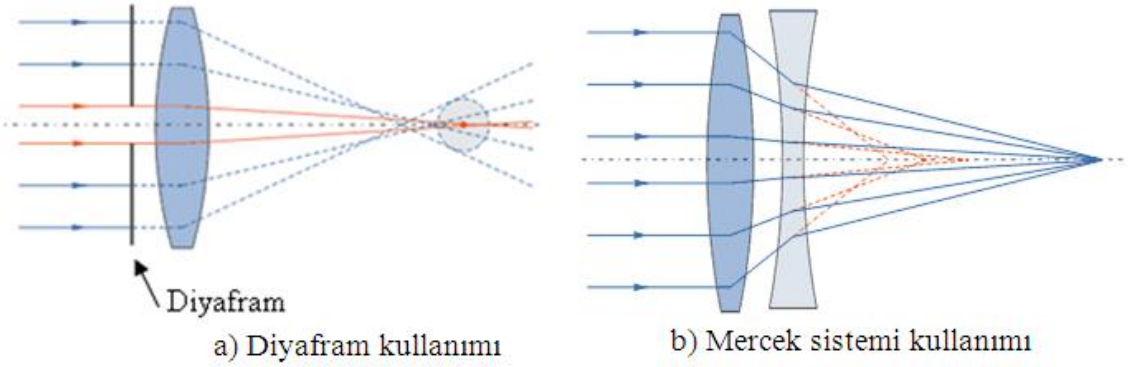
2.1.1. Sferik (Küresel) Aberasyon

Işınlar optik eksenden uzaklaştıkça daha fazla kırılmaktadır. Bu nedenle ışınlar tek bir noktada kesişip net görüntü oluşturmak yerine, bir miktar dağılım göstermektedirler. Dolayısıyla ışınlar tek bir noktada odaklanamaz ve merceğin diyoptri gücü arttıkça daha da belirginleşen görüntü bulanıklıkları ortaya çıkmaktadır. Diyoptri, optik' de bir merceğin veya aynanın kırma gücünü ifade eden birimdir. Odak mesafesinin tersi olarak ifade edilmektedir. Örneğin büyütme gücü 5 diyoptri olan bir mercek, optik eksene paralel gelen ışınları 1/5m = 20cm' ye odaklamaktadır. Sferik aberasyon, ince kenarlı merceklerde pozitif sferik aberasyon, kalın kenarlı mercekler de negatif sferik aberasyon şeklinde görülmektedir.



Şekil 2. 1. Sferik Aberasyon

Sferik bir mercek, kendisine paralel gelen tüm ışınları tek bir noktada odaklayamamaktadır. Sadece optik eksenine yakın ışın demetleri odak noktasında kesişmektedir. Optik eksenden uzak ışın demetleri ise daha fazla kırılmakta ve optik ekseni odak noktasının önünde kesmektedirler. Bu da kenarlarda bulanık bir görüntünün oluşmasına neden olmaktadır. Sferik aberasyon ışığın merceğe dar bir aralıktan geçerek gönderilmesi ile azaltılabilmektedir. Fotoğraf makinelerinde sferik aberasyonun azaltılması için diyafram adı verilen özel bir bileşen kullanılmaktadır. Optik bir sistemde diyafram, görüntü düzlemine odaklanmak üzere gelen ışık demetinin açısını belirlemektedir. Diyafram ışık miktarını ayarlamanın yanı sıra oluşan görüntünün niteliğini de doğrudan etkilemektedir. Çünkü diyaframı açtığımızda diyaframdan geçen ışık ışınlarının optik algılayıcılara düşme açıları değişmektedir. Dolayısı ile sadece odaklama yapılan bölgedeki görüntü netken, geriye kalan alanların bulanık olmasına neden olmaktadır. Bu bozulmanın düzeltilmesi için diğer bir yol ise, kırılma indisleri farklı ince kenarlı ve kalın kenarlı mercekleri bitiştirerek kullanmaktır. Şekil 2.2.' de diyafram ve mercek sisteminin kullanılması ile oluşan görüntüler gösterilmektedir.

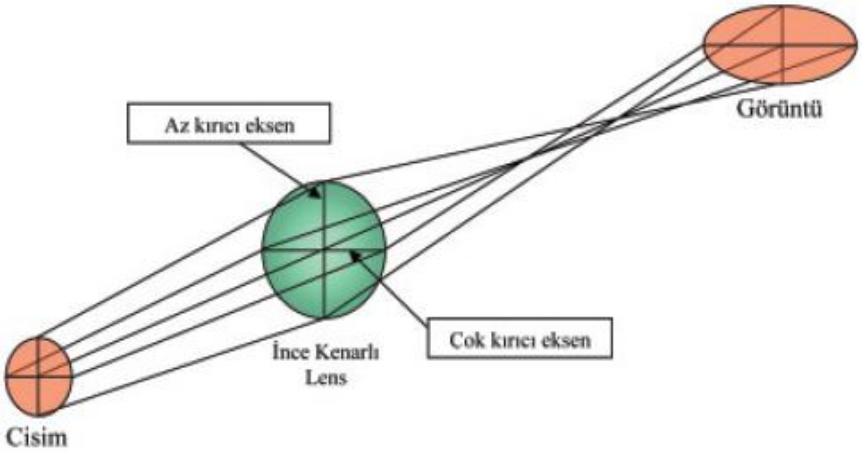


Şekil 2. 2. Diyafram ve mercek sisteminin kullanılması

2.1.2. Astigmatizma

Optik sistemlerde birbirine dik iki eksende farklı kırınımın söz konusu olması ile ortaya çıkan aberasyondur. Yani ışık eksenlerden birisinde daha az kırılırken, diğerinde daha fazla kırılabilmektedir. Başka bir deyişle, bir mercek karşısında ebatları büyük bir

cisim bulunursa, bunun optik eksenden uzak noktaları mercek yüzeyine eğik ışınlar göndereceğinden, görüntü kenarlarının netliği bozulmaktadır. Sonuçta cisimlerin görüntülerinde bozulmalar oluşmaktadır. Bu bozulma türüne astigmatizma adı verilmektedir. Astigmatizma da az kırıcı eksen ile çok kırıcı eksen genellikle birbirine diktir. Bu durum düzenli astigmatizma olarak adlandırılmaktadır. Eğer eksenler birbirine dik değil ise bu duruma düzensiz astigmatizma adı verilmektedir. Örneğin, gözün en önemli kırıcı ortamı olan korneada da dikey ve yatay eksenlerin kırıcılığı farklıdır. Kornea ön yüzünde dikey eksen yatay eksenden daha diktir. Şekil 2.3' de eksenleri birbirine dik olan ince kenarlı bir mercekte kırılmadan dolayı oluşan görüntü örneği verilmektedir (Özer, 2007).

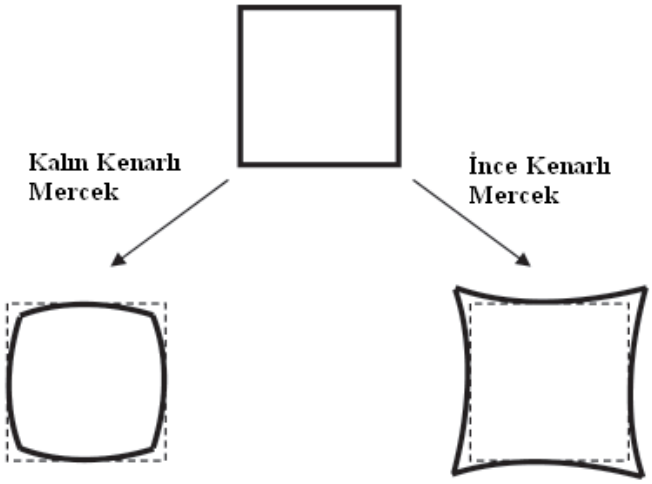


Şekil 2. 3. Astigmatizma sonucu oluşan görüntü (Özer, 2007)

Astigmatizma, tek bir mercekte düzeltilememektedir. Ancak mercek sistemleriyle, örneğin fotoğraf makinesi veya objektife sahip başka bir sistemle düzeltilebilmektedirler. Örneğin, ince kenarlı mercekler kullanılarak astigmatlığı kısmen düzeltmek için diyafram mercekten uzaklaştırılmaktadır. Birkaç mercekli sistemlerde ise birinci mercekten geçen ışının ardından gelen mercekler, eğim açısı küçük ışınlarla kırılmalarını sağlayacak şekilde seçilirse, hem astigmatlık hem de görüntünün eğriliği tatmin edici oranda düzeltilebilmektedir (Kürkçüoğlu, 1957).

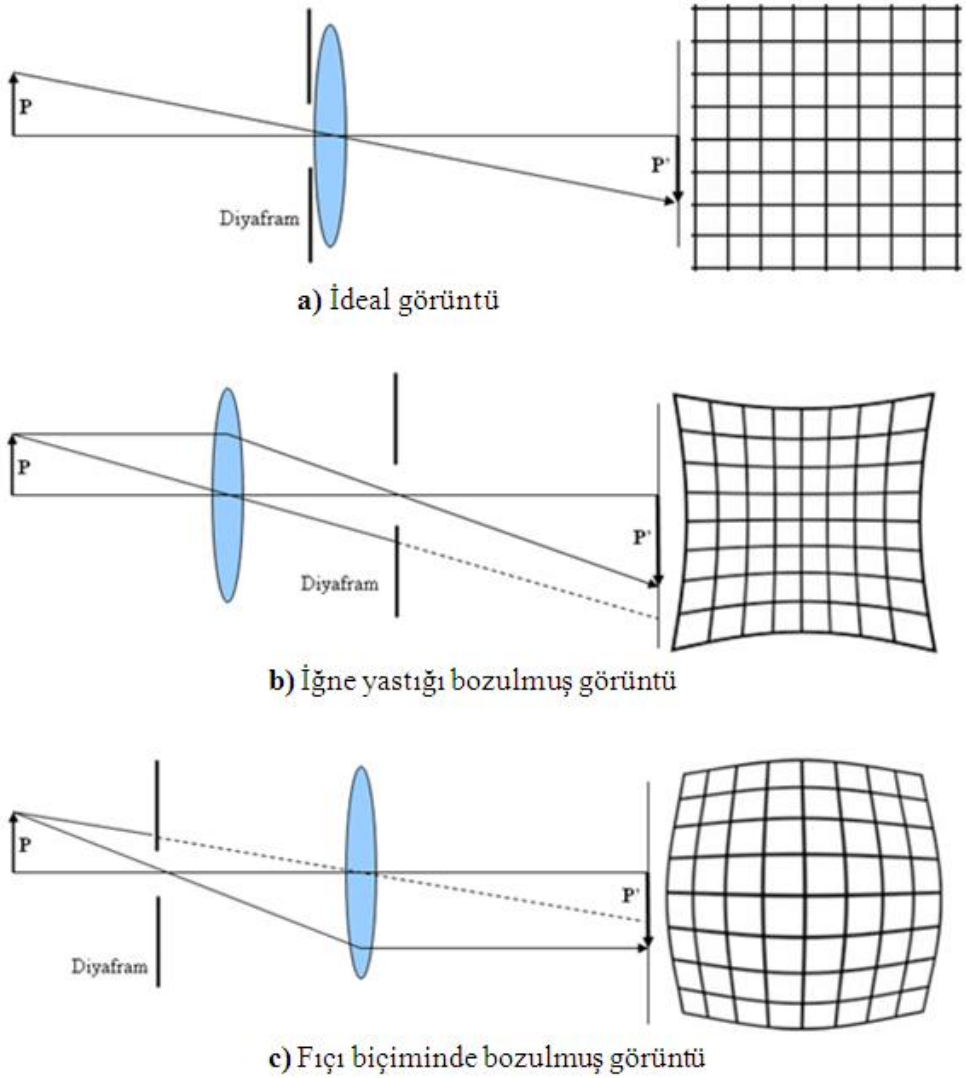
2.1.3. Distorsiyon

Merceklerin kenar (perifer) ve merkez kalınlıklarının, kırıcılık farklılıklarından kaynaklanan bir aberasyon türüdür. Bu duruma bağlı olarak ışığın merceğin periferinde, merceğin diyoptrik gücünden daha fazla kırınıma uğramasından dolayı, cisimlerin özellikle kenar kısımlarında belirginleşen şekil bozuklukları ortaya çıkmaktadır. Distorsiyonu tarif etmek için verilen en klasik örnek kare şeklindeki bir cismin görüntüsünün ince kenarlı merceklerde iğne yastığı şeklinde, kalın kenarlı merceklerde ise fıçı şeklinde görülmesi örneğidir. Şekil 2.4 ‘ de kare bir görüntüde meydana gelen distorsiyonlar gösterilmiştir (Özer, 2007).



Şekil 2. 4. Distorsiyon Oluşumu (Özer, 2007)

İnce kenarlı bir mercekte aberasyonun düzeltilmesi diyaframın bulunduğu konuma bağlıdır. Eğer diyafram mercek ile görüntü düzlemi arasına yerleştirilirse fıçı bozulma adı verilen bir bozulma meydana gelmektedir. Diyafram nesne ile mercek arasında bir yere yerleştirilir ise iğne yastığı adı verilen bir bozulma meydana gelmektedir. Şekil 2.5 ‘ de diyaframın bulunduğu konuma göre meydana gelen bozulma biçimleri gösterilmektedir.

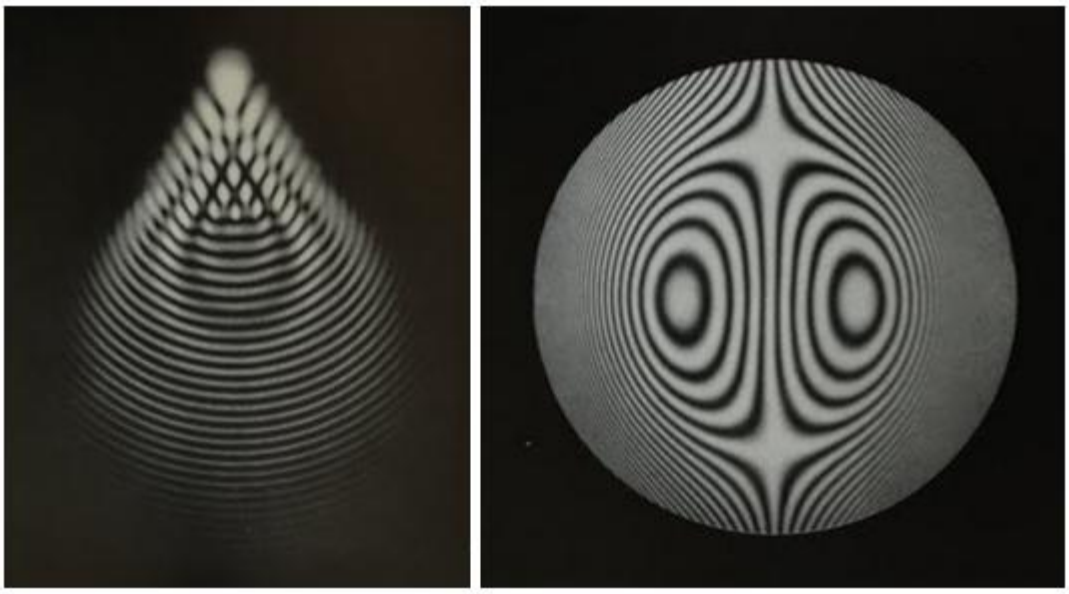


Şekil 2. 5. Diyaframın konumuna göre bozulma tipleri

2.1.4. Koma

Bir ışın demeti merceğe eğik geldiğinde ve görüntü asal eksenden uzakta oluştuğunda koma denilen tek renk kusuru ortaya çıkmaktadır. Başka bir ifade ile çok miktarda paralel ışık ışınlarının, mercek yüzeyine eğik gelmesi sonucu merceğin ürettiği bir aberasyon çeşididir. Koma, merceğin meridyenlerinde eşit olmayan ışık kırılmaları üretmektedir. Koma görüntüsü bir nokta görüntüsü yerine Şekil 2.6' da gösterildiği gibi bir armut biçiminde bulanık görüntü ortaya çıkarmaktadır. Görüntü optik eksen

üzerinde odaklandığında bu durum çok önemli değilken eğik gelen ışınlarda ve görüntü optik eksenden uzaklaştıkça bu aberasyon daha belirgin hale gelmektedir. Bu bozulma türünde merceğin eğimi de son derece önemlidir. Mercek eğiminin değişmesi ile bir ışık kaynağından gelen ışığın bir mercekle odaklandığı noktadaki görüntüsünde değişmektedir. Koma aberasyonun oluşmasında merceğin biçiminin ve ışığın geliş yönünün de büyük önemi vardır. Cisim sonsuzda ise koma etkisi dışbükey bir mercekle en aza indirilebilmektedir.

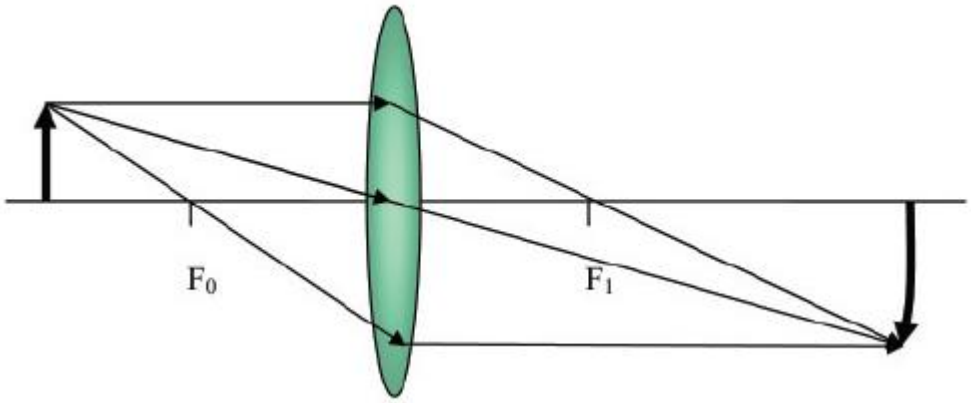


Şekil 2. 6. Koma aberasyon

2.1.5. Alan Eğriliği

Herhangi bir objenin her bir noktasının optik sisteme farklı uzaklıklarda olması nedeniyle farklı kırınımları söz konusu olabilmektedir. Buna bağlı olarak objenin optik sisteme yakın olan kısımları farklı, uzak olan kısımları ise farklı kırınıma uğramakta ve objenin şeklinde bir deformasyon oluşturabilmektedir. Oluşan bu deformasyona alan eğriliği adı verilmektedir. Alan eğriliği özelikle geniş hacimli cisimlerde daha belirgin olarak görülmektedir. Bu aberasyon optik sistemlerde ince kenarlı ve kalın kenarlı

merceklerin bir araya getirilmesi ile en aza indirilebilmektedir. F_0 ve F_1 ince kenar bir merceğin odak uzaklıkları olmak üzere, cismin yüzeyindeki farklılıklardan kaynaklanan alan eğriliği Şekil 2.7' de gösterilmektedir (Özer, 2007).

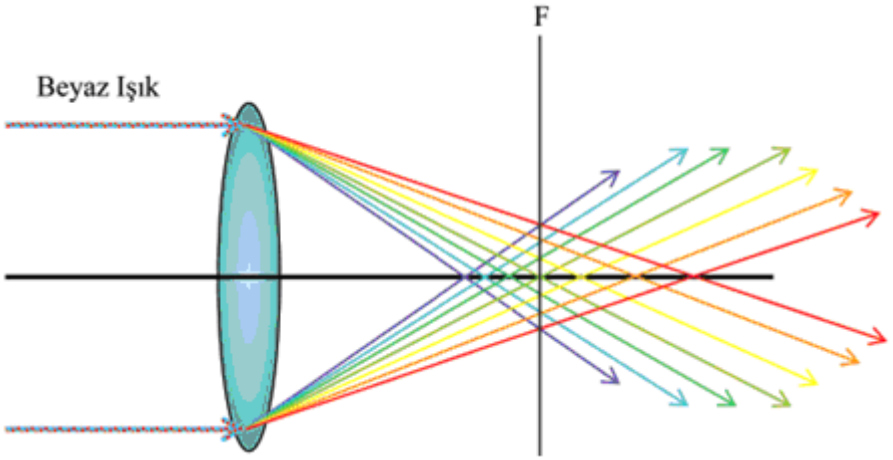


Şekil 2. 7. Alan eğriliğinden kaynaklanan bozulma (Özer, 2007).

2.1.6. Kromatik aberasyon

Merceklerde değişik dalga boyundaki ışıkların farklı oranda kırılması ile ortaya çıkan bir aberasyondur. Bir mercekte kırınıma uğrayan beyaz ışığın kendisini oluşturan dalga boylarına ayrılması bu aberasyonun bir sonucudur (Özer, 2007). Kromatik aberasyon, beyaz renkli ışık kullanıldığında görüntüdeki renklenmelerle kendini göstermektedir. Beyaz ışık, farklı dalga boyu ve farklı renklere sahip ışınların bir bileşimidir. Her bir ışın dalgalar halinde yayılan ve belli enerjiye sahip fotonlardan oluşmaktadır. İki dalganın en yüksek noktaları arasındaki mesafe dalga boyu olarak adlandırılmaktadır. Işık, kırıcılık katsayıları farklı olan saydam bir maddeden (hava) bir başka saydam ortama (cam) geçtiği zaman kırılmaktadır. Kırılma miktarı ışığın dalga boyuna bağlıdır. Dalga boyu ne kadar kısa ise kırılma da o kadar büyük açı ile meydana gelmektedir. Beyaz renkli ışığın bileşenlerine ayrılmasının sebebi, beyaz ışığı oluşturan değişik dalga boylarındaki ışınların değişik açılarda kırılmasıdır.

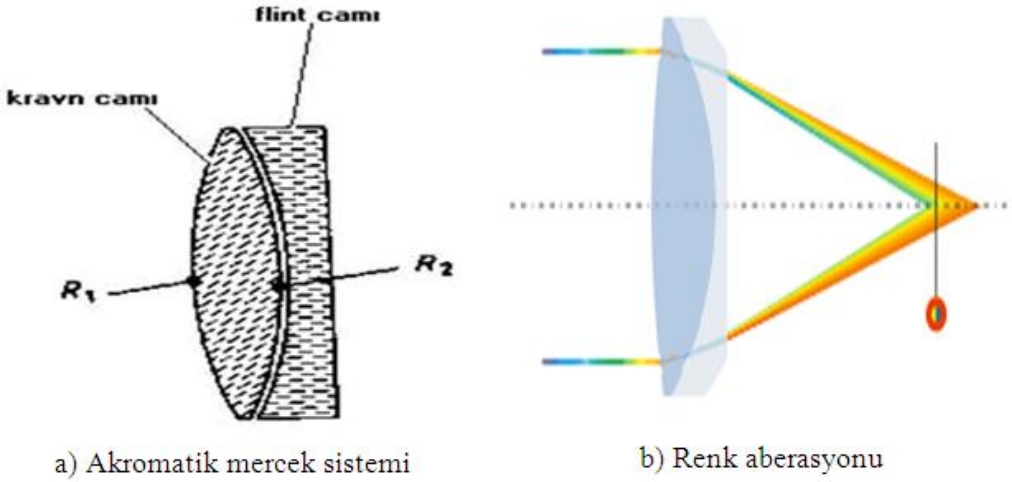
Kromatik aberasyon, merceği oluşturan malzemenin kırıcılık katsayısındaki değişimden veya aydınlatmayı yapan ışınımın dalga boyuna bağlı olarak ve aynı zamanda kullanılan optik materyallerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Merceğin odak uzaklığı da, kırılma indisine bağlı olduğundan, mercek üzerine düşen beyaz ışığın yedi renkli ışınları, mor renkten kırmızı renge doğru mercekten gittikçe uzaklaşan noktalarda odaklanırlar. Böyle görüntüler teleskop, mikroskop ve benzeri sistemlerde inceleme güçlüğünü ortaya çıkarmaktadırlar. Şekil 2.8' de gelen ışınların bir mercekten geçtikten sonra farklı renkler ve farklı odakların oluştuğu gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. Kromatik aberasyon (Özer, 2007)

Kromatik aberasyonların ortadan kaldırılması için iki ya da daha fazla sayıda mercek birleştirilmektedir. Birleştirilmiş bu merceklere akromatik mercek adı verilmektedir. Akromatik mercekler bitiştirilmiş ince kenarlı ve kalın kenarlı merceklerden oluşmaktadır. Merceklerin bitişik yüzlerinin eğrilik yarıçapları eşit olup, kalın kenarlı merceğin diğer yüzü düzdür. Genelde merceklerin birleştirilmesinde kalın kenarlı mercekte flint camı ve ince kenarlı mercekte kravn camı kullanılmaktadır. Mercekler ya birbirlerine yapıştırılmakta ya da sadece çok küçük bir uzaklıkla birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Fakat bu tür mercek sistemlerinde farklı dalga boylarındaki ışıklar ortak bir odak noktasına geldiklerinde yine de bir miktar renk kusuru meydana gelebilmektedir. R_1, kravn camı merceğinin diğer yüzünün yarıçapı ve R_2, flint merceği ile temas halinde olan kravn camından yapılan merceğin yüzeyinin yarıçapı olmak üzere bir akromatik mercek sisteminin görüntüsü Şekil 2.9–a' da ve

Şekil 2.9-b' de akromatik mercek sistemindeki renk aberasyonunun azaltıldığı gösterilmektedir.

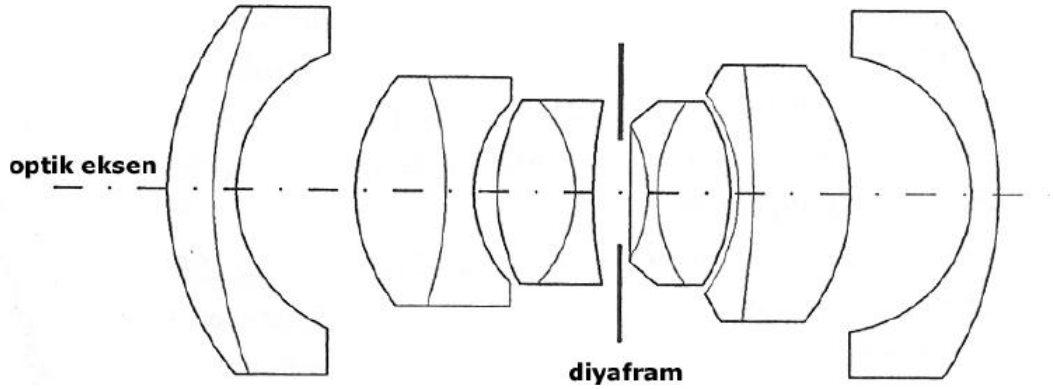


a) Akromatik mercek sistemi b) Renk aberasyonu

Şekil 2. 9. Akromatik mercek sistemi ve renk aberasyonu

2.2. Mercek Sistemleri

Işın bir ortamdan başka bir ortama geçtiği için bir takım kırılmalara uğramakta ve aberasyonlar meydana gelmekte idi. Meydana gelen görüntü aberasyonları tek bir mercek ile düzeltilememektedir. Bu nedenle optik bir eksen üzerine yerleştirilmiş farklı yapılarda ve asimetrik merceklerden oluşan bir mercek sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Merceklerin asimetrik yapıda olması, elde edilecek görüntüdeki aberasyonların en az seviyede olmasını sağlayacaktır. Görüntünün daha net hale getirilmesi için ise diyaframdan faydalanılmaktadır. Diyafram, Şekil 2.10' da gösterildiği gibi mercek sisteminin her zaman ortasında yer almak zorunda değildir. Amaca uygun olarak tasarlanacak bir mercek sisteminin uygun görülen herhangi bir yerine yerleştirilebilmektedir.



Şekil 2. 10. Bir mercek sistemi

Günümüzde mercek sistemlerinin en çok kullanıldığı yer mikroskoplar, teleskoplar, sayısal fotoğraf makineleri v.b. optik görüntü elde etme aygıtlarıdır. Özellikle fotoğraf makineleri günlük hayatımızın vazgeçilemez bir aygıtıdır. Fotoğraf makineleri, önünde bulunan ve bir konunun tüm noktalarının film üzerine düşmesini sağlayan mercek ya da mercekler gurubundan oluşan sisteme objektif adı verilmektedir. Başka bir ifade ile objektif, çekilecek nesneden gelen ışıkları toplayarak ışığa duyarlı film üzerine net düşmelerini saylayan mercekler topluluğudur. Fotoğraf makinesinin en önemli parçasıdır. Objektif, fotoğraf makinesinin karşısında bulunan konunun bütün noktalarını, film üzerine yansıtmak ile görevlidir. Objektifler, merceklerle aynı prensiple çalışmalarına rağmen, çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Birçok elemandan oluşmuş mercek grupları bir araya getirilmiştir. Bu mercek gurupları, merceklerde ışığın kırılmasından dolayı doğacak hataları telafi edilmesi için kullanılmakta fakat tam anlamıyla düzeltme yapılamamaktadır. Şekil 2.11' de görüntü elde edebilmek için kullanılan Minolta marka AF 17-35/3.5 G modeline ait bir objektif ve içyapısı gösterilmektedir.



Şekil 2. 11. Minolta AF 17-35/3.5 G objektifi ve içyapısı

Günümüzde kullanılan sayısal fotoğraf makineleri, bir objektif tarafından yakalanan görünür alanı, üzerinde bulunan sensörler (görüntü algılayıcı) aracılığı ile elektronik sinyallere dönüştürmektedirler. Sayısal fotoğraf makineleri, CCD (Charge Coupled Device - Alıcı- Toplayıcı Parça) veya CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor - Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken) adı verilen görüntü algılayıcılar kullanılmaktadır. Bu algılayıcılar ışığa duyarlı ve hassas arabirimlerdir. Sayısal bir fotoğraf makinesinde bu algılayıcılardan sadece bir tanesi yer almaktadır. Temel görevleri objektifler tarafından üzerlerine düşen (ya da odaklanan) ışığı elektronik sinyallere dönüştürmek ve işlenmek üzere makinenin üzerindeki işlemcilere göndermektir. Objektifler tarafından yakalanan görünür alan ışınları, CCD veya CMOS algılayıcıları üzerine düşürülmektedir. Bu algılayıcılar elektronik film görevi görmektedirler. CCD ve CMOS algılayıcıları üzerinde yer alan sensörler aracılığı ile düşen ışık, RGB (Red - Kırmızı, Green - Yeşil, Blue - Mavi) temel sayısal renk

değerlerine ayrılmaktadır. Bu temel renklerle, çekilen konunun görüntüsü oluşturularak makinenin dahili işlemcisine aktarılmaktadır. İşlemci üzerinde işlenen sinyaller bilgisayarın anlayabileceği resimler haline dönüştürülmektedir. Görüntü algılayıcılar, sayısal fotoğraf makinesi seçimi yapılırken dikkate alınması gereken önemli parçalardan biridir. Her ne kadar tek başlarına belirleyici bir etken olmasa da görüntü kalitesi üzerinde önemli etkileri vardır. Bu etki, CCD veya CMOS' un büyüklüğü ile ilgilidir. Ortalama sayısal bir fotoğraf makinesinin CCD veya CMOS algılayıcı büyüklüğü 24x36 mm ' dir. Bu büyüklük arttıkça birim başına düşen sensör sayısı arttığı için görüntü kalitesi de artmaktadır. Örneğin, 8MP bir sayısal fotoğraf makinesi üzerinde, 2448 x 3264 yani yaklaşık 8 milyon adet mini sensör bulunmaktadır.

Objektifler, bir görüntüleme sisteminin tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Objektifler, görüntüleyici aygıtta oluşacak olan resmin boyutunu, şeklini ve netliğini doğrudan etkilediğinden objektif seçimi oldukça önemlidir. Bir sayısal fotoğraf makinesinin görüntüleyebileceği alan, makine algılayıcısının büyüklüğü, objektifin odak uzaklığı ve cismin objektiften olan uzaklığına bağlıdır. *b* algılayıcı genişliği, *D* görüntüsü istenilen nesneye olan mesafe ve *B* görüntülenecek alanın genişliğini temsil etmek üzere, odak uzaklığı denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

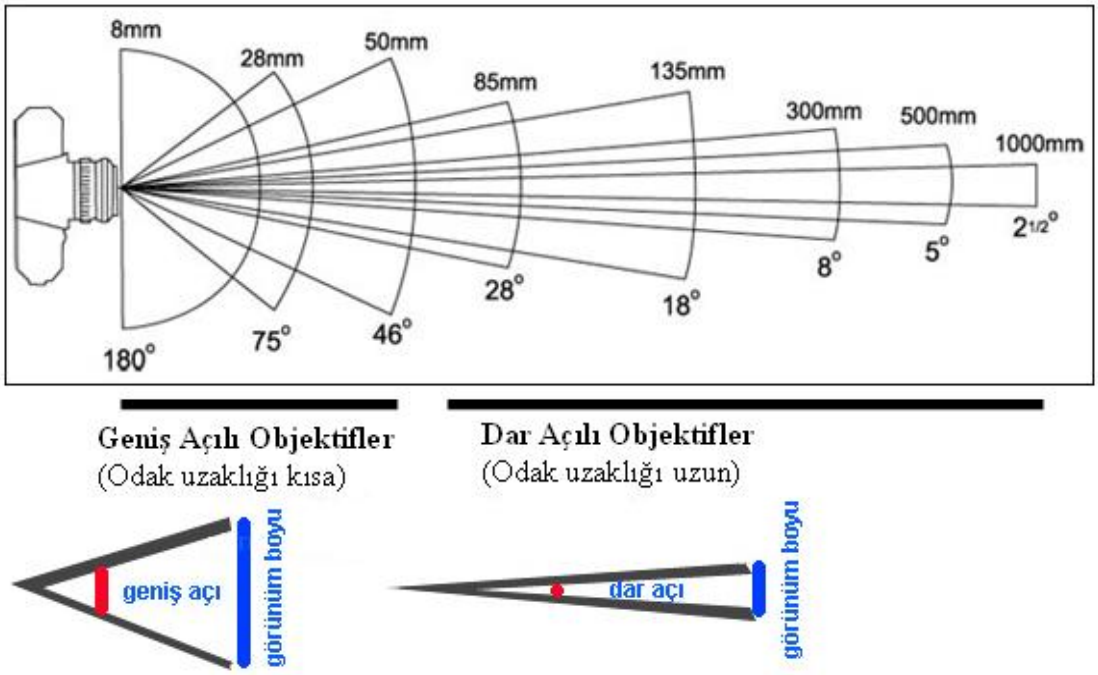
$$f = b(D/B) \tag{2.1}$$

Odak uzaklığı, görüntü algılayıcı ile objektifin optik merkezi arasındaki mesafedir ve bu değer objektifler üzerinde milimetre cinsinden yazılmaktadır. Odak uzaklığı arttıkça objektifin görüş açısı daralmaktadır. Objektifin film ya da sensör yüzeyine aktardığı görüntünün sınırlarının görüntü merkezinde yaptığı açı görüş açısı olarak adlandırılmaktadır. Görüş açısı odak uzaklığı ile ters orantılıdır. Yani odak uzaklığı arttıkça görüş açısı azalmaktadır. Başka bir ifade ile odak uzaklığı büyüdükçe, görüntüsü alınan nesne daha yakın görünmektedir. Odak uzaklığı küçüldükçe, çevre daha geniş bir açıyla görülebilmektedir. Çizelge 2.1' de odak uzaklığına bağlı olarak değişen ortalama görüş açısı değeri gösterilmektedir.

Çizelge 2. 1. Odak uzaklığı ve görüş açısı ilişkisi

Odak Uzaklığı (mm)	Görüş Açısı (derece)
8	180
28	75
50	46
85	28
135	18
300	8
500	5
1000	2.5

Odak uzaklığı küçüldükçe elde edilen görüntü bombeli olurken, odak uzaklığı büyük olan objektiflerde daha düz bir sayısal görüntü elde edilebilmektedir. Şekil 2.12' de odak uzaklığı ile görüş açısı arasındaki değişim gösterilmektedir.



Şekil 2. 12. Odak uzaklı ve görüş açısı arasındaki değişim

Herhangi bir nedenle bozulmaya uğramış bir görüntünün mercek sistemleri kullanılarak düzeltilmesi oldukça maliyetlidir. Çünkü optik kusuru bilinen her görüntü için yeniden bir mercek sisteminin tasarlanması ve görüntü bozulmalarının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, özellikleri bilinmeyen herhangi bir mercek sistemindeki optik kusurlar nedeniyle bozulmuş görüntülerin önemli ayrıntıları, görüntü

işleme teknikleri kullanılarak düzeltilmektedir. Ölçülmüş veya kaydedilmiş olan sayısal görüntü verilerini, elektronik ortamda bilgisayar ve yazılımlar yardımı ile amaca uygun şekilde değiştirmeye yönelik yapılan bilgisayar çalışmasına "görüntü işleme" adı verilmektedir (Asmaz, 2006). Görüntü işleme teknikleri yardımıyla, bozulmuş görüntüler üzerinde önemli olduğu düşünülen bölgelerde düzeltme yapıldığından zaman ve maliyet açısından önemli kazançlar elde edilmektedir.

Günümüzde görüntü işleme, tıptan yer bilimlerine kadar değişik birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca görüntü işleme ve teknikleri, hem akademik hem de endüstriyel alanlarda çok önemli bir yere sahip olmuştur. Görüntü işleme genellikle görüntü algılama ve görüntü analizi olarak iki safhada incelenmektedir (Nagy, 2000; Junker ve ark., 1999). Görüntü analizi, bir görüntünün fiziksel düzeninin genel yorumunu yapmaktadır. Görüntü algılama ise, sayısal görüntü işleme teknikleri kullanarak görüntülerden anlamlı bilgiler çıkarılmasını sağlamaktadır. Örneğin herhangi bir barkodun okunması veya görüntüden yüz tanıma yaparak kişinin kim olduğu bilgisinin tespiti görüntü algılama kapsamında ele alınmaktadır. Görüntü analizi, görüntü algılamanın ilk adımı olarak kabul edilmektedir.

Günümüze kadar yayınlanan bildiri ve makalelerde elde edilen görüntülerin bir tarayıcı ile elde edildiği görülmüştür. Buna bağlı olarak geçmişte yapılan ilk çalışmaların çoğu tarayıcı ile elde edilen görüntülerde meydana gelen ve açısal bozulma olarak adlandırılan bozulmalar üzerine odaklanmıştır. Yani herhangi bir belgenin tarayıcıya düzgün yerleştirilememesinden kaynaklanan bozulmaların nasıl düzeltileceği üzerinde durulmuştur. Perspektif ve geometrik bozulmaların sayısal bir fotoğraf makinesi ile nadiren elde edildiği kabul edilmektedir. Fakat son yıllarda, birçok araştırmacının, sayısal fotoğraf makinesi kullanarak elde edilen görüntülerdeki perspektif ve geometrik bozulmaların düzeltilmesi üzerindeki çalışmaları dikkate değerdir. Yapılan bu çalışmalar bozulma türlerine göre üç başlık altında gruplandırılarak aşağıda anlatılmıştır.

2.3. Açısal Bozulma İle İlgili Literatür Araştırması

Açısal bozulma, özellikle optik karakter tanıma sistemlerinde evrensel bir sorun olarak kabul edilmiştir. Bir dokümanın tarayıcıya yerleştirilmesi sırasında ilgili dokümanın yanlış yerleştirilmesi veya tarayıcının mekanik rulosunun hızından dolayı 1^0 ile 3^0 arasında eğik görüntü elde edilmesi beklenen bir durumdur. Bazı durumlarda eğim açısı 10^0 ye kadar ulaşabilmektedir. Eğim açısı $2\text{-}3^0$ ye ulaştığında optik karakter tanıma sisteminin doğru çalışma oranı azalmaktadır. Eğim açısı 5^0 den daha büyük olduğunda karakter tanıma sonucu kabul edilemez bir hale gelmektedir. Bu nedenle açısal düzeltme işlemi optik karakter tanıma ve benzeri sistemlerde son derece büyük öneme sahiptir (Kwag, 2002).

Son 15 yılda açısal düzeltme üzerine çok sayıda bilimsel çalışma yapılmış ve farklı çalışma teknikleri geliştirilmiştir. Bu çalışma teknikleri O'Gorman tarafından Hough dönüşüm temelli yaklaşımlar, projeksiyon profili temelli yaklaşımlar ve en yakın komşu temelli yaklaşımlar olmak üzere üç kategoride toplanmıştır (O'Gorman, 1993). Projeksiyon profili, bir belge de paralel çizilen iki çizgi arasında yer alan siyah piksellerin sayısının bir histogramıdır. Bu histogram yatay ve dikey olarak oluşturulabilmektedir. Yatay projeksiyon profili, paralel iki çizgi arasındaki siyah piksel sayısı ile ifade edilmektedir. Dikey projeksiyon profilinde ise, ilgili satırda yer alan siyah piksel sayısı ile elde edilmektedir. Yatay ve dikey projeksiyon profillerine ait örnek bir gösterim Şekil 2.13' de gösterilmektedir.



Şekil 2. 13. Projeksiyon Profili histogramları (Zramdini ve Ingold, 1993)

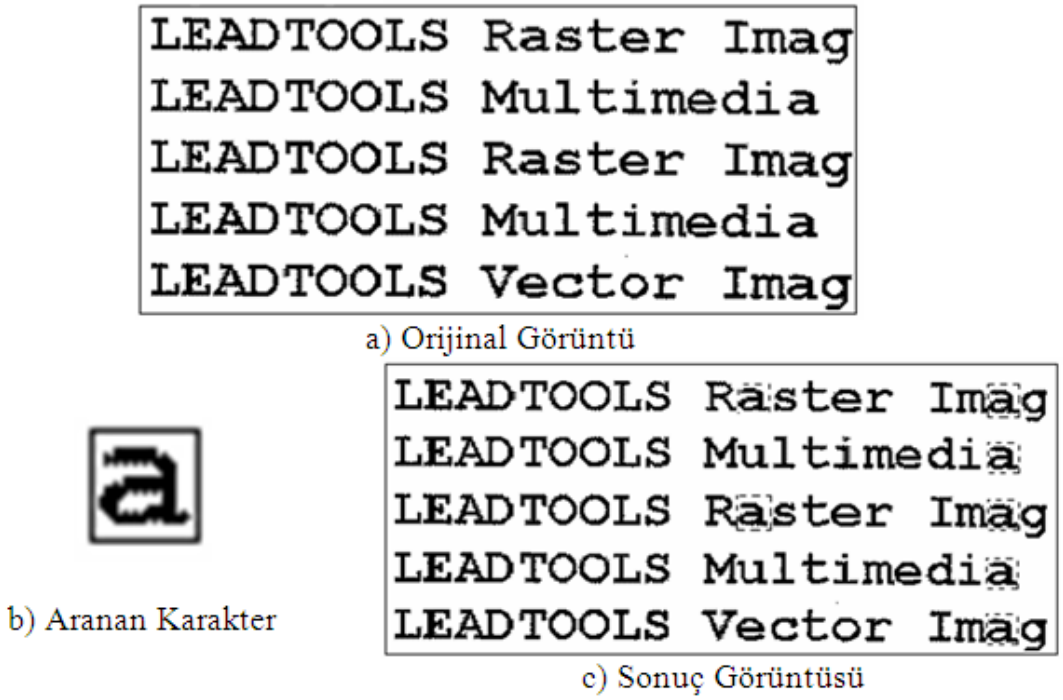
En yakın komşu temelli yaklaşımlarda ise, birbirlerine yakın olan noktalar yön vektörleri ile işaretlenmektedir. Yön vektörleri ve birbirlerine komşu olan noktalar

arasında kalan alan karakterin bulunduğu alanı işaret etmektedir. Ardından renk histogramı kullanılarak eğim açısı hesaplatılmaktadır. Hough dönüşümü, sayısal görüntü işlemede, bilgisayarlı görme ve görüntü analizinde kullanılan bir özellik çıkarma tekniğidir. Bu tekniğin amacı, görüntü içerisinde var olan şekillerin belli bir sınıf içerisinde örneklerini bulmaktır. Bu yöntemler genellikle açısal bozulmaya uğramış belge görüntülerinin düzeltilmesinde kullanılmaktadır.

Başka bir çalışmada ise, açısal bozulmaya uğramış belge görüntüleri, meydana gelen bozulma tiplerine göre küresel eğrilme, çoklu eğrilme ve homojen dağılmayan metin satırı eğrilikleri olmak üzere üç sınıfta toplanmıştır. Küresel eğrilme işleminde, belge üzerindeki bütün paragraflar, paragrafın başladığı sol üst köşeden başlayarak paragrafın bittiği sağ alt köşeye olmak üzere dörtgen bloklar haline getirilmektedir. Küresel eğrilme, elde edilen bu belge bloklarının içerisinde yer alan her metin satırındaki bükülmelerin aynı yönde olması ile meydana gelmektedir. Çoklu eğrilme, bazı metin blokların diğer bloklardan daha farklı bir eğrilik oluşturması durumunda meydana gelmektedir. Homojen dağılmayan metin satırı eğriliklerinde ise, yine birbirinden farklı metin blokları içerisinde yer alan belli bir takım satırlardaki dalgalanmaların olması durumunda ortaya çıkan bir bozulma biçimidir (Okun ve ark., 1999).

Optik karakter tanıma sistemleri için son derece önemli olan bir diğer konu belgelerin eğrilik tahminlerinin yapılmasıdır. Eğrilik tahminlerinin yapılabilmesi için kolerasyon temelli teknikler ve Fourier dönüşüm temelli yaklaşımlar olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Kolerasyon, İki ayrı veri grubu arasında bulunan ilişki derecesinin ölçümüne denir. Kolerasyon temelli yaklaşımlar, iki görüntü arasındaki ilişkinin bulunmasında ya da bir görüntünün içerisinde önemli bir bilginin aranmasında kullanılmaktadır. Görüntü korelasyonunun amacı sayısal görüntü üzerindeki benzer noktaların belirlenmesidir. Bu amaçla ilk görüntü üzerinde bir A referans matrisi ile ikinci bir görüntü üzerinde daha büyük bir boyutta B arama matrisi tanımlanmaktadır. Daha sonra referans matris ile arama matrisi içindeki, referans matris boyutundaki her alt matris arasında bir korelasyon katsayısı hesaplanmaktadır. Açısal bozulmaya uğramış belge görüntülerinde genellikle karakterlerin eğim derecelerinin

hesaplanmasında kullanılmaktadır. Şekil 2.14 ‘ de bir görüntü içerisinde benzer bir karakterlerin kolerasyon yardımı ile nasıl elde edildiği gösterilmektedir.

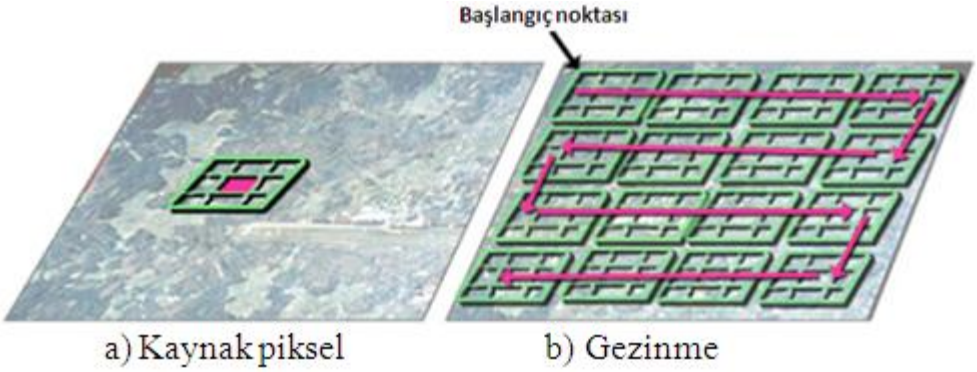


Şekil 2. 14. Kolerasyon yardımı ile benzer karakterlerin bulunması

Fourier dönüşümü, görüntü ve sinyal işlemede önemli ölçüde kullanılan yöntemlerden biridir. Fourier dönüşümü bir görüntünün frekans değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Frekans elde edilirken renk değişimleri dikkate alınmaktadır. Eğer bir görüntüdeki frekans değeri yüksek ise görüntüde keskin renk değişimlerin olduğu sonucuna varılmaktadır. Eğer frekans genel olarak az ise, görüntü üzerinde renk değişimlerinin az olduğu kabul edilmektedir. Fourier dönüşümü yöntemleri aracılığı ile elde edilen frekanslar, bozulmuş belge görüntüleri içerisindeki karakterler hakkında önemli ölçüde bilgi edinilmesine olanak sağlamaktadır.

Bir tarayıcıdan taranan görüntü belgelerindeki eğri metin satırlarının düzeltilmesi için bir yöntem Yan tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, sabit bir mesafe ile görüntüdeki iki satır arasında çapraz kolerasyon uygulanarak çapraz kolerasyon katsayısı elde edilmektedir. Çapraz korelasyon katsayısı, iki serinin aynı ya da ters yönde ama zaman içinde beraber hareket edip etmediğini incelemekte kullanılan en

basit istatistiki ölçüdür (Yiğit, 2005). Görüntü işlemede karşılıklı iki nokta arasındaki benzerliğin hesaplanması amacı ile kullanılmaktadır. Önerilen yöntemde, çapraz kolerasyon katsayısının hesaplanması için önceden belirlenen karakterler piksel piksel bütün görüntü boyunca gezdirilmektedir. Şekil 2.15' de örnek bir gezinme biçimi gösterilmektedir.



Şekil 2. 15. Çapraz kolerasyon için gezinme örneği (Öztürk ve Koçak, 2007)

Yöntemde gezinme işlemi sütunlarda yapılmaktadır. Gezinme sırasında aranan ifadenin sağındaki ve solundaki karakterler arasındaki ilişkiye bakılmaktadır. Her bir konum için kendisinden önceki ve sonraki karakterler ile eşleştirilerek aralarındaki ilişki fonksiyonları belirlenmektedir. Fonksiyonun belirlenmesi sırasında eğimin meydana geldiği yönde belirlenmektedir. Görüntüdeki her satır için elde edilen kolerasyon fonksiyonları toplanmaktadır. Toplanan çapraz kolerasyon fonksiyonun almış olduğu maksimum değer eğrilik açısını ifade etmektedir. Ayrıca, çapraz korelasyon fonksiyonunun maksimum değeri, kaynak ve hedef arasındaki en iyi eşleme durumunu ifade etmektedir. Eğimin açısı ve eğimin yönü belirlendikten sonra piksel değerleri eğimin tersi yönünde taşınarak düzeltme işlemi tamamlanmaktadır (Yan, 1993).

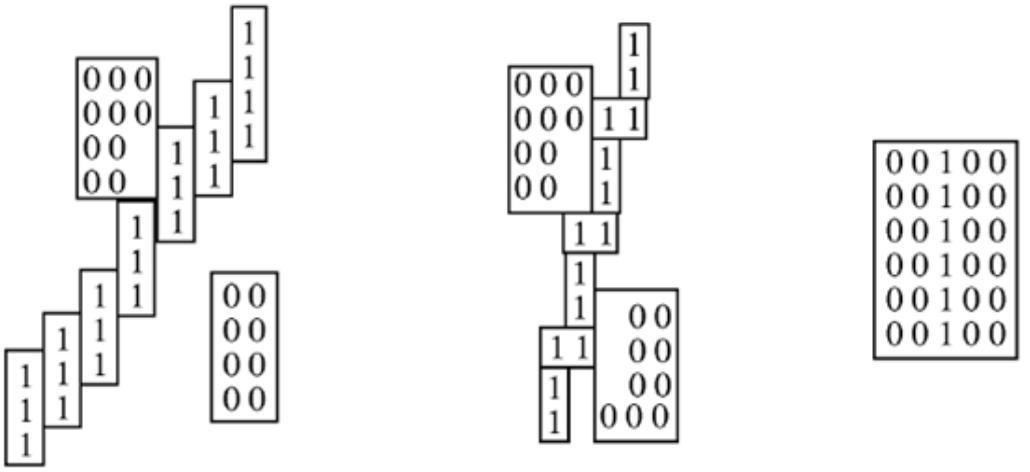
Açısal bozulmaya uğramış görüntülerin düzeltilebilmesi için metin satırlarından faydalanabilmek mümkündür. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için metin satırlarının pozisyonlarının tanımlanması ve satır eğriliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sayısal görüntülerde metin satırlarının pozisyonlarının tanımlanması ve satırların eğriliğinin algılanması için Gatos ve arkadaşları tarafından bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem, bir görüntü belgesinde dikey çizgilerin pikselleri arasında çapraz kolerasyon

uygulamaktadır. Metin eğriliğinden dolayı, her bir yatay satırı, yatay olmayan pozisyonlardaki önceden tanımlı dikey satır dizisi ile kesişmektedir. Yöntemde, yatay ve dikey metin satırlarının kesiştirilmesi, eğrilme açısının yüksek doğrulukta tespit edilmesi ve değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Kolerasyon matrisinin oluşturulması içinde sadece dikey çizgiler üzerindeki pikseller kullanılmaktadır. Ek olarak, aynı matris belgedeki metin satırlarının konumlarının hesaplanması içinde kullanılmaktadır. Bu yöntemin çok daha verimli çalışabilmesi için bozulma açısının algılanabilir sınırlar içerisinde olması gerekmektedir (Gatos ve ark., 1997)

Görüntü işleme uygulamalarının büyük bir çoğunluğu gri tonlu görüntüler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bunun en temel nedeni bit derinliğinin az olması ve yoğun işlem gerektiren uygulamaların işlem yükünün azaltılmasından ileri gelmektedir. Optik karakter tanıma sistemlerinde kullanılmak üzere, eğim açısının belirlenmesi ve düzeltme işleminin gerçekleştirilmesini sağlayan bir yöntem Chen ve Ding tarafından önerilmiştir. Yöntem, gri renkli görüntüler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem, Yan tarafından önerilen çapraz kolerasyon eğri algılama algoritmasının iyileştirilmiş halidir. Yöntem Çince ve Japonca belgeler üzerinde uygulanmıştır. Bunun en temel nedeni, Çince ve Japonca belgelerin yapısı gereği yatay ve dikey çapraz kolerasyonun aynı anda uygulanmasına olanak sağlamasıdır. Ayrıca yöntemde, tüm görüntü için kolerasyon değerlerini hesaplamak yerine, işlem hızını arttırmak için görüntü üzerinde rastgele küçük bölgelerin seçilmesi tercih edilmiştir (Chen ve Ding, 1999).

Hull tarafından önerilen yöntemde, açısal bozulmuş bir belgenin bozulma açısı tespit edilmeye çalışılmış ve açısal düzeltme işlemi uygulanmıştır. Yöntem dört adımdan oluşmaktadır. Bunlar, yatay projeksiyon profilinden belge eğim açısının hesaplanması, karakter konumlarından nokta dağılımlarının elde edilmesi, Hough dönüşümü veya eğim yönünün belirlenerek düzeltilmiş görüntünün oluşturulabilmesi için duyarlı bir maskelemenin oluşturulması adımlarından oluşmaktadır. İlk adımda yatay projeksiyon profili kullanılarak mevcut belge görüntüsünün eğim açısı tespit edilmektedir. Nokta dağılımlarının elde edilmesi aşamasında, belge görüntüsü üzerinde birbiri ile bağlantılı x-y koordinatlarındaki siyah noktalar yardımı ile tek bir histogram elde edilmektedir. Ayrıca histogram yardımı ile siyah değere sahip karakter pikselleri

gruplandırılmaktadır. Sonraki hesaplamalarda bu histogramdan faydalanıldığından belleğe erişimlerin sayısı önemli ölçüde azaltılmaktadır. Hough dönüşümü, sayısal görüntülerde düz çizgilerin ve eğrilerin algılanmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde beyaz piksellerden siyah piksellere geçiş bölgelerindeki noktalar aracılığı ile karakterlerin kenar sınırlarının belirlenmesini sağlamaktadır. Son adımda ise eğim yönünün belirlenmesi için bir maske oluşturulmaktadır. Bu adım hough dönüşümünün hesaplama yükünü azaltmak için kullanılabilmektedir. Prensip olarak beyaz noktalar 0 siyah noktalar ise 1 olarak kabul edilerek Şekil 2.16' da gösterildiği gibi bir maske aracılığı ile eğim açısı ve yönü elde edilmektedir (Hull, 1998).



Şekil 2. 16. Maske kullanılarak eğim açısının tespit edilmesi

Açısal bozulmaya uğramış bir belge görüntüsünün düzeltilebilmesi eğim açısının bilinmesi ve eğim yönünün belirlenmesi ile mümkündür. Açısal bozulmaya uğramış herhangi bir belge görüntüsünün eğim açısı bilinmediğinden bunun bazı yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. Okun ve arkadaşları yüksek çözünürlüğe sahip belge görüntülerinde eğim açısının tahmin edilmesini sağlayan bir yöntem önermişlerdir. Yöntemde eğim açısının algılanabilir sınırlar içerisinde olduğu varsayılmıştır. Bu algılanabilir sınır genellikle 0-179^0 olarak kabul edilmektedir. Yöntem, görüntü çözünürlüğünün azaltılması, elde edilen düşük çözünürlüklü görüntüde birbirine bağlı bileşenlerin algılanması, bulanık mantık kullanarak bileşenlerin sınıflandırılması ve eğim açısının tahmini olmak üzere dört adımdan oluşmaktadır. İlk adımda daha hızlı

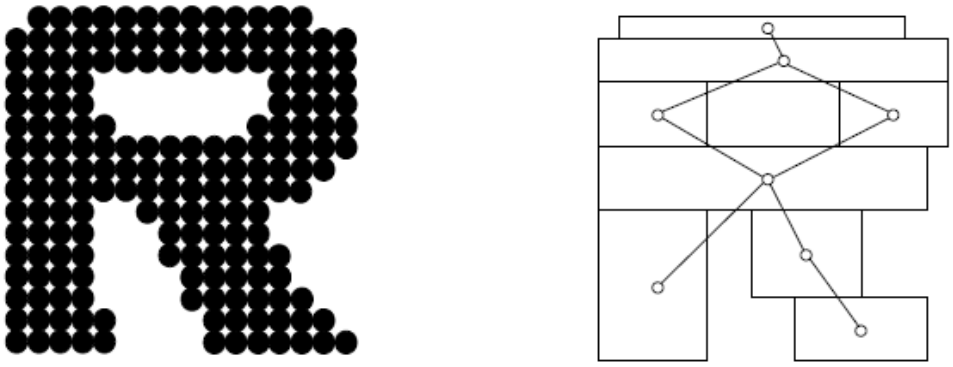
işlem yapılabilmesi için yüksek çözünürlükteki görüntüler sıkıştırılmaktadır. Sonraki adımda elde edilen düşük çözünürlükteki görüntülerde birbirlerine bağlı bileşenlerin algılanması sağlanmaktadır. Algılama işlemi, yatay ve dikey sütunlardaki komşu siyah piksellerin birbirlerine bağlanmasıyla giderek büyüyen bir yapı aracılığı ile elde edilmektedir. Bu işlem aracılığı ile her karakterin alan ve çevresi belirlenmiş olmaktadır. Üçüncü adımda bulanık mantık aracılığı ile bir önceki adımda elde edilen veriler aracılığı ile karakterlerin sınıflandırılması sağlanmaktadır. Sınıflandırılan karakterlerde projeksiyon profili yöntemi uygulanarak eğimin yönü ve X ekseni ile yapmış olduğu açı tespit edilmektedir (Okun ve ark., 1999).

Açısal bozulmaya uğramış belge görüntülerinin optik karakter tanıma sistemleri gibi uygulamalarda verimli çalışabilmesi için eğim açılarının tespit edilip düzeltilmesi gerekmekte idi. Belge eğim açısının ve belgedeki satır aralıklarının tespit edilerek karakterlerin otomatik bölütlenmesini sağlayan Hough dönüşüm temelli bir yöntem Hind ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Yöntemde belge boşluklarının tespit edilmesi ve karakterlerin bölütlenmesi, gerekli hesaplamaların sadece bu bölgelerde yapılmasına olanak sağladığından işlem yükünü azaltmaktadır. Yöntemde, satırlar arasındaki boşluğun tespit edilebilmesi için Fourier dönüşümü kullanılarak frekans grafiği elde edilmektedir. Elde edilen grafikteki frekansın düşük olduğu bölgeler satır boşluklarına denk gelmektedir. Metin bölgeleri tespit edildikten sonra Hough dönüşümü uygulanmaktadır. Hough dönüşümü ile Fourier dönüşüm grafiğinde frekansın yüksek olduğu bölgelerde yer alan karakterlerin sınırları belirlenmektedir. Satır ve sütundaki en yüksek ve en düşük noktalar karakterin sınırlarını işaret etmektedir. En son adımda yatay ve dikey projeksiyon profili histogramları aracılığı ile eğim açısı belirlenmektedir(Hinds ve ark, 1990). Yöntemin Hough ve Fourier gibi dönüşlerini birlikte kullanması hesaplama karmaşıklığını da beraberinde getirmesinden dolayı uygulanması oldukça güçtür.

Görüntü işleme uygulamalarında işlem yükünü azaltmasından dolayı genellikle gri görüntüler tercih edilmektedir. Fakat bazı uygulamalarda ikili (siyah beyaz) görüntülerde hızlı işlem yapılmasına olanak verdiğinden kullanılabilmektedir. Le ve arkadaşları, bir sayfanın yatay/dikey olduğunu ve eğrilik derecesini algılatabilmek için

ikili görüntüleri kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemde sayfa yönlendirme algoritması kullanılmıştır. Sayfa yönlendirme, belge görüntüsü içerisinde yer alan bölgeler üzerinde yerel analizler yapılarak gerçekleştirilmektedir. Yerel analizler, ikili görüntüdeki siyah pikseller kullanılarak yapılmaktadır. Yöntemin ilk aşamasında görüntü renkli bir görüntü ise ikili görüntüye çevrilmektedir. Sonraki adımda yatay ve dikey projeksiyon profil histogramları çıkarılarak tek boyutlu bir dizi elde edilmektedir. İkili görüntünün yatay projeksiyon profili sütunlardaki siyah piksellerin toplamına, dikey projeksiyon profilinde ise satırlardaki siyah piksellerin toplamına karşılık gelmektedir. Bir sonraki adımda yatay ve dikey histogramların kareleri toplamı ve varyansları elde edilmektedir. Böylelikle siyah piksellerin yoğunlaştığı bölgeler tespit edilerek sayfanın eğim yönü belirlenebilmektedir. Ayrıca siyah piksellerin yoğunlaştığı bölgeler, karakterlerin bulunduğu alanları işaret etmektedir. Projeksiyon profilleri kullanıldığından karakterlerin sınırları da tespit edilebilmektedir. Karakter sınırlarının x ve y eksenleri ile yapmış oldukları açı ise eğim açısının belirlenmesini sağlamaktadır. Elde edilen eğim açısı oranında önceden tespit edilen eğim yönünün tam tersi yönünde görüntü döndürülerek düzeltme işlemi tamamlanmaktadır. Yöntem çoğunlukla tıp çalışmalarında kullanılmıştır(Le ve ark., 1994).

Yu ve Jain tarafından Hough dönüşüm tabanlı hızlı bir eğri algılama algoritması önerilmiştir. Önerilen bu yöntem teknik makalelerde dahil olmak üzere, el yazısı, formlar, çizimler ve barkodlar gibi çeşitli belge görüntüleri üzerinde eğimi tespit etme yeteneğine sahiptir. Bir resim veya belge 50 dpi çözünürlükte fotokopi ile taratıldığında siyah kenar boşlukları oluşabilmektedir. Yöntem bu çözünürlükte oldukça verimli sonuçlar vermektedir. Algoritma iki adımdan oluşmaktadır. İlk adımda graf veri yapısı kullanılarak birbiri ile bağlantılı bileşenlerin ağırlık merkezleri belirlenir. Birbirleri ile bağlantılı bileşenler belirlenirken yine Yu ve Jain tarafından önerilen BAG (Block adjacency graph - blok komşuluk grafı) algoritması kullanılmaktadır (Yu ve Jain, 1996). Algoritmada ilk olarak görüntü ikili görüntüye dönüştürülmektedir. İkili görüntüde siyah piksel değerleri 1 ile ifade edilmektedir. Birbirleri ile komşu olan siyah pikseller seçilerek bloklar haline getirilmektedir. Ardından her bir bloğun ağırlık merkezi belirlenmektedir. Şekil 2.17’ de bir karakter ve bu karaktere ait blok komşuluk grafı gösterilmektedir.



Şekil 2. 17. Bir karakter ve blok komşuluk grafı (Yu ve Jain, 1996)

İkinci adımda, ağırlık merkezleri belirlenen bloklara Hough dönüşümü uygulanmaktadır. Elde edilen Hough uzayında en yüksek tepe noktası eğim açısına karşılık gelmektedir. Algoritma, bazı görüntülere karşı duyarlı değildir. Örneğin 50 dpi çözünürlükteki ve A4 boyutundaki bir görüntü belgesinin (özellikle 413 x 575 piksel) eğim açısının hesaplanması iyi fakat daha yüksek çözünürlükte oldukça güçtür ve hesaplama karmaşıklığı artmaktadır (Yu ve Jain, 1996).

Eğim açısının algılanması ile ilgili bir başka çalışma Jiang ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Önerilen yöntem, algılama noktasının belirlenmesi, kaba eğim açısı tahmini ve Hough dönüşümü olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak görüntü birbirine eşit mesafede ve dikey yüz farklı bloğa ayrılmıştır. Algılama noktası her bloğun solunda yer alan siyah piksel olarak tanımlanmaktadır. Bölünmüş her bloktaki siyah piksel değerinin bulunması için belge, soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru taranmaktadır. Sonraki adımda kaba eğim açısı tahmin edilmektedir. Kaba eğim açısının tahmin edilmesi işleminde birbirlerine komşu olan algılama noktalarının, x ve y koordinat değerlerinin birbirinden çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Sonraki adımda Hough dönüşümü ve kaba algılama açısı yardımı ile mevcut piksel değerleri, başlangıç noktası orijin noktası olmak üzere yeni koordinatlarına taşınmaktadır(Jiang ve ark., 1997). Yöntemde, belge görüntüsünün eğim açısı -15 ve +15 aralığından büyük olduğunda beklenen sonuçlar elde edilememektedir.

Taranmış bozuk belge görüntülerinin eğim açısının hesaplanması için bir diğer yöntem Peake ve Tan tarafından önerilmiştir. Yöntemde ilk olarak bozulmuş belge *n x n* boyutlarında alt bloklara ayrılmaktadır. Her bir alt bloğa Fourier dönüşümü

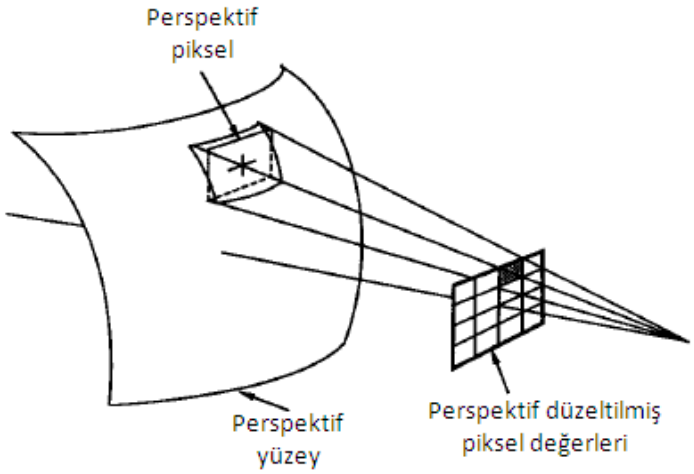
uygulanmaktadır. Her bir blokta elde edilen Fourier serilerinin en yüksek iki değeri alınarak keskin geçişlerin yapıldığı noktalar belirlenmektedir. İki noktanın meydana getirdiği doğrunun dikey eksenle yapmış olduğu açı eğim açısı olarak alınmaktadır. Bu işlem bütün bloklara uygulanmakta ve elde edilen açı değerleri toplanarak ortalaması alınmaktadır. Bu ortalama açı değeri gerçek eğim açına karşılık gelmektedir(Peake ve Tan, 1997). Bu yöntemde, belge görüntüsünün düzeni, satır boşlukları, belge fontları ve belgenin çözünürlüğü yöntemin verimli çalışmasını etkileyen faktörler arasında gelmektedir. Çünkü her bir görüntü bloğu içerisindeki metin ve satır aralıkları birbirinden farklı olabilmekte ve Fourier dönüşümü uygulandığında elde edilen açı değerleri arasındaki farklar büyük olabilmektedir.

Bazı çalışmalarda önerilen yöntemlerin daha verimli çalışabilmesi için metin aralıklarının geniş olması gerekmektedir. Örneğin Gatos ve arkadaşlarının önerdikleri yöntemde metin aralıklarının geniş olması bu yönteminde verimli çalışmasını sağlamaktadır. Okun ve arkadaşları tarafından önerilen yöntemlerde ise yazı fontlarının tipleri ve büyüklükleri yöntemlerin performansını etkileyen bir diğer nedendir.

Açısal bozulmuş görüntülerde eğri görüntüyü algılama teknikleri başarıyla çalışmalarına rağmen bu alanda pek çok problem hala çözülmemiştir. Bunun en temel nedeni, bozulma açısının algılanabilir sınırlar dışında olmasından kaynaklanmaktadır. Yöntemlerin daha etkin çalışabilmesi için açı aralığı küçük olmalıdır. Ayrıca, Okun ve arkadaşları, Jiang ve arkadaşları ve Peake ve Tan tarafından önerilen yöntemlerin verimli çalışabilmesi, elde edilen belge görüntülerinin çözünürlüklerinin yüksek olmasına bağlıdır.

2.4. Perspektif Bozulma İle İlgili Literatür Araştırması

Son yıllarda sensor çözünürlüklerinin artması yüksek hızlarda metin yakalama işlemlerinin tarayıcılar yerine, sayısal kameralar kullanılarak yapılması yaygın bir seçim haline gelmiştir. Bununla birlikte, 3 boyutlu uzayda sayısal bir kamera kullanılarak görüntü elde edildiğinde, perspektif bozulmaların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Perspektif, nesnelerin görünümünü 3 boyutlu olarak düz bir yüzeyden, 2 boyuta indirgeyerek, göstermeye yarayan bir iz düşümdür. Nesnenin gözlemciye göre olan pozisyonunun ve uzaklığının etkileri perspektif görüntünün oluşmasına neden olmaktadır. Söz konusu görüntüler, biçim ve orantı bakımından 3 boyutlu bir gerçeklik izlenimi yaratmaktadır. Perspektif görüntülerin elde edilmesi sırasında görüntü perspektifinde bozulmalar olabilmektedir. Bu nedenle görüntülerin perspektiflerinde düzeltilmesi gerekmektedir. Şekil 2.18' de bozulmaya uğramış bir görüntünün perspektifinde düzeltilmesi temsili olarak gösterilmektedir.

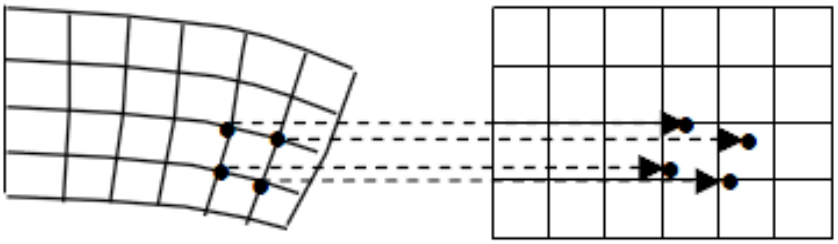


Şekil 2. 18. Perspektif bozulmanın temsili gösterilmesi ve düzeltilmesi (Weng ve ark, 1992)

Plaka tanıma ve optik karakter tanıma sistemi gibi mühendislik uygulamalarında perspektif görüntülerin kullanılabilmesi için 2D koordinat sistemine taşınması gerekmektedir. Sonuç olarak, bu mühendislik uygulamalarının çoğu sayısal kameralar tarafından elde edilen görüntüleri dikkate almamaktadırlar. Bunun nedeni, perspektif bozulmayı dikkate almamalarından ileri gelmektedir. Bu nedenle, daha verimli

çalışabilmeleri için perspektif bozulma gibi bir bozulmanın ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Perspektif olarak bozulmaya uğramış belge görüntülerini düzeltmek için Pilu tarafından bir yöntem önerilmiştir. Yöntem, belge içerisindeki metin satır düzenlerini kullanarak çalışmaktadır. Yöntemin ilk aşmasında metin satırları altları çizilerek işaretlenmektedir. Ardından satır çizgilerinin yardımı ile paragraflar belirlenmeye çalışılmaktadır. Belirlenen her paragraf bir dörtgen içerisine alınmaktadır. Dörtgen içerisinde yer alan her bir piksel değeri projeksiyon dönüşümü kullanılarak yeni koordinatlarına taşınmaktadır (Pilu, 2001). Şekil 2.19'da örnek bir projeksiyon dönüşümünü gösterilmektedir.



Şekil 2. 19. Örnek projeksiyon gösterimi

Pilu tarafından önerilen yöntemin verimli çalışabilmesi için belge görüntüsü içerisinde yer alan metinlerin bilgisayar tarafından oluşturulmuş olması gerekmektedir. El yazısı ile oluşturulmuş bir belge görüntüsünde yöntem verimli çalışmamaktadır.

Bir belge tarayıcı ile kalın ciltli kitapların taranması sırasında yada sayısal bir kamera ile görüntüsü elde edilmek istendiğinde, orta bölümlerin görüntülerinin kıvrılmış metin görüntüleri olduğu görülmektedir. Böyle bir durum, kitabın orta bölümlerindeki metinlerin okunmasını zorlaştırmaktadır. Ulges ve arkadaşları, hem perspektif hem de kıvrılmış metin görüntülerini düzeltmek için bir yöntem ileri sürmüşlerdir. Yöntem ek donanımlar yerine tek bir kamera gerektirmektedir. İlk olarak elde edilen görüntü belgesi üzerinde kıvrılmamış bölgeler belirlenmektedir. Kıvrılmamış bölgelerde yer alan metin satırları işaretlenerek her bir bölge bir çerçeve içerisine alınmaktadır. Aynı işlem kıvrılmış bölgelere de ayrıca uygulanmaktadır. Ardından elde edilen çerçeveler yeni düzlemlerine taşınarak düzeltme işlemi

tamamlanmaktadır. Yine bu yöntemde de kullanılan giriş görüntülerindeki belge metinlerinin bilgisayar yardımı ile oluşturulması gerekmektedir. El yazısı ile oluşturulmuş bir belge görüntüsünde verimli çalışmamaktadır (Ulges ve ark., 2005).

Perspektif bozulmanın düzeltilmesi ile ilgili yapılan pek çok çalışmada, giriş görüntülerinde bir kalibrasyon işlemi yapılmaktadır. Kalibrasyon, kamera dâhili parametrelerini elde etme sürecine verilen isimdir (Hartley, 2000). Başka bir deyişle kalibrasyon, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile onu ölçen cihazın verdiği sonuç arasındaki ilişkiyi bulma işlemidir (Taşdemir, 2009). Kalibrasyon işlemleri yapılırken parametrelerin kullanıcı tarafından girildiği düşünülen bir çalışma Boufama ve Habed tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada kamera parametrelerinin ve düzeltme modelinin nasıl gerçekleştirildiği üzerinde durulmuştur. Yöntem, her türlü görüntünün herhangi bir kısıtlama ya da varsayım olmadan perspektif bozulmaların giderilmesini ele almaktadır. Perspektif bozulmanın giderilmesi kalibrasyon, kalibrasyon parametrelerinin kaydedilmesi ve düzeltme olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Kalibrasyon işlemi, Huang ve Boufama tarafından önerilen yarı otomatik kalibrasyon metodu ile gerçekleştirilmektedir (Huang ve Boufama, 2002). Yarı otomatik kalibrasyon metodunda görüntü ikili görüntüye dönüştürülmekte ve görüntülerin köşe koordinatları işaretlenmektedir. Köşe noktaları düzeltme işlemini hangi oranda yapılacağını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu köşe noktaları arasında kalan bölgede bozulma miktarını bulmak için Hough dönüşümünden faydalanılmaktadır. Köşe noktaları arasındaki bölge, eşit aralıklarda pek çok sayıda nokta ile işaretlenmekte ve bu nokta koordinatları sistemde kaydedilmektedir. Noktaların koordinatları ve bozulma miktarı yardımı ile piksel değerleri yeni koordinatlarına taşınmaktadır(Boufama ve Habed, 2005). Bu yöntem düzeltilmiş yüzeyin modelini ve görüntü sahnesinin oluşturulmasını sağladığından pek çok görüntü üzerinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Fakat birleşik görüntüler basit kameralardan elde edilmektedir. Çok geniş görüntülere ihtiyaç duyulduğunda özel tarayıcı ve kamaralara ihtiyaç duyulmaktadır.

Optik karakter tanıma sistemleri genellikle belge tarayıcılardan elde edilen görüntüler üzerinde karakter tanıma işlemi yapmaktadırlar. Fakat günümüz teknolojisi göz önüne alındığında herhangi bir sayısal kamera ile de belge görüntüleri elde

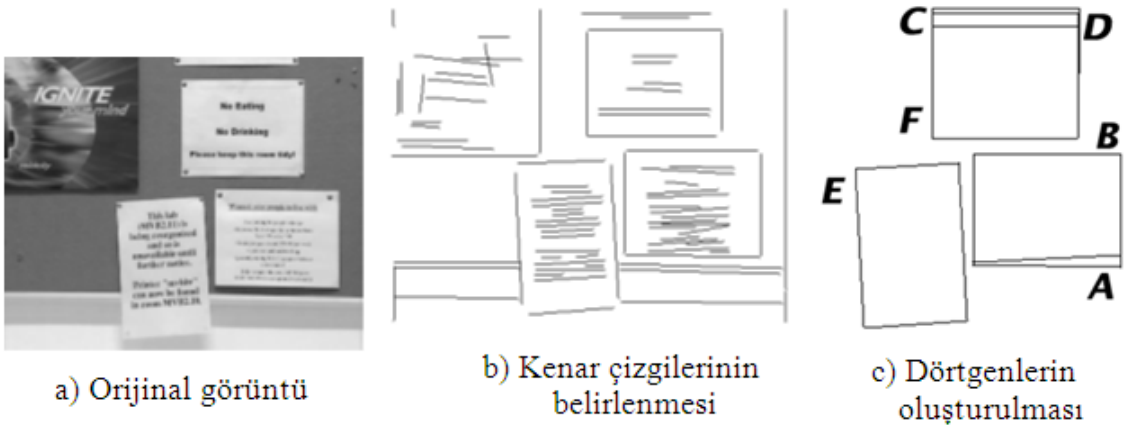
edilebilmektedir. Sayısal kameraların kullanıldığında, kameranın görüş açısına bağlı olarak perspektif bozulmanın oluşması da kaçınılmazdır. Clark ve Mirmehdi, sayısal kameralar ile elde edilen perspektif bozulmuş belge görüntülerinin düzeltilmesini sağlayan bir yöntem önermişlerdir. Yöntemde ilk olarak görüntü içerisinde metnin bulunduğu bölge işaretlenerek dörtgen bir alan oluşturulmaktadır. İşaretlenen bölge içerisinde yatay ve dikey projeksiyon profili histogramları yardımı ile metin satırları tespit edilmektedir. Ardından her bir metin satırında yine histogramlar yardımı ile metin olan ve metin olmayan bölgeler belirlenerek ikili görüntüye dönüştürülmektedir (Clark ve Mirmehdi, 2001). Şekil 2.20' de yönteme ait işlemler gösterilmektedir.



Şekil 2. 20. Yöntemin aşamaları (Clark ve Mirmehdi, 2001)

Son aşamada ikili görüntüye dönüştürülen metin bölgesindeki siyah pikseller 2D koordinat sistemine taşınmaktadır. Yöntem, masaüstü ve taşınabilir uygulamalar için kullanışlıdır. Fakat yöntemin aşamaları dikkate alındığında işlem yükünün arttığı görülmektedir.

Clark ve Mirmehdi bir başka çalışmalarında, perspektif bir görüntüdeki dörtgensel bölgelerin tespit edilmesini ve düzeltilmesini sağlayan yöntem önermişlerdir. Yöntemde ilk olarak, görüntüdeki objelerin sınırları ve kenarları gibi özellikler belirlenmektedir. Kenarların belirlenebilmesi için görüntü ikili görüntüye dönüştürülmekte ve kenar belirleme operatörleri yardımı ile objelerin sınırları tespit edilmektedir. Sınırları tespit edilen görüntüye Hough dönüşümü uygulanarak objelerin kenar çizgileri ortaya çıkarılmaktadır. Kenar çizgileri sırası ile kontrol edilmektedir. Herhangi bir çizgiden başlanarak birbiri ile bağlantılı noktalar takip edilmektedir. Tekrar aynı noktaya dönüldüğünde dörtgen bir alan oluşmaktadır. Bazı çizgiler arasında kopmalar olabilmektedir. Böyle durumda en yakın komşu çizgiden devam edilmektedir. Tespit edilen her dörtgen bir harf ile etiketlenerek, içerisindeki ve dışındaki tüm siyah pikseller silinmektedir. Son aşamada, dörtgenlerin işaretlendiği bölgeye karşılık gelen piksel değerleri 2D koordinat sistemine taşınmaktadır (Clark ve Mirmehdi, 2000). Şekil 2.21' de Hough dönüşümü ve kenar belirleme algoritmaları yardımıyla dörtgenlerin elde edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 2. 21. Dörtgenlerin elde edilmesi

Kamera parametreleri bilinen gerçek ölçekli bir görüntüdeki perspektif bozulmayı düzeltmek için Mohan ve arkadaşları bir yöntem önermişlerdir. Yöntem homografi matrisinden faydalanmaktadır. Homografi matrisi, projektif bir uzayda bir noktadan başka bir noktaya dönüşümü sağlayan bir matristir. Örneğin A noktasından B noktasına dönüşüm yapan bir homografi matrisi, kameranın görüşünde olan bir A noktasını 2D koordinat sistemindeki B noktasına taşımaktadır. Yöntemin ilk adımında,

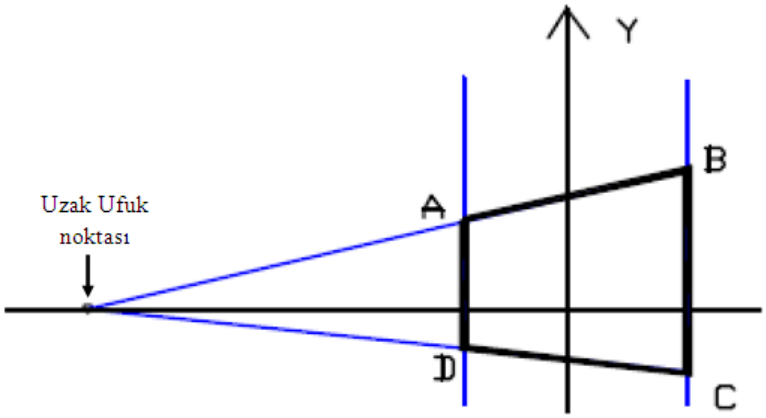
düzeltilecek perspektif görüntünün sınırları belirlenmektedir. Belirlenen sınır Şekil 2.22' deki gibi bir dörtgen oluşmaktadır.



Şekil 2. 22. Perspektif sınırların belirlenmesi (Mohan ve Ark., 2008)

Sınırlar içerisindeki perspektif görüntünün köşe noktaları işaretlenmektedir. İşaretlenen bu noktalar birleştirilerek önceden belirlenen alan sınırları içerisine homografi matrisi yardımı ile pikseller taşınmaktadır (Mohan ve Ark., 2008). Yöntemde düzeltilecek görüntünün sınırları önceden belirtildiğinden, elde edilecek düzeltilmiş görüntünün genişlik ve yüksekliğinde farklılıklar olabilmektedir. Dolayısı ile piksel kayıpları ortaya çıkabilmektedir.

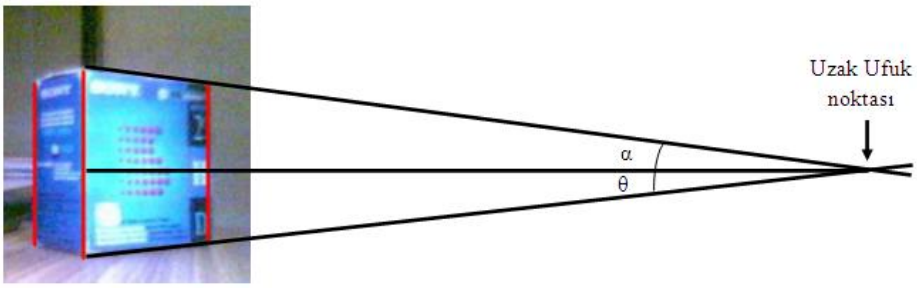
Perspektif bozulmuş görüntünün içerisinde yer alan nesne kenar çizgilerinin düz çizgilerden oluştuğunu varsayan ve bu kenar çizgilerini uzak ufuk noktasında birleştiren bir yöntemi Fangi ve arkadaşları önermişlerdir. Uzak ufuk noktası, karşılıklı iki kenarın uzantılarının kesiştiği nokta olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.23' de bir nesnenin kenar çizgilerinin kesiştiği uzak ufuk noktası gösterilmektedir.



Şekil 2. 23. Uzak ufuk noktası

Yöntemin ilk adımında dört nokta ile nesnenin çevresi işaretlenerek dörtgen haline getirilmektedir. İşaretlemede en az iki kenarın birbirine paralel olması gerekmektedir. İkinci adımda paralel kenarlar dışında kalan kenar çizgileri uzatılarak uzak ufuk noktasında kesişmeleri sağlanmaktadır. Y ekseninin nesne üzerinde olduğu varsayılarak, uzak ufuk noktasından Y eksenine dik bir doğru çizilmektedir. Bu doğru ile uzak ufuk noktasında kesiştirilen kenar çizgileri arasında kalan açılar, ilgili kenarların (örneğin AB kenarı) eğim açılarını vermektedir. Bu açılar yardımı ile 2D koordinat düzlemine taşıma işlemi yapılmaktadır (Fangi ve ark., 2001).

Perspektif görüntülerde derinliğin bulunmasını yine uzak ufuk noktaları yardımı ile sağlayan başka bir yöntemde Murali ve Avinash tarafından önerilmiştir. Yöntemde, gerçek sahne görüntülerindeki nesnelerin kenarlarının, gerçek görüntü düzlemine paralel olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımdan hareketle nesne ile görüntünün kenarları arasındaki mesafe bulunabilmektedir. Bu yöntem düzeltme ile ilgilenmemektedir fakat elde edilen perspektif derinlik bilgisi ve uzak ufuk noktaları kullanılarak perspektif düzeltme işlemi uygulanabilmektedir. Yöntemde, paralel iki kenar üzerinde doğrular çizilmektedir. Çizilen bu doğruların başlangıç ve bitiş noktaları üzerinden geçen bir doğru Şekil 2.24’ de gösterildiği gibi çizilerek uzak ufuk noktasında kesiştirilmektedir.



Şekil 2. 24. İki doğrunun uzak ufuk noktasında birleştirilmesi

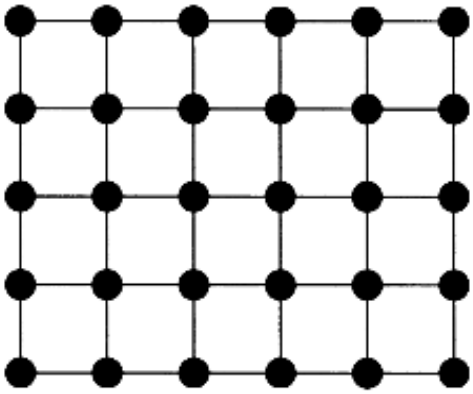
Fangi ve arkadaşlarının yönteminden farklı olarak sadece paralel çizgiler kullanılmaktadır. Uzak ufuk noktasından paralel doğrulara çizilen dik bir doğru ile eğim açıları ve paralel doğruların görüntü kenar noktalarına olan uzaklıkları da derinlik bilgisinin elde edilmesini sağlamaktadır (Murali ve Avinash, 2004).

2.5. Geometrik Bozulma İle İlgili Literatür Araştırması

Geometrik bozulma, sayısal bir kamera kullanılarak elde edilen görüntüler ile birlikte meydana gelen başka bir bozulma türüdür. Genellikle düz olmayan belge yüzeylerinden kaynaklanmaktadır. Örneğin bir gazete kâğıdının silindir bir yüzey üzerine yapıştırılması ya da kalın bir kitap'ın bir tarayıcıya konarak sayfanın taranması sırasında oluşan yüzey, geometrik bozulmaya uğramış bir yüzeydir. Bu tür geometrik bozulmaya uğramış belge görüntülerinin mühendislik uygulamalarında kullanılabilmesi için düzeltilmesi gerekmektedir.

Geometrik bozulma, kalın ciltli bir kitabın taranması veya bir belgenin buruşturulması sırasında ortaya çıkabilmektedir. Geometrisi bozulmuş belgelerin kendi orijinal düzlemlerine geri dönüştürülmesi için Brown ve Seales tarafından bir yöntem önerilmiştir. Yöntemde öncelikle bozulmuş görüntünün üç boyutlu modeli, yapısal bir aydınlatma sistemi kullanılarak yeniden elde edilmektedir. Üç boyutlu model elde edilirken, görüntü içerisindeki ayrıntıların ortaya çıkartılabilmesi için aydınlatmanın önemi büyüktür. Çoğu çalışmada doğal ışık, beyaz ışık veya ultraviyole ışık altında

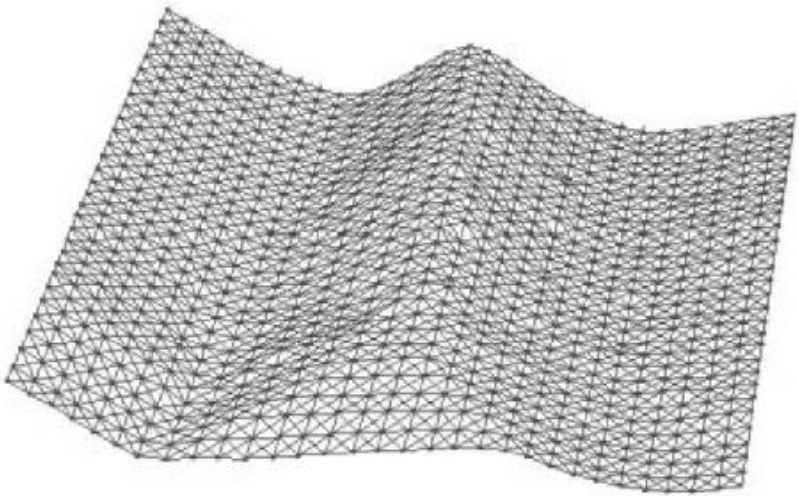
görüntü elde etmek yaygındır. Sonraki adımda, düzeltme işleminin uygulanacağı bölgeler üzerinde kalibrasyon noktaları işaretlenerek nokta koordinatları kaydedilmektedir. Kalibrasyon noktaları arasında bir komşuluk ilişkisi bulunmaktadır. En son aşamada, Terzopoulos ve Fleischer tarafından önerilen kütle-yay parçacık sistemi modeline göre düzeltme işlemi yapılmaktadır. Kütle-yay parçacık modelinde, nxm boyutlarında bir tel ızgara sistemi oluşturulmaktadır (Terzopoulos ve Fleischer, 1998). Terzopoulos ve Fleischer tarafından kullanılan tel ızgara sistemi Şekil 2.25' de gösterilmektedir.



Şekil 2. 25. Terzopoulos ve Fleischer' in tel ızgara sistemi

Kalibrasyon noktaları arasında kalan piksel değerleri iki boyutlu tel ızgara sistemi koordinatlarına taşınarak düzeltme işlemi tamamlanmaktadır (Brown ve Seales, 2001). Önerilen bu yöntem, geometrisi bozulmuş görüntüleri düzeltmesine rağmen, üç boyutlu görüntü modelinin oluşturulması için özel donanım ekipmanları ve karmaşık bir kalibrasyon işlemi gerektirmektedir. Sonuç olarak önerilen yöntem, sıradan bir doküman tarayıcı veya sayısal bir kamera kullanılarak elde edilen görüntülerin işlenmesi oldukça güç olmaktadır.

Brown ve Seales bir başka çalışmalarında, tahrip olmuş arşiv belgelerdeki görüntüleri almak ve onları tekrar düzeltmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma bir öncekine benzer bir çalışmadır. Farklı olarak yeni bir tel ızgara sistemi geliştirmişlerdir. Kullanılan yeni tel ızgara sistemi Şekil 2.26' da gösterilmektedir.



Şekil 2. 26. Brown ve Seales' in tel ızgara sistemi

Brown ve Seales' in tel ızgara sistemi amacı, bilinmeyen bir tahribata uğramış görüntülerin yeni bir düzleme taşınarak anlaşılabilir hale getirilmesini sağlamaktır. Kullanılan tel kafes sistemi piksel kayıplarını azaltmakta ve daha net bir görüntü sağlamaktadır. Bu yöntem, kütüphane ve müzelerdeki belgelerin sayısal ortama aktarılmasında etkilidir. Ancak belge görüntülerinin elde edilebilmesi için özel donanımlar gerektirmektedir (Brown ve Seales, 2004).

Özel donanım gerektiren Brown ve Seales' in düzeltme yöntemlerinden farklı olarak Agam ve Wu, tel kafes ızgara tekniğini kullanan yeni bir geometrik düzeltme tekniği önermişlerdir. Önerilen yöntemde, üç boyutlu belge modeli, farklı açılardan birden çok görüntü elde edilerek eşleşen nokta çiftleri aracılığı ile oluşturulmaktadır. Önerilen bu algoritmanın avantajı, sadece bir sayısal kameraya ve birkaç belge görüntüsüne ihtiyaç duymasıdır. Fakat her defasında kameranın kalibrasyonunun yeniden yapılandırılması ve farklı açılardan görüntülerin her defasında elde edilmesi gerekmektedir (Agam ve Wu, 2001).

Görüntü elde etme aygıtına ait herhangi bir kalibrasyon parametresi bilinmeden ve patern görüntü içerisindeki dörtgen bölgelerin geometrik bozulmalarını düzelten bir yöntem Wang ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Mercek sistemlerinden kaynaklanan görüntü bozulmalarını düzeltmek için kullanılan bir yöntemdir. Bozulmanın ortadan kaldırılması birkaç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda, patern

görüntü içerisinde dörtgen bölgenin köşe noktaları işaretlenmektedir. Bu dört nokta arasında kalan bölgede Sobel veya Canny kenar belirleme operatörü yardımı ile dörtgen objenin kenar çizgileri belirlenmeye çalışılmaktadır. Kenar belirleme işleminin ardından en küçük karesel hata (LSE - Least Square Error) fonksiyonu aynı bölge içerisinde uygulanmaktadır. LSE, birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan yöntemdir. Bir başka deyişle bu yöntem, ölçüm sonucu elde edilmiş veri noktalarına mümkün olduğu kadar yakın geçecek bir fonksiyon eğrisi bulmaya yaramaktadır. Kenar belirleme operatöründen elde edilen değerler ile LSE değerleri eşleştirildiğinde dörtgen objenin kenar çizgileri ortaya çıkmaktadır. Kenarların eğim açıları hesaplandıktan sonra piksel değerleri 2D koordinat sistemine taşınmaktadır (Wang ve ark., 2005). Yöntem aynı zamanda perspektif görüntüleri de düzeltebilmektedir. Yöntemin çalışabilmesi için ele alınan görüntü içerisindeki nesnelerinin mutlaka dörtgen bir özelliğe sahip olması gerekmektedir.

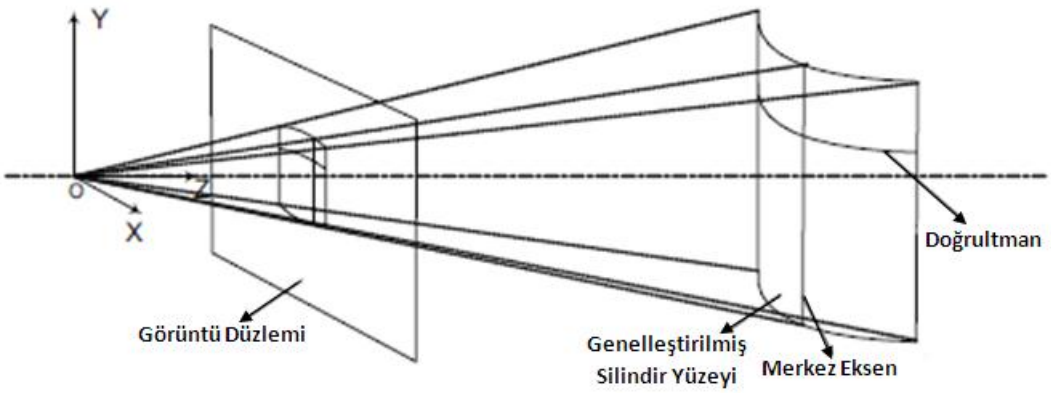
Sayısal kameralar veya belge tarayıcıları kullanarak ciltli belgelerdeki sayfa görüntülerini elde edebilmek mümkündür. Fakat kalın ciltli belgelerde görüntüler elde edilirken, Şekil 2.27' deki gibi belgelerin orta bölgelerinde bükülmeler olabilmektedir.



Şekil 2. 27. Belge orta bölgelerinin bükülmesi (Cao ve ark., 2003)

Cao ve arkadaşları, sayısal bir kamera kullanarak elde edilen ilişkili görüntülerin yüzey geometrilerini tahmin etmek için özel bir silindirik yüzey modeli kullanmayı önermişlerdir. Yöntemde ilk olarak görüntü üzerindeki noktalar, silindir bir yüzey

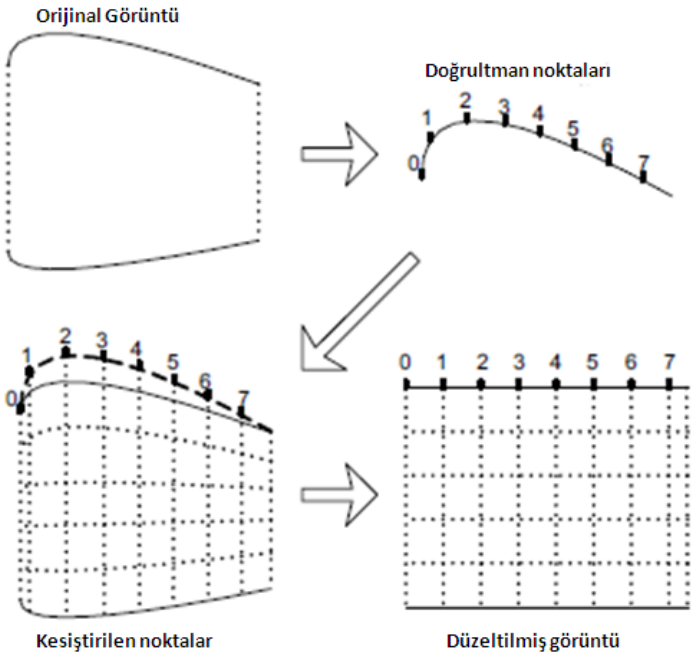
üzerine düşürülerek aralarındaki matematiksel ilişki belirlenmektedir. Silindir yüzey üzerine düşünülen görüntüde belli aralıklarla yatay çizgiler oluşturulmaktadır. Bu yatay çizgiler genellikle metin satırlarına denk getirilmektedir. Önerilen yöntemin orijinal görüntü ve silindirik yüzey modeli arasındaki ilişki Şekil 2.28' de gösterilmektedir.



Şekil 2. 28. Görüntü ve silindir yüzey arasındaki ilişki (Cao ve ark., 2003)

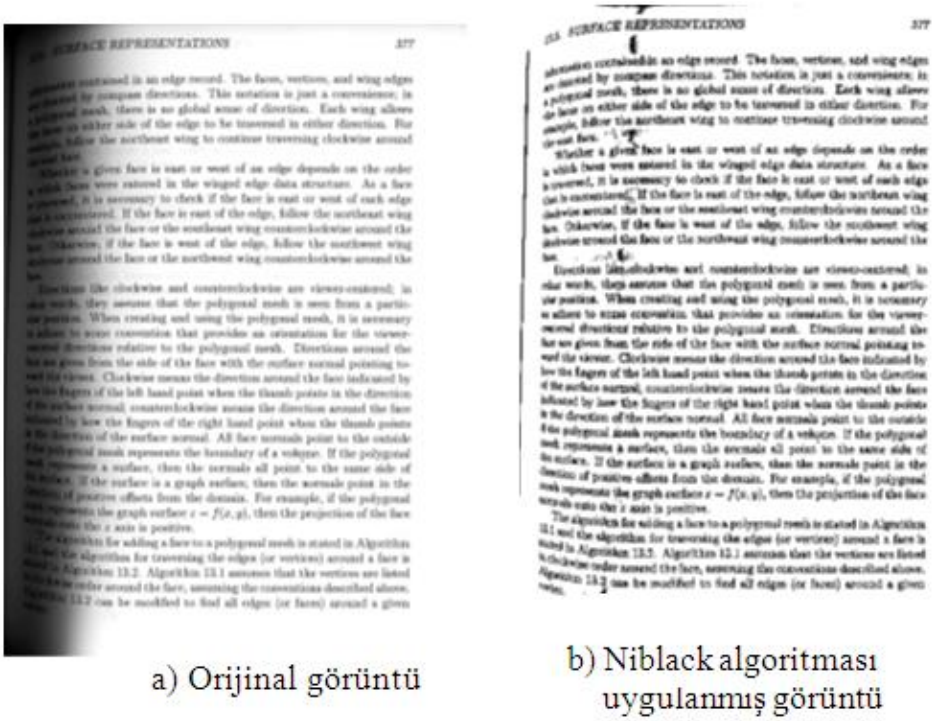
Silindir yüzey modeli aracılığı ile düzeltme işlemi yapılabilmektedir. Düzeltmede işleminde silindir yüzeydeki doğrulman piksel değerleri, önceden çizilen yatay çizgiler üzerine taşınarak düzeltme işlemi tamamlanmaktadır (Cao ve ark., 2003).

Cao ve arkadaşları benzer bir çalışmada da yine silindirik bir yüzey modeli kullanarak görüntünün yüzey geometrilerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Önceki çalışmalarından farklı olarak görüntü yüzeyinin bir haritasını elde etmişlerdir. Ayrıca, satır çizgilerinin yanı sıra silindir yüzey üzerinde oluşan doğrultman eğrisi eşit aralıklara bölünmüştür. Satır ve eğri üzerindeki kesişen noktalar işaretlenmiştir. İşaretlenen bu noktalar 2D koordinat sistemine karşılık gelen noktalara taşınmıştır (Cao ve ark., 2003). Önerilen yöntemin adımları Şekil 2.29' da gösterilmektedir.



Şekil 2. 29. Yöntemin düzeltme adımları (Cao ve ark., 2003)

Geometrik bozulma genellikle, kalın ciltli bir kitabın taranması sırasında oluşmaktadır. Bu bozulmanın temel iki sebebi vardır. Birincisi, taranan kitabın omurgası boyunca gölgelerin oluşması, ikincisi ise gölgeli bölgedeki kelimelerin eğilmesidir. Zhang ve Tan bu düşünceden hareketle bu iki problemi çözmeye yarayan ve gölgelerden kaynaklı geometrik bozulmaları gideren bir yöntem öne sürmüşlerdir. Elde edilen görüntünün herhangi bir açısal bozulmaya uğramadığı varsayılmıştır. Yöntemde belge görüntüsü, herhangi bir bozulmaya uğramamış açık alan ve gölgeli alan olarak iki bölgeye ayrılmaktadır. Bu iki bölgenin sınırlarının tespit edilebilmesi için dikey projeksiyon profili histogramı kullanılmaktadır. Her iki bölgenin geçiş noktaları referans noktaları olarak kabul edilmektedir. Sonraki adımda, Niblack tarafından önerilen ikili görüntüye dönüştürme algoritması uygulanarak görüntü ikili görüntüye dönüştürülmektedir (Niblack, 1986). Bu dönüşümün amacı gölgeli alanlardaki metinlerin ortaya çıkarılmadır. Şekil 2.30’ da taranmış görüntü ve Niblack algoritmasından sonraki ikili görüntü gösterilmektedir.

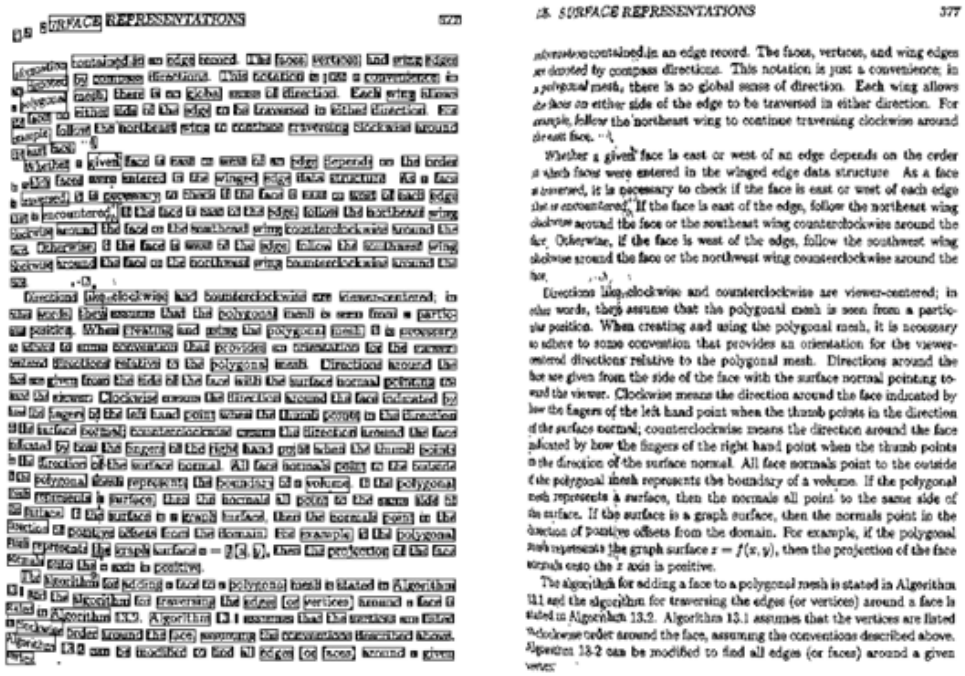


a) Orijinal görüntü

b) Niblack algoritması uygulanmış görüntü

Şekil 2. 30. Gölgeli bölgede karakterlerin ortaya çıkarılması

İkili görüntüye dönüşüm işleminden sonra belge görüntüsü içerisinde yer alan kelimeler tespit edilerek dörtgen içerisine alınmaktadır. Kelimelerin tespit edilmesi için Strouthopoulos ve arkadaşları tarafından önerilen bir algoritma kullanılmaktadır (Strouthopoulos, 1997). Yöntemde kelimelerin yerlerinin tespit edilebilmesi için yatay ve dikey projeksiyon profili histogramları kullanılmaktadır. Yerleri tespit edilen kelimeler, ilgili satırların referans noktalarına taşınarak düzeltme işlemi tamamlanmaktadır (Zhang ve Tan, 2001). Şekil 2.31 ‘ de kelimeleri belirlenen metin belgesi ve çıktı görüntüsü gösterilmektedir.

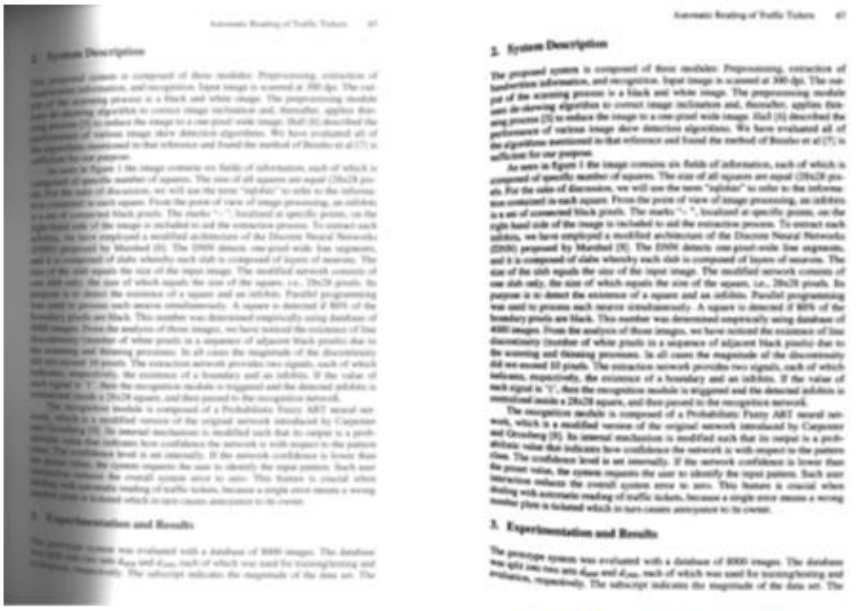


a) Kelimelerin belirlenmesi b) Çıktı görüntüsü

Şekil 2. 31. Düzeltme işlemi (Zhang ve Tan, 2001)

Zhang ve Tan başka bir çalışmalarında, metin satırlarının kavisli bölümlerini düzeltebilmek için polinomial regresyona dayalı bir eğri uydurma modeli öne sürmüşlerdir. Polinomial regresyon, ikinci dereceden bir denklem ile ifade edilmekte ve noktaları bilinen değerlerlerden hareketle bilinmeyen bir aralıktaki değerlerin bulunmasına yardımcı olmaktadır. Polinomial regresyon genellikle mevcut veri nokta yada noktalarına eğri uydurulması yoluyla uygulanmaktadır. Yöntemin ilk adımları daha önce önerdikleri yöntemle aynıdır. Önerilen algoritma, belge görüntülerinin yatay taranmış olduğunu ve metin satırları yatay düz bir çizgi üzerinde yer aldığını varsaymaktadır. Belge görüntüsünün her satırındaki referans noktaları ve gölgeli alandaki dikey projeksiyon profili histogramı göz önüne alınarak, ilgili satıra komşu gölgeli satır arasında polinomial regresyon analizi ile eğri denklemi elde edilmektedir. Eğri denklemi ile gölgeli alanda yer alan satırlar belirlenmektedir. Belirlenen bu satırlar bağlı bulundukları referans noktalarına indirgenerek düzelme işlemi tamamlanmaktadır (Zhang ve Tan, 2002).

Belge tarama sırasında 180° açılamayan ciltli kitaplarda meydana gelen kavisli satır bozulmalarını ve gölgelerini ortadan kaldırarak, geometrik bozulmaların düzeltilmesini mümkün kılan bir teknik yine Zhang ve Tan tarafından önerilmektedir. Elde edilen görüntülerin açısal bir bozulmaya uğramadığı varsayılmıştır. Yöntemde, dikey projeksiyon profili histogramı kullanılarak görüntünün açık ve gölgeli bölgelerinin sınırları belirlenmektedir. Sınırları belirlenen gölgeli ve açık alanlarda işlemler birbirinden bağımsız yapılmaktadır. Önceden elde edilen dikey projeksiyon profili histogramı kullanılarak açık olan bölge görüntüsü ikili görüntüye dönüştürülmektedir. İkili görüntüye dönüştürülmesindeki amaç, bölge içerisindeki metinlerin daha net olarak ortaya çıkarılmasını sağlamaktır. Gölgeli alan içerisinde bulunan karakterleri de net olarak ortaya çıkarabilmek için açık bölge ve gölgeli bölge arasında regresyon analizi yapılmaktadır. Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan bir analiz metodudur. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilmektedir. Regresyon analizi ile açık ve gölgeli bölgeler arasındaki ilişkinin varlığı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Elde edinilen bilgi aracılığı ile gölgeli alanda karakterler net olarak ortaya çıkarılmaktadır. Şekil 2.32’ de orijinal görüntü ve regresyondan sonraki görüntüleri verilmektedir.



a) Orijinal görüntü

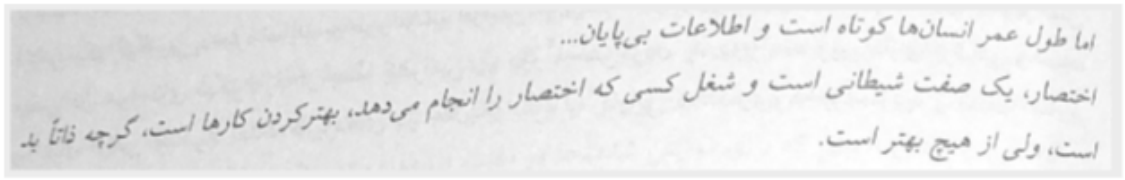
b) Regresyon analizi uygulanmış görüntü

Şekil 2. 32. Karakterlerin ortaya çıkarılması

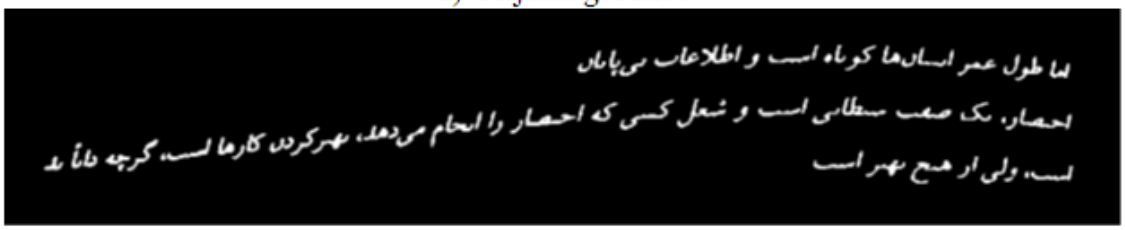
Sınırları belli olan açık alan bölgesinden gölgeli alana geçiş noktaları referans noktası olarak işaretlenmektedir. Gölgeli alanda metin satırlarını tespit edebilmek için yatay projeksiyon profili histogramı çıkarılmakta ve satırların altları çizilmektedir. Benzer işlem açık alan için dikey projeksiyon profili histogramı kullanılarak yapılmaktadır. Referans noktasından başlanarak gölgeli alanda bulunan tüm satırlar, bağlı bulundukları referans bölge satırlarına taşınarak düzeltme işlemi tamamlanmaktadır (Zhang ve Tan, 2003).

Dehbovid ve arkadaşları, kamera ile elde edilen Farsça metinlerde meydana gelen geometrik bozulmaları düzeltmek için bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemin amacı, optik karakter sistemlerinde belgelerin okunabilirliğini sağlamak ve sayfalarda meydana gelen kelime eğriliklerini düzeltmektir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda Latin karakterler kullanılmıştır. Bu çalışmada ise Farsça karakterlere yer verilmiştir. Yöntemde gri olarak elde edilen görüntü, ikili görüntüye dönüştürülmektedir. İkili görüntüye dönüştürülürken belge görüntüsünün arka zemin rengi siyaha dönüştürülmüştür. Bunun temel nedeni, belge görüntüsü içerisindeki metinlerin ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmasıdır. Çalışmada ikili görüntülerin elde edilebilmesi için eşik

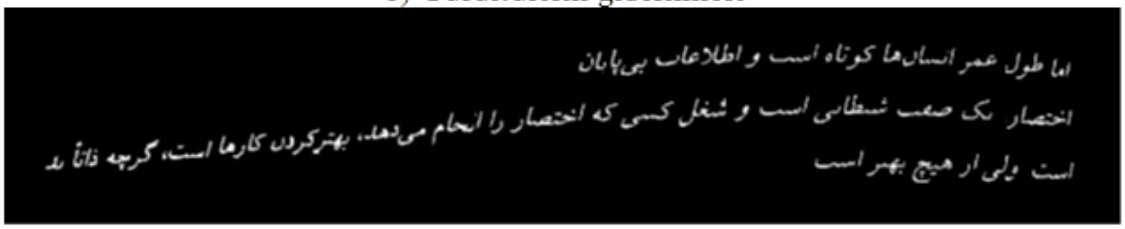
değerini dinamik olarak tespit eden ve Otsu tarafından önerilen Otsu algoritması kullanılmıştır. Bu yöntemde, her bir gri seviye değeri görüntü içerisindeki toplam piksel sayısına bölünerek eşik değeri elde edilmektedir. Eşik değerinin altında kalan gri seviye pikselleri beyaz, üstünde kalan pikseller siyah olarak kabul edilmektedir (Otsu, 1976). İkili görüntüye dönüştürüldükten sonra bir takım kirlilikler olabilmektedir. Bu kirliliğe gürültü adı verilmektedir. Yöntemin verimli çalışması için görüntü kirliliklerinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Gürültülerin ortadan kaldırılması ve metin bölgelerindeki karakterlerin ayrıntılarının ortaya çıkarılması için alçak geçiren filtre kullanılmaktadır. Alçak geçiren filtre, frekans bölgesindeki yüksek frekanslı bileşenleri yok ederek genliği azaltmaktadır. Sonuç olarak görüntü bulanıklaşır. Alçak geçiren filtrede eşik değeri kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Eşik değerinin altında kalan alanlar bulanıklaştırılarak gürültü kaldırılmaktadır. Üstünde yer alan noktalara herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Sonraki adımda her bir kelime satırının alt ve üst sınırları tespit edilerek eğim açıları hesaplanmaktadır. Kelimelerin alt ve üst sınırları tespit edebilmek için Farsça karakterlerin her birinin yükseklik ve genişlik gibi karakteristik özellikleri önceden tanımlanmıştır. Birbiri ile komşu olan kelimeler dörtgen içerisine alınmıştır. Dörtgenleştirme yüksekliği en büyük olan karaktere göre yapılmaktadır. Dörtgen içine alınan kelimelerin eğim açıları tanımladıkları özel bir denklem aracılığı ile hesaplanmaktadır. Alt ve üst sınırları tespit edilen metin satırının orta noktasına kelimeler sırası ile taşınmaktadır. Yöntemin uygulama aşamalarından elde edilen sonuçlar Şekil 2.33’ de gösterilmektedir.



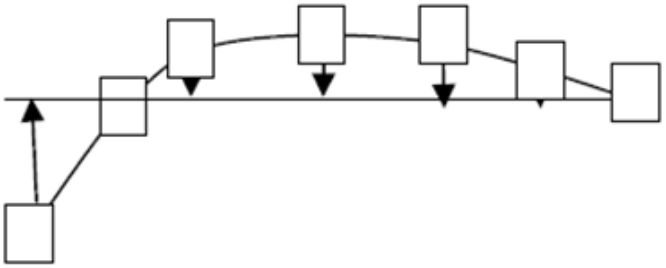
a) Orijinal görüntü



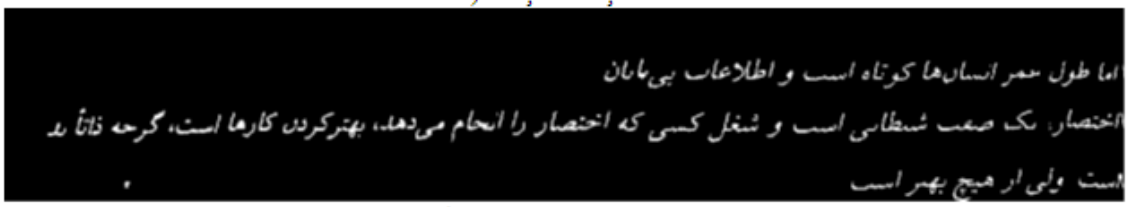
b) Gürültülerin giderilmesi



c) Kelime eğimlerini tespiti



d) Taşıma işlemi



e) Sonuç görüntüsü

Şekil 2. 33. Yöntemin uygulama aşamaları (Dehbovid ve ark., 2010)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Farklı yollarla sayısal ortama aktarılmış görüntüler, çizimler ve tasarımlar sayısal görüntü olarak adlandırılmaktadır. Sayısal görüntüler bilgisayar ortamında sayılarla ifade edilen görüntülerdir. Bilgisayarın temelini oluşturan ikili sayı sistemi kullanılarak oluşturulmuşlardır ve bitlerle ifade edilmektedirler. Bir nesneyi tanımlarken en, boy ve yükseklik parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametreler oluşturulurken nesnenin uzay boşluğundaki yeri de dikkate alınmaktadır. Matematikte bu işlemler koordinat sistemi sayesinde yapılmaktadır. Nesnenin yeri, koordinatları gösteren x, y ve z parametreleri ile ifade edilmektedir. Düzlem üzerinde bir nesne tanımlanırken, en genel haliyle sadece en ve boy parametreleri verilmektedir. Bu durumda tanımladığımız nesne ve görüntü 2D (iki boyutlu) olarak adlandırılmaktadır.

Sayısal bir görüntü, iki boyutlu bir vektör dizisinden meydana gelmektedir. Diğer bir ifadeyle, elemanlarının her biri vektörel bir büyüklük olan bir matristir. Vektörel büyüklük, yönü ve doğrultusu olan büyüklüklere verilen isimdir. Vektörel büyüklükler yönü, başlangıç noktası ve geçtiği noktalar ile tanımlanan bir vektörle ifade edilmektedir. Vektörün uzunluğu ise onun şiddetini yani büyüklüğünü göstermektedir. Görüntünün x ve y olmak üzere iki bağımsız değişkeni bulunmaktadır ve bu değişkenler görüntünün geometrik boyutlarını oluşturmaktadır. Görüntü matrisinin her bir değeri, her (x, y) noktasındaki fiziksel değişkenlerinin değerlerini göstermektedir. Ham bir görüntüde her matris elemanı, karşılık geldiği gerçek dünya koordinatındaki yansıma veya ışıma değerinden oluşan bir vektördür. Eğer görüntü, siyah beyaz bir görüntü ise matris elemanları vektör değil skaler bir değerden oluşmaktadır. Skaler değerler, yönü ve doğrultusu olmayan sadece sayılarla ifade edilen değerlerdir.

Sayısal görüntüler “piksel” olarak tanımlanan görüntü elemanlarından oluşmaktadır. Pikseller bir görüntüyü oluşturan en küçük elemanlardır. Herhangi sayısal bir görüntüde küçük bir alana karşılık gelen bir bölgenin parlaklık değeri bir sayıdır ve bir piksele karşılık gelmektedir. Sayısal görüntü, değişik dalga boylarındaki ışınım vektörlerinin sayısal bir ifadesidir. Işınım vektörlerinin parametreleri görüntüdeki

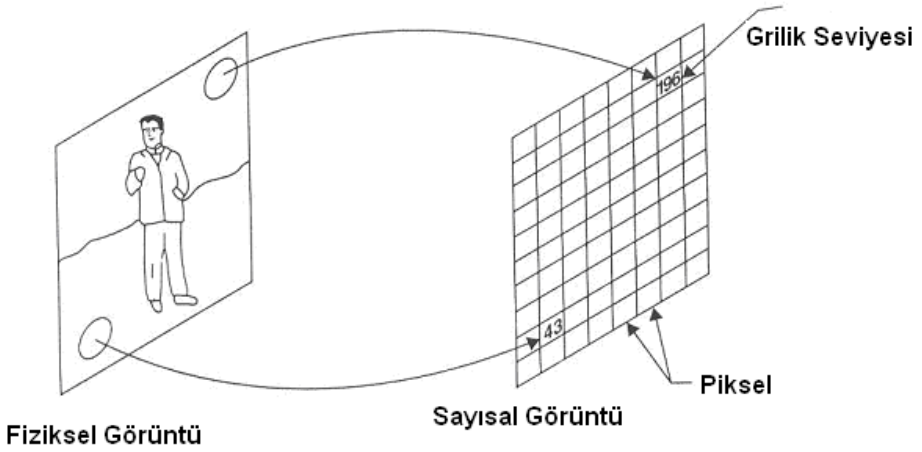
farklılıkları yani değişik pikselleri meydana getirmektedir. Bir sayısal görüntünün en küçük elemanını simgeleyen bir piksel, çözünürlük kavramı ile de yakından ilişkilidir. Pikseller genellikle kare biçimindedir. Gerçek dünyadan bir piksele karşılık gelen alan, ne kadar değişik görünüm ve değerlere sahip olursa olsun, pikselin spektral banttaki değeri tek bir sayı ile ifade edilmektedir. Bu sayı bir bakıma o alanın ortalama değeri olmaktadır. Sayısal bir görüntü yeterince büyüdüğünde blok blok görünümleri ile pikseller ortaya çıkmaktadır (İpbüker, 1999).

Yukarıdaki açıklamalar göz önüne alınarak $G(i, j)$ sayısal görüntüsü $i = 1,...,n$ ve $j = 1,...,m$ olmak üzere,

$$G(i, j) = \begin{bmatrix} g(i, j) \\ g(i, j) \\ . \\ . \\ g(i, j) \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada, nxm boyutundaki görüntü, $G(i, j)$ matrisi ile ve görüntünün her pikseli de matrisin bir elemanı ile temsil edilmektedir. Matris indisleri i ve j, görüntü piksellerinin gerçek dünyadaki koordinatlarını göstermektedir. Matrisin her $g(i, j)$ elemanı da bir vektörü ifade etmektedir.

Sayısal bir görüntünün elde edilmesi sırasında parlaklık ve ortam ışığının şiddeti de doğru görüntülerin elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Parlaklık ya da ışığın şiddeti olarak ölçülen değerlerin, bilgisayar ortamında saklanabilmesi için belirli sayıda değerler ile ifade edilmesi ve sayısallaştırılması gerekmektedir. Bilgisayarların yapısı itibari ile her değerin bir byte ile ifade edilmesi gerekmektedir. Bir byte sekiz bit' ten oluştuğu için ayırt edilebilen parlaklık seviyesi sayısı $2^8 = 256$ olmaktadır. Genellikle en karanlık değer olarak 0, en yüksek yani en parlak değer olarak 255 kabul edilmektedir.



Şekil 3. 1. Fiziksel bir görüntü ve sayısal karşılığı (Castleman., 1996)

Sayısal görüntü olarak tanımladığımız görüntüler, bilgisayar grafiklerinin temelini oluşturmaktadırlar. Son 30 yıldır etkin olarak kullanılan bu görüntüler, tel çerçeve (wireframe) görüntüler olarak adlandırılmaktadır. Tel çerçeve, görüntülerin vektörlerle gösterilme biçimidir. Tel çerçeve tekniği ile görüntünün oluşturulacağı alan ve yüzeyi belirlenmektedir. Tasarım çalışmalarının her alanında kullanılan vazgeçilemez bir araç olmuşlardır. Dolayısı ile sayısallaştırılmış bir görüntünün 2D halinden 3D haline ya da 3D halinden 2D haline dönüştürülmesi mümkün kılınabilmektedir (Castleman, 1996). Çalışmada, tel çerçeve tekniği ile görüntü üzerinde önemli olduğu düşünülen birden fazla bölgenin düzeltilmesi sağlanmaktadır.

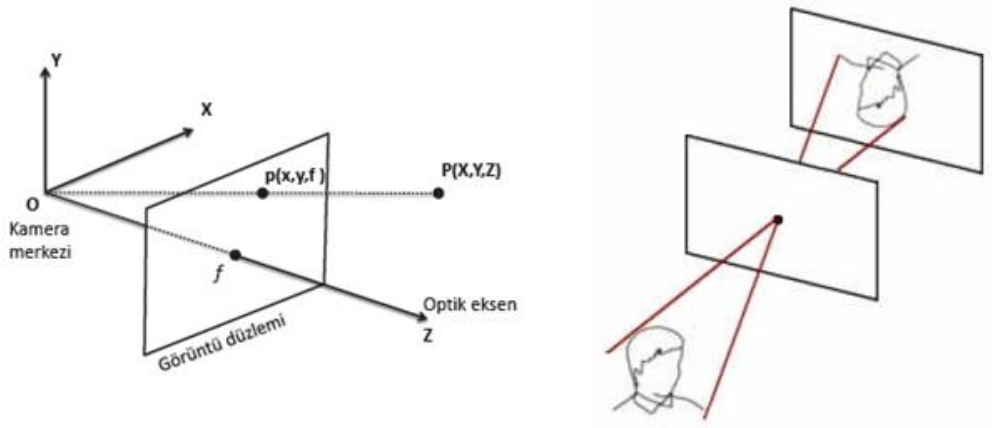
Teknoloji ve internetin gelişmesi birçok belge ve görüntünün sayısal ortama aktarılmasını zorunlu hale getirmiştir. Belge ve görüntülerin sayısal ortama aktarılması için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Sayısal görüntüleri elde etmeye yarayan herhangi bir görüntüleme aygıtı, yapısı gereği gerçek dünyada küçük bir alana bakarak oradan spektral değerler okumaktadır. Görüntüleme aygıtının çözünürlük gücünü ifade eden bu kavram "anlık görüş alanı" olarak ifade edilmektedir ve bir piksele karşılık gelmektedir. Gerçek dünyadan alınan görüntüler sayısal görüntülere dönüştürüldüğünde, gerçek dünya koordinatları ile sayısal görüntü koordinatları bire bir olmayabilir. Böyle durumlarda sayısal görüntünün bir takım düzeltmelerden geçirilmesi ve görüntünün anlaşılır kılınması gerekebilmektedir.

Sayısal görüntü elde etme aygıtlarında görüntü, iki boyutlu bir düzlem üzerinde oluşmaktadır. Görüntülerin elde edilmesinde kamera modelleri son derece önemlidir. Yaygın olarak kullanılan en basit kamera modeli perspektif model olarak da bilinen iğne deliği kamera modelidir.

3.1. İğne Deliği Kamera Modeli

Görüntünün elde edilmesinde kamera modellerinin önemi büyüktür. Kamera modeli, optik kameranın görüntüleme sürecinin benzetimini yapmak amacıyla, üç boyutlu genel koordinat sistemini iki boyutlu imge düzlemine ilişkilendiren bir dönüşümdür. Bu dönüşüm genellikle matris şeklinde gösterilmekte ve bu matris "izdüşüm matrisi" olarak tanımlanmaktadır. İzdüşüm matrisi, kameranın odak uzaklığı gibi dâhili parametrelerini ve dönme, öteleme gibi harici parametrelerini içinde barındırmaktadır (Buğdaycıoğlu, 2008).

Genel uzaydaki 3 boyutlu bir noktanın görüntü düzlemine izdüşümü göz önüne alındığında, tüm izdüşüm ışınlarının, kamera merkezi olarak adlandırılan bir noktada kesiştiği öngörülmektedir. Kamera merkezini O, koordinat sisteminin merkezi olarak alıp, görüntü düzlemini x ve y eksenlerine paralel şekilde z yönünde merkezden odak uzaklığı f kadarlık mesafeye yerleştirdiğimizde elde edilen yapı, "iğne deliği kamera modeli" olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 3.2' de bu modelin geometrik yapısı ve görüntü oluşumu gösterilmiştir (Buğdaycıoğlu, 2008).



Şekil 3. 2. İğne delikli kamera modeli ve görüntü oluşumu

İğne deliği kamera modeli, görüntüsü oluşacak her noktanın görüntü düzlemine perspektif izdüşümünü bulmak için kullanılmaktadır. Basit üçgen benzerliklerinden kamera koordinat sistemindeki sahne noktası $P(X,Y,Z)$ ile bu noktanın görüntüsü $p(x,y,z)$ arasındaki model bağıntıları;

$$x = f\frac{X}{Y}$$
$$y = f\frac{Y}{Z} \qquad (3.2)$$
$$z = f$$

şeklinde yazılabilmektedir (Aydın, 2011).

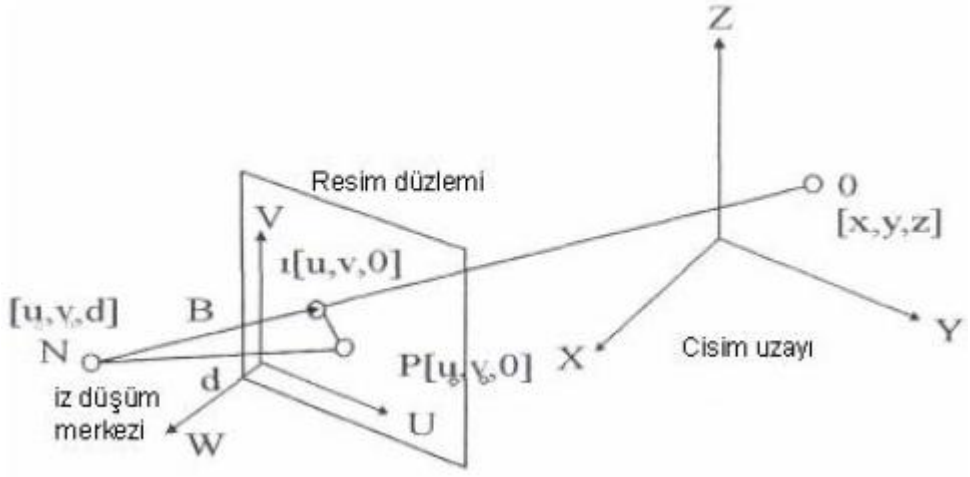
3.2. Koordinat Dönüşümü

Bir noktanın koordinatlarının bir başka koordinat sistemindeki noktasal karşılığını bulma işlemine koordinat dönüşümü adı verilmektedir. Koordinat dönüşümünün yapılabilmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada önerilen yöntemde, bozulmaya uğramış görüntüler üzerinde alınan herhangi bir görüntü kesiti koordinatlarının, 2D koordinatlarına dönüştürülmesi için DLT (Direct Linear

Transformation - Doğrudan Lineer Dönüşüm) kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının en büyük avantajı, görüntü elde edilirken kullanılan kamera parametrelerine ihtiyaç duymaması, çözümün lineer olması ve yaklaşık değer probleminin olmamasıdır. Dolayısı ile önerilen yöntemde, koordinat dönüşüm işlemleri hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

3.2.1. Doğrudan Lineer Dönüşüm Matematik Modeli

DLT metodu Abdel Aziz ve Karara tarafından önerilen bir dönüşüm yöntemidir. Bu yöntemin başlıca avantajları, çözümde kalibre edilmiş bir kameraya veya kamerada gösterge işaretlerine gerek duyulmaması, ayrıca bilinmeyen parametreler için başlangıç değerlerine ihtiyaç göstermemesidir (Ayhan ve Tüdeş, 1997). DLT eşitlikleri ile doğrudan resim koordinatlarından, uzay koordinatlarına ulaşmak mümkündür. Ayrıca, 2D resim düzlemi ile 3D dünya koordinat sistemi arasındaki ilişki modellenerek, görüntünün elde edildiği kameralara ait parametreler hesaplanabilmektedir (Taşdemir, 2009). Resim koordinat sistemi ile cisim koordinat sistemi arasındaki geometrik ilişki Şekil 3.3' de gösterilmektedir.



Şekil 3. 3. Resim koordinatları ile cisim koordinat sistemi arasındaki geometrik ilişki (Taşdemir, 2009)

DLT' nin matematiksel olarak ifadesi doğrusallık eşitliklerine dayanmakta ve bir takım kabuller ve düzenlemelerden meydana gelmektedir. DLT metodu, resim düzlemi ile dünya koordinat sistemi arasındaki dönüşümü tanımlamaktadır. Şekil 3.3' de gösterilen resim koordinat sistemi ile cisim koordinat sistemi arasındaki ilişki matematiksel olarak;

$$u + \Delta_u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$
$$v + \Delta_v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \qquad (3.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada Δ_u ve Δ_v optik bozulma nedeniyle oluşan hataları göstermektedir. Bu eşitliklerdeki $L_1 ... L_{11}$ katsayıları DLT parametreleri olarak adlandırılmakta ve aşağıdaki eşitlikler yardımı ile bulunmaktadırlar. Bunlar cisim uzayı referans düzlemi ile resim düzlemi arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadırlar (Taşdemir, 2009).

u_0, v_0 : noktanın resim koordinatları,

u, v : ana noktanın resim koordinatları,

r_{ij} : dönme matrisi elemanları,

x, y, z : noktanın cisim koordinatları,

λ_u, λ_v : birim dönüşümü katsayıları,

d : ölçek faktörü,

$L_1 ... L_{11}$: kamera kalibrasyon parametrelerini göstermek üzere;

$$
\begin{aligned}
L_1 &= \frac{u_0 r_{31} - d_u r_{11}}{D} \\
L_2 &= \frac{u_0 r_{32} - d_u r_{12}}{D} \\
L_3 &= \frac{u_0 r_{33} - d_u r_{13}}{D} \\
L_4 &= \frac{(d_u r_{11} - u_0 r_{31})x_0 + (d_u r_{12} - u_0 r_{32})y_0 + (d_u r_{13} - u_0 r_{33})z_0}{D} \\
L_5 &= \frac{v_0 r_{31} - d_v r_{21}}{D} \\
L_6 &= \frac{v_0 r_{32} - d_v r_{22}}{D} \\
L_7 &= \frac{v_0 r_{33} - d_v r_{23}}{D} \\
L_8 &= \frac{(d_v r_{21} - v_0 r_{31})x_0 + (d_v r_{22} - v_0 r_{32})y_0 + (d_v r_{23} - v_0 r_{33})z_0}{D} \\
L_9 &= \frac{r_{31}}{D} \\
L_{10} &= \frac{r_{32}}{D} \\
L_{11} &= \frac{r_{33}}{D} \\
D &= -(x_0 r_{31} + y_0 r_{32} + z_0 r_{33}) \\
d_u &= \frac{d}{\lambda_u} \\
d_v &= \frac{d}{\lambda_v}
\end{aligned}
\tag{3.4}
$$

şeklinde elde edilmektedir (Taşdemir, 2009).

Bu çalışmada önerilen yöntemde, görüntülerin elde edildiği kamera parametrelerinin bilinmesine ve z derinlik bilgisine ihtiyaç duyulmadığından önerilen yöntemde DLT dönüşüm yönteminin uygulanması daha basit hale getirilmiş ve yöntemin daha etkin çalışması sağlanmıştır.

3.3. Objektif Özelliklerinden Kaynaklanan Görüntü Bozulmaları

Bir görüntünün bozulma nedeni kullanılan saydam ortamın kırılma indisine, görüntünün elde edilme açısına ve ortamda bulunan ışığa bağlı olarak değişebilmektedir. Sayısal kameralar kullanılarak elde edilen görüntülerde meydana gelen bozulmalar geometrik bozulma, perspektif bozulma ve açısal bozulma olarak üçe ayrılmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde bozulma türleri ve nedenlerine yer verilmektedir.

3.3.1. Geometrik Bozulmalar ve Nedenleri

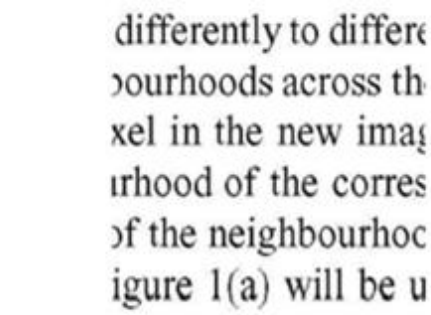
Sayısal kameralardaki büyük gelişmeler optik karakter tanıma gibi sistemlerde, belge görüntülemek için tarayıcıların yerini almışlardır. Kameralar, pek çok yeni belge analizi uygulamalarını olanaklı kılan taşınabilir, uzun menzilli ve temas gerektirmeyen görüntüleme aletleridir. Bunun yanında kameralar, PDA' lar, cep telefonları, medya oynatıcıları gibi pek çok taşınabilir bilgisayar cihazları ile bütünleştirilmişlerdir. Tarayıcılara oranla sayısal kameraların üretim maliyetleri düşmüş ve çok sayıda insan tarafından satın alınmışlardır. Topluca düşünüldüğünde bu faktörler, kamera tabanlı belge analizine yönelik bilgilerin artış sebebini de anlaşılır kılmaktadır.

PDA' lar ve cep telefonları gibi kameralı taşınabilir cihazlar, farklı dillerdeki yol işaretlerinin tanımlanmasında, belgelerin ofis dışında sayısallaştırılmasında ve görme engelliler için metinden sese dönüştürülebilen uygulamalarda giriş verisi sağlanmasında kullanılan ideal platformlar haline gelmiştir. Endüstriyel pazarda yüksek kaliteli kameralar, tarama işlemi için uygun olmayan kalın kitapların sayısal görüntülerinin sağlanmasında ve yine tarama işlemi için uygun olmayan tarihi el yazmalarının sayısallaştırılmasında kullanılmaktadırlar. Tüketici pazarında ise kamera tabanlı belge görüntülenme masaüstü ortamlarda kullanılmaktadır.

Tarayıcılar ve kameralar arasındaki farka bağlı olarak pek çok kamera tabanlı uygulamalarının yapıldığı durumlarda, tarayıcı kaynaklı OCR gibi tekniklerin uygulama olanaklarının bulunmadığı görülmektedir. Özellikle kamera tabanlı görüntüler elde edildiğinde belge konumu ve perspektif projeksiyon durumlarında, OCR algoritmalarının mümkün olmadığı görülebilmektedir. Bunun sonucu olarak bazı kamera tabanlı belgelerde OCR uygulamalarının çalışması mümkün olamamaktadır. Şekil 3.4' de bir kamera ile elde edilen görüntü ve temiz bir tarayıcıdan elde edilen görüntülerin karşılaştırılması gösterilmektedir (Liang ve ark., 2008).



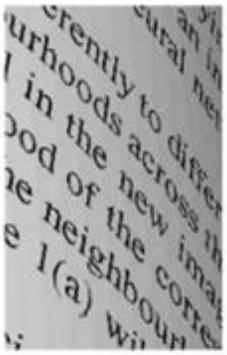
a) Bir belgenin temiz taratılmış görüntüsü



b) a)'nın büyütülmüş bir alt görüntüsü



c) Aynı belgenin kavisli olarak kamera ile çekilmiş görüntüsü



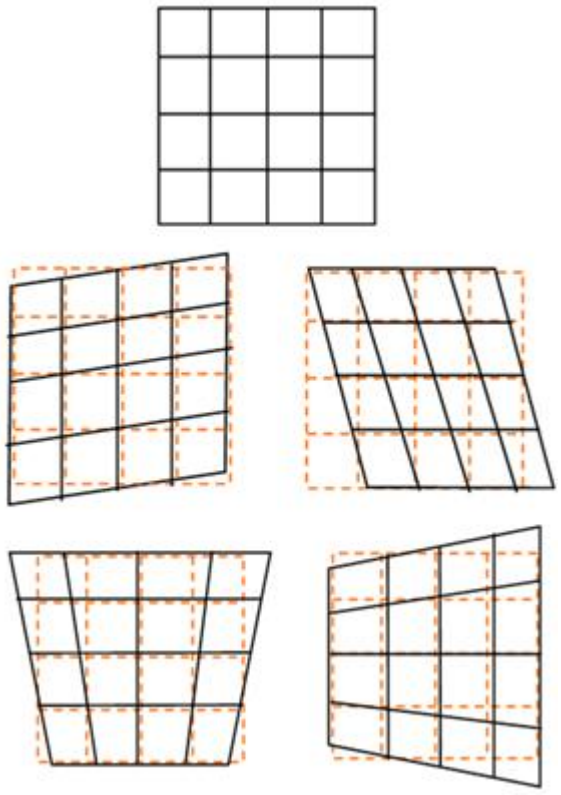
d) c)'nin büyütülmüş alt görüntüsü

Şekil 3. 4. Tarayıcı ve kameradan elde edilmiş belge görüntülerinin karşılaştırılması (Liang ve ark., 2008)

Şekil 3.4 c)' deki kavisli metin hatları ve aralıklar karakter tanıma sistemlerinde kullanılan pek çok sayfa bölümleme tekniğinin uygulanmasını olanaksız kılmaktadır. Çünkü bükülmüş karakterler bölümleme ve tanımlamayı güçleştirmektedir. Sayısal kameradan belli bir açıda elde edilen belge görüntüleri ile bir tarayıcıdan elde edilen görüntüler üzerinde OCR uygulamaları çalıştırıldığında, kameradan elde edilen

görüntülerin başarım oranı daha düşüktür. Yüksek bir başarım elde edilebilmesi için kamera görüntülerinin düzeltilmesi gerekmektedir.

Geometrik bozulmalar yükseklik değişimleri, açısal durum değişiklikleri ve görüntü elde etme aygıtının mekanizmasından kaynaklanan hatalardan dolayı meydana gelmektedir. Görüntü elde etme aygıtının veya platformunun yüksekliği, görüntüsü elde edilecek olan nesneden yukarıda olması durumunda görüntü ölçeklerinin değişmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile yükseklik değişimine bağlı geometrik bir bozulma meydana gelmektedir. Normal olarak görüntü elde etme aygıtının bakış ekseni, görüntüsü elde edilecek nesneye diktir. Görüntü elde etme aygıtının hareketli olduğu varsayılırsa, aygıtın bakış ekseninin dışına çıkması ya da açısal konumunun değişmesi durumunda geometrik bozulmalar meydana gelmektedir. Görüntü elde etme aygıtının mekanizmasından oluşan hatalar ise, mekanizmanın optik sisteminden kaynaklanan hatalardır. Mercek sisteminin değişmesi veya herhangi bir merceğin optik eksenden kayması elde edilecek görüntüyü etkilemektedir.



Şekil 3. 5. Farklı açılarda meydana gelen geometrik bozulmalar

Geometrik bozulma sadece tarayıcı ile taratılmış veya kameralardan elde edilmiş belge görüntülerinde meydana gelmemektedir. Örneğin uydular aracılığı ile yeryüzü görüntülerinin elde edilmesi sırasında da meydana gelebilmektedir. Dolayısı ile geometrik düzeltme, uyduların hareketli yapısından dolayı gereklidir. Uydu hareket halindeyken görüntü almaktadır. Alınan görüntünün analiz işlemlerinde kullanılabilmesi için görüntünün harita formuna sokulduktan sonra harita koordinatlarına yerleştirilmesi gerekmektedir. İlk aşamada görüntü üzerinde herhangi bir projeksiyona bağlı olarak koordinatlama yapıldıktan sonra görüntü, bulunduğu koordinat sisteminden başka bir koordinat sistemine taşınmaktadır. İkinci aşamada, görüntünün geometrik düzeltme işlemleri için görüntü üzerine iyi dağılmış yer kontrol noktaları belirlenmektedir. Bu noktalar harita koordinatları yardımıyla işlenmektedir. Diğer bir yolda koordinatlanmış olan görüntüden faydalanılarak, geometrik düzeltme yapılmaktadır (Taymuş, 2009). Geometrik bozulmaların düzeltilmesi, yöntemler ne olursa olsun, kavramsal olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada orijinal görüntü ile düzeltilmiş görüntünün konumları arasındaki geometrik ilişki ortaya konmaktadır. Diğer aşamada ise yeni görüntüyü oluşturan her pikselin değeri hesaplanmaktadır.

3.3.2. Perspektif Bozulmalar ve Nedenleri

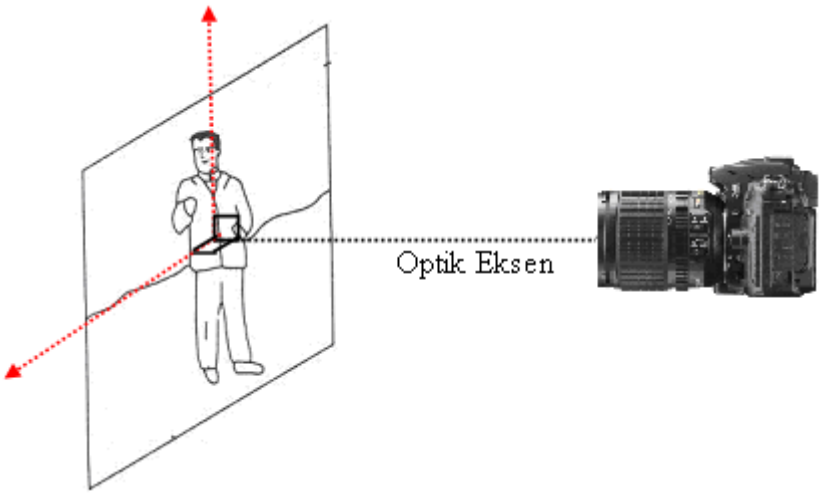
Sayısal bir kameranın görüntü düzlemi üzerindeki bir görüntü noktasının konumu, kameranın bulunduğu konum ve kameranın odak uzaklığı f tarafından belirlenmektedir. Perspektif dönüşüm, gerçek dünya koordinatlarındaki bir noktanın, mükemmel bir iğne deliği kameradan geçirilerek, sayısal kameranın görüntü düzlemindeki bir koordinata düşürülmesi ile oluşmaktadır. Bu dönüşüm kamera bileşenlerinin konumuna ve bileşenlerine göre değişiklik göstermektedir. Böyle bir dönüşümde koordinat sistemindeki bir noktanın üç boyutlu bir koordinat sistemine dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Bu işlemin ardından görüntü düzlemi üzerindeki noktalar iki boyutlu olarak gösterilmektedir (Surati, 1999).

İğne deliği kamera ile doğada elde edilen görüntülerin hemen hemen hepsinde bir perspektif bulunmaktadır (Mohan ve Ark., 2008). Örneğin, dikdörtgen bir nesneyi içeren bir sahnede, nesnenin dikdörtgen olduğu algılanmakta fakat elde edilen görüntü içerisinde bu nesnenin dikdörtgen olmadığı görülebilmektedir. Yani Şekil 3.10' da yer alan kutunun dikdörtgen olması gerekirken beklenen şekilde görünmemektedir. Elde edilen bu görüntünün perspektifinde bir bozulma meydana geldiği için perspektif görüntü olarak adlandırılmaktadır. Görüntülerde, kameranın bakış açısına yakın olan noktalar daha büyük, uzak olan noktalar ise daha küçük görülecektir. Görüntüde yer alan nesnenin ayrıtlarının, sahneye paralel olan çizgilerinin birleştiği nokta, ufuk noktası olarak adlandırılmaktadır (Murali ve Avinash, 2004). Ufuk noktaları dikkate alındığında, uzak nesneleri temsil etmek için kullanılacak piksel sayısı ile yakın mesafeleri temsil etmek için kullanılacak piksel sayıları karşılaştırıldığında, uzak mesafeler için daha az sayıda piksel gerekmektedir. Örneğin Şekil 3.6' da perspektif bozulma nedeniyle uzak ufuk noktasında piksel kayıpları görülebilmektedir.



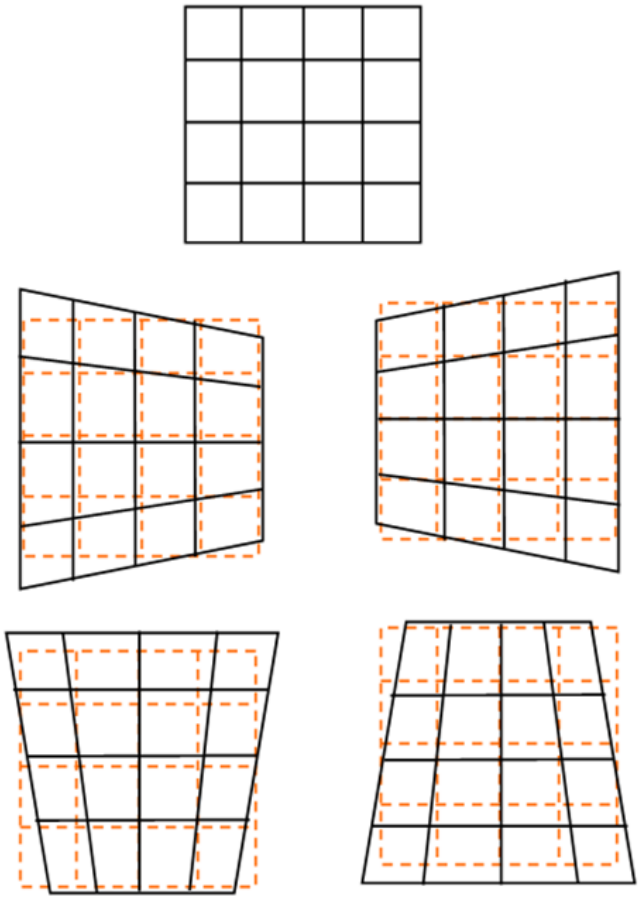
Şekil 3. 6. Kamera konumuna ve bakış açısına bağlı perspektif bozulma (Mohan, 2008)

Perspektif bozulmaların en temel nedeni, kameranın görüntüsü alınacak nesneye dik olarak bakmamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile perspektif bozulmanın meydana gelmemesi için kameranın optik ekseni ile görüntüsü alınacak nesne yüzeyinin birbirine dik olması gerekmektedir. Şekil 3.7' de fotoğraf makinesi ile görüntü arasındaki ilişki temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 7. Objektif ve görüntü arasındaki ilişki

Perspektif bozulmanın meydana gelmesinde objektifin bakış açısının önemi son derece büyüktür. Şekil 3.8’ de dört farklı yönde fotoğraf makinesinin bakış açısının değişmesinden kaynaklı perspektif bozulma biçimleri gösterilmektedir.



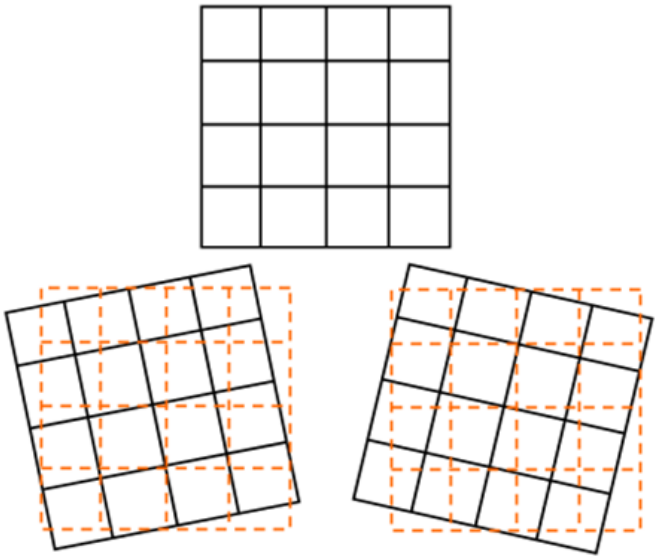
Şekil 3. 8. Perspektif bozulmanın oluşumu

Bu çalışmada, sayısal fotoğraf makinesinin bakış açısı ne olursa olsun elde edilen perspektif görüntülerin 2D uzayına taşınarak düzeltmesini sağlayan bir yöntem önerilmiştir.

3.3.3. Açısal Bozulmalar ve Nedenleri

Açısal bozulma, genellikle belge tarayıcılarda belgenin tarayıcıya gelişi güzel yerleştirilmesinden kaynaklanan bir bozulma türüdür. Her ne kadar belge tarayıcılarda meydana gelse de, herhangi bir sayısal fotoğraf makinesinin açısındaki sapmalardan dolayı da meydana gelebilmektedir. Yani sayısal fotoğraf makinesinin görüntü düzlemine dik olduğu varsayılırsa, makinenin açısal olarak dik eksen üzerinde saat

yönünde ve saatin tersi yönünde döndürülmesinden kaynaklanabilmektedir. Literatürde var olan çalışmalar dikkate alındığında açısal bozulmalar üzerine yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu, belge tarayıcılardan kaynaklanan bozulmalar olduğu görülmektedir. Şekil 3.9' da bir belgenin tarayıcıya gelişi güzel yerleştirilmesi ile elde edilen açısal bozulmuş görüntüler temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. 9. Belgelerin gelişi güzel yerleştirilmesi ve açısal bozulma

Literatürde var olan çalışmaların bir bölümü açısal bozulmalardan kaynaklanan eğim açısın bulunmasını içermekte idi. Ayrıca, belge tarayıcılardan elde edilen herhangi bir metin görüntüsündeki metin satırlarının eğim açılarının yönleri düz çizgiler kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu çalışma da metin satırlarına, eğim yönüne ve eğim açısının büyüklüğüne bakılmaksızın açısal bozulmuş görüntülerin düzeltmesini gerçekleştiren bir yöntem önerilmiştir.

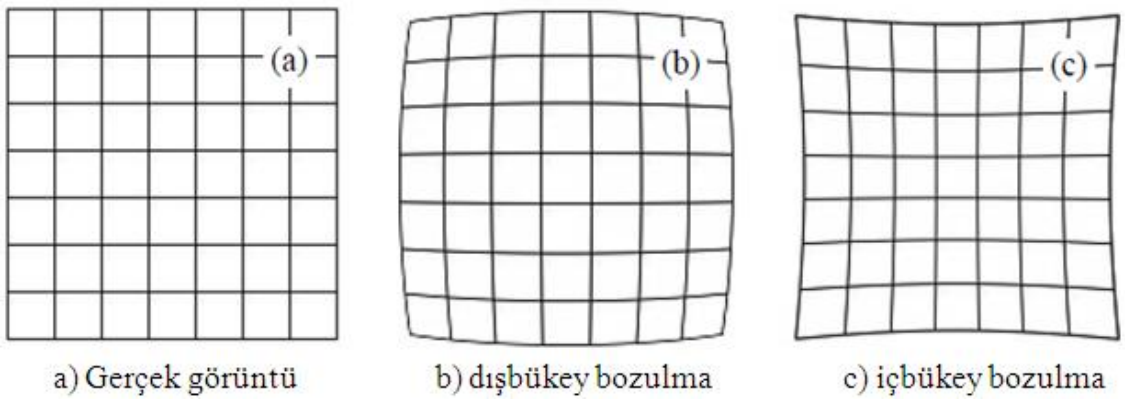
3.4. Kalibrasyon İşlemleri ve Türleri

Kalibrasyon, kamera dâhili parametrelerini elde etme sürecine verilen isimdir (Hartley, 2000). Başka bir deyişle kamera kalibrasyon işlemi, kameranın iç geometrik ve optik karakteristiğinin ve/veya 3D uzayındaki konumu ve belirli koordinat sistemine göre açısal konumunun ve metrik parametrelerinin belirlenmesidir. Bu sistemlerdeki sistematik hataları denetlemek, düzeltmek için gerçekleştirilir. Kalibrasyon, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile onu ölçen cihazın verdiği sonuç arasındaki ilişkiyi bulma işlemidir (Taşdemir, 2009).

Başka bir ifade ile de, optik elemanlı elektronik bir görüntüleme sistemi olan sayısal kamera, sadece düşük veya yüksek çözünürlüklü olması nedeniyle değil aynı zamanda mercek bozulması, algılayıcı düzleminin deformasyonu ve elektronik transfer hataları gibi görüntülerin metrik kalitesini etkileyen bir takım sistematik bozulmalardan etkilenmektedir. Sonuçta görüntüleri metrik anlamda kullanılabilir hale getirmek için, söz konusu sistematik hataların belirlenmesi, modellenmesi ve düzeltilmesi gerekmektedir. Bu işlem kalibrasyon olarak adlandırılmaktadır (Kocaman, 2007).

Optik bozulmalar kamera elemanlarının fiziksel yapısından kaynaklanmaktadırlar ve görüntü düzleminde görüntü noktasının konumunda meydana gelen değişiklikle ilgilidirler. Fakat bunun renk özellikleriyle ilgisi bulunmamaktadır. Bu nedenle görüntülerin genel amaçlı kullanımlarında sorun yaratmayan bu bozulmalar, görüntüler üzerinden metrik ölçümlerin yapılması gerektiğinde oldukça önem kazanmakta ve bunların düzeltilmeleri zorunlu hale gelmektedir. Özellikle sayısal fotoğraf makineleri ve kameralarla görüntü elde edilmesi sırasında optik sistemin bir parçası olan diyaframın önemi büyüktür. Çünkü diyaframın optik sistemde doğru yerde kullanılmaması Şekil 3.10'da gösterildiği gibi, içbükey (pincushion distortion – İğne yastığı bozulma) ve dışbükey (barrel distortion – Fıçı bozulma) bozulma adı verilen iki bozulma türüne sebep olmaktadır. Bu bozulmalar, her mercek sisteminde mutlaka bulunmakta ve bir görüntüdeki noktaların gerçek yerlerinin farklı konumda görünmesine neden olmaktadırlar. Elde edilen görüntü simetrik bir görüntüdür. Bu tür bozulmalarda görüntünün merkez noktası, simetri noktası olarak kabul edilmektedir.

Ancak merkez noktasının simetrik olmadığı durumlarda olabilmektedir. Gelişmiş optik sistemlerde, genellikle bir mercek yerine birden çok mercek kullanılmakta ve bu merceklerin her birinin odak noktalarının aynı doğru üzerinde olması gerekmektedir. Mercek sistemindeki elemanların görüntü eksenlerinin çakışmaması, dolayısıyla ışının mercekler arasındaki doğrultudan sapması görüntüde geometrik yer değiştirmelere ve asimetrik bir görüntü bozulmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3. 10. Görüntüde meydana gelen açısal bozulmalar

Bu bozulmalar, diyaframın doğru yerde kullanılması ile giderilebilmektedir. Ancak, kaynağı belli olmayan sistemlerden elde edilmiş içbükey ve dışbükey bozulmuş görüntüler mevcut ise, bunların bilgisayar yardımı ile düzeltilebilmesi kalibrasyon işleminin doğru yapılmasıyla mümkündür. Kalibrasyon işlemi ile görüntünün elde edildiği sistemin kamera parametreleri tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Arzu edilmeyen görüntü bozulmalarından kaçınmak için düzlem görüntü veren fakat oldukça yüksek fiyatlara sahip kaliteli lensler bulunmaktadır. Bununla birlikte mercek sisteminde kullanılan cam malzemenin kusursuz bir şekilde homojen olarak dağıtılması ya da birden fazla merceğe sahip lenslerde bunların aynı eksen üzerine hatasız yerleştirilmesi mümkün olamadığından, bu bozulmalar az veya çok her mercek sisteminde bulunmaktadır. Bundan dolayı sayısal kameraların, duyarlı ölçümlerde kullanılabilmeleri için mutlaka kalibrasyonlarının yapılması gereklidir (Kocaman, 2007).

Kamera kalibrasyonu, 2D görüntü elde edebilmek için kamerayı en iyi şekilde ifade eden parametrelerinin bilgisayar yardımıyla bulunması olarak tanımlanmaktadır.

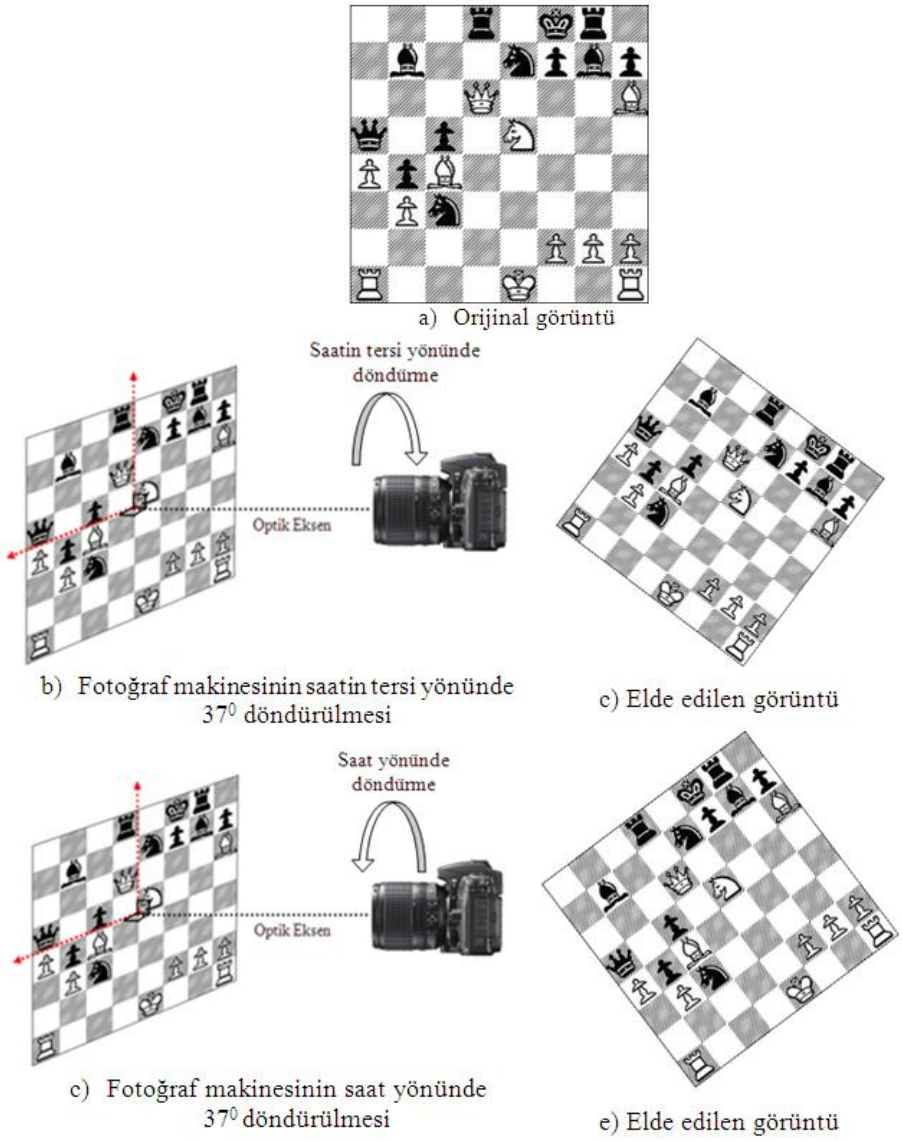
Kamerayı tanımlayan bu parametreler, kameranın optik sistemini ve sensörlerin iç konumlarını ifade etmektedir. Bu iç konum parametrelerine "iç yönelme parametreleri" adı verilmektedir. Kamera sisteminin nesne uzayına göre konumunu ve doğrultusunu belirleyen parametrelere ise "dış yöneltme" parametreleri adı verilmektedir. Kalibrasyon yapılarak, koordinatları bilinen noktalardan alınan görüntüler üzerinde eşleştirmeler yapılarak kameraya ait iç ve dış yöneltme parametreleri bulunmaktadır. Elde edilen bu parametreler yardımı ile görüntülerdeki bozulmalar ortadan kaldırılmaktadır. Görüntülerin düzeltilebilmesi için iç yöneltme parametrelerinin (odak uzaklığı, çarpıklık, düzeltme katsayısı, merkez noktası) bilinmesi yeterli olmaktadır (Kocaman, 2007). Fakat herhangi bir görüntü üzerinde düzeltme işlemi yapılmak istenirse, görüntüye ait kamera parametreleri bilinememektedir.

Bu çalışmada önerilen yöntemde, herhangi bir görüntünün düzeltilebilmesi için görüntü üzerinde basit bir kalibrasyon işlemi yapılmaktadır. Bu kalibrasyon işleminde, görüntü üzerinde dört farklı nokta seçilmektedir. Seçilen bu noktalar düzeltilmek istenen bölgeye ait kamera parametrelerini temsil etmektedir. Seçilen dört noktanın görüntü üzerindeki koordinatları bilindiğinden, görüntüleme aygıtının iç yönetme parametrelerinin bilinmesi ihtiyacını da ortadan kaldırmaktadır.

Farklı türlerde görüntü bozulmaları mevcuttur. Dolayısı ile bu bozulma türleri birbirinden farklı olarak kalibre edilmektedir. Fakat bu çalışmada önerilen yöntemde bozulma türü ne olursa olsun kalibrasyon işleminde her zaman aynı yola başvurulmuştur. Dolayısı ile bozulma türü bilinmeyen görüntülerde büyük avantaj sağlamaktadır.

3.4.1. Görüntünün Açısal Kalibrasyonu

Açısal bozulma, genellikle belge tarayıcılarda belgenin tarayıcıya gelişi güzel yerleştirilmesinden kaynaklanan bir bozulma türü idi. Bu bozulma belge tarayıcıların dışında, sayısal fotoğraf makinelerinin objeye dik olarak bakmamasından da meydana gelebilmektedir. Şekil 3.11' de görüntü düzlemine dik olduğu varsayılan sayısal bir fotoğraf makinesinin saatin tersi yönünde ve saat yönünde döndürülmesinden kaynaklanan açısal bozulmalar temsili olarak gösterilmektedir.

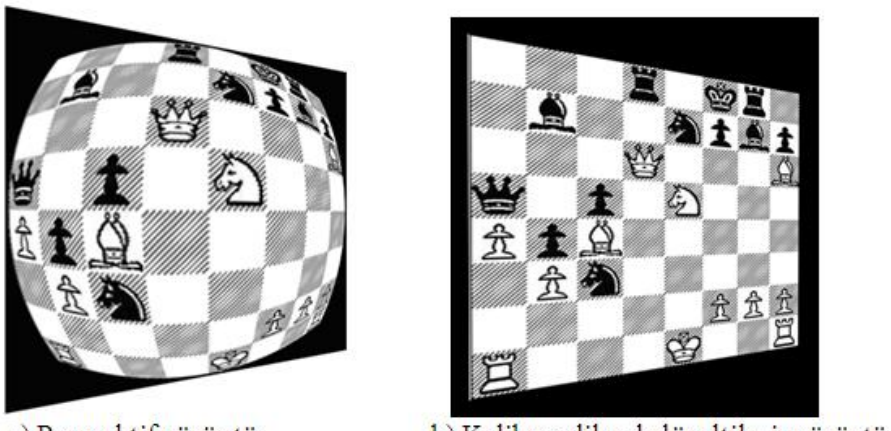


Şekil 3. 11. Açısal bozulmanın oluşumu

Açısal bozulmaya uğramış görüntüler mühendislik uygulamalarında istenilen sonuçların elde edilememesine neden olabilmektedir. Örneğin, eğim açısının 2-3^0 ye kadar ulaşması, optik karakter tanıma sistemlerinin doğru çalışma oranının azalmasına sebep olmaktadır. Eğim açısı 5^0 den daha büyük olduğunda ise karakter tanıma sonuçları kabul edilemez bir hale gelmektedir. Bu nedenle açısal düzeltme işlemi optik karakter tanıma ve benzeri sistemlerde son derece büyük öneme sahiptir (Kwag, 2002). Dolayısı ile açısal bozulmaların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, açısal bozulmaların giderilmesi için dört adet kalibrasyon noktası kullanılmaktadır. Önerilen yöntem ile uygun kalibrasyon noktaları seçildiğinde eğim açısı 90^0 ' ye kadar olan açısal bozulmuş görüntülerin düzeltilmesi sağlanabilmektedir.

3.4.2. Görüntünün Perspektif Kalibrasyonu

Görüntü elde etme aygıtının görüntü düzlemine dik olmaması veya başka bir ifade ile görüntüye belli bir açı ile bakılması durumunda perspektif bir görüntü oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda, görüntü elde etme aygıtına yakın olan kısımlarda görüntü daha büyük uzak kısımlarda ise daha küçük görünmektedir. Bu durumun düzeltilebilmesi için perspektif kalibrasyona ihtiyaç vardır(Kocaman, 2007). Perspektif kalibrasyona ait bir görüntü Şekil 3.12' de gösterilmektedir.



a) Perspektif görüntü b) Kalibre edilerek düzeltilmiş görüntü

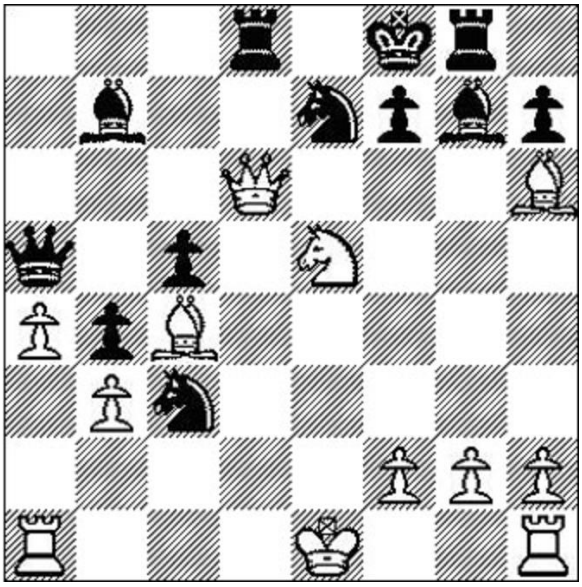
Şekil 3. 12. Görüntünün perspektif kalibrasyonu

Bu çalışmada perspektif düzeltme işlemi yapılmamıştır. Fakat perspektif bozulmaya uğramış görüntüler üzerinde kalibrasyon işlemi yapılarak geometrik düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Geometrik düzeltilmiş bir görüntü yine Şekil 3.12 b' deki gibi belli açıda döndürüldüğünde perspektif bozulmalarda ortadan kaldırılabilmektedir.

3.4.3. Görüntünün Geometrik Kalibrasyonu

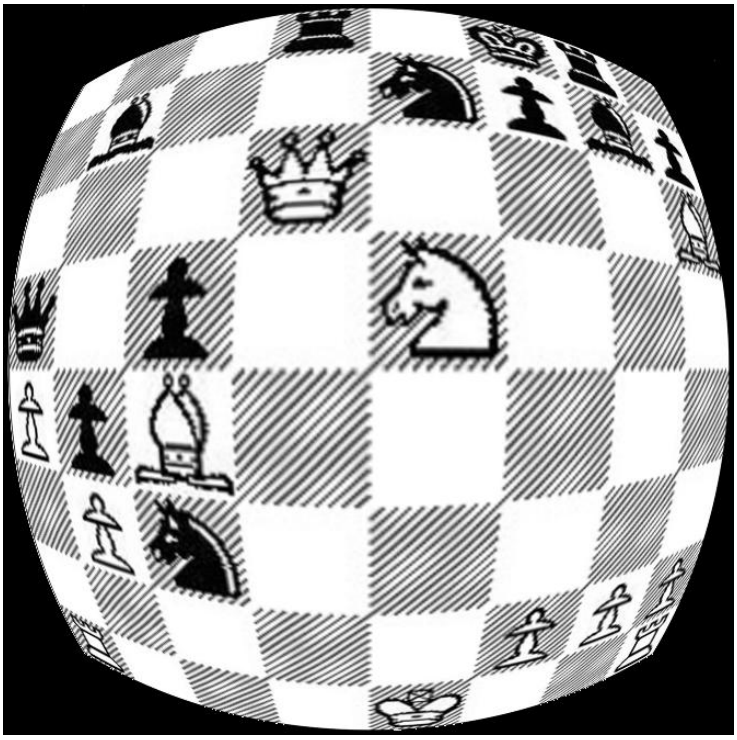
Görüntü elde etme cihazları ile elde edilen görüntülerde, görüntü alma aşmasında genellikle değişik nedenlerden dolayı bazı bozulmalar, özelliklede geometrik bozulmalar oluşabilmektedir. Görüntü üzerinde analizler yapmadan önce bir takım ön işlemler yapmak gerekir. Bu ön işlemlerin en önemlisi, görüntü elde etme sistemini en iyi bir şekilde ifade eden kalibrasyon parametrelerin (resim çekme merkezinin uzaklığı, odak uzaklığı, resim koordinat sistemi eksenlerinin yönleri ve dönüklükleri) bulunmasıdır.

Yapılan çalışmada geometrik bozulmuş görüntüler elde edebilmek için Delphi 2005 programlama dilinde bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım yardımı ile kenar bölgelerinde görüntü sıkışmalarının meydana geldiği, geniş açılı bir mercek görüntüsü elde edilmiştir. Mercek görüntülerinin elde edilmesinde, ölçüleri bilinmeyen 8 yatayda ve 8 düşeyde olmak üzere toplam 64 kareden oluşan Şekil 3.13' de gösterilen bir satranç tahtası görüntüsü kullanılmıştır.



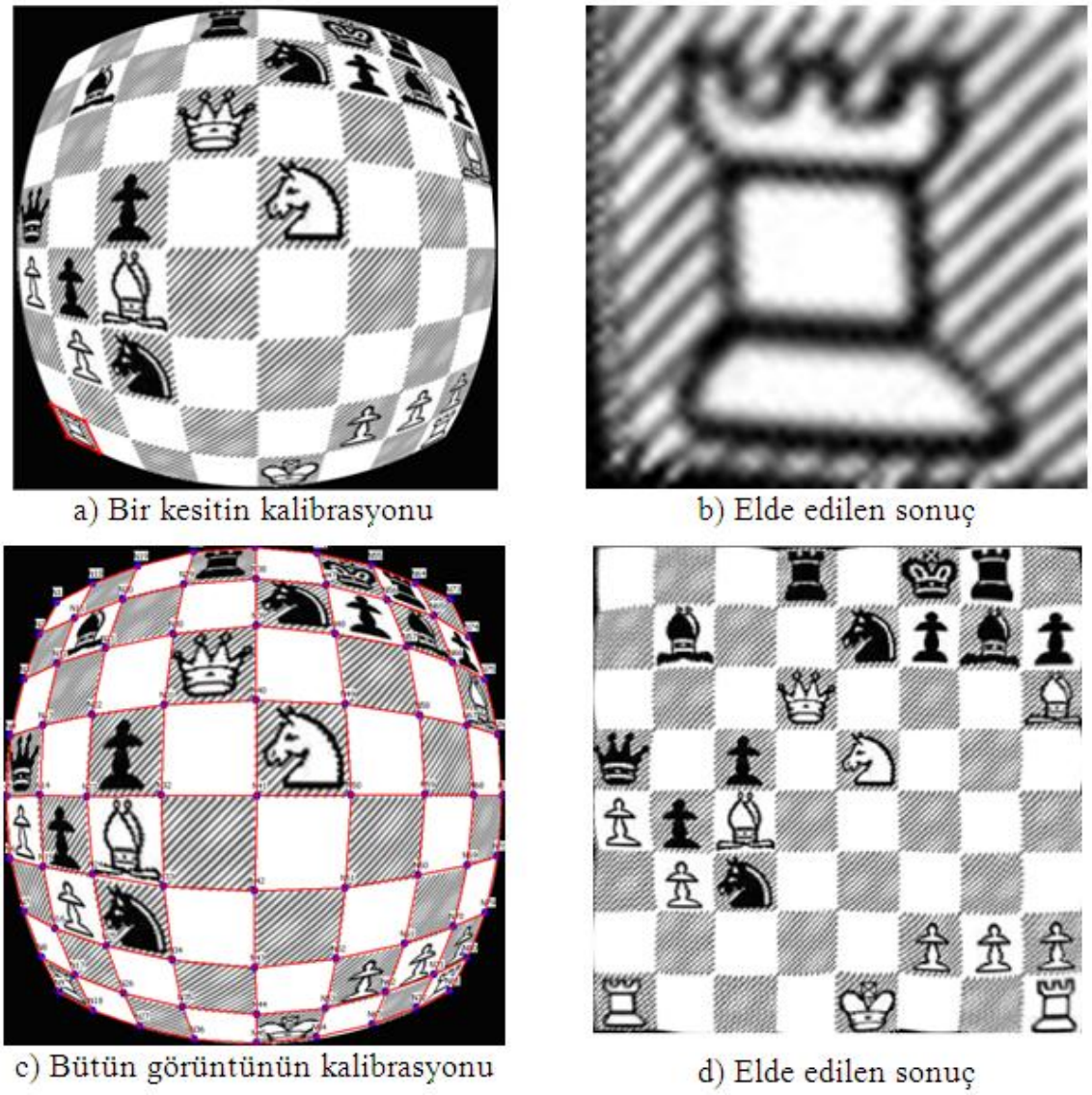
Şekil 3. 13. Kullanılan 8x8’ lik satranç tahtası

Gerçekleştirilen yazılım yardımı ile Şekil 3.13’ deki satranç tahtası görüntüsünün mercekten geçirilmesi ile elde edilen örnek bir görüntü Şekil 3.14’ de görüldüğü gibi bombeli (dışbükey) olmaktadır.



Şekil 3. 14. Mercek sisteminden elde edilen bir görüntü (Dışbükey)

Elde edilen bu görüntüler üzerinde herhangi bir kesitinin anlaşılır kılınabilmesi için öncelikle kalibrasyon parametrelerinin hassas bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Kalibrasyon parametreleri hesaplandıktan sonra görüntüler kolaylıkla düzeltilebilmektedir. Çalışmada önerilen yöntemde, geometrik bozulmuş görüntülerin herhangi bir kesitinin düzeltilmesi istenirse, kalibrasyon işlemi dört adet nokta ile gerçekleştirilebilmektedir. Eğer görüntünün tamamı düzeltilecekse yeteri sayıda kalibrasyon noktası belirlenmektedir. Şekil 3.14' de bombeli görünüme sahip olan görüntünün önerilen yöntemle kalibrasyonlarının ardından, elde edilen anlaşılır görüntüleri Şekil 3.15' da gösterilmektedir.



Şekil 3. 15. Görüntülerin geometrik kalibrasyonları

3.5. Hata Ölçüm Yöntemleri

Hata ölçümleri iki görüntü arasındaki farkları değerlendirmek ve kaliteleri hakkında yorum yapabilmek için kullanılmaktadır. Görüntü kalitelerinin değerlendirilmesi, görüntü ve video işleme uygulamalarının gelişmesi ile önemli hale gelmiştir. Görüntülerin değerlendirilmesinde insan görme sistemi bir karar verebilmektedir. Bu sübjektif ölçüm olarak adlandırılmaktadır. Fakat görüntülerin kalitesi hakkında yorum yapabilmek için yeterli değildir. Bu nedenle objektif ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Objektif ölçümler, matematiksel teorilere dayanmakta ve daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır (Han ve ark., 2009). Herhangi bir görüntünün bir işleme tabi tutulmasından sonra görüntüde meydana gelen bozulma oranını ölçmenin farklı yöntemleri vardır. Bu yöntemler içerisinde en bilinenleri MSE (Mean Squared Error – Ortalama Karesel Hata), RMSE (Root Mean Squared Error - Hataların Kareli Ortalamalarının Karekökü), PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio - Tepe Sinyal Gürültü Oranı), PAE (Peak Absolute Error - Mutlak Hataların En Büyüğü) ve MAE (Mean Absolute Error - Hataların Mutlak Değerinin Ortalaması) 'dir.

MSE hataların kareleri toplamının ortalamasıdır. Başka bir deyişle, orijinal görüntü pikselleri ile işlenmiş görüntü pikselleri arasındaki farkların kareleri toplamının ortalaması olarak ifade edilmektedir. Gauss tarafından tanımlanan ortalama karesel hataya çoğu zaman sadece "Ortalama Hata" da denmektedir. Ölçülerin doğruluk derecesi hakkında en isabetli fikri vermektedir. Görüntülerin karşılaştırılması sırasında kullanılan en iyi yöntemlerden biridir ve iki görüntü arasındaki farkı belirtmek için kullanılmaktadır (Kurtuldu, 2009). Ortalama karesel hatanın 0' a yakınlığı, öne sürülen modelin yeterliliğini göstermektedir. M görüntünün yatay boyutunu, N görüntünün dikey boyutunu, S_{ij} orijinal görüntü piksellerini ve Y_{ij} işlenmiş görüntü piksellerini göstermek üzere ortama karesel hata aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$MSE = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(Y_{ij} - S_{ij})^2 \tag{3.5}$$

RMSE hataların kareli ortalamalarının karekökü olarak ifade edilmektedir. RMSE, her veri noktası ile model arasında birbirine uymayan noktaların ortalama oranıdır. RMSE değerlerine bakılarak kalite ölçümü yapılabilmektedir. RMSE değeri yüksek ise hata oranı büyüktür, eğer düşük ise veriler modele yakın, sıfır ise verilerin model ile aynı olduğu söylenebilmektedir (Karaca, 2007). RMSE, genelleştirilmiş bir standart sapmadır ve sapmalar serisinin kareli ortalamasının karekköüne eşittir. Başka bir deyişle ortalama karesel hatanın karekköüdür. Bilimsel araştırmalarda sağlıklı sonuçlar verdiği için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aranılan uygunluk kriteri, ölçülmüş ve modellenmiş seriler arasındaki farkın minimize edilmesi ve mümkün olduğunca sonucun sıfıra yaklaşması şeklinde tarif edilmektedir (Gündemir, 2006). RMSE aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$RMSE = \sqrt{MSE} \tag{3.6}$$

RMSE ile hata ölçümü eğer RGB değerlerine göre yapılmak istenirse, r_i, g_i, b_i orijinal görüntünün RGB değerlerini ve R_i, G_i, B_i ise işlenmiş görüntünün RGB değerlerini göstermek üzere aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Karaca, 2007).

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(r_i - R_i)^2}$$

$$RMSE_g = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(g_i - G_i)^2} \tag{3.7}$$

$$RMSE_b = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(b_i - B_i)^2}$$

PSNR tepe sinyal gürültü oranı olarak ifade edilmektedir. Görüntüler arasında en yüksek sinyal gürültü oranının hesaplanması için kullanılmaktadır. İki görüntü arasında PSNR ölçümü desibel olarak ifade edilmektedir. PSNR oranı, orijinal ile işlenmiş

görüntü arasındaki kalite ölçümü için kullanılmaktadır. PSNR değerinin yüksek olması elde edilen görüntünün kalitesinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Karaca, 2007).

PSNR, hesaplamasında MSE veya MSE' nin karekökü olan RMSE kullanılmaktadır. MSE kullanıldığında aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{R^2}{MSE}\right) \tag{3.8}$$

Denklem 3.8' de *R* değeri 8 bitlik tamsayı (integer) veri tipinde tanımlandığında, hesaplamalarda 255 olarak kabul edilmektedir. Bu kabulden hareketle PSNR değeri, RMSE yardımı ile hesaplanırsa aşağıdaki ifade kullanılmaktadır (Karaca, 2007).

$$PSNR = 10\log_{10}\frac{255^2}{MSE} = 20\log_{10}\frac{255}{\sqrt{MSE}} = 20\log_{10}\frac{255}{RMSE} \tag{3.9}$$

Renkli görüntülerin PSNR değerleri *R, G, B* değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Renkli görüntülerin hesaplama işlemi aşağıdaki ifadeler yardımı ile yapılmaktadır (Karaca, 2007).

$$\begin{aligned} PSNR &= \frac{PSNR_R + PSNR_G + PSNR_B}{3} \\ PSNR_R &= 20\log\left(\frac{255}{RMSE_r}\right) \\ PSNR_G &= 20\log\left(\frac{255}{RMSE_g}\right) \\ PSNR_B &= 20\log\left(\frac{255}{RMSE_b}\right) \end{aligned} \tag{3.10}$$

Hataların mutlak değerinin ortalaması olarak ifade edilen MAE ve mutlak hataların en büyüğünü (tepe noktasını) gösteren PAE, hata ölçümleri için daha seyrek

kullanılan yöntemlerdir. Bazı uygulamalar hataların belli bir eşik değerini aşmamasını istemektedirler. Bu gibi durumlarda PAE daha önemli olmaktadır (Mesut, 2006). PAE, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilmektedir. Burada amaç en yüksek hata değerini bulmaktır.

$$PAE = \max_{MN}\left|S_{ij} - Y_{ij}\right| \tag{3.11}$$

MAE, orijinal görüntü pikselleri ile işlenmiş görüntü pikselleri arasındaki mutlak hatayı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. MAE değeri sıfıra ne kadar yakın olursa modelinin tahmin yeteneği o kadar iyi demektir. MAE, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilmektedir (Eyüboğlu, 2011).

$$MAE = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left|S_{ij} - Y_{ij}\right| \tag{3.12}$$

3.6. İki Görüntünün Benzerlik Oranının Belirlenmesi

Optik bir sistemden elde edilen bir görüntü üzerinde yapılan herhangi bir işlem sonucunda, görüntülerin bir takım özellikleri kaybolabilmektedir. Önerilen yöntemlerin güvenilirliğinin belirlenebilmesi için orijinal görüntüler ile işlenmiş görüntülerin karşılaştırılması ve yukarıda anlatılan test yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu test yöntemleri görüntülerin kaliteleri hakkında bilgiler vermektedir. Fakat görüntüler arasındaki benzerlik oranlarının belirlenebilmesi için piksel değerlerinin karşılaştırılmasından faydalanılmaktadır. Orijinal görüntüdeki piksel değerleri ile işlenmiş görüntüdeki piksel değerleri arasındaki fark, benzerlik oranının yüzdesinin belirlenmesinde önemli bir etkendir. Bu çalışmada önerilen yöntemde, işlenen görüntülerin benzerlik oranlarının tespit edilebilmesi *xequte software* firması tarafından

önerilen benzerlik oranı belirleme yöntemi uygulanmıştır (xequte.com, 2011). Bu yöntem aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Adım 1: Orijinal görüntü ve işlenmiş görüntünün genişlik ve yükseklik değerleri belirlenir. İki görüntünün genişlik ve yükseklikleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu nedenle hangi görüntünün yükseklik ve genişlik değerlerinin karşılaştırmada kullanılacağına karar verilir. Karar verme aşaması şöyledir. W_o, orijinal görüntünün genişliği, H_0, orijinal görüntünün yüksekliği, W_i, işlenmiş görüntünün genişliği ve H_i işlenmiş görüntünün yüksekliği olmak üzere;

- $W_0 = W_i$ ise işlemde kullanılacak genişlik W_o olarak seçilmektedir.
- $W_0 > W_i$ ise işlemde kullanılacak genişlik W_o olarak seçilmektedir. Genişlikleri eşitlemek için W_i' nin geriye kalan kısımları beyaz olarak kabul edilmektedir.
- $W_0 < W_i$ ise işlemde kullanılacak genişlik W_i olarak seçilmektedir. Genişlikleri eşitlemek için W_o' ın geriye kalan kısımları beyaz olarak kabul edilmektedir.
- $H_0 = H_i$ ise işlemde kullanılacak yükseklik H_0 olarak seçilmektedir.
- $H_0 > H_i$ ise işlemde kullanılacak yükseklik H_0 olarak seçilmektedir. Yükseklikleri eşitlemek için H_i' nin geriye kalan kısımları beyaz olarak kabul edilmektedir.
- $H_0 < H_i$ ise işlemde kullanılacak yükseklik H_i olarak seçilmektedir. Yükseklikleri eşitlemek için H_0' ın geriye kalan kısımları beyaz olarak kabul edilmektedir.

Adım 2: Karşılaştırma işlemi için kullanılacak görüntüler renkli bir görüntü ise, görüntüler, renkli görüntülerden (RGB) gri renkli görüntülere dönüştürülmektedir. Renkli görüntüden gri görüntüye dönüştürme işlemi yapmak için dönüşüm katsayıları olan *R* (Red - Kırmızı) için 0.299, *G* (Green - Yeşil) için 0.587 ve *B* (Blue - Mavi) için 0.114 katsayı değerleri kullanılmaktadır. Renkli görüntüdeki her pikselin RGB değeri bu katsayılarla çarpılarak toplanmaktadır. R_i, i. pikselin Red değerini, G_i, i. pikselin

Green değerini, B_i, i. pikselin Blue değerini ve P_i, i. pikseli temsil etmek üzere her bir görüntüdeki i. pikselin gri değeri şöyle hesaplanmaktadır.

$$P_i = R_i \; x \; 0.299 + \; G_i \; x \; 0.587 + \; B_i \; x \; 0.114 \tag{3.13}$$

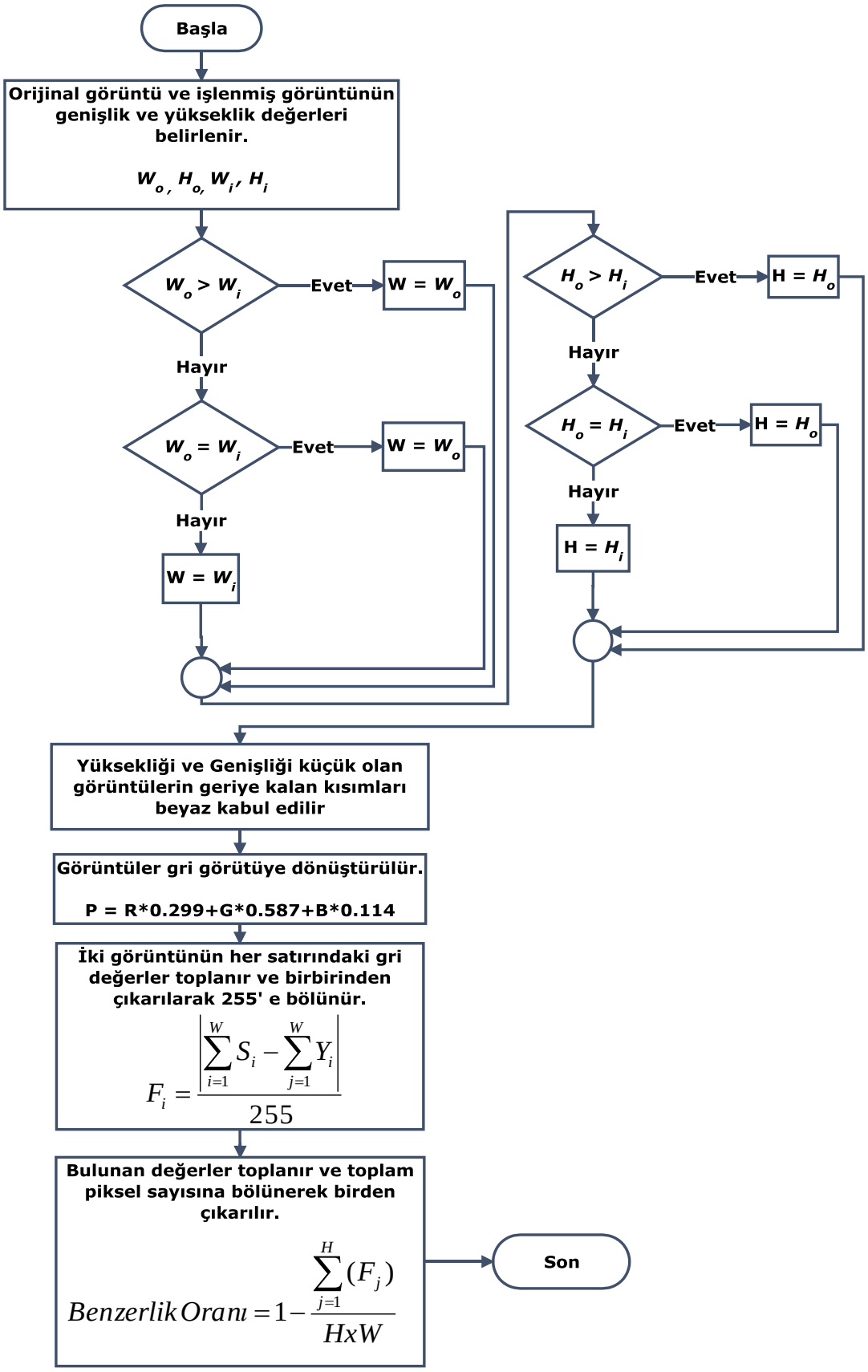
Adım 3: Her iki görüntünün karşılaştırma işlemi satır satır yapılmaktadır. Her satırdaki gri renk değerleri, her bir görüntü için ayrı ayrı toplanır. Her iki görüntünün, her satırı için elde edilen toplam gri renk değerleri birbirinden çıkarılarak mutlak değeri alınır ve 255 maksimum gri renk değerine bölünür. S, orijinal görüntüdeki her bir satırın toplam gri renk değerini Y, işlenmiş görüntüdeki her bir satırın toplam gri renk değerini ve F, S ile Y arasındaki farkı göstermek üzere, i. satırın ortalama gri renk değeri aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$F_i = \frac{\left| \sum_{i=1}^{W} S_i - \sum_{i=1}^{W} Y_i \right|}{255} \tag{3.14}$$

Adım 4: Her satır için elde edilen ortalama gri renk değerleri toplanır. Toplanan gri renk değerleri, bir görüntünün toplam piksel sayısına ($H \, x W$) bölünerek birden çıkarıldığında, iki görüntünün yüzde olarak ne kadar benzerlik gösterdiği bulunmaktadır. S_{ij}, orijinal görüntüdeki gri piksel değerlerini ve Y_{ij}, işlenmiş görüntüdeki gri piksel değerlerini temsil etmek üzere, benzerlik oranı aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

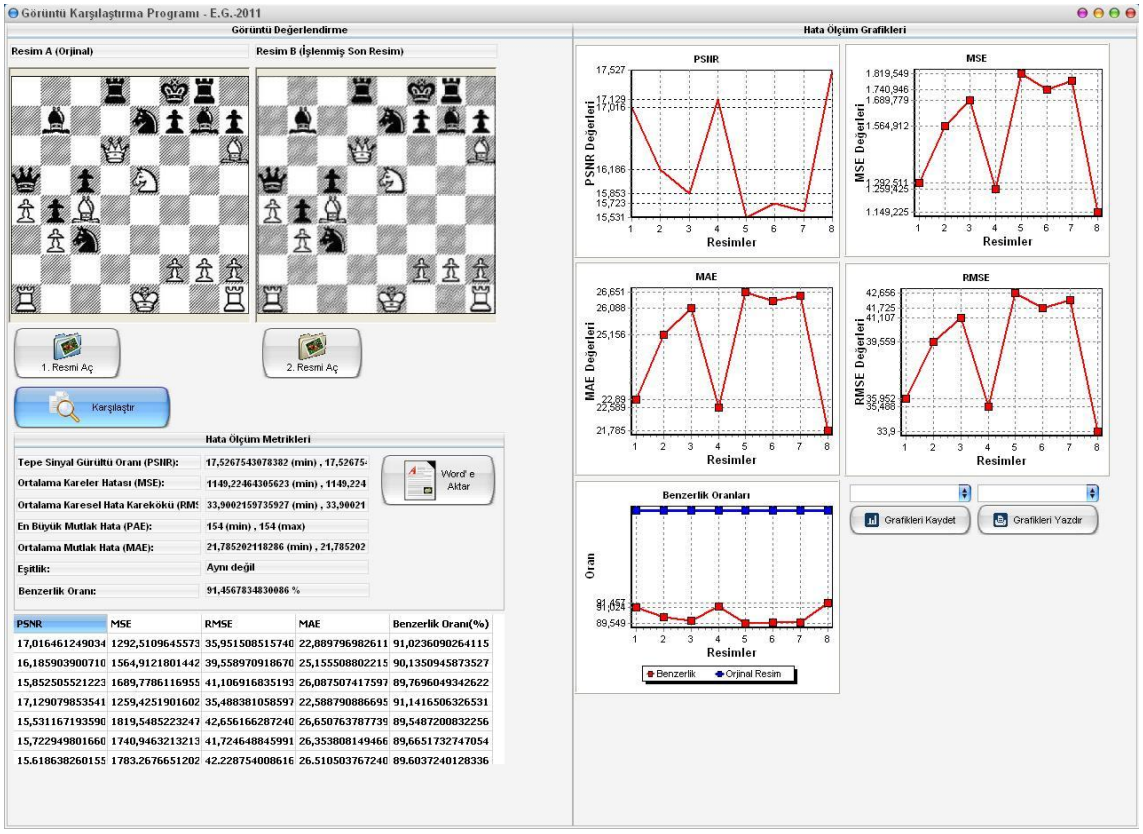
$$Benzerlik\ Oranı = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{H} \left(F_j \right)}{HxW} \tag{3.15}$$

Benzerlik oranının belirlenmesinde kullanılan yöntemin akış şeması Şekil 3.16' da verilmiştir.



Şekil 3. 16. Benzerlik oranı işlem akış şeması

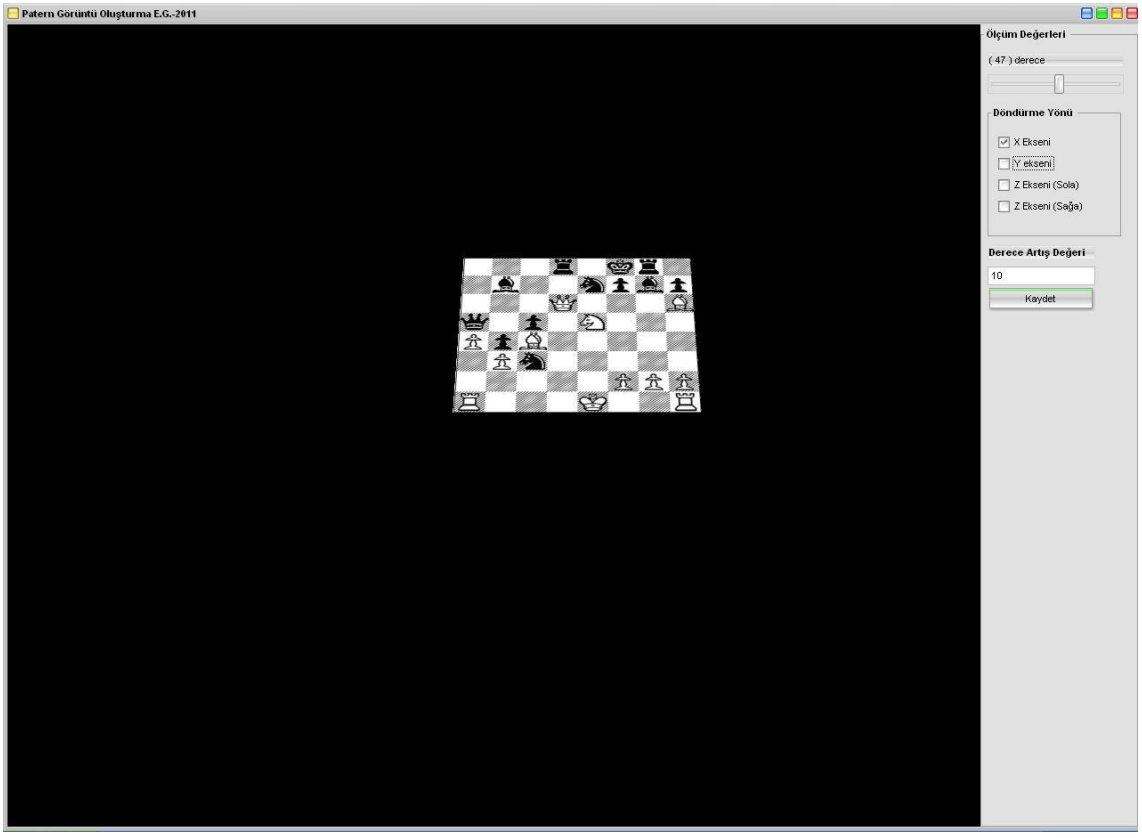
Hata ölçümlerinin yapılabilmesi ve benzerlik oranlarının belirlenebilmesi için Delphi 2005 programlama dilinde bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım yardımı ile iki görüntü arasındaki MSE, RMSE, PSNR, MAE ve PAE hata ölçüm değerleri elde edilmiş, görüntülerin benzerlik oranları belirlenerek sonuçların bir tabloya aktarılması sağlanmıştır. Ayrıca, değerlendirme sonuçları grafiklerde gösterilerek elde edilen sonuçların izlenebilmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen yazılımın ara yüzü Şekil 3.17' de gösterilmektedir.



Şekil 3. 17. Hata ölçüm ve karşılaştırma yazılımı ekran görüntüsü

3.7. Patern Görüntü Elde Etme Yazılımı

Çalışmada önerilen yöntemin farklı görüntülerle ve farklı bozulma türleri ile test edilebilmesi için Delphi 2005 programlama dili ve OPENGL grafik kütüphanesi birlikte kullanılarak bir patern görüntü oluşturma yazılımı gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım ile 2D bir görüntü X, Y ve XY eksenlerinde farklı açılarla döndürülmektedir. Elde edilen açısal ve geometrik bozulmuş görüntülere, bu çalışmada önerilen yöntem ile düzeltme işlemi uygulanmaktadır. Düzeltme işleminin ardından bölüm 3.5' de anlatılan hata ölçüm yöntemleri uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları ve bulgular Bölüm 4' de ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Gerçekleştirilen yazılımın ekran görüntüsü Şekil 3.18' de gösterilmektedir.

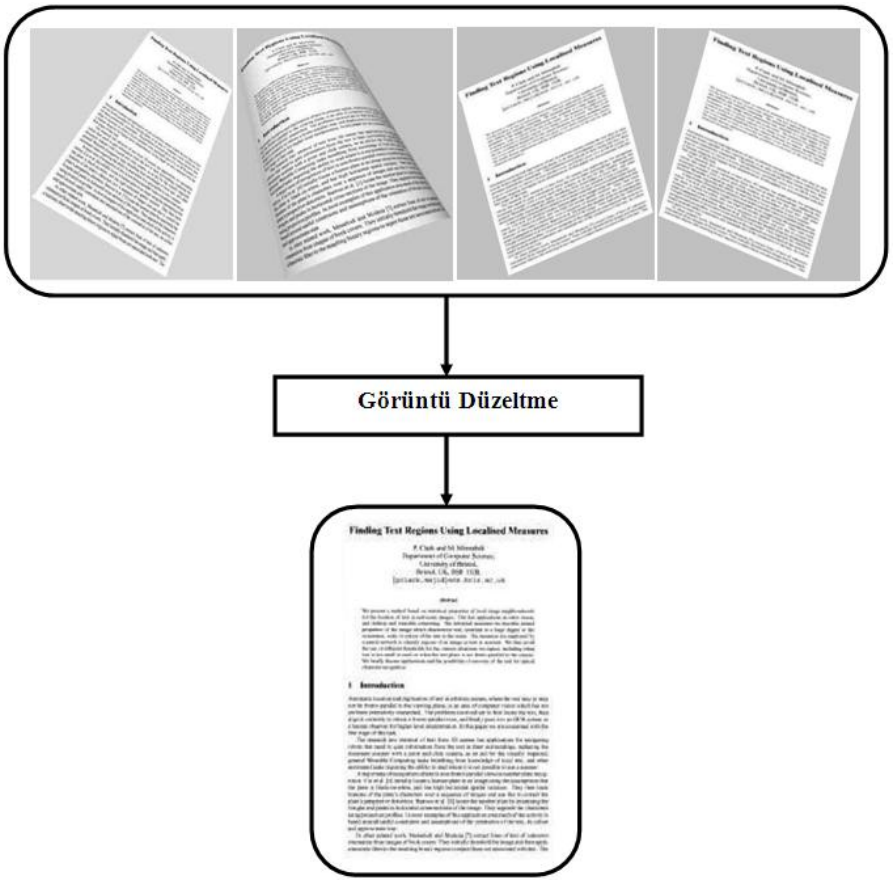


Şekil 3. 18. 2D görüntü döndürme yazılımın ekran görüntüsü

4. BOZULMUŞ GÖRÜNTÜNÜN ALGORİTMİK İYİLEŞTİRİLMESİ

Tipik belge tarayıcılara kıyasla sayısal fotoğraf makineleri ve kameralar, temassız görüntü yakalama özellikleri ile pek çok mühendislik uygulamalarının gerçekleştirilmesinde önemli hale gelmişlerdir. Bununla birlikte, sayısal fotoğraf makineleri ve kameralarla elde edilmiş görüntülerde, obje veya belgenin konumuna bağlı olarak bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmalar, mühendislik uygulamalarının başarısızlıklarında en büyük etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, kamera tabanlı görüntüler elde edildiğinde belgenin konumuna bağlı olarak geometrik veya açısal bir bozulma meydana gelmektedir. Geometrisi veya açısı bozulmuş belge görüntülerinin OCR uygulamalarında çalışması, karakterlerin doğru algılanamamasından dolayı mümkün olmamaktadır.

Görüntü düzeltme yöntemleri, çeşitli araştırmaların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Görüntü üzerinde herhangi bir nedenden dolayı meydana gelen bir bozulma düzeltilirken literatürde pek çok yöntem ileri sürülmüştür. Bu bölümde, optik özellikleri bilinmeyen bir sistemden elde edilen ve bozulmaya uğramış görüntülerin düzeltilmesini sağlayan etkili bir yöntem sunulmuştur. Sunulan yöntem, Şekil 4.1’ de gösterildiği gibi açısal veya geometrik bozulmaya uğramış görüntülerin düzeltilmesini sağlamakla birlikte, perspektif bozulmaya uğramış görüntülerinde 2D koordinat sistemine taşınmasını ve üzerinde işlem yapılmasını sağlayabilmektedir. Görüntünün tamamının düzeltilebilmesinin yanı sıra önemli görülen herhangi bir görüntü kesiti de düzeltilebilmektedir.

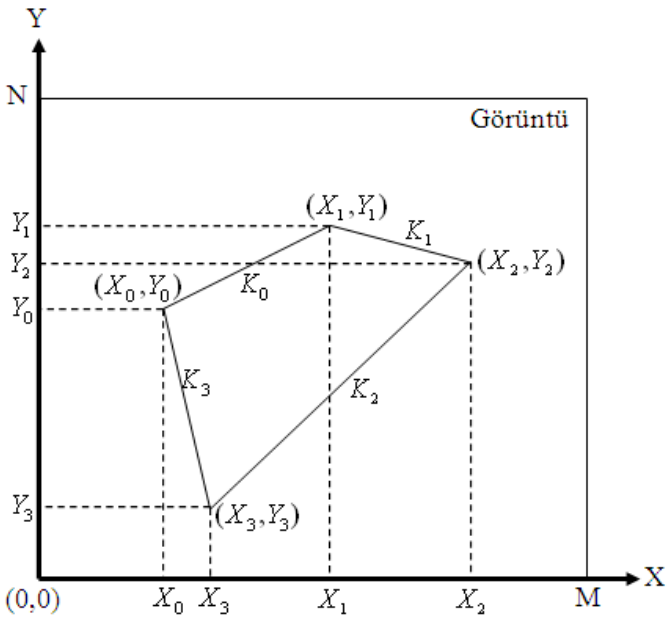


Şekil 4. 1. Farklı tiplerde bozulmuş belge görüntüleri ve düzeltilmesi

Çalışmanın bu bölümünde önerilen yöntemin matematiksel altyapısı ayrıntılı olarak anlatılmış, yöntemin doğrulanması için gerçekleştirilen bilgisayar yazımı ve kullanımına yer verilmiştir. Ayrıca önerilen yöntem, herhangi bir ortamdan elde edilmiş ve özellikleri bilinmeyen görüntüler üzerinde yazılım aracılığı ile uygulanarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

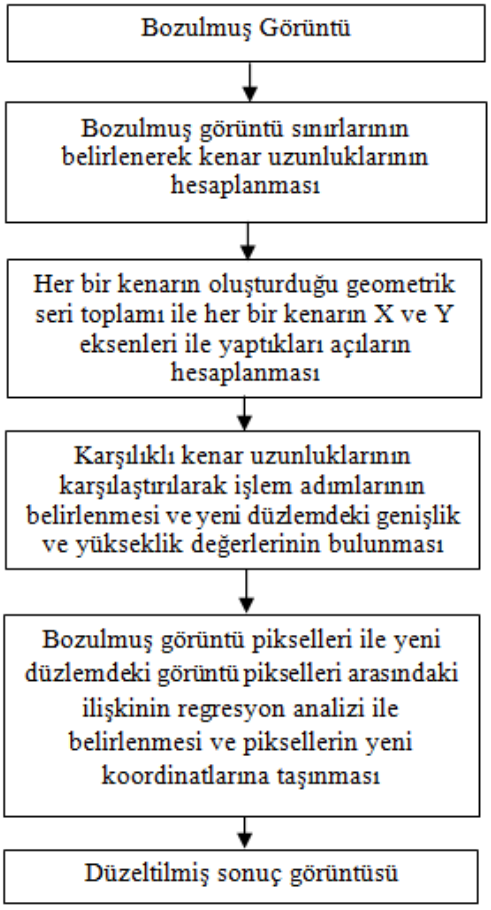
4.1. Önerilen Yöntemin Matematik Temeli

Giriş görüntüsünde işaretlenen köşe koordinatları $(X_0, Y_0), (X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3)$ olmak üzere Şekil 4.2' de gösterilmektedir.



Şekil 4. 2. Kalibrasyon noktaları ve koordinatları

Bu noktaların belirlediği şekil herhangi bir dörtgen olmakla birlikte aslında bir dikdörtgenin köşeleri olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda düzeltilmiş görüntüde karşılıklı kenarların birbirine eşit ve iç açıların 90^0 olacağı bellidir. Kenar koordinatları ve kenar uzunlukları düzeltme işleminde önemli rol oynamaktadır. Bu kenar noktaları kalibrasyon noktaları olarak adlandırılmaktadır. Önerilen yöntem, Şekil 4.3' de blok diyagramı verilen adımlardan oluşmaktadır.



Şekil 4. 3. Yöntemin blok diyagramı

Seçilen noktaların X ve Y eksenleri ile olan koordinatlarının birleştirilmesi ile kapalı bir alan oluşturmakta ve geometride dörtgen adı verilen geometrik bir şekil meydana getirmektedir. Sınırları belirlenen geometrik şeklin kenar uzunlukları sırasıyla K_0, K_1, K_2 ve K_3 Pisagor teoremi ile hesaplanmaktadır. Kenar uzunlukları Pisagor teoreminden,

$$K_0 = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}$$

$$K_1 = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

$$K_2 = \sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2} \qquad (4.1)$$

$$K_3 = \sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Her kenar, X ve Y düzlemleri ile bir açı meydana getirmektedir. α, X düzlemi ile yapılan açıyı ve θ, Y düzlemi ile yapılan açıyı göstermek üzere her bir kenarın X ve Y düzlemi ile yapmış olduğu açılar Çizelge 4.1' de verilmiştir.

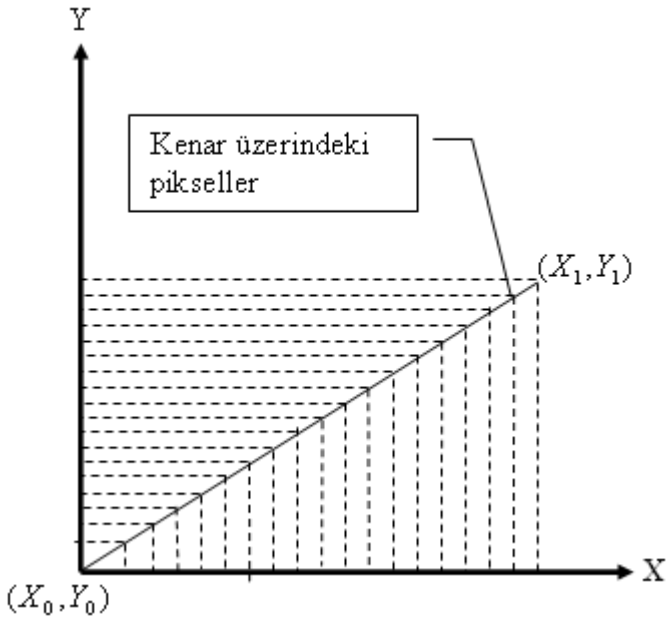
Çizelge 4. 1. Kenarların düzlemler ile yaptıkları açıların hesaplanması

Kenar	**Kenarların X ve Y düzlemleri ile yaptığı açılar**	
K_0	$\alpha_0 = \frac{X_1 - X_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}}$	$\theta_0 = \frac{Y_1 - Y_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}}$
K_1	$\alpha_1 = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}}$	$\theta_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}}$
K_2	$\alpha_2 = \frac{X_2 - X_3}{\sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}}$	$\theta_2 = \frac{Y_2 - Y_3}{\sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}}$
K_3	$\alpha_3 = \frac{X_3 - X_0}{\sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}}$	$\theta_3 = \frac{Y_3 - Y_0}{\sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}}$

Oluşan kenar uzunlukları, her bir kenarın X ve Y düzlemleri ile yapmış oldukları açılar ve yeni düzlemdeki maksimum genişlik ve yükseklik değerleri hesaplanır. Düzeltilmiş görüntünün dikdörtgen olduğu varsayıldığından bozulmaya uğramış görüntü ile düzeltilmiş görüntü arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ilişki ilgili kenarın hangi yöne ve kaç derece döndürüleceğinin tespit edilebilmesi ile mümkündür. Doğru üzerindeki noktaların X ve Y düzlemleri ile olan koordinat değerleri düzgün bir artış gösterdiğinden bir seri meydana getirmektedir. Oluşan bu seriye *geometrik seri* adı verilmektedir. Geometrik seri toplamı elde edilen bir doğru parçası maksimum 90^0 döndürülebilmektedir.

İki nokta arasında bir doğru meydana gelmektedir. Bu doğrunun X ve Y düzlemleri ile bir açı oluşturması kaçınılmazdır. Her bir doğrunun, X ve Y düzlemleri ile yapmış olduğu açı ve oluşturdukları geometrik serinin toplam değeri, düzeltme parametrelerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu düzeltme parametreleri, seçili

bölgedeki görüntü piksel değerlerinin 2D uzayına taşınmasında yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır. (X_0, Y_0) ile (X_1, Y_1) noktalarının X ve Y düzlemleri ile oluşturduğu bir geometrik seri örneği Şekil 4.4.' de gösterilmektedir.



Şekil 4. 4. İki noktanın meydana getirdiği geometrik seri örneği

Elde edilen geometrik şekil dört noktadan oluşmakta ve kenar uzunlukları aynı veya birbirinden farklı olabilmektedir. Yöntemde düzeltme işlemi, belirlenen noktalara ve hesaplanan kenar uzunluklarına göre yapılmaktadır. Doğru ve güvenilir bir sonuç elde edebilmek için noktaların doğru seçilmesi gerekmektedir. Literatürde düzeltme parametreleri, seçilen noktaların X, Y ve tahmini Z koordinatları ile tespit edilirken, bu çalışmada sadece X ve Y koordinatları ile birlikte karşılıklı kenarların uzunluk bilgileri ve kenarların birbirleri ile yapmış oldukları açılar kullanılmıştır. Açıların kullanılmasının temel nedeni, düzeltme işleminin kaç derece yapılacağının tespit edilmesidir.

Çalışmada, karşılıklı kenarların uzunlukları karşılaştırılarak gerçekleştirilecek işlem sayısı azaltılmıştır. $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$ karşılıklı kenar uzunluklarının karşılaştırılması ile yapılacak olan işlem basamaklarını, R karşılıklı iki kenar arasındaki açıyı, q her bir kenarın X ve Y düzlemi ile yapmış olduğu geometrik

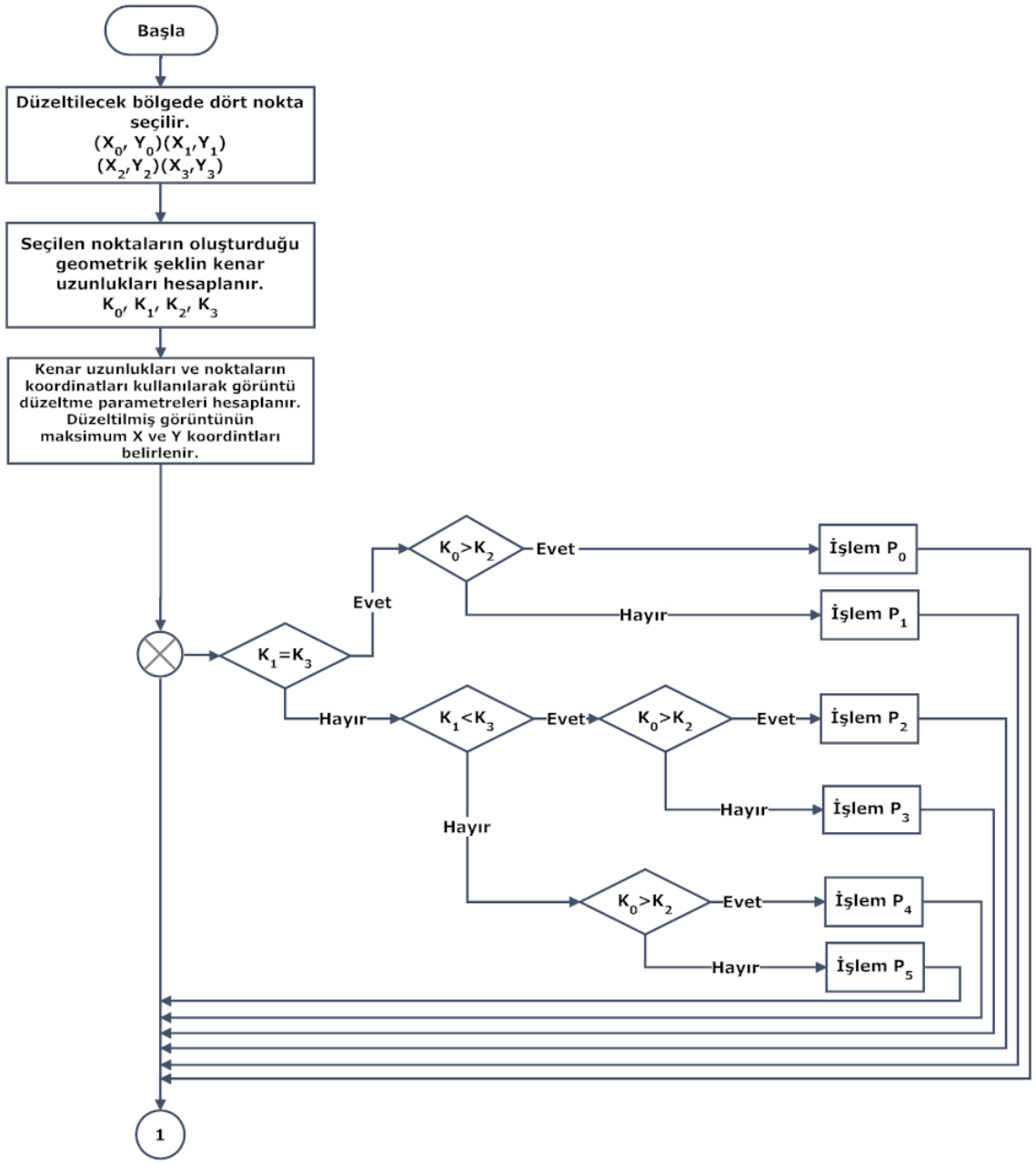
serinin toplamını ve N yeni görüntü düzleminin maksimum büyüklüğünü göstermek üzere, mümkün olan işlem basamaklarına ait denklemler Çizelge 4.2' de gösterilmektedir.

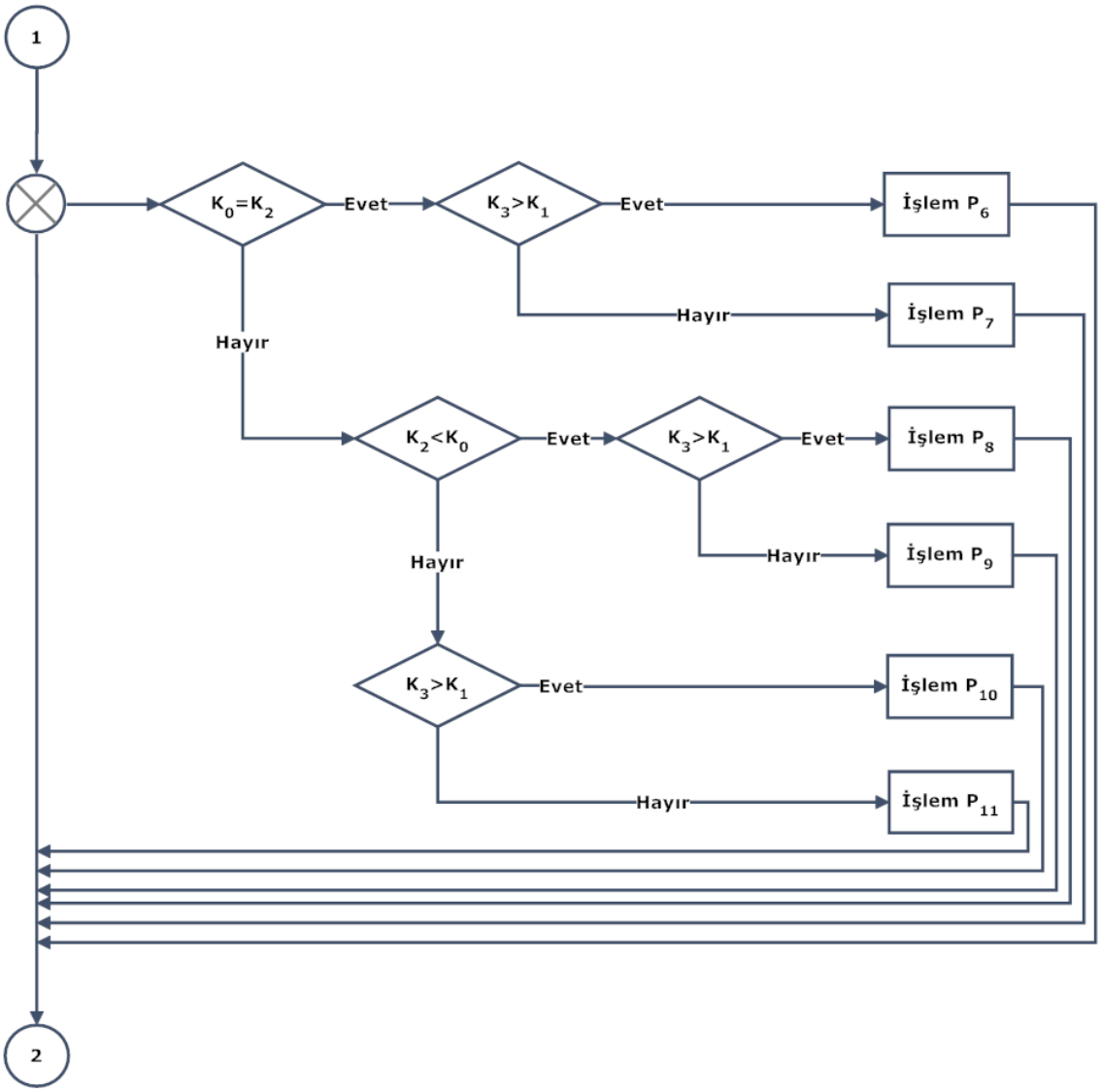
Çizelge 4. 2. Önerilen yöntemin mümkün işlem basamakları denklemleri

İşlem No	Karşılıklı Kenarlar Arasındaki Açı	Kenar Geometrik Seri Toplamı	Yeni Düzlemin Kenar Uzunluğu
$\boldsymbol{P_0} \Rightarrow$	$R_{K_0} = 1$ $R_{K_2} = \frac{K_2}{K_0}$	$q_{K_0} = 1$ $q_{K_2} = 1$	$N_{K_0} = K_0$ $N_{K_2} = K_0$
$\boldsymbol{P_1} \Rightarrow$	$R_{K_2} = 1$ $R_{K_0} = \frac{K_0}{K_2}$	$q_{K_2} = 1$ $q_{K_0} = 1$	$N_{K_2} = K_2$ $N_{K_0} = K_2$
$\boldsymbol{P_2} \Rightarrow$	$R_{K_0} = 1$ $R_{K_2} = \frac{K_2}{K_0}$	$q_{K_0} = \frac{(K_0 - 1)}{(K_0 - \frac{K_1}{K_3})}$ $q_{K_2} = q_{K_0}$	$N_{K_0} = \frac{\ln\left(\frac{K_1}{K_3}\right)}{\ln(q_{K_0})} + 1$ $N_{K_2} = N_{K_0}$
$\boldsymbol{P_3} \Rightarrow$	$R_{K_2} = 1$ $R_{K_0} = \frac{K_0}{K_2}$	$q_{K_2} = \frac{(K_2 - 1)}{(K_2 - \frac{K_1}{K_3})}$ $q_{K_0} = q_{K_2}$	$N_{K_2} = \frac{\ln\left(\frac{K_1}{K_3}\right)}{\ln(q_{K_2})} + 1$ $N_{K_0} = N_{K_2}$
$\boldsymbol{P_4} \Rightarrow$	$R_{K_0} = (q_{K_0})^{N_{K_0}}$ $R_{K_2} = \frac{K_2}{K_0 * R_{K_0}}$	$q_{K_0} = \frac{(K_0 - 1)}{(K_0 - \frac{K_1}{K_3})}$ $q_{K_2} = \frac{1}{q_{K_0}}$	$N_{K_0} = \frac{\ln\left(\frac{K_3}{K_1}\right)}{\ln(q_{K_0})} + 1$ $N_{K_2} = N_{K_0}$
$\boldsymbol{P_5} \Rightarrow$	$R_{K_2} = (q_{K_2})^{N_{K_2}}$ $R_{K_0} = \frac{K_0}{K_2 * R_{K_2}}$	$q_{K_2} = \frac{(K_2 - 1)}{(K_2 - \frac{K_3}{K_1})}$ $q_{K_0} = \frac{1}{q_{K_2}}$ $q_{K_2} = q_{K_0}$	$N_{K_2} = \frac{\ln\left(\frac{K_3}{K_1}\right)}{\ln(q_{K_2})} + 1$ $N_{K_0} = N_{K_2}$
$\boldsymbol{P_6} \Rightarrow$	$R_{K_3} = 1$ $R_{K_1} = \frac{K_1}{K_3}$	$q_{K_1} = 1$ $q_{K_3} = 1$	$N_{K_3} = K_3$ $N_{K_1} = K_3$

$\boldsymbol{P_7} \Rightarrow$	$R_{K_1} = 1$ $R_{K_3} = \frac{K_3}{K_1}$	$q_{K_3} = 1$ $q_{K_1} = 1$	$N_{K_1} = K_1$ $N_{K_3} = N_{K_1}$
$\boldsymbol{P_8} \Rightarrow$	$R_{K_3} = 1$ $R_{K_1} = \frac{K_1}{K_3}$	$q_{K_3} = \frac{(K_3 - 1)}{(K_3 - \frac{K_2}{K_0})}$ $q_{K_1} = q_{K_3}$	$N_{K_3} = \frac{\ln\left(\frac{K_2}{K_0}\right)}{\ln(q_{K_3})} + 1$ $N_{K_1} = N_{K_3}$
$\boldsymbol{P_9} \Rightarrow$	$R_{K_1} = 1$ $R_{K_3} = \frac{K_3}{K_1}$	$q_{K_1} = \frac{(K_1 - 1)}{(K_1 - \frac{K_2}{K_0})}$ $q_{K_3} = q_{K_1}$	$N_{K_1} = \frac{\ln\left(\frac{K_2}{K_0}\right)}{\ln(q_{K_1})} + 1$ $N_{K_3} = N_{K_1}$
$\boldsymbol{P_{10}} \Rightarrow$	$R_{K_3} = (q_{K_3})^{N_{K_3}}$ $R_{K_1} = \frac{K_1}{K_3 * R_{K_3}}$	$q_{K_3} = \frac{(K_3 - 1)}{(K_3 - \frac{K_0}{K_2})}$ $q_{K_1} = \frac{1}{q_{K_3}}$ $q_{K_3} = q_{K_1}$	$N_{K_3} = \frac{\ln\left(\frac{K_0}{K_2}\right)}{\ln(q_{K_3})} + 1$ $N_{K_1} = N_{K_3}$
$\boldsymbol{P_{11}} \Rightarrow$	$R_{K_1} = (q_{K_1})^{N_{K_1}}$ $R_{K_3} = \frac{K_3}{K_1 * R_{K_1}}$	$q_{K_1} = \frac{(K_1 - 1)}{(K_1 - \frac{K_0}{K_2})}$ $q_{K_3} = \frac{1}{q_{K_1}}$ $q_{K_1} = q_{K_3}$	$N_{K_1} = \frac{\ln\left(\frac{K_0}{K_2}\right)}{\ln(q_{K_1})} + 1$ $N_{K_3} = N_{K_1}$

Karşılıklı kenar uzunluklarının karşılaştırılması sonucu Çizelge 4.2' de duruma uygun iki adım gerçekleştirilerek, dört adet *R* açı değeri, dört adet *q* geometrik seri toplamı ve dört adet *N* yeni düzlem nokta koordinatı elde edilmektedir. Görüntü düzeltme parametrelerinin elde edilmesinde izlenen akış diyagramı Şekil 4.5' de verilmektedir.

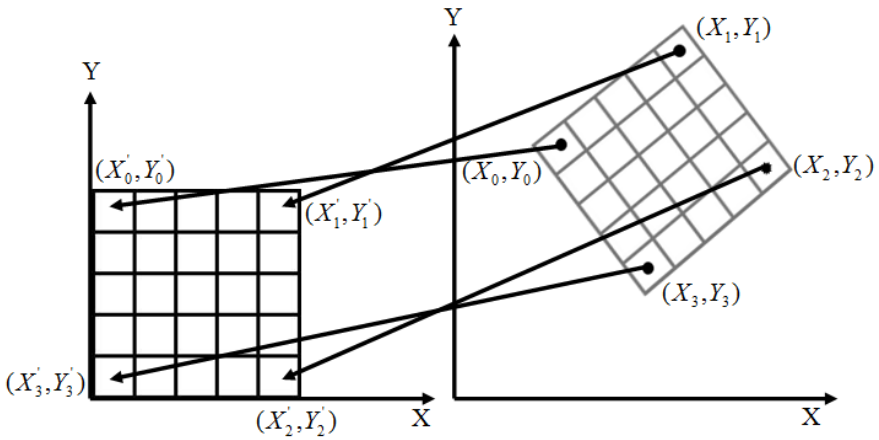

Başla
Düzeltilecek bölgede dört nokta seçilir.
(X0, Y0)(X1,Y1)
(X2,Y2)(X3,Y3)
Seçilen noktaların oluşturduğu geometrik şeklin kenar uzunlukları hesaplanır.
K0, K1, K2, K3
Kenar uzunlukları ve noktaların koordinatları kullanılarak görüntü düzeltme parametreleri hesaplanır. Düzeltilmiş görüntünün maksimum X ve Y koordintları belirlenir.
K0>K2
Evet
İşlem P0
Hayır
İşlem P1
Evet
K1=K3
Hayır
K1<K3
Evet
K0>K2
Evet
İşlem P2
Hayır
İşlem P3
Hayır
K0>K2
Evet
İşlem P4
Hayır
İşlem P5
1



Şekil 4. 5. Düzeltme parametrelerinin elde edilmesini gösteren akış diyagramı

Karşılıklı iki kenarın karşılaştırılmasının en büyük avantajı, kenar uzunluklarına bağlı olarak yukarıda verilen işlem basamaklarından sadece uygun olan iki tanesinin işlem görmesidir. Dolayısı ile diğer işlem basamaklarının gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Burada *R* açı değeri koordinat dönüşümü sırasında ilgili kenarın kaç derece düzeltileceğini belirlemek için kullanılmaktadır. *q* seri toplam değeri ise, kenar boyunca yer alan piksel değerlerinin yeni düzleme doğrudan lineer dönüşüm sırasında doğru bir şekilde taşınmasını sağlamaktadır. Ayrıca, düzeltme parametrelerinin belirlenmesi işlemi sırasında, yeni görüntünün oluşturulacağı 2D uzayının maksimum X ve Y koordinat değerleri de hesaplanmaktadır.

Elde edilen parametreler yardımı ile her bir pikselin 2 boyutlu koordinat sistemine dönüşümü yapılmaktadır. Genel olarak bir koordinat sistemindeki noktaların, bir diğer koordinat sistemindeki gösterimine *koordinat dönüşümü* adını verilmektedir. Koordinat dönüşümleri sonucunda bir görüntü üzerinde ölçülmüş ve koordinat değerleri bir koordinat sisteminde hesaplanmış olan noktaların fiziksel konumları değişmediği halde, koordinat değerlerinin dönüşüm nedeniyle değiştiği söylenebilmektedir (Ünsal, 2009). Temel sorun koordinat dönüşümlerinin matematik ve geometrik modellerine göre hangi uygulamalarda hangi tür dönüşümlerin seçilmesi gerektiğine karar verilmesidir. Literatürde pek çok koordinat dönüşümü mevcuttur. Çalışmada doğrudan lineer dönüşüm yöntemi, uygulanmasının kolay ve hızlı olması sebebi ile tercih edilmiştir. Şekil 4.6' da herhangi bir görüntünün koordinat dönüşümü gösterilmiştir.



Şekil 4. 6. Koordinat dönüşümü

Koordinat dönüşümünün yapılabilmesi için Şekil 4.6' daki gibi mevcut bölge piksel koordinatları ile düzeltme işleminden sonraki piksel koordinatları arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ilişkinin tespit edilebilmesinin en kolay yolu *regresyon analizinin* yapılmasıdır. Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılan bir analiz metodudur (Öztürkcan, 2009). Yöntemde, kenarlar geometrik bir seri oluşturduğundan, sadece kenarlar arasındaki ilişkinin belirlenmesi yeterli olmaktadır. Yani geometrik seri oluşturan kenar ile Şekil 4.6' daki gibi düzeltilmiş kenar arasındaki ilişkinin belirlenmesi dönüşümün yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Regresyon analizinde, kenarlar arasındaki ilişkinin

fonksiyonel olarak açıklanması ve bu ilişkinin bir modelde tanımlanabilmesi amaçlanmaktadır. İki değişken arasındaki ilişkiyi veren basit bir regresyon ifadesi;

$$Y = \propto + \beta X \tag{4.2}$$

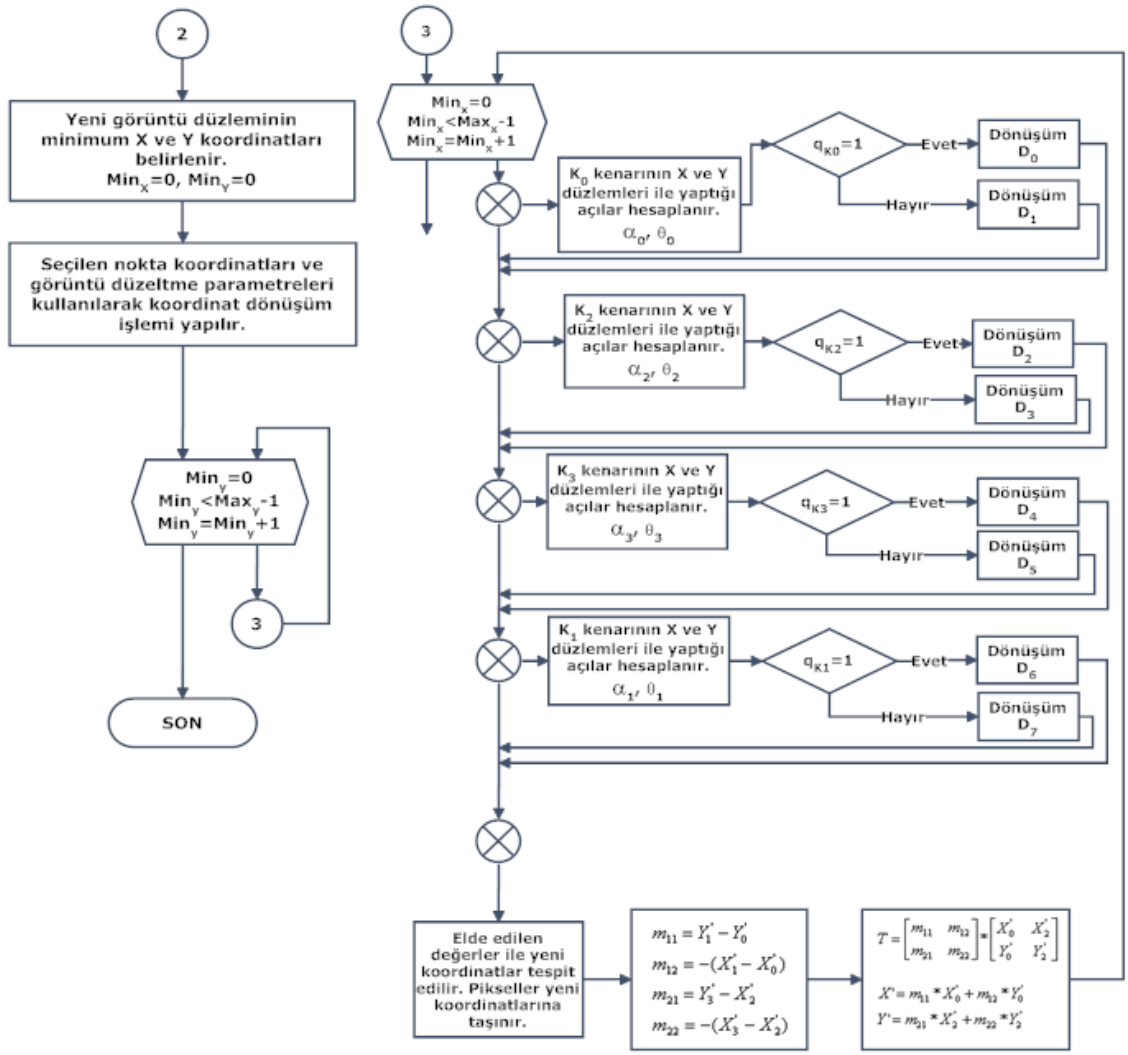
olarak gösterilmektedir. Burada Y bağımlı, X bağımsız değişkendir. β regresyon katsayısı, α sabit olup $X = 0$ olduğunda Y nin alacağı değeri temsil etmektedir (Öztürkcan, 2009). Regresyon denkleminden hareketle kenarlar arasındaki ilişki tanımlanabilmektedir. $(X_0^{'}, Y_0^{'})$, $(X_1^{'}, Y_1^{'})$, $(X_2^{'}, Y_2^{'})$, $(X_3^{'}, Y_3^{'})$ regresyon analizi sonucu düzeltilmiş görüntünün yeni koordinatları olmak üzere her bir kenarın q geometrik seri toplamlarına bağlı mümkün $D_0, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7$ regresyon denklemleri Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Regresyon denklemleri

İşlem No	Regresyon Denklemi
$\boldsymbol{D_0} \Rightarrow$	$X_0' = X_0 + \propto_0 * R_{K_0} * \lvert X_i \rvert$ $Y_0' = Y_0 + \theta_0 * R_{K_0} * \lvert X_i \rvert$
$\boldsymbol{D_1} \Rightarrow$	$X_0' = X_0 + \alpha_0 * R_{K_0} * \left[\frac{1-(q_{K_0})^{X_i}}{1-q_{K_0}}\right]$ $Y_0' = Y_0 + \theta_0 * R_{K_0} * \left[\frac{1-(q_{K_0})^{X_i}}{1-q_{K_0}}\right]$
$\boldsymbol{D_2} \Rightarrow$	$X_1' = X_3 + \alpha_2 * R_{K_2} * \lvert X_i \rvert$ $Y_1' = Y_3 + \theta_2 * R_{K_2} * \lvert X_i \rvert$
$\boldsymbol{D_3} \Rightarrow$	$X_1' = X_3 + \alpha_3 * R_{K_2} * \left[\frac{1-(q_{K_2})^{X_i}}{1-q_{K_2}}\right]$ $Y_1' = Y_3 + \theta_3 * R_{K_2} * \left[\frac{1-(q_{K_2})^{X_i}}{1-q_{K_2}}\right]$
$\boldsymbol{D_4} \Rightarrow$	$X_2' = X_0 + \alpha_3 * R_{K_3} * \lvert Y_i \rvert$ $Y_2' = Y_0 + \theta_3 * R_{K_3} * \lvert Y_i \rvert$

$\boldsymbol{D_5} \Rightarrow$	$\boldsymbol{X_2' = X_0 + \alpha_3 * R_{K_3} * \left[\frac{1-(q_{K_3})^{Y_i}}{1-q_{K_3}}\right]}$ $\boldsymbol{Y_2' = Y_0 + \theta_3 * R_{K_3} * \left[\frac{1-(q_{K_3})^{Y_i}}{1-q_{K_3}}\right]}$
$\boldsymbol{D_6} \Rightarrow$	$X_3' = X_1 + \alpha_4 * R_{K_1} * \lvert Y_i \rvert$ $Y_3' = Y_1 + \theta_4 * R_{K_1} * \lvert Y_i \rvert$
$\boldsymbol{D_7} \Rightarrow$	$X_3' = X_1 + \alpha_4 * R_{K_1} * \left[\frac{1-(q_{K_1})^{Y_i}}{1-q_{K_3}}\right]$ $Y_3' = Y_1 + \theta_4 * R_{K_1} * \left[\frac{1-(q_{K_1})^{Y_i}}{1-q_{K_1}}\right]$

Regresyon analizinde q toplamına bağlı olarak izlenen akış diyagramı Şekil 4.7' de gösterilmektedir.



Şekil 4. 7. Lineer dönüşümün akış şeması

Regresyon analizi sonucu elde edilen koordinat değerleri aracılığı ile piksellerin taşınacağı gerçek koordinat değerleri hesaplanabilmektedir. Regresyon analizinden elde edilen ve yine karşılıklı kenarlara ait 2x2' lik bir *D* dönüşüm matrisi elde edilmektedir. Bu *D* dönüşüm matrisi;

$$D = \begin{bmatrix} X_0' & X_2' \\ Y_0' & Y_2' \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

olarak ifade edilmektedir.

İki boyutlu uzayda noktalar, koordinatları yardımıyla ifade edilmektedirler. Noktaların koordinatları X ve Y olmak üzere iki rakamdan oluşmaktadır. Bu rakamlar

satır veya sütun vektörü şeklinde ifade edilebilmektedirler. Bir şekli oluşturan bu vektörlere aynı zamanda pozisyon vektörleri adı verilmektedir. İki boyutlu uzayda doğrudan lineer dönüşüm matrisi 2x2'lik bir matris ile ifade edilmektedir. Pozisyon vektörlerinden oluşan matris ile lineer dönüşüm matrisi (*T*) çarpılarak istenen dönüşüm elde edilmektedir. İki matrisin çarpılabilmesi için, birinci matrisin sütun sayısı ile ikinci matrisin satır sayısı eşit olmalıdır. Bu kural nedeniyle, pozisyon matrisi iki sütunluk ise lineer dönüşüm matrisinden önce, iki satırlık ise lineer dönüşüm matrisinden sonra yazılıp çarpma işlemi yapılmalıdır. Çarpma işleminin sonucunda elde edilen matris, lineer dönüşümü yapılan şeklin koordinatlarını vermektedir (Altıntaş, 2004). Elde edilen bu matris aracılığı ile bir görüntünün ölçeklenmesi, bir eksen etrafında döndürülmesi ve koordinat dönüşümü gibi işlemler de gerçekleştirilebilmektedir.

Buna göre iki boyutlu uzaydaki lineer dönüşüm (*T*) matrisin elemanları $m_{11}, m_{12}, m_{21}, m_{22}$ olmak üzere;

$$T = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \tag{4.4}$$

biçimde ifade edilmektedir. *T* matrisinin elemanları;

$$\begin{aligned} m_{11} &= Y_1' - Y_0' \\ m_{12} &= -(X_1' - X_0') \\ m_{21} &= Y_3' - X_2' \\ m_{22} &= -(X_3' - X_2') \end{aligned} \tag{4.5}$$

olarak elde edilmektedir. Elde edilecek görüntüdeki yeni piksel koordinatları *X'* ve *Y'* koordinatlarını elde edebilmek için *T* dönüşüm matrisi, regresyon analizi sonucu elde edilen *D* dönüşüm matrisi ile çarpılmaktadır.

$$T = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_0' & X_2' \\ Y_0' & Y_2' \end{bmatrix} \tag{4.6}$$

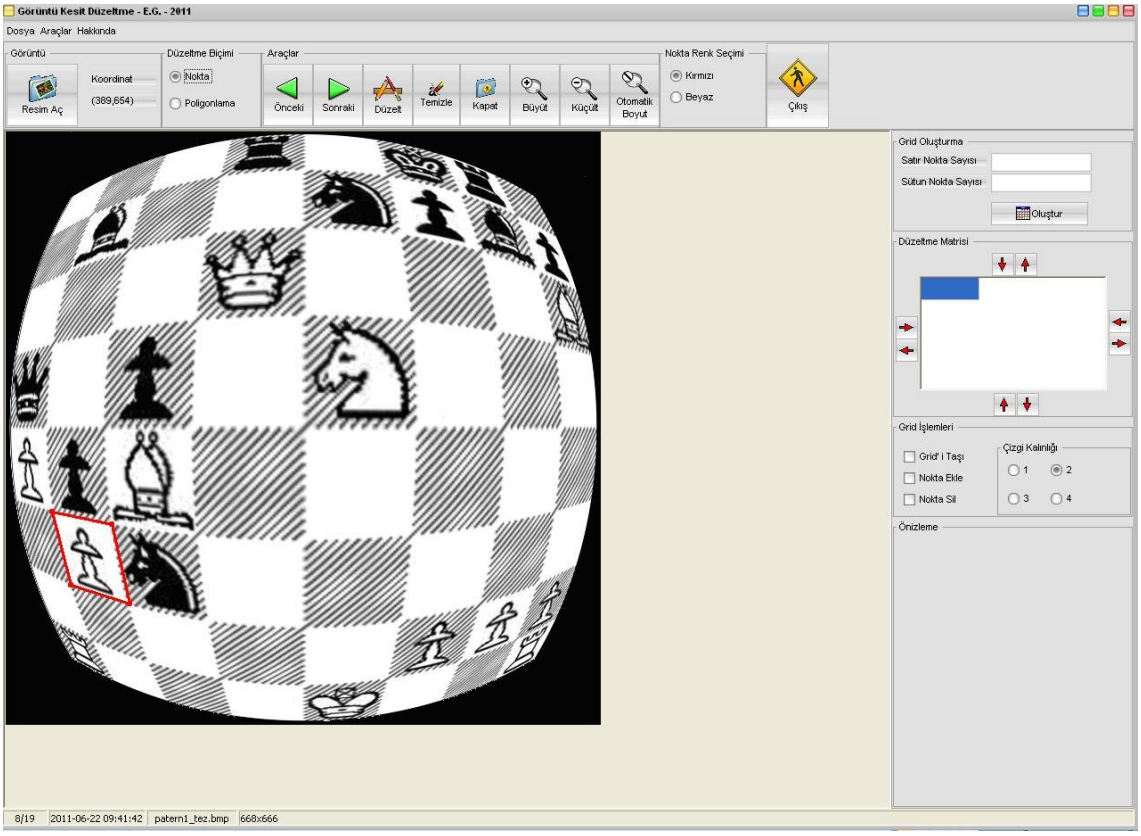
Denklem 4.6 ' dan ,

$$X' = m_{11} * X'_0 + m_{12} * Y'_0$$
$$Y' = m_{21} * X'_2 + m_{22} * Y'_2 \quad (4.7)$$

olarak yeni piksel koordinatları hesaplanmakta ve geometrik şekil içerisindeki pikseller taşınmaktadır. Tüm piksel değerleri yeni konumlarına taşınana kadar dönüşüm işlemi devam etmektedir.

4.2. Önerilen Yöntemin Bilgisayar Uygulaması

Önerilen yöntemin bilgisayar ortamında uygulanması için Delphi 2005 programlama dilinde bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Yazılım aracılığı ile herhangi bir ortamdan elde edilmiş ve özellikleri bilinmeyen görüntüler üzerinde yöntem uygulanmıştır. Yöntem, görüntü üzerinde önemli olduğu düşünülen herhangi bir kesitin düzeltilmesi ve görüntünün tamamının düzeltilmesi olarak iki şekilde gerçeklenmiştir. Delphi 2005 programlama dilinde gerçekleştirilen yazılımın kullanım kılavuzu EK-1' de ve ekran görüntüsü Şekil 4.8' de verilmiştir.

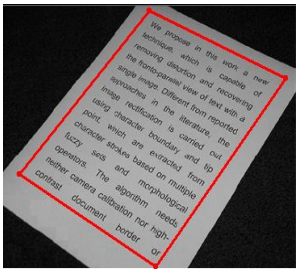
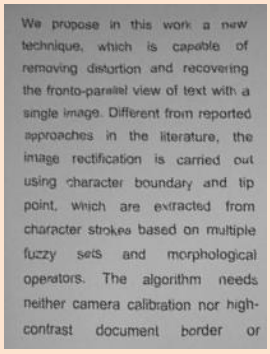
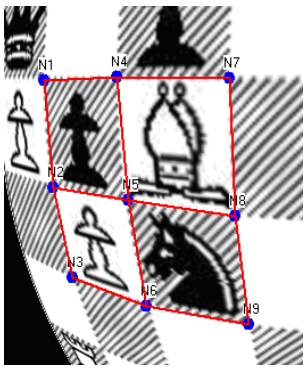
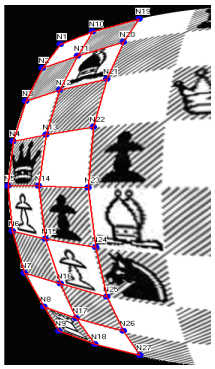
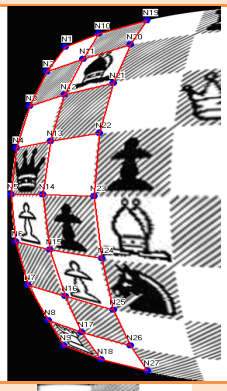
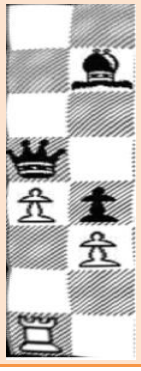
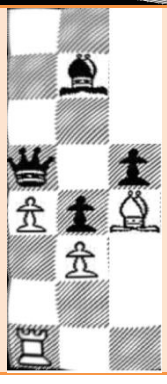


Şekil 4. 8. Gerçekleştirilen yazılımın ekran görüntüsü

4.2.1. Örnek Uygulamalar

Şekil 4.8’ de ekran görüntüsü verilen uygulama yazılımı ile gerçekleştirilen bazı örnek uygulamalar ve düzeltilmiş görüntüler Çizelge 4.4’ te gösterilmektedir.

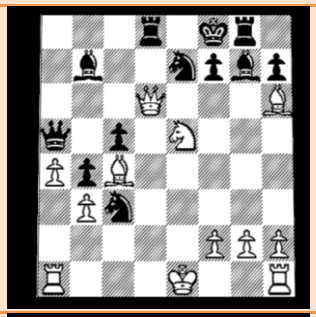
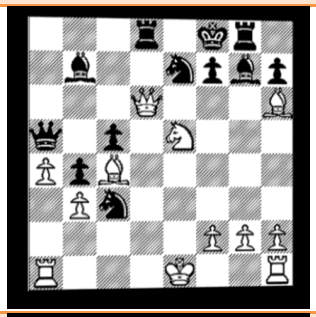
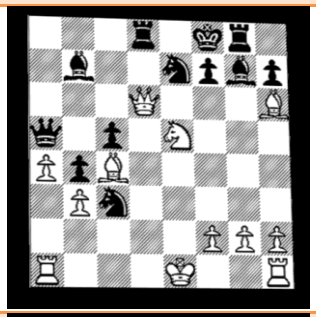
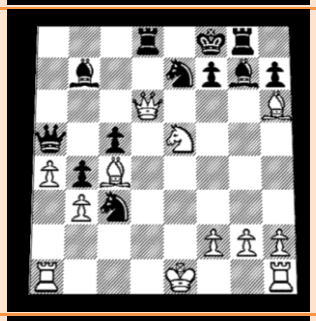
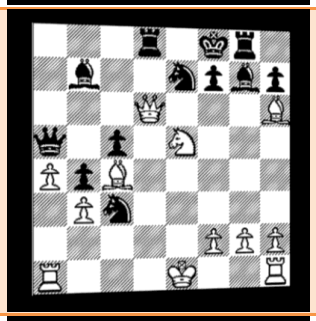
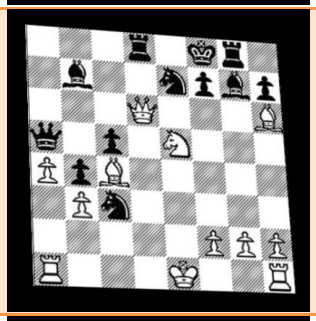
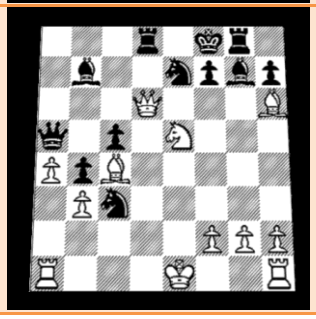
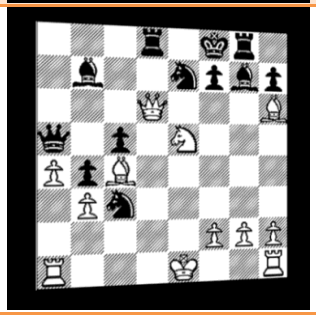
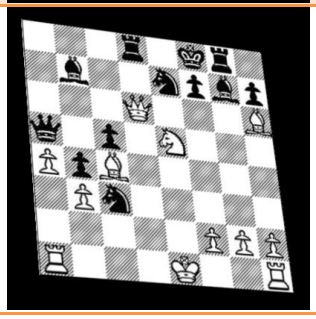
Çizelge 4. 4. Bozulmuş görüntüler ve yöntem ile düzeltilmesi

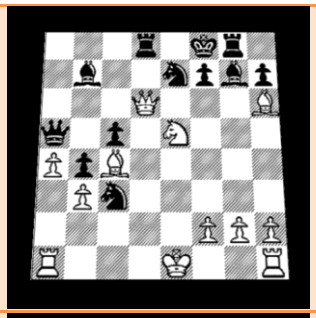
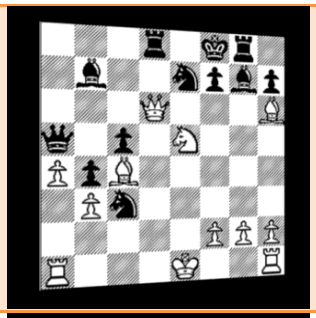
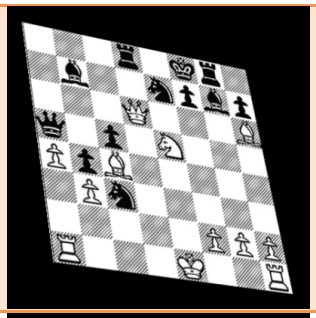
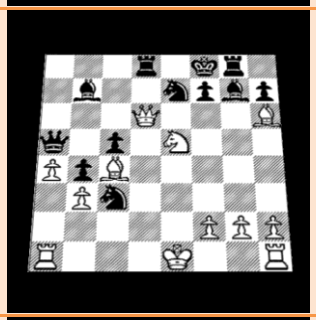
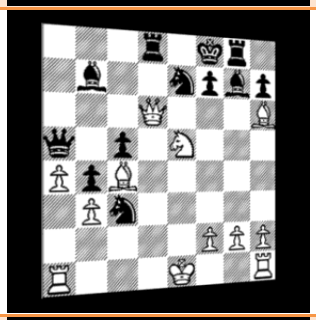
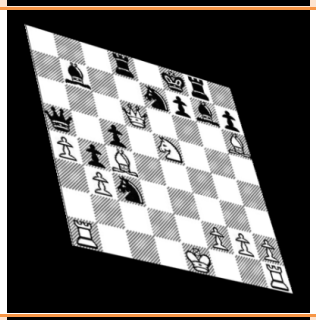
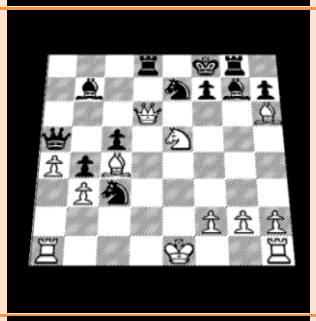
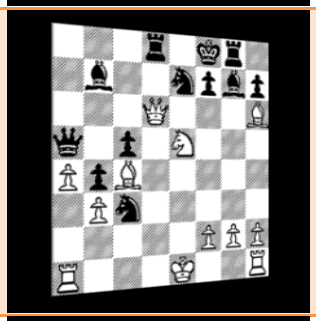
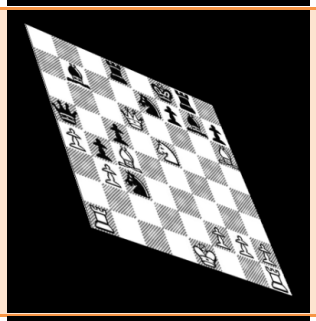
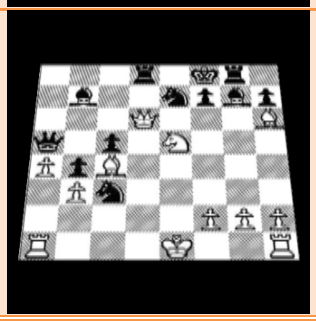
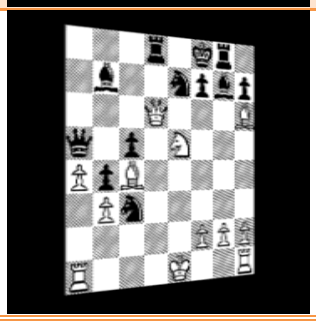
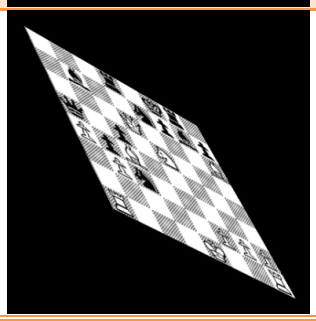
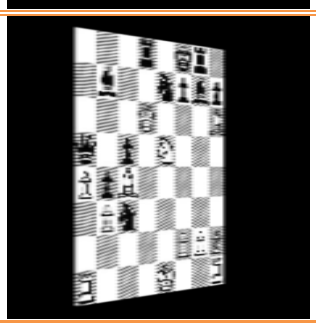
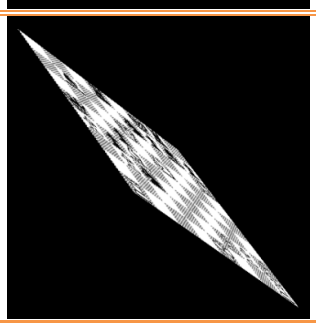
Bozuk Görüntüler			
Düzeltilmiş Görüntüler			
Bozuk Görüntüler			
Düzeltilmiş Görüntüler			

4.4. Önerilen Yöntemin Doğrulanması ve Geçerlilik Testleri

Yöntemin doğrulanması ve testlerinin yapılabilmesi için 2005 programlama dilinde OPENGL grafik kütüphanesi kullanılarak bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Yazılım ile Şekil 3.13' de verilen satranç tahtası görüntüsü X, Y ve XY eksenleri etrafında belli açılarda döndürülerek geometrik bozulmuş görüntüler elde edilmiştir. 10^0 artımla eksenler etrafında döndürülerek elde edilen test görüntüleri Çizelge 4.5 ' te gösterilmektedir.

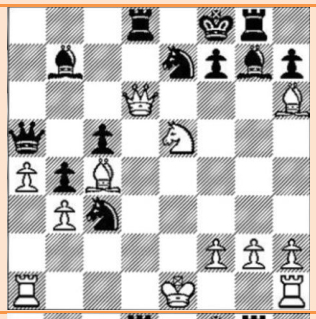
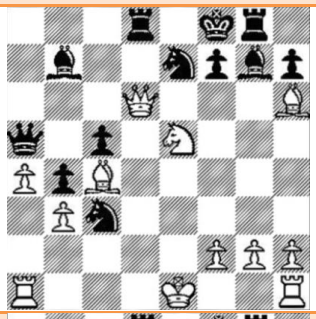
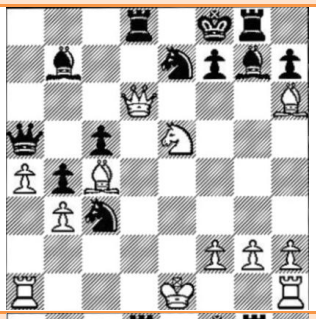
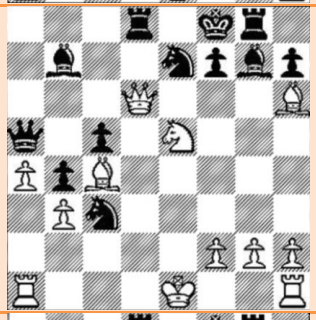
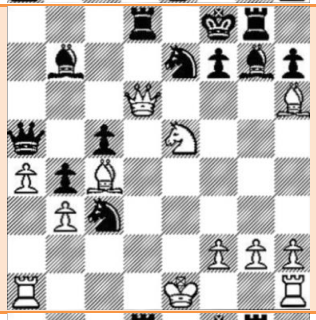
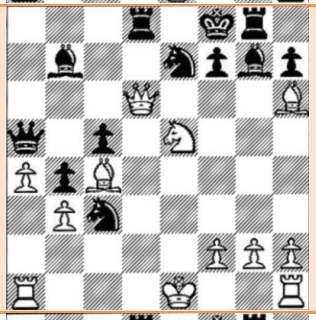
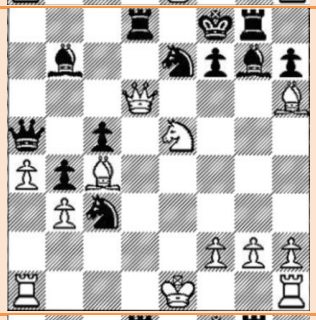
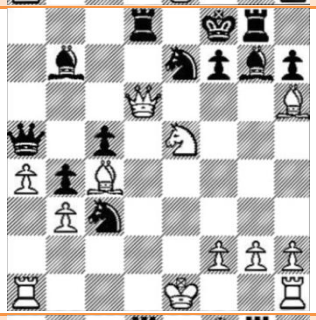
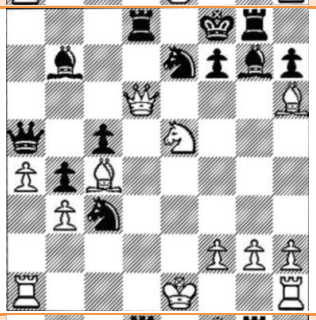
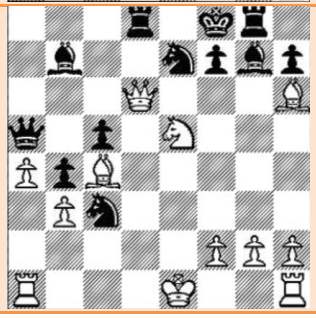
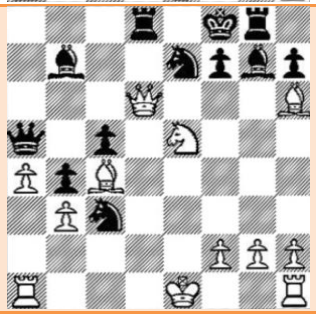
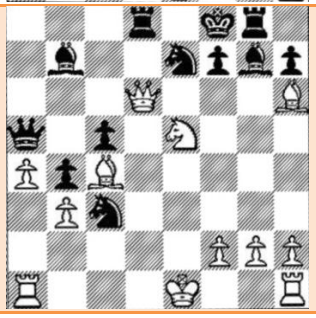
Çizelge 4. 5. Eksenler Etrafında Döndürülmüş Görüntüler

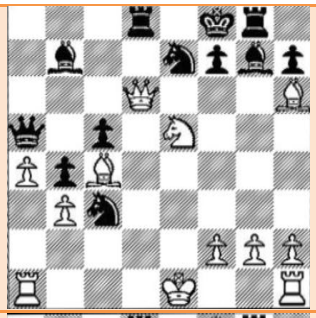
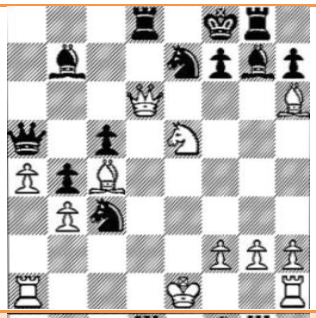
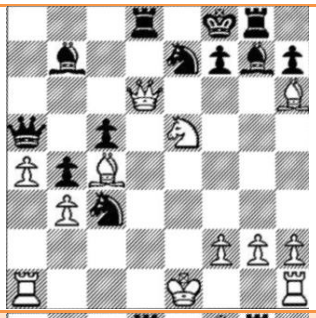
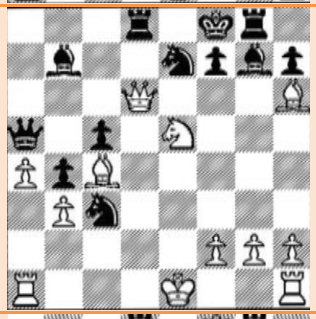
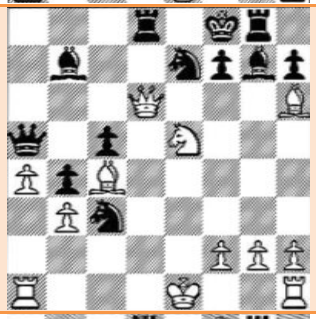
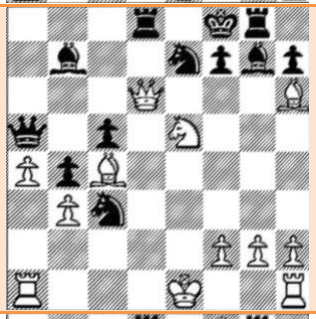
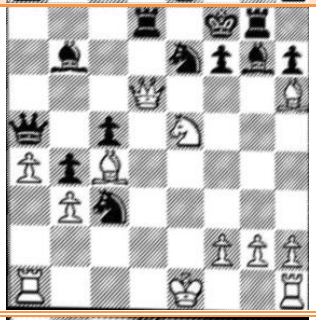
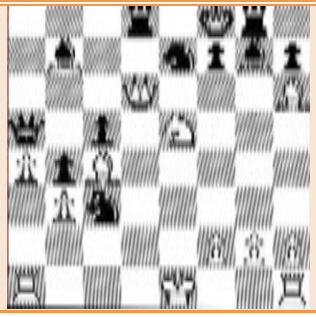
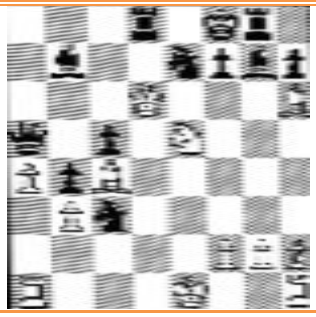
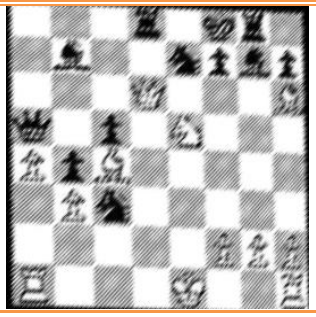
Derece	Eksenler		
	X	**Y**	**XY**
10^0			
20^0			
30^0			

40⁰			
50⁰			
60⁰			
70⁰			
80⁰			

Çizelge 4.5’ de verilen eksenler etrafında döndürülmüş görüntüler, çalışmada önerilen yöntemle düzeltilmiştir. Her bir görüntüye düzeltme işlemi uygulandıktan sonra elde edilen görüntüler Çizelge 4.6’ da gösterilmektedir.

Çizelge 4. 6. Önerilen yöntemle düzeltilmiş görüntüler

Derece	Eksenler		
	X	Y	XY
10^0			
20^0			
30^0			
40^0			

50⁰			
60⁰			
70⁰			
80⁰			

Düzeltilen görüntüler, Bölüm 3.5’ de anlatılan hata ölçüm yöntemleri ile test edilmişlerdir. Test işleminin yapılabilmesi için Delphi 2005 programlama dilinde Şekil 3.17’ de ekran görüntüsü verilen bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Yazılım yardımı ile orijinal satranç tahtası görüntüsü, Çizelge 4.6’ da verilen farklı eksenler için düzeltilmiş her bir görüntü ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalardan, X ekseni için elde edilen sayısal sonuçlar Çizelge 4.7’ de, Y ekseni için elde edilen sayısal sonuçlar Çizelge 4.8’ de ve XY eksenler için elde edilen sayısal sonuçlar ise Çizelge 4.9’ da verilmektedir.

Çizelge 4. 7. X eksenindeki düzeltmelerin karşılaştırılması

Derece	PSNR (dB)	MSE	RMSE	MAE	Benzerlik (%)
10	14,88902	2109,49010	45,92918	27,82320	89,08893
20	14,18417	2481,20379	49,81168	30,37660	88,08760
30	12,12320	3988,04344	63,15095	40,03184	84,30123
40	11,69154	4404,79444	66,36862	41,94321	83,55167
50	11,68164	4414,84552	66,44430	41,82331	83,59869
60	11,53996	4561,24964	67,53702	43,01931	83,12968
70	11,15367	4985,55170	70,60843	46,33429	81,82968
80	10,49045	5808,11615	76,21099	50,66081	80,13301

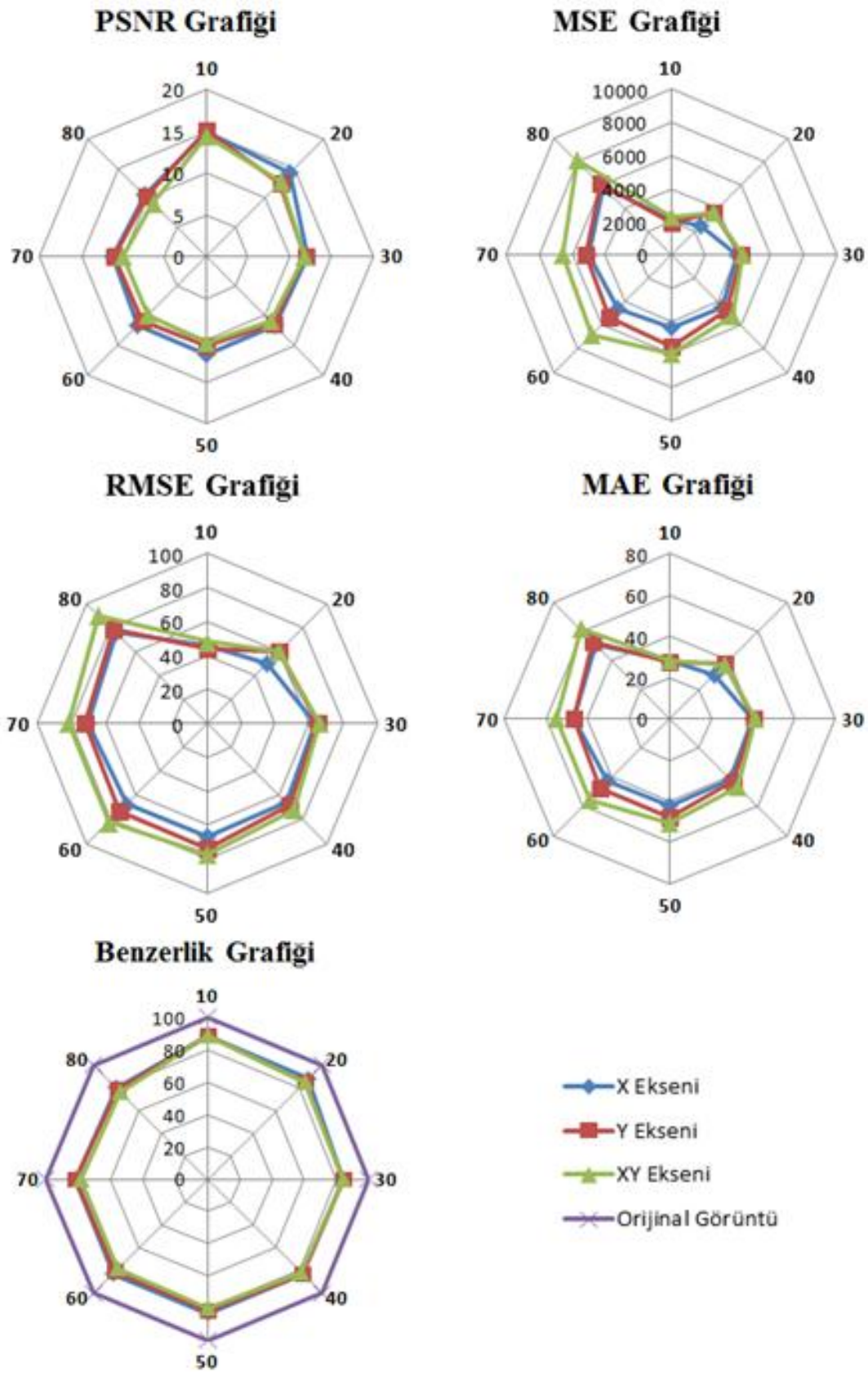
Çizelge 4. 8. Y eksenindeki düzeltmelerin karşılaştırılması

Derece	PSNR (dB)	MSE	RMSE	MAE	Benzerlik (%)
10	15,20169	1962,95843	44,30528	27,31555	89,28801
20	12,58532	3585,48492	59,87891	37,83880	85,16125
30	11,88957	4208,46029	64,87264	40,79778	84,00086
40	11,41832	4690,81150	68,48949	43,12876	83,08676
50	10,73902	5485,02179	74,06093	47,62159	81,32486
60	10,89110	5296,26616	72,77545	47,87267	81,22640
70	11,00145	5163,39011	71,85673	46,80755	81,64409
80	10,27505	6103,44222	78,12453	53,07662	79,18563

Çizelge 4. 9. XY eksenlerindeki düzeltmelerin karşılaştırılması

Derece	PSNR (dB)	MSE	RMSE	MAE	Benzerlik (%)
10	14,49719	2308,66709	48,04859	28,16997	88,95295
20	12,60542	3568,92809	59,74050	37,17975	85,41970
30	11,78906	4306,98683	65,62763	41,19533	83,84496
40	10,98979	5177,27115	71,95325	46,21251	81,87744
50	10,39644	5935,20450	77,04027	50,59639	80,15827
60	9,80694	6798,07410	82,45043	55,19343	78,35551
70	9,93892	6594,59303	81,20709	54,84833	78,49084
80	9,04143	8108,43351	90,04684	61,32961	75,94917

Hata ölçüm yöntemleri ile elde edilen sayısal sonuçların grafiksel gösterimleri Şekil 4.9’ da verilmektedir.



Şekil 4. 9. Hata ölçümlerinin grafiksel gösterimleri

Görüntü işleme uygulamalarında, görüntülerin yüksek kalitelere sahip olması, gerçekleştirilecek mühendislik uygulamalarının daha verimli kullanılması bakımından son derece önemlidir. Deneysel sonuçların değerlendirilmesi aşamasında, görüntü kalitelerini ölçmek için PSNR, MSE, RMSE ve MAE kıstasları kullanılmıştır.

PSNR, orijinal görüntü ile işlenmiş görüntü arasındaki benzerlik kalitesini hesaplamaktadır. Hesaplama sonucunda PSNR tek bir değer üretmektedir. Elde edilen bu değer desibel olarak ifade edilmektedir. Desibel (dB), ölçülen iki değer arasındaki farkı belirten, genelde ses şiddeti için kullanılan logaritmik ve boyutsuz bir birimdir. Desibelin yaygın olarak ses şiddeti birimi olduğu sanılmakta fakat görüntü kalitesi ölçümünde de kullanılabilen bir karşılaştırmadır. Bu değerin yüksek olması görüntü kalitesinin de yüksek olduğu ya da başka bir deyişle, görüntü üzerinde yapılan işlemin, orijinal görüntüye etkisinin az olduğu anlamına gelmektedir. PSNR değerlerinin yüksek olması görüntüde daha az bir bozulmanın olduğunun işaretçisidir. Şekil 4.9' da verilen PSNR grafiği incelendiğinde X, Y ve XY eksenlerindeki görüntülerin eğim dereceleri arttıkça, işlenmiş görüntü kalitesinde de bir düşüş olduğu görülmektedir. En yüksek bozulma 80 derecelik görüntülerde olmuş ve PSNR değerleri düşmüştür. Bunun en temel nedeni, görüntünün en uzak kenarlarındaki piksel değerlerinin, eğimin artmasına paralel olarak sıkışması ve kaybolmasıdır. Eğimin 90^0 olması bu piksellerin tamamen kaybolması anlamına gelmektedir. 10^0 ve 80^0 arasında döndürülen görüntülerden alınan kesitler düzeltilerek orijinal görüntü ile karşılaştırıldığında, eğim derecesinin artmasıyla birlikte görüntü kalitesinde belli bir oranda düşüş olduğu görülmektedir. Fakat görüntü işleme uygulamalarında bu oran kabul edilebilen ve oldukça iyi sayılabilecek bir değerdir. Benzer biçimde, orijinal görüntü ile düzeltilmiş görüntü arasındaki benzerlik oranı da aynı şekilde azalmaktadır. Bu oran, kalibrasyon işleminin daha dikkatli ve doğru yapılması ile arttırılabilmektedir.

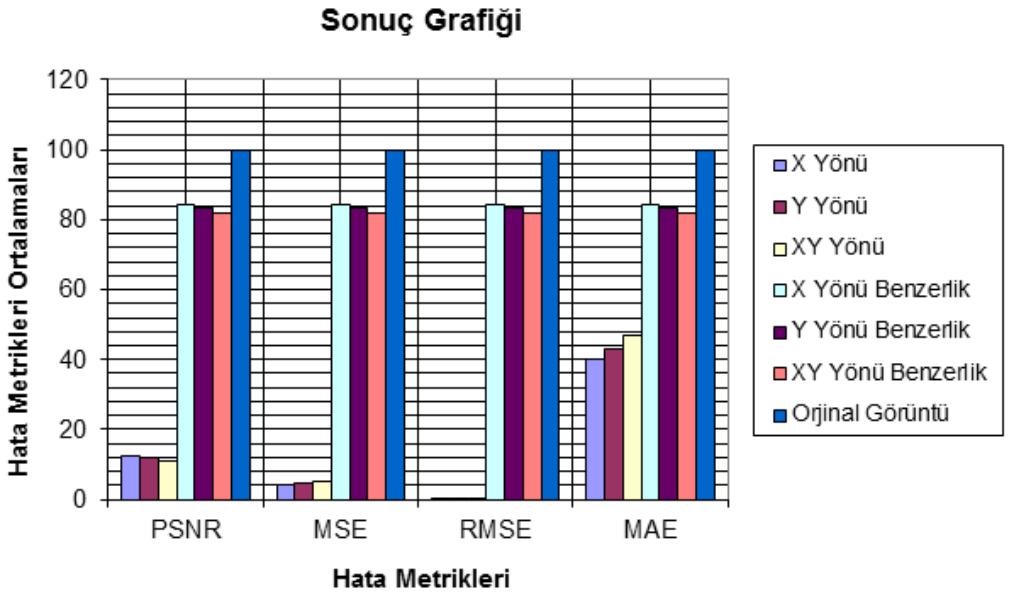
MSE, RMSE ve MAE kıstasları, iki görüntünün birbirlerine benzerlik durumlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Orijinal bir görüntünün işlenmiş bir görüntüye çok benzemesi durumunda MSE, RMSE ve MAE değerleri oldukça düşük olmaktadır. Bu değerlerin çok küçük olması, işlenmiş görüntünün kalitesinin de çok iyi olduğu anlamına gelmektedir. Eğer iki görüntü arasındaki fark büyük ise hata değerleri de artacaktır. Şekil 4.9' da MSE, RMSE ve MAE grafiklerine dikkat edildiğinde, eğim

açısının artması ile MSE, RMSE ve MAE değerlerinin arttığı, benzerlik oranlarının ise giderek azaldığı görülmektedir. Bunun en temel nedeni 10^0 ve 80^0 döndürülen görüntüler arasında piksel kayıplarının olmasıdır. Eğim açısının artması piksel kayıplarını arttırmaktadır. Eğim açısının küçük olması ise piksel kayıplarını azalmakta ve gerçeğe yakın bir görüntü elde edilmesini sağlamaktadır. Çalışmada, eksenler etrafında döndürülen patern görüntünün eğim açısı artışları sabit olarak alınmış ve test edilmiştir. Orijinal görüntüye benzerlik oranını elde etmek için hata ölçüm metriklerinin ve benzerlik oranlarının ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.10' da farklı açılar ve farklı eksenlerde elle belirlenen kesitlerin işlenerek, orijinal görüntü ile karşılaştırılması sonucu elde edilen hata kıstaslarının ortalama değerleri ve orijinal görüntüye benzerlik oranları verilmiştir.

Çizelge 4. 10. Hata kıstasları ortalamaları ve görüntü benzerlik oranları

	Ortalama Değerler			**Ortalama Benzerlik Oranı (%)**		
Yön / ***Hata Kıstasları***	**X**	**Y**	**XY**	**X**	**Y**	**XY**
PSNR (dB)	12,2192	11,75019	11,13315	84,21506	83,11473	81,63110
MSE	4094,16184	4561,97942	5349,76978			
RMSE	63,25764	66,79549	72,01432			
MAE	40,25157	43,05742	46,84067			

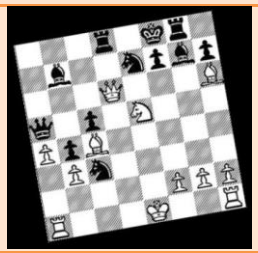
Hata kıstasları ortalamaları ile görüntü benzerlik oranları arasındaki ilişkilerin grafiksel gösterimi Şekil 4. 10' da verilmektedir.

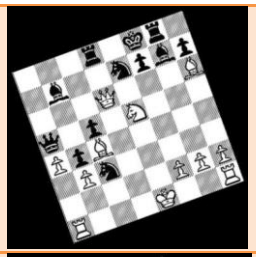
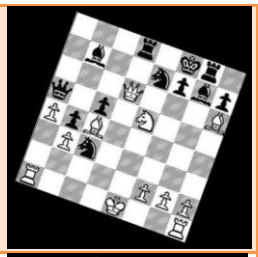
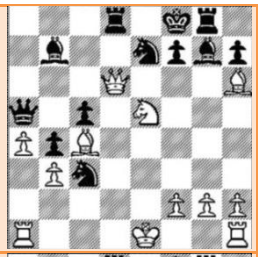
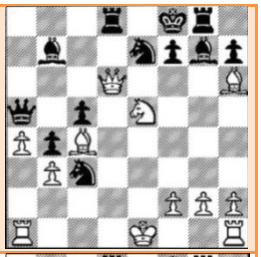
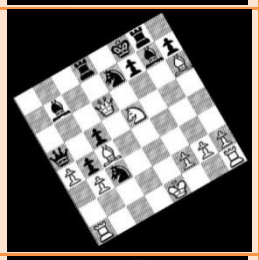
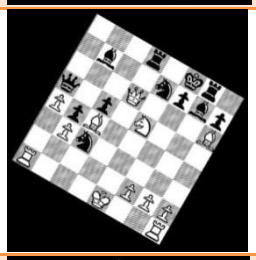
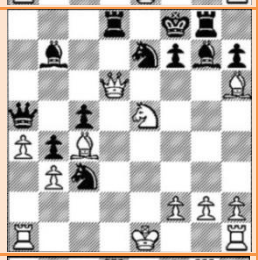
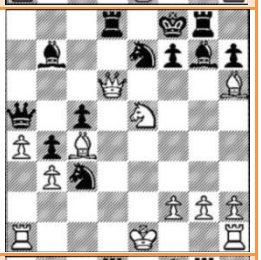
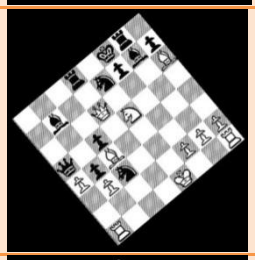
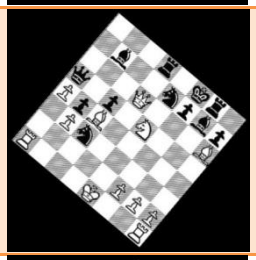
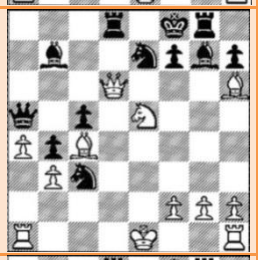
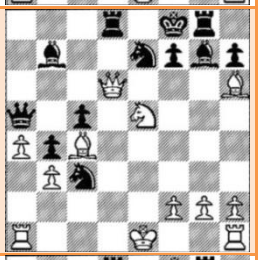
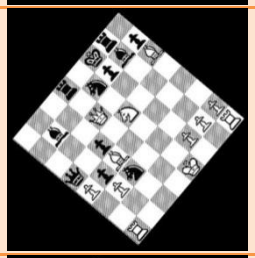
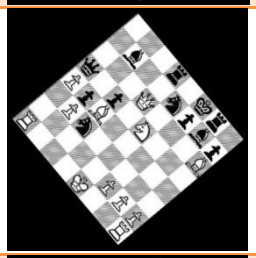
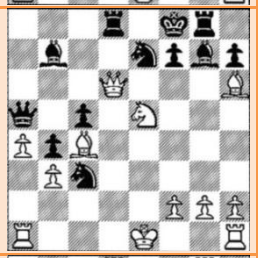
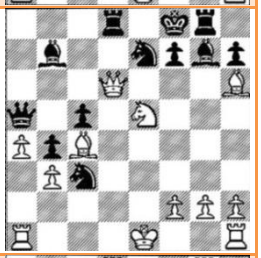
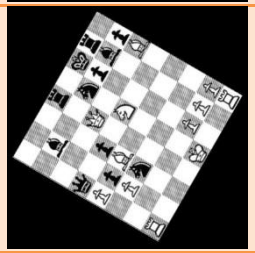
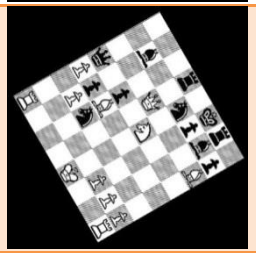
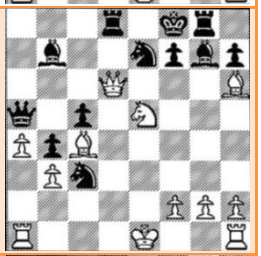
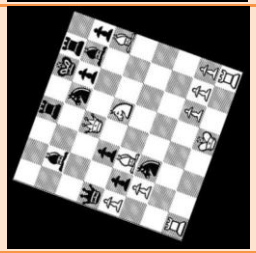
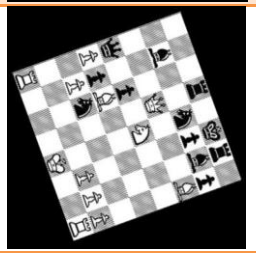
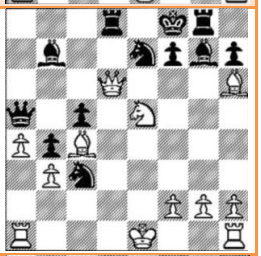
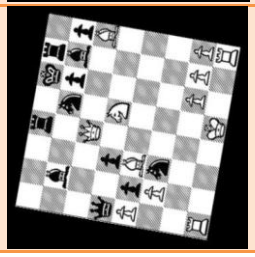
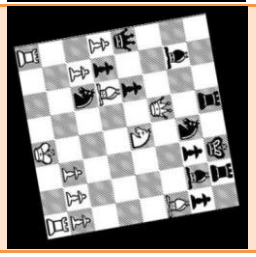
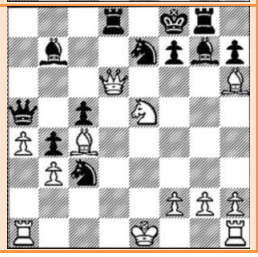
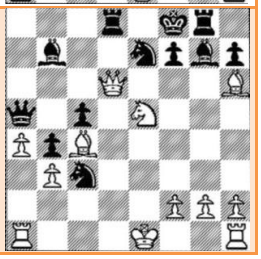


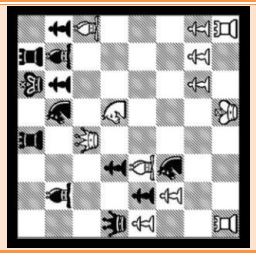
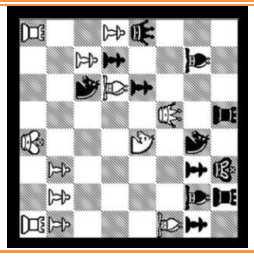
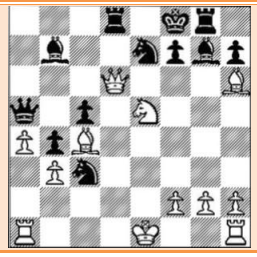
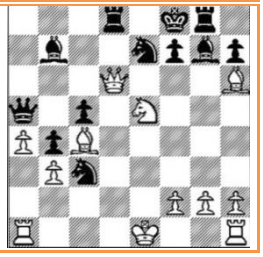
Şekil 4. 10. Hata kıstasları ortalamaları ile görüntü benzerlikleri grafiksel gösterimi

Önerilen yöntem, açısal bozulmaya uğramış görüntülerin düzeltilmesini de gerçekleştirmektedir. Yöntemin açısal bozulmalar üzerindeki başarımının test edilebilmesi için satranç tahtası görüntüsü, Bölüm 3.7' de ekran görüntüsü verilen yazılım yardımı ile Z ekseni etrafında saat yönünde ve saatin tersi yönünde 10^0 artımla döndürülmüştür. Elde edilen döndürülmüş ve açısal bozulmuş patern görüntülerine önerilen yöntem uygulanmıştır. 10^0 artımla döndürülmüş patern görüntüleri ve yöntemin uygulanmasından sonra elde edilen düzeltilmiş görüntüler Çizelge 4.11' de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 11. Z ekseni etrafında döndürülen ve düzeltilen görüntüler

Döndürülmüş Görüntüler		**Düzeltilmiş Görüntüler**	
Derece	**Saat Yönünün Tersi**	**Saat Yönünde**	**Saat Yönünün Tersi**	**Saat Yönünde**
10^0				

20^0				
30^0				
40^0				
50^0				
60^0				
70^0				
80^0				

90⁰				

Düzeltilen görüntüler, hata ölçüm yöntemleri ile test edilmişlerdir. Test işlemi, Şekil 3.17' de ekran görüntüsü verilen yazılım aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Orijinal satranç tahtası görüntüsü, Çizelge 4.11' de verilen düzeltilmiş görüntüler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalardan, Z ekseninde saat yönünün tersinde düzeltilmiş görüntüler için elde edilen sayısal sonuçlar Çizelge 4.12' de ve Z ekseninde saat yönünde düzeltilmiş görüntüler için elde edilen sayısal sonuçlar Çizelge 4.13' de verilmektedir.

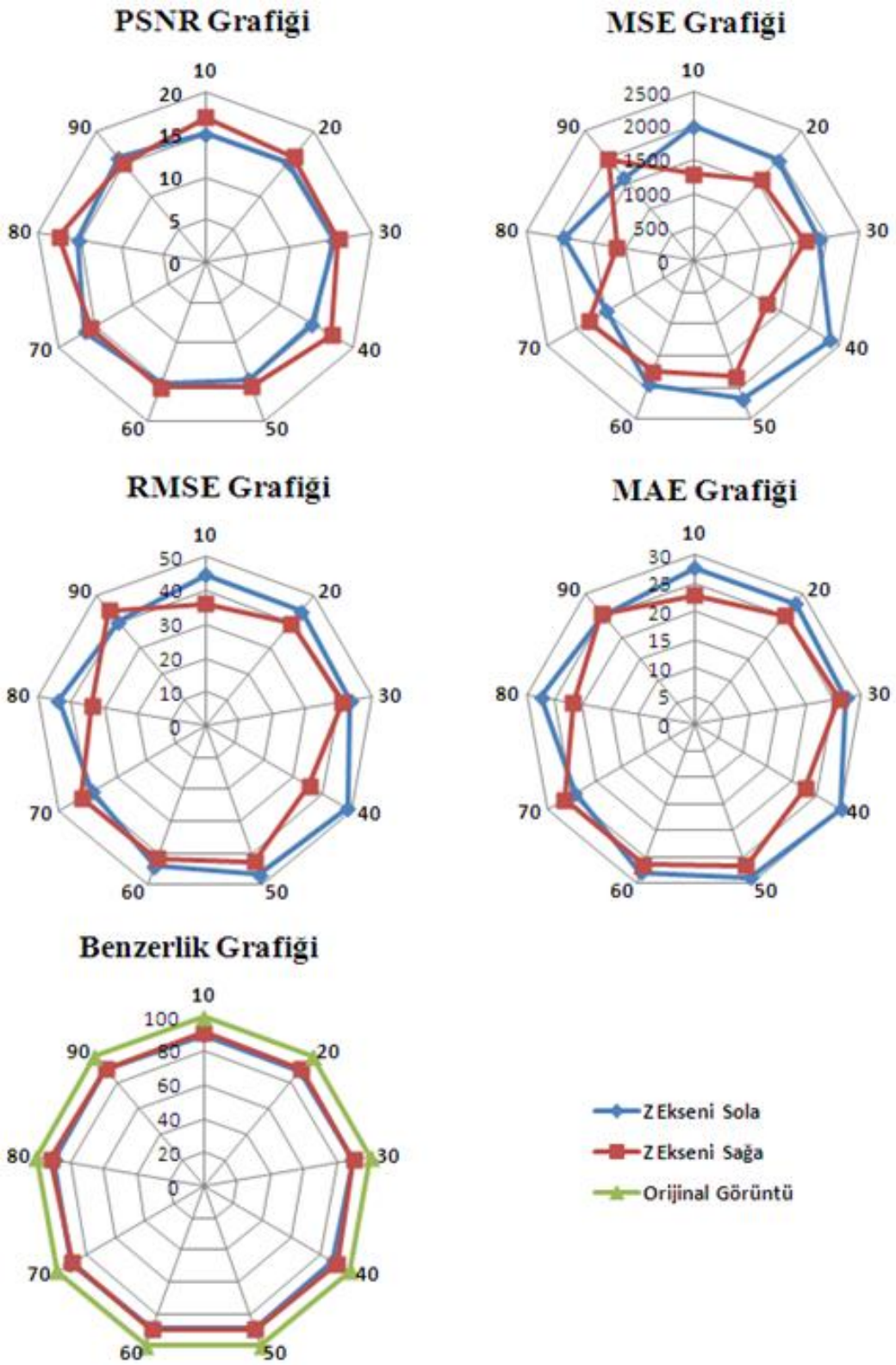
Çizelge 4. 12. Saat yönünün tersinde düzeltilmiş görüntülerin karşılaştırılması

Derece	PSNR (dB)	MSE	RMSE	MAE	Benzerlik (%)
10	15,13193	1994,74325	44,66254	27,65614	89,15445
20	15,24182	1944,90310	44,10105	27,88166	89,06601
30	15,35976	1892,79609	43,50627	27,21117	89,32894
40	14,43909	2339,75798	48,37104	29,93281	88,26164
50	14,76003	2173,08463	46,61635	28,88863	88,67112
60	15,23087	1949,81290	44,15668	27,81311	89,09289
70	16,41911	1483,09534	38,51097	24,32758	90,45976
80	15,26363	1935,15844	43,99043	27,44801	89,23607
90	16,08391	1602,09840	40,02622	25,17249	90,12843

Çizelge 4. 13. Saat yönündeki görüntü düzeltmelerinin karşılaştırılması

Derece	PSNR (dB)	MSE	RMSE	MAE	Benzerlik (%)
10	17,01646	1292,51096	35,95150	22,88979	91,02360
20	16,18590	1564,91218	39,55897	25,15550	90,13509
30	15,85250	1689,77861	41,10691	26,08750	89,76960
40	17,12907	1259,42519	35,48838	22,58879	91,14165
50	15,53116	1819,54852	42,65616	26,65076	89,54872
60	15,72294	1740,94632	41,72464	26,35380	89,66517
70	15,61863	1783,26766	42,22875	26,51050	89,60372
80	17,52675	1149,22464	33,90021	21,78520	91,45678
90	15,20189	1962,86562	44,30423	25,53517	89,98620

Hata ölçüm yöntemleri ile elde edilen sayısal sonuçların grafiksel gösterimleri Şekil 4.11' de verilmektedir.



Şekil 4. 11. Açısal düzeltme hata ölçümlerinin grafiksel gösterimleri

Açısal bozulmalar, belgelerin belge tarayıcılara gelişi güzel yerleştirilmesinden ve sayısal görüntü elde etme aygıtlarının görüntüsü alınacak objeye dik olarak bakmamasından dolayı meydana gelmekte idi. Çalışmada benzer ortam görüntülerin elde edilebilmesi için satranç tahtası görüntüsü Z ekseni üzerinde 10^0 artımla sağa ve sola döndürülmüştür. Elde edilen bozulmuş görüntüler önerilen yöntem ile düzeltilerek hata ölçüm metrikleri olan PSNR, MSE, RMSE ve MAE ile test edilmiştir.

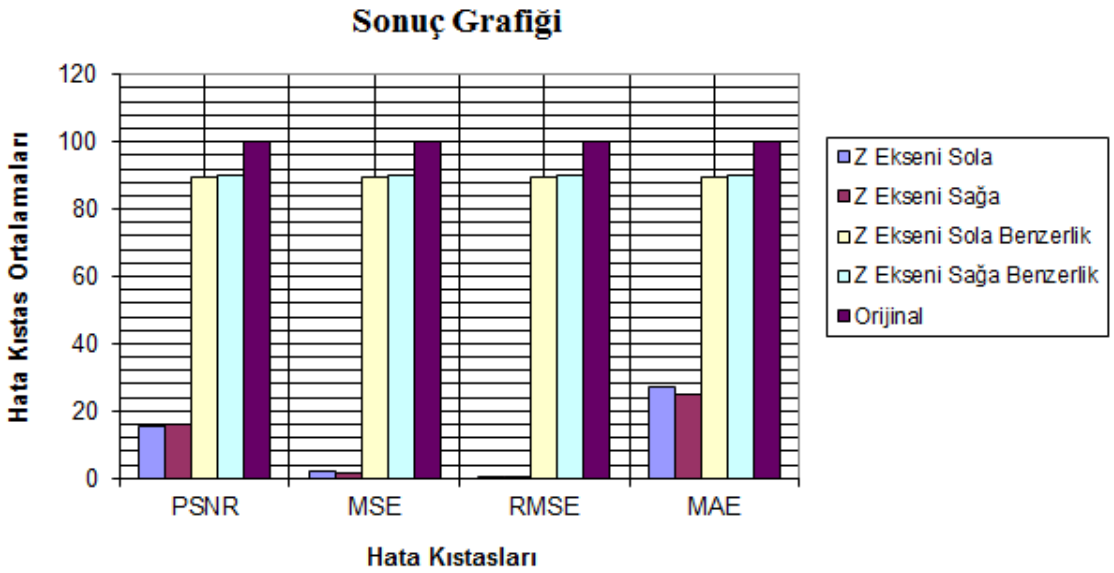
Açısal bozulmuş görüntüler üzerinde düzeltme işlemi gerçekleştirildiğinde, geometrik bozulmuş görüntülerin düzeltilmesinde olduğu gibi ciddi piksel kayıpları meydana gelmemektedir. Bunun temel nedeni, açısal bozulmuş görüntülerin 2D koordinat sisteminde Z ekseni etrafında döndürülmesinden ileri gelmektedir. Başka bir ifadeyle, objeyi oluşturan bütün bileşenlerin görüntü elde etme aygıtı tarafından görüntülenebiliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Geometrisi bozulmuş görüntülerde böyle bir durum söz konusu değildir. Eğim açısı arttıkça görüntüye ait bazı bileşenler kaybolabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı çalışmada önerilen yöntemin başarısı açısal bozulmaların düzeltilmesinde daha yüksektir.

Şekil 4.11' de verilen grafiklerde hata ölçüm metriklerine dikkat edildiğinde, ölçüm değerleri arasında çok ciddi farkların olmadığı görülmektedir. PSNR değerleri oldukça yüksek, buna karşılık MSE, RMSE ve MAE değerleri çok küçük olduğundan gerçeğe çok yakın bir görüntü elde edilmiştir. Z ekseni üzerinde 10^0 ve 80^0 arasında bozulmaya uğramış görüntüler düzeltildiklerinde, orijinal görüntüye benzerlik oranlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Yine de orijinal görüntüye %100 benzemesi arzu edilen bir durumdur. Arada oluşan fark, kalibrasyon işleminin el yordamı ile yapılıyor olmasından ileri gelmektedir. Kalibrasyonun çok dikkatli yapılması durumunda benzerlik oranı çok daha üst seviyelere çıkabilmektedir. Çizelge 4.14' de yapılan ölçümler sonucu elde edilen ortalama PSNR, MSE, RMSE ve MAE değerleri ile işlenmiş görüntülerin orijinal görüntüye ortalama benzerlik oranı verilmektedir.

Çizelge 4. 14. Açısal bozulma hata kıstası ortalamaları ve görüntü benzerlik oranları

	Ortalama Değerler		**Ortalama Benzerlik Oranı (%)**	
Yön / ***Hata Kıstasları***	**Z ekseni Saat Yönü**	**Z ekseni Saatin Ters Yönü**	**Z ekseni Saat Yönü**	**Z ekseni Saatin Ters Yönü**
PSNR (dB)	16,19836	15,32557	90,25894	89,26659
MSE	1584,71996	1923,93890		
RMSE	39,65775	43,77128		
MAE	24,83966	27,37017		

Açısal bozulma hata kıstasları ortalamaları ile görüntü benzerlik oranları arasındaki ilişkilerin grafiksel gösterimi Şekil 4. 12' de verilmektedir.



Şekil 4. 12. Hata ortalamaları ve görüntü benzerlik oranları grafiksel gösterimi

İşlenmiş görüntüler ile orijinal görüntüler arasındaki benzerlik oranlarının yüksek olması, elde edilen sonuçlarında güvenilir olduğu anlamına gelmektedir. Yöntemin test edilebilmesi için kullanılan görüntüler belli açılarla ve farklı eksenlerde elde edildiğinden, benzerlik oranlarının giderek azalması beklenen bir durumdur. Yöntemin test edilmesi sonucunda, geometrik bozulma için ortalama %84 ve açısal bozulma için %90 benzerlik oranının elde edilmesi görüntü işleme uygulamalarında oldukça iyi olarak kabul edilebilecek bir değerdir. Bu sebeple önerilen düzeltme yönteminin başarılı olduğu söylenebilir. Yöntemde, görüntü kesitleri elle belirlenmektedir. Bu nedenle piksel kayıplarının olması son derece doğaldır. Kesitlerin

çok daha dikkatli belirlenmesi ile benzerlik oranı çok daha yüksek oranlara ulaşabilecek ve önerilen yöntemden çok daha iyi benzerlik oranları elde edilebilecektir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Başarılı bir görüntü işleme uygulamasının temel hedefi, önceden belirlenmiş kriterlere göre mühendislik uygulamalarının temel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde bir sonuç üretilmesini sağlamaktır. Görüntülerin kullanıldığı birçok mühendislik uygulamasının başarısızlığı, kullanılan yöntemin istekleri karşılayamayacak şekilde bir sonuç üretmesinden ileri gelmektedir. Hemen her zaman beklenen işlenmiş görüntünün orijinal görüntüye %100 benzemesidir. Fakat bu her zaman mümkün değildir. Çünkü işlenmiş görüntüde, kullanılan algoritmaya ve aygıtlara bağlı olarak bir takım piksel kayıpları veya veri kayıpları olabilmektedir. Görüntü işleme uygulamalarında bu kayıplar ise başarım oranını etkilemektedir.

Görüntü işleme uygulamalarında başarı oranının yüksek olabilmesi için uygun yöntemlerin kullanılması, mühendislik uygulamalarında giderek daha önemli hale gelmektedir. Uygun yöntemlerin kullanılması, elde edilecek sonuçları da doğrudan etkileyecektir. Bu noktada, geliştirilecek bir görüntü işleme uygulamasında çeşitli veri ve yöntemlerin toplanması, ileride gerçekleştirilecek uygulamalar için daha iyi bir sonuç elde edilmesi imkânını sağlayacaktır. Literatür çalışmaları, görüntü işleme uygulamalarında uygun yöntemlere sahip olmanın çok önemli olduğu göstermektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, görüntünün elde edildiği ve kaynağı belli olmayan görüntülerde, optik karakter tanıma gibi bir mühendislik uygulaması için önemli olduğu düşünülen herhangi bir kesitin ya da kesitlerin düzeltilmesini sağlayan yeni bir yöntem ortaya koymaktır. Bu amaçla literatürde yer alan görüntü bozulmalarını düzelten yöntemler incelenmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, önerilen yöntemlerin sadece tek tipte bozulmaya uğramış görüntülerin düzeltilmesinde kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada önerilen yöntem, açısal ve geometrik bozulmaya uğramış görüntülerin tamamında kullanılabilmektedir. Ayrıca perspektif bozulmalara uğramış görüntülerde geometrik olarak düzeltildikten sonra aynı yöntem tekrar uygulandığında düzeltilmiş görüntüler elde edilebilmektedir. Önerilen bu yöntem üzerinde yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Belge tarayıcılara bir belgenin gelişi güzel yerleştirilmesi ile açısal bozulmalar meydana gelmekte idi. Açısal bozulmalar, optik karakter tanıma gibi sistemlerde karakterlerin tanınmasını güçleştirmektedir. Bozulma miktarı eğer 5^0 nin üzerine çıkarsa tanıma işlemi oldukça güç hale gelmektedir. Bunun yanında, kameraların günlük hayatımızda sıkça kullanılmaya başlaması böyle bir sistemin gerekliliğini de ortaya çıkarmaktadır. Dolayısı ile elde edilen görüntülerde bozulma miktarı daha da fazla olacaktır. Önerilen yöntem, kalibrasyonun doğru yapılması ile 90^0 bozulmuş görüntüleri kolaylıkla kullanılabilir hale getirebilmektedir. Önerilen yöntemin, günlük hayatımızdaki kameralar için kullanımı uygun olabilmektedir.

- Görüntülerin elde edilme açıları pek çok uygulama için son derece önemlidir. Örneğin uydu sistemleri farklı kullanım alanlarına sahip olsa da elde edilen görüntüler çeşitli proje ve uygulamalarda kullanılabilmektedir. Bunlardan en önemlisi yeryüzü görüntülerinin elde edilmesidir. Görüntülerin elde edilmesi sırasında görüntüleme aygıtının konumuna bağlı olarak bozulmalar meydana gelebilmektedir. Böyle bir durum, görüntüsü alınan objenin gerçek dünya koordinatlarında doğru görüntülenmemesine neden olabilmektedir. Önerilen yöntemde, kameranın konumuna bağlı olarak meydana gelen açısal ve geometrik bozulmaya uğramış optik görüntüler, açısal ve konumsal herhangi bir kısıtlama olmadan anlamlı hale getirilebilmektedir.

- Bozulmalar, görüntü elde etme aygıtının konumuna bağlı olarak ortaya çıkabileceği gibi optik sisteminden kaynaklanan hatalarla da meydana gelebilmektedir. Bu bozulmalar açısal, geometrik ve perspektif bozulma biçiminde karşımıza çıkmaktadır. Literatür çalışmaları dikkate alındığında önerilen yöntemin bozulma türüne ve optik sistemden kaynaklı hatalara bağlı kalmadan hemen hepsinde kullanılabileceği görülmüştür.

- Resim, grafik, sahne dekoru ve mimarlık gibi alanlarda derinliğin, bütünlüğün, devamlılığın, biçim ve çizgilerle ya da fotoğraf makinesi aracılığıyla bilimsel olarak elde edilmesinde izlenilen yöntemlere perspektif adı verilmektedir.

Kısaca perspektif, üç boyutlu cisimleri, iki boyutlu bir düzlem üzerinde göstermek için kullanılan bir araçtır. Bu gösterimlerin elde edilmesinde perspektif bozulmaların meydana gelmesi beklenen bir durumdur. Önerilen yöntem mimari perspektif görüntülerini kolaylıkla düzeltebilmektedir. Fakat geniş açılı objektiflerle (balıkgözü lens) elde edilen görüntüler küresel bir yapıya sahiptirler. Dolayısı ile küresel yapıya sahip görüntülerin kendi konumlarında düzeltilmesi arzu edilmektedir. Önerilen yöntem küresel yapıya sahip ve perspektif bozulmuş görüntülerin istenilen kesit ya da kesitlerinin geometrik olarak düzeltilmesini sağlamaktadır. Bu bir dezavantaj gibi görülse de geometrik olarak düzeltilen görüntüye, yöntem ikinci defa uygulandığında perspektif bozulmaların ortadan kaldırıldığı görülmüştür.

- Literatür çalışmaları dikkate alındığında, bazı düzeltme yöntemlerinin uygulanabilmesi için özel donanım ve 3D görüntü yapılandırma araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Önerilen yöntem, herhangi özel bir donanıma ihtiyaç duymadan görüntü düzeltme işlemlerini yazılımsal olarak gerçekleştirebilmektedir.

- Herhangi bir nedenle bozulmaya uğramış görüntülerin düzeltilmesinde kalibrasyon işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon ile görüntülerin elde edildiği aygıtların dâhili parametreleri tahmin edilmeye çalışılır. Yapılan çalışmalara dikkat edildiğinde kalibrasyon işleminin oldukça güç olduğu ve her zaman beklenen sonuçları vermediği görülmüştür. Önerilen yöntemde birbirinden farklı dört adet nokta kullanıldığından, istenilen bölge ya da bölgelerin kalibrasyonu kolaylıkla ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

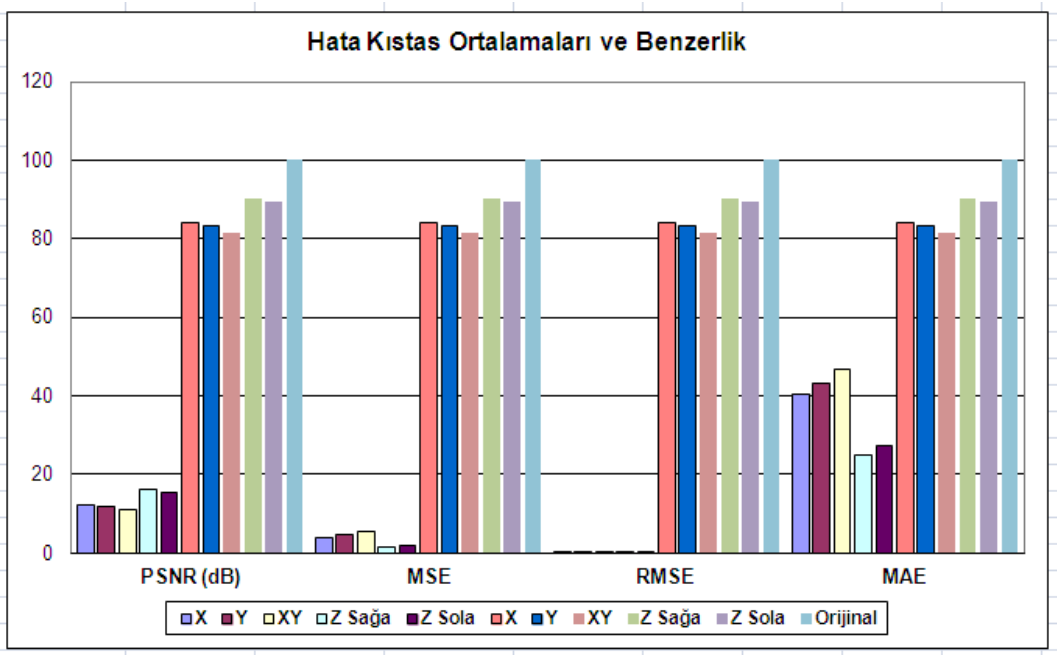
- Görüntü üzerinde farklı bölge yada bölgelerin kalibrasyon yapılarak düzeltilmesi işleminde nokta ve kenar izleme tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemle, görüntü üzerinde önemli olduğu düşünülen bölge ya da bölgelerin daha kolay düzeltildiği ve bozuk görüntüde istenmeyen ayrıntıların ortadan kaldırıldığı görülmüştür. Ayrıca kenar izleme tekniği ile kalibrasyon sınırlarının ayarlanabildiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar dikkate alındığında önerilen yöntemin, kamera veya görüntüleme aygıtı kullanma ihtiyacı duyulan bütün mühendislik uygulamalarında kolaylıkla uygulanabilecek bir çözüm getirilmiştir.

Yöntemin doğrulanması amacıyla bir yazılım geliştirilerek, birbirinden farklı patern görüntüler elde edilmiştir. Önerilen yöntem, patern görüntüler üzerinde uygulanmıştır. Yöntem ile düzeltişmiş görüntüler, orijinal görüntüler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi, PSNR, MSE, RMSE ve MAE hata ölçüm yöntemleri ile değerlendirilmiş ve düzeltilmiş görüntü ile orijinal görüntü arasındaki benzerlik oranları tespit edilmiştir. Bu işlemleri gerçekleştirebilecek ve farklı çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesinde de kullanılabilecek bir sonuç değerlendirme yazılımı yapılmıştır. Yazılım yardımı ile elde edilen hata ölçüm yöntemlerine bakılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’ de ve grafiksel gösterimi Şekil 5.1’ de verilmektedir. Çizelgede verilen değerler, orijinal görüntünün farklı eksenlerde ve açılarda döndürüldükten sonra yöntemin uygulanması ile elde edilen hata ölçüm oranlarının ortalamasını ve orijinal görüntüye ortalama benzerliklerini ifade etmektedir.

Çizelge 5. 1. Eksenlere göre elde edilen ortalama hata ölçümü değerleri

	Ortalama Değerler					Ortalama Benzerlik Oranı (%)				
Yön / ***Hata Kıstasları***	**X**	**Y**	**XY**	**Z ekseni Saat Yönü**	**Z ekseni Saatin Ters Yönü**	**X**	**Y**	**XY**	**Z ekseni Saat Yönü**	**Z ekseni Saatin Ters Yönü**
PSNR (dB)	12,2192	11,75019	11,13315	16,19836	15,32557	84,21506	83,11473	81,63110	90,25894	89,26659
MSE	4094,16184	4561,97942	5349,76978	1584,71996	1923,93890					
RMSE	63,25764	66,79549	72,01432	39,65775	43,77128					
MAE	40,25157	43,05742	46,84067	24,83966	27,37017					



Şekil 5. 1. Hata ölçüm ve benzerlik ortalamaları grafiği

119

Yöntem, patern görüntülerinin dışında kaynağı belli olmayan farklı görüntüler üzerinde de denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ortaya konan görüntü düzeltme yönteminin farklı mühendislik uygulamalarında kullanılabileceği açıktır. Yöntemde X, Y, XY ve Z eksenleri etrafında döndürülen görüntülerin elle kalibre edilerek düzeltilmesi ile X, Y ve XY eksenleri için ortalama %84 ve Z eksenleri için ortalama %90 başarı elde edilmiştir. Bu başarım oranının arttırılabilmesi, kalibrasyonun çok daha dikkatli yapılması ve sistemin otomatikleştirilmesi ile mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Abdel-Aziz, Y.I., Karara, H.M., 1971,"*Direct Lineer Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry*", Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois

Agam, G., Wu, C. H., 2001, "*Structural Rectification of Non-planar Document Images: Application to Graphics Recognition*", Proceedings of the Fourth International Workshop on Graphics Recognition Algorithms and Applications, pp. 289−298. Kingston, Ontario, Canada.

Altıntaş, A., 2004, "*Dikdörtgen Kesit Alanına Sahip Bir Sargıda Uygun Sarım Tipinin Tespiti İçin Bir Yazılım*", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, sayı:6, sayfa:163-174.

Asmaz, K., 2006, "*Görüntü İşleme İle İki Boyutlu Cisimlerden Grafik Modeller İçin Veri Eldesi*", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sayfa : 2-11, İstanbul.

Atak, V.O., 2007, "*Fotogrametrik Harita Üretimi Amaçlı Görüntü Sağlanmasında Optimizasyon*", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sayfa: 27, İstanbul

Aydın, T. , 2011, "*Çifte Ağ Metoduyla Stereo, Odak ve Bulanıklık Bilgisini Kullanarak Resimlerden Derinlik Çıkarımı*", Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sayfa 5-6, Gebze, Kocaeli.

Ayhan, E., Tüdeş, T., 2007, "*Yakın Resim Fotogrametrisi Yöntemleriyle Koordinat Belirleme*", Harita Genel komutanlığı, HGK Dergisi, Sayı 118, Sayfa 1-15.

Blake, A., Zisserman, A., 1987, *Visual Reconstruction,* MIT Press, pages: 6-8, Cambridge, MA.

Boufama, B., Habed, A., 2005, "*Registration and tracking in the context of augmented reality*", ICGST International Journal on Graphics, Vision and Image Processing, Volume 5, issue 3, pages: 9- 18

Brown, M. S., Seales, W. B., 2001, "*Document restoration using 3D shape: A General Deskewing Algorithm for Arbitrarily Warped Documents*", International Conference on Computer Vision, Vancouver, pp. 117−124, Canada.

Brown, M. S., Seales, W. B., 2004, "*Image Restoration of Arbitrarily Warped Documents*", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 26, No. 10, pp. 1295-1306.

Buğdaycıoğlu, E. , 2008, "*Video Görüntülerinden 3 Boyutlu Yapının Elde Edilmesi*", İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sayfa 2, İstanbul

Cao, H., Ding, X., Liu, C., 2003, "*Rectifying the Bound Document Image Captured by the Camera: A Model Based Approach*", International Conference on Document Analysis and Pattern Recognition, , pp. 71-74. Edinburgh Scotland.

Cao, H., Ding, X., Liu, C., 2003, "*A Cylindrical Surface Model to Rectify the Bound Document Image*", Ninth IEEE International Conference on Computer Vision Volume 1, pp. 228-233, Nice, France,

Castleman, K.R., 1996, "*Digital Image Processing*", Prentice Hall, 2nd Edition, Page 2-7, New Jersey

Chen, M., Ding, X., 1999, "*A Robust Skew Detection Algorithm for Grayscale Document Image*", ICDAR '99. Proceedings of the Fifth International Conference, pp. 617-620, Bangalore , India.

Clark, P., Mirmehdi, M., 2000, "*Location and recovery of text on oriented surfaces*", in Proc. SPIE: Document Recognition and Retrieval VII, The International Society for Optical Engineering, pp. 267-277.

Clark, P., Mirmehdi, M., 2001, "*Estimating the Orientation and Recovery of Text Planes in a Single Image*", in Proc. of BMVC'01, pp. 421.430.

Dehbovid, H., Razzazi, F., Alirezaee, S., 2010, "*A Novel Method for De-warping in Persian Document Images Captured by Cameras*", International Journal of Image Processing (IJIP), CSC Journals, vol.4, no.4, pp. 390-400.

Eyüboğlu, V., Eren, B., 2011, "*Sulu Çözeltilerden Cd(II) İyonu Ekstraksiyonuna Yapay Sinir Ağları (YSA) Uygulanması*", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey

Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E.,S., 2001, " *Photointerpretation and Small Scale Stereoplotting with Digitally Rectified Photographs With Geometrical Constraints*", Cipa 2001 XVIII International Symposium, Potsdam, Germany.

Gatos, B., Papamarkos, N., Chamzas, C., 1997, "*Skew Detection and Text Line Position Determination in Digitized Documents*", Pattern Recognition, vol. 30, no. 9, pp. 1505–1519.

Gündemir, S., 2006, "*İki Boyutlu Kıyı Alanı Hidrodinamik Model Kalibrasyonu Mıke 21 Hd Örneği*", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sayfa 32

Han, Y., Cai, Y., Xu, X., 2009," *A New Comparison Method For Full Reference Image Quality Metric*", CSSIM '09 Proceedings of the 2009 International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation, page:192-197

Hartley R., Zisserman A., 2000, "*Multiple view geometry in Computer Vision"*, Cambridge University Press, Second Edition, Page: 208, Newyork

Hinds, J., Fisher, L., D'Amato, D. P., 1990, "*A Document Skew Detection Method using Run-length Encoding and the Hough Transform*", International Conference on Pattern Recognition, pp. 464-468, Los Alamitos, CA.

Huang, j., Boufama, B., 2002,"*A semi-automatic camera calibration method for augmented reality*", In Proceedings of the ieee International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Hammamet, volume 4, pages 700–705, Tunisia.

Hull, J. J., 1998, "*Document Image Skew Detection: Survey and Anotated Bibliography*", Document Analysis Systems II, World Scientific, pp. 40–64.

İpbüker, C., 1999, "*Topografik ve Tematik Haritaların Yapımına Veri Kaynağı Oluşturacak Uydu Görüntülerinin Dönüşüm Yöntemleri Analizi*", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sayfa: 25

Jiang, H., Han, C., Fan, K., 1997, "*A Fast Approach to the Detection and Correction of Skew Documents*", Pattern Recognition Letters, vol. 18, pp. 675–686.

Junker, M., Hoch, R., Dengle, A., 1999, "*On the Evaluation of Document Analysis Components by Recall, Precision and Accuracy*", International Conference on Document Analysis and Recognition, Bangalore, India, 1999, pp. 713-716.

Karaca, N., 2007,"*Alçak Çözünürlüklü Fotoğrafların Görüntülenmesi ve Bunların Optimizasyonu İle İlgili Bir Çalışma*", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uluslar arası Bilgisayar Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Sayfa 12.

Kocaman, S., 2007, "*Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi*", Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, Sayfa: 102

Kurtuldu, Ö., Arıca, N., 2009, "*İmge Karelerini Kullanan Yeni Bir Steganografi Yöntemi*", Journal of Naval Science and Engineering, Vol. 5 , No.1, pp. 107-118

Kürkçüoğlu, N., 1957, "*Pratik Fizik*", İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Cilt II, 663-680

Kwag, H. K.,Kim, S. H., Jeong, S. H., Lee, G. S., 2002, "*Efficient Skew Estimation and Correction Algorithm for Document Images*" Image and Vision Computing, vol. 20, pp. 25-35.

Le, D. X., Thoma,G., Weschler, H., 1994, "*Automated Page Orientation and Skew Angle Detection for Binary Document Images*", Pattern Recognition, Volume 27, Number 10, pp. 1325-1344

Liang, J., Dementhon, D., Doermann, D., 2008, "*Geometric Rectification of Camera-captured Document Images*", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 30, Issue. 4, Pages: 591-605

Mesut, A., 2006, "*Veri Sıkıştırmada Yeni Yöntemler*", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sayfa 114

Mohan, S.,Avinash, N., Murali, S., 2008, "*Rectification of Perspective distortion using camera parameters – A Perspective Geometry Based Approach*", ICGST-GVIP Journal, ISSN: 1687-398X , Volume 8, Issue 1.

Murali, S., Avinash, N., 2004, "*Estimation of Depth Information from a Single View in an Image*", 4th Indian Conference on Computer Vision Graphics and Image Processing, p. 202-209,December 16-18, Kolkata.

Nagy, G., 2000, "*Twenty Years of Document Image Analysis in PAMI*", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, No. 1, pp. 38-62.

Niblack, W., 1986, "*An Introduction to Image Processing*", Prentice-Hall, Englewood Cliff, NJ, pp. 115-116.

O'Gorman, L., 1993, "The *Document Spectrum for Page Layout Analysis*", IEEE Trans. on Pattern Analysis Machine Intelligence, vol. 15, no. 11, pp. 1162–1173.

Okun, O., Pietikainen, M. , Sauvola, J. , 1999, "*Document Skew Estimation without Angle Range Restriction*", International Journal on Document Analysis and Recognition, Bangalore, India, vol. 2, pp.132–144.

Otsu, N., 1979, "*A threshold selection method from gray level histograms*", IEEE Trans. Syst. Man. Cyber., vol. SMC-9, pp. 62-66.

Özer, A., 2007, "*Afak ve Psödofaklarda Optik Aberasyonlar*", Gazi Göz Vakfı, Glokom-Katarakt Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 1-12

Öztürk, E., Koçak, E., 2007, "*Farklı Kaynaklardan Değişik Yöntem ve Ölçeklerde Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması*", Harita Genel Komutanlığı, HGK Dergisi, sayı:137, sayfa 25-41.

Öztürkcan, M., 2009, *"Regresyon Analizi",* Maltepe Üniversitesi Yayınları, No:40/2009, sayfa 1-14, ISBN: 978-975-6760-38-3

Peake, G. S., Tan, T. N., 1997,"*A General Algorithm for Document Skew Angle Estimation*" , IEEE International Conference on Image Processing 2, pp. 230–233, Washington DC.

Pilu., M., 2001, "*Deskewing perspectively distorted documents: An approach based on perceptual organization*", HP White Paper, HP Laboratories Bristol.

Strouthopoulos, C., Papamarkos, N., Chamzas, C., 1997, "*Identification of Text-Only Areas in Mixed-Type Documents*", Engng Applic. Artif. Intell., Elsevier Science Ltd, Vol. 10, No. 4, pp. 387-401, Great Britain.

Surati, R.J., 1999, "*Scalable Self-Calibrating Display Technology for Seamless Large-Scale Displays*", Massachusetts Institute of Technology, PhD Thesis, Page 28.

Şahin, C., 2011,"*Çok Algılayıcılı Panoramik Kameralarda Kullanılan Balıkgözü Mercek Distorsiyonu İçin Bir Hesap Modeli*", Harita Dergisi, Sayı:145, Sayfa:29-37.

Taşdemir, Ş., Ürkmez, A., Yakar, M., İnal, Ş., 2009, "*Sayısal Görüntü Analiz İşleminde Kamera Kalibrasyon Parametrelerinin Belirlenmesi*", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.

Taymuş, N., 2009, "*NOAA-AVHRR Uydu Verileri Kullanılarak Çukurova Bölgesinin Yayınırlık Değerlerinin Bulunması*", Çukurova Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sayfa:65, Adana

Terzopoulos, D., Fleischer, K., 1998, "*Modeling Inelastic Deformations Viscoelasticity, Plasticity, Fracture*", International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 269-278, Atlanta, Georgia, USA

Ulges, A., Lampert, C.H., Breuel, T.M., 2005, "*Document Image Dewarping using Robust Estimation of Curled Text Lines*", International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), pages: 1001-1005.

Ünsal, F. B., 2009, "*İki Boyutlu Doğrusal Koordinat Dönüşümleri*", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.

Wang, X., Klette, R., Rosenhahn, B., 2005, "*Geometric and photometric correction of projected rectangular pictures*", In Proc. Image and Vision Computing,, pp. 223-228, New Zealand.

Weng, J., Cohen, P.R., Herniou, M., 1992, "*Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation*", In Proceedings of IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., pages 965-980.

xequte.com, 2011, "ImageEn Image Display and Editing Library", http://www.xequte.com/imageen/demos/index.html adresinden alınmıştır.

Yan, H., 1993, "*Skew Correction of Document Images using Interline Cross-correlation*", Computer Vision, Graphical Models and Image Processing, vol.55, no.6, pp. 538–543.

Yiğit, F.P.E., 2005, "*İşçi Gelirleri ve Büyümedeki Çevrimler Arasındaki İlişki*", Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası İşçi Dövizleri Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Yeterlilik Tezi, Sayfa 31-32, Ankara.

Yu, B., Jain, A. K., 1996, "*A Robust and Fast Skew Detection Algorithm for Generic Documents*", Pattern Recognition, vol. 29, no. 10, pp. 1599–1629.

Yu, B., Jain, A. K., 1996, "*A Generic System for Form Dropout*", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 11, pp. 1127-1134.

Zhang, Z., Tan, C.L., 2001, "*Restoration of images scanned from thick bound documents*", In Proceedings of ICIP (1), 1074-1077.

Zhang, Z., Tan, C.L., 2002, "*Straightening Warped Text Lines Using Polynomial Regression*", IEEE 2002 International Conference on Image Processing, pp. 22-25, Rochester, NY, USA.

Zhang, Z., Tan, C.L., 2003, "*Correcting Document Image Warping Based on Regression of Curved Text Lines*", Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition Volume I, pp. 3-6, Edinburgh, Scotland.

Zramdini, A.W., Ingold, R., 1993, "*Optical Font Recognition from Projection Profiles*", In Proceedings of Electronic Publishing, pages. 249-260.

ÖZGEÇMİŞ

Erdal GÜVENOĞLU, 1980 yılında Erzincan' da doğdu. Öğrenimlerini sırasıyla Ulalar Bayrak İlkokulu, Ulalar İlköğrenim Okulu ve Kazım Karabekir Lisesi' nde tamamladı. 1997 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2001 yılında mezun oldu. 2001 – 2004 yılları arasında Maltepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Ocak 2006' da Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans' ını tamamladı. Aynı yıl Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalında Doktora programında doktora öğrenimi yapmaya hak kazandı. Eylül 2007 yılından beri, Maltepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görüntü işleme, görüntü şifreleme ve steganografi alanlarında akademik çalışmalarına devam etmektedir.

EK – 1: GERÇEKLEŞTİRİLEN YAZILIMIN KULLANIM KLAVUZU

GKD Yazılımı Kullanım Kılavuzu

Erdal GÜVENOĞLU

22.06.2012

İÇİNDEKİLER

1. Giriş 1
2. Yazılımın Genel Özellikleri 1
3. Sistem Gereksinimleri 2
4. GKD Kullanıcı Arayüzü 3
   4.1. İşlem menüleri 4
   4.2. Düzeltme Yöntemi Seçimi 6
      4.2.1. Nokta Seçeneği İle Düzeltme İşlemi 7
      4.2.2. Poligonlama Seçeneği İle Düzeltme İşlemi 8
   4.3. Görüntüler Arası Geçiş ve İşlem Alanı 12
   4.4. Nokta Renk Seçimi 13
   4.5. Poligonlama İşlemi İçin Grid Oluşturma Bölümü 13
   4.6. Düzeltme Matrisi ve Ayarları 14
   4.7. Grid İşlemleri 14
   4.8. Önizleme ekranı 15
5. Patern Görüntü Oluşturma Yazılımı 15
6. Sonuç Değerlendirme Yazılımı 16
7. Görüntü Format Dönüştürücü 17

1. Giriş

Görüntü kesit düzeltme yazılımı (GKD), herhangi bir nedenle bozulmaya uğramış bir görüntünün önemli görülen bire bölümünü ya da tamamını düzeltmeye olanak sağlayan bir uygulamadır. Bu uygulama ile jpg ve bmp uzantılı dosyalar üzerinde işlem yapılabilmektedir. Ancak farklı dosya formatlarındaki görüntüler, bmp veya jpeg dosya formatında **Araçlar** menüsünde yer alan **Görüntü Format Dönüştürücü** yazılımı ile dönüştürülebilmektedir.

2. Yazılımın Genel Özellikleri

- Bütün bir görüntüden küçük bir bölgenin düzeltilebilmesi
- Poligonlama işlemi ile bütün bir görüntünün istenilen bölgelerinin düzeltilebilmesi
- Görüntüler arasında hızlı geçiş
- Görüntüleri yakınlaştırma ve uzaklaştırma
- Görüntüleri otomatik boyutlandırma
- Görüntü özelliklerine göre renkli nokta seçimi
- Poligonlama işlemi için düzeltme matrisinin kullanıcı tarafından ayarlanabilmesi
- Görüntü üzerinde düzeltme matrisinin fare ile taşınabilmesi
- Poligon noktalarının fare aracılığı ile kolaylıkla ayarlanabilmesi
- Düzeltme işleminden önce ön izleme yapılabilmesi
- Deneme amaçlı patern görüntü elde edebilme
- Deneme amaçlı patern görüntülerin belli açılarda döndürülebilmesi ve otomatik kaydedilebilmesi
- Elde edilen sonuçların test edilebilmesi
- Test işlemi sonuçlarının Microsoft Word kelime işlemcisine aktarılabilmesi

- Test sonuçlarının grafiklerinin elde edilebilmesi, kaydedilebilmesi ve yazdırılabilmesi
- Düzeltilmiş görüntünün 360 derece döndürülebilmesi ve kaydedilebilmesi
- Farklı formatlardaki görüntülerin bmp veya jpeg dosya formatlarına dönüştürülebilmesi
- Klavye kısa yol tuşları ile menülere hızlı erişim yapılabilmesi
- Ayrıntılı yardım menüsü seçeneği

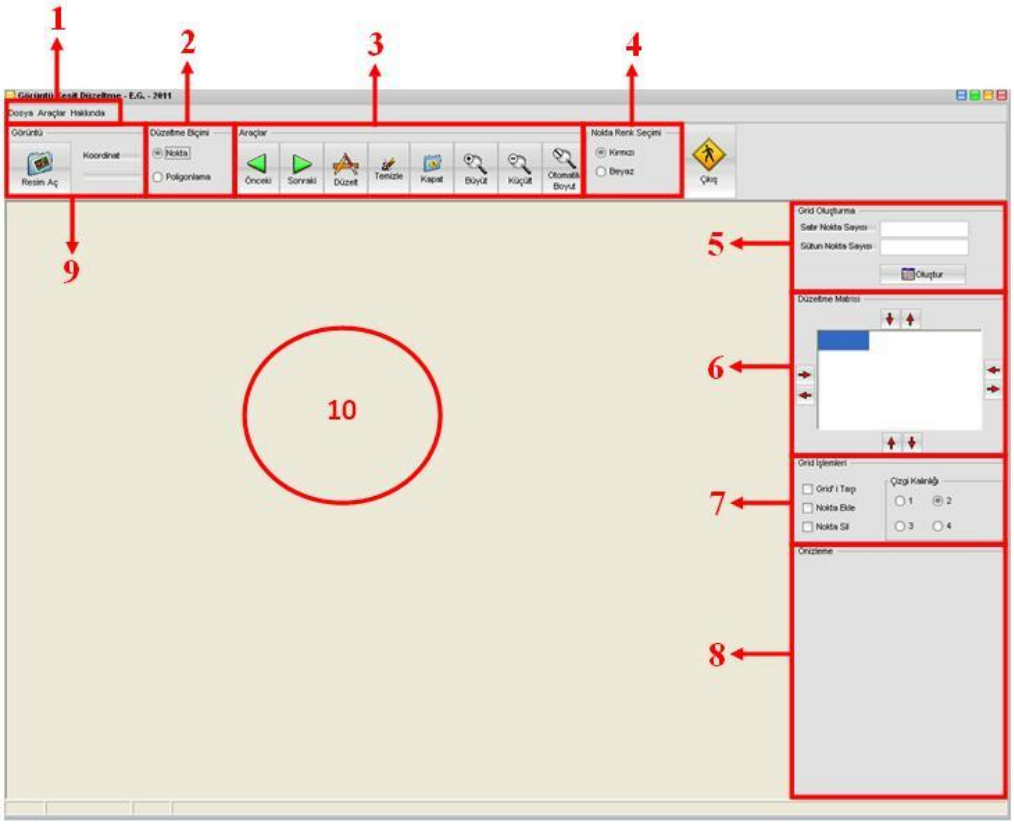
3. Sistem Gereksinimleri

GKD yazılımının başarıyla yüklenebilmesi ve çalıştırılabilmesi için aşağıdaki minimum gereksinimleri karşılaması gerekmektedir.

- Microsoft® Windows XP, Microsoft® Windows Vista, Microsoft® Windows 7
- 50 MB kullanılabilir sabit disk alanı
- 256 MB RAM
- Microsoft® DirectX 8.1 veya daha yeni sürümü
- Microsoft® .Net Framework 1.1
- 300 MHz Pentium® işlemciye ve MMX® teknolojisine sahip kişisel bilgisayar
- 800 x 600 piksel çözünürlük, 16 bit renkli monitor
- Patern Görüntü Oluşturma yazılımının kullanılabilmesi için OPENGL destekli bir ekran kartı

4. GKD Kullanıcı Arayüzü

GKD yazılımın başlangıç ara yüzü aşağıdaki gibidir. Gerçekleştirilecek bütün işlemlere bu ekrandan ulaşılabilmektedir.



GKD, aşağıdaki işlem menülerinden oluşmaktadır.

1. İşlem menüleri
2. Düzeltme yöntemi seçimi
3. Görüntüler arası geçiş ve işlem alanı
4. Nokta renk seçimi
5. Poligonlama işlemi için grid oluşturma bölümü
6. Düzeltme matrisi ve ayarlamaları
7. Grid işlemleri
8. Önizleme ekranı
9. Görüntü açma ve koordinat gösterimi
10. Görüntü işlem alanı

4.1. İşlem menüleri

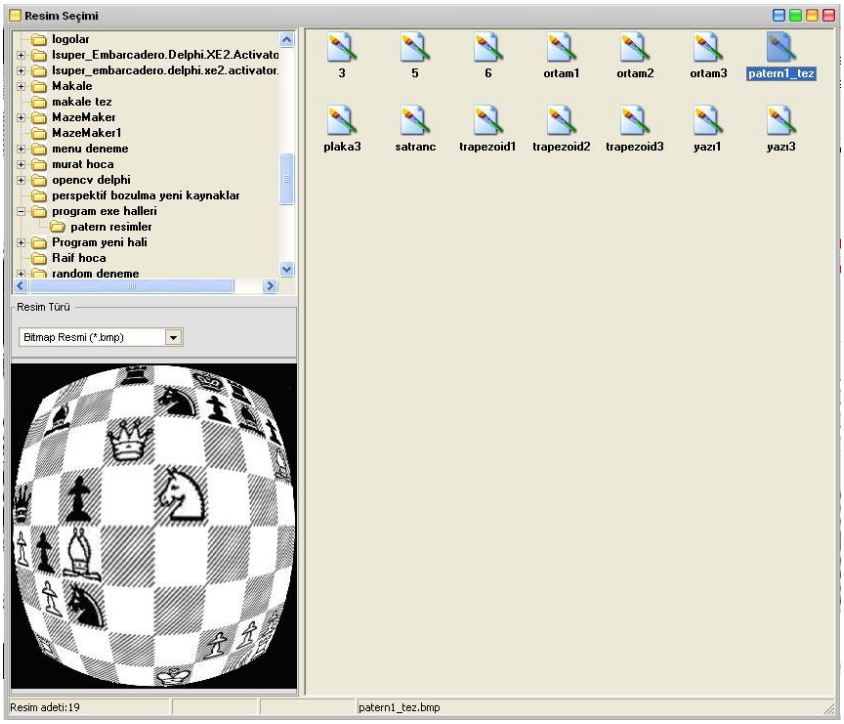
Bozulmaya uğramış görüntülerin yüklenmesi, deneme görüntülerinin oluşturulması ve işlem sonrası elde edilen görüntülerin test edilmesi işlem menüsünde yer alan seçenekler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir.

Görüntüler üzerinde işlem yapılabilmesi için öncelikle görüntülerin yüklenmesi gerekmektedir. Bu işlem için aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

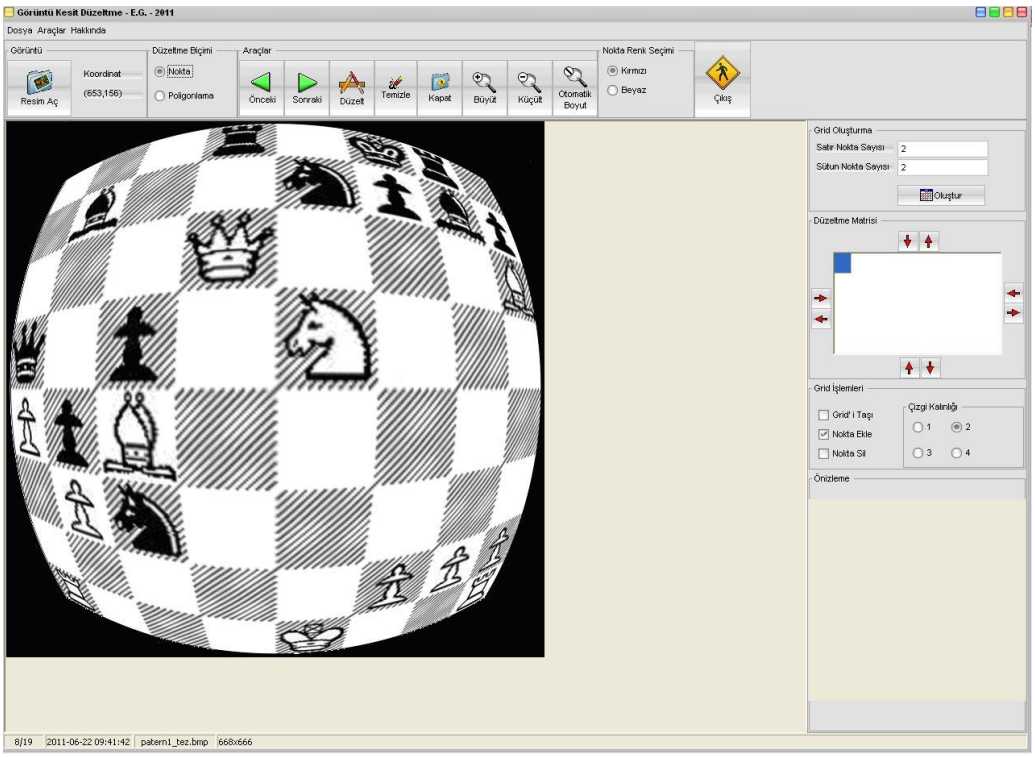
1. **Dosya** menü seçeneğinden **Resim Aç** seçeneği tıklanır ya da Ctrl+O kısa yol tuş kombinasyonu kullanılır.



2. Karşınıza gelen **Resim Seçimi** ekranından düzeltilmek istenen görüntü seçilir.



3. **Resim seçimi** ekranında dolaşım menüleri aracılığı ile disk üzerinde yer alan bozuk görüntü bulunduktan sonra fare aracılığı ile görüntü çift tıklanır. Burada bozuk görüntü yüklenmeden önce ön izleme yapabilmektedir. Ayrıca yüklenmek istenen görüntü türü de belirlenebilmektedir. Örnek bir görüntünün yüklendikten sonraki bir görüntüsü aşağıda verilmiştir.



Araçlar menüsü altında yer alan **Patern Görüntü Oluşturma** seçeneği aracılığı ile işlem yapabilmek için deneme görüntüleri elde edilebilmektedir. Ayrıca görüntü üzerindeki düzetme işleminin ardından sonuç görüntülerinin değerlendirilebilmesi için **Sonuç Değerlendirme** yazılımı yer almaktadır. GKD yazılımında işlemler bmp ve jpeg resim formatları üzerinde yapılabilmektedir. Bu nedenle görüntülerin ilgili formatlara dönüştürülmesi gerekmektedir. **Araçlar** menüsü altında görüntü formatları arasında dönüşümün yapılabilmesi için **Görüntü Format Dönüştürücü** yazılımı da yer almaktadır.



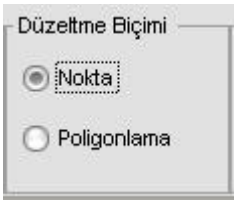
Hakkında menüsü altında yer alan **Yardım** seçeneği ile yazılımın kullanımına ilişkin bilgiler yer almaktadır.



4.2. Düzeltme Yöntemi Seçimi

GKD yazılımında iki farklı şekilde düzeltme işlemi yapılabilmektedir.

1. Bozulmuş görüntünün herhangi bir bölgesi
2. Bozulmuş görüntünün tamamı ya da belli bir bölgesi düzeltilebilmektedir.

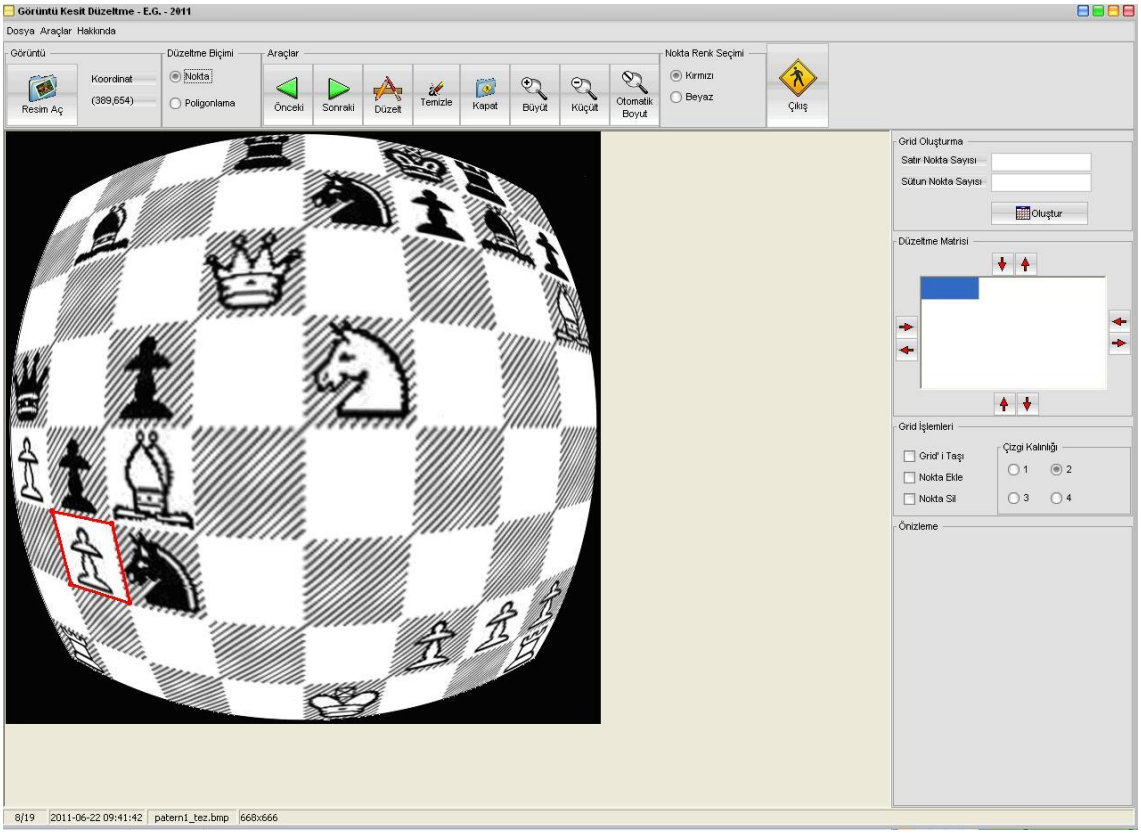


Bozulmaya uğramış görüntünün sadece bir bölgesi düzeltilmek istenildiğinde **Nokta** seçeneği, tamamı ya da belli bir bölgesi düzeltilmek istenildiğinde **Poligonlama** seçeneği işaretlenir.

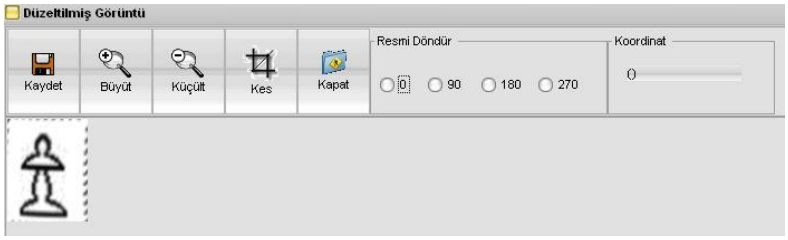
4.2.1. Nokta Seçeneği İle Düzeltme İşlemi

Bozulmaya uğramış görüntü yüklendikten sonra görüntü üzerinde düzeltilmek istenen alan üzerinde dört adet nokta fare ile işaretlenir. Noktaların işaretlenme sırasının herhangi bir önemi yoktur. Belirlenen bu noktalar aracılığı ile bir poligon yaratılmakta ve düzeltme sadece bu bölge içerisinde gerçekleştirilmektedir. İşlem adımları şu şekildedir.

1. **Dosya** menüsünden **Resim Aç** seçeneği ile bozulmaya uğramış görüntü yüklenir.
2. Yüklenen görüntü üzerinde fare aracılığı ile istenilen bölge üzerinde dört adet nokta işaretlenir.



3. İşaretleme yapıldıktan sonra **Düzelt** düğmesine tıklanır. Düzeltilmiş sonuç görüntüsü farklı bir pencere üzerinde görüntülenmektedir.



4. Düzeltilmiş görüntü üzerinde şekilde görülen işlemler uygulanabilmekte ve sonuç görüntüsü **Kaydet** düğmesi ile kaydedilebilmektedir.

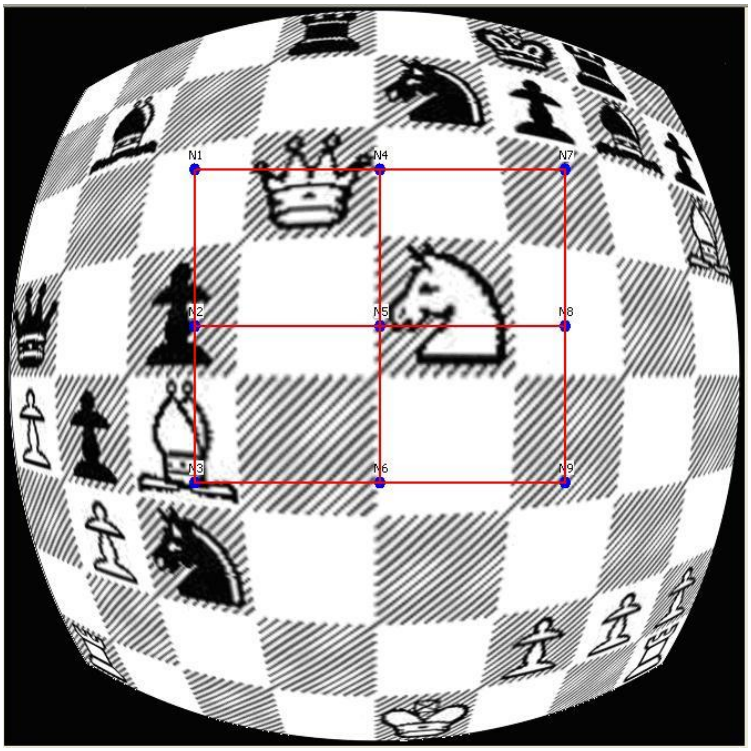
4.2.2. Poligonlama Seçeneği İle Düzeltme İşlemi

Bu seçenek aracılığı ile bozulmaya uğramış bir görüntünün tamamı yada istenilen bir bölümü düzeltilebilmektedir. İşlem adımları şu şekildedir.

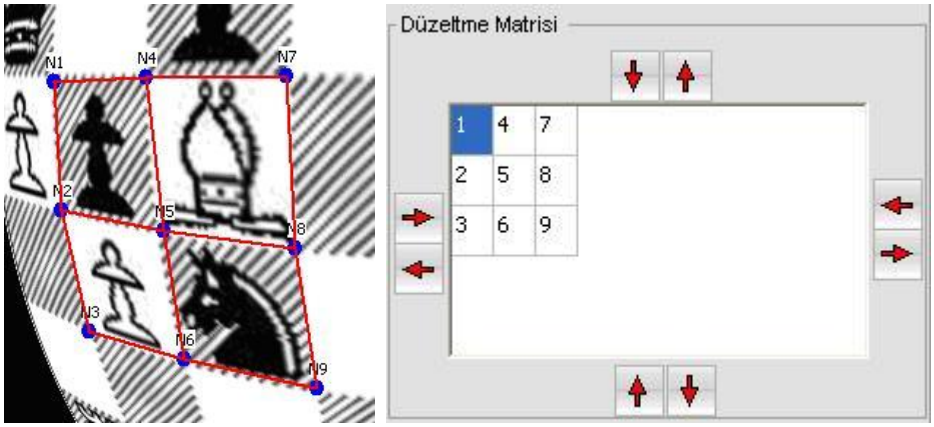
1. **Dosya** menüsünden **Resim Aç** seçeneği ile bozulmaya uğramış görüntü yüklenir.
2. **Poligonlama** seçeneği işaretlenir.
3. **Grid Oluşturma** bölümünde düzeltme işleminin uygulanacağı bölge için kaç adet nokta kullanılacağı belirlenir ve **Oluştur** düğmesine tıklanır. Satır ve sütundaki nokta sayıları kaç adet dörtgen oluşturulacağını ifade etmektedir.



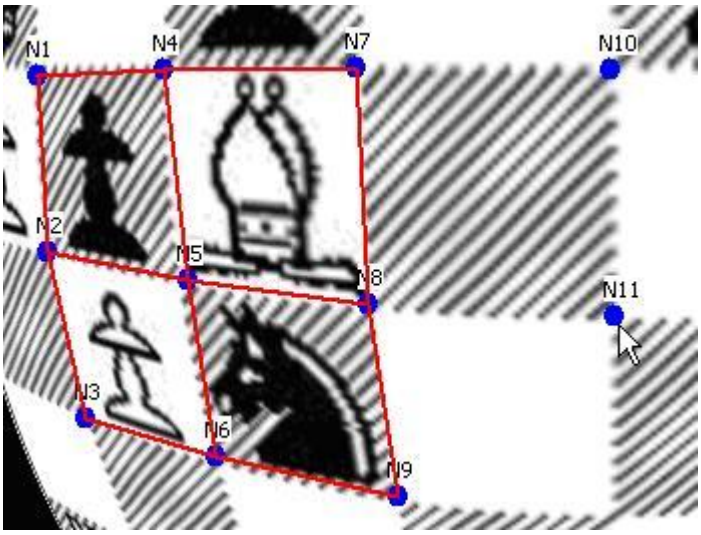
4. **Oluştur** düğmesinin tıklanması ile bozulmaya uğramış görüntü üzerinde birbirleri ile bağlantılı bir ızgara oluşmaktadır.



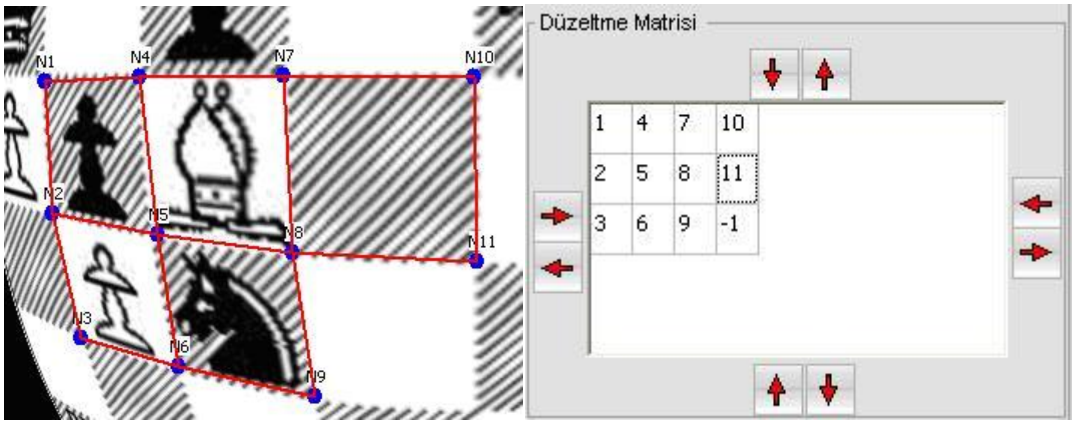
5. Farenin sol tuşu basılı tutularak, bu noktalar düzeltme işleminin uygulanacağı bölge üzerine sürüklenerek taşınabilmektedir. Ayrıca ızgaranın tamamı **Grid İşlemleri** bölümünde yer alan **Grid' i Taşı** seçeneği işaretlendikten sonra farenin sol tuşu basılı tutularak bir bütün halinde taşınabilmektedir.
6. Izgaranın oluşturulması ile düzeltme işleminin yapılabilmesi için bir düzeltme matrisi de elde edilmektedir. Düzeltme matrisinde birbirleri ile komşu olan noktalar satır ve sütunda yan yana gelmektedirler.



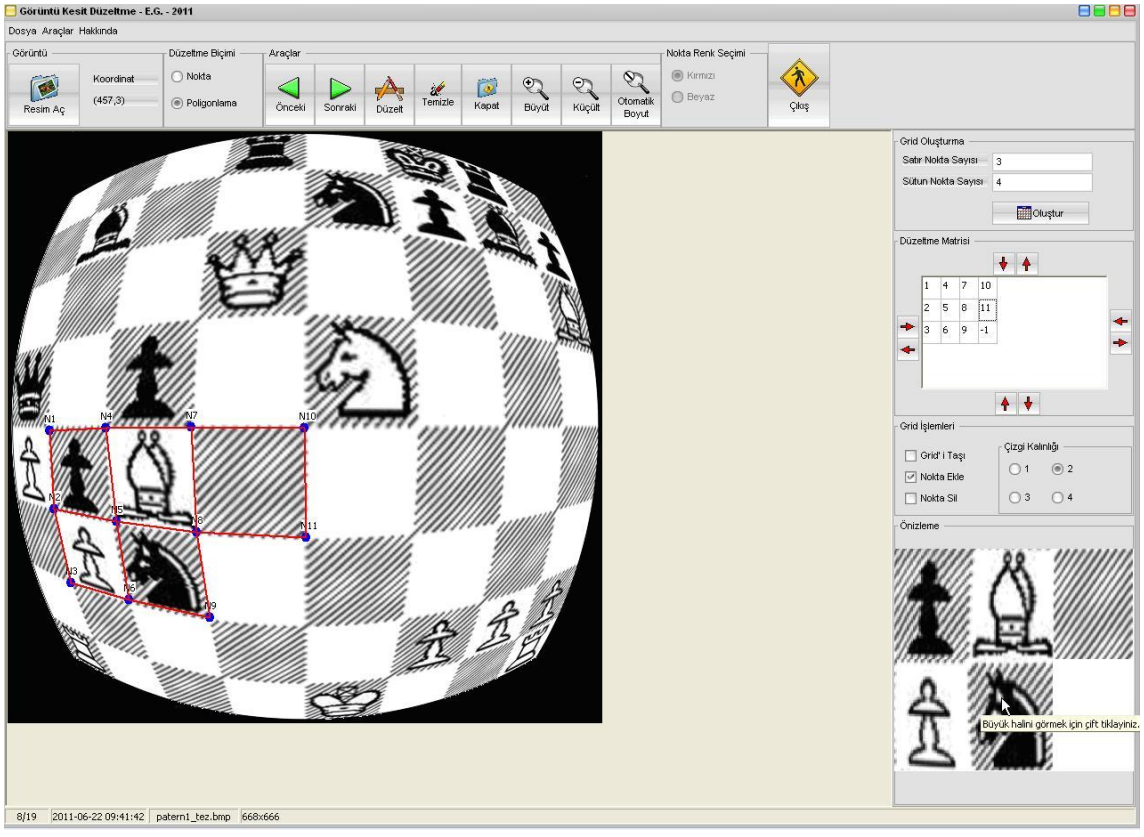
7. Düzeltme uygulanacak bölgeye ek bölgeler dâhil edilebilmektedir. Bu işlem için **Grid işlemleri** bölümünde yer alan **Nokta Ekle** seçeneği işaretlenir ve fare aracılığı ile görüntü üzerine yeni noktalar dahil edilir.



8. Eklenen yeni noktalar komşu noktalarla birleştirilir. Birleştirme işlemi için farenin sağ tuşu nokta üzerinde basılı tutularak komşusu olan nokta üzerine sürüklenerek bırakılır. Bütün komşu noktalara bağlantılarının mutlaka tanımlanması gerekmektedir.
9. Nokta bağlantılarının tamamlanmasının ardından **Düzeltme Matrisi** üzerinde gerekli ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Düzeltme Matrisi üzerinde yer alan yön tuşları aracılığı ile komşu noktaların bulunduğu yöne doğru satır veya sütun eklenir. Satır ve sütun eklendiğinde elde edilen -1 değeri nokta olmadığını belirtmektedir. Komşu olan nokta değerleri bu matrise elle yazılır. (Örneğin 10 ve 11 noktaları eklendi ve matriste düzeltmesi yapıldı.)

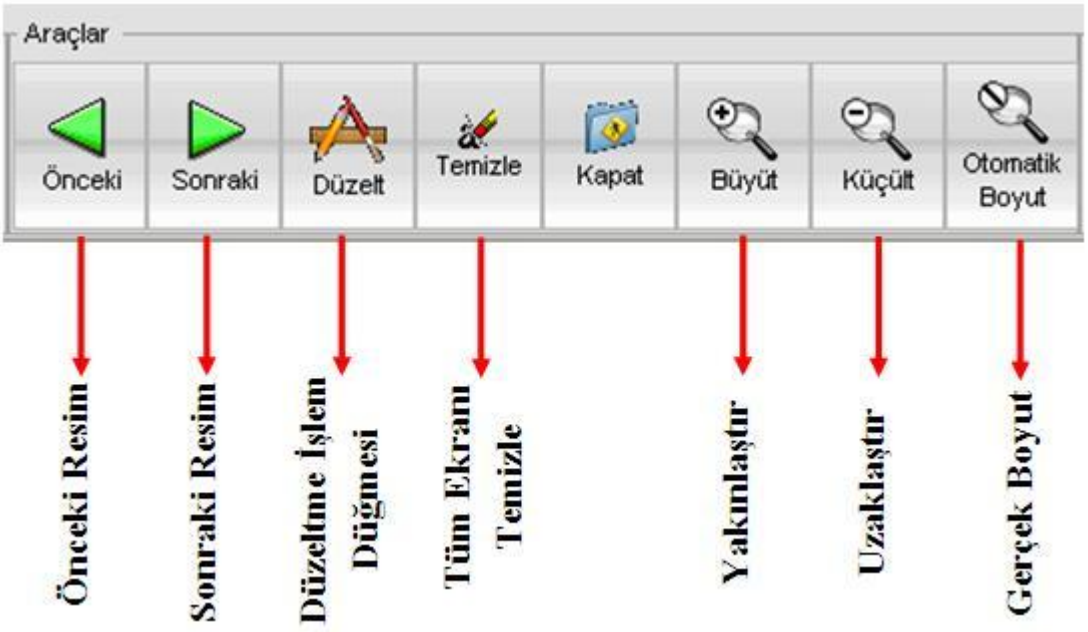


10. Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra **Düzelt** düğmesine tıklanır. Düzeltilmiş sonuç görüntüsü ön izleme ekranında görüntülenir. Farklı bir pencere üzerinde görüntülemek için ön izleme görüntüsü çift tıklanır.



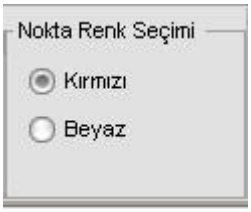
4.3. Görüntüler Arası Geçiş ve İşlem Alanı

Bu seçenekte yer alan ile disk üzerinde aynı klasörde yer alan görüntüler üzerinde ileri veya geri hareket edilebilmektedir. Ayrıca yüklenen görüntünün yakınlaştırılması, uzaklaştırılması ve orijinal haline getirilmesi işlemleri yapılmaktadır. Görüntü üzerinde işlem yapılabilmesi için mutlaka orijinal boyutlarında olması gerekmektedir.



4.4. Nokta Renk Seçimi

Bazı görüntülerdeki renklerden dolayı işaretlenen noktalar kullanıcı tarafından algılanamayabilmektedir. Bu alanda kırmızı ve beyaz nokta olmak üzere nokta rengi seçilebilmektedir. Bu özellik sadece **Nokta** seçeneği ile işlem yapılırken aktif hale gelmektedir.



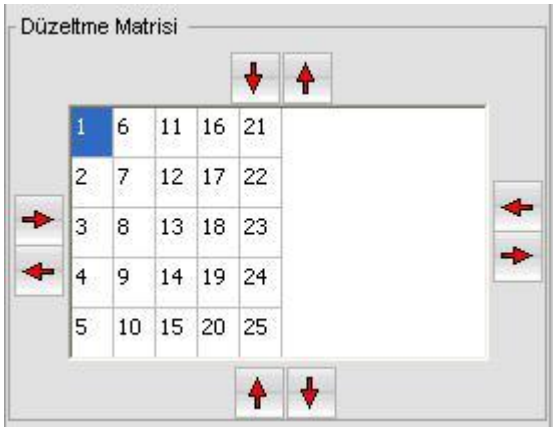
4.5. Poligonlama İşlemi İçin Grid Oluşturma Bölümü

Bu seçenek aracılığı ile bozulmaya uğramış görüntü üzerine birbirleri ile satır ve sütunlarda komşu noktalar ve bu noktaların meydana getirdiği kapalı alanlar belirlenmektedir. Bu alanın aktif hale gelebilmesi için **Poligonlama** seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir.



4.6. Düzeltme Matrisi ve Ayarları

Bozulmaya uğramış bir görüntü üzerinde komşu satır ve sütun nokta sayıları belirlendiğinde oluşmaktadır. Ayrıca görüntü üzerine ek düzeltme noktaları eklendiğinde ok tuşları ile yeni satır ve sütun değerlerinin girilebilmesini sağlamaktadır. Düzeltme işleminin yapılabilmesi için kullanılmakta ve son derece önemlidir.



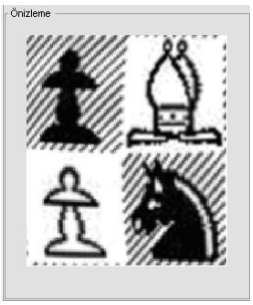
4.7. Grid İşlemleri

Poligonlama işlemi sırasında bozulmuş görüntü üzerine yerleştirilen ızgaranın ve kenar çizgilerinin ayarlarının yapıldığı bölümdür. Bu bölümde grid' in taşınması, görüntü üzerine ek noktalar yerleştirilmesi ve noktaların silinmesi işlemleri yapılmaktadır. Ayrıca noktalar arası çizgilerin kalınlığı piksel cinsinden yine bu bölümde ayarlanabilmektedir.



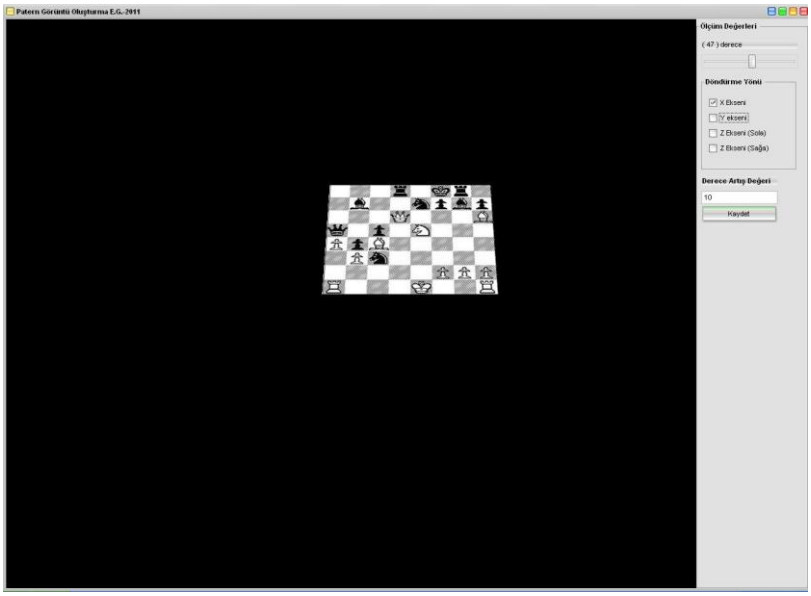
4.8. Önizleme ekranı

Düzeltme işleminin ardından elde edilen sonucun gösterildiği bölümdür. Ön izleme görüntüsü fare ile çift tıklandığında sonuç görüntüsü yeni bir ekranda görüntülenir.



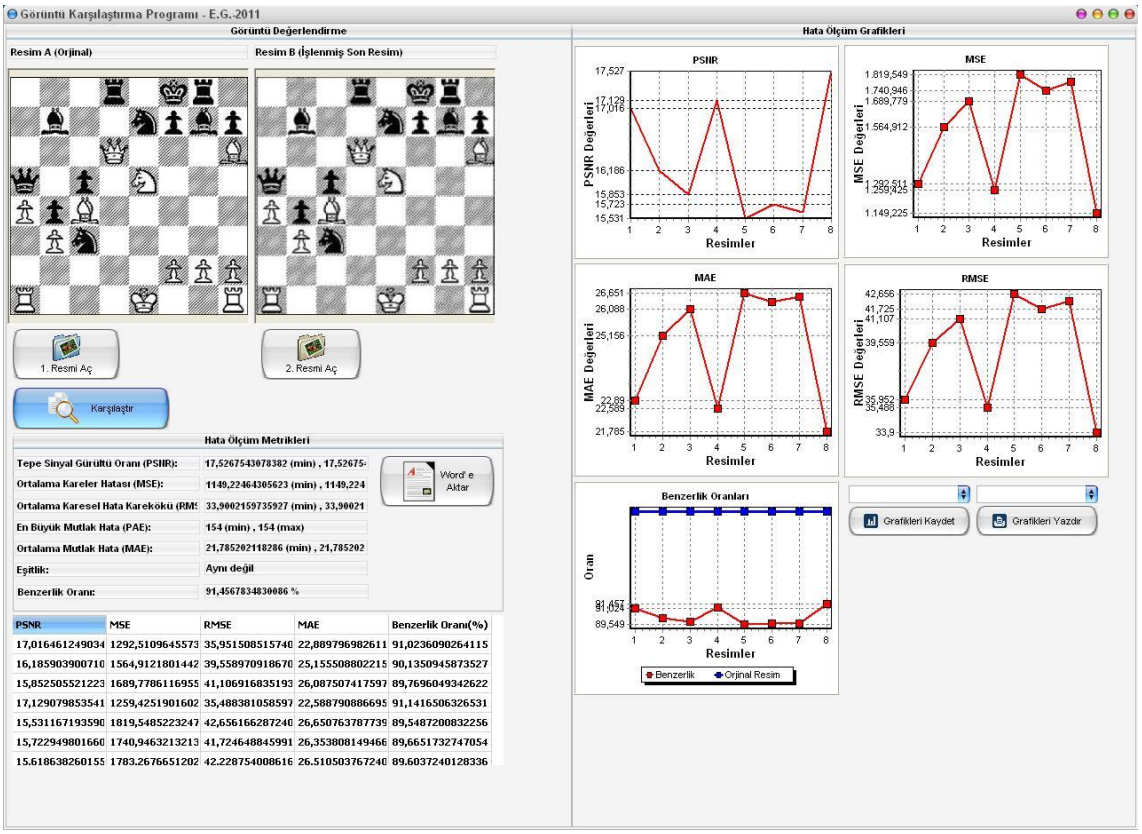
5. Patern Görüntü Oluşturma Yazılımı

Patern Görüntü Oluşturma yazımının ekran görüntüsü aşağıda verilmektedir. Bu ekran üzerinde bir satranç tahtası görüntüsü farklı eksenler etrafında ve farklı açılarla döndürülebilmektedir. Farklı açılarda elde edilen deneme görüntüleri düzeltme işlemi için kullanılabilmektedir. Elde edilen görüntüler **c:\resim** dizini altına kaydedilmektedir.



6. Sonuç Değerlendirme Yazılımı

Sonuç değerlendirme yazılımı aracılığı ile düzeltme işleminden sonra elde edilen sonuçların karşılaştırılması sağlanmaktadır. Karşılaştırma işlemi, literatürde bilinen PSNR, MSE, RMSE ve MAE hata ölçüm metriklerine göre yapılmaktadır.



Sonuç değerlendirme yazılımının kullanımı son derece kolaydır ve aşağıdaki işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

1. **1.Resim Aç** seçeneği ile orijinal görüntü, **2.Resim Aç** seçeneği ile düzeltme uygulanmış görüntü açılmaktadır.
2. **Karşılaştır** düğmesine basılır ve test sonuçları elde edilir. Grafik çizimi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.
3. Elde edilen sonuçlar Microsoft Word programına **Word' e Aktar** düğmesi ile tablo biçiminde aktarılabilmektedir.

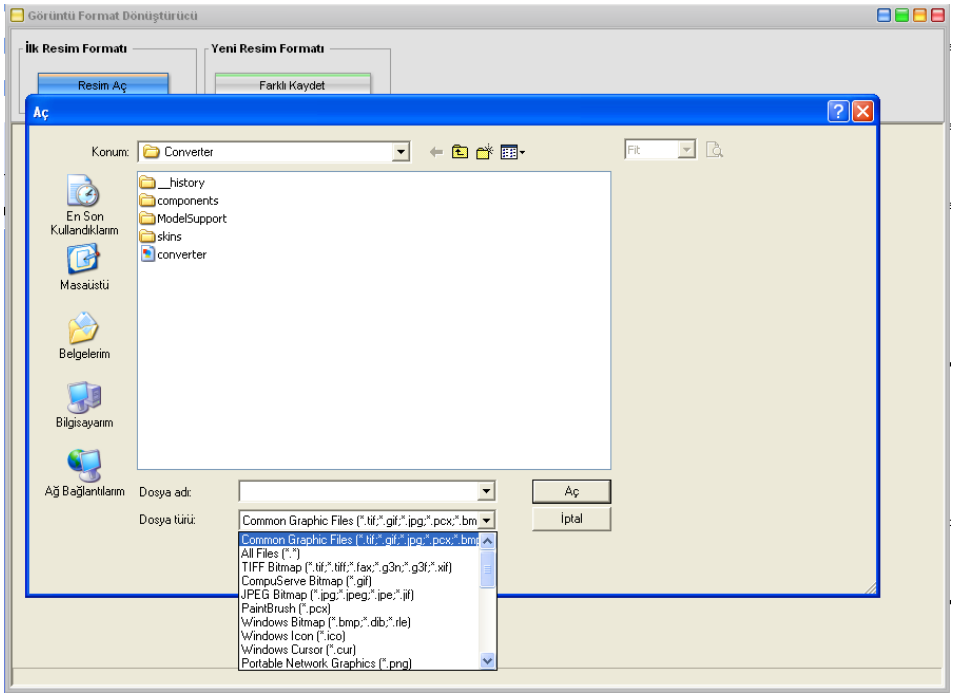
4. Sonuç grafikleri **Grafikleri Kaydet** düğmesi ile kaydedilebilmekte ve **Grafikleri Yazdır** düğmesi ile yazdırılabilmektedir.

PSNR, orijinal görüntü ile işlenmiş görüntü arasındaki benzerlik kalitesini hesaplamaktadır. Hesaplama sonucunda PSNR tek bir değer üretmektedir. Elde edilen bu değer desibel olarak ifade edilmektedir. Desibel (dB), ölçülen iki değer arasındaki farkı belirten, genelde ses şiddeti için kullanılan logaritmik ve boyutsuz bir birimdir. Desibelin yaygın olarak ses şiddeti birimi olduğu sanılmakta fakat görüntü kalitesi ölçümünde de kullanılabilen bir karşılaştırmadır. Bu değerin yüksek olması görüntü kalitesinin de yüksek olduğu ya da başka bir deyişle, görüntü üzerinde yapılan işlemin, orijinal görüntüye etkisinin az olduğu anlamına gelmektedir. PSNR değerlerinin yüksek olması görüntüde daha az bir bozulmanın olduğunun işaretçisidir.

MSE, RMSE ve **MAE** kıstasları, iki görüntünün birbirlerine benzerlik durumlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Orijinal bir görüntünün işlenmiş bir görüntüye çok benzemesi durumunda MSE, RMSE ve MAE değerleri oldukça düşük olmaktadır. Bu değerlerin çok küçük olması, işlenmiş görüntünün kalitesinin de çok iyi olduğu anlamına gelmektedir. Eğer iki görüntü arasındaki fark büyük ise hata değerleri de artacaktır.

7. Görüntü Format Dönüştürücü

GKD yazılımının kullanılabilmesi ve işlem yapılabilmesi için bmp ve jpeg resim formatlarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle herhangi bir resim formatındaki görüntünün dönüştürülmesine ihtiyaç vardır. **Araçlar** menüsü altında yer alan **Görüntü Format Dönüştürücü** yazılımı ile dönüşüm işlemi gerçekleştirilebilmektedir.



Resim formatı dönüşüm işlemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. **Resim Aç** seçeneği ile formatı dönüştürülecek resim açılır.
2. **Farklı Kaydet** seçeneği aracılığı resmin yeni formatı (bmp veya jpeg) belirlenir ve yeni ismi ile kaydedilir.

