

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME İLE PANORAMİK GÖRÜNTÜ
ÜRETİMİ**

AHMET HAMDİ VAROL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2014

**GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME İLE PANORAMİK GÖRÜNTÜ
ÜRETİMİ**

**PANORAMIC IMAGE GENERATION WITH IMAGE
MOSAICING**

Ahmet Hamdi Varol

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
BİLGİSAYAR Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2014

“Görüntü Mozaikleme ile Panoramik Görüntü Üretimi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 15/09/2014 tarihinde, **BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI** 'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Hasan OĞUL

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Emre SÜMER

Üye : Doç. Dr. Çağdaş Sıtkı İNAM

ONAY

..../09/2014

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŐEKKÖR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleőmesinde katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişi ve kuruluőlara içtenlikle teőekkÖr eder.

Sayın Yrd. Doç. Dr. Emre SÖMER'e (tez danıőmanı), çalışmanın sonuca ulaőtırılmasında ve karőtılaőtılan gÖçlÖklerin aőtılmasında her zaman yardımcı ve yol gÖsterici olduğu için...

MÖhendislik FakÖltesi ve Bilgi İşlem Daire Baőtkanlıđı alıőanlarının sÖbjektif değerlendirme aőamasına verdikleri katkıları için...

Tez çalıőmam boyunca destekleriyle yanımda olan sevgili aileme desteklerinden dolayı ...

ÖZ

GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME İLE PANORAMİK GÖRÜNTÜ ÜRETİMİ

Görüntü mozaigi aynı sahneye ait sıralı görüntülerin birleştirilmesiyle oluşturulan bir panoramik görüntüdür. Bu yöntem esas olarak haritalama uygulamaları, insansız hava araçlarından alınan görüntülerin değerlendirilmesi ve çeşitli bilgisayarla görme uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, profesyonel olmayan dijital bir kamera ile çekilen fotoğraflardan otomatik ve kesintisiz bir panoramik görüntü için yeni bir harmanlama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde göre, mozaikleme sırasında oluşan izleri düzeltmek için, çakışan bölgeler etrafında oluşan renk farklılıkları ölçülür. Bu amaçla, ilk olarak, 1 piksel genişliğindeki bir bölgede üst üste binen bölge sınırları içindeki ve dışındaki görüntü piksel yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. İkinci olarak, yoğunluk değerlerinin ortalaması alınmış ve son olarak, renk farklılıklarının ortalama değerleri üst üste binen bölgelere uygulanmıştır. Bunun yanı sıra, oluşan izleri azaltmak amacıyla ilgili sınır bölgelerine hareket bulanıklığı filtresi uygulanmıştır. Önerilen yöntemin doğruluğunu test etmek amacıyla sübjektif bir değerlendirme metriği kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, kesintisiz bir mozaik görüntü 0 (en kötü) – 1 (en iyi) arasında değişen başarı skalasına göre 0.66'lık öznel bir doğruluk ile elde edilmiştir. Önerilen yöntem literatürde yer alan 'Feathering' tekniğine göre 0.20 puan daha başarılı çıkmıştır. Çalışmanın sonuçları, mozaikleme sonrası oluşan izlerin önemli ölçüde azaltıldığını veya tamamen ortadan kaldırıldığını göstermektedir. Ayrıca, aydınlatma farklılıklarının da en aza indirilebileceğini görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Kesintisiz doku, Görüntü mozaikleme, Hareket bulanıklığı, Renk yoğunluğu.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Emte SÜMER, Başkent Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

ABSTRACT

PANORAMIC IMAGE GENERATION WITH IMAGE MOSAICING

An image mosaic is a panoramic image generated by assembling sequential images belong to the same scene. This method is mainly used in mapping applications, the evaluation of the images acquired from unmanned aerial vehicles, and various computer vision applications. In this study, a novel blending method is proposed for automatic and seamless mosaicing of photos taken by an unprofessional digital camera. For the correction of consistent seams occurred during the mosaicing, the color differences around the overlapping regions are measured. For this purpose, first, the intensity values of image pixels inside and outside the overlapping region boundary in a 1 pixel wide zone are determined. Secondly, the intensity values are averaged and finally, the average values of color differences are applied to overlapping regions. Besides, motion blur filtering is performed for the corresponding boundary regions in order to reduce the seams. In order to test the accuracy of the proposed method a subjective evaluation metric is used. According to the results obtained, the seamless image mosaics are generated with a subjective accuracy of 0.66 in average where the full scale is between 0 (the worst) and 1 (the best). The proposed method is appeared to be more successful (by 0.20 points) than the 'Feathering' method found in the literature. The results of study indicate that the seams, which occurs after mosaicing, can be substantially reduced or completely eliminated. Besides, it is observed that the illumination differences are minimized.

KEYWORDS: Seamless texture, Image mosaicing, Motion blur, Color intensity.

Advisor: Assistant Prof. Dr. Emre SÜMER, Başkent University, Department of Computer Engineering

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
1 GİRİŞ	1
2 GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME	6
2.1 Öznitelik Çıkarımı	7
2.1.1 Harris Algoritması	8
2.1.2 SIFT Algoritması	11
2.1.3 FAST Algoritması	11
2.1.4 SURF Algoritması	12
2.2 Görüntü Çakıştırma	12
2.3 Homografi Tanımı	17
2.3.1 Homografi	17
2.3.2 RANSAC	18
2.4 Görüntü Çarpıtma	19
2.5 Görüntü Harmanlama	20
3 ÖNERİLEN YÖNTEM	23
3.1 Çakıştırma Alanının Belirlenmesi	24
3.2 Doğru Parçalarının Tespiti	25
3.3 Nokta Tespiti ve Renk Atama	27
3.4 Hareket Bulanıklığı Filtresinin Uygulanması	28
4 BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ VE DENEYSEL SONUÇLAR	30
5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA	41
KAYNAKLAR LİSTESİ	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Görüntü Mozaikleme Adımları.....	6
Şekil 2.2 Harris köşe bulma mantığı	10
Şekil 2.3 Harris köşe bulma yöntemi kullanılarak öznelik çıkarma işlemi sonucu	10
Şekil 2.4 İki görüntünün öznelikleri ile görüntü çakıştırma yöntemlerinden biri olan korelasyon yöntemi kullanılarak elde edilen eşleştirme işleminin sonucu	16
Şekil 2.5 Görüntü Çarpıtma sonucu	20
Şekil 2.6 Harmanlama işlemi sonrasında elde edilen mozaik görüntü	21
Şekil 3.1 Önerilen harmanlama yönteminde izlenen adımlar	24
Şekil 3.2 Örtüşen alanın sınırlarının belirlenmesi	25
Şekil 3.3 Matlab 'convhull' fonksiyonunun sonucunda bulunan koordinatlar kullanılarak örtüşen alanın sınırlarının tekrar oluşturulması	26
Şekil 3.4 (a) Örtüşen alanın sınır çizgisi ile 1 piksel içerideki ve dışarıdaki çizgiler, (b) bu çizgilerin yakından gösterimi	27
Şekil 3.5 Önerilen harmanlama metodu uygulanmadan önceki mozaik görüntü	29
Şekil 3.6 Önerilen harmanlama metodu uygulandıktan sonraki mozaik görüntü	29
Şekil 4.1 Oluşturulan 10 çift görüntü ile her bir mozaik çiftinin hem önerilen harmanlama metodu uygulanmış (sağ sütun), 'Feathering' yöntemi uygulanmış (ortada), hem de uygulanmamış halleri (sol sütun)	31
Şekil 4.2 Oluşturulan 10 çift görüntünün değerlendirilmesi için hazırlanan web sayfasından alınan örnek bir ekran görüntüsü	33
Şekil 4.3 Ortalama istatistiğine göre en başarılı harmanlama uygulaması (Set#2): (a) önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, (b) önerilen harmanlama yöntemi uygulandıktan sonra	37
Şekil 4.4 Ortalama ve mod istatistiğine göre en başarısız bulunan harmanlama örneği (Set#9): (a) önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, (b) önerilen harmanlama uygulandıktan sonra	38
Şekil 4.5 Mod istatistiğine göre en başarılı bulunan harmanlama örneği (Set#6): (a) önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, (b) önerilen harmanlama uygulandıktan sonra	39
Şekil 4.6 Mod istatistiğine göre en başarılı bulunan harmanlama örneği (Set#7): (a) önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, (b) önerilen harmanlama uygulandıktan sonra	40

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 Kesintisiz mozaikleme için değerlendirme ölçęęi	34
Çizelge 4.2 Önerilen yöntem göre her bir görüntü kümesinin değerlendirme sonuçları	34
Çizelge 4.3 Önerilen yöntem göre her bir görüntü kümesi için öznel değerlendirme sonucu	35
Çizelge 4.4 Önerilen yöntem göre her bir görüntü kümesi için mod istatistiğine göre öznel değerlendirme sonucu	36
Çizelge 4.5 'Feathering' işlemi sonucu her bir görüntü kümesinin değerlendirme sonuçları	36
Çizelge 4.6 'Feathering' işlemi sonucu her bir görüntü kümesi için öznel değerlendirme sonucu	36
Çizelge 4.7 'Feathering' işlemi sonucu her bir görüntü kümesi için mod istatistiğine göre öznel değerlendirme sonucu	37

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

2B	İki Boyutlu (2D)
3B	Üç Boyutlu (3D)
BT	Bilgisayarlı Tomografi (Computed Tomography)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographical Information System)
CC	Çapraz Korelasyon (Cross Correlation)
CoHED	Cohen-Sutherland Algoritması (Cohen-Sutherland Algorithm)
CoHOG	Birlik Odaklı Gradyanların Histogramı (Co-occurrence Histogram of Oriented Gradients)
CPs	Kontrol Noktaları (Control Points)
CRF	Köşe Tepki Fonksiyonu (Corner Response Function)
DEM	Sayısal Yükseklik Modelli (Digital Elevation Model)
DLT	Doğrudan Lineer Dönüşüm (Direct Linear Transformation)
DoG	Gauss Farkı (Difference of Gaussian)
DoH	Hessian Determinantı (Determinant of Hessian)
FAST	Hızlandırılmış Segment Testi (Features from Accelerated Segment Test)
HOG	Yönlü Gradyan Histogramı (Histograms of Oriented Gradient)
LDA	Doğrusal Ayraç Analizi (Linear Discriminant Analysis)
LoG	Laplacian ve Gaussian (Laplacian of Gaussian)
MSER	En Stabil Uç Bölgeler (Maximally Stable Extremal Regions)
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans (Nuclear Magnetic Resonance)
SIFT	Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü (Scale Invariant Feature Transform)
SURF	Hızlandırılmış Gürbüz Öznitelikler (Speeded Up Robust Features)
SVD	Tekil Değer Ayrışımı (Singular Value Decomposition)
PCA	Asıl Birleşen Analizi (Principal Component Analysis)
RANSAC	Rastgele Örnek Uzlaşımı (Random Sample Consensus)
RGB	Kırmızı Yeşil Mavi (Red Green Blue)

1. GİRİŞ

Bilgisayarla görme (computer vision), sayısal veya sembolik bilgileri üretmek için gerçek dünyadaki görüntüleri ve genellikle yüksek boyutlu veriyi elde etme, işleme, analiz etme ve anlama gibi yöntemleri içeren bir alandır. Bu alanın gelişmesindeki en önemli nedenlerin başında görüntünün sayısal ortamda algılanması ve yorumlanması ile insan görme (human vision) yeteneklerinin bilgisayar ortamında taklit edilmesi olmuştur [1].

Görüntünün analizi, geometri, fizik, istatistik, ve öğrenme teorisinin yardımıyla oluşturulacak modelleri kullanarak görüntü verilerindeki sembolik bilgilerin açığa çıkarılması olarak görülebilir. Bilgisayarla görme, görüntü algılama süreçleri ve işlemlerinin geniş yelpazede otomatikleştirilmesi ve entegre edilmesi girişimi olarak tarif edilebilir. Bilgisayarla görmenin en sık kullanıldığı alanlardan bazıları; medikal, endüstriyel, askeri alanlar olarak sayılabilir. Bu alanları daha detaylı olarak inceleyecek olursak; kontrol işlemleri (endüstriyel robotlar), navigasyon (otonom araç veya mobil robot), olay algılama (görsel gözetim veya insan sayma), veri organizasyonu (görüntü dizilerini veya veritabanlarını indeksleme), nesne veya ortam modelleme (medikal görüntü analizi veya topoğrafik modelleme), etkileşim (bilgisayar-insan etkileşimli cihazlara girdi olarak), otomatik kontrol (üretim uygulamalarında) gibi uygulamalar sıralanabilir [1].

Yukarıda ifade edilen bu uygulama alanlarının her biri, bilgisayarla görmenin bir dizi görevlerinde (çeşitli metotlar kullanarak çözülebilecek işlem problemlerini veya az çok iyi tanımlanmış ölçme problemlerinde) kullanılmaktadır. Tipik bilgisayarla görme görevlerinden bazıları; tanıma (recognition), hareket analizi (motion analysis), sahnenin yeniden yapılandırılması (scene reconstruction), görüntü restorasyonu (image restoration) olarak sıralanabilir [4].

Görüntü mozaikleme, bilgisayarla görme içinde yer alan aktif bir araştırma alanıdır. Aynı sahneye ait sıralı görüntülerin birleştirilmesi ve görüntüler arasındaki geometrik ilişkileri anlama yoluyla oluşturulan panoramik görüntülere “görüntü mozaigi” (image mosaic) denir. Geometrik ilişkiler, farklı görüntü koordinat sistemleri ile ilgili koordinat dönüşümleridir. Afin, perspektif ve polinom dönüşümleri gibi geometrik dönüşümlere maruz kaldıktan sonra görüntüler

çarpıtma (warping) işlemine hazır hale gelir. Bir çarpıtma işlemi ile çarpıtılan görüntüler, örtüşen bölgelerde birleştirilerek orijinal görüntüden ayırt edilemeyen geniş açılı görsel bir temsil oluşturulur. Görüntü mozaiklemede girdi olarak en az iki görüntü alınır ve bu görüntüler tek büyük ve kaliteli bir görüntü oluşturmak için birleştirilir. Mozaik, bu tek görüntüde birleşen sahnenin bir çıktısıdır [2].

Sahnenin geniş alanlı görsel temsilini gerçekleştirebilmek için, geniş alanlı haritalar (mozaik) oluşturmak gereklidir. Dünyanın (jeolojik, hidrolojik, biyolojik, vb) fiziksel süreçlerini anlamak için görüntü mozaikleme önemli bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Bu bağlamda, yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve topoğrafik modellerin elde edilmesi önem arz etmektedir [3].

Mozaikler; jeolojik ve arkeolojik araştırmalar, ekoloji çalışmaları, çevresel hasar değerlendirilmesi ve zamansal değişikliklerin tespiti için kullanılabileceği gibi yaygın olarak panoramik görüntüleme ve haritalama gibi farklı uygulamalarda da yer almaktadır. Bu nedenle, farklı bir çok çalışmada, özellikle insanın ulaşamadığı alanlarda mozaik harita oluşturmanın önemi vurgulanmaktadır [3].

Kesintisiz (seamless) bir mozaikleme için iki temel kuralı vardır. Bunlardan ilki, geometrik ve fotometrik olarak mozaik, giriş görüntülerine mümkün olduğunca benzer olmalıdır. İkincisi ise, mozaik yapılan görüntüler arasındaki izler (seam) görünmez olmalıdır. Kesintisiz mozaik görüntü oluşturulurken izlerin yok edilmesiyle ilgili son yıllarda birçok yeni harmanlama algoritmaları önerilmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda incelenmiştir.

Gao ve arkadaşları [5] seam-driven adı verilen eşleşen özellik noktalarının en iyi geometrik uyumu ve homografilerin seçimi yerine, seam-cut sonuçlarının algısal kalitesini temel alan bir dönüşüm önermişlerdir. Geleneksel yaklaşımlarda, en iyi geometrik uyumu temel alan homografi, RANSAC kullanılarak tahmin edilir ve elde edilen görüntü çarpıtılarak (warping) hizalanır. Sonrasında, seam-cut uygulanarak nihai mozaik sonucu elde edilir. Önerilen bu yöntemde ise, geleneksel yöntemden farklı olarak tüm aday homografiler ile ilgili sonuçlar toplanır ve en iyi seam-cut sonucu seçilir. Bu yöntem sayesinde zorlu/karmaşık sahneler için daha iyi algısal sonuçlar elde edilmektedir.

Brown ve Lowe [6] başka bir çalışmada, kullanıcı müdahalesi olmadan, sıralı olmayan görüntü çiftleri arasında eşleştirmeler yapmıştır. Son adımda ise, multi-bant harmanlama yöntemi kullanılarak kesintisiz mozaik görüntüler elde etmişlerdir. Bu yöntem; kamera, giriş görüntülerinin yönelimi, zoom, flaş ve pozlama ayarlarına bağlı aydınlatma değişikliklerine karşı duyarsızdır. Bu sayede, yüksek frekanslı ayrıntıları koruyarak aydınlatma farklılıklarına rağmen görüntüler arasında yumuşak bir geçiş olması sağlanmıştır.

Perez ve arkadaşları [7] ise yeni bir Poisson harmanlama yöntemi önermişlerdir. Normal Poisson harmanlama uygulamasında başarılı bir sonuç üretilmediği görülmüş ve gradyan karıştırma ile Poisson harmanlama şeklinde önerilen yöntemin oldukça iyi sonuçlar elde edildiği saptanmıştır.

Perez ve arkadaşlarının çalışmasına benzer olarak, Anat Levin ve arkadaşları da [8] son yıllarda üzerinde oldukça sık araştırma yapılmış konulardan biri olan gradyan etki alanını temel alan iki ana bileşenli yeni bir yaklaşım sunmuş ve mevcut etki alanını kullanan sistemler ile karşılaştırmışlardır. Önerdikleri harmanlama metodunun sonucunda l_1 normu altında önerdikleri GIST1 yönteminin kullanılan tüm görüntüler ile iyi çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu yöntemin en önemli avantajı, l_1 normunun geometrik hataların da üstesinden gelmiş olmasıdır. Mevcut çalışma ile Perez ve arkadaşlarının yaptığı çalışma arasında iki temel farklılık vardır. İlki Perez'de arka plandaki görüntüler ve eklenen nesnenin gradyanları üzerinde optimizasyon gerçekleştirilirken, mevcut çalışmada iki görüntünün örtüşen alanlarının gradyanları üzerinde ilgili optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İkincisi ise, Poisson denklemi Perez'de l_2 normu için tanımlanırken, bu çalışmada optimizasyon farklı normlar altında yapılmıştır. Her iki farklılığın da sonuçlar üzerinde önemli etkiye sahip olduğu gösterilmiştir.

Gradyan tabanlı hibrit yöntemlerden bir diğeri, Sevcenco ve arkadaşlarının [9] önerdiği Haar dalgacık tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntemde öncelikle, giriş görüntülerinin gradyanlarının birleştirilmesiyle bir gradyan kümesi oluşturulur. Sonrasında, Haar dalgacık entegrasyon tekniği kullanılarak mozaik görüntü yeniden oluşturulur.

Bir başka yeni harmanlama yöntemi ise, Gracias ve arkadaşları [10] tarafından önerilen Watersheds ve Graph Cuts yöntemlerini beraber kullanan bir harmanlama yöntemidir. Bu yöntemde geniş alanlı mozaikler oluşturulurken, işlem hızını artırmak için mozaik alanı, geometrik kritere dayalı görüntü kesişimi ile ayrık bölgelere ayrılır. İkili görüntüler harmanlanırken Watersheds ve Graph-Cuts optimizasyonu kullanılarak her bölgede bağımsız olarak gerçekleştirilir. İşlemlerin bağımsız olarak gerçekleştirilebilmesi paralel çalışmasını mümkün kılar. Dolayısıyla kullanıcı müdahalesi olmadan büyük mozaiklerin verimli oluşturulması sağlanır.

Ming-Shing Su ve arkadaşları [11] tarafında önerilen başka yöntemde ise birleştirilecek görüntüler önce dalgacık alt uzayına yansıtılır ve sonrasında yansıtılan bu görüntüler harmanlanır. Önerilen yöntemin fonksiyonu, örtüşen bölge çevresindeki pürüzsüzlük ile orijinal görüntüye göre harmanlanan görüntünün kalitesini dengeleyen bir enerji minimizasyon modelinden türetilmiştir.

Bir diğer Poisson tabanlı hibrit yöntem Sadeghi ve arkadaşları [12] tarafından önerilmiştir. Bu yöntem, optimal iz yöntemlerini ve renk düzeltme ile iki görüntü arasındaki yoğunluk geçişini yumuşatan melez bir yöntemdir. Dinamik programlama algoritması ile gradyan eşitsizliklerini minimize ederek optimal izler bulunur. Poisson görüntü düzenleme (poisson image editing) modifikasyonu, iki görüntü arasındaki renk farklılıklarını düzeltmek için kullanılır. Poisson denklemi için farklı sınır koşulları araştırılmış, test edilmiş ve karışık sınır şartlarında en doğru sonuçlar elde edilmiştir. Diğer standart yöntemlerle yapılan karşılaştırmalarda çeşitli koşullarda çekilmiş görüntülerden kabul edilebilir görüntüler üretilebildiği ifade edilmiştir.

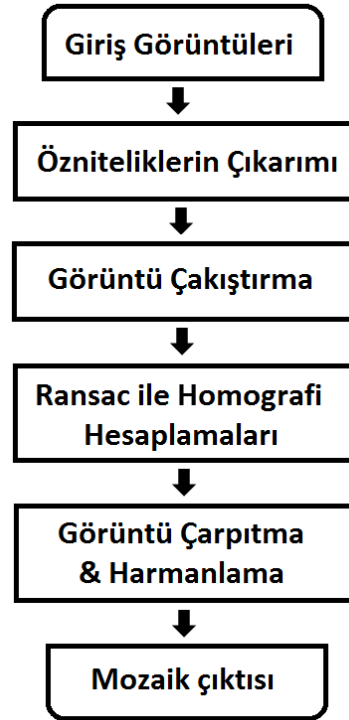
Bu çalışmada dijital kamera ile çekilen fotoğraflardan otomatik ve kesintisiz bir görüntü mozaigi elde edilmesi için yeni bir harmanlama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin görüntü kalitesini ve kesintisiz mozaik görüntüsünün başarısını değerlendirmek için 10 tane görüntü seti üzerinde sübjektif bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kesintisiz mozaik görüntünün sübjektif başarı oranı 0.66 olarak bulunmuş olup elde edilen görüntü izlerinin önemli ölçüde azaltılabildiği veya tamamen yok edilebildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca

aydınlatma/işıklandırma (illumination) farklılıklarının da uygun bir düzeye indirildiği saptanmıştır.

Bu tez çalışması 5 bölümde oluşmaktadır. Bundan sonraki bölümde görüntü mozaikleme adımları anlatılmaktadır. nc bölümde önerilen harmanlama metodu, dördüncü bölümde ise başarım değerlendirmesi ve deneysel sonuçlara yer verilmektedir. Tezin son bölümünde ise genel sonuçlar ve tartışma yer almaktadır.

2. GÖRÜNTÜ MOZAIKLEME

Görüntü mozaikleme işlemi 5 adımdan oluşur (**Şekil 2.1**). İlk adım öznitelik çıkarımı (feature extraction)'dır Bu adımda, her bir görüntünün özellikleri tespit edilir. Bunun için genellikle köşe noktalarının tespiti (Harris algoritması kullanılarak) gerçekleştirilir. İkinci adım, görüntü çakıştırma (image registration), iki veya daha fazla görüntünün eşleştirilmesidir. Çakıştırma metotları genel olarak 4 sınıfa ayrılabilir: (i) doğrudan görüntü piksel değerlerini kullanan algoritmalar, (ii) frekans alanını kullanan algoritmalar, (iii) kenar ve köşe gibi düşük seviye özellikleri kullanan algoritmalar ve (iv) yüksek seviye özellikler kullanan algoritmalar. Üçüncü adım RANSAC algoritmasını kullanarak homografinin hesaplanmasıdır. Bu adımda, aykırı (outlier) noktalar ortadan kaldırılır. Son iki adım görüntü çarpıtma (warping) ve harmanlama (blending) adımlarıdır. Görüntü çarpıtma, geometrik dönüşümler kullanılarak görüntünün dijital olarak manipüle edilme işlemidir. Görüntü harmanlamada renk pikselleri karıştırılır ve çakışan bölgelerde oluşan izleri önlemek için kontrast farklılıklarını gidermek amaçlanmaktadır [2].



Şekil 2.1 Görüntü Mozaikleme Adımları

2.1. Öznitelik Çıkarımı

Öznitelik çıkarımı (feature extraction) görüntü mozaikleme nin ilk adımıdır. Öznitelik çıkarma işlemi bir nevi boyut azaltma işlemidir. Öznitelikler tespit edildikten sonra, öznitelik etrafında yerel bir yama (patch) elde edilir. Öznitelik çıkarma görüntü işleme sürecinin oldukça önemli bir bölümünü kapsar [13]. Öznitelik çıkarma sonucunda elde edilen birden fazla öz niteliğin karşılığını tutan veri yapısına öznitelik vektörü (feature vector) adı da verilmektedir [13,14].

Öznitelik tabanlı yaklaşımlar kendi aralarında iki gruba ayrılabilir. Bunlardan ilki, düşük seviyeli yöntemler olup; kenar bulma, köşe bulma ve blob bulma (DoG, LoG, DoH ve MSER gibi algoritmalar) gibi alt yöntemlerden oluşmaktadır. İkincisi ise, Bağımsız Yöntemler (PCA, LDA gibi algoritmalar), Şekil Tabanlı Yöntemler (Hough Dönüşümü), Gradyan Tabanlı (HOG, CoHOG, CoHED gibi algoritmalar) ve Şekil Eşleştirme Tabanlı Yöntemler (SIFT, SURF gibi algoritmalar) gibi yüksek seviyeli yöntemlerdir [17].

Doğru yapılmış bir öznitelik çıkarma ve bu özniteliklere uygun bir yapının tasarımı, sonucun performansını etkileyen önemli unsurlardır [14]. Başarılı bir öznitelik çıkarımının hedefine ulaşabilmesi için, öznitelik çıkarıcıların iki önemli kriteri yerine getirmesi gerekmektedir [15]:

1. Öznitelik çıkarma işlemi tekrarlanabilir ve kesin olmalıdır, böylece aynı öznitelikler aynı nesneyi gösteren iki görüntüden çıkarılabilir.
2. Öznitelikler farklı olmalıdır, böylece farklı görüntü yapılarının birbirinden ayrı oldukları söylenebilir.

Öznitelik çıkarma bir görüntünün diğer görüntüye göre hizalama dönüşümünü bulma işlemidir [16]. Eğer çıkarılan öznitelikler dikkatle seçilirse, öznitelik kümesinde yer alan veriden ilgili bilginin çıkarılması ve nihai çıktının bir mozaik görüntü oluşturabilmesi beklenir [13].

Öznitelik tespiti için literatürde iki ana yaklaşım vardır [16]:

1. *Öznitelik Tabanlı Yaklaşım*: Bu yöntem görüntü özniteliklerinin doğru algılanmasına güvenir. Öznitelikler arasındaki benzerlikler, hizalamanın yapılabilmesi için kamera hareketinin hesaplanmasını gerektirir. Ayırt edici

özniteliklerin yokluğunda, bu tür yaklaşımların başarısız olması muhtemeldir. Bu yaklaşım, sabit ve tespit edilen özniteliklerin bol miktarda sağlanabildiği durumlar için uygundur.

2. *Özniteliksiz Yaklaşım:* İki resim arasındaki hareket küçük olduğunda, hareket parametreleri optik akış kullanılarak tahmin edilmektedir. Diğer taraftan, iki resim arasındaki hareket büyük olduğunda hareket parametreleri genelleştirilmiş çapraz-korelasyon kullanılarak tahmin edilmektedir.

Görüntü çiftlerinin köşeleri daha iyi bir öznitelik eşlemesi sağlamak için kantitatif ölçüm verecek şekilde eşleşmelidir. Köşeler, bazı eşleştirme uygulamalarında kullanılan iyi özniteliklerdir. Köşelerin en önemli özelliği, bakış açısı değişiklikleri üzerinde daha stabil olmalarıdır. Köşelerin diğer önemli bir özelliği de görüntüde bir köşe var ise onun komşuluğunda oluşabilecek yoğunluktaki ani bir değişime işaret edebilmeleridir. Köşe algılama algoritmalarını uygulayarak görüntülerde köşeler tespit edilir. En iyi bilinen köşe algılama algoritmalarından bazıları Harris Köşe Algılama algoritması, SIFT (Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü) köşe algılama algoritması, makine öğrenme merkezli FAST (Hızlandırılmış Segment Testi Özelliği) algoritması, ve SURF (Hızlandırılmış Gürbüz Öznitelikler) algoritmasıdır [13].

Bu tez kapsamında yapılan mozaikleme işlemi içerisinde yer alan öznitelik çıkarımında Harris köşe bulma ve eşleştirme algoritması tercih edilmiştir. Harris algoritması ile birlikte yukarıdaki paragrafta belirtilen diğer algoritmalar aşağıda ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.1.1. Harris Algoritması

Harris köşe algılama, 1988 yılında C. Harris ve MJ Stephens tarafından Moravec algoritmasına dayanan bir nokta özniteliği çıkarma algoritması olarak tanımlanmıştır [18]. Bu algoritmada genel yaklaşım, çevreleyen komşulukta birden fazla yöndeki kenarları gösteren ilgi noktalarının bulunmasıdır ve bunlar görüntünün köşeleri olarak nitelendirilir [19]. Görüntünün içinde bir yerel algılama penceresi tasarlanır. Farklı bir yönde küçük bir miktar pencereyi kaydırarak oluşan yoğunluktaki ortalama değişim belirlenir. Bu noktada, pencerenin orta noktası köşe

noktası olarak çıkarılır. Küçük bir pencere içinde yoğunluk değerlerine bakılarak bu nokta kolaylıkla tanımlanır. Herhangi bir yönde pencerenin kaydırılması görünüşte büyük bir değişikliğe neden olur. Pencere kaydırıldığında, eğer düz bölge ise, hiçbir yöndeki yoğunluk değişime uğramaz. Eğer kenar bölge bulunursa, kenar yönündeki yoğunlukta bir değişim olmaz. Ama köşe bulunursa, her yöndeki yoğunlukta önemli bir değişiklik olur (**Şekil 2.2**). Harris köşe algılayıcısı bölgenin düz, kenar veya köşe olup olmadığını belirlemek için matematiksel bir yaklaşım sağlar. Harris köşe tekniği çok fazla öznitelik algılar ve dönmeden etkilenmez (rotation-invariant) iken ölçek değişimlerinden etkilenir (scale-variant). Örnek bir Harris köşe tespit edicisi kullanan öznitelik çıkarıcının sonucu **Şekil 2.3**'de gösterilmektedir. Buna göre; [u, v] kayması (shift) için yoğunluğun değişimi aşağıdaki denklemde verilmiştir [20]:

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x + u + y + v) - I(x, y)]^2 \quad (2.1)$$

Buna göre; $w(x, y)$, bir pencere fonksiyonunu, $I(x + u, y + v)$ kaydırılan yoğunluğu ve $I(x, y)$ her bir pikselin yoğunluğunu gösterir. Harris köşe algoritması aşağıda verilmiştir:

1. Görüntüdeki her piksel (x,y) için otokorelasyon M matrisi hesaplanır:

$$M = \sum_{x,y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

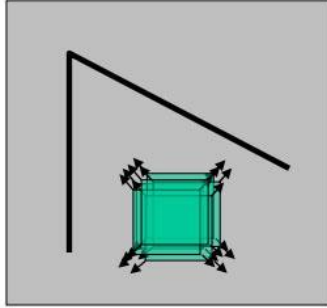
2. Görüntünün Gaussian filtrelemeye sahip her bir piksel için yeni bir matris M alınır ve farklı iki boyutlu sıfır ortalama Gauss fonksiyonu elde edilir.

$$Gauss = \exp(-u^2 + v^2) / 2\delta^2 \quad (2.3)$$

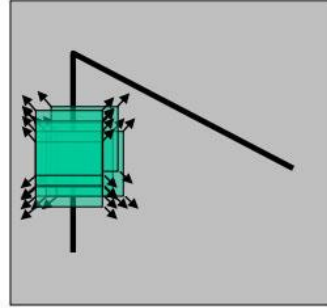
3. Her piksel (x,y) için köşelerin cevap ölçüsü (corner response measure) hesaplanır. (R köşeler için pozitif, kenarlar için negatif, düz alanlar için küçük olur)

$$R = \{I_x^2 I_y^2 - (I_x I_y)^2\} - k \{I_x^2 + I_y^2\}^2 \quad (2.4)$$

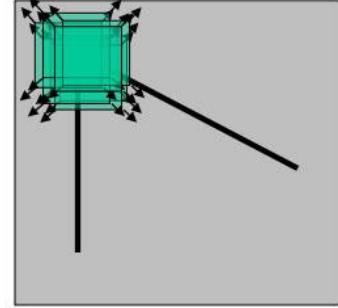
4. Yerel maksimum nokta seçilir. Harris yöntemi, özellik noktalarının yerel azami ilgi noktasına karşılık piksel değerleri olduğunu varsayar.
5. T eşiği ayarlanır ve köşe noktaları tespit edilir.



"düz" :
bütün yönlerde
değişiklik yok



"kenar" :
kenar boyunca
değişiklik yok



"köşe" :
tüm yönlerde
değişiklik var

Şekil 2.2 Harris köşe bulma mantığı



Şekil 2.3 Harris köşe bulma yöntemi kullanılarak öznelik çıkarma işlemi sonucu

2.1.2. SIFT Algoritması

SIFT (Scale Invariant Feature Transform) Algoritması, Ölçek Bağımsız Öznitelik Dönüşümüdür. SIFT, bir görüntüdeki köşe özniteliklerini algılayan bir algoritma olup bir görüntüden tanımlayıcı bir küme çıkarır. Çıkarılan tanımlayıcıların her biri bir görüntünün çevrilmesi (translation), döndürmesi (rotation) ve uzaklaştırması (zoom-out) için değişmezdir. SIFT tanımlayıcıları, eşleştirme amaçları için ayırt etmede yeterli kalır, üstelik hafif bakış açısı değişiklikleri, gürültü, bulanıklığı, kontrast değişiklikleri ve sahne deformasyonları gibi geniş görüntü dönüşüm ailesine karşı dayanıklı olduğunu ispatlamıştır [21]. Ayrıca diğer görüntülerdeki benzer nesnelere tanımlamak içinde kullanılabilir [20]. SIFT algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir [21]:

1. Gauss ölçek alanı hesaplanır,
2. Gauss (DoG) farkı hesaplanır,
3. Aday anahtar noktalar (DoG 3B ayırık ekstremumlar) bulunur,
4. Alt-piksel hassasiyeti ile aday anahtar noktaların yeri belirginleştirilir,
5. Gürültü nedeniyle kararsız anahtar noktaları filtrelenir,
6. Kenarlarda bulunan kararsız anahtar noktaları filtrelenir,
7. Her anahtar noktaya referans bir yön atanır,
8. Anahtar nokta tanımlayıcıları oluşturulur.

SIFT yüksek çözünürlüklü görüntülerde nesne algılama için çok uygundur. Görüntü karşılaştırma için sağlam bir algoritma olmasına karşın çalışma süresi açısından yavaş bir algoritmadır [20].

2.1.3. FAST Algoritması

FAST 1998 yılında Traykoviç ve Hedley tarafından geliştirilen bir köşe algılama algoritmasıdır [22]. Köşeler özniteliklerin eşleştirilmesi için önemli özellikler olduğundan, FAST'de kenarlar üzerinden köşe algılamasına öncelik verilmiştir. Bunun nedeni, iki boyutlu yoğunluk değişimi gösterdiklerinden komşu noktalardan daha iyi ayırt edilebilirler. Traykoviç ve Hedley'e göre köşe bulma aşağıdaki kriterlere uygun olmalıdır:

1. Tespit edilen pozisyonlar tutarlı olmalıdır. Gürültü değişimine karşı duyarsız ve birden fazla görüntünün aynı sahneden alınması durumunda hareketsiz olmalıdır.
2. Doğruluk; köşeler doğru pozisyonlara mümkün olduğunca yakın tespit edilmelidir.
3. Hız; köşe bulma yeterince hızlı olmalıdır.

FAST köşelerin belirlenmesinde gerekli olan hesaplama hızını artırır. Köşe bulma, yerel komşulukta görüntü yoğunluğunu temel alan köşe etkinliği için sayısal bir değer veren, köşe tepki fonksiyonu (CRF - corner response function) kullanır. CRF, CRF'nin yerel maksimumu olarak muamele edilmiş görüntü ve köşeler üzerinden hesaplanmıştır. FAST yüksek nokta güvenilirliği ve iyi yer belirleme (konumsal doğruluk) sağlayan doğru ve hızlı bir algoritmadır [20].

2.1.4. SURF Algoritması

Hızlandırılmış Gürbüz Öznitelikleri (SURF), üç öznitelik algılama adımı kullanır: (i) Algılama (detection), (ii) Tanım (description) ve (iii) Eşleştirme (matching). SURF algılanan noktaların kalitesini görünümde muhafaza ederken, SIFT'in algılama işlemini hızlandırır. Daha çok eşleştirme adımını hızlandırmaya odaklanmıştır. Hessian matrisi eşleştirme hızını belirgin olarak artırmak için düşük boyutlu tanımlayıcılar ile kullanılır. SURF yaygın olarak bilgisayarla görme alanında kullanılır. Değişmez öznitelik yerelleştirmede etkinliğini ve dayanıklılığını kanıtlamıştır [20].

2.2. Görüntü Çakıştırma

Görüntü çakıştırma (image registration), aynı sahnenin farklı zamanlarda, farklı bakış açılarında ve/veya farklı sensörler/algılayıcılar tarafından alınan iki veya daha fazla görüntünün birbiri üzerine çakıştırılması işlemidir [23]. Çakıştırma, bir nesnenin görünümündeki noktaların başka bir görünümünde ona karşılık gelen noktalar ile hizalanarak bir geometrik dönüşüme uğratılmasıdır [20,24].

Çakıştırma, uzaktan algılamada yüksek çözünürlüklü görüntülerin oluşturulması, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) içerisine bilgi entegre etme, multispektral/çok bantlı sınıflandırma, çevresel izleme, değişim algılama, görüntü mozaikleme, hava

tahmini gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca medikal alanda hasta hakkında daha kapsamlı bilgi edinmek için bilgisayar tomografi (BT) ve NMR verilerini birleştirme, tümör büyümesinin takibi, tedavi doğrulama, anatomik atlaslar ile hastaların bilgilerinin karşılaştırılması gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır. Görüntü çakıştırma, görüntü mozaiklemede çok önemli bir adımdır. Son on yılda, görüntü alma cihazları hızlı bir gelişim göstermiş ve artan veri miktarı ve elde edilen görüntülerin çeşitliliği otomatik görüntü çakıştırması ile ilgili araştırmaları başlatmıştır. Görüntü çakıştırma yöntemlerinin incelendiği kapsamlı bir araştırma 1992 yılında Brown tarafından yayımlanmıştır [25]. Görüntü çakıştırma, uygulamaların görüntüyü elde etme usullerine göre dört ana gruba ayrılır [27]:

- a. *Farklı Bakış Açıları (Çok Bakışlı Analiz):* Aynı sahnenin görüntüleri farklı bakış açılarından elde edilir. Amaç, 2B görünüm veya taranan bir sahnenin 3B'li temsili daha büyük olarak elde etmektir. Bu grupta yapılan çalışmalara uzaktan algılama (araştırılan alan görüntülerinin mozaiklenmesi), bilgisayarla görme (stereo şeklin geri kazanımı) gibi uygulamalar örnek verilebilir.
- b. *Farklı Kareler (Çok Zamanlı Analiz):* Aynı sahnenin görüntüleri farklı zamanlarda, sık ve düzenli olarak farklı koşullar altında elde edilir. Amaç ardışık görüntü alımları arasında görülen görüntü değişikliklerini bulmak ve değerlendirmektir. Uzaktan algılama (küresel arazi kullanımını izleme, peyzaj planlama), bilgisayarla görme (güvenlik izleme için otomatik değişim algılama, hareket takibi), tıbbi görüntüleme (tedavinin iyileşmesinin takibi, tümör evriminin izlenmesi) gibi uygulamalar örnek olarak verilebilir.
- c. *Farklı Sensörler (Çok Modlu Analiz):* Aynı sahnenin görüntüleri farklı sensörler tarafından elde edilir. Amaç daha karmaşık ve ayrıntılı sahne temsili elde etmek için farklı kaynak akımlarından edinilen bilgiyi entegre etmektir.
- d. *Sahne Çakıştırma Modeli:* Bir sahnenin görüntüleri ve modeli çakıştırma altına alınır. Model, sahnenin bilgisayar temsili olabilir, örneğin; CBS'de haritalar veya sayısal yükseklik modelleri (DEM) gibi. Amaç sahne/modelden elde edilen görüntüyü saptamak ve/veya bunları karşılaştırmaktır.

Çakıştırma yapılacak görüntülerin çeşitliliği ve çeşitli bozulmalar nedeniyle, genel çakıştırma işlemleri için geçerli evrensel bir yöntem tasarlamak mümkün değildir. Her yöntem sadece görüntüler arasındaki varsayılan geometrik deformasyon türünü, çakıştırma doğruluğunu ve uygulama bağımlı veri özniteliklerini dikkate almalıdır [23].

Bununla birlikte, çakıştırma yöntemlerin büyük bir kısmı dört aşamadan oluşmaktadır [28]:

- a. *Öznitelik Algılama*: Belirgin ve farklı nesnelere (kapalı-sınır bölgeleri, kenarlar, kontörler, çizgi kesişimleri, köşeler gibi) elle veya tercihen otomatik olarak algılanır. Verilerin daha fazla işlenmesi için, bu öznitelikler literatürde kontrol noktaları (CPs) olarak adlandırılan nokta temsilleri ile temsil edilebilir.
- b. *Öznitelik Eşleştirme*: Bu adımda, algılanan görüntüde tespit edilen öznitelikler ile referans görüntüde tespit edilenler arasında bağlantı kurulur. Öznitelikler arasında mekânsal ilişkiler ile birlikte farklı öznitelik tanımlayıcıları ve benzerlik miktarları bu amaçla kullanılmaktadır.
- c. *Model Tahmin Dönüşümü*: Referans görüntü ile algılanan görüntüyü hizalayan eşleştirme fonksiyonları olarak da ifade edilen tip ve parametreler tahmin edilmektedir. Eşleştirme işlevi, parametreleri belirlenen öznitelik benzerlikleri vasıtasıyla hesaplanır.
- d. *Görüntü Örnekleme ve Dönüşüm*: Algılanan görüntü, eşleştirme fonksiyonları vasıtasıyla dönüştürülür. Tamsayı olmayan koordinatlarda görüntü değerleri, uygun ara değerlendirme (interpolation) tekniği ile hesaplanır.

Çakıştırma işleminin her bir uygulama adımı kendi tipik sorunlarını barındırır. İlk olarak, verilen görev için öznitelik türlerinin uygun olduğuna karar verilmesi gerekmektedir. Öznitelikler, sıklıkla görüntüler üzerinde yayılmış ve kolayca saptanabilen kendine özgü nesnelere olmalıdır. Genellikle, fiziksel olarak yorumlanabilir özniteliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Referans ve algılanan görüntülerde tespit edilen öznitelik setleri nesne tıkanıklıkları (object occlusions), diğer beklenmedik durumlar olduğunda veya görüntüler aynı sahneyi kaplamadığı durumlarda da yeterince ortak öğelere sahip olmalıdır. Saptama yöntemleri,

başarılı bir yerelleştirme (yer belirleme) doğruluğuna sahip olmalı ve varsayılan görüntü bozulmasına karşı da hassas olmamalıdır. İdeal bir durumda, belirli bir görüntünün deformasyonu önemsenmeden tüm sahne projeksiyonlarında aynı özniteliklerin tespit edilmesi gerekir [29].

Öznitelik eşleştirme aşamasında, yanlış bir öznitelik algılama ya da görüntü bozulmasından kaynaklanan sorunlar ortaya çıkabilir. Sensörlerin farklı spektrum duyarlılığı ve/veya farklı görüntüleme koşulları nedeniyle ilgili öznitelikler fiziksel olarak farklı olabilir. Öznitelik açıklaması ve benzerlik ölçümü faktörlerinin seçimi değerlendirilmelidir. Öznitelik tanımlayıcıları, varsayılan bozulmalar için değişmez olmalıdır. Aynı zamanda, küçük beklenmedik öznitelik değişimleri ve gürültüden etkilenmemesi için yeterince stabil ve farklı öznitelikler arasında ayırım yapabilmek için yeterince ayırt edilebilir olmak zorundadır. Uzay değişmezlerindeki eşleştirme algoritması sağlam ve verimli olmalıdır. Diğer görüntüde karşılık gelen benzerleri olmadan tekil öznitelikler performansı etkilememelidir [29].

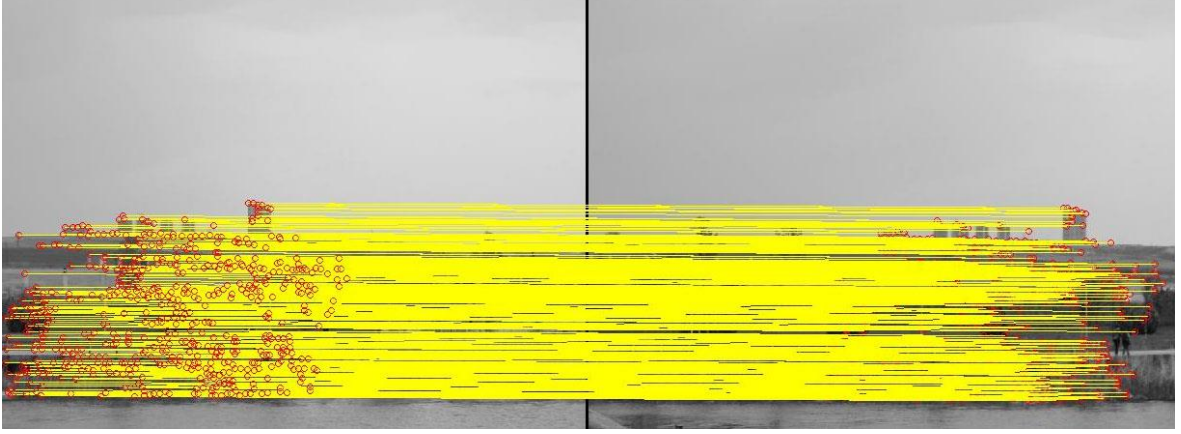
Eşleşme fonksiyonunun tipi, edinim süreci ve beklenen görüntü bozulmaları hakkında önsel bilinen bilgilere göre seçilmelidir. Eğer muhtemel bir bilgi varsa, model esnek ve görünebilecek tüm olası bozulmaları işlemek için yeterince genel olmalıdır. Öznitelik algılama yönteminin doğruluğu, öznitelik benzerlik tahmininin güvenilirliği ve kabul edilebilir yaklaşım hatasının da dikkate alınması gerekir. Ayrıca, görüntüler arasındaki farkların çakıştırmaya yoluyla temizlenmesi konusunda karar verilmelidir. Eğer amaç bir değişikliğin algılanması ise, aradığımız farkların temizlenmemesi arzu edilir. Bu sorun, çok önemli ve son derece zordur [23].

Son olarak, örnekleme tekniğinin uygun tipinin seçimi talep edilen ara değerlemenin doğruluğu ve hesaplama karmaşıklığı arasındaki ödünleşime bağlıdır. En yakın komşu veya doğrusal ara değerlendirme çoğu durumda yeterlidir; ancak, bazı uygulamalar için daha hassas yöntemler gerekir [30].

Hem çeşitli uygulama alanlarındaki önemi nedeniyle hem de karmaşık doğası nedeniyle, görüntü çakıştırmaya son yıllardaki bilgisayarla görme araştırmalarının odak noktası olmuştur.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada uygulanan mozaik işleminin görüntü çakıştırmaya adımı için sıkça kullanılmakta olan korelasyon tabanlı yöntem tercih

edilmiştir. Örnek bir Harris köşe tespit edicisi kullanılarak, tespit edilen iki görüntünün öznitelikleri korelasyon tabanlı bir yöntem ile **Şekil 2.4**'deki gibi eşleştirilmiştir.



Şekil 2.4 İki görüntünün öznitelikleri ile görüntü çakıştırma yöntemlerinden biri olan korelasyon yöntemi kullanılarak elde edilen eşleştirme işleminin sonucu

Çapraz korelasyon (cross correlation) öznitelik eşleştirme için yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu eşleştirme yönteminde, çapraz korelasyon merkezi, her görüntüdeki özniteliklerin konumları olan görüntü yamaları arasında hesaplanır. Yüksek korelasyon değerleri bir eşleşme verir. İki öznitelik arasındaki çapraz korelasyon aşağıdaki denklemde verilmektedir :

$$\rho(x_1, x_2) = \frac{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b [I_1(u_1+i, v_1+j) - \mu_{x_1}] [I_2(u_2+i, v_2+j) - \mu_{x_2}]}{\sqrt{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b [I_1(u_1+i, v_1+j) - \mu_{x_1}]^2 \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b [I_2(u_2+i, v_2+j) - \mu_{x_2}]^2}} \quad (2.5)$$

X_1 piksel koordinatlı (I_1 görüntüdeki $[u_1, v_1]$) ve X_2 piksel koordinatlı (I_2 görüntüdeki $[u_2, v_2]$) bir öznitelik noktasının korelasyonunun sonucu yukarıdaki denklemde verilmektedir. Her iki görüntüdeki pencereli bölge içindeki tüm pikseller dikkate alınır ve ayrıca her görüntünün pencereli komşuluğu için μ_k ortalama piksel değerleri verilir. Bu ortalama, μ_k , pencere boyutuna bölünen penceredeki tüm piksellerin toplamı olarak hesaplanan belirli bir pencere için sabittir. Güçlü korelasyon değerine sahip iki görüntüdeki öznitelikler varsayılan eşleşmelerdir. Bir adım daha ileri gidildiğinde, bir korelasyon değerinin gerçek bir eşleşme olması için yeterince güçlü olup olmadığını doğrulamak için bir eşik değeri ayarlamak genellikle basit bir tekniktir. Korelasyon değeri bu eşik değerinin üstünde ise, varsayılan eşleşme tutulur, eğer değilse bu durumda atılır. Bu teknik, klasik Harris

köşeleri gibi, öznitelik yöntemlerine kolayca uygulanabilmesinden dolayı hala yaygın olarak kullanılmaktadır [26].

2.3. Homografi Tahmini

2.3.1. Homografi

Panoramik görüntüler yaygın olarak sabit kamera merkezine sahip dönen kameralardan alınan görüntülerin çarpıtılması ile elde edilir [31]. Homografi, bir düzlemdeki noktaları diğeri ile eşleştiren bir 2B izdüşümsel dönüşümdür [31,19]. Bu durumda, düzlemler 3B'lu görüntüler veya düzlemsel yüzeylerdir. Homografilerin görüntüleri çakıştırma, rektifiye görüntüler, doku çarpıtma ve panoramik görüntü oluşturma gibi birçok pratik kullanımı alanı bulunmaktadır. Bir H homografi, 2B noktalarla (homojen koordinatlardaki) aşağıda verilen denkleme göre eşleşir [19]:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \text{ or } x' = Hx \quad (2.6)$$

Homojen koordinatlar, görüntü düzlemlerinde (ve 3B) bulunan noktaların yararlı bir temsilidir. Homojen koordinatlardaki noktalar sadece ölçeğe kadar tanımlanmıştır, böylece $x = [x, y, w] = [\alpha x, \alpha y, \alpha w] = [x/w, y/w, 1]$ tümü aynı 2B noktayı işaret eder. Bunun bir sonucu olarak, H homografi aynı zamanda sadece ölçeğe kadar tanımlanmıştır ve sekiz bağımsız serbestlik derecesine sahiptir. Genellikle noktalar x, y görüntü koordinatlarının benzersiz tanımına sahip olabilmek için $w=1$ ile normalleştirilir. Ekstra koordinat tek bir matris ile dönüşümleri göstermeyi kolaylaştırır [19].

Homografi, iki görüntüdeki (veya düzlemdeki) benzer noktalardan doğrudan hesaplanabilir. Daha önce de belirtildiği gibi, sekiz bağımsız serbestlik derecesine sahiptir. Her benzer nokta (biri adet x ve y koordinatları için) iki denklem verir ve böylece homografiyi hesaplamak için dört benzer noktaya ihtiyaç duyulur. Doğrudan lineer dönüşüm (The Direct Linear Transformation - DLT) algoritması, verilen dört veya daha fazla benzerlik ile Homografi hesaplamak için kullanılan bir algoritmadır. Homografi kullanan eşleştirilen noktalar için $AH=0$, A benzerliklerin iki katı satıra sahip bir matris, denklemini yeniden oluşturulur. Benzer tüm noktaları

yığarak (stacking), H için en küçük kareler (a least squares) çözümü, tekil değer ayrışımı (singular value decomposition - SVD) kullanılarak bulunur [19].

Homografi hesaplanırken aykırı verilerden (outliers) etkilenmemesi için RANSAC algoritması kullanılır. Normal değerler (inliers) kullanılarak bulunan homografi matrisi her piksele uygulandığında yeni görüntü, orijinal görüntünün bükülmüş halidir [32].

2.3.2. RANSAC

Fischer ve Bolles tarafından önerilen rastgele örnekleme uzlaşısı (RANSAC) algoritması, girdi verisindeki aykırı noktaların büyük bir kısmını yakalamak için tasarlanmış genel bir parametre tahmin yaklaşımıdır [34]. İstatistik literatüründen bilgisayarla görme topluluğuna uyarlanmış m-tahmin ediciler (M-estimators) ve en-medyan kareler (least-median squares) gibi yaygın güçlü tahmin tekniklerinin aksine, RANSAC bilgisayarla görme topluluğunca geliştirilmiştir [33].

RANSAC altında yatan model parametreleri tahmin etmek için gereken en az sayıda gözlemi (veri noktalarını) kullanarak aday sonuçlar üreten bir örnekleme tekniğidir. Fisher ve Bolles tarafından işaret edildiği gibi, bir başlangıç çözümü elde etmek için mümkün olan en büyük miktardaki veriyi kullanan ve aykırı noktaları ayıklayan geleneksel örnekleme tekniklerinin aksine, RANSAC mümkün olan en küçük kümeyi kullanır ve tutarlı veri noktalarını içeren bu kümeyi genişletmeye devam eder [33].

Temel algoritma basamakları aşağıda özetlenmiştir:

1. Rastgele model parametrelerini belirlemek için gerekli minimum sayıda nokta seçilir,
2. Modelin parametreleri çözülür,
3. Önceden tanımlanmış ϵ değerine uyan tüm noktalar kümesinin sayısını belirlenir,
4. Kümedeki toplam nokta sayısının aykırı olmayanların sayısına bölümü önceden tanımlanmış eşik T değerini aşarsa, tüm belirlenen normal (inliers) noktaları kullanan model parametreleri yeniden tahmin edilir ve sonlandırılır,

5. Aksi takdirde, 1 ile 4 arasındaki adımlar (maksimum N kere) tekrarlanır.

N yineleme sayısı, rastgele örneklem kümelerinden en az birisinin bir aykırı değer içermediği p (genellikle 0.99 seçilir) olasılığını sağlamak için yeterince büyük seçilir. U seçilen herhangi bir noktanın bir normal değer olma olasılığı, $v = 1 - u$ ise aykırı gözlemlenme olasılığı olsun. M ile gösterilen minimum sayıdaki noktaların N tekrarı gerekir,

$$1 - p = (1 - u^m)^N \quad (2.7)$$

ve bu nedenle, bazı manipülasyonlarla,

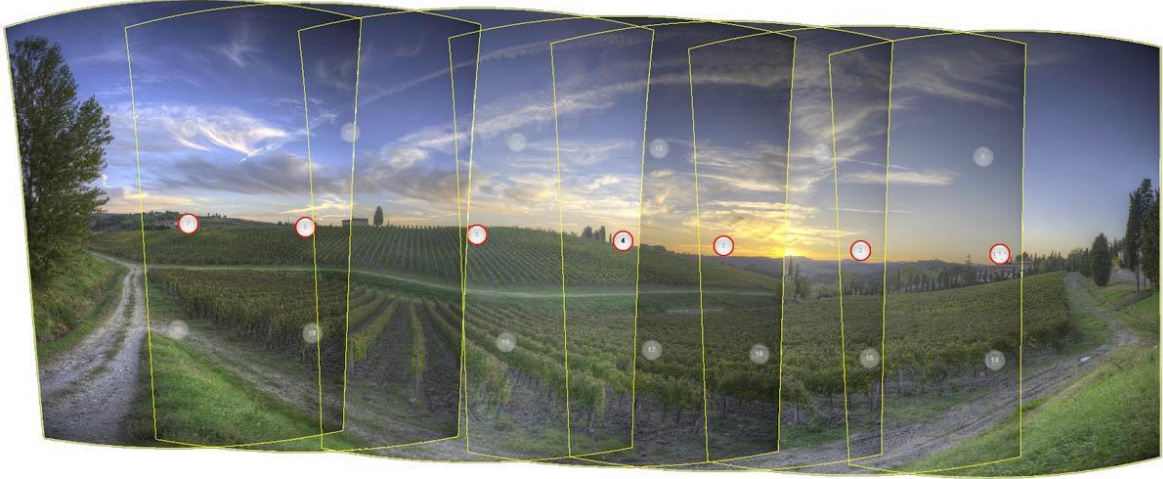
$$N = \frac{\log(1-p)}{\log(1-(1-v)^m)} \quad (2.8)$$

elde edilir.

Bu tez kapsamında yapılan mozaikleme işlemi içerisinde yer alan homografi hesaplanmasında aykırı verilerden etkilenmemesi için RANSAC algoritması kullanılmıştır.

2.4. Görüntü Çarpıtma

Görüntü çarpıtma (Image Warping), orijinal görüntünün piksel pozisyonlarını değiştirmenin bir sonucu olarak görüntünün görünümünü değiştiren bir süreçtir. Çarpıtma hem yaratıcı amaçlar için (örneğin, kesintisiz dönüşüm/biçim değiştirme) hem de görüntü bozulmalarının düzeltilmesi için kullanılır. Bir görüntü çeşitli şekillerde dönüştürülebilirken, saf çarpıtma renkler değişmeksizin noktaların noktalara eşleştirilmesi anlamına gelir. Bu eşleşme, düzlemin bir parçasından diğer düzleme, matematiksel bir fonksiyon temel alınarak yapılır. Fonksiyon injektif (X ve Y iki küme olsun; $f : X \rightarrow Y$ fonksiyonu $x_1, x_2 \in X$ olmak üzere $x_1 \neq x_2$ iken $f(x_1) \neq f(x_2)$ [ya da $f(x_1) = f(x_2)$ ise $x_1 = x_2$] özelliğini sağlıyor ise injektif olarak adlandırılır) ise görüntünün orijinali yeniden oluşturulabilirken [35] fonksiyon tam eşleşiyor ise, herhangi bir görüntü ters olarak dönüştürülür. İleri çarpıtma, giriş görüntüsünden çıktıya (çarpıtılmış) koordinatların dönüştürülmesi olup, ters çarpıtma işlemi de bunun tam tersidir [36]. Örnek bir görüntü çarpıtma sonucu **Şekil 2.5**'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Görüntü Çarpıtma sonucu

Birleşik tek bir mozaik çıktı oluşturabilmek için tüm giriş görüntülerinin çarpıtılması ve harmanlanması gerekmektedir. İlk olarak, her görüntü girdisi için çarpıtılan görüntülerin koordinat aralığı hesaplanarak mozaik çıktısının boyutunun oluşturulması gerekir. Daha önce de açıklandığı gibi, her görüntü kaynağının dört köşesinin eşleştirilmesi ve görüntü çıktısının boyutlarını belirlemek için x ve y koordinatlarının maksimum ve minimum değerlerinin hesaplanması ile bu işlem kolayca yapılabilmektedir. Daha sonra, x-ofset ve y-ofset değerlerini belirterek panorama çıktısına yakın referans görüntü kaynağının ofsetinin hesaplanması gerekmektedir. Bir sonraki adımda, referans görüntü ile tanımlanan düzleme her bir giriş görüntüsündeki piksellerin eşleştirilmesi yapılır. Bu işlem sırasıyla noktaların ileri (forward warping) ve ters çarpıtma (inverse warping) yapılarak gerçekleştirilir. Bu sırada eşleşmeyen pikseller siyah ile doldurulur [35].

Bu tez kapsamında yapılan mozaikleme işlemi içerisinde yer alan görüntü çarpıtma işlemi için bilinear dönüşüm (bilinear transformation) kullanılmıştır.

2.5. Görüntü Harmanlama

Görüntü mozaiklemede son adım, çarpıtma sırasında oluşan izleri yok etmek için üst üste gelen bölgedeki renk piksellerinin harmanlanmasıdır. En basit formu, örtüşen pikselleri birleştirmek için renk değerlerinin ağırlıklı ortalamalarını kullanan 'Feathering' işleminin gerçekleştirilmesidir [37]. Bunun için genellikle alfa kanalı olarak ifade edilen bir alfa faktörü kullanılır. Bu pikselin merkezinde "1" değerini alır ve pikselin sınırlarına doğru doğrusal azalarak 0 olur. Yani görüntülerin kenarları

yumuşatılarak görüntüler arasındaki izlerin minimuma indirilmesine çalışılır [48]. Bir mozaik çıktısında en az iki resmin örtüştüğü durumda, oradaki bir pikselin rengini hesaplamak için alfa değerleri kullanılır. Ancak bu yöntem basit ve hızlı olmasına rağmen elde edilen mozaik görüntü kalitesi yeterince iyi değildir [35]. Öncelikle, küçük geometrik hataların var olması durumunda Feathering'de gölgelenme ve yüksek frekanslı ayrıntılarda bulanıklığa sebep olmaktadır [38,48]. İkinci olarak, parçaları harmanlamada bazı ortak referans çerçeveleri için yeniden örnekleme (resampling) ihtiyacı vardır. Hesaplanan parametrelerdeki kaçınılmaz bozulmalar örnekleme süresince görüntü kalitesinin düşmesine neden olacağından, karmaşık topoloji ve geometriye sahip nesnelere için iyi parametrelerin oluşturulması zordur [38]. Son zamanlarda ise, dalgalıklarının ve degrade (gradient) alanı harmanlama gibi bazı yöntemler kullanılarak çoklu çözünürlüklü harmanlama (multi-resolution blending) kullanarak çeşitli yöntemler sunulmuştur. Bununla birlikte, genel olarak bu yöntemler çok yüklü hesaplamalar gerektiren Poisson denkleminin en küçük kare çözümünü (least-square solution) bulmayı gerektiren yöntemlerdir [48]. Mevcut tez çalışmasında önerilen yöntem ise basit ve çok fazla işlem yükü gerektirmeyen bir yöntemdir. Harmanlama sonucunda elde edilen örnek bir görüntü mozaik örneği **Şekil 2.6**'de gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Harmanlama işlemi sonrasında elde edilen mozaik görüntü

Mozaikleme için harmanlama yöntemleri pürüzsüz-geçiş teknikleri (smooth-transition techniques) ve en uygun/optimal iz bulma teknikleri (optimal seam finding techniques) olmak üzere iki ana kategoride kategorize edilebilir [39].

Yumuşak-geçiş teknikleri, yumuşatma gibi (feathering/alpha harmanlama) - çok hızlı ama genellikle kabul edilebilir sonuçlar üretmeyen - basit tekniklerden, piramit harmanlama (Pyramid Blending) gibi farklı frekans bantlarında farklı alfa maskleri uygulayan tekniklere [37] ve gradyan alanı teknikleri gibi -yumuşak geçiş olarak kabul edilen ancak gradyan alanında olan- karmaşık teknikler arasında değişir [35]. Gradyan alanı yöntemleri öncelikle 1983 yılında tanıtılmış ve 2003 yılında tekrar popülerlik kazanmıştır. Son yıllarda literatürde gradyan alanı yöntemi ve başka yöntemler ile birlikte hibrit olarak kullanılan bir çok araştırma bulmak mümkündür [39].

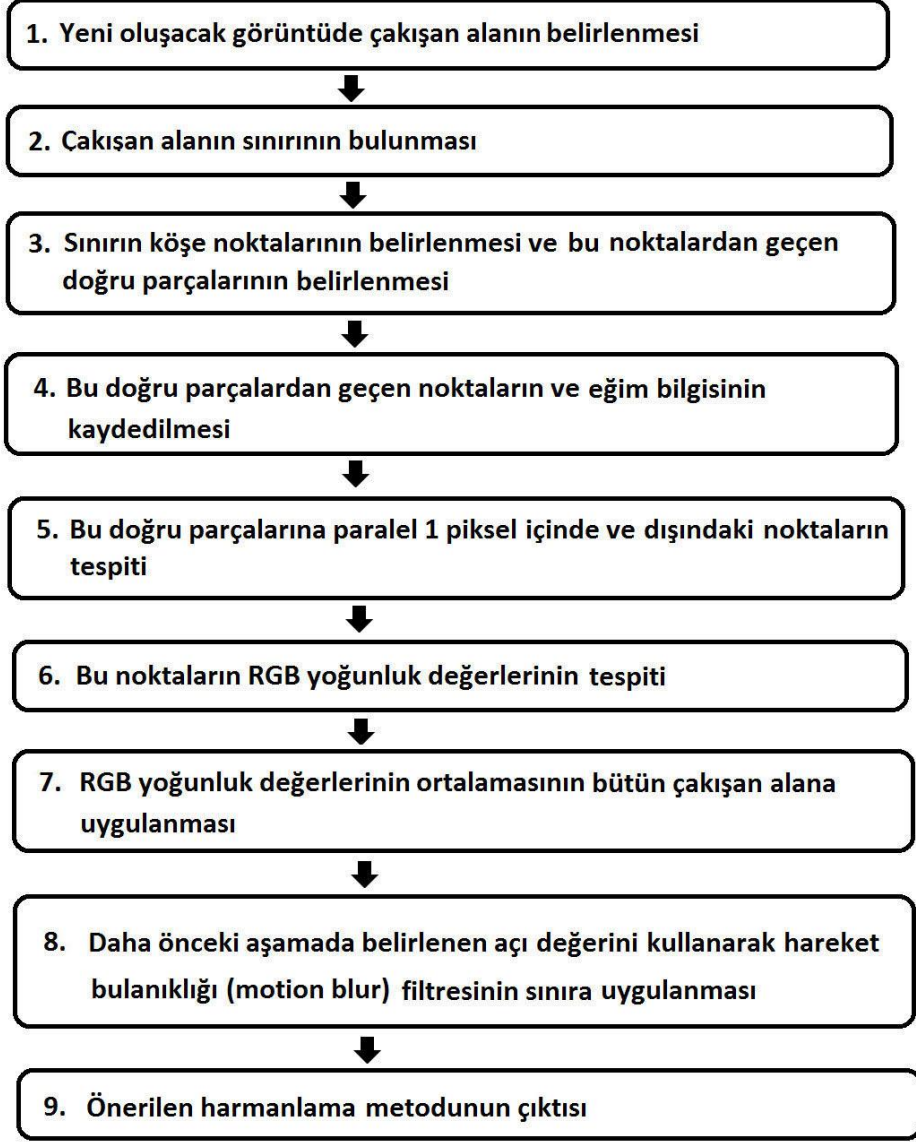
Harmanlanma tekniklerinin ikinci kategorisi en uygun/optimal iz bulmayı temel alır, diğer bir deyişle, nihai mozaik görüntüde yanlış hizalanmış yapıları (artifacts) ve yoğunlukları azalmış her bir görüntünün en iyi piksellerini bulmaya çalışır. Bu kategori altındaki yöntemler basit yumuşatmadan daha iyi ve gradyan alanı tekniklerine göre biraz daha kötü sonuçlar verir. Öte yandan, bu yöntemleri hesaplama hızı açısından değerlendirirsek gradyan alanı tekniklerinden çok daha hızlı olduğunu söyleyebiliriz [39].

Yumuşak-geçiş ve en uygun iz bulma yöntemlerinin birlikte kullanılması ile hibrit birçok yöntemde geliştirilmiştir. Bunlarla ilgili örnek çalışmalardan giriş bölümünde söz edilmiştir.

3. ÖNERİLEN YÖNTEM

Bu tez kapsamında bölüm 2'de anlatılan ve harmanlama adımına kadar olan mozaikleme sürecinde öznitelik çıkarımı için Harris algoritması, görüntü çakıştırma için korelasyon yöntemi, Homografi için DLT algoritması ile birlikte normal değerlerin tespiti için RANSAC ve görüntü çarpıtma için bilineer dönüşüm (bilinear transformation) yöntemleri uygulanmıştır.

Bu çalışmanın literatüre olan temel katkısı, otomatik kesintisiz görüntü mozaikleme için yeni bir harmanlama yönteminin önerilmesidir. Bu yöntem, literatürdeki benzerlerine göre daha basit ve çok fazla işlem yükü gerektirmeyen bir yöntemdir. Yapılan görsel değerlendirmeler sonucunda mozaikleme sonucunda çakışan bölgelerin sınırına yakın iç ve dış bölgelerdeki piksellerden alınan renk değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. İki resim arasında oluşan birleşme çizgilerinin ortadan kaldırılması veya etkilerinin hafifletilmesi için sınıra yakın bölgelerden alınan piksellerin ortalaması örtüşen alana uygulanmıştır. Bu amaçla üst üste binen bölge sınırları içindeki ve dışındaki 1 piksel genişliğindeki bölge içinde yer alan görüntünün piksel yoğunluğu değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra, yoğunluk değerlerinin ortalaması alınmış ve renk farklılıklarının ortalama değerleri çakışan bölgelere uygulanmıştır. Son adım olarak, bir hareket bulanıklığı filtresi, izleri azaltmak amacıyla aynı çakışan bölgenin sınır bölgeleri için uygulanmıştır. Önerilen yöntemin detaylı gösterimi aşağıdaki akış diyagramında verilmiştir (**Şekil 3.1**);



Şekil 3.1 Önerilen harmanlama yönteminde izlenen adımlar

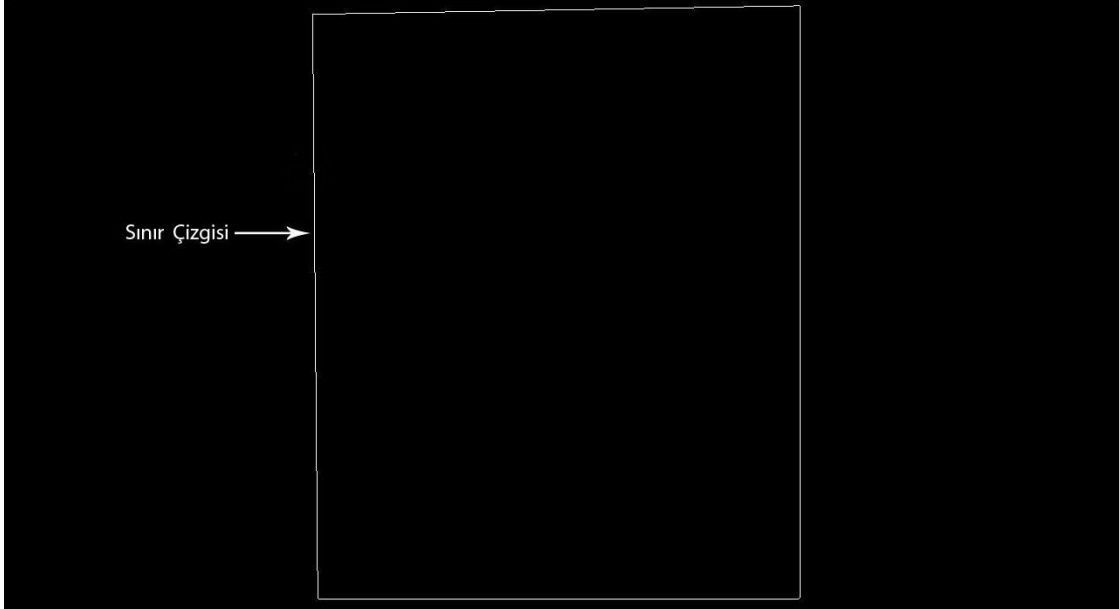
Yukarıdaki şekilde (**Şekil 3.1**) uygulama adımları gösterilen yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama 3.1 ve 3.3 ile belirtilen bölümler arasında anlatılacak olup, ikinci aşama ise 3.4 bölümünde anlatılacaktır.

3.1. Çakışma Alanının Belirlenmesi

Önerilen harmanlama metodu için görüntü çakıştırmada kullanılan görüntülerin örtüşen alan sınır çizgilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bilgi iki açıdan önemlidir. Birincisi, örtüşen alanların sınırlarında 1 piksel uzaklıkta yer alan iç ve dış piksellerin renk bilgisine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu bilgiye bölüm 3.3'de anlatılacak adımlar için önem arz etmektedir. İkincisi ise, uygulanacak hareket

bulanıklığı filtresi için gerekli olan pikselin hangi doğru parçasına ait olduğu ve bu noktaya filtre uygulanırken gerekli olan aç ı de ğerinin bilinmesidir. Bu bilgi de bölüm 3.4’de anlatılacak yöntem için gereklidir.

Çakışma alanının belirlenmesi için öncelikle örtüşen alanların sınır çizgilerinin bulunması gerekmektedir. Bu amaçla, orijinal görüntü ile aynı boyutta boş bir görüntü üzerinde çakışan alanlar beyaz renk ile temsil edilirken di ğer alanlar ise siyah renk ile ifade edilir. Sonrasında, Matlab’ın kenar bulma fonksiyonu ile kenarlar tespit edilir. Bu kenarlar ile morfolojik genişletme sonrasında bulunan kenar pikselleri birleştirilerek örtüşen alanların sınırları belirlenir. Daha sonra, örtüşen bölgedeki di ğer piksellerde siyaha dönüştürülür ve örtüşen alanların sınırı bulunur (**Şekil 3.2**).

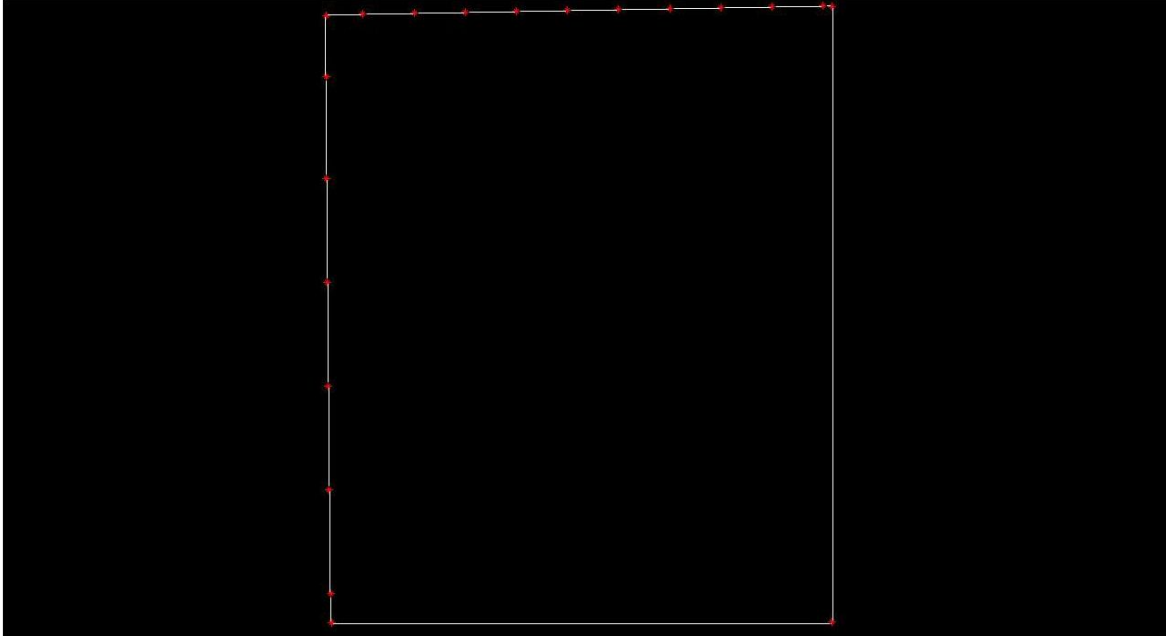


Şekil 3.2 Örtüşen alanın sınırlarının belirlenmesi

3.2. Doğru Parçalarının Tespiti

Daha sonra, bu çerçevenin 1 piksellik iç ve dış bölgelerinin tespiti ile çerçeveyi oluşturan piksellerin hangi doğru parçasına ait olduğunun tespiti gerçekleştirilir. Bu amaçla, elde edilen çerçeveyi oluşturan köşe noktalarının tespiti Matlab’ın ‘corner’ fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır [40]. Genellikle gri tonlamalı görüntünün kendisi, kullanılacak algoritma ve görüntüde bulmasını istediğiniz maksimum nokta sayısı olmak üzere 3 parametrelilik olarak kullanılır. Bu çalışma kapsamında kullanılan ‘corner’ fonksiyonu, Harris algoritmasını temel alıp çalışma alanlarında

yer alan görüntülerde bulabileceği köşe noktası çok az olduğu için tek parametre ile kullanılmıştır. Diğer parametreler için varsayılan değerler kabul edilmiştir. Tespit edilen köşe noktalarının oluşturduğu doğru parçalarının tespiti için ise Matlab'ın 'convhull' [41] fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyon parametre olarak aldığı x ve y noktalarını içine alan dışbükey bir poligon oluşturur ve çıktı olarak bu poligonu oluşturan koordinat kümesi saat yönünde sıralı olarak alınır (**Şekil 3.3**). Böylece köşe nokta çiftlerinin çerçevenin hangi kenarını oluşturduğu tespit edilmiş olur. Bu doğru parçalarını oluşturan noktalar Matlab'ın 'bresenham' fonksiyonu ile tespit edilir. Bresenham çizgi fonksiyonu verilen iki koordinat arasından geçen doğrunun tüm noktalarını bulmamızı sağlar. Bresenham algoritması tam sayılarla toplama, çıkarma ve ikiyle çarpma işlemlerini içerir. İkiyle çarpma işlemi kayma operasyonu ile Assembler düzeyinde çok hızlı yapılabildiğinden, Bresenham algoritması oldukça verimli bir algoritmadır [42]. Böylece hangi noktanın hangi doğru parçasının üzerinde yer aldığı anlaşılmış olur. Son aşamada, bu noktalara uygulanacak hareket bulanıklığı filtresi için gerekli olan açı değerinin hesaplanması noktanın yer aldığı doğru parçasının eğiminden (Matlab'ın 'atan' fonksiyonu kullanılarak) hesaplanır.



Şekil 3.3 Matlab 'convhull' fonksiyonunun sonucunda bulunan koordinatlar kullanılarak örtüşen alanın sınırlarının tekrar oluşturulması.

3.3. Nokta Tespiti ve Renk Atama

3.2 bölümünün sonucunda bulunan noktalardan faydalanarak 1 piksel genişliğindeki bölgenin (**Şekil 3.4**) üst üste binen bölge sınırları içindeki ve dışındaki görüntü piksel yoğunluk değerleri RGB cinsinden tespit edilir. Her bir renk değeri oluşturulan bir matrisin bir kolonuna kaydedilir ve bu matrisin her renge karşılık gelen kolonu için ortalama değerler bulunur. Sonrasında bu değerler örtüşen alanlardaki her piksele atanarak bu alandaki kontrast farklılıkları minimuma düşürülmüş olur. Bu bölümün sonucunda önerilen yöntemin ilk aşaması tamamlanmış olur.



(a)



(b)

Şekil 3.4 (a) Örtüşen alanın sınır çizgisi ile 1 piksel içerideki ve dışarıdaki çizgiler, **(b)** bu çizgilerin yakından gösterimi.

3.4. Hareket Bulanıklığı Filtresinin Uygulanması

Bu bölüm önerilen yöntemin ikinci aşamasını kapsamaktadır. Bu bölümde, gelinen aşamaya kadar uygulanan işlemler sonucunda kalabilecek bazı izlerin yine bu sınırlardaki piksellere uygulanacak hareket bulanıklığı (motion blur) filtresi ile yok edilmeye çalışılması ve sonunda nihai mozaik görüntünün elde edilmesinden söz edilecektir.

Hareket bulanıklığı filtresi uygulandığı her nokta için -doğrusal, dairesel, zoom veya dönme hareketlerinden herhangi birinin hissini yaratmak için- belirli bir yönde bulanıklaştırma meydana getiren bir filtredir [44]. Açı (angle) değeri bulanıklığın yönü olup $+90^\circ$ ile -90° arasında değişebilir. Mesafe (distance) değeri ise bulanıklığın yoğunluğu olup 1 ile 999 arasında değer alabilir [43]. Bulanıklık, yatay ya da dikey olarak tek bir yönde meydana gelebilir [44, 45]. Bu çalışmada, doğrusal filtre kullanılmıştır. Diğer taraftan, bulanıklık yoğunluğunu temsil eden parametre, hareket bulanıklık uzunluğu 3 olarak alınmıştır. Hareket bulanıklığı açısı için yatay ve dikey izler, bulunan açı değerine 90° eklenerek elde edilmiştir.

İlk aşama sonucunda örtüşen alanı oluşturan doğru parçaları, bu doğru parçalarını oluşturan her bir nokta ve bu doğru parçalarının eğimi bilinmektedir. İkinci aşamada, Matlab'ın 'roipoly' ve 'fspecial' fonksiyonları kullanılarak bu noktalara 3x3 lük bir kare maske ve bu noktaların açı değerine 90 eklenerek bu maskenin uygulanması sağlanmıştır. **Şekil 3.5**'te herhangi bir harmanlama işlemi yapılmadan sadece mozaiklenmiş bir görüntü verilmiş iken **Şekil 3.6**'da önerilen harmanlama yönteminin uygulanması sonucu elde edilmiş bir görüntü verilmiştir. Elde edilen sonuç, mozaikleme sonrası oluşan izlerin başarılı bir biçimde giderildiğini göstermektedir. Geliştirilen tüm yöntem adımlarının uygulanmasında Matlab 2014b kütüphane fonksiyonları kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Önerilen harmanlama metodu uygulanmadan önceki mozaik görüntü.



Şekil 3.6 Önerilen harmanlama metodu uygulandıktan sonraki mozaik görüntü.

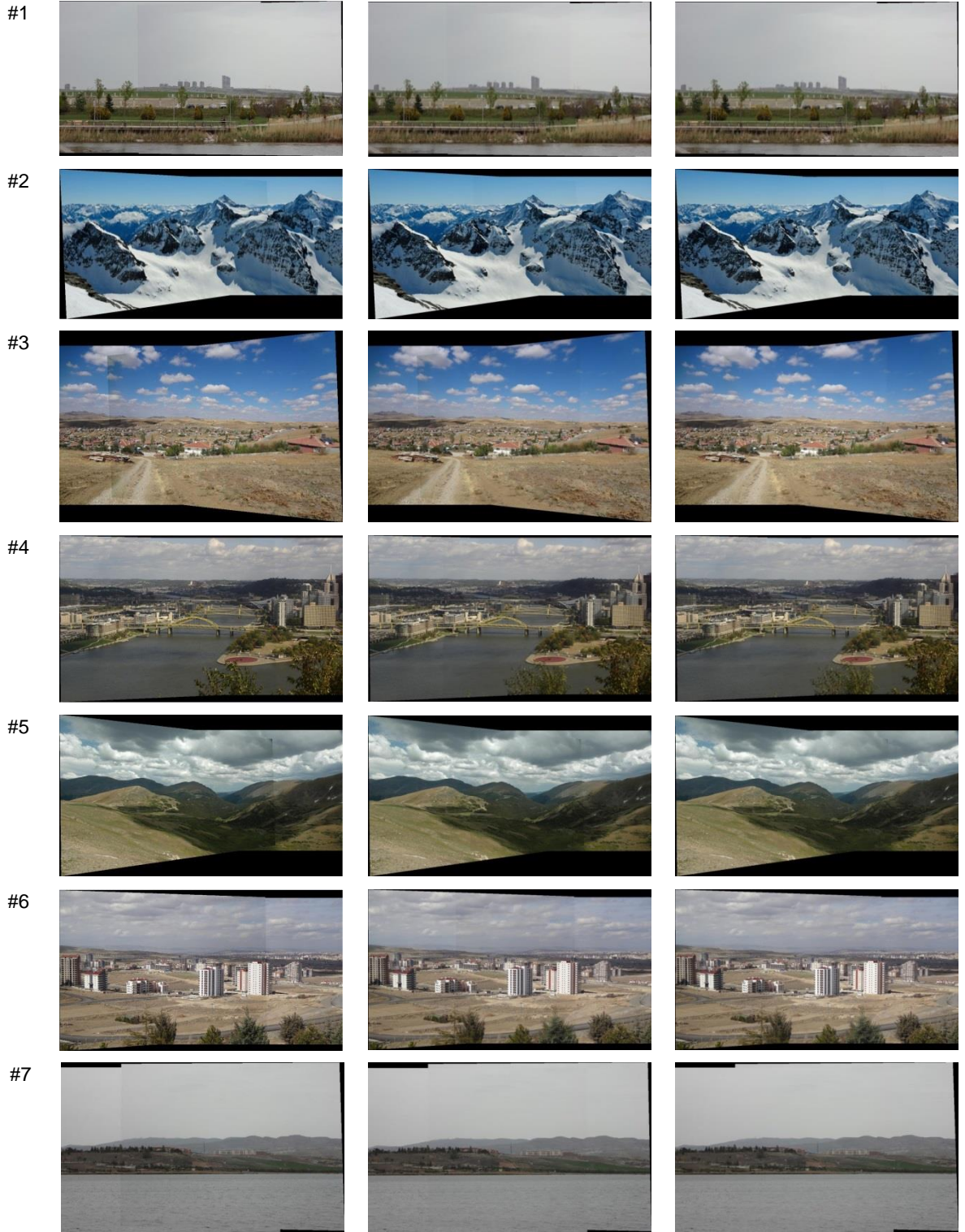
4. BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ VE DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada görüntü harmanlama için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin başarısını test etmek için görüntü mozaikleme test verisi olarak instagram paylaşılmış görüntüler ve çeşitli mekanların uzaktan çekilmiş görüntülerinden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setinden 10 çift görüntü seçilmiş ve bu görüntülerin mozaiği çıkarılmıştır. Üretilen veri kümesine ait görüntüler **Şekil 4.1**'de verilmiştir. Oluşturulan mozaiklerin doğruluğunu test etmek amacı ile her bir mozaik çiftinin hem önerilen harmanlama metodu uygulanmış hem de uygulanmamış halleri değerlendiricilere sunulmuştur.

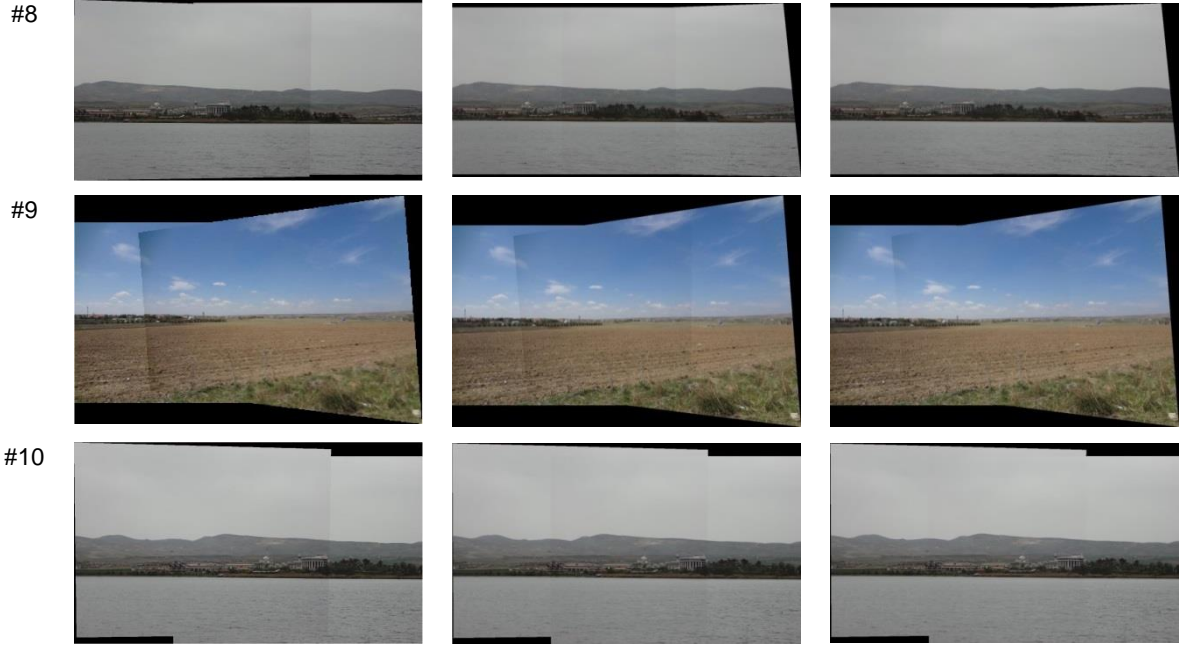
Yeni bir yöntemin diğerine göre daha iyi olduğuna ikna edici bir kanıt sunmak, bazı durumlarda bir grup gözlemcinin birkaç algoritmanın sonuçlarını görsel olarak değerlendirmesi veya oranlaması ile (sübjektif değerlendirme) mümkün olabilir. Sübjektif görüntü kalitesi değerlendirme deneyleri olarak bilinen kullanıcı çalışmaları çok zaman alabilir ve kesin sonuçlar üretmeyi garanti etmezler [47]. Ancak bu tarz yöntemin objektif olarak değerlendirilebilmesi oldukça güçtür. İstatistiksel ve pratik önemi hakkında anlamlı bilgiler ile birlikte sıralama sonuçlarını görselleştirmek için [47]' de özetlenmiş olan dört önemli öznel kalite değerlendirme yöntemi incelenmiştir. Bunlar: Tek unsurlu, çift unsurlu, zorunlu-seçmeli ikili karşılaştırma ve benzerlik yargılarıdır. Bu çalışmada verimli ve titiz kalite değerlendirme deneyleri yapabilmek ve sonuçların analizlerinin temel yönlerini vurgulamak için yukarıda belirtilen metotlardan 'benzerlik yargıları' yönteminden faydalanılmıştır.

Sonuçların doğruluğunu değerlendirebilmek amacıyla öznel değerlendirme için bir web sayfası hazırlanmıştır (www.baskent.edu.tr/~avarol/tez). Web sayfasında oluşturulan 10 çift görüntü, Başkent Üniversitesi akademik personeli tarafından değerlendirilebilmesi için sunulmuştur (**Şekil 4.2**). İlk görüntü (sol kolon), bir harmanlama işlemi uygulamadan görüntülerin birleştirilmesinden oluşmuş olup ikinci görüntü (sağ kolon) ise oluşan izleri yok etmek için önerilen harmanlama yöntemi uygulanmış görüntülerdir. **Çizelge 4.1**'de gösterilen değerlendirme ölçeği Frienddall ve Behrend'in çalışmasından esinlenilerek ve adapte edilerek [46] bu çalışmada kullanılmıştır. Hazırlanan web sayfası ile değerlendirmeye katılan kişilerden ilk görüntüde oluşan izlerin önerilen yöntem ile ne kadar giderilebildiğinin

değerlendirilmesi istenmiştir. Bunun için **Çizelge 4.1**'deki skala değerlendiricilere sunulmuştur.



Şekil 4.1 Devam ediyor...



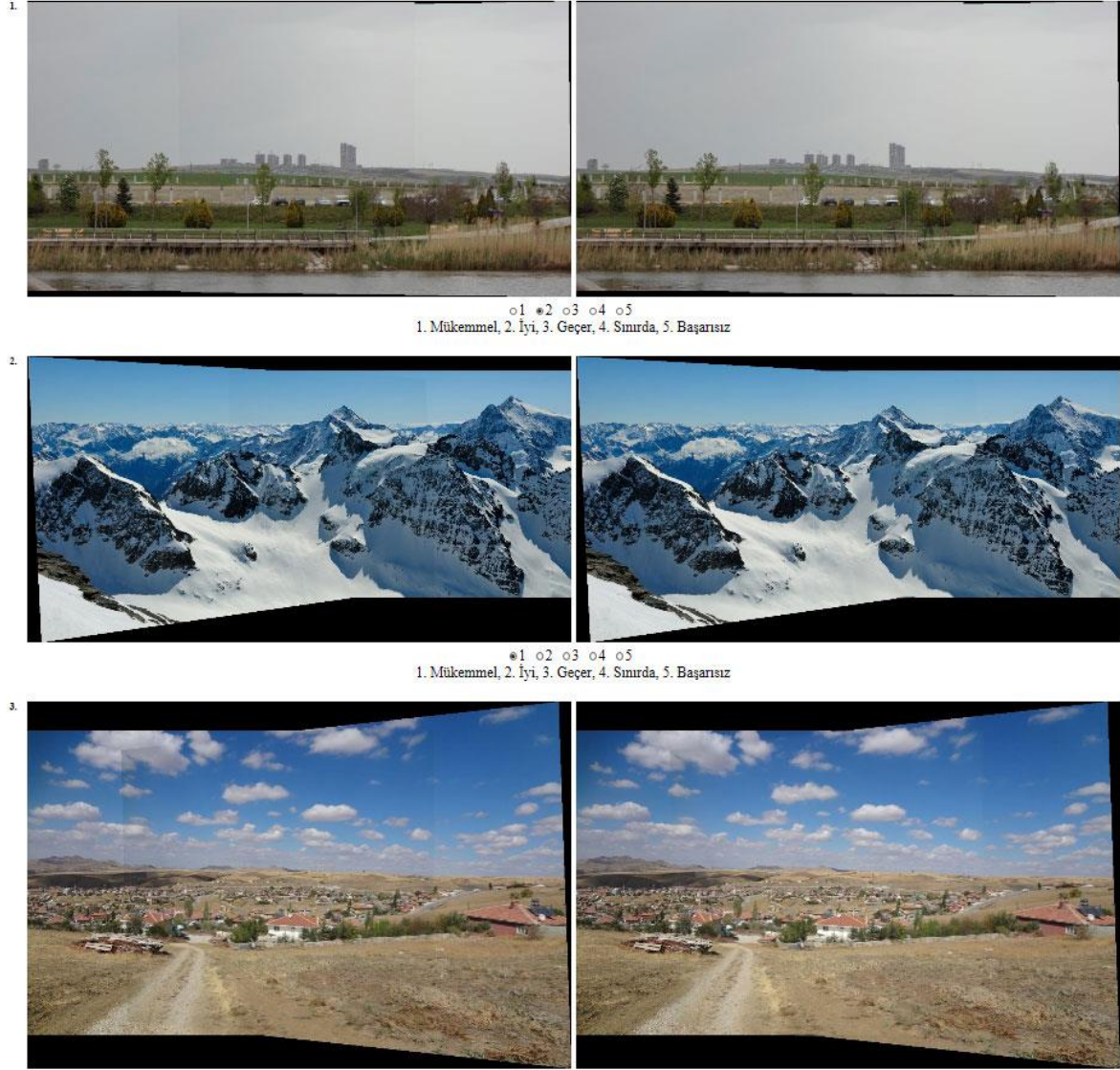
Şekil 4.1 Oluşturulan 10 çift görüntü ile her bir mozaik çiftinin hem önerilen harmanlama metodu uygulanmış (sağ sütun), 'Feathering' yöntemi uygulanmış (ortada), hem de uygulanmamış halleri (sol sütun).

Değerlendirmeye katılan kişilerin her bir resim çiftine katılımcıların verdikleri puanlar **Çizelge 4.2**'de yer alırken, verilen puanlamaların her bir resim için ortalaması ise **Çizelge 4.3**'de verilmiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, ortalama puan aralığı 1.54 ve 4.27 arasında olduğu tespit edilmiştir. En başarılı görüntü çifti Set#2 olarak bulunurken, en başarısız görüntü çiftinin ise Set#9 olduğu tespit edilmiştir. Genel başarı oranı hesaplanırken 1 ile 5 arasındaki değerlendirme skalasına karşılık sırası ile 1→100, 2→75, 3→50, 4→25 ve 5→0 dönüşümü dikkate alınmıştır. Çizelge 4.2'de verilen değerlendirme sonuçları bu dönüşüme göre yeniden hesaplanmış ve genel başarı oranı 0-1 aralığına çekilerek (0 en kötü, 1 en iyi olmak suretiyle) ortalama 0.66 olarak bulunmuştur. Set#2 ve Set#9'un sonuç görüntüleri **Şekil 4.3** ve **Şekil 4.4** 'de sırasıyla gösterilmiştir.

GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME VE İZLERİN YOK EDİLMESİ KONULU TEZ ARAŞTIRMASI

İlk resimler 2 resimin birleşmesi ile oluşmuştur, sonraki ise birleşen resimlerin örtüşen alanlarda meydana gelen izler yok edilmeye çalışılmıştır. İkinci resimlerdeki izler ne kadar yok edilmiştir, aşağıda verilen 1 - 5 arasındaki puanlamaya göre değerlendiriniz.



Şekil 4.2 Oluşturulan 10 çift görüntünün değerlendirilmesi için hazırlanan web sayfasından alınan örnek bir ekran görüntüsü

Çizelge 4.1 Kesintisiz mozaikleme için değerlendirilmesi için derecelendirme ölçeği:

Değer	Puanlama / Değerlendirme	Tanım
1	Mükemmel	Kesintisiz mozaikleme başarısı son derece yüksek kalitede olan
2	İyi	Kesintisiz mozaikleme başarısı yüksek kalitede olan
3	Yeterli	Kesintisiz mozaikleme başarısı kabul edilebilir kalitede olan
4	Sınırdan	Kesintisiz mozaikleme başarısı düşük kalitede olan
5	Kullanışsız	Kesintisiz mozaikleme başarısı çok kötü olan

Çizelge 4.2 Önerilen yöntemle göre her bir görüntü kümesinin değerlendirme sonuçları:

Değerlendiren Kişi	Görüntü Setleri #									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	2	2	3	4	4	4	4	5	5
2	1	2	3	1	2	1	2	1	4	2
3	2	1	2	2	1	1	1	2	3	2
4	1	1	2	1	3	1	1	1	4	2
5	1	1	3	1	2	1	1	1	5	4
6	1	1	3	2	4	1	1	1	4	3
7	2	2	3	2	3	2	2	2	3	3
8	1	1	3	1	3	1	2	2	5	4
9	2	2	2	1	2	1	2	2	5	3
10	2	2	3	2	4	2	1	4	5	4
11	2	2	3	2	4	2	2	3	5	4
12	2	2	3	3	3	2	1	1	3	2
13	1	2	5	2	4	1	2	2	5	4
14	2	1	5	4	5	1	1	1	5	4
15	1	1	3	1	2	1	2	2	5	2
16	1	2	3	2	3	1	1	2	4	3
17	2	2	3	2	3	2	1	1	3	2
18	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2
19	3	1	2	1	3	2	1	2	4	3
20	1	2	3	2	1	2	1	2	3	3
21	2	1	2	2	2	2	1	1	5	4
22	2	2	3	2	4	2	2	2	5	3
23	1	1	2	1	3	1	1	1	4	4
24	2	1	4	2	4	1	2	1	5	4
25	2	1	2	1	2	1	1	1	4	2
26	2	2	5	4	5	3	4	2	5	5

Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan ortalama, istatistiki açıdan aşırı değerlere duyarlı bir merkezsiz konum ölçüsüdür. Eğer veri dizisi için asimetrik olarak sadece bir uçsal değer (ya aşırı küçük ya da aşırı büyük) mevcut ise aritmetik ortalama o aşırı değere yaklaşma eğiliminde olur. Öte yandan, mod

istatistiği bu aşırı değerlerden ortalamanın etkilendiği gibi etkilenmez. Bundan dolayı mevcut değerlendirme verilerinin mod istatistiğine de bakılmıştır. Bu bağlamda, verilen puanlamaların her bir resim için modu (en çok tekrar eden değer) **Çizelge 4.4**'de verilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde ortalama kullanmak yerine en fazla tekrar eden değere (mod istatistiğine) bakıldığında en başarılı veri setleri set#6 ve set#7 olarak görülmektedir. Bu iki setin mod istatistiğine göre aldığı değerlerin (1); set#2'nin ortalamaya göre aldığı değer (1.54) çok yakın olduğu **Çizelge 4.3** ve **4.4**'den de rahatlıkla görülebilmektedir. Buna göre, her iki set (Set#6 ve Set#7) 14 değerlendirici tarafından mükemmel olarak (1 değerlendirme puanı alarak) nitelendirilmiştir. Öte yandan, set#9 ortalamaya göre yapılan istatistik sonucunda olduğu gibi mod istatistiğinde de başarısız bulunarak 13 değerlendirici tarafından kullanışsız (5 değerlendirme puanı alarak) olarak nitelendirilmiştir. Mod istatistiğine göre elde edilen en başarılı görüntü çiftlerinin (Set#6 ve Set#7) sonuç görüntüleri **Şekil 4.5** ve **Şekil 4.6**'da sunulmuştur. Öte yandan en başarısız görüntü çifti, ortalama istatistiğinde bulunanın aynısı olup, **Şekil 4.4**'de yer almaktadır.

Mevcut tez çalışması kapsamında önerilen yöntemin literatürde yer alan 'Feathering' metoduyla karşılaştırılmasına da yer verilmiştir. Buna göre, 'Feathering' yöntemine göre harmanlanmış görüntü mozaikleri için değerlendirmeye katılan katılımcıların her bir resim çifti için verdikleri puanlar **Çizelge 4.5**'de yer almaktadır. Ayrıca verilen puanlamaların her bir resim çifti için ortalaması **Çizelge 4.6**'da ve mod istatistiği ise **Çizelge 4.7**'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 'Feathering' yöntemi ile harmanlanmış mozaik görüntünün subjektif başarı oranı 0.46 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3 Önerilen yöntemle göre her bir görüntü kümesi için öznel değerlendirme sonucu:

Ortalama Değerlendirme	Görüntü Setleri #									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1.64	1.54	2.92	1,88	3,04	1.58	1.65	1,77	4.27	3.19

Çizelge 4.4 Her bir görüntü kümesi için mod istatistiğine göre öznel değerlendirme sonucu:

Mod Değerlendirme	Görüntü Setleri #									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2(15)	2(14)	3(13)	2(13)	3(9)	1(14)	1(14)	2(12)	5(13)	4(9)

Çizelge 4.5 'Feathering' işlemi sonucu her bir görüntü kümesinin değerlendirme sonuçları:

Değerlendiren Kişi	Görüntü Setleri #									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	4	5	3	5	4	4	5	5	4
2	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5
3	3	2	4	2	3	4	2	4	5	3
4	3	3	5	3	5	4	4	5	5	5
5	3	1	3	2	3	2	2	2	2	2
6	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	4	2	4	3	2	2	5	3
8	4	3	3	2	3	4	3	3	4	2
9	5	3	4	3	3	3	3	4	3	4
10	4	3	3	2	2	3	2	3	3	2
11	5	4	5	4	5	4	3	4	5	5
12	4	3	4	2	4	4	4	5	5	5
13	2	2	4	2	1	3	2	4	4	3
14	4	4	4	2	3	4	4	4	5	4
15	3	3	2	2	2	2	2	3	2	3
16	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2
17	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2
18	4	4	5	3	5	4	4	4	5	3
19	5	5	5	3	2	5	4	3	5	5
20	5	5	1	3	1	3	1	4	1	4
21	3	4	3	3	2	3	3	3	3	3
22	3	4	3	2	5	4	2	5	4	2
23	4	3	4	2	4	3	2	4	4	3
24	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4
25	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
26	4	3	3	4	2	3	2	2	5	4

Çizelge 4.6 'Feathering' işlemi sonucu her bir görüntü kümesi için öznel değerlendirme sonucu:

Ortalama Değerlendirme	Görüntü Setleri #									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	3.73	3.27	3.62	2.62	3.19	3.35	2.81	3.54	3.88	3.35

Çizelge 4.7 'Feathering' işlemi sonucu her bir görüntü kümesi için mod istatistiğine göre öznel değerlendirme sonucu:

Mod Değerlendirme	Görüntü Setleri #									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	3(9)	3(11)	3(9)	2(14)	3(7)	4(11)	2(12)	4(9)	5(12)	3(8)



(a)



(b)

Şekil 4.3 Ortalama istatistiğine göre en başarılı harmanlama uygulaması (Set#2): **(a)** önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, **(b)** önerilen harmanlama yöntemi uygulandıktan sonra



(a)



(b)

Şekil 4.4 Ortalama ve mod istatistiğine göre en başarısız bulunan harmanlama örneği (Set#9): **(a)** önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, **(b)** önerilen harmanlama uygulandıktan sonra



(a)



(b)

Şekil 4.5 Mod istatistiğine göre en başarılı bulunan harmanlama örneği (Set#6):
(a) önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, **(b)** önerilen harmanlama uygulandıktan sonra



(a)



(b)

Şekil 4.6 Mod istatistiğine göre en başarılı bulunan harmanlama örneği (Set#7):
(a) önerilen harmanlama yöntemi uygulanmadan önce, **(b)** önerilen harmanlama uygulandıktan sonra

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada dijital kamera ile çekilen fotoğraflardan otomatik ve kesintisiz bir görüntü mozaigi elde edilmesi için yeni bir harmanlama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem 10 farklı görüntü çifti üzerinde test edilerek 0.66'lık bir başarı oranı elde edilmiştir. Aynı veri setinin literatürde yer alan 'Feathering' yöntemine göre test edilmesi sonucunda ise 0.46'lık bir sübjektif başarı elde edilmiştir. Buna göre test görüntüleri üzerinde, önerilen yöntemin 'Feathering' tekniğine göre 0.20 puan daha başarılı çıktığı tespit edilmiştir. Mevcut çalışma kapsamında ele alınan yöntem adımlarının her birinin iyileştirme sürecine önemli katkılar verdiği görülmüştür. Örneğin, hareket bulanıklığı filtresinin mozaikleme sonrası oluşan keskin geçişleri gidermede oldukça önemli bir adım olduğu görülmüştür. Öte yandan, renk bilgisinin kullanılmasının ışık farklılıklarını gidermede kilit bir rol üstendiği anlaşılmıştır. Bunların haricinde, bu çalışmanın literatürde yer alan çalışmalar arasında mozaikleme sonuçları üzerine başarı değerlendirme yapan ilk çalışma olduğu da görülmektedir.

Başarılı bir biçimde harmanlanmış görüntülerin genellikle görüntü çiftleri arasında çok fazla ışıklandırma farkının olmadığı durumlarda ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu görüntülerin bir kısmı güneşli, bir kısmı ise bulutlu havalarda çekilmiş görüntülerdir. Başarısız görüntülerde dikkat çeken durum ise görüntülerin genellikle güneşli havalarda çekilmiş olmasıdır. Bu durum, kontrast farkını artırıcı nitelikte olup örtüşme izlerini daha fazla açığa çıkarmaktadır. Ayrıca, görüntü çiftleri arasında güneşin konumuna bağlı olarak önemli ışıklandırma farkları ortaya çıkabilmekte ve örtüşen bölgelerde renk farkları oluşabilmektedir. Görüntü mozaiklemesinin daha başarılı bir biçimde yapılabilmesi için çekilen görüntülerde ışık kaynağının yönüne dikkat edilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, önerilen harmanlama yönteminin görüntü mozaikleme işlemine daha doğal ve estetik bir görünüm kazandırması bakımından başarılı olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision/. Erişim tarihi: 19/08/2014.
- [2] Mayur Dhait, Rashmi S. Ghavghave, Image Mosaicing Using Feature Detection Algorithm, International Journal of Informative & Futuristic Research, Vol-1 Issue -8, April 2014.
- [3] A. Elibol, N. Gracias, R. Garcia, A. Gleason, B. Gintert, D. Lirman and R.P. Reid Efficient Autonomous Image Mosaicing with Applications to Coral Reef Monitoring, Workshop on Robotics for Environmental Monitoring, IROS 2011, San Francisco, USA.
- [4] <http://artificialintelligentsystems.wordpress.com/2010/09/04/typical-tasks-of-computer-vision/>. Erişim tarihi: 19/08/2014.
- [5] Junhong Gao, Yu Li, Tat-Jun Chin, Michael S. Brown, Seam-Driven Image Stitching, EUROGRAPHICS '13 / M.- A. Otaduy, O. Sorkine, Short Paper.
- [6] Matthew Brown and David G. Lowe, Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features, International Journal of Computer Vision, August 2007, Volume 74, Issue 1, pp 59-73.
- [7] Patrick Perez, Michel Gangnet, Andrew Blake, Poisson Image Editing, Microsoft Research UK, ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003, Volume 22 Issue 3, July 2003, p313-318.
- [8] Anat Levin, Assaf Zomet, Shmuel Peleg, Yair Weiss ,Seamless Image Stitching in the Gradient Domain, ECCV 2004, LNCS 3024, pp. 377–389, 2004.
- [9] Ioana S. Sevcenco, Peter J. Hampton and Pan Agathoklis, Seamless Stitching of Images Based on a Haar Wavelet 2D Integration Method, Digital Signal Processing (DSP), 2011 17th International Conference on 6-8 July 2011, p1-6.
- [10] Nuno Gracias, Art Gleason, Shahriar Negahdaripour, and Mohammad Mahoor, Fast Image Blending using Watersheds and Graph Cuts, Volume 27, Issue 5, 2 April 2009, p597–607, The 17th British Machine Vision Conference (BMVC 2006).
- [11] Ming-Shing Su, Wen-Liang Hwang, and Kuo-Young Cheng, Analysis on Multiresolution Mosaic Images, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 13, NO. 7, JULY 2004.
- [12] M.A. Sadeghi, S.M.M. Hejrati, and N. Gheissari, Poisson Local Color Correction for Image Stitching, in Proc. VISAPP (1), 2008, pp.275-282.
- [13] A.Annis Fathima, R.Karthik,V.Vaidehi, Image Stitching With Combined Moment Invariants and Sift Features, The 4th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2013).

- [14] <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2008/12/01/ozellik-cikarimi-feature-extraction/>. Erişim tarihi: 19/08/2014.
- [15] Kriten Grauman and Bastian Leibe, Chapter 3 - Local Features: Detection and Description, excerpt chapter from synthesis lecture draft, s.1-2.
- [16] M. Nandhini, Rahul Kumar, Avinash Anand, Analysis on Feature Detection for Image Mosaicing, IJAIEEM, Volume 1, Issue 2, October 2012.
- [17] Nuh Alpaslan, Gradyan Tabanlı Heterojen Öznitelik Çıkarma Yöntemlerime Yeni Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, 78s, Ocak 2013.
- [18] C. Harris and M. Stephens, A combined corner and edge detector, Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. pp. 147–15, 1988.
- [19] Jan Erik Solem, Programming Computer Vision with Python, O'Reilly 19s-53s, 2012.
- [20] Hemlata Joshi, Mr. KhomLal Sinha, A Survey on Image Mosaicing Techniques, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 2, Issue 2, February 2013.
- [21] Ives Rey-Otero, Mauricio Delbracio, Anatomy of SIFT Method, IPOL Image Processing On Line, <http://dx.doi.org/10.5201/ipol>, PREPRINT March 11, 2014.
- [22] M. Trajkovic and M. Hedley, Fast corner detection, Image and Vision Computing 16 (2): 75–87, doi:10.1016/S0262-8856(97)00056-5, 1998.
- [23] Barbara Zitova, Jan Flusser, Image registration methods: a survey, Image and Vision Computing 21 (2003) 977–1000, Received 9 November 2001; received in revised form 20 June 2003; accepted 26 June 2003.
- [24] J. Michael Fitzpatrick, Derek L. G. Hill, Calvin R. Maurer, Jr., CHAPTER 8 – Image Registration, s1-3.
- [25] L.G. Brown, A survey of image registration techniques, ACM Computing Surveys 24 (1992) 326–376.
- [26] Ballard, Brett Stephen, Feature Based Image Mosaicing Using Regions of Interest for Wide Area Surveillance Camera Arrays with Known Camera Ordering, the School of Engineering of the University of Dayton, Ms. Thesis, May, 2011.
- [27] L.G. Brown, A survey of image registration techniques, ACM Computing Surveys 24 (1992) 326–376.
- [28] Darshana Mistry, Asim Banerjee, Review: Image Registration, IJGIP, International Journal of Graphics & Image Processing, Vol 2, issue 1, February 2012.
- [29] Yamamura, Y., Hyoungseop Kim, Joo kooi Tan, Ishikawa, S., Yamamoto, A

method for Reducing of Computational Time on Image Registration Employing Wavelet Transformation, International conference on Control Automation and Systems(ICCAS), 1286-1291, 2007.

- [30] J.A. Parker, R.V. Kenyon, D.E. Troxel, Comparison of interpolating methods for image resampling, IEEE Transactions on Medical Imaging 2 (1983) 31–39.
- [31] Dushyant Vaghela, Prof. Kapildev Naina, A Review of Image Mosaicing Techniques, CoRR, vol. abs/1405.2539, Sep 2014.
- [32] Taha MÜEZZİNOĞLU, Ferhat ÇOLAK, Mehmet KARAKÖSE, Görüntü Mozaikleme Algoritması İçin Deneysel Bir Çalışma, Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1), 17-25, 2014.
- [33] Konstantinos G. Derpanis, Overview of the RANSAC Algorithm, May 2010.
- [34] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles, Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, Comm. of the ACM 24 (6): 381–395 (June 1981). doi:10.1145/358669.358692.
- [35] Stafford michahial, Latha M, Akshatha S, Juslin F, Ms Manasa B, Shivani U, Automatic Image Mosaicing Using Sift, Ransac and Homography, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJETT), Vol 3, Issue 10, April 2014.
- [36] Boguslaw Cyganek, J. Paul Siebert, An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms, Wiley, 429s, 2009.
- [37] Gui-Rong Liu, V. B. C. Tan, X. Han, Computational Methods, Part II, Springer, 1126s.
- [38] Victor Lempitsky, Denis Ivanov, Seamless Mosaicing of Image-Based Texture Maps, doi:10.1109/CVPR.2007.383078, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '07), 2007.
- [39] Motaz El-Saban, Mostafa Izz, Ayman Kaheel and Mahmoud Refaat, Improved Optimal Seam Selection Blending for Fast Video Stitching of Videos Captured from Freely Moving Devices, Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on, p1481-1484, 11-14 Sept. 2011.
- [40] <http://www.mathworks.com/help/images/ref/corner.html>. Erişim tarihi: 19/08/2014.
- [41] <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/convhull.html>. Erişim tarihi: 19/08/2014.
- [42] http://tr.wikipedia.org/wiki/Bresenham%27%C4%B1n_%C3%A7izgi_algoritmas%C4%B1 Erişim tarihi: 19/08/2014.
- [43] <http://kisi.deu.edu.tr/yoldas.seki/photoshop.htm>. Erişim tarihi: 19/08/2014.

- [44] <http://docs.gimp.org/en/filters-blur.html>. Erişim tarihi: 19/08/2014.
- [45] Emre Sümer, Automatic Reconstruction of Photorealistic 3-D Building Models from Satellite and Ground-Level Images, PhD. Thesis, METU, Ankara, 159s, March 2011.
- [46] Rafael C. Gozalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing , 3rd ed., Pearson, s557-558.
- [47] Rafal K. Mantiuk, Anna Tomaszewska and Radoslaw Mantiuk, Comparison of Four Subjective Methods for Image Quality Assessment, Computer Graphics Forum, 31(8), pp. 2478–2491, 2012.
- [48] Patrik Nyman, Image Stitching using Watersheds and Graph Cuts, Research Article, Lund University, Sweden.