T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RETINEKS TEORİSİ KULLANILARAK YENİ BİR ÇOKLU POZLAMALI GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME TEKNİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Hazırlayan
Betül ISLAM

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Nusret TOPRAK

Yüksek Lisans Tezi

Ekim 2022
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RETINEKS TEORİSİ KULLANILARAK YENİ BİR ÇOKLU POZLAMALI GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME TEKNİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Betül ISLAM

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Nusret TOPRAK

Ekim 2022
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Betül ISLAM

“Yeni Bir Çoklu Pozlamalı Görüntü Birleştirme Yöntemi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Betül ISLAM	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Nusret TOPRAK

Bilgisayar Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ASLANTAŞ

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, desteğini ve bilgisini esirgemeyen, süreç boyunca çalışmayı özenle ve ilgiyle yönlendirerek sabırla takip eden tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Nusret TOPRAK'a teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte maddi manevi desteklerini her zaman hissettiğim aileme ve eşime teşekkür ederim.

Betül ISLAM

Ekim 2022, KAYSERİ

RETINEKS TEORİSİ KULLANILARAK YENİ BİR ÇOKLU POZLAMALI GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME TEKNİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Betül ISLAM

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2022
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Nusret TOPRAK

ÖZET

Dinamik aralık, sayısal kameraların ilgilenilen çevreyi görüntülerken algılayabileceği en yüksek (en aydınlık) ışık şiddeti ile en düşük (en karanlık) ışık şiddeti arasındaki orandır. İnsan gözü geniş bir dinamik aralığa sahiptir. Bu sayede, bakılan çevredeki farklı ışık miktarlarına rahatça uyum sağlayabilir ve bu bölgelerdeki detayları algılayabilir.

Sayısal kameraların sahip olduğu temel kısıtlardan biri, insan gözüne nazaran düşük bir dinamik aralığa sahip olmalarıdır. Bu sebeple, yüksek ışık farklılıklarının bir arada olduğu ortamlarda insan gözü kadar detaylı ve aydınlık görüntü üretememektedirler. Sınırlı dinamik aralık olarak adlandırılan bu problem sebebi ile görüntülenen çevredeki farklı parlaklığa sahip bölgelerin uygun olarak görüntülenebilmesi için farklı pozlama parametreleri kullanılması gerekmektedir.

Sınırlı dinamik aralık problemi, sayısal kameraların görüntüledikleri çevrenin farklı parlaklık değerlerine (aydınlatma) sahip bölgelerindeki detayları tek bir görüntüde yakalamasına mâni olmaktadır. Bu tez çalışmasının temel amacı, sayısal kameraların, dinamik aralıklarını artırmak için yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yönteminin geliştirilmesidir. Bu amaçla tez kapsamında Retineks teorisi tabanlı yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi önerilmiştir. Literatürde çokça kullanılan görüntü setleri üzerinde yapılan deneylere ilişkin görsel ve sayısal değerlendirmeler önerilen yöntemin literatürdeki yöntemlere nazaran daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Pozlamalı Görüntü Birleştirme, Retineks Teorisi, Yüksek Dinamik Aralık, Görüntü Birleştirme

A NOVEL MULTI EXPOSURE IMAGE FUSION TECHNIQUE USING RETINEX THEORY

Betül ISLAM

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, October 2022
Supervisor: Asst. Prof. Ahmet Nusret TOPRAK

ABSTRACT

Dynamic range is the ratio between the highest (brightest) light intensity and the lowest (darkest) light intensity that digital cameras can detect when viewing the environment of interest. The human eye has a wide dynamic range. In this way, it can easily adapt to different amounts of light in the environment and perceive the details in these areas.

One of the main limitations of digital cameras is that they have a low dynamic range compared to the human eye. For this reason, they cannot produce as detailed and bright images as the human eye in environments with high light differences. Due to this problem, which is called low dynamic range, different exposure parameters must be used in order to properly display regions with different brightness levels in the captured environment.

The low dynamic range problem prevents digital cameras from capturing the details in the regions they are viewing with different brightness values (illumination) in a single image. The main aim of this work is to develop a new fast multi-exposure image fusion method to increase the dynamic range of digital cameras. Proposed multi-exposure image fusion method aims to obtain a wide dynamic range image of the captured environment by combining images of the area of interest obtained with different exposure values of the same digital camera.

Keywords: Multi Exposure Image Fusion, Retinex Theory, High Dynamic Range, Image Fusion

İÇİNDEKİLER

RETINEKS TEORİSİ KULLANILARAK YENİ BİR ÇOKLU POZLAMALI GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME TEKNİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK…… ii

YÖNERGEYE UYGUNLUK……..iii

KABUL VE ONAY…… iv

ÖZET……vi

ABSTRACT…… vii

İÇİNDEKİLER……...viii

KISALTMALAR…….. x

TABLOLAR LİSTESİ……. xi

ŞEKİLLER LİSTESİ……...xii

GİRİŞ…….1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Sınırlı Dinamik Aralık……..6

1.2. Çoklu-Pozlamalı Görüntü Birleştirme Yöntemleri……8

1.3. Kalite Metrikleri……..14

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Retineks Teorisi Tabanlı Çoklu Pozlamalı Görüntü Birleştirme Yöntemi…...16

2.1.1. Retineks Teorisi……16

2.1.2. Kaynak Görüntülerin Aydınlatma ve Yansıma Katmanlarının Elde Edilmesi ……..18

2.1.3. Görüntülerdeki İyi Pozlanmış Bölgelerin Tespit Edilmesi……20

2.1.4. Birleşik Görüntünün Üretilmesi…….22

3. BÖLÜM

DENEYLER VE BULGULAR

3.1. Deneylerde Kullanılan Görüntü Setleri……24

3.2. Deneysel Sonuçlar ve Karşılaştırma...……..…....27

3.2.1. Önerilen Yöntemde Kullanılan Kıstas Fonksiyonlarının Belirlenmesi……27

3.2.2. Önerilen Yöntemin Literatürdeki Yöntemlerle Görsel Karşılaştırılması…….28

3.2.3. Önerilen Yöntemin Literatürdeki Yöntemlerle Sayısal Karşılaştırılması…….49

3.2.4. Önerilen Yöntemin Literatürdeki Yöntemlerle İşlem Zamanı Karşılaştırılması…….50

3.3. Genel Değerlendirme…...……...51

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Tartışma……...52

4.2. Sonuç ve Öneriler……...53

KAYNAKÇA……..……...54

ÖZGEÇMİŞ...……..……..58

KISALTMALAR

HDR: High Dynamic Range (Yüksek Dinamik Aralık)

LDR: Low Dynamic Range (Düşük Dinamik Aralık)

RGB: Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)

Y: Luma (Parlaklık)

Cb: Mavi Renk Farkı

Cr: Kırmızı Renk Farkı

SSIM: Structural Similarity (Yapısal Benzerlik)

FMI: Feature of Mutual Infırmation (Ortak Bilgi)

MEF: Multi Exposure Fusion (Çoklu Pozlamalı Birleştirme)

GF: Guided Filter (Kılavuzlu Filtre)

SIFT: Scale Invariant Feature Transform (Ölçek Bağımsız Öznitelik Dönüşümü)

RTV: Relative Total Variation (Bağıl Toplam Değişim)

DoG: Difference of Gauss (Gauss Farkı)

HoG: Histogram of Oriented Gradients (Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı)

RTV: Relative Total Variation (Bağıl Toplam Değişim)

TABLOLAR

Tablo 3.1. Önerilen Yöntemde Kullanılan Görüntü Setleri ve Referansları ……...26
Tablo 3.2. Önerilen Yöntemde Kullanılabilecek Metriklerin Kalite Metrik Sonuçları...26
Tablo 3.3. Çoklu-Pozlamalı görüntü Birleştirme Yöntemlerinin SSIM Metriği Sonuçları …….48
Tablo 3.4. Çoklu-Pozlamalı Görüntü Birleştirme Yöntemlerinin FMI metriği Sonuçları. …….49
Tablo 3.5. Yöntemlerin Zaman Performansları……..49

ŞEKİLLER LİSTESİ

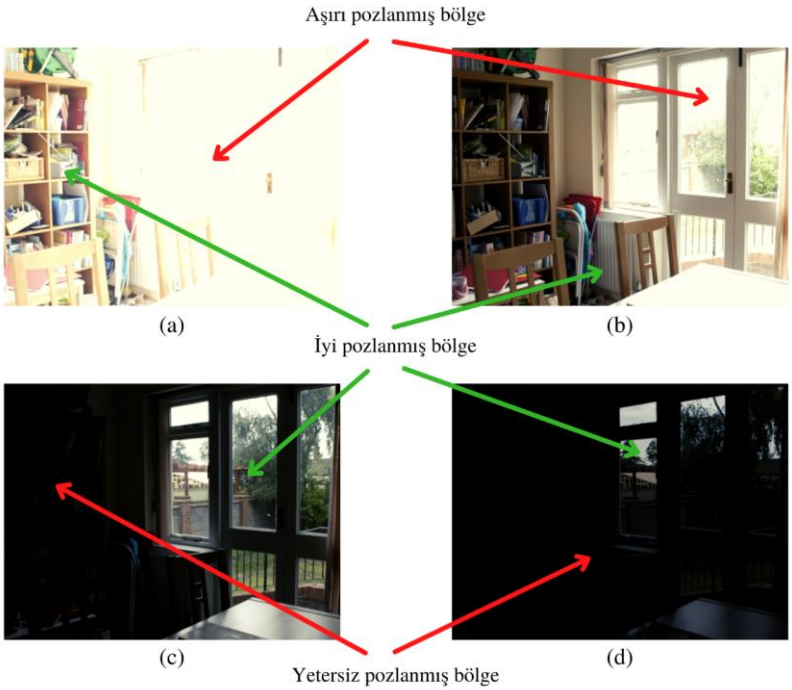
Şekil G.1. Yüksek dinamik aralığa sahip bir sahneye ait farklı değerlerde pozlanmış görüntüler ……..2
Şekil 2.1. Önerilen yöntemin genel akış şeması.…….16
Şekil 2.2. Aydınlatma haritasının üretilmesi (a) orijinal görüntü (b) başlangıç aydınlatma haritası (c) ve (d) sırasıyla Bilateral filtre ve RTV yöntemleri ile düzleştirilmiş aydınlatma haritaları……...19
Şekil 2.3. Retineks teorisi tabanlı çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi ön çalışma sonuçları (a-c) kaynak görüntüler (d-f) sırasıyla (a), (b) ve (c) görüntülerinin aydınlatma haritaları (g) birleşik aydınlatma haritası (h) birleşik yansıma görüntüsü (i) birleşik görüntü…….22
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan dört görüntü içeren görüntü setleri: (a) Cave, (b) House, (c) Lamp, (d) Madison Capitol ve (e) Office ……..24
Şekil 3.2. Ö *Şekil 3.2.* Deneylerde kullanılan üç görüntü içeren görüntü setleri: (a) Farmhouse, (b) Lighthouse, (c) Room, (d) Set ve (e) Window……..25
Şekil 3.3. *Şekil 3.3.* Cave görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait birleştirilmiş görüntüler…….28
Şekil 3.4. *Şekil 3.4.* Cave görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler…….29
Şekil 3.5. House görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler……..31
Şekil 3.6. House görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler… …….32
Şekil 3.7. Madison Capitol görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler….33
Şekil 3.8. Madison Capitol görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler…….34
Şekil 3.9. Madison Capitol görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler…….35
Şekil 3.10. Window görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler……36
Şekil 3.11. Window görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler …….37
Şekil 3.12. Lamp görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler ……38

Şekil 3.13. Lamp görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler..
…….39
Şekil 3.14. Set görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler…….41
Şekil 3.15. Room Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler……..43
Şekil 3.16. Office Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler……..44
Şekil 3.17. Lighthouse Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler…..45
Şekil 3.18. Farmhouse Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler……..
…….46
Şekil 3.19. Farmhouse Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler……..
…….47
Şekil 3.20. Farmhouse Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Büyütülmüş Görüntüler-II……47

GİRİŞ

Birçok uygulama sahasında, görüntülenen çevreler, sabit pozlama değerine sahip bir sayısal kameranın tek bir görüntüde yakalayamayacağı kadar geniş dinamik aralıkta aydınlatma seviyeleri içerir. Bu durumun sebebi sayısal kameraların sahip olduğu sınırlı dinamik aralıktır. Dinamik aralık, bir çevre görüntülenirken algılanabilecek en yüksek (en aydınlık) ışık şiddeti ile en düşük (en karanlık) ışık şiddeti arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. Sayısal kameralar, yüksek dinamik aralığa sahip, bir başka deyişle, yüksek düzeyde aydınlatma farklılıkları barındıran çevreleri görüntülerken çevredeki tüm detayları tek görüntüde yakalayamamaktadır. Böylece, çevredeki tüm detayların görüntülenemediği, aşırı karanlık veya aşırı aydınlık bölgeler içeren düşük dinamik aralıklı görüntüler oluşmaktadır [1].

İnsan gözü ise yüksek dinamik aralığa sahiptir. Bu sayede çevrede farklı aydınlatma miktarlarına sahip aydınlık ve karanlık bölgeler var olsa dahi çevredeki tüm detayları aynı anda görebilir. Sayısal kameralar ise yüksek dinamik aralığa sahip sahneleri görüntülerken insan gözünün algılayabildiği tüm detayları içeren görüntüler üretemezler. *Şekil G.1*'de görüldüğü üzere ışık farklarının fazla olduğu bir çevre görüntülenirken görüntüde aşırı pozlanmış ve yetersiz pozlanmış alanlar oluşacaktır. *Şekil G.1.(c)* ve *Şekil G.1.(d)*'de verilen görüntülere bakıldığında gökyüzündeki bulutlar detaylı olarak görünürken, *Şekil G.1.(a)*'da ve *Şekil G.1.(b)*'de verilen fazla pozlanmış görüntülerde bu detay neredeyse kaybolmuştur. Benzer şekilde fazla pozlanmış görüntülerde (*Şekil G.1.(a)* ve *Şekil G.1.(b)*) kitaplıktaki detaylar çok iyi görülebilirken az pozlanmış görüntülerde (*Şekil G.1.(c)* ve *Şekil G.1.(d)*) bu detaylar yok olmuştur. Sonuç olarak, sayısal kameraların sınırlı dinamik aralığa sahip olmaları sebebiyle tek bir pozlama değeri ile yüksek dinamik aralığa sahip çevrelerdeki tüm detayları içeren bir görüntüyü elde etmelerinin mümkün olmadığı görülmektedir.



Şekil G.1. Yüksek dinamik aralığa sahip bir sahneye ait farklı değerlerde pozlanmış görüntüler.

Sınırlı dinamik aralık problemi kameraların dinamik aralıklarının genişletilmesiyle çözülebilir. Dinamik aralığın genişletilmesi için literatürde Yüksek Dinamik Aralık (High Dynamic Range, HDR) görüntüleme ve çoklu pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri bulunmaktadır. Dinamik aralığın genişletilmesi için kullanılan yöntemlerden biri olan HDR görüntüleme iki aşamadan oluşur. Bu yöntemde ilk aşamada HDR bir görüntü oluşturulduktan sonra bu görüntü cihazlarda görüntülenebilmek üzere ikinci aşamada Düşük Dinamik Aralıklı (Low Dynamic Range, LDR) görüntüye çevrilir [2]. İlk aşamada öncelikle kameranın pozlama değerleri değiştirilerek her biri kendi içinde olmak üzere sahnenin farklı bir bölgesinin daha fazla ayrıntısını barındıran görüntüler elde edilir [1].

Yüksek dinamik aralığa sahip bir çevrenin tüm detayları içeren görüntüsü, her biri farklı pozlama değerleriyle alınan bir dizi görüntüdeki iyi pozlanmış bölgelerin birleştirilmesiyle elde edilebilir. Bu işlem, çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme olarak adlandırılmaktadır [3]. Çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinde HDR yöntemlerden farklı olarak ton eşleme işlemi yapılmaksızın kaynak görüntülerin iyi pozlanmış bölgeleri taşınarak yüksek dinamik aralığa sahip birleşik görüntü oluşturulur.

Farklı pozlama değerleriyle elde edilen kaynak görüntülerden her birinde farklı aydınlatma değerine sahip bölgelerdeki detaylar belirgindir. Literatürdeki çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri genel olarak, kaynak görüntülerdeki bu iyi pozlanmış, bir başka deyişle, detay içeren bölgelere yüksek ağırlıklar vermek suretiyle birleşik görüntüyü kaynak görüntülerin ağırlıklı ortalaması olarak üretmektedir.

Mevcut çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri, genel olarak, yüksek işlem maliyeti, hareketli sahnelerde hatalı birleşik görüntüler üretme ve görüntülenen çevreye bağımlı olma gibi dezavantajlara sahiptirler. Bu tez kapsamında bu dezavantajlara sahip olmayan yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yönteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yöntemin temel motivasyonu kaynak görüntülerin aydınlatma haritalarının elde edilebilmesi durumunda bu haritalar üzerinden iyi pozlanmış bölgelerin tespit edilebileceği fikridir. Bu sebeple, yöntem görüntüleri aydınlatma ve yansıma katmanlarının çarpımı olarak ifade eden Retineks teorisinden yararlanmaktadır [4].

Tezin Amacı ve Katkıları

Yüksek dinamik aralığa sahip bir sahne görüntülenirken mümkün olan en fazla bilgi ve detayın görüntüye aktarılması beklenir. Fakat sınırlı dinamik aralık problemi, sayısal kameraların görüntüledikleri çevrenin farklı parlaklık değerlerine (aydınlatma) sahip bölgelerindeki detayları tek bir görüntüde yakalamasına mâni olmaktadır. Görüntülerdeki yetersiz pozlanmış ve aşırı pozlanmış bölgeler, aydınlatmanın az ya da fazla olması nedeni ile insan görsel algısına uygun olmayan ve gerekli detayları barındırmayan bölgelerdir. Bu yüzden tüm detayları tek bir görüntüde toplamak için aynı sahnenin farklı pozlama değerleri ile elde edilmiş birden fazla görüntüsünden yararlanmak gerekmektedir. Buradan hareketle, kaynak görüntülerdeki iyi aydınlatılmış bölgelerin tespit edilmesi ve taşınmasıyla yüksek dinamik aralığa sahip görüntüler oluşturulabilir.

Çoklu pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri, ilgilendikleri çevrenin aynı sayısal kameranın farklı pozlama değerleri ile elde edilmiş görüntülerini birleştirerek görüntülenen çevrenin geniş dinamik aralığa sahip bir görüntüsünü elde etmeyi hedeflemektedir.

Land ve McCann [5] tarafından insanların renkleri algılama ve görme olgularını izah etmek için önerilen Retineks teorisi görüntü iyileştirme, kontrast genişletme gibi

alanlarda görüntülerin aydınlatmalarını iyileştirmek için sıklıkla kullanılmaktadır [6]. Önerilen yöntemde amaç, sayısal kameraların dinamik aralıklarını artırmak için Retineks teorisinin çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme sahasındaki potansiyelinin araştırılması ile birlikte yeni ve hızlı bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yönteminin geliştirilmesidir. Ayrıca daha önceden önerilen yöntemlerin eksikliklerini gidermekle birlikte sahnenin orijinal haliyle örtüşmeyen ve doğal olmayan sonuçlar ortaya koyan yaklaşımlardan daha iyi sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın temel amaç ve hedefleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Retineks teorisine dayanan yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi geliştirilmesi,
- Literatürdeki yöntemlerde ortaya çıkan sonuçlardaki eksikliklerin giderilerek daha iyi sonuçlar elde edilmesi,
- Geliştirilen yöntem ve literatürdeki yöntemlerin yine literatürde kullanılan görüntü setleri üzerinde test edilmesi ve karşılaştırılması.

Tezin Organizasyonu

Birinci bölümde tez konusu ile ilgili genel bilgiler sunulmakta, literatürdeki çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri tanıtılmakta ve bu yöntemleri sayısal olarak değerlendirmek için kullanılan kalite metrikleri verilmektedir. İkinci bölümde tez kapsamında üzerinde çalışılan Retineks Teorisi Tabanlı Yeni Bir Çoklu Pozlamalı Görüntü Birleştirme Yöntemi tanıtılarak süreç içinde yapılan çalışmalara yer verilmektedir. Üçüncü bölümde, tez kapsamında geliştirilen yöntem, literatürde yaygın olarak kullanılan kaynak görüntülere uygulanarak sonuçlar mevcut diğer yöntemlerle sayısal, görsel ve işlem zamanı açısından karşılaştırılmaktadır. Dördüncü bölümde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar değerlendirildikten sonra yöntemin geliştirilebilir yönlerine ve önerilere yer verilmektedir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde, öncelikle sınırlı dinamik aralık problemi incelenmektedir. Ardından literatürde yer alan çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmektedir. Son olarak literatürde çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerini değerlendirmek için kullanılan kalite metrikleri sunulmaktadır.

1.1. Sınırlı Dinamik Aralık

Dinamik aralık, görüntülenen çevrenin barındırdığı en parlak ve en karanlık ışık değerleri arasındaki oranı tanımlar [1]. Dinamik aralığı yüksek olan bir çevre, kameranın yakalaması için hem çok parlak hem de çok karanlık alanlara sahiptir. Fakat kamera bu parlak ve karanlık alanların sahip olduğu ayrıntıları aynı anda yakalayamaz. Bu durumda, ya sadece parlak alanların detayları görüntüye aktarılarak karanlık alanlardaki detaylar görüntülenemez ya da karanlık alanlardaki detaylar görüntülenirken parlak alanlardaki detaylar görüntüye taşınamaz [4]. Kameraların yüksek dinamik aralığa sahip olan bir çevrenin bütün detaylarını aynı anda görüntüye aktaramaması sınırlı dinamik alan problemi olarak tanımlanır. Kameraların sınırlı alan derinliği probleminin çözümü için farklı yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler HDR görüntüleme ve çoklu pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleridir.

Literatürdeki HDR görüntüleme yöntemlerine bakıldığında ilk aşamada öncelikle kameranın pozlama değerleri değiştirilerek her biri kendi içinde olmak üzere sahnenin farklı bir bölgesinin daha fazla ayrıntısını barındıran görüntüler elde edilir. Yani her bir farklı pozlama görüntüsü sahnenin belli alanlarının diğer görüntülerde olmayan bir detayını içerir. Böylece görüntülerdeki bu detaylar alınıp birleştirildiğinde fazla ya da az pozlanmış alanlardaki ayrıntıları da içeren yüksek dinamik aralığa sahip olan bir görüntü elde edilmiş olur. Elde edilen görüntüde aşırı veya yetersiz pozlanmış alanlar bulunmaz.

Bunun yerine o bölgelerdeki detaylar görünür hale gelir. Fakat günümüzde kullanılan görüntüleme cihazları elde edilen yüksek dinamik aralığa sahip bu görüntüyü görüntüleyecek özelliklere sahip değildir. Bu yüzden HDR görüntü üzerine ton eşleme tekniği uygulanması gerekir.

İkinci aşama olarak, üretilen HDR görüntünün ton eşleme tekniği ile tüm kontrast değerleri orantılı olarak azaltılarak görüntü düşük dinamik aralığa sahip cihazlarda görüntülenmeye uygun hale getirilir. Literatürde farklı ton eşleme yöntemleri bulunmaktadır [3]. Temelde global ve bölgesel olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Global yöntemlerde hesaplanan fonksiyona göre piksel bazında eşleme yapılır. Bu yöntem basit ve hızlı olsa da çok fazla kontrast kaybına neden olmaktadır. Bölgesel yöntemlerde ise her bir pikselin değeri görüntünün bölgesel değerlerine bağlı olarak eşlenmektedir. Bu yöntem global yöntemden daha karmaşıktır. Ayrıca sonuç görüntüde haleler ve gürültüler meydana gelebileceğinden görüntü gerçekçi görünmez [7]. HDR görüntüleme yöntemleri ilgilenilen çevrenin yüksek dinamik aralıklı bir görüntüsünü üretse de barındırdığı ton eşleme aşaması sebebiyle yüksek hesaplama maliyetine sahiptir.

Dinamik aralığın genişletilmesi, ton eşleme tekniklerinden farklı olarak alternatif bir yöntem olan çoklu pozlamalı görüntü birleştirme tekniği ile de gerçekleştirilebilir [8]. Bu teknikte farklı pozlama değerleri kullanılarak çekilmiş görüntüler, piksel değerleri üzerinde işlemler yapılarak birleştirildikten sonra düşük dinamik aralığa sahip cihazlarda, ton eşleme aşamasına gerek olmaksızın doğrudan görüntülenebilecek bir nihai görüntü elde edilir. Görüntü birleştirme yöntemlerinde ton eşleme aşamasının bulunmaması hesaplama maliyetini ve süresini düşüreceğinden bu yöntemler daha fazla tercih edilir hale gelmektedir [4].

Sonuçta elde edilecek görüntü yapay bir izlenim bırakmamalıdır. Bu yüzden çoklu pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinde kullanılacak görüntüler, ortaya çıkacak görüntüde yapay dokular, nesneler arasında doğal görünmeyen geçişler, o sahnede olmayan detaylar üretmeyecek şekilde birleştirilmelidir.

Dinamik bir sahne görüntülenmek isteniyorsa birleştirilecek görüntüler elde edilirken hayalet etkisi denilen kaymaların meydana gelmesi olasıdır. Bu kaymaların nihai görüntüde giderilmiş olması gerekmekle birlikte tüm bu işlemler yapılırken de hesaplama

maliyetini düşük tutmak çok önemlidir. Bununla birlikte geliştirilecek yöntem neredeyse her şart altında en iyi sonucu verecek şekilde oluşturulmalıdır.

Geliştirilen diğer yöntemlerde çok soluk veya çok doygun, doğal geçişli olmayan, bazı detayların üst üste bindiği, dinamik sahnedeki hareketli nesnelerin yapay dokular oluşturduğu, tutarsızlıkların ve piksel uyuşmazlıklarının olduğu nihai görüntülerin elde edildiği görülmektedir. Literatüre bakıldığında bu eksikliklerin hala tam olarak giderilemediği görülmektedir.

Literatürde bulunan çoklu pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri problemin çözümünü ele alış yöntemine göre farklılık gösterse de izlenilen temel adımlar aşağıdaki gibidir:

- Kaynak görüntülerin elde edilmesi veya hazır bulunan veri setlerinin kaynak görüntü olarak kullanılması,
- Görüntüler üzerinde birtakım işlemler yaptıktan sonra ton eşleme aşaması gerekmeksizin LDR görüntüler elde edilmesi,
- Yöntemin elde edilen sonuç görüntüler üzerindeki etkisinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması için sonuç görüntülere bir veya daha fazla kalite metriği uygulanması.

1.2. Çoklu-Pozlamalı Görüntü Birleştirme Yöntemleri

Literatürdeki çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri genel olarak görüntülerdeki iyi pozlanmış bölgelerin tespit edilip birleşik görüntüye taşınması ilkesi ile hareket etmektedir. Literatürdeki ilk yöntemlerden birinde Mertens vd. [9] piksel seviyesinde çok-ölçekli bir görüntü birleştirme yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde öncelikle kontrast, doygunluk ve iyi-pozlanmışlık metrikleri kullanılarak bir ağırlık haritası oluşturulmaktadır. Daha sonra, çoklu-pozlamalı kaynak görüntüler Laplacian piramidi dönüşümüne tabi tutulmakta ve ağırlık haritasının Gaussian piramidi oluşturularak Laplacian piramidinin her seviyesinde kaynak görüntülere ait katsayılar birleştirilerek birleşik Laplacian dönüşümü elde edilmektedir. Son olarak ters Laplacian dönüşümü ile yüksek dinamik aralığa sahip birleşik görüntü elde edilir. Bu yöntem her ne kadar düşük hesaplama maliyetine sahip olsa da görüntülerdeki detaylar kaybolabilmektedir.

Goshtasby [10], görüntüleri birleştirmek için blok-tabanlı bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde kaynak görüntüler bloklara ayrıldıktan sonra en yüksek entropi değerine sahip

bloklar seçilir. İyi pozlanmış bloklar belirlendikten sonra bu bloklar birleştirilir fakat oluşan görüntüde bloklar arası geçişlerde süreksizlikler oluşmaktadır. Bu yüzden bloklar arası geçişler Gaussian filtresi ile düzgünleştirilerek doğal bir görüntü elde edilmeye çalışılır. Blok tabanlı bu yöntemde hesaplama maliyeti yüksek olduğu için gerçek zamanlı uygulamalarda kullanıma uygun değildir. Yöntemin blok tabanlı yapısı ve sonrasında uygulanan Gaussian filtre sebebiyle de kaynak görüntüde bulunmayan yapay olgular birleşik görüntüde ortaya çıkabilmektedir.

Li ve Kang [11], görüntüdeki durağan ve hareketli nesneleri sorunsuz bir şekilde birleşik görüntüye taşımayı amaçlayan ağırlıklı toplam tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Yöntem iyi pozlanmış bölgeleri belirlemek için bölgesel kontrast ve parlaklık metriklerinden yararlanmaktadır. Parlaklık metriği kaynak görüntülerdeki parlaklık değeri belirli bir eşik değerin altında ya da üzerinde kalan piksellere sırasıyla 0 ve 1 değerleri atanmasıyla belirlenmektedir. Hareketli nesnelerin bulunduğu bir çevrede ise bu metriklere renk farklılığının hesaplandığı bir metrik daha eklenmiştir. Renk farklılığı metriği uygulanırken öncelikle görüntüler üzerine histogram eşitleme uygulanmış, daha sonra bu görüntülere medyan filtre uygulanmıştır. Medyan filtre birden fazla görüntüden orta değeri alacağı için görüntülerde hayalet etkisi oluşmayacaktır. Son olarak elde edilen ağırlık haritasının değerleri arasındaki fark çok keskin olabileceğinden ağırlık haritasına bir kenar korumalı düzleştirme filtresi olan özyinelemeli filtre uygulanır.

Zhang ve Cham [12], görüntüler arasındaki gradyan değişimlerine bakarak durağan ve dinamik sahneler için birleştirme yapan bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde görünürlük ve tutarlılık olmak üzere iki metrik kullanılmıştır. Öncelikle 2 boyutlu Gauss filtresinin yatay ve düşeydeki değişimlerinin birinci dereceden türevini kullanarak görüntünün yatay ve düşeydeki kısmi türevlerini elde edilmiştir. Daha sonra, her pikselin gradyan değeri hesaplanmıştır. Bir pikselin iyi pozlanmışlığı arttıkça gradyan değerinin artacağı presibinden yola çıkılarak öncelikle görünürlük metriği sonrasında ise gradyan değeri kullanılarak ilgili pikselle diğer görüntülerdeki aynı konumda yer alan piksellerin gradyan değerleri ile işlem yapılarak tutarlılık metriği hesaplanmıştır. Bu iki değer kullanılarak ağırlık haritası çıkarıldıktan sonra birleşik görüntü elde edilmiştir. Bu yöntem yüksek hesaplama süresine sahip olması sebebiyle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmaya uygun değildir. Kaynak görüntülerin elde edildiği sürece kameranın sabit kalmamasından kaynaklanan gürültü veya kaymalara karşı tolerans gösterememektedir.

Choi vd. [13] dijital kameralarda gerçek zamanlı olarak kullanılabilecek çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme tekniği ve birleştirme için kullanılacak görüntülerin seçimi için bir algoritma önermişlerdir. Bu yöntemde zero-crossing, değiştirilmiş Laplacian toplamı ve pozlama değiştiğinde pikselin renkliliğini etkilediği için renk doygunluğu metrikleri kullanılmaktadır. Bahsi geçen metrikler tek başlarına iyi pozlanmışlık değerini tam olarak ölçemediğinden üç metrik farklı şekillerde birleştirilerek iki farklı iyi pozlanmışlık metriği: göreceli iyi pozlanmışlık ve mutlak iyi pozlanmışlık elde edilir. Yöntem sadece durağan çevrelerde başarılı sonuçlar üretmektedir. İlgili yayında önerilen çoklu-pozlamalı görüntü seçme algoritmasının olumsuz tarafı ise seçilmeyen bazı görüntülerin seçilenlerden daha fazla ayrıntı içeren bölgelere sahip olabilmesidir. Bir başka deyişle, önerilen algoritma tarafından seçilen görüntülerde çevre hakkındaki tüm detayların bulunduğu garanti edilmemektedir.

Vonikakis vd. [14] parlaklık tahmini tabanlı bir birleştirme tekniği önermişlerdir. Yöntemde öncelikle her bir görüntünün RGB renk kanallarını YCbCr renk uzayına taşınmaktadır. Daha sonra, her bir görüntünün Y bileşenine özyinelemeli filtre uygulanarak düzgünleştirilmiş görüntüler elde edilmiştir. Her bir görüntünün parlaklık tahmini elde edildikten sonra hangi piksellerin birleşik görüntüye taşınacaklarına karar vermek için üyelik fonksiyonu uygulanmıştır. Burada amaç iyi pozlanmış piksellere daha büyük ağırlıklar atarken aşırı veya düşük pozlanmış piksellere ise daha düşük değerler atamaktır. Son olarak ağırlık haritası Y, Cb ve Cr bileşenlerine uygulanır ve elde edilen birleşik bantlar RGB renk uzayına dönüştürülerek yüksek dinamik aralığa sahip birleşik görüntü elde edilir.

Nejati vd. [15] iki ölçekli bir görüntü birleştirme yöntemi önermişlerdir. Öncelikle her bir kaynak görüntünün renk kanallarının ağırlıklı toplamları vasıtasıyla görüntülerin parlaklık bileşeni hesaplanmıştır. Yöntemde görüntüler baz ve detay katmanı olmak üzere iki katmana ayrıştırılmaktadır. İlk olarak, baz katmanını elde etmek için parlaklık bileşenine ortalama filtre uygulanır. Bu filtre uygulandıktan sonra birleşik görüntüde oluşabilecek yapay ışık halkalarını engellemek için, baz katmana kenar korumalı filtre olarak kılavuzlu filtre (Guided Filter, GF) uygulanmıştır. Baz katmanının son hali elde edildikten sonra kaynak görüntülerden baz katman çıkartılarak detay katman elde edilir. Detay katmanının ağırlık haritası çıkarılırken 7×7 boyutunda pencere içerisindeki piksellerin ortalama parlaklık değeri kullanılmaktadır. Baz katmanının ağırlık haritasının

belirlenmesi için her bir piksel için iyi pozlanmışlık fonksiyonu kullanılmıştır. Son olarak, baz ve detay katmanlar kendi ağırlık haritalarıyla çarpılıp birbirleriyle toplanmış ve birleşik görüntü elde edilmiştir.

Ma vd. [16] SSIM metriği tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde kaynak görüntüler birbiri üzerine gelebilen bloklara bölünür ve her bir blok üç bileşene ayrılır: sinyal gücü, sinyal yapısı ve ortalama yoğunluk. Yazarlara göre bölgesel blok yapısının görünürlüğü bölgesel kontrasta, bölgesel kontrast ise sinyal gücüne bağlıdır. Genellikle yüksek kontrast daha iyi görünürlük anlamına geldiğinden girdi görüntülerden elde edilen bloklar incelenmiş ve içlerinde en yüksek kontrasta sahip olanın en iyi görünürlüğe sahip olduğu ifade edilmiştir. Sinyal gücü metriği, en yüksek sinyal gücüne sahip bloğun sinyal gücü değeri alınarak elde edilmiştir. İstenen bir başka özellik ise bloğun yapısının bütün girdi görüntülerin yapısını en iyi şekilde sunması olduğundan bu durum sinyal yapısı metriği ile ifade edilmiştir. Bu hesaplama yapılırken birleşik görüntüdeki bloğun yapısında girdi görüntülerden alınan her bir bloğun katkısını ölçen bir ağırlıklandırma fonksiyonu ile gerçekleştirilir. Yöntemde RGB renk kanalları üzerinde ayrı ayrı işlem yapıldığı için renk bilgisi birleşik görüntüye uygun olarak aktarılamayabilir. Bu durumu düzeltmek için kaynak görüntülerin global ortalama değerlerini ve blokların bölgesel ortalama değerlerini girdi olarak alan bir ağırlıklandırma fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon bloğun iyi pozlanmışlık değerini ölçmektedir. Eğer blok aşırı veya düşük pozlanmışsa bloğun iyi pozlanmışlık değerini düşürmektedir. Son olarak sinyal gücü ve sinyal yapısı metrikleri sonucunda elde edilen vektörler birbirleriyle çarpılıp ortalama yoğunluk metriği sonucu elde edilen vektör ile toplandığında birleştirilmiş blok elde edilir. Bu yöntem yüksek işlem maliyeti nedeni ile gerçek zamanlı uygulamalarda kullanıma uygun değildir. Ayrıca yöntemin yapısı gereği ön ve arka plan arasındaki dinamik aralığın çok yüksek olduğu çevrelerde görüntü birleştirme işlemi yapılırken keskin kenarlar etrafında yapay halkaların ortaya çıkmasının muhtemel olduğu görülmüştür.

Hayat ve Imran [17] bölgesel kontrast, renk benzeşmezliği ve parlaklık metrikleri kullanarak bir ağırlık haritası oluşturmuşlardır. Bölgesel kontrastı hesaplamak için ölçek bağımsız öznitelik dönüşümü (scale-invariant feature transform, SIFT) temelli bir yöntem geliştirilmiştir. Normalde SIFT yaklaşımı Gauss Farkı (Difference of Gaussian, DoG) kullandıktan sonra Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı (Histogram of Oriented

Gradients , HoG) kullanarak ilgilenilen alanları saptar. Önerilen yoğun SIFT yaklaşımında ise ilgilenilen alanları saptama adımı yoktur, pikselin etrafındaki alan hücrelere bölündükten sonra histogramdaki bar sayısı ile HoG kullanılarak her bir hücredeki gradyan detayları kullanılır. Yoğun SIFT yaklaşımı ile lokal kontrast metriği elde edildikten sonra parlaklık metriği hesaplanır. Piksel değeri 0.1 ve 0.9 arasında olan bütün değerler iyi pozlanmış piksel kabul edilerek parlaklık değeri 1 alınır. Eğer bu sınırlar dışındaysa parlaklık değeri 0 kabul edilir. Renk benzeşmezliği histogram eşitleme ve medyan filtre yardımıyla girdi görüntüler ve sabit arka plan pikselleri karşılaştırılarak hesaplanır. Her bir girdi görüntüye histogram eşitleme uygulanarak görüntülerin renk dağılımı değiştirilir. Sonrasında görüntülere medyan filtre uygulanarak sabit arka plana sahip görüntüler oluşturulur. Bu görüntüler referans görüntü olarak kullanılır. Elde edilen referans görüntüler ile girdi görüntüler arasındaki renk benzeşmezlikleri tespit edilerek hareket eden objeleri içeren pikseller böylece belirlenir. Belirlenen objeyi ortadan kaldırmak için nesnenin olduğu alana genişletme (dilation) ve aşındırma (erosion) morfolojik işlemleri uygulanır. Bu işlemler sırasıyla, nesnelerin kenarlarına piksel ekleme ve nesnelerin kenarlarındaki pikselleri ortadan kaldırma işlemleri olarak tanımlanabilir. Hesaplanan üç metrik sonucu elde edilen haritalar piksel bazında çarpılarak son ağırlık haritası elde edilir. Bu ağırlık haritası kesintiler ve gürültüler içerdiği için birleştirme işleminden önce kenar korumalı filtre olarak Hızlı Kılavuzlu Filtre uygulanarak optimize edilir ve daha sonra normalize edilir. Yapay dokular ve bulanıklıklar içermeyen daha iyi bir sonuç görüntü elde edebilmek için ağırlık haritası uygulanmış görüntüler Piramit Ayrıştırma (Pyramid Decomposition) yöntemi ile birleştirilir ve sonuç görüntü oluşur.

Lee vd. [18] diğer yaklaşımlardan farklı olarak tek bir ağırlık haritası çıkarmak yerine girdi görüntünün özelliklerine ve pozlama durumuna göre uyarlanabilir iki farklı ağırlık haritasının birleşiminden tek bir ağırlık haritası elde ettikleri bir yöntem önermişlerdir. İlk ağırlık haritası pikselin ne kadar iyi pozlandığı ve kullanılabilir olduğunu temsil etmektedir. Yani pikselin bütün girdi görüntülerdeki parlaklık değerleri baz alınarak hesaplanan bir puanlamasıdır. Puanlama, fazla pozlanmış görüntüdeki parlak alanlardaki pikselin puanı az, az pozlanmış görüntüde ise parlak alanlardaki pikselin puanı fazla olacak şekilde belirlenmiştir. Bu harita piksel yoğunluğu belirlenerek oluşturulur. Değer belirlenirken parlaklığı fazla olan görüntüdeki karanlık alanda yer alan piksellerin diğer piksellere göre daha fazla ayrıntı barındırdığı için puanı fazla verilirken tam tersi durum

için de az puan verilmiştir. İkinci ağırlık haritası ise piksellerin önemini belirtmektedir. Yüksek kontrastlı bölgelere fazla ağırlık vermek yerine bu metrik hesaplanırken lokal kontrasta bakılmaksızın ağırlık haritası çıkarılmaktadır. Görüntü setinin çıkarılan kümülatif histogramı incelendiğinde önemli piksellerin iyi pozlanmış alanlarda olduğu görülerek daha küçük gradyanlı histogram aralığında olan piksellere yüksek değerler verilmiştir. Son aşamada bu iki ağırlık haritası piksel bazında çarpılarak görüntülere uygulandıktan sonra nihai görüntü elde edilir.

Qin vd. [19] önerdikleri yöntemde normal pozlama değerlerine sahip görüntü referans olarak seçilmiştir. Belirlenen referans görüntüden seçilen bloklar farklı pozlama değerlerine sahip diğer görüntülerde aynı bölgeyi gösteren bloklara benzerliğe bakılarak eşleştirilir ve rastgele yürüyüş (random walk) algoritması kullanılarak birleştirilip optimize edilir. Bu işlem referans görüntüdeki bütün bloklar diğer görüntülerdeki bloklarla eşleşene kadar devam eder. İlgili iki bloğun karşılaştırılması için renk ve ölçekleme, öteleme ve döndürme gibi geometrik bilgileri göz önünde tutan yeni bir benzerlik ölçütü kullanılmıştır. Seçilen iki blok eşleştikten sonra daha önceden hesaplanmış olan bir ağırlık çarpanı kullanılarak birleştirilir. Burada kritik nokta bloklarbirleştirilirken her birine uygulanan ağırlık çarpanının doğru hesaplanmasıdır çünkü sonuç görüntüyü etkilemektedir. Bütün bloklar için bahsi geçen işlemler gerçekleştirildikten sonra bloklar bir araya getirilerek sonuç görüntü elde edilmektedir.

Ulucan vd. [20] önerdikleri yöntemde üç görüntüden oluşan girdi görüntülerden doğrusal gömülü ağırlıklar ve watershed algoritması ile maskeler elde edilmiştir. Daha sonra bu maske ve ağırlık haritaları birleştirilerek birleşik görüntünün elde edilmesinde kullanılacak olan birleştirme maskeleri oluşturulur. Ağırlık haritasını oluşturmak için üç görüntüden seçilen parçaların gömülü ağırlıkları kullanılarak haritalar oluşturulur ve bu haritalar birleştirilir. Bu ağırlık haritaları normalize edildikten sonra kenar korumalı filtre kullanılarak düzgünleştirilir. Görüntülerdeki doku ve renk geçişlerini çıkarabilmek için kullanılacak olan watershed maskeleme aşamasında görüntüler gri seviyeye çevrilir. Bu görüntüler üstünde önce aşındırma (erosion) sonra genişletme (dilation) morfolojik işlemleri uygulanarak maskeler elde edilir. Daha sonra elde edilen maskeler ve haritalar piksel bazında çarpılarak kullanılacak küresel ağırlık haritaları üç görüntünün her biri için oluşturulmuş olur. Son olarak her bir küresel ağırlık haritası elde edildiği görüntü ile çarpılarak ve sonuçlar birbirleriyle birleştirilerek sonuç görüntü elde edilmiş olur.

1.3. Kalite Metrikleri

Bu bölümde çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin başarımlarını sayısal olarak değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş ve literatürde sıkça kullanılan görüntü kalite metrikleri olan SSIM ve FMI metrikleri tanıtılmaktadır [21]. Tanıtılan metrikler bu tez çalışmasında da çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme metriklerinin objektif olarak karşılaştırılması amacıyla kullanılmaktadır.

Ma vd. [22], temel olarak görüntülerden seçilen parçaların birbiri ile tutarlılığını ölçerek 0 ve 1 arasında puanlama yapan ve yapısal benzerlik metriğini baz alan [23] bir kalite metriği geliştirmişlerdir. Yapısal benzerlik hesaplanırken her kaynak görüntülerden seçilen her bir parça parlaklık, kontrast ve yapı olmak üzere üç bileşene ayrılarak incelenir. Kontrast ve görünürlük doğru orantılı olduğundan bütün parçalar içindeki en yüksek kontrast değerine sahip parça ideal olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra girdi görüntülerden elde edilen her bir parçanın sonuç görüntüye ne kadar etkisi olduğunun bir ağırlık değeri belirlenir. Bu iki değer vektörel olarak çarpıldıktan sonra elde edilen değer ($\hat{x}$) bölgesel görüntü kalitesinin belirlenmesi için Denklem 1.1'de verilen geleneksel yapısal benzerlik metriği denkleminde kullanılır. Elde edilen sonuç her bir parçanın niteliğinin puanlamasıdır. Görüntüde bulunan bütün parçaların puanları toplandıktan sonra ortalaması alınarak görüntü için hesaplanan yapısal kalite metriği elde edilir.

$$S(\{x_k\}, y) = \frac{2\sigma_{\hat{x}y} + C}{\sigma_{\hat{x}}^2 + \sigma_y^2 + C}, \tag{1.1}$$

burada x ve y seçilen parçalar olmak üzere $\sigma_{\hat{x}}^2$, σ_y^2 ve $\sigma_{\hat{x}y}$ sırasıyla $\hat{x}$, y ve $\hat{x}$ ile y arasındaki lokal varyans değeridir. C ise pozitif bir sabit değerdir.

Haghighat ve Razian [19], görüntülerdeki benzerlikleri tespit etmek amacıyla görüntülerin barındırdığı ortak bilgilerden yararlanmışlardır. Yöntemde öncelikle girdi ve birleşik görüntülerin sahip olduğu detaylar gradyan metodu kullanılarak çıkarılır. Daha sonra Birleşik Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (Joint Probability Density Functions, JPDF) bulunur. Normal Görüntü Özelliği Ortak Bilgisi (Feature Mutual Information, FMI) metodunda kullanılan pencere boyutundan daha küçük bir boyutta oluşturulan pencere girdi ve birleşik görüntüler üzerinde gezdirilerek aralarındaki bölgesel ortak

bilgileri hesaplar ve ortalamalarını alarak normalize eder. JPDF yardımıyla girdi görüntülerde oluşturulan her bir pencerenin entropisi hesaplanır. Girdi görüntüler için hesaplanan ortak bilgi metriği ve entropiler kullanılarak birleşik görüntüyle aralarındaki ortak bilgi metriği her bir görüntü için ayrı ayrı tekrar hesaplanır. İki metrik sonucunun ortalaması kaynak görüntüden birleşik görüntüye aktarılan bilgi miktarı olarak kabul edilir. Denklem 1.2'de FMI metriği verilmiştir.

$$FMI_F^{AB} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{I_i(A;F)}{H_i(A)+H_i(F)} + \frac{I_i(B;F)}{H_i(B)+H_i(F)}\right), \tag{1.2}$$

burada n seçilen blok sayısı olmak üzere, $I_i(A;F)$ ve $I_i(B;F)$ sırasıyla A ve B kaynak görüntülerden seçilen karşılıklı blokların birleşik görüntüyle aralarındaki bölgesel ortak bilgiyi ifade etmektedir. $H_i(A)$, $H_i(B)$ ve $H_i(F)$ sırayla A, B ve F birleşik görüntülerinin karşılık gelen bloklarında hesaplanan entropidir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

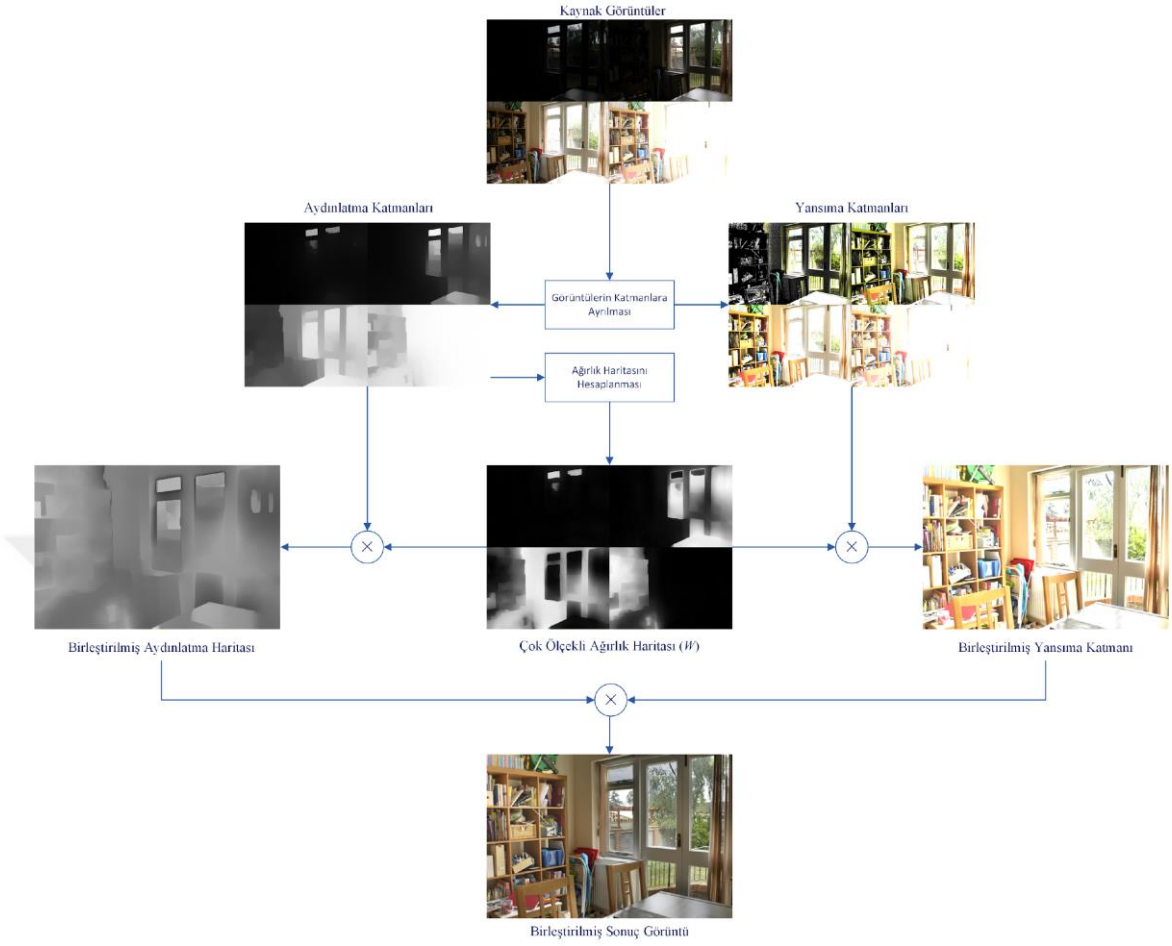
Bu bölümde öncelikle tez çalışmasında önerilen yöntemin temeli aldığı Retineks teorisi açıklanmakta, ardından Retineks teorisi tabanlı yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi sunulmaktadır.

2.1. Retineks Teorisi Tabanlı Çoklu Pozlamalı Görüntü Birleştirme Yöntemi

Tez kapsamında sayısal kameraların sınırlı dinamik aralıklarını artırmak için yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntemde ilk olarak tüm kaynak görüntüler Retineks teorisi temel alınarak aydınlatma ve yansıma katmanlarına ayrılmaktadır. Ardından aydınlatma katmanı üzerinde görüntülerdeki iyi pozlanmış bölgeleri gösteren ağırlık haritası hesaplanmaktadır. Ağırlık haritasından yararlanarak birleşik aydınlatma ve yansıma katmanları üretilmektedir. Son olarak, birleşik aydınlatma ve yansıma katmanları bir araya getirilerek dinamik aralığı artırılmış birleşik görüntü elde edilmektedir. *Şekil 2.1*, önerilen yöntemin genel akış şemasını göstermektedir.

2.1.1. Retineks Teorisi

Retineks teorisi, Edwin Land tarafından 1977 yılında insanların renkleri nasıl algıladıklarını izah etmek üzere önerilmiştir. Retineks teorisi temelde insanların farklı ortam ışığı ve aydınlatma altında dahi renkleri nasıl tutarlı bir şekilde algıladıklarını açıklamayı amaçlamaktadır [25]. Teoriye ismini veren Retineks kelimesi, Land tarafından görme eyleminin göz ve beynin koordinasyonu ile gerçekleştiğini vurgulamak için Retina ve Korteks kelimelerinin birleştirilmesi ile türetilmiştir.



Şekil 2.1. Önerilen yöntemin genel akış şeması.

Land, Retineks teorisini açıklarken renk sabitliği (color consistency) kavramından yararlanmaktadır. Renk sabitliği, aydınlatmada farklılıklara neden olan farklı ışık kaynaklarına rağmen renkleri tutarlı bir şekilde algılama yeteneği olarak tanımlanmaktadır [25]. Örneğin, bir odayı sarı, kırmızı veya beyaz renkteki ortam ışığı aydınlatıyor olsa da pencerelerden gelen güneşli bir sabaha veya gün batımına ait ışıklar aydınlatıyor olsa da masa üzerinde duran yeşil bir elma her zaman yeşil olarak görünecektir. Buradan hareketle, ortam ışığının renklerin görünümünü nesnel olarak değiştirdiği ancak beynin renkleri sabit tutmak için bu farklılıkları yorumladığı ve filtrelediği sonucuna varılabilir.

Retineks teorisine göre görüntüler, aydınlatma ve yansıma katmanlarından oluşmaktadır. Buna göre, (x, y) bir pikselin sırasıyla yatay ve düşey koordinatları olmak üzere bir $I(x, y)$ görüntüsü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$I(x, y) = L(x, y) \cdot R(x, y), \tag{2.1}$$

burada $L(x, y)$, $I(x, y)$ görüntüsünün aydınlatma (illumination) katmanını ve $R(x, y)$ ise aynı görüntünün yansıma (reflection) katmanını temsil etmektedir. Takip eden bölümlerde Retineks teorisinden yararlanan yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi tanıtılmaktadır.

2.1.2. Kaynak Görüntülerin Aydınlatma ve Yansıma Katmanlarının Elde edilmesi

Literatürdeki çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerden bazıları kaynak görüntülerdeki iyi pozlanmış bölgeleri doğrudan piksel değerlerini kullanarak bazıları ise kaynak görüntüyü belirli yöntemlerle katmanlarına ayırarak tespit etmekte ve sonrasında birleştirmektedir. Önerilen yöntemde kaynak görüntüler, öncelikle, Retineks teorisine dayalı olarak aydınlatma ve yansıma katmanlarına ayrılmakta, ardından bu katmanlardan yararlanılarak görüntülerdeki iyi pozlanmış pikseller belirlendikten sonra birleştirilmektedir.

Retineks teorisine göre her görüntü aydınlatma ve yansıma katmanlarından oluşmaktadır. Bu noktada kaynak görüntülerin aydınlatma ve yansıma katmanlarının uygun bir şekilde belirlenmesi önem kazanmaktadır [26].Literatürde aydınlatma katmanın elde edilmesi için farklı yöntemler bulunmakla beraber en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi görüntüdeki her piksel için kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarından en yüksek parlaklık değerinin seçilmesidir [27]. Buna göre görüntüdeki her piksel konumu için kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarındaki parlaklık değerleri alınır ve bunlar arasından en büyük olan değer aydınlatma katmanının ilgili piksel konumundaki değeri olarak atanır. Önerilen yöntemde her bir kaynak görüntü için aydınlatma katmanı Denklem 2.2'de verildiği şekilde ayrı ayrı oluşturulur:

$$L'(x,y) = I_c(x,y),\ \forall c\epsilon\{r,g,b\}, \tag{2.2}$$

burada $L'(x, y)$ başlangıç aydınlatma katmanını; c, RGB uzayındaki renk kanallarını; $I_c(x,y)$, c renk kanalının (x, y) koordinatlarındaki parlaklık değerini ifade etmektedir. Başlangıç aydınlatma katmanın her bir piksel değerini en büyük parlaklık değerine sahip renk kanalını kullanarak belirlenmesinin sebebi, Denklem (2.1)'e göre, daha küçük aydınlatma değerlerinin yansıma katmanının renk kanallarını renk gamının dışına çıkartması riskine sahip olmasıdır.

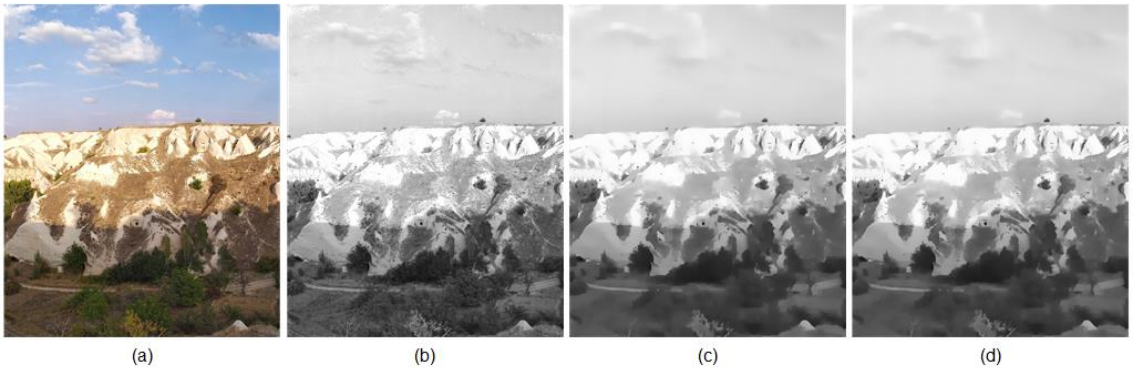
Elde edilen başlangıç aydınlatma katmanı görüntünün genel aydınlatma dağılımını kabaca tasvir etse de aydınlatmadan kaynaklanan süreksizlikler dışında da ayrıntılar ve dokular içerir. Aydınlatma katmanını daha doğal hale getirerek iyileştirmek için başlangıç aydınlatma katmanı bir kenar korumalı düzgünleştirme filtresi (edge preserving smoothing filter) ile filtrelenebilir. Kenar korumalı düzgünleştirme filtreleme görüntüdeki keskin kenarları korurken gürültüyü veya dokuları düzelten bir görüntü işleme tekniğidir. Önerilen yöntemde, başlangıç aydınlatma haritası takip eden denklemde verildiği gibi bir kenar korumalı düzgünleştirme filtresi ile filtrelenerek nihai aydınlatma katmanı elde edilir:

$$L(x,y) = L'(x,y) \otimes h, \tag{2.3}$$

burada $L(x, y)$, elde edilen nihai aydınlatma katmanını; $L'(x, y)$, başlangıç aydınlatma katmanını, h ise kenar korumalı düzleştirme filtresini temsil etmektedir. Önerilen yöntemde elde edilen ilk aydınlatma katmanına bir kenar korumalı düzgünleştirme filtresi uygulanmasındaki temel amaç; aydınlatma katmanında aydınlatmadan kaynaklanan süreksizliklerin, bir başka deyişle, kenarların dışında görüntüdeki nesnelerin dokularından kaynaklanan küçük süreksizliklerin düzgünleştirilmesi böylece yalnızca görüntüdeki aydınlatma farklılıklarını gösteren bir aydınlatma katmanının elde edilmesidir.

Literatürde uygulandığı görüntüdeki keskin kenarları korurken gürültü veya dokuları düzelten çok sayıda kenar korumalı düzleştirme filtresi bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında yaygın olarak kullanılan Bilateral filtre ve Göreli Toplam Varyasyon (Relative Total Variation, RTV) filtrelerinin etkisi araştırılmıştır. *Şekil 2.2*, örnek bir görüntünün başlangıç aydınlatma haritasını ve bu haritanın Bilateral ve RTV kenar

korumalı düzleştirme filtreleri ile düzleştirilmesini göstermektedir [28]. Şekilden görüleceği üzere düzgünleştirilmiş aydınlatma haritaları aydınlatma değişiminden kaynaklanmayan detayları ve dokuları içermediği için iyi pozlanmış bölgelerin bulunmasında daha faydalı olacaktır. Yapılan çalışmalarda RTV filtresinin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve önerilen yöntemde başlangıç aydınlatma haritaları RTV filtresi kullanılarak filtrelemiştir [28].



Şekil 2.2. Aydınlatma haritasının üretilmesi (a) orijinal görüntü (b) başlangıç aydınlatma haritası (c) ve (d) sırasıyla Bilateral filtre ve RTV yöntemleri ile düzleştirilmiş aydınlatma haritaları.

Kaynak görüntülerin aydınlatma katmanları elde edildikten sonra yansıma katmanı, Denklem 2.1'de görüleceği gibi kaynak görüntünün, aydınlatma katmanına bölünmesi ile elde edilir.

2.1.3. Görüntülerdeki İyi Pozlanmış Bölgelerin Tespit Edilmesi

Bir sonraki aşamada kaynak görüntülerden üretilen aydınlatma katmanları kullanılarak kaynak görüntülerdeki iyi pozlanmış bölgeler tespit edilir. Bu amaçla, her bir kaynak görüntü için çok ölçekli bir ağırlık haritası üretilir. Her görüntünün ağırlık haritası o görüntüdeki piksellerin birleşik görüntüye hangi ağırlık değeri ile taşınacağını gösteren bir matristir.

Literatürdeki temel çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri [9, 15] birleştirme haritasını kaynak görüntülerin parlaklık, doygunluk (saturation) ve kontrast değerlerinin bir fonksiyonu olarak oluşturmaktadır. Önerilen yöntemde görüntülerden elde edilen iyi pozlanmışlık ve kontrast metrikleri kullanılarak bu ağırlıklar belirlenmektedir.

Elde edilmesi hedeflenen yüksek dinamik aralığa sahip birleşik görüntünün aydınlatma haritasının, kaynak görüntülerin aydınlatma haritalarına nazaran daha yüksek genel parlaklığa ve daha yüksek kontrasta sahip olması, ayrıca kaynak görüntülerin aydınlatma haritalarındaki doğal görünümü koruması beklenir. Bu prensibe uygun olarak kaynak görüntülerin aydınlatma haritalarındaki her bir pikselin ağırlığını hesaplamakta kullanılacak kalite metriklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Önerilen yöntemde çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme uygulamalarında sıkça kullanılan bir kalite metriği olan iyi pozlanmışlık (well-exposedness) metriği kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. İyi pozlanmışlık metriği görüntüdeki her bir pikselin ne kadar iyi pozlandığının bir göstergesidir [9]. Bir görüntünün piksel parlaklık değerlerinin 0-1 aralığında olduğu varsayılarak piksel değerleri sıfıra ne kadar yakınsa bu pikselin yetersiz pozlandığı, bire ne kadar yakınsa ilgili pikselin aşırı pozlanmış olduğu çıkarımına varılabilir. Buradan hareketle, iyi pozlanmışlık metriği (WE) aydınlatma katmanındaki bir pikselin iyi pozlanıp pozlanmadığını takip eden denklem ile hesaplamaktadır:

$$WE(x,y) = exp\left(-\frac{(L(x,y)-0{,}5)^2}{2\sigma^2}\right). \tag{2.4}$$

Tez kapsamında geliştirilen yöntemde Denklem 2.4'teki σ değeri 0,2 olarak seçilmiştir.

Bir görüntünün iyi pozlanmış olduğunun bir diğer göstergesi de geniş kontrasta sahip olmasıdır. Kontrast, görüntülenen sahnedeki bir nesneyi ayırt edilebilir kılan parlaklık veya renk farkı olarak tanımlanmaktadır. Önerilen yöntemde aydınlatma katmanın kontrastı takip eden denklemle hesaplanmaktadır:

$$C'(x,y) = L(x,y) \otimes f, \tag{2.5}$$

burada f görüntüye uygulanan Laplacian filtresini temsil etmektedir. Önerilen yöntemde takip eden denklemde verilen Laplacian filtresi kullanılmıştır:

$$f = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

Kontrast hesaplanırken aydınlatma haritasında var olabilen yüksek farklılıktaki piksel geçişlerinin, görüntüleri birleştirirken yapay detaylar ortaya çıkarmaması için kontrast haritasına kenar korumalı düzgünleştirme filtresi uygulanır:

$$C = C'(x, y) \otimes h, \tag{2.7}$$

burada h, daha önce aydınlatma haritası elde edilirken de kullanılan RTV kenar korumalı düzleştirme filtresini temsil etmektedir.

Son olarak kaynak görüntülerdeki her bir pikselin ne kadar iyi pozlanmış olduğunu gösteren ağırlık haritası, iyi pozlanmışlık ve kontrast metriklerinin Denklem 2.8'de verildiği gibi beraber değerlendirilmesi ile elde edilmektedir:

$$W_k(x, y) = WE_k((x, y)) \times C_k((x, y)), \tag{2.8}$$

burada W_k, k. görüntüye ait ağırlık haritasını temsil etmektedir..

2.1.4. Birleşik Görüntünün Üretilmesi

Önerilen yöntemin son aşamasında kaynak görüntülerin aydınlatma katmanları kullanılarak her bir görüntü için elde edilen ağırlık haritaları yardımıyla birleşik görüntü üretilir. Bu amaçla, öncelikle ağırlıklandırılmış aydınlatma katmanı ve birleşik yansıma katmanı takip edilen denklemlerde verildiği gibi ayrı ayrı elde edilir:

$$L^F(x, y) = \sum_{k=1}^{N} W_k(x, y) L_k(x, y) \tag{2.9}$$

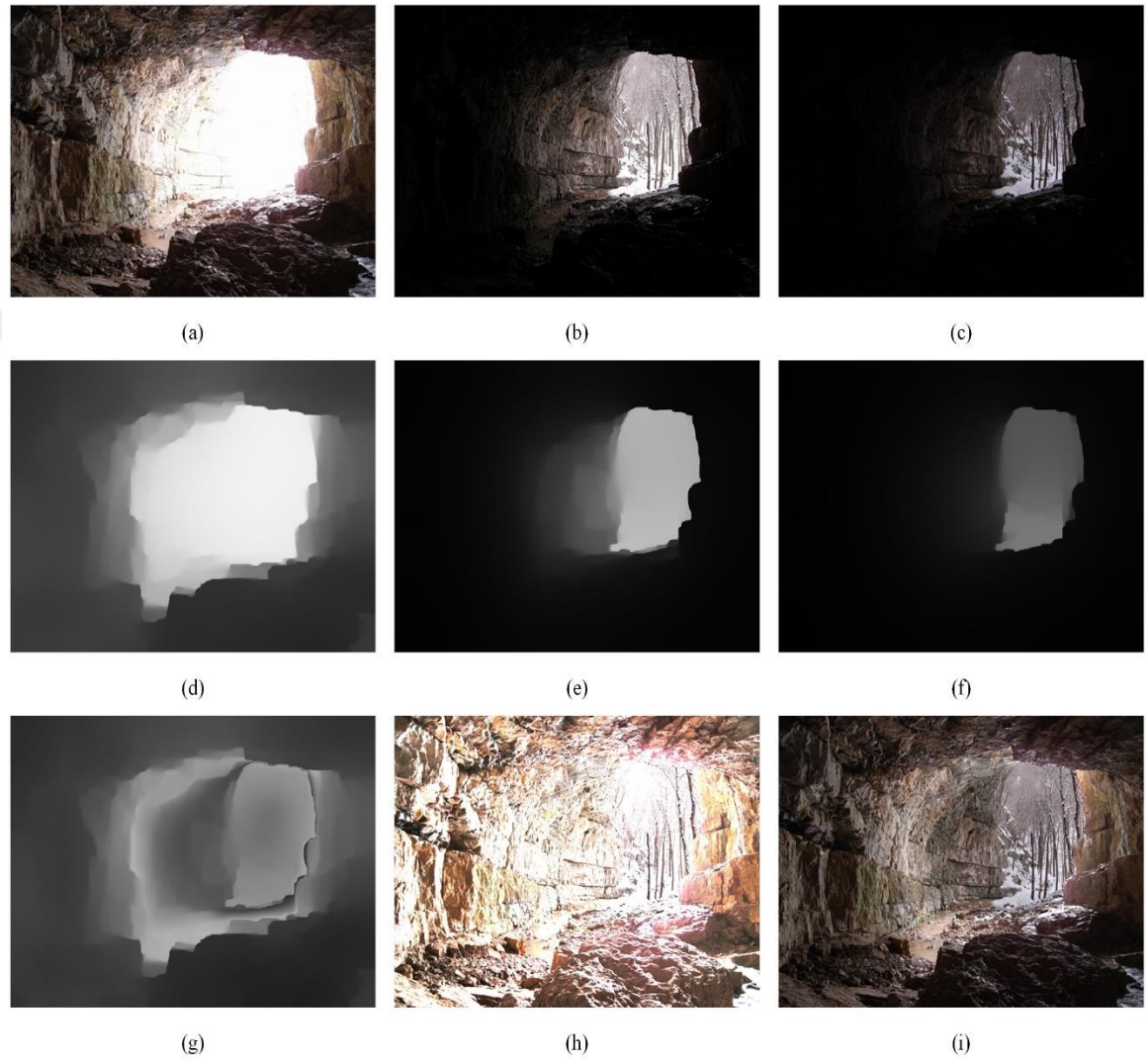
$$R^F(x, y) = \sum_{k=1}^{N} W_k(x, y) R_k(x, y) \tag{2.10}$$

burada L^F ve R^F sırasıyla birleşik aydınlatma ve yansıma katmanlarını temsil etmektedir.

Son olarak, dinamik aralığı genişletilmiş birleşik görüntü (I^F), Denklem 2.11'de verildiği gibi birleşik aydınlatma katmanının birleşik yansıma katmanı ile piksel çarpımı ile üretilir:

$$I^F(x, y) = L^F(x, y) R^F(x, y), \tag{2.11}$$

Şekil 2.3 önerilen Retineks teorisi tabanlı çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yönteminin örnek bir görüntü seti üzerindeki sonuçlarını adım adım göstermektedir.



Şekil 2.3. Retineks teorisi tabanlı çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi çalışma sonuçları (a-c) kaynak görüntüler (d-f) sırasıyla (a), (b) ve (c) görüntülerinin aydınlatma haritaları (g) birleşik aydınlatma haritası (h) birleşik yansıma görüntüsü (i) birleşik görüntü.

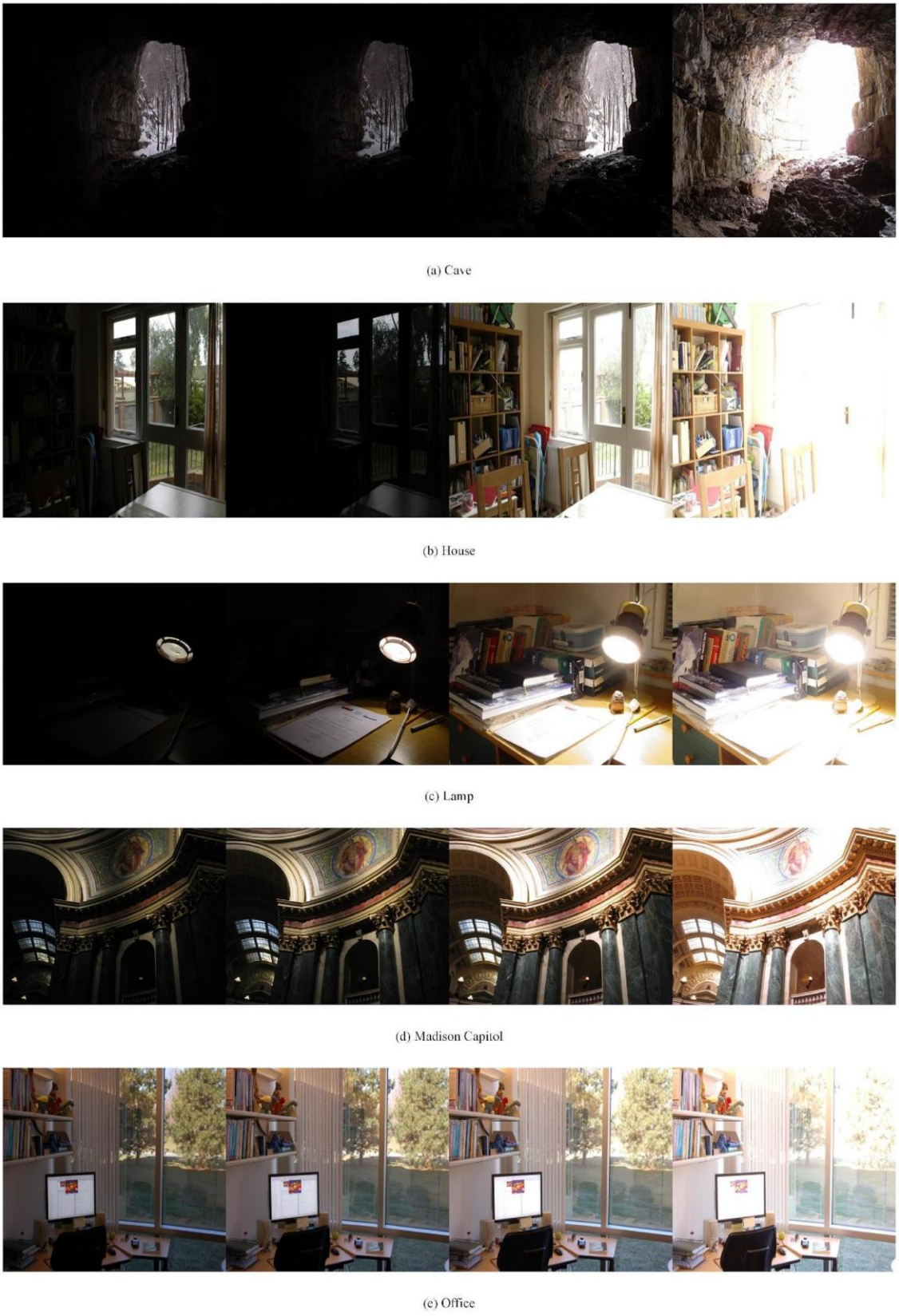
3. BÖLÜM

DENEYLER VE BULGULAR

Bu bölümde önerilen Retineks teorisi tabanlı çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yönteminin başarımını araştırmak için yapılan deneyler ve elde edilen bulgular verilmektedir. Bu amaçla öncelikle deneylerde kullanılan görüntü setleri tanıtılmıştır. Ardından önerilen yöntemde kullanılan kıstas fonksiyonları için yapılan deneylerin sonuçlarına yer verilmiştir. Sonrasında önerilen yöntemin çoklu-pozlamalı görüntüleri birleştirme performansı, literatürde iyi bilinen yöntemlerle görsel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Son olarak önerilen yöntem, literatürdeki yöntemlerle işlem zamanı açısından karşılaştırılmıştır.

3.1. Deneylerde Kullanılan Görüntü Setleri

Tez çalışması kapsamında literatürde yaygın olarak kullanılan on çoklu-pozlamalı görüntü seti kullanılmıştır. Kullanılan görüntü setleri farklı pozlama değerlerine sahip üç veya dört görüntüden oluşmaktadır. Kullanılan görüntü setleri, görüntü setlerinde bulunan görüntülerin boyutları ve ilgili görüntü setinin kaç görüntü içerdiği *Tablo 3.1*'de verilmektedir. *Şekil 3.1* ve *Şekil 3.2*, sırasıyla üç ve dört kaynak görüntü içeren görüntü setlerini göstermektedir. Şekillerden de görüleceği üzere kapsamlı bir karşılaştırma yapabilmek için iç ve dış mekanlarda, doğal veya doğal olmayan fazlaca detay içeren görüntüler seçilmiştir. Görüntülerin ağaçlar, gökyüzü, lambalar, gölgeler, nesneler üzerindeki parlamalar gibi doğal ve yapay detaylara sahip sahneleri içermesi önerilen yöntemin, sahnenin özelliği ne olursa olsun başarılı bir görüntü performansı sergileyip sergileyemediğinin görülmesi açısından önem taşımaktadır.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan dört görüntü içeren görüntü setleri: (a) Cave, (b) House, (c) Lamp, (d) Madison Capitol ve (e) Office.



(a) Farmhouse



(b) Lighthouse



(c) Room



(d) Set



(e) Window

Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan üç görüntü içeren görüntü setleri: (a) Farmhouse, (b) Lighthouse, (c) Room, (d) Set ve (e) Window.

Tablo 3.1. Önerilen Yöntemde Kullanılan Görüntü Setleri ve Referansları

Veri Seti Adı	Boyut	Görüntü Sayısı	Kaynak
Cave	512×384	4	M. E. Erb [29]
Farmhouse	512×341	3	HDR Projects [30]
House	512×340	4	Tom Mertens [9]
Lamp	512×384	4	Martin Cadik [31]
Lighthouse	512×341	3	HDRsoft [32]
Office	512×340	4	MATLAB [33]
Room	512×341	3	Pangeasoft [34]
Set	512×341	3	Jianbing Shen [35]
Window	512×384	3	Hvdwolf [36]
Madison Capitol	512×384	4	Chaman Singh Verma [37]

3.2. Deneysel Sonuçlar ve Karşılaştırma

3.2.1. Önerilen yöntemde kullanılan kıstas fonksiyonlarının belirlenmesi

Çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin temel amacı kaynak görüntülerdeki iyi pozlanmış bölgelerin tespit edilmesi ve birleşik görüntüye taşınmasıdır. Literatürde görüntülerdeki iyi pozlanmış bölgelerin tespit edilmesi ile ilgili çok sayıda kıstas fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen yöntemde kullanılan kıstas fonksiyonlarının belirlenmesi için farklı kıstas fonksiyonları denenmiştir. Tablo 3.2, ağırlık haritası oluştururken kullanılabilecek metriklerin seçimi için, tezde kullanılan on görüntü seti üzerinde farklı kombinasyonlar denenerek elde edilen görüntülerin SSIM ve FMI kalite metrikleri ile hesaplanarak elde edilen puanların her bir metrik kombinasyonu için ortalamalarını göstermektedir. Sonuç olarak iyi pozlanmışlık ve kontrast metriklerinin en iyi sonucu verdiği görülmektedir.

Tablo 3.2. Önerilen Yöntemde Kullanılabilecek Metriklerin Kalite Metrik Sonuçları

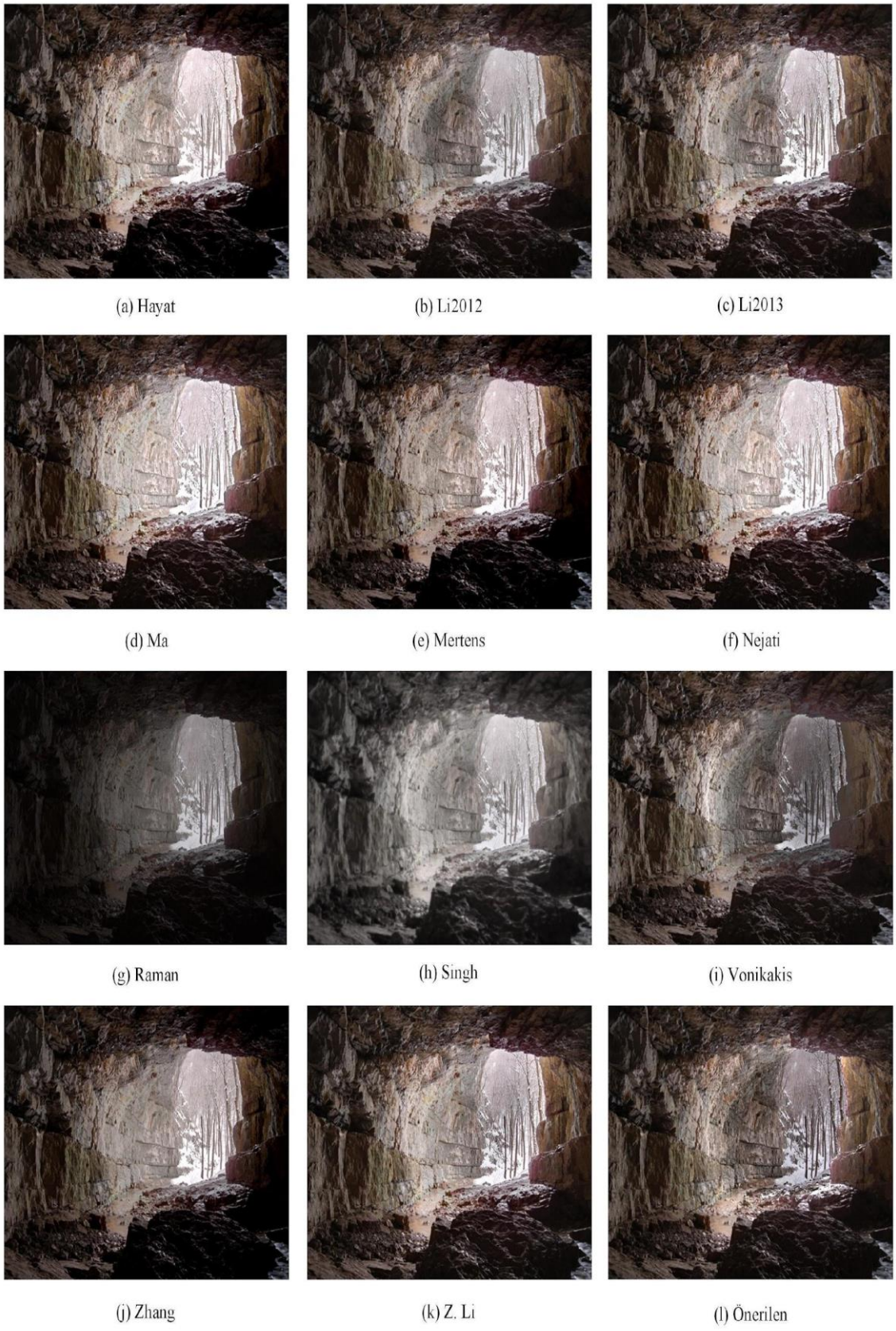
Metrik	SSIM	FMI
Kontrast(C)	0.936	0.535
Satürasyon(S)	0.917	0.545
İyi Pozlanmışlık(WE)	0.940	0.538
Kontrast+Satürasyon(C+S)	0.944	0.530
İyi Pozlanmışlık+Kontrast(WE+C)	0.949	0.525
İyi Pozlanmışlık+Satürasyon(WE+S)	0.943	0.533
İyi Pozlanmışlık+Satürasyon+Kontrast(WE+S+C)	0.953	0.522

3.2.2. Önerilen Yöntemin Literatürdeki Yöntemlerle Görsel Karşılaştırılması

Bu bölümde, tez kapsamında önerilen Retineks teorisi çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri ile görsel ve sayısal olarak karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma için literatürde iyi bilinen yöntemler olan: Mertens tarafından önerilen Piksel Seviyesinde Çok-Ölçekli Görüntü Birleştirme Yöntemi [9], Li ve Kang tarafından önerilen Toplam Tabanlı Birleştirme Yöntemi [11], yine Li ve Kang tarafından önerilen Kılavuzlu Filtre Kullanarak Görüntü Birleştirme Yöntemi [38], Vonikakis vd. tarafından önerilen Parlaklık Tahmini Tabanlı Birleştirme Yöntemi [14], Gradyan Yönelimli Birleştirme Yöntemi [12], İki Ölçekli Baz ve Detay Katmanlı Yöntem [15], Raman vd. [39] tarafından önerilen Bilateral Filtreleme Tabanlı Ayrıştırma Kullanarak Birleştirme Yöntemi, SSIM Tabanlı Yöntem [16], Zhengguo Li tarafından önerilen Detay İyileştirmeli Çok Ölçekli Görüntü Birleştirme [40], Singh tarafından önerilen Ağırlıklı En Küçük Kareler Tabanlı Yöntem [41] ve Ölçek Bağımsız Öznitelik Dönüşümü Tabanlı Birleştirme Yöntemi [17] kullanılacaktır.

Şekil 3.3, önerilen yöntemin ve literatürdeki yöntemlerin Cave görüntü seti için ürettikleri birleşik görüntüleri göstermektedir. Cave görüntü seti *Şekil 3.1.*(*a*) için birleşik görüntülerin hem mağara duvarlarındaki detayları hem de mağaranın dışında görünen ormanda bulunan detayları içermesi beklenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde Raman'ın önerdiği yöntemde mağaranın içindeki detayların birleşik görüntüye aktarılamadığı, Singh ve Zhang tarafından önerilen yöntemlerde mağara duvarında kontrastın çok düşük kaldığı ve detayların kaybolduğu görülmektedir. Hayat, Mertens, Raman ve Zhang tarafından önerilen yöntemlerde görüntünün aşağı kısmında yer alan kaya parçası karanlıkta kalmıştır ve *Şekil 3.3.*(*l*) görüntüsünün içerdiği ayrıntıları içermedikleri net bir şekilde görülmektedir.

Cave görüntü seti için üretilen birleşik görüntüler üzerinde daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek görüntülerin mağaranın dışını gösteren bölümleri büyütülerek *Şekil 3.4*'te verilmiştir. Büyütülmüş görüntüler incelendiğinde önerilen yöntemde taşların renkleri, aralarındaki kontrast ve renklerin doygunluğunun korunmuş olup dışarıdaki ağaçların ve dallarının şekillerinin net olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. Cave görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait birleştirilmiş görüntüler.

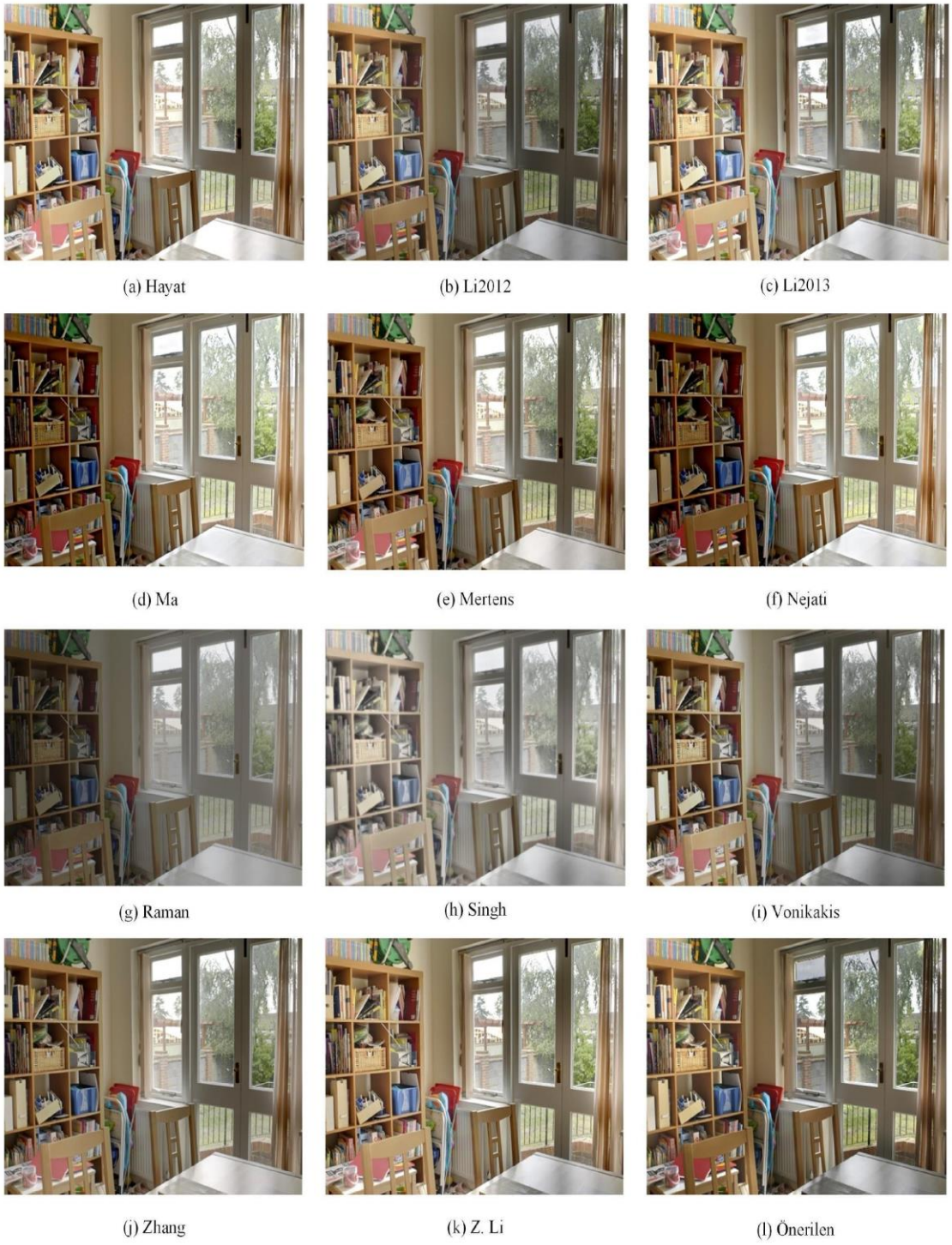


Şekil 3.4. Cave görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler.

Şekil 3.5, House görüntü seti için üretilen sonuç görüntüleri göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde Raman, Singh ve Vonikakis tarafından önerilen yöntemlerde birleşik görüntülerde kontrast kaybı olduğu ve renk doygunluğunun kaybolduğu görülmektedir. *Şekil 3.6,* House görüntü setinde odadaki pencerenin olduğu bölümün büyütülmüş görüntülerini göstermektedir. *Şekil 3.6* incelendiğinde *Şekil 3.6.*(*h*) görüntüsünde dış mekânda yer alan tuğla detaylarının kaybolduğu ve *Şekil 3.6.*(*l*) sonuç görüntüsünde bu detayların hala mevcut olduğu görülmektedir. (*Şekil 3.6.*(*b*) ve *Şekil 3.6.*(*l*)) dışındaki yöntemlerin dışarı mekandaki ağaç ve yeşilliklerin renklerini soluk bir şekilde görüntüye aktardığı görülmektedir. Yine (*Şekil 3.6.*(*d*), *Şekil 3.6.*(*f*) ve *Şekil 3.6.*(*l*)) dışındaki diğer tüm görüntülerde renklerin cansız olduğu sehpanın üzerinde duran dosyanın rengine bakarak anlaşılabilmektedir. Örneğin, *Şekil 3.6.*(*e*) yönteminde birleşik görüntüdeki renk doygunluğunu artırmak için görüntü birleştirme sonrasında renk iyileştirme işlemi uygulamaktadır. *Şekil 3.6.*(*l*)'de yer alan önerilen yöntemde ise böyle bir adıma gerek duyulmaksızın canlı ve doygun renklere sahip olan bir birleştirilmiş görüntü elde edilmektedir. Sonuç olarak literatürdeki yöntemlerden bazıları renk iyileştirme için ikinci bir adıma gerek duyarken önerilen yöntem tek aşamada canlı ve ayrıntılı görüntüler ortaya koymaktadır.

Madison Capitol görüntüsü için çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin ürettiği görüntüler *Şekil 3.7*'de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde yöntemlerin birçoğunda üretilen görüntüde detay kaybı olduğu ve nesnelerin kaynak görüntülerde görülen orijinal renginin korunamadığı görülmektedir. Bu durumu daha açık bir şekilde görebilmek için duvardaki süslemenin bir bölümü büyütülerek *Şekil 3.8* ile verilmiştir. *Şekil 3.8*'deki büyütülmüş görüntüler incelenirse, önerilen yöntemin, orijinal renkleri muhafaza ederken detayları korumaktaki başarısı görülebilir. Diğer taraftan, özellikle (*Şekil 3.8.*(*a*) ve *Şekil 3.8.*(*d-j*)) yöntemleri kaynak görüntülerdeki detayları koruyamamıştır. (*Şekil 3.8.*(*d-f*) ve *Şekil 3.8.*(*l*)) dışındaki yöntemlerin ürettikleri birleşik görüntülerde kontrast ve renk doygunluğunun kaybolduğu görülmektedir. (*Şekil 3.8.*(*b*), *Şekil 3.8.*(*g*) ve *Şekil 3.8.*(*i*)) yöntemlerinde kemerin içinde bulunan girintilerdeki detaylar kaybolmuştur. Madison Capitol görüntü setindeki tavan penceresinin büyütüldüğü görüntüler *Şekil 3.9*'da verilmiştir. *Şekil 3.9* incelendiğinde Hayat, Li2013, Mertens ve Z.Li yöntemlerinin gökyüzünün rengini ve bulutları sonuç görüntüye aktaramadığı

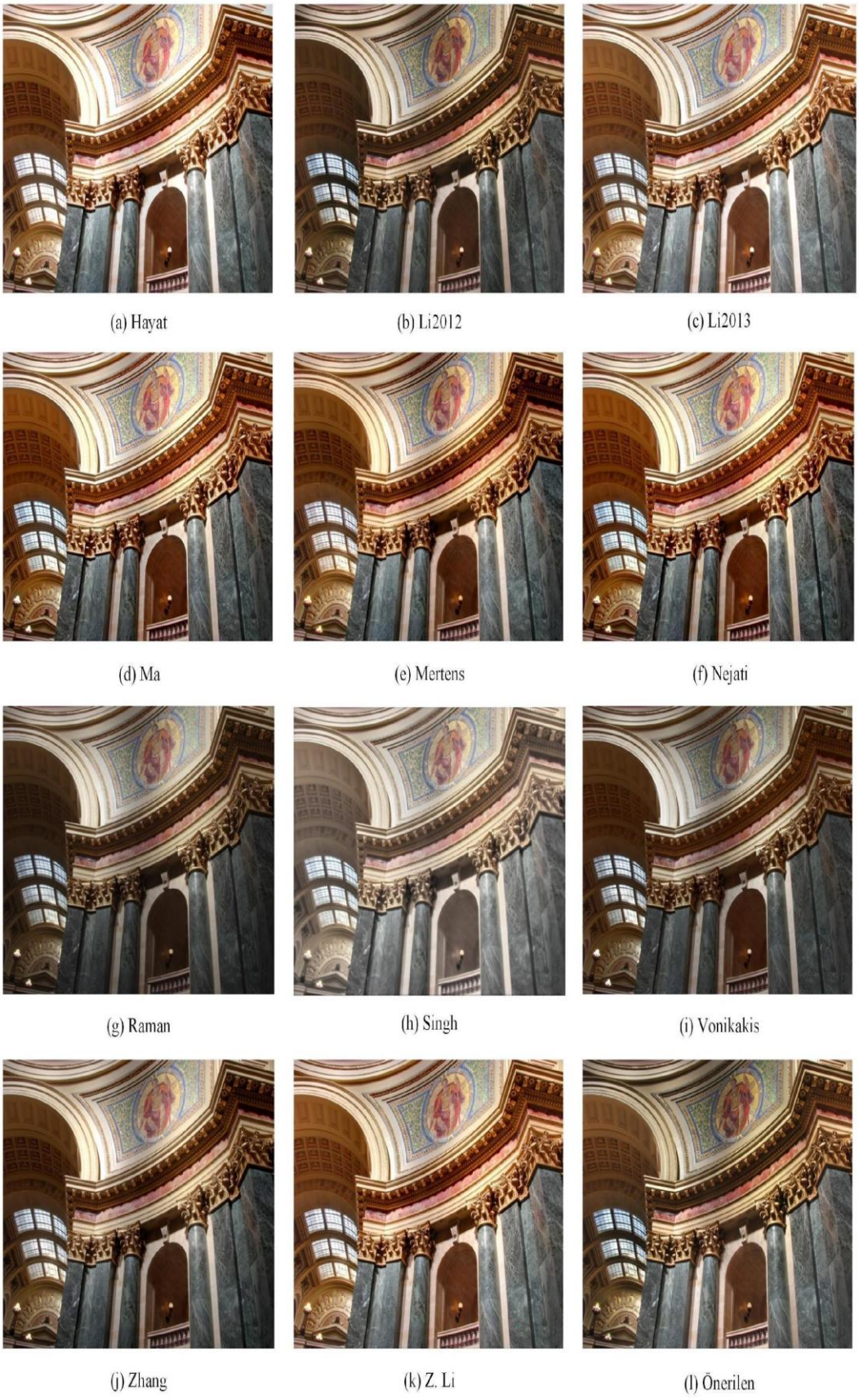
görülmektedir. Önerilen yöntem hem renkleri hem ayrıntıları sonuç görüntüye aktarmada öne çıkmaktadır.



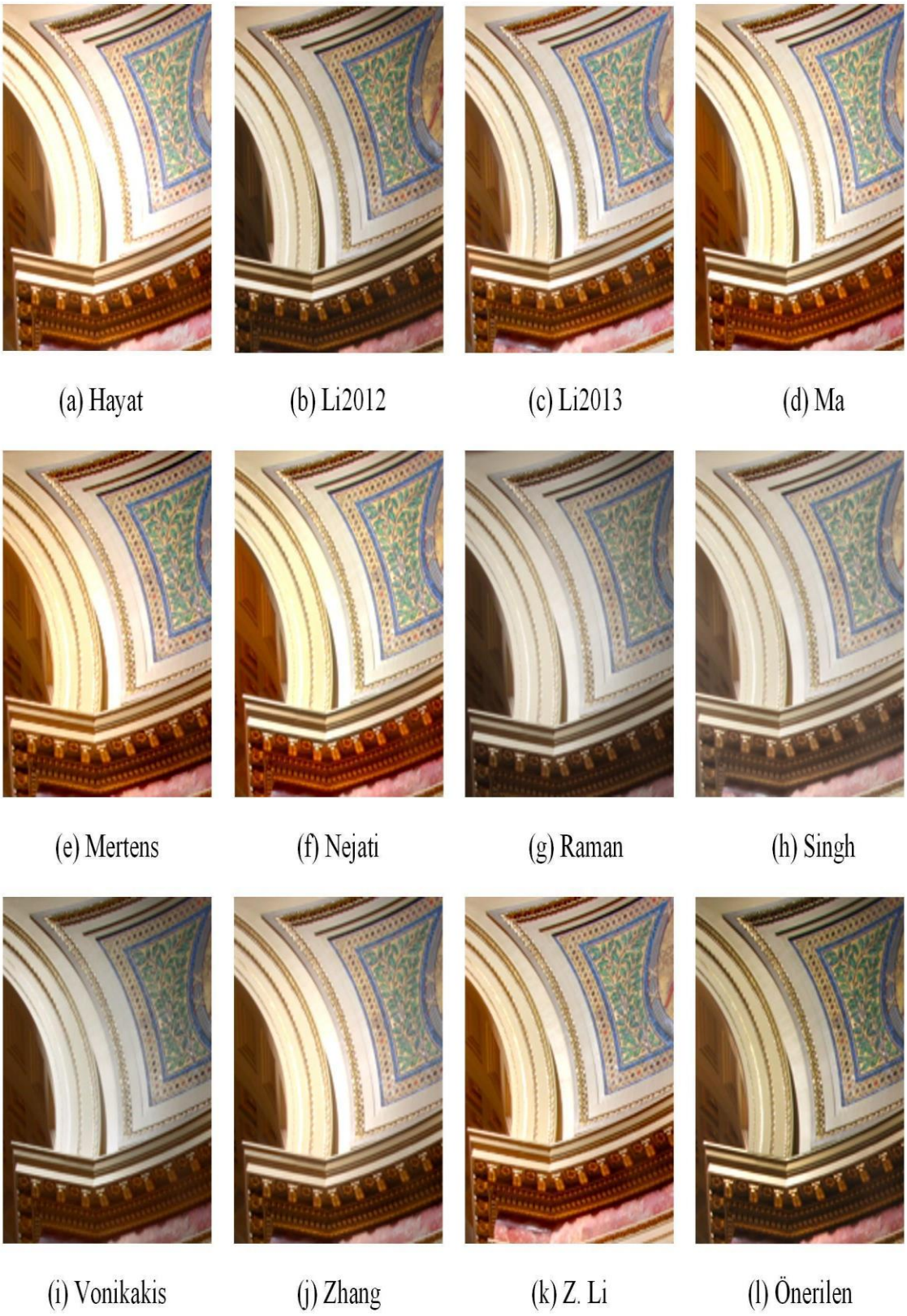
Şekil 3.5. House görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler.



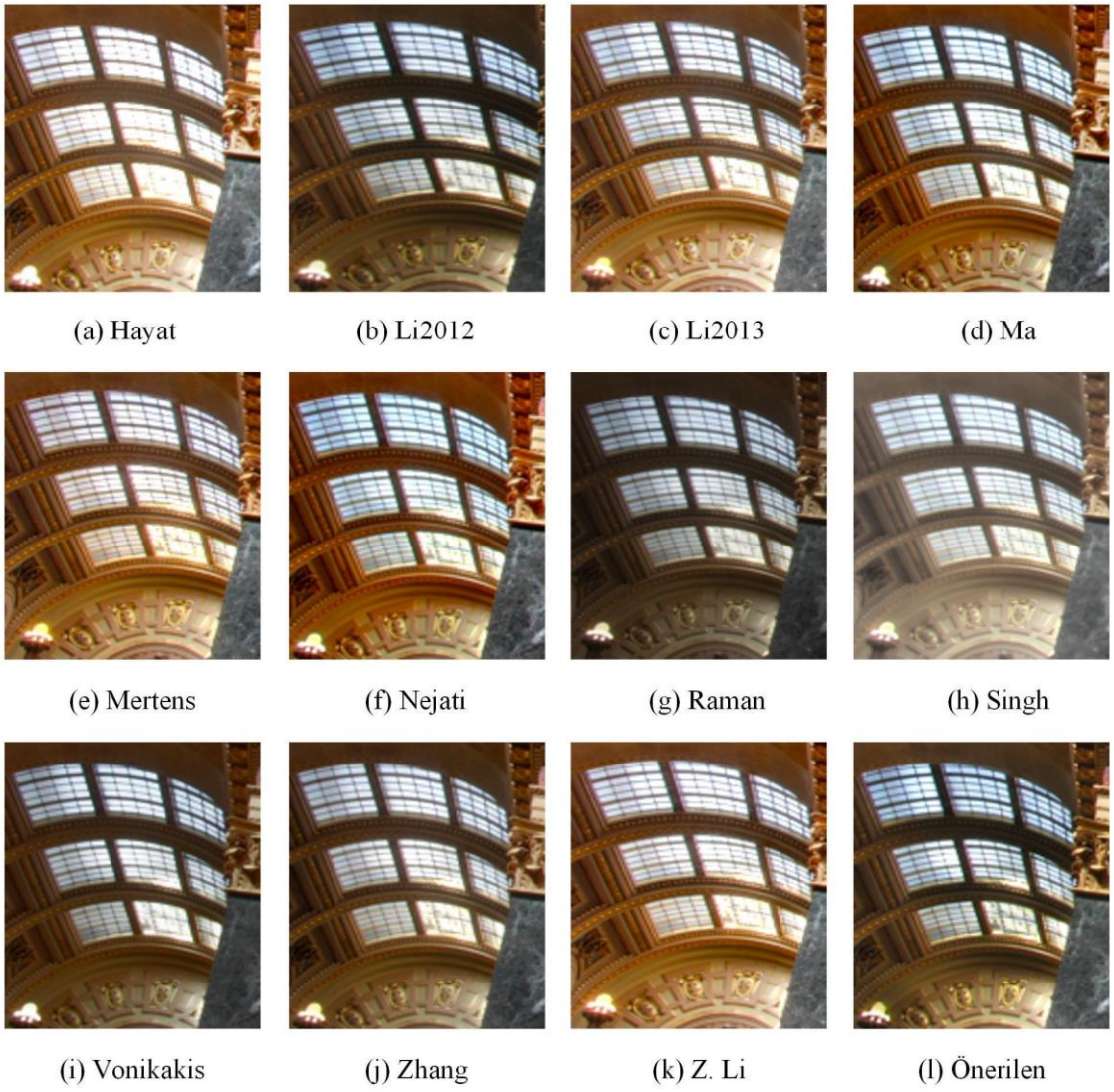
Şekil 3.6. House görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler.



Şekil 3.7. Madison Capitol görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler.



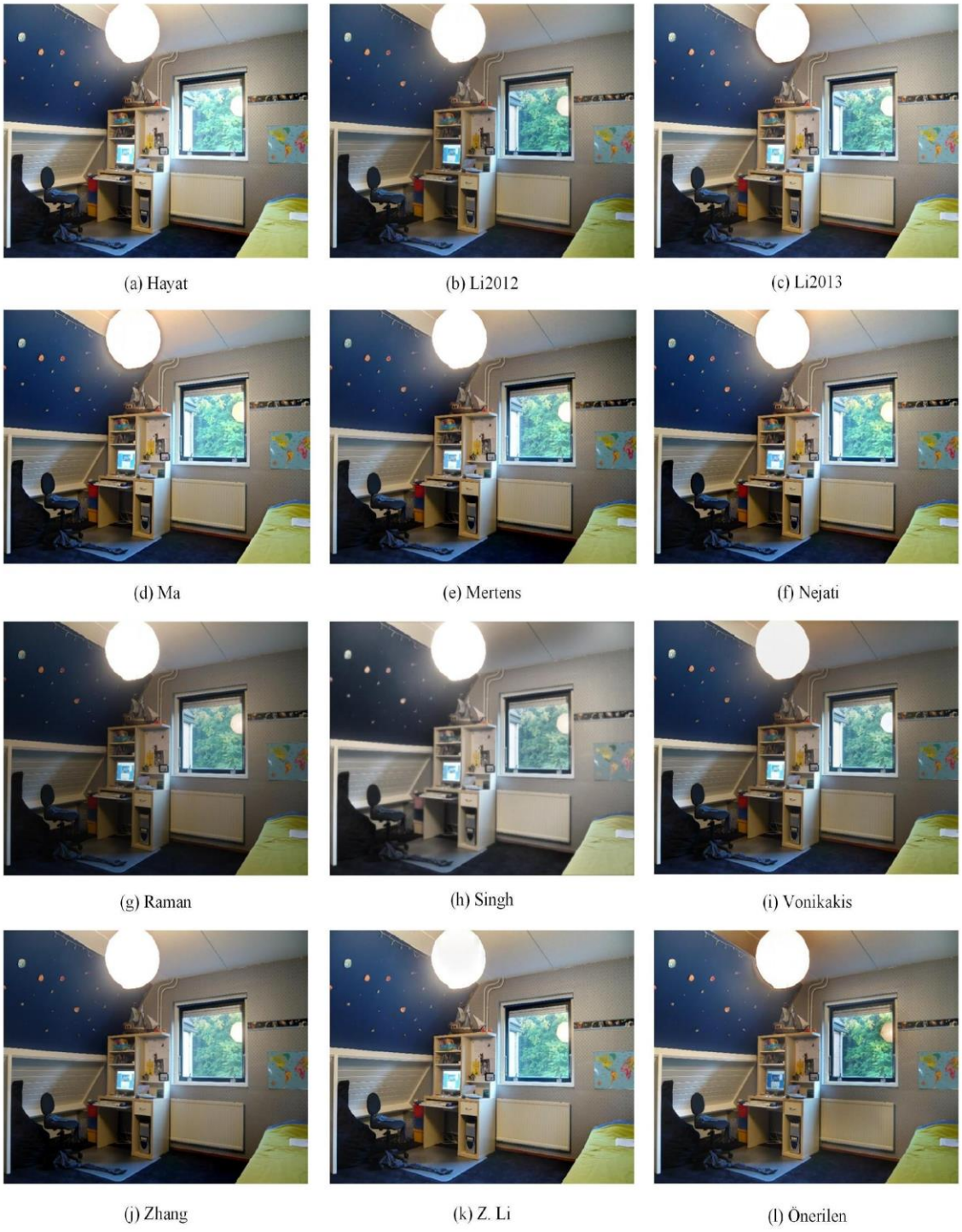
Şekil 3.8. Madison Capitol görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler.



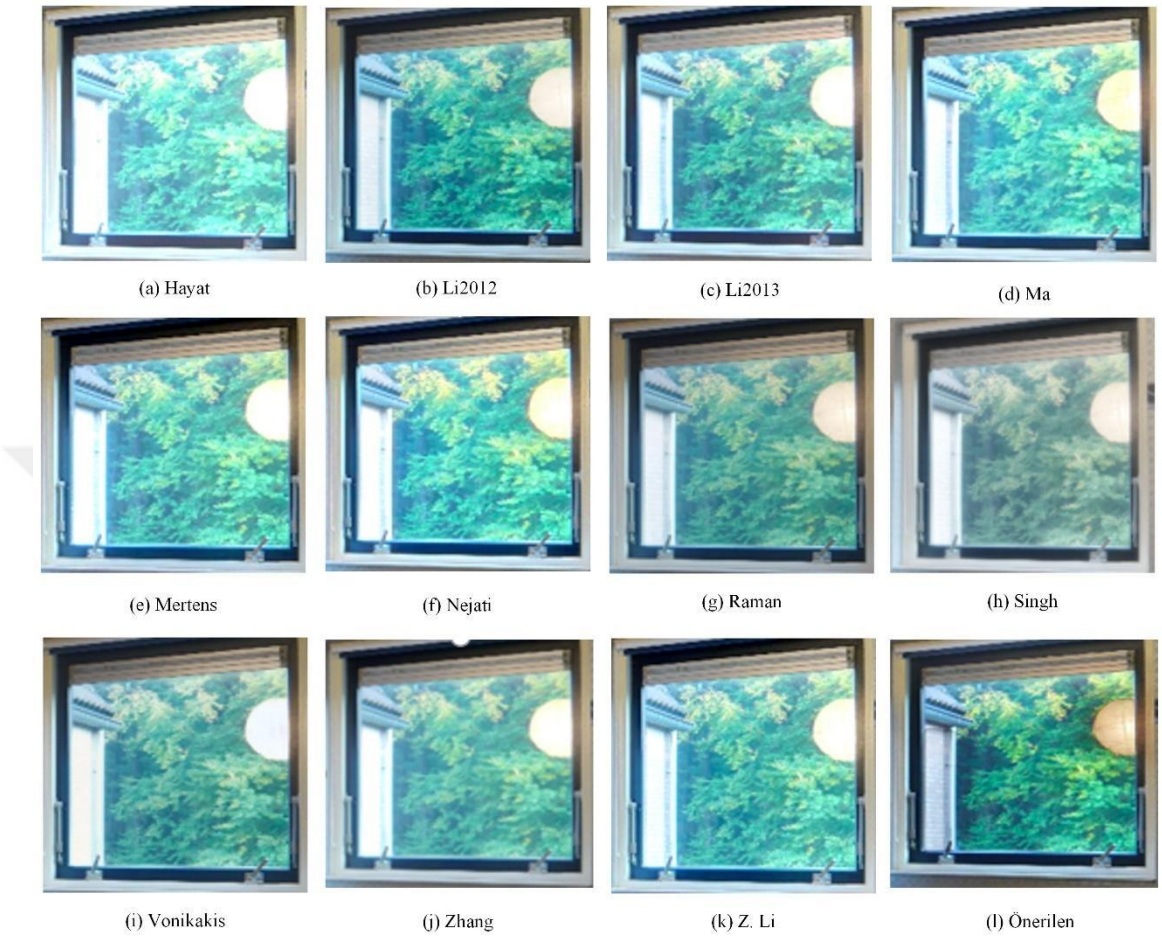
Şekil 3.9. Madison Capitol görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler.

Şekil 3.10, Window görüntü seti için üretilen birleşik görüntüleri göstermektedir. Window görüntü seti birleştirilirken en zorlu iki nokta bilgisayar ekranın ve lambanın camdaki yansıyan görüntüsünün sonuç görüntüye doğru aktarılabilmesidir. Birleşik görüntüler incelendiğinde bilgisayar ekranında en fazla bilgi barındıran görüntülerin Li2012 ve Önerilen yönteme ait olduğu görülmektedir. Birleşik görüntülerin odadaki lambanın camdaki yansımasını gösterdiği bölümler *Şekil 3.11* ile verilmiştir. Şekil incelendiğinde *Şekil 3.2.(e)*'de yer alan kaynak görüntülere bakılırsa avizenin dış yüzeyinin orijinal rengini ve üzerindeki desenleri sonuç görüntüde ihtiva edebilen tek

yöntemin *Şekil 3.11.(l)* olduğu görülebilir. Aynı zamanda ağaçların rengini canlı ve doygun bir şekilde gösterebilen tek yöntem yine *Şekil 3.11.(l)*'dir.



Şekil 3.10. Window görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler.



Şekil 3.11. Window görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler.

Şekil 3.12, Lamp görüntü seti için karşılaştırılan çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin ürettiği birleşik görüntüleri göstermektedir. Bu görüntüde masa lambasının, kitaplardaki ve masanın üstündeki kâğıtta bulunan yazıların net olması beklenmektedir.

Yöntemlerin sonuçlarının en çok ayrıştığı bölüm olan masadaki lambanın büyütüldüğü görüntüler *Şekil 3.13*'te verilmiştir. (*Şekil 3.13.(a-k)*) yöntemlerine ait görüntülerde lambanın detayları ışık yüzünden görülemezken önerilen yöntem sonucu elde edilen görüntüde lambanın iç kısmı oldukça net görülebilmektedir. *Şekil 3.12.(g)*' de ise masanın üstündeki kâğıtta bulunan yazıların detayları kaybolmuştur



Şekil 3.12. Lamp görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler.

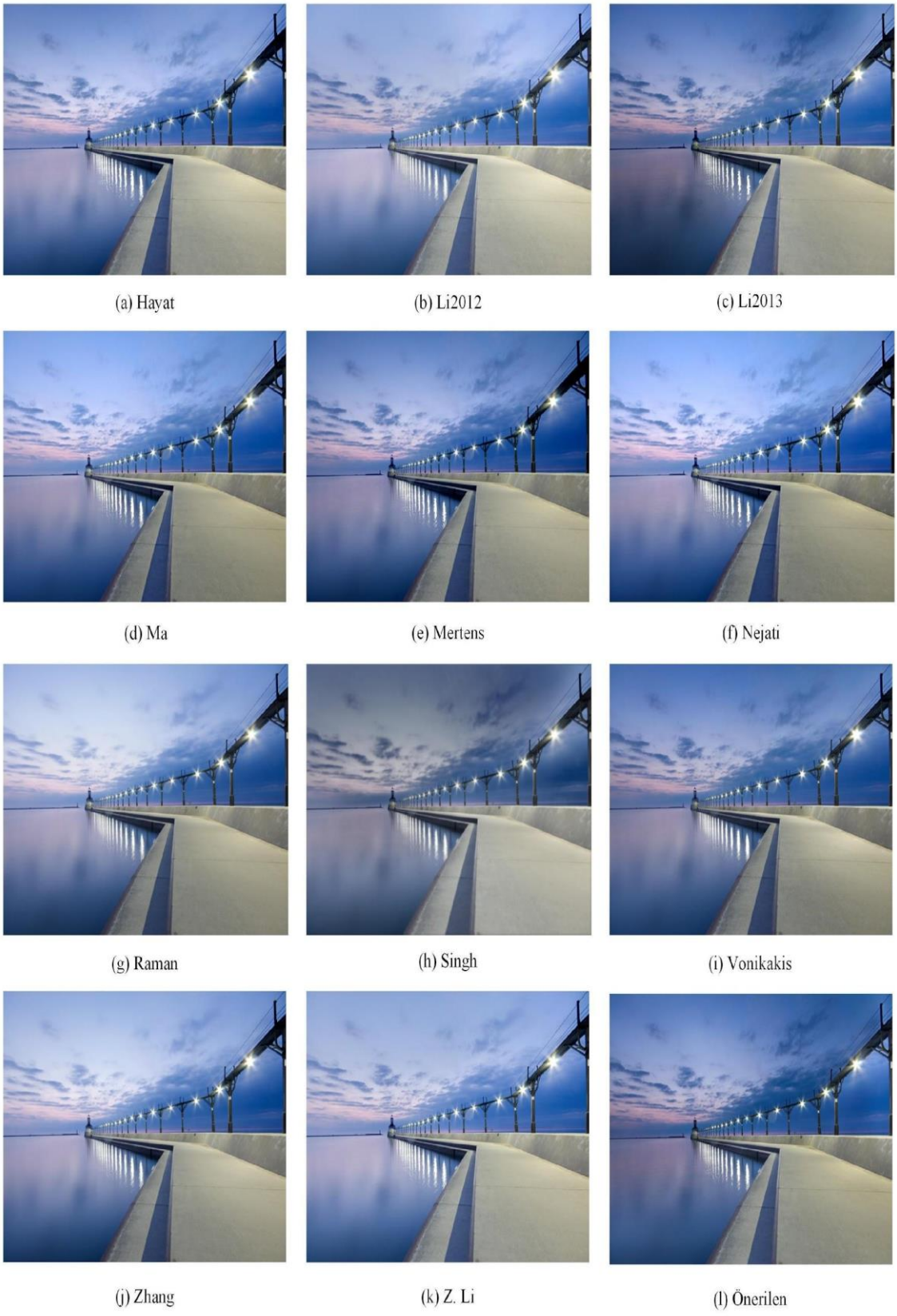


Şekil 3.13. Lamp görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler.

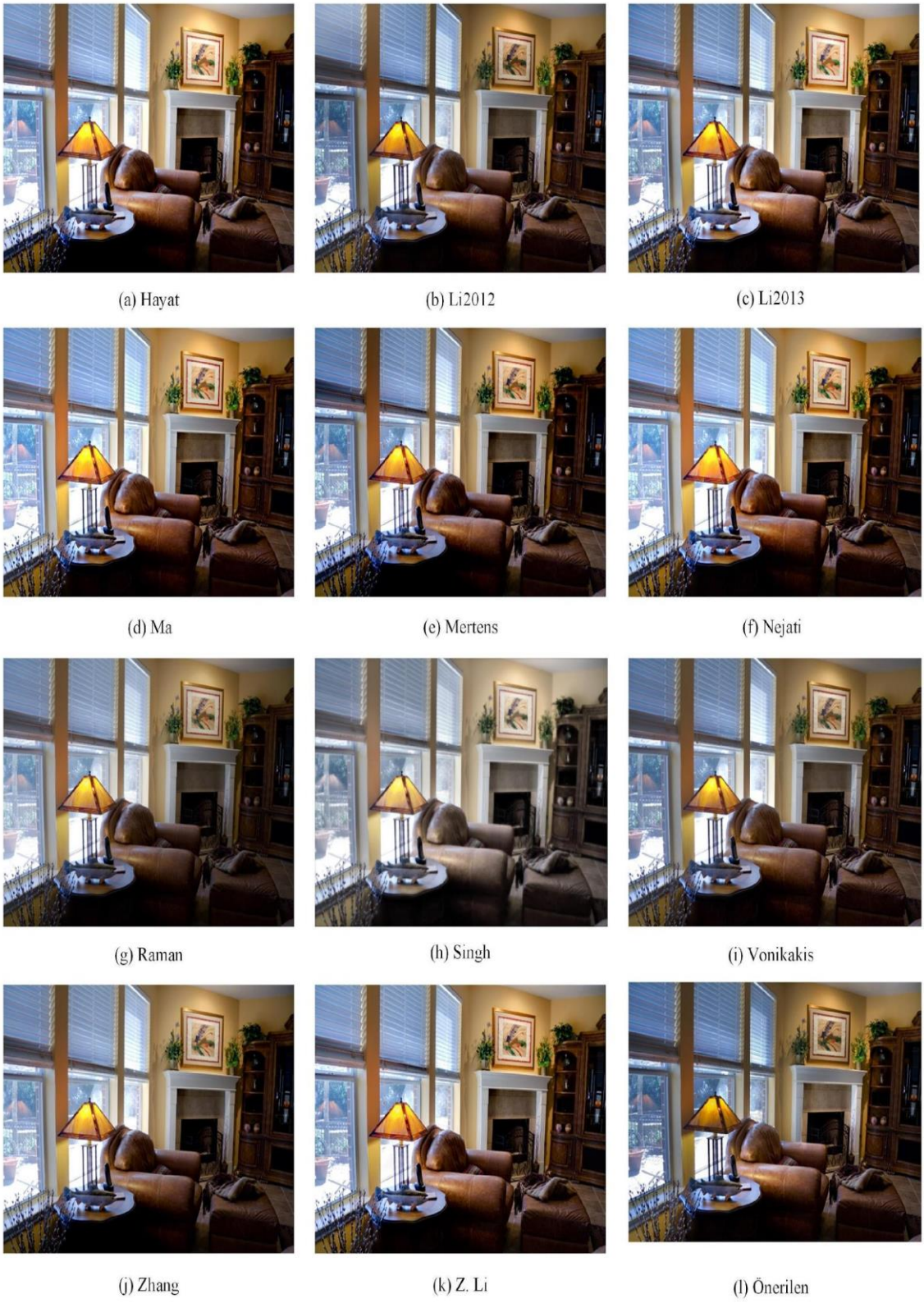
Şekil 3.14, önerilen yöntemin ve literatürdeki yöntemlerin Set görüntü seti için ürettikleri birleşik görüntüleri göstermektedir. Set görüntü seti *Şekil 3.2.*(*d*) için birleşik görüntülerin hem bulut detayları ile birlikte gökyüzündeki pembeliği hem de denizin üstündeki yansımaların renklerini içermesi beklenmektedir. *Şekil 3.14*'e bakılırsa *Şekil 3.14.(g)* yöntemi dışındaki yöntemler gökyüzündeki renkleri ve bulut detaylarını birleşik görüntüye başarılı bir şekilde aktarmış olduğu görülebilir.

Şekil 3.15, önerilen yöntemin ve literatürdeki yöntemlerin Room görüntü seti için ürettikleri birleşik görüntüleri göstermektedir. Room görüntü seti *Şekil 3.2.*(*c*) için birleşik görüntülerin pencereden görülen dış mekân ayrıntılarını, sehpanın üstündeki abajurun detaylarını, şöminenin önündeki demirin ve üstündeki tablonun içerdiği detayları, vitrinde yer alan nesnelerin ve yerdeki fayansların detaylarını içermesi gerekmektedir. *Şekil 3.15* incelendiğinde bütün yöntemler arasında (*Şekil 3.15.*(*a-g*) ve *Şekil 3.15.*(*i-l*)) yöntemleri arasında öne çıkan belirgin bir fark görülmemektedir. *Şekil 3.15.*(*h*)'ye bakıldığında ise (*Şekil 3.15.*(*a-g*) ve *Şekil 3.15.*(*i-l*)) yöntemlerine kıyasla oldukça soluk ve cansız renklere sahip bir görüntü elde ettiği sonucuna varılabilir.

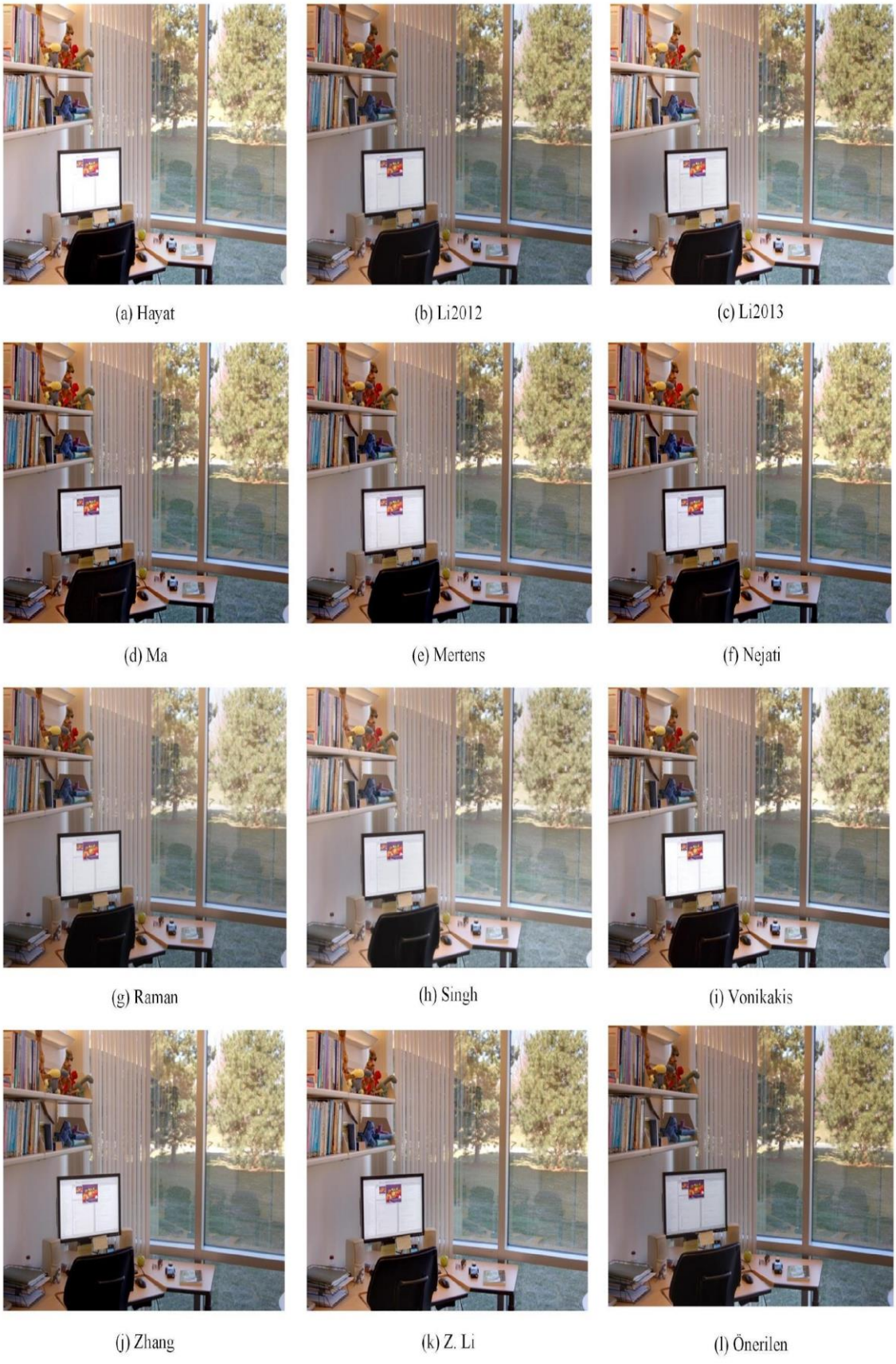
*Ö*nerilen yöntemin ve literatürdeki yöntemlerin Office görüntü seti için ürettikleri birleşik görüntülere *Şekil 3.16'*da yer verilmiştir. (*Şekil 3.1.*(*e*))'de görülen Office görüntü setinin birleşiminden elde edilecek birleşik görüntüde beklenen, bilgisayar ekranındaki görüntüleri, masanın sol tarafında ve raflarda yer alan nesnelerin ayrıntılarını, sandalyelerin camdaki yansımalarını ve dış mekandaki ağaçların detaylarını, renkleri korunmuş bir şekilde içermesidir. *Şekil 3.16 incelendiğinde* ve (*Şekil 3.16.*(*a*)) görüntüsünde bilgisayar ekranındaki çizgilerin silikleştiği görülebilir. Bunun dışında yukarıda birleşik görüntüde olması istenen detaylar (*Şekil 3.16.*(*a-l*)) yöntemlerinin hepsi için benzer şekilde sonuç görüntüde yer almıştır.



Şekil 3.14. Set görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait görüntüler.



Şekil 3.15. Room Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler

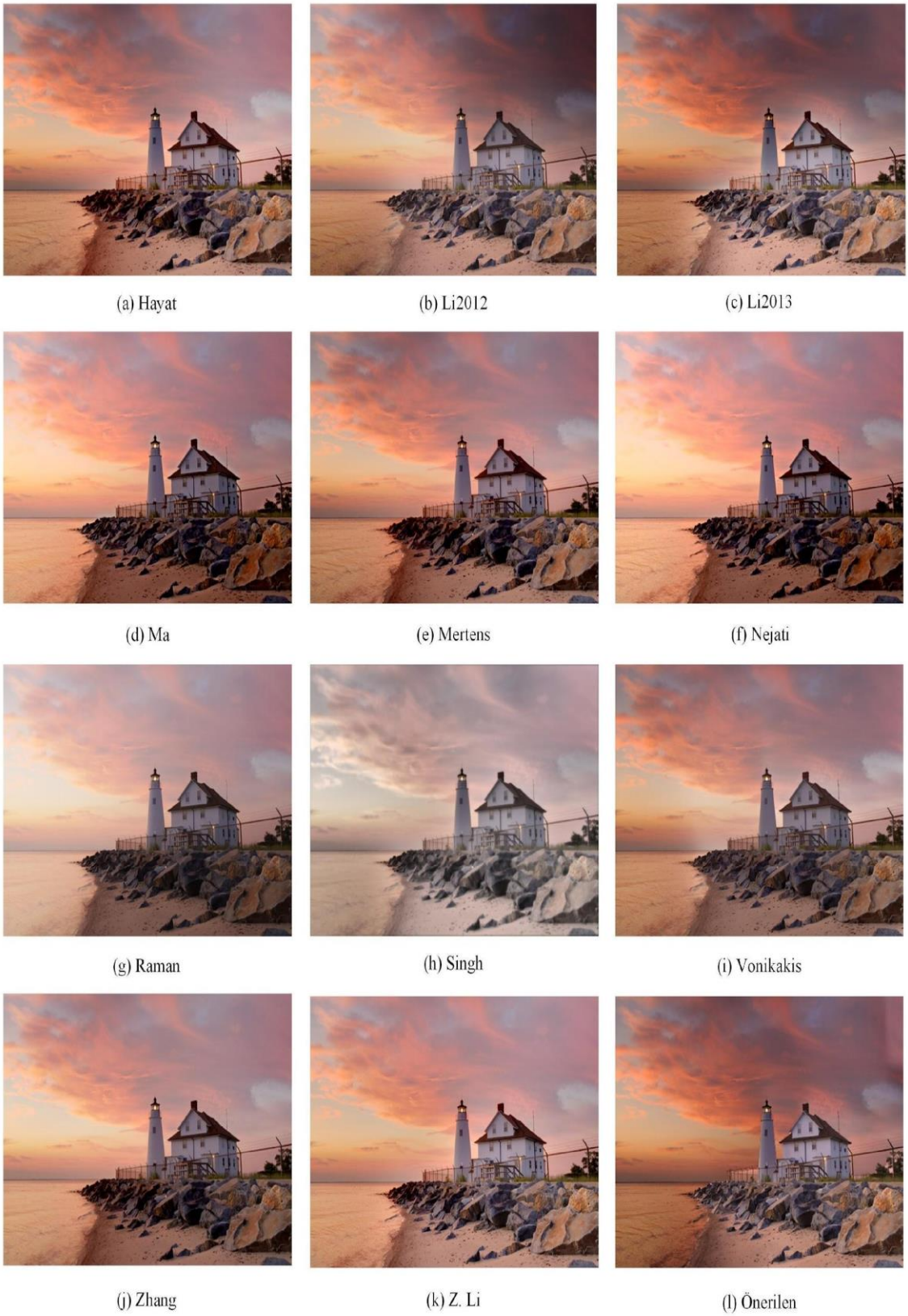


Şekil 3.16. Office Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler

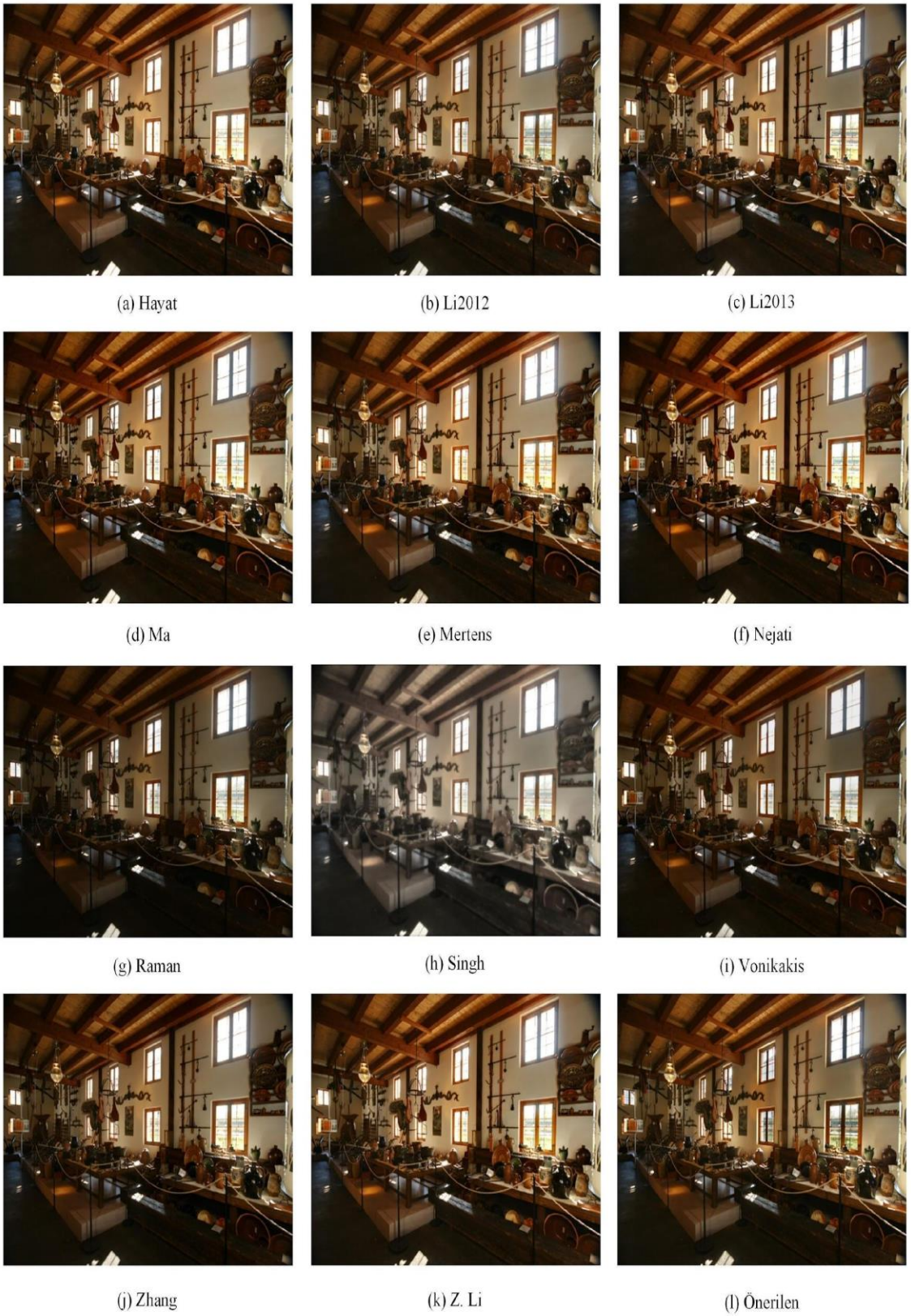
Şekil 3.17, önerilen yöntemin ve literatürdeki yöntemlerin Lighthouse görüntü seti için ürettikleri birleşik görüntüleri göstermektedir. Lighthouse görüntü seti *Şekil 3.2.*(*b*) birleştirilirken sonuç görüntüye aktarılması istenen detaylar bulutların şekil ve renk geçişleri, deniz fenerinin ışığı, denizdeki dalga detayları ve kayalığın ayrıntısıdır. Literatürdeki yöntemlerin ve önerilen yöntemin sonuç görüntülerini incelemek için *Şekil 3.17'ye* bakılarak (*Şekil 3.17.*(*a-c*) ve *Şekil 3.17.*(*l*)) yöntemlerinin birleşik görüntüyü oluştururken gökyüzündeki renk ve bulut detaylarını çok iyi bir şekilde koruduğu, *Şekil 3.17.*(*h*) yönteminin çok düşük kontrastlı bir görüntü ürettiği, (*Şekil 3.17.*(*d*) ve *Şekil 3.17.*(*f-k*)) yöntemlerinin kaynak görüntüde yer alan denizdeki dalgaların ayrıntısını saklayamadığı ve sonuç görüntüye aktaramadığı söylenebilir. Ayrıca *Şekil 3.17.*(*d-k*) görüntülerinin bulutların şekillerini ve gökyüzündeki geçişli renkleri korumada başarısız olduğu görülmektedir. Deniz fenerinin ışığını bütün yöntemler başarıyla birleşik görüntüye aktarabilmişlerdir. Kayalığın detayları ile ilgili karşılaştırma yapılacak olursa (*Şekil 3.17.*(*b-c*), (*Şekil 3.17.*(*h*) ve *Şekil 3.17.*(k-*l*)) yöntemlerinin başarılı olduğu söylenebilir.

Farmhouse görüntü seti *Şekil 3.18.(a)* için çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin ürettiği görüntüler *Şekil 3.18*'de verilmiştir. Farmhouse birleşik görüntülerinin, dış mekânda yeşillik alan ve gökyüzü; iç mekânda nesneler ve ahşap tavan detaylarını içeren doygunluğu yüksek görüntüler olması beklenmektedir.

Şekil 3.18'de verilen görüntülerin birçoğu kaynak görüntülerdeki önemli bilgileri ve ayrıntıları içermemektedir. *Şekil 3.18.(g-h)* yöntemlerinin, girdi görüntülerde ağırlıklı olarak karanlık görüntüler kullanıldığında sonuç görüntüye ayrıntı kaybı olmaksızın parlaklık ve renk bilgisi aktarımında başarısız olduğu görülmektedir. Detay içermeyen alanları daha net görebilmek için *Şekil 3.18'*den seçilen alanlar *Şekil 3.19*'da ve *Şekil 3.20'de* büyütülerek verilmiştir. *Şekil 3.19* incelendiğinde *Şekil 3.19.(a-k)* yöntemlerinin ürettiği görüntülerde pencere kısımlarındaki yoğun ışık sebebiyle pencere demirlerinin silikleştiği ayrıca dışarıdaki yeşillik ve gökyüzü kısımlarının ayrıntılarının ve renklerinin kaybolduğu görülmektedir. Önerilen yöntemin sonuç görüntüsünde ise pencere demirleri ile dış mekandaki ayrıntı ve renkler net bir şekilde görülmektedir. *Şekil 3.20'*ye bakıldığında mavi gökyüzü ve dış mekandaki yeşillikleri birleşik görüntüye aktarabilen tek yöntemin *Şekil 3.20.(l)'*de verilen yöntem olduğu görülmektedir.



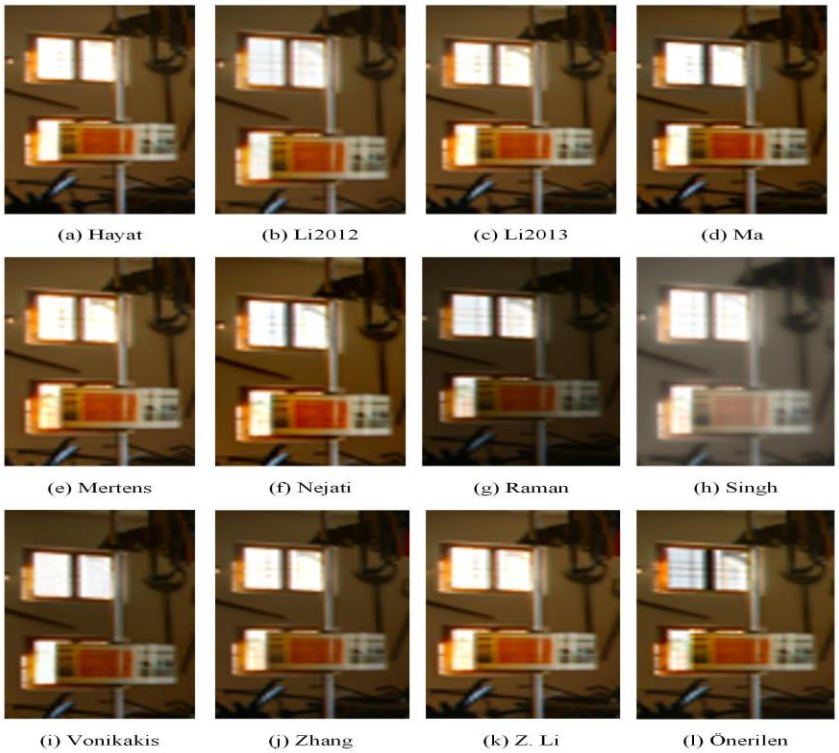
Şekil 3.17. Lighthouse Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler



Şekil 3.18. Farmhouse Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Görüntüler



Şekil 3.19. Farmhouse Görüntü Seti İçin Literatürdeki Yöntemlere Ait Büyütülmüş Görüntüler



Şekil 3.20. Farmhouse görüntü seti için literatürdeki yöntemlere ait büyütülmüş görüntüler.

3.2.3. Önerilen yöntemin literatürdeki yöntemlerle sayısal karşılaştırılması

Tez kapsamında önerilen Retineks teorisi tabanlı çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi literatürde iyi bilinen yöntemlerle kalite metrikleri yardımıyla objektif olarak da karşılaştırılmıştır. Tablo 3.3, karşılaştırılan çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin farklı görüntü setleri için ürettiği SSIM [22] metrik sonuçlarını göstermektedir. Her görüntü seti için üretilen en yüksek skor koyu ve kırmızı renk olarak vurgulanmıştır. Tablodan görüleceği üzere önerilen yöntem, Window, Set, Room, House ve Lighthouse görüntüleri için en yüksek sonuçları üretmiştir. Tüm görüntülerin ortalamasında da yine önerilen yöntemin karşılaştırılan yöntemler arasında en başarılısı olduğu görülmektedir. Tez kapsamında önerilen Retineks teorisi temelli yöntemin ardından Li2013 yöntemi üç görüntü için en yüksek sonucu üretmiş ve en yüksek ikinci ortalamayı elde etmiştir.

Değerlendirilen çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir diğer metrik olan FMI metriği için elde edilen sonuçlar ise Tablo 3.4. ile verilmiştir. Tablo incelendiğinde görüleceği üzere Retineks teorisi tabanlı yöntem Set, Lamp ve Lighthouse görüntüleri için en yüksek sonuçları üreterek en başarılı yöntem olmuştur. Önerilen yöntemin ardından Li2012, Li2013 ve Hayat ikişer görüntü seti için en yüksek FMI değeri elde edilmiştir.

Tablo 3.3. Çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin SSIM metriği sonuçları

Yöntem	Window	Set	Room	Office	Lamp	House	Cave	Lighthouse	Farmhouse	Madison Capital	Ortalama
Hayat	0.879	0.927	0.967	0.959	0.847	0.918	0.960	0.853	0.982	0.813	0.911
Li2012	0.913	0.919	0.973	0.983	0.829	0.899	0.950	0.948	0.982	0.952	0.935
Li2013	0.931	0.918	0.969	0.984	**0.888**	0.935	**0.982**	0.869	**0.988**	0.953	0.942
Ma	0.854	0.912	0.961	**0.990**	0.848	0.907	0.957	0.913	**0.988**	0.954	0.928
Mertens	0.872	0.911	0.957	0.982	0.856	0.920	0.961	0.863	0.982	0.950	0.926
Nejati	0.854	0.896	0.959	0.983	0.814	0.904	0.941	0.843	0.984	0.954	0.913
Raman	0.876	0.882	0.930	0.946	0.791	0.697	0.789	0.831	0.897	0.882	0.852
Singh	0.788	0.878	0.910	0.957	0.801	0.790	0.850	0.841	0.932	0.880	0.863
Vonikakis	0.844	0.892	0.961	0.975	0.867	0.823	0.940	0.900	0.950	0.917	0.907
Z.Li	0.865	0.910	0.965	0.987	0.861	0.934	0.965	0.906	0.985	0.946	0.932
Zhang	0.890	0.911	0.960	0.972	0.875	0.900	0.943	0.857	0.973	0.950	0.923
Önerilen	**0.981**	**0.930**	**0.974**	0.986	0.829	**0.940**	0.930	**0.963**	0.978	**0.982**	**0.949**

Tablo 3.4. Çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin FMI metriği sonuçları.

Yöntem	Window	Set	Room	Office	Lamp	House	Cave	Lighthouse	Farmhouse	Madison Capital	Ortalama
Hayat	**0.551**	0.551	0.652	0.628	0.315	0.437	0.498	0.548	**0.635**	0.601	0.542
Li2012	0.498	0.493	0.684	**0.701**	0.328	0.418	0.546	0.571	0.619	**0.675**	0.553
Li2013	0.541	0.557	**0.686**	0.622	0.337	0.412	**0.555**	0.562	0.618	0.609	0.550
Ma	0.520	0.552	0.629	0.651	0.325	0.433	0.542	0.569	0.598	0.612	0.543
Mertens	0.494	0.553	0.616	0.668	0.318	0.434	0.484	0.573	0.619	0.602	0.536
Nejati	0.490	0.560	0.633	0.672	0.322	**0.450**	0.533	0.599	0.591	0.605	0.546
Raman	0.478	0.544	0.673	0.689	0.352	0.428	0.507	0.564	0.565	0.670	0.547
Singh	0.425	0.485	0.581	0.653	0.316	0.395	0.435	0.458	0.460	0.631	0.484
Vonikakis	0.456	0.494	0.635	0.652	0.300	0.395	0.524	0.486	0.524	0.632	0.510
Z.Li	0.508	0.509	0.659	0.641	0.319	0.426	0.552	0.547	0.616	0.609	0.539
Zhang	0.490	0.546	0.653	0.683	0.349	0.435	0.469	0.571	0.595	0.646	0.544
Önerilen	0.480	**0.577**	0.657	0.691	**0.364**	0.430	0.539	**0.613**	0.584	0.665	**0.560**

3.2.4. Önerilen yöntemin literatürdeki yöntemlerle işlem zamanı karşılaştırılması

Görüntü birleştirme yöntemleri için görüntü birleştirme performansının yanı sıra yöntemlerin işlem zamanı da oldukça önemli bir parametredir. Tez kapsamında değerlendirilen çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin işlem zamanı açısından karşılaştırılması Tablo 3.5'te verilmiştir. Sonuçlar MacOS işletim sistemi üzerinde 1.8 GHz Çift Çekirdekli Inter Core i5 işlemciye sahip cihaz kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 3.5. Karşılaştırılan yöntemlerin işlem zamanları (sn).

Yöntem	Window	Set	Room	Office	Lamp	House	Cave	Lighthouse	Farmhouse	Madison Capital	Ortalama
Hayat	1.272	1.346	1.011	1.311	1.763	1.904	1.704	1.880	1.252	1.641	1.508
Li2012	0.880	0.758	0.622	0.947	1.007	0.929	0.960	0.605	0.624	0.918	0.825
Li2013	0.705	0.595	0.605	0.724	0.834	0.915	0.874	0.547	0.621	0.852	0.727
Ma	2.184	1.886	3.652	3.339	2.555	2.325	2.497	1.780	2.296	2.627	2.514
Mertens	0.725	0.566	0.413	0.510	0.752	0.378	0.550	0.416	0.427	0.518	0.526
Nejati	0.565	0.415	0.432	0.405	0.503	0.411	0.546	0.480	0.395	0.486	0.464
Raman	**0.278**	**0.254**	**0.293**	**0.294**	**0.317**	**0.334**	**0.341**	0.395	**0.259**	**0.316**	**0.308**
Singh	3.667	3.558	3.568	4.005	5.080	8.048	5.237	3.191	2.901	5.027	4.428
Vonikakis	1.028	0.708	0.705	0.875	0.897	0.904	0.968	0.693	0.708	0.976	0.846
Z.Li	0.367	0.343	0.295	0.351	0.422	0.425	0.613	**0.337**	0.310	0.493	0.396
Önerilen	6.753	5.211	5.800	6.873	8.600	8.141	7.881	5.324	6.076	9.594	7.025

3.3. Genel Değerlendirme

Bu bölümde kullanılan görüntü setleri tanıtılmış ve karşılaştırma için bütün yöntemlerin sonuçları on görüntü seti için de görsel olarak sunulmuştur. Yapılan görsel karşılaştırılmalarda önerilen yöntemin iyileştirmeye açık alanları olsa da büyük oranda ayrıntılı ve iyi sonuçlar elde ettiği ortaya konmuştur. Bölüm 3.2.2'de yapılan karşılaştırmalar sonrasında, sayısal karşılaştırmalarda kalite metrik sonuçları bir yöntemin görselleri için her ne kadar yüksek puanlama ortaya koysalar da görüntüler incelendiğinde tam tersi bir değerlendirme yapılabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Yani kalite metriklerin sayısal çıktılarının yanı sıra görüntülerin göz ile değerlendirilmesinin de yöntemin başarısını ortaya koymada çok büyük bir önemi vardır. Bundan dolayı sayısal ve görsel karşılaştırmaların ortak kullanımıyla yöntemin başarısı ortaya konmuştur. Son olarak yöntemler işlem zamanı açısından da karşılaştırılmıştır ve önerilen yöntemin işlem zamanının daha iyi hale getirilebileceği sonucuna varılmıştır.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Bu tez çalışması kapsamında literatüre Retineks teorisi temelli yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi sunulmuştur. Çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri sayısal kameraların temel problemlerinden biri olan sınırlı dinamik aralık problemini çözmek üzere geliştirilen yöntemlerdir. Aynı çevrenini farklı pozlama değerleri ile alınmış görüntülerini kullanılarak yüksek dinamik aralığa sahip bir sonuç görüntü oluşturmayı hedeflemektedirler.

Tez çalışmasının temel amacı literatürdeki çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemlerinin ürettiği görüntülerde görülen düşük kontrast ve yetersiz renk doygunluğu gibi sorunları yaşamayan yeni bir yöntem ortaya koymaktadır. Bu amaç doğrultusunda Retineks teorisi tabanlı yeni bir çoklu-pozlamalı görüntü birleştirme yöntemi geliştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda görüntülerin Retineks teorisinden yola çıkarak aydınlatma ve yansıma katmanlarına ayrıldıktan sonra sonuç görüntüye taşınması istenen iyi pozlanmış bölgelerin aydınlatma katmanı kullanılarak tespit edilebileceği belirlenmiştir. Aydınlatma katmanı üzerinde iyi pozlanmışlığı ve kontrastı ölçen kıstas fonksiyonları kullanılarak iyi pozlanmış bölgeleri gösteren ağırlık haritaları üretilmektedir. Bu ağırlık haritaları kullanılarak birleşik aydınlatma ve yansıma katmanları üretilmekte ve son olarak birleşik aydınlatma ve yansıma katmanlarının çarpımı ile geniş dinamik aralığa sahip birleşik görüntü elde edilmektedir.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Tez çalışmasında önerilen yöntem literatürdeki yöntemlerle görsel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında ortaya konan Retineks teorisi temelli yöntemin yapılan sayısal ve görsel karşılaştırmalar sonucunda yapılan değerlendirmede, literatürde iyi bilenen yöntemlerden daha iyi sonuç ortaya koyduğu belirlenmiştir. Özellikle görsel sonuçlar önerilen yöntemin yüksek kontrasta sahip, kaynak görüntülerdeki detayları muhafaza eden, yüksek renk doygunluğa sahip birleşik görüntüler ürettiğini göstermektedir. Değerlendirme de kullanılan sayısal metrikler de genel olarak önerilen yöntemin diğer yöntemlerden daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur.

Yapılan değerlendirmelerde bazı durumlarda sayısal kalite metrikleri ile görsel sonuçların uyumsuz olduğu görülmüştür. Sayısal sonuçlar ile görsel sonuçların uyumsuz olduğu durumlarda görsel analize başvurulmuş ve sonuç görsellerdeki ayrıntılar vurgulanarak incelenmiştir. Bu durumlarda dahi önerilen yöntemin ürettiği birleşik görüntülerin daha doygun, canlı ve fazla ayrıntı barındırabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak çoklu pozlamalı görüntü birleştirme yöntemleri ile elde edilen görüntülerin değerlendirmesinde sadece sayısal veya sadece görsel değerlendirme yerine iki yöntem beraber kullanılarak daha doğru sonuçlara ulaşılabildiği kanaatine varılmıştır.

Tez kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda önerilen yöntemin geliştirilebileceği açıktır ve konunun genişletilebileceği görülmüştür. Tez konusunun nasıl daha fazla geliştirilebileceği ile ilgili öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Önerilen yöntemin işlem zamanında optimizasyon yapılarak zaman performansı iyileştirilebilir.
- Çok fazla görüntü içeren görüntü setleri için sayıyı azaltma ve en doğru görüntüleri seçme işlemi yapan kişiye göre değişmektedir [46]. Bunun yerine en uygun görüntüleri seçebilecek bir yöntem geliştirilebilir.
- Sonuçlar kısmında ele alındığı üzere bazen kalite metriklerinin sonuçları ve görseller arasındaki değerlendirme farklılık gösterebilmektedir. Bütün görüntüler için değil sadece görüntü birleştirme yöntemi ile elde edilen görüntülere özel olacak şekilde bir kalite metriği geliştirilebilir.

- Çoklu pozlamalı görüntü setleri elde edilirken stüdyo ortamı dışında çekilen görüntülerde kayma, bulanıklık, farklı nesnenin kadraja girmesi gibi istenmeyen durumlar oluşabilmektedir. Önerilen yöntem bu gibi dinamik görüntülerin oluştuğu durumlarda da daha iyi performans sergileyebilecek şekilde geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Reinhard, E., Heidrich, W., Debevec, P., Pattanaik, S., Ward, G., & Myszkowski, K. (2010). High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting, Morgan Kaufmann, Burlington, MA, USA.
2. Salih, Y., Malik, A. S., & Saad, N. (2012). Tone mapping of HDR images: A review. *2012 4th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS2012)*, 1: 368-373
3. Xu, F., Liu, J., Song, Y., Sun, H., & Wang, X. (2022). Multi-Exposure Image Fusion Techniques: A Comprehensive Review. **Remote Sensing, 14**(3): 771.
4. Land, E. H. (1977). The retinex theory of color vision. **Scientific american, 237**(6): 108-129.
5. Land, E.H., & McCann, J.J. (1971). Lightness and retinex theory. **Journal of the Optical Society of America, 61**(1): 1-11
6. Kim, K., Bae, J., & Kim, J. (2011). Natural HDR image tone mapping based on retinex**. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 57**(4): 1807-1814.
7. Li, S., & Kang, X. (2012). Fast multi-exposure image fusion with median filter and recursive filter. **IEEE Transactions on Consumer Electronics, 58**(2): 626-632.
8. Kinoshita, Y., & Kiya, H. (2019). Scene segmentation-based luminance adjustment for multi-exposure image fusion. **IEEE Transactions on Image Processing, 28**(8): 4101-4116.
9. Mertens, T., Kautz, J., & Van Reeth, F. (2009). Exposure fusion: A simple and practical alternative to high dynamic range photography. **In Computer graphics forum**, **28**(1): 161-171).
10. Goshtasby, A. A. (2005). Fusion of multi-exposure images. **Image and Vision Computing, 23**(6): 611-618.
11. Li, S., & Kang, X. (2012). Fast multi-exposure image fusion with median filter and recursive filter**. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 58**(2): 626-632.
12. Zhang, W., & Cham, W. K. (2011). Gradient-directed multiexposure composition. **IEEE Transactions on Image Processing, 21**(4): 2318-2323.

13. Choi, S., Kwon, O. J., & Lee, J. (2017). A method for fast multi-exposure image fusion. **IEEE Access, 5**: 7371-7380.
14. Vonikakis, V., Bouzos, O., & Andreadis, I. (2011). Multi-exposure image fusion based on illumination estimation. *Proc. IASTED SIPA*, 135-142.
15. Nejati, M., Karimi, M., Soroushmehr, S. R., Karimi, N., Samavi, S., & Najarian, K. (2017). Fast exposure fusion using exposedness function. *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2234-2238.
16. Ma, K., Li, H., Yong, H., Wang, Z., Meng, D., & Zhang, L. (2017). Robust multi-exposure image fusion: a structural patch decomposition approach. **IEEE Transactions on Image Processing, 26**(5): 2519-2532.
17. Hayat, N., & Imran, M. (2019). Ghost-free multi exposure image fusion technique using dense SIFT descriptor and guided filter. **Journal of Visual Communication and Image Representation, 62**: 295-308.
18. Lee, S. H., Park, J. S., & Cho, N. I. (2018). A multi-exposure image fusion based on the adaptive weights reflecting the relative pixel intensity and global gradient. *2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 1737-1741
19. Qin, X., Shen, J., Mao, X., Li, X., & Jia, Y. (2014). Robust match fusion using optimization. **IEEE transactions on cybernetics, 45**(8): 1549-1560.
20. Ulucan, O., Karakaya, D., & Turkan, M. (2021). Multi-exposure image fusion based on linear embeddings and watershed masking. **Signal Processing, 178**: 107791.
21. Jagalingam, P., & Hegde, A. V. (2015). A review of quality metrics for fused image. **Aquatic Procedia, 4**: 133-142.
22. Ma, K., Zeng, K., & Wang, Z. (2015). Perceptual quality assessment for multi-exposure image fusion. **IEEE Transactions on Image Processing, 24**(11): 3345-3356.
23. Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., & Simoncelli, E. P. (2004). Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. **IEEE transactions on image processing, 13**(4): 600-612.
24. Haghighat, M., & Razian, M. A. (2014). Fast-FMI: Non-reference image fusion metric. *2014 IEEE 8th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, pp. 1-3

25. Land, E. H. (1977). The retinex theory of color vision. **Scientific american, 237**(6): 108-129.
26. Katırcıoğlu, F. (2021). Düşük-Işıklı Renkli Görüntülerin İyileştirilmesinde Kullanılan Retineks Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi. **Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 3**(2): 188-206.
27. Guo, X., Li, Y., & Ling, H. (2016). LIME: Low-light image enhancement via illumination map estimation. **IEEE Transactions on image processing, 26**(2): 982-993.
28. Xu, L., Yan, Q., Xia, Y., & Jia, J. (2012). Structure extraction from texture via relative total variation. **ACM transactions on graphics (TOG), 31**(6): 1-10.
29. Erb. M. E. Falkensteiner höhle cave. Web Sayfası: **http://www.easyhdr.com/examples**), (Erişim Tarihi: Haziran 2021).
30. Zeng, K., Ma, K., Hassen, R., & Wang, Z. (2014). Perceptual evaluation of multi-exposure image fusion algorithms. *2014 Sixth International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, pp. 7-12
31. Cadík, M. Martin Cadik HDR Webpage. (Web Sayfası: **http://cadik.posvete.cz/tmo**), (Erişim Tarihi: Haziran 2021).
32. HDRsoft. HDR Software Gallery (Web Sayfası: **http://www.hdrsoft.com/gallery),** (Erişim Tarihi: Haziran 2021).
33. MathWorks. MATLAB HDR Webpage. (Web Sayfası: ***http://www.mathworks.com/help/images/ref/makehdr.html***), (Erişim Tarihi: Haziran 2021).
34. The Hebrew University of Jerusalem. HDR Pangeasoft. (Web Sayfası: **http://pangeasoft.net/pano/bracketeer/**), (Erişim Tarihi: Haziran 2021)
35. Shen, J., Zhao, Y., Yan, S., & Li, X. (2014). Exposure fusion using boosting Laplacian pyramid. **IEEE Trans. Cybern., 44**(9): 1579-1590.
36. Hvdwolf. Enfuse HDR Webpage. (Web Sayfası: **http://www.photographers-toolbox.com/products/lrenfuse.php**), (Erişim Tarihi: Haziran 2021)
37. Verma, C.S. Chaman Singh Verma HDR Webpage. (Web Sayfası: **http://pages.cs.wisc.edu/CS766_09/HDRI/hdr.html**), (Erişim Tarihi: Haziran 2021)
38. Li, S., Kang, X., & Hu, J. (2013). Image fusion with guided filtering**. IEEE Transactions on Image processing, 22**(7): 2864-2875.

39. Raman, S., & Chaudhuri, S. (2009). Bilateral Filter Based Compositing for Variable Exposure Photography. *Eurographics (short papers)*, pp. 1-4.
40. Li, Z., Wei, Z., Wen, C., & Zheng, J. (2017). Detail-enhanced multi-scale exposure fusion. **IEEE Transactions on Image processing, 26**(3): 1243-1252.
41. Singh, H., Kumar, V., & Bhooshan, S. (2014). Weighted least squares based detail enhanced exposure fusion. **International Scholarly Research Notices**, **2014(18)**.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Betül ISLAM

Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği	2019
Lise	Erciyes Koleji, Kayseri	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-Halen	TTG International	Yazılım Geliştirici

YABANCI DİL

İngilizce(C1)